

การดัดแปรน้ำยางธรรมชาติเพื่อใช้ในงานติดประสาน  
**Modification of Natural Rubber Latex for Adhesive Applications**

ตะวัน โบว์พัฒนากุล  
**Tawan Bowpattanakul**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

**2552**

๑ ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์


เลขที่	TP968	๓65	๒552	ค. 2
Bib Key	๓22089			
	/ค.บ.ส.อ. 2552			

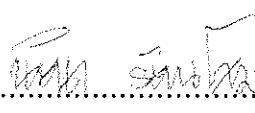
(1)

ชื่อวิทยานิพนธ์      การดัดแปรน้ำยางธรรมชาติเพื่อใช้ในงานติดประสาน  
ผู้เขียน              นายตะวัน ไบว์พัฒนากุล  
สาขาวิชา              วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์

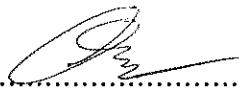
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

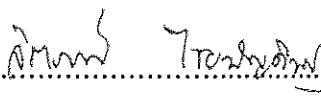
คณะกรรมการสอบ

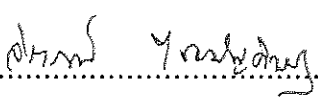
  
.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรสา ภัทรไพบุญชัย)

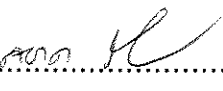
  
.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิตยา รัตนไสม)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

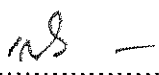
  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรสา ภัทรไพบุญชัย)

  
.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์ ไชยบัญญัติขันธ์)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์ ไชยบัญญัติขันธ์)

  
.....กรรมการ  
(ดร.สอาด ริยะจันทร์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์

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

ชื่อวิทยานิพนธ์      การดัดแปรน้ำยางธรรมชาติเพื่อใช้ในงานติดประสาน  
ผู้เขียน                นายตะวัน โบว์พัฒนากุล  
สาขาวิชา              วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์  
ปีการศึกษา            2551

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร และกาวน้ำยางผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติดัดแปรกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า และกาวพอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ขึ้นเอง จากการทดสอบสมบัติการยึดติดโดยใช้เทคนิคแบบปก ด้วยมุม  $180^\circ$  พบว่าการใช้กาวพอลิยูรีเทนสังเคราะห์ที่อัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลวออกซิไดซ์ (OLENR) กับไดไอโซไซยาเนตเท่ากับ 1.50:1.0 โมลต่อโมล ร่วมกับการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ ให้สมบัติการยึดติดดีที่สุด โดยเฉพาะกับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และให้การยึดติดกับหนังชนิด PU ที่สูงกว่ากาวพอลิยูรีเทนทางการค้า นอกจากนี้พบว่าการใช้กาวน้ำยางผสม กล่าวคือการใช้กาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรร่วมกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า ให้สมบัติการยึดติดที่สูงกว่าการใช้กาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรเพียงอย่างเดียว โดยที่การใช้กาวน้ำยางผสมชนิดยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซด์ LENR 50 ที่สัดส่วนของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้ากับกาวน้ำยาง LENR 50 ที่ 90/10 ร่วมกับการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ ให้สมบัติการยึดติดที่ดีกว่ากาวน้ำยางผสมชนิดอื่น สำหรับผลของการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในเอทิลอะซิเตต และสารรองพื้นทางการค้า (Dongsung primer) พบว่าทำให้สมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า และกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร และกาวน้ำยางผสมระหว่างกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรทุกชนิดเพิ่มขึ้น ยกเว้นกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร ชนิดยางธรรมชาติเหลว (LNR) โดยการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในเอทิลอะซิเตต ให้ความแข็งแรงในการยึดติดที่ใกล้เคียงกับสารรองพื้นทางการค้า ที่ความเข้มข้นเดียวกัน และกาวทุกชนิดที่ใช้กับยางวัลคาไนซ์มีการปรับผิวหน้าด้วยสารรองพื้นยึดติดกับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC ได้ดีกว่า PU

**Thesis Title**            Modification of natural rubber latex for adhesive applications  
**Author**                    Mr. Tawan Bowpattanakul  
**Major Program**        Polymer science and technology  
**Academic year**         2009

### **ABSTRACT**

The 180° peel test of vulcanized rubber with PVC or PU synthetic leather contacted by three types of adhesive (modified natural rubber latex, modified natural rubber latex / commercial polyurethane adhesive blends and synthesized polyurethane adhesive) was studied for this research. It was shown that polyurethane adhesive was synthesized from the reaction of oxidized liquid epoxidized natural rubber (OLENR) with polymeric 4,4'-methylenediphenyl diisocyanate (pMDI) at the ratio of OLENR / NCO is 1.5:1.0 mol/mol with surface treatment application onto vulcanized rubber provide highest peel strength, especially with PVC synthetic leather and it shows a higher peel strength in PU synthetic leather than commercial polyurethane adhesive. In addition, using latex adhesive blend such as modified natural rubber latex / commercial polyurethane adhesive blend show higher peel strength than using modified natural rubber latex alone. In the case of commercial polyurethane / LENR 50 at 90/10 by weight blending with applying primer onto vulcanized rubber surface give better peel strength than other adhesives. For surface treatment of vulcanized rubber with either trichloroisocyanuric acid in ethyl acetate or commercial primer (Dongsung primer), the peel strength is increased with all adhesives tested (commercial polyurethane adhesive, modified natural rubber latex and modified natural rubber latex / commercial polyurethane adhesive blends) except LNR. Moreover, peel strength of surface treated vulcanized rubber with trichloroisocyanuric acid in ethyl acetate was closely to commercial primer at the same concentration. Finally, the adhesion between PVC synthetic leather and vulcanized rubber is higher than PU synthetic leather in all adhesives tested with primer surface treated vulcanized rubber.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ ข้าพเจ้าต้องขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรสา ภัทรไพบุญชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่กรุณาแนะนำแนวทางในการทำวิจัยและคอยให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์มีความถูกต้องและเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ดร.ช.วยากรณ์ เพ็ชฌุไฟศิษฏ์ ที่ให้คำแนะนำข้อมูลการสังเคราะห์ กาวพอลิยูรีเทน

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิตยา รัตนโสม ที่กรุณารับเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์ ไชยบัญญัติษฐ์ และดร.สอาด ริยะจันทร์ ที่คอยให้คำปรึกษา และรับเป็นกรรมการสอบและตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับทุนอุดหนุนการทำวิจัยเป็นอย่างสูง และขอขอบคุณสาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้อนุเคราะห์วัสดุอุปกรณ์ และสถานที่ในการวิจัย

ขอขอบคุณบริษัทวิโก้บอลล์ และบริษัท Dongsung NSC (Thailand) Ltd.) ที่สนับสนุนด้านวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อวีระวัฒน์ คุณแม่เพ็ญจันทร์ โบว์พัฒนากุล และครอบครัวที่ให้กำลังใจสนับสนุนการศึกษา เป็นกำลังใจที่สำคัญที่สุด และคอยเป็นที่ปรึกษาปัญหาต่างๆ ตลอดมา รวมทั้งคุณอภิญา ชูแก้ว ที่คอยเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา และขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ทุกคนที่คอยเอื้อเฟื้อช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดี และขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้วิชาความรู้ตั้งแต่เริ่มเรียนจนถึงปัจจุบันนี้

ตะวัน โบว์พัฒนากุล

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(10)
รายการรูป	(12)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(16)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ยางธรรมชาติ	3
2.1.1 รูปแบบของยางธรรมชาติ	3
2.1.2 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ	4
2.2 ยางธรรมชาติลดน้ำหนักโมเลกุล	5
2.2.1 การลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติ	5
2.2.2 การลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติโดยใช้สารเคมี	6
2.3 ยางธรรมชาติอิพอกซีไดซ์	12
2.3.1 การเตรียมยางธรรมชาติอิพอกซีไดซ์	12
2.3.2 สมบัติและการใช้งานของยาง ENR	14
2.4 วัสดุติดประสาน	17
2.4.1 ประเภทของกาว	19
2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการยึดติดระหว่างกาวกับวัสดุ	20
2.5 พอลิยูรีเทน (Polyurethane, PU)	26
2.5.1 การสังเคราะห์พอลิยูรีเทน	27
2.5.2 ประเภทของกาวพอลิยูรีเทน	33
3. วิธีการวิจัย	39
3.1 สารเคมี	39

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	41
3.3 การเตรียมสารเคมี	43
3.4 วิธีดำเนินการทดลอง	43
3.4.1 ศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติดัดแปร	43
3.4.1.1 ยางธรรมชาติเหลว (LNR)	44
3.4.1.2 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR)	44
3.4.1.3 ยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซด์ (LENR)	45
3.4.1.4 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลวออกซิไดซ์ (OLENR)	46
3.4.1.5 การวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ในยางธรรมชาติ ดัดแปร	46
3.4.1.6 การหาค่า OH Value ของพอลิเอทิลีน	48
3.4.2 ศึกษาการเตรียมชั้นตัวอย่างยางวัลคาไนซ์	49
3.4.2.1 การเตรียมยางวัลคาไนซ์	49
3.4.2.2 การปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้น	50
3.4.2.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์	51
3.4.3 ศึกษาการเตรียมและทดสอบสมบัติการยึดติดของกาว	54
3.4.3.1 การเตรียมกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า	54
3.4.3.2 การเตรียมกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร	55
3.4.3.3 การเตรียมกาวน้ำยางผสม	55
3.4.3.4 การทดสอบสมบัติการยึดติด	56
3.4.4 การสังเคราะห์กาวพอลิยูรีเทน	57
3.4.4.1 การหาปริมาณไดโซไซยาเนตอิสระ	58
3.4.4.2 การเตรียมกาวพอลิยูรีเทน	58
4. ผลการทดลอง	60
4.1 นำยางธรรมชาติดัดแปร	60
4.1.1 ยางธรรมชาติเหลว (LNR)	60
4.1.1.1 ผลการแปรปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อ น้ำ หนักโมเลกุลเชิงความหนืดของยางธรรมชาติเหลว	62

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.1.2 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา ต่อน้ำหนักโมเลกุลเชิง ความหนืดของยางธรรมชาติเหลว	63
4.1.2 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR)	64
4.1.3 ยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซด์ (LENR)	66
4.1.4 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลวออกซิไดซ์ (OLENR)	68
4.2 ผลการเตรียมขึ้นตัวอย่างยางทดสอบ	71
4.2.1 สมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สำหรับเตรียมขึ้นสำหรับ ทดสอบสมบัติการยึดติด	71
4.2.2 ผลการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้น	72
4.3 สมบัติการยึดติดของกาว	73
4.3.1 สมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า	73
4.3.2 สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร	75
4.3.3 สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสม	78
4.3.3.1 ผลของการใช้กาวน้ำยางธรรมชาติเหลว (LNR) ร่วม กับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า	79
4.3.3.2 ผลของการใช้กาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า	81
4.3.3.3 ผลของการใช้กาวน้ำยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซด์ (LENR) ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า	86
4.4 ผลการสังเคราะห์ และสมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทน	90
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	96
5.1 สรุปผลการทดลอง	96
5.2 ข้อเสนอแนะ	97
บรรณานุกรม	98
ภาคผนวก	106
ก ผลการคำนวณหาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ของยางธรรมชาติดัดแปร	107



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ข. การเปลี่ยนหน่วยนิวตันต่อนิ้ว (N/in) เป็นปอนด์ต่อนิ้ว (lbf/in)	114
ค. ลักษณะของกาวพอลิยูรีเทนสังเคราะห์ที่เตรียมได้	115
ง. ลักษณะของพื้นผิวหน้าของหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU	116
จ. เอกสารการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน	117
ประวัติผู้เขียน	128

## รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ชนิดของสารกักต่อน้ำที่ใช้สำหรับเตรียมผิววัสดุแต่ละประเภท	22
2.2 ผลกระทบต่าง ๆ ที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างพรีพอลิเมอร์ที่ปลายสายโซ่มีหมู่ไฮโซไซยานาตอิสระทำปฏิกิริยากับน้ำ	28
3.1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้สำหรับเตรียมน้ำยางธรรมชาติเหลว (LNR)	44
3.2 ปริมาณสารเคมีที่ใช้สำหรับเตรียมน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซต์ (ENR)	45
3.3 ปริมาณสารเคมีที่ใช้สำหรับเตรียมน้ำยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซต์ (LENR)	45
3.4 ปริมาณสารเคมีที่ใช้สำหรับเตรียมน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซต์เหลวออกซิไดซ์ (OLENR)	46
3.5 ตำแหน่งเลขคลื่นของสเปกตรัมอินฟราเรดหมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติอีพอกไซต์	48
3.6 สูตรยางวัลคาไนซ์ที่ใช้เตรียมขึ้นตัวอย่างตัวอย่างสำหรับทดสอบสมบัติการยึดติด	50
3.7 ปริมาณสารเคมีที่ใช้เตรียมกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร	55
3.8 ปริมาณสารเคมีที่ใช้เตรียมกาวน้ำยางผสมระหว่างกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า	56
3.9 ปริมาณสารเคมีที่ใช้สังเคราะห์กาวพอลิยูรีเทน	57
3.10 ปริมาณสารเคมีที่ใช้เตรียมกาวพอลิยูรีเทน	59
4.1 น้ำหนักโมเลกุลเชิงความหนืดของยางธรรมชาติเหลว (LNR) ที่วัดด้วยเครื่อง Capillary Viscometer	63
4.2 สมบัติเบื้องต้นของยางธรรมชาติอีพอกไซต์ (ENR)	65
4.3 สมบัติเบื้องต้นของยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซต์ (LENR)	67
4.4 ค่าไฮดรอกซิลของยางธรรมชาติอีพอกไซต์เหลวออกซิไดซ์ (OLENR)	69
4.5 สมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้เตรียมขึ้นตัวอย่างตัวอย่างสำหรับทดสอบสมบัติการยึดติด	71
4.6 ผลของการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นต่อสมบัติการยึดติดของยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า	72
4.7 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า	74
4.8 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรแต่ละชนิด	78

## รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.9 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของ กาวน้ำยางผสม ชนิด LNR ที่สัดส่วนต่าง ๆ	79
4.10 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนัง PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสม ชนิด ENR 30 ที่สัดส่วนต่าง ๆ	82
4.11 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนัง PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสม ชนิด ENR 50 ที่สัดส่วนต่าง ๆ	83
4.12 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนัง PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสม ชนิด LENR 30 ที่สัดส่วนต่าง ๆ	86
4.13 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนัง PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสม ชนิด LENR 50 ที่สัดส่วนต่าง ๆ	87
4.14 ผลการทดสอบหาปริมาณไอโซไซยาเนตอิสระของ polymeric MDI(4,4 Diphenyl methane diisocyanate)	91
4.15 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU ของ กาวพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนต่าง ๆ	92

## รายการรูป

รูป	หน้า	
2.1	สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ	3
2.2	การแตกตัวของสารจากแสงอัลตราไวโอเลต	7
2.3	กลไกการเกิดโฟโตเคมีคอลจากอนุมูลอิสระของไฮดรอกซิล	8
2.4	กลไกการเกิด Ozone decomposition	9
2.5	กลไกการเกิดดีพอลิเมอร์ไรซ์ยางธรรมชาติ โดยการเติมไนโตรเบนซีน	9
2.6	กลไกการเกิดปฏิกิริยาของยางธรรมชาติเมื่อใช้ฟิล์มไฮดรราซีนร่วมกับออกซิเจน	10
2.7	โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR)	12
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Tg กับจำนวนโมลเปอร์เซ็นต์อีพอกไซด์ในยางธรรมชาติอีพอกไซด์	14
2.9	แรงยึดติดทางกล (mechanical interlocking)	17
2.10	การยึดติดด้วยแรงทางประจุไฟฟ้า (electrostatic forces)	18
2.11	การยึดติดด้วยแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของกาวและวัสดุ	18
2.12	การยึดติดที่เกิดจากพันธะเคมี	18
2.13	การยึดติดที่เกิดจากการแทรกผ่านรวมเข้ากันของโมเลกุล	19
2.14	มุมสัมผัสระหว่างกาวและพื้นผิววัสดุ	20
2.15	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน	27
2.16	ปฏิกิริยาการเกิดพอลิยูรีเทน แบบพอลิเมอร์เชิงเส้น	27
2.17	การเตรียมพอลิยูรีเทน จากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับไดไอโซไซยานาต	28
2.18	ลักษณะการเกิดน้ำยางพอลิยูรีเทน โดยกระบวนการผลิตแบบใช้สารละลาย	29
2.19	ลักษณะการเกิดน้ำยางพอลิยูรีเทน โดยกระบวนการผลิตแบบผสมพรีพอลิเมอร์	30
2.20	ลักษณะการเกิดน้ำยางพอลิยูรีเทน โดยกระบวนการผลิตแบบใช้ความร้อนในการหลอม	31
2.21	การเกิดปฏิกิริยาผันกลับของเคทีมีนและเคทาซีน เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ	32
2.22	ลักษณะการเกิดน้ำยางพอลิยูรีเทนโดยกระบวนการผลิตแบบเคทีมีน	33
3.1	$^1\text{H}$ NMR สเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไซด์	47
3.2	กราฟมาตรฐานที่ใช้สำหรับคำนวณหาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์	48
3.3	ขั้นตอนทดสอบรูปดัมเบลล์ (Die C) สำหรับทดสอบความทนต่อแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 412-80	52

## รายการรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
3.4 ชั้นทดสอบแบบมุ่มสำหรับการทดสอบการฉีกขาด ตามมาตรฐาน ASTM D 624-81	53
3.5 การทดสอบแบบลอก (peel test) ด้วยมุม 180 ° ตามมาตรฐาน ASTM 72- 1876	57
4.1 FT-IR สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (NR) (b) น้ำยางธรรมชาติเหลว (LNR)	61
4.2 <sup>1</sup> H-NMR สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (NR) (b) น้ำยางธรรมชาติเหลว (LNR)	62
4.3 ผลการแปรปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อน้ำหนักโมเลกุลเชิงความหนืดของยางธรรมชาติเหลว ที่เวลาทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง	63
4.4 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อน้ำหนักโมเลกุลเชิงความหนืดของยางธรรมชาติเหลวที่แปรปริมาณของ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	64
4.5 FT-IR สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (b) น้ำยาง ENR 30 (c) น้ำยาง ENR 50	65
4.6 <sup>1</sup> H-NMR สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (b) น้ำยาง ENR 30 (c) น้ำยาง ENR 50	66
4.7 FT-IR สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (b) น้ำยาง LENR 30 (c) น้ำยาง LENR 50	67
4.8 <sup>1</sup> H-NMR สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (b) น้ำยาง LENR 30 (c) น้ำยาง LENR 50	68
4.9 FT- IR สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (b) น้ำยาง LENR (c) น้ำยาง OLENR	69
4.10 <sup>1</sup> H-NMR สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (b) น้ำยาง LENR (c) น้ำยาง OLENR	70
4.11 เปรียบเทียบผลของการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นต่อสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PV และ PU ของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า	73
4.12 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า	74
4.13 เปรียบเทียบสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรแต่ละชนิด	76

## รายการรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.14 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัล คาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวแต่ละชนิด (a) กาวน้ำยาง NR (b) กาวน้ำยาง LNR (c) กาวน้ำยาง ENR 30 (d) กาวน้ำยาง ENR 50 (e) กาวน้ำยาง LENR 30 (f) กาวน้ำยาง LENR 50	77
4.15 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสมที่สัดส่วนต่างๆ ของ PU/LNR (a) 100/0 (b) 70 / 30 (c) 50/50 (d) 30/70 (e) 0/100	80
4.16 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสมที่สัดส่วนต่างๆ ของ PU/ENR 30 (a) 100/0 (b) 70 / 30 (c) 50/50 (d) 30/70 (e) 0/100	84
4.17 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสมที่สัดส่วนต่างๆ ของ PU/ENR 50 (a) 100/0 (b) 70 / 30 (c) 50/50 (d) 30/70 (e) 0/100	85
4.18 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสมที่สัดส่วนต่างๆ ของ PU/LENR 30 (a) 100/0 (b) 90 / 10 (c) 80/20 (d) 70/30 (e) 0/100	88
4.19 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสมที่สัดส่วนต่างๆ ของ PU/LENR 50 (a) 100/0 (b) 90 /10 (c) 80/20 (d) 70/30 (e) 0/100	89
4.20 FT- IR สเปกตรัมของกาวพอลิยูรีเทน ที่การแปรปริมาณโมลของยาง OLENR กับไดไอโซไซยานเนตที่สัดส่วนต่างๆ (a) 1.50 :1.0 (b) 1.25 :1.0 (c) 1.0 :1.0 (d) 0.75:1.0 (e) 0.50 :1.0	90
4.21 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ PVC และ PU ของกาวพอลิยูรีเทนที่การแปรปริมาณโมลของยาง OLENR กับ ไดไอโซไซยานเนตที่สัดส่วนต่างๆ (a) 1.50 :1.0 (b) 1.25 :1.0 (c) 1.0 :1.0 (d) 0.75 :1.0 (e) 0.50:1.0	93
4.22 เปรียบเทียบสมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนต่างๆ	95

## รายการรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
ก.1 การคำนวณหาปริมาณหม้อไอพอกไชด์ของยางธรรมชาติไอพอกไชด์ (ENR 30)	107
ก.2 แสดงกราฟมาตรฐานของปริมาณหม้อไอพอกไชด์ในโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติดัดแปรชนิดต่างๆ	108
ก.3 การคำนวณหาปริมาณหม้อไอพอกไชด์ของยางธรรมชาติไอพอกไชด์ (ENR 50)	109
ก.4 การคำนวณหาปริมาณหม้อไอพอกไชด์ของยางธรรมชาติเหลวไอพอกไชด์ (LENR 30)	110
ก.5 การคำนวณหาปริมาณหม้อไอพอกไชด์ของยางธรรมชาติเหลวไอพอกไชด์ (LENR 50)	111
ก.6 การคำนวณหาปริมาณหม้อไอพอกไชด์ของยางธรรมชาติไอพอกไชด์เหลวออกซิไดซ์ (LENR )	112
ก.7 การคำนวณหาปริมาณหม้อไอพอกไชด์ของยางธรรมชาติไอพอกไชด์เหลวออกซิไดซ์ (OLENR )	113
ค.1 ลักษณะของกาวพอลิยูรีเทนสังเคราะห์ที่สัดส่วนโมลต่างๆของ OLENR: pMDI (a) 1.5:1.0 (b) 1.25:1.0 (c) 1.0:1.0 (d) 0.75:1.0 (e) 0.5:1.0	115
ง.1 ลักษณะของพื้นผิวหน้าของหนังสังเคราะห์ที่ใช้สำหรับทดสอบสมบัติการยึดติด (a) หนังสังเคราะห์ ชนิด PVC (b) หนังสังเคราะห์ ชนิด PU	116

## สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

### ตัวย่อ

ตัวย่อ	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย
EA	ethylacetate	เอทิลอะซิเตต
ENR	epoxidized natural rubber	ยางธรรมชาติอีพอกไซด์
DPG	diphenyl guanidine	ไดฟีนิลกวานิดีน
LENR	liquid epoxidized natural rubber	ยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซด์
LNR	liquid natural rubber	ยางธรรมชาติเหลว
MBTS	dibenzothiazyl disulfide	ไดเบนโซไทโอะซิลไดซัลไฟด์
MDR	moving die rheometer	เครื่องทดสอบเวลาการวัลคาไนซ์ของยาง
NR	natural rubber	ยางธรรมชาติ
6PPD	N-phenyl-N'-1,3-dimethylbutyl-p-phenylenediamine	ไดมเมทิลบิวทิลฟีนิลพาราฟีนิลลีนไดเอมีน
PU	polyurethane	พอลิยูรีเทน
PVC	Poly(vinylchloride)	พอลิไวนิลคลอไรด์
SBR	styrene-butadiene rubber	ยางสไตรีนบิวทาไดเอิน
TCI	trichloroisocyanuric acid	กรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริก
TMTD	tetramethylthiuram disulfide	เตตระเมทิลไทูรัมไดซัลไฟด์
ZnO	zinc oxide	ซิงค์ออกไซด์



## สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

### สัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย
°C	degree celsius	องศาเซลเซียส
cm	centimeter	เซนติเมตร
lbf/in	pound per inch	ปอนด์ต่อนิ้ว
kg/cm <sup>2</sup>	kilogram per centimeter square	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
mm	millimeter	มิลลิเมตร
mm <sup>2</sup>	millimeter square	ตารางมิลลิเมตร
mm/min	millimeter per minute	มิลลิเมตรต่อนาที
N/mm	newton per millimeter	นิวตันต่อมิลลิเมตร
N/mm <sup>2</sup>	newton per millimeter square	นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร
N/m <sup>2</sup>	newton per meter square	นิวตันต่อตารางเมตร
phr	part per hundred rubber	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
MPa	Mega Pascal	เมกะพาสคาล
rpm	round per minute	รอบต่อนาที

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 บทนำต้นเรื่อง

ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบสำคัญที่ใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หลายประเภท เนื่องจากยางธรรมชาติมีสมบัติเด่นหลายประการ ได้แก่ ความเหนียวติดกัน (Tack) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) และความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) จึงมีการนำยางธรรมชาติมาใช้งานในด้านต่างๆ เช่น ยางรถยนต์ ถุงมือแพทย์ ปะเก็น สายยาง สายพานลำเลียง ยางรถยนต์ กาว และอื่นๆ ประเทศไทยจัดเป็นผู้ส่งออกยางธรรมชาติรายใหญ่ของโลก ส่วนใหญ่ถูกส่งออกไปยังประเทศที่พัฒนาแล้วในรูปของยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง ยางเครพ และน้ำยางข้น โดยประเทศเหล่านั้นใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้น และส่งออกเป็นสินค้าไปยังหลายประเทศรวมทั้งประเทศไทย ทำให้เกิดปัญหาการขาดดุลทางการค้า ดังนั้นการพัฒนาอุตสาหกรรมยางธรรมชาติของประเทศแบบครบวงจร ตั้งแต่การปลูก เก็บเกี่ยว และแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าก่อนทำการส่งออก จึงเป็นสิ่งที่ควรตระหนักและให้ความสำคัญ

การดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติด้วยวิธีทางเคมี เป็นทางเลือกหนึ่งของการเพิ่มขอบเขตการใช้งานและเพิ่มมูลค่าของยางธรรมชาติให้สูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุประเภทกาวซึ่งมีบทบาทมากในอุตสาหกรรมหลายประเภท โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการกีฬา กาวที่ใช้โดยส่วนใหญ่เป็นกาวสังเคราะห์ ซึ่งมีให้เลือกมากมายหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของวัสดุที่ใช้ติดประสาน กาวพอลิยูรีเทนจัดเป็นกาวสังเคราะห์ที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมรองเท้า (Origiles-Carpena et al., 2009) เนื่องจากกาวชนิดนี้มีสมบัติการยึดติดที่ทนทาน และมีความยืดหยุ่นที่ดี แต่กาวพอลิยูรีเทนมีราคาที่สูงกว่า จึงมีแนวคิดที่จะนำยางธรรมชาติซึ่งมีสมบัติเชิงกลที่ดี และมีราคาถูก ตลอดจนยังสามารถดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลให้มีขั้วได้ มาใช้แทนหรือใช้ร่วมกับกาวสังเคราะห์ เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้งานและมูลค่าของยางธรรมชาติให้มากขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติให้มีความเป็นขั้ว เพื่อนำมาใช้แทนหรือใช้ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า ตลอดจนนำยางธรรมชาติที่มีการดัดแปรให้มีความเป็นขั้วมาทำปฏิกิริยาร่วมกับไดไอโซไซเนตเตรียมเป็นกาวพอลิยูรีเทน สำหรับยึดติดประสานระหว่างยางวัลคาไนซ์และหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU โดยมุ่งหวังเพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อทำการเตรียมและศึกษาผลของการใช้กาวน้ำยางธรรมชาติที่ดัดแปรโครงสร้างโมเลกุล และกาวน้ำยางผสมที่เตรียมจากกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรร่วมกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้าต่อสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์และหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU โดยเปรียบเทียบสมบัติกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า

2. เพื่อทำการเตรียมและศึกษาผลของการใช้กาวพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากการทำปฏิกิริยาระหว่างยางธรรมชาติดัดแปรกับไดไอโซไซยานเนต ต่อสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์และหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU โดยเปรียบเทียบสมบัติกับกาวทางการค้า

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาผลการดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติในรูปน้ำยางด้วยวิธีทางเคมี โดยการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ หรือทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน และวิเคราะห์โครงสร้าง ด้วยเทคนิค FT-IR และ  $^1\text{H NMR}$

2. เตรียมกาวพอลิยูรีเทนจากปฏิกิริยาระหว่างยางธรรมชาติดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลกับไดไอโซไซยานเนต และวิเคราะห์โครงสร้าง ด้วยเทคนิค FT-IR และ  $^1\text{H NMR}$

3. ศึกษาผลการใช้กาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร กาวน้ำยางผสม และกาวพอลิยูรีเทนต่อสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ โดยเทคนิคการทดสอบแบบลอก (Peel test) ด้วยมุม  $180^\circ$

4. ศึกษาผลการเตรียมผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นชนิดทางการค้า (Dongsung primer) และสารละลายกรดไตรไอโซไซยานูริกในเอทิลอะซิเตต ต่อสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ของกาวแต่ละชนิด

5. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นพื้นฐานในการวิจัยและพัฒนาทางด้านกาวจากยางธรรมชาติ เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในภาคอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการกีฬา

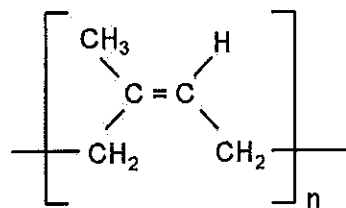
2. เพิ่มขอบเขตการใช้งานและมูลค่าของยางธรรมชาติ โดยการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติให้เหมาะสมกับลักษณะของงานมากขึ้น

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

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

ยางธรรมชาติหรือยางพาราส่วนใหญ่เป็นยางที่ได้มาจากต้นยางพาราสายพันธุ์ *Hevea Brasiliensis* ซึ่งมีแหล่งกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ มีชื่อทางเคมี คือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene) ยางธรรมชาติ 1 โมเลกุลประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (Isoprene,  $C_4H_8$ ) มาต่อกันเป็นสายยาว (แบบเส้นตรง) ดังสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แสดงในรูปที่ 2.1 ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 กรัมต่อโมล และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลในช่วงกว้างมาก ยางธรรมชาติมีความหนาแน่น เท่ากับ  $0.93 \text{ g/cm}^3$  ที่อุณหภูมิ  $20^\circ\text{C}$  มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature,  $T_g$ ) ประมาณ  $-72^\circ\text{C}$  นั้นหมายความว่าหากนำยางธรรมชาติไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $-72^\circ\text{C}$  สมบัติของยางธรรมชาติเปลี่ยนจากที่เคยยืดหยุ่นไปเป็นของแข็งเปราะคล้ายแก้ว



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ

#### 2.1.1 รูปแบบของยางธรรมชาติ

โดยทั่วไปยางธรรมชาติสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

2.1.1.1 น้ำยาง ได้จากการนำน้ำยางสดที่กรี๊ดได้จากต้นยางพารา ซึ่งมีลักษณะสีขาวขุ่น และมีปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber) ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ แขนงลอยอยู่ในน้ำ ถ้านำน้ำยางสดที่ได้มาผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ เรียกว่า น้ำยางข้น (Concentrated latex) นอกจากนี้การเติมแอมโมเนียและสารเคมีอื่นๆ ลงไป มีผลทำให้สามารถรักษาสภาพน้ำยางข้นให้นาน

2.1.1.2 ยางแห้ง ได้จากการนำน้ำยางสดที่กรี๊ดได้จากต้นยางพารามาเติมกรด เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid) กรดฟอร์มิก (Formic acid) และกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid) เป็นต้น

เพื่อให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็งแยกตัวจากน้ำ จากนั้นก็ทำการไล่ความชื้นออกจากเนื้อยางเพื่อป้องกันการติดเชื้อรา ซึ่งการทำให้ยางแห้งนี้อาจทำได้โดยนำไปตากแดดหรือผึ่งในอากาศร้อนเพื่อไล่ความชื้น ยางที่ได้เรียกว่า ยางแผ่นไม่รมควัน (Air dried sheet, ADS) แต่หากนำยางไปทำการไล่ความชื้นด้วยวิธีการอบรมควันที่อุณหภูมิประมาณ 60 - 70°C เป็นเวลา 2 - 3 วัน หรืออาจนานกว่านี้ ยางที่ได้เรียกว่า ยางแผ่นรมควัน (Ribbed smoked sheet, RSS) และสามารถแบ่งออกเป็นชั้นต่าง ๆ ด้วยสายตาดตามปริมาณสิ่งสกปรกหรือสิ่งปนเปื้อนในยาง ตั้งแต่ชั้นที่ 1 ซึ่งจัดว่าเป็นเกรดที่ดีที่สุด ถึงชั้นที่ 5 ซึ่งเป็นเกรดที่ต่ำที่สุด นอกจากนี้ยางแห้งอาจจัดจำหน่ายในรูปแบบของยางแท่ง (Block rubber) ซึ่งเป็นยางที่จัดให้มีรูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาดประมาณ 675 x 330 มิลลิเมตร หน้าประมาณ 175 มิลลิเมตร และน้ำหนักแต่ละแท่งเท่ากับ 33.33 กิโลกรัม (พชรพรณ, 2540) เตรียมได้โดยการนำยางมารีดให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีดเครฟ (Creping machine) แล้วทำการตัดย่อยแผ่นยางให้เป็นเม็ดเล็กขนาดประมาณ 24 มิลลิเมตร หลังจากอบให้แห้งแล้วจึงทำการอัดให้เป็นแท่ง

นอกจากยางแผ่นไม่รมควัน ยางแผ่นรมควัน และยางแท่งแล้ว ยางเครฟก็จัดเป็นยางแห้งรูปแบบหนึ่ง โดยได้จากการนำเศษยาง เช่น ยางกันถ้วย เศษยางที่ติดบนเปลือกไม้ หรือเศษจากแผ่นรมควัน เป็นต้น ไปรีดในเครื่องรีดเครฟ พร้อมทั้งใช้น้ำทำความสะอาดเอาสิ่งสกปรกต่าง ๆ ออกจากยางในระหว่างการรีด จากนั้นจึงนำยางแผ่นที่ได้ไปผึ่งลมให้แห้ง

### 2.1.2 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลเป็นแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่ในบางสภาวะ เช่น ที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อยางถูกยืด โมเลกุลของยางบางส่วนสามารถจัดเรียงตัวได้ค่อนข้างเป็นระเบียบ ยางจึงสามารถเกิดผลึกได้ (Crystallize) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวหรือที่เรียกว่า Strain-induced crystallization เกิดขึ้นเมื่อยางถูกยืดจนมีความยาวมากกว่าความยาวตั้งต้นประมาณ 2 - 3 เท่า การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวนี้ทำให้ยางมีสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน คือ ยางเปลี่ยนจากสภาพโปร่งแสง (Transparent) ไปเป็นทึบแสง (Opaque) ซึ่งการเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวยังคงทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น นั่นคือ ยางมีสมบัติความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการกัดถูสูงขึ้น เป็นต้น นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีสมบัติอื่นดังต่อไปนี้ (พงษ์ธร, 2547)

2.1.2.1 ความยืดหยุ่น (Elasticity) สมบัติความยืดหยุ่นเป็นลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของยางธรรมชาติ คือ ยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับยางหมดไป ยางก็เกิดการคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม หรือใกล้เคียงขนาดเดิมได้อย่างรวดเร็ว

2.1.2.2 ความเหนียวติดกัน (Tack) ยางธรรมชาติในสภาพที่ยังไม่คงรูป มีสมบัติเยี่ยมในด้านความเหนียวติดกัน ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางล้อรถยนต์ เป็นต้น

2.1.2.3 ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูงจึงทำให้ยางธรรมชาติสามารถเกิดผลึกได้ง่ายเมื่อถูกดึงยึด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง โดยปกติยางธรรมชาติมีความทนต่อแรงดึงประมาณ 20 เมกกะพาสคาล หรือมากกว่า และเมื่อมีการเติมสารตัวเติมเสริมแรง (Reinforcing filler) เข้าช่วยอาจมีค่าความทนต่อแรงดึงสูงถึง 30 เมกกะพาสคาล (Hofmann, 1989) ซึ่งสมบัตินี้ ทำใหยางธรรมชาติมีความเหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ที่มีความบาง นิ่ม และแข็งแรงได้ เช่น การทำถุงมือผ่าตัด ลูกโป่ง ถุงยางอนามัย สายยางยืด และยางรัด เป็นต้น

2.1.2.4 ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อถูกยึด ดังนั้นยางธรรมชาติจึงมีความทนทานต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูง การเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็มีส่วนช่วยให้ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของยางสูงขึ้น

2.1.2.5 สมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัตที่ดี ยางมีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีความต้านทานต่อการล้าตัว (Fatigue resistance) ที่สูงมากอีกด้วย

2.1.2.6 ความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูสูง แต่ยังคงดีกว่ายาง SBR เล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่นๆ พบว่า ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูอยู่ในกลุ่มที่สูงมาก

2.1.2.7 ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulation) ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูง โดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Specific resistivity) สูงถึง  $10^{15}$  หรือ  $10^{16}$  ohm.cm

2.1.2.8 การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature flexibility) ยางธรรมชาติยังคงรักษาสมบัติความยืดหยุ่นหรือความสามารถในการหักงอได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำมากๆ ซึ่งมีสมบัติดีกว่ายางเพียง 2 ชนิดเท่านั้น คือ ยางบิวตาไดอีน (BR) และยางซิลิโคน (Q)

## 2.2 ยางธรรมชาติลดน้ำหนักโมเลกุล

### 2.2.1 การลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติ (Roberts, 1990)

การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโดยทั่วไปจะพิจารณาถึงการนำไปใช้งานและสารเคมีที่ใช้ในการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ ซึ่งการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติสามารถแบ่งตามระดับของน้ำหนักโมเลกุล ออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในระดับต่ำ เป็นการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติให้มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย ( $\overline{M_w}$ ) อยู่ในระดับ  $4 \times 10^5 - 1 \times 10^6$  กรัมต่อโมล ซึ่งการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางในระดับนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดความหนืดของยางดิบ และเป็นการกำจัดส่วนที่แข็งที่อยู่ในยาง (Gel) ซึ่งทำได้ง่ายในโรงงานทั่วไป โดยการเติมสารเคมีลงไปในยางธรรมชาติในรูปน้ำยาง หรือยางแห้ง เพื่อตัดสายโซ่โมเลกุลของยางให้สั้นลง ซึ่งสารเคมีที่ใช้ต้องไม่ทำปฏิกิริยาที่ทำให้ความแข็งของยางเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บ

2. การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในระดับกลาง เป็นการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติให้มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย ( $\overline{M_w}$ ) อยู่ในระดับ  $1.5 \times 10^5 - 4.0 \times 10^5$  กรัมต่อโมล ซึ่งยางที่ได้จะนิ่ม และมีสมบัติการยึดติดที่ดี ดังนั้นยางประเภทนี้จึงเหมาะสำหรับใช้งานทางด้านทากาว แต่วิธีนี้มีข้อจำกัด คือ สารเคมีที่ใช้ต้องไม่ก่อให้เกิดการทำให้การเกิดออกซิเดชันมีความเสถียรและสามารถรักษาระดับของน้ำหนักโมเลกุลของยางไม่ให้ลดลงต่ำกว่าที่กำหนด เพื่อประโยชน์ในการใช้งาน

3. การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในระดับสูง เป็นการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติให้มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย ( $\overline{M_w}$ ) อยู่ในระดับต่ำกว่า  $1.5 \times 10^5$  กรัมต่อโมล หรือที่เรียกว่ายางเหลว ยางชนิดนี้มีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ได้แก่ ใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์ เพื่อช่วยในการแปรรูป และช่วยลดเวลาในการบด

4. การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในระดับพิเศษ เป็นการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยการใช้อุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นการทำให้น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย ( $\overline{M_w}$ ) อยู่ในระดับต่ำกว่า 500 กรัมต่อโมล

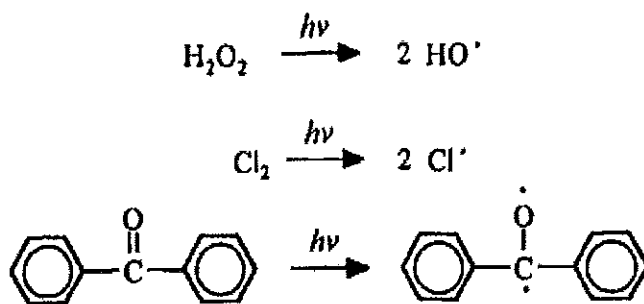
### 2.2.2 การลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติโดยใช้สารเคมี

การดีพอลิเมอร์ไรเซชันยางธรรมชาติ (Depolymerized of natural rubber) หรือการทำยางเหลว เป็นการลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติ เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น เนื่องจากยางเหลวที่เตรียมได้มีค่าการยึดติดที่สูง และมีความว่องไวต่อการเชื่อมโยง (Crosslinking) ซึ่งเหมาะกับการใช้งานด้านทากาว (Pressure sensitive adhesive) และวัสดุกันรั่วซึม (Sealing material) อีกทั้งสามารถใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์ เพื่อช่วยในการแปรรูปยางแห้งสำหรับการผลิตยางรถยนต์ ทำให้ในปัจจุบันความสนใจเรื่องการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติมีเพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางแห้งกับยางเหลวแล้ว พบว่ายางเหลวมีข้อได้เปรียบหลายประการ ได้แก่ ใช้พลังงานในการแปรรูปน้อย และสามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย ซึ่งโดยทั่วไปการดีพอลิเมอร์ไรเซชันยางธรรมชาติ ทำได้หลายวิธีดังนี้ (Tanaka *et al.*, 1999)

1. การบดยาง (Mastication) เป็นวิธีการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโดยการทำลายสายโซ่โมเลกุล ด้วยวิธีทางกลและความร้อน โดยใช้เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two - roll mill) หรือ เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) เมื่อระยะเวลาในการบดยางเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้น้ำหนักโมเลกุลของยางลดลง ส่วนการเติมสารย่อยยาง เพื่อช่วยให้บดยางได้เร็วขึ้น คือ การใช้สารประกอบอินทรีย์ใส่ลงในยางแล้วทำให้ยางนิ่มแม้จะเติมในปริมาณเพียงเล็กน้อย และช่วยลดระยะเวลาในการบด บางครั้งจึงอาจเรียกรวมสารดังกล่าวว่า สารเร่งการบดยาง (Mastication accelerator) เช่น เมอร์แคปแทน (Mercaptan) ซึ่งเป็นการป้องกันการรวมกันใหม่ของโมเลกุลยางที่ขาดออกจากกัน ซึ่งวิธีดังกล่าวจะได้ยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำ แต่มีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้าง และยากต่อการควบคุม

2. ไพโรไลซิส (Pyrolysis) เป็นวิธีที่อาศัยการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นสามารถเกิดได้ทั้งการทำลายสายโซ่ และการเชื่อมโยง หรือการกลับมารวมกันใหม่ได้ ทำให้ยากต่อการควบคุมการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล

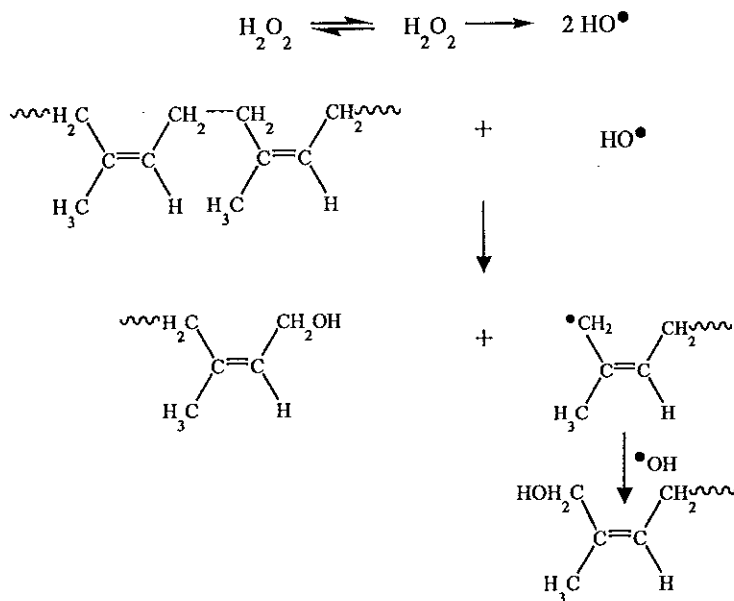
3. โฟโตเคมีคอล (Photochemical) เป็นวิธีการทำลายสายโซ่โมเลกุลโดยใช้พลังงานแสง เช่น แสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet light) ร่วมกับสารเคมี เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คลอรีน และเบนโซฟีโนน (Benzophenone) ซึ่งสามารถแตกเป็นอนุมูลอิสระได้ดังรูป 2.2 วิธีนี้สามารถเกิดขึ้นพร้อมๆกับการสลายตัวของเปอร์ออกไซด์หรือส่วนของคีโตนที่ปลายสายโซ่ ทำให้เกิดการทำลายสายโซ่ได้อย่างสมบูรณ์ แต่การที่มีความว่องไวสูงทำให้การควบคุมน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลยังทำได้ยาก และเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (Isomerization reaction) ทำให้โครงสร้างของยางเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากที่เป็นซิส (Cis-1,4-structure) ไปเป็นทราน (Trans-1,4-structure)



รูปที่ 2.2 การแตกตัวของสารจากแสงอัลตราไวโอเล็ต (Nor and Ebdon, 1998)

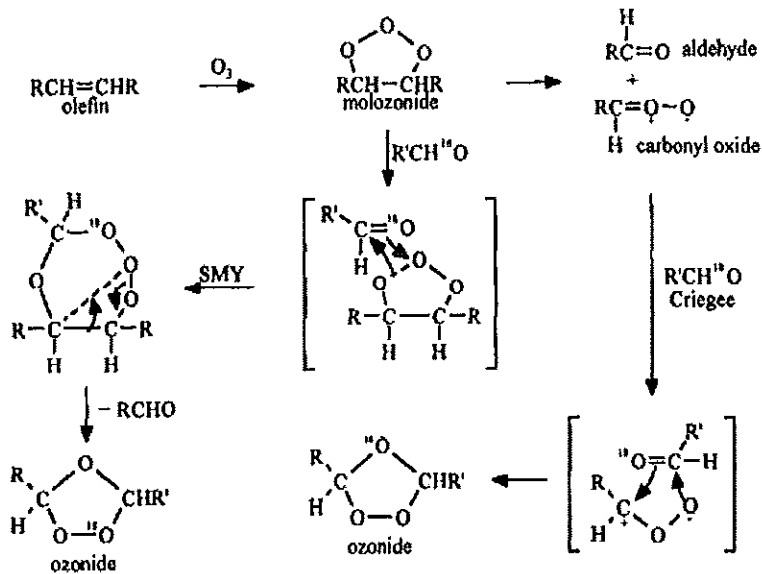


ตัวอย่างของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากโฟโตเคมีคอล โดยเริ่มจากการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต เกิดเป็นอนุมูลอิสระของไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical) อนุมูลอิสระดังกล่าวเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของยาง เกิดหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งปลายสายโซ่โมเลกุล และอนุมูลอิสระที่ใหญ่ของโมเลกุลยาง จะเข้าทำปฏิกิริยาต่อกับอนุมูลไฮดรอกซิลที่เหลือ ทำให้ปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลยางเพิ่มขึ้น ดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 กลไกการเกิดโฟโตเคมีคอลจากอนุมูลอิสระของไฮดรอกซิล (Nor and Ebdon, 1998)

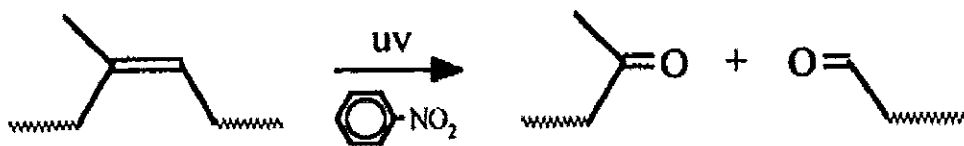
4. Chemical decomposition Ozone degradation และ Oxidative degradation โดยใช้สารออกซิไดซ์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือ ฟีนิลไฮดรราซีน ส่วนการเสื่อมสลายด้วยโอโซน (ozone degradation) ใช้เฉพาะในการวิเคราะห์ทางอุตสาหกรรมเท่านั้น เนื่องจากต้องการควบคุมปฏิกิริยาให้เกิดที่อุณหภูมิต่ำ ไม่เช่นนั้นจะเกิดโอโซนไนต์ในปริมาณที่มากซึ่งเป็นอันตรายได้ ดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 กลไกการเกิด Ozone decomposition (Nor and Ebdon, 1998)

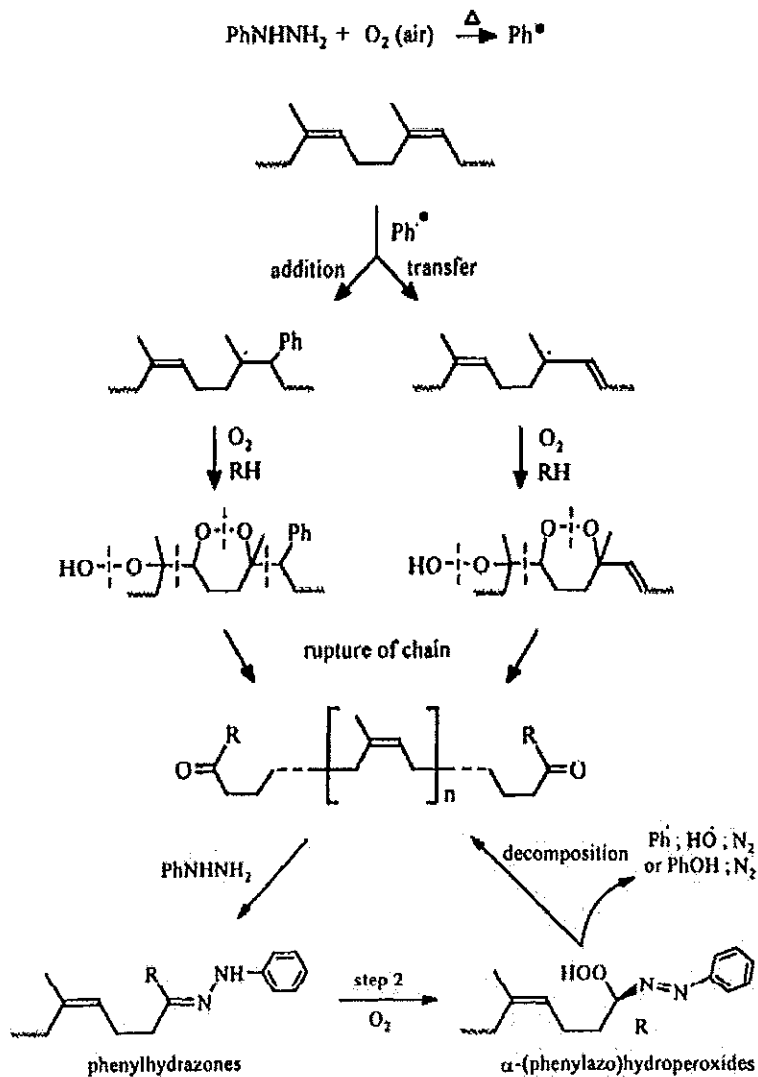
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับยางธรรมชาติเหลว

Cunneen (1973) และ Tillekeratne et al. (1977) ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar energy) ในการดีพอลิเมอร์ไรซ์ยางธรรมชาติ โดยใช้ไนโตรเบนซีน และสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะทรานซิชัน (Transition metal complex) ได้ยงที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 3000 กรัมต่อโมล ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กลไกการเกิดดีพอลิเมอร์ไรซ์ยางธรรมชาติ โดยการเติมไนโตรเบนซีน (Cunneen, 1973)

Brosse et al. (1981) เตรียมยางเหลวโดยใช้ระบบรีดอกซ์ ซึ่งสารออกซิไดซ์ที่ใช้ได้แก่ ออแกนิกเปอร์ออกไซด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และออกซิเจนในอากาศ ส่วนสารรีดิวซ์ ได้แก่ อะโรมาติกไฮไดรราซีน (Aromatic hydrazine) กรดซัลฟาณิก (Sulphalinic acid) พบว่าหมู่ปลายของยางเหลวที่เตรียมได้ อาจเป็นหมู่ฟีนิลไฮไดรราโซน (Phenylhydrazone) คาร์บอนิล หรือไฮดรอกซิล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ใช้ โดยยางเหลวที่เตรียมได้มีค่า Mn ในช่วง  $3 \times 10^3 - 3.5 \times 10^4$  กรัมต่อโมล และมีค่าการกระจายตัวระหว่าง 1.70-1.97 โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของยางธรรมชาติเมื่อใช้ฟีนิลไฮดราซีนร่วมกับออกซิเจน (Nor and Ebdon, 1998)

Gazeley and Mente (1986) ศึกษาการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในรูปน้ำยาง หรือยางแห้ง โดยใช้สารออกซิไดซ์ ได้แก่ อากาศ ออกซิเจน หรือเปอร์ออกไซด์ ร่วมกับสารรีดิวซ์ พวกสารโลหะไนไตรต์ และโลหะคลอไรด์ ซึ่งเริ่มจากการผ่านอากาศหรือออกซิเจนลงในน้ำยางที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิสูง โดยวิธีนี้เหมาะกับการเตรียมยางเหลวจากยางธรรมชาติ หรือยางอีพอกไซด์ ซึ่งเป็นการปรับปรุงสมบัติของยางเพื่อใช้ในงานด้านทากาว และควบคุมความหนืดของยางระหว่างผลิต

Tangpakdee *et al.* (1998) ศึกษาการเตรียมยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (LNR) ในรูปน้ำยาง โดยนำน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำมาทำปฏิกิริยาออกซิเดทีฟ-ดีเกรชัน (Oxidative degradation) โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 1 phr ร่วมกับ โพรพานอล 15 phr ที่อุณหภูมิ 60°C พบว่าความหนืดอินทรินซิก (Intrinsic viscosity,  $[\eta]$ ) ของยาง LNR ลดลงจาก 7.2 เป็น 5.5 เมื่อทำปฏิกิริยาผ่านไป 2 ชั่วโมง และลดลงเหลือ 6.5 เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง แต่เมื่อเติมโพรพานอลลงไปจำนวน 15 phr มีผลทำให้  $[\eta]$  ของยาง LNR ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาผ่านไป 5 ชั่วโมง พบว่าค่า  $[\eta]$  ของยาง LNR ลดลงเหลือ 0.5 ซึ่งยางที่เตรียมได้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีความเสถียร อีกทั้งยังมีสีอ่อน จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ทั้งในรูปน้ำยาง และยางแห้ง

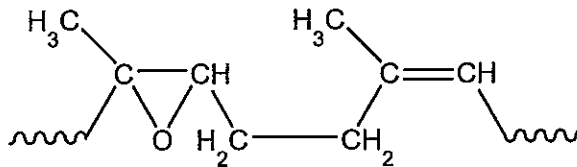
Phinyocheep *et al.* (2000) ศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซด์ (ELNR) โดยนำยางธรรมชาติในรูปน้ำยางมาทำปฏิกิริยาออกซิเดทีฟ-ดีเกรชัน (Oxidative degradation) โดยใช้ฟีนอลไฮดรอกซินร่วมกับออกซิเจน จากนั้นนำน้ำยางที่ได้ไปทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันด้วยกรดฟอร์มิกร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ได้เป็นยาง ELNR ซึ่งมีวงแหวนอีพอกไซด์เกิดขึ้นภายในสายโซ่โมเลกุล และสามารถยืนยันได้จากการตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุล ด้วยเทคนิค FT-IR และ  $^1\text{H-NMR}$  จากนั้นเมื่อนำยาง ELNR มาทำปฏิกิริยาร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าทำให้งวงแหวนอีพอกไซด์เกิดการแตกออก

Tangpakdee *et al.* (2001) ศึกษาการเตรียมยางเหลวในรูปน้ำยาง และสารละลายยาง โดยผ่านกระบวนการตัดสายโซ่โมเลกุลยางธรรมชาติ โดยใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่อุณหภูมิ 65°C ซึ่งสารที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาดีเกรชัน ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้ร่วมกับสารตัวเร่ง ได้แก่ Cobalt Chloride ( $\text{CoCl}_2$ ) Cobalt-bis-acetyl acetonate ( $\text{Co}(\text{acca})_2$ ) และ Iron Sulfate ( $\text{FeSO}_4$ ) พบว่าสารละลายยางจะมีอัตราการสลายตัวของสายโซ่โมเลกุลดีกว่าในสภาวะน้ำยาง โดยยางที่ได้มีค่าความหนืดอินทรินซิก  $[\eta]$  ลดลงจาก 5.8 เหลือ 0.7

Dileep and Avirah (2002) ศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติเหลว โดยนำยางธรรมชาติมาลดน้ำหนักโมเลกุล โดยใช้ปฏิกิริยาโฟโตเคมี จากนั้นนำยางธรรมชาติเหลวที่เตรียมได้ มาวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลด้วยเทคนิค FT-IR และ  $^1\text{H-NMR}$  พบว่ามีหมู่คาร์บอกซิลเกิดขึ้นที่ปลายสายโซ่โมเลกุล และเมื่อนำยางธรรมชาติเหลวมาใช้เป็นพลาสติกไฮเซอรัลผสมกับยาง NBR วัลคาไนซ์ พบว่ามีผลทำให้ยาง NBR มีความทนทานต่อน้ำมันดีขึ้น

### 2.3 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) (เสาวนีย์, 2546)

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) เป็นยางสังเคราะห์ที่เตรียมได้จากปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (Epoxidation) ระหว่างยางธรรมชาติ หรือยางพอลิไดอีนกับสารอีพอกซิไดซ์ ซึ่งเป็นสารจำพวกกรดเปอร์ออกซี (Peroxy acid) ทำให้เกิดการเติมออกซิเจนเข้าไปในโมเลกุลของยางตรงบริเวณพันธะคู่ เกิดเป็นวงแหวนอีพอกไซด์ ดังสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แสดงในรูปที่ 2.7 ยาง ENR สามารถเตรียมได้ทั้งในสภาวะที่เป็นน้ำยาง (Latex state) และในสภาวะสารละลาย (Solution state) ซึ่งระดับการเกิดอีพอกไซด์มีตั้งแต่ 10-50 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ยางที่ได้มีความเป็นขี้สูง เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ



รูปที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR)

#### 2.3.1 การเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์

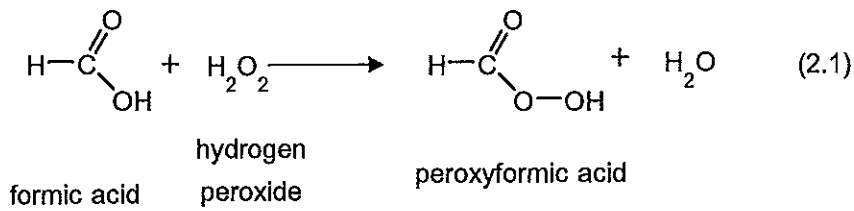
ยาง ENR สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (Epoxidation) ยางธรรมชาติ โดยใช้กรดเปอร์ออกซี (Peroxy acid) เป็นสารอีพอกซิไดซ์ ซึ่งสามารถเตรียมได้ทั้งในสภาวะที่เป็นน้ำยาง (Latex state) และในสภาวะสารละลาย (Solution state)

##### 2.3.1.1 การเตรียมในสภาวะน้ำยาง

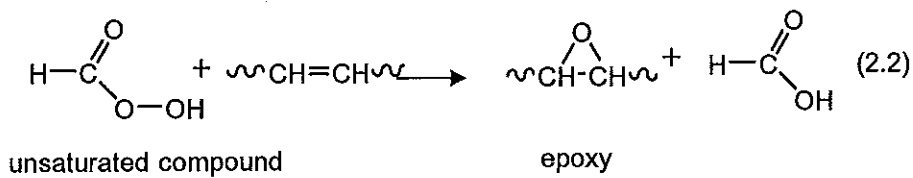
การเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในสภาวะน้ำยาง สามารถทำได้ดังต่อไปนี้

1. น้ำยางที่ใช้สำหรับเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ จำเป็นต้องทำให้อนุภาคยางมีความเสถียรก่อน เพื่อมิให้น้ำยางเกิดการรวมตัวเป็นก้อน โดยใส่สารปรับสภาพผิวอนุภาคน้ำยาง เช่น สารเพิ่มความเสถียรชนิดที่ไม่มีประจุ (Non-ionic surfactant) ประเภทเอทิลีนออกไซด์ ซึ่งสารเคมีนี้จะสูญเสียสภาพความเสถียรที่อุณหภูมิสูงขึ้น (ประมาณ 40-50°C)

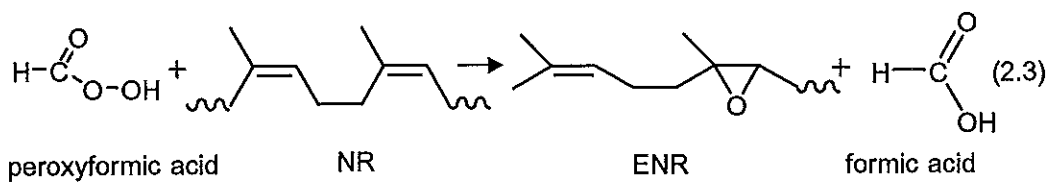
2. เตรียมสารละลายกรดเปอร์ออกซีฟอร์มิก (Peroxyformic acid) เพื่อใช้ในการอีพอกซิไดซ์ยางธรรมชาติ โดยใช้กรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำปฏิกิริยากันเกิดกรดเปอร์ออกซีฟอร์มิกและน้ำ ดังสมการที่ 2.1 หากใช้กรดอ่อน เช่น กรดอะซิติก จำเป็นต้องมีการเติมสารตัวเร่งที่เป็นกรดลงไปอีก ได้แก่ กรดซัลฟูริก เป็นต้น



กรดเปอร์ออกซีฟอร์มิกที่เกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดการอิพอกซิเดชันอย่างรวดเร็วในโครงสร้างโมเลกุลที่ไม่อิ่มตัว ดังสมการที่ 2.2



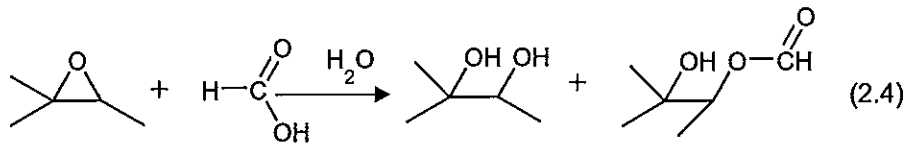
3. เติมสารละลายกรดเปอร์ออกซีฟอร์มิกลงในน้ำยางที่ทำการปรับสภาพผิวอนุภาคเรียบร้อยแล้ว กรดเปอร์ออกซีฟอร์มิกที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาอิพอกซิเดชันกับยางธรรมชาติตรงตำแหน่งพันธะคู่ ที่อุณหภูมิ 60-70°C เกิดเป็นยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ที่มีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างของยางธรรมชาติและได้กรดฟอร์มิกกลับคืนมา ดังสมการที่ 2.3 ซึ่งการเกิดอิพอกซิเดชันของยางธรรมชาติจะมากหรือน้อย ขึ้นกับปริมาณของสารเปอร์ออกไซด์



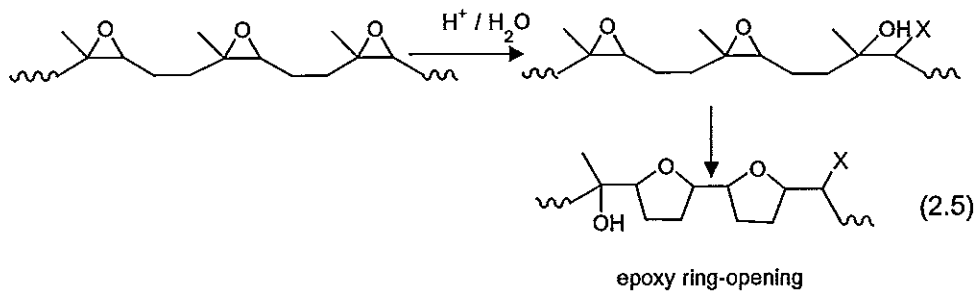
4. เมื่อได้น้ำยางอิพอกซิไดซ์แล้ว ต้องทำให้เป็นกลางด้วยด่างก่อนการทำให้น้ำยางเกิดการจับตัวเป็นก้อนด้วยความร้อน ต่อจากนั้นจึงสังเคราะห์ยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ด้วยน้ำ และทำให้แห้งด้วยอากาศร้อน

กลไกของปฏิกิริยาข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้น

ปฏิกิริยาการอิพอกซิไดซ์นี้เกิดขึ้นตรงตำแหน่งพันธะคู่ในยางเร็วมาก จำเป็นต้องระวังปฏิกิริยาข้างเคียงซึ่งอาจเกิดขึ้น เพราะในขณะที่เกิดปฏิกิริยามีน้ำและกรดอยู่ด้วย ทำให้ห่วงแหวนที่มีออกซิเจนอยู่ในโมเลกุลเปิดออก ดังปฏิกิริยาในสมการที่ 2.4 และสมการที่ 2.5



หรือ

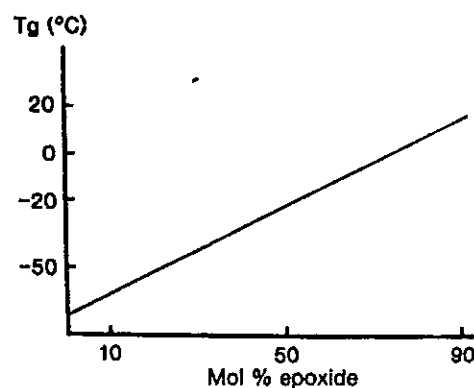


### 2.3.1.2 การเตรียมในสถานะสารละลาย

ยางแห้งที่นำมาทำให้เกิดอีพอกซิเดชัน จำเป็นต้องทำให้เป็นสารละลายยางก่อน โดยนำยางมาละลายในคลอโรฟอร์ม โทลูอีน หรือเบนซิน ต่อจากนั้นจึงเติมสารอีพอกซิไดซ์โมเลกุลของยางธรรมชาติ เช่น กรดเปอร์ออกซีเบนโซอิก หรือกรดเปอร์ออกซีฟอร์มิก เช่นเดียวกับกรณีการเตรียมในสถานะน้ำยาง

### 2.3.2 สมบัติและการใช้งานของยาง ENR

ยาง ENR มีสมบัติส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่มีในโครงสร้าง มีความต้านทานต่อแรงดึงสูงเช่นเดียวกับยางธรรมชาติ กล่าวคือจะเกิดผลึกขณะได้รับแรงดึง และที่ระดับปริมาณของวงแหวนอีพอกไซด์ต่างกัน มีผลทำให้อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน ( $T_g$ ) แตกต่างกัน กล่าวคือ เมื่อระดับการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันเพิ่มขึ้นทุกๆ 1 โมลเปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้  $T_g$  มีค่าเพิ่มขึ้น  $1^\circ\text{C}$  ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $T_g$  กับจำนวนโมลเปอร์เซ็นต์อีพอกไซด์ แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $T_g$  กับจำนวนโมลเปอร์เซ็นต์อีพอกไซด์ในยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Roberts, 1990)

### 2.3.2.1 สมบัติที่สำคัญของยาง ENR

1. ยาง ENR มีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล ทำให้ยางมีความเป็นขั้วมากขึ้น สามารถทนทานต่อน้ำมันได้เช่นเดียวกับยางไนไตรล์
2. สามารถทนทานต่อโอโซนและการซึมผ่านของอากาศดีใกล้เคียงกับยางบิวไทล์ เพราะพันธะคู่ในโครงสร้างยางธรรมชาติมีปริมาณลดน้อยลง และมีกลุ่มของอีพอกซิไดซ์เกิดขึ้นแทนที่พันธะคู่ ทำให้โมเลกุลของยางเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น
3. ผลิตภัณฑ์ยางที่วัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน มีสมบัติความต้านทานต่อความร้อนไม่ดี และยางมีความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลยางตรงตำแหน่งที่มีออกซิเจนมารวมตัวกันเป็นวงแหวนที่ไม่แข็งแรง วงแหวนอาจเปิดออกและเกิดการเชื่อมโยงแบบพันธะอีเทอร์เกิดขึ้น (Ether crosslink)

### 2.3.2.2 การใช้งานยาง ENR

1. ใช้ในอุตสาหกรรมรองเท้า โดยทำหน้าที่เป็นกาวหรือสารยึดติด
2. ใช้ในอุตสาหกรรมการทำสี ทำให้เกิดการยึดติดดี
3. ใช้ในอุตสาหกรรมยางรถยนต์ ทำให้ทนทานต่อการซึมของอากาศดี
4. ใช้เป็นตัวเชื่อมระหว่างยางและพลาสติก เช่น พีวีซี

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับยาง ENR

Bac *et al.* (1991) ศึกษาผลการเติมสารเพิ่มความเสถียร ชนิดนอนไอออนิก (Verol S-15) จำนวน 3-5 phr และความเข้มข้นของกรดฟอร์มิคที่ใช้สำหรับเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) พบว่าการเติมสารเพิ่มความเสถียร ทำให้น้ำยาง ENR ไม่เกิดการเสียสภาพระหว่างการทำปฏิกิริยา และความเข้มข้นของกรดฟอร์มิคมีผลต่อค่า pH ของน้ำยาง ENR ขณะทำปฏิกิริยา โดยเมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่า pH ของน้ำยาง ENR ลดลงมากขึ้น

Vernekar *et al.* (1992) ศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติที่ใช้เตรียมยาง ENR ที่ความเข้มข้น 20, 30, 40, 50 และ 60 % โดยน้ำหนัก พบว่าความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติไม่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระของยาง ENR แต่มีผลต่อการเสียสภาพของยาง ENR โดยเมื่อความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น มีผลทำให้น้ำยาง ENR เสียสภาพเร็วขึ้น ซึ่งยาง ENR ที่เตรียมโดยใช้น้ำยางธรรมชาติที่มีความเข้มข้น 60 และ 50 % โดยน้ำหนัก เกิดการเสียสภาพเมื่อทำปฏิกิริยาผ่านไป 0.5 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ



Klinklai *et al.* (2003) ศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซด์ (ELNR) โดยนำน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ มาทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันโดยใช้กรดเปอร์อะซิติก ที่มีความเข้มข้น 33 % โดยมวลต่อปริมาตร จากนั้นนำมาทำปฏิกิริยาลดน้ำหนักโมเลกุล โดยใช้แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตร่วมกับโพพานอล เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อนำยาง ELNR ที่เตรียมได้ไปตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR และ  $^1\text{H-NMR}$  พบว่าเกิดหมู่อีพอกไซด์ หมู่อัลดีไฮด์ และหมู่คาร์บอนิลขึ้นในสายโซ่โมเลกุลของยาง ELNR โดยยาง ELNR มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 105 กรัมต่อโมล ซึ่งปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นในสายโซ่โมเลกุล มีผลทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว ( $T_g$ ) ของยางเพิ่มขึ้น

Nakason *et al.* (2001) ศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ โดยนำยางธรรมชาติในรูปน้ำยางมาทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน โดยใช้กรดฟอร์มิกร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และใช้สบู่อินทรีย์ ไอออนิก เป็นสารเพิ่มเสถียรภาพให้กับน้ำยาง ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR พบว่าปรากฏสัญญาณที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 และ 1240  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งยืนยันการเกิดหมู่อีพอกไซด์ภายในสายโซ่โมเลกุล โดยปริมาณของหมู่อีพอกไซด์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และยาง ENR ที่เตรียมได้มีอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว ( $T_g$ ) สูงกว่ายางธรรมชาติ

Chuayjuljit *et al.* (2006) เตรียมยาง ENR จากน้ำยางธรรมชาติ โดยนำมาทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน ด้วยกรดฟอร์มิกร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 4, 8 และ 12 ชั่วโมง จากนั้นนำยาง ENR ที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR และ  $^1\text{H-NMR}$  พบว่าปรากฏสัญญาณที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 และ 1240  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งยืนยันการเกิดหมู่อีพอกไซด์ในสายโซ่โมเลกุล และพบว่าปริมาณของการเกิดหมู่อีพอกไซด์เพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โดยยาง ENR ที่เตรียมได้มีปริมาณหมู่อีพอกไซด์เท่ากับ 20 45 และ 65 โมลเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อนำยาง ENR ที่ได้มาทดสอบความทนต่อน้ำมัน พบว่ายาง ENR มีสมบัติทนต่อน้ำมันได้ดี โดยปริมาณของหมู่อีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ง่าย ENR มีสมบัติความทนต่อน้ำมันมากขึ้น

Poh and Lim (2008) ศึกษาสมบัติการยึดติดระหว่างแผ่นฟิล์ม PET กับกาว Pressure sensitive ที่เตรียมจากยางเบลนดระหว่างยางธรรมชาติ เกรด SMR 10 กับยาง ENR 25 และ ENR 50 (SMR10/ENR25 SMR 10/ENR 50 ENR 25/ENR 50) ที่สัดส่วน 0 - 100เปอร์เซ็นต์ โดยกาวทุกสูตรทำการเติม cumarone idene resin จำนวน 40 phr และใช้โทลูอีนเป็นตัวทำละลาย เมื่อทำการทดสอบสมบัติการยึดติดระหว่างกาวกับแผ่นฟิล์ม PET ด้วยเทคนิคแบบลอก (Peel test) ด้วยมุม 180° พบว่ากาวยางเบลนด์ SMR10/ENR25 ที่สัดส่วน 60/40 ให้สมบัติการยึดติดดีที่สุด เมื่อเทียบกับกาวชนิดอื่น เนื่องจากกาวที่สัดส่วนนี้มีความเข้ากันได้ดีที่สุด จึงส่งผลให้สมบัติการยึดติดของกาวดี โดยค่าความแข็งแรงในการยึดติดเท่ากับ 88 นิวตันต่อเมตร

## 2.4 วัสดุติดประสาน (Adhesive)

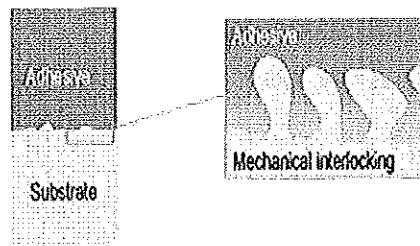
วัสดุติดประสาน หรือกาวเป็นวัสดุที่ใช้สำหรับยึดติดวัสดุตั้งแต่สองชิ้นเข้าด้วยกัน โดยกาวส่วนใหญ่เป็นวัสดุประเภทพอลิเมอร์สังเคราะห์ ซึ่งมีให้เลือกมากมายหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของวัสดุที่ใช้ติดประสาน ซึ่งกาวสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. กาวประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เป็นพอลิเมอร์แข็ง มีสมบัติการยึดติดดี และอ่อนตัวได้ที่อุณหภูมิห้อง ได้แก่ กาวลาเทกซ์

2. กาวประเภทเทอร์โมเซตติง (Thermosetting) มีลักษณะเป็นพอลิเมอร์แข็ง ทนต่อความร้อน และไม่ละลายในตัวทำละลาย ได้แก่ กาวอีพอกซี และกาวยูรีเทน

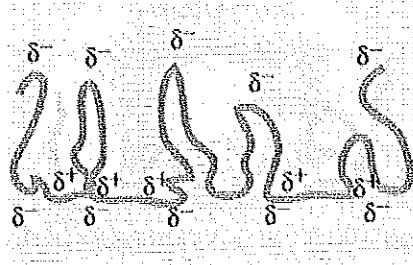
การยึดติดของกาวขึ้นอยู่กับแรงกระทำที่เกิดขึ้นระหว่างกาวกับวัสดุ (Adhesion) หรือเกิดขึ้นภายในกาวหรือวัสดุเอง (Cohesion) จึงควรเตรียมพื้นผิวของวัสดุก่อนทำการยึดติดด้วยกาว เนื่องจากสิ่งสกปรกและความชื้น มีผลทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของกาวกับวัสดุลดลง การที่จะให้วัสดุสองชิ้น (หรือมากกว่า) ติดเข้าด้วยกันนั้น จำเป็นต้องทำให้อะตอมของวัสดุทั้งสองเข้าใกล้กันมากที่สุด และเพียงพอที่ทำให้เกิดแรงกระทำระหว่างโมเลกุล โดยปกติควรมีระยะห่างไม่เกิน 3-10 Å (Angstrom, อังสตรอม) หากเกินระยะนี้แรงดังกล่าวจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งกลไกการยึดติดของกาวและวัสดุ สามารถอธิบายด้วยทฤษฎีต่าง ๆ ดังนี้ (Petrie, 2008a)

1. Mechanical interlocking เป็นแรงยึดติดทางกลที่เกิดจากการยึดติดระหว่างโมเลกุลของกาวกับวัสดุ เนื่องจากการไหล หรือการซึมผ่านของกาวเข้าไปตามช่องว่างบนพื้นผิวของวัสดุ ซึ่งการเตรียมผิวของวัสดุด้วยวิธีทางกล เช่น การขัดด้วยกระดาษทราย มีผลทำให้แรงยึดติดเชิงกลระหว่างกาวและวัสดุเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวในการยึดติดให้มากขึ้น



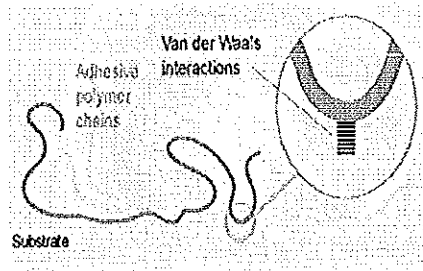
รูปที่ 2.9 แรงยึดติดทางกล (Petrie, 2008a)

2. Electrostatic theory เป็นการยึดติดเนื่องจากแรงทางไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอนเข้าหาตัวเอง (Electronegativities) ที่แตกต่างกันระหว่างกาวกับพื้นผิววัสดุ ทำให้เกิดชั้นของการยึดติดที่เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวทางไฟฟ้า เช่น การยึดติดระหว่างพอลิเมอร์อินทรีย์กับโลหะ



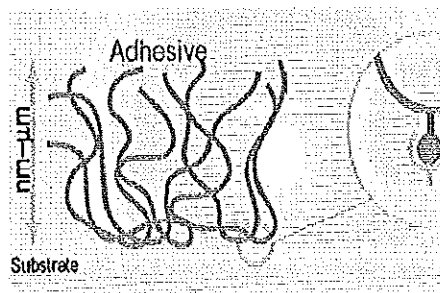
รูปที่ 2.10 การยึดติดด้วยแรงทางประจุไฟฟ้า (Petrie, 2008a)

3. Adsorption mechanism เป็นการยึดติดด้วยแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของกาวและวัสดุ เนื่องจากแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waal) ที่บริเวณผิวสัมผัสของกาวกับวัสดุ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการยึดติดชนิดนี้ ขึ้นอยู่กับความสามารถในการไหลของกาวครอบคลุมพื้นที่ผิววัตถุ ดังนั้นกาวที่ดีควรมีแรงดึงผิวต่ำ



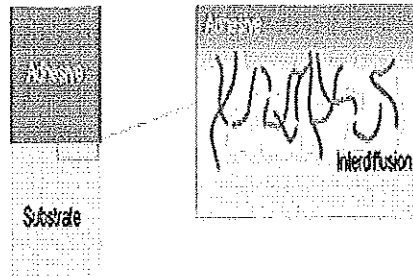
รูปที่ 2.11 การยึดติดด้วยแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของกาวและวัสดุ (Petrie, 2008a)

4. Chemisorption theory เป็นการยึดติดที่เกิดจากพันธะเคมีบริเวณผิวสัมผัสระหว่างกาวกับวัสดุ ซึ่งความแข็งแรงของการยึดติดขึ้นอยู่กับชนิดของพันธะที่เกิดขึ้น โดยถ้าพันธะที่เกิดขึ้นมีความแข็งแรง ก็จะส่งผลต่อสมบัติการยึดติดของกาวกับวัสดุ



รูปที่ 2.12 การยึดติดที่เกิดจากพันธะเคมี (Petrie, 2008a)

5. Diffusion theory เป็นการยึดติดเนื่องจากการแพร่ของสายโซ่โมเลกุล โดยเกิดจากการเคลื่อนไหว และบิดตัวของโมเลกุลที่อยู่ระหว่างพื้นผิวของกาวและวัสดุ ทำให้เกิดการเกี่ยวพันกันระหว่างโมเลกุลของกาว และโมเลกุลที่พื้นผิวของวัสดุ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการแพร่ผ่านของโมเลกุล ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำหนักโมเลกุลของกาว และสภาพผิวของกาวกับวัสดุที่ใช้



รูปที่ 2.13 การยึดติดที่เกิดจากการแทรกผ่านรวมกันของโมเลกุล (Petrie, 2008a)

#### 2.4.1 ประเภทของกาว (นาฎยา, 2545)

##### 2.4.1.1 สารละลายกาว (Solvent adhesive)

เป็นกาวที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรม และสายพาน เนื่องจากกาวชนิดนี้มีการแข็งตัวเร็ว มีสมบัติการยึดติดดี ทนทานน้ำ และสามารถปรับปรุงให้เกิดพันธะที่แข็งแรงได้ แต่การใช้กาวประเภทนี้ต้องระมัดระวังในเรื่องของอันตรายที่เกิดจากตัวทำละลายที่เป็นสารระเหยง่าย ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ใช้หากมีการสูดดม และตัวทำละลายบางชนิดอาจติดไฟได้ง่าย จึงต้องมีการเก็บกาวให้มิดชิด และเหมาะสม ตัวอย่างของกาวชนิดนี้ได้แก่ กาวสารละลายจากยางธรรมชาติ กาวพอลิเอไมด์ เป็นต้น

##### 2.4.1.2 Hot melt adhesive

กาวชนิดนี้อยู่ในรูปของแข็ง สามารถใช้งานได้โดยการให้ความร้อน ทำให้กาวเกิดการหลอม เมื่อเย็นตัวจะแข็งตัวได้เร็ว ดังนั้นนิยมใช้ในอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตที่ต้องการความเร็ว แต่ข้อเสียคือใช้กับงานที่ต้องการความละเอียด มีพื้นที่ผิวมากไม่ได้ และพื้นผิววัสดุที่ใช้สำหรับยึดติดต้องทนความร้อนสูง วัสดุที่นิยมใช้เตรียมกาวชนิดนี้ได้แก่ ไนลอน (Nylon) พอลิเอสเตอร์ (Polyester) เอธิลีนไวนิลอะซิเตต (Ethylene vinyl acetate)

##### 2.4.1.3 Reactive adhesive

กาวชนิดนี้เป็นกาวที่สามารถเกิดพอลิเมอร์ไรซ์ได้ โดยข้อดีของกาวชนิดนี้คือ มีการแข็งตัวที่เร็วมากที่อุณหภูมิห้องเมื่อเปรียบเทียบกับกาว Hot melt ดังนั้นในการเก็บรักษากาวชนิดนี้จึงเป็นปัญหาสำคัญ อีกทั้งยังมีราคาแพง ตัวอย่างกาวชนิดนี้ได้แก่ กาวอีพอกซีเรซิน (Epoxy resin adhesive) กาวอะคริลิก (Acrylic monomer adhesive) และกาวไอโซไซยานาต เป็นต้น

**2.4.1.4 Pressure sensitive adhesive**

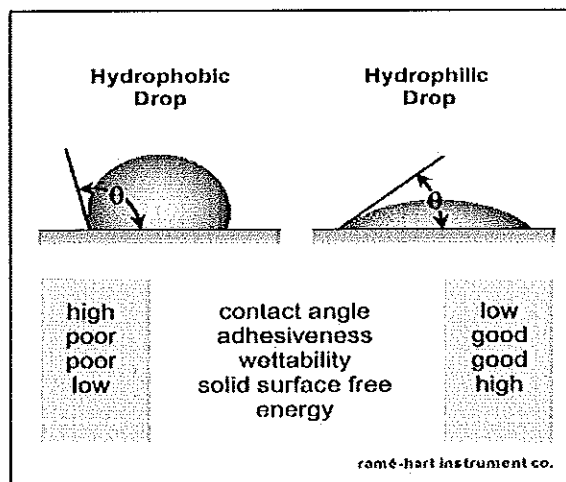
เป็นกาวที่มักเตรียมให้อยู่ในรูปของแถบกาว (Tape) โดยเคลือบกาวลงบนแผ่นเซลโลเฟน (Cellophane) พอลิเอทิลีน และพีวีซี ซึ่งวัสดุที่นิยมนำมาผลิตกาวชนิดนี้คือ ยางธรรมชาติ และสไตรีนบิวทาไดอีนสไตรีน (SBS) กาวชนิดนี้นิยมใช้มากในด้านการแพทย์ทั้งด้านการผ่าตัด

**2.4.1.5 กาวอิมัลชัน (Emulsion adhesive)**

เป็นกาวที่เตรียมอยู่ในรูปน้ำยาง สามารถใช้ได้ดีกับวัสดุที่พื้นผิวมีความเป็นรูพรุน (Porous substrate) ได้แก่ ไม้ และกระดาษ เนื่องจากกาวชนิดนี้มีน้ำเป็นส่วนประกอบที่เป็นน้ำอยู่ จึงสามารถซึมเข้าไปในผิววัสดุได้ดี แต่การที่กาวชนิดนี้มีน้ำเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้มีการเซ็ดตัวซ้ำ อีกทั้งยังมีอายุการเก็บที่สั้น วัสดุที่นิยมใช้เตรียมกาว ได้แก่ น้ำยางธรรมชาติ น้ำยางพอลิไวนิลอะซิเตต เป็นต้น

**2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการยึดติดระหว่างกาวกับวัสดุ**

1. มุมสัมผัสระหว่างกาวซึ่งเป็นของเหลวและพื้นผิวของวัสดุที่เป็นของแข็ง มีผลต่อสมบัติการยึดติดของกาว โดยมุมสัมผัสระหว่างกาวและพื้นผิวของวัสดุ ต้องทำมุมไม่เกิน 90 องศา ซึ่งมุมสัมผัสระหว่างกาววัสดุขึ้นอยู่กับพลังงานพื้นผิวของวัสดุ (Surface energy) และความหนืดของกาว ดังนั้นการเตรียมผิวหน้าวัสดุก่อนการติดประสาน จึงเป็นการปรับปรุงสมบัติการเปียกผิวระหว่างกาวกับวัสดุให้ดีขึ้น และไม่ควรรใช้กาวที่มีความหนืดมากเกินไป เนื่องจากมีผลทำให้การเปียกผิวของกาวบนผิววัสดุไม่ดี



รูปที่ 2.14 มุมสัมผัสระหว่างกาวและพื้นผิววัสดุ (Rame, 2008)

2. การเตรียมพื้นผิวของวัสดุ เป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดระหว่างกาวและพื้นผิวของวัสดุ เนื่องการเตรียมผิววัสดุก่อนการยึดติด เป็นการปรับปรุงพลังงานพื้นผิวของวัสดุ ทำให้สมบัติการเปียกผิวระหว่างกาวกับวัสดุดีขึ้น อีกทั้งยังเป็นการขจัดชั้นของสิ่งที่ไม่ต้องการออกจากผิวของวัสดุ ได้แก่ สิ่งสกปรก โลหะออกไซด์ และสารอินทรีย์บางชนิด ซึ่งมีผลต่อสมบัติการยึดติดของกาว โดยการเตรียมผิววัสดุมีให้เลือกใช้หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิด และลักษณะของพื้นผิววัสดุ ดังนี้

2.1 การขัดผิว (Abrasion) เป็นการเตรียมผิวหน้าวัสดุ ด้วยวิธีการขัดหรือการฟ้นเพื่อขจัดชั้นของสารปนเปื้อนที่เป็นชั้นอ่อนแอออกจากผิวหน้าวัสดุ ได้แก่ ชั้นของโลหะออกไซด์บนผิวหน้าของโลหะ ซึ่งการเตรียมผิวด้วยวิธีนี้ เป็นการเพิ่มพื้นผิวของวัสดุ (Surface area)

2.2. การทำความสะอาด (Cleaning) เป็นการเตรียมผิวหน้าวัสดุด้วยการใช้ตัวทำละลาย (Solvent cleaning) และสารเคมี (Chemical cleaning) ซึ่งการเตรียมผิววัสดุด้วยวิธีนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดชั้นของสิ่งปนเปื้อนออกจากผิวหน้าวัสดุ เพื่อเพิ่มพลังงานพื้นผิว (Surface energy) และสมบัติการเปียกผิวของวัสดุ โดยการทำความสะอาดผิวหน้าวัสดุ สามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของวัสดุ ดังนี้

2.2.1 การจุ่มในตัวทำละลาย (Solvent dip) เป็นวิธีการเตรียมผิวหน้าวัสดุ โดยการจุ่มวัสดุลงในตัวทำละลาย เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อน ได้แก่ สารจำพวกน้ำมัน ออกจากผิวของวัสดุ แต่การเตรียมผิววัสดุด้วยวิธีนี้อาจเกิดการปนเปื้อนของตัวทำละลายบนผิวหน้าของวัสดุ

2.2.2 การเช็ดด้วยตัวทำละลาย (Solvent wipe) เป็นการเตรียมผิวหน้าวัสดุ โดยการเช็ดผิวหน้าวัสดุ ด้วยผ้าหรือวัสดุที่ทนต่อตัวทำละลายที่ใช้สำหรับเช็ดผิวหน้าวัสดุ จนกระทั่งผิวหน้าวัสดุมีความสะอาด และปราศจากสิ่งปนเปื้อน ซึ่งการเตรียมผิวหน้าวัสดุด้วยวิธีนี้ มีขั้นตอนที่ง่ายไม่ยุ่งยาก และประหยัด จึงเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก แต่การเตรียมผิวด้วยวิธีนี้อาจเกิดการปนเปื้อนของเศษวัสดุที่นำมาเช็ดบนผิววัสดุได้

2.2.3 การใช้ไอของตัวทำละลาย (Vapor degreasing) เป็นวิธีการเตรียมผิววัสดุที่นิยมใช้กับวัสดุที่มีร่อง หรือรอยแตก เนื่องจากไม่สามารถใช้วิธีการเช็ดด้วยตัวทำละลายได้

2.2.4 การใช้สารที่มีฤทธิ์กัดกร่อน (Etching) เป็นการใส่สารเคมีที่มีฤทธิ์กัดกร่อน ได้แก่ กรดโครมิก (Chromic acid) กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) และกรดไนตริก (Nitric acid) เพื่อขจัดสิ่งสกปรก และชั้นของสารปนเปื้อนออกจากผิววัสดุโดยใช้สารที่มีฤทธิ์กัดกร่อน นิยมใช้สำหรับเตรียมผิววัสดุจำพวกโลหะ

ตารางที่ 2.1 ชนิดของสารกัดกร่อนที่ใช้สำหรับเตรียมผิววัสดุแต่ละประเภท

ประเภทวัสดุ	ชนิดของสารกัดกร่อน
อะลูมิเนียม	กรดโครมิก
เหล็ก	กรดซัลฟิวริก
ทองแดง	กรดไนตริก
ทิตเนียม	อัลคาไลด์เปอร์ออกไซด์

2.2.5 การใช้น้ำเกลือ (Pickling) เป็นการกำจัดสิ่งปนเปื้อนบนผิวหน้าวัสดุ โดยใช้น้ำเกลือ ได้แก่ การกำจัดชั้นของออกไซด์บนผิวของโลหะ แต่วิธีการนี้เหมาะกับสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับต่าง

2.3. การเปลี่ยนแปลงผิวหน้าวัสดุ (Conversion) เป็นการเตรียมผิวโดยการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและพันธะของผิวหน้าเดิม ทำให้ผิวหน้าของวัสดุที่ผ่านการเตรียมผิว มีความเป็นขั้วเกิดขึ้น ได้แก่ หมูไฮดรอกไซด์ ซึ่งส่งผลให้พลังงานพื้นผิวของวัสดุเพิ่มขึ้น ทำให้สมบัติการเปียกผิวของกาวบนวัสดุดีขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงผิวหน้าวัสดุสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

2.3.1 การใช้สารละลายกรดฟอสฟอริก (Phosphating) เป็นการเตรียมผิวหน้าวัสดุ โดยนำวัสดุที่ใช้สำหรับติดประสานจุ่ม หรือสเปรย์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid solution) เพื่อเพิ่มสมบัติความต้านทานต่อการกัดกร่อน (Corrosion resistant) และเพิ่มสมบัติการยึดติดระหว่างวัสดุกับกาว โดยส่วนใหญ่วิธีนี้ใช้สำหรับเตรียมผิวหน้าวัสดุจำพวกโลหะ

2.3.2 การยิงด้วยอนุภาคของไอออนแก๊ส (Plasma treatment) เป็นการเตรียมผิวหน้าวัสดุ โดยการยิงอนุภาคไอออนของแก๊ส ได้แก่ อาร์กอน ฮีเลียม และออกซิเจน ลงบนผิวหน้าของวัสดุ ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งการเตรียมผิวด้วยวิธีนี้มีจุดประสงค์เพื่อขจัดสิ่งปนเปื้อนจำพวกสารอินทรีย์ออกจากผิวหน้าวัสดุ และเป็นการปรับปรุงสมบัติการเปียกผิวของกาวบนพื้นผิวของวัสดุ (Kang et al., 1998) แต่การปรับผิวหน้าวัสดุด้วยวิธีนี้ไม่ได้รับความนิยมในด้านอุตสาหกรรม เนื่องจากระบบนี้ต้องทำภายใต้สภาวะสุญญากาศ จึงเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก และสิ้นเปลือง (Romero-Sanchez and Martin-Martinez, 2005)

2.3.3 การเตรียมผิวโดยใช้ความร้อนจากเปลวไฟ (Flame treatment) เป็นการเตรียมผิววัสดุ เพื่อเพิ่มสมบัติการยึดติดระหว่างกาวกับวัสดุ โดยใช้กระบวนการออกซิเดชัน ด้วยเปลวไฟที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ  $2000^{\circ}\text{C}$  ซึ่งส่งผลทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) ขึ้นบนผิวหน้ายาง และอนุมูลอิสระเหล่านี้ก็เข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิดหมู่คาร์บอนิลที่บริเวณผิวหน้าของวัสดุ (Dowcorning Co.,Ltd, 2008)

2.3.4 การเตรียมผิวหน้าวัสดุโดยใช้แรงดันไฟฟ้าสูง (Corona discharge treatment) เป็นการเตรียมผิววัสดุ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าที่ให้ความต่างศักย์ และความถี่สูง ทำให้พันธะของโมเลกุลบนผิวหน้าวัสดุขาดออกจากกันเกิดเป็นอนุมูลอิสระ โดยไอออนของอากาศที่เกิดการแตกตัวอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้า จะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระบนผิวหน้าวัสดุ (Sang, 2008) ทำให้เกิดหมู่มีขั้วขึ้นบนผิวหน้า ซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานพื้นผิวของวัสดุ ทำให้สมบัติการเปียกผิวของกาวบนพื้นผิววัสดุดีขึ้น (Romero-sanchez et al., 2005)

3. โครงสร้างของวัสดุ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการยึดติดของกาว ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้กาวให้เหมาะสมกับโครงสร้างของวัสดุ โดยวัสดุที่โครงสร้างมีรูพรุน เช่น ไม้และกระดาษนั้นเหมาะกับการใช้กาวที่มีความหนืดต่ำ เนื่องจากกาวสามารถไหลแทรกซึมเข้าไปได้ดี ทำให้การยึดติดระหว่างกาวและพื้นผิววัสดุดี (Petrie, 2008b)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมผิววัสดุ

Matin-Matinez *et al.* (1991) ศึกษาสมบัติการยึดติดระหว่างกาวพอลิยูรีเทนกับยาง SBR ที่ปรับผิวหน้าด้วยการขัดด้วยกระดาษทราย อัลตราโซนิก และสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในเอทิลอะซิเตต (TCI/EA) สารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในอะซิโตน (TCI/acetone) และสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในเมทิลเอทิลคีโตน (TCI/MEK) ที่ความเข้มข้น 1-3 % โดยน้ำหนัก และเมื่อทำการทดสอบสมบัติการยึดติดระหว่างกาวพอลิยูรีเทนกับยาง SBR ด้วยเทคนิคแบบลอก (Peel test) ด้วยมุม  $180^{\circ}$  พบว่าการเตรียมผิวหน้ายาง SBR ด้วยวิธีการขัดด้วยกระดาษทราย และอัลตราโซนิก ให้สมบัติการยึดติดเท่ากับ 3.3-4.3 และ 1.7-2.7 กิโลนิวตันต่อเมตรตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการใช้สารละลาย TCI/EA, TCI/MEK และ TCI/acetone อย่างเด่นชัด โดยการปรับผิวหน้ายาง SBR ด้วยสารละลายทั้ง 3 ชนิด มีผลทำให้สมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 12 กิโลนิวตันต่อเมตร (kN/m) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเป็น 4 % โดยน้ำหนัก พบว่าสมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนมีค่าลดลงอย่างมาก เนื่องจากเกิดการแตกของผิวหน้ายาง และน้ำมันที่อยู่ในยาง SBR เกิดการซึมออกมาที่บริเวณผิวหน้า ทำให้สมบัติการยึดติดระหว่างกาวพอลิยูรีเทนกับยาง SBR ลดลง

Lawson *et al.* (1996) ศึกษาผลการเตรียมผิวหน้ายาง NR, BR, SBR, CR, EPDM และ CIIR ด้วยสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในเอทิลอะซิเตต (TCI/EA) ที่ความเข้มข้น 3 % โดยน้ำหนัก ซึ่งยางทุกสูตรใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติม จำนวน 50-65 phr โดยยาง NR, BR และ SBR มีการเติมน้ำมันจำนวน 12 phr และเมื่อทำการวิเคราะห์ผิวหน้ายางแต่ละชนิดด้วยเทคนิค x-ray photoelectron spectroscopy (XPS) พบว่ายางชนิดที่มีพันธะไม่อิ่มตัว เกิดปฏิกิริยาการเติม และแทนที่ในโครงสร้างโมเลกุลของยาง ซึ่งยาง NR, BR, SBR, และ CR มีปริมาณคลอรีนต่อหนึ่งพันธะ



คู่ เท่ากับ 0.89, 1.28, 1.78 และ 1.39 ตามลำดับ และมีเปอร์เซ็นต์ของการเกิดปฏิกิริยาแทนที่ของคลอรีนเท่ากับ 9.6, 11.1, 8.3 และ 12 ตามลำดับ ส่วนยาง EPDM และ CIIR ไม่เกิดปฏิกิริยาการเติม และแทนที่ เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของยางประกอบด้วยพันธะอิ่มตัว

Pastor Blas *et al.* (1997) ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริก ในเอทิลอะซิเตต (TCI/EA) ที่ความเข้มข้น 0.5-7.0 % โดยน้ำหนัก ที่ใช้สำหรับเตรียมผิวหน้ายาง SBR พบว่าสมบัติการยึดติดระหว่างกาวพอลิยูรีเทนกับยาง SBS มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด เมื่อเทียบกับการไม่ใช้สารละลาย โดยการปรับผิวหน้ายาง SBS ด้วยสารละลาย TCI/EA ที่ความเข้มข้น 0.5 -2.0 % โดยน้ำหนัก มีผลทำให้สมบัติการยึดติดของกาวเพิ่มขึ้น เนื่องจากการปรับผิวหน้ายาง SBS ด้วยสารละลาย TCI/EA เป็นการกำจัดชั้นอ่อนออกจากผิวหน้า และทำให้เกิดหมู่มีขั้ว ได้แก่ หมู่ C-Cl และ C-O ขึ้นบนผิวหน้ายาง SBS ส่งผลให้เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างหมู่ยูรีเทน (urethane group) กับหมู่มีขั้วบนผิวหน้ายาง SBS แต่สมบัติการยึดติดระหว่างกาวพอลิยูรีเทนกับยาง SBS มีค่าลดลง เมื่อใช้สารละลาย TCI/EA ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 2 % โดยน้ำหนัก เนื่องจากการล้มเหลวของการยึดติดภายในชั้นของยางที่เกิดการคลอรีเนชัน

Kang *et al.* (1998) ศึกษาการเตรียมผิวหน้าพอลิเอทิลีน พอลิคาร์บอเนต และพอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน ให้มีหมู่มีขั้วเกิดขึ้นบนผิวหน้าวัสดุด้วยการยิงอนุภาคของก๊าซไอโซน และอาร์กอน ภายใต้สภาวะสุญญากาศ จากนั้นนำวัสดุที่ผ่านการปรับผิวหน้ามากราฟต์ด้วย N,N-dimethylacrylamide (DMAA), 3-dimethyl (methacryloyl) ammonium propanesulfonate (DMAPS) และกรดอะคริลิก (acrylic acid) พบว่าการกราฟต์เกิดขึ้นได้ดีที่บริเวณผิวหน้าของวัสดุที่ผ่านการปรับผิวหน้าแล้ว

Romero-Sanchez *et al.* (2001) ศึกษาผลของเอทิลอะซิเตต (EA) โพรพิลอะซิเตต (PA) และบิวทิลอะซิเตต (BA) ที่ใช้สำหรับละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริก (TCI) ให้มีความเข้มข้น 0.5 และ 2.0 % โดยน้ำหนัก สำหรับปรับผิวหน้ายาง SBR ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ออกสูตรยาง SBR ให้ปริมาณของน้ำมันและพลาสติกไซเซอร์ที่แตกต่างกัน 2 สูตร ได้แก่ สูตรที่ใช้น้ำมันและพลาสติกไซเซอร์ 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อปรับผิวหน้ายาง SBR ด้วยสารรองพื้นชนิด TCI/EA, TCI/PA และ TCI/BA ให้สมบัติการยึดติดสูงกว่ายาง SBR ที่ไม่ได้ปรับผิวด้วยสารรองพื้น เนื่องจากการปรับผิวด้วยสารรองพื้น เป็นการทำปฏิกิริยาคลอรีเนชันบนผิวหน้ายาง SBR ทำให้เกิดหมู่มีขั้ว และเป็นการเพิ่มพลังงานพื้นผิวให้กับยาง SBR ทำให้สมบัติการยึดติดระหว่างกาวพอลิยูรีเทนกับยาง SBR สูงขึ้น โดยสารรองพื้นที่ใช้เอทิลอะซิเตตเป็นตัวทำลาย ให้สมบัติการยึดติดดีที่สุดเมื่อเทียบกับตัวทำละลายชนิดอื่น เนื่องจากเอทิลอะซิเตตสามารถกำจัดชั้นของ paraffin wax ออกจากผิวหน้ายาง

SBR ได้ดีกว่า โพรพิลอะซีเตต และบิวทิลอะซีเตต ตามลำดับ จึงทำให้สมบัติการเป็ยกผิวหน้ายาง SBR ดีขึ้น

Romero-Sanchez *et al.* (2001) ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บก่อนการยึดติดของยาง SBR ที่ผ่านการเตรียมผิวหน้าด้วยสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในบิวทานอล (TCI/butanol) ที่ความเข้มข้น 0.5 % โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลา 5 นาทีถึง 1 ปี พบว่าเมื่อนำชิ้นตัวอย่างมาทดสอบด้วยกาวพอลิยูรีเทน และนำไปทดสอบสมบัติการยึดติดด้วยเทคนิคแบบลอก (Peel test) ด้วยมุม  $180^\circ$  พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บยาง SBR ก่อนการยึดติดเพิ่มขึ้น สมบัติการยึดติดระหว่างยาง SBR กับกาวพอลิยูรีเทนมีค่าลดลง เนื่องจากเกิดการเคลื่อนที่ของ wax ออกมาที่บริเวณผิวหน้าของยาง SBR ระหว่างการเก็บ จึงมีผลทำให้มุมสัมผัส (Contact angle) ระหว่างกาวพอลิยูรีเทนกับผิวหน้ายาง SBR เพิ่มขึ้น ทำให้การเป็ยกผิวของกาวพอลิยูรีเทนบนผิวหน้ายางลดลง

Cepada – Jimenez *et al.* (2002) ศึกษาสมบัติการยึดติดระหว่างหนังกับยาง SBS และ SBR ที่เตรียมผิวหน้าด้วยสารละลายไซเดียมไดคลอโรไอโซไซยานูเรต (DCI) ที่ความเข้มข้น 1-5 % โดยน้ำหนัก และเมื่อนำยางที่ผ่านการเตรียมผิวแล้วไปวิเคราะห์โครงสร้างของผิวหน้ายางด้วยเทคนิค ATR-IR พบว่าเกิดหมู่ C-Cl ขึ้นบนผิวหน้ายาง และยังสามารถกำจัดชั้นของซิงค์สเตียเรตออกจากผิวหน้ายางได้ ทำให้สมบัติการเป็ยกผิวของวัสดุดีขึ้น ซึ่งยืนยันได้จากการลดลงของพื้นที่ใต้พีคที่ตำแหน่งเลขคลื่นเท่ากับ  $1460, 1539, 2850$  และ  $2920 \text{ cm}^{-1}$  และผลที่ได้ยังสอดคล้องกับการทดสอบวัดมุมสัมผัส (Contact angle) ของผิวหน้ายาง โดยพบว่ามุมสัมผัสของของเหลวบนผิวหน้ายางมีค่าลดลง จากนั้นนำหนังและยาง SBS และ SBR ที่ผ่านการเตรียมผิวหน้าแล้วมาทดสอบด้วยกาวพอลิยูรีเทน โดยหนังทำการทดสอบด้วยกาวจำนวนสองชั้น ซึ่งชั้นที่หนึ่งทาแล้วทิ้งไว้ 15-20 นาที ชั้นที่สองทิ้งไว้ 30-45 นาที ส่วนยาง SBS และ SBR ทาเพียงชั้นเดียว จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างทั้งหมดมาอบที่อุณหภูมิ  $60-70^\circ\text{C}$  ภายใต้แสงอินฟราเรด และนำมาประกบด้วยความดัน 0.2-0.3 เมกกะพาสคาล เป็นเวลา 10 วินาที เก็บชิ้นตัวอย่างไว้ 1 วัน และทำการทดสอบสมบัติการยึดติด พบว่าการใช้สารละลาย DCI ที่ความเข้มข้น 3.0 % โดยน้ำหนัก ให้สมบัติการยึดติดดีที่สุดในทุกระบบการยึดติด แต่มีค่าลดลงเมื่อใช้ความเข้มข้นมากกว่า 3.0 % โดยน้ำหนัก โดยยาง SBS ให้สมบัติการยึดติดกับหนังดีกว่ายาง SBR ซึ่งมีค่าเท่ากับ 12 และ 8 กิโลนิวตันต่อเมตร ตามลำดับ

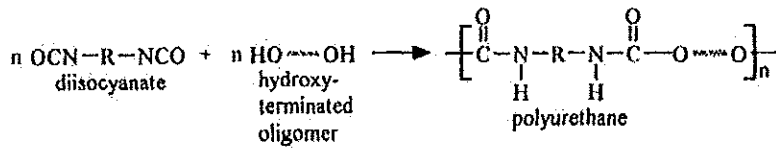
Romero-Sanchez *et al.* (2003) เตรียมสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในเอทิลอะซีเตต (TCI/EA) และสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในเมทิลเอทิลคีโตน (TCI/MEK) ที่ความเข้มข้น 2.0 % โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการศึกษาปริมาณของคลอรีนในสารละลายทั้ง 2 ชนิด เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าสารละลาย TCI/MEK มีปริมาณคลอรีนลดลงครึ่งหนึ่ง ซึ่งแตกต่างจาก

สารละลาย TCI/EA ที่มีปริมาณคลอรีนคงที่ ดังนั้นสมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนกับยาง SBR ที่ปรับผิวด้วยสารละลาย TCI/EA ให้สมบัติที่สูงกว่าสารละลาย TCI/MEK เนื่องจากปริมาณคลอรีนที่มีอยู่ในสารละลาย ส่งผลต่อประสิทธิภาพการคลอรีนชั้นบนผิวหน้ายาง SBR กล่าวคือ หากปริมาณคลอรีนน้อย ก็ส่งผลทำให้เกิดหมุยมีชั้นบนผิวหน้ายางน้อย และมีผลต่อปริมาณการเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างหมุยมีชั้นบนผิวหน้ายางกับหมุยยูรีเทนของกาว เมื่อทำการทดสอบสมบัติการเปื่อยผิวยาง SBR พบว่าการปรับผิวหน้าด้วยสารละลายทั้ง 2 ชนิด ช่วยปรับปรุงสมบัติการเปื่อยผิวยาง SBR

Zhang *et al.* (2005) ศึกษาสมบัติการยึดติดระหว่างกาวพอลิยูรีเทน กับยาง SBR และเอชทีอีวี ๐ นิลอะซีเตต (EVA) โดยทำการเตรียมผิวหน้ายาง SBR และ EVA ด้วยสารละลายคลอโรลิเทียมเฮกซิลไอโซไซยานูเลต (LCI) และสารละลายลิเทียมไดคลอโรเฮกซิลไอโซไซยานูเลต (LDI) ที่ความเข้มข้น 2, 5, 8, 12 และ 16 % โดยน้ำหนัก พบว่าการปรับผิวหน้ายางด้วยสารละลาย LCI และ LDI ส่งผลให้สมบัติการเปื่อยผิวยางของวัสดุดีขึ้น เมื่อเทียบกับการไม่ใช้สารละลาย และหากทำการทดสอบวัดมุมสัมผัสของน้ำบนพื้นผิววัสดุ พบว่าการใช้สารละลาย LCI และ LDI ที่ความเข้มข้น 16 % โดยน้ำหนัก มีผลทำให้มุมสัมผัสของน้ำบนพื้นผิววัสดุลดลงมากขึ้น โดยมุมสัมผัสของน้ำบนพื้นผิวหน้ายาง SBR ลดลงจาก 89° เหลือ 34° และผิวหน้า EVA ลดลงจาก 88° เหลือ 36°

## 2.5 พอลิยูรีเทน (Polyurethane, PU)

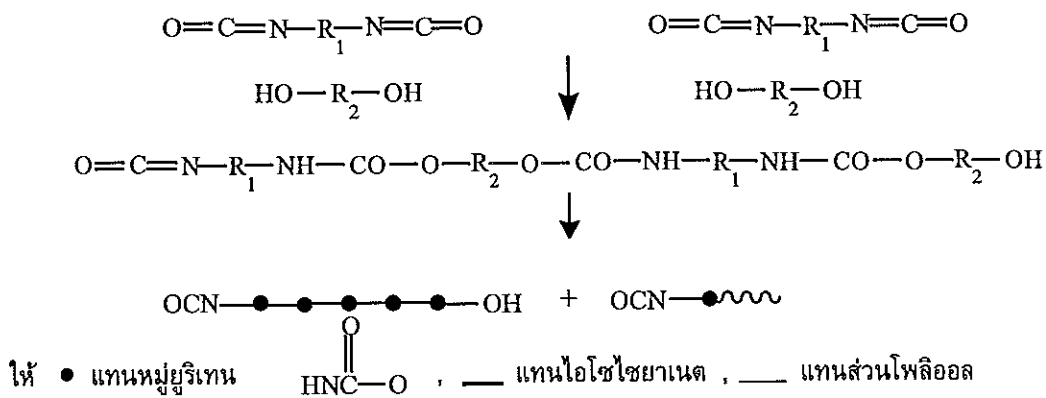
เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่เตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซไซยานูตกับพอลิเอสเทอร์ พอลิอีเธอร์ พอลิอีพอกไซด์ พอลิคาร์โบลอโน หรือพอลิเอสเตอร์ โดยปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนแสดงดังรูปที่ 2.15 ซึ่งโดยทั่วไปพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากอะลิฟาติกไดไอโซไซยานูตให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าชนิดอะโรมาติกไดไอโซไซยานูต บางครั้งอาจมีการใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalysts) เพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซไซยานูต กับพอลิเอสเตอร์ ส่วนใหญ่มักนิยมใช้สารประเภทเกลือโลหะทรานซิชัน (Transition-metal salt) ได้แก่ ไดบิวทิลทินไดลอเลต (Dibutyl tin dilaurate) เนื่องจากเกิดการระเหยน้อยและไม่ค่อยมีกลิ่นเหม็น (Hepburn, 1992) ปัจจุบันนิยมนำพอลิยูรีเทนมาใช้เป็นวัสดุติดประสาน เนื่องจากมีสมบัติเด่นหลายประการ ได้แก่ สมบัติการยึดติดที่ทนทาน ยึดหยุ่นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ทนทานต่อการสึกหรอ มีความต้านทานต่อตัวทำละลายและสารเคมีดีเยี่ยม จากสมบัติดังกล่าวจึงมีการนำกาวพอลิยูรีเทนมาใช้งานกันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมหลายประเภท โดยเฉพาะอุตสาหกรรมเครื่องหนังและรองเท้า (Romero-Sanchez *et al.*, 2003)



รูป 2.15 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน (Nor and Ebdon, 1998)

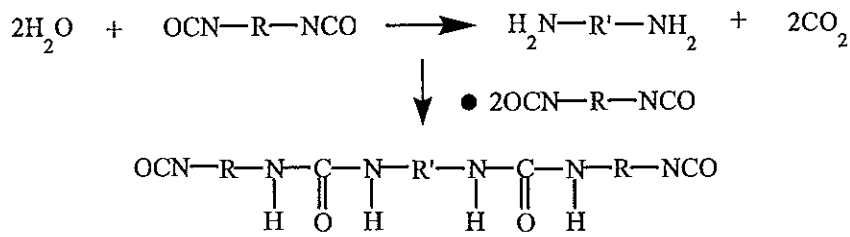
### 2.5.1 การสังเคราะห์พอลิยูรีเทน

พอลิยูรีเทนเป็นพอลิเมอร์ที่มีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีสมบัติเด่นหลายประการ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเทคนิคการเตรียมพอลิยูรีเทนให้อยู่ในรูปต่างๆ เพื่อให้สามารถใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากส่วนผสมและความหลากหลายทางโครงสร้างของพอลิยูรีเทนที่สามารถสังเคราะห์และกำหนดให้ได้ลักษณะตามต้องการ จึงส่งผลให้วัสดุที่ได้มีสมบัติตั้งแต่อ่อนนุ่ม มีความยืดหยุ่นสูง หรือจนกระทั่งเป็นแบบแข็งเปราะ วิธีที่มีความสำคัญมากที่สุดในการเตรียมพอลิยูรีเทนทางการค้าคือ การพอลิเมอร์ไรเซชันแบบการเติม (Addition Polymerization) ในกรณีนี้ สารที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไป คือ ไดไอโซไซยาเนต (Diisocyanate) และพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl Group) จำนวนมากอยู่ในสายโซ่โมเลกุล หรือโพลีออล (Polyol) โดยถ้าใช้พอลีออลที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่อยู่ที่ตำแหน่งปลายสายโซ่โมเลกุล พอลิยูรีเทนที่ได้จะเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น (Linear Polymer) ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 2.16 (Dieterich, 1981b)



รูปที่ 2.16 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิยูรีเทน แบบพอลิเมอร์เชิงเส้น (Linear Polymer)

เป็นที่ทราบกันดีว่าน้ำอาจมีส่วนเกี่ยวข้องในการเตรียมพอลิยูรีเทน โดยโมเลกุลของน้ำสามารถเกิดปฏิกิริยากับไดไอโซไซยาเนตอย่างรวดเร็ว ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และหมู่ยูเรียในโครงสร้างโมเลกุลของพอลิยูรีเทน (Woods, 1990) ดังปฏิกิริยาในรูปที่ 2.17 ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวมีประโยชน์มากในกรณีของการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทน แต่ค่อนข้างเป็นปัญหาสำหรับการเตรียมพอลิยูรีเทนที่ใช้ในรูปของแข็ง เนื่องจากความเป็นรูพรุนที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุ



รูปที่ 2.17 การเตรียมพอลิยูรีเทน จากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับไดไอโซไซยาเนต

อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน น้ำมีส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตพอลิยูรีเทนให้มีความหลากหลายเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างพรีพอลิเมอร์ที่ตรงปลายสายโซ่มีหมู่ไอโซไซยาเนตอิสระทำปฏิกิริยากับน้ำ (Dieterich, 1981b)

NCO prepolymer	H <sub>2</sub> O	Type of mixing	Result	Product group
Hydrophobic	Equivalent	Shearing force mixer	Expansion with CO <sub>2</sub>	Foam (Hydrophobic)
Hydrophobic	Atmospheric moisture	Diffusion into a thin layer	Slow curing	One-component coating
Slightly hydrophilic	Atmospheric moisture	Rapid diffusion into foam	Slow curing	One-component foam
Hydrophobic	Excess	Shearing force	Inverse emulsion	Microporous coating
Hydrophobic	Excess	Emulsifying agent/ shearing force	Emulsion	Coarse-particle PU dispersion

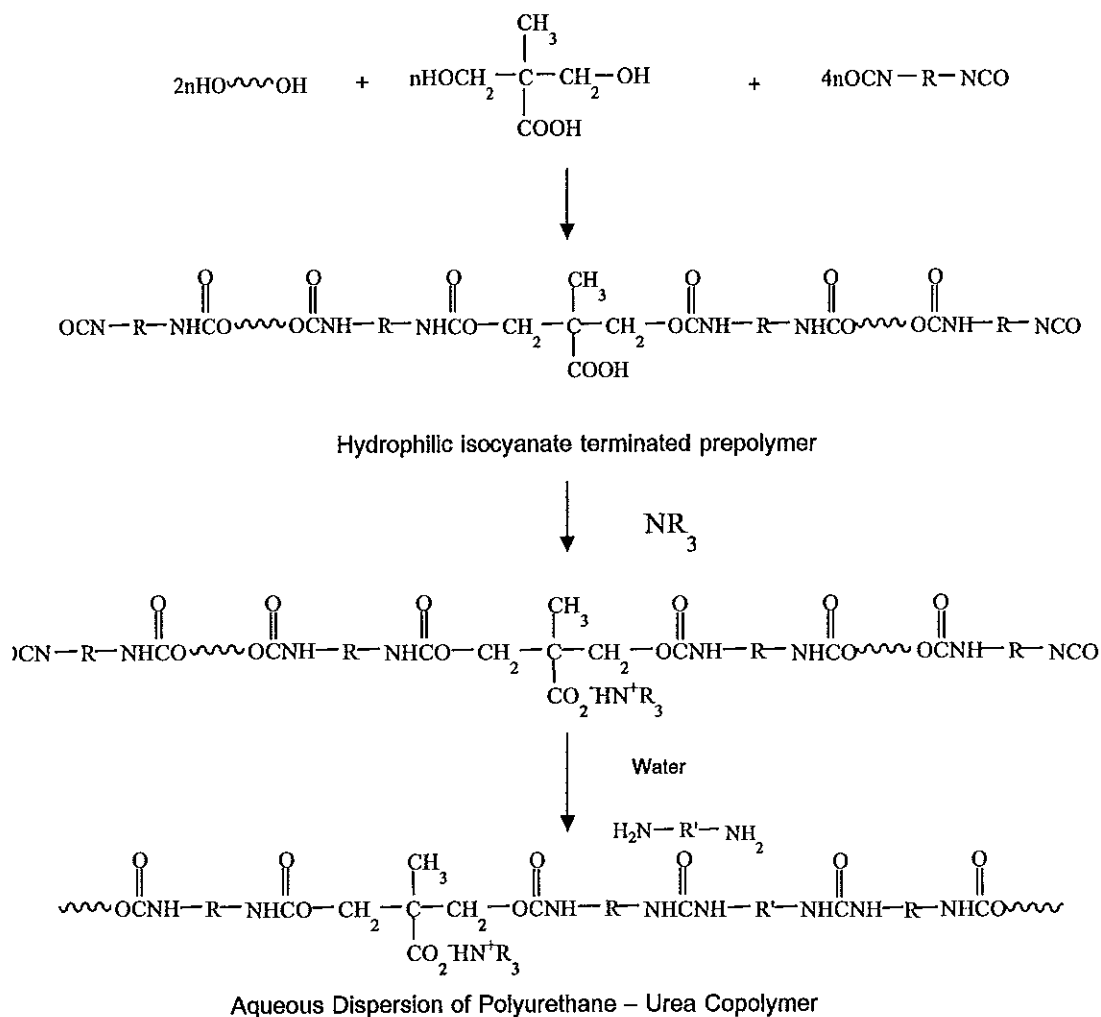
### 2.5.1.1 กระบวนการผลิตน้ำยางพอลิยูรีเทน (Rosthaus and Nachtkamp, 1987)

การเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทนได้มีการพัฒนาวิธีการเตรียมหลายวิธี เพื่อให้ให้น้ำยางพอลิยูรีเทนมีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยหลักสำคัญของการเตรียม คือ ชั้นแรกต้องเตรียมพรีพอลิเมอร์ที่มีหมู่ปลายเป็นหมู่ไอโซไซยาเนตที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยทั่วไปอยู่ในรูปพรีพอลิเมอร์ ซึ่งเกิดขึ้นจาก



## 2. กระบวนการผลิตแบบผสมพรีพอลิเมอร์ (Prepolymer Mixing Process)

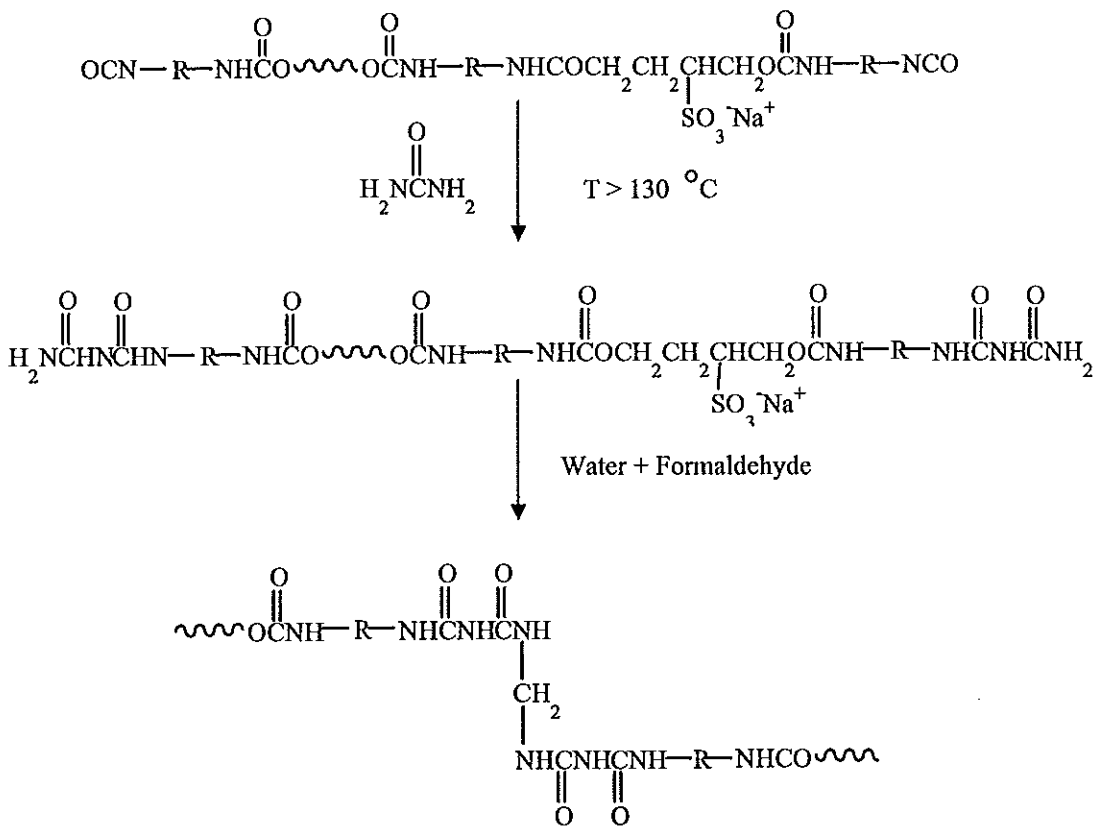
การเตรียมพอลิยูรีเทนด้วยวิธีนี้จะใช้น้ำแทนตัวทำละลายอินทรีย์ โดยการบังคับให้หมู่ไอโซไซยาเนตที่หมู่ปลายของพรีพอลิเมอร์ ทำปฏิกิริยากับตัวขยายสายโซ่ก่อนทำปฏิกิริยากับน้ำ และเลือกเอมีนตติยะภูมิ (Tertiary Amine) เพื่อให้เข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ในกรดไดไฮดรอกซี คาร์บอกซิลิก (Dihydroxy Carboxylic Acid) เกิดเป็นส่วนของพรีพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไอโซไซยาเนตเป็นหมู่ปลายที่ชอบน้ำ (Hydrophilic Isocyanate Terminate Prepolymer) ทำให้สามารถเข้ากันได้กับน้ำได้ดี ซึ่งมีลักษณะการเกิดดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ลักษณะการเกิดน้ำยางพอลิยูรีเทน โดยกระบวนการผลิตแบบผสมพรีพอลิเมอร์ (Dieterich, 1981a)

### 3. กระบวนการผลิตโดยใช้ความร้อนในการหลอม (Hot Melt Process)

การเตรียมพอลิยูรีเทนโดยใช้เทคนิคนี้ เริ่มจากการนำไอโซไซยาเนตพรีพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไอออนิกอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล มาทำปฏิกิริยากับยูเรียที่มากเกินไป ภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่สูงกว่า 130°C เกิดเป็นโอลิโกเมอร์ที่มีหมู่ปลายของสายโซ่เป็นหมู่ไบยูเรต ซึ่งโอลิโกเมอร์ดังกล่าวสามารถกระจายตัวในน้ำได้โดยไม่ต้องใช้สารละลายอินทรีย์ช่วย หลังจากนั้นทำให้โอลิโกเมอร์เกิดการกระจายตัวในน้ำโดยอาศัยแรงกล (การกวนด้วยความเร็วสูง) แล้วจึงเติมฟอร์มัลดีไฮด์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า เมทิลโลเลชัน (Methylation) โดยฟอร์มัลดีไฮด์จะทำปฏิกิริยากับหมู่ไบยูเรต เกิดการเชื่อมโยงเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น ลักษณะของปฏิกิริยาการเกิดน้ำยางพอลิยูรีเทนของเทคนิคนี้ได้แสดงในรูป 2.20



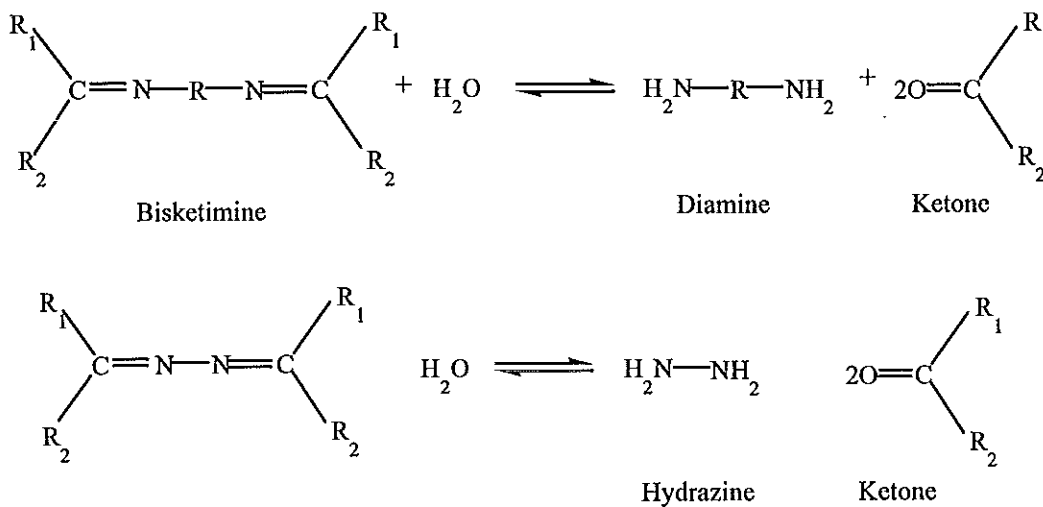
Aqueous dispersed poly(urethane-biuret)

รูปที่ 2.20 ลักษณะการเกิดน้ำยางพอลิยูรีเทน โดยกระบวนการผลิตแบบใช้ความร้อนในการหลอม (Dieterich, 1969)



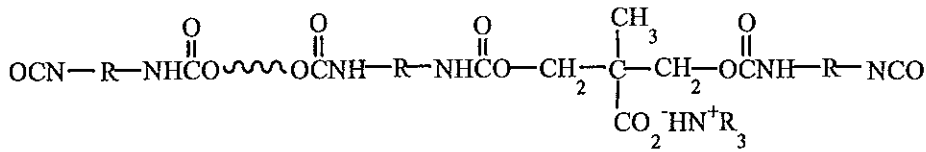
#### 4. กระบวนการผลิตแบบเคทิมีน/เคทาซีน (Ketimine/Ketazine Process)

เป็นกระบวนการเตรียมพอลิยูรีเทน ที่พัฒนามาจากวิธีใช้ตัวทำละลาย ในกระบวนการผลิตนี้ใช้คีโตน (Ketone) เป็นตัวทำละลายและเข้าทำปฏิกิริยากับเอมีนไดเคทิมีน (Ketimines) และน้ำ หรืออาจใช้คีโตนทำปฏิกิริยากับไฮดราซีน (Hydrazine) ได้เป็นเคทาซีน (Ketazine) และน้ำ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ดังแสดงในรูป 2.21

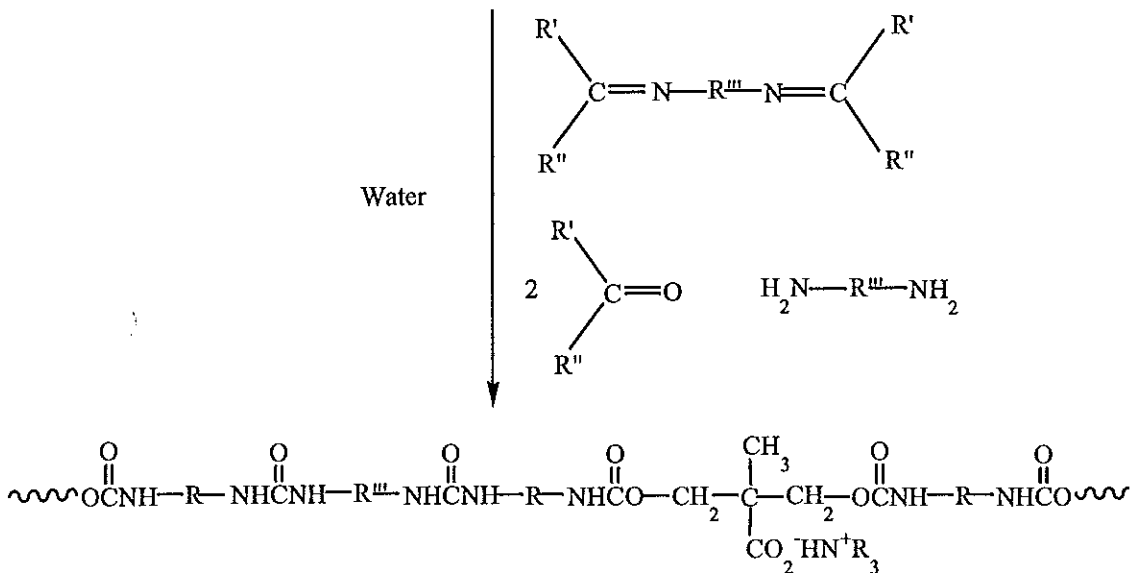


รูปที่ 2.21 การเกิดปฏิกิริยาผันกลับของเคทิมีนและเคทาซีน เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ (Nachikamp et al., 1981)

การเตรียมพอลิยูรีเทนด้วยเทคนิคนี้ด้วยขยายสายโซ่พวกเอมีนที่เกิดขึ้นจะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenous) ในอนุภาคของพรีพอลิเมอร์ที่มีไอโซไซยาเนตเป็นหมู่ปลาย วิธีนี้มีคล้ายกับกระบวนการผลิตแบบผสมพรีพอลิเมอร์ ซึ่งต่างกันที่การใช้เอมีน หรือไฮดราซีน ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาย้อนกลับของเคทิมีนหรือเคทาซีน เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ โดยมีขั้นตอนการเตรียมน้ำยางพอลิยูรีเทนของกระบวนการผลิตนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.22



Hydrophilic isocyanate terminated prepolymer



Aqueous Dispersion of Polyurethane-Urea Copolymer

รูปที่ 2.22 ลักษณะการเกิดน้ำยางพอลิยูรีเทนโดยกระบวนการผลิตแบบเคทีมีน (Nachtkamp et al., 1981)

### 2.5.2 ประเภทของกาวพอลิยูรีเทน

กาวพอลิยูรีเทนเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซไซยาเนตกับพอลิออลที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบ ซึ่งกาวพอลิยูรีเทนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. กาวพอลิยูรีเทนระบบหนึ่งส่วน (One-component adhesive) เป็นกาวที่ใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ยาวมากกว่าแบบระบบสองส่วน สามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

- กาวที่เซตตัวด้วยความชื้น (Moisture-cured adhesive) เป็นกาวพอลิยูรีเทนที่วัลคาไนซ์ด้วยไดไอโซไซยาเนต ไตรไอโซไซยาเนต หรือ ฟรีพอลิเมอร์ กับพื้นผิววัสดุ ได้แก่ ไม้ และเส้นใยเซลลูโลส ที่มีความชื้นบริเวณผิววัสดุหรือในอากาศ ซึ่งปฏิกิริยาระหว่างความชื้นกับหมู่ไอโซไซยาเนต ทำให้เกิดการเชื่อมโยงแบบพันธะยูเรีย และไบยูเรต ซึ่งกาวที่วัลคาไนซ์ด้วยความชื้นนี้ส่วนใหญ่เป็นกาวที่ใช้งานด้านเฟอร์นิเจอร์

- กาวไฮดรอกซิลพอลิยูรีเทน (Hydroxyl polyurethane) เป็นกาวพอลิยูรีเทนชนิดเทอร์โมพลาสติก ที่ได้จากปฏิกิริยาของ 4,4 diphenylmethane diisocyanate (MDI) กับ พอลิเอสเตอร์ ไดออล หรืออาจใช้ไดออล เป็นตัวขยายสายโซ่ (Chain extender) ก็ได้ ซึ่งอัตราส่วนระหว่าง NCO:OH มีค่าน้อยประมาณ 1 : 1 และมีปริมาณของไฮดรอกซิลน้อย ประมาณ 0.05 – 0.1 เปอร์เซ็นต์ โดยกาวพอลิยูรีเทนประเภทนี้มักใช้ในอุตสาหกรรมรองเท้า ซึ่งกาวจะละลายอยู่ในรูปของสารละลาย ดังนั้นเวลาใช้กาวติดรองเท้าจึงต้องให้ความร้อน เพื่อให้ตัวทำละลายระเหยออกเสียก่อน เมื่อกาวแห้งก็จะทำให้รองเท้ายึดติดกับพื้นรองเท้าได้

- กาวน้ำยางพอลิยูรีเทน เป็นกาวที่อนุภาคของพอลิยูรีเทนกระจายตัวอยู่ในตัวกลางน้ำ โดยที่โครงสร้างโมเลกุลของพอลิยูรีเทนประกอบด้วยส่วนของพอลิออลที่ชอบน้ำอยู่ภายในสายโซ่โมเลกุล การเตรียมกาวประเภทนี้จำเป็นต้องใช้พอลิยูรีเทนพรีพอลิเมอร์ที่มีความหนืดต่ำ และทำให้กระจายอยู่ในตัวกลางน้ำโดยใช้การกวนที่ความเร็วสูง ดังนั้นกาวน้ำยางพอลิยูรีเทนจึงไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และร่างกาย เนื่องจากไม่เกิดการระเหยของตัวทำละลาย กาวชนิดนี้นิยมใช้ในการเคลือบพวกสิ่งทอ เป็นต้น

2. ระบบสองส่วน (Two-component adhesive) เป็นกาวที่ประกอบด้วยส่วนของไอโซไซยาเนตและพอลิออลแยกออกจากกัน เมื่อต้องการนำมาใช้งานค่อยนำทั้งสองส่วนมาทำปฏิกิริยากัน โดยกาวระบบสองส่วนนี้เหมาะสำหรับการติดประสานวัสดุที่เป็นชั้นๆ ได้ดีกว่ากาวแบบระบบหนึ่งส่วน ซึ่งกาวประเภทนี้มีข้อดีคือไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากส่วนใหญ่เตรียมให้อยู่ในรูปของกาวที่กระจายอยู่ในตัวกลางน้ำ กาวชนิดนี้นิยมใช้สำหรับเคลือบผิวหน้าวัสดุ ประเภทพลาสติก หรือไม้

#### งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกาวพอลิยูรีเทน

Laas *et al.* (1993) เตรียมพอลิไอโซไซยาเนตที่ประกอบด้วยหมู่ไอโซไซยาเนต จากปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซไซยาเนตซึ่งประกอบด้วยไอโซไซยาเนต 21.5 เปอร์เซ็นต์ และมีหมู่ฟังก์ชันนอลของไอโซไซยาเนตเท่ากับ 3.8 กับพอลิอีเทอร์ที่ละลายในเมทานอลซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันนอลเท่ากับ 0.08 จากนั้นทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ได้เป็นพอลิไอโซไซยาเนตที่ประกอบด้วยไอโซไซยาเนต 17.3 เปอร์เซ็นต์ และเอทิลีนออกไซด์ (Ethylene oxide) 11.3 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นเติมน้ำและปั่นกวนอย่างรวดเร็ว เพื่อให้พอลิไอโซไซยาเนตอยู่ในรูปของอิมัลชัน โดยที่ปริมาณของไอโซไซยาเนตที่อยู่ในพอลิไอโซไซยาเนตอิมัลชัน มีปริมาณลดลงไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาทำปฏิกิริยาผ่านไป 5 ชั่วโมง

Okamoto *et al.* (1996) เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างน้ำยางพอลิยูรีเทน กับอะคริลิก (Acrylic) ในรูปอิมัลชัน ซึ่งเป็นการนำเอาสมบัติเด่นของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมาใช้งานร่วมกัน และปรับปรุงข้อด้อย

ของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด โดยที่อะคิลิกอิมัลชันมีสมบัติทนทานต่อสภาพอากาศได้ดี และเป็นฟิล์มที่ทนน้ำและอัลคาไลด์ เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลประกอบด้วยพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอน แต่อะคิลิกอิมัลชันมีข้อด้อยในด้านความยืดหยุ่น (Elasticity) และความทนทานต่อการสึกหรอ แต่น้ำยางพอลิยูรีเทนมีสมบัติที่ทนทานต่อการสึกหรอและมีความยืดหยุ่นดีมาก แต่ไม่ทนน้ำและอัลคาไลด์ จึงมีการนำพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมาทำปฏิกิริยากัน เพื่อทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยง (Crosslinking) ระหว่างสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ทั้งสอง ซึ่งเกิดจากหมู่คีโตน (Keto group) ของอะคิลิก สร้างพันธะโควาเลนต์กับหมู่ยูรีเทน (Urethane group) ของน้ำยางพอลิยูรีเทน ซึ่งปริมาณการเกิดพันธะเชื่อมโยงสามารถวิเคราะห์ โดยใช้เทคนิค FT-IR โดยพบว่าสมบัติของฟิล์มที่ได้จากการผสมพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดเข้าด้วยกัน จะทนทานต่อตัวทำละลายได้ดี สามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิกว้างขึ้น และสามารถนำไปใช้ในงานที่ต้องการความทนทานสูง เช่น เคลือบพื้นสนามเทนนิส เคลือบพื้น และกาว เป็นต้น

Paul *et al.* (1998) เตรียมบล็อกโคพอลิเมอร์ (Block copolymer) ของยางธรรมชาติและ 1,3 butanediol – toluene diisocyanate oligomer ซึ่งสามารถสังเคราะห์ได้โดย One shot process และ Two shot process พบว่าปริมาณของส่วนที่แข็ง (Hard segment) ภายในสายโซ่โมเลกุล จะมีผลต่อสมบัติของบล็อกโคพอลิเมอร์ (Block copolymer) ของยางธรรมชาติ และ 1,3 butanediol – toluene diisocyanate oligomer ที่สังเคราะห์ได้ โดยที่ถ้ามีปริมาณของส่วนที่แข็ง (Hard segment) ภายในสายโซ่โมเลกุลน้อย ก็ส่งผลให้บล็อกโคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ มีสมบัติคล้ายยางทั่วไป แต่ถ้ามีปริมาณมากก็จะมีสมบัติคล้ายกับพลาสติกที่แข็งเปราะ (Brittle plastic)

Jourequi-Beloqui *et al.* (1999) ศึกษาผลของการเติมซิลิกา ที่มีพื้นที่ผิวและขนาดอนุภาคที่แตกต่างกัน ลงในกาวเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน โดยซิลิกาที่ใช้จะมีขนาดพื้นที่ผิวดั้งแต่ 90 - 380 m<sup>2</sup>/g และมีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 7-20 นาโนเมตร พบว่าการเติมซิลิกาทำให้ความหนืดของกาวเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนเพิ่มขึ้น และทำให้สมบัติการไหลของกาวเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนเป็นแบบ pseudoplasticity thixotropy ซึ่งแตกต่างจากกาวที่ไม่เติมซิลิกา ที่มีสมบัติการไหลแบบ Newtonian โดซิลิกา ที่มีพื้นที่ผิวอยู่ระหว่าง 130-200 m<sup>2</sup>/g ทำให้สมบัติการไหลของกาวดีขึ้น อีกทั้งการเติมซิลิกาช่วยปรับปรุงสมบัติการเปียกผิวของกาวเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนบนผิวหน้าวัสดุให้ดีขึ้น ส่งผลทำให้สมบัติการยึดติดของกาวกับวัสดุเพิ่มขึ้น แต่การเติมซิลิกาที่มีขนาดพื้นที่ผิว 380 m<sup>2</sup>/g มีผลทำให้สมบัติการไหลของกาวลดลง เนื่องจากซิลิกาเกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ ทำให้ไม่สามารถกระจายได้ในสารละลายพอลิยูรีเทน

Sanchez-Adsuar *et al.* (2000) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการไหล และองค์ประกอบของเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน โดยใช้เครื่องรีโอมิเตอร์ในการวิเคราะห์ผล ซึ่งจากการแปรสัดส่วนระหว่าง OH : NCO ชนิดของสารขยายสายโซ่ (Chain extender) และน้ำหนักโมเลกุลของไกลคอลที่ใช้สำหรับเตรียมเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน พบว่าน้ำหนักโมเลกุลของไกลคอล และสัดส่วนระหว่าง OH : NCO มีผลต่อสมบัติการไหลของเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน กล่าวคือการใช้ไกลคอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และการเพิ่มสัดส่วนระหว่าง OH : NCO ให้สูงขึ้น ทำให้สมบัติการไหลของเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนดีขึ้น เนื่องจากภายในโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยส่วนที่อ่อน (Soft segment) เพิ่มขึ้น แต่ในส่วนของชนิดของสารขยายสายโซ่นั้น พบว่าไม่ส่งผลต่อสมบัติการไหลของเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน

Jhon *et al.* (2000) ศึกษาปฏิกิริยาการขยายสายโซ่โมเลกุล (Chain extension reaction) ของพอลิยูรีเทน โดยการแปรปริมาณของหมู่ไอโซไซยาเนตอิสระ (Free NCO) ที่เหลืออยู่ และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของพอลิยูรีเทน เมื่อผ่านขั้นตอนการขยายสายโซ่โมเลกุล ซึ่งพอลิยูรีเทนในงานวิจัยนี้สามารถเตรียมได้จากกระบวนการ neutralization emulsification และจากการศึกษาพบว่าขั้นตอนการขยายสายโซ่โมเลกุลของพอลิยูรีเทน มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักโมเลกุลของพอลิยูรีเทน โดยปฏิกิริยาการขยายตัวของสายโซ่โมเลกุลของหมู่ไอโซไซยาเนตเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิวของอนุภาคมากกว่าภายในอนุภาคของพอลิยูรีเทน ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลที่เพิ่มขึ้น และปริมาณของหมู่ไอโซไซยาเนต (NCO) อิสระของพอลิยูรีเทน สามารถตรวจสอบโดยใช้เครื่อง GPC และเทคนิค FT-IR ตามลำดับ เมื่อพิจารณาหมู่ไอโซไซยาเนตที่เหลืออยู่ และพื้นที่ผิวทั้งหมดของอนุภาคพอลิยูรีเทน พบว่าการเตรียมพอลิยูรีเทนโดยใช้สัดส่วนโมลระหว่าง NCO : OH ที่ต่ำ มีผลทำให้ไม่มีหมู่ไอโซไซยาเนตอิสระเหลืออยู่ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำในระยะแรกของปฏิกิริยาการขยายสายโซ่โมเลกุล แต่ที่สัดส่วนโมลระหว่าง NCO : OH เท่ากับ 1.26 พบว่ายังคงมีหมู่ไอโซไซยาเนตเหลืออยู่จำนวนครึ่งหนึ่ง และสามารถเกิดปฏิกิริยาการขยายสายโซ่โมเลกุลต่อไป

Coutinho *et al.* (2003) ศึกษาผลของชนิดพอลิอีเทอร์ ไดไอโซไซยาเนต และสัดส่วนโมลของ NCO : OH ที่มีต่อการเสื่อมสภาพของโครงสร้างฟิล์มน้ำยางยูรีเทน และ พอลิ(ยูรีเทน-ยูเรีย) ซึ่งเตรียมจาก Hydroxyl-terminated polybutadiene (HTPB) พอลิโพรพิลีนไกลคอล (PPG) และไอโซอะลิฟลาติกไดไอโซไซยาเนต (Aliphatic diisocyanate) ที่แตกต่างกัน คือ Isophorone diisocyanate (IPDI) 4,4-dicyclohexylmethane diisocyanate (HMDI) และ Hexamethylene diisocyanate (HDI) และชนิดอะโรมาติกไดไอโซไซยาเนต (Aromatic diisocyanate) คือ Aromatic toluene diisocyanate (TDI) โดยใช้เอทิลีนไกลคอล (EG) ไฮดราซีน (HYD) หรือ เอทิลีนไดเอมีน (EDA) ทำปฏิกิริยาขยายสายโซ่โมเลกุล (Chain extension) พบว่าฟิล์มน้ำยางยูรีเทนที่เตรียมจากไดไอโซไซยาเนต ชนิด

HMDI ทนความร้อนได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับไดไอโซไซยาเนตชนิดอื่น เนื่องจาก HMDI ช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของฟิล์มน้ำยางยูรีเทน สำหรับการศึกษาค่าผลของชนิดพอลิออล และชนิดของสารที่ใช้ทำปฏิกิริยาขยายสายโซ่โมเลกุล พบว่าชนิดของพอลิออล และสารที่ใช้ทำปฏิกิริยาขยายสายโซ่โมเลกุล มีผลต่อสมบัติความทนต่อความร้อนของฟิล์มน้ำยางยูรีเทนด้วยเช่นกัน กล่าวคือฟิล์มน้ำยางยูรีเทนที่เตรียมจาก HTPB ทนความร้อนได้สูงกว่า PPG และการใช้เอทิลีนไดเอมีนเป็นสารขยายสายโซ่โมเลกุลให้สมบัติการทนความร้อนได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับไฮดราซีนและเอทิลีนไกลคอล ซึ่งฟิล์มน้ำยางยูรีเทนที่เตรียมโดยเอทิลีนไดเอมีนเป็นสารขยายสายโซ่เริ่มเกิดการเสื่อมสภาพ (Degradation) ที่อุณหภูมิ  $233^{\circ}\text{C}$  ส่วนไฮดราซีนและเอทิลีนไกลคอลเริ่มเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ  $211^{\circ}\text{C}$  และ  $197^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ

Desai *et al.* (2003) เตรียมกาวพอลิยูรีเทนจากพอลิเอสเทอร์ (Polyester) และพอลิออล (Polyol) ที่สังเคราะห์ได้จากแป้งมันฝรั่ง และน้ำมันจากธรรมชาติ โดยใช้ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) และนำมาทำปฏิกิริยากับไดไอโซไซยาเนต ชนิด Toluene 2,4 diisocyanate ได้เป็นกาวพอลิยูรีเทน จากนั้นนำกาวพอลิยูรีเทนมายึดติดกับวัสดุประเภทไม้ และทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงเฉือน (Shear strength) พบว่าการยึดติดระหว่างกาวและพื้นผิวของไม้ เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวแบบพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) และพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) โดยสัดส่วนระหว่าง NCO:OH และค่าไฮดรอกซิล (Hydroxyl value) ของพอลิออลที่ใช้เตรียมกาวพอลิยูรีเทน มีผลต่อสมบัติการยึดติดระหว่างกาวกับไม้ โดยที่สัดส่วนระหว่าง NCO : OH เท่ากับ 1.3 มีค่าความทนทานต่อแรงเฉือน (Shear strength) ดีที่สุด และถ้าพอลิออลที่ใช้เตรียมกาวพอลิยูรีเทนมีค่าไฮดรอกซิลสูง ก็ส่งผลทำให้สมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนมีค่าเพิ่มขึ้น

Somani *et al.* (2003) เตรียมพอลิออลที่ใช้สำหรับสังเคราะห์กาวพอลิยูรีเทนจากน้ำมันละหุ่ง (castor oil) และทำการศึกษาผลของความยาวของสายโซ่โมเลกุลของพอลิออลที่ใช้สังเคราะห์กาวพอลิยูรีเทน ที่มีต่อสมบัติการยึดติดระหว่างกาวพอลิยูรีเทน (Polyurethane Adhesive) กับวัสดุประเภทไม้ ซึ่งจากผลการทดสอบค่าความทนทานต่อแรงเฉือน (Shear strength) พบว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิออลเพิ่มขึ้น มีผลทำให้สมบัติการยึดติดของกาวลดลง โดยที่สัดส่วนระหว่าง NCO:OH และชนิดของไดไอโซไซยาเนตที่ใช้เตรียมกาวพอลิยูรีเทน ส่งผลต่อสมบัติการยึดติดและการเกิดเจลของกาวพอลิยูรีเทน โดยกาวพอลิยูรีเทนที่ใช้อะโรมาติกไดไอโซไซยาเนต (Aromatic diisocyanate) เกิดเจล (Gel) ได้เร็วกว่า อะลิฟาติกไดไอโซไซยาเนต (Aliphatic diisocyanate) และกาวพอลิยูรีเทนที่เตรียมโดยใช้สัดส่วนระหว่าง NCO:OH เท่ากับ 1.3 มีสมบัติการยึดติดดีที่สุดเมื่อเทียบกับสัดส่วนอื่น

Malucelli *et al.* (2005) ศึกษาจุลศาสตร์อัลตราไชน์ ได้แก่ อุณหภูมิและสภาวะความชื้นที่ใช้ในการอัลตราไชน์ของกาวพอลิยูรีเทน ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR พบว่าปฏิกิริยาการอัลตราไชน์ของกาวพอลิยูรีเทนเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์เมื่อเวลาผ่านไป 100 ชั่วโมง และจากผลการศึกษาสมบัติการยึดติดระหว่างกาวพอลิยูรีเทนกับพอลิโพรพิลีน และอะลูมิเนียม พบว่าสมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนมีค่าสูงขึ้น เมื่อปรับผิวหน้าวัสดุด้วยการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน และใช้สารช่วยในการยึดติด เนื่องจากการปรับผิวหน้าวัสดุมีผลทำให้เกิดหมู่มีซิวซีนบนผิวหน้าของโพรพิลีน และอะลูมิเนียม ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่มีซิวซีนบนผิวหน้าวัสดุ กับหมู่ยูรีเทนของกาวพอลิยูรีเทน

## บทที่ 3

### วิธีการวิจัย

#### 3.1 สารเคมี

3.1.1 น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง มีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง 60%DRC ใช้สำหรับเตรียมน้ำยางธรรมชาติดัดแปร ผลิตโดยบริษัททดลองอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น จำกัด

3.1.2 ยางแผ่นลมควันชั้น 3 (Rib smoke sheet No.3, RSS No.3) ใช้สำหรับเตรียมยางวัลคาไนซ์ เพื่อใช้สำหรับทดสอบสมบัติการยึดติดของกาว จากตลาดกลางยางพารา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

3.1.3 ยางสไตรีนบิวทาไดอีน (Styrene Butadiene Rubber, SBR) เกรด 1502 ใช้สำหรับเตรียมยางวัลคาไนซ์ เพื่อใช้สำหรับทดสอบสมบัติการยึดติดของกาว จำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วน กิจไพบูลย์เคมี จำกัด

3.1.4 RF-41 ใช้เป็นสารตั้งต้น สำหรับเตรียมกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า จำหน่ายโดยบริษัท Dongsung NSC (Thailand) จำกัด

3.1.5 WS-18N ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับเตรียม กาวพอลิยูรีเทนทางการค้า จำหน่ายโดยบริษัท Dongsung NSC (Thailand) จำกัด

3.1.6 DS-BOND<sup>®</sup> Powerful ใช้เป็นตัวถูกละลายของสารรองพื้นทางการค้า (Dongsung primer) สำหรับเตรียมผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ จำหน่ายโดยบริษัท Dongsung NSC (Thailand) จำกัด

3.1.7 AQUACE PR-504 ใช้เป็นตัวทำละลายของสารรองพื้น สำหรับเตรียมผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ จำหน่ายโดยบริษัท Dongsung NSC (Thailand) จำกัด

3.1.8 กรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริก (Trichloroisocyanuric acid) เกรดวิเคราะห์ ใช้สำหรับเตรียมสารรองพื้น เพื่อเตรียมผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ ผลิตโดยบริษัท Merck

3.1.9 เอทิลอะซิเตต (Ethyl acetate) เกรดวิเคราะห์ ใช้เป็นตัวทำละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริก เพื่อเตรียมสารรองพื้นทางการค้า จัดจำหน่ายโดย LAB – SCAN Analytical Sciences

3.1.10 กรดเพอร์ไอโอดิก (Periodic acid) สูตรทางเคมี  $H_5IO_6$  มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว ใช้เตรียมน้ำยางธรรมชาติอิพอกไซด์เหลวออกซิไดซ์ ผลิตโดยบริษัท Fluka ประเทศสวิดเซอร์แลนด์

3.1.11 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) สูตรทางเคมี  $H_2O_2$  เข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะเป็นของเหลวใส ใช้สำหรับเตรียมยางธรรมชาติเหลว และเตรียมสารอิพอกซิ



โคช เพื่อใช้สำหรับเตรียมน้ำยารวมชาติอิพอกไซค์ ผลิตโดยบริษัท Riede – de Haen ประเทศเยอรมัน

3.1.12 โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulfate) สูตรทางเคมี  $K_2S_2O_8$  มีลักษณะเป็นผงสีขาว ใช้ในการทำปฏิกิริยาลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติ ผลิตโดย Asia Pacific Specialty Chemicals Limited

3.1.13 อิมัลวิล ชนิดดับบลิว (Emulvin W) มีลักษณะเป็นครีมสีขาวขุ่น เป็นสารในกลุ่มพอลิไกลคอลชนิดอะโรมาติก (aromaticpolyglycol) ใช้เป็นสารรักษาเสถียรภาพน้ำยารวมชาติอิพอกไซค์ ผลิตโดย Bayer ประเทศเยอรมัน

3.1.14 เทอริก (Terric) มีลักษณะของเหลวสีขาวขุ่น เป็นสารในกลุ่มพอลิไกลคอลอีเทอร์ ใช้สำหรับรักษาเสถียรภาพน้ำยารวมชาติอิพอกไซค์เหลวออกซิไดซ์ ผลิตโดยบริษัท Huntsman ประเทศออสเตรเลีย

3.1.15 กรดฟอร์มิก (Formic acid) เข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์ สูตรทางเคมี  $HCOOH$  มีลักษณะของเหลวใส ผลิตโดย Fisher Scientific UK Limited

3.1.16 เมทานอล (Methanol) สูตรทางเคมี  $CH_3OH$  ใช้ในการจับตัวน้ำยารวมชาติเหลว และยางธรรมชาติเหลวอิพอกไซค์ จัดจำหน่ายโดย PS Science

3.1.17 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide) สูตรทางเคมี  $KOH$  มีลักษณะของเหลวใส เตรียมให้อยู่ในรูป 20 %โดยมวลต่อปริมาตร เพื่อใช้ในการเก็บรักษา น้ำยารวมชาติ น้ำหนักโมเลกุลให้อยู่ได้นาน โดยปรับค่า pH เป็น 10 – 12

3.1.18 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) สูตรทางเคมี  $CaCO_3$  ลักษณะเป็นผงสีขาว ใช้เป็นสารตัวเติม (filler) สำหรับเตรียมยางวัลคาไนซ์ จำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

3.1.19 เขม่าดำ (Carbon black) ชนิดที่ได้จากการเผาก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน และของผสมของก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันเตา เป็นชนิด furnace black หรือเกรด N-330 ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพ (Reinforcing filler) จำหน่ายโดยบริษัทโพลีเมอร์อินโนเวชั่น จำกัด

3.1.20 ดินขาว (Chaina clay) ใช้เป็นสารตัวเติมสำหรับเตรียมยางวัลคาไนซ์ จำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วน กิจไพบูลย์เคมี จำกัด

3.1.21 คูมาโรน ไอดีนเรซิน (Coumarone indene resin) ลักษณะเป็นเม็ดแข็งสีเหลือง ใช้เป็นสารที่ทำให้ยางเหนียวติดกัน ในการเตรียมยางวัลคาไนซ์ เพื่อใช้เป็นชั้นทดสอบค่าความแข็งแรงของการยึดติดของกาว จำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วน กิจไพบูลย์เคมี จำกัด

3.1.22 ไดฟีนิลกัวนิดีน (Diphenyl guanidine, DPG) ลักษณะเป็นผงสีเหลือง ทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง ในการเตรียมยางวัลคาไนซ์ สำหรับใช้เป็นชั้นทดสอบค่าความแข็งแรงของการยึดติดของกาว จำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วน กิจไพบูลย์เคมี จำกัด

3.1.23 ไตเมทิลบิวทิลฟีนิลพาราฟีนิลดีเอมีน (N-phenyl-N-1,3-dimethylbutyl-p-phenylenediamine, 6PPD) ลักษณะเป็นเม็ดสีดำ ทำหน้าที่เป็นแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant) ใช้สำหรับเตรียมยางวัลคาไนซ์ จำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วน กิจไพบูลย์เคมี จำกัด

3.1.24 ไดเบนโซไทอะซัลไดซัลไฟด์ (Dibenzothiazyl disulfide, MBTS) ลักษณะเป็นผงสีขาว ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่ง ในการวัลคาไนซ์ยาง จำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วน กิจไพบูลย์เคมี จำกัด

3.1.25 เตตระเมทิลไทูรัมไดซัลไฟด์ (Tetramethylthiuram disulfide, TMTD) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่ง เพื่อช่วยเร่งให้ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์เกิดเร็วขึ้น จำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วน กิจไพบูลย์เคมี จำกัด

3.1.26 กรดสเตียริก (Stearic acid) ลักษณะเป็นของแข็งเกล็ดสีขาว ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น (Activator) ช่วยให้สารตัวเร่งทำงานดีขึ้น จำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วน กิจไพบูลย์เคมี จำกัด

3.1.27 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) ลักษณะเป็นผงสีขาว ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นโดยใช้ร่วมกับกรดสเตียริก เพื่อให้การทำงานของสารตัวเร่งมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จำหน่ายโดยบริษัท Univenture Public Co.,Ltd.

3.1.28 น้ำมัน (White oil) ลักษณะเป็นของเหลวใส ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ จำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วน กิจไพบูลย์เคมี จำกัด

3.1.29 กำมะถัน (Sulphur) มีลักษณะเป็นผงสีเหลือง ทำหน้าที่เป็นสารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing agent) จำหน่ายโดยบริษัทสยามเคมี จำกัด

3.1.30 วัลทามอล (Vultamol) ลักษณะเป็นผงสีน้ำตาล ใช้เป็นสารช่วยการกระจายของสารเคมี ที่บดให้อยู่ในรูป dispersion จำหน่ายโดยบริษัทสยามเคมี จำกัด

3.1.31 หนังสักราะชนิด PVC และ PU ใช้สำหรับเตรียมชั้นทดสอบ สำหรับทดสอบสมบัติการยืดติดของกาว สนับสนุนโดยบริษัท Vega ball (Thailand) จำกัด

### 3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 เครื่องผสมแบบปิด (Kneader) ใช้สำหรับผสมยางกับสารเคมีต่างๆ เพื่อเตรียมยางคอมปานด์ ผลิตโดยบริษัทยง ฟง แมชชีนเนอร์ จำกัด

3.2.2 เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ใช้ผสมยางกับกำมะถัน เพื่อเตรียมยางคอมปานด์ สำหรับทดสอบสมบัติการยืดติดของกาว ผลิตโดยบริษัทยง ฟง แมชชีนเนอร์ จำกัด

3.2.3 เครื่องอัดเข้าโดยใช้ความดัน (Compression moulding) รุ่น LCC 140 ความดันสูงสุด 200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ยืดเข้าขนาด 18X18 นิ้ว ใช้สำหรับขึ้นรูปยางคอมปานด์ในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดันด้วยวิธีการอัดเข้าเข้าโดยใช้ระบบไฮดรอลิก ผลิตโดยบริษัทถังมาสเตอร์ จำกัด

3.2.4 เบ้าพิมพ์สแตนเลส ความกว้าง 6 นิ้ว ยาว 6 นิ้ว หนา 2.0 มิลลิเมตร ใช้สำหรับเป็นแม่พิมพ์ในการขึ้นรูปขึ้นทดสอบด้วยวิธีการอัดเบ้า

3.2.5 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensometer) ผลิตโดยบริษัท LLOYD instrument รุ่น LR10K ใช้สำหรับทดสอบความทนต่อแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของตัวอย่างยางวัลคาไนซ์ และทดสอบสมบัติการยืดติดของกาวด้วยเทคนิคแบบปอก ด้วยมุม  $180^{\circ}$  (ตามมาตรฐาน ASTM D1876-72)

3.2.6 เครื่องตัดชิ้นตัวอย่างรูปดัมเบลล์ แบบไดน์ C (Die C) ตามมาตรฐาน ASTM D412 ใช้สำหรับตัดชิ้นตัวอย่างยางวัลคาไนซ์ เพื่อทดสอบสมบัติความทนต่อแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด

3.2.7 เครื่องตัดชิ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดแบบมุม (Angle) ตามมาตรฐาน ASTM D 624

3.2.8 เครื่องทดสอบการวัลคาไนซ์ของยาง (Moving die rheometer; MDR 2000) รุ่น 36 AIG 2953 ใช้สำหรับวิเคราะห์หาเวลาวัลคาไนซ์ (Vulcanization time) และระยะเวลาการสุกก่อนกำหนด (scorch time) ของยางคอมพอนด์ ผลิตโดยบริษัท Alpha Technologies services Inc.

3.2.9 เครื่องกวน รุ่น RZR 2020 สามารถปรับความเร็วได้สูงสุด 2000 รอบต่อนาที ใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับเตรียมยางธรรมชาติตัดแปรรูป ผลิตโดย บริษัท Heidolph ประเทศเยอรมัน

3.2.10 ตู้อบขนาดความจุ 53 ลิตร ใช้สำหรับอบชิ้นตัวอย่างยางธรรมชาติตัดแปรรูป และอบชิ้นตัวอย่างที่ทากาว เพื่อให้ตัวทำละลายในกาวระเหย ก่อนประกบชิ้นตัวอย่าง ผลิตโดยบริษัท memmert ประเทศเยอรมัน

3.2.11 เครื่องบดสารเคมี (Ball mill) เป็นเครื่องที่ใช้บดสารเคมีให้อยู่ในรูป dispersion ความจุ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.2.12 เครื่องวัดความหนืด แบบ Brookfield viscometer ใช้สำหรับวัดความหนืดของน้ำยางธรรมชาติตัดแปรรูป และกาว รุ่น RVDV ผลิตโดยบริษัท Scientific Promotion Co., LTD. ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.13 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FTIR) ผลิตโดย Bruker Cooperation รุ่น EQUINOX 55 ใช้สำหรับวิเคราะห์สเปกตรัมของยางธรรมชาติตัดแปรรูปและกาวพอลิยูรีเทนสังเคราะห์

3.2.14 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform nuclear magnetic resonance spectrometer, NMR) ความถี่ 500 Hz ผลิตโดย Varian Inc. รุ่น UNITY INOVA

### 3.3 การเตรียมสารเคมี

3.3.1 กรดเปอร์ฟอร์มิก (Performic acid) สามารถเตรียมได้โดยการนำกรดฟอร์มิกเข้มข้นจำนวน 23 กรัม (0.5 โมล) ใส่ลงในปฏิกรณ์ โดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 22-23°C จากนั้นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น จำนวน 0.28 ลูกบาศก์เซนติเมตร และกวนผสมให้เข้ากัน ต่อมาเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 51 กรัม (0.75 โมล) และกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.3.2 สารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulfate solution) เตรียมให้มีความเข้มข้น 20% โดยมวลต่อปริมาตร โดยนำโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตจำนวน 20 กรัม มาละลายด้วยน้ำ และปรับปริมาตรเป็น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยขวดวัดปริมาตร

3.3.3 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide solution) เตรียมให้มีความเข้มข้น 20% โดยมวลต่อปริมาตร โดยนำโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตจำนวน 20 กรัม มาละลายด้วยน้ำ และปรับปริมาตรเป็น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยขวดวัดปริมาตร

3.3.4 สารละลายเทอร์ริก (Terric solution) เตรียมให้มีความเข้มข้น 10 % โดยมวลต่อปริมาตร โดยนำเทอร์ริกจำนวน 10 กรัม มาละลายในน้ำอุ่น และปรับปริมาตรเป็น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยขวดวัดปริมาตร

3.3.5 สารละลายอิมัลวิล (Emulvin solution) เตรียมให้มีความเข้มข้น 20 % โดยมวลต่อปริมาตร โดยนำอิมัลวิลจำนวน 20 กรัม มาละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยขวดวัดปริมาตร

3.3.6 สารรองพื้นชนิดทางการค้า (Dongsung primer) เตรียมให้มีความเข้มข้น 1.0 % โดยมวล ซึ่งสามารถเตรียมได้โดยนำ DS-BOND<sup>®</sup> Powerful ซึ่งเป็นตัวถูกละลายที่มีลักษณะเป็นผงสีขาว จำนวน 1.0 กรัม มาละลายด้วย AQUACE PR-504 ซึ่งเป็นตัวทำละลาย และปรับปริมาตรเป็น 100 กรัม

3.3.7 สารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในเอทิลอะซิเตต (TCI/EA) เตรียมให้มีความเข้มข้น 1.0 % โดยน้ำหนัก โดยนำกรดคลอโรไตรไอโซไซยานูริกซึ่งเป็นตัวถูกละลาย จำนวน 1.0 กรัม มาละลายด้วยเอทิลอะซิเตต และปรับปริมาตรเป็น 100 กรัม

### 3.4 วิธีการทดลอง

#### 3.4.1 ศึกษาการเตรียมน้ำยารวมชาติดัดแปร

ทำการศึกษาการเตรียมน้ำยารวมชาติดัดแปร โดยการดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติให้มีขั้ว โดยใช้กระบวนการทางเคมี ได้แก่ ปฏิกริยาลดน้ำหนักโมเลกุล และปฏิกริยาอ็อกซิเดชัน จากนั้นวิเคราะห์โครงสร้างของยางธรรมชาติดัดแปรด้วยเทคนิค FT-IR และ <sup>1</sup>H-NMR

และนำยางธรรมชาติดัดแปรที่ได้ไปเตรียมเป็นกาว เพื่อทดสอบสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU

#### 3.4.1.1 ยางธรรมชาติเหลว (LNR)

นำน้ำยางธรรมชาติ (NR latex) ที่มีความเข้มข้น 30 % DRC ซึ่งทำให้มีเสถียรภาพด้วย Emulvin W มาทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ ดังตารางที่ 3.1 ในปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิ 60°C พร้อมทั้งปั่นกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต และปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง เก็บตัวอย่างน้ำยางที่เวลา 6, 12 และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยานำน้ำยางบางส่วนมาตกตะกอนในเมทานอล ล้างด้วยน้ำกลั่น และอบตะกอนที่ 50°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นนำไปตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR และ <sup>1</sup>H-NMR

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้สำหรับเตรียมน้ำยางธรรมชาติเหลว (LNR)

Ingredients	Hydrogen peroxide contents (phr)				
	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0
NR latex (60.66%DRC)	100	100	100	100	100
20%wt Emulvin W	5	5	5	5	5
50%wt Hydrogen peroxide	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0
20%wt Potassium persulfate	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

#### 3.4.1.2 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR)

นำน้ำยางธรรมชาติ (NR latex) ที่มีความเข้มข้น 20 %DRC ซึ่งทำให้มีเสถียรภาพด้วย Emulvin W มาทำปฏิกิริยากับกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.3.1 ซึ่งใช้กรดเปอร์ฟอร์มิกปริมาณ 0.3 และ 0.5 โมลต่อโมลเนือยางแห้ง เพื่อเตรียมเป็นน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีปริมาณหมู่อีพอกไซด์ 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์โมล ตามลำดับ โดยปริมาณสารเคมีที่ใช้แสดงในตารางที่ 3.2 ทำการปั่นกวนอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยานำน้ำยางบางส่วนมาตกตะกอนในเมทานอล ล้างด้วยน้ำกลั่น และแช่ในสารละลาย Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ต่อมาล้างด้วยน้ำกลั่นจน pH เท่ากับ 7 และอบตะกอนที่ 50°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำไปตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT- IR และ <sup>1</sup>H-NMR

ตารางที่ 3.2 ปริมาณสารเคมีที่ใช้สำหรับเตรียมน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR)

Ingredients	ENR 30 (phr)	ENR 50 (phr)
NR latex (60.66%DRC)	100	100
20%wt Emulvin W	5	5
Performic acid 17.80%wt (cm <sup>3</sup> )	87	174
Distilled water (cm <sup>3</sup> )	300	480

#### 3.4.1.3 ยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซด์ (LENR)

นำน้ำยางธรรมชาติ (NR latex) ที่มีความเข้มข้น 30% DRC ซึ่งทำให้มีเสถียรภาพด้วย Emulvin W มาทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณ 4 phr ในปฏิกรณ์ ที่อุณหภูมิ 60°C พร้อมทั้งปั่นกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติมโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตจำนวน 5 phr และปั่นกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยานำน้ำยางธรรมชาติเหลวมาทำปฏิกิริยากับกรดเปอร์ฟอร์มิกปริมาณ 0.3 และ 0.5 โมลต่อโมลเนื้อยางแห้ง เพื่อเตรียมน้ำยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซด์ที่มีปริมาณหมู่อีพอกไซด์ 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์โมล ตามลำดับ ซึ่งปริมาณสารที่ใช้แสดงดังตารางที่ 3.3 จากนั้นปั่นกวนอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยานำน้ำยางบางส่วนมาตกตะกอนในเมทานอล ล้างด้วยน้ำกลั่น และแช่ในสารละลาย Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ต่อมาล้างด้วยน้ำกลั่นจน pH เท่ากับ 7 และอบตะกอนที่ 50°C เพื่อนำไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FT-IR และ <sup>1</sup>H-NMR

ตารางที่ 3.3 ปริมาณสารเคมีที่ใช้สำหรับเตรียมน้ำยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซด์ (LENR)

Ingredients	LENR 30 (phr)	LENR 50 (phr)
NR latex	100	100
20% wt Emulvin W	5	5
50% wt Hydrogen peroxide	4.0	4.0
20% wt Potassium persulfate	5.0	5.0
Performic acid 18.30%wt (cm <sup>3</sup> )	83	166
Distilled water (cm <sup>3</sup> )	300	480

### 3.4.1.4 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลวออกซิไดซ์ (OLENR)

เตรียมน้ำยางธรรมชาติ (NR latex) ให้มี % DRC เป็น 25 เดิมสารรักษาเสถียรสภาพน้ำยาง โดยใช้เทอร์ริก 4 % โดยน้ำหนักของเนื้อยางแห้ง ให้ความร้อน  $50^{\circ}\text{C}$  และบ่มกวน 30 นาที หยดกรดฟอร์มิก 25 % ต่อโมลของเนื้อยางแห้ง บ่มกวน 20 นาที เดิมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 30% ต่อโมลของเนื้อยางแห้ง ซึ่งปริมาณสารที่ใช้แสดงดังตารางที่ 3.4 บ่มกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยานำน้ำยางที่เตรียมได้จากขั้นตอนข้างต้นมาตามจำนวนที่ต้องการ มาเติมสารรักษาเสถียรสภาพน้ำยาง โดยใช้เทอร์ริก 3 % โดยน้ำหนักของเนื้อยางแห้ง และเติมกรดเพอร์ไอโอดิก ( $\text{H}_5\text{IO}_6$ ) จำนวน 10% ต่อโมลเนื้อยางแห้ง พร้อมทั้งกวนอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา ได้เป็นน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลว (LENR) หลังจากนั้นนำน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลวที่เตรียมได้มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งมี %DRC เป็น 10 และควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาที่  $65^{\circ}\text{C}$  เดิม  $\text{H}_2\text{O}_2$  จำนวน 2 เท่า โดยโมลต่อโมลของเนื้อยางแห้งลงไปอย่างช้าๆ ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 15 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยานำน้ำยางบางส่วนมาตกตะกอนด้วยเมทานอล และล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นแช่ในสารละลาย  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำกลั่นจน pH เท่ากับ 7 ทำการอบให้แห้งที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  และนำไปวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลด้วยเทคนิค FT-IR และ  $^1\text{H-NMR}$

ตารางที่ 3.4 ปริมาณสารเคมีที่ใช้สำหรับเตรียมน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลวออกซิไดซ์ (OLENR)

Ingredients	amount (g)
NR latex	113
10% w/v Terric	68
50% wt Hydrogen peroxide	65
98% wt Formic acid	17
10% w/v $\text{H}_5\text{IO}_6$	68
Distilled water	180

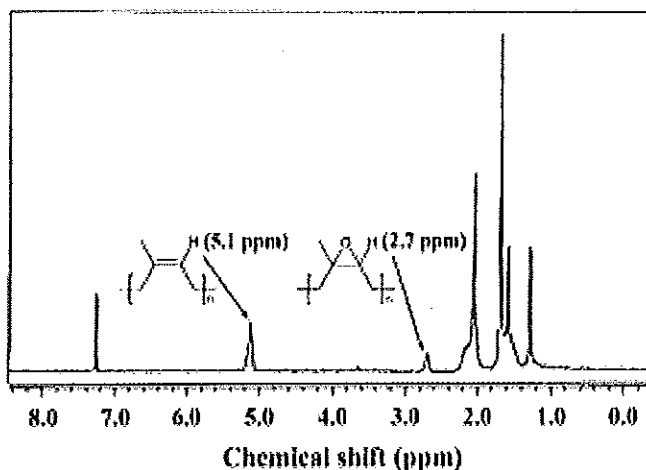
### 3.4.1.5 การวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ในยางธรรมชาติดัดแปร

การดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลของยางให้มีขั้ว โดยใช้กระบวนการทางเคมี ได้แก่ ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน ทำให้เกิดหมู่อีพอกไซด์ขึ้นภายในสายโซ่โมเลกุล ซึ่งการตรวจสอบหาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถทำได้โดยใช้เทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  และ FT-IR

### i. โพรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรซโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี ( $^1\text{H NMR}$ )

ยางธรรมชาติดัดแปร ได้แก่ ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ยางธรรมชาติเลวอีพอกไซด์ และยางธรรมชาติอีพอกไซด์เลวออกซิไดซ์ สามารถนำมาตรวจสอบหาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในสายโซ่โมเลกุลได้ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  โดยเทคนิคนี้เป็นการพิสูจน์สัญญาณของโปรตอนตำแหน่ง  $\delta=2.7$  และ  $\delta=5.1$  ppm ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดสัญญาณแรงแซแนนซ์ของโปรตอนของวงแหวนอีพอกไซด์และโปรตอนของพันธะคู่ของยางธรรมชาติตามลำดับ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.1 จากนั้นคำนวณหาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ในยางธรรมชาติดัดแปร โดยการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้เส้นโค้งระหว่างสัญญาณที่ตำแหน่ง  $\delta= 2.7$  และ  $\delta= 5.1$  ppm และนำมาคำนวณหาปริมาณของหมู่อีพอกไซด์ดังสมการที่ 3.1

$$\text{Epoxide content (\%)} = \frac{I_{2.7}}{(I_{2.7}+I_{5.1})} \times 100 \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.1  $^1\text{H NMR}$  สเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกซิไดซ์ (Sanguansap *et al*, 2005 )

### ii. อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (FT-IR)

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR เป็นวิธีที่ใช้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติดัดแปรได้เช่นเดียวกับเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  โดยเทคนิคนี้สามารถพิสูจน์โครงสร้างของยางธรรมชาติดัดแปรจากสเปกตรัมอินฟราเรด โดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Absorbance) ที่ตำแหน่งต่างๆ ดังตารางที่ 3.5

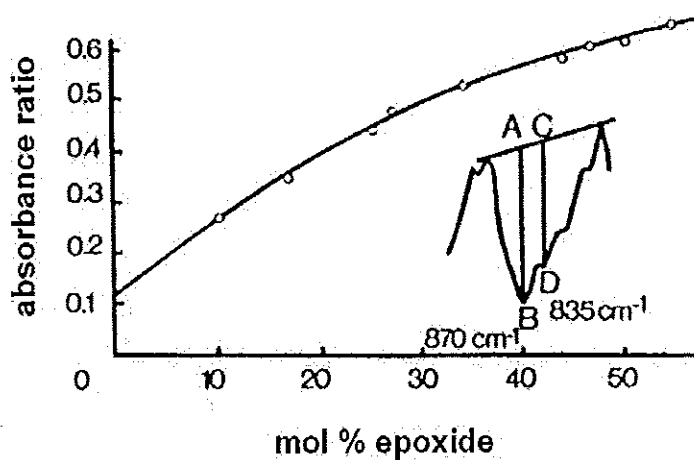


ตารางที่ 3.5 ตำแหน่งเลขคลื่นของสเปกตรัมอินฟราเรดหมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติอีพอกไซด์

หมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )
$\text{CH}_2$ , $\text{CH}_3$	2990 - 2850
-C-H ที่เกาะอยู่กับ C=C	835
อีพอกไซด์	870, 1240

จากนั้นคำนวณหาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ในยางธรรมชาติดัดแปร โดยการคำนวณค่าอัตราการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Absorbance ratio, Ar) ที่ได้จากการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้เส้นโค้งระหว่างสเปกตรัมที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 และ  $835 \text{ cm}^{-1}$  และนำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.2 โดยปริมาณหมู่อีพอกไซด์ในหน่วยโมลเปอร์เซ็นต์สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.2

$$\text{Ar} = a_{870} / (a_{870} + a_{835}) \quad (3.2)$$



รูปที่ 3.2 กราฟมาตรฐานที่ใช้สำหรับคำนวณหาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Robert, 1990)

#### 3.4.1.6 การหาค่า OH Value ของพอลิเออร์ (Hepburn, 1992)

ซึ่งยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลวออกซิไดซ์ (OLENR) มาประมาณ 3 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเปิดของผสมพทาสิก (Phthalic Mixture, 1 Phthalic : 6 Pyridine by Volume) จำนวน 20 มิลลิลิตร จากนั้นนำของผสมไปรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  เป็น

เวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมน้ำกลั่นเย็นจำนวน 50 มิลลิลิตร นำสารที่ได้ไปไตเตรทด้วย 1 นอร์มอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วสังเกตสีจากของเหลวเปลี่ยนเป็นสีชมพู อ่านปริมาตรที่ได้ และทำการทดสอบแบลงค์ควบคู่ไปด้วย ทำการคำนวณหาค่า OH Value โดยใช้สมการที่ 3.3

$$\text{OH Value} = 56.1 [ (B-A) / W ] + \text{acid number} \quad (3.3)$$

เมื่อ	A	=	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
	B	=	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ไตเตรทแบลงค์ (มิลลิลิตร)
	W	=	น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

โดยที่ Acid Number ของโพลีเอสเตอร์สามารถหาได้โดย ซึ่งยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลว ออกซิไดซ์ (OLENR) มาประมาณ 5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพูนขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเปิด Titration Solvent (1 Benzene : 1 Ethanol by Volume) 50 มิลลิลิตร ใส่เข้าไปและเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำสารผสมมาไตเตรทกับ 0.1 นอร์มอล โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วสังเกตสีจากของเหลวเปลี่ยนเป็นสีชมพู อ่านปริมาตรที่ได้ และทำการทดสอบแบลงค์ควบคู่ไปด้วย และคำนวณผลดังสมการที่ 3.4

$$\text{Acid number} = 56.1 [ (A-B) / W ] N \quad (3.4)$$

เมื่อ	A	=	ปริมาตร KOH ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
	B	=	ปริมาตร KOH ที่ใช้ไตเตรทแบลงค์ (มิลลิลิตร)
	W	=	น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

### 3.4.2 ศึกษาการเตรียมชั้นตัวอย่างยางวัลคาไนซ์

ยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สำหรับทดสอบสมบัติการยึดติดมีความสำคัญมาก เนื่องจากยางวัลคาไนซ์ที่ใช้ต้องมีความแข็งแรงมากกว่าความแข็งแรงของกาว (Cohesive strength) และแรงยึดติดระหว่างกาว กับวัสดุ (Adhesive strength) เพราะหากยางไม่มีความแข็งแรง ก็ส่งผลให้เกิดการล้าเหลวของการยึดติดภายในเนื้อยาง ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ทดสอบสมบัติการยึดติดของกาวได้

#### 3.4.2.1 การเตรียมยางวัลคาไนซ์

ยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สำหรับเตรียมเป็นชั้นตัวอย่างสำหรับทดสอบสมบัติการยึดของกาวแต่ละชนิด จำเป็นต้องมีความแข็งแรง เพื่อไม่ให้เกิดการล้าเหลวของการยึดติดภายในเนื้อยาง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ออกสูตรยางที่ใช้สำหรับทดสอบสมบัติการยึดติดให้มีความแข็งแรง ซึ่งสูตรยางนี้ใช้ยางธรรมชาติร่วมกับยาง SBR และใช้เซมาดำเป็นสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพ โดยปริมาณยางและสารเคมีที่ใช้แสดงดังตารางที่ 3.6 ซึ่งขั้นตอนการผสมยางและสารเคมีสามารถทำได้โดยการผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด (Kneader) จากนั้นหาเวลาในการวัลคาไนซ์ (Cure time) ของยางคอมเพานด์ด้วยเครื่อง MDR ที่ 150°C ตามมาตรฐาน ASTM 5289-95 และนำยางคอมเพานด์ไปขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดเข้าโดยใช้ความดัน และทำการขึ้นรูปยางคอมเพานด์ให้มีความหนา 2.5 มิลลิเมตร สำหรับทดสอบสมบัติการยึดติด และหนา 1.5 มิลลิเมตร สำหรับการทดสอบสมบัติเชิงกลความทนต่อแรงดึง และการทดสอบการฉีกขาด

ตารางที่ 3.6 สูตรยางวัลคาไนซ์ที่ใช้เตรียมชิ้นยางตัวอย่างสำหรับทดสอบสมบัติการยึดติด

Ingredients	Contents (by weight)
RSS no.3	57
SBR	28
Carbon black	15
China clay	30
Calcium carbonate	20
White oil	3
Zinc oxide	4
Stearic acid	1.5
6PPD	1.3
MBTS	0.8
DPG	0.3
Coumarone indene resin	2
Sulphur	1.5

#### 3.4.2.2 การปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้น

การปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นเป็นตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อสมบัติการยึดติดของกาว เนื่องจากการเตรียมผิวหน้ายางเป็นการขจัดชั้นของสารเคมีซึ่งเป็นชั้นที่อ่อนแอออกจากผิวหน้ายาง เช่น ซิงค์สเตียเรต น้ำมัน และพลาสติกไซเซออร์ อีกทั้งเป็นการเพิ่มแรงดึงผิวบนผิวหน้ายาง ส่งผลให้สมบัติการเปียกผิวของกาวเพิ่มขึ้น เพื่อให้โมเลกุลของกาวกับผิววัสดุสัมผัสได้มากที่สุด งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารรองพื้นที่มีต่อสมบัติการยึด

ติดระหว่างยางวัลคาไนซ์และหนังสือกระดาษของกาว โดยใช้สารรองพื้นทางการค้า (Dongsung primer) และสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในเอทิลอะซิเตต ซึ่งขั้นตอนการเตรียมผิวหน้ายางวัลคาไนซ์มีดังนี้

1. นำยางวัลคาไนซ์มาขัดด้วยกระดาษทราย จากนั้นนำยางวัลคาไนซ์ที่ผ่านการขัดด้วยกระดาษทรายมาล้างด้วยน้ำกลั่น เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออกจากผิวหน้ายาง และนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 15 นาที

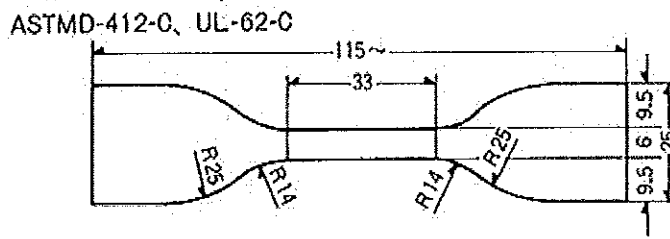
2. นำยางวัลคาไนซ์มาปรับผิวหน้าด้วยสารรองพื้นชนิดทางการค้า (Dongsung primer) และสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในเอทิลอะซิเตต ที่ความเข้มข้น 1.0% โดยน้ำหนัก โดยการนำยางวัลคาไนซ์มาจุ่มในสารรองพื้นเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำขึ้นตัวอย่างยางวัลคาไนซ์ไปอบที่  $60^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 15 นาที เพื่อระเหยตัวทำละลายออก เก็บขึ้นตัวอย่างยางวัลคาไนซ์ที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมผิวหน้าแล้วไว้ในเดซีเคเตอร์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำยางวัลคาไนซ์มาทาด้วยกาว และทดสอบสมบัติการยึดติด

### 3.4.2.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์

การทดสอบสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมได้ดังหัวข้อ 3.4.2.1 เป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการขึ้นตัวอย่างยางวัลคาไนซ์สำหรับทดสอบสมบัติการยึดติดที่มีความแข็งแรง และไม่เกิดการล้มเหลวของการยึดติดภายในเนื้อยาง ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ ได้แก่ ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อการฉีกขาด และค่าความแข็งแรง

#### i. การทดสอบความทนต่อแรงดึง (Tensile test)

1. การเตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบความทนต่อแรงดึง ทำได้โดยการนำยางคอมพอนด์ที่ทราบเวลาในการวัลคาไนซ์แล้วไปทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดเบ้าโดยใช้ความดันที่อุณหภูมิ  $150^{\circ}\text{C}$  โดยใช้ความดันประมาณ 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ) ใช้เวลาในการขึ้นรูปตามเวลาการวัลคาไนซ์ที่ได้จากเครื่อง MDR หลังจากนั้นจึงทำการตัดขึ้นตัวอย่างเป็นรูปดัมเบลล์ (Dumbbell) โดยใช้เครื่องตัดขึ้นตัวอย่างแบบ Die C ตามมาตรฐาน ASTM D 412 ซึ่งลักษณะของ Die C แสดงดังรูปที่ 3.3 ก่อนที่จะทำการทดสอบมีการกำหนดช่วงการยึด (Benchmark) บนชิ้นทดสอบและวัดความหนาของชิ้นทดสอบ 3 ตำแหน่งคือ ตรงกลาง และบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดทั้งสองด้านของชิ้นทดสอบแล้วใช้ค่าเฉลี่ยเป็นค่าความหนาสำหรับการคำนวณ



รูปที่ 3.3 ชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ (Die C) สำหรับทดสอบความทนต่อแรงดึงตามมาตรฐาน  
ASTM D 412-80

2. นำชิ้นตัวอย่างยางวัลคาไนซ์ไปทดสอบความทนต่อแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบคุณสมบัติการดึงโดยใช้ความเร็วในการดึงยึด 500 มิลลิเมตรต่อนาที บนที่กแรงตรงตำแหน่งที่มีการยึดของชิ้นตัวอย่างจากเดิมเป็น 100 และ 300 เปอร์เซ็นต์ ของความยาวเดิมก่อนทำการดึงยึด แรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบขาด และค่าการยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) เพื่อนำไปคำนวณค่าโมดูลัส (Modulus) ที่การยึด 100 และ 300 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเค้นที่จุดขาด (Stress at break) หรือค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ตามลำดับ ดังนี้

#### การคำนวณ

ก. ค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) คือ ค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบขาด (หน่วยที่บันทึกได้จากเครื่อง คือ นิวตัน, N) เมื่อนำมาคำนวณต่อพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบขณะยังไม่ยึด (ตารางมิลลิเมตร,  $\text{mm}^2$ ) ดังสมการที่ 3.5 ได้ค่าความทนต่อแรงดึงมีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ( $\text{N/mm}^2$ ) หรือ เมกะพาสคาล (MPa) ในหน่วย SI ( $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$ )

$$\text{Tensile strength} = \frac{\text{maximum load}}{A} \quad (3.5)$$

โดย

maximum load คือ แรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบขาด (นิวตัน)  
A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบขณะยังไม่ยึด (ตารางมิลลิเมตร)

ข. ค่าโมดูลัสที่การยึด 100 และ 300 เปอร์เซ็นต์ (100 และ 300% modulus) คือ แรงที่บันทึกได้จากเครื่อง ณ ตำแหน่งที่มีการยึดของชิ้นทดสอบเป็น 100 หรือ 300 เปอร์เซ็นต์ จากช่วงการยึดที่กำหนดไว้ โดยหน่วยของแรงที่บันทึกได้จากเครื่อง คือ นิวตัน (N) เมื่อนำมาคำนวณต่อพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบขณะยังไม่ยึด (ตารางมิลลิเมตร) ดังสมการที่ 3.6 จะได้ค่า

โมดูลัสที่การยืด 100 และ 300 เปอร์เซ็นต์ มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/mm<sup>2</sup>) หรือ เมกะพาสคาล (MPa) ในหน่วย SI ซึ่งเป็นหน่วยเดียวกันกับค่าความทนต่อแรงดึง

$$100 \text{ หรือ } 300\% \text{ Modulus} = \frac{F}{A} \quad (3.6)$$

โดย

F คือ แรงดึงที่ทำให้ชิ้นทดสอบยืด 100 หรือ 300 เปอร์เซ็นต์ (นิวตัน)  
A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบขณะยังไม่ยืด (ตารางมิลลิเมตร)

ค. การยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) คือ ความสามารถของชิ้นทดสอบที่จะยืดออกได้โดยไม่เกิดการแตกหักเสียหาย โดยแสดงค่าเป็นร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์ของความยาวเดิม ซึ่งเกิดขึ้นทันทีที่มีการขาดของชิ้นทดสอบ การคำนวณแสดงดังสมการที่ 3.7

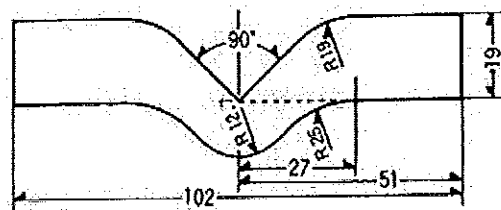
$$\text{Elongation at break} = 100 \times \frac{(L - L_0)}{L_0} \quad (3.7)$$

โดย

L คือ ระยะที่ชิ้นทดสอบสามารถยืดตัวได้จนขาด (เซนติเมตร)  
L<sub>0</sub> คือ ระยะกำหนดก่อนทำการทดสอบ (เซนติเมตร)

## ii. การทดสอบการฉีกขาด (Tear test)

1. การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยการตัดชิ้นตัวอย่างจากยางคอมพอนด์ที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วด้วยเครื่องตัดชิ้นตัวอย่าง Die C แบบมุม (Angle) โดยไม่มีรอยบากตรงมุม ตามมาตรฐาน ASTM D 624 ซึ่งลักษณะของ Die ขนาดของ Die และมุมในการฉีกขาดแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ชิ้นทดสอบแบบมุมสำหรับการทดสอบการฉีกขาดตามมาตรฐาน ASTM D 624-81

2. วัดความหนาของชิ้นตัวอย่าง 3 ตำแหน่ง ตรงบริเวณมุม 90° ของชิ้นตัวอย่างแล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้สำหรับคำนวณค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด

3. ทดสอบความต้านทานในการฉีกขาดของชิ้นตัวอย่าง ด้วยเครื่องทดสอบคุณสมบัติการดึงโดยใช้ความเร็วในการทดสอบ 500 มิลลิเมตรต่อนาที (mm/min) ดึงชิ้นตัวอย่างจนฉีกขาด และบันทึกค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นตัวอย่างฉีกขาด โดยหน่วยที่บันทึกได้จากเครื่อง คือนิวตัน แล้วนำมาคำนวณหาค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดหรือความทนต่อการฉีกขาด (Tear strength) ต่อความหนาของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร) ดังสมการ 3.8 ซึ่งค่าที่คำนวณได้มีหน่วยเป็นนิวตันต่อเมตร (N/m)

#### การคำนวณ

$$\text{Tear strength} = \frac{\text{maximum load}}{D} \quad (3.8)$$

โดย

$$\begin{aligned} \text{Maximum load} &= \text{แรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบขาด (นิวตัน)} \\ D &= \text{ความหนาของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)} \end{aligned}$$

### iii. การวัดค่าความแข็ง (Hardness test)

ทดสอบความแข็งตามมาตรฐาน ASTM D 2240-81 เป็นการวัดค่าความแข็งแบบ shore A โดยใช้ชิ้นทดสอบที่มีความหนาน้อย 6 มิลลิเมตร และทำการทดสอบความแข็งด้วยเครื่องวัดแบบ Shore A โดยใช้หัวกดของเครื่องวัดกดลงบนชิ้นตัวอย่างค้างไว้ 30 วินาที แล้วจึงอ่านค่าความแข็งที่ได้

#### 3.4.3 ศึกษาการเตรียมและทดสอบสมบัติการยึดติดของกาว

การทดสอบสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์เป็นขั้นตอนทดสอบสมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางธรรมชาติตัดแปรร กาวน้ำยางผสม และกาวพอลิยูรีเทนที่เตรียมขึ้นเอง เพื่อเปรียบเทียบกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า

##### 3.4.3.1 การเตรียมกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า

ทำการเตรียมกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า โดยนำไดไอโซไซยาเนต (Diisocyanate) เดิมลงในพอลิออล (Polyol) จำนวน 100 กรัม พร้อมทั้งปั่นกวนอย่างต่อเนื่องด้วยความเร็ว 240 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำกาวที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU

### 3.4.3.2 การเตรียมกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร

สารเคมีที่ใช้สำหรับเตรียมกาวน้ำยางธรรมชาติ ได้แก่ ZnO, ZDEC, MBTS และกำมะถัน จะมีลักษณะเป็นผงและมีอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ จึงไม่สามารถเติมลงในน้ำยางได้โดยตรง เนื่องจากจะทำให้สารเคมีเกิดการตกตะกอน และจับตัวเป็นก้อนในน้ำยาง จึงจำเป็นต้องมีการเตรียมสารเคมีให้อยู่ในรูป 50% dispersion ก่อนเติมลงในน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งปริมาณสารเคมีที่ใช้สำหรับเตรียมกาวน้ำยางธรรมชาติแสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ปริมาณสารเคมีที่ใช้เตรียมกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร

Ingredients	Contents (phr)					
	NR	LNR	ENR30	ENR50	LENR30	LENR50
NR latex	100					
LNR latex		100				
ENR 30 latex			100			
ENR 50 latex				100		
LENR 30 latex					100	
LENR 50 latex						100
50 % dispersion ZnO	3	3	3	3	3	3
50 % dispersion ZMBT	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
50 % dispersion ZDEC	1	1	1	1	1	1
50 % dispersion sulphur	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75

### 3.4.3.3 การเตรียมกาวน้ำยางผสม

ทำการเตรียมกาวน้ำยางผสมระหว่างกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้าที่อัตราส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 3.8 โดยนำกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรมาเติมลงในกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า จากนั้นกวนเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้กาวทั้งสองชนิดเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำมาทดสอบสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU



ตารางที่ 3.8 ปริมาณสารเคมีที่ใช้เตรียมกาวน้ำยางผสมระหว่างกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร  
กับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า

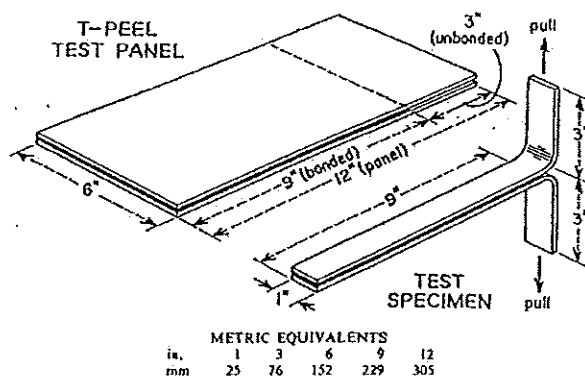
Ingredients	Contents (phr)				
	PU/LNR	PU/ENR30	PU/ENR50	PU/LENR30	PU/LENR50
PU/LNR 100/0 70/30 50/50 30/70 0/100	100				
PU/ENR30 100/0 70/30 50/50 30/70 0/100		100			
PU/ENR 50 100/0 70/30 50/50 30/70 0/100			100		
PU/LENR 30 100/0 90/10 80/20 70/30 0/100				100	
PU/LENR 50 100/0 90/10 80/20 70/30 0/100					100

#### 3.4.3.4 การทดสอบสมบัติการยึดติด

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวชนิดต่างๆ ด้วยมาตรฐาน ASTM D1876-72 ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับการทดสอบความแข็งแรงของการยึดติดโดยใช้เทคนิคแบบลอก (Peel test) ด้วยมุม 180° โดยขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบมีดังนี้

1. นำชิ้นตัวอย่างยางวัลคาไนซ์ขนาด 152.4×25.4×2.5 มิลลิเมตร ที่เตรียมผิวหน้าด้วยการขัดกระดาษทราย ทำการล้างด้วยน้ำเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก และอบที่อุณหภูมิ 60°C จากนั้นเตรียมผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นทางการค้าและสารละลายกรดไตรไอโซไซยานูริกในเอทิลอะซิเตต ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 1.0 % โดยน้ำหนัก

2. นำยางวัลคาไนซ์ที่ปรับผิวหน้าด้วยสารรองพื้น และหนังสังเคราะห์ขนาดเดียวกันมาทาด้วยกาว โดยใช้ปริมาณเนื้อกาว 0.39 กรัมต่อชิ้นทดสอบ อบชิ้นตัวอย่างที่ 60°C ที่ความดัน 2.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ( $\text{kg/cm}^2$ ) (เวลาที่ใช้ออบชิ้นตัวอย่างขึ้นอยู่กับชนิดของกาว) เก็บชิ้นตัวอย่างไว้ 1 สัปดาห์ ในเดซีเคเตอร์ แล้วจึงทดสอบสมบัติความแข็งแรงของการยึดติดโดยเทคนิคการทดสอบแบบลอก (Peel test) ด้วยมุม 180° ตามมาตรฐาน ASTM 1876-72



รูปที่ 3.5 การทดสอบแบบปอก (peel test) ด้วยมุม 180° ตามมาตรฐาน ASTM 1876 -72

#### 3.4.4 การสังเคราะห์กาวพอลิยูรีเทน

กาวพอลิยูรีเทนเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลวออกซีไดซ์ (OLENR) ที่เตรียมได้ดังหัวข้อที่ 3.4.1.4 กับไดไอโซไซยาเนต ชนิด 4,4' เมทิลีนบิส (ฟีนิลไอโซไซยาเนต, pMDI) โดยใช้ไดบิวทิลดีน ไดลอเรท (Dibutyltin Dilaurate, DBTL) เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการทดลองนี้ได้แปรปริมาณสารเคมีที่สัดส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.9 โดยนำยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลวออกซีไดซ์มาละลายในไดไอโซไซยาเนต กวณอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งละลายเป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน เติมไดบิวทิลดีนไดลอเรท และทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา นำกาวพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลด้วยเทคนิค FT-IR และนำกาวพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU

ตารางที่ 3.9 ปริมาณสารเคมีที่ใช้สังเคราะห์กาวพอลิยูรีเทน

Ingredients	Mole of OLENR : Mole of pMDI				
	0.50:1.0	0.75:1.0	1.0:1.0	1.25:1.0	1.50:1.0
OLENR (g)	3.4	5.1	6.8	8.5	10.2
pMDI (g)	25	25	25	25	25

### 3.4.4.1 การหาปริมาณไดโซไซยาเนตอิสระ (Hepburn, 1992)

ซึ่งตัวอย่างไดโซไซยาเนตจำนวน 2 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask) จากนั้นเติมคลอโรเบนซีน จำนวน 5 มิลลิลิตร และอุ่นสารผสมเพื่อช่วยในการละลาย ทำการเติมสารละลายไดบิลทีลอะมีนมาตรฐาน (Standard Dibutylamine Solution) [เตรียมโดยการใช้ Dibutylamine ที่กลั่นใหม่ ๆ จำนวน 129 กรัม ละลายในไตรคลอโรเบนซีน (Trichlorobenzene) ที่กลั่นใหม่ ๆ จำนวน 871 กรัม] จำนวน 25 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 5 นาที เติม 1% เมทิลออเรนจ์ (methyl orange) ในสารละลายแอลกอฮอล์ จำนวน 2-3 หยด และเมทานอล (Methanol) จำนวน 100 มิลลิลิตร ไตเตรตด้วย 1 นอร์มอล กรดไฮโดรคลอริก จุดสมมูลเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นชมพู

#### การคำนวณ

$$\text{Free NCO Content} = 42 \times M \times V_2 - V_1 \times 100 / (1000 \times W)$$

โดยที่

M	=	ความเข้มข้นของ HCl ที่ใช้ (มิลลิลิตร)
V <sub>2</sub>	=	ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ไตเตรตแบลนด์ (มิลลิลิตร)
V <sub>1</sub>	=	ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
W	=	น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

### 3.4.4.2 การเตรียมกาวพอลิยูรีเทน

นำกาวพอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาระหว่างยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลว ออกซีไดซ์ (OLENR) กับไดโซไซยาเนต ชนิด 4,4' เมทิลีนบิส (ฟีนิลไอโซไซยาเนต, PMDI) ที่แปรปริมาณโมลเท่ากับ 1.50:1.0, 1.25:1.0, 1.0:1.0 0.75:1.0 และ 0.5:1.0 โมลต่อโมล ตามลำดับ ดังหัวข้อ 3.4.2 มาทดสอบสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ซึ่งปริมาณสารที่ใช้แสดงดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ปริมาณสารเคมีที่ใช้เตรียมกาวพอลิยูรีเทน

Ingredients	Contents (phr)					
	Commercial Polyurethane	1.50:1.0	1.25:1.0	1.0 : 1.0	0.75 :1.0	0.5 : 1.0
Commercial Polyurethane	100					
OLENR : NCO 1.50 : 1.0		100				
1.25 : 1.0			100			
1.0 : 1.0				100		
0.75 : 1.0					100	
0.5 : 1.0						100

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง และวิจารณ์

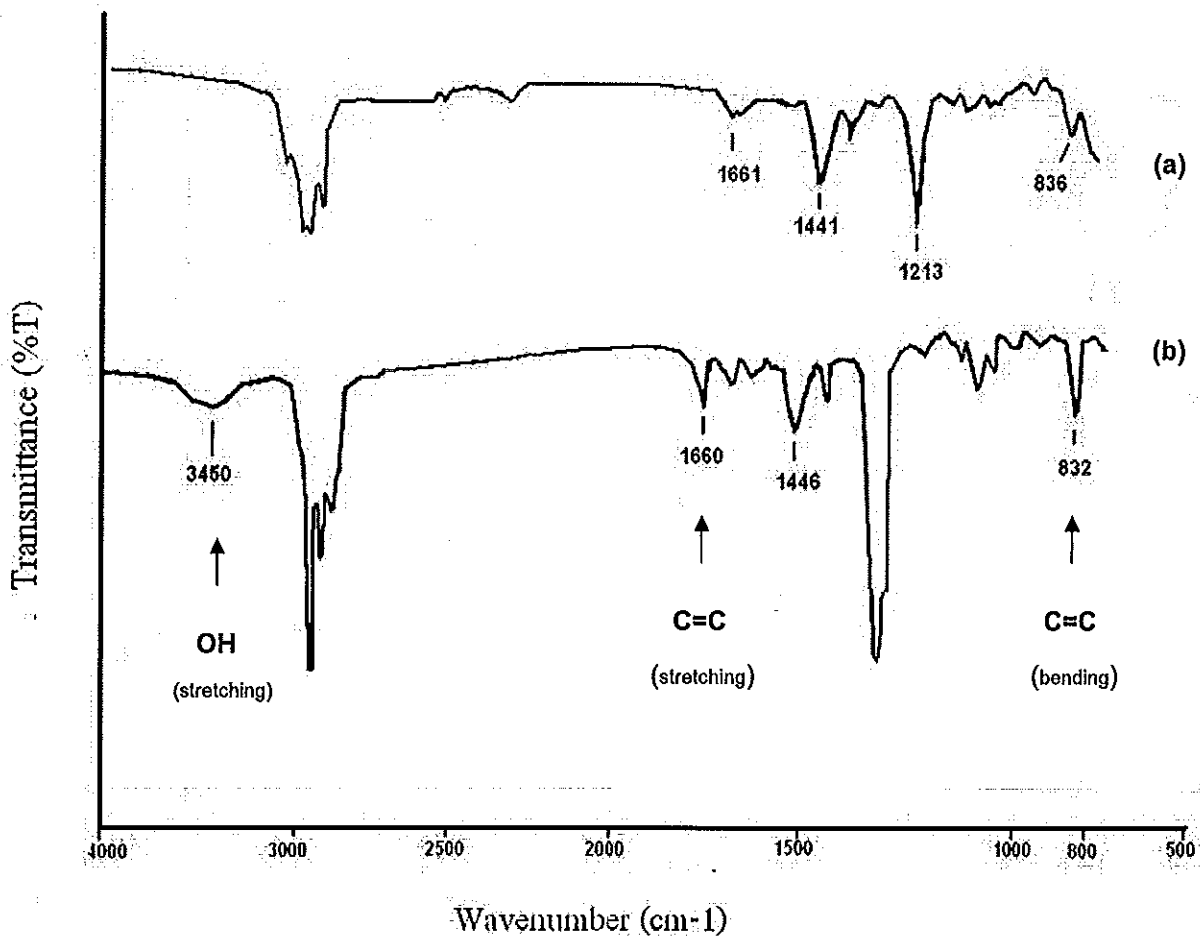
#### 4.1 น้ำยางธรรมชาติดัดแปร

การดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติด้วยกระบวนการทางเคมี ได้แก่ ปฏิกริยาลดน้ำหนักโมเลกุล และปฏิกริยาออกซิเดชัน เป็นการดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติให้มีขั้ว ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล คาร์บอนิล และไฮดรอกซิล เกิดขึ้นภายในสายโซ่โมเลกุล ซึ่งสามารถวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของน้ำยางธรรมชาติดัดแปรที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค FT-IR และ  $^1\text{H-NMR}$  จากนั้นน้ำยางธรรมชาติดัดแปรที่ได้มาเตรียมเป็นกาว และทำการทดสอบสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU

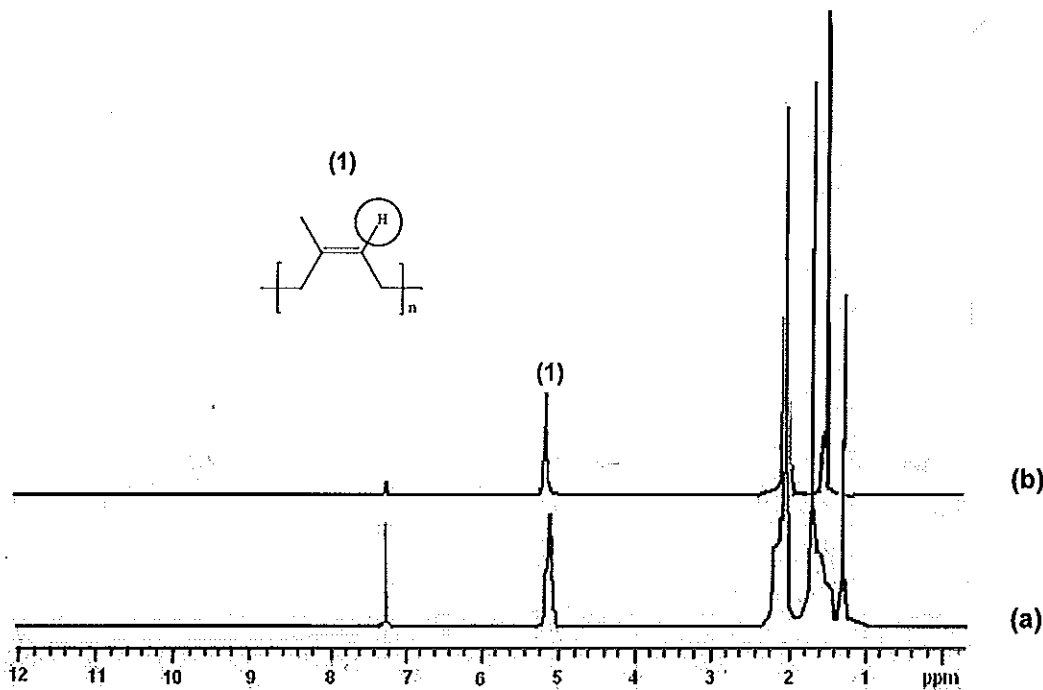
##### 4.1.1 ยางธรรมชาติเหลว (LNR)

ยางธรรมชาติเหลวเตรียมได้จากปฏิกริยาลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติในรูปน้ำยาง โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  โดยการทดลองนี้ได้ศึกษาผลการแปรปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 และ 6.0 phr ต่อโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 5.0 phr และแปรเวลาในการทำปฏิกริยา 6, 12 และ 18 ชั่วโมง ดังหัวข้อ 3.4.1.1 จากนั้นนำน้ำยางธรรมชาติเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุล ด้วยเทคนิค FT-IR และ  $^1\text{H-NMR}$  ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ โดยที่เมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของน้ำยางธรรมชาติเหลวที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค FT-IR ดังรูปที่ 4.1b พบว่าเกิดหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งปลายสายโซ่โมเลกุล โดยสามารถสังเกตได้จากการปรากฏของสัญญาณการดูดกลืนที่ตำแหน่ง  $3450\text{ cm}^{-1}$  (OH stretching) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ยืนยันการเกิดหมู่ไฮดรอกซิลภายในสายโซ่โมเลกุล เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ทำปฏิกริยากับยางธรรมชาติเป็นสารออกซิไดซ์ เมื่อแตกตัวจะให้อนุมูลอิสระของไฮดรอกซิล และเข้าทำปฏิกริยากับโมเลกุลของยางธรรมชาติที่ตำแหน่งของอัลลิลไฮโดรเจน ทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางขาดออกจากกัน ส่งผลให้ขนาดของสายโซ่โมเลกุลสั้นลง พร้อมทั้งเกิดหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งปลายสายโซ่โมเลกุล (Nor and Ebdon, 1998) แต่หมู่ไฮดรอกซิลที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อย เนื่องจากยางธรรมชาติเหลวที่เตรียมได้ยังคงมีโครงสร้างที่ใหญ่ และมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในระดับที่สูง ( $M_v \approx 2.9 \times 10^5 - 0.57 \times 10^6$  กรัมต่อโมล) จึงทำให้โครงสร้างหลักของยางธรรมชาติเหลวไม่แตกต่างจากยางธรรมชาติ (โสภา, 2545) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  ที่แสดงดังรูป 4.2b โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ ไม่ปรากฏสัญญาณของโปรตอนในตำแหน่งที่ติดกับหมู่ไฮดรอกซิล เนื่องจากยางธรรมชาติ

เหลวที่เตรียมได้มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูง ( $M_v \approx 1.04 \times 10^6$  กรัมต่อโมล) และมีปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลน้อย ทำให้ปรากฏเฉพาะสัญญาณของโปรตอนในตำแหน่งที่ติดกับพันธะคู่ของยางธรรมชาติที่ 5.2 ppm



รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (NR) (b) น้ำยางธรรมชาติเหลว (LNR)



รูปที่ 4.2  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (NR) (b) น้ำยางธรรมชาติเหลว (LNR)

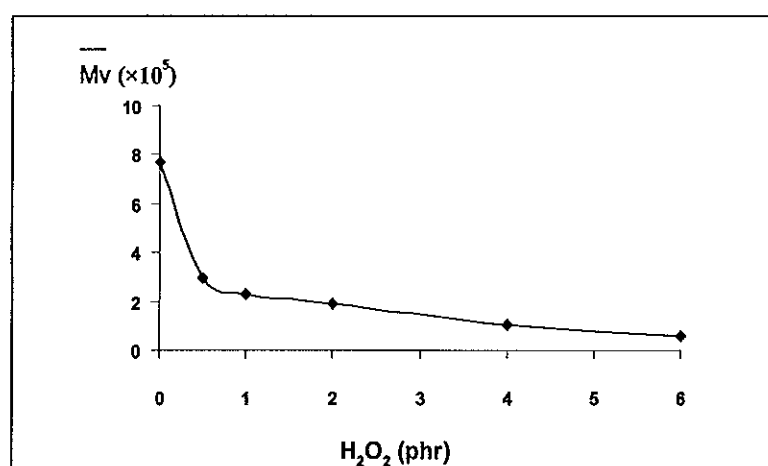
#### 4.1.1.1 ผลการแปรปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อน้ำหนักโมเลกุลเชิงความหนืดของยางธรรมชาติเหลว

จากการทดสอบหาน้ำหนักโมเลกุลเชิงความหนืดของยางธรรมชาติเหลว ที่แปรปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 และ 6.0 phr ต่อโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 5.0 phr ด้วยเครื่อง Capillary viscometer ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.3 พบว่าน้ำหนักโมเลกุลเชิงความหนืดของยางธรรมชาติลดลงมากขึ้น เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น โดยน้ำหนักโมเลกุลเชิงความหนืดของน้ำยางธรรมชาติเหลวที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ปริมาณ 6.0 phr ลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณอื่น เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารออกซิไดซ์ เมื่อแตกตัวจะให้อนุมูลอิสระของไฮดรอกซิล และเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของยาง โดยเข้าไปตั้งไฮโดรเจนของยางธรรมชาติที่ตำแหน่งของอัลลิลิก ทำให้โมเลกุลของยางขาดออกจากกัน ส่งผลให้ขนาดของสายโซ่โมเลกุลสั้นลง

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักโมเลกุลเชิงความหนืดของยางธรรมชาติเหลว (LNR) ที่วัดด้วยเครื่อง  
Capillary viscometer

Reaction time (h)	Hydrogen peroxide contents (phr)				
	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0
0	773,208	773,208	773,208	773,208	773,208
6	293,257	227,619	188,736	104,400	57,978
12	*	*	182,233	70,596	50,075
18	*	*	180,145	69,893	49,842

หมายเหตุ \* หมายถึง ไม่ได้ทำการแปรเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 12 และ 18 ชั่วโมง

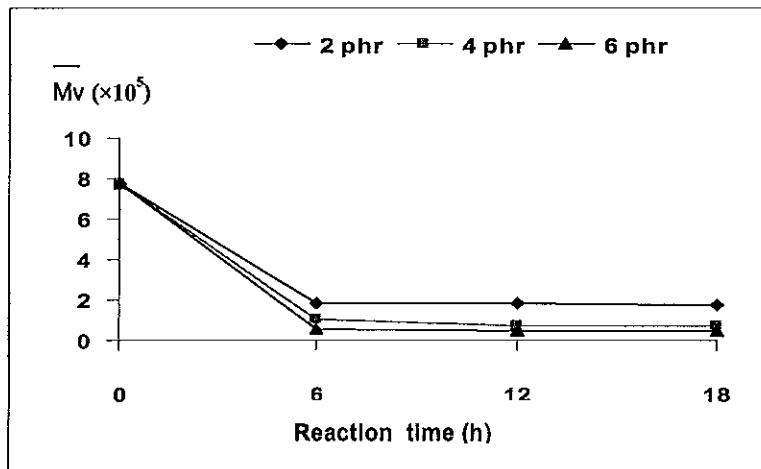


รูปที่ 4.3 ผลการแปรปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อน้ำหนักโมเลกุลเชิงความหนืดของยาง  
ธรรมชาติเหลว ที่เวลาทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง

#### 4.1.1.2 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา ต่อน้ำหนักโมเลกุลเชิงความหนืดของยาง ธรรมชาติเหลว

จากการทดสอบหาน้ำหนักโมเลกุลเชิงความหนืดของยางธรรมชาติเหลว ที่ทำการแปร  
ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 6, 12 และ 18 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง  
Capillary viscometer ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.4





รูปที่ 4.4 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อน้ำหนักโมเลกุลเชิงความหนืดของยางธรรมชาติ เหลวที่แปรปริมาณของ  $H_2O_2$

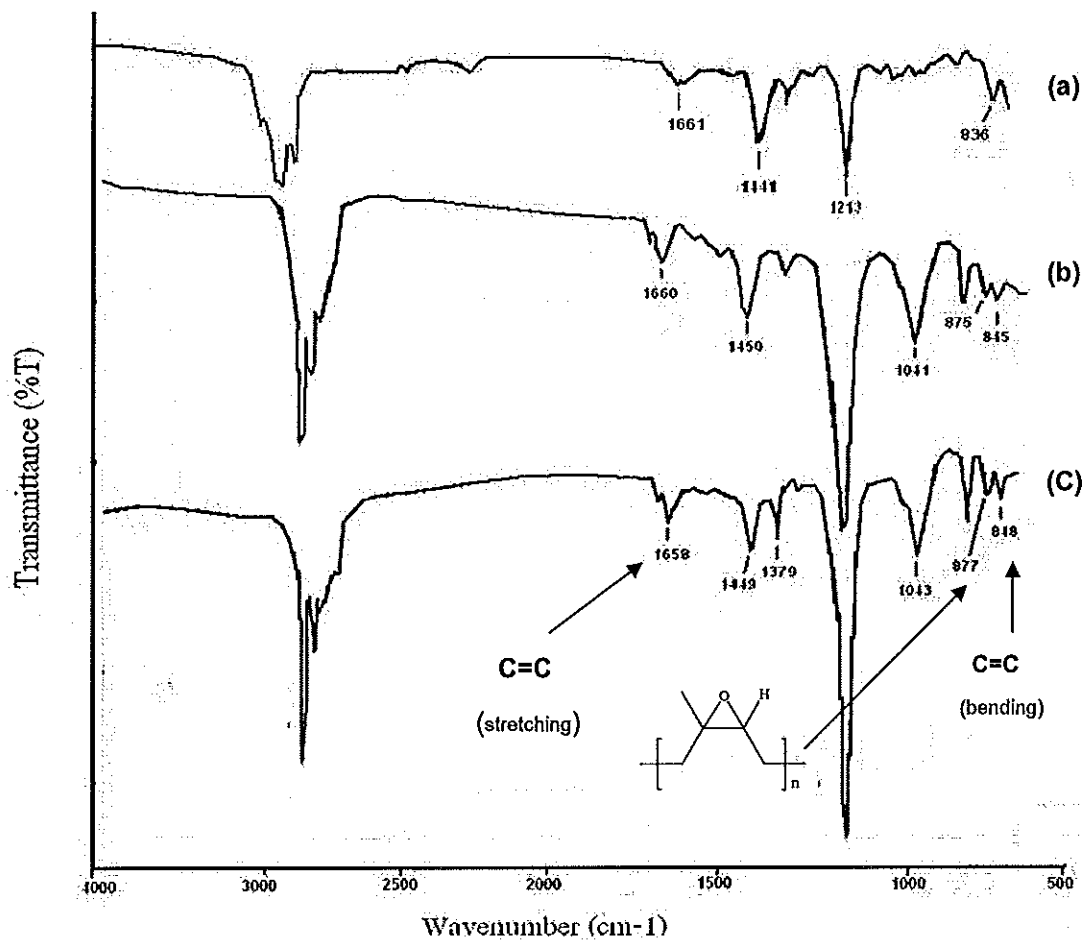
จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.4 พบว่าน้ำหนักโมเลกุลเชิงความหนืดของน้ำยางธรรมชาติลดลง เมื่อเวลาทำปฏิกิริยาผ่านไป และสังเกตได้ว่าหลังจาก 6 ชั่วโมง น้ำหนักโมเลกุลเชิงความหนืดของน้ำยางธรรมชาติเหลวที่ทุกปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เริ่มคงที่ และเมื่อพิจารณาผลของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าเมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น น้ำหนักโมเลกุลเชิงความหนืดของยางธรรมชาติเหลวลดลงมากขึ้น โดยที่ปริมาณ 6.0 phr น้ำหนักโมเลกุลเชิงความหนืดของยางธรรมชาติลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณอื่น

#### 4.1.2 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR)

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์เตรียมได้จากปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (Epoxidation) ระหว่างยางธรรมชาติในรูปน้ำยางกับกรดเปอร์ฟอร์มิก (Performic acid) ที่อุณหภูมิ  $10^{\circ}C$  เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ดังหัวข้อ 3.4.1.2 เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา นำน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่เตรียมได้ไปเซนตริฟิวส์ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็ว 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที และทำการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ด้วยเทคนิค FT-IR และ  $^1H-NMR$  ซึ่งผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 โดยสมบัติของยางธรรมชาติอีพอกไซด์หลังการเซนตริฟิวส์ แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สมบัติเบื้องต้นของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR)

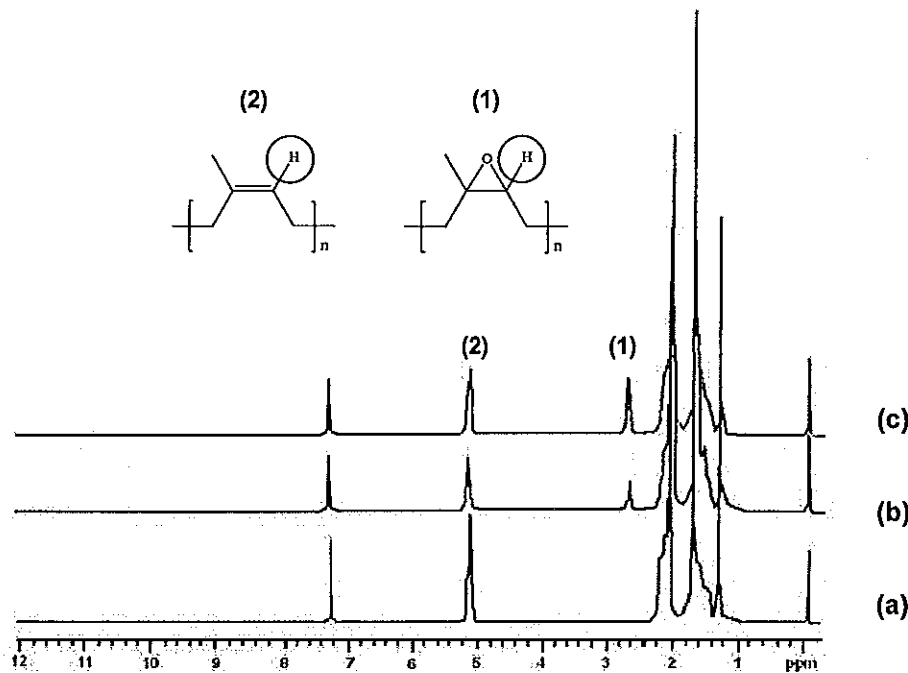
Sample	Properties (after centrifugation)			
	TSC(%)	pH	Viscosity (cPs)	Epoxide (mol%)
ENR 30	35.80	10.70	220	30
ENR 50	35.92	10.81	300	47



รูปที่ 4.5 FT-IR สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (b) น้ำยาง ENR 30 (c) น้ำยาง ENR 50

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของน้ำยาง ENR ด้วยเทคนิค FT-IR ดังรูป 4.5 พบว่าเมื่อนำน้ำยางธรรมชาติมาทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน โดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิก มีผลทำให้เกิดหมู่อีพอกไซด์ในโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ ดังปรากฏสัญญาณการดูดกลืนที่ตำแหน่ง 875 และ 877 cm<sup>-1</sup> (Asymmetric stretching of epoxide ring) ตามรูป 4.5b และ 4.5c ตามลำดับ

ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  ดังรูป 4.6 ที่ยืนยันการปรากฏสัญญาณของโปรตอนที่ติดกับวงแหวนอีพอกไซด์ที่ 2.7 ppm และสัญญาณของโปรตอนในตำแหน่งที่ติดกับพันธะคู่ของยางธรรมชาติที่ 5.2 ppm (Phinyocheep *et al.*, 2005) ตามรูป 4.6b และ 4.6c โดยยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่เตรียมได้มีปริมาณเปอร์เซ็นต์อีพอกไซด์ 30 และ 47 โมลเปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ดูภาคผนวก ก รูปที่ ก.1 และก.3 ตามลำดับ)



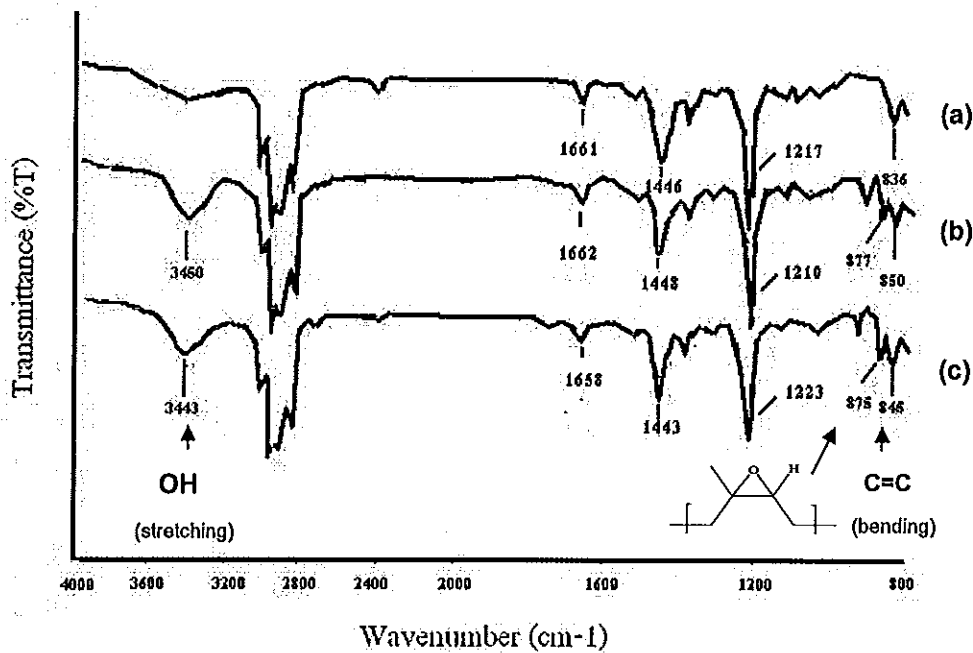
รูปที่ 4.6  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (b) น้ำยาง ENR 30 (c) น้ำยาง ENR 50

#### 4.1.3 ยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซด์ (LENR)

ยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซด์ (LENR) เตรียมได้จากการนำน้ำยางธรรมชาติมาลดน้ำหนักโมเลกุล โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ไซด์ปริมาณ 4 phr ร่วมกับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 5 phr ที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (Epoxidation) โดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิก (Performic acid) ที่อุณหภูมิ  $10^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ดังหัวข้อ 3.4.1.3 ต่อมานำน้ำยาง LENR ที่เตรียมได้ไปเซนตริฟิวส์ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็ว 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที และทำการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของน้ำยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซด์ด้วยเทคนิค FT-IR และ  $^1\text{H-NMR}$  ซึ่งผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 ส่วนสมบัติเบื้องต้นของน้ำยาง LENR หลังการเซนตริฟิวส์ จะแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สมบัติเบื้องต้นของยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซด์ (LENR)

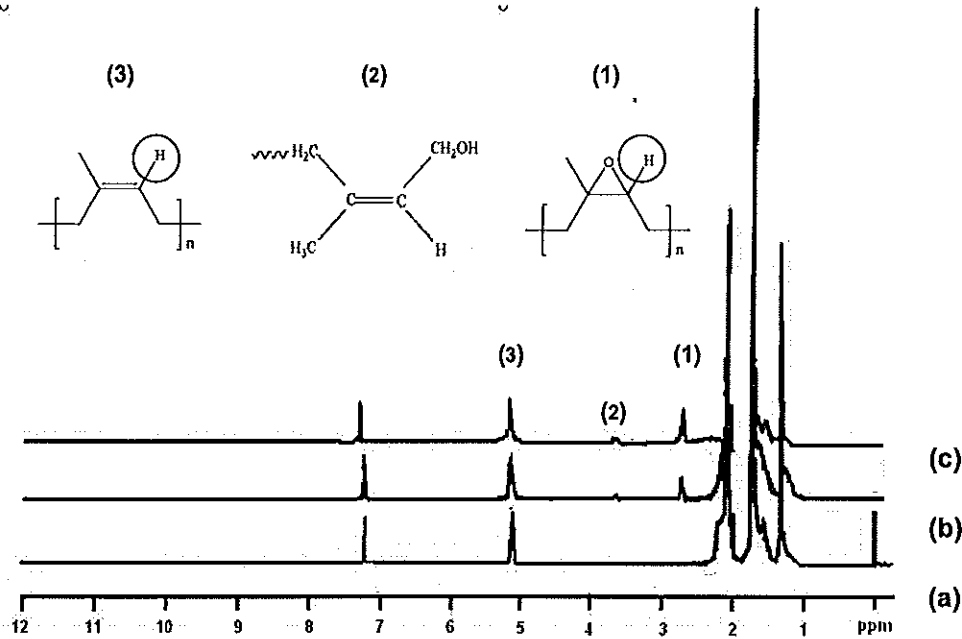
Sample	Properties (after centrifugation)			
	TSC(%)	pH	viscosity (cPs)	Epoxide (mol%)
LENR 30	35.80	10.70	220	31
LENR 50	35.92	10.81	300	51



รูปที่ 4.7 FT-IR สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (b) น้ายาง LENR 30 (c) น้ายาง LENR 50

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของน้ายาง LENR ที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค FT-IR ดังรูป 4.7 พบว่าน้ายาง LENR ที่เตรียมได้มีหมู่ไฮดรอกซิล และหมู่อีพอกไซด์เกิดขึ้นภายในโครงสร้างโมเลกุล สามารถยืนยันการเกิดหมู่ไฮดรอกไซด์ได้จากการปรากฏสัญญาณที่ตำแหน่ง  $3443\text{ cm}^{-1}$  (OH stretching) ส่วนหมู่อีพอกไซด์สังเกตได้จากการปรากฏสัญญาณที่ตำแหน่ง  $877$  และ  $875\text{ cm}^{-1}$  (Asymmetric stretching of epoxide ring) ตามรูป 4.7b และ 4.7c ตามลำดับ โดยผลที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  ดังรูปที่ 4.8 โดยผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ยังคงยืนยันการเกิดหมู่อีพอกไซด์ในโครงสร้างโมเลกุล ซึ่งสังเกตได้จากการปรากฏสัญญาณของโปรตอนติดกับวงแหวนอีพอกไซด์ที่  $2.7\text{ ppm}$  และสัญญาณของโปรตอนในตำแหน่งที่ติดกับพันธะคู่ของยางธรรมชาติที่  $5.2\text{ ppm}$  (Phinyocheep *et al.*, 2005) ตามรูป 4.8b และ 4.8c

โดยยางธรรมชาติเลวอียอกไซด์ที่เตรียมได้มีปริมาณเปอร์เซ็นต์อียอกไซด์เท่ากับ 31 และ 51 โมลเปอร์เซ็นต์ (ดูภาคผนวก ก รูปที่ ก.4 และ ก.5 ตามลำดับ)



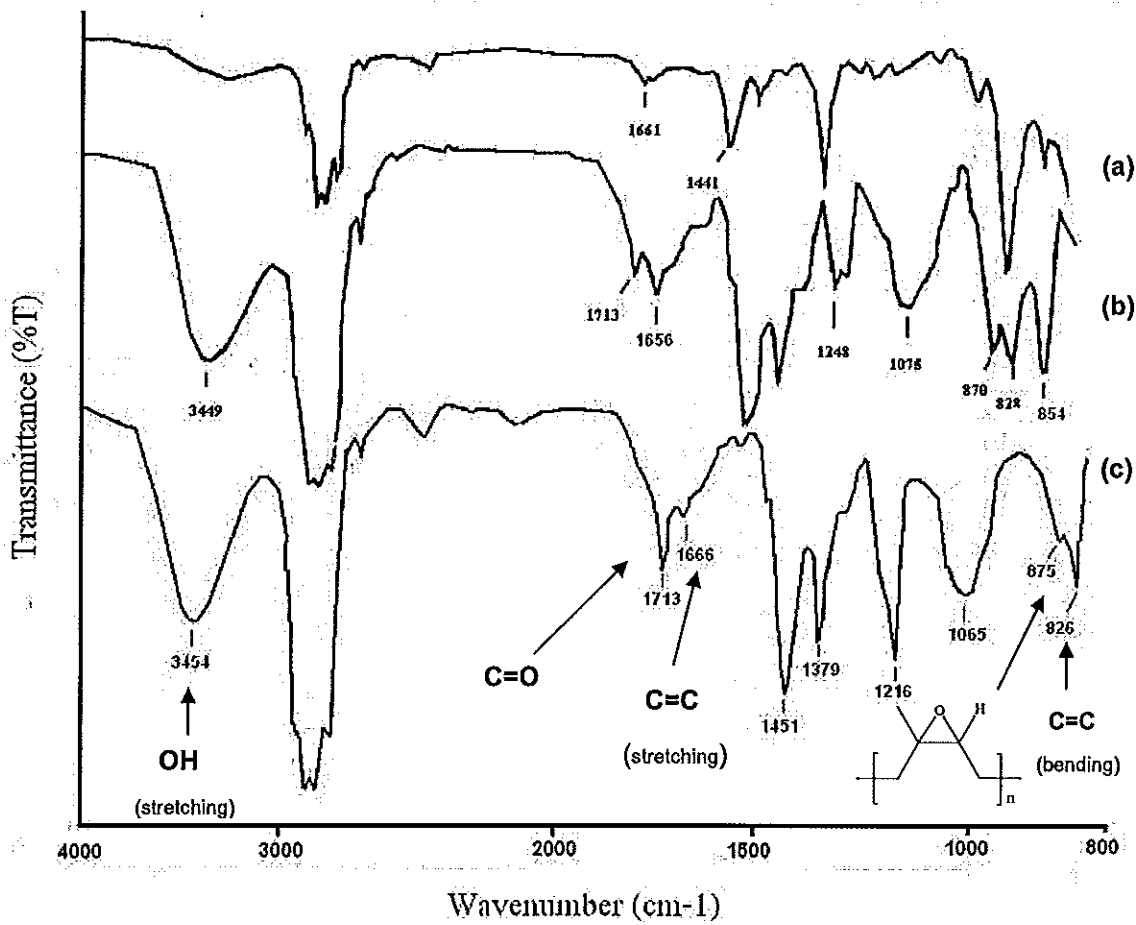
รูปที่ 4.8  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (b) น้ำยาง LENR 30 (c) น้ำยาง LENR 50

#### 4.1.4 ยางธรรมชาติอียอกไซด์เลวออกซิไดซ์ (OLENR)

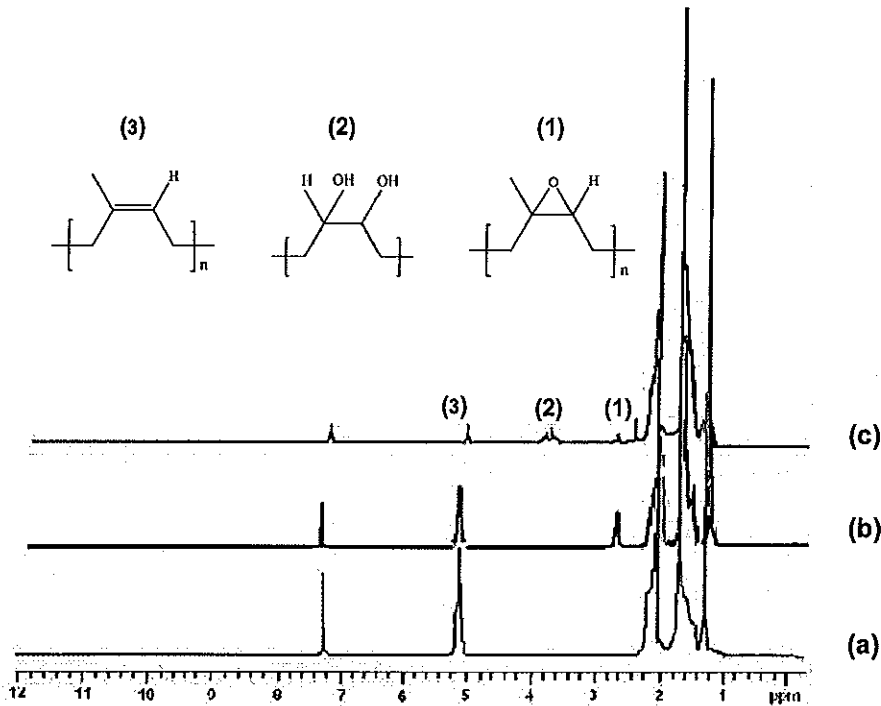
ยางธรรมชาติอียอกไซด์เลวออกซิไดซ์ (OLENR) เตรียมได้จากการนำยางธรรมชาติมาทำปฏิกิริยาอียอกซิเดชัน โดยใช้กรดฟอร์มิกร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำมาลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยกรดเพอร์ไอโอดิก ( $\text{H}_5\text{IO}_6$ ) และนำน้ำยางอียอกไซด์เลว (LENR) ที่เตรียมได้ไปทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดังหัวข้อ 3.4.1.4 หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลด้วยเทคนิค FT-IR และ  $^1\text{H-NMR}$  ซึ่งผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ส่วนผลการวิเคราะห์หาค่าไฮดรอกซิลของยาง OLENR แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าไฮดรอกซิลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลวออกซิไดซ์ (OLENR)

Sample	Epoxide (mol%)		Hydroxyl value	Acid Value	Hydroxyl Value + Acid Value
	LENR	OLENR			
ยาง OLENR	33	14	56.66	23.64	80.30



รูปที่ 4.9 FT- IR สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (b) น้ำยาง LENR (c) น้ำยาง OLENR



รูปที่ 4.10  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (b) น้ำยาง LENR (c) น้ำยาง OLENR

เมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของน้ำยาง OLENR ด้วยเทคนิค FT-IR ดังรูป 4.9 พบว่าเมื่อนำน้ำยางธรรมชาติมาทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับกรดฟอร์มิค ที่อุณหภูมิ  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  และทำปฏิกิริยาลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยกรดเพอร์ไอโอดิกที่อุณหภูมิห้อง มีผลทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชัน หมู่คาร์บอนิล และหมู่ไฮดรอกซิลภายในโครงสร้างโมเลกุล ซึ่งสามารถยืนยันได้จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ดังรูป 4.9b ที่ปรากฏสัญญาณตรงตำแหน่ง  $870\text{ cm}^{-1}$  (Asymmetric stretching of epoxide ring) ซึ่งยืนยันการเกิดหมู่ฟังก์ชัน ส่วนหมู่คาร์บอนิล และหมู่ไฮดรอกซิลที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างโมเลกุล สามารถตรวจสอบได้จากการปรากฏสัญญาณที่ตำแหน่ง  $1713\text{ cm}^{-1}$  (C=O stretching of carbonyl) และ  $3449\text{ cm}^{-1}$  (OH stretching) ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  ที่ยังคงปรากฏสัญญาณของโปรตอนที่เกิดกับวงแหวนออกไซด์ที่  $2.7\text{ ppm}$  และสัญญาณของโปรตอนในตำแหน่งที่เกิดกับพันธะคู่ของยางธรรมชาติที่  $5.2\text{ ppm}$  ตามรูป 4.10b โดยยางธรรมชาติเหลือออกไซด์ (LENR) ที่เตรียมได้มีเปอร์เซ็นต์ออกไซด์ 33 โมลเปอร์เซ็นต์ (ดูภาคผนวก ก ในรูปที่ ก.6) ต่อมาเมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของน้ำยาง OLENR ด้วยเทคนิค FT-IR และ  $^1\text{H-NMR}$  ดังรูป 4.9c และ 4.10c ปรากฏว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความสอดคล้องกัน กล่าวคือเมื่อนำน้ำยางธรรมชาติเหลือออกไซด์มาทำปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่ายาง OLENR ที่เตรียมได้มีปริมาณของหมู่ฟังก์ชันลดลงเหลือ 14 โมลเปอร์เซ็นต์ (ดูภาคผนวก ก ในรูปที่ ก.7) เนื่องจาก

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำหน้าที่เป็นสารย่อยสลาย จึงส่งผลให้เกิดการเปิดวงอิพอกไซด์ ทำให้ปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลมากขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใต้พีคที่ตำแหน่ง  $3454 \text{ cm}^{-1}$

#### 4.2 ผลการเตรียมชิ้นตัวอย่างยางทดสอบ

ยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สำหรับทดสอบการยึดติดจะต้องมีความแข็งแรงมากกว่าความแข็งแรงของกาว (Cohesive strength) และแรงยึดติดระหว่างกาว กับวัสดุ (Adhesive strength) เพราะหากยางไม่มีความแข็งแรง อาจทำให้เกิดการล้นเหลวของการยึดติดภายในเนื้อยาง ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการออกสูตรยางให้มีความแข็งแรง โดยใช้ยางธรรมชาติร่วมกับยางเอสปีอาร์เกรด 1502 และใช้เคมีดำเป็นสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพ ตามสูตรในตารางที่ 3.7 จากนั้นทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้สำหรับเตรียมชิ้นทดสอบสมบัติการยึดติด

##### 4.2.1 สมบัติเชิงกลของยางที่ใช้สำหรับเตรียมชิ้นสำหรับทดสอบสมบัติการยึดติด

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมได้ ดังหัวข้อ 3.4.2 ได้แก่ ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อการฉีกขาด และค่าความแข็ง ซึ่งผลการทดสอบที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.5 จากนั้นเมื่อนำไปทดสอบสมบัติการยึดติดกับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU โดยใช้กาวพอลิยูรีเทนทางการค้า พบว่าขณะทำการทดสอบยางวัลคาไนซ์ ไม่เกิดการฉีกขาด และล้นเหลวภายในเนื้อยาง ดังนั้นสูตรยางวัลคาไนซ์ที่ใช้จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบสมบัติการยึดติดของกาวแต่ละชนิด

ตารางที่ 4.5 สมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้เตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบสมบัติการยึดติด

Sample	Mechanical properties		
	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation at break (%)	Tear strength (N/mm)
Vulcanized rubber	17.68±1.02	654 ±29.92	32.26±1.23

จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมได้ ดังตารางที่ 4.5 พบว่ามีสมบัติความทนต่อแรงดึง ระยะยืด ณ จุดขาด และความทนทานต่อการฉีกขาด ที่เหมาะกับการใช้สำหรับเตรียมเป็นชิ้นทดสอบสมบัติการยึดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU ของกาวแต่ละชนิด (สิริธร, 2549)



#### 4.2.2 ผลการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้น

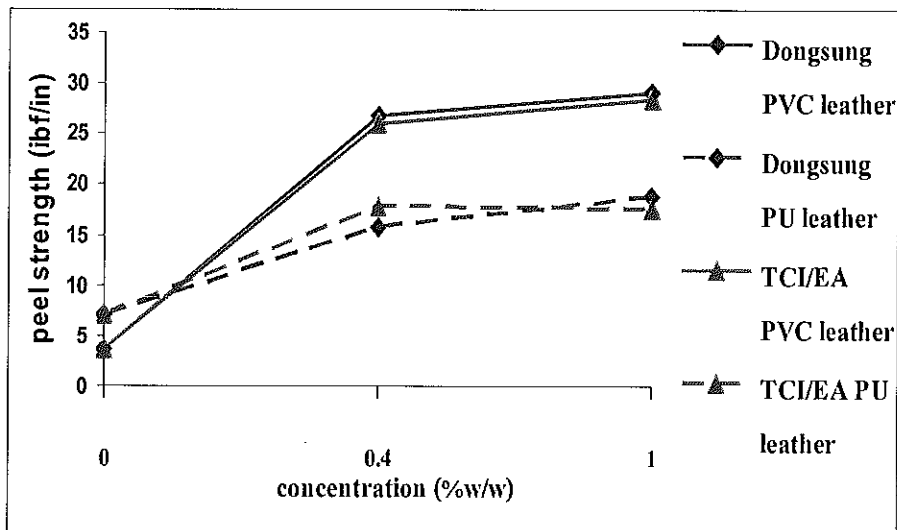
จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าสูตรยางวัลคาไนซ์ที่ใช้เหมาะสำหรับนำมาใช้เตรียมชั้นตัวอย่างสำหรับทดสอบสมบัติการยึดติด จึงได้ทำการศึกษาผลของการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นทั้งชนิดทางการค้า (Dongsung primer) และสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในเอทิลอะซิเตด (TCI/EA) ต่อสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า โดยผลการทดสอบสมบัติการยึดติดด้วยเทคนิคแบบลอก (Peel test) ด้วยมุม  $180^{\circ}$  แสดงดังตารางที่ 4.6 และรูป 4.11

ตารางที่ 4.6 ผลของการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นต่อสมบัติการยึดติดของยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า

Concentration (% w/w)	Peel strength (lbff/in)			
	Dongsung primer		TCI/EA	
	PVC	PU	PVC	PU
0	3.68±0.15	7.17±0.38	3.68±0.15	7.17±0.15
0.4	26.77±1.57	15.79±0.45	26.20±0.31	17.97±0.17
1.0	29.18±0.62	18.85±0.33	28.41±0.25	17.59±0.24

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.6 และรูป 4.11 พบว่าการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นทางการค้า (Dongsung primer) และสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในเอทิลอะซิเตด (TCI/EA) ที่ทุกความเข้มข้น มีผลทำให้สมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้าเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด ทั้งในหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU เมื่อเทียบกับการไม่ใช้สารรองพื้น เนื่องจากการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้น เป็นการเพิ่มพลังงานพื้นผิวของยางวัลคาไนซ์ให้สูงขึ้น (Surface energy) ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการเปียกผิวของกาว ทำให้โมเลกุลของกาวกับผิววัสดุสัมผัสกันได้มากขึ้น (Lawson *et al.*, 1996) นอกจากนี้ยังทำให้เกิดหมู่มีซิว (C=O, C-Cl) ขึ้นบนผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ เนื่องจากการปรับผิวด้วยสารรองพื้นเป็นการทำปฏิกิริยาคลอริเนชันบนผิวหน้ายาง (Pastor-Blas *et al.*, 1997) ส่งผลให้เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างหมู่ยูรีเทน (Urethane group) ของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า และหมู่มีซิวบนผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ ทำให้สมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้าเพิ่มขึ้น โดยที่การปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นทางการค้า (Dongsung primer) และสารละลาย TCI/EA ที่ความเข้มข้น 0.4% โดยน้ำหนัก ให้สมบัติการยึดติดที่ไม่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด ทั้งในหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU โดยที่ความเข้มข้น 1.0 % โดยน้ำหนัก ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน นอกจากนี้หากพิจารณาผลของความเข้มข้น

ของสารรองพื้นที่มีต่อสมบัติการยึดติด พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารรองพื้นทั้งสองชนิด จาก 0.4 % เป็น 1.0 % โดยน้ำหนัก มีผลทำให้สมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้าสูงขึ้น ในหนังสือทั้งสองชนิด โดยสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสือสังเคราะห์ชนิด PVC สูงกว่าชนิด PU แต่เมื่อไม่มีการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้น พบว่ากาวพอลิยูรีเทนมีสมบัติการยึดติดกับหนังสือสังเคราะห์ชนิด PU ได้ดีกว่าหนังสือ PVC



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบผลของการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นต่อสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสือสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า

#### 4.3 สมบัติการยึดติดของกาว

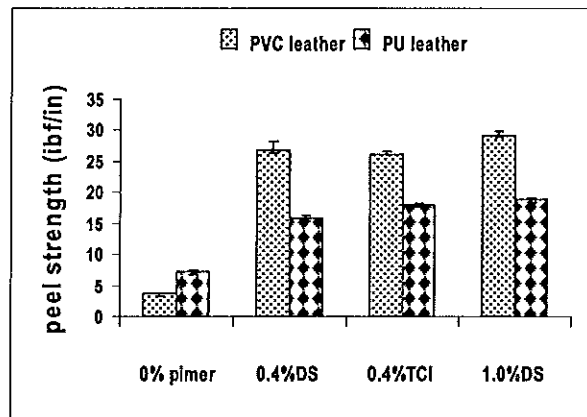
ศึกษาสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์และหนังสือสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร กาวน้ำยางผสม และกาวพอลิยูรีเทนสังเคราะห์ เพื่อเทียบกับพอลิยูรีเทนทางการค้า โดยทำการเตรียมขึ้นตัวอย่างตามหัวข้อ 3.4.3.4 และทำการทดสอบสมบัติการยึดติดด้วยเทคนิคแบบลอก (Peel test) ด้วยมุม  $180^{\circ}$

##### 4.3.1 สมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า

ทำการศึกษาสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสือสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้าที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.4.3.1 ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของ กาวพอลิยูรีเทนทางการค้า

Adhesive type	Peel strength (lb/in)									
	no primer		0.4% Dongsung		0.4% TCI/EA		1.0% Dongsung		1.0% TCI/EA	
	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU
Commercial polyurethane	3.68	7.17	26.77	15.79	26.20	17.97	29.18	18.85	28.41	17.59
	±0.15	±0.38	±1.57	±0.45	±0.31	±0.17	±0.62	±0.33	±0.25	±0.25



รูปที่ 4.12 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของ กาวพอลิยูรีเทนทางการค้า

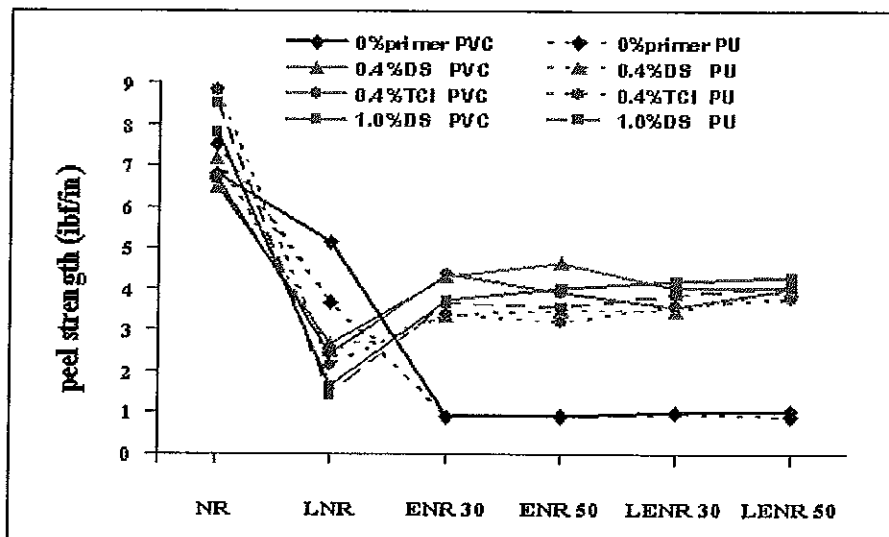
จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่อปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นทั้ง ชนิดทางการค้า และสารละลาย TCI/EA ทำให้สมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด ทั้งในหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU เมื่อเทียบกับการไม่ใช้สารรองพื้น เนื่องจากการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นเป็นการทำปฏิกิริยาคอโรเนชัน ทำให้เกิด หมู่มีซัว ( $C=O, C-Cl$ ) ขึ้นบนผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ ส่งผลให้เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างหมู่ยูรีเทน (Urethane group) และหมู่มีซัวบนผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ ทำให้สมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนเพิ่มขึ้น (Romero Sanchez et al., 2001) โดยการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้น ทั้งสองชนิดที่ความเข้มข้น 0.4% โดยน้ำหนัก ให้สมบัติการยึดติดที่ใกล้เคียงกัน ทั้งในหนังชนิด PVC และ PU โดยที่ความเข้มข้น 1.0% โดยน้ำหนัก ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน และเมื่อศึกษาผลของ

ความเข้มข้นที่มีต่อสมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารรองพื้นทั้งสองชนิด จาก 0.4% เป็น 1.0% โดยน้ำหนัก มีผลทำให้สมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้าเพิ่มขึ้น ทั้งในหนึ่งชนิด PVC และ PU โดยที่กาวพอลิยูรีเทนทางการค้ายึดติดกับหนังสือกระดาษชนิด PVC ได้ดีกว่าชนิด PU แต่ในกรณีที่ไม่มี การปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ พบว่าสมบัติการยึดติดของหนังสือกระดาษชนิด PU สูงกว่าชนิด PVC

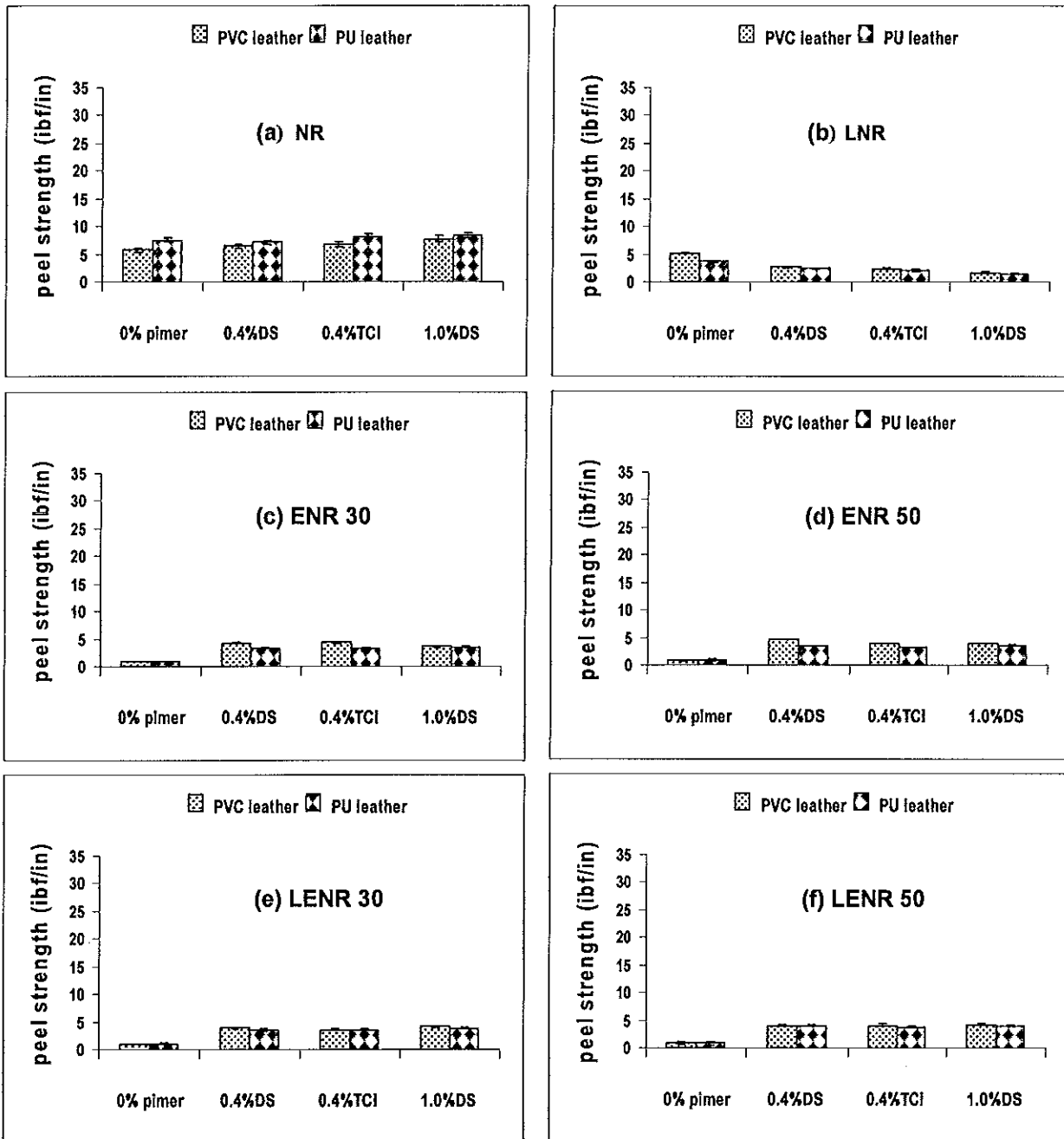
#### 4.3.2 สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร

ทำการศึกษาศสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสือกระดาษชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร ที่เตรียมจากน้ำยาง LNR, ENR 30, ENR 50, LENR 30 และ LENR 50 ดังหัวข้อ 3.4.3.2 เพื่อเทียบกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.14 โดยเมื่อพิจารณาผลของการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นทั้งชนิดทางการค้า (Dongsung primer) และสารละลาย TCI/EA พบว่าสมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่ใช้สารรองพื้น โดยการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นทั้งสองชนิด ที่ความเข้มข้น 0.4 % โดยน้ำหนัก ให้สมบัติการยึดติดที่ใกล้เคียงกัน ทั้งในหนังสือกระดาษชนิด PVC และ PU แต่หนังสือกระดาษชนิด PU ให้สมบัติการยึดติดที่สูงกว่าหนังสือ PVC และเมื่อพิจารณาสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสือกระดาษชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร พบว่าการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นทั้งสองชนิด ส่งผลให้สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรชนิด ENR 30, ENR 50, LENR 30 และ LENR 50 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการไม่ใช้สารรองพื้น แต่กาวน้ำยาง LNR มีค่าลดลง โดยการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นทั้งสองชนิด ที่ความเข้มข้น 0.4% โดยน้ำหนัก ให้สมบัติการยึดติดที่ใกล้เคียงกันทั้งในหนังสือกระดาษชนิด PVC และ PU นอกจากนี้หากพิจารณาผลของความเข้มข้นของสารรองพื้นที่มีต่อสมบัติการยึดติด พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารรองพื้นชนิดทางการค้า จาก 0.4 % เป็น 1.0 % โดยน้ำหนัก ให้สมบัติการยึดติดที่ไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด และกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรทุกชนิด ยึดติดกับหนังสือกระดาษชนิด PVC ได้ดีกว่าหนังสือ PU หากพิจารณาเปรียบเทียบสมบัติการยึดติดระหว่างกาวน้ำยางธรรมชาติกับกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรแต่ละชนิด ดังรูปที่ 4.13 พบว่าสมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางธรรมชาติ มีสมบัติการยึดติดสูงกว่ายางธรรมชาติดัดแปรทุกชนิด และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรแต่ละชนิด พบว่ากาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) ให้สมบัติการยึดติดที่สูงกว่ากาวน้ำยางธรรมชาติเหลว (LNR) โดยกาวน้ำยาง ENR 50 ให้สมบัติการยึดติดดีกว่ากาวน้ำยาง ENR 30 แต่เมื่อนำน้ำยาง ENR ทั้งสองชนิด มาทำปฏิกิริยาลดน้ำหนักโมเลกุลเพื่อเตรียมเป็นน้ำยาง LENR พบว่าสมบัติการยึดติดกาวน้ำยาง LENR 30 และ LENR 50 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับกาวน้ำยาง ENR 30 และ ENR 50 ตามลำดับ เนื่องจากการทำปฏิกิริยาลดน้ำหนักโมเลกุล มีผลทำให้เกิด

ยาง ENR 30 และ ENR 50 ตามลำดับ เนื่องจากการทำปฏิกิริยาลดน้ำหนักโมเลกุล มีผลทำให้เกิดหมู่ไฮดรอกซิลขึ้นภายในสายโซ่โมเลกุล ส่งผลให้น้ำยาง LENR มีความเป็นขี้วมมากกว่าน้ำยาง ENR จึงทำให้สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยาง LENR สูงกว่ากาวน้ำยาง ENR โดยกาวน้ำยาง LENR 50 ให้สมบัติการยึดติดที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรชนิดอื่น รองลงมาคือ กาวน้ำยาง LENR 30 ส่วนกาวน้ำยาง LNR มีสมบัติการยึดติดต่ำที่สุด แต่สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยาง LENR 50 ยังต่ำกว่ากาวน้ำยางธรรมชาติ ถึงแม้ว่ากาวน้ำยาง LENR มีความเป็นขี้วมมากกว่ายางธรรมชาติก็ตาม เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลมีผลต่อสมบัติการยึดติดของกาว กล่าวคือการลดน้ำหนักโมเลกุลของกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร มีผลทำให้ความแข็งแรงในการยึดติดของกาวลดต่ำลง อีกทั้งกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรที่มีปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลภายในสายโซ่โมเลกุลที่น้อย จึงไม่ส่งผลทำให้ความแข็งแรงในการยึดติดเพิ่มขึ้น โดยที่กาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรทุกชนิดยังคงมีสมบัติการยึดติดที่ต่ำ เมื่อเทียบกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรแต่ละชนิด



รูปที่ 4.14 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของ กาวแต่ละชนิด (a) กาวน้ำยาง NR (b) กาวน้ำยาง LNR (c) กาวน้ำยาง ENR 30 (d) กาวน้ำยาง ENR 50 (e) กาวน้ำยาง LENR 30 (f) กาวน้ำยาง LENR 50

ตารางที่ 4.8 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของ กาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรแต่ละชนิด

Adhesive types	Peel strength (lbf/in)							
	no primer		0.4% Dongsung		0.4% TC/EA		1.0% Dongsung	
	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU
NR	5.78 ±0.20	7.50 ±0.32	6.49 ±0.21	7.19 ±0.33	6.68 ±0.48	8.22 ±0.31	7.81 ±0.57	8.48 ±0.50
LNR	5.13 ±0.14	3.67 ±0.07	2.69 ±0.09	2.51 ±0.13	2.42 ±0.05	2.14 ±0.16	1.65 ±0.16	1.43 ±0.12
ENR 30	0.90 ±0.15	0.90 ±0.03	4.29 ±0.2	3.35 ±0.04	4.34 ±0.08	3.36 ±0.11	3.72 ±0.1	3.53 ±0.11
ENR 50	0.91 ±0.01	0.88 ±0.29	4.62 ±0.12	3.46 ±0.06	3.89 ±0.06	3.19 ±0.01	4.0 ±0.05	3.55 ±0.07
LENR 30	1.0 ±0.05	0.98 ±0.08	3.99 ±0.09	3.45 ±0.23	3.56 ±0.24	3.57 ±0.09	4.16 ±0.11	3.83 ±0.11
LENR 50	1.04 ±0.08	0.88 ±0.38	3.99 ±0.11	3.99 ±0.1	4.02 ±0.31	3.76 ±0.10	4.28 ±0.04	4.04 ±0.06

#### 4.3.3 สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสม

จากผลการศึกษาสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร ชนิด LNR, ENR 30, ENR 50, LENR 30 และ LENR 50 พบว่าสมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรแต่ละชนิดมีสมบัติการยึดติดที่ต่ำ เมื่อเทียบกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาผลของการนำกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร มาใช้ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้าที่สัดส่วนต่างๆ ดังหัวข้อ 3.4.3.3 และทดสอบสมบัติการยึดติดของกาวด้วยเทคนิคแบบลอก (Peel test) ด้วยมุม  $180^{\circ}$

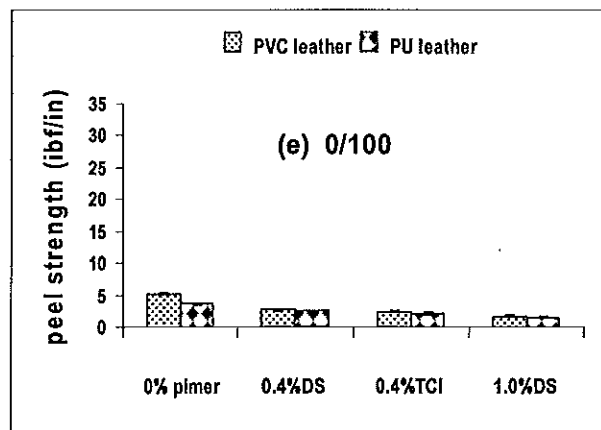
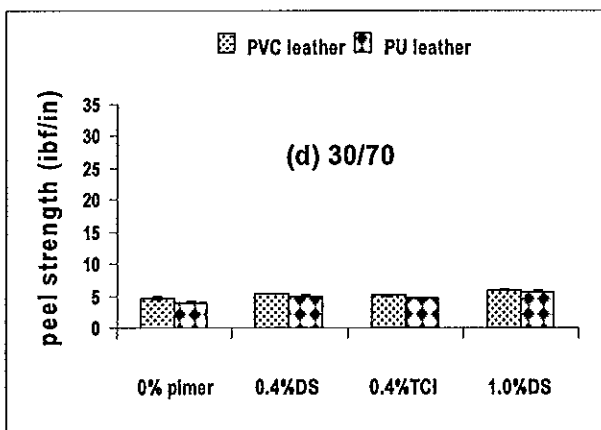
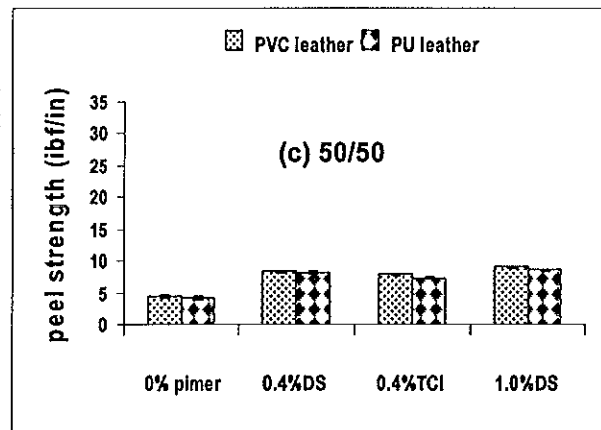
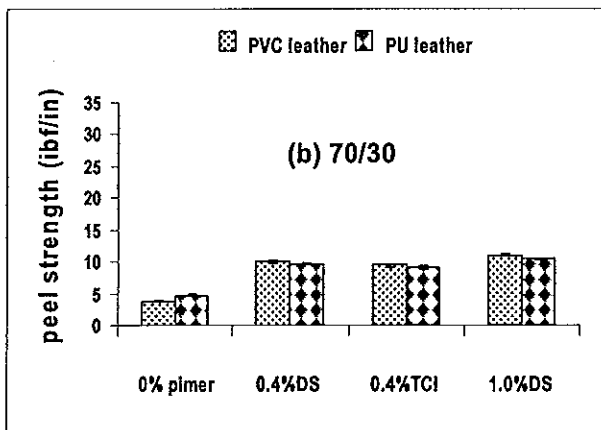
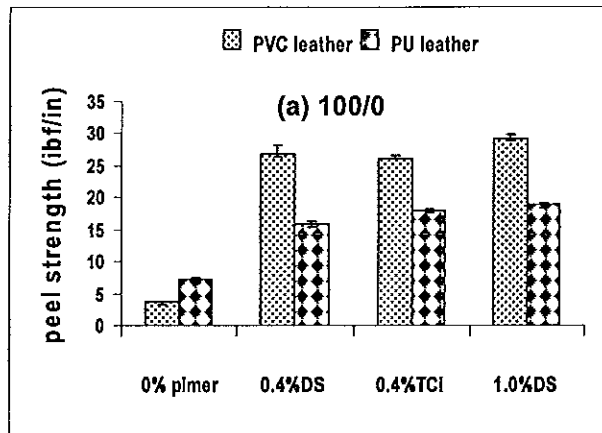
#### 4.3.3.1 ผลของการใช้กาวน้ำยางธรรมชาติเหลว (LNR) ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า

จากการศึกษาสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางธรรมชาติเหลวเพียงชนิดเดียว พบว่าสมบัติการยึดติดที่ได้มีค่าต่ำ เมื่อเทียบกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า จึงทำการเตรียมกาวน้ำยางผสม โดยนำกาวน้ำยางธรรมชาติเหลวมาใช้ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้าที่สัดส่วน 100/0 70/30 50/50 30/70 และ 0/100 ตามลำดับ และทดสอบสมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมแต่ละสัดส่วน ด้วยเทคนิคแบบลอก (Peel test) ด้วยมุม  $180^{\circ}$  ซึ่งผลที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.9 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสม ชนิด LNR ที่สัดส่วนต่างๆ

PU/LNR (ratio)	Peel strength (lb/in)							
	no primer		0.4% Dongsung		0.4% TC/EA		1% Dongsung	
	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU
100 / 0	3.68 ±0.15	7.17 ±0.38	26.77 ±1.57	15.79 ±0.45	26.20 ±0.31	17.97 ±0.17	29.18 ±0.62	18.85 ±0.33
70 / 30	3.81 ±0.08	4.76 ±0.07	10.09 ±0.14	9.65 ±0.18	9.47 ±0.08	9.09 ±0.30	11.05 ±0.14	10.43 ±0.13
50 / 50	4.44 ±0.14	4.23 ±0.21	8.41 ±0.06	8.21 ±0.21	7.85 ±0.06	7.34 ±0.12	9.0 ±0.05	8.56 ±0.15
30 / 70	4.74 ±0.14	4.07 ±0.19	5.39 ±0.07	4.99 ±0.13	5.02 ±0.09	4.56 ±0.17	5.90 ±0.06	5.63 ±0.13
0 / 100	5.13 ±0.08	3.67 ±0.07	2.69 ±0.09	2.51 ±0.13	2.42 ±0.05	2.14 ±0.16	1.65 ±0.16	1.43 ±0.12





รูปที่ 4.15 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของ กาวน้ำยางผสมที่สัดส่วนต่างๆ ของ PU/LNR (a) 100/0 (b) 70 / 30 (c) 50/50 (d) 30/70 (e) 0/100

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.15 พบว่าเมื่อใช้กาวน้ำยางธรรมชาติเหลว (LNR) ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า มีผลทำให้สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสมชนิด LNR เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้กาวน้ำยางธรรมชาติเหลวเพียงชนิดเดียว และสมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อสัดส่วนระหว่างกาวพอลิยูรีเทนทางการค้ากับกาวน้ำยางธรรมชาติเหลวเพิ่มขึ้น โดยที่สัดส่วน 70/30 ให้สมบัติการยึดติดดีที่สุดเมื่อเทียบกับสัดส่วนอื่น เนื่องจากเป็นสัดส่วนที่กาวพอลิยูรีเทนทางการค้า และกาวน้ำยางธรรมชาติเหลวเข้ากันได้ดีที่สุด (Poh and Lim, 2008) สำหรับผลของการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นทั้งชนิดทางการค้า (Dongsung primer) และสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูลิคในเอทิลอะซิเตต (TCI/EA) มีผลทำให้สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสมชนิด LNR เพิ่มขึ้นทุกสัดส่วน เมื่อเทียบกับการไม่ใช้สารรองพื้น เนื่องจากการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้น เป็นการทำให้ปฏิกิริยาคลอริเนชัน ทำให้เกิดหมู่มีซัวบนผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ ส่งผลให้พลังงานพื้น (Surface energy) ของยางวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น และหมู่มีซัวที่เกิดขึ้นยังสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ยูรีเทนของกาวพอลิยูรีเทนที่มีอยู่ในกาวน้ำยางผสม จึงทำให้สมบัติการยึดติดเพิ่มขึ้น โดยพบว่าค่าสมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมที่ใช้สารรองพื้นทั้งสองชนิดที่ความเข้มข้น 0.4 % โดยน้ำหนัก มีค่าใกล้เคียงกันในทุกสัดส่วน และหนังสังเคราะห์ทั้งสองชนิด แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารรองพื้นชนิดทางการค้าเป็น 1.0 % โดยน้ำหนัก มีผลทำให้สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมทุกสัดส่วนเพิ่มขึ้น โดยค่าสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสมที่สัดส่วน 70/30 มีค่าเท่ากับ 10.09 และ 9.65 ปอนด์ต่อนิ้ว ตามลำดับ กาวน้ำยางผสมชนิดยางธรรมชาติเหลวทุกสัดส่วนยึดติดหนังสังเคราะห์ชนิด PVC ได้ดีกว่า PU เพียงเล็กน้อย

#### 4.3.3.2 ผลของการใช้กาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า

เมื่อศึกษาสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสมระหว่างกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ชนิด ENR 30 และ ENR 50 กับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า ที่สัดส่วน 100/0 70/30 50/50 30/70 และ 0/100 และทดสอบสมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสม ENR แต่ละสัดส่วน ด้วยเทคนิคแบบลอก (Peel test) ด้วยมุม  $180^{\circ}$  ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.10 4.11 รูปที่ 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนัง PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสมชนิด ENR 30 ที่สัดส่วนต่างๆ

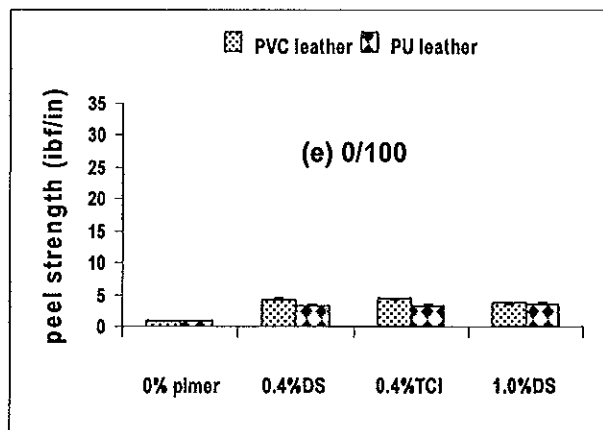
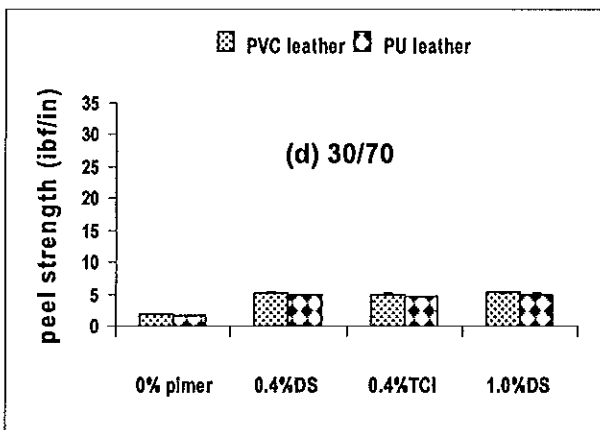
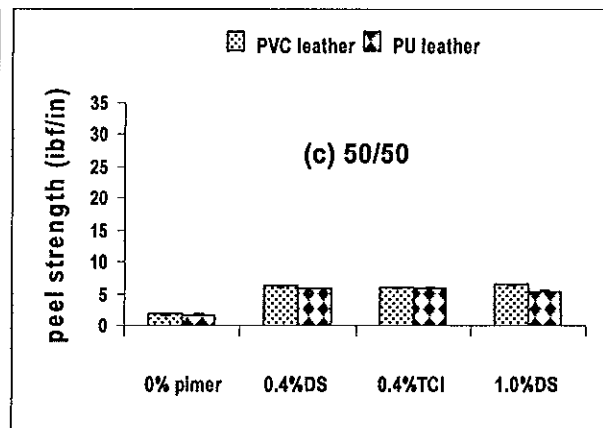
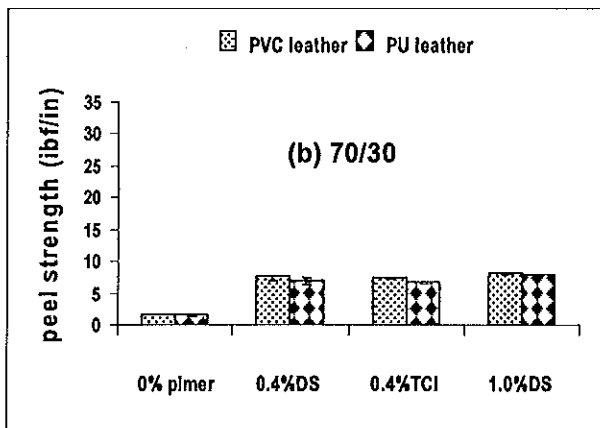
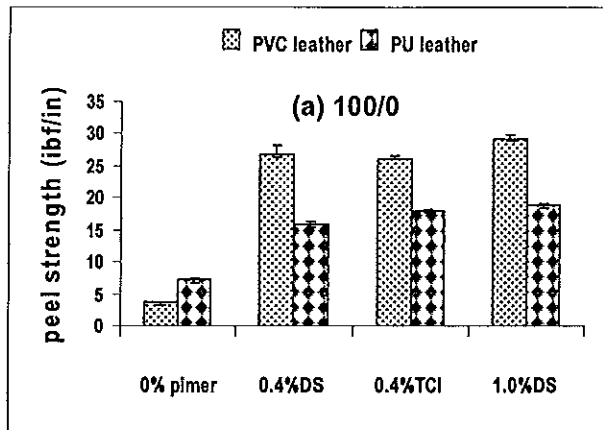
PU/ENR 30 (ratio)	Peel strength (lbf/in)							
	no primer		0.4%Dongsung		0.4% TC/EA		1% Dongsung	
	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU
100 / 0	3.68 ±0.15	7.17 ±0.38	26.77 ±1.57	15.79 ±0.45	26.20 ±0.31	17.97 ±0.17	29.18 ±0.62	18.85 ±0.33
70 / 30	1.59 ±0.15	1.54 ±0.06	7.66 ±0.12	6.96 ±0.56	7.4 ±0.17	6.7 ±0.06	8.12 ±0.06	7.9 ±0.10
50 / 50	1.82 ±0.08	1.75 ±0.12	6.20 ±0.09	5.89 ±0.06	6.05 ±0.08	5.91 ±0.11	6.43 ±0.14	5.46 ±0.05
30 / 70	1.86 ±0.08	1.64 ±0.07	5.22 ±0.23	4.92 ±0.07	4.99 ±0.15	4.68 ±0.06	5.33 ±0.09	4.93 ±0.15
0 / 100	1.60 ±0.08	1.33 ±0.07	4.29 ±0.2	3.35 ±0.04	4.34 ±0.19	3.36 ±0.21	3.72 ±0.1	3.53 ±0.11

จากตารางที่ 4.10 4.11 รูปที่ 4.16 และ 4.17 พบว่าเมื่อใช้กาวน้ำยางธรรมชาติอ็อกไซค์ชนิด ENR 30 และ ENR 50 ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า มีผลทำให้สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมทั้งสองชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้กาว ENR 30 และ ENR 50 เพียงชนิดเดียว โดยสมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมชนิด ENR 50 ให้สมบัติการยึดติดที่ดีกว่าชนิด ENR 30 ทุกสัดส่วน และหนังสังเคราะห์ทั้งสองชนิด ซึ่งสมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมชนิด ENR ทั้งสองชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อสัดส่วนระหว่างกาวพอลิยูรีเทนทางการค้ากับกาวน้ำยางธรรมชาติอ็อกไซค์เพิ่มขึ้น ซึ่งที่สัดส่วน 70/30 ให้สมบัติการยึดติดดีที่สุดเมื่อเทียบกับสัดส่วนอื่น เนื่องจากเป็นสัดส่วนที่กาวน้ำยาง ENR และกาวพอลิยูรีเทนทางการค้าเข้ากันได้ดีที่สุด นอกจากนี้เมื่อทำการศึกษาผลของการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ก่อนทำการยึดติด ด้วยสารรองพื้นทั้งชนิดทางการค้า (Dongsung primer) และสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในเอทิลอะซิเตต (TC/EA) พบว่ามีผลทำให้สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมชนิด ENR 30 และ ENR 50 มีค่าเพิ่มขึ้นทุกสัดส่วน เมื่อเทียบกับการไม่ใช้สารรองพื้น โดยพบว่าการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นทั้งสองชนิด ที่ความเข้มข้น 0.4 % โดยน้ำหนัก ให้สมบัติการยึดติดที่มีค่าใกล้เคียงกันทั้งในหนัง PVC และ PU แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารรองพื้นชนิดทางการค้าเป็น 1.0 % โดยน้ำหนัก ยิ่งส่งผลทำให้สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมทุกสัดส่วนเพิ่มขึ้น เนื่องจากการปรับ

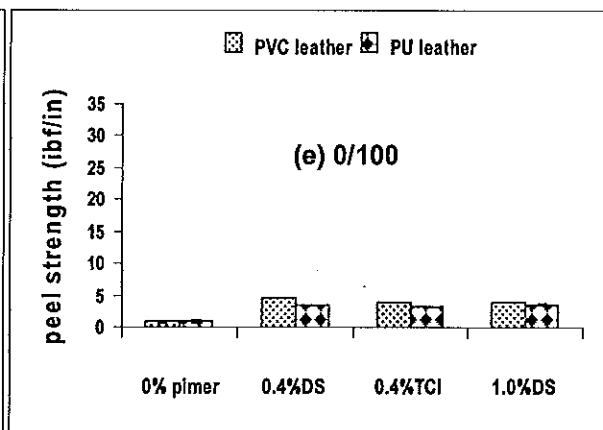
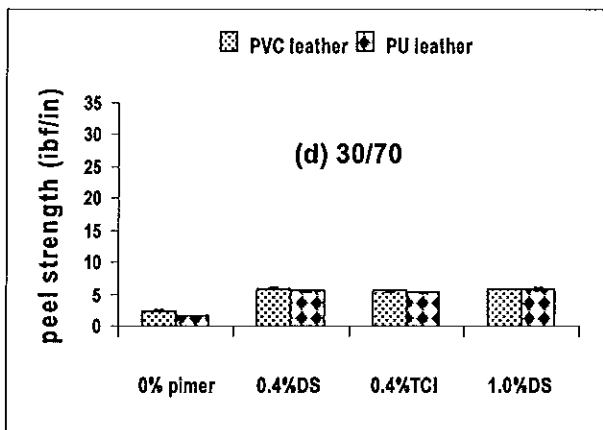
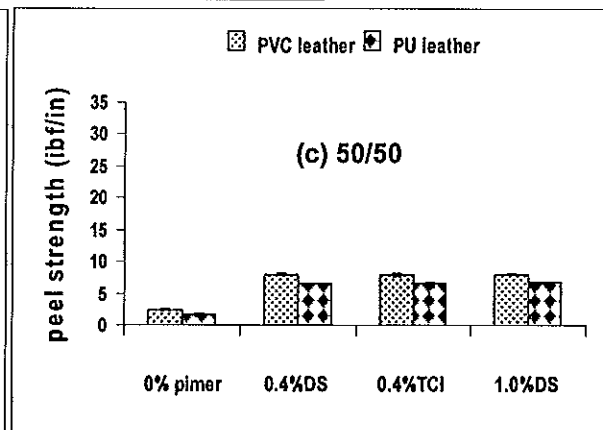
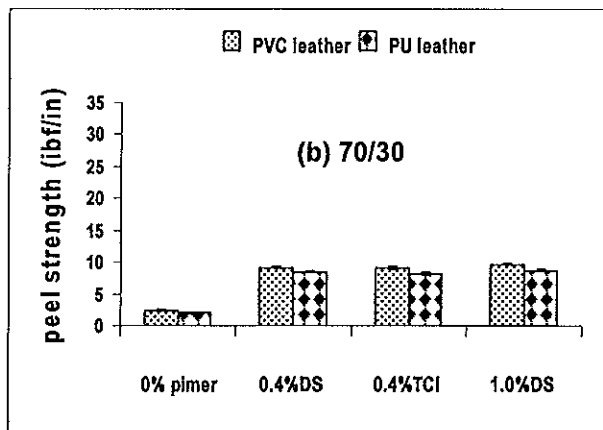
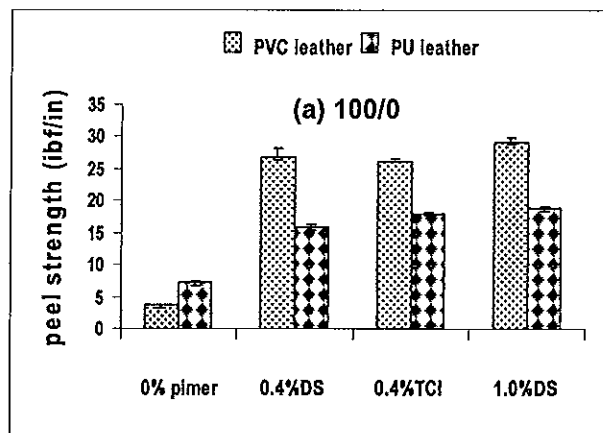
ผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นเป็นการทำปฏิกิริยาคลอริเนชัน ทำให้เกิดหมู่มีซิว ได้แก่ หมู่ C=O และ C-Cl ขึ้นบนผิวหน้ายาง และยังเป็นการเพิ่มพลังงานพื้นผิวของยางวัลคาไนซ์ ส่งผลให้สมบัติการเปื่อยกผิวของกาวบนผิวหน้ายางดีขึ้น อีกทั้งหมู่มีซิวนี้ยังสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับ หมู่ยูรีเทน (Urethane group) ของกาวพอลิยูรีเทนที่มีอยู่ในกาวน้ำยางผสมได้ จึงส่งผลให้สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมเพิ่มขึ้น โดยค่าสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสมชนิด ENR 30 ที่สัดส่วน 70/30 มีค่าเท่ากับ 7.66 และ 6.96 ปอนด์ต่อนิ้ว และกาวน้ำยางผสมชนิด ENR 50 ที่สัดส่วน 70/30 มีค่าเท่ากับ 9.17 และ 8.50 ปอนด์ต่อนิ้ว ตามลำดับ กาวน้ำยางผสมชนิด ENR 30 และ ENR 50 ทุกสัดส่วนยึดติดหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC ได้ดีกว่า PU เนื่องจากผิวหน้าของหนังสังเคราะห์ชนิด PVC ประกอบด้วยช่องว่างที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของเส้นใยกันอย่างเป็นระเบียบ (ดังภาคผนวก ง ในรูปที่ ง.1) ทำให้กาวสามารถแทรกซึมเข้าไปในช่องว่าง และเกิดการยึดติดทางกลเกิดขึ้น โดยมีเส้นใยเป็นตัวเสริมแรง ทำให้การยึดติดมีความแข็งแรงมากขึ้น

ตารางที่ 4.11 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนัง PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสม ชนิด ENR 50 ที่สัดส่วนต่างๆ

PU/ENR 50 (ratio)	Peel strength (lb/in)							
	no primer		0.4%Dongsung		0.4% TCI/EA		1% Dongsung	
	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU
100 / 0	3.68 ±0.15	7.17 ±0.38	26.77 ±1.57	15.79 ±0.45	26.20 ±0.31	17.97 ±0.17	29.18 ±0.62	18.85 ±0.33
70 / 30	2.32 ±0.15	2.02 ±0.05	9.17 ±0.13	8.50 ±0.08	9.15 ±0.07	8.10 ±0.21	9.62 ±0.07	8.75 ±0.04
50 / 50	2.42 ±0.11	1.64 ±0.20	7.9 ±0.18	6.6 ±0.04	7.94 ±0.33	6.45 ±0.34	8.03 ±0.09	6.71 ±0.13
30 / 70	2.39 ±0.07	1.61 ±0.07	5.88 ±0.15	5.54 ±0.12	5.51 ±0.15	5.29 ±0.15	5.88 ±0.07	5.85 ±0.14
0 / 100	1.87 ±0.03	1.75 ±0.29	4.62 ±0.12	3.46 ±0.06	4.80 ±0.15	3.95 ±0.03	4.00 ±0.05	3.55 ±0.07



รูปที่ 4.16 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU ของ กาวน้ำยางผสมที่สัดส่วนต่างๆ ของ PU/ENR 30 (a) 100/0 (b) 70 / 30 (c) 50/50 (d) 30/70 (e) 0/100



รูปที่ 4.17 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU ของ กาวน้ำยางผสมที่สัดส่วนต่างๆ ของ PU/ENR 50 (a) 100/0 (b) 70 / 30 (c) 50/50 (d) 30/70 (e) 0/100

#### 4.3.3.3 ผลของการใช้กาวน้ำยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซด์ (LENR) ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า

เมื่อศึกษาสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU ผลของกาวน้ำยางผสมระหว่างกาวน้ำยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซด์ ชนิด LENR 30 และ LENR 50 ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า ที่สัดส่วน 100/0 70/30 50/50 30/70 และ 0/100 ดังหัวข้อ 3.4.3.3 ด้วยเทคนิคแบบลอก (Peel test) ด้วยมุม 180° โดยผลการทดสอบสมบัติการยึดติดที่ได้ของกาวแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 4.12 4.13 รูปที่ 4.18 และ 4.19

ตารางที่ 4.12 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนัง PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสมชนิด LENR 30 ที่สัดส่วนต่างๆ

PU/LENR 30 (ratio)	Peel strength (lbf/in)							
	no primer		0.4%Dongsung		0.4% TCIEA		1% Dongsung	
	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU
100 / 0	3.68 ±0.15	7.17 ±0.38	26.77 ±1.57	15.79 ±0.45	26.20 ±0.31	17.97 ±0.17	29.18 ±0.62	18.85 ±0.33
90 / 10	3.90 ±0.08	5.23 ±0.12	12.39 ±0.21	11.92 ±0.2	12.07 ±0.11	11.62 ±0.38	12.95 ±0.12	12.43 ±0.16
80 / 20	3.98 ±0.10	4.61 ±0.13	11.81 ±0.20	11.25 ±0.21	11.73 ±0.14	10.47 ±0.07	12.14 ±0.09	11.59 ±0.16
70 / 30	3.82 ±0.10	4.82 ±0.04	11.32 ±0.15	10.38 ±0.11	10.31 ±0.13	9.84 ±0.33	11.51 ±0.21	10.84 ±0.14
0 / 100	1.00 ±0.05	0.98 ±0.08	3.99 ±0.09	3.45 ±0.23	3.56 ±0.24	3.57 ±0.09	4.16 ±0.11	3.83 ±0.11

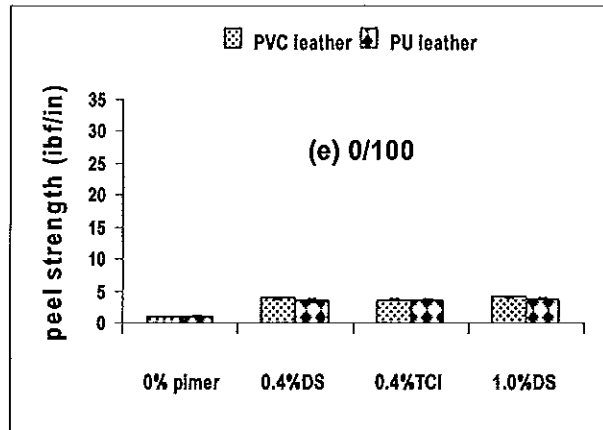
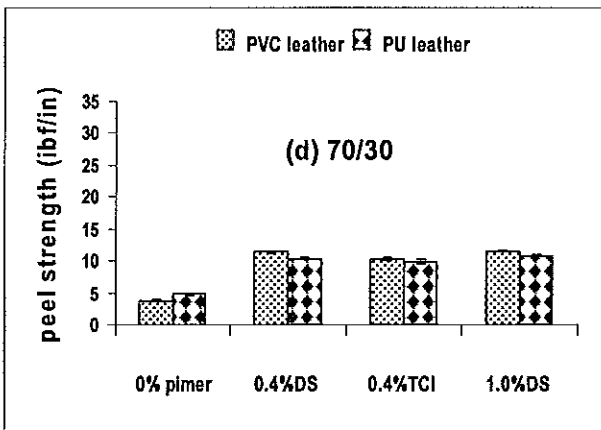
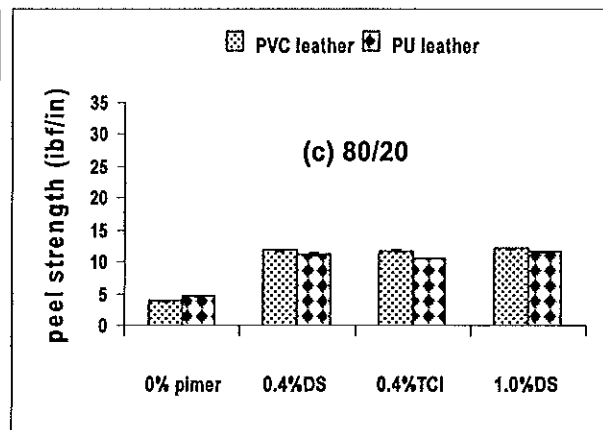
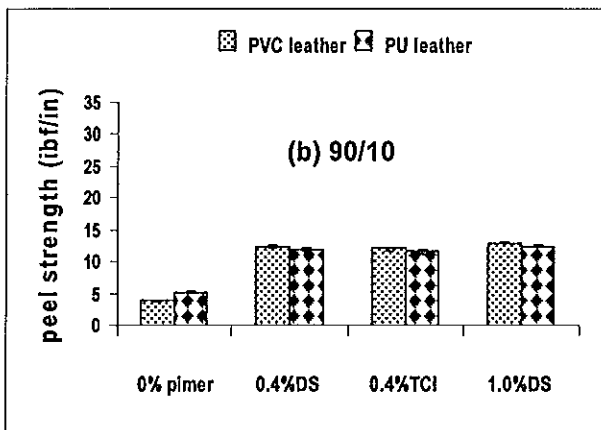
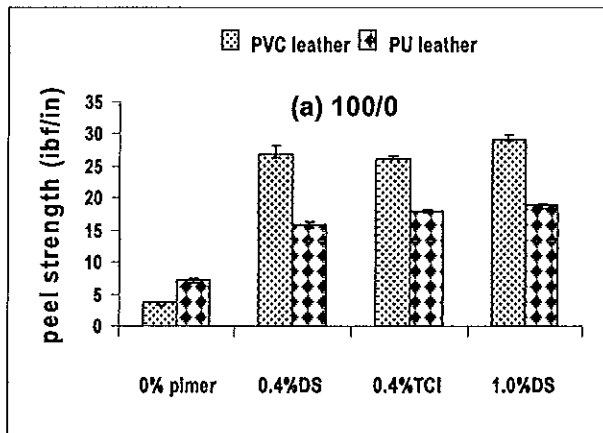
ซึ่งจากตารางที่ 4.12 4.13 รูปที่ 4.18 และ 4.19 พบว่าการใช้กาวน้ำยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซด์ (LENR) ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า มีผลทำให้สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสม ชนิด LENR เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้กาวน้ำยาง LENR เพียงอย่างเดียว โดยกาวน้ำยางผสมชนิด LENR 50 ให้สมบัติการยึดติดที่ดีกว่า LENR 30 และที่สัดส่วนระหว่างกาวพอลิยูรีเทนทางการค้ากับกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์เท่ากับ 90/10 ให้สมบัติการยึดติดที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสัดส่วนอื่น ซึ่งกาวน้ำยางผสมชนิด LENR ทุกสัดส่วน ยึดติดหนังสังเคราะห์ชนิด PVC ได้ดีกว่า PU

สำหรับผลการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้น พบว่าการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นชนิดทางการค้า (Dongsung primer) และสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในเอทิลอะซิเตต (TCI/EA) ที่ความเข้มข้น 0.4% โดยน้ำหนัก ให้สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมที่ใกล้เคียงกันในน้ำยางผสมทุกสัดส่วน และหนังสังเคราะห์ทั้งสองชนิด แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสารรองพื้นทางการค้าให้มีความเข้มข้น 1.0% โดยน้ำหนัก มีผลทำให้สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมเพิ่มขึ้น โดยสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสมชนิด LENR 30 ที่สัดส่วน 90/10 มีค่าเท่ากับ 12.95 และ 12.43 ปอนด์ต่อนิ้ว ส่วนกาวน้ำยางผสมชนิด LENR 50 ที่สัดส่วน 90/10 มีค่าเท่ากับ 13.44 และ 13.13 ปอนด์ต่อนิ้ว ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามสมบัติการยึดติดที่ได้ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของโรงงานอุปกรณ์กีฬาที่ต้องการสมบัติการยึดติดระหว่างยางกับหนังสังเคราะห์เท่ากับ 14.80 ปอนด์ต่อนิ้ว

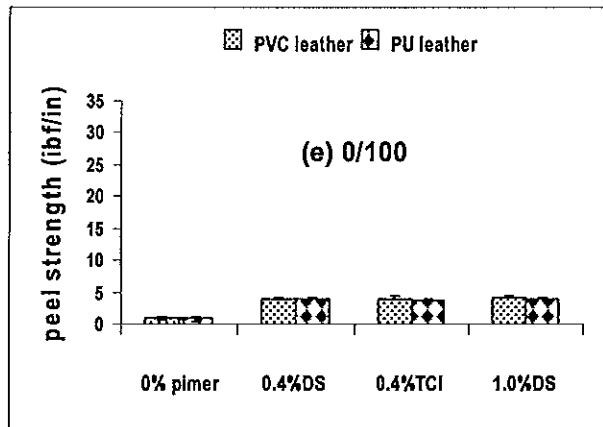
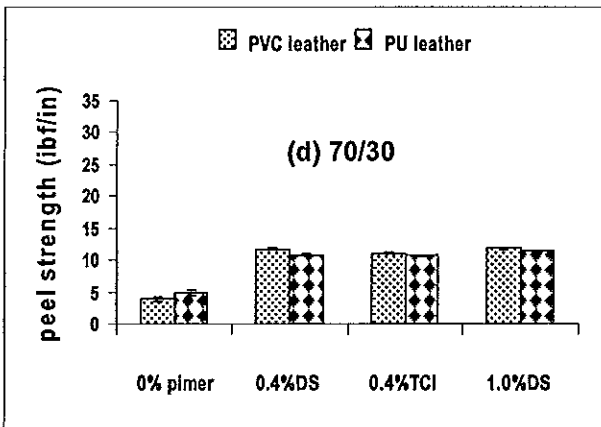
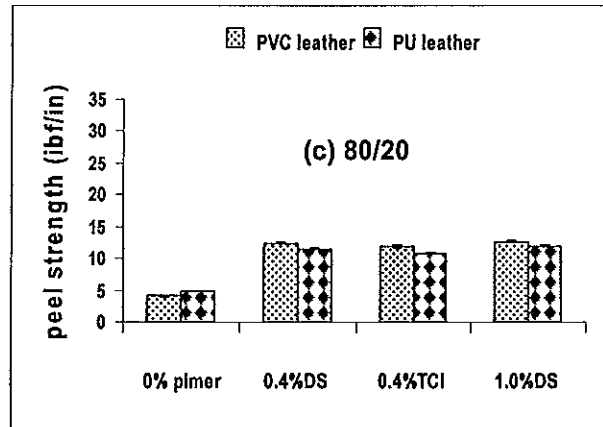
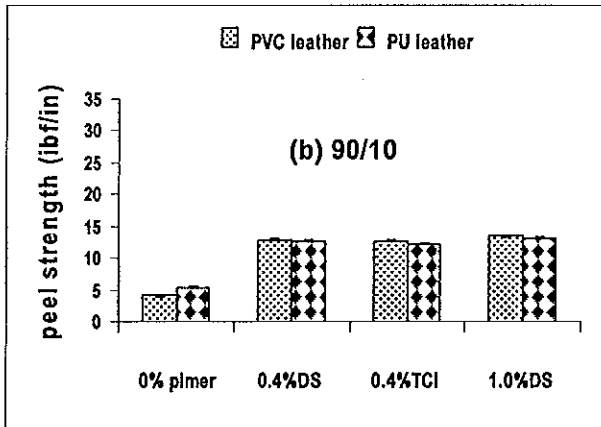
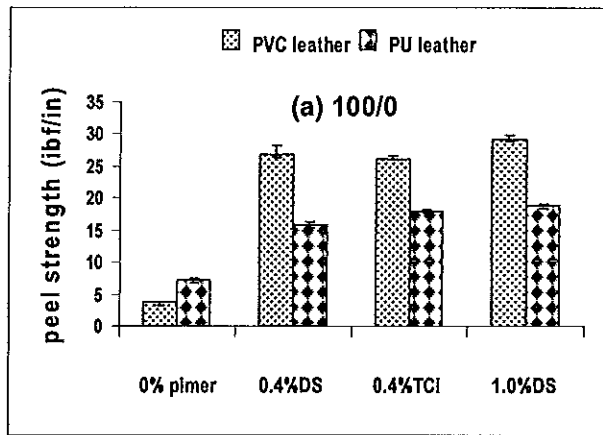
ตารางที่ 4.13 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนัง PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสมชนิด LENR 50 ที่สัดส่วนต่างๆ

PU/LENR 50 (ratio)	Peel strength (lbf/in)							
	no primer		0.4%Dongsung		0.4% TCI/EA		1% Dongsung	
	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU
100 / 0	3.68 ±0.15	7.17 ±0.38	26.77 ±1.57	15.79 ±0.45	26.20 ±0.31	17.97 ±0.17	29.18 ±0.62	18.85 ±0.33
90 / 10	4.11 ±0.10	5.48 ±0.04	12.92 ±0.17	12.66 ±0.11	12.66 ±0.11	12.23 ±0.11	13.44 ±0.21	13.13 ±0.12
80 / 20	4.13 ±0.08	4.92 ±0.05	12.46 ±0.15	11.51 ±0.11	11.92 ±0.21	10.84 ±0.14	12.61 ±0.15	11.94 ±0.12
70 / 30	3.96 ±0.14	4.95 ±0.40	11.74 ±0.15	10.80 ±0.09	11.07 ±0.12	10.67 ±0.11	11.85 ±0.14	11.33 ±0.14
0 / 100	1.04 ± 0.08	0.88 ± 0.03	3.99 ± 0.11	3.99 ± 0.1	4.02 ± 0.17	3.76 ± 0.10	4.28 ± 0.04	4.04 ± 0.06





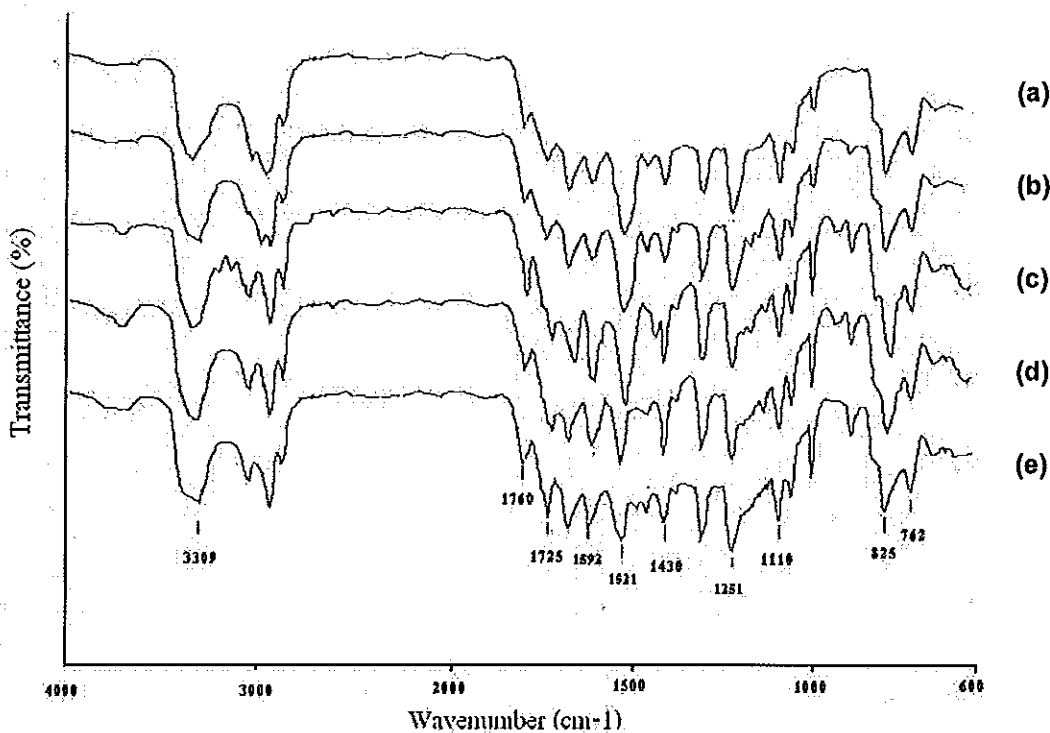
รูปที่ 4.18 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU ของ กาวน้ำยางผสมที่สัดส่วนต่างๆ ของ PU/LENR 30 (a) 100/0 (b) 90 /10 (c) 80/20 (d) 70/30 (e) 0/100



รูปที่ 4.19 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU ของ กาวน้ำยางผสมที่สัดส่วนต่างๆ ของ PU/LENR 50 (a) 100/0 (b) 90/10 (c) 80/20 (d) 70/30 (e) 0/100

#### 4.4 ผลการสังเคราะห์กาวพอลิยูรีเทน

จากการทดลองที่ผ่านมามีพบว่ากาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร มีสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ที่ต่ำเมื่อเทียบกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า และถึงแม้ว่าจะนำกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรมาใช้ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้าแล้วก็ตาม ดังนั้นจึงได้ทำการสังเคราะห์กาวพอลิยูรีเทนจากปฏิกิริยาระหว่างยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลวออกซิไดซ์ (OLENR) กับไดไอโซไซยาเนต ชนิด 4,4' เมธิลีนบีส (ฟีนิลไอโซไซยาเนต) ที่สัดส่วน 1.5:1.0 1.25:1.0 1.0:1.0 0.75:1.0 และ 0.5:1.0 โมลต่อโมล สำหรับขั้นตอนการเตรียมแสดงหัวข้อ 3.4.4 หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลด้วยเทคนิค FT-IR ซึ่งผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 FT- IR สเปกตรัมของกาวพอลิยูรีเทน ที่การแปรปริมาณโมลของยาง OLENR กับ ไดไอโซไซยาเนตที่สัดส่วนต่างๆ (a) 1.50 :1.0 (b) 1.25 :1.0 (c) 1.0 :1.0 (d) 0.75 :1.0 (e) 0.50 :1.0

จากการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของกาวพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค FT-IR ดังรูป 4.20 พบว่าปรากฏสัญญาณที่ตำแหน่ง  $3309\text{ cm}^{-1}$  (NH stretching) และ  $1521\text{ cm}^{-1}$  (NH stretching (Amide group)) ซึ่งแสดงถึงการเกิดการเชื่อมโยงแบบยูรีเทนภายในโครงสร้างโมเลกุล ของกาวพอลิยูรีเทนสังเคราะห์ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อนำน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลวออกซิไดซ์มาทำ

ปฏิกิริยาร่วมกับไดไอโซไซยาเนต ชนิด 4,4'เมทิลีนบีส (ฟีนิลไอโซไซยาเนต) มีผลทำให้เกิดการเชื่อมโยงแบบยูริเทนเกิดขึ้น และจากการทดสอบหาปริมาณของไอโซไซยาเนตอิสระของ polymeric MDI ระหว่างการสังเคราะห์กาวพอลิยูริเทน ดังตารางที่ 4.14 พบว่าปริมาณไดไอโซไซยาเนตอิสระที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยามีปริมาณลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และสังเกตได้ว่าหลังจากทำปฏิกิริยาไป 3 ชั่วโมง ปริมาณไดไอโซไซยาเนตอิสระเริ่มไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นการยืนยันถึงการสิ้นสุดปฏิกิริยาระหว่างยาง OLENR กับ ไดไอโซไซยาเนต

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบหาปริมาณไอโซไซยาเนตอิสระของ polymeric MDI (4,4 Diphenylmethane diisocyanate)

Reaction time (h)	Free NCO content (%)
0	22.81
0.5	20.52
1.0	17.33
1.5	15.45
2.0	14.20
2.5	13.11
3.0	12.98

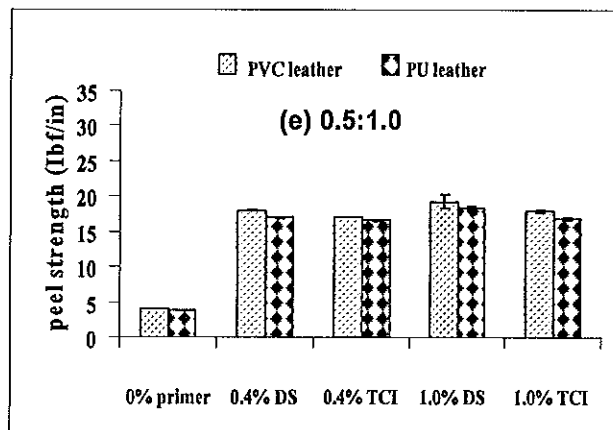
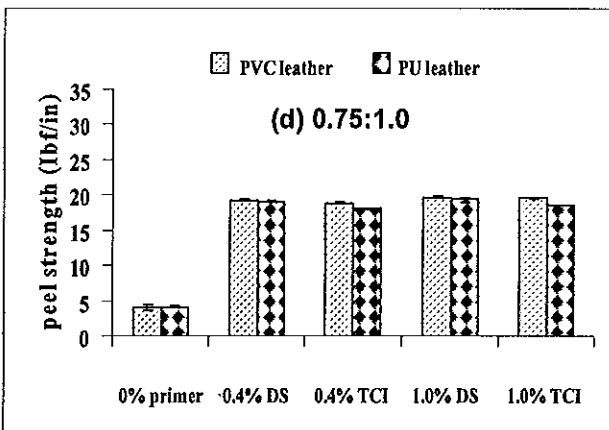
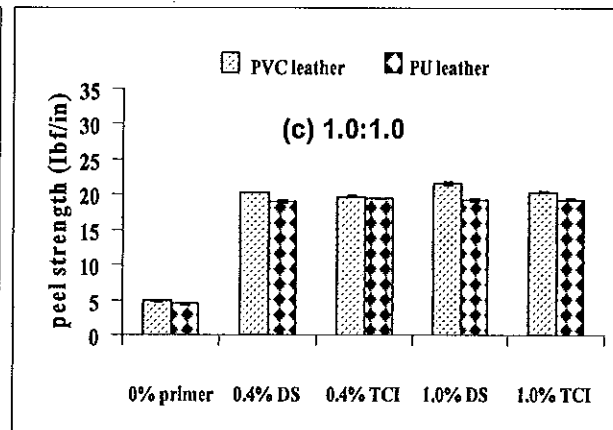
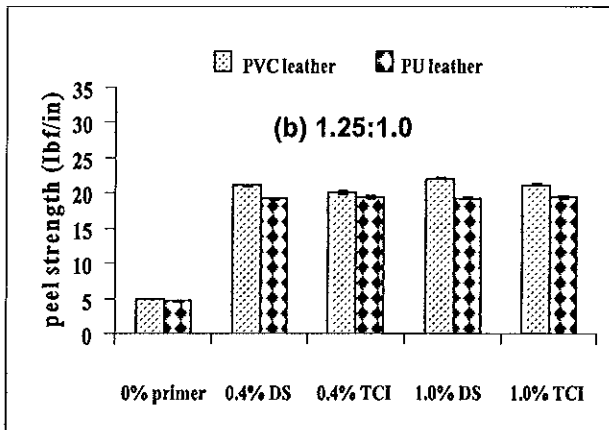
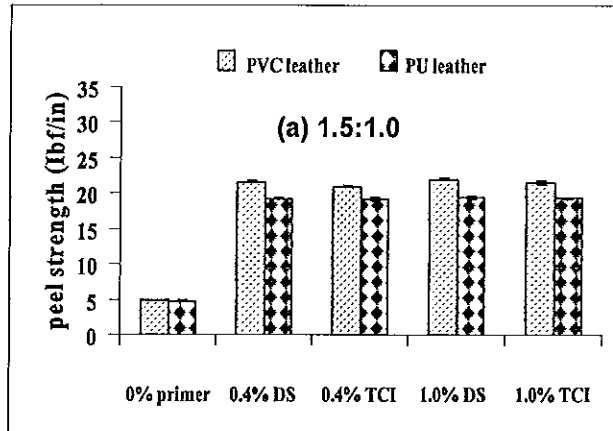
#### 4.4.1 สมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูริเทนสังเคราะห์

จากการศึกษาสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวพอลิยูริเทนที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาระหว่างยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลวออกซิไดซ์ (OLENR) กับไดไอโซไซยาเนต ชนิด 4,4' เมทิลีนบีส (ฟีนิลไอโซไซยาเนต,pMDI) ที่ลัดส่วน 1.50:1.0 1.25:1.0 1.0:1.0 0.75:1.0 และ 0.5:1.0 โมลต่อโมล ด้วยเทคนิคแบบปอก ด้วยมุม  $180^{\circ}$  ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.21

ตารางที่ 4.15 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และPU ของ  
 กาวพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนต่างๆ

Adhesive type	Peel strength (lb/in)									
	no primer		0.4% Dongsung		0.4% TCI/EA		1.0% Dongsung		1.0% TCI/EA	
	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU
Commercial polyurethane	3.68 ±0.15	7.17 ±0.38	26.77 ±1.57	15.79 ±0.45	26.20 ±0.31	17.97 ±0.17	29.18 ±0.62	18.85 ±0.33	28.41 ±0.25	17.59 ±0.24
OLENR:NCO 1.5:1.0	4.93 ±0.15	4.77 ±0.20	21.65 ±0.17	19.24 <sup>++</sup> ±0.13	20.95 ±0.13	19.24 <sup>++</sup> ±0.05	22.04 ±0.07	19.44 <sup>++</sup> ±0.13	21.59 ±0.07	19.38 <sup>++</sup> ±0.09
1.25:1.0	4.90 ±0.05	4.66 ±0.09	21.07 ±0.14	19.19 <sup>++</sup> ±0.09	20.09 ±0.14	19.42 <sup>++</sup> ±0.16	21.99 ±0.1	19.27 <sup>++</sup> ±0.13	21.22 ±0.18	19.39 <sup>++</sup> ±0.14
1.0:1.0	4.84 ±0.13	4.43 ±0.13	20.27 ±0.02	19.01 <sup>++</sup> ±0.16	19.69 ±0.13	19.39 <sup>++</sup> ±0.05	21.57 ±0.18	19.16 <sup>++</sup> ±0.23	20.29 ±0.10	19.29 <sup>++</sup> ±0.09
0.75:1.0	4.15 ±0.42	4.12 ±0.06	19.31 ±0.20	19.05 <sup>++</sup> ±0.07	18.88 ±0.01	18.05 ±0.12	19.69 ±0.13	19.34 <sup>++</sup> ±0.30	19.53 ±0.05	18.61 ±0.06
0.5:1.0	4.00 ±0.02	3.83 ±0.08	17.96 ±0.11	17.04 ±0.13	17.09 ±0.03	16.58 ±0.11	19.31 ±0.87	18.31 ±0.22	17.94 ±0.16	16.80 ±0.22

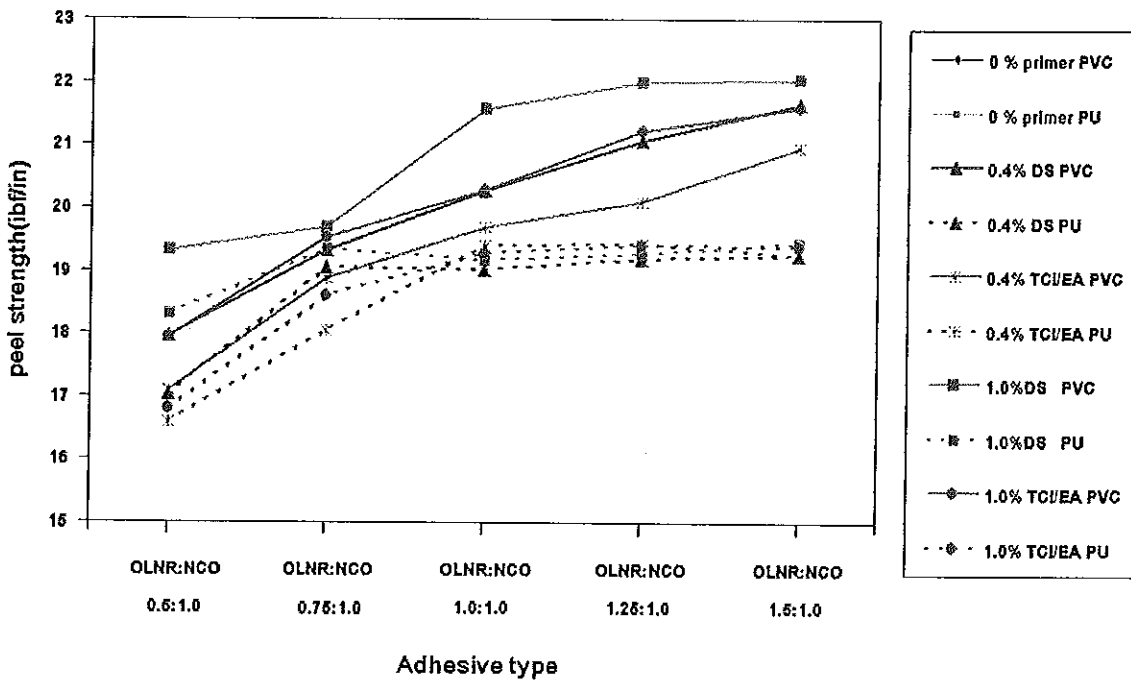
หมายเหตุ ++ หมายถึง การเกิดความล้มเหลวแบบโคฮีซีฟ (Cohesive failure) ภายในผิวหน้าของ  
 หนังสังเคราะห์



รูปที่ 4.21 สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ PVC และ PU ของกาวพอลิยูรีเทนที่การแปรปริมาณโมลของยาง OLENR กับ ไดไอโซไซยาเนตที่สัดส่วนต่างๆ (a) 1.50 :1.0 (b) 1.25 :1.0 (c) 1.0 :1.0 (d) 0.75 :1.0 (e) 0.50:1.0

จากตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.21 และ 4.22 พบว่าสมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อสัดส่วนของยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลวออกซิไดซ์ (OLENR) เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของยาง OLENR ส่งผลทำให้ปริมาณการเกิดพันธะเชื่อมโยงแบบยูรีเทนภายในโครงสร้างโมเลกุลของกาวพอลิยูรีเทนสังเคราะห์มีมากขึ้น ทำให้จำนวนพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากหมู่อูรีเทน (Urethane group) ของกาวพอลิยูรีเทนสังเคราะห์ กับหมู่อิมิซันบนผิวหน้ายางวัลคาไนซ์มีปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้สมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนสังเคราะห์มีค่าสูงขึ้นด้วย และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ขึ้นแต่ละสัดส่วน ดังรูปที่ 4.22 พบว่าที่สัดส่วนระหว่างยาง OLENR กับไดไอโซไซยาเนตเท่ากับ 1.50:1.0 และ 1.25:1.0 โมลต่อโมล ให้สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์แต่ละชนิดที่ใกล้เคียงกัน ทั้งในหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU และที่ทุกความเข้มข้นของสารรองพื้นทั้งสองชนิด แต่กาวพอลิยูรีเทนสังเคราะห์ทั้งสองสัดส่วน มีสมบัติการยึดติดที่สูงกว่าสัดส่วน 1.0:1.0, 0.75:1.0 และ 0.5:1.0 โมลต่อโมล ตามลำดับ โดยกาวพอลิยูรีเทนสังเคราะห์ทุกสัดส่วน ยึดติดหนังสังเคราะห์ชนิด PVC ได้ดีกว่า PU แต่ถ้าพิจารณาสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ ชนิด PU เมื่อทำการปรับผิวหน้าด้วยสารรองพื้นทั้งสองชนิด ที่ทุกความเข้มข้น พบว่ากาวพอลิยูรีเทนที่สัดส่วน 1.50:1.0 1.25:1.0 1.0:1.0 และ 0.75:1.0 โมลต่อโมล มีค่าสมบัติการยึดติดที่ไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อทำการทดสอบสมบัติการยึดติด ด้วยเทคนิคแบบลอก (Peel test) ด้วยมุม  $180^{\circ}$  ปรากฏว่าเกิดการลัมเหลวแบบโคฮีซีฟภายในผิวหน้าของหนังสังเคราะห์ ขณะทำการทดสอบ และหากพิจารณาถึงผลของการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นทั้งชนิดทางการค้า (Dongsung primer) และสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในเอทิลอะซิเตต (TC/EA) พบว่าสมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนสังเคราะห์ทุกสัดส่วนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด ทั้งในหนังชนิด PVC และ PU เมื่อเทียบกับการไม่ใช้สารรองพื้น โดยการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นทั้งสองชนิด ที่ความเข้มข้น 0.4% โดยน้ำหนัก ให้สมบัติการยึดติดที่ใกล้เคียงกัน ทั้งในหนัง PVC และ PU โดยที่ความเข้มข้น 1.0% โดยน้ำหนัก ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน และหากพิจารณาถึงผลของความเข้มข้นของสารรองพื้นทั้งสองชนิดที่ใช้ปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ต่อสมบัติการยึดติด พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารรองพื้นทั้งสองชนิด จาก 0.4 % เป็น 1.0 % โดยน้ำหนัก ทำให้สมบัติการยึดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC เพิ่มขึ้น แต่ในกรณีของหนังสังเคราะห์ชนิด PU นั้น พบว่ามีสมบัติการยึดติดที่ไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการยึดติดระหว่างหนังสังเคราะห์ชนิด PU กับกาวพอลิยูรีเทน มีความแข็งแรงมากกว่าภายในผิววัสดุ จึงเกิดการลัมเหลวแบบโคฮีซีฟภายในผิวหน้าของหนังสังเคราะห์ขณะทำการทดสอบ ทำให้ค่าสมบัติการยึดติดที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน และหากเปรียบเทียบสมบัติการยึดติดระหว่างกาวพอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ขึ้นเองกับกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า พบว่าในกรณีที่ไม่ได้ปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้น กาวพอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ขึ้น มีสมบัติการยึดติด

ระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสือเคราะห์ชนิด PVC ที่สูงกว่ากาวพอลิยูรีเทนทางการค้า แต่ยึดติดหนังสือเคราะห์ PU ได้ต่ำกว่า และหากพิจารณาสมบัติการยึดติดของกาวทั้งสองชนิด หลังจากปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นทั้งชนิดทางการค้า (Dongsung primer) และสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในเอทิลอะซิเตต (TCI/EA) พบว่ากาวพอลิยูรีเทนทางการค้าที่หนังสือเคราะห์ชั้นที่สัดส่วน 1.50:1.0, 1.25:1.0, 1.0:1.0 และ 0.75:1.0 โมลต่อโมล มีสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสือเคราะห์ชนิด PU ที่สูงกว่ากาวพอลิยูรีเทนทางการค้า แต่การยึดติดกับหนังสือเคราะห์ชนิด PVC ยังมีค่าต่ำกว่ากาวพอลิยูรีเทนทางการค้า เนื่องจากกาวพอลิยูรีเทนทางการค้ามีความหนืดต่ำกว่ากาวพอลิยูรีเทนหนังสือเคราะห์ ทำให้สามารถแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างบนพื้นผิวหน้าหนังสือเคราะห์ชนิด PVC ได้ดีกว่า ส่งผลให้เกิดการยึดติดทางกลที่แข็งแรงกว่ากาวพอลิยูรีเทนหนังสือเคราะห์



รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบสมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนต่างๆ



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลของการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นต่อสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสือเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวแต่ละชนิด

การปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นทั้งชนิดทางการค้า และสารละลาย TC/EA มีผลทำให้สมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนทางการค้า กาวพอลิยูรีเทนสังเคราะห์ กาวน้ำยางผสม และกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรทุกชนิด ยกเว้น กาวน้ำยาง LNR มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งในหนังสือชนิด PVC และชนิด PU เมื่อเทียบกับการไม่ใช้สารรองพื้น ซึ่งการเตรียมผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นทั้ง 2 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.4% โดยน้ำหนัก ให้สมบัติการยึดติดที่ไม่แตกต่างกัน ทั้งในหนังสือเคราะห์ชนิด PVC และ PU โดยที่ความเข้มข้น 1.0% โดยน้ำหนัก ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นจาก 0.4% เป็น 1.0% โดยน้ำหนัก พบว่าสมบัติการยึดติดของกาวทุกชนิด ยกเว้นกาวน้ำยาง LNR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

5.1.2 ผลของการศึกษาสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสือเคราะห์ PVC และ PU ของกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปร

จากผลการศึกษาสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสือเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรแต่ละชนิด พบว่าสมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรทุกชนิด มีค่าความแข็งแรงของการยึดติดไม่เกิน 5 ปอนด์ต่อนิ้ว โดยกาวน้ำยาง LENR 50 ให้สมบัติการยึดติดดีที่สุด รองลงมาคือ LENR 30 และ ENR 50 > ENR 30 > LNR ตามลำดับ ดังนั้นการใช้กาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรเพียงอย่างเดียว จึงไม่เหมาะที่นำมาใช้สำหรับติดประสานระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสือเคราะห์

5.1.3 ผลของการใช้กาวพอลิยูรีเทนทางการค้าร่วมกับกาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรต่อสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสือเคราะห์ชนิด PVC และ PU

เมื่อศึกษาสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสือเคราะห์ชนิด PVC และ PU ของกาวน้ำยางผสม พบว่าสมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมแต่ละชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้กาวน้ำยางธรรมชาติดัดแปรแต่ละชนิดเพียงอย่างเดียว โดยที่กาวน้ำยางผสมชนิด

LENR ทั้งชนิด LENR 50 และ LENR 30 ที่สัดส่วน 90/10 ให้สมบัติการยึดติดดีที่สุด ทั้งหนังสือกระดาษชนิด PVC และ PU ส่วนกาวน้ำยางผสม ชนิด LNR ,ENR 30 และ ENR 50 ที่อัตราส่วน 70/30 ให้สมบัติการยึดติดดีที่สุด ทั้งหนังสือกระดาษชนิด PVC และ PU โดยสมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมชนิด LENR 50 > LENR 30 > PU/LNR > PU/ENR 50 > PU/ENR 30 ตามลำดับ แต่สมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสือกระดาษทั้ง 2 ชนิดของกาวน้ำยางผสมทุกชนิด ยังคงมีค่าต่ำกว่ากาวพอลิยูรีเทนทางการค้า และกาวพอลิยูรีเทนที่สังเคราะห์ขึ้น

#### 5.1.4 ผลการใช้กาวพอลิยูรีเทนในการติดประสานระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสือกระดาษชนิด PVC และ PU

จากผลการศึกษาสมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนสังเคราะห์ที่แปรอัตราส่วนโมลระหว่างยางธรรมชาติอีพอกไซด์เหลวออกซิไดซ์ (OLENR) กับไดไอโซไซยานาต พบว่ากาวพอลิยูรีเทนทุกอัตราส่วนยึดติดหนังสือชนิด PVC ได้ดีกว่า PU โดยที่อัตราส่วน 1.50:1.0 และ 1.25:1.0 mol/mol ให้สมบัติการยึดติดที่ไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ที่ทุกความเข้มข้นของสารรองพื้นทั้ง 2 ชนิด และหนังสือกระดาษทั้ง 2 ชนิด แต่มีสมบัติการยึดติดที่สูงกว่าที่อัตราส่วน 1.0:1.0 > 0.75:1.0 > 0.5:1.0 ตามลำดับ โดยค่าความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสือกระดาษชนิด PVC เท่ากับ 22.04 ปอนด์ต่อนิ้ว ส่วนหนังสือกระดาษชนิด PU มีค่าเท่ากับ 19.44 ปอนด์ต่อนิ้ว ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ในอุตสาหกรรม

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเตรียมกาวพอลิยูรีเทนให้อยู่ในรูปของกาวที่กระจายอยู่ในตัวกลางน้ำ เนื่องจากจะทำให้สามารถปรับปรุงสมบัติของกาวพอลิยูรีเทนได้หลากหลายมากขึ้น ได้แก่ การเติมซิลิกา เพื่อปรับปรุงสมบัติการเปียกผิวของกาว หรืออาจเติมสารช่วยยึดติด (Tackifier) เพื่อปรับปรุงสมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนให้ดีขึ้น

### บรรณานุกรม

- นางญา แซ่ลิ้ม. 2545. กาวยางธรรมชาติชนิดทนน้ำมัน. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี.
- พงษ์ธร แซ่ฮ้อย. 2547. ยาง : ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (เอ็มเทค): กทม.
- พรพรรณ นิธิอุทัย. 2540. ยางและเทคนิคการออกสูตร. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สิริธร แก้วกล้า. 2549. กาวน้ำยางผสมของกาวน้ำยางธรรมชาติกับกาวพอลิยูรีเทนเพื่อใช้ติดยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่.
- เสาวนีย์ ก่ออุทัยกุลรังสี. 2546. การผลิตยางธรรมชาติ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- โสภา อisphere. 2545. การพัฒนาการผลิตยางธรรมชาติโดยเทคนิคการลดน้ำหนักโมเลกุล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี.
- ASTM D 412-80. 1982. Test methods for vulcanized rubber and thermoplastic elastomer-tension, Annual book of ASTM standards. Easton. part 37, pp 140-153.
- ASTM D 624-81. 1982. Test methods for tear strength of conventional vulcanized rubber and thermoplastic elastomer, Annual book of ASTM standards. Easton. part 37, pp 156-159.

- ASTM D 1876-72. 1982. Test methods for peel resistance of adhesive, Annual book of ASTM standards. Easton. part 38, pp 606-609.
- ASTM D 2240-81. 1982. Test methods for rubber property -durometer, Annual book of ASTM standards. Easton. part 37, pp 597-600.
- Bac, N.V., Terlemezyan, L. and Mihailov, M. 1991. On the Stability and In Situ Epoxidation of Natural Rubber in Latex by Performic Acid. Journal of Applied Polymer Science. 42: 2965-2973.
- Brosse, J.C. Boccaccio, G. and Pautrat, R. 1981. Powdered Liquid Thermoplastic Nat.Rubber. Proc. Symp. Malay. Rubber Res. Dev.Board, Kuala Lumpur, Malaysia. pp 195-205.
- Cepada-Jimenez, C.M., Pastor-Blas, M.M., Martín-Martínez, J. M. and Gottschalk, P. 2002. A new water- based chemical treatment based on sodiumdichloro isocyanurate (DCI) for rubber soles in the footwear industry. Adhesion Sci Technol. 16: 257-283.
- Chuayjuljit, S., Yaowsang, C., Na-Ranong, N., and Potiyaraj, P. 2006. Oil resistance and physical properties of in situ epoxidized natural rubber from high ammonia concentrated latex, Journal of Applied Polymer Science. 100: 3948-3955.
- Coutinho, F.M.B., Delpech, M.C., Alves, T.L. and Ferreira, A.A. 2003. Degradation profiles of cast films of polyurethane and poly(urethane-urea) aqueous dispersions based on hydroxyl terminated polybutadiene and different diisocyanate. Degrad Stab. 81: 19-27.
- Cunneen, J.I. 1973. Degradation of natural rubber during manufacture, storage and service. NR Technology. 4: 65-75.

Dieterich, D. 1969. Verfahren zur Herstellung von polyurethane. DE Patent. 1,913,271, Mar 14.

Dieterich, D. and Reiff, H. 1972. Polyurethane-disperionen durch schmelz dispergier gierverfahren system. Angrew. Macromol. chem. 26: 85-106.

Dieterich, D. 1981a. Neuere WäBrige PUR-system. Angrew. Macromol. chem. 98: 133-165.

Dieterich, D. 1981b. Aqueous emulsions, dispersion and solutions of polyurethane ; Synthesis and properties. Progress in organic coatings. 9: 283.

Dieterich, D. 1981b. Ibid. 284.

Dileep, U. and Avirah, S.A. 2002. Studies on carboxy-terminated liquid natural rubber in NBR. Journal of Applied Polymer Science. 84: 261-267.

Desai, S.D. Patel, J.V. and Sinha, V.K. 2003. Polyurethane adhesive system from bio material based polyol for bonding wood. International Journal of Adhesion & Adhesive. 23: 393-399.

Dow corning Co., Ltd.. 2008. Flame treatment. [http://www.dowcorning.com/content/lamsealants/flame\\_treatment.asp](http://www.dowcorning.com/content/lamsealants/flame_treatment.asp). (accessed 17/12/2008), part of Surface pre-Treatment. <http://www.dowcorning.com>, (accessed 17/12/2008)

Gazeley, K.F. and Mente, P.G. 1986. Method for Reducing the Molecular Weight of Rubber Latex. DE Patent. 8,628,817, Dec 2.

Hepburn, C. 1992. Polyurethane elastomers. 2nd ed. New York : Elsevier science. pp 113.

Hepburn, C. 1992. Ibid., pp 293-295

- Hepburn, C. 1992. *Ibid.*, pp 303-306
- Hofmann, W. 1989. *Rubber Technology handbook*. Newyork : Hanser/Gardner Publications, Inc., pp 28.
- Jhon, Y.K., Cheong, I.N. and Kim, J.H. 2000. Chain extension study of aqueous polyurethane dispersions. *Colloid and surface*. 179: 71-78.
- Jourequi-Beloqui, B., Fernandez-Garcia, J.C. Orgiles-Barcelo, A.C., Mahiques-Bujanda, M.M. and Martin-Matinez, J.M. 1999. Rheological properties of thermoplastic polyurethane adhesive solutions containing fumed silicas of different surface areas. *International Journal of Adhesion & Adhesive*. 19: 321-328.
- Kang, E.T., Neoh, K.G., Tan, K.I. and Liaw, D.J. 1998. Surface modification of polymer films by graft copolymerization for adhesive – free adhesion. *Polymer*.12: 2429-2436.
- Klinklaj, W., Kawahara, S., Mizumo, T., Yoshizawa, M. and Tangpakdee, S. 2003. Depolymerization and ionic conductivity of enzymatically deproteinized natural rubber having epoxy group. *Eur. Polym*. 39: 1707-1712.
- Laas, H.J., Hansel, T., Kubitzka, W., Halpaap, R. and Noll, K. 1993. Water – Dispersible Polyisocyanate Mixture a Process for their Preparation and their use in two component aqueous compositions. US. Patent. 5,252,696, Oct 12.
- Lawson, D.F., Kim, K.J. and Fritz, T.L. 1996. Chemical modifications of rubber surface : XPS survey of the reaction of trichloroisocyanuric acid at the surfaces of vulcanized elastomers. *Rubber Chemical and Technology*. 69: 245-252.
- Malucelli, G., Priola, A., Ferrero, F., Quaglia, A., Frigione, M. and Carfagna, C. 2005. Polyurethane resin based adhesive: curing reaction and properties of cured systems. *International Journal of Adhesion & Adhesive*. 25: 87-91.

- Martín-Martínez, J. M., Fernández, J. C., Huerta, F. and Orgilés-Barceló, A. C. 1991. Effect of different surface modifications on the adhesion of vulcanized styrene-butadiene rubber. *Journal science and Technology*. 6: 510- 521.
- Nachtkam, K., Pedain, J. and Grammel, J. 1981. Process for The Preparation of Aqueous Polyurethane Dispersion and Solutions. US Patent. 4,269,748, May 26.
- Nakason, C., Kaesaman, A. and Klinpituk, P. 2001. Preparation thermal and flow properties of epoxidised natural rubber. *Songklanakarín J. Sci and Technol*. 23: 415-424.
- Nor, H.M. and Ebdon, J.R. 1998. Telechelic Liquid Natural Rubber : A review. *Pro. Polym. Sci*. 23: 143-177
- Okamoto, Y. Hasegawa, Y. and Yoshino, F. 1996. Urethane/acrylic composite polymer Emulsion. *Progress in Organic Coating*. 29: 175-182.
- Orgilés-Barceló, E., Aran-Ais, F., Torro-Palau, M., Orgilés-Barceló, C. and Martín-Martínez, J.M. 2009. Addition of different amount of a urethane-based thickener to waterborne polyurethane adhesive. *Internatational Journal of Adhesion & Adhesive*. 29: 309-318.
- Pastor-Blas, M.M., Torregrosa-Macia, R., Martín-Martínez, J. M. and Dillard, J.G. 1997. Failure analysis of surface – treated unvulcanized SBS rubber/polyurethane adhesive joint. *Internatational Journal of Adhesion & Adhesive*. 17: 133-141.
- Paul, C.J., Nair, G.M.R., Neelakantan, N.R., Koshy, P., Idage, B.B. and Bhelhekar, A.A. 1998. Segmented block copolymers of natural rubber and 1,3 butanediol toluene diisocyanate oligomer. *Polym.*, 39 : 6861-6874.

- Petrie, E.M. Adhesion theory. 2008a. <http://www.specialchem4adhesive/resources/adhesiionguide/index>. (accessed 6/8/2008), part of adhesive & sealants. <http://www.specialchem4adhesive.com>, (accessed 6/8/2008).
- Petrie, E.M. Factor that influence the adhesion. 2008b. <http://www.specialchem4adhesive/resources/adhesiionguide/index.asp?id=factors2>. (accessed 6/8/2008), part of adhesive & sealants. <http://www.specialchem4adhesive.com>, (accessed 6/8/2008).
- Phinyocheep, P. and Duangthong, S. 2000. Ultraviolet-curable liquid natural rubber. *J. Appl. Polym. Sc.* 78: 1478-1485.
- Phinyocheep, P., Phetphaisit, C. W., Derouet, D., Campiston, I. and Brosse, J. C. 2005. Chemical degradation of epoxidized natural rubber using periodic acid: preparation of epoxidized liquid natural rubber. *Journal of Applied Polymer Science.* 95: 6-15.
- Poh, B. T. and Lim, A. L . 2008. Adhesion properties of pressure-sensitive adhesives prepared from SMR10/ENR25, SMR10/ENR25, and ENR25/ENR50 blend. *Journal of Applied Polymer Science*, 109: 115-119.
- Ramehart instrument Co., Ltd.. 2008. contact angle goniometers. <http://www.ramehart.com/Goniometer.htm>. (accessed 22/12/2008), part of contact angle. <http://www.ramehart.com>, (accessed 22/12/2008).
- Roberts, A.D. 1990. *Natural Rubber Science and Technology*. Oxford : Oxford University Press. pp 164.
- Roberts, A.D. 1990. *Ibid.*, pp 416-419.
- Roberts, A.D. 1990. *Ibid.*, pp 1000.



- Romero-Sánchez, M. D. Pastor-Bias, M. and Martín-Martínez, J. M. 2001. Adhesion improvement of SBR rubber by treatment with trichloroisocyanuric acid solutions in different esters. *International Journal of Adhesion & Adhesive*. 21, 325-337.
- Romero-Sánchez, M.D., Pastor-Bias, M.M., Ferrandiz-Gomez, T.P., and Martín-Martínez, J. M. 2001. Durability of the halogenation in synthetic rubber. *International Journal of Adhesive & Adhesive*. 21: 101-106.
- Romero-Sánchez, M.D., Pastor-Bias, M.M. and Martín-Martínez, J. M. 2003. Improved adhesion between polyurethane and SBR rubber treated with trichloroisocyanuric acid solutions containing different concentrations of chlorine. *Composite Interfaces*. 10: 77-94.
- Romero-Sánchez, M.D. and Martín-Martínez, J. M. 2005. Surface modifications of vulcanized SBR rubber by treatment with atmospheric pressure plasma torch. *International Journal of Adhesive & Adhesive*. 26, 345-354.
- Romero-Sánchez, M.D., Pastor-Bias, M.M. and Martín-Martínez, J. M. 2005. Environmental friendly surface treatments of styrene-butadiene-styrene rubber: alternatives to the solvent-based halogenation treatment. *International Journal of Adhesive & Adhesive*. 25: 19-29.
- Rosthaus, J.W. and Nachtkamp, K. 1987. Waterborne Polyurethanes, *Advances in Urethane Sci. & Tech*. 10: 132-137.
- Sanchez-Adsuar, M.S. Papon, E. and Villenave, J.J. 2000. Rheological characterization of thermoplastic polyurethane elastomer. *J. Polym Int*. 49: 591-598.
- Sang, L. 2008. Plasma and corona treatment technology to improve adhesion and wettability on plastic and metal surfaces. <http://www.tantec.com> (accessed 8/12/2008), part of Plasma and corona treatment technology. <http://www.tantec.com>, (accessed 8/12/2008)

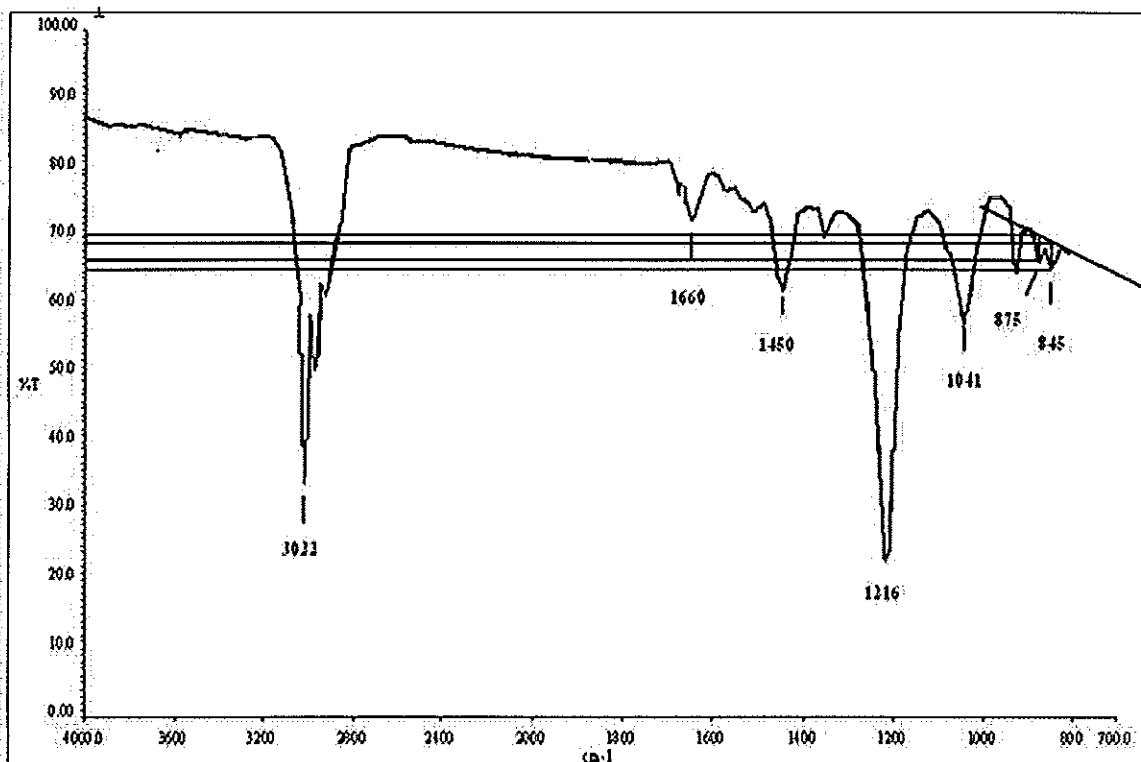
- Sanguansap, K., Suteewong, T., Saendee, P., Buranabunya, U., and Tangboriboonrat, P. 2005. Composite natural rubber based latex particles: a novel approach. *Polymer*. 46: 1373-1378.
- Somani, K.P., Kansara, S.S., Patel, N.K. and Rakshit, A.K. 2003. Castor oil based polyurethane adhesives for wood to wood bonding. *International Journal of Adhesion & Adhesive*. 23: 269-275
- Tangpakdee, J., Kowitteerawut, T., Kawahara, S. and Tanaka, Y. 2001. Depolymerization of Highly Purified Natural Rubber. *Rub Res*. 4(1): 1-10.
- Tangpakdee, J., Mizokoshi, M. and Endo, A. 1998. Novel Method For Preparation of Molecular Weight Natural Rubber Latex. *Rubber Chem Technol*. 1998. 71: 795-802.
- Tanaka, Y., Sakaki, T. and Kawasaki, A. 1999. Production Process of Depolymerized Natural Rubber. *Us Patent*. 5,856,000, Jan 5.
- Tillekeratne, L.M.K., Parera, P.V.A.G., De Silva, M.S.C. and Scott, G. 1977. *Rubber Res. Inst. Sri Lanka*. 54: 501-507.
- Vernekar, S. P., Sabne, M.B., Patil, S.D., Patil, A.S., Idage, S.B., Avadhani, C.V. and Sivaram, S. 1992. Effect of latex concentration on Epoxidation of natural rubber NR latex. *Journal of Applied Polymer Science*. 44, 2107-2114.
- Woods, G. 1990. *The ICI Polyurethanes Book*, 2nd ed. Netherland : ICI Polyurethanes. pp 28.
- Zhang, D.R., Oh, S.W., Hong, Y.P. and Kang, Y.S. 2005. Synthesis and characterization of a new adhesion – activator for polymer surface. *International Journal of Adhesion & Adhesive*. 25: 371-378.

## ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

## ผลการคำนวณหาปริมาณหมู่เอพอกไซด์ของยางธรรมชาติดัดแปร

การวิเคราะห์หาปริมาณหมู่เอพอกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติดัดแปรได้ ด้วยเทคนิค FT-IR สามารถทำได้โดย การคำนวณค่า absorbance ratio (Ar) ที่ได้จากการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้เส้นโค้งระหว่างสเปกตรัมที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $870\text{ cm}^{-1}$  และ  $845\text{ cm}^{-1}$  และนำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน โดยปริมาณหมู่เอพอกไซด์ในหน่วยโมลเปอร์เซ็นต์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.2 ในหัวข้อ 3.4.1.5



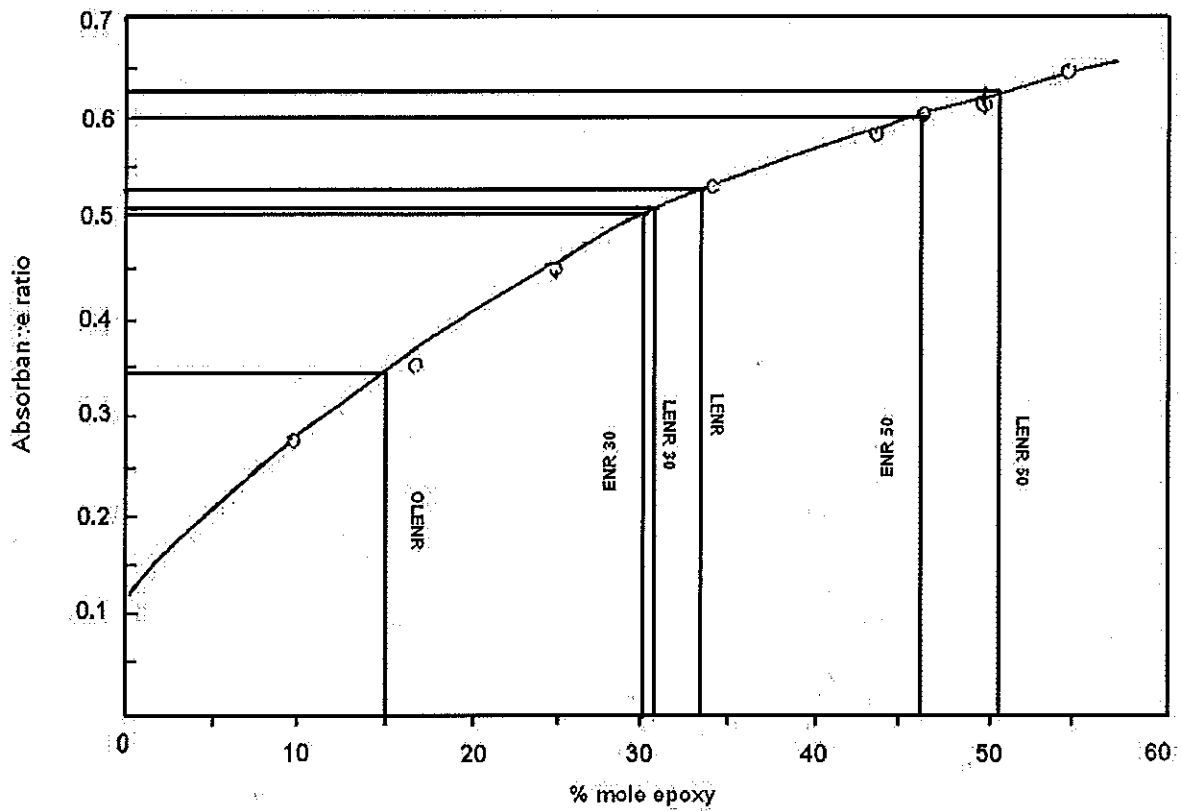
รูปที่ ก. 1 การคำนวณหาปริมาณหมู่เอพอกไซด์ของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR 30)

$$\begin{aligned}
 \text{Absorbance ratio} &= \frac{\log A/B}{\log A/B + \log C/D} \\
 &= \frac{\log 0.014/0.015}{\log 0.014/0.015 + \log 0.014/0.015} \\
 &= \frac{0.32}{\phantom{\log 0.014/0.015 + \log 0.014/0.015}}
 \end{aligned}$$

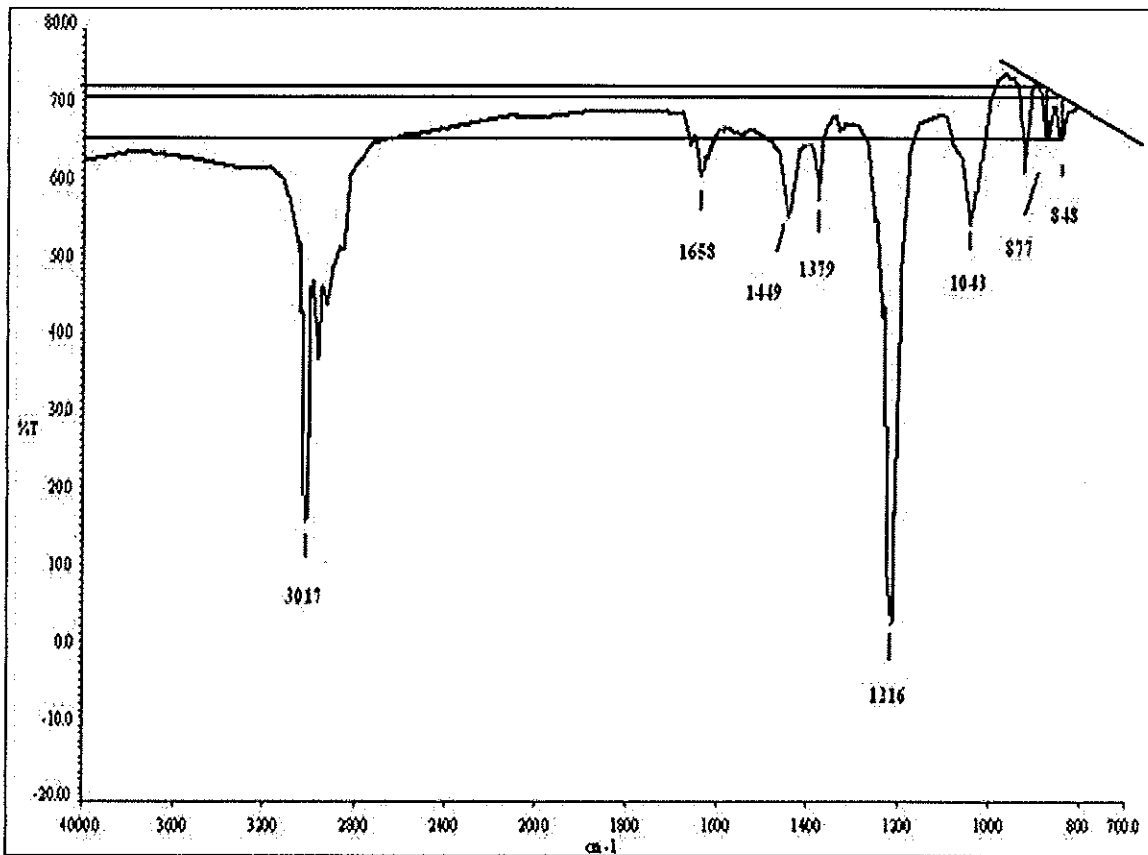
$$0.32 + 0.32$$

$$= 0.50$$

ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ = 30 โมลเปอร์เซ็นต์ (ดูจากรูป ก.2)



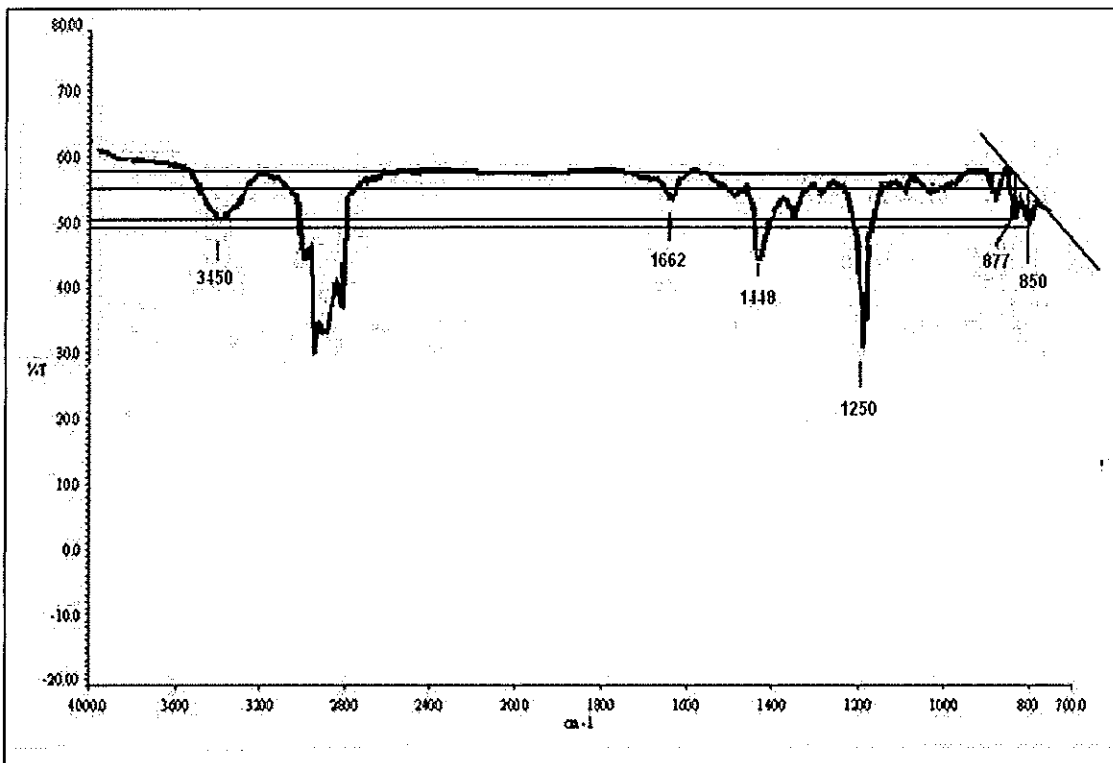
รูป ก.2 แสดงกราฟมาตรฐานของปริมาณหมู่อีพอกไซด์ในโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ  
ดัดแปรชนิดต่างๆ



รูปที่ ก.3 การคำนวณหาปริมาณหมู่ไอพอกไซด์ของยางธรรมชาติไอพอกไซด์ (ENR 50)

$$\begin{aligned}
 \text{Absorbance ratio} &= \frac{\log A/B}{\log A/B + \log C/D} \\
 &= \frac{\log 0.0139/0.0153}{\log 0.0139/0.0153 + \log 0.0143/0.0153} \\
 &= \frac{0.0417}{0.0417 + 0.0293} \\
 &= 0.60
 \end{aligned}$$

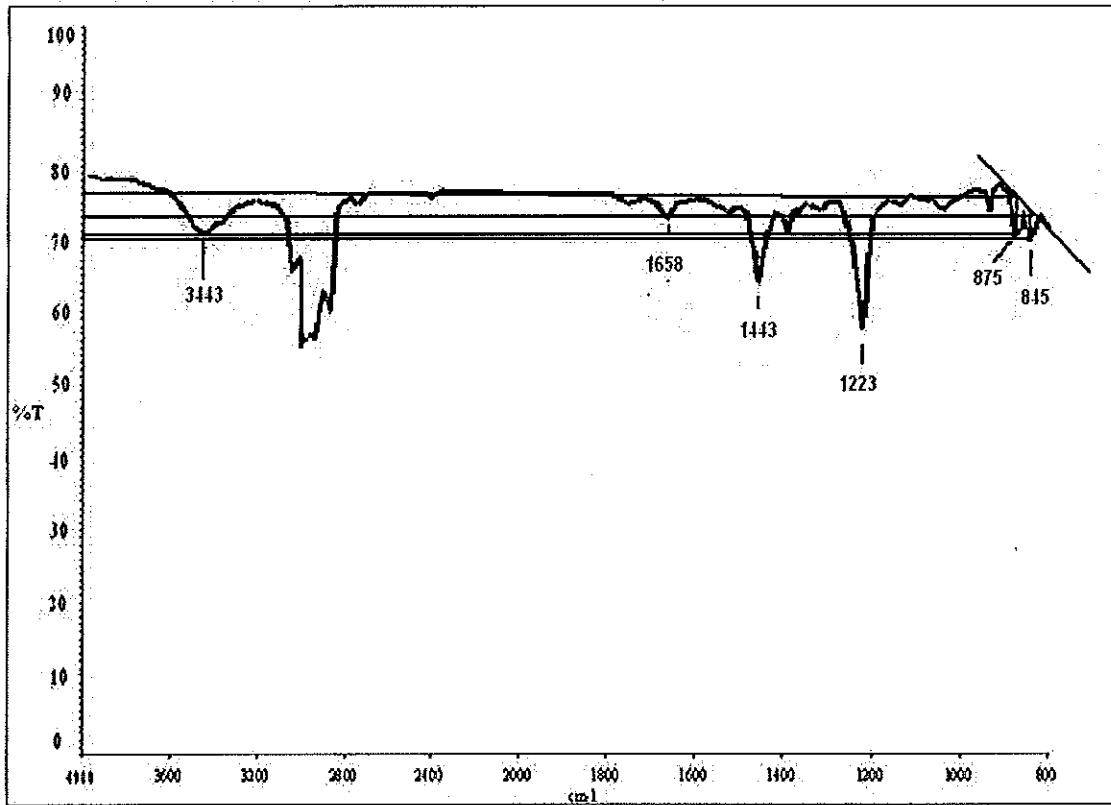
ปริมาณหมู่ไอพอกไซด์ = 47 โมลเปอร์เซ็นต์ (ดูจากรูป ก.2)



รูปที่ ก.4 การคำนวณหาปริมาณหมู่ไอพอกไซด์ของยางธรรมชาติเหลวไอพอกไซด์ (LENR 30)

$$\begin{aligned}
 \text{Absorbance ratio} &= \frac{\log A/B}{\log A/B + \log C/D} \\
 &= \frac{\log 0.0147/0.0192}{\log 0.0147/0.0192 + \log 0.0154/0.0200} \\
 &= \frac{0.1160}{0.1160 + 0.01135} \\
 &= 0.51
 \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณหมู่ไอพอกไซด์} = 31 \text{ โมลเปอร์เซ็นต์ (ดูจากรูป ก.2)}$$

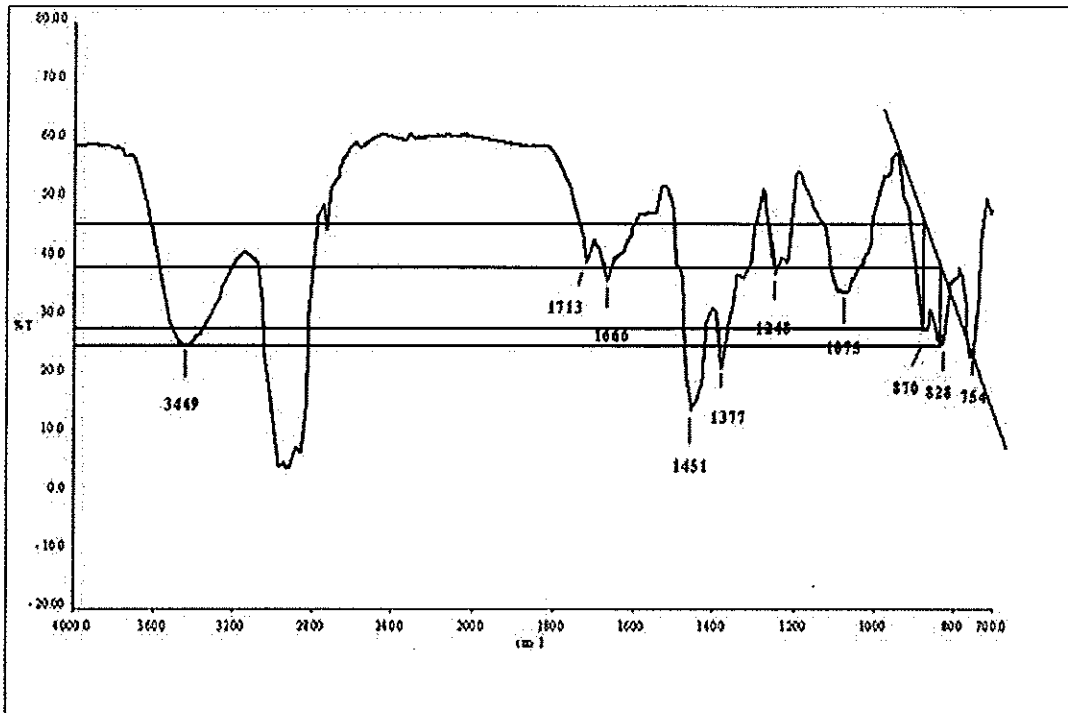


รูปที่ ก.5 การคำนวณหาปริมาณหมู่ไอพอกไซด์ของยางธรรมชาติเหลวไอพอกไซด์ (LENR 50)

$$\begin{aligned}
 \text{Absorbance ratio} &= \frac{\log A/B}{\log A/B + \log C/D} \\
 &= \frac{\log 0.0130/0.0140}{\log 0.0130/0.0140 + \log 0.0135/0.0141} \\
 &= \frac{0.0322}{0.0322 + 0.0189} \\
 &= 0.63
 \end{aligned}$$

ปริมาณหมู่ไอพอกไซด์ = 51 โมลเปอร์เซ็นต์ (ดูจากรูป ก.2)

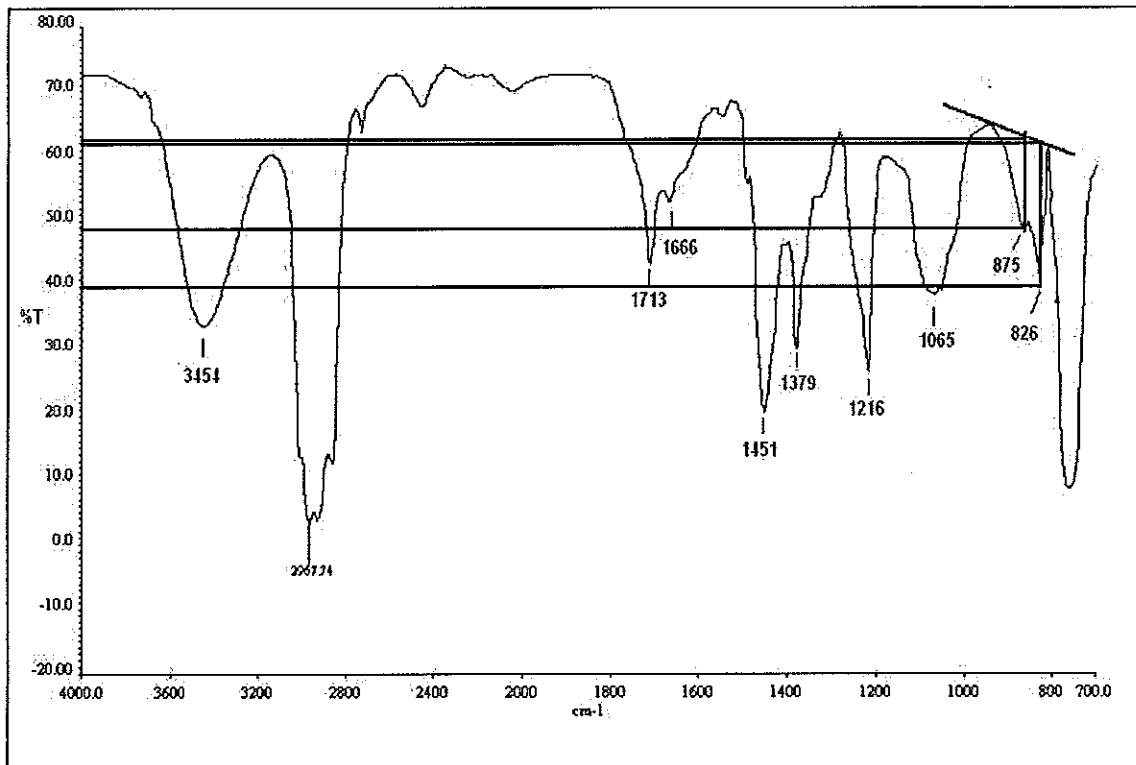




รูปที่ ก.6 การคำนวณหาปริมาณหมู่ไอพอกไซด์ของยางธรรมชาติไอพอกไซด์เหลวออกซิไดซ์ (LENR)

$$\begin{aligned}
 \text{Absorbance ratio} &= \frac{\log A/B}{\log A/B + \log C/D} \\
 &= \frac{\log 0.027/0.0385}{\log 0.027/0.0385 + \log 0.0263/0.04} \\
 &= \frac{0.0589}{0.0589 + 0.0656} \\
 &= 0.53
 \end{aligned}$$

ปริมาณหมู่ไอพอกไซด์ = 33 โมลเปอร์เซ็นต์ (ดูจากรูป ก.2)



รูปที่ ก.7 การคำนวณหาปริมาณหมู่ไอพอกไซด์ของยางธรรมชาติไอพอกไซด์เหลวออกซิไดซ์ (OLENR)

$$\begin{aligned}
 \text{Absorbance ratio} &= \frac{\log A/B}{\log A/B + \log C/D} \\
 &= \frac{\log 0.0163/0.0204}{\log 0.0163/0.0204 + \log 0.0164/0.0256} \\
 &= \frac{0.0975}{0.0975 + 0.1934} \\
 &= 0.34
 \end{aligned}$$

ปริมาณหมู่ไอพอกไซด์ = 14 โมลเปอร์เซ็นต์ (ดูจากรูป ก.2)

## ภาคผนวก ข

### การเปลี่ยนหน่วยนิวตันต่อนิ้ว (N/in) เป็นปอนด์ต่อนิ้ว (ibf/in)

เป็นการแปลงค่าสมบัติการยืดติดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensometer) ที่มีหน่วยเป็นนิวตันต่อนิ้ว (N/in) ให้เป็นหน่วยปอนด์ต่อนิ้ว (ibf/in) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

ตัวอย่างวิธีการคำนวณเปลี่ยนหน่วยนิวตันต่อนิ้วเป็นปอนด์ต่อนิ้ว

ถ้าค่าสมบัติการยืดติดของกาวที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensometer) มีค่าเท่ากับ 50 (N/in) จะสามารถเปลี่ยนหน่วยได้ ดังนี้

#### ขั้นตอนการคำนวณ

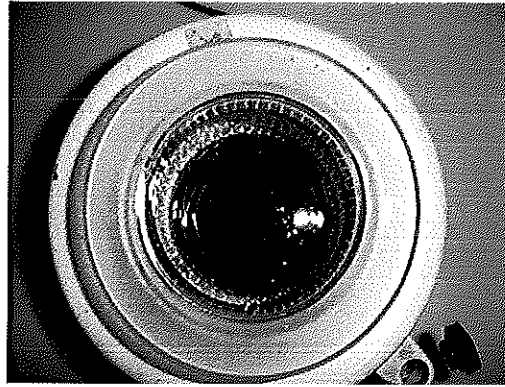
จาก 1 ibf/in เท่ากับ 4.45 N

ดังนั้น

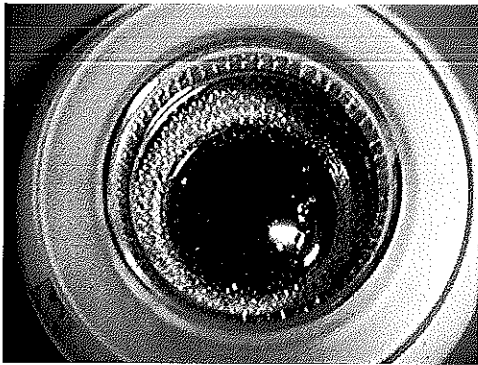
$$50 \text{ (N/in)} \times \frac{1 \text{ ibf/in}}{4.45 \text{ N}} = 11.24 \text{ ibf/in}$$

## ภาคผนวก ค

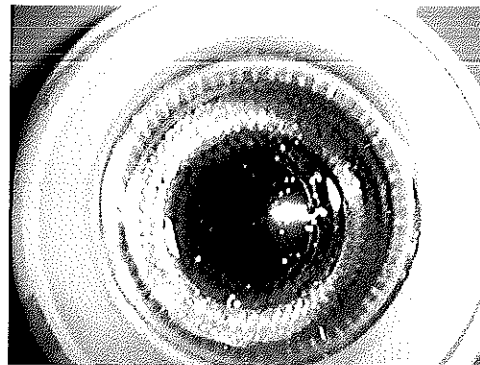
ลักษณะของกาวพอลิยูรีเทนสังเคราะห์ที่เตรียมได้



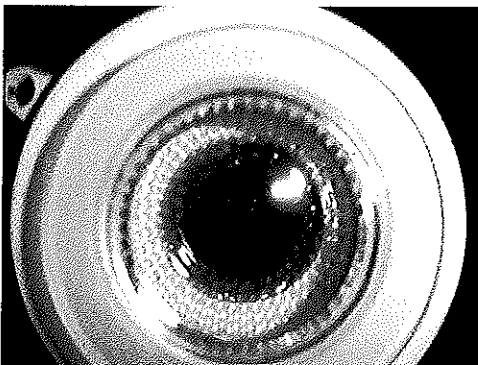
(a) OLENR: pMDI (1.5:1.0)



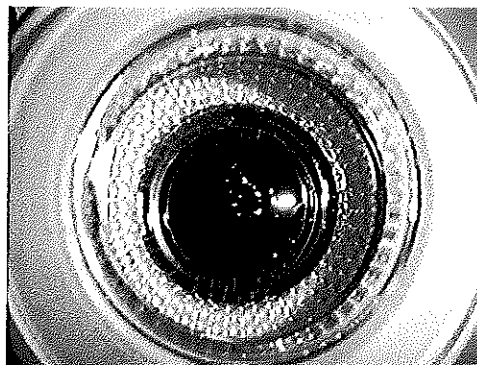
(b) OLENR: pMDI (1.25:1.0)



(c) OLENR: pMDI (1.0:1.0)



(d) OLENR: pMDI (0.75:1.0)



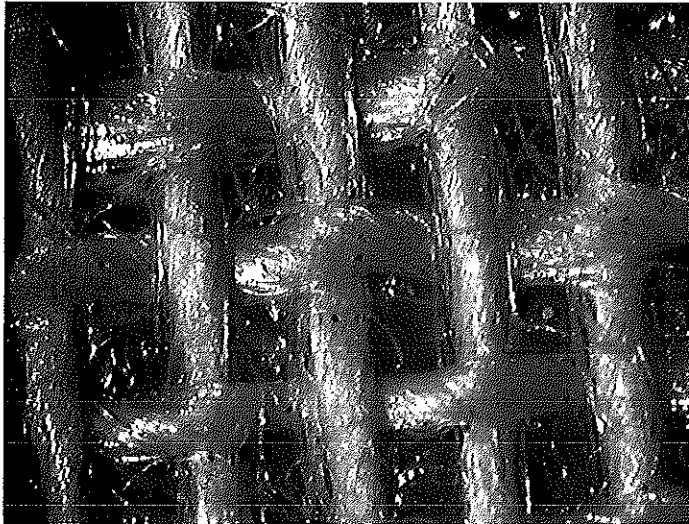
(e) OLENR: pMDI (0.5:1.0)

รูปที่ ค.1 ลักษณะของกาวพอลิยูรีเทนสังเคราะห์ที่สัดส่วนโมลต่างๆของ OLENR: pMDI

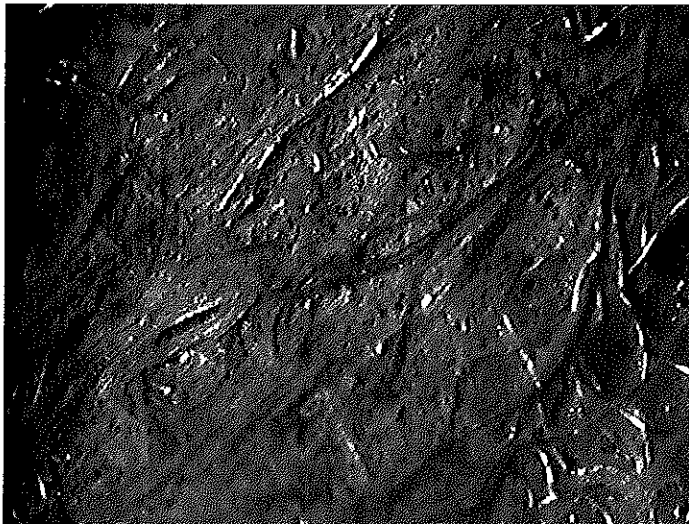
(a) 1.5:1.0 (b) 1.25:1.0 (c) 1.0:1.0 (d) 0.75:1.0 (e) 0.5:1.0

## ภาคผนวก ง

ลักษณะของพื้นผิวหน้าของหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU



(a) หนังสังเคราะห์ ชนิด PVC



(b) หนังสังเคราะห์ ชนิด PU

รูปที่ ง.1 ลักษณะของพื้นผิวหน้าของหนังสังเคราะห์ที่ใช้สำหรับทดสอบสมบัติการยึดติด

(a) หนังสังเคราะห์ ชนิด PVC (b) หนังสังเคราะห์ ชนิด PU

## ภาคผนวก จ

### เอกสารการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ผลของกาวน้ำยางผสมยางธรรมชาติเหลวอีพอกซีไดซ์กับกาวพอลิยูรีเทนต่อสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์และหนังสังเคราะห์

**The effect of liquid epoxidized natural rubber blended with polyurethane adhesive for adhesion property of vulcanized rubber and synthetic leather**

ตะวัน โบว์พัฒนากุล และอรสา กัทรโพนุลย์ชัย\*

สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมกาวน้ำยางผสมระหว่างยางธรรมชาติเหลวที่มีการคัดแปร โครงสร้าง โมเลกุล ให้มีหมู่อีพอกซี 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์โมล (LENR 30 และ LENR 50) ตามลำดับ กับกาวพอลิยูรีเทนในทางการค้าที่สัดส่วนต่างๆ จากการศึกษาศักยภาพการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC ตลอดทั้ง PU โดยการทดสอบแบบลอก (peel test) ด้วยมุม 180 องศา พบว่าการใช้ LENR 50 ผสมกับกาวพอลิยูรีเทนให้ความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ทั้ง 2 ชนิดมากกว่า LENR 30 นอกจากนี้พบว่าการใช้ LENR 50 ผสมกับกาวพอลิยูรีเทนที่อัตราส่วน 10/90 ร่วมกับการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ ให้ความแข็งแรงในการยึดติดมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับหนังสังเคราะห์ชนิด PVC ซึ่งการปรับผิวหน้ายางด้วยสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกในเอทิลอะซิเตตให้ค่าความแข็งแรงในการยึดติดใกล้เคียงกับสารรองพื้นทางการค้า Dongsung

#### Abstract

Liquid epoxidized natural rubber consists of 30 and 50 %mol of epoxy group (LENR 30 and LENR 50) was used to prepare adhesive blends by combination with commercial polyurethane adhesive at various blend ratios. The adhesion between vulcanized rubber and synthetic leathers including of PVC and PU was measured by mean of 180° peel test. The result shown that adhesive blend containing LENR 50 can improve peel strength more than LENR 30 in both of synthetic leathers. Furthermore, peel strength of mixed adhesive, LENR 50 and polyurethane adhesive at 10/90 blending ratio in the presence of surface treatment show was excellence especially the application in PVC. Moreover, peel strength of vulcanized rubber surface was treated with trichloroisocyanuric acid in ethyl acetate was closely to commercial primer, Dongsung.

---

**Keywords:** liquid epoxidized natural rubber, peel strength, synthetic leather, surface treatment and polyurethane adhesive

---

## 1. บทนำ

ยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีและราคาถูก ตลอดจนสามารถคัดแปรโมเลกุลให้มีความเป็นขี้ผึ้งได้ เช่น การคัดแปรโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติให้มีหมู่เอพอกไซด์ (1,4,8) ซึ่งต่อมามักจะมีการนำมาประยุกต์ใช้หรือใช้ร่วมกับพอลิเมอร์ที่มีขี้ผึ้งในงานด้านต่างๆ กันอย่างแพร่หลาย แต่การประยุกต์ใช้งานทางด้านอุตสาหกรรมกาวยังน้อยเมื่อเทียบกับด้านอื่น

รายงานการประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติในการยึดติด ได้แก่ การใช้ยางธรรมชาติที่มีหมู่เอพอกไซด์ 25 และ 50%mol (ENR 25 และ ENR 50) ผสมกับยางธรรมชาติเพื่อปรับปรุงสมบัติการยึดติดระหว่างแผ่นฟิล์ม PET กับกระดาษ (5) แต่ยังมีสมบัติที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกาวทางการค้า ดังนั้น หากนำยางธรรมชาติที่มีหมู่เอพอกไซด์มาทำการลดน้ำหนักโมเลกุล (LENR) โดยใช้สารในการตัดสายโซ่โมเลกุลเพื่อเพิ่มความเป็นขี้ผึ้งให้มากขึ้น และนำมาประยุกต์ใช้สำหรับยึดติดประสานระหว่างวัสดุต่างๆ กับวัสดุที่มีขี้ผึ้งเช่นยางวัลคาไนซ์และหนังสังเคราะห์ประเภท PVC และ PU ซึ่งมักใช้กาวพอลิยูรีเทนซึ่งจัดเป็นกาวทางการค้าที่มีราคาแพงเป็นตัวติดประสาน (7) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเตรียมและศึกษาผลของการใช้กาวที่เตรียมจาก LENR ต่อสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์และหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU โดยเปรียบเทียบกับกาวที่เตรียมจากน้ำยาง LENR ตลอดจนผสมกาว LENR กับกาวพอลิยูรีเทน โดยคาดว่าอาจใช้ทดแทนหรือใช้ร่วมกันได้

## 2. วัตถุประสงค์

ศึกษาการเตรียมและผลของการใช้กาวน้ำยาง LENR และกาวน้ำยางผสมที่เตรียมจากกาวน้ำยาง LENR ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทน ต่อสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์และหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU โดยเปรียบเทียบกับกาวทางการค้า

## 3. ระเบียบวิธีวิจัย

### 3.1 วัสดุและสารเคมี

น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง ผลิตโดยบริษัทลวดอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นจำกัด เป็นน้ำยางที่ใช้ในการเตรียม LENR สำหรับติดประสาน สารลดน้ำหนักโมเลกุลใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (ผลิตโดย Carlo Erba ประเทศอังกฤษ) ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 50% (ผลิตโดยบริษัท Riede-de Haen ประเทศเยอรมัน) สำหรับกรดเปอร์ฟอร์มิกที่ใช้เป็นสารเอพอกซิไดซ์เตรียมได้จากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 50% ร่วมกับกรดฟอร์มิก (ผลิตโดยบริษัท Riede-de Haen ประเทศเยอรมัน) และกาวทางการค้า ได้แก่ กาวพอลิยูรีเทน เตรียมจาก ไอโซไซยานเนต (RF-41) ร่วมกับพอลิเอทิลีนไดออกไซด์ (WS-18N) จำหน่ายโดยบริษัท Dongsung NSC (Thailand) Co. Ltd.) สำหรับสารรองพื้นที่ใช้เตรียมผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ ในงานวิจัยนี้ได้แก่ สารรองพื้นทางการค้า Dongsung primer จำหน่ายโดยบริษัท Dongsung NSC (Thailand) Ltd.) และสารละลายกรดโครคลอโรไอโซไซยานูริกในเอทิลอะซิเตต (ผลิตโดยบริษัท Merck Co. Ltd.)

### 3.2 การเตรียมกาวน้ำยางธรรมชาติเหลวเอพอกไซด์ (LENR)

นำน้ำยางธรรมชาติ (NR latex) ที่มีความเข้มข้น 30 % DRC ซึ่งทำให้มีเสถียรภาพด้วย Emulvin W มาทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณ 4 phr ในปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C พร้อมทั้งปั่นกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นจึงเติมโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตปริมาณ 5 phr และปั่นกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยานำน้ำยางบางส่วนมาตกตะกอนในเมทานอล และอบตะกอนที่ 50°C เพื่อนำไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FT-IR และ <sup>1</sup>H-NMR

นำน้ำยางธรรมชาติเหลวส่วนที่เหลือจากการตกตะกอนมาเติมกรดเปอร์ฟอร์มิกปริมาณ 0.30 และ 0.5 โมลต่อ โมลเนื้อยางแห้ง เพื่อเตรียมเป็นน้ำยางธรรมชาติเหลวอิพอกไซค์ที่มีหมู่อิพอกไซค์ปริมาณ 30 และ 50 % โมล ตามลำดับ โดยปั่นกวนอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยานำน้ำยางบางส่วนมาตกตะกอนในเมทานอล ทำให้บริสุทธิ์ด้วย  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  และอบตะกอนที่ 50°C เพื่อนำไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FT-IR และ  $^1\text{H-NMR}$  หลังจากนั้นจึงนำ LENR 30 และ LENR 50 มาเตรียมเป็นกาวดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้เตรียมกาวน้ำยางธรรมชาติเหลวอิพอกไซค์

สารเคมี	ปริมาณ
น้ำยางธรรมชาติเหลวอิพอกไซค์	100
50 % dispersion ZnO	3
50 % dispersion ZMBT	0.5
50 % dispersion ZDEC	1
50 % dispersion sulphur	2.75

### 3.3 ศึกษาผลของการใช้กาวน้ำยางผสมต่อสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์

ทำได้โดยการเตรียมกาวน้ำยางผสมระหว่างกาวน้ำยางธรรมชาติเหลวอิพอกไซค์ (LENR 30 และ LENR 50) และกาวพอลิยูรีเทนที่อัตราส่วนดังนี้ 100/0 10/90 20/80 30/70 และ 0/100 แล้วนำมาศึกษาสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมได้ จากสูตรในตารางที่ 2 กับหนังสังเคราะห์ 2 ชนิด ได้แก่ หนัง PVC และ PU

ตารางที่ 2 สูตรยางวัลคาไนซ์สำหรับใช้เตรียมชิ้นยางตัวอย่าง (ส่วนโดยน้ำหนัก)

สารเคมี	ปริมาณ (phr)
RSS no.3	57
SBR	28
Carbon black	15
China clay	30
Calcium carbonate	20
White oil	3
Zinc oxide	4
Stearic acid	1.5
6PPD	1.3
MBTS	0.8
DPG	0.3
Coumarone indene resin	2
Sulphur	1.5



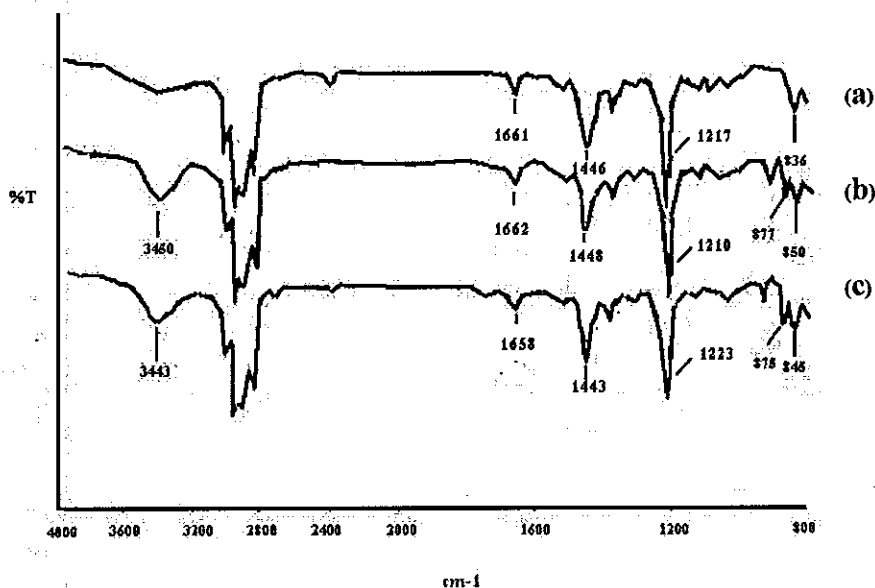
### 3.4 การทดสอบสมบัติการยึดติด

นำชิ้นตัวอย่างยางวัลคาไนซ์ขนาด 152.4×25.4×2.5 มิลลิเมตร ที่เตรียมผิวหน้าด้วยการขัดกระดาษทราย ทำการล้างด้วยน้ำเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก และอบที่อุณหภูมิ 60°C จากนั้นเตรียมผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นทางการค้าและสารละลายกรดโครคลอโรไอโซไซยานูริกแอซิดในเอทิลอะซิเตด ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 1.0 % โดยน้ำหนัก และนำหนังสังเคราะห์ขนาดเดียวกัน มาทาด้วยกาวที่เตรียมจาก LENR 30 และ LENR50 ตลอดทั้งกาวน้ำยางผสมจาก LENR และกาวพอลิยูรีเทน โดยใช้ปริมาณเนื้อกาว 0.39 กรัมต่อชิ้น ทดสอบ อบชิ้นตัวอย่างที่ 60°C (เวลาที่ใช้ออบชิ้นตัวอย่างขึ้นอยู่กับชนิดของกาว) เก็บชิ้นตัวอย่างไว้ 1 สัปดาห์ แล้วจึงทดสอบสมบัติความแข็งแรงของการยึดติด โดยเทคนิคการทดสอบแบบปอก (peel test) แบบ 180° ตามมาตรฐาน ASTM 1876-72

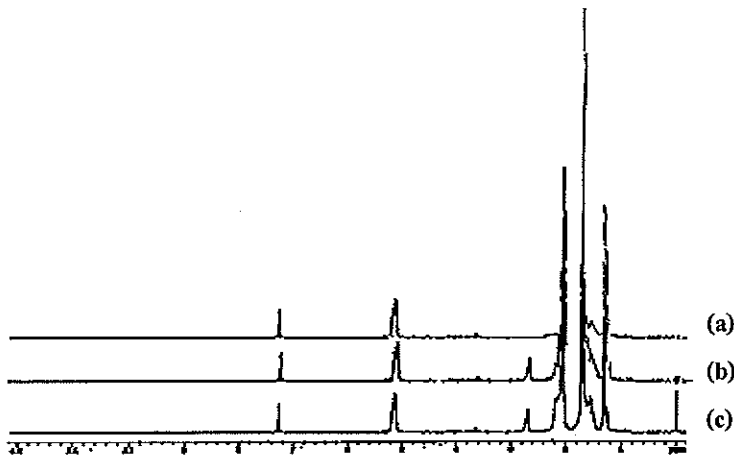
## 4. ผลและการวิจารณ์

### 4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์

จากการวิเคราะห์โครงสร้างของน้ำยาง LENR 30 และ LENR 50 ที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค FT-IR และ  $^1\text{H-NMR}$  พบว่าเกิดหมู่ไฮดรอกซิลภายในสารโพลีเมอร์ ซึ่งยืนยันจากการปรากฏสัญญาณที่ 3450  $\text{cm}^{-1}$  (OH stretching) และหมู่อีพอกไซด์ ซึ่งปรากฏสัญญาณที่ 877  $\text{cm}^{-1}$  (Asymmetric stretching of epoxide ring) (2) นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  ยังคงยืนยันการปรากฏสัญญาณของโปรตอนในตำแหน่งที่ติดกับวงแหวนอีพอกไซด์ที่ 2.7 ppm และสัญญาณของโปรตอนในตำแหน่งที่ติดกับพันธะคู่ของยางธรรมชาติที่ 5.2 ppm (4)



รูปที่ 1 FT-IR สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (b) LENR 30 (c) LENR 50



รูปที่ 2  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (b) LENR 30 (c) LENR 50

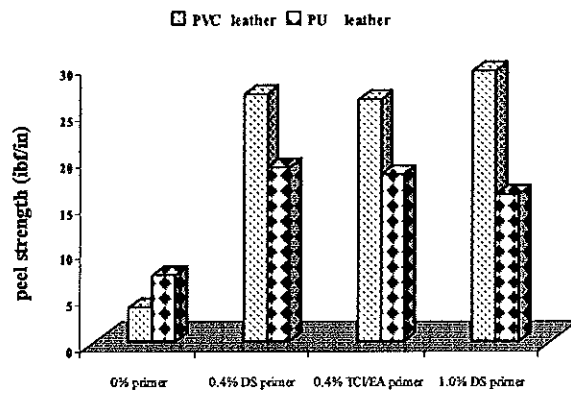
## 4.2 ผลการใช้กาวในการติดประสานระหว่างยางวัลคาไนซ์และหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU

### 4.2.1 ผลของการใช้กาวพอลิยูรีเทน น้ำยาง LENR 30 และ LENR 50

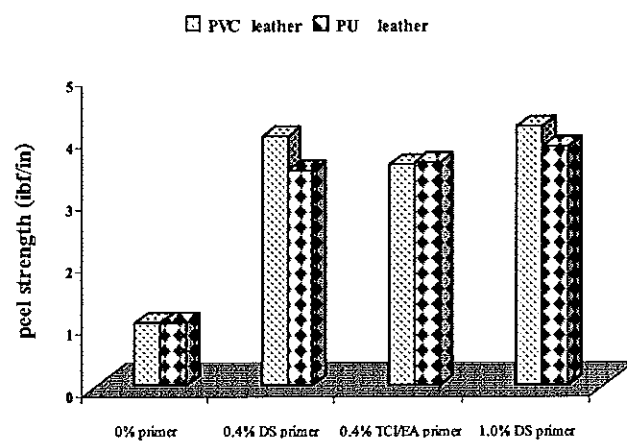
จากการศึกษาผลของการใช้กาวพอลิยูรีเทน กาวน้ำยาง LENR 30 และ LENR 50 ต่อสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์และหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU พบว่ากาวน้ำยาง LENR 50 จะให้สมบัติการยึดติดที่ดีกว่า LENR 30 แต่ยังมีสมบัติที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกาวพอลิยูรีเทน สำหรับผลของการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้น จะเห็นว่าการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นทางการค้าและสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกแอซิดในเอทิลอะซิเตต ที่ความเข้มข้น 0.4 % โดยน้ำหนัก จะให้สมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารรองพื้นทางการค้าเป็น 1.0 % โดยน้ำหนัก จะยิ่งทำให้การยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนเพิ่มขึ้น ส่วนกาวน้ำยาง LENR ทั้ง 2 ชนิด จะเหมาะกับการใช้สารรองพื้นทั้งชนิดทางการค้าและสารละลายกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริกแอซิดในเอทิลอะซิเตต ที่ความเข้มข้น 0.4 โดยน้ำหนัก และกาวพอลิยูรีเทนทางการค้าจะยึดติดหนัง ชนิด PVC ได้ดีกว่า PU ซึ่งกาวน้ำยาง LENR จะยึดติดหนังชนิด PVC ได้ดีกว่า PU เช่นเดียวกัน หากเปรียบเทียบผลกับการไม่ใช้สารรองพื้น พบว่าการปรับผิวยางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นจะให้สมบัติการยึดติดที่เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด เนื่องจากการปรับผิวด้วยสารรองพื้นเป็นการทำปฏิกิริยาคลอรีนบนบนผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ ทำให้เกิดหมู่มีซิว ( $\text{C}=\text{O}$ ,  $\text{C}-\text{Cl}$ ) ขึ้นบนผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ (3) ส่งผลให้เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างหมู่ยูรีเทน (urethane group) และหมู่มีซิวทำให้สมบัติการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนเพิ่มขึ้น (6)

ตารางที่ 3 สมบัติการยึดติดของยางวัลคาไนซ์กับหนัง PVC และ PU เมื่อใช้กาวแต่ละชนิดในการติดประสาน

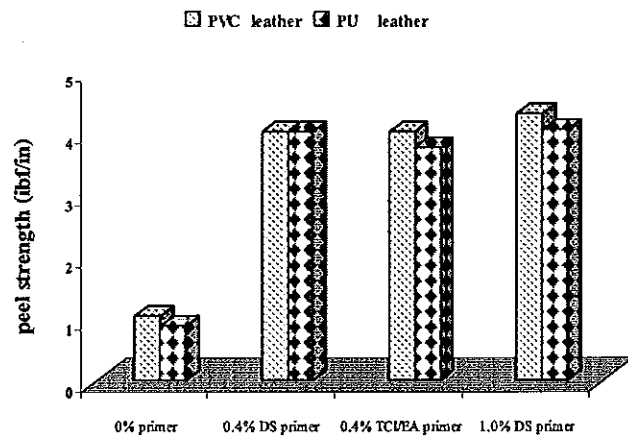
ประเภทกาว	สมบัติค่าความแข็งแรงของการยึดติด (Ibf/in)							
	no primer		0.4% Dongsung primer		0.4% TC/EA primer		1% Dongsung primer	
	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU
กาวPU	3.68±0.15	7.17±0.38	26.77±1.57	15.79±0.45	26.20±0.31	17.97±0.17	29.18±0.62	18.85±0.33
กาวน้ำยาง LENR 30	1.00±0.05	0.98±0.08	3.99±0.09	3.45±0.23	3.56±0.24	3.57±0.09	4.16±0.11	3.83±0.11
กาวน้ำยาง LENR 50	1.04±0.08	0.88 ±0.03	3.99 ± 0.11	3.99 ± 0.1	4.02 ± 0.17	3.76 ± 0.10	4.28 ± 0.04	4.04 ± 0.06



(1) PU



(2) LENR 30



(3) LENR 50

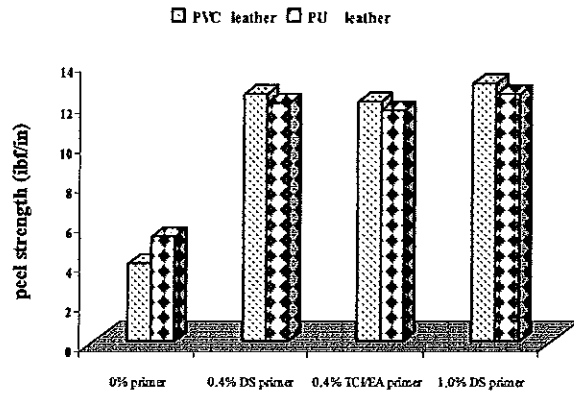
รูปที่ 3 ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารรองพื้นต่อสมบัติการยึดติดของยางวัลคาไนซ์กับหนัง PVC และ PU เมื่อใช้กาวแต่ละชนิดในการติดประสาน; (1) กาว PU (2) กาว LENR 30 (3) กาว LENR 50

#### 4.2.2 ผลของการใช้กาวน้ำยาง LENR ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทน

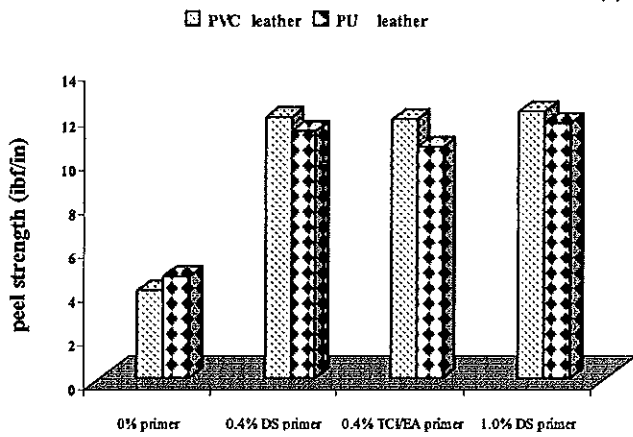
จากการศึกษาผลของการใช้กาวน้ำยาง LENR ผสมกับกาวพอลิยูรีเทน ที่การแปรอัตราส่วน 100/0 10/90 20/80 30/70 และ 0/100 ต่อสมบัติการยึดติดระหว่างยางและหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU พบว่ากาวน้ำยางผสม LENR 50 จะให้สมบัติการยึดติดที่ดีกว่า LENR 30 โดยที่อัตราส่วน 10/90 จะให้สมบัติที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสัดส่วนอื่น และกาวน้ำยางผสมทุกสัดส่วนจะยึดติดหนัง ชนิด PVC ได้ดีกว่า PU สำหรับผลของการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้น จะเห็นว่าการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นชนิดทางการค้า และสารละลายไตรโอไซโซยานูกลิกแอซิดในเอทิลอะซิเตต ที่ความเข้มข้น 0.4 % โดยน้ำหนัก จะให้สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมที่ใกล้เคียงกันในกาวน้ำยางผสมทุกสัดส่วน และหนังทั้ง 2 ชนิด แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสารรองพื้นทางการค้าให้มีความเข้มข้น 1.0 % โดยน้ำหนัก จะมีผลทำให้สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมเพิ่มขึ้น และหากเปรียบเทียบผลกับการไม่ใช้สารรองพื้น พบว่าการปรับผิวยางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้น จะทำให้สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดในทุกสัดส่วน แต่สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมยังคงดีต่อกว่ากาวทางการค้า

ตารางที่ 4 สมบัติการยึดติดของยางวัลคาไนซ์กับหนัง PVC และ PU ของกาวน้ำยาง LENR 30 ที่ใช้ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทน ที่การแปรอัตราส่วนต่างๆ

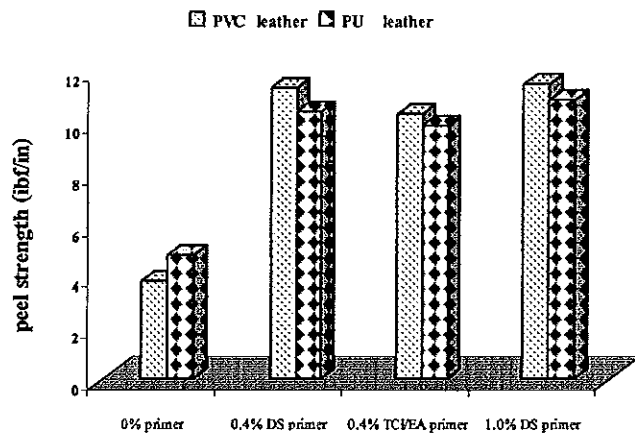
อัตราส่วน PU/LENR 30	สมบัติค่าความแข็งแรงของการยึดติด (lb/in)							
	no primer		0.4% Dongsung primer		0.4% TCI/EA primer		1% Dongsung primer	
	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU
100 / 0	3.68±0.15	7.17±0.38	26.77±1.57	15.79±0.45	26.20±0.31	17.97±0.17	29.18±0.62	18.85±0.33
90 / 10	3.90±0.08	5.23±0.12	12.39±0.21	11.92±0.2	12.07±0.11	11.62±0.38	12.95±0.12	12.43±0.16
80 / 20	3.98±0.10	4.61±0.13	11.81±0.20	11.25±0.21	11.73±0.14	10.47±0.07	12.14±0.09	11.59±0.16
70 / 30	3.82±0.10	4.82±0.04	11.32±0.15	10.38±0.11	10.31±0.13	9.84±0.33	11.51±0.21	10.84±0.14
0 / 100	1.00±0.05	0.98±0.08	3.99±0.09	3.45±0.23	3.56±0.24	3.57±0.09	4.16±0.11	3.83±0.11



(1) 10/90



(2) 20/80

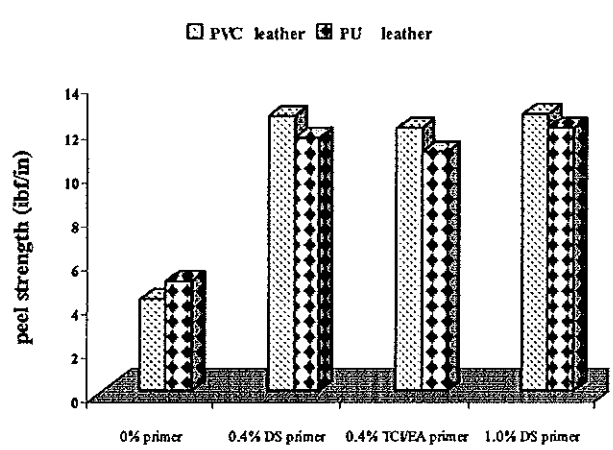
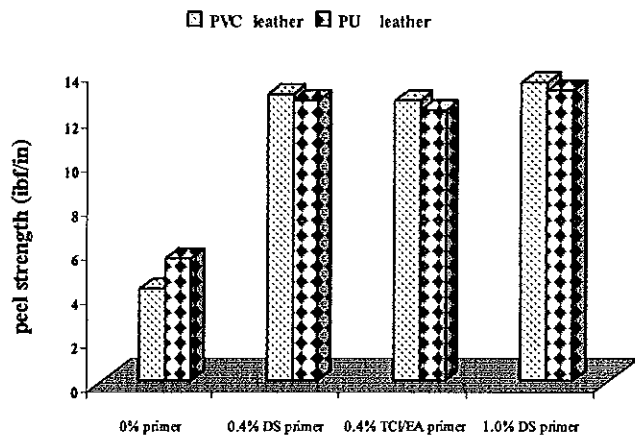


(3) 30/70

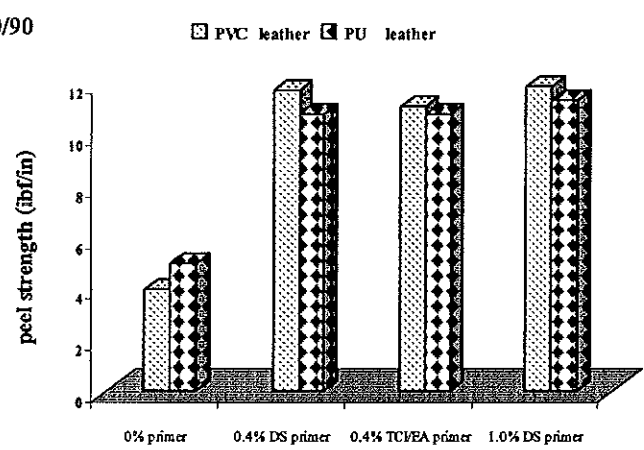
รูปที่ 4 ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารรองพื้น ต่อสมบัติการยึดติดของยางวัลคาไนซ์กับหนัง PVC และ PU ของกาวน้ำ LBNR 30 ที่เตรียมได้กับกาวพอลิยูรีเทน ที่การแปรอัตราส่วนต่างๆ; (1) 10/90 (2) 20/80 (3) 30/70

ตารางที่ 5 สมบัติการยึดติดของยางวัลคาไนซ์กับหนัง PVC และ PU ของกาวน้ำยาง LBNR 30 ที่ผสมร่วมกับกาวพอลิยูรีเทน ที่การแปรอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน PU/LBNR 50	สมบัติค่าความแข็งแรงของการยึดติด (lb/in)							
	no primer		0.4% Dongsung primer		0.4% TCI/EA primer		1% Dongsung primer	
	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU	PVC	PU
100 / 0	3.68±0.15	7.17±0.38	26.77±1.57	15.79±0.45	26.20±0.31	17.97±0.17	29.18±0.62	18.85±0.33
90 / 10	4.11±0.10	5.48±0.04	12.92±0.17	12.66±0.11	12.66±0.11	12.23±0.11	13.44±0.21	13.13±0.12
80 / 20	4.13±0.08	4.92±0.05	12.46±0.15	11.51±0.11	11.92±0.21	10.84±0.14	12.61±0.15	11.94±0.12
70 / 30	3.96±0.141	4.95±0.40	11.74±0.15	10.80±0.09	11.07±0.12	10.67±0.11	11.85±0.14	11.33±0.14
0 / 100	1.04 ± 0.08	0.88 ± 0.03	3.99 ± 0.11	3.99 ± 0.1	4.02 ± 0.17	3.76 ± 0.10	4.28 ± 0.04	4.04 ± 0.06



(1) 10/90



(2) 20/80

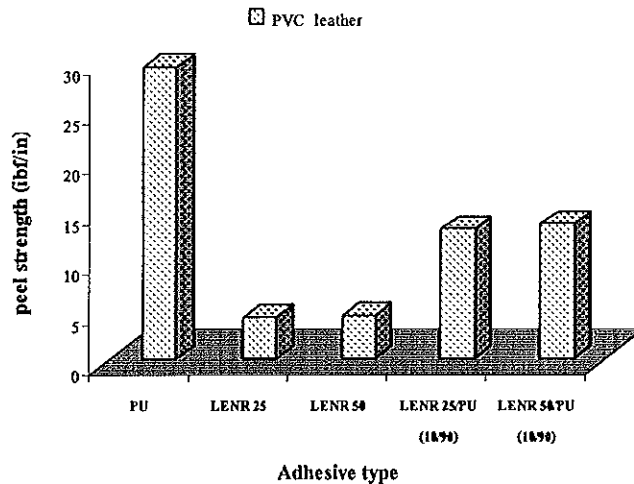
(3) 30/70

รูปที่ 5 ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารรองพื้น ต่อสมบัติการยึดติดของยางวัลคาไนซ์กับหนัง PVC และ PU ของกาวน้ำ LENR 50 ที่ใช้ผสมกับกาวพอลิยูรีเทน ที่การแปรอัตราส่วนต่างๆ; (1) 10/90 (2) 20/80 (3) 30/70

4.2.3 การเปรียบเทียบสมบัติการยึดติดระหว่างการใช้กาวพอลิยูรีเทน น้ำยาง LENR และใช้กาวน้ำยาง LENR ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทน

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติการยึดติดที่ดีที่สุดของกาวพอลิยูรีเทน น้ำยาง LENR และกาวน้ำยางผสมที่มีการแปรอัตราส่วน พบว่ากาวน้ำยาง LENR 50 จะมีสมบัติการยึดติดที่ดีกว่า LENR 30 และเมื่อนำกาวน้ำยางทั้ง 2 ชนิดมาใช้ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทน พบว่าทำให้สมบัติการยึดติดของกาวน้ำยางผสมเพิ่มขึ้นในทุกสัดส่วน แต่กาวน้ำยางผสม LENR 50 ยังคงมีสมบัติที่ดีกว่า LENR 30 โดยที่อัตราส่วน 10/90 จะให้สมบัติที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสัดส่วนอื่น เนื่องจากที่สัดส่วนนี้กาวทั้ง 2 ชนิด จะเข้ากันได้ดีที่สุด จึงมีผลทำให้กาวมีการเปียกผิว และการยึดติดดีกว่าอัตราส่วนอื่นๆ (5) สำหรับผลของการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นจะเห็นว่ากาวพอลิยูรีเทน และกาวน้ำยางผสมระหว่างน้ำยาง LENR กับพอลิยูรีเทน จะเหมาะสำหรับใช้สารรองพื้นทางการค้าที่ความเข้มข้น

เช่น 1.0 % โดยน้ำหนัก และยึดติดกับหนังชนิด PVC ได้ดี ส่วนกาวน้ำยาง LENR จะเหมาะกับการใช้สารรองพื้น ทั้งชนิดทางการค้าและสารละลายไตรโอโซไซยานูริกแอซิดในเอทิลอะซิเตต ที่ความเข้มข้น 0.4 โดยน้ำหนัก และยึดติดกับหนังชนิด PVC ได้ดีเช่นเดียวกัน หากเทียบกับการไม่ใช้สารรองพื้นพบว่าการปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ ด้วยสารรองพื้นทางการค้า และสารละลายไตรโอโซไซยานูริกแอซิดในเอทิลอะซิเตตจะให้ความแข็งแรงในการยึดติดที่ดีกว่าอย่างเด่นชัด แต่สมบัติของกาวน้ำยาง LENR และกาวน้ำยางผสมยังคงมีค่าต่ำหากเทียบกับกาวทางการค้า



รูปที่ 6 เปรียบเทียบสมบัติการยึดติดระหว่างกาวพอลิยูรีเทน น้ำยาง LENR และกาวน้ำยางผสมของน้ำยาง LENR ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทน

##### 5. ข้อสรุป

จากการศึกษาผลของการใช้กาวพอลิยูรีเทน กาวน้ำยาง LENR 30 และ LENR 50 และการใช้กาวน้ำยาง LENR 30 และ LENR 50 ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทนที่การแปรอัตราส่วนต่างๆ ต่อสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์และหนังสังเคราะห์ชนิด PVC และ PU พบว่ากาวน้ำยาง LENR 50 ให้สมบัติการยึดติดที่ดีกว่า LENR 30 และเมื่อนำกาวน้ำยางทั้ง 2 ชนิดมาใช้ร่วมกับกาวพอลิยูรีเทน จะให้ความแข็งแรงในการยึดติดของกาวน้ำยางทั้ง 2 ชนิดเพิ่มขึ้นโดยที่อัตราส่วน 10/90 จะให้สมบัติการยึดติดที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสัดส่วนอื่น ซึ่งกาวทุกชนิดจะยึดติดกับหนังชนิด PVC ได้ดีกว่า PU การปรับผิวหน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยสารรองพื้นจะมีผลทำให้สมบัติการยึดติดของกาวเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการไม่ใช้สารรองพื้น โดยกาวพอลิยูรีเทนจะเหมาะกับการใช้สารรองพื้นทางการค้าที่ความเข้มข้น 1.0 % โดยน้ำหนัก ส่วนกาวน้ำยาง LENR และกาวน้ำยางผสมระหว่างน้ำยาง LENR กับกาวพอลิยูรีเทน จะเหมาะกับการใช้สารรองพื้นทั้งชนิดทางการค้าและสารละลายไตรโอโซไซยานูริกแอซิดในเอทิลอะซิเตต ที่ความเข้มข้น 0.4 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อเทียบสมบัติการยึดติดของกาวน้ำยาง LENR และกาวน้ำยางผสมกับกาวทางการค้า จะเห็นว่ายังคงมีสมบัติที่ด้อยกว่า

##### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้การอุดหนุนเงินทุนวิจัย ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณบริษัท วิโก้บอลล์ ที่สนับสนุนหนังสังเคราะห์ ชนิด PVC และ PU บริษัท Dongsung NSC

(Thailand) Ltd.) ที่สนับสนุนด้านทว และสารรองขึ้น ภาควิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่อำนวยความสะดวกเกี่ยวกับสถานที่ และอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทำงานวิจัย

#### 7. เอกสารอ้างอิง

- (1) Burfield, D. R., Lim, K. L. and Law, K. S. 1984. Epoxidation of natural rubber lattices: Methods of preparation and properties of modified rubbers. *Journal of Applied Polymer Science*. 29, 1661-1673.
- (2) Chuayjuljit, S., Yaowsang, C., Na-Ranong, N., and Potiyaraj, P. 2006. Oil resistance and physical properties of in situ epoxidized natural rubber from high ammonia concentrated latex, *Journal of Applied Polymer Science*. 100, 3948-3955.
- (3) Martín-Martínez, J. M., Fernández, J. C., Huerta, F. and Orgilés-Barceló, A. C. 1992. Effect of different surface modifications on the adhesion of vulcanized styrene-butadiene rubber. *Journal science and Technology* . 6, 510- 521.
- (4) Pinyocheep, P., Phetphaisit, C. W., Derouet, D., Campiston, I. and Brosse, J. C. 2005. Chemical degradation of epoxidized natural rubber using periodic acid: preparation of epoxidized liquid natural rubber. *Journal of Applied Polymer Science*. 95, 6-15.
- (5) Poh, B. T., Lim, A. L . 2005. Adhesion properties of pressure-sensitive adhesives prepared from SMR10/ENR25, SMR10/ENR25, and ENR25/ENR50 blend. *Journal of Applied Polymer Science*, 109, 115-119.
- (6) Romero-Sánchez, M. D., Mercedes Pastor-Blas, M. and Martín-Martínez, J. M. 2001. Adhesion improvement of SBR rubber by treatment with trichloisocyanuric acid solutions in different esters, *Internatational Journal of Adhesion &Adhesive*. 21, 325-337.
- (7) Vélez-Pagés, T. and Martín-Martínez, J. M. 2004. Application of one-component primer to avoid the roughening of leather and increase its adhesion to polyurethane adhesive. *Internatational Journal of Adhesion &Adhesive*. 25, 320-32.
- (8) Vernekar, S. P., et al.1992. Effect of latex concentration on Epoxidation of natural rubber (NR) latex. *Journal of Applied Polymer Science*. 44, 2107-2114.



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายตะวัน โบว์พัฒนากุล

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4722133

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์เคมี)	มหาวิทยาลัยทักษิณ	2546

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ตะวัน โบว์พัฒนากุล และ อรสา ภัทรไพบุญชัย. 2551. ผลของกาวน้ำยางผสมยางธรรมชาติ เหลวอีพอกซีได้ซ์กับกาวพอลิยูรีเทนต่อสมบัติการยึดติดระหว่างยางวัลคาไนซ์และหนังสือกระดาษ. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 10. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.