



การพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของยางสกีมโปรตีนต่ำเพื่อนำไปใช้ประโยชน์
ทางด้านกาวชนิดไวต่อแรงดัน

**Development and Improvement in Properties of Low-Protein Skim Rubber
for Pressure-Sensitive Adhesive Application**

ณัฐพันธ์ ภูผิวแก้ว

Nataphon Phupewkeaw

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษิตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

(1)

ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของยางสกีมโปรตีนต่ำเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านกาวชนิดไวต่อแรงดัน
ผู้เขียน	นายณัฐพนธ์ ภูผิวแก้ว
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อศึกษาการพัฒนาและปรับปรุงคุณสมบัติยางสกีมโปรตีนต่ำเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านกาวชนิดไวต่อแรงดัน โดยแบ่งการศึกษาวิจัยออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้ 1) การรวบรวมเนื้อยางสกีมด้วยสารจับตัวและเทคนิคการจับตัวแบบใหม่แทนที่การใช้กรดเข้มข้น 2) การทำยางสกีมให้มีความบริสุทธิ์ด้วยปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันและการปรับปรุงสมบัติยางสกีมที่ได้ 3) การปรับปรุงสมบัติยางสกีมโปรตีนต่ำเพื่อประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางด้านกาวชนิดไวต่อแรงดัน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ในส่วนแรก เป็นการนำสารพอลิอิลเล็กโทรไลต์ เช่น พอลิเมอร์ที่มีประจุบวก ได้แก่ พอลิเมทิล อะคริลิกเอสเทอร์ พอลิเมอร์ที่มีประจุลบ ได้แก่ พอลิอะคริลาไมด์ และเกลืออนินทรีย์ ได้แก่ NaCl CaCl₂ MgCl₂ และ (NH₄)₂SO₄ มาใช้ในการรวบรวมและจับตัวของยางสกีมจากทางน้ำอย่าง โดยพบว่าคุณภาพ pH 5-6 สารจับตัวพอลิเมอร์ที่มีประจุบวก ให้ประสิทธิภาพในการจับตัวได้ดีกว่าพอลิเมอร์ที่มีประจุลบที่ปริมาณความเข้มข้นเท่า ๆ กัน และในกรณีของการจับตัวด้วยเกลืออนินทรีย์ CaCl₂ ให้ประสิทธิภาพการจับตัวได้ดีที่สุด ปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมในการจับตัวคือ 0.02-0.1g/L สำหรับการจับตัวด้วยพอลิเมอร์ที่มีประจุบวก และ 2.0-10.0g/L สำหรับการจับตัวด้วยเกลืออนินทรีย์ CaCl₂ อย่างไรก็ตามสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของยางสกีมที่ได้จากการจับตัวด้วยวิธีใหม่ให้คุณภาพที่ดีกว่ายางสกีมที่ได้จากการจับตัวด้วยวิธีแบบเดิม ในส่วนที่สอง เป็นการทำสะพอนิฟิเคชันของยางสกีมดิบด้วย 3%NaOH ที่อุณหภูมิ 50°C ระยะเวลา 5 h และ 2%NaOH ที่อุณหภูมิ 70°C ระยะเวลา 3 h และ 3%NaOH ที่อุณหภูมิห้องระยะเวลา 48 h ซึ่งเป็นสภาวะที่ใช้ในการเตรียมยางสกีม LPSR ที่ได้คุณภาพดีที่สุดในแง่ของปริมาณโปรตีนและดัชนีชี้วัดสีของยางสกีมลดลงในระดับใกล้เคียงกับยางธรรมชาติเกรดปกติ นอกจากนี้ปริมาณเอสเทอร์และเจลสามารถทำให้ลดลงด้วยการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน การเสื่อมสภาพของยางสกีม LPSR สามารถปรับปรุงได้โดยการจุ่มในสารละลายอิมัลชันฟีนอลิก แอนติออกซิแดนท์ (1%w/v) จำพวกบิส-ฟีนอล (bis-phenol) เช่น TBMTBP และ MBETB เป็นต้น นอกจากนี้ ยางสกีม LPSR ที่ได้ยังมีค่าความหนืดมูนิ และค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางสกีม LPSR ที่ต่ำ ทำ

ให้ง่ายต่อการขึ้นรูป และในส่วนสุดท้ายการนำยางสกิม LPSR ชนิดใหม่ที่เตรียมได้มาประยุกต์ใช้ในงานด้านการยึดติดของกาว PSA สำหรับกาว PSA เตรียมได้จากยางสกิม LPSR เพียงอย่างเดียว และพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA โดยมีไฮโดรคาร์บอนเรซิน เป็นสารเพิ่มความเหนียว ได้กาวที่มีลักษณะเป็นแบบสารละลายและเป็นแบบอิมัลชันตามลำดับ จากการศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณ PVA และไฮโดรคาร์บอนเรซิน เมื่อแปรปริมาณที่ 0-50 phr และ 0-100 phr ตามส่วนผสมของกาว พบว่า LPSR สามารถเตรียมเป็นเทปกาว PSA ที่มีลักษณะใสไม่มีสี ให้สมบัติทางด้านความเหนียว และการดึงลอกดีมาก นอกจากนี้แล้วกาว PSA จากยางสกิม LPSR และพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA สามารถปรับปรุงให้มีสมบัติการยึดติดได้ดียิ่งขึ้นอีก ด้วยการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันในยางสกิม LPSR ที่ประมาณ 5% mole epoxydation และสภาวะที่ดีที่สุดในการเตรียมกาว PSA คือ ยางสกิม E-LPSR ที่มีปริมาณหมู่อีพอกไซด์ 5 %mole และมีไฮโดรคาร์บอนเรซิน และ PVA เป็นส่วนผสมที่ปริมาณ 60 phr และ 20 phr ตามลำดับ

Thesis Title Development and Improvement in properties of low-protein skim rubber for pressure-sensitive adhesive application

Author Mr. Nataphon Phupewkeaw

Major Program Polymer Science and Technology

Academic Year 2009

ABSTRACT

The aim of this work is to study the development and improvement of low protein skim rubber properties for pressure-sensitive adhesive application. The scopes of the present work consist of three parts including 1) the recovery of skim rubber with the new coagulant and coagulation procedure instead of applying the sulfuric acid, 2) the purification solid skim rubber by saponification and improved their properties, 3) the improvements of low-protein skim rubber properties for pressure-sensitive adhesive applications in detail as following. In the first part, the polyelectrolytes including polymethyl acrylic ester as a cationic polymer polyacrylamide as an anionic polymer as well as inorganic salts such as NaCl, CaCl₂, MgCl₂ and (NH₄)₂SO₄ were employed for both recovery and coagulation of skim rubber from skim rubber latex. The cationic polymer coagulant showed the high efficiency for skim rubber coagulation than an anionic polymer coagulant as the same dose of polymer concentration at pH 5-6. In the case of inorganic salts coagulant, the efficiency of CaCl₂ exhibited the highest comparing to other inorganic salts. The optimum dose of coagulant concentration for the new coagulation of skim latex was 0.2-0.10g/L (dose) of cationic polymer coagulant and 2.0-10.0g/L (dose) of CaCl₂. The physical and mechanical properties of the resulting solid rubber obtained from this novel coagulation were high quality than ordinary skim rubber. In the second part, the condition for preparing the optimum quality of low-protein skim rubber (LPSR) was found to be a saponification of wet skim with 3% (w/v) NaOH for 5 h at 50°C, 2% (w/v) NaOH for 3 h at 70°C and 3% (w/v) NaOH for 48 h at room temperature. The nitrogen content and color index of skim rubber decreased to the same level as the normal field grade of

natural rubber by treatment with NaOH. The ester content and gel content of skim rubber were dramatically decreased after saponification. Thermal stability of LPSR was improved by soaking with 1% (w/v) phenolic antioxidant, especially the bis-phenol compound antioxidant such as, 4,4'-thio bis(6-tert-butyl-3-methylphenol) (TBMTBP) and 2,2'-methylene bis(4-ethyl-6-tert-butylphenol) (MBETB). The resulting LPSR showed the low Mooney viscosity and low green strength, leading to the increase of processability. In the final part, The PSA obtained from LPSR alone in presence of hydrocarbon resin as a tackifier and LPSR/ poly (vinyl alcohol), (PVA) blend containing tackifier via solution and emulsion, respectively. The influences of PVA and hydrocarbon resin content varied from 0-50 phr and 0-100 phr in the adhesive formulation, respectively were studied. In addition, the good adhesion property of PSA was an achievement with modified structure of LPSR via epoxidation reaction reached to 5% mole of epoxidation in LPSP structure. The best condition of the preparing pressure-sensitive adhesive was found to be about 60 phr of hydrocarbon resin, 20 phr PVA and 5% mole of epoxide content in rubber molecule.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง.....	(14)
รายการรูป.....	(17)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ.....	(24)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	5
1.6 สถานที่ในการทำวิจัย	5
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ยางธรรมชาติ	6
2.2 น้้ายางธรรมชาติ	8
2.2.1 สมบัติและส่วนประกอบของน้้ายางธรรมชาติ	8
2.2.2 ส่วนประกอบของน้้ายางธรรมชาติ	9
2.2.2.1 ส่วนของเนื้อยางและอนุภาคยาง	10
2.2.2.2 ไขมัน	11
2.2.2.3 อนุภาคเฟรย์-วิสลิง	12
2.2.2.4 ซี-เซิร์ม	12
2.2.2.5 โพรตีน	12
2.2.2.6 คาร์โบไฮเดรต	13
2.2.2.7 สารประกอบอินทรีย์	13
2.2.2.8 ลูทอยด์	14
2.3 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลยางธรรมชาติ	14
2.3.1 โครงสร้างทางเคมีของไอโซพรีน.....	15
2.3.2 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคยางธรรมชาติ	17
	(8)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 โครงสร้างของยางสกี 18	18
2.4 กระบวนการผลิตยางธรรมชาติในอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น 21	21
2.4.1 กระบวนการผลิตน้ำยางชั้น 22	22
2.4.2 กระบวนการผลิตยางสกี 23	23
2.4.3 การรวบรวมยางสกีจากทางน้ำยาง 24	24
2.4.4 คุณสมบัติทางกายภาพของยางสกี 25	25
2.4.5 การนำยางสกีไปใช้ประโยชน์ 25	25
2.5 กาวจากยางธรรมชาติ 26	26
2.5.1 แทคไฟเออร์เรซิน 27	27
2.5.2 กาวชนิดไวต่อแรงดัน 28	28
2.5.3 ชนิดของการทำเทปกาว PSA 31	31
2.5.4 ทฤษฎีการยึดติดของกาว 32	32
2.5.5 การผลิตเทปกาว PSA จากยางธรรมชาติ 33	33
2.5.6 การทดสอบสมบัติของเทปกาว 34	34
2.5.6.1 การทดสอบสมบัติการเหนียวติดกันแบบ Rolling Ball Tack 34	34
2.5.6.2 การทดสอบสมบัติการเหนียวติดกันแบบ Quick stick หรือ Loop tack..... 35	35
2.5.6.3 การทดสอบสมบัติการเหนียวติดกันแบบ Probe tack 36	36
2.5.6.4 การทดสอบสมบัติดึงลอก 37	37
2.5.6.5 การทดสอบคุณสมบัติความต้านทานแรงเฉือน 39	39
2.6 การดัดแปรยางธรรมชาติ 40	40
2.6.1 ยางธรรมชาติอีพอกไซค์ 41	41
2.6.2 สมบัติของยางธรรมชาติอีพอกไซค์ 43	43
2.7 การตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้อง 44	44
3. วิธีการวิจัย..... 49	49
3.1 วัสดุและสารเคมี..... 49	49
3.1.1 น้ำยางสกี 49	49
3.1.2 สารเคมีสำหรับการจับตัวและรวบรวมเนื้อยางสกี 49	49
3.1.3 สารเคมีสำหรับการเตรียมยางสกี LPSR..... 50	50

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.4 สารเคมีสำหรับใช้ในการเตรียมกาว PSA.....	51
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	51
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง.....	52
3.3.1 การจับตัวและการรวบรวมเนื้อยางสกิม	53
3.3.1.1 การจับตัวของยางสกิมด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์.....	53
3.3.1.2 การจับตัวของยางสกิมด้วยสารละลายเกลืออนินทรีย์.....	54
3.3.1.3 การจับตัวและรวบรวมเนื้อยางสกิมในระดับอุตสาหกรรม ด้วยสารจับตัวพอลิเมอร์ชนิดประจุบวก Maxfloc [®]	55
3.3.2 การเตรียมยางสกิม LPSR จากการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน ยางสกิมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	55
3.3.2.1 ศึกษาอิทธิพลของสภาวะต่างๆ ในการทำปฏิกิริยา ที่มีต่อสมบัติของยางสกิม LPSR.....	55
3.3.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพของสารแอนติออกซิแดนซ์ที่มีต่อสมบัติ การต้านทานการเสื่อมสภาพด้วยความร้อนในยางสกิม LPSR	56
3.3.2.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติการวัลคาไรซ์ของ ยางสกิม LPSR โดยใช้การวัลคาไรซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์....	58
3.3.3 วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติและการทดสอบ สมบัติเชิงกล.....	60
3.3.3.1 วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ	60
3.3.3.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล	66
3.3.4 การศึกษาและพัฒนาวิธีเตรียมกาว PSA จากยางสกิม LPSR.....	70
3.3.4.1 การลดน้ำหนักโมเลกุลยางสกิม LPSR โดยวิธีการบดทางกล	70
3.3.4.2 การเตรียมกาว PSA จากยาง LPSR และจากพอลิเมอร์ ผสม LPSR/PVA.....	71
3.3.4.3 การเตรียมกาว PSA จากพอลิเมอร์ผสม E-LPSR/PVA....	74
3.3.4.4 วิธีการทดสอบสมบัติทางด้านกายภาพของกาว PSA.....	76
3.3.4.5 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของกาว PSA จากยางสกิม LPSR.....	78

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. ผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลอง.....	81
4.1 การศึกษาสภาวะในการจับตัวและรวบรวมเนื้อเยื่ออย่างสгимด้วยเทคนิคใหม่ โดยใช้สารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์และเกลืออนินทรีย์.....	81
4.1.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการจับตัวอย่างสгимด้วยสารละลาย พอลิอิเล็กโทรไลต์.....	82
4.1.1.1 อิทธิพลของสภาวะ pH ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงขนาด การกระจายตัวของอนุภาคยาสгим.....	82
4.1.1.2 ประสิทธิภาพของสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ในการจับ ตัวและรวบรวมอนุภาคเนื้อเยื่ออย่างสгим.....	83
4.1.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการจับตัวอย่างสгимด้วยสารละลาย เกลืออนินทรีย์.....	94
4.1.2.1 ประสิทธิภาพของสารละลายเกลืออนินทรีย์ชนิดต่างๆ ในการจับตัวและรวบรวมอนุภาคเนื้อเยื่ออย่างสгим.....	94
4.1.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของยาสгимที่จับตัวด้วยสารละลาย พอลิอิเล็กโทรไลต์และเกลืออนินทรีย์.....	105
4.1.3.1 สมบัติทางกายภาพของยาสгимที่จับตัวด้วยสารละลาย พอลิอิเล็กโทรไลต์.....	105
4.1.3.2 สมบัติทางกายภาพของยาสгимที่จับตัวด้วยสารละลาย เกลืออนินทรีย์.....	106
4.1.3.3 สมบัติทางกายภาพของยาสгимที่จับตัวด้วย Maxfloc [®] ใน ระดับอุตสาหกรรมด้วยเทคนิคการจับตัวแบบใหม่.....	107
4.1.4 สรุปผลการทดลองการศึกษาสภาวะในการจับตัวและรวบรวม เนื้อเยื่ออย่างสгимด้วยเทคนิคใหม่	109
4.2 การศึกษากระบวนการเตรียมยาสгим LPSR โดยใช้การทำปฏิกิริยา สะพอนิฟิเคชันด้วยสารละลายเบส.....	109
4.2.1 อิทธิพลของสภาวะในการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันยาสгим ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ ไนโตรเจนและระดับสีของยาสгим.....	110

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพของสารแอนติออกซิแดนซ์ที่มีต่อสมบัติการต้านทานการเสื่อมสภาพด้วยความร้อนในยางสีกิม LPSR	119
4.2.2.1 ประสิทธิภาพในการต้านทานการเสื่อมสภาพด้วยความร้อนในยางสีกิม LPSR.....	119
4.2.2.2 การปรับปรุงสมบัติการต้านทานการเสื่อมสภาพด้วยความร้อนของยางสีกิม LPSR ด้วยสารแอนติออกซิแดนซ์.....	122
4.2.3 การศึกษาสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของยางสีกิม LPSR โดยการวัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์	127
4.2.3.1 สมบัติพื้นฐานทางกายภาพของยางสีกิม LPSR.....	127
4.2.3.2 สมบัติเชิงกลของยางสีกิม LPSR เปรียบเทียบกับยาง STR 5L และ IR 2200 โดยการวัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์.....	129
4.2.4 สรุปการทดลองการศึกษากระบวนการเตรียมยางสีกิม LPSR โดยการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	131
4.3 การศึกษาและพัฒนาวิธีการเตรียมกาวชนิดไวต่อแรงดันจากยางสีกิม LPSR	131
4.3.1 การลดน้ำหนักโมเลกุลยางสีกิมโปรตีนต่ำโดยวิธีบดทางกล.....	132
4.3.1.1 ผลต่อน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล	132
4.3.1.2 ผลต่อค่าความหนืด ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น และปริมาตรเจล	133
4.3.2 การเตรียมกาว PSA จากยาง LPSR และจากพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA.....	137
4.3.2.1 ความสามารถในการละลายของยางสีกิม LPSR ที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธีบดทางกลในตัวทำละลายโทลูอีน	137
4.3.2.2 ความสามารถในการเข้ากันของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA	138
4.3.2.3 ความสามารถในการเข้ากันของสารละลายกาว PSA ระหว่างไฮโดรคาร์บอนเรซินกับพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA	144
4.3.3 อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อสมบัติทางด้านการยึดติดของกาว PSA.....	151
4.3.3.1 สมบัติทางด้านการยึดติดของกาว PSA จากยางสีกิม LPSR และพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA20.....	151

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.3.2 สรุปผลการทดสอบสมบัติทางด้านการยึดติดของกาว PSA จากยางสกีม LPSR และพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA20.....	160
4.3.4 การเตรียมกาว PSA จากพอลิเมอร์ผสม E-LPSR/PVA	160
4.3.4.1 การวิเคราะห์สมบัติของยางสกีม E- LPSR.....	161
4.3.4.2 ความสามารถในการเข้ากันของกาว E-PSA และกาว พอลิเมอร์ผสม E-LPSR/PVA	164
4.3.4.3 อิทธิพลของปริมาณ PVA ต่อสมบัติทางด้านการยึดติดของ กาว PSA ที่เตรียมจากยางสกีม LPSR และ E-LPSR.....	170
4.3.4.4 สรุปผลการทดสอบอิทธิพลของปริมาณ PVA ต่อสมบัติทาง ด้านการยึดติดของกาว PSA ที่เตรียมจากยางสกีม LPSR และ E-LPSR.....	175
4.3.4.5 เปรียบเทียบสมบัติของกาว PSA ที่เตรียมจากยางสกีม LPSR และสมบัติกาว PSA ทางการค้าประเภทต่างๆ.....	176
4.3.5 สรุปผลการทดลองการศึกษาและพัฒนาวีธีการเตรียมกาวชนิดไว ต่อแรงดันจากยางสกีม LPSR.....	177
5. สรุปผลการทดลอง.....	179
5.1 การศึกษาสภาวะในการจับตัวและรวบรวมเนื้อยางสกีมด้วยเทคนิคใหม่ โดยใช้สารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์และเกลืออนินทรีย์.....	179
5.2 การศึกษากระบวนการเตรียมยางสกีมโปรตีนต่ำ โดยใช้กระบวนการทำ ปฏิกริยาสะพอนิฟิเคชันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	180
5.3 การศึกษาและพัฒนาวีธีการเตรียมกาวชนิดไวต่อแรงดันจากยางสกีม LPSR	181
5.4 ข้อเสนอแนะ	182
6. บรรณานุกรม.....	183
7. ภาคผนวก.....	192
8. ประวัติผู้เขียน.....	215

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ส่วนประกอบต่างๆในน้ำยางธรรมชาติ.....	9
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการจับตัวและรวบรวมเนื้อยางสกิม.....	49
3.2 สารเคมีสำหรับใช้ในการเตรียมยางสกิม LPSR.....	50
3.3 สารเคมีสำหรับใช้ในการเตรียมกาว PSA.....	51
3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาทดลอง.....	51
3.5 สภาวะในการจับตัวน้ำยางสกิมด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์.....	53
3.6 สภาวะในการจับตัวน้ำยางสกิมด้วยสารละลายเกลืออนินทรีย์.....	54
3.7 สภาวะในการเตรียมยางสกิม LPSR จากกระบวนการทำปฏิกิริยากับยางสกิม ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	56
3.8 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาการต้านทานการเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 100°C ของ ยางสกิม LPSR.....	57
3.9 ชนิดของสารแอนติออกซิแดนท์และสภาวะที่ใช้ในการศึกษาการต้านทานการ เสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 100°C ของยาง LPSR.....	58
3.10 สูตรการเตรียมยางวัลคาไนซ์ด้วยระบบเปอร์ออกไซด์	59
3.11 สภาวะการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางสกิม LPSR โดยวิธีการบดทางกล.....	71
3.12 สภาวะการเตรียมการเตรียม PSA จากยาง LPSR.....	72
3.13 สภาวะการเตรียมการเตรียม PSA จากพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA.....	73
3.14 สภาวะการเตรียมการเตรียม PSA จากยาง LPSR และ E-LPSR เพื่อศึกษา อิทธิพลของปริมาณ PVA ที่มีต่อสมบัติทางด้านการยึดติด.....	75
4.1 อิทธิพลของสภาวะ pH ต่างๆที่มีต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำยางสกิม เมื่อทำ การปรับสภาพด้วยกรดฟอร์มิก.....	83
4.2 อิทธิพลของสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ น้ำยางสกิมเมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.0 ที่ปริมาณ 0.02-0.10 g/L.....	88
4.3 อิทธิพลของสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ น้ำยางสกิมเมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.5 ที่ปริมาณ 0.02-0.10 g/L.....	88
4.4 อิทธิพลของชนิดและปริมาณสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีต่อระยะเวลา ในการจับตัวน้ำยางสกิม เมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.0 ที่ปริมาณ 0.02-0.10 g/L.	90

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า	
4.5	อิทธิพลของชนิดและปริมาณสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีต่อระยะเวลาในการจับตัวน้ำยางสกิม เมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.5 ที่ปริมาณ 0.02-0.10 g/L.....	92
4.6	อิทธิพลของสารละลายเกลืออนินทรีย์ที่มีต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำยางสกิม เมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.0 ที่ปริมาณ 2.0-10.0 g/L.....	99
4.7	อิทธิพลของสารละลายเกลืออนินทรีย์ที่มีต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำยางสกิม เมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 6.0 ที่ปริมาณ 2.0-10.0 g/L.....	99
4.8	อิทธิพลของสารละลายเกลืออนินทรีย์ที่มีต่อระยะเวลาในการจับตัวน้ำยางสกิมเมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.0 ที่ปริมาณ 2.0-10.0 g/L.....	101
4.9	อิทธิพลของสารละลายเกลืออนินทรีย์ ที่มีต่อระยะเวลาในการจับตัวน้ำยางสกิมเมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 6.0 ที่ปริมาณ 2.0-10.0 g/L.....	103
4.10	สมบัติทางกายภาพของยางสกิมที่ได้จากการจับตัวด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ชนิด Accofloc [®] C480 และ Aronfloc [®] A130.....	106
4.11	สมบัติทางกายภาพของยางสกิมที่ได้จากการจับตัวด้วยสารละลายเกลืออนินทรีย์ชนิด CaCl ₂ และ MgCl ₂	107
4.12	สมบัติทางกายภาพของยางสกิมที่ได้จากการจับตัวด้วย Maxfloc [®]	108
4.13	ปริมาณไนโตรเจนของยางสกิม LPSR หลังทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิ 50°C.....	112
4.14	ปริมาณไนโตรเจนของยางสกิม LPSR หลังทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิ 70°C.....	112
4.15	ปริมาณไนโตรเจนของยางสกิม LPSR หลังทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิห้อง	113
4.16	ปริมาณการเปลี่ยนแปลงระดับสีของยางสกิม LPSR หลังทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิ 50°C.....	116
4.17	ปริมาณการเปลี่ยนแปลงระดับสีของยางสกิม LPSR หลังทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิ 70°C.....	116
4.18	ปริมาณการเปลี่ยนแปลงระดับสีของยางสกิม LPSR หลังทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิห้อง.....	117

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.19 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวน้ำหนักโมเลกุลของยางสีกิม LPSR เมื่อทำการศึกษาการต้านทานการเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 100°C เป็นระยะเวลา 20 h.....	122
4.20 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของยางสีกิม LPSR ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยสารฟีนอลิก แอนติออกซิแดนท์ เมื่อทำการบ่มเร่งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นระยะเวลา 3 h.....	125
4.21 ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณกรดไขมันเอสเทอร์ ปริมาณแก้ว และปริมาณเจลในยางสีกิมธรรมชาติและยางสีกิม LPSR.....	128
4.22 สมบัติทางกายภาพของยางสีกิมธรรมชาติและยางสีกิม LPSR.....	129
4.23 ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงและสมบัติเชิงกลของยางสีกิม LPSR เมื่อเปรียบเทียบกับยาง STR 5L และ IR 2200 โดยการวัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์.....	130
4.24 น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางสีกิม LPSR เมื่อทำการบดด้วยเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง.....	133
4.25 ค่าความหนืด ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นและปริมาณเจลของยางสีกิม LPSR เมื่อทำการบดด้วยเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง.....	135
4.26 ความสามารถในการละลายของยางสีกิม LPSR ที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธีบดทางกลในตัวทำละลายโทลูอีน.....	138
4.27 ลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA solution blend.....	139
4.28 ค่าความหนืดของสารละลายอิมัลชันพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA	140
4.29 น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางสีกิม E-LPSR...	161
4.30 ลักษณะความล้นเหลวในการยึดติดของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณ PVA 0 5 10 20 และ 30 phr.....	175
4.31 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติของกาว PSA ที่เตรียมจากยางสีกิม LPSR ชนิดต่างๆที่ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน และ PVA ปริมาณ 60 และ 20 phr ตามลำดับ โดยเทียบกับกาวทางการค้า.....	177

รายการรูป

รูป	หน้า
2.1 ส่วนประกอบต่างๆในน้ำยางธรรมชาติจากการปั่นแยกด้วยความเร็วสูง.....	10
2.2 ลักษณะอนุภาคยางและส่วนประกอบต่างๆในยางธรรมชาติ.....	11
2.3 สูตรโครงสร้างของเลซิติน (α -Lecithin).....	12
2.4 สูตรโครงสร้างของคิวบาซิทอล (quebrachitol).....	13
2.5 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ.....	15
2.6 โครงสร้างของไอโซพรีนในแบบต่างๆ.....	16
2.7 โครงสร้างของโมเลกุลยางธรรมชาติ.....	17
2.8 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคยางธรรมชาติ ในน้ำยางข้น (total latex) A: จากชั้นครีม และ B: ชั้นเซรัม.....	18
2.9 แสดงการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติจากน้ำยางสด A: cream rubber และ B: serum rubber.....	19
2.10 โปรตรอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกตร้า ($^1\text{H-NMR spectra}$) ของยางต้นอ่อนอายุ 1 เดือน (บน) และยางสกิม (ล่าง).....	20
2.11 ลักษณะเครื่องปั่นน้ำยางข้นในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยาง.....	23
2.12 ภาพแสดงการจับตัวในกระบวนการรวบรวมและการจับตัวเนื้อยางสกิมใน โรงงานอุตสาหกรรมน้ำยาง.....	24
2.13 การเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์รีฟิเคชันระหว่าง (A) อะบิติก แอซิด กับ (B) กลีเซอรอล ได้เป็น (C) กลีเซอรอล เอสเทอร์โรซิน.....	28
2.14 Master curve ของ $\log G'_{\gamma}$ กับ $\log \omega_{\gamma}$ ที่ 296°K (a) NR และ (b) ของผสม ระหว่าง NR กับ Oiccolty S115 *tackifier resin ในสัดส่วน 1:1.....	30
2.15 การทดสอบสมบัติการเหนียวติดกันแบบ rolling ball tack ตามมาตรฐาน ASTM D3121-05, Volume: 15.06.....	34
2.16 การทดสอบสมบัติการเหนียวติดกันแบบ Quick stick หรือ Loop tack มาตรฐาน ASTM D6195-03, Volume: 15.06	35
2.17 การทดสอบสมบัติการเหนียวติดกันแบบ probe tack ตามมาตรฐาน ASTM D2979-00, Volume: 15.06.....	36

รายการรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
2.18 การทดสอบแบบการดึงลอกในแนว180° และลักษณะตัวอย่างเทปกาวที่ติดอยู่กับเครื่อง tensile testing (มาตรฐาน ASTM D3330/D3330 M-04).....	37
2.19 การทดสอบการดึงลอกในแนว 90° (มาตรฐาน ASTM D6252/D6252 M-98 2004, Volume: 15.09).....	38
2.20 การทดสอบแบบ Shear holding power.....	39
2.21 ปฏิกริยาอ็อกซิเดชันโดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	42
2.22 ปฏิกริยาการเปิดวงแหวนอ็อกไซด์.....	42
3.1 ลำดับการเตรียมยางสกิม LPSR ด้วยกระบวนการทำปฏิกริยาสะพอนิฟิเคชันโดยใช้สารละลาย 3%w/v NaOH ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง.....	59
3.2 เครื่องวัดระดับสีในยางธรรมชาติ.....	61
3.3 เครื่อง Nitrogen analyzer.....	62
3.4 กราฟมาตรฐานที่ใช้สำหรับการคำนวณหาปริมาณเอสเทอร์ในยางธรรมชาติโดยใช้เมทิลสเตียเรทเป็นสารละลายมาตรฐาน.....	63
3.5 เครื่องวัดการกระจายตัวน้ำหนักโมเลกุลแบบ Gel permeation chromatography	64
3.6 ชั้นทดสอบรูปดัมเบลล์ (Die C) สำหรับการทดสอบความทนต่อแรงดึง	67
3.7 ชั้นทดสอบแบบมุ่มสำหรับการทดสอบการฉีกขาดตามมาตรฐาน ASTM D624..	68
3.8 ลำดับกระบวนการเตรียมเทปกาว PSA จากยางสกิม LPSR.....	73
3.9 ลำดับการเตรียมยางสกิม E-LPSR ด้วยกระบวนการทำปฏิกริยาอ็อกซิเดชันที่สภาวะ 0°C ระยะเวลา 5 h.....	74
3.10 ภาพแสดง (a) เครื่องมือการวัดมุมสัมผัสเชิงฟิสิกส์ และ (b) ลักษณะตัวอย่างขณะทำการวิเคราะห์มุมสัมผัส.....	76
3.11 เครื่องมือวัดความเหนียวเทปกาว Rolling ball tack tester	77
3.12 เครื่องทดสอบการคืบ Shear Holding Power.....	77
3.13 เครื่องทดสอบการดึงลอกแบบ 180° peel (LLOYD Tensile tester).....	78
4.1 ความเป็นไปได้ของกลไกการเกิด Bridging flocculation เมื่อใช้สารจับตัวพอลิเมอร์.....	84

รายการรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.2 การกระจายตัวขนาดอนุภาคของน้ำยางสกิมที่รวบรวมด้วยสารจับตัวชนิดต่างๆ เช่น (a) Accofloc [®] C480 (b) Waterfloc [®] WF4398 (c) Aronfloc [®] A130 และ (d) Aronfloc [®] A125S โดยแปรปริมาณสารจับตัวที่ 0.02-0.10 g/L ที่สภาวะ pH 5.0.....	86
4.3 การกระจายตัวขนาดอนุภาคของน้ำยางสกิมที่รวบรวมด้วยสารจับตัวชนิดต่างๆ เช่น (a) Accofloc [®] C480 (b) Waterfloc [®] WF4398 (c) Aronfloc [®] A130 และ (d) Aronfloc [®] A125S โดยแปรปริมาณสารจับตัวที่ 0.02-0.10 g/L ที่สภาวะ pH 5.5.....	87
4.4 ลักษณะการจับตัวน้ำยางสกิมด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ (a) Accofloc [®] C480 (b) Waterfloc [®] WF4398 (c) Aronfloc [®] A130 (d) Aronfloc [®] A125S เมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.0 ที่ปริมาณ 0.02-0.10 g/L....	90
4.5 อิทธิพลของปริมาณสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ (dose; g/L skim latex) แต่ละชนิด ต่อค่าเปอร์เซ็นต์ในการรวบรวมเนื้อยางสกิม ที่สภาวะ pH 5.0.....	93
4.6 อิทธิพลของปริมาณสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ (dose; g/L skim latex) แต่ละชนิด ต่อค่าเปอร์เซ็นต์ในการรวบรวมเนื้อยางสกิม ที่สภาวะ pH 5.5.....	93
4.7 ภาพแสดง Electrostatic patch model ของคอลลอยด์ที่มีประจุลบ เมื่อทำการจับตัวด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์หรือเกลืออนินทรีย์.....	94
4.8 ความเป็นไปได้ของกลไกจำลองการเกิด Flocculation เมื่อทำการจับตัวด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ หรือเกลืออนินทรีย์.....	95
4.9 การเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวขนาดอนุภาคของน้ำยางสกิม ที่สภาวะ pH 5.0 เมื่อปริมาณสารละลายเกลืออนินทรีย์เพิ่มขึ้นที่ปริมาณ 2.0-10.0 g/L โดย (a) NaCl (b) CaCl ₂ (c) MgCl ₂ และ (d) (NH ₄) ₂ SO ₄ ตามลำดับ.....	97
4.10 การเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวขนาดอนุภาคของน้ำยางสกิม ที่สภาวะ pH 6.0 เมื่อปริมาณสารละลายเกลืออนินทรีย์เพิ่มขึ้น ที่ปริมาณ 2.0-10.0 g/L โดย (a) NaCl (b) CaCl ₂ (c.) MgCl ₂ และ (d) (NH ₄) ₂ SO ₄ ตามลำดับ	98
4.11 ลักษณะการจับตัวน้ำยางสกิมด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์เกลืออนินทรีย์ (a) NaCl (b) CaCl ₂ (c) MgCl ₂ (d) (NH ₄) ₂ SO ₄ เมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.0 ที่ปริมาณ 2.0-10.0 g/L.....	101

รายการรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.12 อิทธิพลของปริมาณสารละลายเกลืออนินทรีย์ (dose; g/L skim latex) แต่ละชนิดต่อค่าเปอร์เซ็นต์ในการรวบรวมเนื้อยางสกิม เมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.0...	104
4.13 อิทธิพลของปริมาณสารละลายเกลืออนินทรีย์ (dose; g/L skim latex) แต่ละชนิดต่อค่าเปอร์เซ็นต์ในการรวบรวมเนื้อยางสกิมเมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 6.0....	104
4.14 ปริมาณไนโตรเจนของยางสกิม LPSR เมื่อผ่านการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะ 50°C (A) 70°C (B) และ อุณหภูมิห้อง (C).....	113
4.15 การเปลี่ยนแปลงระดับสีในยางสกิม LPSR เมื่อผ่านการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะ 50°C (A) 70°C (B) และที่สภาวะอุณหภูมิห้อง (C).....	117
4.16 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (A) น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเชิงจำนวน (B) และการกระจายตัวน้ำหนักโมเลกุล(C) ของยางสกิม LPSR เมื่อทำการศึกษากการต้านทานการเสื่อมสภาพ ที่อุณหภูมิ 100°C.....	120
4.17 กลไกการทำงานของสารฟีนอลิก แอนติออกซิแดนท์ ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาถูกโซในการออกซิเดชันในยางยุคดิง	124
4.18 การเปลี่ยนแปลง \bar{M}_w (A) \bar{M}_n (B) และ MWD (C) ของยางสกิม LPSR ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยสารฟีนอลิก แอนติออกซิแดนท์ เมื่อปมเร่งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นระยะ เวลา 3 h.....	125
4.19 ภาพแสดงการเปรียบเทียบระดับสีในยางสกิมธรรมดา (A) ยางสกิม LPSR (B) และยางธรรมชาติเกรดการค้า STR5L (C).....	128
4.20 กราฟเปรียบเทียบความเค้น-ความเครียดของยางวัลคาไนซ์ ที่เตรียมจากยางสกิม LPSR ยาง STR 5L และ IR 2200 โดยทดสอบที่อัตราเร็ว 500mm/min...	130
4.21 กลไกการเกิดการถูกทำลายของโมเลกุลยางธรรมชาติเมื่อผ่านการบดด้วยวิธีทางกล	134
4.22 FTIR spectra ของยางสกิม LPSR ที่ทำการบดด้วยวิธีทางกล (A) LPSR ที่ไม่เติม BHT antioxidant และ (B) LPSR ที่เติม BHT antioxidant ปริมาณ 1phr.	136
4.23 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในยางธรรมชาติเมื่อผ่านการบด.....	136
4.24 ภาพการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของสารละลายยางสกิม LPSR (15%w/v) (A) และสารละลายอิมัลชันของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA20 (B).....	139

รายการรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.25 FTIR spectra ของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA (A) 3200-3400 cm^{-1} (B) 1710-1740 cm^{-1} เมื่อแปรปริมาณความเข้มข้นของ PVA ที่ 0 5 10 20 และ 30 phr.....	141
4.26 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA ที่อัตราส่วนของการผสมต่างๆ โดย (A) LPSR/PVA 10phr (B) LPSR/PVA 20phr และ (C) LPSR/PVA 30phr.....	142
4.27 DSC thermogram ของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA ที่ปริมาณความเข้มข้น PVA 10 20 และ 30 phr โดยเปรียบเทียบกับยางสีกิม LPSR และ PVA.....	143
4.28 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายกาว PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 (A) lot1; no BHT และ (B) lot 2; BHT 1phr เมื่อแปรปริมาณ ไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ปริมาณ 0-100 phr	145
4.29 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกาว PSA โดยที่ (A) PSA (HC-resin 60 phr) และ (B) PSA/PVA20 (HC-resin 60 phr).....	146
4.30 กราฟ DMTA แสดงอิทธิพลของปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินที่มีต่อค่า G' ของกาว PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เตรียมได้จากยางสีกิม LPSR เมื่อใช้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน 60 phr.....	147
4.31 กราฟ DMTA แสดงอิทธิพลของปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน ที่มีต่อค่า loss tangent ($\tan\delta$) ของกาว PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เตรียมได้จากยางสีกิม LPSR เมื่อใช้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน 60 phr.....	149
4.32 X-ray diffraction patterns ของกาว PSA ที่เตรียมได้จากยางสีกิม LPSR เมื่อใช้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ปริมาณความเข้มข้น 60 phr.....	150
4.33 X-ray diffraction patterns ของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เตรียมได้จากยางสีกิม LPSR เมื่อใช้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ปริมาณความเข้มข้น 60 phr.....	151
4.34 อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามอดุลัสของกาว PSA ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr.....	152
4.35 อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามอดุลัสของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr.....	153

รายการรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.36 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่ามอดุลัสของกาว PSA (a) 0 phr HC-resin (b) 60 phr HC-resin และกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 (c) 0 phr HC-resin และ (d) 60 phr HC-resin	153
4.37 อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวของกาว PSA ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr.....	155
4.38 อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr.....	155
4.39 อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการคืบของกาว PSA ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr	157
4.40 อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการคืบของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr.....	157
4.41 อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการดึงลอกของกาว PSA ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr.....	159
4.42 อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการดึงลอกของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr.....	159
4.43 การเปรียบเทียบ FTIR spectra ของยางสีกิม LPSR (a) และ E-LPSR (b).....	162
4.44 โปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกตรัม (¹ H-NMR spectrum) ของยางสีกิม E-LPSR	163
4.45 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA60/PVA ที่ปริมาณ PVA ต่างๆกัน โดย (a) E-PSA60 (PVA 0phr) (b) PVA 10phr (c) PVA 20phr และ (d) PVA 30phr.....	165
4.46 กราฟ DMTA แสดงอิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินที่มีต่อค่า G' ของกาว E-PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20 ที่เตรียมได้จากยางสีกิม E-LPSR เมื่อใช้ไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ปริมาณ 60 phr.....	166

รายการรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.47 กราฟ DMTA แสดงอิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินที่มีต่อ $\tan\delta$ ของกาว E-PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20 ที่เตรียมได้จากยางสกีม E-LPSR เมื่อใช้ไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ปริมาณ 60 phr.....	168
4.48 X-ray diffraction patterns ของกาว E-PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20 ที่เตรียมได้จากยางสกีม E-LPSR เมื่อใช้ไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ปริมาณ 60 phr	169
4.49 X-ray diffraction patterns ของกาว E-PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20 ที่เตรียมได้จากยางสกีม E-LPSR เมื่อใช้ไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ปริมาณ 60 phr.....	170
4.50 อิทธิพลของ PVA ต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณที่ 0-30 phr.....	171
4.51 อิทธิพลของ PVA ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณที่ 0 5 10 20 และ 30 phr...	172
4.52 อิทธิพลของ PVA ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการคืบของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณที่ 0-30 phr	173
4.53 อิทธิพลของ PVA ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการดึงลอก (180° peel) ของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณที่ 0 5 10 20 และ 30 phr.....	174

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

ตัวย่อ

ตัวย่อ	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย
BHT	2,6-Di- <i>tert</i> -butyl- <i>p</i> -cresol	ไดบีวีทีลครีโซล
¹³ C-NMR	Carbon-13 nuclear magnetic resonance	คาร์บอน-13 นิวเคลียร์แมกซ์เนติกเรโซแนนซ์
DRC	Dry rubber content	ปริมาณเนื้อยางแห้ง
DPNR	Deproteinized natural rubber	ยางธรรมชาติกำจัดโปรตีน
ENR	Epoxidized natural rubber	ยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์
E-LPSR	Epoxidized Low protein skim rubber	ยางskimโปรตีนต่ำอีพอกซีไดซ์
FT-IR	Fourier-transform Infrared Spectroscopy	ฟูรีเย-ทรานสฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโตรสโคปี
GPC	Gel Permeation Chromatography	เจล เพอร์มิเอเบิล โครมาโตกราฟี
¹ H-NMR	Proton-1 nuclear magnetic resonance	โปรตอน นิวเคลียร์แมกซ์เนติกเรโซแนนซ์
h	Hour	ชั่วโมง
LRP	Large Rubber Particle	อนุภาคยางขนาดใหญ่
LPSR	Low Protein Skim Rubber	ยางskimโปรตีนต่ำ
\bar{M}_n	Number average molecular weight	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเชิงจำนวน
\bar{M}_w	Weight average molecular weight	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก
MWD	Molecular weight distribution	การกระจายตัวน้ำหนักโมเลกุล
MBETB	2,2'-Methylene bis(4-ethyl-6- <i>tert</i> -butylphenol)	เมทิลีนเอททิลฟีนอล
MPa	Mega Pascal	เมกะปาสคาล
NR	Natural rubber	ยางธรรมชาติ
PSA	Pressure-sensitive adhesive	กาวชนิดไวต่อแรงดัน
E-PSA	Pressure-sensitive adhesive of Epoxidized LPSR	กาวชนิดไวต่อแรงดันจากยางskimอีพอกซีไดซ์โปรตีนต่ำ
PET	Poly (ethylene terephthalate)	พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต
PVA	Poly vinyl alcohol	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ(ต่อ)

ตัวย่อ

ตัวย่อ	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย
phr	Part per hundred rubber	ส่วนต่ออย่างร้อยละ
P _o	Initial plasticity index	ดัชนีความอ่อนตัวเริ่มต้น
PRI	Plasticity retention index	ดัชนีการทนต่อความร้อน
SEM	Scanning electron microscopy	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด
SRP	Small rubber particle	อนุภาคยางขนาดเล็ก
STR	Standard Thai rubber	มาตรฐานยางไทย
THF	Tetrahydrofuran	เตทระไฮโดรฟิวเรน
TBMTBP	4,4'-Thio bis(6-tert-butyl- <i>m</i> -cresol)	ไทโอบิวทิลครีโซล

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ(ต่อ)

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย
cP	Centi Poises	เซนติพอยส์
°C	Degree Celsius	องศาเซลเซียส
G'	Storage modulus	ค่ามอดุลัสสะสม
G''	Loss modulus	ค่ามอดุลัสสูญเสีย
tan δ	Loss tangent	ค่าแทนเจนต์สูญเสีย
2θ	Two theta	2 เทต้า
g	Gram	กรัม
kg	Kilogram	กิโลกรัม
L	Liter	ลิตร
N	Newton	นิวตัน
min	Minute	นาที
mm	Millimeter	มิลลิเมตร
mm/min	Millimeter per minute	มิลลิเมตรต่อนาที
N/25mm	Newton per 25millimeter	นิวตันต่อ 25 มิลลิเมตร
mV	Milli-volte	มิลลิโวลต์
µm	Micrometer	ไมโครเมตร
rpm	Round per minute	รอบต่อนาที
s	sec	วินาที
T _g	Glass transition temperature	อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว
(w/v)	Weight per volume	น้ำหนักต่อปริมาตร
(w/w)	Weight per weight	น้ำหนักต่อน้ำหนัก
%wt.	% by weight	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ทวีปเอเชียเป็นศูนย์กลางการผลิตยางธรรมชาติ ซึ่งมีกำลังการผลิตมากถึง 95% ของการผลิตทั้งหมด ประเทศไทยเป็นหนึ่งในสามของประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติรายใหญ่ที่สุดของโลก ซึ่งยางธรรมชาติเป็นสินค้าเป็นสินค้าเกษตรที่ทำรายได้เข้าประเทศไทยในอันดับต้นๆ เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่จำเป็นสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภทเช่น ยางรถยนต์ ชิ้นส่วนอะไหล่ยานยนต์ ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย เส้นด้ายยางยืด กาว และอื่นๆ ยางธรรมชาติส่วนใหญ่ถูกส่งออกไปยังประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น อเมริกา ญี่ปุ่น และ จีน ในรูปของยางแห้ง เช่น ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง ยางเครฟ และในรูปของน้ำยางข้น เพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม และกลายเป็นสินค้านำเข้าของหลายประเทศรวมทั้งประเทศไทยด้วย ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อดุลการค้า ดังนั้นการพัฒนางานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรมยางธรรมชาติจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้เกิดการผลิตที่ครบวงจรตั้งแต่ในระดับภาค การเกษตรจนถึงระดับภาคอุตสาหกรรม ซึ่งจะทำให้เศรษฐกิจและเทคโนโลยีของประเทศทัดเทียมกับนานาประเทศ

ลักษณะเด่นของยางธรรมชาติ คือ เป็นยางเอนกประสงค์ที่สามารถใช้ได้หลากหลายรูปแบบทั้งด้านอุตสาหกรรม การแพทย์ หรือในครัวเรือน และมีความพร้อมใช้ทั้งในรูปของน้ำยางและยางแห้ง อีกทั้งยังมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี คือ ทนต่อแรงดึงได้ดีมากเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความบางแต่แข็งแรง เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสมบัติการสะสมความร้อนที่ต่ำเหมาะกับการผลิตยางล้อ โดยเฉพาะยางล้อเครื่องบินหรือรถแข่ง และยังมีราคาถูกกว่ายางสังเคราะห์ แต่อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติมีสมบัติบางประการที่ก่อให้เกิดปัญหาสำคัญได้แก่ การก่อให้เกิดภูมิแพ้ชนิดเฉียบพลัน และความแปรปรวนในสมบัติของยาง อาทิ ความบริสุทธิ์ของยางธรรมชาติที่ขึ้นอยู่กับปริมาณองค์ประกอบอื่นๆที่ไม่ใช่ยาง ความหนืด และความยืดหยุ่น ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการนำไปใช้งาน โดยพบว่าถ้าเก็บยางไว้เป็นเวลานานทำให้ความยืดหยุ่นของยางเสียไป เป็นต้น

ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น ยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการบั่นแยกนั้นสามารถแยกออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นน้ำยางที่มีอนุภาคขนาดใหญ่เรียกว่า น้ำยางข้น โดย

มีความเข้มข้นประมาณ 60%wt. และในส่วนที่สอง เป็นส่วนที่ถูกแยกออกปะปนอยู่กับชั้นน้ำและมีขนาดอนุภาคขนาดเล็กกว่า ในทางอุตสาหกรรมน้ำยางเรียกกันว่า “หางน้ำยาง” หรือ “ยางสกิม” ซึ่งโดยปกติจัดว่าเป็นของเสียจากกระบวนการผลิต เนื่องจากมีปริมาณเนื้อยางต่ำ (ไม่เกิน 5% wt.) และส่วนที่ไม่ใช่ยางในปริมาณที่มาก โดยปกติในอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางนิยมใช้กรดกำมะถันชนิดเข้มข้นในการจับตัวเนื้อยางสกิมที่เหลืออยู่ในหางน้ำยางนี้ ยางสกิมที่ได้จากวิธีการนี้มีคุณภาพต่ำ เนื่องจากมีสมบัติทางกายภาพที่ไม่ดีและยังมีกลิ่นที่เหม็น เป็นเหตุให้ยางสกิมมีราคาต่ำมาก สำหรับการนำไปใช้งานจึงเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการสมบัติทางกายภาพที่ดีนัก เช่น ยางปูรองพื้น และยางรัดของ เป็นต้น และเนื่องจากในหางน้ำยางมีองค์ประกอบที่นอกเหนือจากยางสกิมและน้ำ ซึ่งที่จัดว่าเป็นสารปนเปื้อนมากมายหลายชนิดได้แก่ ไขมัน โปรตีน โลหะหนัก เป็นต้น ดังนั้นการทำการศึกษาวงจรชีวิตทำให้ยางสกิมให้มีความบริสุทธิ์และคุณภาพมากขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

กระบวนการรวบรวมเนื้อยางสกิมเป็นปัญหาอย่างมากในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากน้ำยางสกิมมีเนื้อยางในปริมาณที่ต่ำและมีขนาดอนุภาคที่เล็ก ส่งผลทำให้การรวบรวมเนื้อยางสกิมแยกออกมาจากชั้นเซรัมได้ยาก และการใช้กรดกำมะถันในปริมาณมากๆ ในการจับตัวก็ยังได้ก่อให้เกิดปัญหาที่สำคัญต่ออุตสาหกรรมผลิตน้ำยางคือ เรื่องของมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามพบว่าที่ผ่านมา มีงานวิจัยที่ทำการศึกษากิจการจับตัวน้ำยางสกิม ยกตัวอย่างเช่น การเร่งให้เกิดการจับน้ำยางสกิมตัวด้วยสารละลายไดออกทิลโซเดียมซัลโฟซักซิเนต (dioctyl sodium sulfosuccinate) และแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ซึ่งวิธีนี้ใช้ระยะเวลาในการจับตัวประมาณ 2 วัน (John, C.K., Weng, S.S., 1973) กระบวนการทำปฏิกิริยาน้ำยางสกิมด้วยเอ็นไซม์แล้วจึงทำการจับตัวด้วยกรด เป็นวิธีการจับตัวและลดปริมาณโปรตีนในน้ำยางสกิม ทำให้ได้ยางสกิมที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น (Nithi-Uthai, et al., 1998) กระบวนการรวบรวมอนุภาคน้ำยางสกิมปราศจากโปรตีนด้วยเกลืออนินทรีย์และเอ็นไซม์เป็นกระบวนการกำจัดโปรตีนด้วยเอ็นไซม์ (deproteinization) ร่วมกับเทคนิคการใช้เกลืออนินทรีย์ร่วม (salting-out technique) (Sakdapipanich, J.T., et al., 2002) การแก้ปัญหาการไม่จับตัวของน้ำยางสกิมด้วยสารช่วยในการจับตัว เช่น เลซิติน พอลิเอไมด์ (lecithine polyamines) และ พอลิอะคริเลต (polyacrylate) ซึ่งให้ผลดีเฉพาะน้ำยางสกิมเก่าเก็บ 4-6 เดือนเท่านั้น (Nithi-Uthai, et al., 1998)

ในอุตสาหกรรมกาวอีลาสโตเมอร์ส่วนใหญ่ใช้เตรียมกาวชนิดไวต่อแรงดัน (pressure sensitive adhesive, PSA) และกาวยางชนิดต่างๆ (rubber-based adhesive, RBA) (Pocius Al. V., 1997) และคุณสมบัติที่สำคัญของกาว PSA คือ ความเหนียวติดกัน (tack) และความแข็งแรงของเนื้อกาว (cohesive strength) นอกจากนี้กาว PSA ยังต้องสามารถถูกลอกออกจากวัสดุได้อย่างสมบูรณ์ และความเหนียวของกาว PSA สามารถเตรียมได้โดยการผสมอีลาสโตเมอร์กับวัสดุที่มีมวลโมเลกุลต่ำของแทคคิไฟเออร์เรซิน (tackifier resin) ยางธรรมชาติจัดเป็นอีลาสโตเมอร์แรกที่ใช้เตรียมกาว PSA ซึ่งโดยต้องนำยางธรรมชาติที่อยู่ในรูปยางแผ่น

รมควันมาบดเพื่อลดมวลโมเลกุล หลังจากนั้นละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสมก่อนผสมกับแทคติไฟเออร์เรซินในลำดับต่อไป แต่อย่างไรก็ตามพบว่ายางธรรมชาติโดยทั่วไปมีปัญหาที่สำคัญคือ การแข็งตัวของยางระหว่างการเก็บ โดยค่าความหนืดของยางจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บยางไว้เป็นระยะเวลาหลายๆ ซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานที่สูงมากในการลดมวลโมเลกุลของยาง เนื่องจากการเกิดโครงสร้างแบบกึ่งก้านในยางธรรมชาติ สาเหตุเกิดจากการครดไขมันที่ติดอยู่บนโมเลกุลยางธรรมชาติ แต่จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ยางสกิมไม่พบกรดไขมันจึงนำไปสู่การสันนิษฐานว่ายางสกิมไม่มีโครงสร้างแบบกึ่งก้าน แต่ประกอบไปด้วยโมเลกุลที่เป็นสายโซ่ตรง โดยไม่มีฟอสโฟลิปิดที่ตำแหน่งที่ปลายสายโซ่โมเลกุล และมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาในการต่อเติมโมเลกุล (Ohya, N., et al., 2000) ยางสกิมเมื่อผ่านการทำให้บริสุทธิ์และกำจัดส่วนที่ไม่ใช่ยางแล้วมีสมบัติการละลายในตัวทำละลายที่ดีมากกว่ายางธรรมชาติโดยทั่วไป จึงเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเทปกาชชนิดไวต่อแรงดัน (Nawamawat, K., et al., 2008)

ในงานวิจัยนี้ ส่วนแรกทำการศึกษาวิธีการรวบรวมและจับตัวเนือยางสกิมแบบใหม่ด้วยสารละลายพอลิเอ็กโทโรไลต์และเกลืออนินทรีย์ ส่วนที่สองทำการศึกษาระบวนการทำให้ยางสกิมมีความบริสุทธิ์ขึ้น มีปริมาณโปรตีนต่ำโดยอาศัยกระบวนการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน (saponification) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ รวมถึงการปรับปรุงคุณสมบัติยางสกิมที่เตรียมได้ให้มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น และในที่สุดทำเป็นการศึกษาการนำยางสกิมโปรตีนต่ำ (low-protein skim rubber, LPSR) ไปประยุกต์ใช้งานในด้านกาชชนิดไวต่อแรงดัน รวมทั้งทำการศึกษาและพัฒนาปรับปรุงสมบัติการยึดติด โดยการปรับปรุงโครงสร้างยางสกิมด้วยการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (epoxidation) และเทคนิคการเตรียมกาช PSA จากพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางสกิมโปรตีนต่ำ (LPSR) และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อพัฒนายางสกิมให้มีปริมาณโปรตีนต่ำและมีคุณภาพสูงด้วยเทคนิคต่างๆ เพื่อการประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม
2. เพื่อศึกษาเทคนิคและกระบวนการรวบรวมน้ำยางสกิม เพื่อให้มีปริมาณเนือยางสกิมเข้มข้นขึ้นและลดปริมาณสิ่งเจือปนที่ไม่ใช่ยางให้น้อยลง
3. เพื่อศึกษากระบวนการแปรรูปยางสกิมเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการยึดติด (adhesion) ด้วยเทคนิคต่างๆ รวมทั้งทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาเทคนิคและกระบวนการรวบรวมและจับตัวเนื้อยางสกิม เพื่อให้มีปริมาณเนื้อยางสกิมเข้มข้นขึ้น และลดปริมาณองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยาง (non-rubber component) ให้น้อยลง
2. ศึกษากระบวนการเตรียมยางสกิมให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยอาศัยกระบวนการทางเคมี หรือการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน
3. ศึกษากระบวนการแปรรูปและประยุกต์ใช้ยางสกิมเพื่อใช้ทางด้านกาวชนิดไวต่อแรงดันวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางด้านการยึดติด
4. ศึกษากระบวนการปรับปรุงโครงสร้างของยางสกิมบริสุทธิ์ ให้มีสมบัติในด้านการยึดติดที่ดียิ่งขึ้น ด้วยการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันและเตรียมแบบพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางสกิม LPSR และ PVA

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นต้นแบบในพัฒนาการผลิตยางสกิมคุณภาพสูงเกรดต่างๆ ในระดับอุตสาหกรรมได้
2. เป็นต้นแบบของการพัฒนากระบวนการจับตัวแบบใหม่ในกระบวนการผลิตยางสกิม
3. สามารถแก้ปัญหาน้ำเสียที่เกิดจากการใช้กรดซัลฟูริกในการจับตัวจากกระบวนการผลิตยางยางสกิมได้
4. สามารถแปรรูปยางสกิมคุณภาพสูง เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจได้ดียิ่งขึ้น เช่น กาว PSA ผลิตจากยางสกิมโปรตีนต่ำ
5. เป็นองค์ความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อที่จะนำไปสู่การคิดค้นและการพัฒนาที่สำคัญต่อไป
6. เป็นการพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่

1.5 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

กิจกรรม / ขั้นตอน	เดือน																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1) ศึกษาข้อมูล	←					→																
2) วางแผนและเตรียมตัวอย่าง			←									→										
3) ทำการทดลอง				←																	→	
4) เขียนรายงาน							←														→	
5) สอบวิทยานิพนธ์																					←	→

1.6 สถานที่ทำวิจัย

สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

โครงการวิจัยและพัฒนาพอลิเมอร์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหิดล

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางธรรมชาติ (วารสารณ์, 2549)

ยางธรรมชาติ มีต้นกำเนิดจากป่าดงดิบในทวีปแอฟริกาและอเมริกาใต้ และมีหลากหลายสายพันธุ์ที่สามารถให้น้ำยางได้ เช่น ยางพารา ยางกัตตาเปอซา ยางบาลาตา ยางวายุเล เป็นต้น แต่เนื่องจากยางที่ได้จากต้นพืชแต่ละชนิดจะมีสมบัติ และส่วนประกอบแตกต่างกัน จึงทำให้พืชบางชนิดให้น้ำยางที่นำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง และมีความสำคัญในเชิงพาณิชย์ แต่พืชบางชนิดให้น้ำยางที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เลย

ยางพารา ได้จากน้ำเลี้ยงของต้นยางพันธุ์ *Hevea Brasiliensis* ปัจจุบันรู้จักในนาม natural rubber (NR) มีถิ่นกำเนิดแถบอะเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ จนกระทั่งถูกนำมาแพร่พันธุ์ต่อทางทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเริ่มจากศรีลังกา มาเลเซีย ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการปลูกต้นยาง *Hevea* มาจนถึงปัจจุบันนี้ และเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าต้นยางพารา (*Hevea Brasiliensis*) เป็นแหล่งวัตถุดิบยางธรรมชาติที่สำคัญที่สุดในปัจจุบัน อาจนับเป็นพืชชนิดเดียวที่ให้น้ำยางธรรมชาติซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปยาง

กัตตาเปอซา และบาลาตา (gutta-percha and balata) เป็นวัตถุดิบที่ได้จากต้นไม้ใน sapotaceae family มีลักษณะคล้ายยางพารา เนื่องจากเป็นทรานส์ไอโซเมอร์ (trans isomer) ของพอลิไอโซพรีน (poly isoprene) ในมาเลเซียและอินโดนีเซียเก็บเกี่ยววัตถุดิบนี้จากน้ำเลี้ยงของต้น palaguium iso nandra และ payana การผลิตยางบาลาตาในอเมริกาใต้โดยการทำให้ท่อน้ำเลี้ยงของต้น mimu sop or ecclinusa balata แห่ง วัตถุดิบจากกัตตาเปอซา และบาลาตาแตกต่างจากยางจากต้นยางพารา คือมีปริมาณเรซินสูง ไม่มีความยืดหยุ่น ไม่มีลักษณะการทำให้คงรูปเช่นกรณีของยางพารา และยังมีเปลี่ยนแปลงในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 70–100°C จากแข็งกระด้างไปเป็นลักษณะคล้ายพลาสติก (hard material into a plastic-like one)

วายุเล (guayule) หรือ parthenium argentatum เป็นยางอีกชนิดหนึ่งที่มีการใช้ในเชิงพาณิชย์ มีลักษณะเป็นพืชล้มลุกที่มีลักษณะเป็นพุ่มไม้เตี้ยๆ ยางชนิดนี้มีถิ่นกำเนิดตามธรรมชาติอยู่ในพื้นที่กึ่งแห้งแล้งในแถบทางตอนเหนือของประเทศเม็กซิโก และทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศสหรัฐอเมริกา ให้สารเรซินที่มีลักษณะคล้ายยาง มีส่วนประกอบของสารไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ประมาณ 70% เรซิน (resin) 20% และส่วนของสารที่ไม่ละลายในเบนซีน (benzene-insoluble) ประมาณ 10% ในทางเคมียางจากวายุเลเป็น ซิส-พอลิไอโซ

พรีน (*cis*-polyisoprene) และเนื่องจากมีส่วนของเรซินสูง จึงทำให้สารนี้เหนียว (tacky) และคล้ายพลาสติกมาก สลายตัวได้ง่าย การทำให้คงรูปซ้ำ และให้สถานการณ์คงรูป (state of cure) ต่ำกว่ากรณีของยางพารา โดยที่ยางวยยูเลมีค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น (plasticity) สูงมาก จึงได้มีความพยายามที่จะใช้เป็นยางเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic NR)

ลักษณะเด่นอีกอย่างของยางธรรมชาติคือ ความยืดหยุ่น (elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับมันหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติดีเยี่ยมด้านการเหนียวติดกัน (tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามโดยลำพังตัวยางดิบจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำ และลักษณะทางกายภาพจะไม่เสถียรขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นอย่างมาก กล่าวคือยางมีลักษณะอ่อนโยมและเหนียวเหนอะหนะเมื่อร้อน แต่แข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จากยางจำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่างๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ และสารตัวเร่งต่างๆ เป็นต้น หลังจากการบดผสมยางผสมหรือยางคอมพาวด์ (rubber compound) ที่ได้ถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่า วุลคาไนเซชัน (vulcanization) ยางที่ผ่านการขึ้นรูปนี้ เราเรียกว่า "ยางสุกหรือยางคงรูป" (vulcanizate) ซึ่งสมบัติของยางคงรูปที่ได้จึงมีความเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก และมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น ยางธรรมชาติถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เนื่องจาก

1. ยางธรรมชาติมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านการทนต่อแรงดึง (tensile strength) แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรง และมีความยืดหยุ่นสูงมาก จึงเหมาะสำหรับใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถูมือยาง ถูยางอนามัย ยางรัดของ เป็นต้น

2. ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (dynamic properties) ที่ดี มีความยืดหยุ่น (elasticity) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (heat build-up) ที่เกิดขณะใช้งานต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดกันที่ดี จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น

3. ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) สูง ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเป๋าน้ำร้อน เพราะในการแกะชิ้นงานออกจากเบ้าในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ในขณะที่ร้อน ยางที่ใช้จึงต้องมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง

แม้ว่ายางธรรมชาติมีสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลักคือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (double bond) อยู่มาก ทำให้ยางไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซน โดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

กิริยา ดังนั้นในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (anti-degradants) เพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อสารละลายไม่มีขี้ น้ำมัน และสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับสิ่งต่างๆดังกล่าว

2.2 น้ำยางธรรมชาติ

(เสาวนีย์, 2541 และ พงษ์ธร, 2547)

2.2.1 สมบัติและส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติ (natural rubber latex) ชนิดน้ำยางสดที่ได้มาจากการกรีดต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวเหมือนน้ำนม มีสภาพเป็นคอลลอยด์ หรือสารแขวนลอย มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.975 ถึง 0.980 g/ml มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 6.5 ถึง 7.0 ความหนืดของน้ำยางมีค่าประมาณ 12-15 cP และอาจมีค่าแปรปรวน ขึ้นอยู่กับปริมาณของส่วนประกอบในน้ำยาง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีกเช่น พันธุ์ยาง อายุยาง ฤดูกาล กรีดยาง เป็นต้น

น้ำยางธรรมชาติเป็นสารไม่บริสุทธิ์ เมื่อกรีดมาจากต้นยางมีปริมาณของยางแห้งอยู่ระหว่าง 25% ถึง 45%wt. ความแตกต่างระหว่างปริมาณสารที่เป็นของแข็งทั้งหมดกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางสดประมาณ 3%wt. แต่ถ้าบั่นน้ำยางสดเป็นน้ำยางข้นแล้ว ความแตกต่างนี้เหลือประมาณ 1.5%wt. ส่วนปริมาณสารที่ไม่ใช่ยางมีประมาณ 5%wt. ซึ่งในปริมาณนี้เป็นสารจำพวกโปรตีนที่ละลายน้ำได้ประมาณครึ่งหนึ่ง และปริมาณหนึ่งในสี่ติดซับที่ผิวอนุภาคยาง ส่วนที่เหลืออยู่ในรูปของสารลูทอยด์ (lutoid) ส่วนประกอบต่างๆในน้ำยางธรรมชาติแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆในน้ำยางธรรมชาติ

ส่วนประกอบ	%wt.
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด (total solid content; TSC)	36
เนื้อยางแห้ง (dry rubber content; DRC)	33
สารโปรตีน (proteinaceous substances)	1-1.5
สารเรซิน (resinous substances)	1-2.5
เถ้า (ash)	สูงถึง 1
น้ำตาล (sugars)	1
น้ำ (water)...ในปริมาณที่รวมกับสารอื่นๆแล้วเป็น	...100

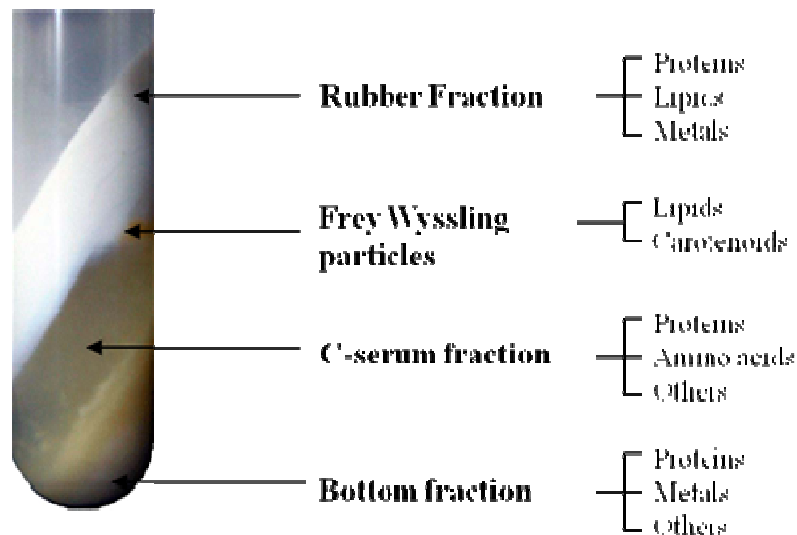
สารต่างๆเหล่านี้กระจายอยู่ใน 2 ส่วนใหญ่ๆ ของน้ำยางคือ

1. ส่วนของอนุภาคยาง มีประมาณ 35%wt.
2. ส่วนที่ไม่ใช่อนุภาคยางมีประมาณ 65%wt. แบ่งเป็น
 - 2.1 ส่วนของน้ำมีประมาณ 55%wt.
 - 2.2 ส่วนของอนุภาคลูทอยด์มีประมาณ 10%wt.

2.2.2 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

(Moir G.F., 1959., Wren W.G., 1961 และ Cockbain E.G., 1963)

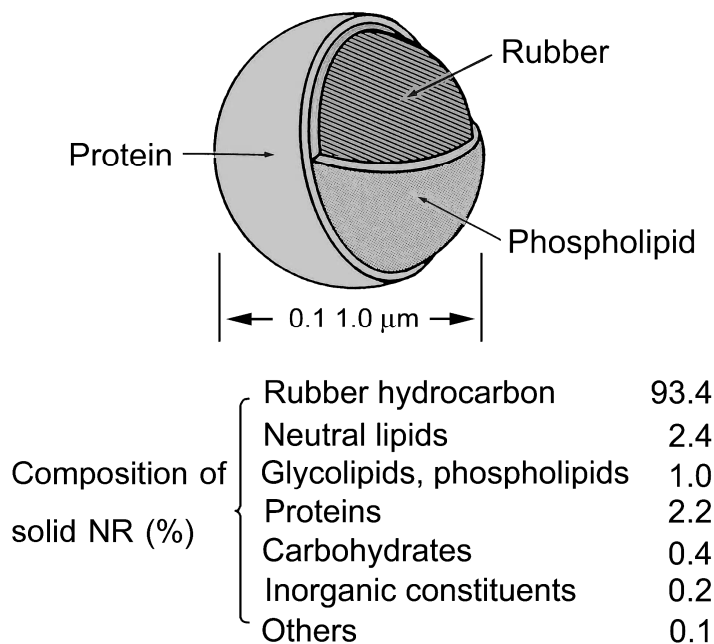
เมื่อนำน้ำยางสดมาปั่นแยกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ที่ความเร็วต่อรอบสูงสามารถแยกส่วนประกอบในน้ำยางออกเป็น 3 ส่วน ดังแสดงในรูป 2.1 ชั้นบนเป็นชั้นเนื้อยาง (rubber fraction) ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคยางเป็นหลัก ชั้นกลางเป็นสารละลายค่อนข้างใส เรียกว่า ซี-เซรัม (C-serum) และชั้นล่างเป็นส่วนของอนุภาคลูทอยด์ ซึ่งเมื่อทำให้เมมเบรนที่หุ้มรอบอนุภาคลูทอยด์แตกออกได้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



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆในน้ำยางธรรมชาติจากการปั่นแยกด้วยความเร็วสูง

2.2.2.1 ส่วนของเนื้อยางและอนุภาคยาง

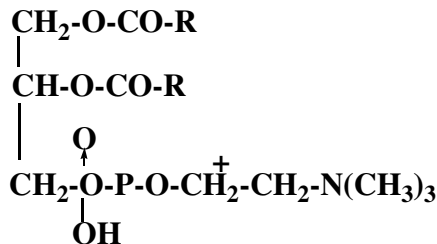
น้ำยางธรรมชาติเป็นคอลลอยด์ของอนุภาคยางที่กระจายตัวอยู่ในชั้นน้ำที่ได้จากต้นยาง *Hevea brasiliensis* อนุภาคยางถูกห่อหุ้มด้วยสารจำพวกไขมันและโปรตีน โดยโปรตีนอยู่ชั้นนอกสุด ถัดเข้ามาคือชั้นของไขมัน โดยปกติอนุภาคยางแขวนลอยในน้ำ ประกอบด้วยสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน มีชื่อทางเคมีว่า ไอโซพรีน ซึ่งมีโครงสร้างเป็น *cis*-1,4-polyisoprene เกือบทั้งหมด อนุภาคยางมีลักษณะค่อนข้างกลม ขนาดอนุภาคแตกต่างกันออกไป แต่โดยเฉลี่ยประมาณ $1.03 \mu\text{m}$ เมื่อนำน้ำยางสดมาปั่นด้วยความเร็วสูงพบว่าอนุภาคยางที่มีขนาดใหญ่และแยกตัวออกจากชั้นน้ำขึ้นมาอยู่ด้านบน ส่วนอนุภาคยางที่มีขนาดเล็กปะปนอยู่กับหางน้ำยาง นอกเหนือจากอนุภาคยางแล้วยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่เรียกว่า ส่วนที่ไม่ใช่ยาง (non-rubber) ได้แก่ โปรตีน น้ำตาล ไขมัน ฟอสโฟลิปิด และไอออนของโลหะ ในปริมาณ 6-8%w/v ซึ่งเห็นได้ชัดว่าแตกต่างจากยางสังเคราะห์ซึ่งไม่มีองค์ประกอบอื่นๆที่ไม่ใช่ยางเหล่านี้



รูปที่ 2.2 ลักษณะอนุภาคยาง (rubber particle) และส่วนประกอบต่างๆในยางธรรมชาติ (Cockbain E.G., 1963)

2.2.2.2 ไขมัน

ไขมัน (lipid) เป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำซึ่งอยู่ในชั้นเนื้อเยื่อเป็นหลัก นอกจากนี้ยังพบอีกปริมาณเล็กน้อยในส่วนล่างสุด (bottom fraction) และอนุภาคเพียร์-วิลลิง ไขมันที่อยู่กับอนุภาคยางเป็นพวกฟอสโฟลิปิด (phospholipid) 2% ไอโคซิลแอลกอฮอล์ (eicosyl alcohol) 0.6% และพวกสเตอรอลและเอสเทอร์ของสเตอรอล (0.4%wt.) ฟอสโฟลิปิดนี้เชื่อว่าอยู่ระหว่างชั้นของโปรตีนกับชั้นของอนุภาคยาง โดยทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะบนอนุภาคยางนั้น ฟอสโฟลิปิดที่สำคัญของน้ำยางเป็นชนิดเลซิธิน (lecithin) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของเลซิธิน (α -Lecithin)

2.2.2.3 อนุภาคเฟรย์-วิสลิง

เฟรย์-วิสลิง (frey-wyssling) มีลักษณะเป็นอนุภาคเช่นเดียวกับยางแต่มีสีเหลือง ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ระหว่างชั้นเนื้อยาง (rubber fraction) กับชั้นซี-เซรัม (C-serum) อนุภาคเฟรย์-วิสลิงเป็นสารที่ไม่ใช่ยางมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ายาง แต่ความหนาแน่นน้อยกว่า ลักษณะของอนุภาคเป็นไขมัน โดยส่วนใหญ่มีรูปร่างค่อนข้างกลมมีผนังล้อมรอบสองชั้นมีปริมาณไม่มากนัก และประกอบด้วยสารเม็ดสีพวกคาโรทีนอยด์ ซึ่งทำให้ยางมีสีเหลืองเข้ม อนุภาคเฟรย์-วิสลิงไม่สามารถคงสภาพอยู่ได้ในน้ำยางชั้นที่เก็บรักษาด้วยแอมโมเนีย สามารถรวมตัวกับแอมโมเนียและแยกตัวออกจากยางมาอยู่ในส่วนของเซรัม

2.2.2.4 ซี-เซรัม

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

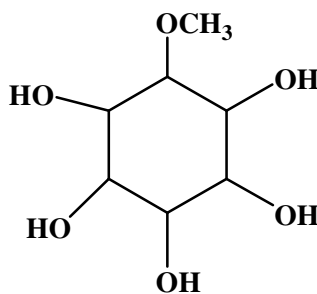
2.2.2.5 โปรตีน

ในน้ำยางธรรมชาติจะประกอบด้วยโปรตีน (proteins) ทั้งหมดประมาณ 1-1.5% โดยโปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวของอนุภาคยางมีอยู่ประมาณ 25% ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำยาง ส่วนที่เหลือประมาณ 50% จะอยู่ในชั้นน้ำ และอีก 25% จะปะปนอยู่ในส่วนของสารลูทอยด์ โปรตีนที่อยู่ในน้ำยางโดยส่วนใหญ่มี 2 ชนิด คือ แอลฟาโกลบูลิน (α -globulin) และฮีวิน (hevein) ซึ่งส่วนที่อยู่นอกสุดของอนุภาคยาง โปรตีนที่พบมากที่สุดคือน้ำยางสดส่วนใหญ่เป็นชนิดแอลฟาโกลบูลิน (α -globulin) ซึ่งมีคุณสมบัติของสารตรงผิวของโมเลกุลมีความว่องไว

(surface active) ไม่ละลายในน้ำ แต่จะละลายในกรด ต่าง และเกลือ มีค่าของจุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point) ที่ pH 4.8 ดังนั้นอนุภาคยางจะรวมตัวกันอย่างรวดเร็วที่ pH ของแอลฟาไกลูบูลินละลายน้อยที่สุด สำหรับโปรตีนที่ห่อหุ้มผิวรอบนอกของอนุภาคยางซึ่งเป็นโปรตีนพวกฮีวินสามารถละลายน้ำได้ มีค่าจุดไอโซอิเล็กทริกที่ pH 4.5 จะป้องกันไม่ให้อนุภาคยางมารวมกันเมื่อมีการสูญเสียน้ำ

2.2.2.6 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรต (carbohydrates) เป็นสารจำพวกแป้งและน้ำตาลมีอยู่ในน้ำยางสดประมาณ 1% น้ำตาลโดยส่วนใหญ่เป็นชนิดคิวบาซีทอล (quebrachitol) ซึ่งมีโครงสร้างดังในรูปที่ 2.4 นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลชนิด กลูโคส ซูโครส ฟรุคโตส อีกปริมาณเล็กน้อย น้ำตาลเหล่านี้ถูกแบคทีเรียใช้เป็นอาหารเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายให้กรดโมเลกุลเล็กๆ ทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพและรวมตัวกันเป็นก้อน กรดเหล่านี้เป็นกรดที่ระเหยได้ง่าย (volatile fatty acid) ประกอบด้วย กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และกรดโพลีไอนิก เป็นต้น



L-quebrachitol

รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของคิวบาซีทอล (quebrachitol)

2.2.2.7 สารประกอบอินทรีย์

ในชั้นเซรัมของน้ำยางสดมีความเข้มข้นของปริมาณไอออนของเกลืออินทรีย์ประมาณ 0.5% ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วเกือบครึ่งหนึ่งประกอบด้วย โปแทสเซียมไอออน ประมาณ 0.12-0.25% และ ฟอสเฟสไอออน ประมาณ 0.25% ส่วนที่เหลือเป็นพวกแมกนีเซียม คอปเปอร์ เหล็ก โซเดียม และแคลเซียม เป็นต้น นอกจากนี้แล้ว ไอออนเหล่านี้ยังมีผลต่อสมบัติการลดลง

ของความแข็งของยางเมื่อทดลองกำจัดปริมาณไอออนด้วยเทคนิคไดอะไลซิส (dialysis) โดยเฉพาะแคโทดไอออนจำพวก Mg^{2+} และ Ca^{2+} ที่อยู่ในน้ำยาง ซึ่งอาจทำให้โมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมโยงแบบพันธะไอออนิกได้

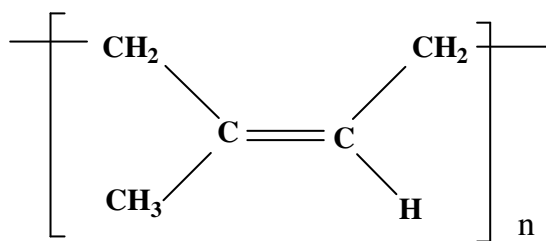
2.2.2.8 ลูทอยด์

ลูทอยด์ (lutioids) ประกอบไปด้วยอนุภาคของสารที่ไม่ใช่ยางเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะอยู่ในส่วนล่างสุด (bottom fraction) มีลักษณะเป็นอนุภาคค่อนข้างกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2–5 μm ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคยางเป็นอย่างมากหุ้มด้วยเยื่อบางๆ ภายในเยื่อบางนี้จะมีทั้งสารละลายและสารแขวนลอย เมื่อทำให้แตกออกจะเรียกว่า บี-เซรัม (B-serum) ซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบด้วย กรด กลีเซอรอล โปรตีน น้ำตาล และสารพอลิฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ยางมีสีเหลืองหรือสีคล้ำเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ โดยปกติปริมาณของลูทอยด์มีผลต่อประสิทธิภาพของความหนืด และสมบัติของคอลลอยด์ของน้ำยางสดเป็นอย่างมาก เมื่ออนุภาคลูทอยด์แตกออกของเหลวภายในซึ่งเป็นสารแขวนลอยที่มีประจุบวกและไอออนของโลหะจะทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกัน และเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้น้ำยางเสียสภาพได้

2.3 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลยางธรรมชาติ

(วารสาร, 2549)

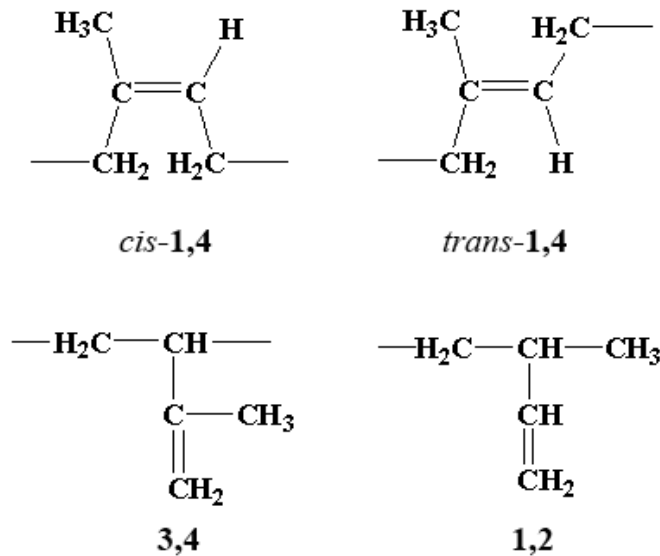
ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ *cis*-1,4-polyisoprene กล่าวคือในโมเลกุลยาง 1 โมเลกุลประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (C_5H_8) มาต่อกันเป็นสายเส้นตรง (linear chain) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 g/mole และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างมาก ซึ่งทำให้ยางธรรมชาติมีลักษณะทางกระบวนการแปรรูปที่ดีเลิศ (excellent process behaviour) อย่างไรก็ตามในยางธรรมชาตินอกจากมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแล้ว ยังมีสิ่งเจือปนอื่นๆ ประมาณ 5% ได้แก่ โปรตีน เถ้า สารที่สกัดด้วยอะซิโตน (acetone extractable) และความชื้น ยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.93 g/cm³ ที่อุณหภูมิ 20°C และมีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, T_g) ประมาณ -72°C หมายความว่าหากนำยางธรรมชาติไปเก็บไว้ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า -72°C สมบัติของยางธรรมชาติเปลี่ยนจากที่เคยมีความยืดหยุ่นไปเป็นของแข็งเปราะเช่นเดียวกับแก้ว



รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ

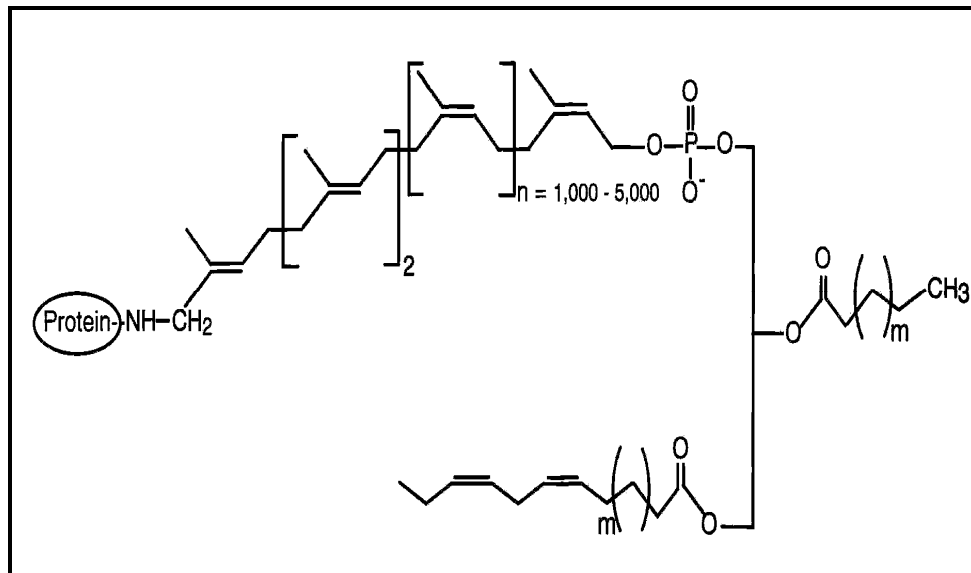
2.3.1 โครงสร้างทางเคมีของไอโซพรีน

ในปี ค.ศ. 1956 ได้มีการผลิตยางไอโซพรีนสังเคราะห์ขึ้นเป็นครั้งแรก โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของซีเกลอร์ (ziegler catalyst) ซึ่งเตรียมได้จาก ทิทาเนียมเตตระคลอไรด์ไตรเอทิลอะลูมิเนียม (titanium tetrachloride triethylaluminium) โครงสร้างของยางที่ได้ใกล้เคียงกับยางธรรมชาติมาก โดยมีโครงสร้างแบบซิส 1,4 (*cis*-1,4 configuration) มากถึง 98-99% และมีโครงสร้างแบบทรานส์ 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 C.J., 1969 and Chen H.Y., 1966) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งแสดงการจัดเรียงตัวของไอโซพรีนในรูปแบบต่างๆ อย่างไรก็ตามพบว่ายางไอโซพรีนสังเคราะห์มีสมบัติเชิงกลที่ต่ำกว่ายางธรรมชาติ เช่น ความแข็งแรง ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อการฉีกขาด ความทนต่อการขูดขีด และความทนทานต่อการเสียดสีที่อุณหภูมิสูง (Schoenberg E. et al., 1979) แต่ยางไอโซพรีนสังเคราะห์ก็มีสมบัติบางอย่างที่เด่นกว่ายางธรรมชาติ คือยางมีคุณภาพสม่ำเสมอ มีสิ่งเจือปนน้อย มีสีขาวใส และไม่มีโปรตีนที่ทำให้เกิดการแพ้ จากการทำ X-ray diffraction พบการเกิดผลึกในยางธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากการจัดเรียงตัวโครงสร้างแบบซิส (*cis*-configuration) (Tanaka Y. et al., 2001)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของไอโซพรีนในแบบต่างๆ

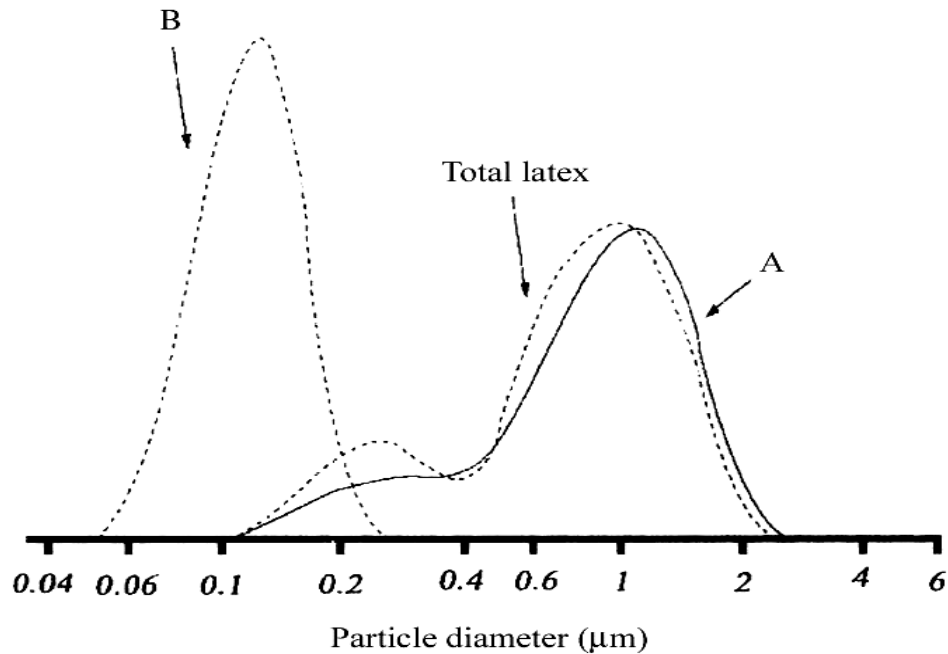
แม้จะพบว่ายางธรรมชาติ ประกอบด้วยไอโซพรีนที่มีโครงสร้างแบบทรานส์ (*trans-isoprene*) 2 หน่วยต่อโมเลกุล แต่ก็ไม่สามารถวิเคราะห์หมู่ไดเมทิลอัลลิล (dimethylallyl group) และ หมู่สิ้นสุดไฮดรอกซิล (hydroxyl terminal group) ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากกลไกการสังเคราะห์โมเลกุลยาง อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อพิสูจน์ที่แน่ชัด (Eng A.H. et al., 1997) ยางธรรมชาติถูกสันนิษฐานว่ามีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.7 ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 เป็นต้นมา ได้มีการค้นพบว่าในยางธรรมชาติ ประกอบด้วยสายโซ่ยาวของหมู่กรดไขมันซึ่งเชื่อมต่อกับพันธะเอสเทอร์ของไลปิดกับโมเลกุลยาง ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นฟอสโฟลิปิด (phospholipids) (Ichikawa N. et al., 1993) สันนิษฐานว่าหมู่กรดไขมันเหล่านี้จะเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติทางกายภาพที่โดดเด่น โดยทำให้สายโซ่ของพอลิไอโซพรีนเกิดการตกผลึกได้รวดเร็วขึ้น (Nishiyama N. et al., 1998) นอกจากนี้ยังเชื่อว่า หมู่สิ้นสุดที่ปลายสายโซ่โมเลกุลยางทั้ง 2 หมู่มีความสำคัญต่อการเกิดจุดเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลในยางธรรมชาติ ซึ่งทำให้ยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์มีความแตกต่างกัน



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของโมเลกุลยางธรรมชาติ (Eng A.H. et al., 1994)

2.3.2 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคยางธรรมชาติ

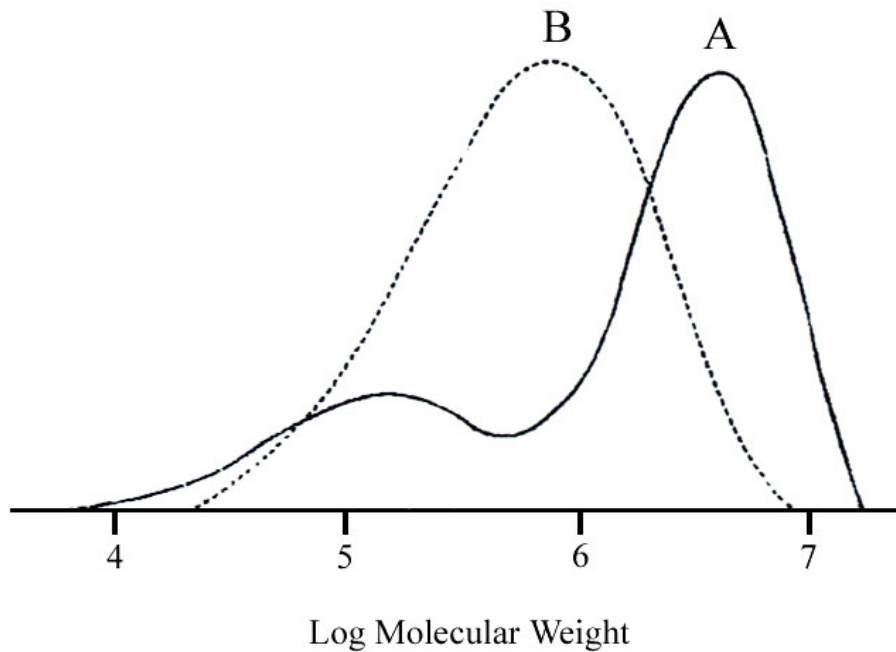
Sakdapipanich J.T. et al., 1999 ได้ทำการวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคยางธรรมชาติ พบว่าขนาดของอนุภาคยางธรรมชาติในชั้นครีม (cream phase) หรือชั้นของเนื้อยาง (rubber faction) มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.1-3.0 μm โดยเฉลี่ยแล้วอนุภาคยางจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.03 μm เรียกว่า อนุภาคยางขนาดใหญ่ (large rubber particle; LRP) อย่างไรก็ตามยังพบว่าขนาดของอนุภาคยางที่กระจายตัวอยู่ในชั้นของเซรัม (serum phase) มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงประมาณ 0.05-0.3 μm ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วอนุภาคยางจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.13 μm เรียกว่า อนุภาคยางขนาดเล็ก (small rubber particle; SRP) นอกจากนี้ยังพบอีกว่า การกระจายตัวของขนาดอนุภาคยางธรรมชาติมีลักษณะคล้ายกับการกระจายตัวของอนุภาคยางขนาดใหญ่ซึ่งมาจากชั้นครีม ดังแสดงในรูปที่ 2.8



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

2.3.3 โครงสร้างของยางสกิน

ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้นจากน้ำยางธรรมชาติ น้ำยางสกิน (skim rubber latex) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการปั่นน้ำยางข้นด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ น้ำยางสกินที่ได้จากกระบวนการปั่นน้ำยางข้นมีปริมาณเนื้อยางทั้งหมดประมาณ 5-10%wt. นอกจากนี้ยังประกอบด้วยส่วนที่ไม่ใช่ยางปะปนอยู่ในปริมาณที่มาก (Bristow G.M., 1990) น้ำยางสกินประกอบด้วยอนุภาคยางขนาดเล็ก (small rubber particle) ที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงประมาณ 0.03-1.2 μm ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วอนุภาคยางมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.13 μm โดยพบว่าในน้ำยางข้นประกอบด้วยอนุภาคยางขนาดใหญ่ (large rubber particle) ซึ่งมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.2-3.0 μm และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 1.03 μm นอกจากนี้พบว่ายางสกินที่ได้จากน้ำยางสกินมีการกระจายตัวของน้ำหนักรวมเป็นแบบยูนิโมดอล (unimodal) มีน้ำหนักรวมอยู่ในช่วงระหว่างยางที่มีน้ำหนักรวมสูงและยางที่มีน้ำหนักรวมต่ำในยางธรรมชาติ โดยมีน้ำหนักรวมประมาณ 1.0×10^6 g/mole (Sakdapipanich J. T. et al., 2002) ดังแสดงในรูปที่ 2.9

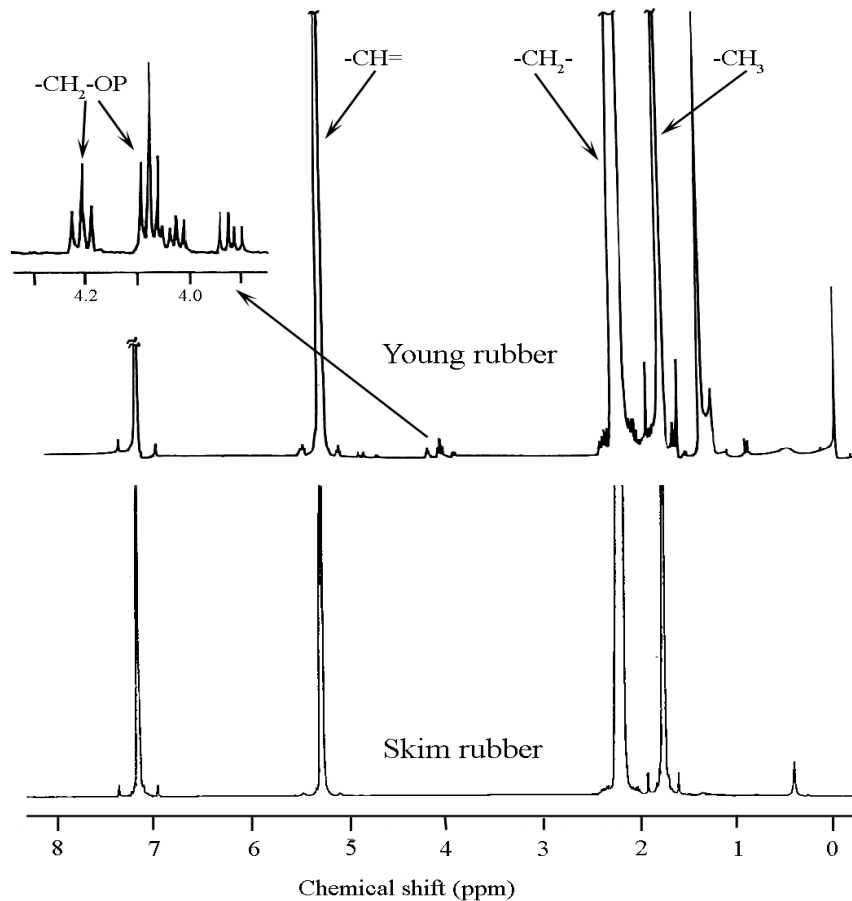


รูปที่ 2.9 การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติจากน้ำยางสด A: cream rubber และ B: serum rubber

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการตั้งสมมติฐานว่าที่ปลายสายโซ่ของโมเลกุลยางนั้นเชื่อมต่อกับฟอสโฟลิปิดที่มีหมู่เอสเทอร์ของไขมันด้วยพันธะเคมี ซึ่งจำนวนโมเลกุลของไขมันต่อสายโซ่โมเลกุลยางสามารถบ่งบอกได้จากปริมาณเอสเทอร์ของไขมัน และจากการวิเคราะห์โครงสร้างของยางอนุภาคใหญ่ด้วยเทคนิคคาร์บอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี (^{13}C -NMR spectroscopy) พบว่าในอนุภาคขนาดใหญ่โมเลกุลยางประกอบด้วยหมู่เอสเทอร์จำนวน 2 โมลต่อโมเลกุล ในขณะที่จำนวนโมลของหมู่เอสเทอร์ที่พบในโมเลกุลยางจากอนุภาคยางขนาดเล็กมีค่าใกล้เคียงศูนย์ หรือประมาณ 0.03 โมลต่อหนึ่งโมเลกุลยางเท่านั้น จากงานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าโมเลกุลของยางอนุภาคเล็ก หรือยางสกินั้นไม่มีการเชื่อมต่อกับฟอสโฟลิปิด (phospholipid) (Sakdapipanich J. T. et al., 1999)

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโปรตรอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี (^1H -NMR spectroscopy) ของยางสกินที่ผ่านการแยกสกัดส่วนตามน้ำหนักโมเลกุล (fractionation) เปรียบเทียบกับยางที่ได้จากต้นยางอ่อนอายุ 1 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 2.10 พบว่ายางจากต้นยางอ่อนมีสัญญาณหลักที่ 1.78 2.10 และ 5.18 ppm ซึ่งเป็นสัญญาณจากหมู่ฟังก์ชัน $-\text{CH}_3$, $-\text{CH}_2-$ และ $=\text{CH}-$ ของพอลิไอโซพรีนที่มีโครงสร้างแบบซิส (*cis*-1,4 isoprene) ตามลำดับ และพบสัญญาณที่ตำแหน่งประมาณ 4.0-4.3 ppm และ 1.2 ppm ซึ่งตรงกับสัญญาณ

ของ $-\text{CH}_2\text{O}$ ที่ด้านปลายและ $-(\text{CH}_2)_n-$ ของกรดไขมัน (Tangpakdee J., 1998) แต่เมื่อพิจารณาสัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์ยางสกิม พบเพียงสัญญาณหลักจากหน่วยพอลิไอโซพรีนแบบซิสเท่านั้น ไม่พบสัญญาณของกรดไขมันในยางสกิม ซึ่งบ่งชี้ว่าบนโมเลกุลของยางสกิมไม่มีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบ (Tarachiwin L. et al., 2005)



รูปที่ 2.10 โปรตรอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกตรา ($^1\text{H-NMR}$ spectra) ของยางต้นอ่อนอายุ 1 เดือน (บน) และยางสกิม (ล่าง)

เนื่องจากข้อเท็จจริงที่กล่าวว่ากรดไขมันที่ติดอยู่บนโมเลกุลยางมีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดโครงสร้างแบบกึ่งก้านในยางธรรมชาติ ดังนั้นจากการที่ไม่พบกรดไขมันในยางสกิมจึงนำไปสู่ข้อสันนิษฐานที่ว่ายางสกิมไม่มีโครงสร้างกึ่งก้าน ลักษณะการเกิดกึ่งก้านของยางสกิม สามารถวิเคราะห์ได้จากการวัดความหนืดของสารละลายยางเจือจาง เพื่อคำนวณหาค่าคงที่ของฮักกินส์ (Huggins constant, k') ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นกึ่งก้านของสายโซ่

โมเลกุลยาง โดยหาค่า k' มีค่าสูงกว่า 0.45 แสดงว่ายางมีลักษณะโมเลกุลเป็นสายโซ่ที่มีกิ่งก้าน (Ambler M.R. et al., 2001) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ายางโปรตีนต่ำ (deproteinized natural rubber, DPNR) มีค่า k' ประมาณ 0.57-0.59 ซึ่งแสดงถึงลักษณะสายโซ่โมเลกุลที่มีกิ่งก้าน แต่ในกรณีของยางอนุภาคเล็กหรือยางสกิมพบว่ามีค่า k' อยู่ในช่วง 0.42-0.45 ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะโมเลกุลที่เป็นสายโซ่ตรง (Ohya N. et al., 2000) ดังนั้นจึงสามารถตั้งสมมติฐานได้ว่ายางอนุภาคเล็กในน้ำยางจากต้นยางที่เจริญวัยแล้วประกอบด้วยโมเลกุลยางที่มีลักษณะเป็นสายโซ่ตรงและไม่มีฟอสโฟลิปิดที่ปลายสายโซ่ ในขณะที่ยางอนุภาคใหญ่ที่ได้จากต้นยางที่เจริญวัยแล้วเป็นโมเลกุลของพอลิไอโซพรีนที่ถูกปิดปลายสายโซ่ด้วยฟอสโฟลิปิดที่เป็นปัจจัยหลักในการเกิดจุดกำเนิดกิ่งก้าน นอกจากนี้ยังมีรายงานว่ายางอนุภาคขนาดเล็กหรือยางสกิมมีค่าประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์รีบเบอทรานสเฟอเรส (rubber transferase activity) สูงกว่าในยางอนุภาคขนาดใหญ่ (Ohya N. et al., 2000) จากผลที่ได้เหล่านี้สามารถสนับสนุนความคิดที่ว่ายางอนุภาคขนาดเล็กในน้ำยางที่ได้จากต้นที่เจริญวัยแล้วประกอบไปด้วยโมเลกุลที่เป็นสายโซ่ตรง โดยที่ตำแหน่งปลายสายโซ่โมเลกุลมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเพื่อต่อเติมสายโซ่ต่อไปได้ (Ohya N. et al., 2000) ในทางกลับกันยางอนุภาคขนาดใหญ่ประกอบด้วยโมเลกุลยางที่ปลายสายโซ่โมเลกุลถูกปิดด้วยหมู่ฟังก์ชันที่มีหมู่เอสเทอร์ของไขมัน เช่น พวกฟอสโฟลิปิด เป็นต้น (Tarachiwin L. et al., 2005)

2.4 กระบวนการผลิตยางธรรมชาติในอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

(วารสารณ์, 2549)

น้ำยางสดจากต้นยางพาราโดยทั่วไปมีเนื้อยางแห้งโดยเฉลี่ยประมาณ 35% DRC นอกนั้นเป็นน้ำเสียส่วนใหญ่ ซึ่งโดยปกติแล้วในกรณีต้องการใช้น้ำยางธรรมชาติไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปในกรรมวิธีต่างๆ ได้แก่ กรรมวิธีจุ่มแบบพิมพ์ (dipping process) ในอุตสาหกรรมการผลิตลูกโป่ง การผลิตถุงมือยาง กรรมวิธีผลิตยางฟองน้ำ (latex foam process) กรรมวิธีผลิตผ้าใบฉาบด้วยยาง (coating) กรรมวิธีเหล่านี้ต้องใช้น้ำยางข้นที่มีเนื้อยางไม่น้อยกว่า 60% DRC ซึ่งเป็นน้ำยางที่มีความเข้มข้นสูง เตรียมได้จากกระบวนการปั่นแยก เนื่องจากความเข้มข้นที่มากขึ้นทำให้ขนย้ายได้สะดวกขึ้นและยังประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำยางสด อีกประการหนึ่งก็คือ น้ำยางข้นให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอดีกว่าน้ำยางสด

2.4.1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น

ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้น ยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการปั่นแยกนั้นสามารถแยกออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นน้ำยางที่มีอนุภาคขนาดใหญ่เรียกว่า น้ำยางข้น และในส่วนที่สองเป็นส่วนที่ถูกแยกออกปะปนอยู่กับชั้นน้ำและมีอนุภาคขนาดเล็กกว่า ในทางอุตสาหกรรมยางจะเรียกกันว่า หางน้ำยาง หรือ ยางskim โดยปกติแล้วเครื่องปั่นน้ำยางข้นมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ แต่แบบที่นิยมใช้กันคือ de Laval มีลักษณะดังในรูปที่ 2.11 หลักการสำคัญของเครื่องประกอบด้วยการปั่นแยกน้ำยางโดยอาศัยเครื่องปั่นความเร็วสูงประมาณ 6,000 rpm และภายในของเครื่องประกอบด้วยชุดของจานแยก (separator discs) วางซ้อนกัน จำนวนหลายชั้น น้ำยางจะถูกป้อนเข้าเครื่องผ่านที่จ่ายน้ำยาง (distributor) ลงสู่กันถึงปั่น และจากนี้น้ำยางจะไหลผ่านชุดของจานแยกซึ่งมีรูให้น้ำยางไหลเข้าสู่ถึงปั่น โดยเนื่อยางจะไหลเข้าหาศูนย์กลางของเครื่องปั่นและลอยตัวไหลออกตามทางออกด้านบนสู่ถังเก็บน้ำยางข้น อีกส่วนหนึ่งของน้ำยางที่ถูกแยกจะเป็นส่วนของหางน้ำยาง (skim latex) ไหลออกจากศูนย์กลางของเครื่องปั่นสู่ทางออกของหางน้ำยางและลงสู่ถังเก็บหางน้ำยาง ปกติน้ำยางข้นที่ได้จากเครื่องปั่น มีความเข้มข้นประมาณ 60% DRC เครื่องปั่นน้ำยางขนาดเล็กๆสามารถผลิตน้ำยางข้นได้วันละ 200–250 gallon และเครื่องขนาดใหญ่อาจผลิตน้ำยางข้นได้ถึงวันละ 450 gallon และปกติการเดินเครื่องปั่นจะทำติดต่อกันอย่างมากครั้งละ 6 h เพราะจำต้องหยุดเครื่องเพื่อทำความสะอาดเครื่องปั่น ล้างพวกตม (sludge) ที่ติดเครื่องปั่น



รูปที่ 2.11 ลักษณะเครื่องปั่นน้ำยางชั้นในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยาง

2.4.2 กระบวนการผลิตยางสกิม

โดยปกติในอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางชั้นนิยมใช้กรดกำมะถันชนิดเข้มข้นในการจับตัวเนื้อยางสกิมที่เหลืออยู่ในหางน้ำยาง เนื้อยางสกิมที่ได้จากกระบวนการจับตัวและรวบรวมไว้แล้วในบ่อจับตัวดังในรูปที่ 2.12 เมื่อมีปริมาณมากเพียงพอแล้วจะถูกนำไปผลิตเป็นยางสกิมบล็อก (skim block rubber) โดยผ่านกระบวนการรีดและบดล้างด้วยเครื่องบดรีดแบบสองลูกกลิ้ง (crepper machine) จากนั้นจะถูกบดและล้างต่อด้วยเครื่องบดย่อย (shredder machine) เพื่อให้ได้ยางสกิมเป็นเม็ดที่มีขนาดเล็กๆ ก่อนผ่านกระบวนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100–110°C เป็นระยะเวลาประมาณ 4 h แล้วจึงทำการอัดก้อนเพื่อร่อนนำไปจัดจำหน่ายและใช้ประโยชน์ต่อไป



รูปที่ 2.12 ภาพแสดงการจับตัวในกระบวนการรวบรวมและการจับตัวเนื้อยางสกิมในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยาง

2.4.3 การรวบรวมยางสกิมจากหางน้ำยาง

เนื่องจากหางน้ำยางมีเนื้อยางในปริมาณที่ต่ำ และมีขนาดอนุภาคที่เล็กมากนั้น ส่งผลให้การรวบรวมเนื้อยางทำได้ยากมาก โดยปกติยางที่เหลืออยู่ถูกรวบรวมโดยการเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงไปในหางน้ำยาง ทำให้ยางเกิดการจับตัวเป็นก้อนแยกออกจากหางน้ำยาง ยางสกิมที่ได้ประกอบด้วยส่วนที่เป็นยางหรือส่วนที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประมาณ 70-80% ไขมันที่ละลายได้ในอะซิโตนประมาณ 5-10% และ โปรตีนอีกประมาณ 10-20% ขณะที่ยางแผ่นรมควัน ประกอบไปด้วย ไฮโดรคาร์บอนประมาณ 95% ไขมันประมาณ 5-10% และ โปรตีนประมาณ 2% นอกจากกระบวนการรวบรวมยางสกิมโดยการจับตัวยางสกิมด้วยกรดซัลฟูริกแล้วยังมีกระบวนการอื่นๆดังนี้

1. การจับตัวยางสกิมโดยวิธีธรรมชาติ หรือ auto-coagulation (Smith M.G., 1969) ด้วยการกำจัดปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางสกิมให้ลดต่ำลงเหลือไม่เกิน 0.1% รอให้จับตัวเองช้าๆ เป็นระยะเวลาประมาณ 5 วัน ซึ่งเทคนิคนี้จำเป็นต้องใช้พื้นที่สำหรับบ่อจับตัวมาก ยางสกิมที่ได้จากเทคนิคนี้จะมีกลิ่นเหม็นมาก

2. การบ่มเร่งให้เกิดการจับตัวของยางสกิมโดยธรรมชาติให้รวดเร็วยิ่งขึ้น ด้วยการกำจัดปริมาณแอมโมเนียให้ไม่เกิน 0.1% แล้วเติมสารละลาย 0.1% dioctyl sodium sulfosuccinate และ 1.0% CaCl_2 ลงในน้ำยางสกิม เทคนิคนี้ช่วยให้ยางสกิมจับตัวได้เร็วขึ้น โดยใช้เวลาในการจับตัวประมาณ 2 วัน (John C.K., 1971) และได้มีการค้นพบว่าเทคนิคนี้สามารถจับตัวน้ำยางสดในภาวะที่เป็นกลางให้รวดเร็วยิ่งขึ้นโดยใช้เวลาประมาณ 3 min เท่านั้น ซึ่งสามารถใช้ในกระบวนการจับตัวแบบต่อเนื่องได้

3. การจับน้ำตัวของยางสกิมโดยการบ่มเร่งด้วยเอ็นไซม์ ก่อนทำการจับตัวด้วยกรด โดย Morris J.E., 1954 ทำการศึกษาโดยการเติมเอ็นไซม์ลงในน้ำยางสกิมเป็นระยะเวลาประมาณ 12-96 h ที่อุณหภูมิประมาณ 22°C จึงทำการจับตัวด้วยกรด ยางสกิมที่ผลิตได้ด้วยเทคนิคนี้สามารถลดปริมาณไนโตรเจนลงจนเหลือประมาณ 0.6-35% โดยน้ำหนัก เทคนิคนี้สามารถช่วยแก้ปัญหาของยางสกิมไม่จับตัวได้

2.4.4 คุณสมบัติทางกายภาพของยางสกิม

ยางสกิม (skim rubber) ซึ่งโดยปกติจัดว่าเป็นของเสียจากกระบวนการบ่มน้ำยางธรรมชาติ เนื่องจากมีปริมาณเนื้อยางต่ำ (ไม่เกิน 5%) และส่วนที่ไม่ใช่ยางในปริมาณที่มาก ยางสกิมประกอบไปด้วยอนุภาคขนาดเล็กที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงประมาณ $0.03\text{-}1.2\ \mu\text{m}$ ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วอนุภาคยางจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน $0.2\ \mu\text{m}$ ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางนิยมใช้กรดกำมะถันชนิดเข้มข้นในการจับตัวเนื้อยางสกิมที่เหลืออยู่ในหางน้ำยาง ยางสกิมที่ได้จากวิธีการนี้จึงมีคุณภาพต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่ายางสกิมมีค่าการทนต่อแรงดึงที่ต่ำ (low green strength) เมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติที่ได้จากน้ำยางชั้น (Nawamawat K., 2002) อย่างไรก็ตามพบว่า ยางสกิมมีค่าการทนต่อแรงดึงใกล้เคียงกับยางสังเคราะห์พอลิไอโซพรีน และมีค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) และค่าการคืนตัวความหนืดมูนนี่ (Mooney relaxation) ที่ต่ำกว่ายางแห้งที่ได้จากน้ำยางชั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายางสกิมมีความสามารถในการผสม (processability) ที่ดีเนื่องจากมีสมบัติความเป็นอิลาสติก (elasticity) ที่น้อยกว่านั่นเอง

2.4.5 การนำยางสกิมไปใช้ประโยชน์

ยางสกิมสามารถนำไปใช้ประยุกต์ใช้งานหลายด้าน เช่น ใช้เป็นตัวเร่งอัตราการคงรูปของยาง (cure-rate booster) ซึ่งสามารถแทนที่ตัวเร่งการคงรูปทุติยภูมิ (secondary accelerator) ได้ในงานบางชนิด และในบางส่วนของขั้นตอนการผลิตที่มีลักษณะเฉพาะ (Blackey D.C., 1966) โดยพบว่ายางสกิมมีลักษณะที่คล้ายกับวัตถุดิบที่ทำการผสมสารเคมีต่างๆ ไว้แล้ว และถ้าทำการผสมยางสกิมประมาณ 20-25 ส่วนกับยางธรรมชาติทั่วไป พบว่าสมบัติของการทำ

ปฏิกิริยาการรูป (vulcanization) จะเพิ่มสูงขึ้นและมีความแปรปรวนที่ลดลง ยางสกิมยังแสดงสมบัติการยึดติด (adhesion) ที่ดีกับโลหะทองเหลือง และสามารถปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดกันระหว่างโลหะกับยางได้โดยการเติมคอปเปอร์ซัลไฟด์ (copper sulfide) (Schofeld U.S. patent) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการนำยางสกิมไปใช้ประโยชน์เป็นสารห่อหุ้มยูเรีย (urea encapsulant) เพื่อควบคุมการปลดปล่อยสารเคมี (controlled release) (Tanunchai T., 1999)

นอกจากนี้ยังพบว่ายางสกิมที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ขึ้นด้วยการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน มีสมบัติการละลายได้ดีมาก และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมเทปกาวชนิดไวต่อแรงดัน (Nawamawat N. et al., 2008) โดยเทปกาวที่เตรียมได้จากยางสกิมบริสุทธิ์มีความเหนียว สมบัติการยึดติดที่ดีขึ้น และปราศจากโปรตีนที่ก่อให้เกิดอาการแพ้ ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาของยางสกิมเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในด้านการแพทย์และผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าในเชิงพาณิชย์ต่อไป

2.5 กาวจากยางธรรมชาติ

(Pocius A.V., 1997)

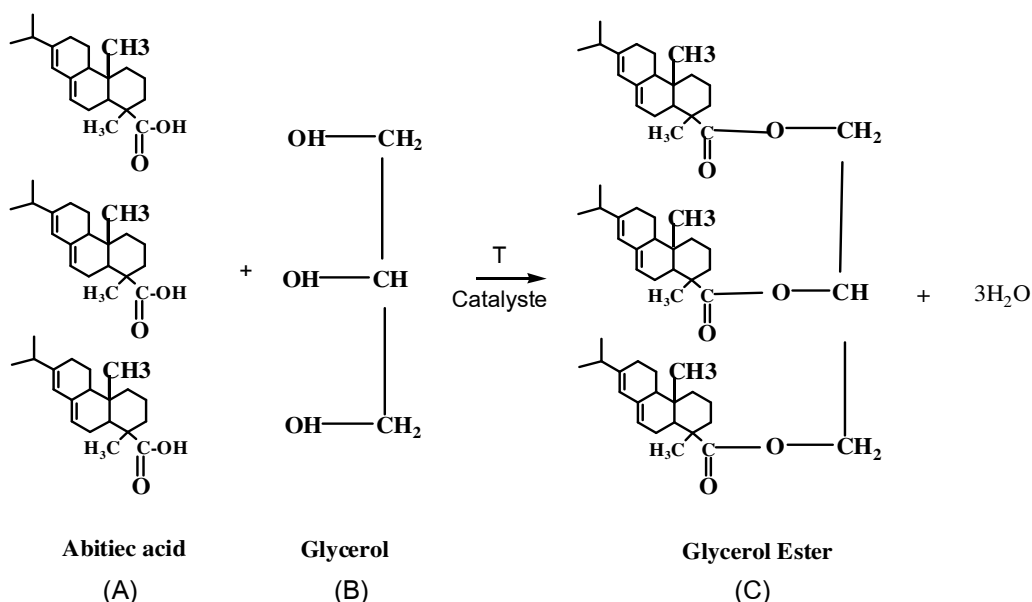
ในการผลิตกาวจากยางธรรมชาตินั้น ส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ ยางธรรมชาติ และแทคคิไฟเออร์เรซิน โดยตัวแทคคิไฟเออร์เรซินมีหน้าที่ไปลดแรงยึดเหนี่ยวภายในโมเลกุล (cohesiveness) ของเนื้อยาง และทำให้เพิ่มแรงยึดติดภายนอก (adhesiveness) ของยาง ให้มีความสามารถยึดติดกับพื้นผิววัสดุอื่น ๆ ได้มากขึ้น ทั้งนี้แทคคิไฟเออร์เรซินจะเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมการยึดติด (tack) และการดึงลอก (peel) ของกาวประเภทที่ไวต่อแรงดัน (pressure sensitive adhesive, PSA) สาเหตุที่เรียกว่ากาวประเภทไวต่อแรงดัน เนื่องจากเทปกาวจะเกิดการยึดติดเมื่อได้รับแรงดันหรือแรงกดเพียงเล็กน้อย เมื่อนำไปใช้กับพื้นผิววัสดุต่างๆ ในภาวะที่ต่างกัน

ในปัจจุบันมีการใช้วัสดุอื่น ๆ ที่ได้จากการสังเคราะห์เพื่อมาผลิตกาวซึ่งจะมีราคาแพง ต่างจากกาวที่ผลิตจากยางธรรมชาติซึ่งมีราคาถูกกว่า แต่ข้อต่อที่สำคัญของกาวที่ผลิตจากยางธรรมชาติก็คือ การไม่ทนทานต่อสภาพการนำไปใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีแสงแดด เมื่อใช้งานที่ได้รับแสงแดดเป็นเวลานาน ๆ อาจทำให้เปลี่ยนเป็นสีเหลือง เนื่องจากโครงสร้างหลักของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนชนิดที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งสามารถลดปัญหานี้ด้วยการเติมสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน หรือ แอนติออกซิแดนท์ (antioxidant)

2.5.1 แทคคิไฟเออร์เรซิน

แทคคิไฟเออร์เรซิน (tackifier resin) เป็นวัสดุที่เติมเข้าไปในอีลาสโตเมอร์ (elastomer) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการยึดติด มีการกระจายตัวของอนุภาคค่อนข้างกว้าง มีจุดอ่อนตัว (softening points) อยู่ในช่วง 50–150°C น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 200-1500 g/mole แทคคิไฟเออร์เรซิน ที่ใช้ต้องมีความเข้ากันได้กับอีลาสโตเมอร์ ที่ใช้ในการผลิตกาวด้วย แทคคิไฟเออร์เรซินส่วนใหญ่เป็นเรซินและอนุพันธ์ของเรซิน เช่น คูมาโรน-อินดีนเรซิน (coumarone-inden resin) เทอเพินโอลิโกเมอร์ (terpene oligomers) และอะลิฟาติก ปีโตรเลียม (aliphatic petroleum) โดยปกติแล้วแทคคิไฟเออร์เรซินมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ได้แก่ แทคคิไฟเออร์เรซินที่ได้จากธรรมชาติ แทคคิไฟเออร์เรซินที่ได้จากปีโตรเลียม และแทคคิไฟเออร์เรซินอื่นๆ

โรซินแอซิด (rosin acid) เป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ ใช้สำหรับทำแทคคิไฟเออร์ โดยโครงสร้างของโรซินนั้น มีหลายโครงสร้างแต่มีโครงสร้างหลักๆ คือ อะบิติกแอซิด (abietic acid) ซึ่งมีโครงสร้างที่ไม่อิมิตัวทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนำไปสู่การเปลี่ยนสี จึงมักมีการทำไฮโดรจีเนชันบริเวณพันธะคู่เพื่อกำจัดปัญหาเหล่านี้ โรซินแอซิดมีการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (esterification) โดยใช้อะบิติกแอซิดกับกลีเซอรอล (glycerol) หรือเพนทารีออล (pentaerythriol) ทำให้วัสดุมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น ตัวอย่างปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างอะบิติกแอซิดกับกลีเซอรอล แสดงในรูปที่ 2.13 โรซินแอซิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากต้นไม้ เช่น กัมโรซิน (gum rosin) วูดโรซิน (wood rosin) และน้ำมันทอล (tall oil) ซึ่งโรซินแอซิดและเอสเทอร์ (esters) ตัวอื่นๆ มีใช้กันมากในการใช้เป็นส่วนประกอบของกาวยาง PSA (Skeist I., 1990)



รูปที่ 2.13 การเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (esterification) ระหว่าง (A) อะบิติก แอซิด (abietic acid) กับ (B) กลีเซอรอล (glycerol) ได้เป็น (C) กลีเซอรอล เอสเทอร์โรซิน (glycerol esters rosin) (<http://www.specialchem4adhesive.com>, 2009)

2.5.2 กาวชนิดไวต่อแรงดัน

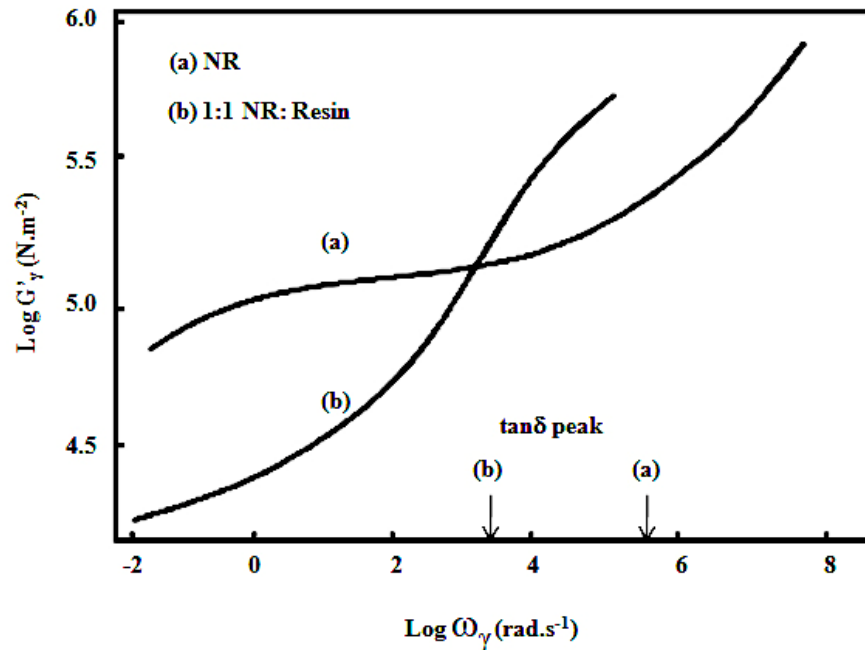
กาวที่จะถือว่าเป็นกาวชนิดไวต่อแรงดัน หรือ Pressure sensitive adhesives (PSAs) ต้องมีคุณสมบัติต่างๆดังได้ถูกนิยามโดย Pressure Sensitive Adhesives Council (PSAC) ต่อไปนี้

1. ต้องมีความสามารถในการติดที่แข็งแรงมากและใช้แรงน้อยๆในการดึงออกได้อย่างรวดเร็ว
2. การติดต้องไม่ใช้แรงมากกว่าแรงดันจากปลายนิ้วมือ
3. ต้องไม่ใช้แรงกระตุ้นจากแหล่งพลังงานอื่นๆ
4. มีความสามารถมากพอที่จะยึดติดกับผิววัสดุอื่นๆได้
5. มีความแข็งแรงของเนื้อกาว (cohesive strength) ที่มากเพียงพอเมื่อดึงออกแล้วพื้นผิววัสดุสะอาดไม่มีเศษของกาวที่ค้างเหลืออยู่

นอกจากจะมีการกำหนดคุณสมบัติของเทปกาว PSA แล้ว ยังมีมีการอธิบายถึงคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับเทปกาวด้วย อย่างแรกคือ คุณสมบัติการยึดติด หมายถึงแรงยึดเกาะบนพื้นที่ผิวที่ต้องการใช้แรงน้อยๆและระยะเวลาสั้นๆ การวัดคุณสมบัติการยึดติด ทำได้โดยการใช้แรงกดจากนิ้ว ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอยู่ทั่วไป เห็นได้ชัดว่าวิธีนี้ไม่ได้ใช้วัดคุณภาพด้านปริมาณ

อย่างไรก็ตามนอกจากจะมีคุณสมบัติการยึดติดที่ดีแล้ว ยังต้องมีแรงยึดเหนี่ยวภายในเนื้อกาวเพียงพอที่จะสามารถยึดวัสดุสองสิ่งไว้ด้วยกัน

คุณสมบัติการยึดติดนั้นเป็นการแสดงความต้านทานการแยกออกของวัสดุ 2 ชนิดที่เกิดการสัมผัสกัน การศึกษาธรรมชาติของการเกิดคุณสมบัติการยึดติดนั้น นำไปสู่ความพยายามที่จะเข้าใจถึงผลของแทคคิไฟเออร์เรซินที่เป็นสารช่วยเพิ่มคุณสมบัติการยึดติดให้กับยาง สำหรับยางไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon rubber) เช่น ยางธรรมชาติ และไฮโดรคาร์บอนเรซิน (hydrocarbon resin) เช่น เทอร์พีนเรซิน (terpene resin), พอลิเบตาไพเนน (poly- β -pinene) จากผลการทดลองพบว่า แทคคิไฟเออร์เรซินส่งผลกับพลังงานพื้นผิว (surface energy) น้อยกว่าพฤติกรรมวิสโคอีลาสติก (viscoelastic) ซึ่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับความถี่จากต่ำไปสูง ดังกราฟรูปที่ 2.14 เป็นภาพ master curve ระหว่าง $\log G'_{\gamma}$ กับ $\log \omega_{\gamma}$ เมื่อเพิ่มเบตาไพเนน (β -pinene) ในยางธรรมชาติ ทำให้มอดุลัสมีค่าลดลง (เพิ่ม compliance) ในเทอร์มินอลโซน (terminal zone) ที่อัตราเร็วเกี่ยวกับการเกิดพันธะ (bonding) และมีการเลื่อนไปของทรานซิชันโซน (transition zone) (เมื่อ $\tan \delta$ สูงขึ้น) ที่อัตราความถี่ต่ำ เป็นช่วงเกี่ยวกับการเกิดการสลายพันธะ (debonding) การเพิ่มปริมาณแทคคิไฟเออร์เรซินเพิ่มคุณสมบัติการยึดติดส่งผลถึงทั้งการเกิดพันธะและการสลายพันธะ (Skeist I., 1990)



รูปที่ 2.14 Master curve ของ $\log G'_{\gamma}$ กับ $\log \Omega_{\gamma}$ ที่ 296°K (a) NR และ (b) ของผสมระหว่าง NR กับ Oiccolty S115*tackifier resin (*Hercules Co.trade name) ในสัดส่วน 1:1 (Packham D.E., 1992)

ปกติแล้วเทปกาว PSA แสดงพฤติกรรมระหว่างของแข็งและของเหลว เราจึงนิยามว่าวัสดุประเภทนี้เป็นวัสดุประเภทวิสโคอีลาสติก โดยแบ่งส่วนที่เป็นของแข็งกับของเหลว ออกจากกันโดยใช้ช่วงเวลาในการพิจารณา พิจารณาจากการเป็ยกซึ่งใช้เวลานาน (เปรียบเสมือนคุณสมบัติของของเหลว) และการดึงลอก ใช้ช่วงเวลาที่สั้น (เปรียบเสมือนคุณสมบัติของของแข็ง) ณ อุณหภูมิเดียวกัน เทปกาว PSA นั้นไม่ติดบนพื้นผิวอย่างรวดเร็วเนื่องจากเนื้อวัสดุแสดงพฤติกรรมเหมือนของเหลว คือ สามารถเปลี่ยนสภาพหรือไหลได้บนพื้นผิวที่เรียบ โดยใช้เวลาเป็นวินาที หรือมากกว่า นอกจากนี้เทปกาว PSA ยังแสดงการต้านทานการไหลซึ่งเป็นพฤติกรรมเหมือนของแข็ง โดยใช้เวลาเป็นวินาทีหรือน้อยกว่า สำหรับการใช้งานของเทปกาว PSA มีการใช้งานมากกว่าเทปชนิดอื่นๆ เนื่องจากไม่มีปัญหาเรื่องการเก็บรักษา (storage) จึงไม่ต้องใช้สารกระตุ้นมาก สามารถดึงกลับมาได้อย่างรวดเร็ว ข้อเสียของเทปกาว PSA คือ แข็งแรงของการดึงลอก และความแข็งแรงการเฉือน (shear strength) ค่อนข้างต่ำ

2.5.3 ชนิดของการทำเทปกาว PSA

(Skeist I., 1989)

1. Solvent-based Adhesive

การผลิตเทปกาวแบบนี้สามารถแบ่งองค์ประกอบหลักๆได้เป็นสามส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นอีลาสติก (elastic) ส่วนที่เป็นแทคทิไฟเออร์เรซิน และส่วนที่เป็นตัวแพร่ ในการทำเทปกาว PSA นั้น ใช้ยางธรรมชาติและแทคทิไฟเออร์เรซิน เช่น วูดโรซิน (wood rosin) เป็นส่วนผสมหลักและสุดท้ายมีการเติมซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide) เพื่อเพิ่มเนื้อให้กับกาว แต่ซิงค์ออกไซด์ก็มีผลกับคุณสมบัติการเหนียวติดกัน (tack) ทำให้คุณสมบัตินี้ลดลงด้วย สำหรับอีลาสโตเมอร์ที่ใช้ในการทำเทปกาว PSA มีการใช้กันหลายชนิดอย่างเช่น ยางบิวทิล (butyl rubber) ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน (styrene-butadiene rubber, SBR) พอลิไอโซพรีน (polyisoprene) และ ยางเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic rubber) เช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่ม (block copolymer) ของสไตรีน (styrene) กับ บิวทาไดอีน (butadiene) หรือ ไอโซพรีน (isoprene) เป็นต้น

ส่วนของแทคทิไฟเออร์เรซิน สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มของวูดโรซิน และอนุพันธ์ และ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนเรซิน โดยวูดโรซิน ที่มีการใช้กันอยู่มากคือ กัมโรซิน แต่เมื่อมันถูกความร้อนและการถูกทำให้เสื่อมสภาพ (aging) ทำให้เกิดการออกซิเดชันส่งผลให้คุณสมบัติการยึดติดลดลง เพื่อทำให้อนุพันธ์เกิดความเสถียรจึงได้ทำการไฮโดรจีเนชัน (hydrogenation) หรือ เอสเทอร์ริฟิเคชัน เพื่อให้แทคทิไฟเออร์เรซินสามารถใช้งานได้กว้างขวางขึ้น ไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ใช้กันอยู่เช่น อะลิฟาติก (aliphatic) อะโรมาติก (aromatic) หรือ เทอร์พีน (terpenes) อาจจะมีการนำมาผสมกันแล้วแต่ความเหมาะสมในการใช้งาน

2. Hot-Melt Adhesive

หลักการของการเตรียมเทปกาว PSA แบบ hot-melt adhesive นี้คล้ายกับระบบ solvent-based สำหรับอีลาสโตเมอร์ กับแทคทิไฟเออร์เรซิน จะต้องมีความเหมาะสมกับการผลิตกาวระบบนี้ ส่วนสำคัญคือยางเทอร์โมพลาสติก คุณสมบัติโดดเด่นของเฟสสองเฟสระหว่าง styrene end block ที่ลือกอยู่กับ butadiene หรือ isoprene ณ อุณหภูมิห้องทำให้อีลาสโตเมอร์นี้มีการเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระในอุณหภูมิที่สูงหรือในสารละลาย โดยคุณสมบัติเหล่านี้มีความคล้ายกับยางวัลคาไรซ์ (vulcanized rubber) ที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนั้นมันยังมีพฤติกรรมเหมือนกับเทอร์โมพลาสติก คือ เมื่อให้ความร้อนหรือถูกละลาย ความแตกต่างกัน

ระหว่าง hot-melt adhesive กับ solvent-base คือ แบบ hot-melt ไม่สามารถควบคุมความหนืดได้ด้วยการควบคุมตัวทำละลาย แต่มันถูกควบคุมโดยความร้อนแทน ดังนั้นในการเลือกชนิดและปริมาณของแทคติไฟเออร์เรซิน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการคำนึงถึงความหนืด

3. Water-based Adhesive

การผลิตกาวแบบนี้เป็นที่นิยมกันเนื่องจากไม่กระทบต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยลดต้นทุนในการผลิตเพราะใช้น้ำเป็นตัวกลาง แต่การผลิตกาวแบบนี้ก็มีข้อจำกัดในเรื่องของการระเหยน้ำออกจากกาว ซึ่งจะต้องเสียค่าเครื่องจักรในการทำให้น้ำระเหย และเสียเวลามากกว่าเมื่อเทียบกับแบบ solvent-base adhesive

2.5.4 ทฤษฎีการยึดติดของกาว

(<http://www.specailchem4adhesive.com>, 2009)

กลไกการยึดติดของกาวกับวัสดุมีด้วยกันหลายทฤษฎี ดังต่อไปนี้

1. Mechanical Interlocking เป็นแรงยึดติดเชิงกลซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดจากการยึดติดระหว่างโมเลกุลของกาวกับวัสดุ เนื่องจากการไหลของกาวเข้าไปแทนที่อากาศในช่องว่างบนผิวของวัสดุ หรือ มีการแพร่ผ่านลงไปใ้ผิวของวัสดุซึ่งการยึดติดทางกลนี้เกิดขึ้นได้เมื่อผิวหน้าของวัสดุมีความขรุขระ ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างกาวและวัสดุ

2. Electrostatic Theory เป็นการยึดติดด้วยแรงทางประจุไฟฟ้า ซึ่งเป็นแรงดึงดูดจากการแยกชั้นของประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างกาวกับวัสดุ เช่น การยึดติดของพอลิเมอร์กับโลหะ โดยอิเล็กตรอนจากโลหะเคลื่อนย้ายไปยังพอลิเมอร์ เกิดเป็นประจุไฟฟ้าที่ต่างกันขึ้นที่ผิววัสดุทั้งสองชนิด adsorption mechanism เป็นการยึดติดด้วยแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของกาวและวัสดุ เช่น เนื่องจากแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der waal) แรงกระทำที่เกิดจากความแตกต่าง หรือ ความสามารถในการเปียกผิวของกาวบนผิวสัมผัสของวัสดุ

3. Chemisorption Theory การยึดติดที่เกิดจากพันธะเคมีของผิวสัมผัสระหว่างกาวและวัสดุ ซึ่งพันธะทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกาวและผิวสัมผัสมีด้วยกันหลายแบบ และพลังงานพันธะไม่เท่ากันส่งผลต่อความแข็งแรงในการยึดติด โดยหากพลังงานพันธะสูงแสดงว่าพันธะมีความแข็งแรงมาก

4. Diffusion Theory เป็นการยึดติดที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลแทรกผ่านรวมเข้าอยู่ด้วยกันของโมเลกุลที่อยู่ระหว่างพื้นผิวของกาวและวัสดุ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อ

กระบวนการแทรกผ่านของโมเลกุลคือ เวลาที่ใช้ในการเชื่อมติด อุณหภูมิ น้ำหนักโมเลกุล และ ความมีขี้ของโมเลกุล

2.5.5 การผลิตเทปกาว PSA จากยางธรรมชาติ

(Pizzi A. et al., 2003)

ในอุตสาหกรรมการผลิตเทปกาว PSA จำเป็นต้องมีการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ เพื่อที่ปรับปรุงในเรื่องการละลาย และคุณสมบัติของยางธรรมชาติบางประการที่ไม่เหมาะสมในนำมาผลิตเป็นเทปกาว PSA คือ การที่ยางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้ยางมีความยืดหยุ่นสูง (flexibility) การผลิตเทปกาว PSA จากยางธรรมชาติ เมื่อเปรียบเทียบการใช้ยางธรรมชาติที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยการบดและยางธรรมชาติที่ไม่ได้ทำการบดพบว่ายางที่ทำการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยการบด สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ง่ายกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ได้ผ่านการบดมาก่อน ในการใช้ยางธรรมชาติผลิตเทปกาว PSA นั้น ยางต้องมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่ 700,000 g/mole หรือน้อยกว่านั้น

กระบวนการผลิตเทปกาว PSA จากยางธรรมชาตินั้น เริ่มแรกต้องทำการละลายยางธรรมชาติด้วยตัวทำละลายอินทรีย์เช่น โทลูอีน (toluene) เฮกเซน (hexane) หรือ เฮปเทน (heptane) จากนั้นก็จะทำการเติมส่วนประกอบอื่นๆเข้าไป เช่น แทคติไฟเออร์เรซิน อย่างไรก็ตาม ยางที่ไม่ได้ทำการบดมาก่อนนั้นมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงซึ่งเป็นสาเหตุให้การละลายยากกว่ายางที่ผ่านการบด ยางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงทำให้ยางมีความยืดหยุ่นสูง (flexibility) เมื่อนำมาทำเป็นเทปกาว PSA ทำให้ไม่มีความเหมาะสมเนื่องจากคุณสมบัตินี้ การหลีกเลี่ยงปัญหานี้ก็คือทำการลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติ

สำหรับวิธีการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติปกติแล้วใช้วิธีทางกล โดยการใช้แรงดันในการบดหรือนวด เครื่องที่ใช้ทำการบดได้แก่ เครื่องผสมแบนบัวร์ (banbury mixer) เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) เป็นต้น การลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติด้วยวิธีนี้นอกจากทำให้ยางมีน้ำหนักโมเลกุลที่ลดลงแล้ว ยังทำให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตเทปกาว PSA มากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถลดปริมาณของตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้เป็นตัวทำละลายได้อีกด้วย ทำให้ต้นทุนในการผลิตเทปกาว PSA นั้นต่ำลง แต่อย่างไรก็ตาม การใช้แรงทางกลในการลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาตินั้นยังต้องใช้พลังงานที่สูง จึงได้มีการพัฒนาการลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติโดยการใช้สารย่อยยาง (peptizing agent) เพื่อช่วยลดพลังงานที่ใช้ในการลดน้ำหนักโมเลกุลในยางธรรมชาติแบบทางกล ตัวอย่างของส่วนผสมต่างๆที่ใช้ในการเตรียมยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีดังนี้ ยางธรรมชาติที่ใช้ เช่น ยางแผ่นรมควัน (ribbed smoked sheet, RSS) และยางเครฟขาว (pale crepe) เป็นต้น ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการละลายยาง ได้แก่ โทลูอีน (toluene) และ อะลิฟาติก ไฮโดร

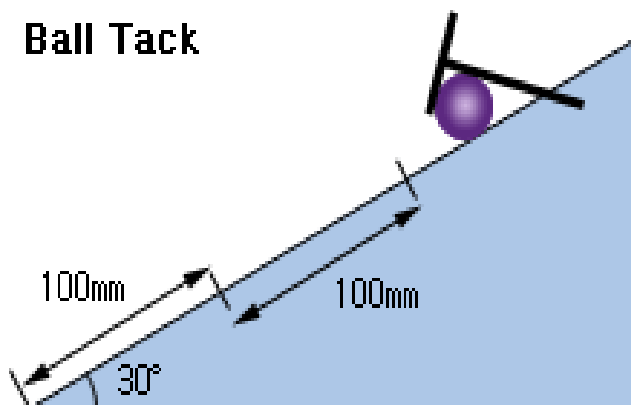
คาร์บอน (aliphatic hydrocarbons) ส่วนสารย่อยอย่างได้แก่ ไดซัลไฟด์ (disulfides) เมอร์แคปแทน (mercaptans) เป็นต้น

2.5.6 การทดสอบสมบัติของเทปกาว

(Pocius Al.V., 1997)

2.5.6.1 การทดสอบสมบัติการเหนียวติดกันแบบ Rolling ball tack

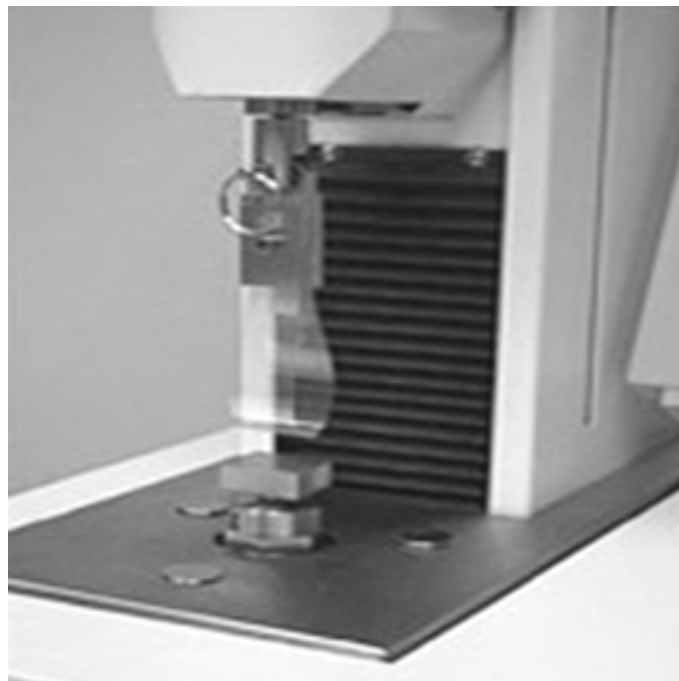
การทดสอบสมบัติการเหนียวติดกันแบบ rolling ball tack มีการทำทางลาดชันที่เป็นช่องทำมุม 30° กับพื้นผิว แล้วปล่อยให้ลูกบอลกลิ้งลงมาตามร่องนั้นบนชั้นงานที่อยู่ในทางเรียบ ซึ่งผิวของชั้นงานนั้นเป็นกาว (adhesive) ระยะการกลิ้งของ rolling ball เทียบได้กับการวัดแบบ quick stick โดยบอลที่ใช้ทำจากเหล็ก ดังในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การทดสอบสมบัติการเหนียวติดกันแบบ rolling ball tack ตามมาตรฐาน ASTM D3121-05, Volum: 15.06

2.5.6.2 การทดสอบสมบัติการเหนียวติดกันแบบ Quick stick หรือ Loop tack

การทดสอบนี้จะไม่มีการใช้ load ทำได้โดยใช้หัวจับคีมปลายทั้งสองข้างของเทปกาวไว้ด้วยกัน โดยหันด้านที่เป็นกาวออกด้านนอก จากนั้นเทปกาวที่คีมไว้จะเคลื่อนที่ลงมาบนพื้นผิวที่จะทดสอบ และเมื่อเครื่องดึงเทปกาวออกจะมีการบันทึกแรงที่ใช้ในการดึงเทปกาวออก เครื่องจับนี้อาจใช้เครื่อง tensile ในการทดสอบ ความเร็วของหัวจับมีค่าเท่ากับ 30.5 cm/min แรงที่ได้จะเป็นฟังก์ชันกับการวัดระดับของคุณสมบัติการเหนียวติดกัน ดังในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การทดสอบสมบัติการเหนียวติดกันแบบ Quick stick หรือ Loop tack, มาตรฐาน ASTM D6195-03, Volum: 15.06

2.5.6.3 การทดสอบสมบัติการเหนียวติดกันแบบ Probe tack

การทดสอบนี้มีการใช้มานาน โดยมีชุด rod และส่วนล่างของ rod มี probe ติดอยู่และต่อกับเครื่อง Instron tensile โดยที่ probe เคลื่อนที่ไปแต่ละบริเวณฐานซึ่งเป็นแผ่นเหล็ก จากนั้นนำเอาเทปกาวที่ต้องการทดสอบมาวางบนแผ่นเหล็กนั้น เมื่อ probe เคลื่อนที่ลงมาแตะบนพื้นผิวของกาวที่นำมาทดสอบ แล้วดึง probe ออก เครื่องทำการวัดแรงที่ดึงออก โดยเวลาที่สัมผัสกับเวลาที่ดึงออกเท่ากัน ปกติแล้วใช้เวลาประมาณ 1 cm/min และเวลาที่ probe อยู่บนชิ้นงานก็เท่ากับ 1 sec เช่นกัน probe ที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 cm ความเร็วในการเคลื่อนที่ของ probe เท่ากับ 12 inch/min ดังในรูปที่ 2.17

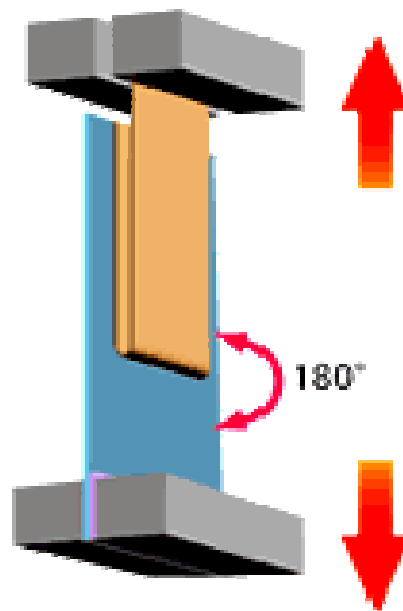


รูปที่ 2.17 การทดสอบสมบัติการเหนียวติดกันแบบ probe tack ตามมาตรฐาน ASTM D2979-00, Volume: 15.06

2.5.6.4 การทดสอบสมบัติการดึงลอก

1. การดึงลอกในแนว 180°

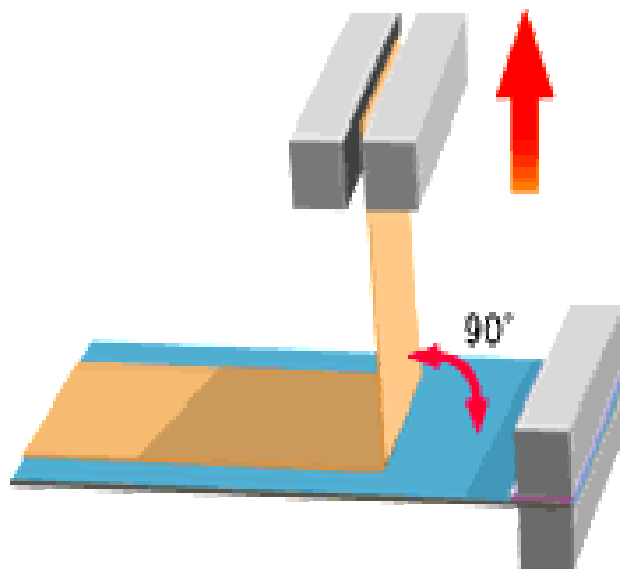
เป็นการวัดความแข็งแรงในการดึงลอกของเทปกาว ซึ่งใช้เครื่อง tensile testing ในการทดสอบ วิธีการทำได้โดยนำเอาเทปกาวที่ต้องการศึกษามาติดไว้บนผิวของชิ้นงานที่นำไปใช้ อาจเป็นเหล็ก โครเมียม หรือไม้ แล้วแต่การใช้งานของเทปกาวนั้น โดยเริ่มติดเทปกาวจากขอบล่างของชิ้นงานขึ้นไป แล้วปล่อยให้ปลายที่เหลือห้อยลงมาในทิศทางตรงข้ามกับหัวจับที่ใช้จับชิ้นงาน ซึ่งปลายที่เหลือห้อยลงมานี้ถูกจับด้วยหัวจับอีกอัน จากนั้นทำการลอกเทปกาวออกในแนว 180° ดังในรูปที่ 2.18 โดยเครื่องจะทำการวัดแรงที่ใช้ในการดึงลอก โดยใช้ความเร็วของหัวจับเท่ากับ 300 mm/min



รูปที่ 2.18 การทดสอบแบบการดึงลอกในแนว180° และลักษณะตัวอย่างเทปกาวที่ติดอยู่กับเครื่อง tensile testing (มาตรฐาน ASTM D3330/D3330 M-04)

2. การดึงลอกในแนว 90°

สำหรับการวัดการดึงลอกออกในแนว 90° นี้ได้รับความนิยมน้อยกว่าการดึงลอกในแนว 180° เนื่องจากมีความยุ่งยากในการเตรียมอุปกรณ์ที่ต้องมีลักษณะพิเศษ สำหรับการทดสอบนี้ต้องใช้เครื่อง tensile testing ต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่บริเวณฐานรองสามารถเคลื่อนที่ได้ได้อย่างเป็นอิสระ บริเวณแท่นรองเป็นพื้นผิวที่เราต้องการนำไปใช้งาน เมื่อติดเทปกาวบนพื้นผิวที่ต้องการทดสอบแล้ว ปลายด้านหนึ่งถูกจับด้วยหัวจับของเครื่อง tensile ส่วนอีกด้านติดอยู่กับพื้นผิว และเมื่อเดินเครื่องเทปกาวถูกดึงลอกในแนว 90° ดังรูปที่ 2.19 เห็นได้ว่าการทำงานค่อนข้างยุ่งยากจึงทำให้ได้รับความนิยมน้อยกว่าการดึงลอกแบบ 180°



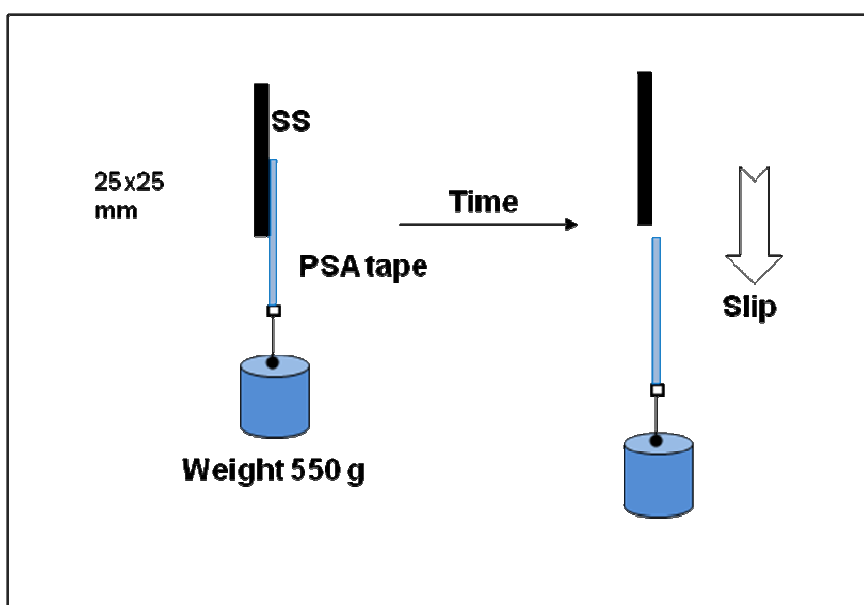
รูปที่ 2.19 การทดสอบการดึงลอกในแนว 90° (มาตรฐาน ASTM D6252/D6252 M-98 2004, Volum: 15.09)

การทดสอบคุณสมบัติการดึงลอก เป็นการดึงลอกเทปกาวออกจากแผ่นที่ใช้ทดสอบ (ปกติใช้เป็นแผ่นเหล็ก หรือแก้ว) การทดสอบนี้ใช้เครื่อง tensile testing ที่มีการให้อัตราในการดึงลอกเทปกาวและอุณหภูมิคงที่ โดยที่ก่อนการทดสอบแผ่นที่ใช้ทดสอบนั้นต้องมีการทำความสะอาดก่อน เพื่อให้แรงที่ใช้ลอกเทปกาวออกนั้นเป็นความแข็งแรงของพันธะระหว่างเทปกาวกับพื้นผิวเท่านั้น การวัดคุณสมบัติการดึงลอกของเทปกาวนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

และอัตราการดึงลอกเทปกาว พบว่าการวัดคุณสมบัติการดึงลอกที่เปลี่ยนแปลงอัตราการดึงเป็นฟังก์ชันกับคุณสมบัติวิสโคอิลาสติก สำหรับอัตราการดึงที่เปลี่ยนไปนั้นทำให้มีการตอบสนองกับคุณสมบัติวิสโคอิลาสติกเปลี่ยนไปตามอัตราการดึงและอุณหภูมิ การศึกษาคุณสมบัติการดึงลอกของเทปกาวนี้แสดงพฤติกรรมความเหนียว (viscous) ยืดหยุ่น (rubbery) แข็งคล้ายแก้ว (glassy) เมื่อให้อัตราการดึงที่ต่างกัน

2.5.6.5 การทดสอบสมบัติการติดในแนวแรงเฉือน

การทดสอบสมบัติการติดในแนวแรงเฉือนของเทปกาว PSA หรือการทดสอบแบบ shear holding power โดยทำการแขวนน้ำหนัก 550 g ไว้บนเทปกาวซึ่งมีขนาด (1 x 1 inch) ที่ติดอยู่บนแผ่นเหล็ก ดังรูปที่ 2.20 จับเวลาจนกว่าเทปกาวเริ่มเลื่อนไหลจนหลุดออกจากแผ่นเหล็ก (โดยที่ควบคุมอุณหภูมิ) การทดสอบส่วนใหญ่ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง หรือที่ 40°C การทดสอบนี้ใช้ตาม PSTC-7



รูปที่ 2.20 การทดสอบแบบ shear holding power

2.6 การดัดแปรยางธรรมชาติ

(ประมวล, 2545)

ก่อนปี พ.ศ. 2513 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ทางการค้าส่วนใหญ่เป็นการเปลี่ยนมอนอเมอร์ที่มีอยู่แล้ว แต่ช่วง 50 ปีที่ผ่านมาได้มีการเปลี่ยนแปลงกล่าวคือ พอลิเมอร์หลายๆชนิดถูกเตรียมจากวิธีดัดแปรโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่มีอยู่แล้ว โดยทางเคมี (chemical trasformation) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว เนื่องมาจากการขาดแคลนพอลิเมอร์ชนิดใหม่ๆที่มาจากกระบวนการกลั่นแยกของน้ำมันดิบ ซึ่งยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบทางธรรมชาติชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานทางพาณิชย์มานานกว่า 100 ปี จึงได้มีความพยายามที่จะเปลี่ยนแปลงให้ยางธรรมชาติอยู่ในรูปแบบของวัตถุดิบที่ใช้ประโยชน์ได้สูงสุด ความสำเร็จในความพยายามดังกล่าวนี้วัดได้จากการยอมรับเชิงพาณิชย์ของยางธรรมชาติดัดแปรเป็นรูปแบบต่างๆ ได้แก่ ยางคลอรีเนต, ยางไซโคลซ์ และยางอีพอกไซต์ อย่างไรก็ตามปัจจุบันการใช้ยางเหล่านี้น้อยลงมากเนื่องจากได้มีวัตถุดิบสังเคราะห์อื่นที่ได้เปรียบกว่ามาแทนที่

1. ยางคลอรีเนต (chlorinated rubber) การเตรียมยางคลอรีเนต ทำโดยการตัดยางชิ้นเล็กๆขนาดที่เหมาะสมผสมเข้ากับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ และ depolymerising agent หรือเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) เล็กน้อย ควบคุมปริมาณเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์และเวลาการทำปฏิกิริยา เมื่อได้สารละลายที่มีความหนืดตามต้องการ จากนั้นจึงเติมสารที่ช่วยยางมีความเสถียร และฟอสฟอรัสละลายเป็นฝอยลงใน chlorinating tower ที่ปล่อยคลอรีนเข้าทางส่วนล่าง กรดไฮโดรคลอริกจะถูกแยกออกที่ส่วนบนของ chlorinating tower และยางคลอรีเนตที่อยู่ในรูปสารละลายจะถูกเก็บจากส่วนล่างของ chlorinating tower ทำการแยกคลอรีนที่เหลือโดยต้อบสูญญากาศเพื่อให้เกิด “degassing” แล้วฟอสฟอรัสละลายไปที่ไอน้ำเพื่อให้คาร์บอนเตตระคลอไรด์ระเหยรวดเร็ว นำส่วนผสมของไอน้ำกับตัวละลายที่ระเหยได้ไปกลั่นแยกตัวทำละลายออกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ยางคลอรีเนตตกลงที่ส่วนล่างของภาชนะในรูปของเส้นใยร่วมเปียก (loose, wet fibrous mass) ซึ่งจะถูกล้าง บั่น และทำให้แห้ง จากนั้นจึงบดให้เป็นผงใน ball mill การใช้ประโยชน์ยางคลอรีเนต ได้แก่ การใช้งาน กาว ตัวเชื่อมประสาน (bonding agent) และส่วนใหญ่ใช้เป็นสารเคลือบผิว (surface coating)

2. ยางไซโคลซ์ (cyclised rubber) ยางไซโคลซ์ คือยางที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นวง (ring-like structure) วิธีการเตรียมยางไซโคลซ์มีหลายวิธี เช่น การให้ความร้อนกับยางในสภาวะที่มีกรดเป็นสารตัวเร่ง (catalyst) การแยกแฮโลเจนออกจาก halogenated rubber และการให้ยางทำปฏิกิริยาร่วมกับ amphoteric metal halides ในปี พ.ศ. 2495-2499 ได้มีการผลิตยางไซโคลซ์เชิงพาณิชย์ โดยการทำให้หน้ายางสดเป็นกรดและไม่จับตัวในสภาวะการเติมแคทไอออนิก จากนั้นจึงเติมกรดซัลฟูริกเพื่อให้ยางจับตัว ในอดีตใช้ยางไซโคลซ์ในการผลิตพื้นรองเท้า ยางนี้มีลักษณะและสมบัติคล้าย high styrene SBR ซึ่งความแข็งและทนการสึกหรอ

ได้ดี อย่างไรก็ตามยางไซโคลซ์ได้ถูกแทนที่โดย resin rubber อื่นๆ เนื่องจากแข่งขันเรื่องราคาไม่ได้ เพราะการผลิตยางไซโคลซ์ต้องใช้กรดซัลฟูริกปริมาณมาก และต้องใช้ต้นทุนการใช้สารที่ช่วยให้ยางเสถียรสูง

3. ยางไฮโดรจิเนต (hydrogenated rubber) การดัดแปลงโมเลกุลยางธรรมชาติ โดยปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันที่ไม่ทำให้ยางเกิดเสื่อมคุณภาพได้มีมานานแล้ว ซึ่งวิธีการสำคัญของปฏิกิริยาคือ ใช้ निकเกิลเป็นตัวเร่งที่อุณหภูมิ 170-195°C ใช้ไฮโดรเจนที่มีความดัน 15-20 atm และยางในรูปของสารละลาย 2% ในไซโคลเฮกเซน ซึ่งยางไฮโดรจิเนตที่ได้ไม่มีสี โปร่งแสง คล้ายขี้ผึ้ง อย่างไรก็ตามยางชนิดนี้ส่วนใหญ่อยู่ในความสนใจของนักวิจัย แต่ยังไม่ค่อยมีความสำคัญในเชิงพาณิชย์

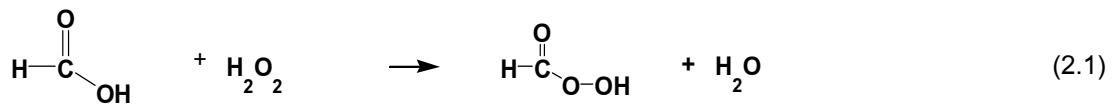
4. ยางอีพอกไซด์ (epoxide rubber) การดัดแปลงโมเลกุลยางธรรมชาติ โดยปฏิกิริยานี้ เป็นการทำให้เกิดหมู่ออกไซด์บนสายไซโมเลกุลของยาง การที่ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) มีหมู่ออกไซด์ทำให้มีความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปเตรียมเป็นฟิล์มจึงมี T_g สูงขึ้น ก๊าซผ่านได้น้อยลง และทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์ได้มากขึ้น โดยยังคงสมบัติอื่นๆของยางธรรมชาติ เช่น มีความสามารถเกิดโครงสร้างผลึก (crystallinity) เมื่อนำไปดึงยืด เป็นต้น

2.6.1 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ สามารถสังเคราะห์โดยการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของโมเลกุลยางธรรมชาติเพื่อให้เกิดหมู่ออกไซด์ หรือ ออกซิเรน ในตำแหน่งพันธะคู่ของยางธรรมชาติ การมีพันธะคู่ในโครงสร้างของยางธรรมชาติซึ่งไม่ทนต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี จึงเป็นที่สนใจที่สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของยางธรรมชาติได้ เพื่อให้สามารถใช้ยางธรรมชาติได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น เช่น สามารถใช้ในงานที่ต้องการความทนทานต่อน้ำมัน และทนต่อตัวทำละลายหรือใช้ในงานที่ทนทานต่อการซึมผ่านของอากาศ รวมทั้งคุณสมบัติในการใช้งานด้านกาวเพื่อยึดติดยางที่มีขั้วกับยางที่ไม่มีขั้ว เป็นต้น ซึ่งการใช้งานดังกล่าวไม่สามารถใช้ยางธรรมชาติได้แต่ต้องใช้ยางสังเคราะห์ เช่น ยางไนไตรล์ (nitrile, NBR) และยางบิวไทล์ (butyl, IIR) เป็นต้น

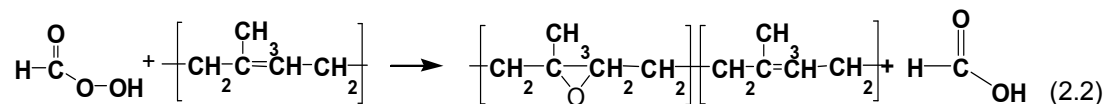
โดยทั่วไปปฏิกิริยาการอีพอกซิเดชันของยางธรรมชาติจะใช้กรดเปอร์ออกซิดิก หรือกรดเปอร์ฟอร์มิก ซึ่งอาจเตรียมเป็นกรดอะซิติกก่อน หรืออาจทำให้เกิดเป็นเปอร์เอซิด ในขณะที่ทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (in-situ) ก็ได้ การเกิดเปอร์เอซิดในขณะที่ทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันแสดงดังรูปที่ 2.21 โดยอัตราส่วนโดยมวลของเปอร์ฟอร์มิกกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นที่ยอมรับในช่วง 0.2-0.5 (Baker and Gelling, 1987) ในกรณีที่ใช้กรดอะซิติกต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น กรดซัลฟูริกหรือกรดซัลโฟนิกเพื่อช่วยให้เกิดเป็นเปอร์เอซิด ในลักษณะเดียวกันกับสมการที่ (2.1) ตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของกรดเปอร์ฟอร์มิก แสดงสมการที่

(2.2) ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดอย่างรวดเร็วแต่ต้องมีการควบคุมสภาวะการเกิดปฏิกิริยาอย่างระมัดระวัง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาการเปิดวงแหวนอีพอกไซด์ สามารถเกิดได้ 2 แบบ ซึ่งแสดงดังสมการที่ (2.3) และ (2.4) (รูปที่ 2.22) คือ แบบแรก (สมการที่ 3) เป็นการแตกอย่างง่ายของหมู่อีพอกไซด์ได้ไกลคอล (glycol) และไฮดรอกซีเอสเทอร์ สำหรับพอลิเมอร์ที่มีหมู่อีพอกไซด์อยู่ติดกัน เมื่อเกิดการเปิดวงแหวนอีพอกไซด์ได้ไซคลิกอีเทอร์ cyclic ether เป็นผลิตภัณฑ์หลัก สมการที่ (2.4)



Formic acid Hydrogen Peroxide

Performic acid

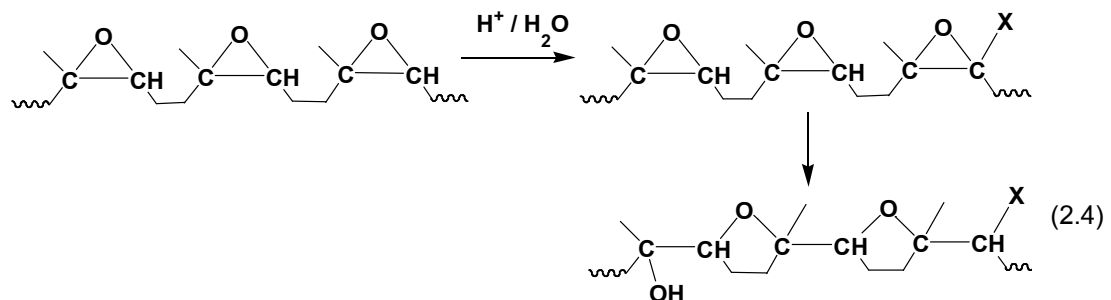
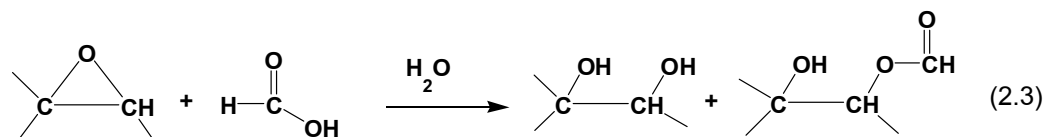


Performic acid Natural Rubber

Epoxidied Natural Rubber

Formic acid

รูปที่ 2.21 ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันโดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์



รูปที่ 2.22 ปฏิกิริยาการเปิดวงแหวนอีพอกไซด์ (Baker and Gelling, 1987)

ในงานวิจัยนี้เป็นการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์โดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิก ในขณะที่ทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน ขณะทำปฏิกิริยามีการควบคุมอย่างระมัดระวังเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเปิดวงแหวน น้ำยาที่นำมาใช้ต้องทำให้มีความเสถียรต่อกรดก่อนโดยการเติมสารช่วยเพิ่มความเสถียรที่ไม่มีประจุ (non-ionic surfactant) จากนั้นนำน้ำยาที่ได้ทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันที่อุณหภูมิ 50°C (วัชรินทร์, 2545) จากนั้นนำน้ำยาอีพอกไซด์ที่ได้มาจับตัวด้วยเมทานอล (methanol) ล้างน้ำ อบแห้งด้วยอากาศร้อน ปัจจุบันยางอีพอกไซด์ที่ผลิตทางการค้ามีสองชนิด คือ ENR-25 และ ENR-50 ซึ่งมีปริมาณหมู่อีพอกไซด์เท่ากับ 25 และ 50 %mole epoxide ตามลำดับ

2.6.2 สมบัติของยางธรรมชาติอีพอกไซด์

1. ความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) และความสามารถในการละลาย ENR-25 และ ENR-50 มีความหนืดมูนนี่อยู่ในช่วง 70-90 หน่วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องบด (pre-masticate) ก่อนที่จะนำไปผสมสารเคมีต่างๆ นอกจากนี้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีความเป็นขี้เพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์ ส่วนความสามารถในการละลายของยางธรรมชาติอีพอกไซด์จะขึ้นอยู่กับระดับการเกิดอีพอกซิเดชันและชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งยางธรรมชาติสามารถละลายได้ดีขึ้นเมื่อมีการบดก่อน ตัวทำละลายที่เหมาะสมได้แก่ โทลูอีน คลอโรฟอร์ม และเตตระไฮโดรฟูราน

2. การเกิดผลึกเมื่อยืด (strain induce crystallization) จากการศึกษายางธรรมชาติอีพอกไซด์วัลคาไนซ์ที่ไม่มีสารตัวเติมด้วย X-ray diffraction พบว่ายางชนิดนี้สามารถเกิดผลึกได้เมื่อยืด (Daavie et al., 1983) ซึ่งสามารถเห็นการเกิดผลึกได้ชัดเจน และพบว่าปริมาณการเกิดผลึกของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในขณะยืดออก 400% ลดลงเมื่อปริมาณหมู่อีพอกไซด์ในโมเลกุลยางเพิ่มขึ้น

3. ความทนทานต่อน้ำมัน (oil resistance) สภาพความเป็นขี้ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์เพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ความต้านทานต่อน้ำมัน และตัวทำละลายเปลี่ยนแปลงไป ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีระดับของการอีพอกซิเดชันสูงเป็นวัสดุที่ทนทานต่อสารไฮโดรคาร์บอนแต่ความทนทานต่อตัวทำละลายที่มีขี้ลดลง

4. ฮีสเทอรีซิส (hysteresis) ค่าความกระด้างตัวของ ENR-25 และ ENR-50 ซึ่งค่าความกระด้างตัวของยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีค่าต่ำกว่าค่าความกระด้างของยางธรรมชาติเมื่อระดับการเกิดอีพอกซิเดชันเพิ่มขึ้น ค่าความกระด้างตัวลดลง กล่าวคือ ยางธรรมชาติอีพอกไซด์สามารถดูดกลืนพลังงานได้สูงกว่ายางธรรมชาติ นอกจากนั้นค่าความกระด้างตัวของยางธรรมชาติและยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีลักษณะที่เหมือนกัน กล่าวคือที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับค่า

อุณหภูมิคล้ายแกวอย่างมีค่าความกระตังตัวสูง จากนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความกระตังตัวสูงลดลงจนถึงจุดต่ำสุด หลังจากนั้นค่าความกระตังตัวเพิ่มสูงขึ้น

5. การเหนียวติดกัน (tack) เมื่อระดับของการเกิดออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการเหนียวติดกันของยางธรรมชาติพอกไซค์กับพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว เช่น ยางธรรมชาติหรือยางเอสบีอาร์ลดลง แต่ยางธรรมชาติพอกไซค์สามารถยึดติดกับพอลิเมอร์ที่มีขั้วได้ดี

2.7 การตรวจสอบเอกสาร

Sakdapipanich J.T., 2001 ได้ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างของยางอนุภาคขนาดเล็ก ที่อยู่ในชั้นเซรัม และยางที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ จากส่วนคริม ในยางธรรมชาติ (*Hevea latex*) โดยกระบวนการปั่นแยกด้วยความเร็วสูงหรือ centrifugation เพื่อแยกส่วนประกอบต่างๆในน้ำยางออกจากกัน จากนั้นนำไปศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ เช่น การกระจายตัวของขนาดอนุภาคยาง ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณกรดไขมันเอสเทอร์ ปริมาณเจล น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล เป็นต้น ซึ่งพบว่ายางอนุภาคขนาดเล็ก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 0.13 μm และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลเป็นแบบ unimodal ซึ่งสันนิษฐานว่ามีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบเชิงเส้น หรือ แบบ linear molecules และไม่พบฟอสโฟลิปิด ที่ปลายสายโซ่ของโมเลกุล

Bristow G.M., 1990 ศึกษาองค์ประกอบและการแสดงคุณสมบัติการเร่งสุก (cure) ของยางสกีมบล็อก โดยการศึกษาพฤติการณ์การเร่งสุกและการทนต่อการเสื่อมสภาพ จากตัวอย่างของยางสกีมบล็อก จำนวน 8 ตัวอย่าง จากหลายๆที่ ซึ่งมีสมบัติที่แตกต่างกัน อย่างเช่น ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณกำมะถัน และสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ปริมาณที่สูงของโปรตีนที่มีอยู่ในยางสกีมนั้นเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการแสดงคุณสมบัติการเร่งสุกของยางสกีมเป็นอย่างมาก โดยพบว่ายางสกีมให้ค่ามอดูลัสที่สูงกว่ายาง DPNR SMR 20 และ SMR L เนื่องจากยางสกีมมีปริมาณไนโตรเจนที่สูงกว่า อย่างไรก็ตามการเพิ่มกรดไขมันในยางสกีมก็ไม่ได้ส่งผลต่อสมบัติการเร่งสุกของยางสกีมแต่อย่างใด และการที่ยางสกีมสามารถให้ค่ามอดูลัสที่สูงนี้ จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยการนำไปผสมกับยางธรรมชาติได้ถึง 20 phr โดยไม่ทำให้สมบัติการทนต่อการเกิดออกซิเดชัน หรือการทนต่อการเสื่อมสภาพลดลง และไม่ทำให้สมบัติการเร่งสุก เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ถึงแม้ว่าในยางสกีมมีปริมาณโลหะหนักของคอปเปอร์ที่สูงกว่ายางธรรมชาติก็ตาม

Nithi-Uthai B. et al.1998 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเสถียรภาพของน้ำยางสีกิมเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลานานๆ พบว่าน้ำยางสีกิมที่เก็บไว้เป็นระยะเวลานานไม่สามารถจับตัวได้ด้วยการเติมกรดอย่างเดี่ยว และได้หาแนวทางในการแก้ปัญหาหน้าด้วยการเติมสารเคมี สารลดแรงตึงผิวต่างๆ รวมทั้งสารจำพวกพอลิอเล็กโทรไลต์ เพื่อใช้จับตัวยางสีกิมเก่าเก็บนี้ร่วมกับกรด โดยได้พบว่ากระบวนการกำจัดโปรตีนโดยใช้เอ็นไซม์ สามารถทำให้น้ำยางสีกิมเก่าเก็บสามารถจับตัวได้ด้วยกรด

Dunlop Rubber Co.,Ltd., 1953 ได้ทำการประดิษฐ์กรรมวิธีในการรวบรวมยางสีกิมจากทางน้ำยาง โดยการทำให้เกิดการย่อยสลายของน้ำยางสีกิมด้วยแบคทีเรียไซด์ (bacterisides) โดยใช้ 0.1% trypsin ที่อุณหภูมิ 28°C เป็นระยะเวลา 12 h จากนั้นทำการจับตัวยางสีกิมด้วยกรดฟอร์มิก น้ำยางสีกิมก่อนที่ได้จากการจับตัวมาล้างและรีดให้เป็นแผ่น ได้ยางสีกิมที่มีสีคล้ายกับยางเครปทั่วไป และมีค่าไนโตรเจนประมาณ 0.42% วิธีนี้สามารถทำให้ประสิทธิภาพในการรวบรวมยางสีกิมได้ถึง 99% จากยางสีกิมทั้งหมด

The Firestone Tire & Rubber Company, 1995 ได้ประดิษฐ์สิทธิบัตรกรรมวิธีการผลิตยางสีกิมเกรดสูงจากกระบวนการครีมน้ำยางสีกิม จากนั้นน้ำยางสีกิมถูกนำมาทำการจับตัวและรีด แล้วจึงนำไปทำปฏิกิริยาด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2.75% (w/v) เป็นระยะเวลา 20 h ยางสีกิมที่ได้จากกระบวนการนี้ถูกนำมาล้างทำความสะอาด ก่อนทำการอบและอัดก้อนต่อไป จากการทดสอบยางสีกิมจากกรรมวิธีดังกล่าวพบว่า มีปริมาณไนโตรเจนลดลงจาก 1.98% เป็น 0.24% และมีปริมาณของส่วนที่ละลายน้ำได้ลดลงจาก 2.34% เป็น 0.63% นอกจากนี้สมบัติของยางคอมพาวด์ของยางสีกิมที่ได้ยังใกล้เคียงกับยางธรรมชาติเกรดสูง

Rungvichaniwat A. et al., 1998 ศึกษาปริมาณไนโตรเจนและสีของยางสีกิมบริสุทธิ์ จากกระบวนการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันจากน้ำยางสีกิมและยางสีกิมก่อนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่ากระบวนการแช่ยางสีกิมก่อนเปียกที่ได้หลังจากการจับตัวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณไนโตรเจนดีกว่าการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน ในน้ำยางสีกิมที่ภาวะในการทำปฏิกิริยาเดียวกัน และพบว่าสภาวะที่ในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุดคือ ที่ความเข้มข้น 3% (w/v) ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้เวลา 24 h ที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้การเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันในน้ำยางสีกิมมีผลอย่างยิ่งต่อการลดปริมาณไนโตรเจน แต่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเรื่องสีของยางสีกิมที่บริสุทธิ์ ซึ่งให้ค่าดัชนีของสีในช่วง 3-5 Lovibond

Jayachandran K. et al., 1998 ศึกษากระบวนการจับตัวของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินด้วยวิธีการเพาะเชื้อในน้ำเลี้ยงสาหร่ายที่ได้จากกระบวนการปั่นแยกน้ำเลี้ยง ด้วย *Acinetobacter sp* โดยเจือจางน้ำเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำในอัตราส่วน 1:10 (v/v) จากนั้นนำเชื้อมาเพาะในปริมาณ 6.4 mg dry cell/ml ที่อุณหภูมิ 28°C พบว่าด้วยเทคนิคนี้ทำให้ได้ปริมาณยางแห้งหลังการจับตัวประมาณ 8% DRC และน้ำทิ้งที่เหลือจากกระบวนการจับตัวมีค่า COD ประมาณ 0.4 µg/L อย่างไรก็ตามพบว่า การจับตัวของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินด้วยกระบวนการทางเคมีอื่นๆ ทำให้ได้ปริมาณยางแห้งหลังการจับตัวประมาณ 7% DRC และน้ำทิ้งที่เหลือจากกระบวนการจับตัวมีค่า COD ประมาณ 2.2 µg/L

Tanaka Y. et al., 2000 ทำการประดิษฐ์สิทธิบัตร กรรมวิธีการผลิตอนุภาคยางธรรมชาติจากน้ำเลี้ยงสาหร่าย โดยการเติมเกลืออนินทรีย์ลงในน้ำเลี้ยงสาหร่ายจนทำให้เกิดการแยกชั้นของอนุภาคน้ำเลี้ยงในเซรัม เกลืออนินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาคือ โซเดียมคาร์บอเนต ไดแอมโมเนียม ไฮโดรเจนฟอสเฟต โซเดียมซัลเฟต โพแทสเซียมคาร์บอเนต โซเดียมคลอไรด์ แอมโมเนียมซัลเฟต เป็นต้น ซึ่งแบ่งการศึกษาการแยกเฟสออกเป็น 3 กรณี คือ 1) ศึกษาการแยกเฟสของอนุภาคน้ำเลี้ยงสาหร่ายที่ได้จากเซรัมของน้ำเลี้ยงชั้นที่มีแอมโมเนียสูงโดยการเติมเกลืออนินทรีย์ 2) ศึกษาการแยกเฟสของน้ำเลี้ยงสาหร่ายที่ได้จากน้ำเลี้ยงที่ทำการกำจัดโปรตีน (deprotienization) โดยการเติมเกลืออนินทรีย์ และ เอ็นไซม์โปรตีเอส (protease enzyme) 0.04% (w/v) 3) ศึกษาการแยกเฟสของน้ำเลี้ยงสาหร่ายที่ได้จากน้ำเลี้ยงที่ทำการกำจัดโปรตีน โดยการเติมเกลืออนินทรีย์ จากการศึกษาพบว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคยางสาหร่ายเพิ่มขึ้น เมื่อทำปฏิกิริยาเป็นระยะเวลา 24 h ปริมาณค่าไนโตรเจนของยางสาหร่ายที่ผ่านการทำการกำจัดโปรตีนแล้วมีค่าประมาณ 0.017-0.019%

Tangpakdee J. et al., 1997 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและโครงสร้างของยางธรรมชาติหลังจากผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีนโดยใช้เอ็นไซม์ ปฏิกิริยาการเปลี่ยนหมู่ของกรดไขมันให้เป็นหมู่เอสเตอร์ด้วยโซเดียมเมทาโรกไซด์ และการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่าการใช้เอ็นไซม์ในปฏิกิริยาการกำจัดโปรตีน ทำลายเฉพาะพันธะการเชื่อมโยงของโปรตีน ส่วนการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (transesterification) ทำลายพันธะการเชื่อมโยงของฟอสโฟลิปิดเอสเตอร์ (phospholipid ester) และผลที่ได้คือ โมเลกุลที่เป็นเชิงเส้น (linear molecules) อย่างไรก็ตามพบว่า การทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันสามารถกำจัดได้ทั้งส่วนที่เป็นโปรตีนและฟอสโฟลิปิด ซึ่งทำให้ได้โมเลกุลที่เป็นเชิงเส้นในที่สุด นั่นคือ สามารถลดปริมาณการเกิดเจล และลดน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ย โดยใช้ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันและปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน เพื่อกำจัดการเชื่อมโยงที่สันนิษฐานว่าเกิดมาจากการเกิดจุดเชื่อมโยงด้วยฟอสโฟลิปิด

Jin Kon Kim, et al., 2000 ศึกษาคุณสมบัติการดึงลอก และการยึดติด ของสารผสมระหว่าง พอลิสไตรีน-พอลิบิวตะไดอิน-พอลิสไตรีน (polystyrene-polybutadiene-polystyrene, SBS) กับ แทคทีไฟเออร์ หลังจากทำการเชื่อมขวาง (crosslinking) โดยการฉายรังสียูวี (UV) ลงไป โดยมีการปรับเปลี่ยนปริมาณของเบนโซฟีโนน (benzophenone, BP) ซึ่งทำหน้าที่เป็นโฟโตอินิทีเอชัน (photoinitiation) และ ไตรเมททิวโพร พลีน เมอร์แคปโทโพรพิโอเนท (trimethylpropane mercaptopropionate, TRIS) ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวาง (crosslinking agent) ปริมาณการเกิดการเชื่อมขวาง ของ พอลิบิวตะไดอิน (polybutadiene block, PB) ในสารผสม พอลิสไตรีน-พอลิบิวตะไดอิน-พอลิสไตรีน (polystyrene-polybutadiene-polystyrene, SBS) นั้นสามารถดูได้จากปริมาณการเกิดเจล ซึ่งเท่ากับดูการเปลี่ยนแปลงของค่า T_g ของ PB block จากการทดลองพบว่าระยะเวลาของการเกิดการเชื่อมขวาง นั้นใช้เวลาไม่เกิน 3 min ภายหลังจากเริ่มทำการฉายรังสี UV และพบว่าแรงที่ใช้ในการดึงลอกชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมขวางแล้วนั้นมีค่าลดลง 45% เมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ยังไม่ได้ผ่านการฉายรังสี UV ซึ่งแสดงว่าคุณสมบัติการเหนียวติดกัน และคุณสมบัติการดึงลอก นั้นมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติวิสกอลาสติกของเทปกาว PSA เมื่อเราทำการฉายรังสีเข้าไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการยึดติดอย่างรวดเร็ว โดยเห็นว่าอะคริลิกโพลิเมอร์ (acrylic polymer) ที่มีหมู่เมทาไครเลท (methacrylate) เกาะอยู่สามารถเกิดการเชื่อมขวางได้โดยการฉายรังสี UV เข้าไป

Dae Jun Kim, et al., 2005 ศึกษาผลของพื้นผิวต่างๆ และผลของแทคทีไฟเออร์ ในการทดสอบคุณสมบัติการดึงลอกของ สไตรีน-บิวตะไดอิน-สไตรีน (styrene-Butadiene-Styrene, SIS) ที่ใช้ทำ hot melt pressure sensitive adhesive (HMPSAs) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะของพื้นผิวและลักษณะของแทคทีไฟเออร์ที่ผสมในสไตรีนที่ใช้ในการผลิต HMPSAs โดยพื้นผิวที่ใช้ศึกษานั้นได้แก่ SUS (stainless steel) PE PP PVC bakelite teflon glass พื้นผิวที่ใช้ศึกษาแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ high medium และ low peel ซึ่งแบ่งตาม surface tension ของพื้นผิวแต่ละชนิด อีกทั้งยังใช้ SIS 2 ชนิดที่มีปริมาณสไตรีนต่างกัน ชนิดแรกมี สไตรีน 15% โดยน้ำหนัก ชนิดที่สองมี สไตรีน 18% โดยน้ำหนัก และยังมีมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณชนิดของแทคทีไฟเออร์ที่ใช้อีกด้วย ซึ่งแทคทีไฟเออร์ แต่ละชนิดนั้นมีจุดอ่อนตัว (softening point, SP) ที่แตกต่างกันนอกจากนี้ในการเตรียม HMPSAs ก็ยังมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสไตรีน-บิวตะไดอิน-สไตรีน (SIS) ต่อแทคทีไฟเออร์ เป็น 30/70, 40/60, 50/50 และ 60/40 โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองพบว่าแทคทีไฟเออร์ ที่มี SP สูงกว่าใช้ปริมาณแทคทีไฟเออร์ที่น้อยกว่าแทคทีไฟเออร์ที่มี SP ต่ำกว่า สไตรีน-บิวตะไดอิน-สไตรีน (SIS) ที่มีปริมาณสไตรีนสูงกว่าเมื่อผสมกับแทคทีไฟเออร์ ที่มี SP สูง ทำให้มีมอดุลัสสะสม (storage modulus) ที่สูงกว่า สไตรีน-บิวตะไดอิน-สไตรีน (SIS) ที่มีปริมาณสไตรีนต่ำกว่า

Tyczkoeski J. et al., 2003 ศึกษาและทำการปรับปรุงพื้นผิวของ ยางสไตรีน บิวตะไดอีน (styrene-butadiene rubber) ด้วยวิธีการพลาสมา คอไลเนชัน (plasma chlorination) โดยการทำคอไลเนชัน (chlorination) ด้วยสารฮาโลจิเนชัน (halogenation agent) ในสารละลายอินทรีย์ เป็นวิธีทั่วไปในการปรับปรุงพื้นผิวสำหรับ ยางสไตรีน บิวตะไดอีน (styrene-butadiene rubber) เพื่อปรับปรุงการติดกับกาวพอลิยูรีเทน (polyurethane adhesive) ได้มีการทดลองใช้เทคนิคพลาสมาแทนการทำให้เปียกด้วยสารเคมี โดยที่ ยางสไตรีน-บิวตะไดอีน (styrene-butadiene rubber) ได้รับการรมด้วยบรรยากาศพลาสมา ที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาในของผสมสูตรต่างๆ ซึ่งมีส่วนผสมของคลอรีนประมาณครึ่งหนึ่ง โดยการใช้คลอรีนเป็นพีรีเคอร์เซอร์ ได้แก่ ไตรคลอโรมีเทน (trichloromethane, CHCl_3) เตตระคลอโรมีเทน (tetrachloromethane, CCl_4) และก๊าซคลอรีน (Cl_2) ส่วนประกอบต่างๆ ถูกผสมเข้าด้วยกันในรูปแบบบริสุทธิ์ หรือผสมด้วยก๊าซอาร์กอนบริสุทธิ์ หรือก๊าซออกซิเจน โดยมีการทดสอบก๊าซอาร์กอนและอากาศ กระบวนการนี้ทำทั้งใน RF (13.56 MHz) และ AF (20 kHz) glow discharge, utilizing electrode reactor ซึ่งทำงานที่ความดันต่ำ มีการทดสอบ FTIR spectroscopy การวัด contact angle และ T-peel test (ก่อนและหลังการทำพลาสมา ทรีทเมนต์) เพื่อใช้ในการบอกลักษณะของพื้นผิวอีลาสโตเมอร์ ผลการทดสอบพบว่า คุณสมบัติการดึงลอก (peel) ของผิวหนังยางที่ถูกปรับปรุงสูงกว่าการทำคอไลเนชันประมาณ 56% และ มีค่าสูงกว่า 2 ถึง 3 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวหน้า

อรสาและคณะ 2544 ได้ทำการศึกษาการใส่แทคติไฟเออร์ซินิด วูดโรซิน (wood rosin) ในรูปอิมัลชันลงในน้ำยางธรรมชาติ เมื่อเก็บกาวที่ใช้วูดโรซินเป็นแทคติไฟเออร์เป็นเวลานานมีผลทำให้ค่า pH ลดลง และค่าความหนืดเพิ่มขึ้นแต่สามารถเก็บไว้ได้นานมากกว่า 4 เดือน ทุกสูตร กาวสามารถวัลคาไนซ์ได้ที่อุณหภูมิห้อง โดยจะใช้เวลาเพิ่มขึ้นตามปริมาณวูดโรซินที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอยู่ในช่วง 40-70 min นอกจากนั้น กาวที่เตรียมได้มีความทนทานต่อน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณวูดโรซิน โดยมีความทนต่อน้ำสูงมากกว่า 60 วัน

บทที่ 3 วิธีการวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1 น้ำยางสกิม

น้ำยางสกิมที่ใช้ในการศึกษาวิจัยกระบวนการจับตัวและรวบรวมเนือยางสกิม เป็นส่วนที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัททดลองอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นจำกัด (Chalong Latex Industry Co., Ltd.) อ.จะนะ จ.สงขลา

3.1.2 สารเคมีสำหรับการจับตัวและรวบรวมเนือยางสกิม

วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการจับตัวและรวบรวมเนือยางสกิม

Chemical	Supplier	Grade
Sodium chloride	BDH	A <input type="checkbox"/>
Calcium chloride	BDH	A <input type="checkbox"/>
Magnesium chloride	BDH	A <input type="checkbox"/>
Ammonium sulfate	BDH	A <input type="checkbox"/>
Hydrochloric acid	Lab Scan	A <input type="checkbox"/>
Formic acid	Lab Scan	A <input type="checkbox"/>
Polymethylacrylic ester (Accofloc [®] C480 , strong cationic)	MT Aquapolymer	Commercial
Sodium acrylate-acrylamide copolymer (Waterfloc [®] WF4398, medium anionic)	SNF Floerger	Commercial
Sodium acrylate-acrylamide copolymer (Aronfloc [®] A130, medium anionic)	MT Aquapolymer	Commercial

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) สารเคมีที่ใช้ในการจับตัวและรวบรวมเนื้อเยื่ออย่างสุกิม

Chemical	Supplier	Grade
Sodium acrylate-acrylamide copolymer (Aronfloc [®] A125S, medium anionic)	MT Aquapolymer	Commercial
Maxfloc [®] (cationic polymer)	TCE Co., Ltd.	Commercial

3.1.3 สารเคมีสำหรับใช้ในการเตรียมยางสุกิม LPSR

วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยดังแสดงตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สารเคมีสำหรับใช้ในการเตรียมยางสุกิม LPSR □

Chemical	Supplier	Grade
Sodium hydroxide	Lab Scan	A □
Formic acid	Lab Scan	A □
Tetrahydrofuran	Lab Scan	A □
2,6-di-t-butyl-4-methylphenol, (BHT)	Nocrac	Commercial
4,4'-thio bis(6-tert-butyl-3-methylphenol), (TBMTBP)	Nocrac	Commercial
2,2'-methylene bis(4-ethyl-6-tert- butylphenol), (MBETB)	Nocrac	Commercial

3.1.4 สารเคมีสำหรับใช้ในการเตรียมกาว PSA

วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยดังแสดงตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สารเคมีสำหรับใช้ในการเตรียมกาว PSA

Chemical	Supplier	Grade
Poly(vinyl alcohol)	TCE Co., Ltd.	Commercial
Hydrocarbon resin, (Escorze 1000)	Exxole mobile	Commercial
2,6-di-t-butyl-4-methylphenol, (BHT)	Nocrac	Commercial
Toluene	Lab Scan	A□
Methanol	Lab Scan	A□
Hydrogen Peroxide	Merck	A□(33%)
Formic acid	Lab Scan	A□(99%)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองดังแสดงตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาทดลอง

Instrument	Supplier/Trade mark
Applicator , stainless steel	Tester Sangyo SA-201
Brookfield viscometer (□VDV-II+)	Scientific Promotion Co., Ltd.
Color Scale Determination	Lovibond Comparator 2000 Plus
Contact angle	DATA Physics
Creep tester	Bunluesak Supply Limited
Differential scanning calorimeter (DSC-7)	Perkin Elmer
Dynamic mechanical analyzer (DMTA-V)	□heometric Scientific Co., Ltd.
FT-I□spectrophotometer	JASCO: FT-I□SA 450
High speed refrigerated centrifuge	Hitachi: C□22G
Homogenizer	N&Y Co., Ltd

ตารางที่ 3.4(ต่อ) อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาทดลอง

Instrument	Supplier/Trade mark
Hot compress	Home-made machine
Gel permeation chromatography	JASCO: CO 1560
Mastersizer 2000 (version 3.01)	MALVE □N
Magnetic stirrer	IKA
Mechanical stirrer	IKA □W20
Mooney viscometer	Alpha Technologies Service Inc.
Nitrogen analyzer	LECO:FP528
NM □spectrophotometer	B □UCKE □ DTX 300
□olling ball tack tester	Jarung Artwork A □BT 01-45
Scanning electron microscope (JEOL, JSM5800LV)	JEOL
Tensile tester(LLOYD L □10K)	LLOYD Instrument
Two-roll Mill (6x15 inch)	Young Fong Machinery Co., LTD
Vacuum oven	EYELA:VOS 451-SD
Wallace plastimeter	Wallace Instrument

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพัฒนาและปรับปรุงสมบัติยางสกิม LPS □เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านกาวหรือสารยึดติดชนิดไวต่อแรงดัน โดยเริ่มจากกระบวนการจับตัวและรวบรวมเนื้อยางสกิม จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยาด้วยสารละลายเบสเพื่อกำจัดโปรตีนและองค์ประกอบอื่นๆที่ไม่ใช่ยางออกจากยางสกิม เพื่อให้ได้ยางสกิมที่มีปริมาณโปรตีนต่ำและมีสีสวย มีคุณภาพที่เหมาะสมในการนำไปเตรียมเป็นกาวหรือสารยึดติด รวมทั้งทำการปรับปรุงสมบัติของกาวหรือสารยึดติดชนิดไวต่อแรงดันให้มีสมบัติในการยึดติดให้ดียิ่งขึ้น

3.3.1 การจับตัวและการรวบรวมเนื้อเยื่ออย่างสกิม

การจับตัวและรวบรวมเนื้อเยื่ออย่างสกิมในงานวิจัยนี้เป็นวิธีการจับตัวแบบใหม่ แบ่งออกเป็น 2 วิธีโดยทำการศึกษาวิธีการจับตัวอย่างสกิมด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ และสารละลายเกลืออนินทรีย์ ซึ่งมีวิธีการเตรียมดังต่อไปนี้

3.3.1.1 การจับตัวอย่างสกิมด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์

เตรียมน้ำเยื่อสกิม (5%D \square C) ทำการปรับสภาพด้วยกรดฟอร์มิก (20%w/v) ให้อยู่ในช่วง pH 5.0-7.0 แล้วทำการศึกษาประสิทธิภาพในการจับตัวของสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ (0.2%w/v) ชนิดต่างๆ โดยแปรปริมาณความเข้มข้นที่ใช้ในการศึกษาในช่วง 0.02-0.10 g/L สภาวะในการศึกษาประสิทธิภาพในการจับตัว การเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคยางที่เพิ่มขึ้น และรวบรวมเนื้อเยื่ออย่างสกิมด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ ดังแสดงในตารางที่ 3.5 ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคยางสกิมด้วยเครื่องวัดขนาดการกระจายตัวของอนุภาค (particle size analyzer, Mastersizer 2000) และคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ในการรวบรวมเนื้อเยื่ออย่างสกิม

ตารางที่ 3.5 สภาวะในการจับตัวน้ำเยื่อสกิมด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์

Conditions	Amount	Note
Skim latex(3-5%D \square C)	1000 ml	Not over than 1 week
pH	5.0-7.0	by used 20%w/v Formic acid
Polyelectrolytes;		
0.2%w/v Accofloc C480	0.02-0.10 g/L	Cationic polymer
0.2%w/v Waterfloc WF4398		Anionic polymer
0.2%w/v Aronfloc A130		Anionic polymer
0.2%w/v Aronfloc A125S		Anionic polymer

การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ในการรวบรวมเนื้อเยื่ออย่างสกิม เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการจับตัวของสารจับตัวชนิดอื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจับตัวเนื้อเยื่ออย่างสกิมด้วยกรด มีวิธีการคำนวณตามสมการที่ (3.1) ดังนี้

$$\% \text{ Recovery} = (D_{C_2}/D_{C_1}) \times 100 \quad \text{สมการ (3.1)}$$

เมื่อ D_{C_1} คือ ปริมาณเนื้อยางแห้งที่จับตัวด้วยกรด

D_{C_2} คือ ปริมาณเนื้อยางแห้งที่จับตัวด้วยสารจับตัวชนิดอื่นๆ

3.3.1.2 การจับตัวของสกินด้วยสารละลายเกลืออนินทรีย์

เตรียมน้ำยางสกิน (ประมาณ 5%D_C) ทำการปรับสภาพด้วยกรดฟอร์มิก (20%w/v) ให้อยู่ในช่วง pH 5.0-7.0 แล้วทำการศึกษาประสิทธิภาพในการจับตัวของสารละลายเกลืออนินทรีย์ (20%w/v) ชนิดต่างๆ โดยแปรปริมาณความเข้มข้นที่ใช้ในการศึกษาในช่วง 2.0-10.0 g/L ศึกษาประสิทธิภาพในการจับตัว การเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคยางที่เพิ่มขึ้นและรวบรวมเนื้อยางสกินด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ ดังแสดงในตารางที่ 3.6 ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคยางสกินด้วยเครื่องวัดขนาดการกระจายตัวของอนุภาค และคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ในการรวบรวมเนื้อยางสกินตามสมการที่ 3.1

ตารางที่ 3.6 สภาวะในการจับตัวน้ำยางสกินด้วยสารละลายเกลืออนินทรีย์

Conditions	Amount	Note
Skim latex(3-5%D _C)	1000 ml	Not over than 1 week
pH	5.0-7.0	by used 20%w/v Formic acid
Inorganic salts;		
20%w/v NaCl	} 2.0-10.0 g/L	
20%w/v CaCl ₂		
20%w/v MgCl ₂		
20%w/v (NH ₄) ₂ SO ₄		

3.3.1.3 การรวบรวมและจับตัวเนื้อเยื่ออย่างสกิมในระดับอุตสาหกรรมด้วยสารจับตัวพอลิเมอร์ชนิดประจุบวก Maxfloc[®]

การจับตัวและรวบรวมเนื้อเยื่ออย่างสกิมในระดับอุตสาหกรรม ในงานวิจัยนี้เป็นวิธีการจับตัวแบบใหม่เพื่อทดแทนกระบวนการจับตัวแบบเดิม โดยทั่วไปนิยมใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นในการจับตัว ซึ่งส่งผลเสียต่อสมบัติของยางสกิมและกระบวนการบำบัดน้ำเสียเป็นอย่างมาก โดยทำการจับตัวยางสกิมด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ชนิดพอลิเมอร์ประจุบวก (Maxfloc[®] polymer) ซึ่งมีวิธีการเตรียมดังต่อไปนี้

1. เตรียมน้ำยางสกิม (DRC ca. 3-5%) ทำการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก (30%wt.HCl) ให้อยู่ในช่วง pH 5.5-6.0 แล้วทำการจับตัวด้วยสารละลาย 0.2%w/v Maxfloc[®] ปริมาณ 0.1-0.2 g/L ทำการกวนด้วยเครื่องกวนแบบสองใบพัดอย่างช้าๆ เป็นระยะเวลาประมาณครึ่งชั่วโมง จนกระทั่งอนุภาคเนื้อเยื่อสกิมมีขนาดใหญ่ขึ้น และรวมตัวจับกันเป็นก้อนขนาดใหญ่แยกตัวออกจากน้ำเซรัมได้อย่างชัดเจน จากนั้นทำการแยกเนื้อเยื่อสกิมออกจากน้ำเซรัม ลงสู่บ่อรวบรวมเนื้อเยื่อสกิมเพื่อรอกระบวนการผลิต

2. เนื้อเยื่อสกิมที่ได้จากกระบวนการจับตัวและรวบรวมไว้แล้ว เมื่อมีปริมาณมากเพียงพอจะถูกนำไปผลิตเป็นยางสกิมบล็อก (skim block rubber) โดยผ่านกระบวนการรีดและบดล้างด้วยเครื่องบดรีดแบบสองลูกกลิ้ง (crepper machine) จากนั้นจะถูกบดและล้างต่อด้วยเครื่องบดย่อย (shredder machine) เพื่อให้ได้ยางสกิมที่มีขนาดเป็นเม็ดเล็กๆ ก่อนผ่านกระบวนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100-110°C เป็นระยะเวลาประมาณ 4 h แล้วจึงทำการอัดก้อน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ

3.3.2 การเตรียมยางสกิม LPSR จากการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันยางสกิมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.3.2.1 ศึกษาอิทธิพลของสภาวะต่างๆในการทำปฏิกิริยา ที่มีต่อสมบัติยางสกิม LPSR

ทำการชั่งยางสกิมที่ผ่านการบดแล้วในหัวข้อที่ 3.3.2 (skim rubber crumb) 1.0 kg และแช่ลงในสารละลาย NaOH ปริมาตร 2.0 L โดยแปรปริมาณความเข้มข้นที่ 1-7%w/v NaOH ทำการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาและสภาวะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา โดยที่สภาวะอุณหภูมิ 50°C และ 70°C ใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 1-5 h และในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง ใช้ระยะเวลาของการทำปฏิกิริยา 12-72 h ดังในตารางที่ 3.7 เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการข้างต้นแล้วทำการล้างเพื่อกำจัด NaOH ที่ติดอยู่ด้วยน้ำสะอาด 3-4 ครั้ง หลังจาก

ทำการล้าง NaOH ออกได้หมดแล้ว จากนั้นนำไปอบในตู้อบเป่าลมที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลาประมาณ 24-28 h นำตัวอย่างยางสกิน LPS□ ที่เตรียมได้ไปทำการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนและสีของยางสกิน LPS□ ที่ลดลง ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen analyzer) และเครื่องวัดค่าดัชนีสีของยาง (Lovibond comparator) ตามลำดับ

ตารางที่ 3.7 สภาวะในการเตรียมยางสกิน LPS□ จากกระบวนการทำปฏิกิริยายางสกินด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

Conditions	Reaction of temperature	
	Room Temp.	50°C and 70°C
skim rubber crumb	1.0 kg/2.0 liter of NaOH solution	1.0 kg/2.0 liter of NaOH solution
Conc. of NaOH	1, 2, 3, 5 and 7%w/v	1, 2, 3, 5 and 7%w/v
Time of Time	12, 24, 48 and 72 h	1, 2, 3, 4 and 5 h

3.3.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพของสารแอนติออกซิแดนท์ที่มีต่อสมบัติการต้านทานการเสื่อมสภาพด้วยความร้อนในยางสกิน LPSR

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการต้านทานการเสื่อมสภาพด้วยความร้อนในยางสกิน LPSR

ศึกษาประสิทธิภาพในการต้านทานการเสื่อมสภาพของยางสกิน LPS□ ที่เตรียมจากสภาวะการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน ที่ความเข้มข้น 3%w/v NaOH ที่อุณหภูมิ 70°C และอุณหภูมิห้อง โดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 3 และ 48 h ตามลำดับ โดยการนำยางสกิน LPS□ ที่เตรียมได้ มาทดสอบการต้านทานต่อการเสื่อมสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ทำการศึกษาน้ำหนักโมเลกุลที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเพิ่มระยะเวลานานขึ้น จนกระทั่งถึง 20 h ด้วยเครื่องวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (GPC) ดังในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาการต้านทานการเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 100°C ของยางสีกิม LPS□

Samples	Heat-aging condition	
	Aging temp.	Aging times
LPS□		
- □T	100°C	1-20 h
- 70°C	100°C	1-20 h

2. ศึกษาประสิทธิภาพของสารแอนติออกซิแดนท์ในยางสีกิม LPSR

โดยเตรียมยางสีกิม LPS□ จากสภาวะการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่ความเข้มข้น 3%w/v NaOH ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 48 h เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการข้างต้นแล้วทำการล้างเพื่อกำจัด NaOH ที่ติดอยู่ด้วยน้ำสะอาด และแช่ในสารละลายกรดฟอร์มิกเจือจาง (1%w/v) ประมาณ 30 min แล้วจึงทำการล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง หลังจากทำการล้าง NaOH ออกได้หมดแล้ว จากนั้นนำไปจุ่มในสารละลายอิมัลชันแอนติออกซิแดนท์ (1%w/v) แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลาประมาณ 24-28 h

ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของสารแอนติออกซิแดนท์ชนิดต่างๆ ดังนี้คือ BHT TBMTBP และ MBETP ซึ่งเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ในกลุ่มประเภทสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound antioxidants) โดยการนำยางสีกิม LPS□ ที่เตรียมได้ มาทดสอบการต้านทานต่อการเสื่อมสภาพด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 100°C ระยะเวลา 3 h ทำการศึกษาน้ำหนักโมเลกุลของยางสีกิม LPS□ ที่เปลี่ยนแปลงไป ด้วยเครื่องวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (GPC) ดังในตารางที่ 3.9

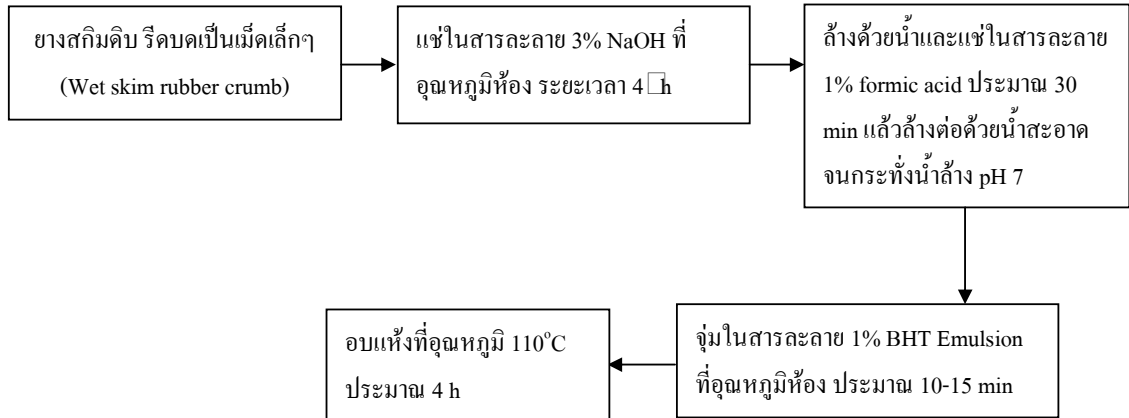
ตารางที่ 3.9 ชนิดของสารแอนติออกซิแดนท์และสภาวะที่ใช้ในการศึกษาการต้านทานการเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 100°C ของยางสีกิม LPS□

Emulsion antioxidants (1%w/v)	Heat-aging condition	
	Aging temp.	Aging times
No antioxidant	100°C	3 h
BHT	100°C	3 h
TBMTBP	100°C	3 h
MBETP	100°C	3 h

3.3.2.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติการวัลคาไนซ์ของยางสีกิม LPSR โดยใช้การวัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์

1. การเตรียมยางสีกิม LPSR

เตรียมจากยางสีกิมดิบจากหัวข้อ 3.3.2 ที่ผ่านกระบวนการจับตัวและรีดบดเป็นชิ้นเล็กๆ เรียบร้อยแล้ว นำมาทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่ความเข้มข้น 3%w/v NaOH ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 48 h โดยใช้อัตราส่วนยางสีกิมหนึ่งส่วนต่อสารละลาย NaOH สองส่วน (1:2) เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการข้างต้นแล้ว จึงทำการล้างเพื่อกำจัด NaOH ที่ติดอยู่ด้วยน้ำสะอาด และแช่ในสารละลายกรดฟอร์มิกเจือจาง (1%w/v formic acid) ประมาณ 30 min แล้วจึงทำการล้างต่อด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง หลังจากทำการล้าง NaOH ออกหมดแล้ว จากนั้นนำยางสีกิมที่ได้ไปจุ่มในสารละลายอิมัลชันแอนติออกซิแดนท์ (1%w/v BHT) ก่อนนำไปอบในตู้อบจนแห้งที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลาประมาณ 4 h ซึ่งได้แสดงลำดับกระบวนการเตรียมดังรูปที่ 3.1 นำตัวอย่างยางสีกิม LPS□ ที่เตรียมได้ไปทำการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยาง (non-rubber component) เช่น ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณเอสเทอร์ ปริมาณเถ้า ปริมาณเจล และศึกษาสมบัติทางกายภาพต่างๆ เปรียบเทียบกับยางสีกิมแบบธรรมดา



รูปที่ 3.1 ลำดับการเตรียมยางskim LPS ด้วยกระบวนการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน โดยใช้สารละลาย 3%w/v NaOH ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง

2. การเตรียมยางวัลคาไนซ์ด้วยระบบเปอร์ออกไซด์

เตรียมยางskim LPS ST 5L และ I 2200 เพื่อทำการศึกษาสมบัติการวัลคาไนซ์โดยใช้ระบบ DCP (dicumyl peroxide) โดยใช้เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (two roll mill) โดยใช้ระยะเวลาในการผสม 15 min ที่สภาวะอุณหภูมิ 40°C ตามสูตรการเตรียมที่แสดงในตารางที่ 3.10 นำยางคอมปาวด์ที่ได้มารีดให้เป็นแผ่น และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 24 h หลังจากนั้นนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นขนาด 20x20 cm² หนา 2 mm ที่อุณหภูมิ 155°C (แรงดัน 6.89 MN/m²) โดยใช้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ 39 min (98.4% vulcanization) ทำการวิเคราะห์สมบัติการวัลคาไนซ์ของตัวอย่างยางที่ได้

ตารางที่ 3.10 สูตรการเตรียมยางวัลคาไนซ์ด้วยระบบเปอร์ออกไซด์

Materials	Ingredient (phr)
Rubber ; LPS ST 5L, I 2200	100
Dicumyl peroxide (Commercial grade, Chemmin Co.,Ltd. Thailand)	1.0
2,6-di- <i>t</i> -butyl-4-methylphenol (BHT)	0.5

3.3.3 วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติและการทดสอบสมบัติเชิงกล

3.3.3.1 วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ

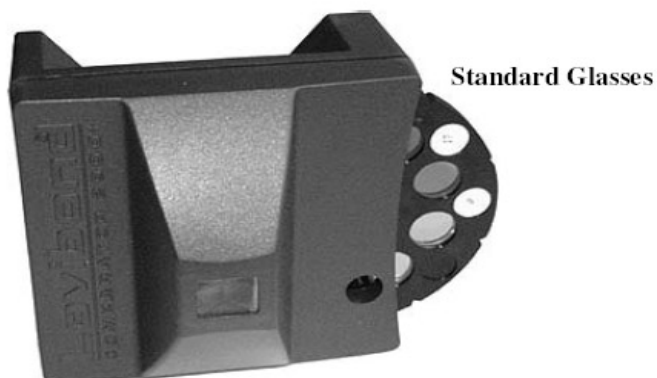
1. การวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคน้ำยางสกิม

การวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคน้ำยางสกิมสามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยเครื่อง Particle size analyzer; Malvern 2000 โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวกลางในการวิเคราะห์ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้

- 1) เติมน้ำกลั่นปริมาตร 400 ml ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 ml วางบีกเกอร์ลงบนตำแหน่ง wet cell chamber ทำการวัด background ก่อนเติมตัวอย่าง
- 2) ค่อยๆหยดตัวอย่างลงใน sample chamber ให้พอดีในช่วงความเข้มข้นที่จะทำการวัด ประมาณ 5-10%
- 3) เครื่องจะทำการวัดและวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของอนุภาคยาง โดยทำการวัดซ้ำอีกประมาณ 3-5 ครั้ง แล้วจึงรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย

2. การวิเคราะห์สีของยางธรรมชาติ

ระดับความเข้มสีของยางสกิม สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือวัดค่าดัชนีสีของยาง (lovibond comparator) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ในขั้นแรกจะเตรียมยางสกิมให้เป็นแผ่นโดยรีดยางผ่านลูกกลิ้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำแผ่นยางสกิมมาทำใสในแม่แบบสำหรับวัดระดับสี โดยวางไว้ระหว่างแผ่นฟิล์มเซลลูโลสที่ความดันไม่เกิน 3.5 MPa (500 psi) โดยให้แรงดันโดยเครื่องกดไฮดรอลิกเป็นเวลา 5 min ที่อุณหภูมิ 140°C แม่แบบที่ใช้มีความหนาประมาณ 1.4 ถึง 1.8 mm ระดับความเข้มสีของยางสกิมที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับสีให้มีค่าใกล้เคียงที่สุดกับตัวอย่างระดับสีมาตรฐานซึ่งจะมีระดับสีจาก ระดับ 1-5 และ 5-16 lovibond



Lovibond Comparator equipped with standard glasses

รูปที่ 3.2 เครื่องวัดระดับสีในยางธรรมชาติ

3. การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในยางธรรมชาติ

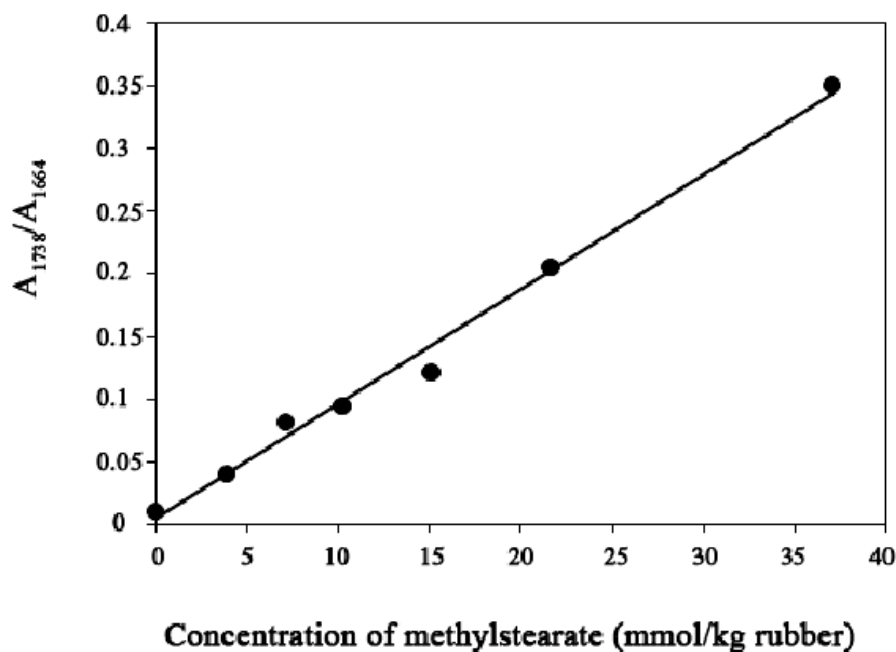
นำยางแห้ง 0.25 g มาทำการทดสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน (Leco instrument, FP 528) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ที่มีค่าความแม่นยำ (sensitivity) เท่ากับ 0.001%. โดยอาศัยหลักการการเผาไหม้ตัวอย่างด้วยความร้อนสูงและใช้คอปเปอร์ (Cu) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อช่วยในการเผาไหม้เพื่อให้ได้ก๊าซไนโตรเจน โดยก๊าซที่ใช้ในกระบวนการการเผาไหม้คือ ก๊าซออกซิเจน ที่มีความบริสุทธิ์สูง (99.99%) และใช้ก๊าซฮีเลียมที่บริสุทธิ์สูง (99.99%) เป็นตัวนำพาค่าไนโตรเจนที่ได้จะคำนวณได้จากตัวอย่างมาตรฐานเอทิลีนไดอะไมน์เตตระอะซิติก แอซิด (ethylene-diaminetetraacetic acid, EDTA) โดยในการวัดจะต้องทำซ้ำ 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.3 เครื่อง Nitrogen analyzer (Leco instrument, FP 528)

4. การวิเคราะห์ปริมาณปริมาณเอสเทอร์ ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

นำยางแห้งมาละลายด้วยตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม (chloroform) (1%w/v) จากนั้นหยดลงบน $\text{KB}\square\text{cell}$ เพื่อทำให้เป็นฟิล์ม จากนั้นทำให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน แล้วจึงทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR spectrometer) ปริมาณเอสเทอร์ที่คำนวณได้จะเป็นการคำนวณจากค่าอัตราส่วนของความสูงของพีค (peak) ที่ตำแหน่ง 1738 cm^{-1} (C=O) และที่ 1664 cm^{-1} (C=C) เทียบจากสารละลายมาตรฐานเมทิลสเตียเรท (methylstearate) โดยใช้กราฟมาตรฐานดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 กราฟมาตรฐานที่ใช้สำหรับการคำนวณหาปริมาณเอสเทอร์ในยางธรรมชาติ โดยใช้เมททิลสเตียเรทเป็นสารละลายมาตรฐาน

5. การวิเคราะห์การกระจายตัวน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ

น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางหาได้จากเครื่อง GPC ดังรูปที่ 3.5 ที่อุณหภูมิ 35°C โดยการใช้เครื่องวัดดัชนีการหักเหเป็นเครื่องตรวจวัดและใช้คอลัมน์ HPLC ที่ทำจากสารพอลิสไตรีน (polystyrene) ซึ่งมีความสามารถในการตรวจวัดที่น้ำหนักโมเลกุล 2×10^7 และ 4×10^5 g/mole การตรวจวัดทำได้โดยการใช้ THF เป็นตัวทำละลายที่อัตราการไหล 0.5 ml/min ที่อุณหภูมิ 35°C และความเข้มข้นสารละลาย 0.05% (w/v) โดยใช้พอลิสไตรีนเป็นสารมาตรฐานในการอ้างอิงน้ำหนักโมเลกุล



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดการกระจายตัวน้ำหนักโมเลกุลแบบ Gel permeation chromatography

6. การหาปริมาณเจล

การหาปริมาณเจล (gel content) ทำได้โดยการละลายยางแห้งในตัวทำละลายโทลูอีน โดยเตรียมสารละลายยางที่มีความเข้มข้น 0.1%w/v และทำการเก็บไว้ในที่มืดโดยไม่มีการคนเป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้น นำสารละลายยางมาทำการปั่นแยกส่วนเจลออกที่ความเร็ว 8,500 rpm แล้วจึงนำส่วนเจลมาทำการจับตัวโดยใช้เมทานอลและทำให้แห้งที่ 50°C

ปริมาณเจลสามารถคำนวณได้จากสูตรดังสมการ (3.2) ต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณเจล (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเจล} \times 100}{\text{น้ำหนักของยางเริ่มต้น}} \quad \text{สมการ (3.2)}$$

7. การวิเคราะห์ปริมาณปริมาณเถ้า

การวิเคราะห์ปริมาณปริมาณเถ้า (ash content) โดยการชั่งยางหนักประมาณ 1.0 g โดยละเอียด ใส่ลงในถ้วยกระเบื้อง (crucible) จากนั้นนำไปเผาในเตาเผา (furnace) ที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 3 h แล้วรอให้เย็นลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง ทำการชั่งน้ำหนักปริมาณเถ้าโดยใช้ตาชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง

ปริมาณแก้วสามารถคำนวณได้จากสูตรตามสมการ (3.3) ดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณแก้ว (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักแก้ว} \times 100}{\text{น้ำหนักของยางเริ่มต้น}} \quad \text{สมการ (3.3)}$$

8. การทดสอบความหนืดมูนนี่

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D1646-94 วิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่อง TECHP O Mooney viscometer ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้

ซึ่งยางสกิมประมาณ 25.0 g และแบ่งยางออกเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน โดยแต่ละส่วนมีความหนาประมาณ 6 mm และมีน้ำหนักประมาณ 12.5 g นำยางประกบด้านบนและด้านล่างของโรเตอร์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคือ 100°C ทำการอุ่นยางก่อนเป็นเวลา 1 min หลังจากนั้นให้แรงเฉือนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 min และบันทึกค่าความหนืดที่ได้ตั้งแสดงตามสมการ (3.4)

$$\text{Mooney viscosity} = X \text{ ML } 1+4 (100^\circ\text{C}) \quad \text{สมการ (3.4)}$$

เมื่อ	X	คือ	ค่าความหนืดที่อ่านได้
	ML	คือ	โรเตอร์ขนาดใหญ่
	1	คือ	อุ่นยางเป็นเวลา 1 min
	4	คือ	ทดสอบเป็นเวลา 4 min
	100°C	คือ	อุณหภูมิที่ทำการทดสอบ

9. การทดสอบความอ่อนตัวและดัชนีความอ่อนตัว

ค่าความอ่อนตัวและค่าการทนออกซิเดชันสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่อง Wallace plastimeter การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D3194-99 โดยมีวิธีทดสอบดังนี้

1) ซึ่งยางประมาณ 20±5 g นำไปรีดผ่านเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง ที่มีระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 1.9 mm จำนวน 2 ครั้ง แล้วพับครึ่ง ทำให้เรียบด้วยลูกกลิ้งให้ได้ความหนา 3.2-3.6 mm

2) ตัดตัวอย่างชิ้นทดสอบ 6 ชิ้น แบ่งเป็นชุดๆ ละ 3 ชิ้น ชุดแรกนำไปทดสอบค่าความอ่อนตัว โดยใช้กระดาษมวนบุหรือรองก่อนทดสอบ ทำการวัดโดยให้แรงกดคงที่ที่ 10±0.1

kg เป็นเวลา 15 ± 0.2 sec แล้ววัดความหนาของยาง โดยเอาค่ากลางจากการวัดสามชิ้นมาใช้ เป็นค่า P_0

3) ส่วนชิ้นที่สอง นำเข้าตู้อบอากาศร้อน ที่อุณหภูมิ 140°C เป็นระยะเวลา 30 min นำชิ้นตัวอย่างออกมาให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 30 min นำไปทดสอบหาค่าความอ่อนตัวเช่นเดียวกัน จะได้ค่า P_{30}

ค่าการทนออกซิเดชัน ($P\%$) สามารถวิเคราะห์ได้จากสมการ (3.5) ดังนี้

$$P\% = (P_{30} / P_0) \times 100 \quad \text{สมการ (3.5)}$$

โดยที่ P_0 คือ ค่าความอ่อนตัวของยางเริ่มต้น
 P_{30} คือ ค่าความอ่อนตัวของยางหลังจากผ่านการให้ความร้อนที่ 140°C เป็นเวลา 30 min

3.3.3.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

1. การทดสอบสมบัติความทนต่อแรงดึง

1) เตรียมตัวอย่างทดสอบโดยตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ตามมาตรฐาน ASTM D412 ใช้เครื่องตัดชิ้นทดสอบแบบ die C แสดงในรูปที่ 3.6

2) วัดความหนาของชิ้นทดสอบ 3 ตำแหน่งในช่วงระยะ L และหาค่าเฉลี่ยของความหนา

3) นำชิ้นทดสอบไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติการดึง ใช้ความเร็วในการดึง 500 mm/min ใช้ชิ้นตัวอย่างในการทดสอบ 5 ชิ้นต่อ 1 สูตร บันทึกค่าความทนต่อแรงดึง (tensile strength) และค่าระยะยืด ณ จุดขาด (elongation at break)

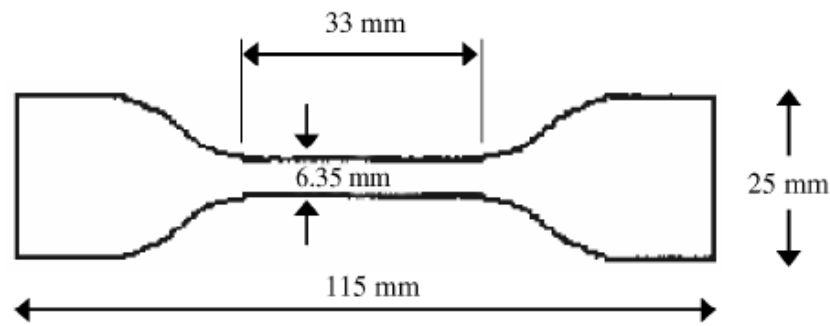
4) รายงานค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus, E) ค่าความเค้น ณ จุดขาด (stress at break, σ_b) หรือค่าความทนต่อแรงดึง และค่าระยะยืด ณ จุดขาด (elongation at break, ϵ_b) คำนวณค่าความเค้น ณ จุดขาด และค่าระยะยืด ณ จุดขาด ได้ตามสมการ (3.6) และ (3.7)

$$\text{stress at break, } \sigma_b = \frac{F}{A} \quad (3.6)$$

เมื่อ F = แรงดึงที่ทำให้ชิ้นทดสอบขาด (N)
 A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ (mm^2)

$$\text{elongation at break, } \varepsilon_b = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \quad (3.7)$$

เมื่อ L = ระยะที่ชิ้นทดสอบสามารถยึดตัวได้สูงสุดจนขาด
 L_0 = ระยะกำหนดก่อนทำการทดสอบ



รูปที่ 3.6 ชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ (Die C) สำหรับการทดสอบความทนต่อแรงดึง

2. การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงฉีกขาด

1) เตรียมตัวอย่างทดสอบ โดยตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ตามมาตรฐาน ASTM D624 ใช้เครื่องตัดชิ้นทดสอบแบบ die C แสดงในรูปที่ 3.7

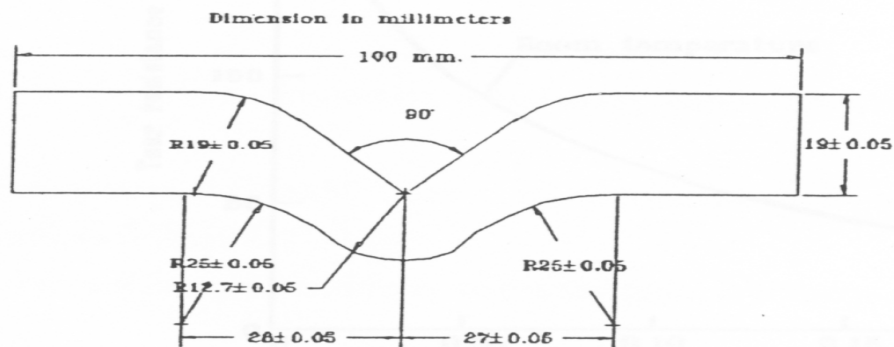
2) วัดความหนาของชิ้นทดสอบ 3 ตำแหน่งในช่วงระยะ L และหาค่าเฉลี่ยของความหนา

3) นำชิ้นทดสอบไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติการดึง ใช้ความเร็วในการดึง 500 mm/min ใช้ชิ้นตัวอย่างในการทดสอบ 5 ชิ้นต่อ 1 สูตร บันทึกค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นตัวอย่างฉีกขาด

4) คำนวณค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดตามสมการ (3.8)

$$T = \frac{F}{d} \quad (3.8)$$

- เมื่อ T = ค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาด (tear strength) มีหน่วยเป็น N/mm
- F = ค่าแรงสูงสุด (maximum force) มีหน่วยเป็น N
- d = ค่าความหนาของชิ้นตัวอย่าง มีหน่วยเป็น mm



รูปที่ 3.7 ชิ้นทดสอบแบบมุมสำหรับการทดสอบการฉีกขาดตามมาตรฐาน ASTM D624

3. การทดสอบความหนาแน่นเชื่อมขวาง

ความหนาแน่นเชื่อมขวาง (crosslink density) ของยางวัลคาไนซ์ สามารถวิเคราะห์ได้จากการทดสอบการบวมตัว (swelling method) ตามมาตรฐาน ASTM D471 โดยตัดชิ้นทดสอบยางวัลคาไนซ์น้ำหนัก 0.3 g โดยประมาณ แช่ชิ้นตัวอย่างในตัวทำละลายโทลูอีนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของน้ำหนักชิ้นตัวอย่างตามสมการ (3.9)

$$\text{Degree of swelling} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (3.9)$$

เมื่อ	Degree of swelling	=	เปอร์เซ็นต์การบวมตัวของชิ้นตัวอย่าง
	W_1	=	น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างก่อนแช่ตัวทำละลาย (g)
	W_2	=	น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างหลังแช่ตัวทำละลาย (g)

จากนั้นนำไปคำนวณความหนาแน่นเชื่อมขวาง (crosslink density) จาก Flory-
 Rehner equilibrium swelling equation ตามสมการ (3.10)

$$\nu = 1/2M_c = -[\ln(1-V_r) + V_r + \chi V_r^2] / [2\rho_r V_0 (V_r^{1/3} - 0.5V_r)] \quad (3.10)$$

เมื่อ	V	=	ความหนาแน่นเชื่อมขวางต่อกรัมยาง
	M_c	=	น้ำหนักโมเลกุลระหว่างการเชื่อมขวาง
	V_r	=	ปริมาตรในส่วนของยาง
	χ	=	ค่าคงที่อันตรกิริยาฮักกินส์
	ρ_r	=	ความหนาแน่นของยาง
	V_0	=	ปริมาตรโมลาร์ของตัวทำละลาย
	ρ_s	=	ความหนาแน่นของตัวทำละลาย

ปริมาตรในส่วนของยาง (V_r) คำนวณได้จากสมการ (3.11) ต่อไปนี้

$$V_r = [(\rho_r / \rho_s)(W_s - W_u) / W_u + 1]^{-1} \quad (3.11)$$

เมื่อ	W_s	=	น้ำหนักยางหลังการบวมตัวที่คงที่
	W_u	=	น้ำหนักยางก่อนการบวมตัว

จากสมการข้างต้นมีค่าคงที่ของตัวแปรต่างๆ ดังนี้

$$\begin{aligned} \chi &= 0.886 \text{ g/cm}^3 \\ \rho_r &= 0.93 \text{ g/cm}^3 \\ V_0 &= 106.9 \text{ cm}^3/\text{mole} \\ \rho_s &= 0.43 + 0.05V_r \end{aligned}$$

4. การทดสอบสมบัติความแข็ง

1) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240 เป็นการวัดค่าความแข็ง (hardness) แบบ shore A ใช้ชั้นทดสอบที่ความหนาอย่างน้อย 6 mm ก่อนการทดสอบทำการปรับเทียบ (calibration) เครื่องวัดความแข็งโดยใช้แท่งเหล็กที่มีรูตรงกลางวางให้ตรงกับหัวเข็มกดของเครื่องทดสอบแล้วปรับค่าที่หน้าปัดเป็นศูนย์

2) นำแท่งเหล็กที่มีค่าความแข็ง 40 shore A วางบนฐานของเครื่องทดสอบ กดหัวกดลงบนแท่งเหล็กที่มีค่าความแข็ง 40 shore A ค่าที่อ่านได้ควรจะเป็น 40 shore A

3) เมื่อทำการปรับเทียบเรียบร้อยแล้ว นำชั้นทดสอบวางไว้ให้ตรงกับหัวเข็มกดเลื่อนหัวเข็มกดลงบนชั้นทดสอบ โดยใช้น้ำหนักกดคงที่ 1 kg กดเป็นเวลา 30 sec ทดสอบซ้ำอีก 5 จุดที่ตำแหน่งต่างกัน และใช้ค่ากลางเป็นความแข็งของชั้นทดสอบ

3.3.4 การศึกษาและพัฒนาวีธีเตรียมกาว PSA จากยางสีกิม LPSR

3.3.4.1 การลดน้ำหนักโมเลกุลยางสีกิม LPSR โดยวิธีการบดทางกล

1. การลดน้ำหนักโมเลกุลยางสีกิม LPSR โดยวิธีการบดทางกลแบบไม่เติมสารแอนติออกซิแดนท์

นำยางสีกิม LPSR ตัวอย่างละ 400 g มาบดด้วยเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้งขนาด 6x15 inch โดยเริ่มจากนำยางมาผ่านลูกกลิ้ง 6 ครั้ง หลังจากนั้นปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งประมาณ 1.0 mm แล้วบดยางเป็นเวลา 2 4 6 8 และ 10 min ที่อุณหภูมิ 30-40°C ตามลำดับ ดังในตารางที่ 3.11 เก็บยางที่บดแล้วไว้ในที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 24 h ก่อนนำไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลด้วยเครื่องวัดการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (GPC) และสมบัติทางกายภาพ เช่น ค่าความหนืดมูนิ ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น และปริมาตรเจล

2. การลดน้ำหนักโมเลกุลยางสีกิม LPSR โดยวิธีการบดทางกลแบบเติมสารแอนติออกซิแดนท์

นำยางสีกิม LPSR ตัวอย่างละ 400 g มาบดด้วยเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้งขนาด 6x15 inch โดยเริ่มจากนำยางมาผ่านลูกกลิ้ง 6 ครั้ง หลังจากนั้นปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งประมาณ 1.0 mm แล้วบดยางเป็นเวลา 4 6 และ 10 min ที่อุณหภูมิ 30-40°C ตามลำดับ

โดยที่เติมสาร BHT ปริมาณ 1 phr ในทุกๆตัวอย่างการบด ดังในตารางที่ 3.11 เก็บยางที่บดแล้วไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 24 h ก่อนนำไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลด้วยเครื่องวัดการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (GPC) และสมบัติทางกายภาพ เช่น ค่าความหนืดมูนี ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น และปริมาณเจล

ตารางที่ 3.11 สภาวะการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางสีกิม LPS□ โดยวิธีการบดทางกล

Mastication	LPS□Lot.1	LPS□Lot.2
Antioxidant	No BHT	1phr BHT
Time	2, 4, 6, 8 and 10 min	4, 6 and 10 min
Temp.	30-40°C	30-40°C

3.3.4.2 การเตรียมกาว PSA จากยาง LPSR และจากพอลิเมอร์ผสม

LPSR/PVA

1. ศึกษาความสามารถในการละลายของยางสีกิม LPSR ที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธีทางกล ในตัวทำละลายโทลูอีน

ละลายยางสีกิม LPS□ ที่เตรียมได้จากการบดในหัวข้อ 3.3.4.1 ที่ระยะเวลา 2 4 6 8 และ 10 min ตามลำดับ ในตัวทำละลายโทลูอีนที่ความเข้มข้นของสารละลายยาง ดังนี้คือ 5 10 15 และ 20%w/v สังเกตความสามารถในการละลายเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

2. ศึกษาความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางสีกิม LPSR กับ PVA แบบสารละลาย

เตรียมสารละลายยางสีกิม LPS□ ที่ผ่านการบดเป็นระยะเวลา 10 min ในตัวทำละลายโทลูอีน ที่ความเข้มข้นของสารละลายยาง 10 15 และ 20%w/v โดยทำการละลายเป็นระยะเวลาประมาณ 24 h จากนั้นทำการผสมสารละลายยางสีกิม LPS□ กับสารละลาย 10%w/v PVA โดยแปรปริมาณ PVA ตั้งแต่ 0-50 phr ตามลำดับ โดยทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบปั่นความเร็วสูง (homogenizer) ที่ความเร็วรอบ 14000 rpm เป็นระยะเวลา 15 min สังเกตลักษณะความเข้ากันของของผสม และเก็บไว้อย่างน้อย 12 h ก่อนนำไปวัดค่าความหนืดด้วย Brookfield viscometer

3. การเตรียมกาว PSA จากยาง LPSR

เตรียมสารละลายยางสีกิม LPSR ที่ผ่านการบดเป็นระยะเวลา 10 min ในตัวทำละลายโทลูอีน ที่ความเข้มข้นของสารละลายยาง 15%w/v โดยทำการละลายไว้เป็นระยะเวลาประมาณ 24 h จากนั้นเติมไฮโดรคาร์บอนเรซิน (Escorze 1000) โดยแปรปริมาณตั้งแต่ 0-100 phr ตามลำดับ ดังในตารางที่ 3.12 และทำการละลายต่อไปอีกประมาณ 24 h จากนั้นจึงนำสารละลายกาวยางสีกิม LPSR ที่ได้ไปเคลือบบนแผ่นฟิล์ม PET ด้วย Applicator coating stainless-steel โดยควบคุมความหนาประมาณ 0.5 mm แล้วนำไปอบไล่ตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 130°C ประมาณ 3 min และทำให้เย็นต่อที่อุณหภูมิห้อง เก็บตัวอย่างเทปกาวด้วยกระดาษไข (release paper) โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 24 h ก่อนทำการทดสอบสมบัติด้านการยึดติด

ตารางที่ 3.12 สภาวะการเตรียมการเตรียมกาว PSA จากยาง LPSR

Conditions	PSA-tape 1	PSA-tape 2
Antioxidant	No BHT	1 phr BHT
15%LPSR (in toluene)	100 phr	100 phr
Hydrocarbon resin (Escorze 1000)	0-100 phr	0-100 phr

4. การเตรียมกาว PSA จากพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA

เตรียมสารละลายยางสีกิม LPSR ที่ผ่านการบดเป็นระยะเวลา 10 min ในตัวทำละลายโทลูอีน ที่ความเข้มข้นของสารละลายยาง 15%w/v โดยทำการละลายเป็นระยะเวลาประมาณ 24 h จากนั้นเติมไฮโดรคาร์บอนเรซิน (Escorze 1000) โดยแปรปริมาณตั้งแต่ 0-100 phr ตามลำดับ โดยทำการละลายต่อไปอีกประมาณ 12 h จากนั้นทำการผสมสารละลายยางสีกิม LPSR กับสารละลาย 10%w/v PVA โดยใช้ปริมาณ 20 phr และทำการผสมด้วยเครื่อง homogenizer ที่ความเร็วรอบ 14000 rpm เป็นระยะเวลา 15 min สภาวะการเตรียมการเตรียมกาว PSA จากพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA แสดงดังในตารางที่ 3.13 เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 24 h ก่อนนำไปทดสอบค่าความหนืดด้วย Brookfield viscometer

นำสารละลายกาวพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA ที่ได้ไปเคลือบบนแผ่นฟิล์ม PET ด้วย Applicator coating stainless-steel โดยควบคุมความหนาประมาณ 0.5 mm แล้วนำไปอบไล่ตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 130°C ประมาณ 3 min และเก็บให้เย็นต่อที่อุณหภูมิห้อง เก็บ

ตัวอย่างเทปกาวด้วยกระดาษไข ดังแสดงขั้นตอนการเตรียมในรูปที่ 3.8 โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 24 h ก่อนทำการทดสอบสมบัติด้านการยึดติด

ตารางที่ 3.13 สภาวะการเตรียมการเตรียมกาว PSA จากพอลิเมอร์ผสม LPS/PVA

Conditions	PSA-tape 1	PSA-tape 2
Antioxidant	No BHT	1 phr BHT
15%w/v LPS (in toluene)	100 phr	100 phr
10%w/v PVA	20 phr	20 phr
Hydrocarbon resin (Escorze 1000)	0-100 phr	0-100 phr



a.) coat-1

b.) coat-2

c.) dry at 130°C



d.) PSA film

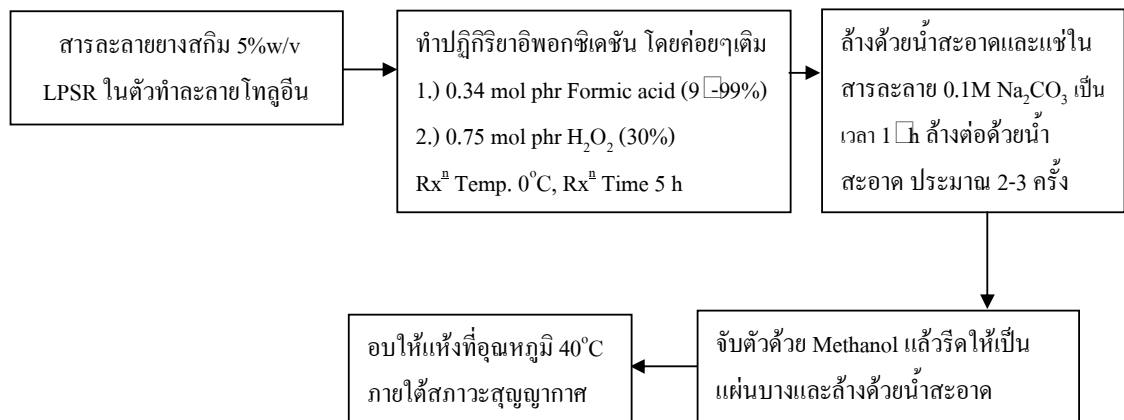
e.) PSA-tape

รูปที่ 3.8 ลำดับกระบวนการเตรียมเทปกาว PSA จากยางสีกิม LPS

3.3.4.3 การเตรียมกาว PSA จากพอลิเมอร์ผสม E-LPSR/PVA

1. วิธีเตรียมยาง E-LPSR

เตรียมสารละลายยางสกิน LPS \square ในตัวทำละลายโทลูอีน ที่ความเข้มข้นของสารละลายยาง 5%w/v โดยทำการละลายเป็นระยะเวลาประมาณ 24 h นำสารละลายยางที่ได้มาทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน โดยค่อยๆเติมสารละลายกรดฟอร์มิก (0.34 mol phr) และสารละลาย 30% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (0.75 mol phr) ลงไปอย่างช้าๆ ควบคุมการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 0 $^{\circ}$ C เป็นเวลา 5 h จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดและทำการปรับสภาพด้วยการแช่ในสารละลาย 0.1M Na $_2$ CO $_3$ เป็นระยะเวลาประมาณ 18 h เพื่อกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มากเกินไป แล้วจึงล้างด้วยน้ำสะอาดอีก 2-3 ครั้ง ก่อนทำการเติมเมทานอลเพื่อจับตัวยางเป็นก้อนและรีดก้อนยางให้เป็นแผ่นบาง ทำการอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 40 $^{\circ}$ C ภายใต้สภาวะสุญญากาศ (vacuum oven) ดังแสดงขั้นตอนการเตรียมในรูปที่ 3.9 จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ ด้วย NM \square และ FT-I \square



รูปที่ 3.9 ลำดับการเตรียมยางสกิน E-LPS \square ด้วยกระบวนการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน ที่สภาวะ 0 $^{\circ}$ C ระยะเวลา 5 h (Okwu U.N. et al., 1999)

2. วิธีเตรียมกาว PSA จากพอลิเมอร์ผสม E-LPS/PVA

เตรียมสารละลายยางสีกิม E-LPS ในตัวทำละลายโทลูอีน ที่ความเข้มข้นของสารละลายยาง 15%w/v โดยทำการละลายเป็นระยะเวลาประมาณ 24 h จากนั้นเติมไฮโดรคาร์บอนเรซิน (Escorze 1000) ปริมาณ 60 phr และ BHT ปริมาณ 1 phr โดยทำการละลายต่อไปอีกประมาณ 12 h จากนั้นทำการผสมสารละลายยางสีกิม E-LPS กับสารละลาย 10%w/v PVA โดยแปรปริมาณ PVA ตั้งแต่ 0-30 phr และทำการผสมด้วยเครื่อง homogenizer ที่ความเร็วรอบ 14000 rpm เป็นระยะเวลา 15 min ดังแสดงสภาวะการเตรียมในตารางที่ 3.14 เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 24 h ก่อนนำไปทดสอบค่าความหนืดด้วย Brookfield viscometer

นำสารละลายกาวพอลิเมอร์ผสม E-LPS/PVA ที่ได้ไปเคลือบบนแผ่นฟิล์ม PET ด้วย Applicator coating stainless-steel โดยควบคุมความหนาประมาณ 0.5 mm แล้วนำไปอบไล่ตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 130°C ประมาณ 3 min รอให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง เก็บตัวอย่างเทปกาวด้วยกระดาษไข โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 24 h ก่อนทำการทดสอบสมบัติทางด้านกายภาพ

ตารางที่ 3.14 สภาวะการเตรียมการเตรียมกาว PSA จากยาง LPS และ E-LPS เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณ PVA ที่มีต่อสมบัติทางด้านกายภาพ

Conditions	LPS-tape	E-LPS-tape
Rubber base (15%w/v in toluene)	100 phr	100 phr
10%w/v PVA	0, 5, 10, 20 and 30 phr	0, 5, 10, 20 and 30 phr
Hydrocarbon resin (Escorze 1000)	60 phr	60 phr
BHT Antioxidant	1 phr	1 phr

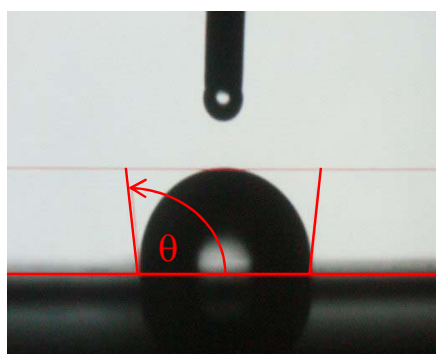
3.3.4.4 วิธีการทดสอบสมบัติทางด้านการยึดติดของกาว PSA

1. การวัดมุมสัมผัสทางฟิสิกส์

การวัดมุมสัมผัสทางฟิสิกส์ (contact angle) ของเทปกาวนั้น เป็นการทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์กับพลังงานพื้นผิวของเทปกาวที่เตรียมได้จากวัสดุที่แตกต่างกัน วิธีการใช้เครื่องวัดมุมสัมผัส Data Physic Contact Angle ดังรูปที่ 3.10 โดยเริ่มจากการเตรียมเทปกาว PSA ขนาด 2x5 cm ติดลงบนแผ่นสไลด์ วางตัวอย่างบนแท่นทดสอบ ปรับให้ได้ตำแหน่งระยะโฟกัสของกล้อง CCD ปรับโฟกัสภาพให้ชัดก่อนถ่าย แล้วทำการวัดมุมสัมผัสโดยหยดน้ำกลั่นลงบนพื้นผิวตัวอย่าง โดยกล้องจะทำการบันทึกภาพและคำนวณมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำบนพื้นผิวของเทปกาว บันทึกผลและทดลองซ้ำในตำแหน่งถัดไปของตัวอย่าง ประมาณ 3-5 จุด



(a)



(b)

รูปที่ 3.10 ภาพแสดง (a) เครื่องมือการวัดมุมสัมผัสเชิงฟิสิกส์ และ (b) ลักษณะตัวอย่างขณะทำการวิเคราะห์มุมสัมผัส

2. การทดสอบสมบัติความเหนียว

การทดสอบสมบัติความเหนียวของกาว PSA โดยใช้เครื่องมือ rolling ball tack tester ดังรูปที่ 3.11 ซึ่งจะทำการวัดความสามารถในการยึดติดของลูกบอลเหล็กที่ความชัน 30° ตามมาตรฐาน ASTM D3121-05 โดยทำการปล่อยลูกเหล็กขนาดต่างๆ ให้กลิ้งผ่านเทปกาว ขนาด 2.5x10 cm จากระยะที่กำหนด ทำการบันทึกขนาดและระยะทางที่ลูกเหล็กหยุดเมื่อวิ่งผ่านเทปกาว รวมทั้งบันทึกขนาดลูกเหล็กที่ใหญ่ที่สุดที่สามารถติดอยู่บนเทปกาวได้ ทำการทดสอบซ้ำ 5-7 ครั้ง



รูปที่ 3.11 เครื่องมือวัดความเหนียวเทปกาว Rolling ball tack tester

3. การทดสอบสมบัติการคืบ

การสมบัติการคืบของกาว PSA โดยใช้เครื่องทดสอบ shear holding power ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ดังรูป โดยเตรียมตัวอย่างเทปกาวขนาด 25x50 mm ติดลงบนแผ่นเหล็กหรือแผ่น stainless-steel ที่เตรียมพื้นผิวแล้ว ให้ติดเทปกาวลงบนพื้นที่ทดสอบขนาด 25x25 mm จากนั้นใช้ลูกกลิ้งน้ำหนัก 2.0 kg กลิ้งทับบนส่วนที่ติดแผ่นกาว 1 รอบ ทิ้งไว้ประมาณ 10 min ก่อนนำไปทดสอบ โดยทดสอบการฉีกด้วยน้ำหนัก 550 g ที่อุณหภูมิในการทดสอบ 40°C ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ทำการจับเวลาจนกระทั่งเทปกาวหลุดออกจากแผ่น stainless-steel บันทึกเวลาที่แผ่นกาวหลุด ทำการทดสอบซ้ำ ประมาณ 3-5 ครั้ง



รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบการคืบ Shear Holding Power

4. การทดสอบสมบัติการดึงลอก

การทดสอบการดึงลอกเป็นเทคนิคที่สำคัญอย่างหนึ่งในการทดสอบกาว PSA และในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบแบบ 180° peel โดยเตรียมเทปกาวขนาด 25x130 mm นำไปติดลงบนแผ่น stainless-steel ขนาด 50x130 mm ที่เตรียมพื้นผิวเรียบร้อยแล้ว จากนั้นใช้ ลูกกลิ้งขนาด 2.0 kg กลิ้งทับลงบนตัวอย่าง 1 รอบ ทิ้งไว้ประมาณ 20 min ก่อนทำการทดสอบ จากนั้นนำแผ่นตัวอย่างไปทดสอบ 180° peel ด้วยเครื่อง tensile tester ดังรูปที่ 3.13 โดยใช้ อัตราเร็วในการดึงที่ 300 mm/min, Load cell 100 N ทำการบันทึกแรงที่ใช้ในการดึงลอก (peel force) และแรงสูงสุดในการดึง (maximum force) บันทึกผลและทดลองซ้ำ 3-5 ครั้ง



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบการดึงลอกแบบ 180° peel (LLOYD Tensile tester)

3.3.4.5 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของกาว PSA จากยางสีกิม LPSR

1. การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) มีวิธีดังนี้

- 1) นำชิ้นตัวอย่างขนาด 5x20 mm ความหนาประมาณ 1-2 mm ไปแช่ในไนโตรเจนเหลวประมาณ 5-10 min แล้วทำการหักทันที พยายามให้รอยหักเรียบที่สุด
- 2) นำส่วนที่หักไปติดลงบนตลับทองเหลือง โดยหันปลายที่หักขึ้นข้างบน จากนั้นนำไปเคลือบด้วยชั้นทองคำบางๆ เพื่อให้ตัวอย่างสามารถนำไฟฟ้าได้

3) นำไปวิเคราะห์โครงสร้างภายนอก ด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยใช้กระแสลำอิเล็กตรอนเท่ากับ 10 kV

2. การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน

การศึกษาสมบัติเชิงความร้อน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน (differential scanning calorimeter, DSC) ของกาวยางสีกิม LPS□ และกาวพอลิเมอร์ผสม LPS□PVA เพื่อหาค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, T_g) ของตัวอย่าง มีวิธีการดังนี้

- 1) นำตัวอย่างที่แห้งแล้วประมาณ 10 mg บรรจุลงในเซลล์อลูมิเนียม แล้วนำไปวางในตำแหน่งวางเซลล์ของเครื่อง
- 2) ทำการวิเคราะห์ภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน ทำการวิเคราะห์ในช่วงอุณหภูมิ -100 ถึง 100°C โดยใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารหล่อเย็น
- 3) ให้อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ 10°C/min บันทึกค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของตัวอย่างที่วัดได้

3. การวิเคราะห์สมบัติทางกลศาสตร์ความร้อนเชิงพลศาสตร์

การศึกษาผลของไฮโดรคาร์บอนเรซิน และ PVA ที่มีส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อสมบัติทางด้าน dynamic viscoelastic ของกาว PSA ที่เตรียมจากยางสีกิม LPS□ ทำการวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางกลศาสตร์ความร้อนเชิงพลศาสตร์ (dynamic mechanical analyzer, DMTA) แบบเฉือน (shear mode) ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

- 1) เตรียมตัวอย่างกาวที่ทำกรอบแห้งแล้ว ตัดชิ้นตัวอย่างเป็นรูปวงกลม รัศมี 8 mm ความหนา 1-2 mm
- 2) ทำการวิเคราะห์แบบเฉือน โดยให้ความถี่เท่ากับ 10 Hz และค่าความเค้น (applied stain) เท่ากับ 0.25%
- 3) โดยให้อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเท่ากับ 6°C/min วิเคราะห์ผลในช่วงอุณหภูมิ -100 ถึง 200°C โดยใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารหล่อเย็น

4. การตรวจสอบโครงสร้างด้วยเครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์

ทำการวิเคราะห์การเกิดผลึกในตัวอย่างทดสอบด้วยเครื่อง X' Pert MPD, Philips X-ray diffractometer

1) ทำการทดสอบโดยใช้อัตรามุมตกกระทบของรังสีเอกซ์ต่อเวลาเท่ากับ $4^{\circ}/\text{min}$ เลือกมุมองศาในการทดสอบตั้งแต่ 5-90 (2θ) ใช้กำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในการทดสอบเท่ากับ 35 kV และ 25 mA ตามลำดับ

2) สเปกตรัมของสารที่ตรวจสอบได้ เป็นความสัมพันธ์ระหว่างมุมองศาที่รังสีเอกซ์เกิดการเลี้ยวเบนและผลึกของสารที่ทำกรทดสอบ

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์การทดลอง

ในบทนี้เป็นผลการทดลองและการวิจารณ์การทดลองของ การศึกษาพัฒนาและปรับปรุงสมบัติยางสกิมโปรตีนต่ำเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านกาวชนิดไวต่อแรงดัน โดยเริ่มจากการศึกษากระบวนการจับตัว และรวบรวมเนื้อยางสกิมแบบใหม่ จากนั้นทำศึกษาสภาวะในการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันยางสกิมด้วยสารละลายเบส เพื่อกำจัดโปรตีนและส่วนที่ไม่ใช่อื่นๆ ออกจากยางสกิม เพื่อให้ได้ยางสกิมที่มีคุณภาพ ปริมาณโปรตีนต่ำ และมีสีสวย เหมาะสมในการนำไปเตรียมเป็นกาว หรือสารยึดติด รวมทั้งทำการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของกาวชนิดไวต่อแรงดันให้มีสมบัติในการยึดติดให้ดียิ่งขึ้น โดยแบ่งงานวิจัยทั้งหมดออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้คือ 1) การศึกษาสภาวะในการจับตัวและรวบรวมเนื้อยางสกิมด้วยเทคนิคใหม่ โดยใช้สารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์และเกลืออนินทรีย์ 2) การเตรียมยางสกิมโปรตีนต่ำจากการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันยางสกิมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ 3) การศึกษาและพัฒนาวิธีการเตรียมกาวชนิดไวต่อแรงดันจากยางสกิมโปรตีนต่ำ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาสภาวะในการจับตัวและรวบรวมเนื้อยางสกิมด้วยเทคนิคใหม่ โดยใช้สารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์และเกลืออนินทรีย์

เนื่องจากความยากลำบากในการบำบัดน้ำเสียซึ่งมีเนื้อเยื่อตกค้างอยู่ การนำยางกลับคืนจากน้ำเสียอย่างมีประสิทธิภาพในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการจับตัวและรวบรวมเนื้อยางสกิมด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์และเกลืออนินทรีย์ จึงนับเป็นทางเลือกใหม่ในการลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียและนำยางสกิมที่มีมูลค่ากลับคืนจากน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น และในการควบคุมกระบวนการจับตัวน้ำยางสกิมนั้น จำเป็นต้องศึกษาชนิดและปริมาณสารจับตัวที่เหมาะสม ตลอดจนสภาวะต่างๆ ที่เอื้อต่อกลไกการจับตัวเช่น pH ความเร็วและระยะเวลาในการจับตัว การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคยางที่เพิ่มขึ้น เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ศึกษาประสิทธิภาพของสารจับตัวในการทดลองนี้

4.1.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการจับตัวของยาสกิมด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์

ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการจับตัวของยาสกิมด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ หรือเรียกอีกอย่างว่าสารจับตัวพอลิเมอร์ ซึ่งโดยส่วนใหญ่ใช้เป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์พอลิเมอร์ สามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ คือ พอลิเมอร์ชนิดประจุบวก เช่น Accofloc[®] C480 และพอลิเมอร์ชนิดประจุลบ เช่น Waterfloc[®] WF4398 Aronfloc[®] A130 Aronfloc[®] A125S

4.1.1.1 อิทธิพลของสภาวะ pH ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดการกระจายตัวของอนุภาคยาสกิม

น้ำยาสกิมจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นประกอบไปด้วยอนุภาคยาสกิมที่มีขนาดเล็กที่มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยประมาณ 0.13 μm (Sakdapipanich J.T. et al., 1999) โดยปกติพบว่า มีสภาวะ pH ที่ประมาณ pH 10-11 และจากการทดลองปรับสภาพด้วยสารละลายกรดฟอร์มิก พบว่าที่สภาวะ pH ที่ลดต่ำลง มีผลทำให้ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของยาสกิมเพิ่มขึ้นดังในตารางที่ 4.1 น้ำยาสกิมมีการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคอย่างชัดเจน ที่สภาวะ pH 6.0 และมีขนาดอนุภาคสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิดการจับตัวเป็นก้อนในที่สุด ที่สภาวะ pH 4.0-4.5 ซึ่งเป็นสาเหตุที่เกิดจากการสูญเสียความเสถียรของน้ำยาสกิมเนื่องจากการเติมกรดนั่นเอง

ตารางที่ 4.1 อิทธิพลของสภาวะ pH ต่างๆที่มีต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำยางสกิม เมื่อทำการปรับสภาพด้วยกรดฟอสฟอริก

pH	Average Particle size (μm)
5.0	39.427
5.5	17.053
6.0	0.419
6.5	0.188
7.0	0.185
7.5	0.171
8.0	0.166
9.0	0.159
10.05	0.133

4.1.1.2 ประสิทธิภาพของสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ในการจับตัวและรวบรวมอนุภาคเนื้อยางสกิม

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาสันนิษฐานว่าความเสถียรของอนุภาคยางธรรมชาติ นั้นเนื่องมาจากการที่ยางมีอนุภาคเป็นทรงกลมมีประจุลบอยู่ที่ผิวของอนุภาคยาง ซึ่งเกิดจากการมีชั้นของโปรตีนและไขมันบนผิวของอนุภาค (Cokbain E.G. et al., 1963) และพบว่าน้ำยางสกิมโดยปกติมีค่าศักย์เซต้าประมาณ -59 mV (Jitladda J.T. et al., 2002) การเติมกรดลงไปให้น้ำยางเป็นวิธีการทำลายความเป็นประจุลบของอนุภาคน้ำยาง หรือการทำ neutralize negative charge บนผิวอนุภาคยาง เป็นการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคยางธรรมชาติทำได้โดยการทำให้ค่าศักย์เซต้าของน้ำยางเข้าใกล้จุดไอโซอิเล็กทริก ทำให้อนุภาคน้ำยางจับตัวเป็นก้อนนั่นเอง

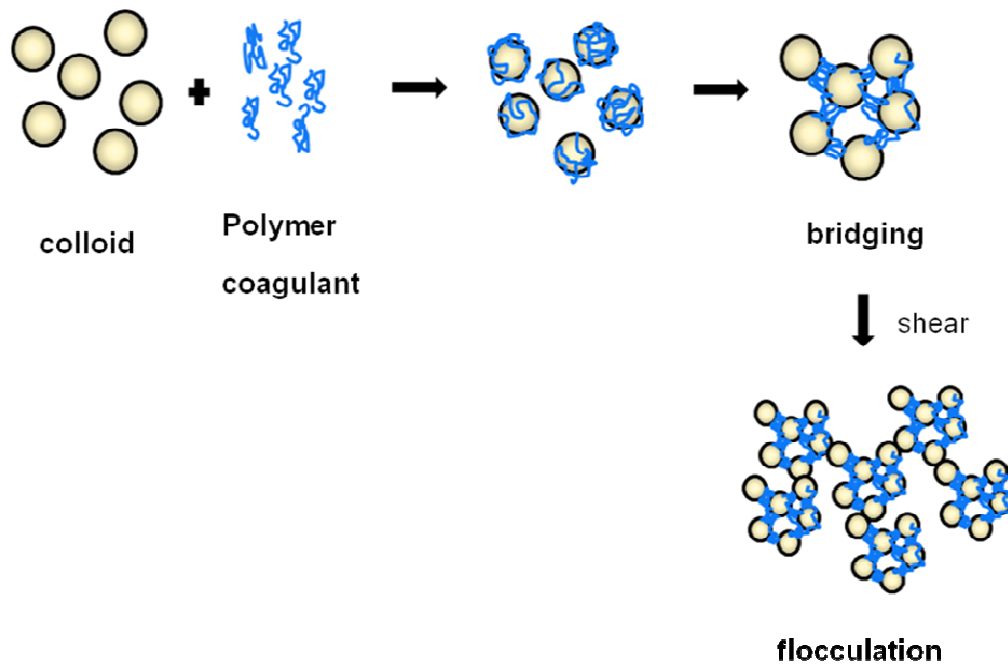
การจับตัวและรวบรวมเนื้อยางสกิมด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์นั้น มีขั้นตอนและกลไกการทำให้เกิดการจับตัวดังนี้

1. Charge neutralization คือ การปรับสภาพความเป็นกรดในน้ำยางสกิม ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก เพื่อทำลายความเป็นประจุลบในอนุภาคน้ำยางให้เป็นกลางหรือลดลง เป็นการสร้างโอกาสสัมผัสให้อนุภาครวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่

2. Bridging flocculation คือ เป็นกลไกการสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้สารพวก long chain polymer ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่เมื่อละลายน้ำแตกตัวให้ออนเป็นจำนวนมาก เพื่อเกาะจับกับอนุภาคคอลลอยด์และยังมีแขนเชื่อมติดกับอนุภาคคอลลอยด์ตัว

อื่นๆ เพื่อให้ทำให้เกิดตะกอน (floc) ซึ่งเป็นสารช่วยเร่งการจับตัว (coagulation aid) ทำให้เกิดตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นดังรูปที่ 4.1

3. Orthokinetic flocculation คือ กระบวนการกวนเพื่อให้ตะกอนเกิดการชนกันมากขึ้น จนทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน ที่สำคัญคือ การกวนจะต้องไม่เร็วจนเกินไป มิฉะนั้นแล้วตะกอนที่เกิดขึ้นอาจแตกหรือหลุดออกจากกันได้



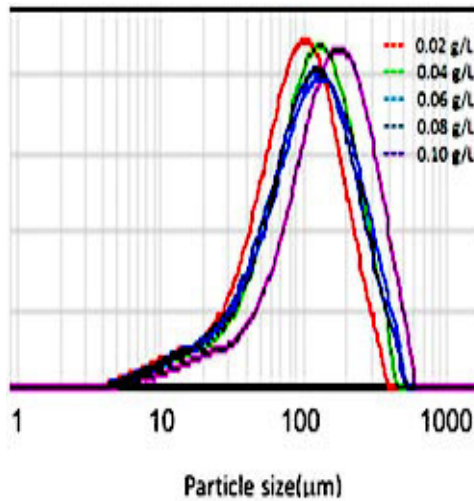
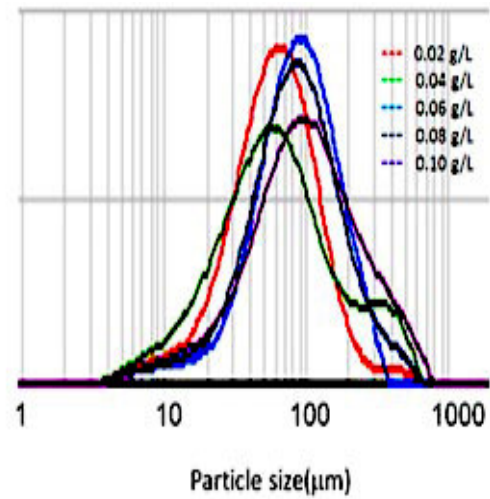
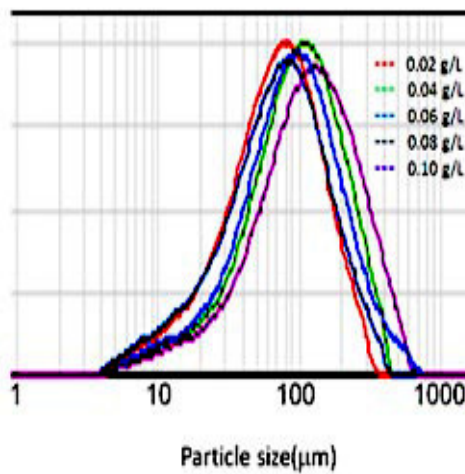
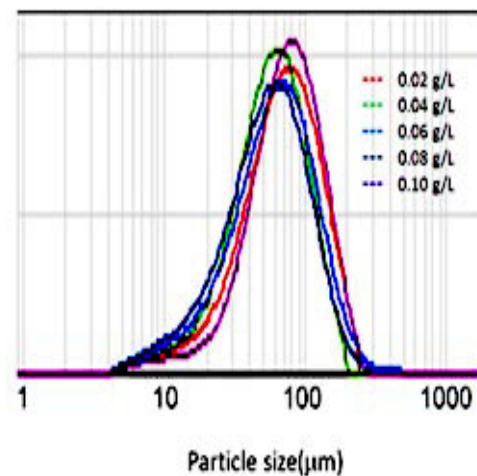
รูปที่ 4.1 ความเป็นไปได้กลไกการเกิด Bridging flocculation เมื่อใช้สารจับตัวพอลิเมอร์ (Tridib T. et al., 2006)

1) อิทธิพลของปริมาณสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีต่อการกระจายตัวของขนาดอนุภาคน้ำยางสกิม

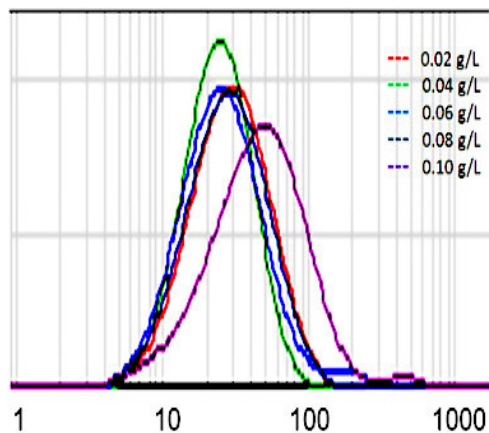
การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคยางที่เพิ่มขึ้นจึงเป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาประสิทธิภาพชนิดของสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ และปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในกระบวนการจับตัวยางสกิม ในการทดลองนี้ทำการศึกษาสภาวะในการจับตัวที่ pH 5.0 และ pH 5.5 โดยการแปรปริมาณสารพอลิอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิดที่ 0.02-0.10 g/L ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณสารจับตัวพอลิเมอร์ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคน้ำยางสกิมอย่างชัดเจนในรูปที่ 4.2 และ 4.3

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 พบว่า ที่สภาวะ pH 5.0 เมื่อทำการแปรปริมาณสารจับตัว Accofloc[®] C480 ที่ปริมาณ 0.02-0.10 g/L ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 69.83-119.87 μm และในส่วนของสารจับตัวชนิดอื่นๆ เช่น Waterfloc[®] WF4398 Aronfloc[®] A130 และ Aronfloc[®] A125S ให้การเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยประมาณช่วง 40-80 μm ซึ่งแสดงถึงการมีประสิทธิภาพในการเพิ่มขนาดอนุภาคน้ำยางสกิมที่ต่ำกว่าสารจับตัวชนิด Accofloc[®] C480 และที่สภาวะ pH 5.5 ก็ให้ผลทดสอบที่สอดคล้องกันคือ สารจับตัว Accofloc[®] C480 สามารถเพิ่มขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของน้ำยางสกิมได้มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารจับตัวชนิดอื่นๆ นั่นคือเมื่อทำการแปรปริมาณสารจับตัว Accofloc[®] C480 ที่ปริมาณ 0.02-0.10 g/L ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 22.76-32.66 μm และในส่วนของสารจับตัวชนิดอื่นๆ เช่น Waterfloc[®] WF4398 Aronfloc[®] A130 และ Aronfloc[®] A125S ให้การเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยประมาณช่วง 16-26 μm

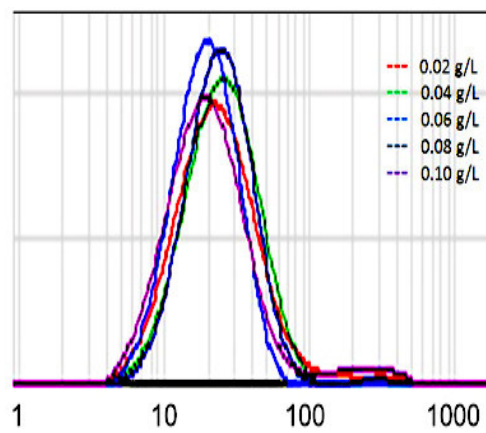
จากผลการทดลองนี้ทำให้ทราบได้ว่าที่สภาวะ pH 5.0-5.5 สารจับตัว Accofloc[®] C480 ซึ่งเป็นประเภทพอลิเมอร์ประจุบวก (cationic polymer) ให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มขนาดอนุภาคน้ำยางสกิมได้มีประสิทธิภาพมากกว่าสารจับตัวประเภทพอลิเมอร์ประจุลบ (anionic polymer) เช่น Waterfloc[®] WF4398 Aronfloc[®] A130 และ Aronfloc[®] A125S

(a) Accofloc[®] C480(b) Waterfloc[®] WF4398(c) Aronfloc[®] A130(d) Aronfloc[®] A125S

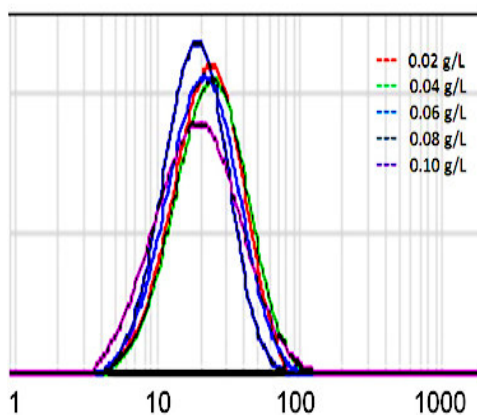
รูปที่ 4.2 การกระจายตัวขนาดอนุภาคของน้ำยางสกิมที่รวบรวมด้วยสารจับตัวชนิดต่างๆ เช่น (a) Accofloc[®] C480 (b) Waterfloc[®] WF4398 (c) Aronfloc[®] A130 และ (d) Aronfloc[®] A125S โดยแปรปริมาณสารจับตัวที่ 0.02-0.10 g/L ที่สภาวะ pH 5.0



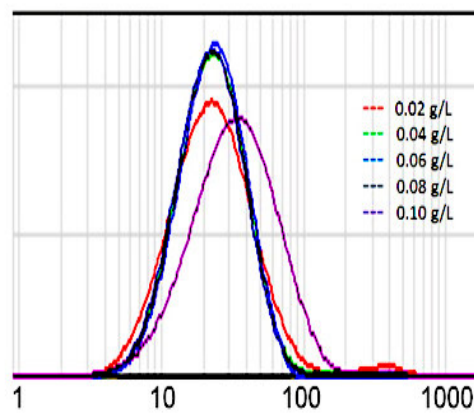
(a) Accofloc[®] C480



(b) Waterfloc[®] WF4398



(c) Aronfloc[®] A130



(d) Aronfloc[®] A125S

รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของน้ำยางสีกิมที่รวบรวมด้วยสารจับตัวชนิดต่างๆ เช่น (a) Accofloc[®] C480 (b) Waterfloc[®] WF4398 (c) Aronfloc[®] A130 และ (d) Aronfloc[®] A125S โดยแปรปริมาณสารจับตัวที่ 0.02-0.10 g/L ที่สภาวะ pH 5.5

ตารางที่ 4.2 อิทธิพลของสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำยางสกิมเมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.0 ที่ปริมาณ 0.02-0.10 g/L

Polymer dose (g/L)	Average particle size of the recovery skim rubber particle (μm)			
	Accofloc [®] C480	Waterfloc [®] WF4398	Aronfloc [®] A130	Aronfloc [®] A125S
0.02	69.83	53.16	48.28	44.73
0.04	79.85	54.14	62.12	39.07
0.06	83.38	63.93	54.90	38.13
0.08	76.37	72.87	46.43	38.65
0.10	119.87	76.82	60.78	58.66

ตารางที่ 4.3 อิทธิพลของสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำยางสกิมเมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.5 ที่ปริมาณ 0.02-0.10 g/L

Polymer dose (g/L)	Average particle size of the recovery skim rubber particle (μm)			
	Accofloc [®] C480	Waterfloc [®] WF4398	Aronfloc [®] A130	Aronfloc [®] A125S
0.02	22.76	20.41	19.26	19.51
0.04	20.42	22.40	18.84	19.71
0.06	20.81	17.79	18.03	19.28
0.08	22.60	21.56	16.71	19.13
0.10	32.66	18.89	16.69	26.16

2) อิทธิพลของปริมาณสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีต่อประสิทธิภาพในการจับตัวของอนุภาคของน้ำยางสกิม

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 เป็นผลการสังเกตอัตราเร็วในการจับตัวของอนุภาคน้ำยางสกิมและเปอร์เซ็นต์ในการรวบรวมเนื้อยางสกิม ด้วยสารจับตัวชนิดต่างๆ โดยการใช้กรดฟอร์มิกทำการปรับสภาพน้ำยางสกิมที่สภาวะ pH 5.0 และ pH 5.5 จากนั้นทำการจับตัวด้วยสารจับตัวที่ปริมาณความเข้มข้น 0.02-0.10 g/L

ที่สภาวะ pH 5.0 สารจับตัวชนิด Accofloc[®] C480 Waterfloc[®] WF4398 Aronfloc[®] A130 และ Aronfloc[®] A125S สามารถจับตัวน้ำอย่างสกิมได้อย่างสมบูรณ์ตั้งรูปที่ 4.4 และ 4.5 แต่ใช้ระยะเวลาในการจับตัวที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณสารจับตัวที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่ปริมาณความเข้มข้นของสารจับตัวตั้งแต่ 0.08 g/L สามารถให้เวลาในการจับตัวน้อยกว่า 60 min แต่อย่างไรก็ตามที่ปริมาณความเข้มข้นสารจับตัวช่วง 0.02 g/L ก็สามารถให้การจับตัวได้สมบูรณ์เช่นเดียวกัน แต่ใช้เวลานานขึ้นประมาณ 1-6 h ยกเว้นในกรณีของสารจับตัว Aronfloc[®] A125S ซึ่งใช้เวลามากกว่า 6 h

สำหรับสภาวะ pH 5.5 เมื่อใช้ปริมาณความเข้มข้นของสารจับตัวปริมาณ 0.02-0.10 g/L พบว่าสารจับตัวชนิด Waterfloc[®] WF4398 Aronfloc[®] A130 และ Aronfloc[®] A125S ไม่สามารถจับตัวน้ำอย่างสกิมได้อย่างสมบูรณ์และใช้เวลานาน ยกเว้นในกรณีของสารจับตัว Accofloc[®] C480 พบว่าสามารถจับตัวน้ำอย่างสกิมได้อย่างสมบูรณ์ ที่ปริมาณความเข้มข้น 0.06-0.10 g/L ตั้งรูปที่ 4.6 นอกจากนั้นแล้วสารจับตัว Accofloc[®] C480 ที่ปริมาณ 0.10 g/L สามารถใช้ระยะเวลาในการจับตัวได้น้อยกว่า 60 min

อย่างไรก็ตาม การเกิดการเชื่อมขำระหว่างอนุภาคแบบคล้ายสะพาน เริ่มจากการที่สายโซ่พอลิเมอร์ที่อยู่บางส่วนของผิวของหลายอนุภาคเกิดแรงกระทำขึ้น อาจเป็นพันธะไฮโดรเจนระหว่างส่วนที่มีประจุบนผิวอนุภาคยากกับประจุบนสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีประจุตรงข้ามกัน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่ใช้ นั่นคือ น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ใช้ต้องมีค่าไม่สูงจนเกินไป ซึ่งขนาดและรูปร่างของโมเลกุลขึ้นอยู่กับความแรงของไอออนของสารละลายและระดับการแตกตัวเป็นไอออน (Ives K.J., 1978) แสดงให้เห็นว่าสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ประเภทพอลิเมอร์ประจุบวกชนิด Accofloc[®] C480 สามารถแตกตัวได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด ทำให้มีความแรงของไอออนสูงกว่าสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ประเภทพอลิเมอร์ประจุลบชนิด Waterfloc[®] WF4398 Aronfloc[®] A130 และ Aronfloc[®] A125S ตามลำดับ จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการตกตะกอนและจับตัวน้ำอย่างสกิมได้ดีกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่สภาวะ pH 5.0-5.5

ตารางที่ 4.4 อิทธิพลของชนิดและปริมาณสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีต่อระยะเวลาในการจับตัวน้ำยางสกิม เมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.0 ที่ปริมาณ 0.02-0.10 g/L

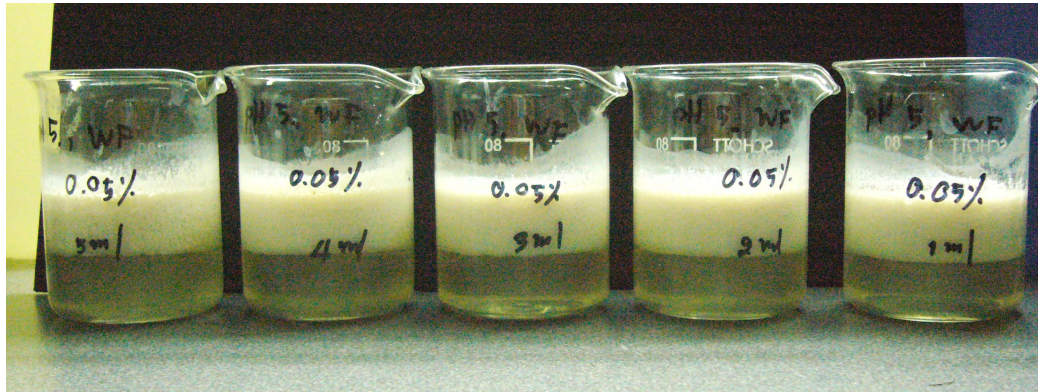
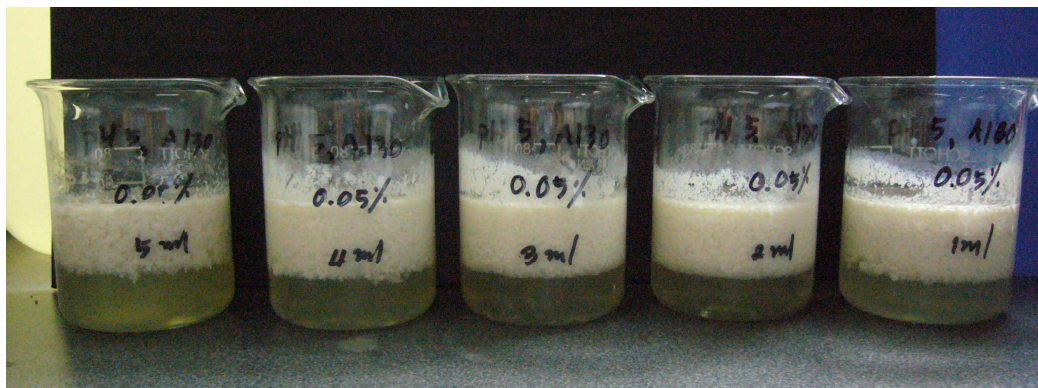
Polymer dose (g/L)	Characteristic of coagulation			
	Accofloc [®] C480	Waterfloc [®] WF4398	Aronfloc [®] A130	Aronfloc [®] A125S
0.02	a. Moderate	a. Moderate	a. Moderate	a. Slow
	b. 100%	b. 100%	b. 100%	b. 90%
0.04	a. Moderate	a. Moderate	a. Moderate	a. Moderate
	b. 100%	b. 100%	b. 100%	b. 90%
0.06	a. Moderate	a. Moderate	a. Moderate	a. Moderate
	b. 100%	b. 100%	b. 100%	b. 95%
0.08	a. Rapid	a. Rapid	a. Rapid	a. Rapid
	b. 100%	b. 100%	b. 100%	b. 100%
0.10	a. Rapid	a. Rapid	a. Rapid	a. Rapid
	b. 100%	b. 100%	b. 100%	b. 100%

Note: a. Rate of coagulation (Rapid; < 60 min, Moderate; 1-6 h, slow; >6 h)
b. Percentages of recovery skim rubber (%)



(a) Accofloc[®] C480

รูปที่ 4.4 ลักษณะการจับตัวน้ำยางสกิมด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ (a) Accofloc[®] C480 (b) Waterfloc[®] WF4398 (c) Aronfloc[®] A130 (d) Aronfloc[®] A125S เมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.0 ที่ปริมาณ 0.02-0.10 g/L

(b) Waterfloc[®] WF 4398(c) Aronfloc[®] A130(d) Aronfloc[®] A125S

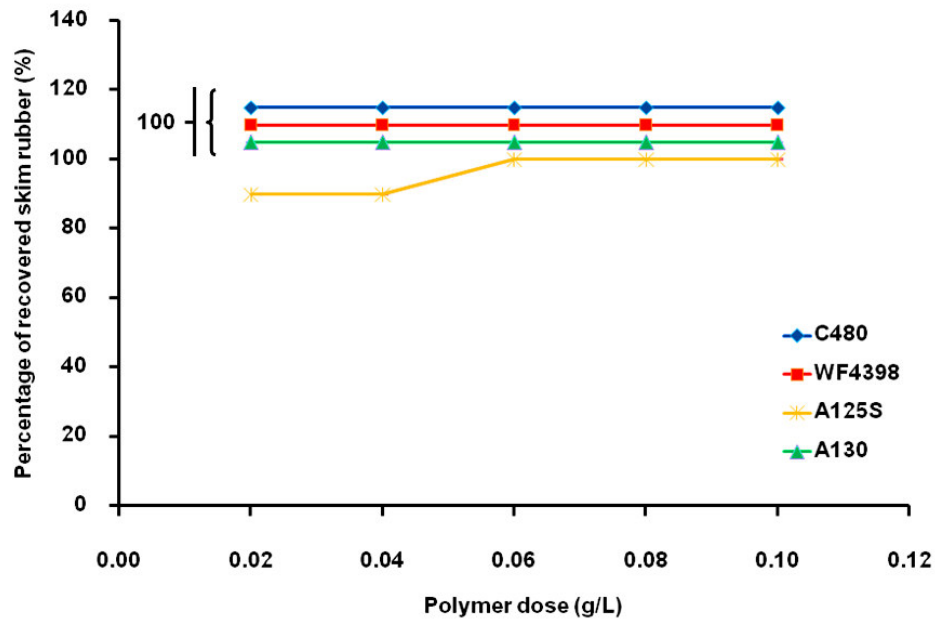
รูปที่ 4.4 (ต่อ) ลักษณะการจับตัวน้ำอย่างสทิมด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ (a) Accofloc[®] C480 (b) Waterfloc[®] WF4398 (c) Aronfloc[®] A130 (d) Aronfloc[®] A125S เมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.0 ที่ปริมาณ 0.02-0.10 g/L

ตารางที่ 4.5 อิทธิพลของชนิดและปริมาณสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีต่อระยะเวลาในการจับตัวน้ำยางสกิม เมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.5 ที่ปริมาณ 0.02-0.10 g/L

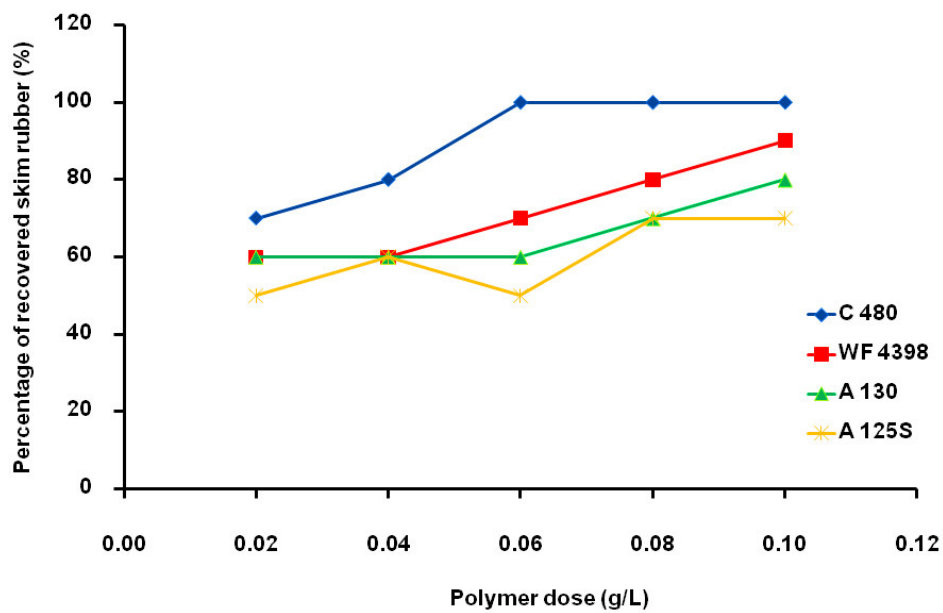
Polymer dose (g/L)	Characteristic of coagulation			
	Accofloc [®] C480	Waterfloc [®] WF4398	Aronfloc [®] A130	Aronfloc [®] A125S
0.02	a. Slow	a. Slow	a. Slow	a. Slow
	b. 70%	b. 60%	b. 60%	b. 50%
0.04	a. Slow	a. Slow	a. Slow	a. Slow
	b. 80%	b. 60%	b. 60%	b. 60%
0.06	a. Moderate	a. Slow	a. Slow	a. Slow
	b. 100%	b. 70%	b. 60%	b. 50%
0.08	a. Moderate	a. Moderate	a. Slow	a. Slow
	b. 100%	b. 80%	b. 70%	b. 70%
0.10	a. Rapid	a. Moderate	a. Slow	a. Slow
	b. 100%	b. 90%	b. 80%	b. 70%

Note : a. Rate of coagulation (Rapid; < 60 min, Moderate; 1-6 hour, slow; >6 hour)

b. Percentages of recovery skim rubber (%)



รูปที่ 4.5 อิทธิพลของปริมาณสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ (dose; g/L skim latex) แต่ละชนิดต่อค่าเปอร์เซ็นต์ในการรวบรวมเนื้ออย่างสุกิม ที่สภาวะ pH 5.0



รูปที่ 4.6 อิทธิพลของปริมาณสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ (dose; g/L skim latex) แต่ละชนิดต่อค่าเปอร์เซ็นต์ในการรวบรวมเนื้ออย่างสุกิม ที่สภาวะ pH 5.5

4.1.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการจับตัวของสปีดด้วยสารละลายเกลืออนินทรีย์

ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการจับตัวของสปีดโดยใช้สารละลายเกลืออนินทรีย์ (inorganic salt) ซึ่งเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) เช่น NaCl CaCl₂ MgCl₂ และ (NH₄)₂SO₄

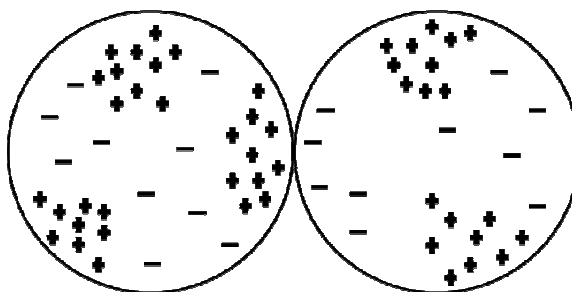
4.1.2.1 ประสิทธิภาพของสารละลายเกลืออนินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ในการจับตัวและรวบรวมอนุภาคเนื้อเยื่ออย่างสปีด

การจับตัวและรวบรวมเนื้อเยื่ออย่างสปีดด้วยสารละลายเกลืออนินทรีย์นั้น มีขั้นตอนและกลไกการทำให้เกิดการจับตัวดังนี้

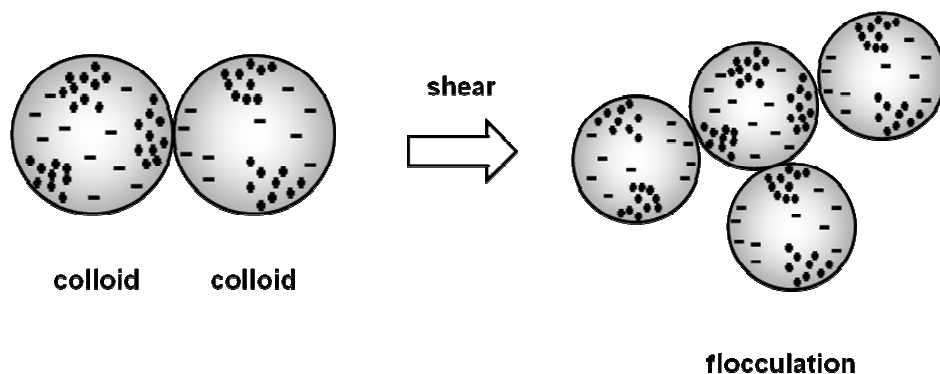
1. Charge neutralization คือ การปรับสภาพความเป็นกรดในน้ำอย่างสปีดด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก เพื่อทำลายความเป็นประจุลบในอนุภาคน้ำยางให้เป็นกลางหรือลดลง เป็นการสร้างโอกาสสัมผัสให้อนุภาครวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่

2. Double layer compression คือ การลดความหนาของชั้นกระจาย (diffuse layer) โดยการเพิ่มประจุตรงข้ามกับคอลลอยด์ในชั้นกระจายให้มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.7 โดยการเติมสารละลายเกลืออนินทรีย์

3. Orthokinetic flocculation คือ กระบวนการกวนเพื่อให้ตะกอนเกิดการชนกันมากขึ้น จนทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน แสดงในรูปที่ 4.8 ที่สำคัญคือการกวนต้องไม่เร็วเกินไป มิฉะนั้นแล้วตะกอนที่เกิดขึ้นอาจแตกหรือหลุดออกจากกันได้



รูปที่ 4.7 ภาพแสดง Electrostatic patch model ของคอลลอยด์ที่มีประจุลบ เมื่อทำการจับตัวด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์หรือเกลืออนินทรีย์ (ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Bolto B., 2007)



รูปที่ 4.8 ความเป็นไปได้ของกลไกจำลองการเกิด Flocculation เมื่อทำการจับตัวด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ หรือเกลืออนินทรีย์

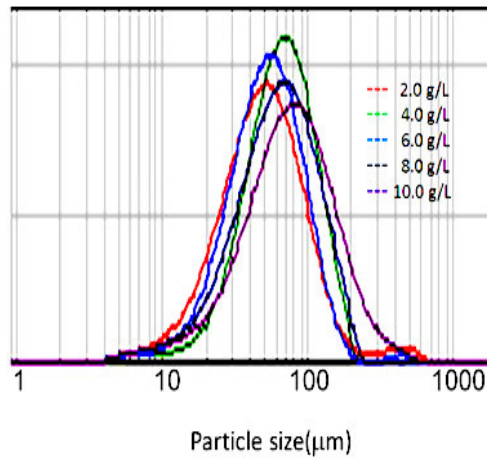
1) อิทธิพลของปริมาณสารละลายเกลืออนินทรีย์ที่มีต่อการกระจายตัวของขนาดอนุภาคน้ำยางสกิม

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคยางที่เพิ่มขึ้นเป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาประสิทธิภาพและปริมาณที่เหมาะสมของเกลืออนินทรีย์ สำหรับการนำมาใช้ในกระบวนการจับตัวยางสกิม ซึ่งในการทดลองนี้ทำการศึกษาสภาวะในการจับตัวที่ pH 5.0 และ pH 6.0 โดยการแปรปริมาณเกลืออนินทรีย์แต่ละชนิดที่ 2.0-10.0 g/L ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าการเพิ่มปริมาณสารจับตัวเกลืออนินทรีย์ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคน้ำยางสกิมอย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของ CaCl_2 และ MgCl_2 ที่สภาวะ pH 6.0 ในรูปที่ 4.9 และ 4.10

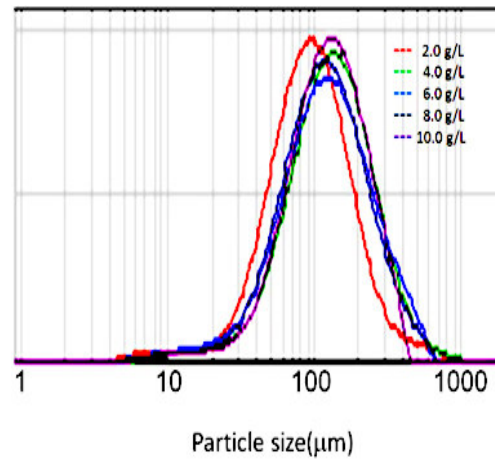
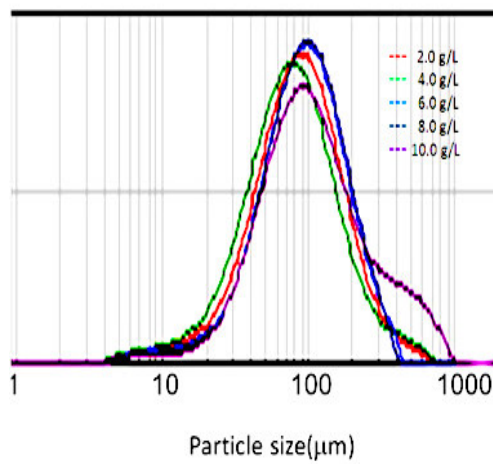
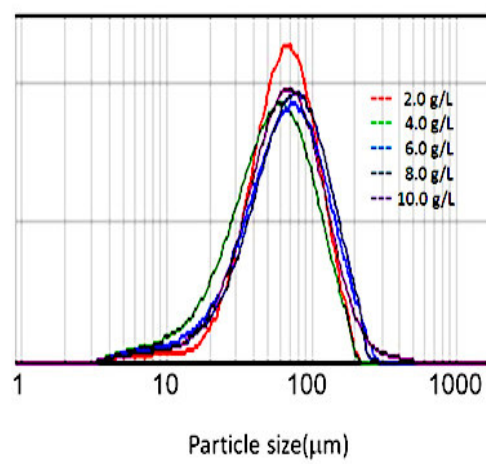
จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 พบว่า ที่สภาวะ pH 5.0 เมื่อทำการแปรปริมาณสารจับตัวเกลืออนินทรีย์ชนิด CaCl_2 และ MgCl_2 ที่ปริมาณ 2.0-10.0 g/L พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นอย่างมาก โดยขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 94.23-124.62 μm และ 86.08-101.66 μm ตามลำดับ ในส่วนของสารจับตัวเกลืออนินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เช่น NaCl และ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ พบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นสูงขึ้น ที่ปริมาณ 2.0-10.0 g/L ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดอนุภาคน้ำยางสกิมเท่าใดนัก โดยขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของน้ำยางสกิมที่เติม NaCl และ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ อยู่ในช่วงประมาณช่วง 50-80 μm ซึ่งแสดงถึงการมีประสิทธิภาพในการเพิ่มขนาดอนุภาคน้ำยางสกิมที่ต่ำกว่า CaCl_2 และ MgCl_2 และที่สภาวะ pH 6.0 ก็ให้ผลทดสอบที่สอดคล้องกันคือ CaCl_2 สามารถเพิ่มขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของน้ำยางสกิมได้มี

ประสิทธิภาพมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารจับตัวชนิดอื่นๆ นั่นคือเมื่อทำการแปรปริมาณที่ 2.0-10.0 g/L ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 26.40-109.95 μm ในส่วนของ MgCl_2 และ NaCl ให้ประสิทธิภาพได้ใกล้เคียงกันโดยให้การเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 25.19-57.87 μm และ 25.19-57.87 μm และกรณีของ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ให้ประสิทธิภาพต่ำสุด โดยให้การเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 21.88-29.20 μm

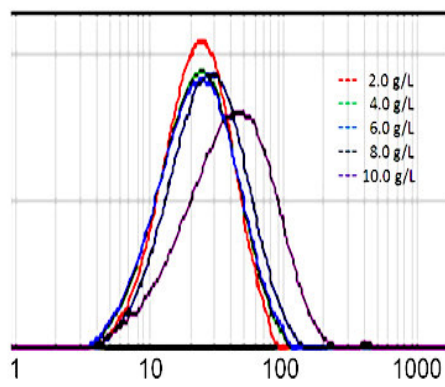
จากผลการทดลองนี้ทำให้ทราบได้ว่าที่สภาวะ pH 5.0-6.0 สารจับตัวเกลืออนินทรีย์ชนิด CaCl_2 ให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มขนาดอนุภาคน้ำยางสกิมได้มีประสิทธิภาพมากกว่า MgCl_2 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ และ NaCl ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากความแรงของค่า ionic strength ของสารละลายที่แตกต่างกัน (CaCl_2 มีความแรง หรือพลังงานวาเลนซ์อิเล็กตรอน (valence electron) มากกว่า MgCl_2 NaCl และ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ตามลำดับ) หรือความหนาแน่นของประจุที่สูงขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเกลืออนินทรีย์



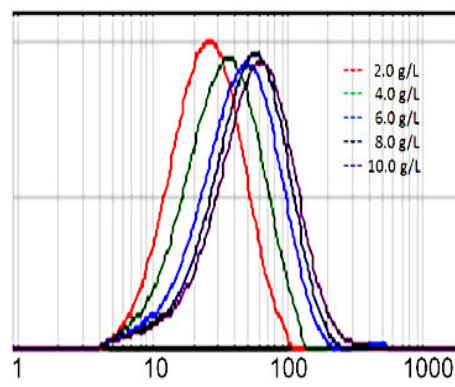
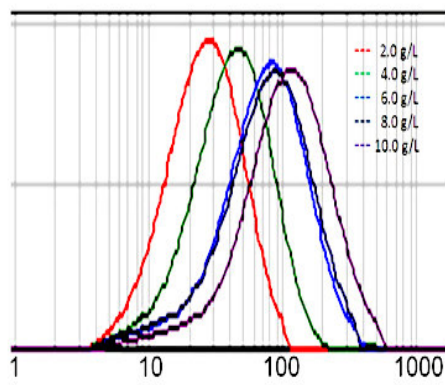
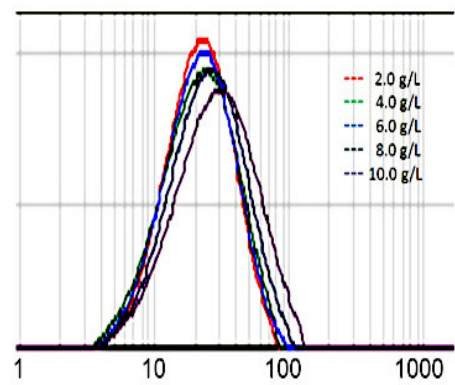
(a) NaCl

(b) CaCl₂(c) MgCl₂(d) (NH₄)₂SO₄

รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวขนาดอนุภาคของน้ำยางสกิม ที่สภาวะ pH 5.0 เมื่อปริมาณสารละลายเกลืออนินทรีย์เพิ่มขึ้นที่ปริมาณ 2.0-10.0 g/L โดย (a) NaCl (b) CaCl₂ (c) MgCl₂ และ (d) (NH₄)₂SO₄ ตามลำดับ



(b) NaCl

(b) CaCl₂(c) MgCl₂(d) (NH₄)₂SO₄

รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวขนาดอนุภาคของน้ำยางสกิม ที่สภาวะ pH 6.0 เมื่อปริมาณสารละลายเกลืออนินทรีย์เพิ่มขึ้น ที่ปริมาณ 2.0-10.0 g/L โดย (a) NaCl (b) CaCl₂ (c.) MgCl₂ และ (d) (NH₄)₂SO₄ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 อิทธิพลของสารละลายเกลืออนินทรีย์ที่มีต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำยางskim เมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.0 ที่ปริมาณ 2.0-10.0 g/L

Inorganic salt dose (g/L)	Average particle size of the recovery skim rubber particle (μm)			
	NaCl	CaCl ₂	MgCl ₂	(NH ₄) ₂ SO ₄
2.0	49.61	94.23	86.08	64.97
4.0	66.04	131.05	76.29	54.54
6.0	52.73	122.10	93.08	67.12
8.0	62.96	117.30	94.16	71.10
10.0	76.13	124.62	101.66	65.34

ตารางที่ 4.7 อิทธิพลของสารละลายเกลืออนินทรีย์ที่มีต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำยางskim เมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 6.0 ที่ปริมาณ 2.0-10.0 g/L

Inorganic salt dose (g/L)	Average particle size of the recovery skim rubber particle (μm)			
	NaCl	CaCl ₂	MgCl ₂	(NH ₄) ₂ SO ₄
2.0	23.18	26.40	25.19	21.88
4.0	23.12	42.83	33.68	22.17
6.0	23.22	75.70	45.35	22.12
8.0	27.41	79.50	52.56	25.27
10.0	40.46	109.95	57.87	29.20

2) อิทธิพลของปริมาณสารละลายเกลืออนินทรีย์ที่มีต่อประสิทธิภาพในการจับตัวของอนุภาคของน้ำยางskim

จากตารางที่ 4.8 และ 4.9 เป็นผลการสังเกตอัตราเร็วในการจับตัวของอนุภาคน้ำยางskim และเปอร์เซ็นต์ในการรวบรวมเนือยางskim ด้วยเกลืออนินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยการใช้กรดฟอร์มิกทำการปรับสภาพน้ำยางskim ที่สภาวะ pH 5.0 และ pH 6.0 จากนั้นทำการจับตัวด้วยสารจับตัวที่ปริมาณความเข้มข้น 2.0-10.0 g/L

ที่สภาวะ pH 5.0 เกลืออนินทรีย์ชนิด NaCl CaCl₂ MgCl₂ และ (NH₄)₂SO₄ สามารถจับตัวน้ำยางskim ได้อย่างสมบูรณ์ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12 และใช้ระยะเวลาในการจับตัว

ที่ไม่แตกต่างกันมาก โดยพบว่าสามารถทำให้น้ำยางสกิมจับตัวได้อย่างสมบูรณ์ที่ปริมาณความเข้มข้นเพียง 2.0 g/L และยังสามารถใช้เวลาในการจับตัวได้น้อยกว่า 60 min

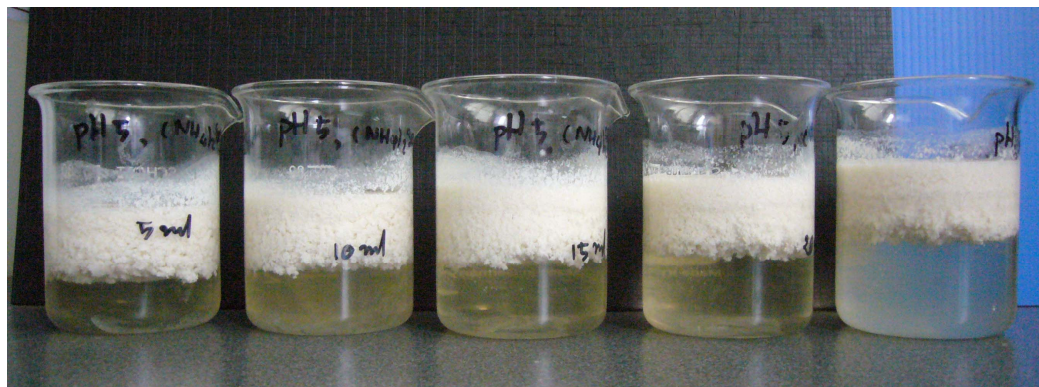
สำหรับสภาวะที่ pH 6.0 เมื่อใช้ปริมาณความเข้มข้นของเกลืออนินทรีย์ ที่ปริมาณ 2.0-10.0 g/L พบว่า NaCl MgCl₂ และ (NH₄)₂SO₄ ไม่สามารถจับตัวน้ำยางสกิมได้อย่างสมบูรณ์ และใช้ระยะเวลานาน ยกเว้นในกรณีของสารจับตัว CaCl₂ เท่านั้นที่พบว่าสามารถจับตัวน้ำยางสกิมได้อย่างสมบูรณ์ ที่ปริมาณความเข้มข้น 8.0-10.0 g/L แต่ใช้ระยะเวลาในการจับตัวนานกว่า 6 h ดังรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าการจับตัวน้ำยางสกิมด้วยเกลืออนินทรีย์ให้ประสิทธิภาพในการจับตัวที่สภาวะ pH 6.0 ได้ดีกว่าที่ pH 5.0

อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ทำให้เกิดการรวมกันของอนุภาคขึ้นอยู่กับส่วนของประจุชนิดตรงข้าม โดยพบว่าในกระบวนการจับตัวด้วยเกลืออนินทรีย์หรือสารละลายอิเล็กโทรไลต์นั้น นอกจากปริมาณความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์แล้ว ความแรงหรือจำนวนของประจุตรงข้ามมีผลเป็นอย่างมากต่อการจับตัว ดังแสดงให้เห็นได้จากผลการทดลอง โดยที่ CaCl₂ มีความแรงหรือพลังงานวาเลนซ์อิเล็กตรอน (valence electron) มากกว่า MgCl₂ NaCl และ (NH₄)₂SO₄ ตามลำดับ ซึ่งกลไกการจับตัวแบบนี้เรียกว่า กลไกการลดความหนาของชั้นกระจาย (diffuse layer) โดยการเพิ่มประจุตรงข้ามกับคอลลอยด์ในชั้นกระจายให้มากขึ้นด้วยการเติมสารละลายเกลืออนินทรีย์ ซึ่งทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้า (zeta potential) ที่ผิวนอกสุดลดลงตามไปด้วยจนทำอนุภาคยางสกิมจับตัวกัน (Tangboriboonrat P. et al., 2001)

ตารางที่ 4.8 อิทธิพลของสารละลายเกลืออนินทรีย์ที่มีต่อระยะเวลาในการจับตัวน้ำยางสกิม สกิมเมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.0 ที่ปริมาณ 2.0-10.0 g/L

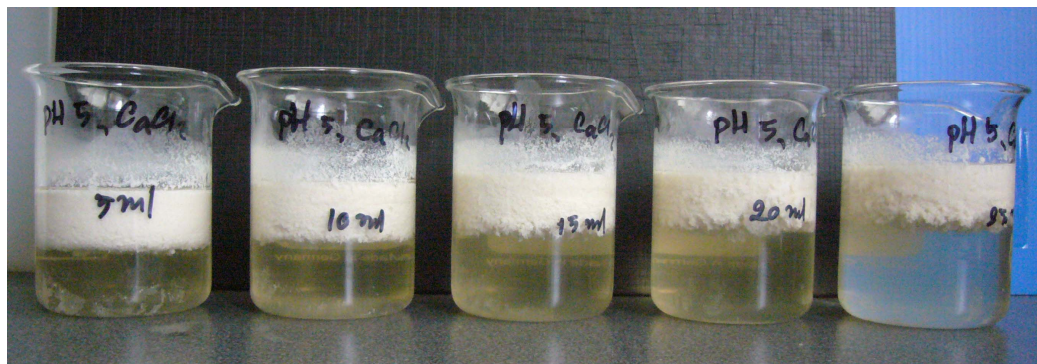
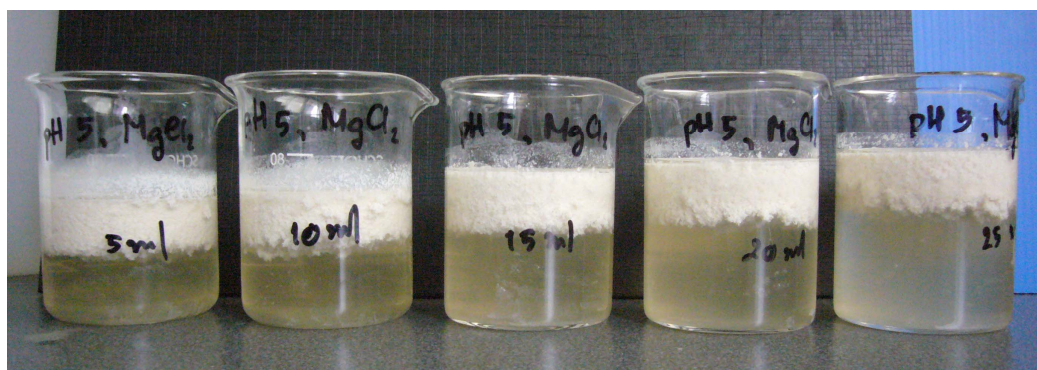
Inorganic salt dose (g/L)	Rate of coagulation			
	NaCl	CaCl ₂	MgCl ₂	(NH ₄) ₂ SO ₄
2.0	a. Rapid	a. Rapid	a. Rapid	a. Rapid
	b. 100%	b. 100%	b. 100%	b. 100%
4.0	a. Rapid	a. Rapid	a. Rapid	a. Rapid
	b. 100%	b. 100%	b. 100%	b. 100%
6.0	a. Rapid	a. Rapid	a. Rapid	a. Rapid
	b. 100%	b. 100%	b. 100%	b. 100%
8.0	a. Rapid	a. Rapid	a. Rapid	a. Rapid
	b. 100%	b. 100%	b. 100%	b. 100%
10.0	a. Rapid	a. Rapid	a. Rapid	a. Rapid
	b. 100%	b. 100%	b. 100%	b. 100%

Note : a. Rate of coagulation (Rapid; < 60 min, Moderate; 1-6 hour, slow; >6 hour)
b. Percentages of recovery skim rubber (%)



(a) NaCl

รูปที่ 4.11 ลักษณะการจับตัวน้ำยางสกิมด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์เกลืออนินทรีย์ (a) NaCl (b) CaCl₂ (c) MgCl₂ (d) (NH₄)₂SO₄ เมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.0 ที่ปริมาณ 2.0-10.0 g/L

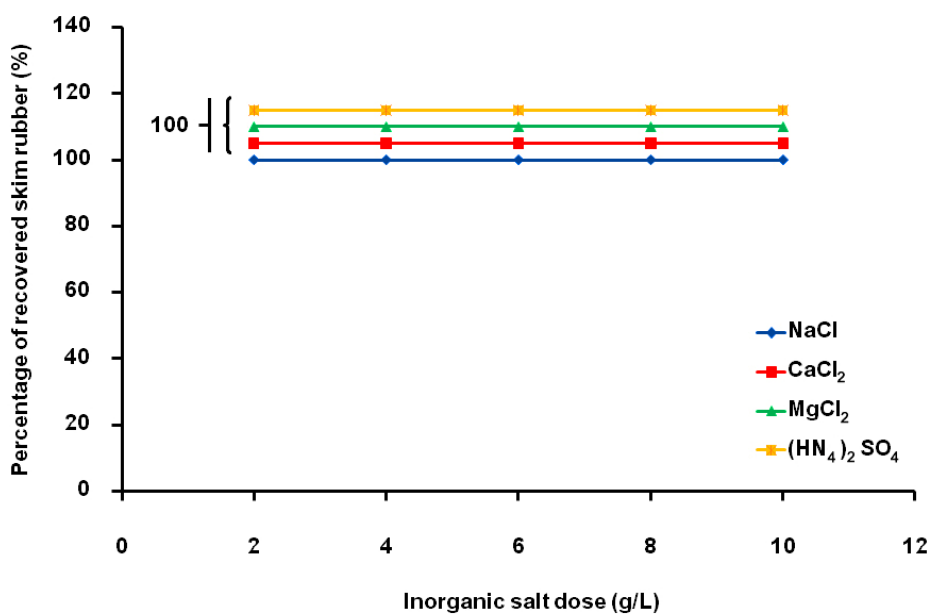
(b) CaCl_2 (c) MgCl_2 (d) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

รูปที่ 4.11 (ต่อ) ลักษณะการจับตัวของน้ำยางสกิมด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์เกลืออนินทรีย์ (a) NaCl (b) CaCl_2 (c) MgCl_2 (d) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ เมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.0 ที่ปริมาณ 2.0-10.0 g/L

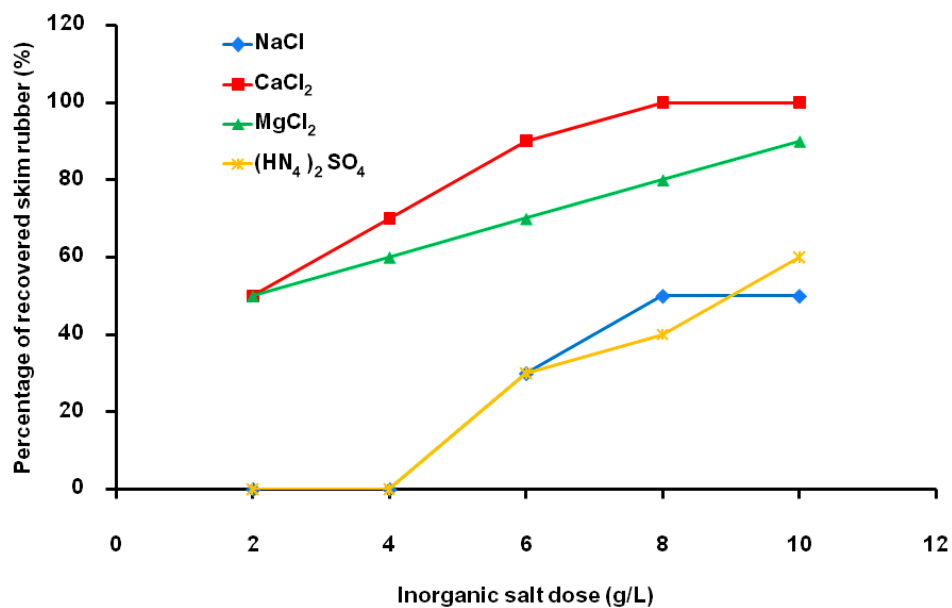
ตารางที่ 4.9 อิทธิพลของสารละลายเกลืออนินทรีย์ที่มีต่อระยะเวลาในการจับตัวน้ำยางskim เมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 6.0 ที่ปริมาณ 2.0-10.0 g/L

Inorganic salt dose (g/L)	Rate of coagulation			
	NaCl	CaCl ₂	MgCl ₂	(NH ₄) ₂ SO ₄
2.0	a. Slow	a. Slow	a. Slow	a. Slow
	b. nd	b. 50%	b. 50%	b. nd
4.0	a. Slow	a. Slow	a. Slow	a. Slow
	b. nd	b. 70%	b. 60%	b. nd
6.0	a. Slow	a. Slow	a. Slow	a. Slow
	b. 30%	b. 90%	b. 70%	b. 30%
8.0	a. Slow	a. Slow	a. Slow	a. Slow
	b. 50%	b. 100%	b. 80%	b. 40%
10.0	a. Slow	a. Slow	a. Slow	a. Slow
	b. 50%	b. 100%	b. 90%	b. 60%

Note : a. Rate of coagulation (Rapid; < 60 min, Moderate; 1-6 hour, slow; >6 hour)
b. Percentages of recovery skim rubber (%)



รูปที่ 4.12 อิทธิพลของปริมาณสารละลายเกลืออนินทรีย์ (dose; g/L skim latex) แต่ละชนิดต่อค่าเปอร์เซ็นต์ในการรวบรวมเนื้อยางskim เมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 5.0



รูปที่ 4.13 อิทธิพลของปริมาณสารละลายเกลืออนินทรีย์ (dose; g/L skim latex) แต่ละชนิดต่อค่าเปอร์เซ็นต์ในการรวบรวมเนื้อยางskimเมื่อทำการปรับสภาพที่ pH 6.0

4.1.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางสกิมที่จับตัวด้วยสารละลายพอลิเอ็กโพรไลต์และเกลืออนินทรีย์

ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางสกิมที่จับตัวด้วยเทคนิคใหม่นี้ ทำการวิเคราะห์เฉพาะสารละลายพอลิเอ็กโพรไลต์ หรือเกลืออนินทรีย์ ชนิดที่สามารถให้ประสิทธิภาพในการจับตัวได้ดีที่สุดเท่านั้น เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของยางสกิมที่จับตัวแบบธรรมดา

4.1.3.1 สมบัติทางกายภาพของยางสกิมที่จับตัวด้วยสารละลายพอลิเอ็กโพรไลต์

จากตารางที่ 4.10 พบว่ายางสกิมที่ได้จากกระบวนการจับตัวด้วยสารละลายพอลิเอ็กโพรไลต์ชนิด Accofloc[®] C480 และ Aronfloc[®] A130 ให้สมบัติที่ไม่แตกต่างจากยางสกิมที่จับตัวด้วยวิธีธรรมดามากนัก การจับตัวด้วยสารละลายพอลิเอ็กโพรไลต์สามารถทำให้ปริมาณองค์ประกอบอื่นๆที่ไม่ใช่ยาง เช่น ปริมาณค่าไนโตรเจน ปริมาณเถ้า และค่าระดับสี ที่ต่ำกว่ายางสกิมแบบธรรมดา และในส่วนของค่าความหนืดและค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นในกรณีของยางสกิมที่ได้จากกระบวนการจับตัวด้วยสารละลายพอลิเอ็กโพรไลต์ชนิด Aronfloc[®] A130 ที่ให้ค่าความหนืดและค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นที่ต่ำกว่า แต่อย่างไรก็ตาม การจับตัวด้วยสารละลายพอลิเอ็กโพรไลต์ไม่ส่งผลต่อค่าดัชนีความอ่อนตัวของยาง (PRI) แต่อย่างใด กล่าวคือ ค่าดัชนีความอ่อนตัวเริ่มต้นของยางสกิมที่ได้จากกระบวนการจับตัวด้วยสารละลายพอลิเอ็กโพรไลต์ให้ค่าที่ไม่แตกต่างจากยางสกิมธรรมดาทั่วไป

ตารางที่ 4.10 สมบัติทางกายภาพของยางสกิมที่ได้จากการจับตัวด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ชนิด Accofloc[®] C480 และ Aronfloc[®] A130

Properties	Skim rubber from polymer coagulants		
	Accofloc [®] C480	Aronfloc [®] A130	Control skim
Nitrogen content (%wt.)	3.40	3.44	3.60
Ash content (%wt.)	0.88	1.08	1.22
Mooney viscosity			
ML 1+4	92	80	98
MR(30)	44	46	41
Wallace plasticity			
P _o	44.5	42.0	44.5
PRI	31.5	35.2	31.5
Color index (Iovibond no.)	15	15	16

4.1.3.2 สมบัติทางกายภาพของยางสกิมที่จับตัวด้วยสารละลายเกลืออนินทรีย์

จากตารางที่ 4.11 พบว่าการจับตัวน้ำยางสกิมด้วยสารละลายเกลืออนินทรีย์ชนิด CaCl₂ และ MgCl₂ ให้สมบัติทางกายภาพที่แตกต่างจากยางสกิมที่จับตัวแบบธรรมดาอย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีของยางสกิมที่จับตัวด้วย CaCl₂ พบว่ามีค่าความหนืดและค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นที่ต่ำกว่าถึง 72 และ 38.0 ตามลำดับ ส่วนกรณียางสกิมที่จับตัวด้วย MgCl₂ และยางสกิมแบบธรรมดาให้ค่าความหนืดที่ประมาณ 98 เท่ากัน แต่ให้ค่าความอ่อนตัวแตกต่างกัน โดยค่าความอ่อนของ MgCl₂ และยางสกิมแบบธรรมดาเท่ากับ 55.5 และ 44.5 นอกจากนี้แล้ว ยางสกิมที่ผ่านกระบวนการจับตัวด้วยเกลืออนินทรีย์ชนิด CaCl₂ และ MgCl₂ มีปริมาณค่าไนโตรเจน ลดลงถึง 3.25% และ 3.28% ปริมาณเถ้า ลดลงถึง 0.97% และ 0.58% ตามลำดับ และยังให้ค่าระดับสีของยางสกิมที่ดีขึ้นถึง 14 Iovibond

อย่างไรก็ตามการจับตัวน้ำยางสกิมด้วยสารละลายเกลืออนินทรีย์ชนิด CaCl₂ และ MgCl₂ ยังให้ค่าดัชนีความอ่อนตัวของยางสกิมที่ต่ำกว่ายางสกิมที่จับตัวแบบธรรมดาเป็นอย่างมาก ซึ่งอาจเป็นสาเหตุจากปริมาณองค์ประกอบอื่นๆที่ไม่ใช่ยางลดลง หรือผลขององค์ประกอบอื่นเนื่องจากการจับตัวด้วยเกลืออนินทรีย์นั่นเอง

ตารางที่ 4.11 สมบัติทางกายภาพของยางสกินที่ได้จากการจับตัวด้วยสารละลายเกลืออนินทรีย์ชนิด CaCl_2 และ MgCl_2

Properties	Skim rubber from inorganic salt coagulants		
	CaCl_2	MgCl_2	Control skim
Nitrogen content (%wt.)	3.25	3.28	3.60
Ash content (%wt.)	0.97	0.58	1.22
Mooney viscosity			
ML 1+4	72	98	98
MR(30)	45	42	41
Wallace plasticity			
P _o	38.0	55.5	44.5
PRI	22.4	19.0	31.5
Color index (Iovibond no.)	14	14	16

4.1.3.3 สมบัติทางกายภาพของยางสกินที่จับตัวด้วย Maxfloc[®] ในระดับอุตสาหกรรมด้วยเทคนิคการจับตัวแบบใหม่

หลักการพื้นฐานของกระบวนการจับตัวและรวบรวมเนื้อยางสกินด้วยเทคนิคใหม่นี้ คือ การทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อนที่สภาวะ pH ที่สูงกว่าการจับตัวด้วยกรด โดยการเติมกรดในน้ำยางสกินเพื่อลดระดับ pH ให้เหลือประมาณ pH 5.0-6.0 จากนั้นทำการเติมสารพอลิเมอร์ประเภทประจุบวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งเมื่อเติมลงไปใต้น้ำยางสกินที่สภาวะกรด สามารถให้ออนเป็นจำนวนมากเพื่อเกาะจับกับอนุภาคยางสกิน ทำให้เกิดจับตัวเป็นก้อนยางสกินและเกิดการเชื่อมตัวกัน เพื่อทำให้เกิดตะกอนและเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนในที่สุด การจับตัวและรวบรวมเนื้อยางสกินแบบใหม่นี้ นอกจากทำให้เกิดกระบวนการจับตัวที่มีประสิทธิภาพแล้ว ยังช่วยในเรื่องของการลดต้นทุนในการบำบัดน้ำทิ้งที่เหลือจากกระบวนการผลิตยางสกิน สะดวกในการใช้งานและไม่มีความเป็นพิษและอันตรายต่อผู้ใช้ ทำให้สามารถลดปริมาณสารเคมีบางชนิดในน้ำทิ้ง เช่น SO_4 หรือ ก๊าซ SO_2

การทดลองนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางสกินที่จับตัวด้วย Maxfloc[®] ซึ่งเป็นประเภทพอลิเมอร์ประจุบวก ทำการศึกษาการจับตัวน้ำยางสกินในระดับจริงในอุตสาหกรรม ที่โรงงานทดลองอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น จังหวัดสงขลา และทำการเก็บตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ระยะเวลาการผลิตตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน 2551 ถึง

4.1.4 สรุปผลการทดลองการศึกษาสภาวะในการจับตัวและรวบรวมเนื้อ ยางสกิมด้วยเทคนิคใหม่

จากการทดลองการศึกษาสภาวะในการจับตัวและรวบรวมเนื้อยางสกิมด้วยเทคนิคแบบใหม่ โดยการใช้สารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์และเกลืออนินทรีย์ พบว่าสารจับตัวพอลิเมอร์และเกลืออนินทรีย์สามารถช่วยในกระบวนการรวบรวมเนื้อยางและทำให้การจับตัวน้ำยางสกิมให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และประสิทธิภาพในการจับตัวน้ำยางสกิมด้วยสารจับตัวพอลิเมอร์และเกลืออนินทรีย์ ขึ้นอยู่กับสภาวะ pH และ ปริมาณความเข้มข้นที่ใช้ (dose) ซึ่งจากการทดลองพบว่า ที่สภาวะ pH 5-6 และปริมาณความเข้มข้นที่ใช้ 0.1-0.02 g/L ของสารจับตัวพอลิเมอร์ชนิดประจุบวก (cationic polymer flocculent; Accofloc[®] C480) ให้ประสิทธิภาพในการจับตัวน้ำยางสกิมได้ดีกว่า สารจับตัวพอลิเมอร์ชนิดประจุลบ (anionic polymer flocculent; Waterfloc[®] WF4398, Aronfloc[®] A130, A125S) และปริมาณความเข้มข้นที่ใช้ 10.0-2.0 g/L ของเกลืออนินทรีย์ CaCl_2 ให้ประสิทธิภาพในการจับตัวน้ำยางสกิมได้ดีกว่า MgCl_2 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ และ NaCl ตามลำดับ

นอกจากนี้ การจับตัวน้ำยางสกิมแบบใหม่ให้ผลิตภัณฑ์ยางสกิมที่มีปริมาณส่วนอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยางลดลง ซึ่งสังเกตได้จากค่าที่ลดลงของ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณเถ้า และระดับสีของยางสกิมที่ดีขึ้นกว่ายางสกิมที่ได้จากการจับตัวแบบเดิม และจากการจับตัวแบบใหม่ให้สมบัติทางกายภาพของยางสกิมได้ดีกว่าการจับตัวแบบเดิมเล็กน้อย เช่น มีค่าความหนืดมูนีลดลง (low Mooney viscosity) และมีค่าความต้านทานการเกิดออกซิเดชันในยางสูงขึ้น (high PRI) อย่างไรก็ตามการจับตัวน้ำยางสกิมด้วยเทคนิคใหม่โดยใช้สารจับตัวพอลิเมอร์ประจุบวก Maxfloc[®] สามารถประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมการผลิตยางสกิมได้ ที่สภาวะการจับตัวที่ pH 5.5-6.0 ที่ปริมาณการใช้ 0.1-0.2 g/L และให้ประสิทธิภาพการผลิตและสมบัติทางกายภาพของยางสกิมที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ

4.2 การศึกษากระบวนการเตรียมยางสกิม LPSR โดยใช้การทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาวิธีการเตรียมยางสกิมให้มีคุณภาพสูง ด้วยการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันด้วยสารละลายเบส สำหรับเทคนิคนี้เป็นการนำยางสกิมที่ได้จากกระบวนการจับตัวแบบใหม่ในส่วนของทดลองที่ 4.1 ที่ผ่านการล้างและรีดบดเป็นชิ้นเล็กๆ มาผ่านกระบวนการแช่ในสารละลาย NaOH ที่สภาวะความเข้มข้นและสภาวะในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ กัน เพื่อศึกษาผลของสภาวะในการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่มีต่อการลดลง

ของปริมาณองค์ประกอบอื่นๆที่ไม่ใช่ยาง และสมบัติทางกายภาพของยางสกิมที่ได้ รวมถึงศึกษาสมบัติการวัลคาไนซ์ด้วยระบบเปอร์ออกไซด์ของยางสกิมที่ได้ เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับยางสกิม LPSR

4.2.1 อิทธิพลของสภาวะในการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันยางสกิมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนและระดับสีของยางสกิม

เป็นที่ทราบกันดีว่ายางสกิม เป็นกากที่เหลือจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น ประกอบด้วยยางโดยน้ำหนักแห้งประมาณ 5%wt. และสิ่งปนเปื้อนในปริมาณที่สูง ทำให้ยางสกิมที่ได้มีคุณภาพต่ำ มีสมบัติทางกายภาพที่ไม่ดีและมีกลิ่นเหม็น เป็นเหตุให้ยางสกิมมีราคาต่ำมาก ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ก็คือ การทำการศึกษาถึงวิธีการทำให้ยางสกิมมีความบริสุทธิ์และมีคุณภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเทคนิคและวิธีการต่างๆ มากมายในการปรับปรุงสมบัติยางสกิมให้มีคุณภาพมากขึ้น เช่น การย่อยน้ำยางด้วยเอ็นไซม์ (Jumtee K.,2000 and Morris J.E.,1954) การทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของน้ำยางสกิมด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Nawamawat K. et al, 2008, Jumtee K.,2000 and Ong C.O.,1974) การบ่มน้ำยางสกิมกับยีสต์ (Jumtee K.,2000, Jayachandran K. et al, 1998) การทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันยางสกิมแห้งในสารละลายโซลูชัน (Tangpakdee J.,1998) และการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันยางสกิมดิบ (wet skim rubber crumb) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Rungvichaiwat A. et al., 1998 and The firestone Tire & Rubber company, 1955) และในงานวิจัยนี้เลือกทำการศึกษาผลของสภาวะในการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันยางสกิมดิบ ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนและสีของยางสกิมที่ได้

การทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของยางสกิม ในการทดลองนี้เป็นการนำยางสกิมดิบที่ผ่านการล้างและรีดบดเป็นชิ้นเล็กๆมาผ่านกระบวนการแช่ในสารละลาย NaOH ที่สภาวะความเข้มข้นที่ 1-7% (w/v) สภาวะในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50°C 70°C ระยะเวลา 1-5 h และที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 12-72 h ตามลำดับ

โดยพบว่าค่าปริมาณไนโตรเจนของยางสกิมธรรมดา มีค่าประมาณ 2.65% (w/w) จากตารางที่ 4.13 พบว่าหลังจากผ่านกระบวนการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่อุณหภูมิ 50°C ภายใต้การควบคุมสภาวะที่ความเข้มข้น 1-7%(w/v) NaOH ระยะเวลา 1-5 h สามารถทำให้ค่าปริมาณไนโตรเจนลดลงในช่วงประมาณ 0.80-0.15%(w/w) ดังแสดงในรูปที่ 4.14(A) โดยที่สภาวะการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่อุณหภูมิ 50°C ปริมาณความเข้มข้น 1 2 3 5 และ

7%(w/v) NaOH พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณค่าไนโตรเจนเมื่อใช้ระยะเวลา มากกว่า 4 h นั่นคือ มีปริมาณค่าไนโตรเจนลดลงประมาณ 0.25 0.24 0.23 0.20 และ 0.16 %(w/w) ตามลำดับ และจากตารางที่ 4.14 พบว่าหลังจากผ่านกระบวนการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน ภายใต้การควบคุมสภาวะที่ความเข้มข้นของ 1-7%(w/v) NaOH ระยะเวลา 1-5 h สามารถลดปริมาณค่าไนโตรเจนลงได้ในช่วงประมาณ 0.20-0.10%(w/w) ดังแสดงในรูปที่ 4.14(B) โดยพบว่าที่สภาวะการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่อุณหภูมิ 70°C ที่ปริมาณความเข้มข้น 1 2 3 5 และ 7%(w/v) NaOH พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณค่าไนโตรเจนเมื่อใช้ระยะเวลา มากกว่า 3 h นั่นคือมีปริมาณค่าไนโตรเจนลดลงประมาณ 0.14 0.12 0.12 0.11 และ 0.11 %(w/w) ตามลำดับ

ในส่วนของการทำงานปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิห้อง จากตารางที่ 4.15 พบว่าต้องใช้ระยะเวลาในการทำงานนานขึ้นถึง 12-72 h เพื่อที่จะได้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณค่าไนโตรเจนต่ำในระดับ 0.10-0.20%(w/w) โดยเมื่อใช้ระยะเวลาในการทำงานปฏิกิริยา 12 h สามารถลดค่าปริมาณไนโตรเจนอย่างสัมถลดลงถึง 0.12-0.24%(w/w) และเมื่อทำงานปฏิกิริยานานขึ้น 72 h สามารถลดค่าปริมาณไนโตรเจนลดลงไปได้ถึง 0.07-0.1%(w/w) ดังแสดงในรูปที่ 4.14(C) โดยพบว่าที่สภาวะการทำงานปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่อุณหภูมิห้อง ที่ปริมาณความเข้มข้น 1 2 3 5 และ 7%(w/v) NaOH พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณค่าไนโตรเจนเมื่อใช้ระยะเวลา มากกว่า 48 h นั่นคือมีปริมาณค่าไนโตรเจนลดลงประมาณ 0.13 0.10 0.10 0.10 และ 0.10 %(w/w) ตามลำดับ

จากการผลทดลองทั้งหมดที่กล่าวมา แสดงให้เห็นได้ว่าการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะความเข้มข้นของ NaOH ที่เท่ากัน อุณหภูมิในการทำงานส่งผลต่อประสิทธิภาพในการลดลงของปริมาณไนโตรเจนได้อย่างชัดเจน โดยที่การทำงานปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่อุณหภูมิ 70°C ให้ประสิทธิภาพสูงกว่า 50°C และที่อุณหภูมิห้อง ตามลำดับ แต่ในกรณีของการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่อุณหภูมิห้องจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการทำงานเพิ่มขึ้นถึง 72 h อย่างไรก็ตามพบว่าการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่อุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลา 48-72 h มีระดับในการลดลงของปริมาณไนโตรเจนใกล้เคียงกับการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่อุณหภูมิ 70°C ที่ระยะเวลา 3-5 h นั่นคือ มีค่าไนโตรเจนอยู่ในช่วงประมาณ 0.8-1.0 %(w/w)

ตารางที่ 4.13 ปริมาณไนโตรเจนของยางสгим LPSR หลังทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิ 50°C

Saponification with %NaOH at 50°C	Nitrogen content (%wt.)					
	Control*	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h
1	2.65	0.810	0.612	0.425	0.250	0.168
2	2.65	0.752	0.423	0.330	0.230	0.160
3	2.65	0.640	0.450	0.387	0.241	0.138
5	2.65	0.603	0.411	0.288	0.207	0.150
7	2.65	0.644	0.465	0.300	0.186	0.130

*No treatment with NaOH at 50°C

ตารางที่ 4.14 ปริมาณไนโตรเจนของยาง LPSR หลังทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิ 70°C

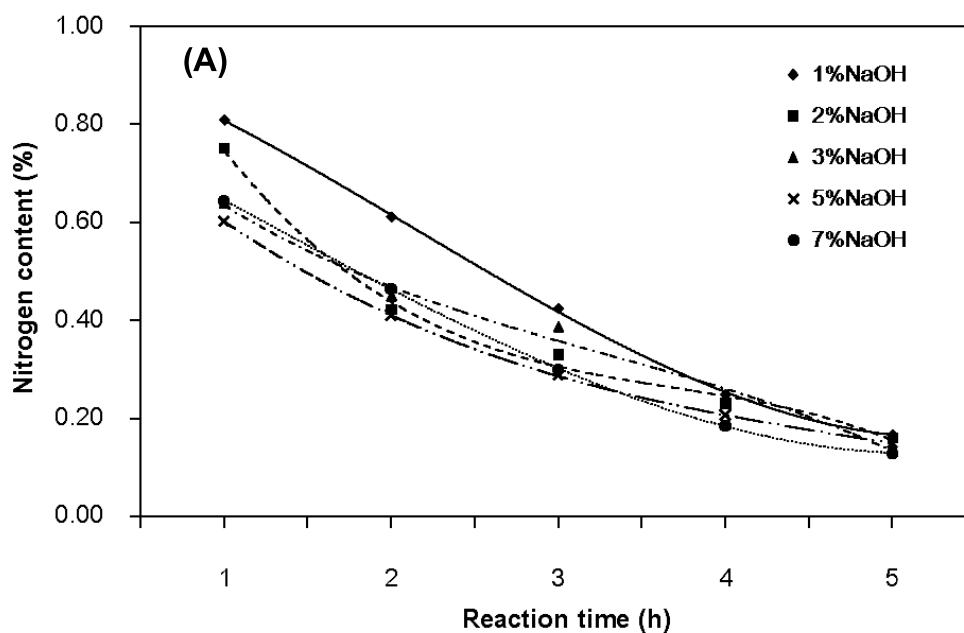
Saponification with %NaOH at 70°C	Nitrogen content (%wt.)					
	Control*	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h
1	2.65	0.194	0.170	0.136	0.132	0.105
2	2.65	0.187	0.130	0.117	0.113	0.102
3	2.65	0.162	0.124	0.119	0.111	0.093
5	2.65	0.159	0.121	0.114	0.107	0.095
7	2.65	0.153	0.120	0.107	0.097	0.084

No treatment with %NaOH at 70°C

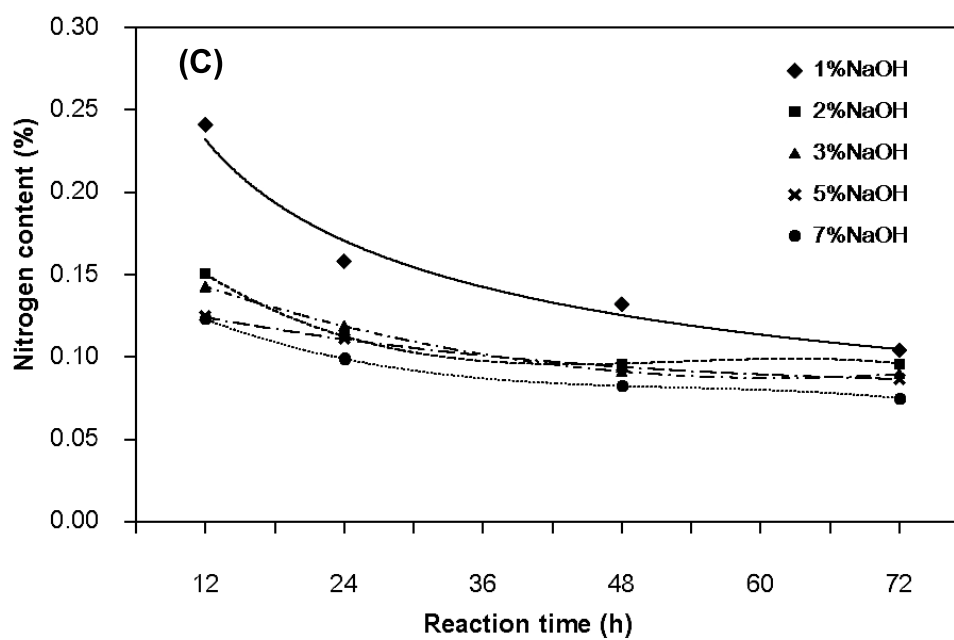
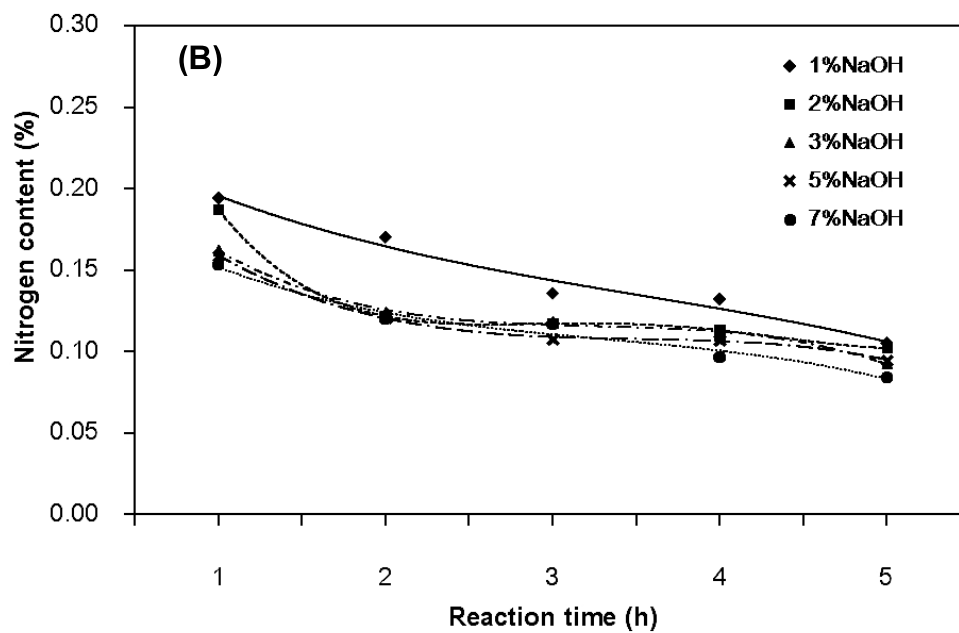
ตารางที่ 4.15 ปริมาณไนโตรเจนของยางสгим LPSR หลังทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิห้อง

Saponification with %NaOH at RT	Nitrogen content (%wt.)				
	Control*	12 h	24 h	48 h	72 h
1	2.65	0.241	0.158	0.132	0.104
2	2.65	0.151	0.113	0.096	0.096
3	2.65	0.143	0.119	0.092	0.090
5	2.65	0.125	0.111	0.094	0.087
7	2.65	0.123	0.099	0.083	0.075

*No treatment with %NaOH at RT



รูปที่ 4.14 ปริมาณไนโตรเจนของยางสгим LPSR เมื่อผ่านการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะ 50°C (A) 70°C (B) และ อุณหภูมิห้อง (C)



รูปที่ 4.14 (ต่อ) ปริมาณไนโตรเจนของยางสีกิม LPSR เมื่อผ่านการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน ที่สภาวะ 50°C (A) 70°C (B) และ อุณหภูมิห้อง (C)

ยางสгимโดยปกติที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตทั่วไปในระดับอุตสาหกรรมมีค่าระดับสีประมาณ 16 lovibond จากตารางที่ 4.16 4.17 และ 4.18 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของระดับสีในยาง LPSR หลังทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิ 50°C 70°C และอุณหภูมิห้องตามลำดับ พบว่าเมื่อนำยางสгимมาผ่านกระบวนการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันด้วยวิธีการแช่ในสารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้น 1-7% (w/v) สามารถลดระดับสีของยางสгим LPSR ลงได้ถึงประมาณ 7.5-8.0 lovibond โดยพบว่ากรณีการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะ 50°C สามารถลดระดับสีของยางสгимได้จาก 16 ถึง 8 lovibond ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ NaOH และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา แต่ไม่เกิดความเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อความเข้มข้นมากกว่า 3%(w/v) NaOH ดังรูปที่ 4.15(A) และในการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะ 70°C พบว่าระดับการเปลี่ยนแปลงของสียางสгимไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อความเข้มข้น NaOH และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้น นั่นคือ ระดับสีของยางสгим LPSR ลดลงในช่วงประมาณ 8.0-9.0 lovibond ดังรูปที่ 4.15(B) ส่วนในกรณียางสгимที่อุณหภูมิห้อง พบว่าการความเข้มข้นของ NaOH ส่งผลอย่างมากต่อการลดลงของระดับสีในยางสгим LPSR และที่ความเข้มข้น 3-7%(w/v) NaOH ระยะเวลา 24-72 h ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการลดระดับสีในยางสгим โดยระดับสีลดลงประมาณ 7.5-8.0 lovibond ดังรูปที่ 4.15(C)

อย่างไรก็ตามพบว่า การทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิห้อง ต้องใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาถึง 24-72 h จึงจะให้ประสิทธิภาพในการลดระดับสีในยางสгим LPSR ได้เท่าๆกับการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50°C และ 70°C ที่ระยะเวลา 3-5 h

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่า การทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิสูงๆ และการเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH สามารถให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนและลดระดับสีในยางสгимได้ดีกว่า (สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rungvi chaniwat A.,1999 และ Insom K., 2005) และ สภาวะที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดในการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน เพื่อให้ได้ยางสгимที่มีคุณภาพ ระดับสีและปริมาณค่าไนโตรเจนต่ำ คือ สภาวะอุณหภูมิ 50°C ที่ 3%(w/v) NaOH ระยะเวลา 5 h สภาวะอุณหภูมิ 70°C ที่ 2%(w/v) NaOH ระยะเวลา 3 h และสภาวะอุณหภูมิห้อง ที่ 3%(w/v) NaOH ระยะเวลา 48 h

ตารางที่ 4.16 ปริมาณการเปลี่ยนแปลงระดับสีของยางสгим LPSR หลังทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิ 50°C

Saponification with %NaOH at 50°C	Color index (lovibond no.)					
	Control*	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h
1	16.0	12.0	12.0	11.0	10.0	10.0
2	16.0	12.0	12.0	9.0	9.0	9.0
3	16.0	9.0	9.0	8.0	8.0	8.0
5	16.0	9.0	8.0	8.0	8.0	9.0
7	16.0	9.0	8.0	8.0	8.0	9.0

*No treatment with %NaOH at 50°C

ตารางที่ 4.17 ปริมาณการเปลี่ยนแปลงระดับสีของยางสгим LPSR หลังทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิ 70°C

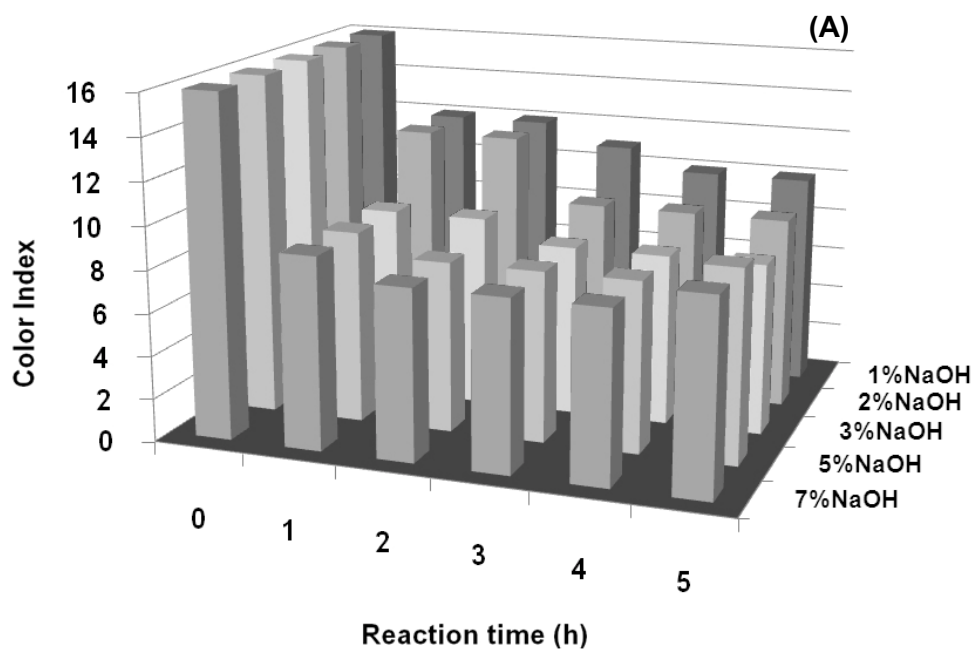
Saponification with %NaOH at 70°C	Color index (lovibond no.)					
	Control*	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h
1	16.0	10.0	9.0	8.0	8.0	8.0
2	16.0	9.0	9.0	8.0	8.0	8.0
3	16.0	8.0	9.0	8.0	8.0	8.0
5	16.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
7	16.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0

*No treatment with %NaOH at 70°C

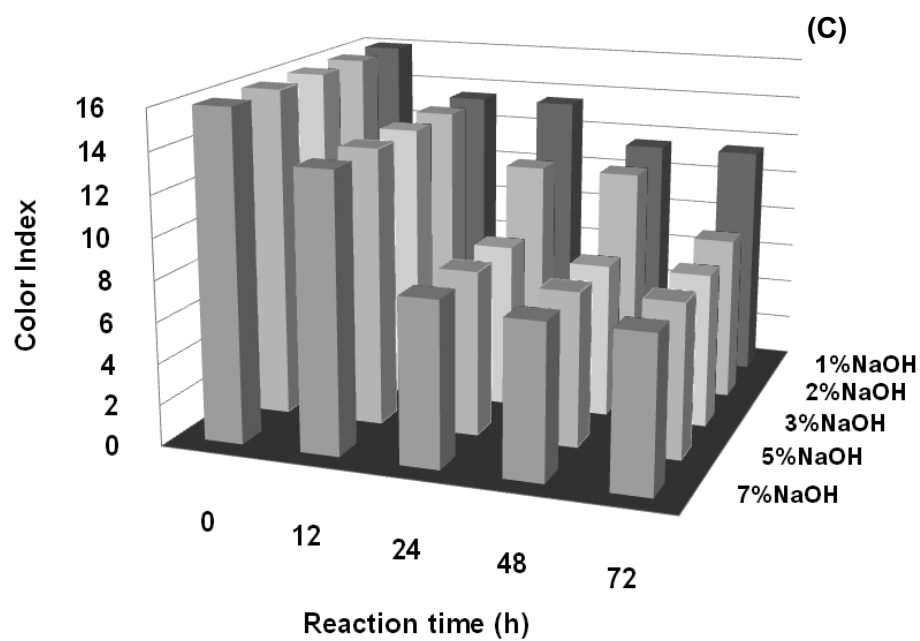
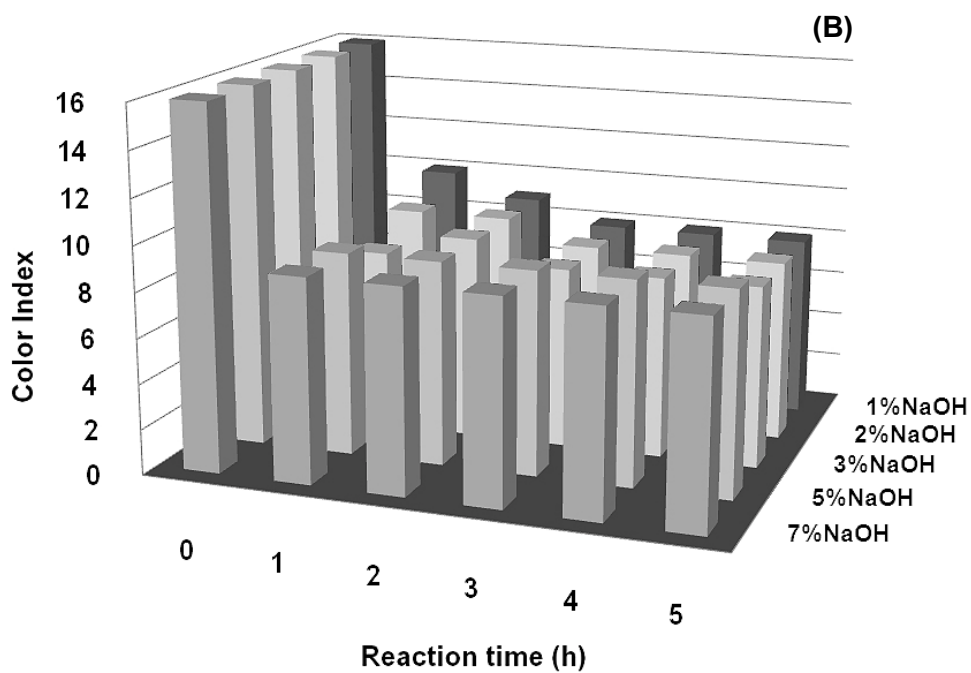
ตารางที่ 4.18 ปริมาณการเปลี่ยนแปลงระดับสีของยาง LPSR หลังทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิห้อง

Saponification with %NaOH at RT	Color index (lovibond no.)				
	Control*	12 h	24 h	48 h	72 h
1	16.0	13.5	13.5	11.5	11.5
2	16.0	13.5	11.0	11.0	8.0
3	16.0	13.5	8.0	7.5	7.5
5	16.0	13.5	8.0	7.5	7.5
7	16.0	13.5	8.0	7.5	7.5

*No treatment with %NaOH at RT



รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงระดับสีในยางสกิม LPSR เมื่อผ่านการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะ 50°C (A) 70°C (B) และที่สภาวะอุณหภูมิห้อง (C)



รูปที่ 4.15 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงระดับสีในยางสกิน LPSR เมื่อผ่านการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะ 50°C (A) 70°C (B) และที่สภาวะอุณหภูมิห้อง (C)

4.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพของสารแอนติออกซิแดนซ์ที่มีต่อสมบัติการ ต้านทานการเสื่อมสภาพด้วยความร้อนในยางสีกิม LPSR

4.2.2.1 ประสิทธิภาพในการต้านทานการเสื่อมสภาพด้วยความร้อนใน ยางสีกิม LPSR

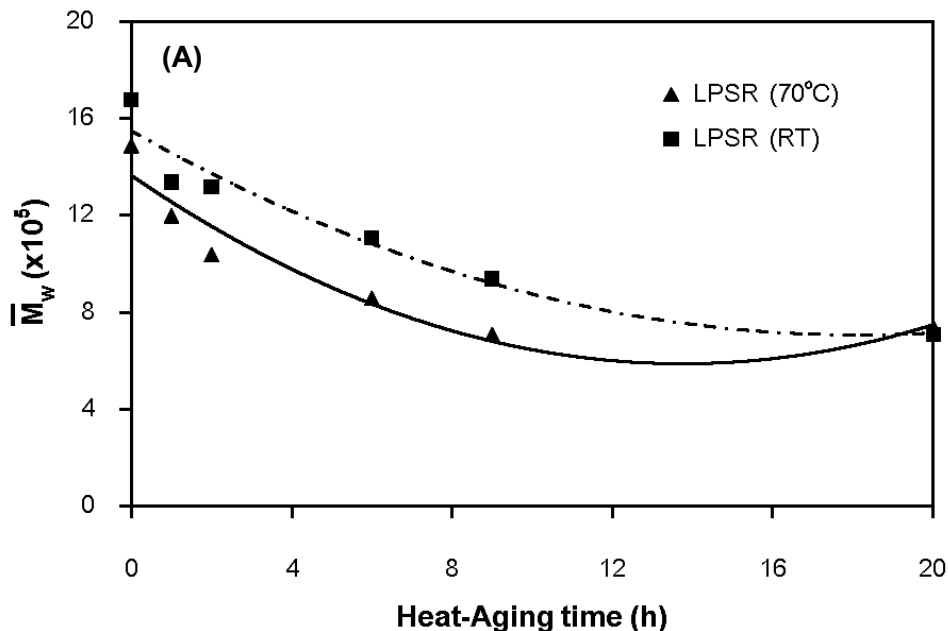
การเสื่อมสภาพในยางธรรมชาติ เกิดจากการที่ยางธรรมชาติมีโมเลกุลที่ไม่อิ่มตัวเนื่องจากพันธะคู่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย โดยเฉพาะในสภาวะการใช้งานที่ต้องสัมผัสกับแสงแดด ออกซิเจน โอโซน ความร้อน หรือแม้กระทั่งองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยาง เช่น โลหะที่เป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา (metal catalysis) อย่างไรก็ตาม โดยปกติแล้วยางธรรมชาติ สามารถต้านทานต่อการเสื่อมสภาพได้ดีกว่ายางสังเคราะห์บางชนิด ทั้งนี้เนื่องจากพบว่ามีสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่เดิมในธรรมชาติ (natural occurring antioxidants) จำพวกลิปิด (lipid) ประเภทโทโคไตรอีนอล (tocotrienols) หลายชนิด หรือแม้กระทั่งโปรตีนบางชนิดที่อยู่ภายในโมเลกุลยางธรรมชาติ (Hasma H. and Othman A.B., 1990) นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบขององค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยางบางชนิด ที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพในยางธรรมชาติที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ (Tuampoemsab S. et al., 2006) เช่น ยางธรรมชาติกำจัดโปรตีน (DPNR) และยางสีกิมที่ทำปฏิกิริยาในสารละลายเบส (SSR) พบว่ายางธรรมชาติที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ มีความเสถียรต่อความร้อนต่ำเนื่องจากสูญเสียสารต้านการเสื่อมสภาพโดยธรรมชาติ และเสื่อมสภาพได้ง่ายเมื่อถูกกระตุ้นด้วยโลหะที่เป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา เช่น ทองแดง (Cu)

การต้านทานการเสื่อมสภาพด้วยความร้อน หรือแสง เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่สำคัญมากสำหรับยางธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งยางธรรมชาติที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้ว เช่น ยางสีกิม LPSR เนื่องจากการวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายของตัวน้ำหนักโมเลกุลของยางสีกิม LPSR เมื่อให้ความร้อนสูงเป็นระยะเวลาสามารถบอกถึงความสามารถในการต้านทานการเสื่อมสภาพของยางสีกิม LPSR และในการทดลองต่อไปนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการต้านทานการเสื่อมสภาพของยางสีกิม LPSR ด้วยความร้อนโดยทำการทดสอบภายใต้สภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 100°C ในตู้อบอากาศระยะเวลา 20 h และทำ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของยางสีกิม LPSR ที่เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิ 70°C และสภาวะอุณหภูมิห้อง ดังแสดงในตารางที่ 4.19

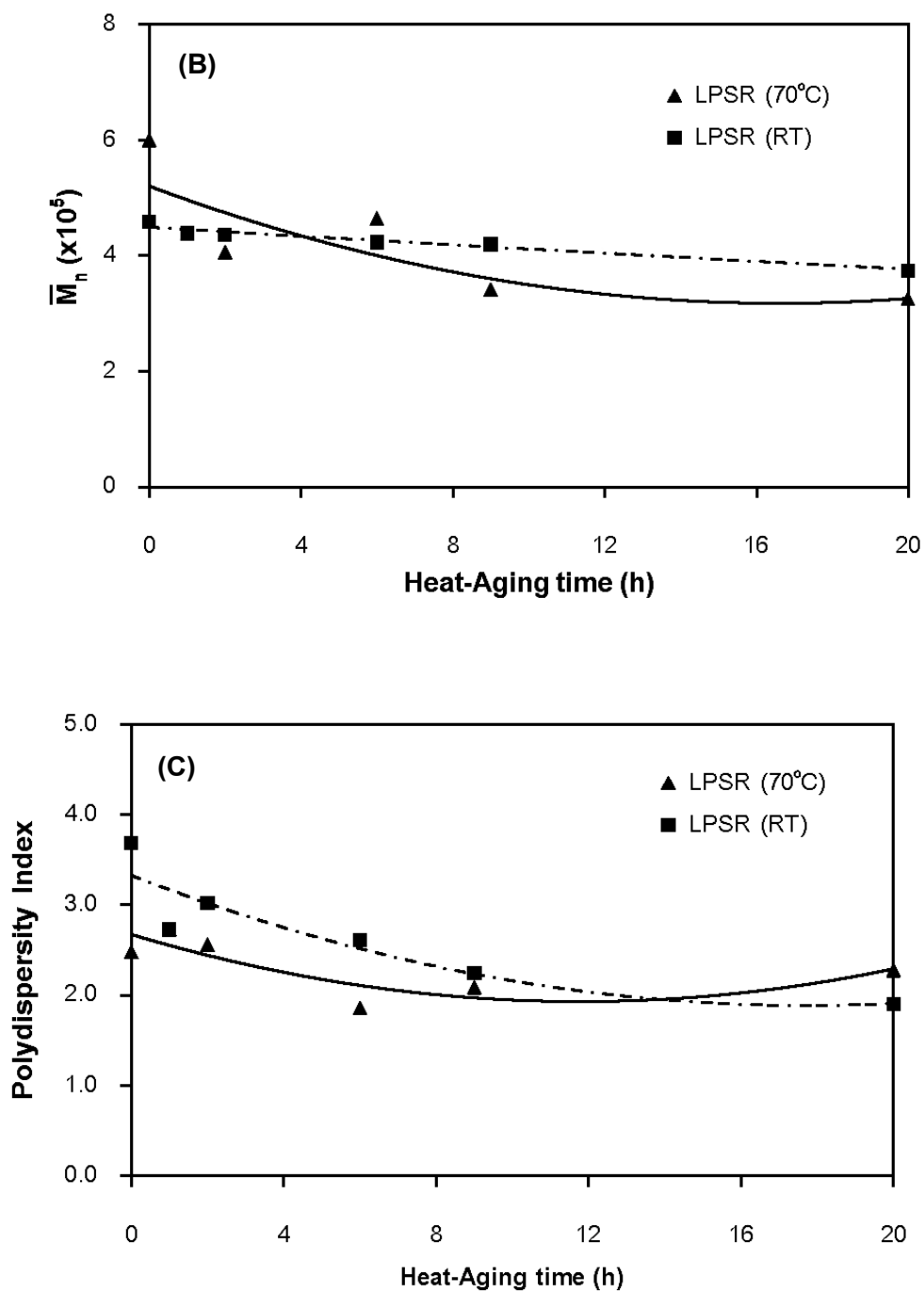
จากผลของการศึกษาการต้านทานการเสื่อมสภาพต่อความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ของยางสีกิม LPSR โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวน้ำหนักโมเลกุลของยางสีกิม LPSR ที่เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิ 70°C เปรียบเทียบ

กับที่สภาวะอุณหภูมิห้อง ดังรูปที่ 4.16 พบว่าการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิ 70°C ยางสกิม LPSR มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (\bar{M}_w) และการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (MWD) ลดลงอย่างรวดเร็ว โดยลดลงถึง $7.1-7.4 \times 10^5$ g/mole ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลมากถึง 50% เมื่อเทียบกับน้ำหนักโมเลกุลเริ่มต้น คือ ประมาณ $1.6-1.7 \times 10^6$ g/mole หลังจากทำการบ่มเร่งด้วยความร้อน (heat-aging) เป็นระยะเวลา 20 h อย่างไรก็ตามพบว่า ยางสกิม LPSR ที่เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิห้อง มีการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเชิงจำนวน (\bar{M}_n) อย่างช้าๆ คือ ลดลงจาก 4.5×10^5 ถึง 3.7×10^5 g/mole ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเชิงจำนวนเพียง 8-10% แตกต่างจากสภาวะอุณหภูมิ 70°C ซึ่งลดลงจาก 6.01×10^5 ถึง 3.25×10^5 g/mole ที่มีการลดลงถึง 40% โดยประมาณ

แสดงให้เห็นได้ว่ายางสกิม LPSR ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิ 70°C มีประสิทธิภาพในการต้านทานต่อการเสื่อมสภาพน้อยกว่ายางสกิม LPSR ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิห้อง ซึ่งมีเสถียรภาพต่อความร้อนดีกว่านั่นเอง



รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (A) น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเชิงจำนวน (B) และการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (C) ของยางสกิม LPSR เมื่อทำการศึกษาด้านทานการเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 100°C



รูปที่ 4.16 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (A) น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเชิงจำนวน (B) และการกระจายตัวน้ำหนักโมเลกุล (C) ของยางสีกิม LPSR เมื่อทำการศึกษาการต้านทานการเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 100°C

ตารางที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวน้ำหนักโมเลกุลของยางสกิม LPSR เมื่อทำการศึกษาด้านทานการเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 100°C เป็นระยะเวลา 20 h

Heat-Aging time (h)	LPSR ; saponification at 70°C			LPSR; saponification at RT		
	\bar{M}_w ($\times 10^6$)	\bar{M}_n ($\times 10^5$)	MWD	\bar{M}_w ($\times 10^6$)	\bar{M}_n ($\times 10^5$)	MWD
	g/mole	g/mole		g/mole	g/mole	
0	1.49	6.01	2.48	1.68	4.58	3.68
1	1.20	4.39	2.73	1.34	4.39	2.73
3	1.04	4.06	2.56	1.32	4.36	3.02
6	0.86	4.65	1.86	1.11	4.23	2.61
9	0.71	3.41	2.09	0.94	4.20	2.24
20	0.74	3.25	2.28	0.71	3.75	1.90

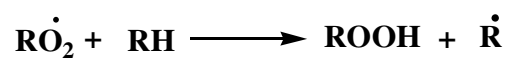
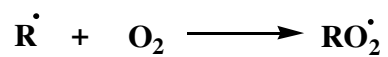
4.2.2.2 การปรับปรุงสมบัติการต้านทานการเสื่อมสภาพด้วยความร้อนของยางสกิม LPSR ด้วยสารแอนติออกซิแดนท์

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่ายางสกิมที่ผ่านการเตรียมจากการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันมีความเสถียรภาพค่อนข้างต่ำ ซึ่งพบว่าสาเหตุหลักเกิดจากการสูญเสียสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่เดิมตามธรรมชาติ เช่น โพรตีน หรือ ลิพิดบางชนิด ขณะที่ทำสะพอนิฟิเคชันและเกิดจากการถูกกระตุ้นด้วยไอออนของโลหะ (metal ion) บางชนิดเช่น Fe Ni Co และ Cu ซึ่งพบว่าอาจปนเปื้อนอยู่ในน้ำยางสกิมเริ่มต้นและยางสกิมดิบ ไอออนของโลหะเหล่านี้ทำให้เกิดการกระตุ้น และเร่งให้เกิดการเสื่อมสภาพในสายโซ่โมเลกุลยาง ทั้งในขณะทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน และขณะทำการอบแห้ง (Tuampoemsab S. et al., 2006) อย่างไรก็ตามพบว่าสามารถปรับปรุงสมบัติการต้านทานการเสื่อมสภาพในยางธรรมชาติได้โดยใช้สารป้องกันการเสื่อมสภาพประเภทฟีนอลิก (phenolic antioxidant) เช่น BHT TBMTBP และ MBETB สารป้องกันการเสื่อมสภาพประเภทฟีนอลิกสามารถยับยั้งการเกิดเปอร์ออกซิเรดิคัล (peroxy radical) ภายในสายโซ่โมเลกุลยางได้ นอกจากนี้ยังนิยมใช้เป็นสารแอนติออกซิแดนท์อย่างแพร่หลายในกลุ่มอีลาสโตเมอร์อื่น ๆ (Arnold A.R. et al., 1991) และสำหรับการทดลองนี้ได้นำสารละลายอิมัลชันของฟีนอลิก แอนติออกซิแดนท์ มาใช้เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพในยางสกิม LPSR โดยกระบวนการแช่ยางสกิม LPSR ในสารละลายอิมัลชันฟีนอลิก แอนติออกซิแดนท์ก่อนทำการอบแห้ง จากนั้นนำไปทดสอบการต้านทานต่อการเสื่อมสภาพด้วยความร้อน ที่

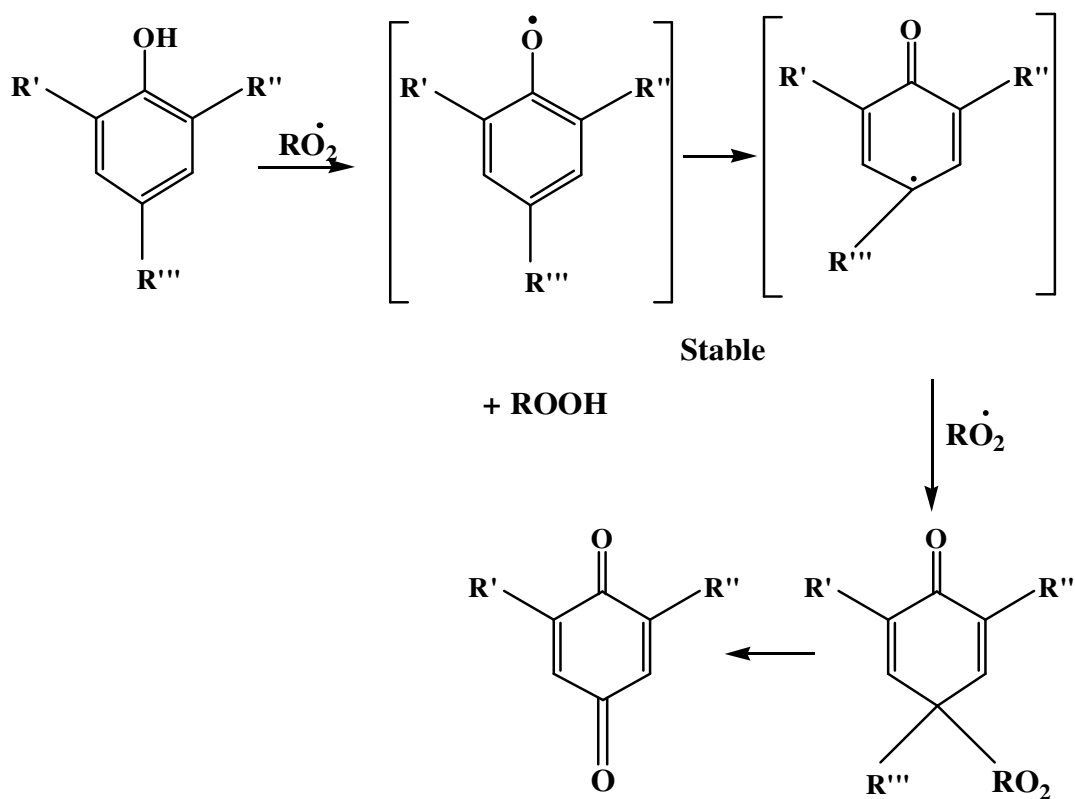
สภาวะอุณหภูมิ 100°C ระยะเวลา 3 h ตรวจสอบประสิทธิภาพของสารแอนติออกซิแดนซ์ โดยการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของยางสีกิม LPSR ที่เปลี่ยนแปลงไป ตั้งข้อมูลในตารางที่ 4.20

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของยางสีกิม LPSR ภายหลังจากทดสอบการทนต่อการเสื่อมสภาพด้วยความร้อน ในรูปที่ 4.18 ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการแช่ยางสีกิม LPSR ในสารละลายอิมัลชันฟีนอลิก แอนติออกซิแดนซ์ (1%w/v emulsion solution) ชนิด BHT TBMTBP และ MBETB ก่อนทำการอบแห้ง สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ในยางสีกิม LPSR และช่วยรักษาเสถียรภาพของยางสีกิม LPSR เนื่องจากความร้อนได้เป็นอย่างดี โดยเห็นได้ว่ายางสีกิม LPSR ที่ไม่ได้ปกป้องด้วยสารฟีนอลิก แอนติออกซิแดนซ์ พบว่าน้ำหนักโมเลกุลลดลงจาก 0.87×10^6 ถึง 0.61×10^6 g/mole นั่นคือ มีการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 30% ภายหลังจากทำบ่มเร่งด้วยความร้อน ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโมเลกุลของยางสีกิม LPSR ที่ป้องกันด้วยสารฟีนอลิก แอนติออกซิแดนซ์ ลดลงเพียงเล็กน้อยประมาณ 10-15% โดยเฉลี่ย ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่า สามารถปรับปรุงสมบัติการต้านทานการเสื่อมสภาพด้วยความร้อน ในยางสีกิม LPSR โดยใช้สารฟีนอลิก แอนติออกซิแดนซ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งพบว่าสารฟีนอลิก แอนติออกซิแดนซ์ชนิด TBMTBP ให้ประสิทธิภาพได้สูงกว่า MBETB และ BHT ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเพื่อให้สามารถเข้าใจการกลไกการทำงานของแอนติออกซิแดนซ์ได้ง่ายขึ้น จึงขออธิบายด้วยกลไกการทำปฏิกิริยาระหว่างสารฟีนอลิก แอนติออกซิแดนซ์ และเปอร์ออกซิเรดิคัลดังรูปที่ 4.17

Propagation reaction



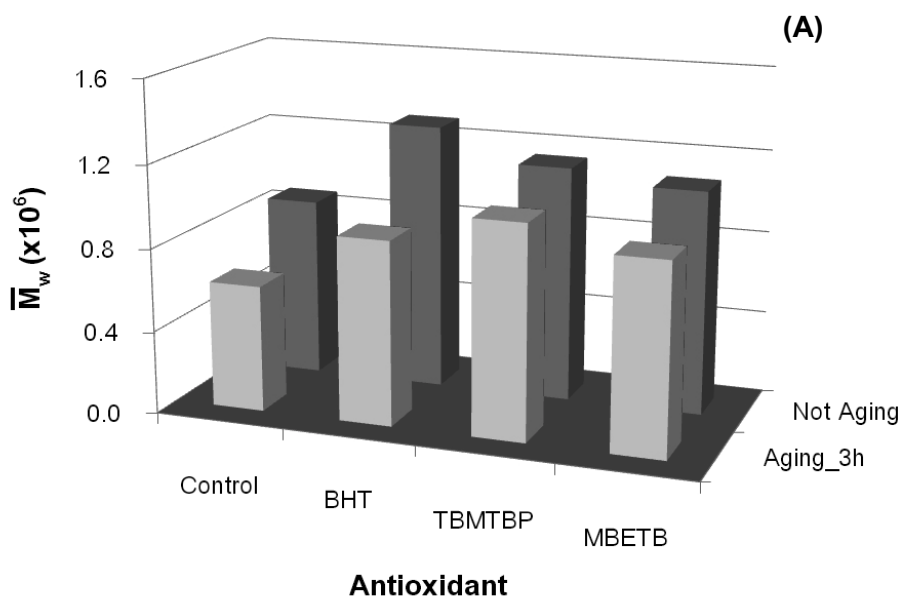
The termination of peroxy radicals



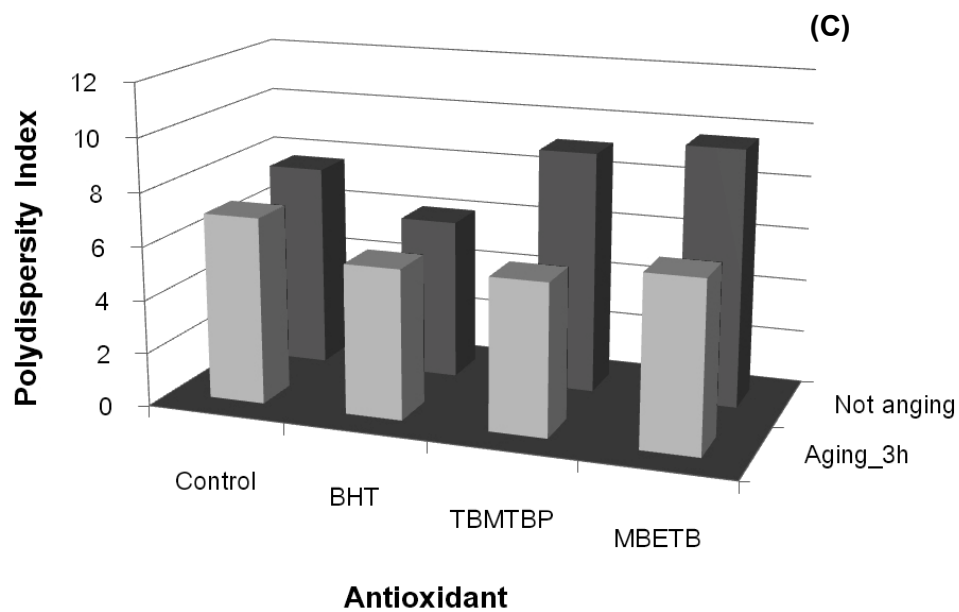
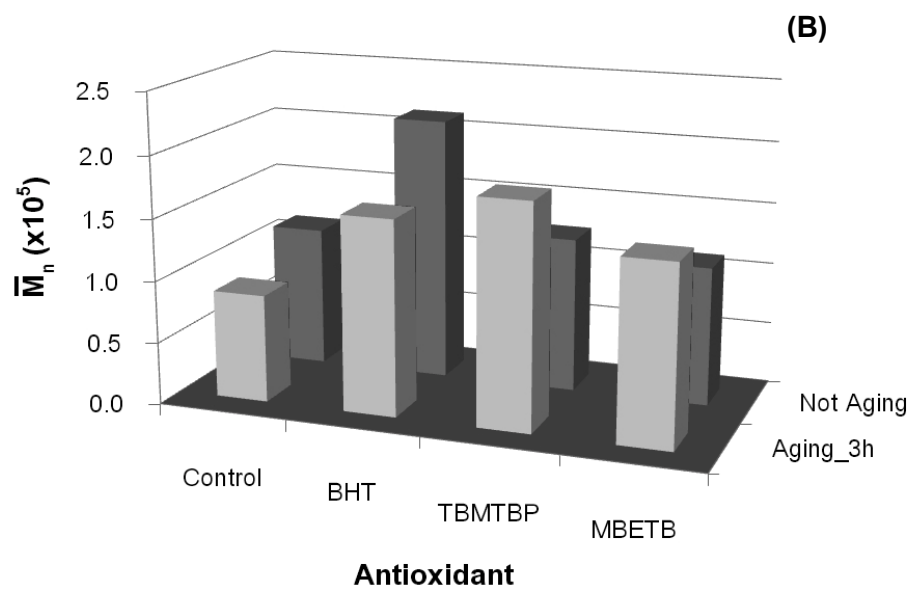
รูปที่ 4.17 กลไกการทำงานของสารฟีนอลิก แอนติออกซิแดนท์ ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกลูโซ่ ในการออกซิเดชันในยางยูติลิ่ง (Allen S.N. and Edge M., 1992)

ตารางที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของยางสกิน LPSR ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยสารฟีนอลิก แอนติออกซิแดนท์ เมื่อทำการบ่มเร่งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ระยะเวลา 3 h

LPSR with antioxidants	Before Heat-aging (g/mole)			After Heat-aging (g/mole)		
	$\bar{M}_w (x10^6)$	$\bar{M}_n (x10^5)$	MWD	$\bar{M}_w (x10^6)$	$\bar{M}_n (x10^5)$	MWD
LPSR (no antioxidant)	0.87	1.14	7.68	0.61	0.87	7.02
BHT	1.29	2.13	6.04	0.89	1.58	5.63
TBMTBP	1.14	1.25	9.09	1.03	1.81	5.68
MBETB	1.08	1.12	9.64	0.92	1.45	6.35



รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลง \bar{M}_w (A) \bar{M}_n (B) และ MWD (C) ของยางสกิน LPSR ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยสารฟีนอลิก แอนติออกซิแดนท์ เมื่อบ่มเร่งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นระยะเวลา 3 h



รูปที่ 4.18 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลง \bar{M}_w (A) \bar{M}_n (B) และ MWD (C) ของยางสีกิม LPSR ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยสารฟีนอลิก แอนติออกซิแดนท์ เมื่อทำการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100°C เป็นระยะเวลา 3 h

4.2.3 การศึกษาสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของยางสгим LPSR โดยการวัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์

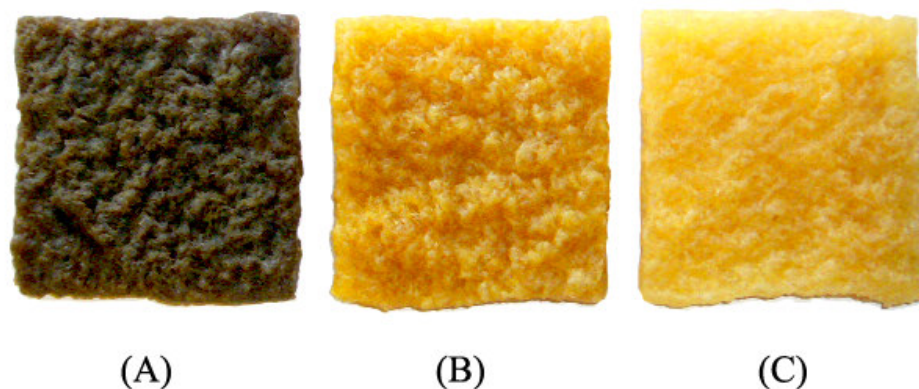
4.2.3.1 สมบัติพื้นฐานทางกายภาพของยางสгим LPSR

จากการปรับปรุงสมบัติของยางสгимให้มีคุณภาพและมีความบริสุทธิ์ โดยการกระบวนการกำจัดโปรตีนด้วยการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน ทำให้สามารถพัฒนายางสгим LPSR ที่มีปริมาณโปรตีนและองค์ประกอบอื่นๆที่ไม่ใช่ยางต่ำ ในการทดลองนี้ได้เลือกการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน โดยวิธีการแช่ยางสгимในสารละลาย 3%(w/v) NaOH ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง ใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาประมาณ 48 h มาใช้ในการศึกษา ซึ่งพบว่าได้ยางสгим LPSR ที่มีระดับสีที่ใกล้เคียงกับยางธรรมชาติเกรดการค้าชนิด STR 5L ซึ่งให้ระดับสีในยางไม่เกิน 6.0 lovibond ซึ่งแสดงถึงองค์ประกอบอื่นๆที่ไม่ใช่ยางในยางสгим LPSR ที่ลดลง ในตารางที่ 4.21 โดยพบว่ากระบวนการทำสะพอนิฟิเคชันสามารถลดปริมาณไนโตรเจนในยางสгимจากเดิมประมาณ $2.46 \pm 0.06\%$ (wt.) ถึง $0.082 \pm 0.02\%$ (wt.) หรือสามารถลดได้ถึง 95% โดยประมาณ แสดงให้เห็นว่าการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันมีประสิทธิภาพอย่างมากในการลดปริมาณโปรตีนในยางสгим นอกจากนี้แล้วยางสгим LPSR ที่ผ่านการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันยังมีปริมาณเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid ester content) ปริมาณต่ำ ปริมาณเจล ลดลงด้วย โดยพบว่าปริมาณเอสเทอร์ของกรดไขมันของยางสгим LPSR มีปริมาณเพียง 3.16 mmol/kg-rubber ในขณะที่ยางสгимธรรมชาติมีปริมาณเอสเทอร์ของกรดไขมันถึง 13.76 mmol/kg-rubber เห็นได้ชัดว่าการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันด้วยสารละลาย NaOH สามารถกำจัดปริมาณเอสเทอร์ของกรดไขมันบางชนิดในยางสгимได้

จากตารางที่ 4.22 แสดงสมบัติพื้นฐานทางกายภาพต่างๆของยางสгим LPSR และยางสгимธรรมชาติ พบว่ากระบวนการทำยางสгимให้บริสุทธิ์ด้วยการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน สามารถเตรียมยางสгим LPSR ที่มีระดับสี 6.5 ± 1.0 lovibond ใกล้เคียงกับระดับสียางธรรมชาติเกรดทางการค้า STR 5L ในขณะที่ยางสгимธรรมชาติให้ระดับสีที่ต่ำกว่า คือ ระดับ 16.0 ± 0.00 lovibond ดังภาพแสดงการเปรียบเทียบสีของยางสгимธรรมชาติ ยางสгим LPSR และยางธรรมชาติเกรด STR 5L ในรูปที่ 4.19 นอกจากนี้ ยางสгим LPSR ยังให้ค่าความหนืดและค่าการทนต่อแรงดึง (green strength) ที่ต่ำกว่ายางสгимธรรมชาติ โดยยางสгим LPSR มีค่าความหนืดและค่าการทนต่อแรงดึงเท่ากับ 84.0 ± 5.0 และ 0.23 MPa ส่วนยางสгимธรรมชาติมีค่าความหนืดและค่าการทนต่อแรงดึงเท่ากับ 105.0 ± 12.0 และ 0.80 MPa ตามลำดับ สอดคล้องกลับค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นของยางสгим LPSR ที่มีค่าต่ำกว่ายางสгимธรรมชาติ ซึ่งสาเหตุของการที่ยางสгим LPSR มีค่าความหนืดและค่าการทนต่อแรงดึงที่ต่ำ เนื่องมาจากปริมาณเจลในยางสгимที่ลดลง ซึ่งอาจหมายถึงจุดเชื่อมที่ทำให้เกิดกิ่งก้าน (branch point) บางส่วนในโมเลกุลยาง

ที่ถูกกำจัดออกไป เนื่องจากการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานการเสื่อมสภาพของยางสгим LPSR พบว่ามีค่าต่ำกว่ายางสгимธรรมชาติเล็กน้อย ซึ่งอธิบายได้ดังในหัวข้อ 4.2.2.2 ไว้แล้ว

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมา แสดงว่าการทำการทำปฏิกิริยาด้วย NaOH สามารถลดปริมาตรโปรตีนและการกำจัดลิปิดที่ละลายได้ (solubilized lipid) บางชนิดที่อยู่บนพื้นผิวอนุภาคยางได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การที่จุดเชื่อมที่ทำให้เกิดกิ่งก้านในโมเลกุลยางบางส่วนที่ถูกกำจัดออกไปเนื่องจากการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน ส่งผลทำให้ยางสгим LPSR มีค่าความหนืดที่ต่ำ ทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานหรือใช้พลังงานน้อยลงในการแปรรูป (Nawamawat K., 2002 and Nawamawat K. et al., 2008)



รูปที่ 4.19 ภาพแสดงการเปรียบเทียบระดับสีในยางสгимธรรมชาติ (A) ยางสгим LPSR (B) และยางธรรมชาติเกรดการค้า STR 5L (C)

ตารางที่ 4.21 ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณเอสเทอร์ของกรดไขมัน ปริมาณเถ้า และปริมาณเจลในยางสгимธรรมชาติและยางสгим LPSR

Properties	Normal skim rubber	LPSR
Nitrogen content (%wt.)	2.46±0.06	0.082±0.02
Fatty acid ester content (mmol/kg)	13.76±0.07	3.16±0.02
Ash content (%wt.)	0.94±0.09	0.55±0.07
Gel content (%wt.)	18.42±1.36	7.02±1.79

ตารางที่ 4.22 สมบัติทางกายภาพของยางสีกิมธรรมชาติ และยางสีกิม LPSR

Properties	Normal skim rubber	LPSR
Mooney viscosity	105±12	84±5
Green strength (MPa)	0.80	0.23
Wallace plasticity		
P _o	56.5±11.5	48.0±1
PRI	36.5±8.1	26.4±1.5
Color index (lovibond no.)	16±0.0	6.5±1.0

4.2.3.2 สมบัติเชิงกลของยางสีกิม LPSR เปรียบเทียบกับยาง STR 5L และ IR 2200 โดยการวัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์

จากการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของยางสีกิมให้มีคุณภาพและมีความบริสุทธิ์ โดยกระบวนการกำจัดโปรตีนด้วยการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน ทำให้สามารถพัฒนายางสีกิม LPSR ที่มีปริมาณไนโตรเจนและสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ใช่น้อย ทำให้มีสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้นในหัวข้อ 4.2.3.1 จึงนำไปสู่การศึกษาและพัฒนาเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับยางสีกิม LPSR โดยการศึกษาสมบัติเชิงกลของยางสีกิม LPSR เมื่อทำการวัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์และเปรียบเทียบกับยาง STR 5L และ IR 2200 เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านผลิตภัณฑ์ทางการ แพทย์อื่นๆ ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษากการวัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์ โดยใช้ระบบการวัลคาไนซ์ด้วยไดคิวมีลเปอร์ออกไซด์ (dicumyl peroxide; DCP)

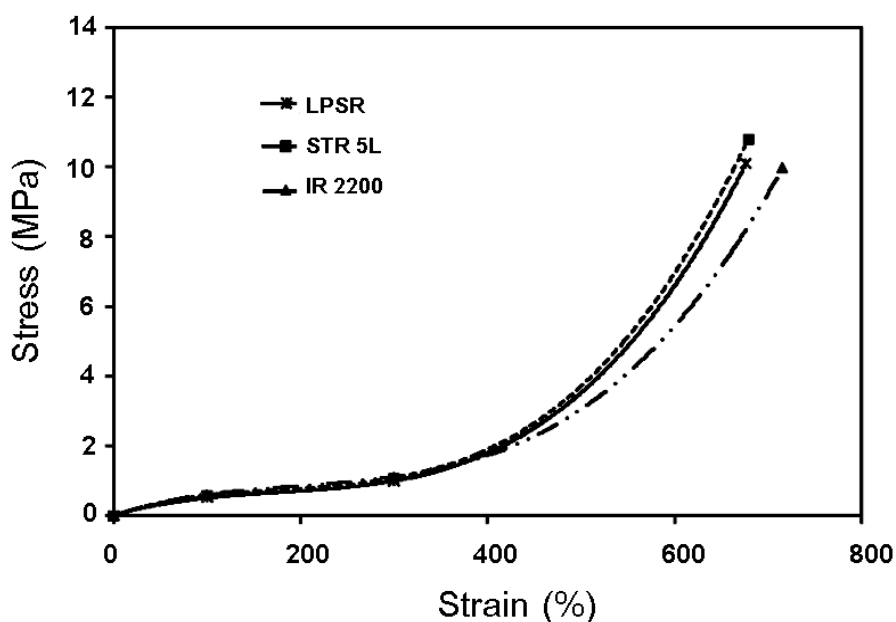
จากตารางที่ 4.23 พบว่าความหนาแน่นการเชื่อมโยงของยางวัลคาไนซ์ STR 5L และ IR 2200 คือ 3.85×10^{-5} และ 3.77×10^{-5} mole/g ตามลำดับ ในขณะที่ยางวัลคาไนซ์ LPSR มีความหนาแน่นการเชื่อมโยงต่ำกว่ายาง STR 5L และ IR 2200 โดยมีค่าประมาณ 3.16×10^{-5} mole/g และยังพบว่า ค่าความแข็ง (hardness) และ ค่าความต้านทานการต่อฉีกขาด (tear strength) ของยางวัลคาไนซ์ยางสีกิม LPSR มีค่าใกล้เคียงกับยางวัลคาไนซ์ STR 5L และ IR 2200 โดยมีค่าประมาณ 34 (shore A) และ 33 kN/m ตามลำดับ อย่างไรก็ตามสมบัติการทนต่อแรงดึง (tensile strength) ของยางวัลคาไนซ์ เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟ ความเค้น-ความเครียด (stress-strain curve) ของยางวัลคาไนซ์ ที่เตรียมจากยางสีกิม LPSR ยาง STR 5L และ IR 2200 โดยทดสอบที่อัตราเร็ว 500 mm/min ในรูปที่ 4.20 พบว่ายางสีกิม LPSR มีค่าใกล้เคียงกับยาง STR 5L แต่มีค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (elongation at break) ต่ำกว่า และ

มีค่าทนต่อแรงดึงสูงกว่ายาง IR 2200 ซึ่งแสดงถึงสมบัติและลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของยาง สกิม LPSR ที่คล้ายกับยางสังเคราะห์พอลิไอโซพรีน

จากผลการทดลองดั่งที่กล่าวมาในข้างต้น แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่ายาง สกิม LPSR ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ขึ้นด้วยการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน สามารถแสดงสมบัติ ที่ดีได้เทียบเท่ากับยาง STR 5L และ IR 2200 และสามารถนำไปทดแทนการใช้ประโยชน์จาก ยาง STR 5L และ IR 2200 ได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 4.23 ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงและสมบัติเชิงกลของยางสกิม LPSR เมื่อเปรียบ เทียบกับยาง STR 5L และ IR 2200 โดยการวัดค่าในซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์

Properties	LPSR	STR 5L	IR 2200
Crosslink density (mole/g)(10^{-5})	3.16±0.05	3.77±0.08	3.85±0.01
Hardness (Shore A)	34±0.4	34±0.4	35.5±0.2
Tear strength (kN/m)	33.1±0.4	34.15±0.4	34.62±1.8



รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบความเค้น-ความเครียดของยางวัลคาไนซ์ ที่เตรียมจากยางสกิม LPSR ยาง STR 5L และ IR 2200 โดยทดสอบที่อัตราเร็ว 500 mm/min

4.2.4 สรุปการทดลองการศึกษากระบวนการเตรียมยางสีกิม LPSR โดยใช้กระบวนการทำปฏิกิริยาด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 4.2 สามารถเตรียมยางสีกิม LPSR ด้วยกระบวนการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันด้วยสารละลาย NaOH พบว่าสามารถลดปริมาณไนโตรเจน และองค์ประกอบอื่นๆที่ไม่ใช่ยางได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพบว่าประสิทธิภาพในการเตรียมยางสีกิม LPSR ที่มีค่าปริมาณไนโตรเจน และสีของยางสีกิมต่ำลง ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ระยะเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมยางสีกิม LPSR ที่มีคุณภาพ คือ สภาวะการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50°C ความเข้มข้น 3%w/v NaOH ระยะเวลา 5 h ที่สภาวะอุณหภูมิ 70°C ความเข้มข้น 2%w/v NaOH ระยะเวลา 3 h และ ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง ความเข้มข้น 3%w/v NaOH ระยะเวลา 48 h นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงสมบัติการทนต่อความร้อนของยางสีกิม LPSR ได้โดยการแซนสารฟีนอลิก แอนติออกซิแดนท์ (1%w/v) เช่น BHT TBMTBP และ MBETB ก่อนการอบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการศึกษาการวัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์ในยางสีกิม LPSR พบว่าสามารถให้สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลได้เทียบเท่ากับยาง STR 5L และ IR 2200 ซึ่งอาจสามารถนำไปใช้เพื่อทดแทนการใช้ประโยชน์จากยาง STR 5L และ IR 2200 และสามารถนำยางสีกิม LPSR ที่เตรียมได้นี้มาใช้เป็นวัสดุประเภทกาว

4.3 การศึกษาและพัฒนาวิธีการเตรียมกาวชนิดไวต่อแรงดันจากยางสีกิม LPSR

ยางธรรมชาติจัดเป็นเป็นอีลาสโตเมอร์ชนิดแรกที่ใช้เตรียมกาวชนิดไวต่อแรงดันหรือ pressure sensitive adhesive (PSA) โดยต้องนำยางธรรมชาติที่อยู่ในรูปยางแผ่นรมควันมาบดเพื่อลดน้ำหนักโมเลกุล หลังจากนั้นจึงนำมาละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสมก่อนผสมกับแทคคิไฟเออร์เรซิน (tackifier resin) และสารตัวเติมอื่นๆในลำดับต่อไป อย่างไรก็ตามพบว่ายางธรรมชาติโดยทั่วไปมีปัญหาที่สำคัญคือ การแข็งตัวของยางระหว่างการเก็บ โดยค่าความหนืดของยางค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บยางไว้เป็นระยะเวลานาน ซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานที่สูงมากในการลดน้ำหนักโมเลกุลของยาง เนื่องจากการเกิดโครงสร้างแบบกึ่งก้านในยางธรรมชาติ อันมีสาเหตุเกิดจากกรดไขมันที่ติดอยู่บนโมเลกุลยางธรรมชาติ (Tangpakdee J. et al., 1997) จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ยางสีกิมไม่พบกรดไขมันจึงนำไปสู่การสันนิษฐานว่ายางสีกิมไม่มีโครงสร้างแบบกึ่งก้าน ไม่มีฟอสโฟลิปิดที่ตำแหน่งที่ปลายสายโซ่โมเลกุล และมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาในการต่อเติมโมเลกุล แต่ประกอบไปด้วยโมเลกุลที่เป็นสายโซ่ตรง (Ohya N. et al., 2000)

จากการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของยางสีกิมให้มีคุณภาพและมีความบริสุทธิ์ โดยกระบวนการกำจัดโปรตีนด้วยการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน ทำให้สามารถพัฒนายางสีกิม LPSR ที่มีปริมาณไนโตรเจนและสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ใช่ยางต่ำ ทำให้มีสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้น ในหัวข้อ 4.2. จึงนำไปสู่การศึกษาและพัฒนาเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับยางสีกิม LPSR โดยการศึกษาและพัฒนาวิธีการเตรียมกาวชนิดไวต่อแรงดัน หรือกาว PSA จากยางสีกิม LPSR ทั้งนี้พบว่า ยางสีกิมเมื่อผ่านการทำให้บริสุทธิ์และกำจัดองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยางแล้ว มีสมบัติการละลายในตัวทำละลายที่ดีมากกว่ายางธรรมชาติโดยทั่วไป จึงเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเทปกาวชนิดไวต่อความดัน (Nawamawat, K. et al., 2008)

4.3.1 การลดน้ำหนักโมเลกุลยางสีกิมโปรตีนต่ำโดยวิธีบดทางกล

ในการทดลองนี้ได้เลือกการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันโดยวิธีการแช่ยางสีกิมในสารละลาย 3%(w/v) NaOH ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง โดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาประมาณ 48 h มาใช้ในการศึกษา (จากหัวข้อ 4.2.3) พบว่ายางสีกิม LPSR มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.46×10^6 g/mole และในการเตรียมเป็นกาว PSA จำเป็นต้องทำการบดเพื่อลดมวลโมเลกุลยางสีกิม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายให้ดียิ่งขึ้น ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้ตัวทำละลายในการละลายยางและเป็นการง่ายในการเพิ่มปริมาณเนื้อยาง (rubber base) ในสารละลายกาว PSA

ในการทดลองนี้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของยางสีกิมเมื่อทำการบดด้วยเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (two roll mill) ที่สภาวะอุณหภูมิ 30-40°C โดยใช้ระยะเวลา 2-10 min

4.3.1.1 ผลต่อน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล

ผลการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางสีกิม LPSR ด้วยวิธีทางกล ในตารางที่ 4.24 พบว่าเมื่อทำการบดยางสีกิม LPSR โดยศึกษาเปรียบเทียบผลของการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพชนิด BHT และไม่เติม BHT ระหว่างการบด ที่ระยะเวลาการบดเวลาตั้งแต่ 2-10 min พบว่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของยางสีกิม LPSR ลดลงจาก 1.46×10^6 g/mole เป็น $0.37-0.48 \times 10^6$ g/mole นั่นคือลดลงได้ถึงประมาณ 70% โดยน้ำหนัก เมื่อใช้ระยะเวลา 10 min และพบว่าประสิทธิภาพในการบดเริ่มคงที่เมื่อระยะเวลาในการบดผ่านไปประมาณ 6 min โดยมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโมเลกุลที่ช้าลง นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยเชิงจำนวนของยางสีกิม LPSR ทั้งสองกรณี ที่ผ่านการบดไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ซึ่งแตกต่างจากการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล โดยพบว่าการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางสีกิม

LPSR ลดลงอย่างชัดเจนจาก 4.8 เป็น 2.20-2.06 เมื่อใช้ระยะเวลาในการบดประมาณ 10 min กล่าวคือ ยางสกิม LPSR ที่ผ่านการบดมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่แคบลง แสดงให้เห็นได้ว่า ยางสกิม LPSR ที่ผ่านการบดแล้วมีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นผลดีต่อการนำไปใช้งาน อย่างไรก็ตามการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพชนิด BHT ส่งผลต่อการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลของยางสกิม LPSR เล็กน้อย โดยพบว่ามีการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลที่ใกล้เคียงกันกับการไม่เติม BHT ระหว่างการบด

ตารางที่ 4.24 น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางสกิม LPSR เมื่อทำการบดด้วยเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง

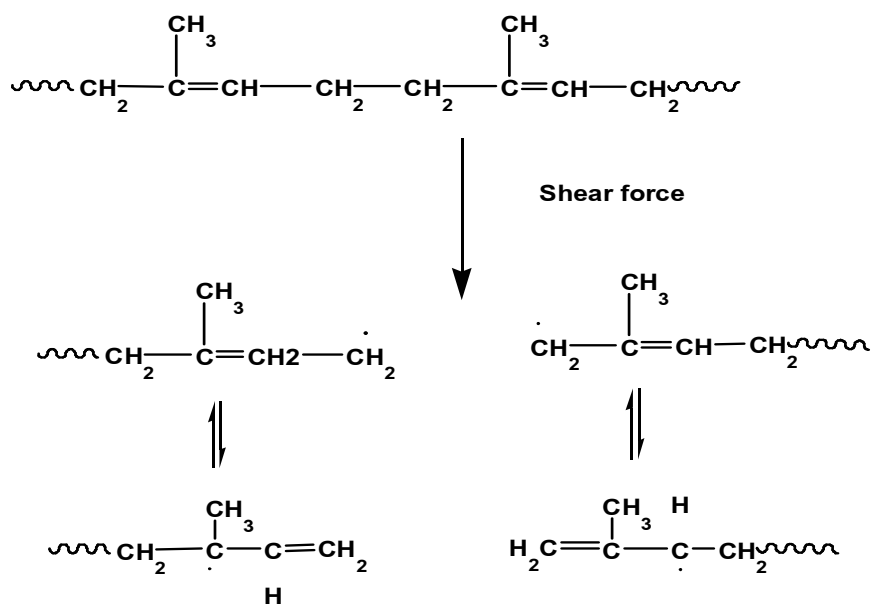
Mastication time (min)	LPSR no antioxidant			LPSR (BHT 1phr)		
	$\bar{M}_w(x10^6)$	$\bar{M}_n(x10^5)$	MWD	$\bar{M}_w(x10^6)$	$\bar{M}_n(x10^5)$	MWD
	g/mole	g/mole		g/mole	g/mole	
0	1.46	3.04	4.80	1.46	3.04	4.80
2	0.88	2.44	3.60	-	-	-
4	0.79	2.88	4.22	0.71	2.35	3.02
6	0.49	2.18	2.26	0.52	2.98	1.74
8	0.40	3.24	1.23	-	-	-
10	0.37	1.68	2.20	0.48	2.34	2.06

4.3.1.2 ผลต่อค่าความหนืด ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นและปริมาณเจล

จากตารางที่ 4.25 พบว่ายางสกิม LPSR มีค่าความหนืด และค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น ประมาณ 105 หน่วย และ 48.1 ตามลำดับ และเมื่อทำการบดยางสกิม LPSR ด้วยเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง ที่อุณหภูมิการบด 30-40°C ค่าความหนืด ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้น และปริมาณเจล มีแนวโน้มการลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยยางสกิม LPSR ที่เติมและไม่เติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพชนิด BHT มีค่าความหนืด และค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นลดลงประมาณ 62-70 หน่วย และ 22-24 ตามลำดับ เมื่อใช้ระยะเวลาในการบดประมาณ 10 min ในกรณียางสกิม LPSR ที่เติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพชนิด BHT พบว่ามีค่าความหนืดต่ำกว่ายางสกิม LPSR ที่ไม่เติม BHT แต่มีค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นที่สูงกว่ายางสกิม LPSR ที่ไม่เติม BHT เล็กน้อย อย่างไรก็ตามเห็นได้ชัดเจนนว่า การเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพชนิด BHT ในขณะทำการบดไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดและค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นของยางสกิม LPSR

มากนัก เนื่องจากพบว่าประสิทธิภาพในการลดลงของค่าความหนืดและค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นเริ่มจะคงที่ เมื่อใช้ระยะเวลาการบดมากกว่า 6 min ซึ่งสอดคล้องกับในกรณีการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลของยางสกิม LPSR

เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณเจลในยางสกิม LPSR ที่ผ่านการบดแล้ว พบว่าที่ระยะเวลาในการบดตั้งแต่ประมาณ 4-10 min มีปริมาณเจลลดลงเกือบเป็นศูนย์ แสดงให้เห็นว่าส่วนที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงในโมเลกุลยางอาจถูกทำลายลง สอดคล้องกับค่าความหนืดและค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นที่ลดลง เนื่องจากการบดทำให้ส่วนที่เชื่อมโยงในโมเลกุลยางถูกทำลายและทำให้สายโซ่โมเลกุลในยางสกิม LPSR สั้นลงนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 4.21

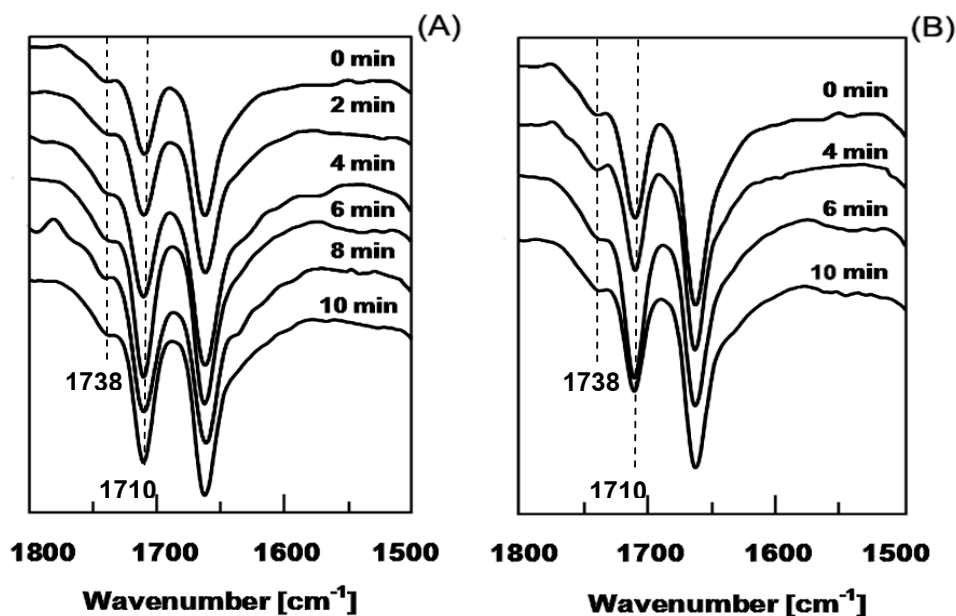


รูปที่ 4.21 กลไกการเกิดการถูกทำลายของโมเลกุลยางธรรมชาติเมื่อผ่านการบดด้วยวิธีทางกล (Ceresa R.J., 1978)

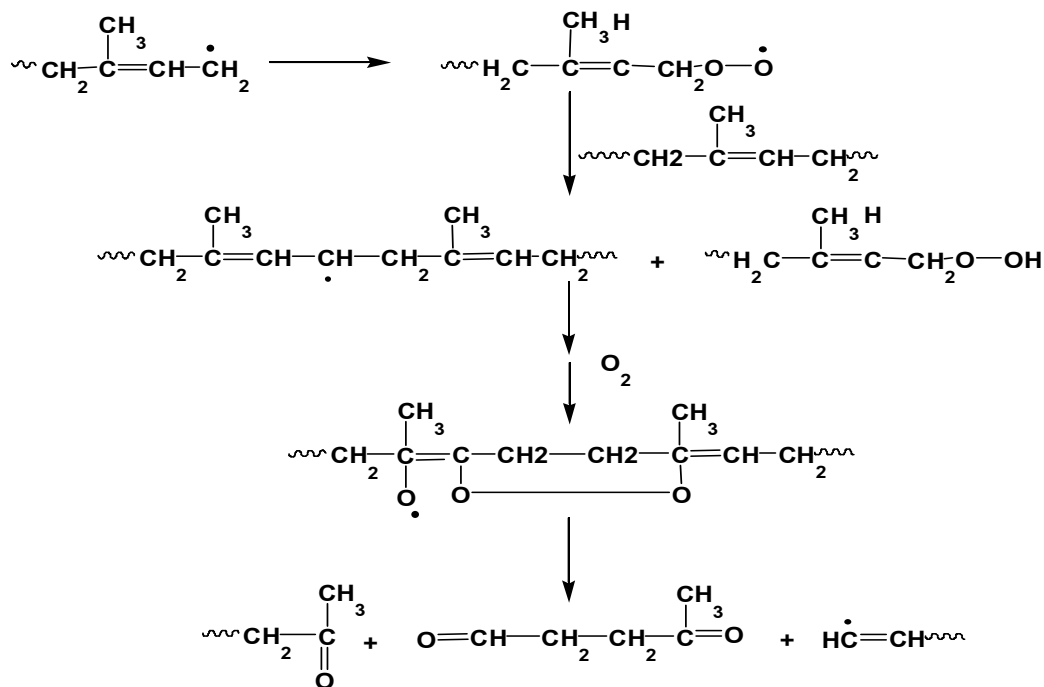
ตารางที่ 4.25 ค่าความหนืด ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นและปริมาณเจลของยางสกิม LPSR เมื่อทำการบดด้วยเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง

Mastication time (min)	LPSR no antioxidant			LPSR (BHT 1phr)		
	ML1+4	Po	%Gel	ML1+4	Po	%Gel
0	105	48.1	7.02	105	48.1	7.02
2	101	34.8	1.72	91	32.5	1.36
4	93	28.2	~0	76	29.3	~0
6	74	23.7	~0	70	24.7	~0
8	70	22.3	~0	62	24.0	~0
10	66	21.1	~0	58	23.4	~0

จากการวิเคราะห์ FTIR spectra ของยางสกิม LPSR ที่ผ่านการบดด้วยวิธีทางกลดังรูปที่ 4.22 พบว่าปรากฏพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่นที่ 1710 cm^{-1} และ 1738 cm^{-1} ของอัลดีไฮด์ (aldehyde group) และเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid ester group) คล้ายคลึงกันทั้งในกรณี ยางสกิมที่เติมและไม่ได้เติม BHT antioxidant นอกจากนี้ยังพบว่าที่ตำแหน่ง 1710 cm^{-1} ปรากฏสัญญาณพีคสูงขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อทำการบดเป็นระยะเวลาที่นานขึ้นในกรณีของยางสกิม LPSR ที่ไม่ได้ทำการเติม BHT antioxidant ขณะทำการบด แสดงให้เห็นว่าเกิดการออกซิเดชัน (oxidation) ในโมเลกุลของยางสกิม LPSR ขณะที่ทำการบด และจาก FTIR spectra พบว่าปรากฏพีคของอัลดีไฮด์อยู่ก่อนแล้วในยางสกิม LPSR ที่ยังไม่ได้ผ่านการบดอาจเป็นผลเนื่องมาจาก กระบวนการผลิตยางสกิมที่ต้องผ่านการตัดบดหลายครั้ง หรืออาจเป็นผลข้างเคียงจากการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันทำให้มีโอกาสเกิดการออกซิเดชันได้ง่าย และเมื่อทำการบดยางสกิม LPSR นานขึ้นจึงพบว่ามีปริมาณอัลดีไฮด์ที่สูงขึ้น ซึ่งได้มีการวิจัย (โสภา อิศระ, 2545) พบว่าในขณะที่ทำการบดยางธรรมชาตินั้น เมื่อยางถูกบดทำให้เกิดอนุมูลอิสระ และเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้ว เกิดเป็นหมู่อัลดีไฮด์ และ คีโตนที่ปลายสายโซ่โมเลกุลยางมากขึ้น ดังรูปที่ 4.23 อย่างไรก็ตามการเติม BHT antioxidant เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ป้องกันไม่ให้เกิดการออกซิเดชันเพิ่มสูงขึ้นในขณะที่ทำการบดยางสกิม LPSR



รูปที่ 4.22 FTIR spectra ของยางสกิม LPSR ที่ทำการบดด้วยวิธีทางกล (A) LPSR ที่ไม่ได้เติม BHT antioxidant และ (B) LPSR ที่เติม BHT antioxidant ปริมาณ 1 phr



รูปที่ 4.23 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในยางธรรมชาติเมื่อผ่านการบด (Bevilacqua E.M., 1955 and Barnard D., 1963)

4.3.2 การเตรียมกาว PSA จากยางสีกิม LPSR และจากพอลิเมอร์ผสม

LPSR/PVA

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาการเตรียมกาว PSA จากยางสีกิม LPSR และจาก พอลิเมอร์ผสมจาก LPSR และ PVA (LPSR/PVA blend) โดยเริ่มจากการศึกษาความสามารถในการละลายของยางสีกิม LPSR เพื่อให้ได้สภาวะความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมกาว จากนั้นทำการศึกษาการปรับปรุงสมบัติกาว PSA จากยางสีกิม LPSR ด้วยสารละลาย PVA โดยศึกษาเทคนิคการเตรียมและความสามารถในการเข้ากันได้ของยาง LPSR และ PVA ก่อนทำการเตรียมเป็นกาว PSA ต่อไป

4.3.2.1 ความสามารถในการละลายของยางสีกิม LPSR ที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธีบดทางกลในตัวทำละลายโทลูอีน

โดยปกติแล้วในโรงงานผลิตกาว PSA นำยางธรรมชาติมาบดเพื่อลดน้ำหนักโมเลกุล หลังจากนั้นจึงนำไปละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสมก่อนทำการผสมกับแคตคิไฟเออร์เรซินและสารตัวเติมอื่นๆในลำดับต่อไป และในการทดลองนี้หลังจากที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางสีกิม LPSR แล้ว การทดสอบความสามารถในการละลายของยางในตัวทำละลายที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อกระบวนการเตรียมกาว PSA โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพในการละลายยางสีกิม LPSR ของตัวทำละลายโทลูอีนที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง

เมื่อทำการทดสอบความสามารถในการละลายยางสีกิม LPSR ที่ผ่านการบดแล้ว ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน ให้ผลดังตารางที่ 4.26 ซึ่งพบว่ายางสีกิม LPSR ที่ผ่านการบดที่ระยะเวลา 6-10 min ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ $0.8-0.4 \times 10^6$ g/mole สามารถละลายในตัวทำละลายโทลูอีนได้ดีที่สุด โดยสามารถละลายได้ดีที่ความเข้มข้นสูงสุดถึง 15-20%w/v ซึ่งใช้ระยะเวลาในการละลายประมาณ 12-24 h ในขณะที่ยางสีกิม LPSR ที่ไม่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยการบดด้วยวิธีทางกลมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1.46×10^6 g/mole สามารถละลายในตัวทำละลายโทลูอีนได้ดีที่ความเข้มข้นสูงสุดเพียง 5%w/v และใช้เวลาในการละลายถึง 24 h อย่างไรก็ตามการที่ยางสีกิม LPSR สามารถละลายได้ดีที่ปริมาณความเข้มข้นสูงๆ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการเตรียมกาว และลดความเสี่ยงของปริมาณการใช้ตัวทำละลายซึ่งทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำลง

ตารางที่ 4.26 ความสามารถในการละลายของยางสีกิม LPSR ที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธีบดทางกลในตัวทำละลายโทลูอีน

Mastication time (min)	Solubility of LPSR in toluene			
	5%w/v	10%w/v	15%w/v	20%w/v
0	*Good	***Poor(swell)	Poor(swell)	Poor(swell)
2	Good	Good	Poor(swell)	Poor(swell)
4	Good	Good	Good	Good
6	**Excellence	Excellence	Excellence	Good
8	Excellence	Excellence	Excellence	Good
10	Excellence	Excellence	Excellence	Good

*Excellence: completely dissolved by overnight

**Good: completely dissolved by 24h

***Poor: not completely dissolved due to swelling or gelling occurrence

4.3.2.2 ความสามารถในการเข้ากันของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA

1. ลักษณะทางกายภาพและความหนืดของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA

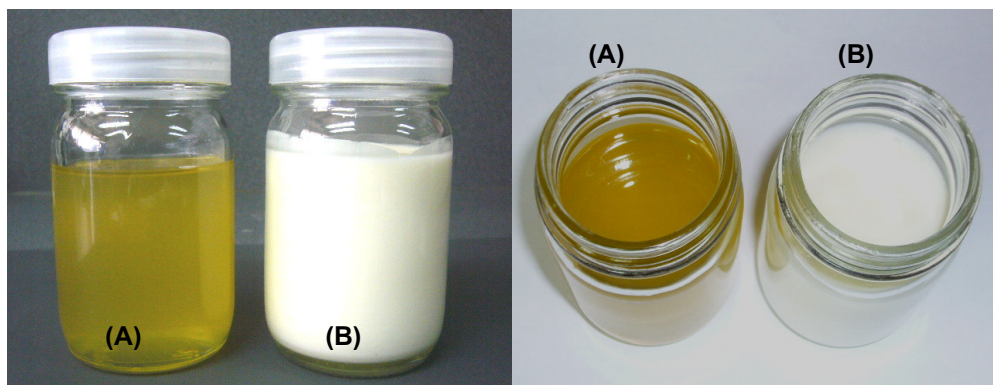
จากตารางที่ 4.27 เป็นลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างสารละลายยางสีกิม LPSR ในตัวทำละลายโทลูอีนที่ความเข้มข้น 10 15 และ 20%w/v และสารละลาย 10%wt. PVA ดังในรูปที่ 4.24 โดยแปรปริมาณ PVA ที่ 10-50 phr ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบปั่นความเร็วสูง (high-speed homogenizer) ที่ความเร็ว 14,000 rpm ระยะเวลาประมาณ 15 min พบว่าที่ความเข้มข้นสารละลายยางสีกิม LPSR ที่ 10 และ 15%w/v LPSR สามารถเตรียมพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA แบบสารละลายให้มีลักษณะเป็นอิมัลชัน ได้ที่ปริมาณ 10-30 phr PVA และที่ความเข้มข้น 20%w/v LPSR ที่ปริมาณ 10 phr PVA อย่างไรก็ตาม พบว่าเมื่อใช้ปริมาณ PVA มากกว่า 30 phr ของพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีลักษณะเป็นครีมเหนียวไม่เหมาะสำหรับการเตรียมกาว PSA

จากการทดสอบค่าความหนืดของสารละลายกาวพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA แบบอิมัลชัน ดังแสดงผลทดสอบในตารางที่ 4.28 พบว่าปริมาณ PVA ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่าความหนืดเป็นอย่างมาก ที่ความเข้มข้นสารละลายยางสีกิม LPSR 10 และ 15%w/v เมื่อแปรปริมาณ PVA 10-50 phr พบว่ามีค่าความหนืดประมาณ 300-800 cP และ 1100-7000 cP

ตามลำดับ และที่ความเข้มข้นสารละลายยางสกีม LPSR 20%w/v ที่ปริมาณ PVA 10-30 phr มีค่าความหนืดประมาณ 3400-11400 cP ทั้งนี้เนื่องจากของพอลิเมอร์ผสมมีลักษณะเป็นการผสมแบบน้ำในน้ำมัน (water in oil) โดยใช้สารละลาย PVA ทำหน้าที่เป็นสารปรับแต่งในสารละลายยางสกีม LPSR และเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) เพื่อให้เกิดเป็นอิมัลชัน การเติมปริมาณ PVA ลงไปในสารละลายยางสกีม LPSR ปริมาณมากๆ จึงทำให้อนุภาคของคอลลอยด์ (colloid) เกิดการเกาะกันเป็นกลุ่ม (aggregation หรือ flocculation) จนมีขนาดใหญ่ขึ้น และเคลื่อนที่ได้ช้าลง ส่งผลให้สารละลายอิมัลชันของพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีความหนืดสูงขึ้น (Hunter R.J., 1989)

ตารางที่ 4.27 ลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA solution blend

Amount of PVA (phr)	Characteristic of LPSR/PVA blend		
	10% LPSR	15% LPSR	20% LPSR
10	Emulsion	Emulsion	Emulsion
20	Emulsion	Emulsion	Cream
30	Emulsion	Emulsion	Cream
40	Cream	Cream	Cream
50	Cream	Cream	Cream



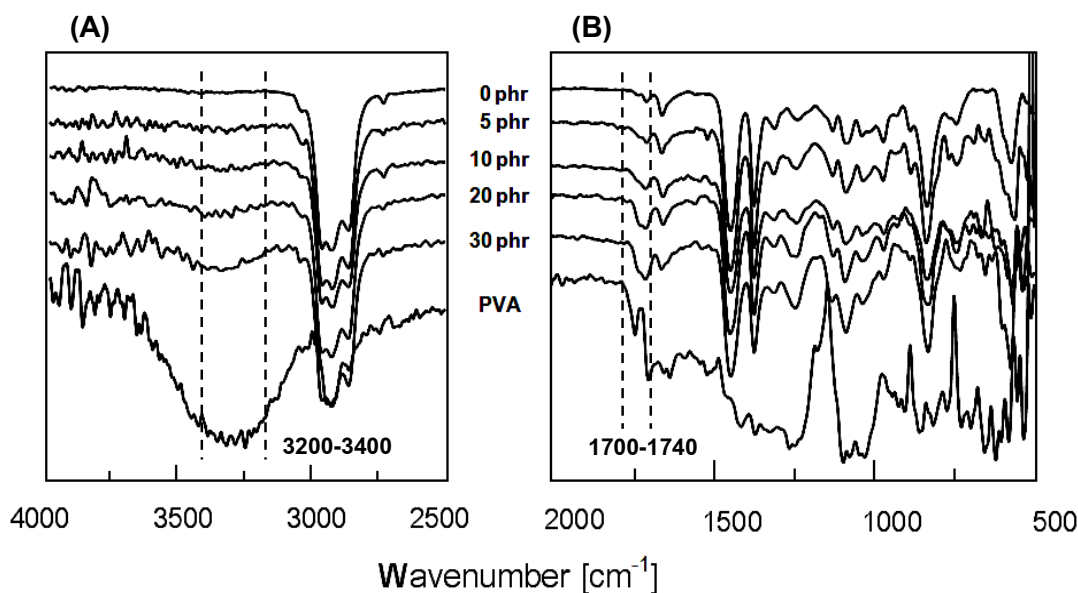
รูปที่ 4.24 ภาพการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของสารละลายยางสกีม LPSR (15%w/v) (A) และสารละลายอิมัลชันของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA 20 phr (B)

ตารางที่ 4.28 ค่าความหนืดของสารละลายอิมัลชันพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA

Amount of PVA (phr)	Viscosity of LPSR/PVA emulsion (cP)		
	10% LPSR	15% LPSR	20% LPSR
10	316±2	1127±6	3425±23
20	432±2	1852±5	6172±50
30	472±2	2145±9	11373±64
40	633±3	3321±9	-
50	793±3	7050±10	-

2. อันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA

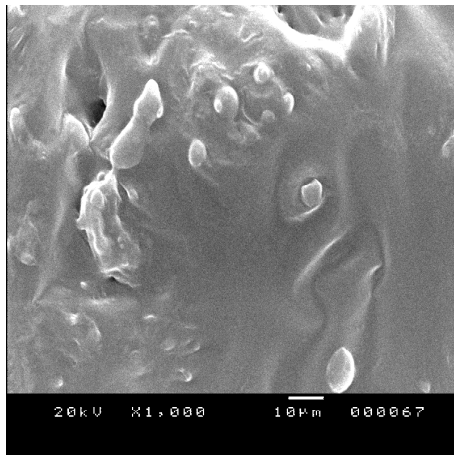
จากการวิเคราะห์สเปกตรัมอินฟราเรด (FTIR spectra) ของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA เมื่อทำการแปรปริมาณ PVA ที่ 0 5 10 20 และ 30 phr ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลในรูปที่ 4.25 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมอินฟราเรดในช่วงตำแหน่งเลขคลื่นที่ 3200-3400 cm^{-1} (A) และ 1700-1740 cm^{-1} (B) โดยพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ PVA ปรากฏสัญญาณพีคสูงขึ้นอย่างชัดเจนในช่วงตำแหน่ง 3200-3400 cm^{-1} และในช่วงตำแหน่ง 1700-1740 cm^{-1} ซึ่งอาจเป็นผลจากปริมาณหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) และ หมู่อะซิเทรต (acetate group) จากปริมาณ PVA ที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้เกิดการรวมกันกว้างขึ้นในช่วงดังกล่าว อย่างไรก็ตามอาจเป็นไปได้ว่ามีการเกิดอันตรกิริยาระหว่างยางสกิม LPSR และ PVA ได้บางส่วน ซึ่งอาจต้องยืนยันโดยใช้เทคนิคอื่นๆ ในการวิเคราะห์ต่อไป



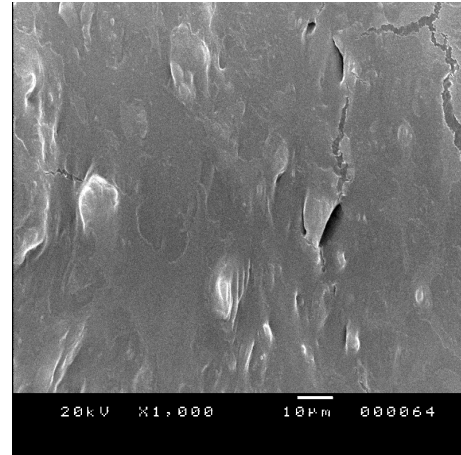
รูปที่ 4.25 FTIR spectra ของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA (A) 3200-3400 cm^{-1} (B) 1710-1740 cm^{-1} เมื่อแปรปริมาณความเข้มข้นของ PVA ที่ 0 5 10 20 และ 30 phr

3. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA

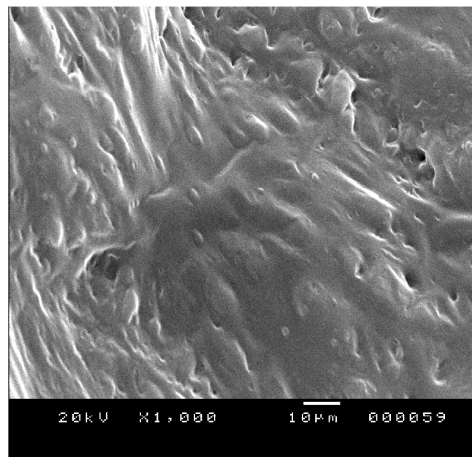
การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อศึกษาความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม จากรูปภาพที่ 4.26 พบว่า PVA กระจายตัวเป็นเม็ดเล็กๆ ขนาดอนุภาคประมาณ 5-10 μm อยู่ในวัฏภาคของยางแบบต่อเนื่อง (dispersion หรือ continuous phase) ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนที่ปริมาณความเข้มข้นของ PVA 10 phr (A) และ 20 phr (B) อย่างไรก็ตามพบว่าที่ปริมาณความเข้มข้น PVA 30 phr (C) มีลักษณะวัฏภาคเป็นแบบต่อเนื่องมากขึ้น อาจเนื่องมาจากปริมาณ PVA เพิ่มขึ้นในสารละลายอิมัลชันของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA ซึ่งทำให้เกิดแรงดึงผิวที่บริเวณรอยต่อของวัฏภาคลดลง และเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาค เมื่อได้รับพลังงานเชิงกลจากการปั่นทำให้บริเวณผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาคเปลี่ยนรูปจนได้หยดของเหลวขนาดใหญ่และแตกออกเป็นหยดขนาดเล็กๆ ได้อิมัลชันที่มีความเสถียรมากขึ้น (Hunter R.J., 1989) และทำให้วัฏภาคของยางสีกิม LPSR และ PVA สามารถกระจายตัวเข้ากันได้ดีและมีลักษณะเป็นวัฏภาคแบบต่อเนื่องมากขึ้น



(A) LPSR/PVA 10phr



(B) LPSR/PVA 20phr

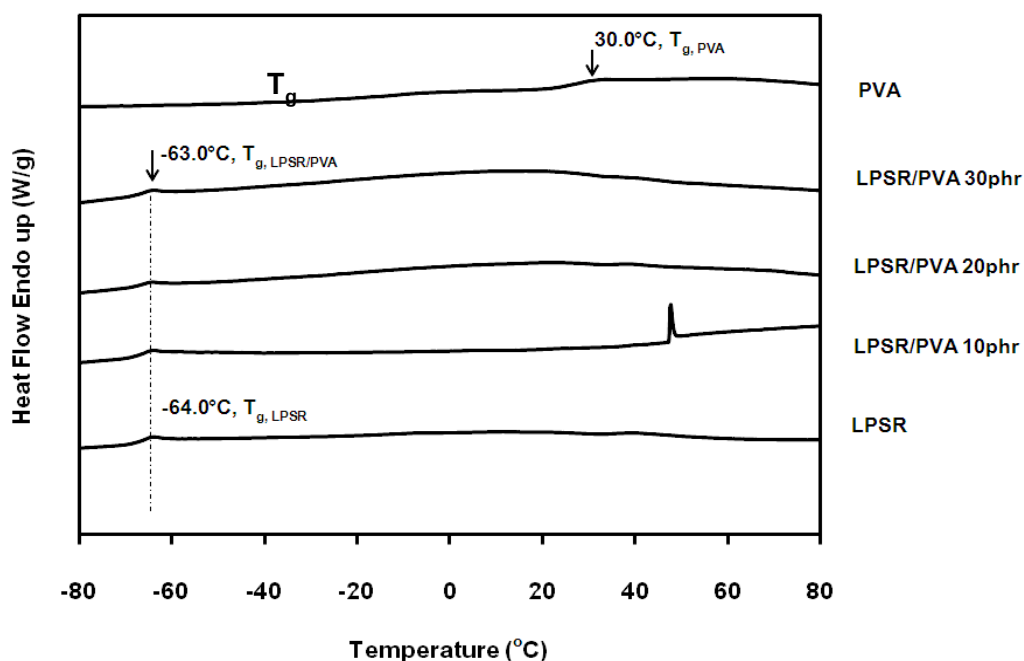


(C) LPSR/PVA 30phr

รูปที่ 4.26 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA ที่อัตราส่วนของการผสมต่างๆ โดย (A) LPSR/PVA 10phr (B) LPSR/PVA 20phr และ (C) LPSR/PVA 30phr

4. ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนด้วย DSC

การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนด้วย DSC เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของพอลิเมอร์ผสม เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA ดังแสดงในรูปที่ 4.27 พบว่าปรากฏสัญญาณพีคเดี่ยวที่ตำแหน่งอุณหภูมิใกล้เคียงกันและไม่ปรากฏสัญญาณพีค T_g ของ PVA ($T_g = 30^\circ\text{C}$) โดยที่ยางสติก LPSR มีค่า T_g ที่ประมาณ -64°C ในขณะที่พอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA มีค่า T_g ที่ประมาณ -64 ถึง -63°C กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณ PVA 10-30 phr สัญญาณพีคเลื่อนที่ตำแหน่งที่อุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อย แสดงให้เห็นได้ว่าของผสมระหว่างยางสติก LPSR และ PVA อาจมีบางส่วนที่สามารถเข้ากันได้



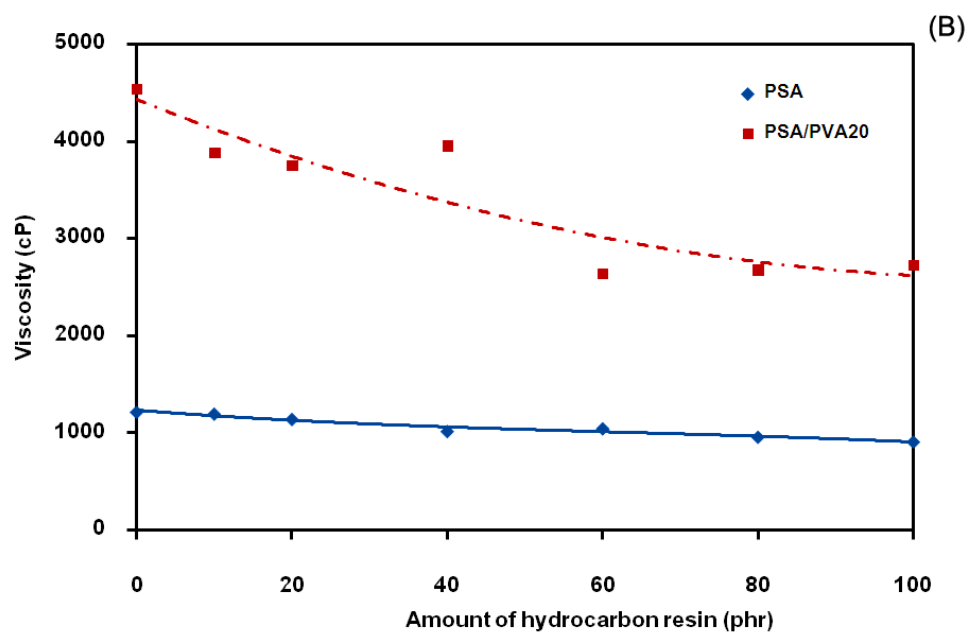
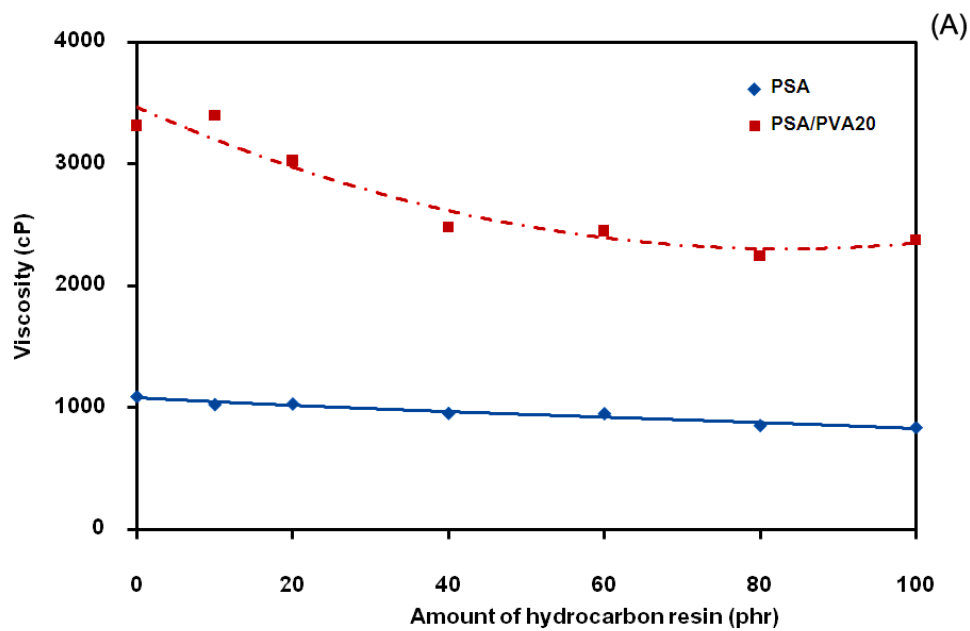
รูปที่ 4.27 DSC thermogram ของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA ที่ปริมาณความเข้มข้น PVA 10 20 และ 30 phr โดยเปรียบเทียบกับยางสติก LPSR และ PVA

4.3.2.3 ความสามารถในการเข้ากันของสารละลายกาว PSA ระหว่างไฮโดรคาร์บอนเรซินกับพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA

การเตรียมกาว PSA จากพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA โดยเริ่มจากยางสกีม LPSR ที่ลดน้ำหนักโมเลกุลแล้วซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 0.4×10^6 g/mole ละลายในตัวทำละลายโทลูอีนที่ความเข้มข้น 15%w/v หลังจากนั้นเติมไฮโดรคาร์บอนเรซิน โดยแปรปริมาณที่ความเข้มข้น 0-100 phr แล้วจึงนำไปผสมกับสารละลาย 10%wt. PVA ที่ปริมาณ 0 และ 20 phr แล้วจึงทำการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ความหนืดของสารละลายกาว PSA และพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20

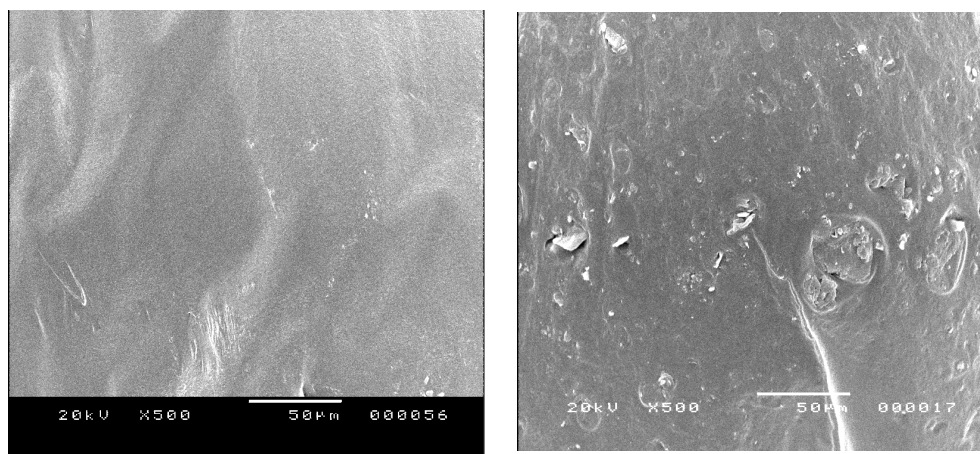
ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายกาว PSA และ พอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 เมื่อทำการแปรปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน ที่ปริมาณ 0-100 phr โดยพบว่าปริมาณของไฮโดรคาร์บอนเรซิน ส่งผลอย่างยิ่งต่อการลดลงของค่าความหนืดของสารละลายกาว PSA และพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ดังในรูปที่ 4.28 สารละลายยางสกีม LPSR และพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA20 มีค่าความหนืดเริ่มต้นประมาณ 1100-1200 cP และ 3300-4500 cP ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ 0-100 phr พบว่าค่าความหนืดของสารละลายมีการลดลงประมาณ 0-25% ในกรณีของสารละลายกาว PSA และลดลงประมาณ 0-40% ในกรณีของสารละลายกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ทั้งนี้เนื่องมาจากไฮโดรคาร์บอนเรซิน หรือแทคคิไฟเออร์เรซิน (tackifier resin) เป็นวัสดุที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ซึ่งทำให้เกิดการลดลงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของกาว PSA มีค่าน้อยและเป็นผลทำให้สารละลายกาว PSA มีความหนืดที่ต่ำลงนั่นเอง



รูปที่ 4.28 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายกาว PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 (A) lot1; no BHT และ (B) lot 2; BHT 1 phr เมื่อแปรปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ปริมาณ 0-100 phr

2. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกาว PSA

จากรูปที่ 4.29 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกาว PSA โดยที่ (A) PSA (HC-resin 60phr) และ (B) PSA/PVA20 (HC-resin 60phr) โดยพบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาของกาว PSA ที่มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน 60 phr มีลักษณะวัฏภาคเป็นแบบเนื้อเดียวกัน แสดงถึงความสามารถเข้ากันได้ดีของไฮโดรคาร์บอนเรซิน และวัฏภาคของยางสกิม LPSR แต่ในกรณีของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน 60 phr มีลักษณะเป็นวัฏภาคแบบไม่ต่อเนื่องกัน (disperse หรือ discontinuous phase) ซึ่งอาจเป็นผลของอนุภาคของ PVA บางส่วนที่ไม่สามารถรวมเป็นวัฏภาคแบบเดียวกับยางสกิม LPSR ได้



(A) PSA

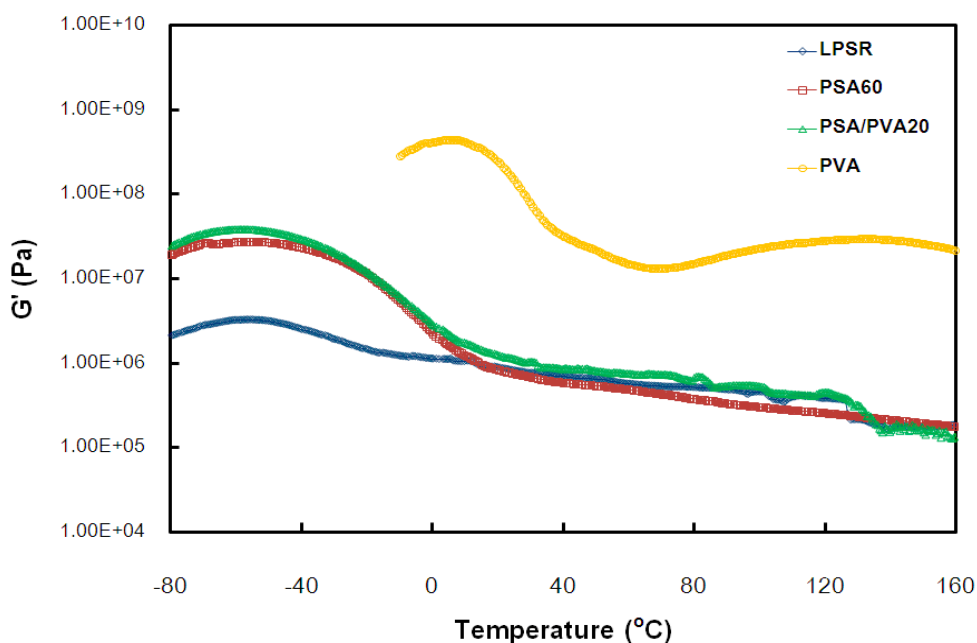
(B) PSA/PVA20

รูปที่ 4.29 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกาว PSA โดยที่ (A) PSA (HC-resin 60 phr) และ (B) PSA/PVA20 (HC-resin 60 phr)

3. ผลการวิเคราะห์ทางกลศาสตร์ความร้อนเชิงพลศาสตร์

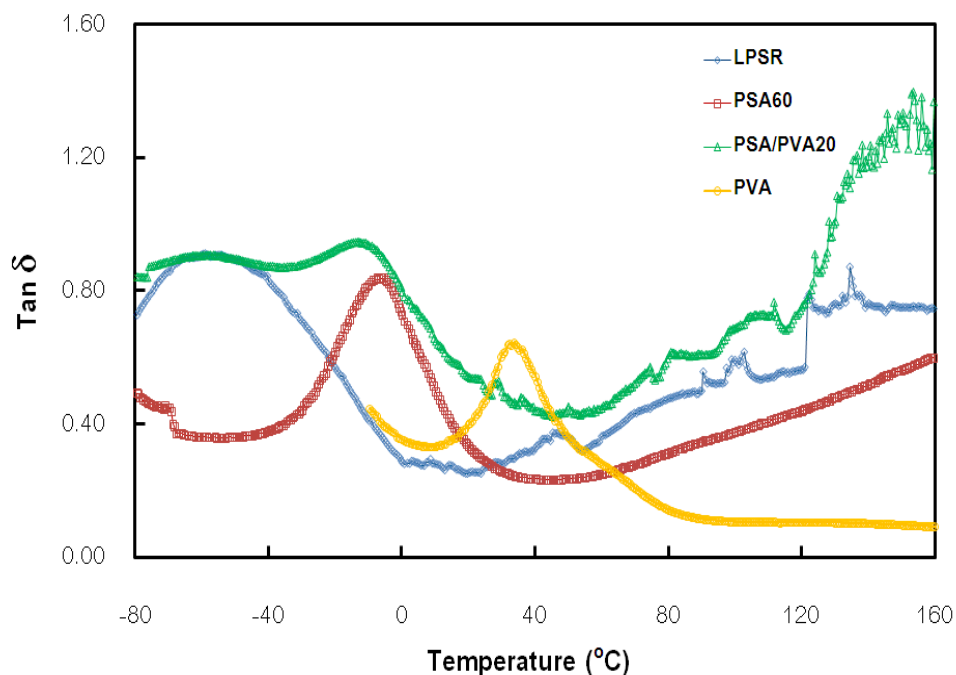
การวิเคราะห์หีทธิพลของปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินที่มีต่อค่ามอดุลัสสะสม (storage modulus, G') ของกาว PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เตรียมได้จากยางสกิม LPSR เมื่อใช้ไฮโดรคาร์บอนเรซินที่มีปริมาณ 60 phr ในรูปที่ 4.30 โดยพบว่าค่า G' ของยางสกิม LPSR ลดลงอย่างรวดเร็วที่ประมาณ -60°C ซึ่งช่วงอุณหภูมินี้คือ T_g ของยางสกิม

LPSR นอกจากนี้ยังพบว่าค่า T_g ของกาว PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 มีค่า G' ที่จุดต่ำกว่า T_g เพิ่มขึ้นเช่นกันเมื่อเปรียบเทียบกับยางสกีม LPSR ทั้งนี้เนื่องจากผลของไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งการเสริมสภาพ (anti-plasticizer) ซึ่งทำให้ต้องใช้พลังงานที่สูงมากขึ้น ในการที่จะทำให้พอลิเมอร์แปรสภาพจากแข็งมาเป็นนุ่มหรือยืดหยุ่นได้ จึงส่งผลทำให้กาวมีค่า G' และ T_g สูงขึ้นในช่วงอุณหภูมิต่ำ และทำให้มีค่า G' ลดลงในช่วงที่อุณหภูมิสูง (สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sasaki M. et al. 2008) อย่างไรก็ตามพบว่ากาวพอลิเมอร์ PSA/PVA20 มีค่า G' สูงกว่า PSA เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 30°C ซึ่งอาจเป็นผลของการเกิดอันตรกิริยากันระหว่างยางสกีม LPSR และ PVA



รูปที่ 4.30 กราฟ DMTA แสดงอิทธิพลของปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินที่มีต่อค่า G' ของกาว PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เตรียมได้จากยางสกีม LPSR เมื่อใช้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน 60 phr

อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อผลของการเปลี่ยนแปลงค่าแทนเจนต์สูญเสีย (loss tangent, $\tan\delta$) ของกาว PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เตรียมจากยางสกีม LPSR ที่ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน 60 phr เมื่อทำการแปรอุณหภูมิ ในรูปที่ 4.31 ที่ตำแหน่ง $\tan\delta$ สูงสุดของพีคคือช่วงอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (glass transition state, T_g) ของวัสดุ ซึ่งพบว่า T_g ของกาว PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 เคลื่อนไปในตำแหน่งช่วงอุณหภูมิสูงขึ้น ที่ตำแหน่ง -4.0°C และ -9.0°C ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากผลของไฮโดรคาร์บอนเรซิน และ PVA นั่นคือ การที่ไฮโดรคาร์บอนเรซิน และ PVA ไปจำกัดการหมุนภายในสายโซ่พอลิเมอร์ของยางสกีม LPSR ทำให้การเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์มีการเคลื่อนที่ได้ช้าลงหรือไม่สามารถเคลื่อนที่ได้จึงทำให้มีค่า T_g สูงขึ้น (T_g ของยางสกีม LPSR = -60.0°C และ T_g ของไฮโดรคาร์บอนเรซินบริสุทธิ์ = 40.0°C และ T_g ของ PVA บริสุทธิ์ = 30.0°C) นอกจากนี้พบว่ากาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ปรากฏไหล่พีคที่ตำแหน่งช่วงอุณหภูมิ -60°C อาจแสดงถึงความไม่เป็นเนื้อเดียวกันระหว่าง PVA และไฮโดรคาร์บอนเรซิน ซึ่งแตกต่างจากกาว PSA ที่เข้ากันได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในช่วงอุณหภูมิประมาณ $30-100^\circ\text{C}$ ค่า $\tan\delta$ ของกาว PSA มีค่าต่ำกว่ากาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 และ ยางสกีม LPSR แสดงว่าไฮโดรคาร์บอนเรซิน ทำให้ยางสกีม LPSA มีความเป็น viscose behavior น้อยกว่า ขณะที่กาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 มีค่า $\tan\delta$ สูงกว่า เนื่องจากผลของปริมาณ PVA ที่มีอยู่ภายในเนื้อกาวทำให้มีความเป็น viscose behavior เพิ่มมากขึ้น จึงเกิดการสะสมของพลังงานได้น้อยกว่า (Sasaki M.et al.,2008)



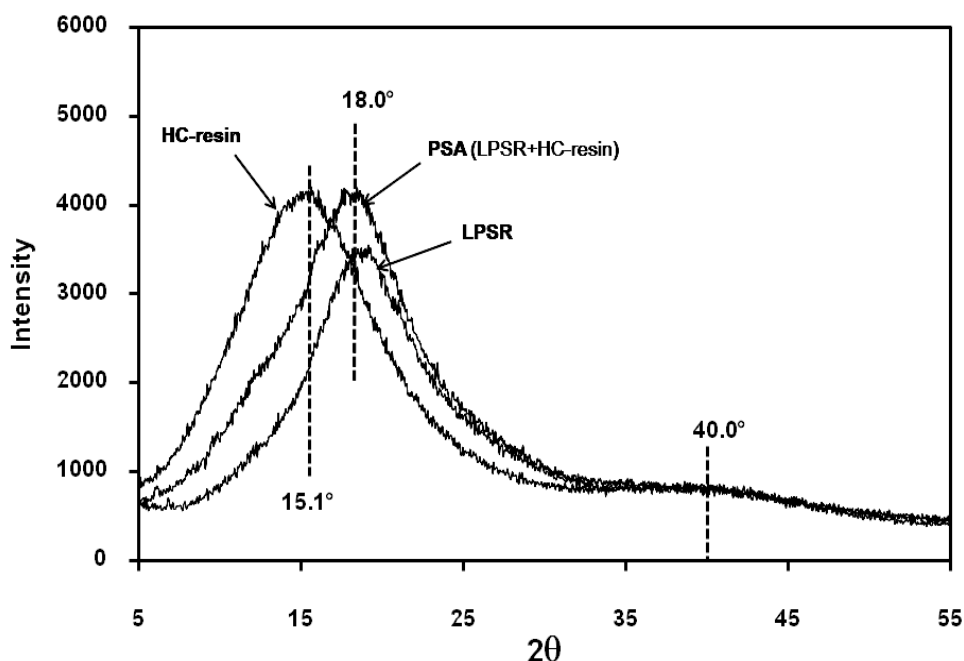
รูปที่ 4.31 กราฟ DMTA แสดงอิทธิพลของปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน ที่มีต่อค่าแทนเจนต์สูญเสีย ($\tan \delta$) ของกาว PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เตรียมได้จากยางสีกิม LPSR เมื่อใช้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน 60 phr

4. การวิเคราะห์ผลของการเกิดผลึกด้วยเทคนิคการกระเจิงของรังสีเอกซ์แบบมุมกว้าง

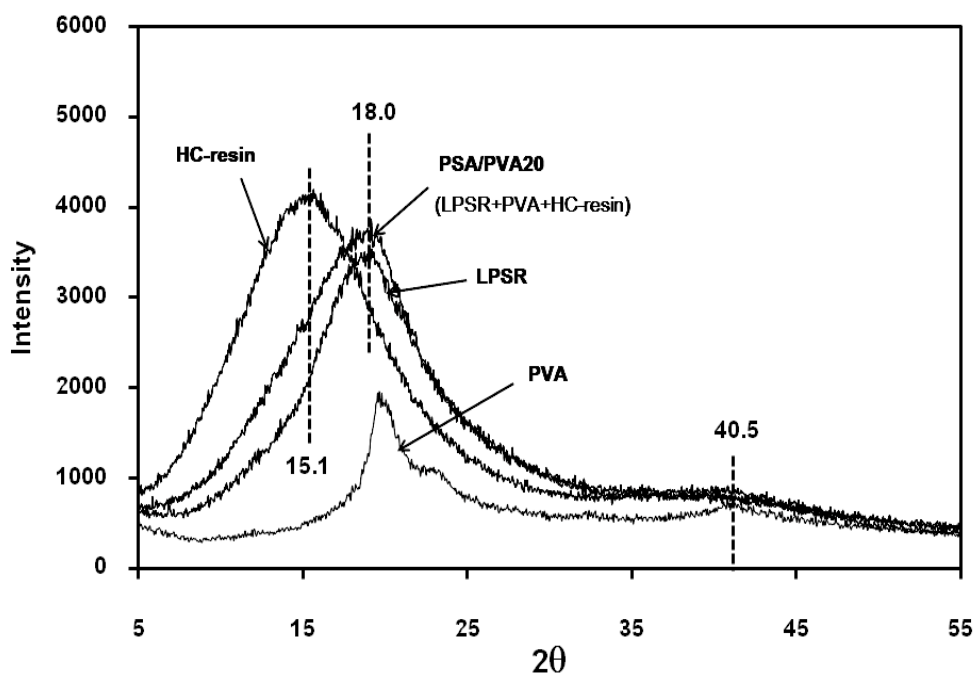
เทคนิคการวัดการกระเจิงของรังสีเอกซ์แบบมุมกว้าง (Wide angle X-ray scattering ,WAXS) ใช้ในการศึกษาลักษณะความเป็นสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ เช่น ความเป็นผลึก (crystalline) หรืออสัณฐาน (amorphous) ของพอลิเมอร์ โดยศึกษาโครงสร้างและความสัมพันธ์ของสายพอลิเมอร์ในระดับที่ใหญ่มากๆ เมื่อเทียบกับขนาดของแต่ละ re-peating unit หรือหน่วยเซลล์ของผลึก โดยปกติแล้วยางธรรมชาติเป็นอีลาสโตเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีความเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (semi-crystalline polymer) ซึ่งสามารถเกิดผลึกได้เมื่อทำให้เกิดการเรียงตัว (orientation) ด้วยการดึง หรือที่สภาวะอุณหภูมิต่างๆ เท่านั้น (Kawahara S. et al., 2000 and Gent A.N.,1954)

การเติมไฮโดรคาร์บอนเรซินส่งผลต่อสถานะความเป็นอสัณฐานของกาว PSA ดังรูปที่ 4.32 พบว่า X-ray diffraction patterns ของกาว PSA ปรากฏ peak intensity สูงกว่าของยางสกี LPSR ที่มุม 18.0° (2θ) กล่าวคือ ทำให้มีความสามารถในการเกิดผลึกได้มากกว่า นอกจากนี้ยังปรากฏ low peak intensity ที่มุม 40.0° (2θ) ซึ่งแสดงถึงองค์ประกอบบางส่วนของกาว PSA ที่มีความเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึกเนื่องจากมีไฮโดรคาร์บอนเรซินเป็นองค์ประกอบ

และในกรณีของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ปรากฏ peak intensity ที่มุม 18.0° (2θ) เช่นเดียวกับกาว PSA โดยพบว่ากาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ให้ peak intensity ที่ต่ำกว่า ดังรูปที่ 4.33 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของ PVA ส่งผลทำให้การเกิดผลึกในกาวลดลง ซึ่งอาจเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างยางสกี LPSR และ PVA อย่างไรก็ตาม พบว่า การเติมไฮโดรคาร์บอนเรซินส่งผลต่อสถานะความเป็นอสัณฐานของกาว PSA/PVA20 มากกว่า PVA สังเกตได้จากการที่มี peak intensity ที่สูงกว่ายางสกี LPSR นอกจากนี้ยังปรากฏ low peak intensity ที่มุม 40.5° (2θ) ซึ่งแสดงถึงองค์ประกอบบางส่วนของพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่ยังมีความเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึกเช่นเดียวกับ PVA (Riyajan S. et al., 2009)



รูปที่ 4.32 X-ray diffraction patterns ของกาว PSA ที่เตรียมได้จากยางสกี LPSR เมื่อใช้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ปริมาณความเข้มข้น 60 phr



รูปที่ 4.33 X-ray diffraction patterns ของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เตรียมได้จากยางสีกิม LPSR เมื่อใช้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ปริมาณความเข้มข้น 60 phr

4.3.3 อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อสมบัติทางด้านการยึดติดของกาว PSA

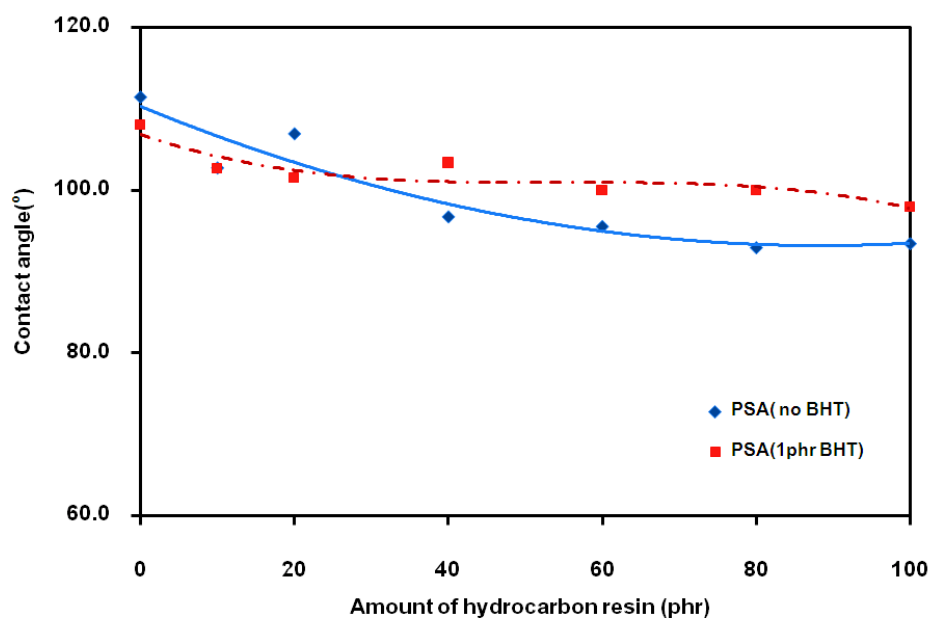
4.3.3.1 สมบัติทางด้านการยึดติดของกาว PSA จากยางสีกิม LPSR และพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA20

1. การวัดมุมสัมผัสเชิงฟิสิกส์

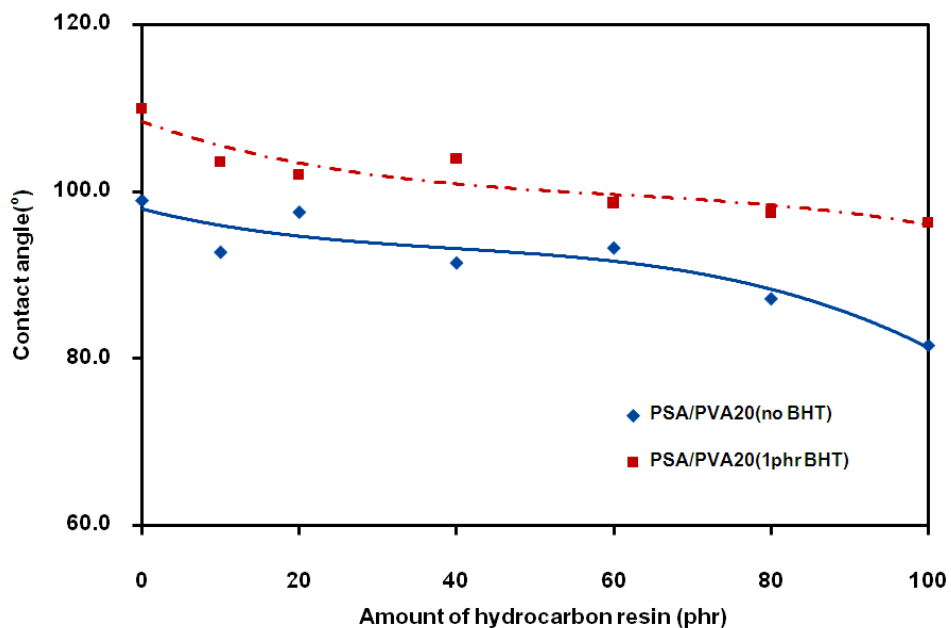
พลังงานพื้นผิว (surface energy) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อสมบัติการยึดติดระหว่างกาวกับวัสดุ โดยปกติแล้วการที่กาวสามารถยึดติดกับวัสดุชนิดนั้นได้ดีก็ต่อเมื่อกาวมีพลังงานพื้นผิวต่ำกว่าวัสดุชนิดนั้น (Pocius V Al., 2002) ซึ่งสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงพลังงานพื้นผิวของกาวได้จากการวัดมุมสัมผัสเชิงฟิสิกส์ (contact angle) โดยผลของการศึกษาอิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสของกาว PSA ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr ดังในรูปที่ 4.34 พบว่าปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสของกาว PSA อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.36 กล่าวคือ กาว

PSA มีการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสลดลงประมาณ $0-18^{\circ}$ ในกรณีไม่เติม BHT และ $0-10^{\circ}$ ในกรณีเติม BHT เมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ $0-100$ phr แสดงให้เห็นว่ากาว PSA มีพลังงานพื้นผิวลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน ทั้งนี้เนื่องจากสารไฮโดรคาร์บอนเรซินสามารถเข้ากันได้ดีกับยางสีกิม LPSR จึงส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวภายในเนื้อกาว (cohesive strength) ลดลง อย่างไรก็ตามกาว PSA ที่เติมและไม่เติม BHT ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกัน

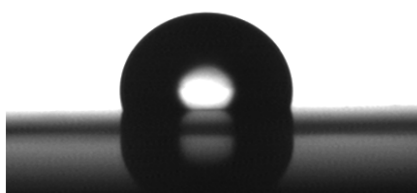
การเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ $0-100$ phr ดังในรูปที่ 4.35 พบว่าปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินส่งผลต่อการลดลงของค่ามุมสัมผัสของกาว PSA อย่างชัดเจนเช่นเดียวกัน ดังในรูปที่ 4.36 กล่าวคือ กาว PSA มีการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสลดลงประมาณ $0-17.4^{\circ}$ ในกรณีไม่เติม BHT และ $0-13.5^{\circ}$ ในกรณีที่เติม BHT เมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ $0-100$ phr อย่างไรก็ตามกาว PSA/PVA20 ที่เติมและไม่เติม BHT ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกัน แต่กาว PSA/PVA20 ที่ไม่เติม BHT ให้ค่ามุมสัมผัสที่ต่ำกว่ากาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เติม BHT ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของค่าความหนืดที่ต่ำกว่าของสารละลายกาว ดังอธิบายผลในหัวข้อ 4.3.2.3 ซึ่งอาจส่งผลทำให้กาวมีพลังงานพื้นผิวลดลงได้ต่ำกว่านั่นเอง



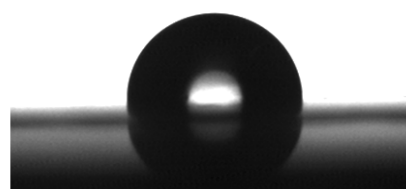
รูปที่ 4.34 อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสของกาว PSA ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ $0-100$ phr



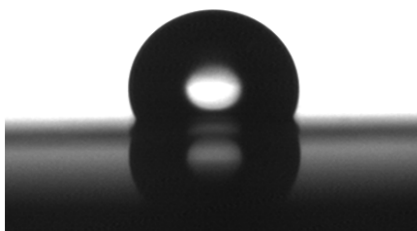
รูปที่ 4.35 อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr



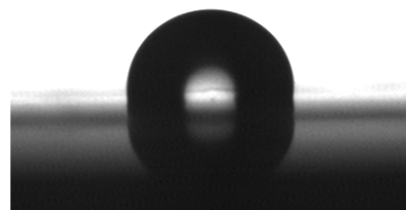
(a) $109.9^{\circ} \pm 2.0^{\circ}$



(b) $97.9^{\circ} \pm 1.5^{\circ}$



(c) $109.9^{\circ} \pm 2.1^{\circ}$



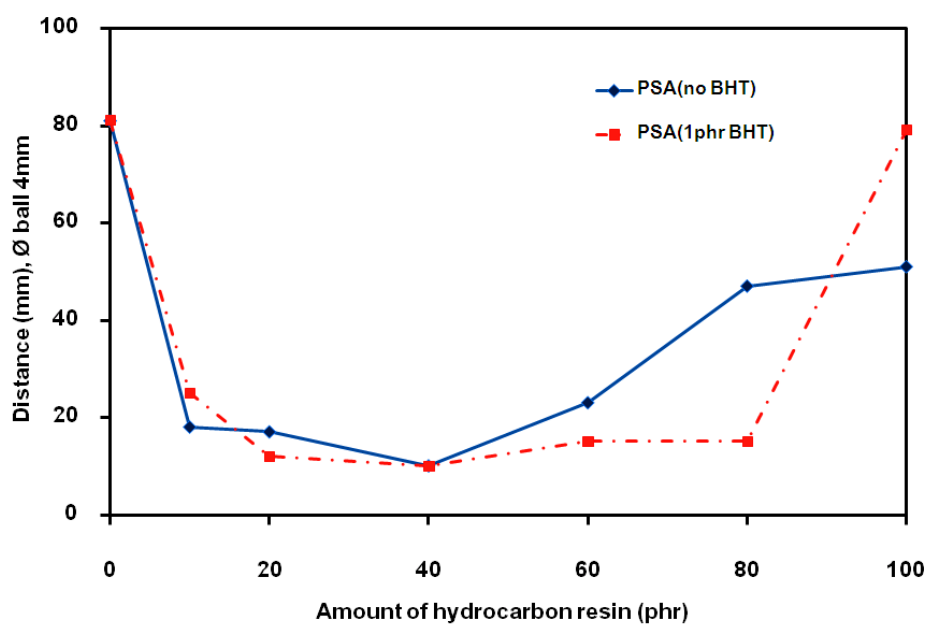
(d) $96.8^{\circ} \pm 1.4^{\circ}$

รูปที่ 4.36 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสของกาว PSA (a) 0 phr HC-resin (b) 60 phr HC-resin และกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 (c) 0 phr HC-resin และ (d) 60 phr HC-resin

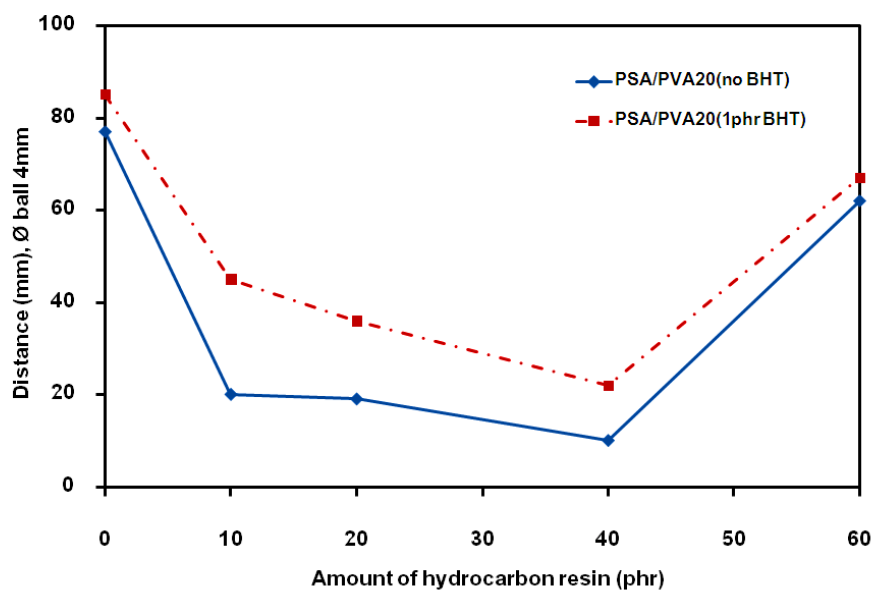
2. สมบัติความเหนียว

ความเหนียว (tack) เป็นหนึ่งในสมบัติที่สำคัญของกาว PSA ซึ่งสามารถเตรียมได้โดยการผสมยางธรรมชาติ หรือ อีลาสโตเมอร์กับวัสดุที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ซึ่งเรียกว่า แทคคิไฟเออร์เรซิน และสำหรับการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติความเหนียวของกาว PSA จากยางสกีม LPSR โดยใช้ไฮโดรคาร์บอนเรซิน (Escorez 1000) โดยศึกษาผลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวของกาว PSA ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr ดังรูปที่ 4.37 พบว่าระยะทางที่เคลื่อนได้น้อยลงของลูกบอลเหล็ก แสดงถึงประสิทธิภาพความเหนียวของกาว PSA ซึ่งได้จากการทดสอบความเหนียว โดยใช้เทคนิค rolling ball tack (ASTM 3121-73) และจากการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินส่งผลต่อความเหนียวของกาว PSA อย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ เมื่อทำการเพิ่มปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน ระยะทางที่เคลื่อนได้ของลูกบอลเหล็กค่อย ๆ ลดลงจนถึงจุดต่ำสุดที่ช่วงปริมาณ 30-60 phr และระยะทางเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินเพิ่มมากกว่า 60 phr ซึ่งที่จุดต่ำสุดแสดงถึงประสิทธิภาพความเหนียวสูงสุดของกาว PSA ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าประสิทธิภาพของความเหนียวเกิดจากความสามารถในการเข้ากัน หรือการกระจายตัวของไฮโดรคาร์บอนเรซินที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัวของการเข้ากัน หรือการละลายระหว่างไฮโดรคาร์บอนเรซินและยางสกีม LPSR นั่นคือ จุดสูงสุดของความเหนียว และเกิดการลดลงของประสิทธิภาพความเหนียวหากเพิ่มปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินสูงขึ้นไปอีก (Satas D., 1982) อย่างไรก็ตามกาว PSA ที่เติมและไม่เติม BHT ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกัน

อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr ดังในรูปที่ 4.38 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน ระยะทางที่เคลื่อนได้ของลูกบอลเหล็กค่อย ๆ ลดลง จนถึงจุดต่ำสุดที่ช่วงปริมาณ 30-50 phr และประสิทธิภาพของความเหนียวของกาวลดลงตามไปด้วย (>100 mm) เมื่อปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินเพิ่มมากกว่า 60 phr ทั้งนี้อาจเกิดจากความสามารถในการเข้ากัน หรือการกระจายตัวของไฮโดรคาร์บอนเรซิน และ PVA ในกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่ไม่เป็นเฟสเดียวกัน ทำให้ประสิทธิภาพความเหนียวของกาวลดลงนั่นเอง ทั้งนี้พบว่ากาว PSA ที่เติมและไม่เติม BHT ให้ผลการทดลองที่มีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน



รูปที่ 4.37 อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวของกาว PSA ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr

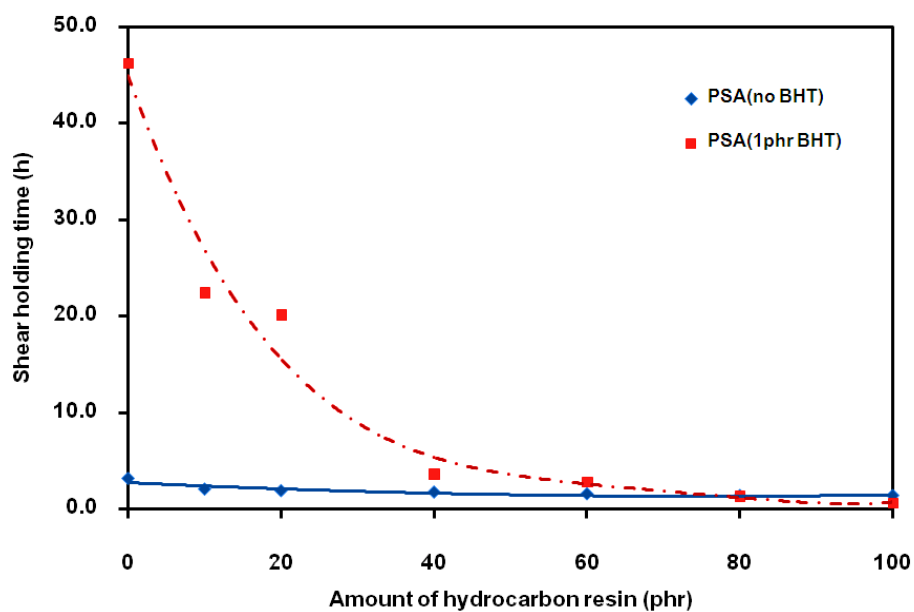


รูปที่ 4.38 อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr

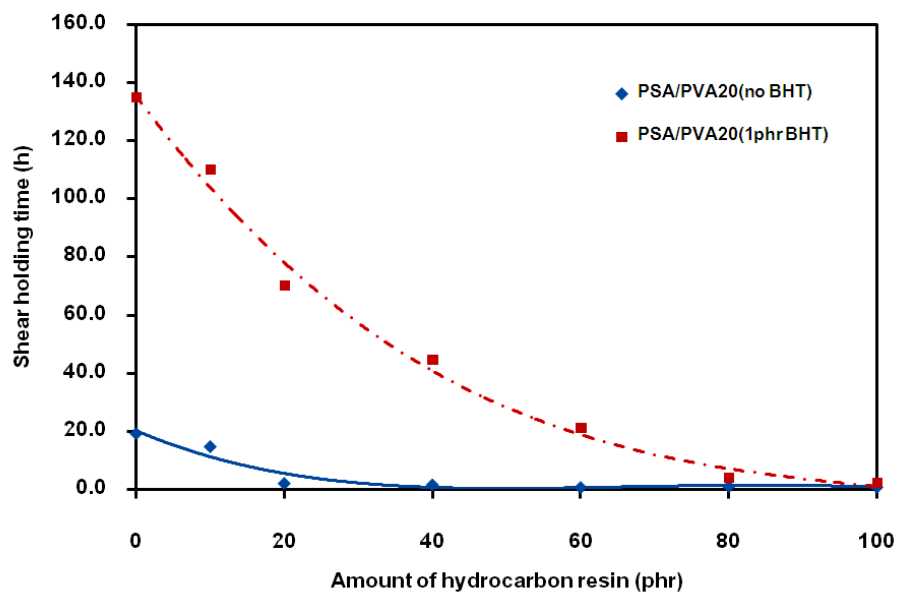
3. สมบัติการคืบ

การทดสอบสมบัติการคืบ (creep) เป็นการทดสอบความสามารถในการต้านทานต่อแรงเฉือน (shear adhesion) ของกาว PSA ภายใต้แรงดึงคงที่ ตามมาตรฐาน PSTC-7 ทำการทดสอบกับพื้นผิวสแตนเลส (stainless steel) โดยให้น้ำหนัก (load) คงที่ที่ 550 g ซึ่งเกิดแรงเฉือนที่ทิศทางขนานกับพื้นผิววัสดุ ทำการทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิ 40°C ระยะเวลา 60 min และลดอุณหภูมิลงที่อุณหภูมิห้อง บันทึกเวลาเมื่อแผ่นกาวหลุดออกจากพื้นผิววัสดุ ในการทดลองนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการคืบของกาว PSA ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr ซึ่งแสดงผลทดสอบดังรูปที่ 4.39 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ในกรณีของกาว PSA ที่เติม BHT ซึ่งมีค่าความต้านทานต่อแรงเฉือน (shear holding time; 1-22 h) สูงกว่ากรณีของกาว PSA ที่ไม่เติม BHT (Shear holding time; 1-3 h) กล่าวคือ ความต้านทานต่อแรงเฉือนของกาว PSA มีค่าลดลงเมื่อปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินเพิ่มสูงขึ้น จนกระทั่งเริ่มคงที่เมื่อปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินมากกว่า 60 phr ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าแรงยึดติดภายในเนื้อของกาวมีค่าลดลง ดังนั้นการเลือกใช้ไฮโดรคาร์บอนเรซินในปริมาณที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสมบัติการต้านทานต่อแรงเฉือน หรือ สมบัติการคืบของกาว PSA และการเติม BHT ทำให้กาว PSA มีค่าความเสถียรต่อความร้อนได้ดีขึ้น

อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการคืบของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr ดังในรูปที่ 4.40 พบว่าการเปลี่ยนแปลงสมบัติการคืบของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 เมื่อปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินเพิ่มขึ้น ให้ผลที่สอดคล้องกับในกรณีของกาว PSA ดังที่กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตามพบว่า กาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ให้ประสิทธิภาพในการต้านทานต่อแรงเฉือนได้สูงกว่ากาว PSA เป็นอย่างมาก กล่าวคือ มีค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนประมาณ 2-135 h ในกรณีที่เติม BHT และประมาณ 1-19 h ในกรณีที่ไม่เติม BHT แสดงให้เห็นว่า PVA ในกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ทำให้ประสิทธิภาพในการต้านทานต่อแรงเฉือนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอาจสามารถอธิบายได้จากกรณีที่ PVA มีสมบัติความเป็นวิสโคอิลาสติกที่สูงกว่ายางสีกิม LPSR จึงส่งผลทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวภายในโมเลกุลของกาวสูงขึ้น และการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลเกิดได้ยากขึ้น นอกจากนี้แล้ว การเติม BHT ทำให้กาว PSA มีค่าความเสถียรต่อความร้อนได้ดีขึ้นอย่างชัดเจนเช่นกัน



รูปที่ 4.39 อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการคืบของกาว PSA ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr

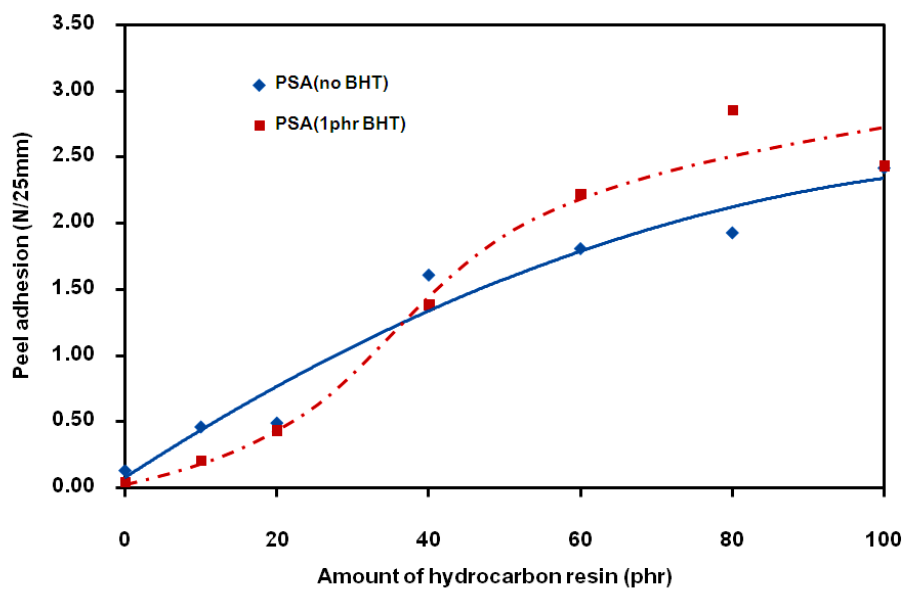


รูปที่ 4.40 อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการคืบของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr

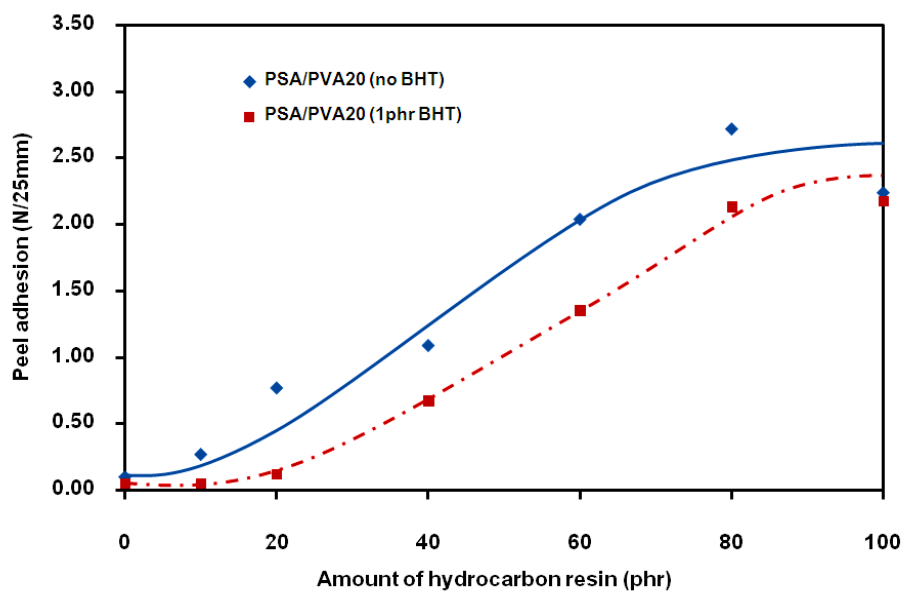
4. สมบัติการดึงลอก

การตรวจสอบสมบัติการดึงลอก (peel adhesion) ของเทปกาว PSA โดยวิธีทดสอบแบบ 180° peel ตามมาตรฐาน PSTC-1 หรือ ASTM D3330 M-04 ถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องทดสอบ tensile ในโหมดแรงดึง (tension mode) โดยใช้อัตราเร็วในการดึง 300 mm/min ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แรงที่ใช้ในการลอกแถบกาว PSA ออกจากพื้นผิววัสดุที่ทำจากสแตนเลส (stainless steel) ที่องศาการดึง 180° ในการทดลองนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซิน ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการดึงลอกของกาว PSA ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr ดังในรูปที่ 4.41 พบว่าแรงที่ใช้ในการลอกแถบกาว PSA ออกจากพื้นผิววัสดุมีค่าสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน โดยพบว่าในช่วงปริมาณ 40-80 phr มีค่าแรงดึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว กล่าวคือ ที่ช่วงปริมาณ 40-80 phr มีค่าแรงดึงเพิ่มขึ้น 1.61-2.42 N/25mm สำหรับกรณีของกาว PSA ที่ไม่เติม BHT และ 1.38-2.43 N/25mm สำหรับกรณีของกาว PSA ที่เติม BHT ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินที่สูงขึ้นทำให้ความสามารถในการเปียก (wettability) ของกาวที่มีต่อวัสดุที่ยึดติดด้วยสูงขึ้น ทำให้กาวมีค่าสมบัติการดึงลอกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นผลของ mechanical interlocking ซึ่งเป็นแรงยึดติดทางกลหรือแรงยึดติดระหว่างกาวกับวัสดุ เนื่องจากการไหลของกาวเข้าไปแทนที่อากาศในช่องว่างบนพื้นผิวของวัสดุ (Poh B.T., et al. 2007) อย่างไรก็ตามกาว PSA ที่ไม่เติม BHT มีค่าสมบัติการดึงลอกสูงกว่า PSA ที่เติม BHT ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของค่าความหนืดของกาว PSA ที่ต่ำกว่า ทำให้สามารถเกิดแรงยึดติดทางกลได้มากกว่า

อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการดึงลอกของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr ดังในรูปที่ 4.42 โดยพบว่าในช่วงปริมาณ 40-80 phr มีค่าแรงดึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเริ่มช้าลงที่ช่วงปริมาณมากกว่า 80 phr กล่าวคือ ที่ช่วงปริมาณ 40-80 phr มีค่าแรงดึงเพิ่มขึ้น 1.09-2.72 N/25 mm สำหรับกรณีของกาว PSA ที่ไม่เติม BHT และ 0.67-2.13 N/25 mm สำหรับกรณีของกาว PSA ที่เติม BHT อย่างไรก็ตามพบว่าการเปลี่ยนแปลงสมบัติการดึงลอกของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 เมื่อปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินเพิ่มขึ้น ให้ผลที่สอดคล้องกับในกรณีของกาว PSA ดังที่กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้กาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่ไม่เติม BHT มีค่าสมบัติการดึงลอกสูงกว่ากาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เติม BHT ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของค่าความหนืดของกาว PSA ที่ต่ำกว่า ทำให้สามารถเกิดแรงยึดติดทางกลได้มากขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 4.41 อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการดึงลอกของกาว PSA ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr



รูปที่ 4.42 อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการดึงลอกของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เติมและไม่เติม BHT เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr

4.3.3.2 สรุปผลการทดสอบสมบัติทางด้านการยึดติดของกาว PSA จาก ยางสีกิม LPSR และพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA20

จากการทดสอบสมบัติทางด้านการยึดติดของกาว PSA จากยางสีกิม LPSR และพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA20 โดยใช้ไฮโดรคาร์บอนเรซินเป็นแทคติไฟเออร์เรซิน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณของไฮโดรคาร์บอนเรซินที่สูงขึ้น ส่งผลทำให้กาว PSA มีค่าพลังงานพื้นผิว สมบัติการคืบ และสมบัติการดึงลอก สูงขึ้น ยกเว้นในกรณีสมบัติความเหนียวซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณที่เหมาะสมของไฮโดรคาร์บอนเรซิน โดยพบว่าปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมกาว PSA คือ ที่ปริมาณ 60 phr ซึ่งให้สมบัติทางด้านการยึดติดได้ดีที่สุด และพบว่า กาว PSA ที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA20 ให้สมบัติการคืบได้ดีกว่า จากยางสีกิม LPSR เพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินส่งผลต่อสมบัติทางด้านการยึดติดของกาว PSA จากยางสีกิม LPSR และพอลิเมอร์ผสม LPSR/ PVA20 ได้ สอดคล้องในทิศทางเดียวกัน

4.3.4 การเตรียมกาว PSA จากพอลิเมอร์ผสม E-LPSR/PVA

เนื่องจากกาวจากยางธรรมชาติยังมีข้อด้อยบางประการที่มาจากโครงสร้างทางเคมี เช่น การมีพันธะไม่อิ่มตัว เป็นผลทำให้มีความเสถียรต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ แต่อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติเป็นยางที่มีความแข็งแรงมากที่สุดและมีคุณสมบัติเชิงกลดีกว่ายางสังเคราะห์ (synthetic rubber) นอกจากนี้ยังมีราคาถูกและสามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ และพบว่า ได้มีการศึกษาสมบัติทางด้านการยึดติดของกาว PSA ที่เตรียมจากยาง ENR 25 และ ENR 50 โดยใช้คูมาโรอินดีนเรซิน (Coumarone-indene resin) เป็นแทคติไฟเออร์เรซิน ในระบบการเตรียมกาว PSA แบบใช้ตัวทำละลาย (solvent base adhesive) พบว่ายาง ENR 25 ให้สมบัติการยึดติดได้ดีกว่า ENR 50 (Poh B.T. et.al., 2007) อย่างไรก็ตามพบว่า ยังไม่เคยมีการศึกษาวิธีการเตรียมกาว PSA จากยางสีกิมบริสุทธิ์ที่ทำการการปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีโดยใช้ปฏิกิริยาอ็อกซิเดชัน

ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีของยางสีกิม LPSR โดยใช้ปฏิกิริยาอ็อกซิเดชัน เพื่อเตรียมยางสีกิมโปรตีนต่ำอ็อกไซด์โดยเตรียมจากสารละลายยางสีกิม LPSR ทำปฏิกิริยาอ็อกซิเดชันด้วยกรดเปอร์ฟอร์มิก (performic acid) ซึ่งได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดฟอร์มิก (formic acid) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) ซึ่งจากการที่ได้ทำการศึกษาทดลองโดยเบื้องต้นพบว่า ยางสีกิม LPSR ที่มีปริมาณหมู่อ็อกไซด์ที่สูงเกินไป (25, 50% mole) อาจทำให้สมบัติทางด้านการยึดติดของกาว

PSA สูญเสียไป ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกศึกษาการปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีของยางสกิน LPSR โดยใช้ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันเพื่อให้ได้ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่ไม่สูงนัก โดยทำการศึกษาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่ประมาณ 5% mole เพื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติทางด้านกายภาพของ กาว PSA ที่เตรียมจากยางสกิน LPSR และ E-LPSR (epoxide-low protein skim rubber) ดังต่อไปนี้

4.3.4.1 การวิเคราะห์สมบัติของยางสกิน E-LPSR

1. น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางสกิน

E-LPSR

จากการตรวจสอบน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางสกิน E-LPSR แสดงดังในตารางที่ 4.29

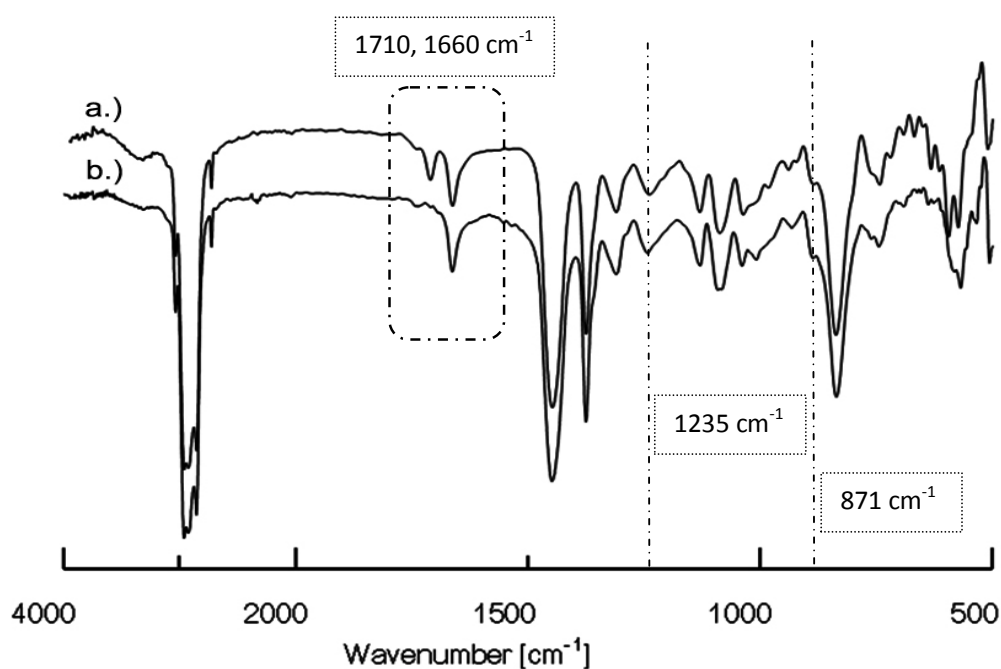
ตารางที่ 4.29 น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางสกิน E-LPSR

Molecular weights by GPC	E-LPSR
Weight average molecular weight, (\bar{M}_w)	0.75×10^6 g/mole
Number average molecular weight, (\bar{M}_n)	2.29×10^5 g/mole
Polydispersity index, \bar{M}_w/\bar{M}_n	3.25

2. ผลการวิเคราะห์ปริมาณหมู่อีพอกไซด์

โดยทั่วไปพบว่า อินฟราเรดสเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ปรากฏตำแหน่งการดูดกลืนของหมู่อีพอกไซด์ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 และ 1240 cm^{-1} นอกเหนือจากแถบการดูดกลืนแสงปกติของยางธรรมชาติ และอาจปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่อื่นๆ อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาการเปิดวงแหวนของหมู่อีพอกไซด์ เช่น แถบการดูดกลืนของหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ที่ตำแหน่ง $3600-3200 \text{ cm}^{-1}$ หมู่ฟูเริน (furan group) ที่ตำแหน่ง 1065 cm^{-1} และหมู่อีเธอร์ (ether group) ที่ตำแหน่ง $1800-1650 \text{ cm}^{-1}$ (Davey, J.E., et al., 1984)

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (FT-IR) ดังแสดงผลในรูปที่ 4.43 พบการดูดกลืนสเปกตรัมอินฟราเรดที่ตำแหน่งการดูดกลืนที่ 871 และ 1235 cm^{-1} ในยางสีกิม E-LPSR ซึ่งแสดงตำแหน่งของหมู่เอพอกไซด์ในยางธรรมชาติ แสดงว่ามีหมู่เอพอกไซด์เกิดขึ้นในโมเลกุลยางสีกิม LPSR หลังทำปฏิกิริยาเอพอกซิเดชัน นอกจากนี้ยังพบว่ามีตำแหน่งการดูดกลืนที่ 1710 cm^{-1} หายไปหลังทำปฏิกิริยาเอพอกซิเดชันในยางสีกิม E-LPSR ซึ่งเป็นแถบการดูดกลืนของหมู่อัลดีไฮด์

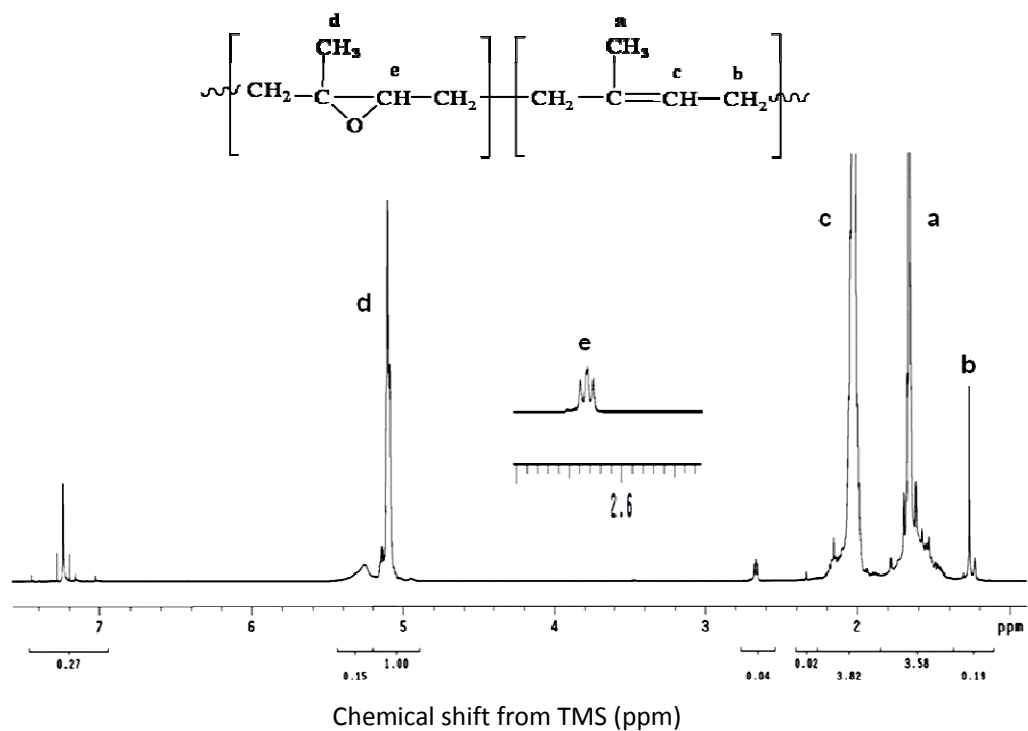


รูปที่ 4.43 การเปรียบเทียบ FTIR spectra ของยางสีกิม LPSR (a) และ E-LPSR (b)

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี ($^1\text{H-NMR}$) พบว่า $^1\text{H-NMR}$ spectrum ของยางสีกิม E-LPSR ในรูปประกอบที่ 4.44 ซึ่งแสดงโปรตอนที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนที่พันธะคู่ของยางธรรมชาติที่ประมาณ 5.14 ppm และโปรตอนที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนของหมู่เอพอกไซด์ที่ประมาณ 2.70 ppm แสดงว่ามีหมู่เอพอกไซด์เกิดขึ้นบนโครงสร้างของยางสีกิม E-LPSR ซึ่งสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์โมลเอพอกไซด์ได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้จุดยอด โดยอาศัยความสัมพันธ์ดังสมการที่ (4.1) พบว่าการปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีของยางสีกิม LPSR ด้วยปฏิกิริยาเอพอกซิเดชัน เพื่อเตรียมยางสีกิมเอพอกซิไดซ์โปรตีนต่ำ (E-LPSR) โดยการเตรียมจากสารละลายยางสีกิม LPSR ทำปฏิกิริยาเอพอกซิเดชันด้วยกรดเปอร์ฟอร์มิกที่

สภาวะอุณหภูมิ 0°C เป็นระยะเวลา 5 h (Okwu U.N. et al., 1999) ซึ่งสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์โพลีพอกไซต์ได้ประมาณ 5 %mole

$$\text{Mole epoxide} = \frac{I_{2.70}}{I_{2.70} + I_{5.14}} \times 100 \quad \text{สมการ (4.1)}$$

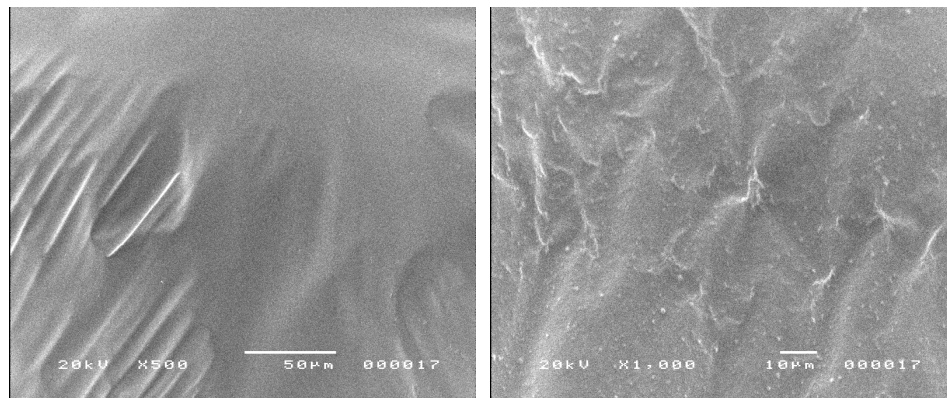


รูปที่ 4.44 โปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกตรัม ($^1\text{H-NMR}$ spectrum) ของยางสีกิม E-LPSR

4.3.4.2 ความสามารถในการเข้ากันของกาว E-PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม E-LPSR/PVA

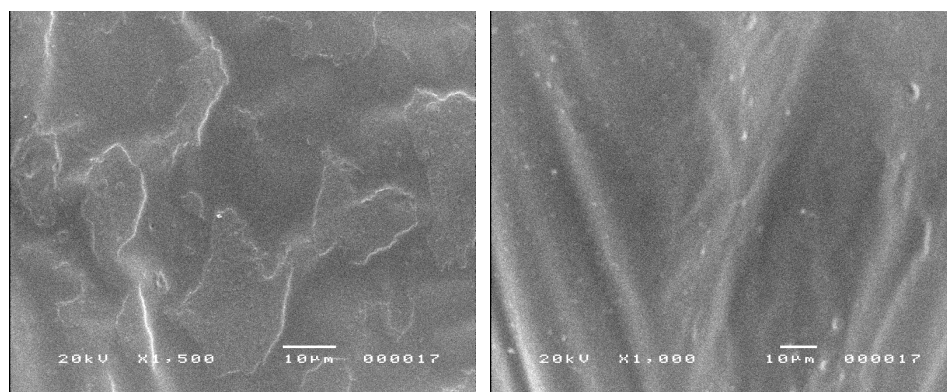
1. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกาว E-PSA-tape

จากรูปที่ 4.45 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกาว PSA โดยที่ (a) E-PSA60 (HC-resin 60 phr) (b) E-PSA/PVA10 (PVA 10 phr) (c) E-PSA/PVA20 (PVA 20 phr) และ (d) E-PSA/PVA-0 (PVA 30 phr) โดยพบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาของกาว E-PSA ที่มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน 60 phr มีลักษณะวัฏภาคเป็นแบบเนื้อเดียวกัน แสดงถึงความสามารถเข้ากันได้ดีระหว่างไฮโดรคาร์บอนเรซิน และยางสกิม E-LPSR และในกรณีของกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA ที่มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน 60 phr เมื่อแปรปริมาณ PVA ที่ 10 20 และ 30 phr มีลักษณะวัฏภาคเป็นแบบเนื้อเดียวกันเช่นกัน หรืออาจเรียกได้ว่ามีความเข้ากันได้บางส่วน (partial miscible) ซึ่งสังเกตเห็นได้ชัดเจนว่ามีอนุภาคเม็ดเล็กๆ ขนาดต่ำกว่า $1.0 \mu\text{m}$ กระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอในวัฏภาคที่ต่อเนื่องของยางสกิม E-LPSR (ภาพ b c และ d) สันนิฐานว่าอาจเป็นอนุภาคของ PVA บางส่วนที่ไม่สามารถรวมเป็นเฟสเดียวกับยางสกิม E-LPSR อย่างไรก็ตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นจากหมู่ฮิวออกไซด์ในยางสกิม E-LPSR อาจสามารถช่วยให้ PVA รวมเป็นวัฏภาคเดียวกันกับยางสกิม E-LPSR ได้ดียิ่งขึ้นกว่าเดิม ซึ่งข้อสันนิษฐานนี้ยังต้องยืนยันด้วยเทคนิคอื่นเพื่อความชัดเจนยิ่งขึ้น



(a) E-PSA60

(b) PVA 10 phr



(b)PVA 20 phr

(d) PVA 30 phr

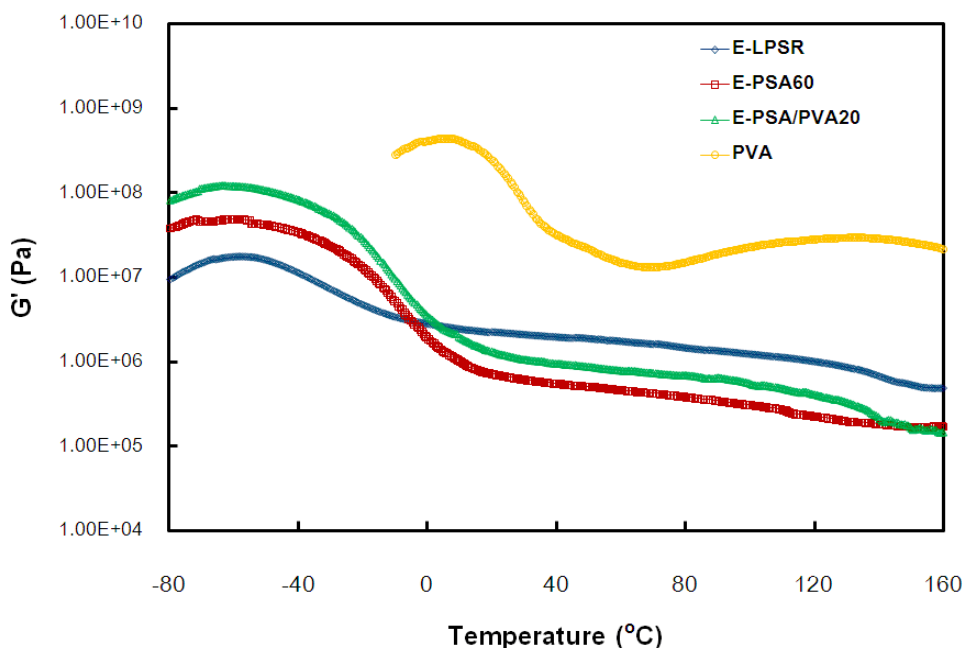
รูปที่ 4.45 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA60/PVA ที่ปริมาณ PVA ต่างๆกัน โดย (a) E-PSA60 (PVA 0 phr) (b) PVA 10 phr (c) PVA 20 phr และ (d) PVA 30 phr

2. ผลการวิเคราะห์ทางกลศาสตร์ความร้อนเชิงพลศาสตร์

การวิเคราะห์หีทธิพลของปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินที่มีต่อค่า G' ของกาว E-PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20 ที่เตรียมได้จากยางสกิม LPSR เมื่อใช้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ความเข้มข้น 60 phr แสดงในรูปที่ 4.46 โดยค่า G' ของ E-LPSR ลดลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิประมาณ -60°C ซึ่งช่วงอุณหภูมินี้คือ T_g ของยางสกิม E-LPSR และพบว่าที่อุณหภูมิต่ำ (ที่ glassy region) ค่า G' ของกาว E-PSA60 และกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/

PVA20 มีค่าสูงกว่าค่า G' ของยางสีกิม E-LPSR โดยค่า G' ของกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20 มีค่าสูงที่สุด เนื่องจากการเติมไฮโดรคาร์บอนเรซินและ PVA เป็นการเพิ่มความแข็งตัว (stiffness) ของยางสีกิม E-LPSR แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (ที่ rubbery region) ทั้งไฮโดรคาร์บอนเรซินและ PVA เกิดการหลอมเหลว ทำให้ค่า G' ของกาว E-PSA60 และ E-PSA/PVA20 มีค่าต่ำกว่าค่า G' ของยางสีกิม E-LPSR แต่อย่างไรก็ตาม PVA มีความเป็นอีลาสติกมากกว่าไฮโดรคาร์บอนเรซิน ดังนั้นค่า G' ของกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20 มีค่าสูงกว่ากาว E-PSA ตลอดช่วงอุณหภูมิของการทดลอง

เป็นที่ทราบกันดีว่า ค่า T_g ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ โดยสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีการเคลื่อนที่ได้น้อยหรือไม่สามารถเคลื่อนที่ได้จะมีค่า T_g สูง จากผลการทดลองเห็นได้ว่าค่า T_g ของกาว E-PSA60 และกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20 มีค่าสูงกว่ายางสีกิม E-LPSR แสดงว่า ไฮโดรคาร์บอนเรซินและ PVA ไปจำกัดการหมุนภายในสายโซ่พอลิเมอร์ของยางสีกิม E-LPSR ทำให้สรุปได้ว่า ไฮโดรคาร์บอนเรซินส่งผลต่อค่า G' และ T_g ของยาง สีกิม E-LPSR ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sasaki M. et al., 2008

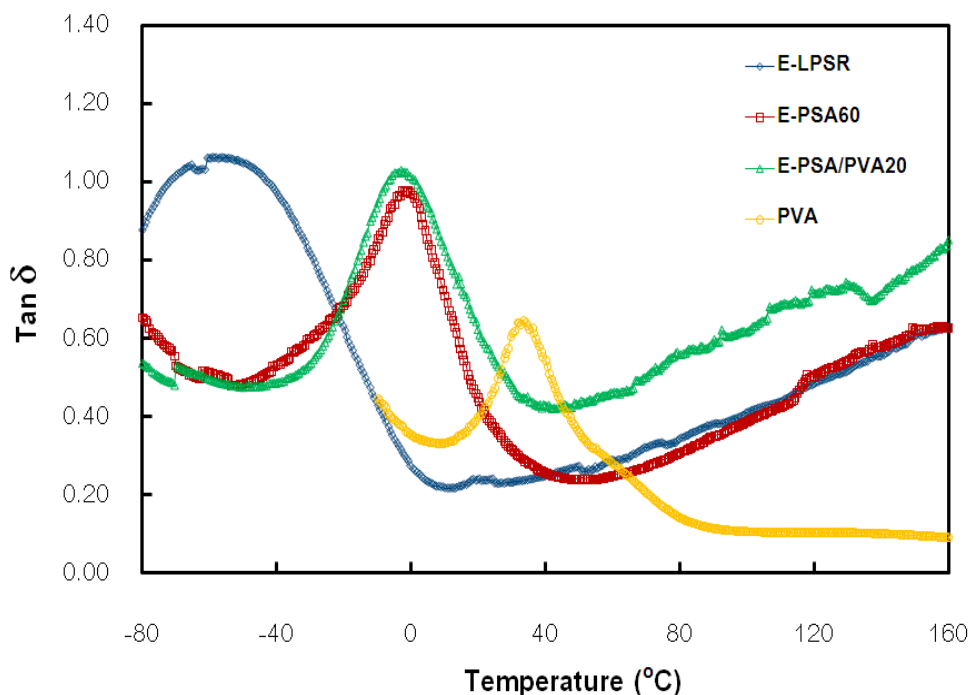


รูปที่ 4.46 กราฟ DMTA แสดงอิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินที่มีต่อค่า G' ของกาว E-PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20 ที่เตรียมได้จากยางสีกิม E-LPSR เมื่อใช้ไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ปริมาณ 60 phr

อิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินต่อผลของการเปลี่ยนแปลงค่า $\tan\delta$ ของกาว E-PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20 ที่เตรียมจากยางสกีม LPSR ที่ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน 60 phr เมื่อทำการแปรอุณหภูมิ แสดงในรูปที่ 4.47 ตำแหน่งที่ $\tan\delta$ มีค่าสูงที่สุดคือช่วงอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของวัสดุ จากกราฟพบว่าค่า T_g ของกาว E-PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20 เคลื่อนไปในตำแหน่งช่วงอุณหภูมิสูงกว่า T_g ของยางสกีม E-LPSR ($T_g = -60^\circ\text{C}$) คือ ตำแหน่ง -2.0°C และ -3.0°C ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากผลของไฮโดรคาร์บอนเรซินนั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่า G' ตามที่ได้อธิบายไปแล้วในข้างต้น

ความสามารถในการผสมกันได้ (miscibility) ของพอลิเมอร์ผสมสามารถพิจารณาได้จากค่า T_g ของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด นั่นคือพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดที่มีค่า T_g ที่แตกต่างกัน แต่เมื่อนำมาผสมกันแล้วปรากฏค่า T_g เพียงค่าเดียว แสดงว่าพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดสามารถผสมกันได้เป็นอย่างดี ซึ่งจากผลการทดลองเห็นได้ว่า เมื่อเติมไฮโดรคาร์บอนเรซินลงไป ในยางสกีม E-LPSR (กาว E-PSA) ค่า T_g ปรากฏเพียงค่าเดียวคือที่อุณหภูมิ -2.0°C (T_g ของยางสกีม E-LPSR = -60.0°C และ T_g ของไฮโดรคาร์บอนเรซินบริสุทธิ์ = 40.0°C) (Pocius Al.V., 2002) นั่นแสดงว่า ไฮโดรคาร์บอนเรซินและยางสกีม E-LPSR สามารถผสมกันได้เป็นอย่างดี และเมื่อเติม PVA ลงในกาว E-PSA (กาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20) ก็ปรากฏค่า T_g เพียงค่าเดียวเช่นเดียวกัน คืออุณหภูมิ -3.0°C (T_g ของกาว E-PSA = -2.0°C และ T_g ของ PVA บริสุทธิ์ = 30.0°C) (Riyajan S. et al., 2008) จึงสรุปได้ว่าทั้งไฮโดรคาร์บอนเรซินและ PVA มีความสามารถผสมกันได้เป็นอย่างดีกับยางสกีม E-LPSR

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาที่ช่วงอุณหภูมิประมาณ $40-100^\circ\text{C}$ ค่า $\tan\delta$ ของกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20 มีค่าสูงกว่ายางสกีม E-LPSA และกาว E-PSA แสดงว่า PVA ไปเพิ่มการเคลื่อนที่ในระดับโมเลกุล (molecular mobility) ของยางสกีม E-LPSA และกาว E-PSA



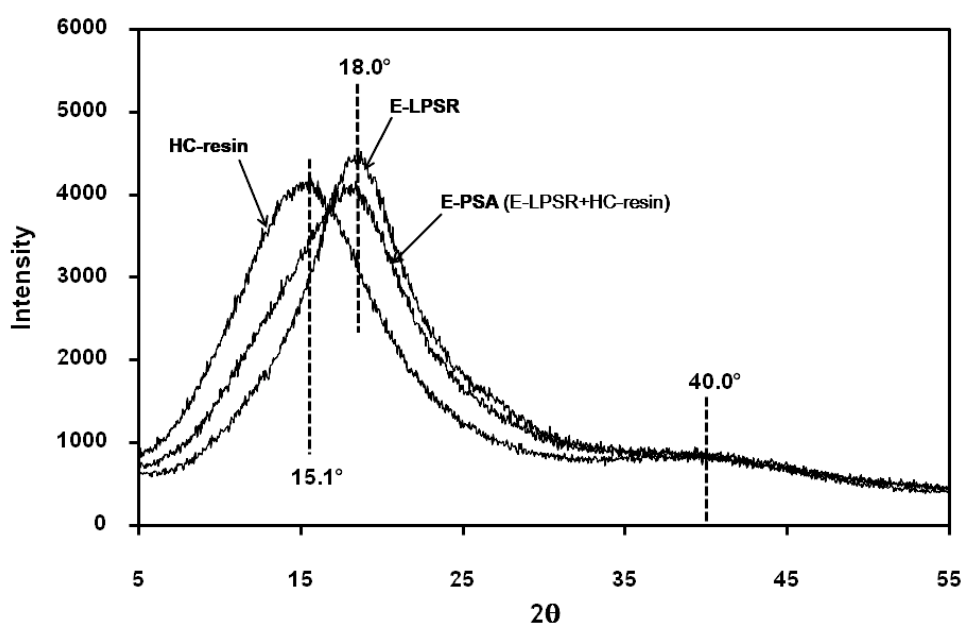
รูปที่ 4.47 กราฟ DMTA แสดงอิทธิพลของไฮโดรคาร์บอนเรซินที่มีต่อ $\tan \delta$ ของกาว E-PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20 ที่เตรียมได้จากยางสีกิม E-LPSR เมื่อใช้ไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ปริมาณ 60 phr

3. การวิเคราะห์ผลของการเกิดผลึกด้วยเทคนิคการกระเจิงของรังสีเอกซ์แบบมุมกว้าง

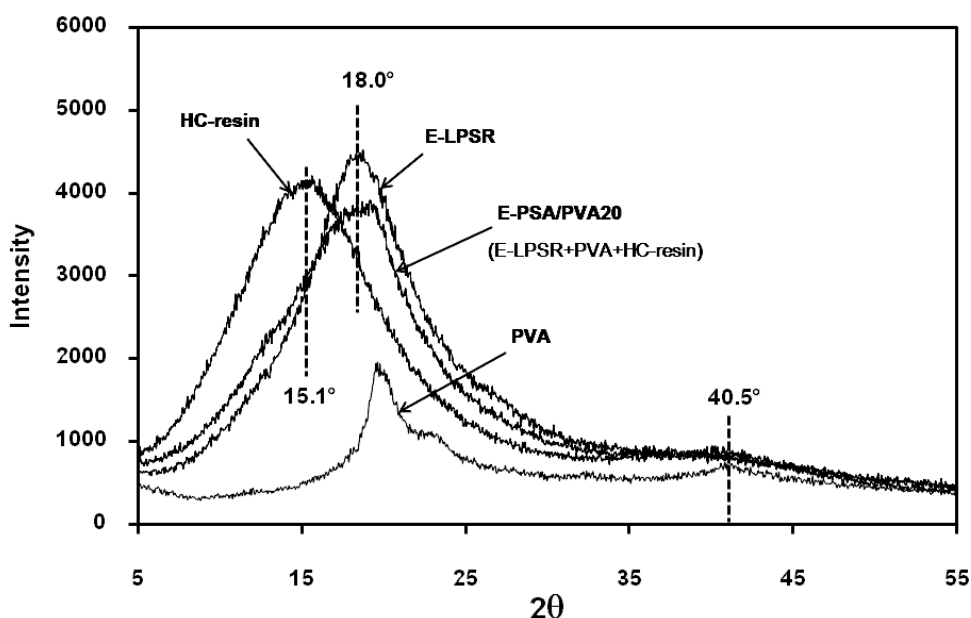
การเติมไฮโดรคาร์บอนเรซินส่งผลต่อสถานะความเป็นอสัณฐานของกาว E-PSA ดังรูปที่ 4.48 พบว่า X-ray diffraction patterns ของกาว PSA ปรากฏความสูงของพีค (peak intensity) ที่มุม 18.0° (2 θ) ต่ำกว่าของยางสีกิม E-LPSR กล่าวคือ ทำให้มีความสามารถในการเกิดผลึกลดลง นอกจากนี้ยังปรากฏ low peak intensity ที่มุม 40.0° (2 θ) ซึ่งแสดงถึงองค์ประกอบบางส่วนของกาว PSA ที่มีความเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึกเนื่องจากมีไฮโดรคาร์บอนเรซินเป็นองค์ประกอบ

และในกรณีของกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20 ปรากฏ peak intensity ที่มุม 18.0° (2 θ) เช่นเดียวกับกาว E-PSA โดยพบว่ากาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20 ให้ peak intensity ที่ต่ำกว่า ดังรูปที่ 4.49 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของ PVA ส่งผลทำให้การเกิด

ผลึกในกาวลดลง ซึ่งอาจเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างยางสกี E-LPSR และ PVA นอกจากนี้ยังปรากฏ low peak intensity ที่มุม 40.5° (2θ) ซึ่งแสดงถึงองค์ประกอบบางส่วนของพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20 ที่ยังมีความเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึกเช่นเดียวกับ PVA (Riyajan S. et al., 2009) อย่างไรก็ตาม การเติมไฮโดรคาร์บอนเรซินส่งผลต่อสถานะความเป็นอสัณฐานของกาว E-PSA อย่างชัดเจน สังเกตได้จากการที่มี peak intensity ที่ลดลงของต่ำกว่า peak intensity ของยางสกี E-LPSR



รูปที่ 4.48 X-ray diffraction patterns ของกาว E-PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20 ที่เตรียมได้จากยางสกี E-LPSR เมื่อใช้ไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ปริมาณ 60 phr

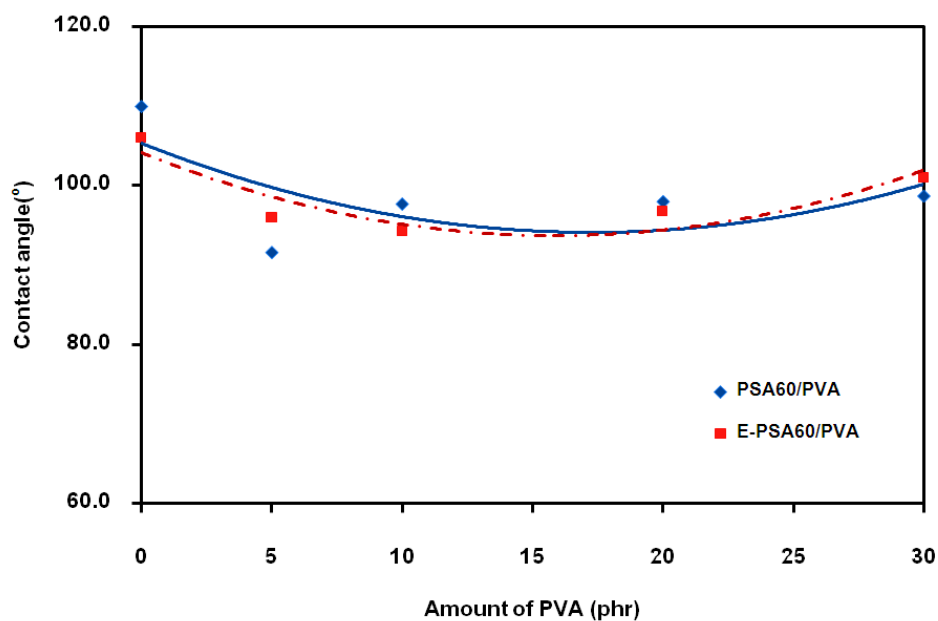


รูปที่ 4.49 X-ray diffraction patterns ของกาว E-PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA20 ที่เตรียมได้จากยางสีกิม E-LPSR เมื่อใช้ไฮโดรคาร์บอนเรซินที่ปริมาณ 60 phr

4.3.4.3 อิทธิพลของปริมาณ PVA ต่อสมบัติทางด้านการยึดติดของกาว PSA ที่เตรียมจากยางสีกิม LPSR และ E-LPSR

1. การวัดมุมสัมผัสเชิงฟิสิกส์

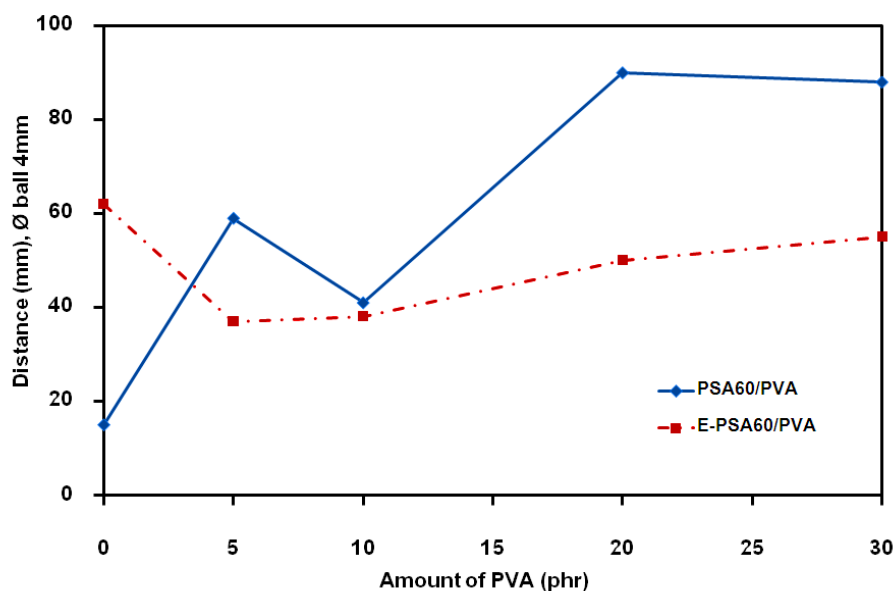
การเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณ PVA ที่ 0 5 10 20 และ 30 phr ดังในรูปที่ 4.50 พบว่าปริมาณ PVA ส่งผลต่อการลดลงของค่ามุมสัมผัสของกาวอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ กาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA มีการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสเพิ่มสูงขึ้น โดยค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของ PVA และความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PVA และกาว PSA หรือ E-PSA เนื่องจากพบว่า เมื่อปริมาณ PVA เพิ่มสูงขึ้นทำให้สารละลายกาวมีความหนืดเพิ่มขึ้น แสดงถึงการที่กาวมีพลังงานพื้นผิวสูงขึ้น หรือมีความสามารถในการเปียก (wettability) ลดลง อย่างไรก็ตามพบว่ากาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/ PVA และ E-PSA60/PVA มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสเนื่องจากผลของ PVA คล้ายกัน



รูปที่ 4.50 อิทธิพลของ PVA ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณที่ 0-30 phr

2. สมบัติความเหนียวของเทปกาว

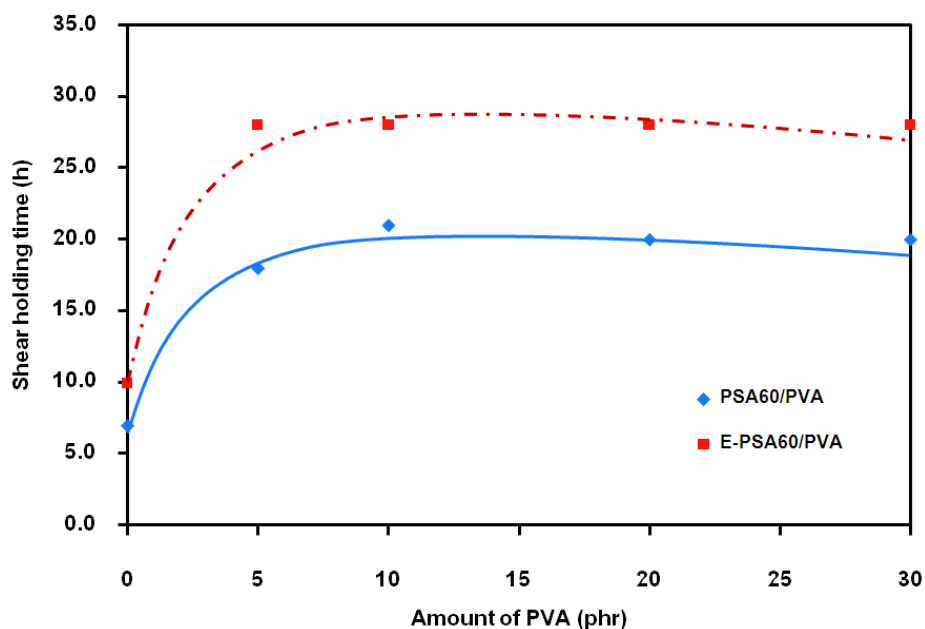
อิทธิพลของ PVA ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณ PVA ที่ 0 5 10 20 และ 30 phr ดังแสดงในรูปที่ 4.51 พบว่า เมื่อทำการเพิ่มปริมาณ PVA ระยะทางที่เคลื่อนได้ของลูกบอลเหล็ก (\varnothing ball 4 mm) เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของความเหนียวของกาวลดลง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนในกรณีของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA กล่าวคือ อาจเกิดจากความสามารถในการเข้ากัน หรือ การกระจายตัวของไฮโดรคาร์บอนเรซิน และ PVA ในกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA ที่ไม่เป็นเฟสเดียวกัน ทำให้ประสิทธิภาพความเหนียวของกาวลดลงนั่นเอง อย่างไรก็ตามพบว่า กาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA60/PVA มีความเหนียวมากกว่ากาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความมีขั้วที่เพิ่มขึ้นของกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA60/PVA อันเกิดจากหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลจากยางสีกิม E-LPSR หรือ อาจเกิดจากความสามารถในการเข้ากันได้มากขึ้นภายในโมเลกุลของกาวพอลิเมอร์ผสม



รูปที่ 4.51 อิทธิพลของ PVA ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณที่ 0 5 10 20 และ 30 phr

3. สมบัติการคืบ

อิทธิพลของ PVA ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการคืบของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณที่ 0 5 10 20 และ 30 phr ดังในรูปที่ 4.52 พบว่า การเปลี่ยนแปลงสมบัติการคืบของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 และ E-PSA60/PVA เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณ PVA กล่าวคือ ทำให้ประสิทธิภาพในการต้านทานต่อแรงเฉือนได้สูงขึ้น และพบว่า การเปลี่ยนแปลงเริ่มช้าลงจนเกือบคงที่ เมื่อปริมาณ PVA เพิ่มสูงขึ้นในช่วง 10-30 phr กล่าวคือ มีค่าการต้านทานต่อแรงเฉือนประมาณ 20-30 h และให้ผลที่สอดคล้องกัน ทั้งกรณีของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA ซึ่งอาจสามารถอธิบายได้จาก การที่ PVA มีสมบัติความเป็นวิสโคอิลาสติกที่สูงกว่ายางสีกิม LPSR และ E-LPSR ส่งผลทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวภายในโมเลกุลของกาวสูงขึ้น และการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลเกิดได้ยากขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่ากาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA60/PVA ให้ประสิทธิภาพในการต้านทานต่อแรงเฉือนได้สูงกว่า กาว PSA60/PVA กล่าวคือ มีค่าการต้านทานต่อแรงเฉือนประมาณ 30 h ซึ่งแสดงถึงการที่กาวมีแรงยึดเหนี่ยวภายในเนื้อกาวที่สูงกว่านั่นเอง

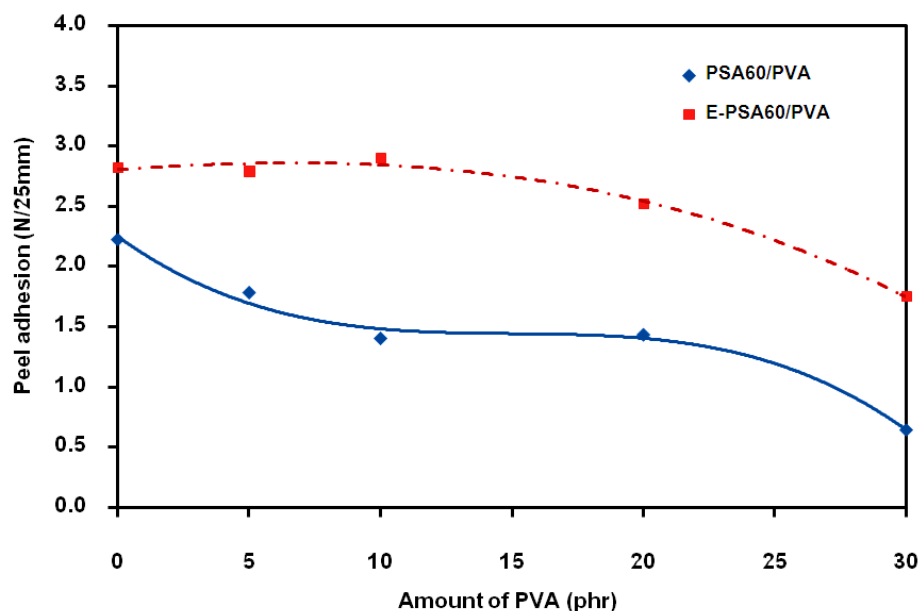


รูปที่ 4.52 อิทธิพลของ PVA ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการคืบของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณที่ 0-30 phr

4. สมบัติการดึงลอก

อิทธิพลของ PVA ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการดึงลอกของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณที่ 0 5 10 20 และ 30 phr ดังแสดงในรูปที่ 4.53 พบว่าแรงที่ใช้ในการลอกแถบกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA ออกจากพื้นผิววัสดุมีค่าลดลง กล่าวคือ ในช่วงปริมาณ PVA 5-30 phr มีแรงดึงลอกลดลงจาก 1.78 ถึง 0.64 N/25 mm สำหรับกรณีของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ 2.79 ถึง 1.75 N/25 mm สำหรับกรณีของกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA60/PVA ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ปริมาณ PVA ที่สูงขึ้น ซึ่งทำให้ความสามารถในการเปียกของกาวที่มีต่อวัสดุที่ยึดติดลดลง ทำให้ส่งผลต่อแรงยึดติดทางกล หรือแรงยึดติดระหว่างกาวกับวัสดุ ทำให้กาวมีแรงการดึงลอกลดลง และเนื่องจากการที่ปริมาณ PVA ที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลทำให้กาวมีความหนืดที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการไหลของกาวเข้าไปแทนที่อากาศในช่องว่างบนพื้นผิวของวัสดุจึงเกิดได้ช้าลง (Poh B.T., et al. 2006) อย่างไรก็ตามพบว่า กาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA60/PVA ให้ประสิทธิภาพในการต้านทานต่อการลอกออกได้สูงกว่า กาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA ทั้งนี้อาจเกิดจากความสามารถในการเข้ากัน

ได้มากขึ้นของพอลิเมอร์ผสมภายในโมเลกุลของกาว หรือ จากความมีขี้ที่เพิ่มขึ้นจากยางสกิน E-LPSR ทำให้กาวเกิดการยึดติดได้ดีกับพื้นผิววัสดุสัมผัส



รูปที่ 4.53 อิทธิพลของ PVA ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการดึงลอก (180° peel) ของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณที่ 0 5 10 20 และ 30 phr

5. การศึกษาลักษณะความล้มเหลวในการยึดติดของกาว PSA

การศึกษาลักษณะความล้มเหลวในการยึดติด (adhesion failure) ของกาว PSA แสดงถึงคุณสมบัติความต้านทานต่อความร้อนในกาว PSA (heat resistance) กล่าวคือเป็นการวิเคราะห์หาลักษณะความล้มเหลวในการยึดติดหลังจากผ่านการอบที่อุณหภูมิ 80°C ระยะเวลา 3 h ทำการทดสอบด้วยเทคนิค 180° peel ที่อัตราเร็วในการดึง 150 mm/min ซึ่งโดยปกติลักษณะความล้มเหลวในการยึดติดของกาว PSA แบ่งออกเป็นสองลักษณะ คือ ความล้มเหลวการยึดติด ซึ่งเป็นลักษณะความล้มเหลวที่เมื่อลอกเทปกาวออกจากวัสดุยึดติดแล้ว ส่วนกาว (adhesive) และส่วนวัสดุยึดติด (adherence) สามารถแยกออกจากกันได้ดีโดยที่ไม่มีชิ้นส่วนกาวหลุดลอกเกาะติด หรือ หลงเหลืออยู่บนวัสดุยึดติด และ ความล้มเหลวการเชื่อมแน่น (cohesive failure) ซึ่งเป็นลักษณะความล้มเหลวที่เมื่อลอกเทปกาวออกจากวัสดุยึดติดแล้ว ปรากฏชิ้นส่วนกาวหลุดลอกเกาะติด หรือ หลงเหลืออยู่บนวัสดุยึดติด ซึ่งจากการทดสอบลักษณะความล้มเหลวในการ

ยึดติดของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณ PVA 0 5 10 20 และ 30 phr ในตาราง 4.30 พบว่ากาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA ให้ผลทดสอบมีลักษณะเป็นแบบ adhesion failure ในทุกๆสภาวะ แสดงให้เห็นได้ว่าปริมาณ PVA ที่เพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะความล้มเหลวในการยึดติดของกาวเมื่อได้รับความร้อน แต่อาจช่วยให้กาว PSA-tape สามารถต้านทานต่อความร้อนได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากกาวมีค่าแรงยึดเหนี่ยวภายในเนื้อกาวที่สูงขึ้นนั่นเอง อย่างไรก็ตามลักษณะความล้มเหลวแบบ adhesive failure เป็นลักษณะที่ดีสำหรับกาว PSA-tape

ตารางที่ 4.30 ลักษณะความล้มเหลวในการยึดติดของกาว PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณ PVA 0 5 10 20 และ 30 phr

Amount of PVA (phr)	Adhesion failure shear holding	
	PSA60/PVA	E-PSA60/PVA
0	Adhesive	Adhesive
5	Adhesive	Adhesive
10	Adhesive	Adhesive
20	Adhesive	Adhesive
30	Adhesive	Adhesive

4.3.4.4 สรุปผลการทดสอบอิทธิพลของปริมาณ PVA ต่อสมบัติทางด้านการยึดติดของกาว PSA ที่เตรียมจากยางสกิม LPSR และ E-LPSR

จากการทดสอบสมบัติอิทธิพลของปริมาณ PVA ต่อสมบัติทางด้านการยึดติดของกาว PSA ที่เตรียมจากยางสกิม LPSR และ E-LPSR โดยใช้ไฮโดรคาร์บอนเรซินเป็นแทคคิไฟเออร์เรซิน ที่ปริมาณ 60 phr ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณ PVA ที่สูงขึ้น ส่งผลทำให้กาว PSA มีสมบัติการคืบสูงขึ้น แต่อาจทำให้กาวมีพลังงานพื้นผิว และสมบัติการดึงลอก และสมบัติความเหนียว ลดลงเล็กน้อย โดยพบว่า ปริมาณ PVA ที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมกาว PSA คือ ที่ปริมาณ 10-20 phr ซึ่งให้สมบัติทางด้านการยึดติดได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามพบว่า กาว PSA ที่เตรียมจากยางสกิม E-LPSR และพอลิเมอร์ผสม E-LPSR/PVA20 ให้สมบัติการยึดติดได้ดีกว่าจากยางสกิม LPSR และพอลิเมอร์ผสม E-LPSR/PVA20 นอกจากนี้ยังพบว่ากาว PSA มีลักษณะความล้มเหลวทางด้านการยึดติดแบบ adhesive failure ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีของ PSA-tape

4.3.4.5 เปรียบเทียบสมบัติของกาว PSA ที่เตรียมจากยางสีกิม LPSR และสมบัติกาว PSA ทางการค้าประเภทต่าง ๆ

สมบัติทางด้านการยึดติดของกาว PSA ที่เตรียมจากยางสีกิม LPSR ต่างๆ ที่ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเรซิน 60 phr และ PVA 20 phr และสมบัติกาว PSA ทางการค้าประเภทต่างๆ ดังตารางที่ 4.31 พบว่ากาว PSA ที่เตรียมจากยางสีกิม LPSR ให้สมบัติทางด้านการเหนียวได้ดีที่สุด ส่วนกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA ให้ทำสมบัติทางด้านการต้านทานต่อแรงฉีกดีขึ้น แต่ทำให้สมบัติทางด้านการเหนียวและสมบัติการดึงลอกลดลงเล็กน้อย นอกจากนี้กาว E-PSA และกาวพอลิเมอร์ผสม E-PSA/PVA ที่เตรียมจากยางสีกิม E-LPSR และพอลิเมอร์ผสม E-LPSR/PVA ให้สมบัติการการยึดติดได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะสมบัติการดึงลอกและการต้านทานต่อแรงฉีก แสดงให้เห็นว่าการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันในยางสีกิม LPSR ช่วยปรับปรุงความสามารถในการเข้ากันได้ และทำให้เกิดอันตรกิริยากันระหว่างโมเลกุลของกาวพอลิเมอร์ผสม E-LPSR/PVA และไฮโดรคาร์บอนเรซินได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นกาว PSA ที่ได้จึงมีสมบัติการยึดติดได้ดีขึ้นนั่นเอง

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติการยึดติดเกรดทางการค้าพบว่า ยังอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เนื่องจากกาว PSA ที่ได้จากการวิจัยเป็นเพียงการเตรียมโดยใช้สูตรพื้นฐาน ยังไม่ได้มีการปรับปรุงด้วยสารเติมแต่งอื่นๆแต่อย่างใด จึงทำให้มีค่าสมบัติในการยึดติดที่ต่ำกว่ากาวเกรดทางการค้า

ตารางที่ 4.31 การเปรียบเทียบสมบัติของกาว PSA ที่เตรียมจากยางสีกิม LPSR ชนิดต่างๆ เมื่อใช้ไฮโดรคาร์บอนเรซิน และ PVA ปริมาณ 60 และ 20 phr ตามลำดับ โดยเทียบกับกาวทางการค้า

Adhesive Product	PSA type	Adhesion properties		
		Tack (mm)	Creep (h)	Peel adhesion (N/25mm)
LPSR	PSA	15±0	7±0.5	2.22±0.25
	PSA/PVA	90±0	20±2.0	1.43±0.20
	E-PSA	62±5	10±1.0	2.82±0.05
	E-PSA/PVA	50±3	28±1.5	2.52±0.21
Commercial	*Surgical ,Cotton tape	-	8-10	8-12
	*Stock Label tape, Sticker industry	-	8-10	8-15
	**Litho Blockout tape	25	22	6-8
	**Colored matte ,gloss tape	25	24	12
	**Drafting tape	25	-	3-4

Note; * www.leather chem.com

** Donatas satas, Graphic Art Application; Handbook of Pressure-sensitive adhesive Technology 1982

4.3.5 สรุปผลการทดลองการศึกษาและพัฒนาวิธีการเตรียมกาวชนิดไวต่อแรงดันจากยางสีกิม LPSR

จากการศึกษาและพัฒนาวิธีการเตรียมกาวชนิดไวต่อแรงดันจากยางสีกิม LPSR สามารถสรุปได้ว่า การลดน้ำหนักโมเลกุลยางสีกิม LPSR สามารถใช้เทคนิคในการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีการบดด้วยทางกลได้ง่าย นั่นคือ สามารถลดน้ำหนักโมเลกุลลงได้จาก $1.46 \times 10^6 \rightarrow 0.40 \times 10^6$ g/mole เมื่อทำการบดที่สภาวะ 30-40°C ระยะเวลา 10 min และสามารถเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางสีกิม LPSR และ PVA โดยวิธีการผสมแบบสารละลายด้วยเครื่องผสมแบบความเร็วสูง ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA เมื่อใช้

ปริมาณ PVA ไม่เกิน 30 phr และสารละลายยางสกิมมีความเข้มข้นไม่เกิน 10-15%w/v นอกจากนี้ยังสามารถเตรียมเทปกาว PSA ที่มีลักษณะใสไม่มีสี ได้จากทั้งยาง LPSR และพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA ด้วยวิธีเตรียมกาว PSA แบบใช้ตัวทำละลาย และสามารถปรับปรุงสมบัติกาว PSA ที่เตรียมจากยางสกิม LPSR ด้วย PVA ในพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA ทำให้สมบัติการยึดของกาวดีขึ้น ในขณะที่ PVA ทำให้สมบัติทางด้านการยึดติดอื่นๆของกาวลดลง นอกจากนี้สามารถปรับปรุงให้มีสมบัติในการยึดติดได้ดียิ่งขึ้น โดยทำการปรับปรุงโครงสร้างโมเลกุลของยางสกิมด้วยการทำปฏิกิริยาอ็อกซิเดชัน พบว่าที่ปริมาณหมู่อ็อกไซด์ประมาณ 5 %mole ให้สมบัติการยึดติดของกาวได้ดียิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับสมบัติและกระบวนการเตรียมกาว PSA ในระดับกึ่งอุตสาหกรรม หรือ อุตสาหกรรม
2. ทำการทดสอบเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลเทียบกับกาว PSA ทางการค้าที่เตรียมจากวัตถุดิบแต่ละชนิด
3. ปรับปรุงสมบัติกาว PSA ที่ได้จากงานวิจัย ด้วยการทดลองผลิตในสูตรเฉพาะแต่ละประเภทของกาว PVA ทางการค้า เพื่อความจำเป็นในการนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง
4. ศึกษาเทคนิคในการเตรียมกาวแบบอื่นๆ เพื่อให้เกิดการนำไปพัฒนาใช้ประโยชน์ให้กว้างขวางมากขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาและปรับปรุงสมบัติยางสกิมโปรตีนต่ำเพื่อการปรับปรุงใช้ประโยชน์ในด้านกาวชนิดไวต่อแรงดัน โดยใน ส่วนแรกทำการศึกษาวิธีการรวบรวมและจับตัวเนื้อยางสกิมแบบใหม่ด้วยสารละลายพอลิเล็กโทรไลต์และเกลืออนินทรีย์ ส่วนที่สองทำการศึกษากระบวนการทำให้ยางสกิมมีความบริสุทธิ์ขึ้น มีปริมาณโปรตีนต่ำ โดยอาศัยกระบวนการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ รวมถึงการปรับปรุงคุณสมบัติยางสกิมที่เตรียมได้ให้มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น และในที่สุดท้ายเป็นการศึกษาการนำยางสกิมโปรตีนต่ำไปประยุกต์ใช้งานในด้านกาวชนิดไวต่อแรงดัน รวมทั้งทำการศึกษาและพัฒนาปรับปรุงสมบัติการยึดติด โดยการปรับปรุงโครงสร้างยางสกิมด้วยการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน และเทคนิคการเตรียมกาว PSA จากพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1 การศึกษาสภาวะในการจับตัวและรวบรวมเนื้อยางสกิมด้วยเทคนิคใหม่ โดยใช้สารละลายพอลิเล็กโทรไลต์และเกลืออนินทรีย์

- 1) น้ำยางสกิมสามารถจับตัวด้วยเทคนิคแบบใหม่ โดยการใช้สารละลายพอลิเล็กโทรไลต์และเกลืออนินทรีย์ ซึ่งพบว่าสารจับตัวพอลิเมอร์และเกลืออนินทรีย์สามารถช่วยในกระบวนการรวบรวมเนื้อยาง และทำให้การจับตัวน้ำยางสกิมให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
- 2) ประสิทธิภาพในการจับตัวน้ำยางสกิมด้วยสารจับตัวพอลิเมอร์และเกลืออนินทรีย์ ขึ้นอยู่กับสภาวะ pH และ ปริมาณความเข้มข้นที่ใช้ (dose)
- 3) ที่สภาวะ pH 5-6 และปริมาณความเข้มข้นที่ใช้ 0.1-0.02 g/L ของสารจับตัวพอลิเมอร์ชนิดประจุบวก (cationic polymer flocculent; Accofloc[®] C480) ให้ประสิทธิภาพในการจับตัวน้ำยางสกิมได้ดีกว่า สารจับตัวพอลิเมอร์ชนิดประจุลบ (anionic polymer flocculent; Waterfloc[®] WF4398, Aronfloc[®] A130, A125S)
- 4) ที่สภาวะ pH 5-6 และปริมาณความเข้มข้นที่ใช้ 10.0-2.0 g/L ของเกลืออนินทรีย์ CaCl₂ ให้ประสิทธิภาพในการจับตัวน้ำยางสกิมได้ดีกว่า MgCl₂ (NH₄)₂SO₄ และ NaCl ตามลำดับ

- 5) การจับตัวน้ำยางสกิมแบบใหม่ให้ผลิตภัณฑ์ยางสกิมที่มีปริมาณองค์ประกอบอื่นๆที่ไม่ใช่ยางลดลง ซึ่งสังเกตได้จากค่าที่ลดลงของปริมาณไนโตรเจน ปริมาณเถ้า และระดับสีของยางสกิมที่ดีขึ้นกว่ายางสกิมที่ได้จากการจับตัวแบบเดิม
- 6) จากการจับตัวแบบใหม่ให้สมบัติทางกายภาพของยางสกิมที่ดีกว่าการจับตัวแบบเดิมเล็กน้อย เช่น มีค่าความหนืดลดลง และมีค่าความต้านทานการเกิดออกซิเดชันในยางสูงขึ้น
- 7) การจับตัวน้ำยางสกิมด้วยเทคนิคใหม่โดยใช้สารจับตัวพอลิเมอร์ประจุบวก Maxfloc[®] สามารถประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมการผลิตยางสกิมได้ที่เหมาะสมการจับตัวที่ pH 5.5-6.0 ปริมาณการใช้ 0.1-0.2 g/L และให้ประสิทธิภาพการผลิตและสมบัติทางกายภาพของยางสกิมที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ

5.2 การศึกษากระบวนการเตรียมยางสกิมโปรตีนต่ำ โดยใช้การทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

- 1) สามารถเตรียมยางสกิมโปรตีนต่ำ (LPSR) ด้วยการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันด้วย NaOH พบว่าสามารถลดปริมาณไนโตรเจน และระดับสี ในผลิตภัณฑ์ยางสกิม LPSR ที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 2) ประสิทธิภาพในการเตรียมยางสกิม LPSR ที่มีค่าปริมาณไนโตรเจนต่ำและระดับสีที่ดีขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ระยะเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน
- 3) สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพในการเตรียมยางสกิม LPSR ดีที่สุดคือ สภาวะการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50°C ความเข้มข้น 3%w/v NaOH ระยะเวลา 5 h ที่สภาวะอุณหภูมิ 70°C ความเข้มข้น 2%w/v NaOH ระยะเวลา 3 h และ ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง ความเข้มข้น 3%w/v NaOH ระยะเวลา 48 h
- 4) ยางสกิม LPSR ที่เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิห้อง ให้ประสิทธิภาพความเสถียรต่อความร้อนได้ดีกว่ายางสกิม LPSR ที่เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่สภาวะอุณหภูมิ 70°C
- 5) สมบัติความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพด้วยความร้อนของยางสกิม LPSR สามารถปรับปรุงได้โดยการแช่ในสารละลายอิมัลชันฟีนอลิก แอนติออกซิแดนท์ (ความเข้มข้น 1%w/v) เช่น BHT TBMTBP และ MBETB ก่อนการอบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- 6) การทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันช่วยทำให้สมบัติทางกายภาพยางสีกิม LPSR มีคุณภาพมากขึ้น เนื่องจากมีปริมาณองค์ประกอบอื่นๆที่ไม่ใช่ยาง เช่น ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณแอสเทอร์ ปริมาณแก้ว และปริมาณเจล ลดลง เมื่อเทียบกับยางสีกิมแบบธรรมดา
- 7) จากการศึกษากาววัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์ในยางสีกิม LPSR พบว่าสามารถให้สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลได้เทียบเท่ากับยาง STR 5L และ IR 2200 ซึ่งอาจสามารถนำไปใช้เพื่อทดแทนการใช้ประโยชน์จากยาง STR 5L และ IR 2200 ได้

5.3 การศึกษาและพัฒนาวิธีการเตรียมกาวชนิดไวต่อแรงดันจากยางสีกิม LPSR

- 1) การลดน้ำหนักโมเลกุลยางสีกิม LPSR สามารถใช้เทคนิคในการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีการบดเชิงกล ด้วยเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้งได้ง่ายกว่ายางธรรมชาติทั่วไป เนื่องจากมีปริมาณเจลดต่ำ และองค์ประกอบอื่นๆที่ไม่ใช่ยางน้อย ส่งผลให้มีค่าความหนืดและความต้านทานต่อแรงดึง (green strength) ที่ไม่สูง ทำให้ง่ายต่อการบด หรือการแปรรูปอื่นๆ ด้วยเชิงกล นั่นคือ สามารถลดน้ำหนักโมเลกุลลงได้จาก 1.46×10^6 เหลือ 0.40×10^6 g/mole เมื่อทำการบดที่สภาวะ $30-40^\circ\text{C}$ ระยะเวลา 10 min
- 2) ยางสีกิม LPSR ที่ผ่านการบดแล้วพบว่า เมื่อบดในระยะเวลาตั้งแต่ 6-10 min มีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายโทลูอีนได้ดีถึง 15-20%w/v
- 3) สามารถเตรียมพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA โดยวิธีการผสมแบบสารละลายผสม water in oil ด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของสารละลายอิมัลชันพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA เมื่อปริมาณการใช้ PVA ไม่เกิน 30 phr และสารละลายยางสีกิม LPSR ที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 10-15%w/v
- 4) สามารถเตรียมเทปกาว PSA ที่มีลักษณะใสไม่มีสี ได้จากทั้งยาง LPSR และพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA ด้วยวิธีเตรียมแบบใช้ตัวทำละลาย โดยพบว่า ที่ปริมาณ PVA 10-20 phr และไฮโดรคาร์บอนเรซิน 50-60 phr เหมาะสมสำหรับกาว PSA นอกจากนี้การเติม BHT 1 phr สามารถป้องกันการเสื่อมสภาพด้วยความร้อนในกาว PSA ได้ดียิ่งขึ้น
- 5) การปรับปรุงสมบัติกาว PSA ที่เตรียมจากยางสีกิม LPSR ด้วย PVA ในพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA ให้สมบัติการคืบ (creep) ได้ดียิ่งขึ้น ในขณะที่ PVA ทำให้สมบัติอื่นๆเช่น ความเหนียว (tack) และการดึงลอก (peel) ลดลง นอกจากนี้สมบัติทางด้านกายภาพของกาวพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA ขึ้นอยู่กับความเข้ากันได้และการเกิดอันตรกิริยากันในโมเลกุลของพอลิเมอร์ผสมและไฮโดรคาร์บอนเรซิน ซึ่งตรวจสอบได้จาก SEM DMTA และ XRD
- 6) กาว PSA จากยางสีกิม LPSR และพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA สามารถปรับปรุงให้มีสมบัติในการยึดติดได้ดียิ่งขึ้น เมื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างโมเลกุลยางสีกิมด้วยการทำ

ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน เพื่อให้ได้ยางสกิมที่มีปริมาณหมู่อีพอกไซด์ประมาณ 5% mole เนื่องจากพบว่าปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่ไม่สูงเกินไป สามารถทำให้เข้ากันกับไฮโดรคาร์บอนเรซินได้ และ PVA สามารถกระจายตัวได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งตรวจสอบได้จาก SEM DMTA และ XRD

5.4 ข้อเสนอแนะ

- 1) ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการพัฒนาจากยางสกิม LPSR เพื่อการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์กาวทาง การแพทย์ชนิดอื่นๆ เช่น การทดสอบการแพ้โปรตีนในยางธรรมชาติ
- 2) ควรศึกษาเพิ่มเติมเรื่องของการต้านทานต่อแสง หรือการเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากระยะเวลาในการใช้งาน ด้วยสารต้านการเสื่อมสภาพชนิดต่างๆ
- 3) ควรศึกษาเพิ่มเติมการเตรียมกาว PSA จากยางสกิม LPSR และพอลิเมอร์ผสม LPSR/ PVA เมื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างโมเลกุลยางสกิมด้วยการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันที่มีปริมาณหมู่อีพอกไซด์สูงขึ้น (10-20% mole) และศึกษาประเภทของสารแตกคิไฟเออร์เรซิน (tackifier resin) ที่เหมาะสม เพราะจากการทดลองพบว่า ไม่สามารถใช้ไฮโดรคาร์บอนเรซินในการเตรียมกาว PSA จากยางสกิม E-LPSR ที่มีปริมาณหมู่อีพอกไซด์ประมาณ 50% mole ได้
- 4) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านกรยึดติด ด้วยสารเติมแต่งชนิดต่างๆที่มีความเหมาะสมสำหรับกาว PSA ให้มากขึ้น
- 5) ควรพัฒนาเทคนิคในการเตรียมกาว PSA จากยางสกิม LPSR และพอลิเมอร์ผสม LPSR/ PVA ให้มีความสามารถในการเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- ประมวล ตั่งปริบูรณ์รัตน์. 2547. โพลีเมอร์คอลลอยด์, หน้า 171-202.
- วราภรณ์ ขจรไชยกุล. 2549. ยางธรรมชาติ : การผลิตและการใช้งาน (Natural Rubber Production and Application), หน้า 12-14.
- พงษ์ธร แซ่ฮ้อย. 2547. ยาง: ชนิด สมบัติและการใช้งาน, หน้า 4-15.
- เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี. 2541. การผลิตยางธรรมชาติ(Natural Rubber Ptroduction), หน้า 67-78.
- โสภา อิสระ. 2545. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- อรสา ภัทรไพบุญย์ และเรวดี แต่งเกลี้ยง.2544. “ อายุการเก็บและการปรับปรุงการเซ็ทตัวของ กาวน้ำยาง,” รายงานการเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, (สงขลา: ภาควิชาเทคโนโลยียาง และพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี), 181-191
- Adhesion Theory [Online] 2009. Available from <http://www.specailchem4adhesive .com>, Accessed Jan 10, 2009.
- Abdin M.Z. 1999. Photodegradation of raw natural rubber under controlled condition. J.Rubb. Res. 2(4), 223-230.
- Alphonsus V. Pocius. 1997. Adhesion and Adhesives Technology An Introduction, (New York : Munich Vienna,), 216-230.
- Allen S. N., Edge M. 1992. Fundamentals of Polymer Degradation and Stabilisation. Elsevier Applied Science, London and New York, Chapter 2.

- Ambler M.R., Mate R.D., and Purdon I.R. 2000. Experimental branching results for diene polymers by use of gel-permeation chromatography. *J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed.* 12(8), 1771-1780.
- Arnold A. R. and Evans, P. (1991). Role of fatty acid in antioxidation of deproteinized natural rubber. *J. Rubb. Res.* 6, 75.
- Baker C.S.L., Gelling I.R. 1987. Epoxidation natural rubber. In *Development in Rubber Technology*, Whelan A. and Lee K.S., Eds. London; Elsevier Applied science Publisher Ltd., 87-117.
- Barnard D., Bateman L., Cunneen J.I., and Smith J.F. 1963. Contribution to the Chemistry and Physics of Rubber-link Substances (Ed. L. Bateman), Applied Science, London.
- Blackley D. C. 1997. *Polymer Latices Science and Technology: Types of Latices*. 2nd ed. London: Chapman & Hall. 2, 79.
- Blackley D.C. 1996. *High Polymer Latices*, vol 1. Maclaren&sons, London, Chapter 4.
- Bevilacqua E.M. 1955. Chain Scission in the Oxidation of Hevea. *J. Amer. Chem. Soc.*, 49, 495.
- Butler G.L. 1990. *Natural Rubber Adhesive, Handbook of Pressure sensitive Adhesive Technology*. 3rd ed. England.
- Bristow G. M. 1990. Composition and Cure Behavior of Skim Block Natural Rubber. *J. nat. Rubb. Res.* 5, 114.
- Carman C.J., Wilkes C.E. 1969. Analysis of high cis-1,4-polyisoprene for 3,4 and trans structure using 60 MHz. *Polym. Am. Chem. Soc., Div. Polym. Chem.*, 10, 1435.

- Ceresa R.J. 1978. The Chemical Modification of Polymer, Science and Technology of Rubber, Academic Press, New York, 472-473.
- Chen H.Y. 1966. Microstructure of polyisoprene by high-resolution nuclear magnetic resonance. J. Polym. Lett. Edn., 4, 891.
- Cokbain E. G., Philpott M.W. 1963. Colloidal properties of latex, In L. Bateman. The chemistry and physics of rubber-link substances, London: Maclaren and Sons, 73.
- Cockbain E.G., Philpott M.W. 1963. Colloidal Properties of Latex. The Chemistry and Physics of Rubber-Like Substances. Bateman.L.ed. London: Maclaren and Sons. 73.
- Davey J.E. and Loadman M.J.R. 1984. Chemical Demonstration of the Randomness of Epoxidation of Natural Rubber, Br. Polym. J. 16,134-138.
- Dae Jun Kim, Hyun Joong Kim and Goan Hee Yoon. 2005. Effect of substrate and tackifier on peel strength of SIS (Styrene-isoprene-styrene)-based HMPSAs. International Journal of Adhesion & Adhesive. 25, 288-295.
- Duckwort I.H. 1965. Creamed latex. Proc.Inst.Rubb.Ind.12, 134.
- Dunlop Rubber Co., Ltd. 1953. Recovery of Rubber from Latex Skim, British Patent Specification No.695, 813(August 19,1953).
- Eng A.H., Tangpakdee J., Kawahara S., Tanaka Y. 1997. Distribution and Origin of Apnormal Group in Natural Rubber.J.nat.Rubb.Res.12, 11.
- Eng A.H., Kawahara S., Tanaka Y. 1994. Trans-isoprene units in Natural Rubber. Rubber.Chem.Tech. 67, 159.

- Gent A.N. 1954. "Crystallization in natural rubber. II. The influence of Impurities" Trans. Inst. Rubber Ind. 30, 139.
- Hunter R.J. 1989. Foundation of Colloid Science, Vol. 2, Oxford University Press, Oxford.
- Ichikawa N., Eng A. H., Tanaka Y. 1993. Properties of Deproteinized Natural Rubber Latex. Proc. Int. Rubb. Technol. Conf., Kuala Lumpur, Malaysia. 101.
- Insom K. 2005. M.Sc. Thesis in Polymer Science and Technology. Bangkok; Faculty of Graduate Studies, Mahidol University.
- Ives K.J. (editor) 1978. The Scientific Basis of Flocculation, Sijthoff & Noordhoff, Alphen aan den Rijn.
- Jayachadran K., and Chandrasekaran M. 1998. Biological Coagulation of Skim Latex Using *Acinetobacter* sp. Isolated from Natural Rubber latex Centrifugation Effluent, *Biotechnology letters* 20(2), 161-164.
- Jin Kon Kim, Woo Ha Kim, Dong hyun Lee. 2000. Adhesion properties of UV crosslinked polystyrene-block-polybutadiene-block-polystyrene copolymer and tackifier mixture. *Polymer* 43, 5005 - 5010.
- John C.K. and Weng S.S. 1973. Accelerated Auto-coagulation of Skim latex. *J. Rubb. Res.* 23 (part 4), 257-262.
- John C.K. 1971. Coagulation of Hevea latex with surfactant and salt: I. Development of the process and its effect on raw rubber properties. *J. Rubb. Res.* 23 (part 2), 147-156.
- Jumtee K., Sakdapipanich J.T., Prasassarakich P., Tanaka Y. 2000. Recovery and Purification of Small Rubber Particles from Skim latex. 1st Thailand Materials Science and Technology Conference, 93-95.

K.D.P. Company 1926. Concentrated latex by evaporation process.

Kawahara S., Kakubo T., Nishiyama N., Tanaka Y., Isono Y., Sakdapipanich J.T. 2000. "Crystallization behavior and strength of natural rubber: Skim rubber deproteinized natural rubber and pale crepe". J. Appl. Polym. Sci. 78,1510.

Moir G. F. J. 1959. Ultracentrifugation and Staining of *Hevea* Latex. Nature.184, 1626.

Riyajan S., Sakdapipanich J.T., Tanaka Y. 2003. Controlled degradation of cured natural rubber by encapsulated benzophenone as a photosensitizer. J. Appl. Polym. Sci. 90, 297-305.

Morris J. E. 1954. Improved Rubber by the Enzymatic Deproteinization of Skim Latex. Proceedings of the Third Rubber Technology Conference.London.Messenger T.H. ed.13.

Nawamawat K. 2002. M.Sc. Thesis in Polymer Science and Technology. Bangkok; Faculty of Graduate Studies, Mahidol University.

Nawamawat K., Sakdapipanich J.T., Phupewkeaw N. 2008. Characterization of Purified skim rubber by alkali treatment for Pressure sensitive Adhesive Application. Kautschuk Gummi kunststoffe. 61, 147-151.

Nishiyama N., Kawahara S. 1998. Origin of Characteristic Properties of NR-Synergistic Effect of Fatty Acids on Crystallization of *Cis*-Polyisoprene .Rubber. Rubb. Chem. Tech. 71, 70.

Nithi-Uthai B., Nithi-Uthai P., Wititsuwannakul R., Promna J., Promnok J., Boonrasi S. 1998. Uncoagulation Problem of Skim Latex. Proc. 7th Seminar on Elastomer. Bangkok.

- Okwu U.N., Okieimen 1999. Properties of formic acid crosslinked epoxidized natural rubber (FC-ENR) blend with dry natural rubber. *European Polymer Journal* 35, 1855-1859.
- Onya N., Tanaka Y., Wittisuwannakul R., Koyama T. 2000. Activity of Rubber Transferase and Rubber Particle Size in Hevea Latex. *J. Rubb. Res.* 3, 214.
- Packham D.E. 1992. *Handbook of Adhesion*, (n.p. : Longman Group), 353-357.
- Pizzi A., Mihal K.L. 2003. *Handbook of adhesive technology*, 2nd ed. (New York : Marcel Dekker), 255-262.
- Pocius V. Al. ed., 2002. *Adhesion and Adhesive Technology, An Introduction* 2nd Edition, Hanser.
- Poh B.T., Kwo H.K. 2007. Peel and shear strength of pressure-sensitive adhesives prepared from epoxidized natural rubber. *J. Appl. Polym. Sci.* 105, 680-684.
- Riyajan S., Chaiponban S., Tanbumrung K. 2009. Investigation of the preparation and physical properties of a novel semi-interpenetrating polymer network base on epoxidized NR and PVA using maleic acid as the crosslinking agent. *Chemical Engineering Journal*. In press.
- Riyajan S., Chaiponban S., Kothamnivet D., Thongseenuch S. 2008. Study the semi-interpenetrating between natural rubber and polyvinyl alcohol. *Kasetsart University Science Journal*, Vol. 26 No.1, 29-34.
- Rungvichaniwat A., Nithi-Uthai B., Nithi-Uthai P. 1998. The colour and nitrogen content of skim rubber. *Proc.7th Seminar on Elastomer*. Bangkok.
- Sakdapipanich J.T., Nawamawat N. and Tanaka Y. 2002. Recovery of deproteinised small rubber particles from skim latex : Effect of some inorganic salts. *J. rub. Res.* 5(1), 1-10.

- Sakdapipanich J. T., Suksujaritpron S., Tanaka Y. 1999. Structure Characterization of the small Rubber Particle in Fresh Heavea Latex. *J.nat.Rubb. Res.* 2,160.
- Sakdapipanich J., Nawamawat K., Kawahara S. 2002. Characterization of the Large and Small Rubber Particles in Fresh *Hevea* Latex. *Rubb. Chem. Tech.* 75, 179.
- Sasaki M., Fujita K., Adachi M., Fujii S., Nakamura Y., and Urahama Y. 2008. The effect of tackifier on phase structure and peel adhesion of triblock copolymer pressure-sensitive adhesive. *International Journal of Adhesion & Adhesive.* 28, 372-381.
- Satas D. ed., 1982. *Handbook of Pressure-Sensitive Adhesive Technology.* Van Nostrand Reinhold: New York.
- Schoenberg E., Marsh H.A., Walter S.J., Saltman W.M., 1979. Polyisiprene. *Rubber Chem. Technol.*, 52, 526.
- Skeist I. 1989. *A Handbook of adhesives*, 2nd ed. (New York : Van Nostrand Reinhold) 254-261.
- Skeist I. 1990. *A Handbook of adhesives*, 3rd ed., rev (New York : Van Nostrand Reinhold,), 172-175.
- Smith M. G. 1969. Recent aspects of block natural rubber production by mechanical method. *J.Rubb.Res.Inst.Malaya.* 23,78.
- Tackifier [Online] 2009. Available from <http://www.specialchem4adhesive.com>, Accessed Jan 10, 2009.
- Tanaka Y., Tangpakdee, J., Miyamoto Y., Hayashi M., Kanamaru E. and Mihara T. 2000. Method of Producing Particulate Natural rubber, US 6,025,451, (February 15, 2000).

- Tanaka Y., Sakdapipanich J. T. 2001. Chemical Structure and Occurrence of Natural polyisoprenes. *Biopolymer*. 2,1.
- Tanaka Y. 1998. Preparation and Application of DPNR: Recovery of Small Rubber Particles from Skim, Deproteinization of Latex by Saponification and Application of DPNR latex.1.
- Tangpakdee J. and Tanaka Y. 1997. Purification of Natural Rubber. *J.nat.Rubb.Res.* 12(2), 112-119.
- Tangpakdee J. 1998. A Doctor thesis in Department of Material systems engineering. Japan; Faculty of Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology.
- Tangboriboonrat P. and Buranabunya U. 2001. Composite natural rubber-polychloroprene latex particles produced by the heterocoagulation technique. *Colloid Polym.Sci.*, 279, 615.
- Tarachiwin L., Sakdapipanich J. T., Tanaka Y. 2005. Structure and origin of long chain branching and gel in natural rubber. *Kautschuk Gummi kunststoffe*. 58,115.
- Tarachiwin L., Sakdapipanich J. T., Tanaka Y. 2005. Relationship between particle size and molecular weight of rubber from *Hevea Brasiliensis*. *Chem.Technol.* 78, 694.
- Tanunchai T. 1999. M.Sc. Thesis in Polymer Science and Technology. Bangkok; Faculty of Graduate Studies, Mahidol University.
- The Firestone Tire & Rubber Co.1955. Improvements in or relating to high grade rubber and method of making same, British Patent Specification No.739, 750.
- Tridib T., Bhudeb R. D. 2006. Flocculation: A new way to treat the waste water. *J. Physical Sci.*10, 93-127.

Tuampeomsab S., Sakdapipanich J.T., Tanaka Y. 2006. Influence of some non-rubber components on aging behavior of purified natural rubber. *Rubber. Chem. Technol.* 80, 159-168.

Tyczkowski J., Krawczyk I., Wozniak B. 2003. Modification of styrene-butadiene rubber surface by plasma chlorination. *Surface and Coating technology.* 174-175, 849.

Wren W. G. 1961. The Chemistry of Natural Rubber Production. *Rubb. Chem. Tech.* 34, 378.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ความสามารถในการเข้ากันของสารละลายกาว PSA ระหว่าง Hydrocarbon resin
กับพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA

ตารางที่ ก.1 อิทธิพลของ hydrocarbon resin ต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลาย
กาว PSA และ PSA/PVA20 เมื่อทำการแปรปริมาณที่ 0-100 phr

Amount of Hydrocarbon resin (phr)	Viscosity of PSA solution (cP)		Viscosity of PSA/PVA20 solution (cP)	
	Lot.1	Lot.2	Lot.1	Lot.2
0	1095±5	1215±5	3313±6	4538±9
10	1030±6	1196±7	3395±5	3884±5
20	1035±4	1141±9	3028±4	3750±6
40	958±8	1016±9	2485±5	3955±5
60	955±5	1044±4	2453±2	2639±5
80	857±8	957±8	2251±3	2676±6
100	840±2	907±6	2381±5	2722±3

ภาคผนวก ข

สมบัติทางด้านการยึดติดของกาว PSA จากยาง LPSR และพอลิเมอร์ผสม LPSR/PVA20

ตารางที่ ข.1 อิทธิพลของ hydrocarbon resin ต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัส (contact angle) ของกาว PSA-tape ที่เติมและไม่เติม BHT antioxidant เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr

Amount of hydrocarbon resin (phr)	Contact Angle(°)	
	PSA lot.1(no BHT)	PSA lot.2(1phr BHT)
0	111.5±9.7	108.0±2.4
10	102.8±1.6	102.7±1.0
20	107.0±9.5	101.5±1.3
40	96.8±0.7	103.4±2.5
60	95.6±4.5	100.0±0.4
80	93.0±1.6	100.0±2.9
100	93.5±0.5	98.0±0.7

ตารางที่ ข.2 อิทธิพลของ Hydrocarbon resin ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียว (tack) ของ กาว PSA-tape ที่เติมและไม่เติม BHT antioxidant เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr

Sample	HC-resin (phr)	Rolling ball tack (distance, mm)			
		Max.ball (Ø,mm)	Ø max.	Ø 3mm	Ø 4mm
PSA lot.1 (no BHT)	0	4	81±2	62±6	81±2
	10	6	47±6	10±0	18±4
	20	6	61±7	5±0	17±3
	40	6	60±4	5±0	10±0
	60	5	53±7	23±4	23±4
	80	5	58±17	35±4	47±12
	100	5	93±3	28±4	51±15
PSA lot.2 (1phr BHT)	0	4	81±2	62±6	81±2
	10	6	82±6	10±0	25±4
	20	6	46±4	5±0	12±3
	40	6	70±0	10±0	10±0
	60	5	27±3	18±3	15±0
	80	5	58±8	8±3	15±0
	100	4	79±8	15±0	79±8

ตารางที่ ข.3 อิทธิพลของ hydrocarbon resin ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการคืบ (creep) ของ กาว PSA-tape ที่เติมและไม่เติม BHT antioxidant เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr

Amount of hydrocarbon resin (phr)	Shear holding time (h)	
	PSA lot.1(no BHT)	PSA lot.2(1phr BHT)
0	3.1±0.3	46±5
10	2.0±0.2	22±2
20	1.8±0.2	20±0
40	1.7±0.2	4±0
60	1.5±0.2	3±1
80	1.3±0.2	1±0
100	1.3±0.3	1±0

ตารางที่ ข.4 อิทธิพลของ hydrocarbon resin ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการดึงลอก (peel adhesion) ของกาว PSA-tape ที่เติมและไม่เติม BHT antioxidant เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr

Amount of hydrocarbon resin (phr)	Peel strength(180° peel):N/25mm	
	PSA lot.1(no BHT)	PSA lot.2(1phr BHT)
0	0.13±0.01	0.04±0.01
10	0.46±0.03	0.20±0.06
20	0.49±0.18	0.43±0.02
40	1.61±0.47	1.38±0.23
60	1.81±0.27	2.22±0.25
80	1.93±0.14	2.85±0.32
100	2.42±0.30	2.43±0.13

ตารางที่ ข.5 อิทธิพลของ hydrocarbon resin ต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัส (contact angle) ของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เติมและไม่เติม BHT antioxidant เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr

Amount of hydrocarbon resin (phr)	Contact Angle(°)	
	PSA/PVA20	PSA/PVA20
	lot.1(no BHT)	lot.2(1phr BHT)
0	99.0±1.9	109.9±2.0
10	92.8±1.2	103.6±1.1
20	97.6±4.9	102.1±4.5
40	91.5±2.7	104.0±2.9
60	93.3±1.5	98.7±2.3
80	87.2±3.8	97.6±1.0
100	81.6±1.1	96.4±1.3

ตารางที่ ข.6 อิทธิพลของ hydrocarbon resin ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียว (tack) ของ กาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เติมและไม่เติม BHT antioxidant เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr

Sample	HC-resin (phr)	Rolling ball tack (distance, mm)			
		Max.ball (Ø,mm)	Ø max.	Ø 3mm	Ø 4mm
PSA/PVA20	0	4	77±3	34±7	77±3
lot.1	10	6	58±6	5±0	20±4
(no BHT)	20	6	45±5	5±0	19±2
	40	5	19±2	10±0	10±0
	60	4	62±3	5±0	62±3
	80	2	7±0	-	-
	100	2	7±0	-	-
PSA/PVA20	0	4	58±4	58±4	85±5
lot.2	10	5	79±9	28±4	45±9
(1phr BHT)	20	6	88±3	15±4	36±5
	40	5	50±0	17±4	22±3
	60	4	67±10	68±9	67±10
	80	2	10±0	-	-
	100	2	20±0	-	-

ตารางที่ ข.7 อิทธิพลของ hydrocarbon resin ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการคืบ (creep) ของ กาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เติมและไม่เติม BHT antioxidant เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr

Amount of hydrocarbon resin (phr)	Shear holding time (h)	
	PSA/PVA20 lot.1(no BHT)	PSA/PVA20 lot.2(1phr BHT)
0	19.3±1.1	135±13
10	14.8±0.4	110±10
20	2.1±0.4	70±2
40	1.6±0.3	44±4
60	0.7±0.3	21±1
80	1.0±0.2	4±0
100	0.8±0.1	2±0

ตารางที่ ข.8 อิทธิพลของ hydrocarbon resin ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการดึงลอก (peel adhesion) ของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA20 ที่เติมและไม่เติม BHT antioxidant เมื่อแปรปริมาณที่ 0-100 phr

Amount of hydrocarbon resin (phr)	Peel strength(180° peel):N/25mm	
	PSA/PVA20 lot.1 (no BHT)	PSA/PVA20 lot.2 (1phr BHT)
0	0.10±0.02	0.05±0.02
10	0.27±0.07	0.05±0.01
20	0.77±0.06	0.12±0.07
40	1.09±0.06	0.67±0.08
60	2.04±0.09	1.35±0.15
80	2.72±0.24	2.13±0.29
100	1.64±0.38	2.17±0.36

ภาคผนวก ค

สมบัติทางด้านการยึดติดของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA/PVA จาก LPSR และ E-LPSR

ตารางที่ ค.1 อิทธิพลของ PVA ต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัส (contact angle) ของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณที่ 0-30 phr

Amount of hydrocarbon resin (phr)	Contact Angle(°)	
	PSA60/PVA	E-PSA60/PVA
0	109.9±2.0	106.0±2.1
5	91.5±1.1	96.0±1.6
10	97.6±1.5	94.3±1.1
20	97.9±1.6	96.8±1.4
30	98.6±1.4	101.0±1.4

ตารางที่ ค.2 อิทธิพลของ PVA ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียว (tack) ของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณที่ 0 5 10 20 และ 30 phr

Sample	PVA (phr)	Rolling ball tack (distance, mm)			
		Max.ball (Ø,mm)	Ø max.	Ø 3mm	Ø 4mm
PSA60/PVA	0	5	27±3	18±3	15±0
	5	4	59±4	-	59±4
	10	4	41±2	76±10	41±2
	20	4	90±0	-	90±0
	30	4	88±3	-	88±3
E-PSA60/PVA	0	4	62±6	-	62±5
	5	5	60±0	57±6	37±6
	10	5	79±2	53±7	38±7
	20	5	87±3	38±3	50±3
	30	4	55±0	-	55±3

ตารางที่ ค.3 อิทธิพลของ PVA ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการคืบ (creep) ของกาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณที่ 0-30 phr

Amount of PVA (phr)	Shear holding time (h)	
	PSA60/PVA	E-PSA60/PVA
0	7±0.5	10±1.0
5	18±1.5	28±1.5
10	21±2.0	28±1.5
20	20±2.0	28±1.5
30	20±2.0	28±1.5

ตารางที่ ค.4 อิทธิพลของ PVA ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติการดึงลอก (peel adhesion) ของ กาวพอลิเมอร์ผสม PSA60/PVA และ E-PSA60/PVA เมื่อแปรปริมาณที่ 0 5 10 20 และ 30 phr

Amount of PVA (phr)	Peel strength (180° peel):N/25mm	
	PSA60/PVA	E-PSA60/PVA
0	2.22±0.25	2.82±0.05
5	1.78±0.21	2.79±0.26
10	1.40±0.16	2.90±0.15
20	1.43±0.20	2.52±0.21
30	0.64±0.15	1.75±0.16

ภาคผนวก ง

เอกสารการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

การรวบรวมและจับตัวเนื้อยางสกินจากหางน้ำยางสกินแบบใหม่ โดยวิธีการจับตัวด้วยสารโพลีอิเล็กโตรไลต์และเกลืออนินทรีย์

Novel recovery and coagulation of skim rubber from skim natural rubber latex: Coagulation by polyelectrolytes and inorganic salts.

ณัฐพนธ์ ภูพิวแก้ว¹, สอาด ริยะจันทร์¹, จิตต์ลัดดา ศักดาภิพานิชย์²

Nataphon Phupewkeaw¹, Sa-ad Riyajan¹, Jitladda T. Sakdapipanich²

¹Polymer Science Program, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkla 90112, Thailand

²Department of Chemistry, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand

E-mail address: saadriyajan@hotmail.com and scjtp@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ; ยางสกินเป็นส่วนที่เหลืออยู่ในหางน้ำยางซึ่งจัดว่าเป็นของเสียจากกระบวนการปั่นน้ำยางธรรมชาติ เนื่องจากมีปริมาณเนื้อยางต่ำ ประมาณ 5 % และส่วนที่ไม่ใช่ยางในปริมาณที่มาก โดยปกติในโรงงอุตสาหกรรมน้ำยางนิยมใช้กรดกำมะถันชนิดเข้มข้นในการจับตัวเนื้อยางสกินที่เหลืออยู่ในหางน้ำยางนี้ ยางสกินที่ได้จากวิธีการนี้มีคุณภาพต่ำ นอกจากนั้นน้ำทิ้งที่เหลือจากการจับตัวยังมีปริมาณค่า BOD COD และ SO₂ ในปริมาณที่สูง ก่อให้เกิดปัญหาน้ำเสียซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยนี้พยายามแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีใหม่ ในการรวบรวมและจับตัวเนื้อยางสกินจากหางน้ำยางสกินโดยการจับตัวด้วยสารโพลีอิเล็กโตรไลต์; Cationic polymer (Polymethylacrylic ester), Anionic polymer (polyacrylamide) และเกลืออนินทรีย์; NaCl, CaCl₂, MgCl₂, (NH₄)₂SO₄, Na₂CO₃ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการ จับตัวยางสกิน หาความเข้มข้นของสารจับตัว, pH และความแรงไอออนิก ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้การจับตัวที่มีประสิทธิภาพ ประหยัดเวลาและพลังงาน สามารถลดปริมาณค่า BOD COD และ SO₂ ในน้ำเหลือทิ้ง นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของยางแห้งที่ผ่านการจับตัวด้วยเทคนิคใหม่นี้ด้วย

Abstract; Skim rubber known as a by-product of producing concentrated latex consists of about 5% dry rubber content and high amounts of impurities. Normally, the concentrated sulfuric acid is applied for coagulation of the skim latex in the rubber latex factory. The disadvantages of the application of concentrated sulfuric acid are the low quality of recovered skim rubber and the disposal water environmental, containing especially high amount of BOD, COD and SO₂ values. Therefore, the aim

of this work is to create the new coagulant and coagulation procedure instead of applying the concentrated acid. Polyelectrolytes such as cationic polymer, e.g., polymethyl acrylic ester, anionic polymer, e.g., polyacrylamide and inorganic salts, e.g., NaCl, CaCl₂, MgCl₂, (NH₄)₂SO₄, Na₂CO₃ were employed for both recovery and coagulation of skim rubber from skim rubber latex. The optimum conditions for skim rubber coagulation by polymer or inorganic salts concentration, pH and ionic strength were investigated. This new technique is expected to improve the efficiency of skim rubber coagulation with economic energy and time, and to reduce the amounts of BOD, COD and SO₂ values in the waste water. In addition, the physical and mechanical properties of the resulting solid rubber obtained from this novel coagulation were also discussed.

Development of purified skim rubber and application for peroxide curing

Nataphon Phupewkeaw¹, Sa-ad Riyajan¹, Jitladda T. Sakdapipanich^{2*}

¹Polymer Science Program, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkla 90112, Thailand,

²Department of Chemistry, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand

*Corresponding author. Ph: 02-8893116; Email:scjtp@mahidol.ac.th

Abstract

The condition for preparing the best quality of purified skim rubber was found to be a saponification of wet skim with 2% (w/v) NaOH for 3 h at 70°C and 3% (w/v) NaOH for 48 hr at room temperature. The nitrogen content and color index of skim rubber can be reduced to the same level as the normal field grade of natural rubber by treatment with NaOH. The ester content and gel content of skim rubber were decreased after saponification. The decrease in gel content suggests that the branch points should be decomposed after saponification. The \bar{M}_w of purified skim rubber was 1.0-1.7 $\times 10^6$, and \bar{M}_n was 1.0-6.0 $\times 10^5$ g/mole. The purified skim rubber suffers oxidative and /or thermal degradation is presumed to be due to the loss of some naturally occurring antioxidants and the activation of some metal ions existing in skim rubber during treatment with alkaline. The thermal stability of purified skim rubber can be improved by soaking with 1% (w/v) phenolic antioxidant, especially for bis-phenol compound antioxidant such as, 4,4'-thio bis(6-tert-butyl-3-methylphenol) (TBMTP) and 2,2'-methylene bis(4-ethyl-6-tert-butylphenol) (MBETB). Purified skim rubber showed low Mooney viscosity and low green strength, indicating the increase of processability. The purified skim rubber could be vulcanized by peroxide system to give a same level of physical properties as those of commercial grade of natural rubber, i.e. STR 5L, and synthetic *cis*-1,4 polyisoprene rubber (IR 2200).

Key words: Saponification, Purified skim rubber, Antioxidant, Peroxide vulcanization

Introduction

In generally, the skim latex is known as waste product in the factory producing the natural rubber (NR) latex concentration. The skim latex is discharged into the waste water treating unit and then the residual rubber is accumulated by concentrated sulfuric acid. This step usually takes long time to get a complete coagulation of the residual rubber. Normally, the quality of the skim rubber from acid coagulation is low and less productive value, because it contains large amounts of non-rubber materials and high dirt content. Furthermore, the structure of this skim rubber is expected to be destroyed by the oxidizing power of sulfuric acid. Moreover, the aqueous portion of NR latex contains proteins, sugars, nucleic acids and minerals and these materials can produce the environmental problems in disposal water, especially BOD and COD values

There are two basic causes for explanation of high impurities in skim rubber. First, the serum phase of the skim latex contains large amount of suspended proteins and dissolved in matters. Second, the rubber particles remaining in the skim latex are smaller than those in the ordinary NR latex particles and have a relatively larger surface for adsorption. A large proportion of the soluble non-rubber constituents of the initial latex tends to efflux with the skim rubber, in which particles consists of a great amount of adsorbed substances per unit volume of rubber.

The usual reagents for coagulating the skim latex are sulfuric acid, calcium chloride or formaldehyde (Sun N.G.C., 1983, 31(1): 49-59). The small amounts of skim rubber act as cure-rate boosters, which can replace the secondary accelerators in some applications. The skim rubber is resembled compound materials rather than elastomeric gum. This is due to the preponderance of non-elastomeric substances in the material. The increases in hardness and state of curing correlate well with the nitrogen content, due to the physical effect of proteinous substances.

The copper content in the skim rubber appears to be variable, the usual level being within the ranges from 2 to 30 ppm. The skim rubber may also have a relatively high copper content (Blackley D.C., 1966, p. 192-237), which affects the oxidative resistance. Thus, an improvement of the skim rubber depends on a drastic reduction in the protein and copper contents. The skim rubber has an inherently very low dirt content and can be used such applications, where advantage can be taken of its greater ease of vulcanization and the cost saving in accelerators. The tendency to premature vulcanization or scorch behaviour can be controlled by a suitable choice of accelerator (Gazeley K.F., 1988, p. 63-140). About 20-25 percentage of skim rubber can be blended with conventional rubber to give a high level of vulcanizate properties retention and reduce variability. In other application, the skim rubber was found to give better adhesion between a brass metal and contiguous skim rubber (Bristow G.M. 1992, 45(1):20-31). The rubber-metal adhesion and adhesion retention can be obtained by adding copper sulfide to the conventional rubber skim stock composition and followed by vulcanization to yield the end product.

The present study was an attempt to prepare high quality skim rubber as a deproteinized skim rubber by saponification reaction. As a novel approach technique, the small rubber particles in the skim latex or wet skim rubber were incubated in the presence of alkali such as NaOH at ambient temperature. This method was found to be an effective method to produce very low protein content in the skim rubber. Then, this method was applied in a pilot scale to produce mass product of saponified skim rubber. Based on the good properties of skim rubber due to the linearity of its structure (Tangpakdee J., et al., 1999, 2(3):160-168), therefore the purified skim rubber can be applied as a raw material for hypoallergenic rubber products instead of the conventional natural rubber or synthetic rubber, as the main objective of this project.

Experimental

1.) Preparation of samples

The commercial wet skim rubber crump used in the present study was supported from Chalong Rubber Latex Industry Co., Ltd., Songkla province, Thailand.

Condition and preparation of purified skim rubber

1.1) The wet skim rubber crump (500 g) was treated with 1-7% (w/v) aqueous NaOH solution for 1-5 hr at 70°C and for 12-72 hr at room temperature followed by washing with water and soaking in aqueous solution of 1% (w/v) formic acid in order to neutralize the residual alkaline. Then, the saponified skim rubber was washed with water again. The saponified skim rubber was dried up at 70°C for 24-28 hr and subjected to characterization.

1.2) The wet skim was also prepared by saponification with 2% (w/v) NaOH for 3 hr at 70°C and 3% (w/v) NaOH for 48 hr at room temperature, followed by washing with water and soaking in aqueous solution of 1% w/v formic in order to neutralize the residual alkaline for ½-1 hr. The obtained rubbers were dried up at 70°C for 24-28 hr and subjected to characterization.

1.3) Purified skim rubbers from (1.2) were dipped in the various kinds of antioxidant (1% (w/v) 2,6-di-t-butyl-4-methylphenol BHT, 4,4'-thio bis(6-tert-butyl-3-methylphenol) (TBMTBP) and 2,2'-methylene bis(4-ethyl-6-tert-butylphenol) (MBETB)) emulsion before dry up at 70°C for 24-28 hr and subjected to characterization.

1.4) Condition and preparation of purified skim rubber for peroxide vulcanization

The 15 kg of wet skim rubber crump was treated with 3% (w/v) NaOH at room temperature for 48 hr in a 200 liters reactor tank, then washed with water and soaked in aqueous solution of 1% (w/v) formic acid in order to neutralize the residual alkaline. Then, the saponified skim rubber was washed with water again. The saponified skim rubber was dried up at 70°C for 24-28 hr. The dried rubber was dipped in an antioxidant (1% (w/v) 2,6-di-t-butyl-4-methylphenol (BHT)) emulsion solution. The obtained rubber was dried again at 100°C for 4 hr and subjected to characterization.

2.) Accelerated Heat-Aging Test

2.1) Purified skim rubbers from (1.2) were subjected to heat-aging test in an air-circulating oven at 100°C for 1-20 hr.

2.2) Purified skim rubbers from (1.3) were subjected to heat-aging test in an air-circulating oven at 100°C for 3 hr.

3.) Compounding and vulcanization

The purified skim rubber (PSR), STR 5L and IR were mixed with dicumyl peroxide and BHT in the 300 x 150 mm² two-roll mill for 15 minutes at 40°C. The formulation of rubber compounds is shown in table 1. After mixing, the rubber compounds were sheeted on the cold mill and kept at room temperature for 24 hr. Then, the rubber compounds were vulcanized at 155°C and the pressure of 6.89

MN/m² for 39 min. The vulcanization time was calculated from the decomposition half-life of DCP at 98.4% of vulcanization.

Table 1 Formulation for sample compounds

Materials	Ingredient (phr)
Rubber ; PSR, STR 5L, IR 2200	100
Dicumyl peroxide (Commercial grade, Chemmin Co., Thailand)	1.0
2,6-di- <i>t</i> -butyl-4-methylphenol (BHT)	0.5

4.) Characterization

4.1) Determination of non-rubber constituent

A LECO FP-258 nitrogen analyzer was used to determine nitrogen content in the rubber. The content of long-chain fatty acid ester group was analyzed by FT-IR using a JASCO FT/IR 460. A calibration curve was obtained for a series of mixtures of methyl stearate and synthetic *cis*-1,4 polyisoprene (Kuraprene IR10). The content of fatty acid ester group per weight of rubber was determined by the intensity ratio of peaks at 1739 cm⁻¹(C = O) to 1664 cm⁻¹(C = C). The content of gel, ash and color Index was determined in the usual way according to ASTM D3616–95, ASTM D4574–94 and ASTM D3157, respectively.

4.2) Determination of molecular weight

About 0.1% (w/v) of skim rubber in tetra-hydrofuran (THF) was filtrated through a Millipore LS pre-filter and 0.45 μm nylon membrane filter. The change in molecular weight (\bar{M}_n and \bar{M}_w) of the heat-aged skim rubber was analyzed by gel permeation chromatography (GPC) at 35°C with a flow-rate of 0.5 mL/min. the apparatus was assembled by using a JASCO-BORWIN GPC equipped with a pneumatic pump (PU-1580), columns oven (CO-1560) and refractive index detector (RI-1530). The exclusion limit of 8 mm × 300 mm of two columns packed with polystyrene gel was 2×108 mm and 4×105 mm. The molecular weight was calibrated by synthetic polyisoprene standards (PPS, Polymer Standards Service).

5.) Physical and Mechanical properties

5.1) Measurement of Mooney viscosity

The experiment was carried out by using a Mooney Viscometer (Tech Pro Visco

Tech+), ASTM D1646. The temperature of testing was 100±1°C and large rotor size was used to measure viscosity at the strain rate of about 2 sec⁻¹. The rubber was preheated at 100°C for 1 min, followed by continuous shear for 4 min. The torque at this point was Mooney viscosity (ML1+4). The decay of torque after rotor stop for 30 min was defined as MR₃₀, which related to the relaxation behavior of the materials.

5.2) Measurement of Hardness

The hardness tester was used for measuring hardness. The cured sample having upper and lower surface flat and its thickness at least 6 mm was put under

needle of hardness tester then the needle puncture on surface of sample. In this instrument, scale runs from 0 to 100 and the unit of measuring is shore A.

5.3) Measurement of tear strength

The experiment was carried out on tensile testing machine (Instron model 5569) in accordance with ASTM D624. The vulcanized sheet samples were cut into tear test piece type B using punching machine (Wallace). The testing crosshead speed of 500 mm/min was used with a full scale load cell at 100 kg-N. At least 5 specimens were used for each measurement.

5.4) Measurement of tensile strength

The experiment was carried out by using Instron model 5569 tensile tester accordance with ASTM D412. The testing crosshead speed of 500 mm/min was applied with load cell of 1 kg-N. The test pieces were stamped out using a type C dumbbell die. The thickness of sample was 0.5-1.5 mm. The measurement was repeated 5 times for each sample.

Results and discussion

1. Effect of soaking condition of skim rubber coagulum on nitrogen content and color index

Saponification of wet skim rubber crump was treated by soaking the crump into 1-7 % (w/v) aqueous NaOH solution for 1-5 hr at 70°C and for 12-72 hr at room temperature, respectively.

The nitrogen content of skim rubber from the conventional production was 2.65%. After saponification by soaking process, the nitrogen content of the skim rubber decreased to 0.08-0.10% under the strict condition such as high concentration of NaOH condition. The nitrogen content of 0.08-0.24% was observed independent of the reaction time, as shown in figure 1. The nitrogen content of purified skim rubber was reduced to 0.20-0.08% after saponification at 70°C. The saponification with 1 % (w/v) NaOH gave the highest nitrogen content compared with other conditions. This indicates that the higher concentration of NaOH resulted in the higher efficiency of saponification to remove proteins.

In the case of saponification at room temperature, the nitrogen content of purified skim rubber was decreased markedly from 2.65 to 0.12-0.24% after soaking for 12 hr and further decreased to 0.07-0.1% after soaking for 72 hr. The saponification at room temperature with 1% (w/v) NaOH gave the highest nitrogen content compared with other conditions. This suggests that saponification with 1% (w/v) NaOH was not enough to decompose the proteins at the both of 70°C and room temperature.

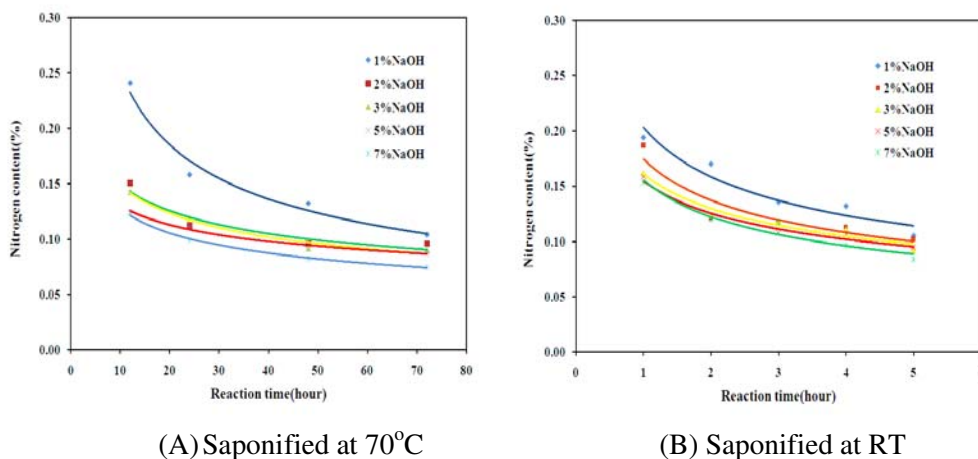


Fig.1 Nitrogen content of purified skim rubber by saponification at 70°C (A) and at room temperature (B).

The color index of original skim rubber was 16.0. It could be reduced to 7.5-8.0 after saponification by soaking of rubber coagulum into 1-7% (w/v) aqueous NaOH solution at 70°C and at room temperature, as shown in figure 2. The color index value was reduced from 16.0 to 8.0 after saponification at 70°C by independence of concentration of NaOH and reaction time.

In the case of saponification at room temperature, the increase of concentration and the reaction time was necessary to decrease the color index value of purified skim rubber. The purified skim rubbers by the saponification with 3-7% (w/v) NaOH at room temperature for 24-72 hr were the best condition, which showed the lowest color index as same as the purified skim rubber by saponification at 70°C.

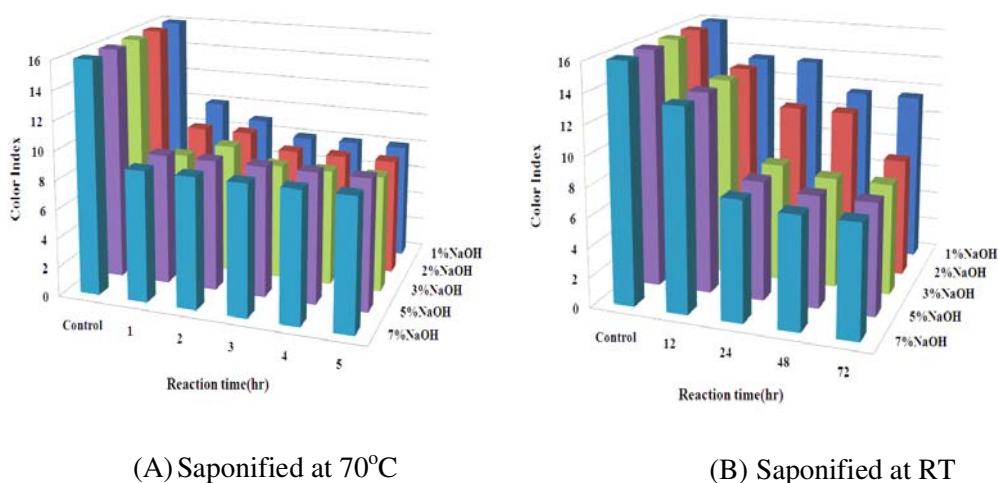


Fig.2 Changes in color index of purified skim rubber by saponification at 70°C (A) and at room temperature (B)

2. Effect of heat treatment on the molecular weights of saponified skim rubber

Purified skim rubbers by saponification at 70°C and room temperature were subjected to heat-aging test in an air-circulating oven at 100°C for 1-20 hr. The thermal stability of purified skim rubber was observed by the determination of molecular weight, as shown in figure 3. The weight average molecular weight (\bar{M}_w) of purified skim rubbers by saponification at 70°C and at room temperature were reduced to $7.1-7.4 \times 10^5$ or about 50% of the original value after heat treatment for 20 hr. The number average molecular weight (\bar{M}_n) of saponified skim rubber at room temperature slightly decreased while that of saponified skim rubber at 70°C showed abruptly decreased. This indicates that the saponified skim rubber at 70°C is easier degradable than the saponified skim rubber at room temperature.

Therefore, it is clear that the purified skim rubber by saponification at 70°C showed lower thermal stability than the purified skim rubber by saponification at room temperature.

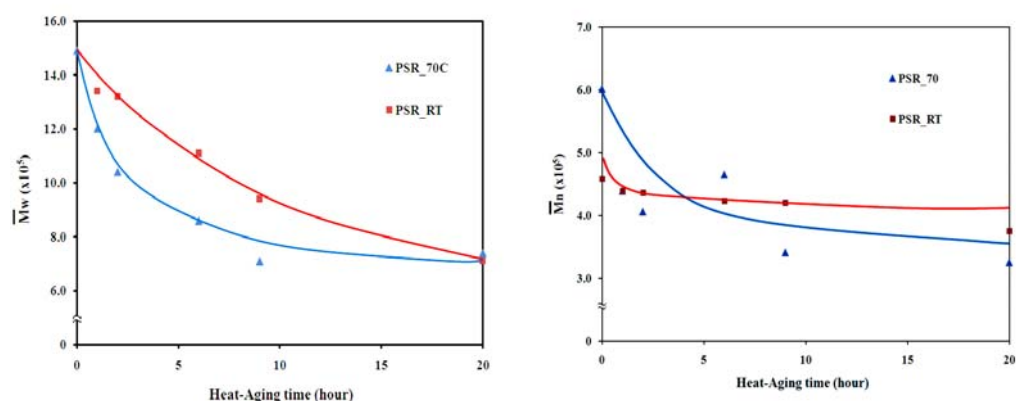


Fig.3 Changes in \bar{M}_w and \bar{M}_n of purified skim rubber by saponification at 70°C and at room temperature.

3. The improvement of aging properties of saponified skim rubber by using an antioxidant

Phenolic antioxidant, i.e. BHT, TBMTBP, and MBETB, can react with peroxy radicals and widely used as antioxidant for elastomers (M.Z. Abdin, 1999, p.223). The 1 % (w/v) emulsion of phenolic antioxidant was used to stabilize saponified skim rubber by soaking process for 10 min before drying process, in order to improved aging properties of purified skim rubber.

The effect of phenolic antioxidant types on heat-aging properties of purified skim rubber was illustrated in figure 4. This figure clearly shows that BHT, TBMTBP and MBETB acted as an antioxidant and a stabilizer for purified skim rubber. It could be noticed that the molecular weight of the control samples (no antioxidant) showed the lowest value among the samples. The \bar{M}_w value of the control sample decreased from 0.87×10^6 to 0.61×10^6 , or about 30% after heat-aging. On the other hand, the phenolic antioxidant stabilized samples showed slightly decreased in molecular

weight of about 10-20%. This indicates that the aging properties of purified skim rubber can be improved by the use of phenolic antioxidant.

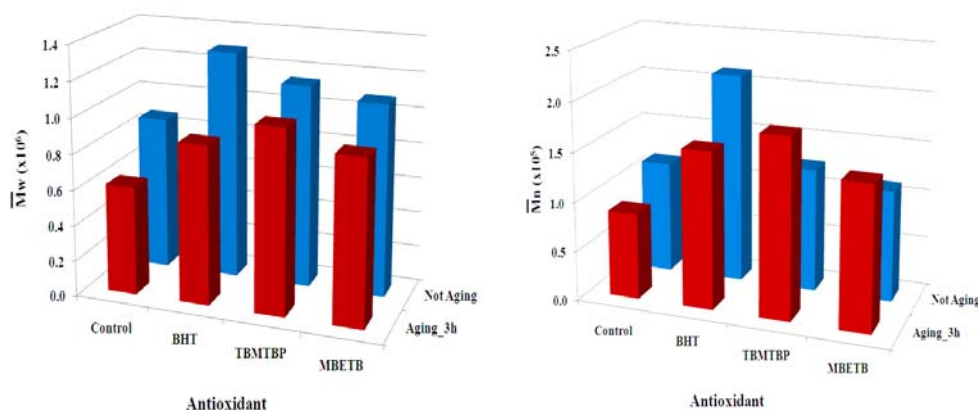


Fig.4 Changes in \bar{M}_w and \bar{M}_n of purified skim rubber with and without the use of antioxidants (BHT, TBMTBP and MBETB) under heat-aging condition at 100°C for 3 hour.

4. Physical properties of peroxide-vulcanized purified skim rubbers, compared with STR5L and IR

Since the objective of the present study was the development of purified skim rubber by alkaline treatment in order to increase the value of skim rubber product, the vulcanized properties of purified skim rubber was thought to be important.

One of the interests in the study of purified skim rubber is the possibility of using it in advanced applications such as medical applications where the absence of non-rubber substances may prove to be beneficial. At present when the uses of STR 5L and polyisoprene are required for the above applications; IR is usually a material of choice. In order to find out whether purified skim rubber has the required properties to replace IR 2200 or STR 5L, vulcanization properties of rubber cured by DCP are compared.

Table 2 Nitrogen content, ester content, gel content, Mooney viscosity and green strength of skim rubber before and after purification by saponification

Properties	Non-purified skim rubber	Purified skim rubber
Ester content (mmol/kg)	13.76	3.16
Nitrogen content (w/w)	2.570	0.140
Ash content (w/w)	0.940	0.568
Gel content (w/w)	18.38	7.60
Mooney viscosity (ML1+4)	95.22	84.0
Green strength (MPa)	0.80	0.23

Table 2, shows the content of nitrogen, fatty acid ester and gel in skim rubber and purified skim rubber after saponification. The nitrogen content, ester content and gel content of skim rubber were decreased after saponification. The decrease in gel content suggests that part of branch point should be decomposed after saponification. Furthermore, the purified skim rubber showed low Mooney viscosity and low green strength, indicating the increase of processability. Table 3 shows the physical properties of vulcanized rubbers. It can be seen that the physical properties of vulcanized purified skim rubber showed almost similar to those of vulcanized STR5L and IR2200. This suggests the possibility to use purified skim rubber instead of STR5L and IR2200.

Table 3 Physical properties of vulcanized rubbers

Properties	PSR	STR 5L	IR 2200
Crosslink density (mole/g)(10^{-5})	3.16±0.05	3.77±0.08	3.85±0.01
Hardness (Shore A)	34.0±0.4	34.0±0.4	35.5±0.2
Tear strength (kN/m)	33.1±0.4	34.2±0.4	34.6±1.8
Tensile strength (MPa)	11.11±0.8	10.80±0.1	10.00±0.1
Elongation at break (%)	677±10	679±26	716±5
Modulus;			
100%Modulus (MPa)	0.51±0.10	0.57±0.02	0.60±0.03
300%Modulus (MPa)	0.99±0.03	1.07±0.01	1.11±0.01

Conclusion

The skim rubber can be purified by saponification or soaking process of wet skim rubber crump into aqueous NaOH solution. The condition of saponification affected the purity of resulting skim rubber. The increase of NaOH concentration, reaction time and reaction temperature resulted in more efficiency to purify the skim rubber. However, the purified skim rubber showed low aging property, which may be due to the loss of some naturally occurring antioxidants and the activation of some metal ions existing in skim rubber during treatment with alkaline. This disadvantage property can be improved by soaking the purified skim rubber into 1% (w/v) phenolic

antioxidant, especially for bis-phenol compound antioxidant such as, TBMTBP and MBETP. The purified skim rubber could be vulcanized by peroxide system to give a same level of physical properties as those of STR 5L rubber and IR 2200. It can be deduced that purified skim rubber prepared by saponification is another way for medical application or more valued rubber products.

References

- Abdin, M. Z. (1999). Photodegradation of raw natural rubber under controlled condition. *J. Rubb. Res.* 2(4), 223.
- Arnold, A. R. and Evans, P. (1991). Role of fatty acid in antioxidation of deproteinized natural rubber. *J. Rubb. Res.* 6, 75.
- Blackley, D.C. (1966). High polymer lattices., Maclaren&Sons, London vol.1; 192-237.
- Bristow, G.M. (1992). Properties of block load vulcanized of skim block natural rubber. *Rubber Developments.* 45(1): 20-31.
- Gazeley, K.F., Gorton A.D.T., Pendle, T.D. (1988). Latex concentrates: Properties and composition, in: *Natural Rubber Science and Technology* (Roberts, A.D., Ed.), p. 63-140. London: Oxford University Press.
- Streit, G. and Reggentin, S. (1996). Kinetic of peroxide vulcanisation. *International Polymer Science and Technology.* 23(4): 1-3.
- Sun, N.G.C. (1983). Quaternary ammonium surfactant as alternative coagulation of skim latex. *J. Rubb. Res.* 31(1): 49-59.
- Tanaka, Y., Kawasaki, A., Hioki, Y., Kanamaru, E. and Shibata, K. (1996). Highly purified natural rubber II. Effect of small rubber particle. *Nippon Gomu Kyokaishi*, 69: 557.
- Tangpakdee, J., Suksujartporn, S., and Tanaka, Y. (1999). Structural Characterisation of the Small Rubber Particles in Fresh Hevea Latex. *J. Rubb. Res.* 2(3), 160-168.
- Tuampoemsab, S., Sakdapipanich, J. and Tanaka, Y. (2006). Influence of some non-rubber components on aging behavior. *RUBBER. CHEM. TECHNOL.* 80, 159-168.
- Yunyongwattanakorn, J., Tanaka, Y., Sakdapipanich, J., and Wongsasutthikul, V. (2008). Highly-purified natural rubber by saponification of latex: Analysis of residual proteins in saponified natural rubber. *RUBBER. CHEM. TECHNOL.* 81, 121-137

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายณัฐพนธ์ ภูผิวแก้ว	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5010220205	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี)	มหาวิทยาลัยรามคำแหง	2544

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Riyajan S., Phuphewkeaw N., S. Chaiponban 2009. "Activation energy and thermal behaviors of thermoplastic elastomer based on natural rubber and poly (vinyl alcohol)" *Kautschuk Gummi Kunststoffe*. 09, 452-457.

Nawamawat K., Phuphewkeaw N., Sakdapipanich J.T. 2008. "Characterization of purified skim rubber by alkali treatment for persure-sensitive adhesive application". *Kautschuk Gummi Kunststoffe*. 61, 147-151.

สอาด รียะจันทร์, ณัฐพนธ์ ภูผิวแก้ว 2552. "กาวหรือสารยึดติดจากยางธรรมชาติ" วารสารวิชาการ พัฒนาเทคนิคศึกษา ปีที่ 21 ฉบับที่ 70 เดือน เมษายน - มิถุนายน 2552 หน้า 18-25.

Phupewkeaw N., Riyajan S., Sakdapipanich J.T. 2008. " Novel recovery and coagulation of skim rubber from skim natural rubber latex: Coagulation by polyelectrolytes and inorganic salts".การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 34 (วทท 34) 31 ตุลาคม- 2 พฤศจิกายน 2551 ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพมหานคร.

Phupewkeaw N., Riyajan S., Sakdapipanich J.T. 2009. " Development of purified skim rubber and application for peroxide curing". การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 4, 13 มีนาคม 2552 บัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี.