

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์อย่างธรรมชาติอิพอกซิไดซ์  
เพื่อใช้งานในการยัดติด



นางสาวกชณินทร์ หุสดี  
นางสาวปวีตารา ธรรมเสด็จ

๑๑๗.  
๓๗๒๕๗  
๒๕๓๕

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....  
วัน.เดือน.ปี.....

๖๑๗๖๓/๒๔๘

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. ๒๕๓๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SYNTHESIS OF EPOXIDISED NATURAL  
RUBBER FOR ADHESIVE APPLICATION**

**MISS KULCHANIN POOLDEE**

**MISS PREEDARA THAMSAVATE**

**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the  
Requirement for the degree of Bachelor of Science.**

**Department of Chemistry**

**Faculty of Science**

**King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

**1992**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์ทางธรรมชาติของพืชไดซ์  
เพื่อใช้งานในการยัดติด

โดย นางสาวกุลชนินทร์ พูลดี  
นางสาวปรีดารา ชรรมเสวด

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง อนุมัติให้นำโครงการพิเศษฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตร์บัณฑิต

ลายเซ็น ..... หัวหน้าภาควิชาเคมี

(ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัครรัตน์)

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ

ประธานกรรมการ

(ผศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล)

กรรมการ

(อาจารย์พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย)

กรรมการ

(ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์ยางธรรมชาติอโฟกซิไคซ์	
	เพื่อใช้งานเป็นสารยึดติด	
นักศึกษา	นางสาวกุลชนินทร์ พูลดี	
	นางสาวปรีดารา	ธรรมเสวต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.นิพนธ์	วงศ์วิเศษสิริกุล
ภาควิชา	เคมี	
ปีการศึกษา	2534	

#### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์ยางธรรมชาติอโฟกซิไคซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล (ENR-50) โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนี่ยสูงที่มีปริมาณเนื้อยาง 30 เปอร์เซ็นต์ กับกรดเปอร์อะซิติกเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ต่อปริมาตรจำนวน 56.30 ส่วนของยางร้อยละส่วน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการหยดกรดเปอร์อะซิติก 5 ชั่วโมง หลังจากหยดกรดเปอร์อะซิติก ทำการปั่นกวาด ต่อเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส น้ำยางธรรมชาติอโฟกซิไคซ์ที่สังเคราะห์ได้ ทำการเพิ่มความเข้มข้นโดยวิธีการเหวี่ยง ให้ได้ปริมาณเนื้อยาง 60 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาพบว่าปริมาณกรดเปอร์อะซิติก ปริมาณเนื้อยาง และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของหมู่อโฟกซิไคซ์ที่เกิดขึ้น

ENR 50 มีสมบัติในการยึดติดกับวัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิตรองเท้าระบบร้อนได้ดีกว่าน้ำยางธรรมชาติ โดยสามารถทำหน้าที่เป็นสารยึดติดและน้ำยาล้างผิว จากการศึกษาการยึดติดระหว่างยางผสมสูตรที่ยังไม่วัลคาไนซ์ กับผ้าฝ้ายสีสะท้อนแสง ผ้าในลอนหนังแท้ ผ้าฝ้ายย้อมสี โดยใช้ ENR 50 เป็นสารยึดติดจะให้ค่าความแข็งแรงในการยึดติดเท่ากับ 3.49 2.50 3.32 3.10 กิโลกรัมต่อเซนติเมตร เมื่อใช้เป็นน้ำยาล้างผิวจะให้ค่าความแข็งแรงในการยึดติดเท่ากับ 3.39 2.46 3.01 3.13 กิโลกรัมต่อเซนติเมตร ตามลำดับ

Special Project Title      Synthesis of Epoxidised Natural  
Rubber for Adhesion Application  
Name                              Miss Kulchanin Pooldee  
   Miss Preedara Thamsavate  
Special Project Advisor      Dr. Nipon Wongvisetsirikul  
Department                      Chemistry  
Academic Year                  1991

#### Abstract

This project was to study the synthesis of 50 percent mole epoxidised natural rubber (ENR 50) using as adhesive in footwear industry. The ENR 50 was prepared by the reaction between the dilution of concentrated natural latex to 30 percent dry rubber content (DRC) and 25 percent of peracetic acid 56.3 phr at 10 °C for 5 hours. After that the reaction was stirred at the temperature below 20 °C for 6 hrs. The ENR 50 was concentrated to 60 percent DRC by centrifuge method. From this study found that the percent mole of ENR reaction was effected by the concentration of peracetic acid, natural latex and reaction temperature.

ENR 50 was used as adhesive and primer in the hot process vulcanised shoes. From the study found that when used ENR 50 as adhesive between unvulcanised rubber and fluorescent cotton cloths, nylon fabrics, natural leather, coloured cotton fabrics, the peel strength were 3.50 2.50 3.32 and 3.10 kg/cm consequently. When used as primer the peel strength were 3.40 2.46 3.01 and 3.13 kg/cm respectively.

## กิติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้การช่วยเหลือ  
ในการดำเนินโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษที่ช่วยตรวจสอบ และแก้ไข  
โครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้อง

ขอขอบคุณ บริษัทแอนเชลด์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ นำยางชั้นชนิด  
ปริมาณแอมโมเนียสูง

ขอขอบคุณ บริษัทลือทซ์เล่ย์ (กรุงเทพฯ) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์  
สารเมทิลเซลลูโลส

ขอขอบคุณ บริษัทไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สารไฮโดรเจน  
เปอร์ออกไซด์

ขอขอบคุณ บริษัททองแท่งบจก (ประเทศไทย) จำกัด ที่กรุณาเอื้อเฟื้อเครื่องมือ  
วัด และอุปกรณ์ในการทดสอบสมบัติในการยึดติด

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่และเพื่อน ๆ ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือจน  
โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

กุลชนินทร์ พูลดี

ปรีดารดา ธรรมเสวต

3 ก.พ. 2535

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การพัฒนาการใช้ภาษาอังกฤษ	8
2.2 การปรับปรุงสมบัติของภาษาอังกฤษโดยวิธีทางเคมี	9
2.3 ภาษาอังกฤษอิพอกซิไดซ์	10
2.4 สมบัติของภาษาอังกฤษอิพอกซิไดซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล	16
2.5 การประยุกต์ใช้งาน	17
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินการ	
สารเคมีที่ใช้	20
เครื่องมือและอุปกรณ์	21
การทดลอง	22
3.1 การเตรียมและทดสอบสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	22
3.2 การเตรียมกรดเปอร์อะซิติก	23
3.3 การตรวจสอบความเข้มข้นของกรดเปอร์อะซิติก	23
3.4 การสังเคราะห์ภาษาอังกฤษอิพอกซิไดซ์	23
3.5 การตรวจสอบหาหมู่เอพอกไซด์ในภาษาอังกฤษอิพอกซิไดซ์	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติอพอกซิไดซ์	26
3.7 การทดสอบสมบัติของน้ำยางธรรมชาติอพอกซิไดซ์	26
3.8 การทดสอบสมบัติในการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติอพอกซิไดซ์ ระหว่างยางธรรมชาติผสมสูตรกับวัสดุต่าง ๆ	28
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 การสังเคราะห์ยางธรรมชาติอพอกซิไดซ์	30
4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณของหมู่อพอกซิไดซ์ ในยางธรรมชาติอพอกซิไดซ์	33
4.3 การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติอพอกซิไดซ์	36
4.4 การทดสอบสมบัติของน้ำยางธรรมชาติอพอกซิไดซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล	37
4.5 การศึกษาสมบัติในการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติอพอกซิไดซ์ ระหว่างยางธรรมชาติผสมสูตรที่ยังไม่วัลคาไนซ์กับวัสดุต่าง ๆ	37
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	51
ภาคผนวก	53
บรรณานุกรม	71

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 พหุภาคย์การผลิตยางธรรมชาติของประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซีย และไทย ในช่วงปี 2530-2540 ( หน่วย 1,000 ตัน )	6
ตารางที่ 2.2 การผลิตยางธรรมชาติของประเทศไทยในอดีต และพหุภาคย์ การผลิตถึงปีพ.ศ.2543	7
ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณหม้อพอกไซค์ที่เกิดขึ้นบนสายโซ่โมเลกุลของ ยางธรรมชาติ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงสารละลาย เปอร์อะซิติก ภายใต้สภาวะของปฏิกิริยาที่เหมาะสม	31
ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณของหม้อพอกไซค์ที่เกิดขึ้นบนสายโซ่โมเลกุลของ ยางธรรมชาติ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อยางแห้ง ภายใต้สภาวะของปฏิกิริยาที่เหมาะสม	32
ตารางที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ของธาตุต่าง ๆ ในยางธรรมชาติพอกไซค์ เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ	34
ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณของหม้อพอกไซค์ที่เกิดขึ้นบนสายโซ่โมเลกุลของ ยางธรรมชาติเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ	36
ตารางที่ 4.5 แสดงสมบัติของน้ำยางธรรมชาติพอกไซค์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล	37
ตารางที่ 4.6 แสดงสมบัติในการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติพอกไซค์ ที่ใช้เป็นน้ำยาล้างผิววัสดุส่วนบนของรองเท้า	38
ตารางที่ 4.7 แสดงสมบัติในการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติพอกไซค์ ที่ใช้เป็นสารยึดติดบนวัสดุส่วนบนของรองเท้า	39
ตารางที่ 4.8 แสดงสมบัติในการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติพอกไซค์ ที่ใช้เป็นสารยึดติดบนวัสดุทั้งสองชั้น	40

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงผลของ pH ของยางธรรมชาติพอกซีไคซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมลต่อระยะเวลาก่อนการสุกตัวแบบ Mooney	17
รูปที่ 4.1 แสดงค่าความแข็งแรงในการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติพอกซีไคซ์ที่ใช้เป็นน้ำยาล้างผิววัสดุส่วนบนของรองเท้า	41
รูปที่ 4.2 แสดงค่าความแข็งแรงในการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติพอกซีไคซ์ที่ใช้เป็นสารยึดติดบนวัสดุส่วนบนของรองเท้า	43
รูปที่ 4.3 แสดงค่าความแข็งแรงในการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติพอกซีไคซ์ที่ใช้เป็นสารยึดติดบนวัสดุทั้งสองชั้น	45
รูปที่ 4.4 แสดงค่าความแข็งแรงในการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติพอกซีไคซ์ที่ใช้เป็นน้ำยาล้างผิววัสดุส่วนบนของรองเท้า	47
รูปที่ 4.5 แสดงค่าความแข็งแรงในการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติพอกซีไคซ์ที่ใช้เป็นสารยึดติดบนวัสดุส่วนบนของรองเท้า	48
รูปที่ 4.6 แสดงค่าความแข็งแรงในการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติพอกซีไคซ์ที่ใช้เป็นสารยึดติดบนวัสดุทั้งสองชั้น	49

# บทที่ 1

## บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมการใช้ผลผลิตทางการเกษตร โดยเฉพาะอุตสาหกรรมยางธรรมชาติ รัฐบาลให้การสนับสนุนโดยการขยายพื้นที่ในการเพาะปลูกยางพาราไปยังบริเวณภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยอย่างกว้างขวาง ผลผลิตที่ได้จากยางพาราจะเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางชั้น ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง ยางเครพ และการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยาง อาทิเช่น พืนรองเท้า ลูกโป่ง กุญแจมือ ยาง กุญแจยาง ออโต้ ยางรถยนต์ และชิ้นส่วนต่างๆ ของรถยนต์ นอกจากนี้ได้มีการนำน้ำยางชั้นมาใช้เป็นสารยึดติดในอุตสาหกรรมต่างๆ

อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติที่ผลิตได้ในประเทศไทยส่วนใหญ่ จะเป็นยางที่มีคุณภาพต่ำไม่มีการพัฒนาการผลิตยางที่มีคุณภาพสูงอย่างจริงจัง ซึ่งส่งผลให้ราคาของยางธรรมชาติในประเทศมีราคาตกต่ำ เกษตรกรจึงประสบปัญหาาราคายางตกต่ำ แนวทางในการแก้ไขปัญหานี้ นอกจากการแก้ไขทางภาครัฐบาลแล้ว การปรับปรุงสมบัติที่เป็นข้อบกพร่องของยางธรรมชาติ จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่มีความสนใจเพื่อเพิ่มมูลค่าของยางธรรมชาติให้มีราคาสูงขึ้น

ยางธรรมชาติสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นสารยึดติด อย่างไรก็ตามการนำยางธรรมชาติไปใช้งานเป็นสารยึดติดยังมีข้อจำกัด เนื่องจากยางธรรมชาติมีความสามารถในการยึดติดกับวัสดุที่ไม่มีซีวเท่านั้น ดังนั้นการปรับปรุงสมบัติทางเคมีของยางธรรมชาติได้แก่ การปรับปรุงเป็นยางธรรมชาติอีพอกซิไดซ์ จึงเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะจะทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติในการยึดติดดีขึ้น โดยเฉพาะในการยึดติดระหว่างวัสดุซีวกับวัสดุที่ไม่มีซีว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
1  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การสังเคราะห์ยางธรรมชาติอโฟกซิไคซ์ในการใช้งานเป็นสารยึดติด

ทำได้โดยการเตรียมกรดเปอร์แอซิดที่ความเข้มข้นตามต้องการ จากนั้นนำกรดเปอร์แอซิด  
ที่ได้มาทำปฏิกิริยากับน้ำยางธรรมชาติในสภาวะที่เหมาะสม กรดเปอร์แอซิดจะทำปฏิกิริยา  
อโฟกซิเดชันกับยางธรรมชาติ โดยเปลี่ยนพันธะคู่ในสายโซ่โพลิเมอร์ของยางธรรมชาติ  
ให้เป็นหมู่อโฟกซิไคซ์ โดยองค์ของหมู่อโฟกซิไคซ์มีผลต่อสมบัติในการใช้งานเป็นสารยึดติด

### วัตถุประสงค์ในการทำโครงการพิเศษ

1. เพื่อศึกษาวิธีการสังเคราะห์ยางธรรมชาติอโฟกซิไคซ์สำหรับใช้งานเป็นสารยึดติด
2. เพื่อศึกษาสมบัติของยางธรรมชาติอโฟกซิไคซ์ในการ ใช้งานเป็นสารยึดติดระหว่างยาง  
ผสมสูตรกับวัสดุส่วนบนของรองเท้าชนิดต่าง ๆ
3. เพื่อศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของยางธรรมชาติอโฟกซิไคซ์ที่สังเคราะห์ได้
4. เพื่อศึกษาการนำยางธรรมชาติอโฟกซิไคซ์ ไปใช้เป็นสารยึดติดในกระบวนการผลิต  
รองเท้าระบบร้อน

### วิธีดำเนินงานโดยย่อ

1. การสังเคราะห์ยางธรรมชาติอโฟกซิไคซ์ โดยศึกษาปริมาณกรดเปอร์แอซิดที่มีผลต่อ  
ปริมาณหมู่อโฟกซิไคซ์ในสายโซ่โพลิเมอร์ของยางธรรมชาติ ในสภาวะของปฏิกิริยาที่  
เหมาะสม
2. การวิเคราะห์ปริมาณของหมู่อโฟกซิไคซ์ในสายโซ่โพลิเมอร์ของยางธรรมชาติที่สังเคราะห์  
ได้ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
3. การวิเคราะห์ปริมาณของหมู่อโฟกซิไคซ์ในสายโซ่โพลิเมอร์ของยางธรรมชาติที่สังเคราะห์  
ได้

3.1 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์

3.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การรักษาสภาพและการเพิ่มความเข้มข้นของยางธรรมชาติอพอกซิไดซ์
5. การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของยางธรรมชาติอพอกซิไดซ์
  - 5.1 การทดสอบสมบัติในการยึดติดระหว่างยางผสมสูตรกับวัสดุส่วนบนของรองเท้าชนิดต่าง ๆ
  - 5.2 การทดสอบสมบัติทางเคมีของยางธรรมชาติอพอกซิไดซ์
  - 5.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อน โดยใช้เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์
  - 5.4 การทดสอบความเหนียวโดยใช้เครื่องวัดความเหนียวแบบ Mooney

#### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำยางธรรมชาติอพอกซิไดซ์ที่สังเคราะห์ได้ ไปใช้งานเป็นสารยึดติด
2. สามารถแก้ไขปัญหาที่ยางธรรมชาติไม่สามารถยึดติดระหว่างวัสดุบางชนิด
3. สามารถใช้เป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติให้ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง
4. เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตรองเท้าระบบร้อน
5. เป็นการพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าของยางธรรมชาติ
6. เป็นการพัฒนาเทคโนโลยียางธรรมชาติในประเทศไทย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

การทำสวนยางพารายังเป็นอาชีพหลักและมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย ยางธรรมชาติเป็นสินค้าออกที่นำเงินตราเข้าประเทศได้เป็นอันดับที่สอง รองจากข้าว ในปัจจุบันประเทศไทยสามารถผลิตยางธรรมชาติได้ประมาณปีละ 300,000 ตัน ซึ่งสามารถนำเงินตราต่างประเทศให้แก่ประเทศได้ปีละประมาณ 3,000 ล้านบาท และรัฐบาลได้ทำการส่งเสริมปรับปรุงสวนยางเพื่อช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น ปัจจุบันนี้ประเทศไทยมีเนื้อที่ปลูกยางพาราไม่น้อยกว่า 50 ล้านไร่ ซึ่งกระจายอยู่ใน 17 จังหวัด ได้แก่ จันทบุรี ระยอง ตราด ชุมพร ปัตตานี ยะลา ระนอง พังงา ภูเก็ต สุราษฎร์ธานี ตรัง กระบี่ นครศรีธรรมราช พัทลุง สงขลา สตูล นราธิวาส และในภาคอีสาน คาดว่าประเทศไทยจะสามารถผลิตยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลกประมาณปี พ.ศ. 2537 เนื่องจากการส่งเสริมอย่างจริงจังของรัฐบาล เช่นการกระจายความรู้ทางด้านการปลูก การบำรุงรักษา การกรีดยางอย่างถูกวิธีแก่ชาวสวนและการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงพันธุ์ยางที่ตัดแทนยางพันธุ์เก่าที่ให้ผลผลิตน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการส่งเสริมการปลูกยางพาราในพื้นที่ 10 จังหวัดทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมพื้นที่ประมาณ 500,000 ไร่ ตามโครงการนำพระทัยจากในหลวง (โครงการอีสานเขียว) เป็นต้น ประมาณการว่ายางพาราจะเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญที่สุดของไทยในอนาคต แนวโน้มการผลิตเปรียบเทียบระหว่างผู้ผลิตรายสำคัญของโลกแสดงในตารางที่ 2.1 และแนวโน้มของการผลิตยางพาราธรรมชาติในประเทศไทยแสดงในตารางที่ 2.2

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น แสดงถึงความสำคัญของยางที่มีต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยมีการใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูปมากมายดังนี้

ยางล้อรถยนต์และส่วนประกอบของรถยนต์	68.0	%
ผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้กับงานเครื่องกลและเครื่องยนต์	13.5	%
ผลิตภัณฑ์ยางจากน้ำยางข้น	9.5	%
รองเท้า	5.5	%
กาวยาง	1.0	%
ผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูปชนิดอื่น ๆ	2.5	%

อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานอีกหลาย ๆ ประเภทได้ ดังนั้นการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติให้ดีขึ้น จึงเป็นการปรับปรุงให้สามารถนำยางธรรมชาติไปใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมได้อย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น



ตารางที่ 2.1 พยากรณ์การผลิตยางธรรมชาติของประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซีย และไทยในช่วงปี 2530-2540 (หน่วย 1,000 ตัน)

ปี	มาเลเซีย	อินโดนีเซีย	ไทย
2525 (1982)	1,494	880	552
2526 (1983)	1,564	997	587
2527 (1984)	1,531	1,115	629
2528 (1985)	1,470	1,130	726
2529 (1986)	1,542	1,036	801
2530 (1987)	1,520	1,178	869
2531 (1988)	1,520	1,233	957
2532 (1989)	1,520	1,290	1,053
2533 (1990)	1,521	1,350	1,159
2534 (1991)	1,521	1,413	1,275
2535 (1992)	1,521	1,479	1,403
2536 (1993)	1,521	1,548	1,544
2537 (1994)	1,521	1,620	1,639
2538 (1995)	1,521	1,696	1,870
2539 (1996)	1,522	1,775	2,058
2540 (1997)	1,522	1,858	2,265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.2 การผลิตยางธรรมชาติของประเทศไทยในอดีต และพยากรณ์  
การผลิตถึงปี พ.ศ. 2543

ปี พ.ศ. (Year)	ปริมาณการผลิต (เมตริกตัน) (Production metrictons)
2529 (1986)	792,257
2530 (1987)	935,000
2531 (1988)	872,000
2532 (1989)	913,000
2533 (1990)	954,000
2534 (1991)	1,000,000
-----	-----
2538 (1995)	1,217,000
-----	-----
2534 (2000)	1,325,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1 การพัฒนาการใช้ยางธรรมชาติ

ในปี พ.ศ. 2155 ได้มีการค้นพบแหล่งกำเนิดของยางธรรมชาติในบริเวณตอนใต้ของทวีปอเมริกา และเรียกชื่อของเหลวที่มีลักษณะข้นขาวคล้ายน้ำมัน ซึ่งไหลออกจากรอยแผลของต้นยางที่ถูกกรีดว่า Latex เป็นภาษาสเปนแปลว่าน้ำมัน ต่อมาชาวยุโรปได้นำยางไปใช้ประโยชน์ในการลบรอยดินสอ จึงเรียกยางธรรมชาติว่า Rubber นอกจากนั้นสามารถนำยางธรรมชาติไปทำผ้าฉาบยางเพื่อทำเป็นเสื้อกันฝน ภายหลังได้ค้นพบกรรมวิธีการบดยางจึงมีการนำยางธรรมชาติมาใช้งานได้อย่างกว้างขวาง แต่ผลิตภัณฑ์ยางที่ผลิตขึ้นเกิดความเสียหายภายในเวลาอันสั้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังนั้นจึงได้ทำการค้นคว้าหาวิธีปรับปรุงยางธรรมชาติ พบว่าเมื่อให้ยางธรรมชาติทำปฏิกิริยากับกำมะถัน ยางธรรมชาติจะมีสมบัติทนต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เรียกปฏิกิริยานี้ว่าวัลคาไนซ์เซชัน และได้มีการศึกษาค้นคว้าหาวิธีรักษาน้ำยางธรรมชาติให้คงสภาพเป็นของเหลวโดยใช้แอมโมเนียเก็บรักษาน้ำยางไว้ได้โดยน้ำยางธรรมชาติไม่จับตัวแข็ง ต่อมาได้มีการผลิตน้ำยางชั้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ เพื่อไม่ให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่งโดยวิธีทำเป็นครีม ปั้นแยกน้ำออก ระเหยน้ำออก หรือการใช้กระแสไฟฟ้าแยก น้ำยางชั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตถุงมือยางและผลิตภัณฑ์ยางชนิดอื่น ๆ โดยวิธีจุ่มแบบพิมพ์ จนกระทั่งปี พ.ศ. 2363 ได้มีการนำเอายางธรรมชาติมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เช่น นำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตท่อยาง ท่อกันการสิ้นสะเกือน ยางวงล้อ เป็นต้น

ต่อมาได้มีการพัฒนายางธรรมชาติมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางทำให้ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติก็ยังมีคุณสมบัติความต้านทานต่อน้ำมันหรือตัวทำละลายต่าง ๆ ต่ำ จึงได้มีการค้นคว้านำยางธรรมชาติมาดัดแปลงเพื่อช่วยให้สามารถใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น โดยการปรับปรุงโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติหรือผลิตยางสังเคราะห์ขึ้นใช้ทดแทนยางธรรมชาติ เช่น ยางสไตรีนบิวทาไดอีน ยางนีโอพรีน และยางไนไตรล์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 8 อองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติโดยวิธีทางเคมี

การปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติโดยวิธีทางเคมี สามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งสามารถสรุปพอสังเขปได้ดังนี้

### 1. ปฏิกริยาไฮโดรฮาโลจีเนชัน (Hydrohalogenation)

เป็นปฏิกริยาที่เกิดจากปฏิกริยาการเติมแบบอิลอกโตรฟิลิกของไฮโดรฮาโลเจน เช่น ไฮโดรเจนคลอไรด์ ลงไปในพันธะคู่ สำหรับไฮโดรเจนคลอไรด์ ปฏิกริยาการเติมนี้จะ เป็นไปตามกฎของมาร์คอฟนิกอฟ

### 2. ปฏิกริยาฮาโลจีเนชัน (Halogenation)

ตัวอย่างของปฏิกริยานี้คือ การนำเอายางธรรมชาติมาทำปฏิกริยาคลอรีเนชัน กลไกของปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจะมีทั้งแบบเติม และแบบแทนที่ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการก่อวง และการเชื่อมโองร่วมด้วย ไฮโดรเจนคลอไรด์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาในขณะที่เกิดปฏิกริยา การก่อวง จะสามารถเกิดปฏิกริยาการเติมกับพันธะคู่ของยางธรรมชาติต่อไป

### 3. ปฏิกริยาโอโซนไลซิส (Ozonolysis)

โอโซนสามารถทำให้เกิดปฏิกริยาโอโซนไลซิส ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกหักของ โมเลกุลของยางธรรมชาติ พันธะคู่จะแตกออก และก่อตัวเป็นโอโซนไนด์พอลิเมอร์- ออกไซด์ และโมเลกุลที่มีปลายโซ่โมเลกุลเป็นหมู่อัลดีไฮด์ และคีโตน

### 4. ปฏิกริยาการเติมคาร์บิน (Carbide addition)

ยางธรรมชาติที่อยู่ในสารละลายอะโรมาติกส์เจือจางที่มีไดคลอโรคาร์บินอยู่ พันธะคู่ ในโมเลกุลของยางธรรมชาติจะถูกเปลี่ยนให้เป็นวงไดคลอโรไซโคลโพรเพน ซึ่งสามารถ ตรวจสอบได้โดยเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

### 5. ปฏิกริยาไซคลิเซชัน (Cyclization)

ยางธรรมชาติสามารถเกิดเป็นวงได้ เมื่อนำยางธรรมชาติมาทำปฏิกริยากับ กรดซัลฟูริก กรดอินทรีย์ และกรดลิควิสแฮมมัน ที่อุณหภูมิสูง การเกิดเป็นวงของยาง ธรรมชาติมีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลง และมีผลทำให้สมบัติของยางธรรมชาติเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (Epoxidation)

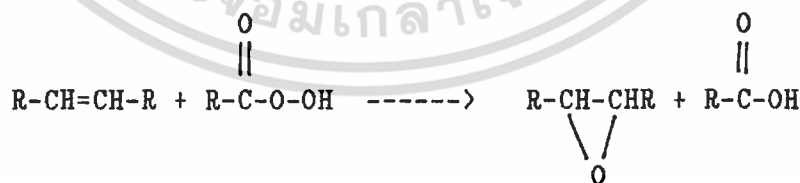
เป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดวงออกซิเรน โดยใช้เปอร์ออกไซด์ทำปฏิกิริยากับยางธรรมชาติ เช่น กรดเปอร์เบนโซอิก และเปอร์อะซิติก เป็นต้น ปริมาณการเกิดหมู่อีพอกไซด์สามารถตรวจสอบได้โดยใช้นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์

### 2.3 ยางธรรมชาติอีพอกซิไดซ์

ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงกลดีกว่ายางสังเคราะห์หลายชนิด แต่อย่างไรก็ตามก็มีสมบัติบางอย่างด้อยกว่ายางสังเคราะห์ เช่น มีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของแก๊สต่ำกว่ายางบิวทิล และมีความทนทานต่อน้ำมันต่ำกว่ายางไนไตรล์ การทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันยางธรรมชาติ เป็นแนวทางที่ดีในการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติ เพราะการเกิดหมู่อีพอกไซด์ในสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติจะมีผลทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติในด้านความทนทานต่อน้ำมันมากขึ้น โดยไม่มีผลทำให้สมบัติที่ดีของยางธรรมชาติด้อยลง

#### ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน

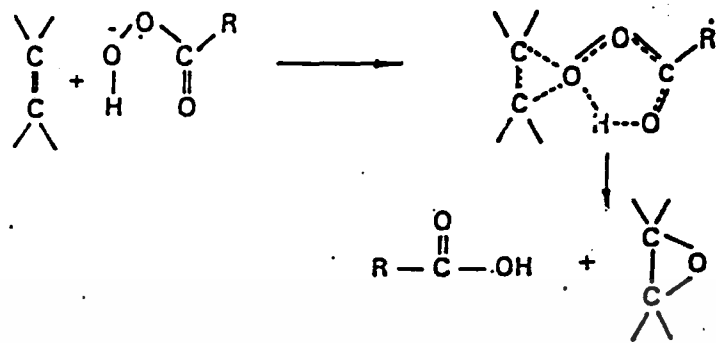
ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันเป็นวิธีที่ใช้ในการสังเคราะห์สารประกอบอีพอกไซด์ที่นิยมใช้มากที่สุด ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันจะใช้กรดเปอร์ออกซี (เปอร์ออกไซด์) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา กระบวนการนี้เรียกว่า อีพอกซิเดชัน



ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาแบบลำดับที่ 2 กลไกของปฏิกิริยาโดยทั่ว ๆ ไป คือ การทำปฏิกิริยาระหว่างอิลเลกโตรไฟล์ของกรดเปอร์ออกซีคาร์บอกซิลิกกับพันธะคู่ ซึ่ง

จะมีผลทำให้เกิดสถานะทรานสิชันแบบไบไซคลิก (Bicyclic transition state)

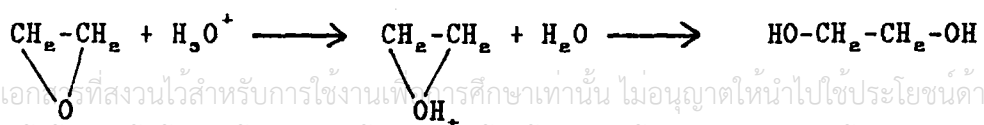
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผนภาพที่ 2.1 ปฏิกริยาอีพอกซิเดชันระหว่างพันธะคู่กับกรดเปอร์ออกซีคาร์บอกซิลิก  
 ในปฏิกริยาอีพอกซิเดชันจะมีการส่งผ่านอะตอมออกซิเจนจากโมเลกุลของเปอร์ออกไซด์  
 ให้กับพันธะคู่ในโมเลกุลของสารธรรมชาติ การเติมออกซิเจนในปฏิกริยาอีพอกซิเดชันเป็น  
 การเติมแบบซิน (Syn addition)

กลไกของปฏิกริยานี้ ได้รับการสนับสนุนจากข้อมูลทางด้านจลนศาสตร์มากมาย โดย  
 ใช้สารประกอบโอเลฟินส์ที่มีโครงสร้างต่าง ๆ กันหลายชนิด จากการศึกษาพบว่า  
 สารประกอบโอเลฟินส์ที่มีหมู่ที่ออกให้อิเล็กตรอนอยู่ จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกริยาเร็วขึ้น  
 นอกจากนี้สิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น โครงสร้างของกรดเปอร์ออกซีคาร์บอกซิลิก และตัว  
 ทำละลายที่ใช้ มีผลต่ออัตราเร็วในการเกิดปฏิกริยาเช่นกัน ปฏิกริยาอีพอกซิเดชันที่เกิดขึ้น  
 เป็นปฏิกริยาแบบสเตอริโอสเปซิฟิก (Stereospecific) กล่าวคือโครงสร้างของ  
 สารประกอบโอเลฟินส์เป็น ซิส-โอเลฟินส์ ก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็น ซิส-อีพอกไซด์  
 และทรานส์-โอเลฟินส์ ก็จะได้ทรานส์-อีพอกไซด์

เนื่องจากหมู่อีพอกไซด์เป็นวงที่มีสามอะตอม มีความเครียดสูง ทำให้อีพอกไซด์ชอบที่จะ  
 จะเปิดวงออก ดังนั้นปฏิกริยาการเปิดวง จึงสามารถเกิดขึ้นได้โดยนิวคลีโอไฟล์ หรือ  
 อิเล็กโตรไฟล์ หรืออาจเกิดขึ้นได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดหรือเบส ดังตัวอย่างต่อไปนี้



ความเครียด และอิเล็กตรอนที่อยู่ในโมเลกุลอีพอกไซด์ เป็นตัวควบคุมความเสถียร และการเปิดวงอีพอกไซด์ ความสามารถในการเปิดวงของกรดคาร์บอกซิลิก จะเพิ่มขึ้นเมื่อ pKa มีค่าลดลง ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการไฮโดรไลซิส เป็น ทรานส์-ไดออล

#### ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของยางธรรมชาติ

ในปีคริสต์ศักราช 1892 ได้มีการนำยางธรรมชาติมาทำปฏิกิริยากับกรดเปอร์ออกซี-คาร์บอกซิลิก พบว่ายางธรรมชาติที่ผ่านการทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน จะเพิ่มความสามารถในด้านความทนทานต่อน้ำมันมากขึ้น และสามารถปรับปรุงสมบัติในด้านความแข็งแรงดึงและเชิงกลดีขึ้นได้

จากผลที่ได้ทำให้มีการศึกษาระบบในสภาวะการทำปฏิกิริยา และโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่ได้กันมากขึ้น โดยใช้ตัวอย่างชั้นและสารละลายกรดเปอร์อะซิติก 25 เปอร์เซ็นต์ ในกรดอะซิติกเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยา พบว่าสามารถทำให้เกิดหมู่อีพอกไซด์ได้อยู่ในช่วงระหว่าง 20 - 100 โมลเปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ความเข้มข้นของกรดสูง และอุณหภูมิสูง จะมีผลทำให้เกิดการเปิดวงขึ้น และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปตรวจสอบด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จะพบสัญญาณการดูดกลืนที่  $3600-3200 \text{ cm}^{-1}$  (OH),  $1780 \text{ cm}^{-1}$  (C=O),  $1068 \text{ cm}^{-1}$  การเปิดวงจะสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ ที่ระดับการเกิดหมู่อีพอกไซด์ต่ำ คือหมู่อีพอกไซด์แต่ละตัวจะเกิดแยกกันไม่หนาแน่นในโมเลกุล เมื่อเกิดการเปิดวงก็จะได้การเปิดวงแบบง่าย คือ เมื่อไฮโดรไลซิสแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นไดออล แต่เมื่อหมู่อีพอกไซด์มากขึ้นการเปิดวงจะเกิดปฏิกิริยาไฮโคลเซชันต่อไปได้เป็นไซคลิกอีเทอร์ สามารถตรวจสอบได้จากเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

น้ำยางธรรมชาติ + สารเพิ่มความเสถียร + กรดอะซิติก

เปอร์ออกไซด์

น้ำยางธรรมชาติอีพอกซิไดซ์

ทำยางให้เป็นก้อน

ล้างกรดและทำให้แห้ง

ยางธรรมชาติอีพอกซิไดซ์

แผนภาพที่ 2.2 แสดงแผนผังขั้นตอนการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกซิไดซ์

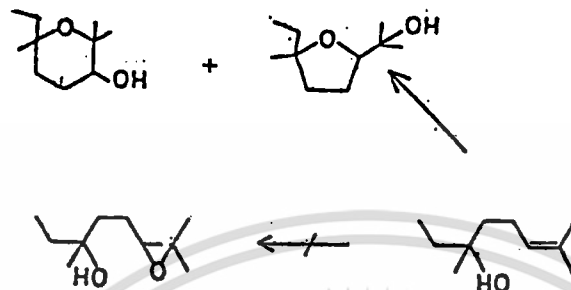
ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้น



แผนภาพที่ 2.3 การทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของยางธรรมชาติ

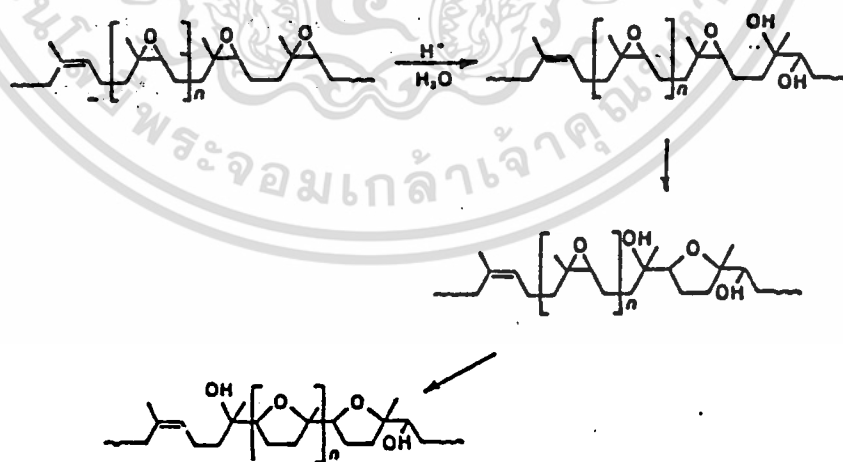
การเกิดปฏิกิริยาภายในโมเลกุลของหมู่ไฮดรอกซิล จะทำให้ได้วงที่มี 5, 6 หรือ

7 อะตอมได้ ตัวอย่าง เช่น การเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของ 2,6-ไดเมทิลออก-2-อิน-เอกซานเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะ 6-อลล์ (2,6-Dimethyloct-2-en-6-ol) ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผนภาพที่ 2.4 การเกิดวงของปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน

ปฏิกิริยาการเกิดวงสามารถเกิดได้ในสภาวะที่ไม่รุนแรง และสามารถตรวจสอบโครงสร้างวง 5 และ 6 เหลี่ยม ได้ด้วยอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยจะมีสัญญาณที่ 1070 และ 1100 ซม.<sup>-1</sup> ตามลำดับ ปฏิกิริยาการเกิดวงพิวแรนจะหยุดเมื่อหมู่อีพอกไซด์บนสายโซ่โมเลกุลหมด หรือ เมื่อความเครียดในโมเลกุลลดลง



แผนภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยาการเปิดวงของยางธรรมชาติอีพอกซิไดซ์ให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นวง 5 เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อความเข้มข้นของกรดและอนุทรมิในการทำปฏิกิริยาลดลง จะทำให้การเปิดวงของอิพอกไซด์ลดลง ที่ความเข้มข้นของกรดคาร์บอกซิลิกต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอนุทรมิต่ำกว่า 20 ีซ จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติอิพอกไซด์ 25 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์โมล โดยไม่มีการเปิดวง

#### ชนิดของกรดที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาอิพอกซิเดชัน

เปอร์แอซิด ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาอิพอกซิเดชัน มีดังต่อไปนี้

- กรดเปอร์เบนโซอิก
- กรดโมนิเปอร์พทาลิก
- กรดเปอร์อะซิติก
- กรดเปอร์ฟอร์มิก

#### กรดเปอร์เบนโซอิก

เป็นเปอร์แอซิดที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์อิพอกไซด์ได้มาก เมื่อใช้สภาวะในการทำปฏิกิริยาอย่างอ่อน และอยู่ในตัวทำละลายที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเช่น คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ เป็นต้น ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย แต่หุมุอิพอกไซด์ที่เกิดขึ้น มีจำนวนไม่แน่นอน

#### กรดโมนิเปอร์พทาลิก

ถึงแม้ว่ากรดโมนิเปอร์พทาลิกจะมีประสิทธิภาพดี แต่ยังมีการศึกษาไม่มาก ข้อดีของกรดชนิดนี้เมื่อเทียบกับกรดเปอร์เบนโซอิก ก็คือ เมื่อทำปฏิกิริยาอิพอกซิเดชันโดยใช้กรดชนิดนี้ในคลอโรฟอร์ม กรดพทาลิกที่ได้จากการทำปฏิกิริยาจะสามารถแยกออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่าย เพราะกรดพทาลิก ไม่ละลายในตัวทำละลายและผลิตภัณฑ์

#### กรดเปอร์อะซิติก

เป็นสารเคมีที่หาง่าย ในอดีตการสังเคราะห์สารประกอบออกซิเรน โดยใช้กรดเปอร์อะซิติก ไม่ประสบความสำเร็จ เพราะผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบ

ไกลคอลมากกว่า แต่ในเวลาต่อมาพบว่ากรดเปอร์อะซิติกเป็นสารเคมีที่ดี ถ้าใช้ในสารเอกสารที่มีอนุทรมิสูงๆ ปริมาณที่น้อยๆ ก็เพียงพอแล้ว เมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายที่เจือต่อปฏิกิริยา แต่จะใช้ได้ไม่ดีเมื่อใช้ในสารละลายกรดอะซิติก ดังนั้นจึงมีการ  
สรุปได้ว่ากรดเปอร์อะซิติกมีสมบัติเหมือนกรดเปอร์เบนโซอิก คือ ทำให้เกิดสารประกอบ  
ออกซิเรน และกรดอะซิติกที่ได้จากปฏิกิริยาจะเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดสารประกอบ  
ไกลคอล

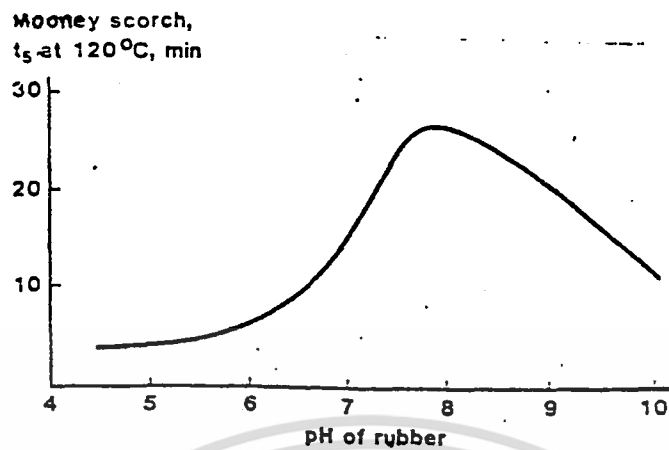
ถึงแม้ว่าการใช้สารละลายกรดเปอร์อะซิติกในสารละลายที่เจือต่อปฏิกิริยาแล้วให้  
ผลดี แต่ส่วนใหญ่ก็ยังคงนิยมใช้ในกรดอะซิติก เพราะกรดเปอร์อะซิติกในกรดอะซิติก  
สามารถเตรียมง่ายและสะดวก ในขณะที่เมื่อใช้สารละลายที่เจือต่อปฏิกิริยา จะใช้เวลา  
นานและมีอันตรายในการเตรียมสูง นอกจากนี้เมื่อมีการศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาของ  
กรดเปอร์อะซิติกในกรดอะซิติก กับ สารประกอบโอเลฟินส์ที่มีสายโซ่โมเลกุลยาวพบว่า  
ปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ดีเมื่อทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิปานกลาง ให้ระยะเวลาในการเกิด  
ปฏิกิริยาเร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ และไม่ควรรีกรวดเข้มข้น ซึ่งจะก่อให้เกิดการเปิดวงได้  
กรดเปอร์ฟอร์มิก

โดยทั่วไปกรดเปอร์ฟอร์มิกไม่นิยมใช้ในปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพราะว่ามีความเป็น  
กรดสูง ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดการเปิดวง

#### 2.4 สมบัติของยางธรรมชาติอพอксиไดซ์ 50 เปอร์เซนต์โมล

จากข้อมูลข้างต้นพบว่า อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของยางธรรมชาติ  
อพอксиไดซ์ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติประมาณ 1 องศาเซลเซียส  
ต่อเปอร์เซนต์โมลของหมู่อพอксиไดซ์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับยางธรรมชาติอพอксиไดซ์ 50  
เปอร์เซนต์โมล จะมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วประมาณ  $-24^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิ  
การเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้สมบัติในการกระดอนที่อุณหภูมิต่ำมีค่าลดลง  
ที่ระดับการเกิดหมู่อพอксиไดซ์ที่ 50 เปอร์เซนต์โมลขึ้นไป ผลลัพธ์ที่จะไม่สามารถตกผลึกได้  
เมื่อได้รับแรงดึง

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูป 2.1 แสดงผลของ pH ของ ENR 50 ต่อระยะเวลาก่อนการสุกตัวแบบ

## Mooney

จากการศึกษาโดยการเปลี่ยนแปลง pH ภายใต้อุณหภูมิที่มีการควบคุมของอีพอกซีไดซ์ ที่เปิดกรด จะมีระยะเวลาก่อนการสุกตัวสั้น เนื่องจากกรดทำให้เกิดปฏิกิริยาการเปิดวง และเกิดการเชื่อมของสายพันธะอีเธอร์ แต่ถ้าสภาวะมีความเป็นเบสจะไม่มีผลทำให้ระยะเวลาก่อนการสุกตัวเปลี่ยนแปลงมากนัก

ยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมลที่ผ่านการวัลคาไนซ์ จะมีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี มีสมบัติด้านการยึดติดระหว่างผิวกับวัสดุต่าง ๆ ได้ดี ทนทานต่อน้ำมัน ซึ่งมีสมบัติแตกต่างไปจากยางธรรมชาติเป็นอย่างมาก

## 2.5 การประยุกต์ใช้งาน

สมบัติที่สำคัญของยางอีพอกซีไดซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล ก็คือ มีความทนทานต่อน้ำมัน มาตรฐาน เมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ และมีค่าใกล้เคียงกับยางไนไตรล์และมีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดีกว่ายางธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีสมบัติในการยึดติดกับวัสดุชนิดอื่น ๆ ได้ดี โดยเฉพาะกับวัสดุที่มีขี้ผึ้ง และวัสดุที่ปรับปรุงสภาพผิวแล้ว

สมบัติในด้านการยึดติดของสารยึดติด (กาว) สามารถสรุปเป็นทฤษฎีได้ดังนี้

1. ทฤษฎีเชิงกลของการยึดติด (Mechanical theory of adhesion)

เป็นทฤษฎีแบบง่าย ๆ คือ เมื่อทา กาวลงบนพื้นผิววัสดุ กาวจะไหลไปตามรอยแตกของพื้นผิวที่ขรุขระ ซึ่งจะแห้งกลายเป็นของแข็งยึดเกาะกับวัสดุตรงรอยต่ออย่างแข็งแรง

2. ทฤษฎีประจุไฟฟ้าของการยึดติด (Electrostatic theory of adhesion)

เป็นทฤษฎีที่มีพื้นฐานจากประจุไฟฟ้าของชั้นคู่ที่เกิดขึ้นตรงรอยต่อของวัสดุที่ต่างกัน 2 ชนิด เมื่อใช้กาวซึ่งเปรียบได้เหมือนกับแผ่นเก็บประจุ การลอกกาวออกจากวัสดุก็เหมือนกับการแยกแผ่นเก็บประจุออกจากกัน ความแข็งแรงของการยึดติดที่เกิดขึ้นจากกาวจะเพิ่มขึ้นเมื่อช่องว่างระหว่างผิววัสดุที่กาวยึดเกาะเพิ่มขึ้น

3. ทฤษฎีการแพร่ซึมของกาว (Diffusion theory of adhesion)

ทฤษฎีนี้แสดงถึงความสามารถในการยึดติดของกาวกับวัสดุประเภทต่าง ๆ จะมีความเกี่ยวเนื่องกับการแพร่ซึมของกาวซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่กับวัสดุ เมื่อใช้กาวทา ลงบนวัสดุ หลังจากกาวแห้งตัวจะทำให้เกิดแถบที่แข็งแรงยึดเกาะกับวัสดุ ทฤษฎีนี้จะเป็นจริงก็ต่อเมื่อกาวและวัสดุจะต้องสามารถละลายซึ่งกันและกันได้ จะทำให้มีการซึมของกาวบนวัสดุเพิ่มมากขึ้น ความแข็งแรงในการยึดติดของกาวจะเป็นสัดส่วนกับจำนวนโมเลกุลของกาวที่ซ้อนทับกันระหว่างชั้นวัสดุ และความลึกของการแพร่ซึมของกาวบนชั้นวัสดุ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของการยึดติดเกี่ยวข้องกับน้ำหนักโมเลกุลของกาว เวลาที่ใช้ในการอัดวัสดุให้ติดกัน แรงและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัด

4. ทฤษฎีการดูดซับของกาว (Adsorption theory of adhesive)

ทฤษฎีนี้ใช้อธิบายการยึดติดผิววัสดุต่างชนิดกัน ซึ่งอาจจะเป็นกาวและวัสดุใด ๆ ก็ได้ โมเลกุลของกาวและวัสดุมีผลต่อความแข็งแรงในการยึดติดของกาว พบว่าการใช้กาวในรูปหลอมเหลว หรือสารละลายจะเกิดการดูดซับกาวบนวัสดุซึ่งเป็นขบวนการต่อเนื่องสัมพันธ์กับการปลดปล่อย การแทนที่โมเลกุลอื่น และการจัดเรียงตัวของโมเลกุลของกาวที่ถูกดูดซับเมื่อตัวทำละลายถูกขจัดออกหรือเมื่อกาวแห้งตัว จะเกิดแรงดึงดูด

ระหว่างโมเลกุลและวัสดุเป็นแรงรวมที่เกิดจากแรงวันเดอร์วาลส์ ซึ่งเกิดจากโครงสร้าง  
ของโมเลกุลเชื่อมติดกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แล19้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การวิจัยและการดำเนินการ

#### สารเคมีที่ใช้

1. น้ำยาล้าง 60 เปอร์เซ็นต์ ชนิดปริมาณแอมโมเนียสูงโดยความอนุเคราะห์จาก บริษัทแอนเชลล์ จำกัด
2. โปแทสเซียมไฮโอเดต เกรดวิเคราะห์ บริษัทอี เมอร์ค จำกัด
3. โปแทสเซียมไฮโอไดต์ เกรดห้องปฏิบัติการ บริษัทเมย์ แอนด์ เบเกอร์ จำกัด
4. กรดซัลฟิวริก เกรดวิเคราะห์ บริษัทอี เมอร์ค จำกัด
5. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ โดยความอนุเคราะห์จากบริษัท ไทยเปอร์ออกไซด์ จำกัด
6. โปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เกรดวิเคราะห์ บริษัทอี เมอร์ค จำกัด
7. โซเดียมไทโอซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัทฟลูกา จำกัด
8. โซเดียมคาร์บอเนต เกรดห้องปฏิบัติการ บริษัทฟลูกา จำกัด
9. กรดอะซิติก เกรดวิเคราะห์ บริษัทอี เมอร์ค จำกัด
10. โนนิลฟีนอลเอทอกซิเลท เกรดอุตสาหกรรม บริษัทซิลิคไทย จำกัด
11. เมทานอล เกรดวิเคราะห์ บริษัทอี เมอร์ค จำกัด
12. โทลูอีน เกรดห้องปฏิบัติการ บริษัทเมย์ แอนด์ บาเกอร์ จำกัด
13. แป้งชนิดละลายน้ำ เกรดการค้า บริษัทอี เมอร์ค จำกัด
14. เมทิลเซลลูโลส โดยความอนุเคราะห์จากบริษัทล็องซ์เล็ย์ (กรุงเทพฯ) จำกัด
15. โซเดียมอัลจีเนต โดยความอนุเคราะห์จากบริษัทล็องซ์เล็ย์ (กรุงเทพฯ) จำกัด
16. คลอโรฟอร์ม เกรดวิเคราะห์ บริษัทบี ดี เอช จำกัด
17. การเคลือบซีเมนต์(กาวยางผสมสูตร) โดยความอนุเคราะห์จากบริษัทรองเท้าบาจา (ประเทศไทย) จำกัด
18. ตัวทำละลาย SBP โดยความอนุเคราะห์จากบริษัทรองเท้าบาจา(ประเทศไทย) จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบแรงดึง รุ่น TC915;Tensometer 10 บริษัท Monsanto จำกัด
2. เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล
3. เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น 810 บริษัท Jasco จำกัด
4. เครื่องวิเคราะห์ธาตุ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. ตู้อบร้อนแบบ Hot air บริษัท Memment จำกัด
6. ตู้อบไอน้ำ บริษัทรองเท้าบาจา (ประเทศไทย) จำกัด
7. เครื่องทำความเย็น รุ่น FI401 บริษัท Julabo จำกัด
8. มอเตอร์ปั่นกวนชนิดปรับรอบ รุ่น RW 20 บริษัท KIKA-werk จำกัด
9. เครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield รุ่น LVT บริษัท Jouan จำกัด
10. เครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง
11. เครื่องวัดความหนืดแบบ Mooney รุ่น SMV-201 บริษัท Shimadzu จำกัด
12. เครื่องระเหยสาร RE 111 บริษัท Büchi จำกัด
13. แปรงทากาว
14. ใบพัดเทปลอน และแกนใบพัดแก้ว
15. อ่างน้ำขนาด 3 ลิตร
16. ขวดกั้นกลมแบบ 3 คอ
17. ชุดปฏิบัติการปริมาตรขนาด 2 ลิตร
18. กรวยหยดสาร
9. เทอร์โมมิเตอร์ ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0 ถึง 100 °C
20. เครื่องรีดยางแบบ 2 ลูกกลิ้ง รุ่น LRM 110 บริษัท Labtech Engineering จำกัด

## การทดลอง

### 3.1 การเตรียมและทดสอบสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ )

#### 3.1.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล

ละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มไว้ ภาชนะบอญไดออกไซด์ หลังจากเตรียมเสร็จจะต้องนำมาเติมคลอโรฟอร์ม 3 หยด แล้วเก็บสารละลายที่ได้ไว้ในขวดสีชา

#### 3.1.2 การทดสอบสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

ชั่งโปแทสเซียมไอโอเดตหนัก 0.15 กรัม ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำจำนวน 25 มิลลิลิตร เติมโปแทสเซียมไอโอไดด์หนัก 2 กรัม และกรดซัลฟิวริก 1 โมล/ลิตร จำนวน 5 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้มาไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต จนสารละลายที่ได้มีสีชาอ่อน เติมน้ำแป้งจำนวน 2 มิลลิลิตร จะได้สารละลายสีน้ำเงิน นำไปไตเตรตต่อจนกระทั่งสีน้ำเงินจางหายไป ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง ผลที่ได้ไม่ควรแตกต่างกันเกิน 0.10 มิลลิลิตร คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตจากสมการต่อไปนี้



จากสมการทั้งสองนี้ และอาศัยมวลสัมพันธ์จะได้

$$\text{จำนวนโมลของ } \text{I}_2 / \text{จำนวนโมลของ } \text{KIO}_3 = 3/1$$

$$\text{จำนวนโมลของ } \text{I}_2 / \text{จำนวนโมลของ } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 1/2$$

$$\text{จำนวนโมลของ } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 / \text{จำนวนโมลของ } \text{KIO}_3 = 6/1$$

### 3.2 การเตรียมกรดเปอร์อะซิติก

ซึ่งกรดอะซิติกเข้มข้นจำนวน 100 กรัม และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 กรัม ใส่ในขวดกันกลม ซึ่งจุ่มไว้ในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส กวนสารละลายด้วยเครื่องปั่นกวน เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากกรวยแยกเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ได้กรดเปอร์อะซิติกเข้มข้นประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ ( น้ำหนักต่อปริมาตร)

### 3.3 การตรวจสอบความเข้มข้น

#### 3.3.1 การตรวจสอบปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ

ปิเปตสารละลายกรดเปอร์อะซิติกที่เตรียมได้จำนวน 0.2 มิลลิลิตร เจือจางด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 4 นอร์มอล จำนวน 50 มิลลิลิตร (กรดซัลฟิวริกที่ใช้ต้องทำให้เย็นก่อน) จากนั้นนำสารละลายที่ได้ มาไตเตรตกับที่ด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จำนวน 1 มิลลิลิตร จะสมมูลกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จำนวน 0.0017 กรัม)

#### 3.3.2 การตรวจสอบปริมาณกรดเปอร์อะซิติก

นำสารละลายที่ได้จากข้อ 3.3.1 มาเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ที่อิ่มตัวจำนวน 2 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาไตเตรตกับโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น 0.1 นอร์มอลทันที โดยใช้น้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์ (สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จำนวน 1 มิลลิลิตร จะสมมูลกับกรดเปอร์อะซิติกจำนวน 0.0038 กรัม)

### 3.4 การสังเคราะห์ยางธรรมชาติฟอกซีไธซ์

นำน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักจำนวน 200 กรัม เติมสารโนนิลฟีนอลเอทอกซีเลท (Nonyl phenol ethoxylate) ( 3 ส่วนต่อยางร้อยละ , 3.6 กรัม) จากนั้นเติมสารละลายกรดเปอร์อะซิติกเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 28.15 ส่วนต่อยางร้อยละอย่างช้า ๆ ลงในน้ำยางชั้นที่ปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส หลังจากเติมสารละลายกรดเปอร์อะซิติกหมดแล้ว ทำการปั่นกวนสารละลายต่อไปเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส นำน้ำยางที่สังเคราะห์ได้มาปรับให้มีค่า pH ประมาณ 7 ด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ที่อุณหภูมิตัวอย่างช้า ๆ จากนั้นนำน้ำยางที่สังเคราะห์ได้เปลี่ยนให้เป็นน้ำยางชนิดปริมาณแอมโมเนียมสูง เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ (นำไปทดสอบตามข้อ 3.5 ,3.6)

จากการศึกษาพบว่า สภาวะของปฏิกิริยาการสังเคราะห์ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความเร็วในการปั่น 300 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ในการปั่นกวนน้ำยางหลังจากหยุดกรดเปอร์อะซิติกหมด 6 ชั่วโมง และความเข้มข้นของกรดเปอร์อะซิติก 25 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

นอกจากนี้พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ของหมู่อิพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนสายโซ่โมเลกุลของยาง คือ ปริมาณสารละลายกรดเปอร์อะซิติก และปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางขึ้น ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล โดยมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์ดังต่อไปนี้

#### 3.4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารละลายกรดเปอร์อะซิติกที่ใช้ในการสังเคราะห์

ครั้งที่	ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง (%)	ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก (phr)
1	15	28.15
2	15	42.23
3	15	56.30
4	15	70.13
5	15	84.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อยางแห้งของน้ำยางชั้นที่ใช้ในการสังเคราะห์

ครั้งที่	ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางชั้น (%)	ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก (phr)
1	15	56.30
2	30	56.30
3	60	56.30

### 3.5 การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันในยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์

นำน้ำยางอีพอกซีไดซ์ชนิดปริมาณแอมโมเนียสูงที่สังเคราะห์ได้มาทำให้ยางจับตัวเป็นก้อนด้วยเมทานอล นำยางที่จับตัวเป็นก้อนมาล้างด้วยน้ำกลั่น และทำให้แห้งด้วยการนำไปตากและผึ่งอากาศ แล้วนำไปทดสอบดังต่อไปนี้

#### 3.5.1 การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันในยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์ ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

นำแผ่นยางแห้งที่ได้จากการสังเคราะห์ มาละลายในตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม จากนั้นนำไปเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มบนแผ่นโพรแทสเชื่อมโบรไมด์ ประกอบแผ่นโพรแทสเชื่อมโบรไมด์เข้าด้วยกัน นำไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Jasco IR-810)

#### 3.5.2 การตรวจสอบหาปริมาณหมู่ฟังก์ชันในยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์ด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์

นำแผ่นยางแห้งที่ได้จากการสังเคราะห์มาละลายในตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม จากนั้นเติมโซเดียมซิลเฟตที่ปราศจากน้ำ เพื่อกำจัดน้ำที่ตกค้างในยางก่อนนำไปเตรียมเป็นฟิล์มบนแผ่นกระจก กึ่งให้แห้งสนิท นำไปวิเคราะห์หาปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นบนสาย

โซโหมเลกุลของยาง โดยใช้  $CDCl_3$  เป็นตัวทำละลาย ด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์

3.5.3 การตรวจสอบหาปริมาณหมู่ไอพอกไซด์ในยางธรรมชาติไอพอกไซด์ด้วยเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ

นำแผ่นยางแห้งไปวิเคราะห์หาปริมาณหมู่ไอพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนสายโซโหมเลกุลของยางด้วยเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.6 การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติไอพอกไซด์

3.6.1 การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติไอพอกไซด์ด้วยวิธีการทำคริม

นำเมซิลเซลลูโลสหรือโซเดียมอัลจิเนตมาละลายน้ำ ให้มีความเข้มข้น 0.12 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นำไปเติมลงในน้ำยางที่สังเคราะห์ได้ กวนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 10-12 วัน ส่วนที่เป็นเนื้อยางจะลอยตัวขึ้นมารวมกันที่ส่วนบน จากนั้นแยกน้ำออก

3.6.2 การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติไอพอกไซด์ด้วยวิธีระเหยน้ำออก

นำน้ำยางธรรมชาติไอพอกไซด์ใส่ในขวดก้นกลม นำไประเหยน้ำออกที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องระเหยแบบลดความดัน

3.6.3 การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติไอพอกไซด์ด้วยวิธีการเหวี่ยง

นำน้ำยางธรรมชาติไอพอกไซด์มาทำให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยใช้เครื่องเหวี่ยงที่มีความเร็ว 2,000-3,000 รอบต่อนาที น้ำยางจะถูกเหวี่ยงขึ้นข้างบน ใช้ที่หลอดสารดูดส่วนน้ำยางชั้นออก

3.7 การทดสอบสมบัติของน้ำยางธรรมชาติไอพอกไซด์

นำน้ำยางธรรมชาติไอพอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเนื้อยางมาทดสอบสมบัติดังต่อไปนี้

3.7.1 การทดสอบหาปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางธรรมชาติไอพอกไซด์ (TSC)

นำน้ำยางธรรมชาติไอพอกไซด์ไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนยางแห้ง จนกระทั่งน้ำหนักของยางแห้งหลังการอบไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งน้ำหนักของน้ำยาง

ก่อนอบและยางแห้งหลังอบ คำนวณหาปริมาณของแข็งทั้งหมดตามสมการ

$$\% \text{ TSC} = \frac{\text{น้ำหนักของยางหลังอบ}}{\text{น้ำหนักของน้ำยางก่อนอบ}} \times 100$$

### 3.7.2 การทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางธรรมชาติอโฟกซิไดซ์ (DRC)

นำน้ำยางธรรมชาติอโฟกซิไดซ์มาทำให้ยางจับตัวเป็นก้อนด้วยกรดอะซิติก ล้างเนื้อยางให้สะอาดแล้วนำไปอบจนได้น้ำหนักของเนื้อยางแห้งคงที่ ซึ่งน้ำหนักของน้ำยางก่อนอบและเนื้อยางแห้งหลังอบ คำนวณหาปริมาณเนื้อยางแห้งตามสมการ

$$\% \text{ DRC} = \frac{\text{น้ำหนักของเนื้อยางแห้งหลังอบ}}{\text{น้ำหนักของน้ำยางก่อนอบ}} \times 100$$

### 3.7.3 การทดสอบหาความหนืดของน้ำยางธรรมชาติอโฟกซิไดซ์

นำน้ำยางธรรมชาติอโฟกซิไดซ์มาวัดความหนืดด้วยเครื่องบรูคฟิลด์ (Brookfield viscometer) โดยเลือกใช้แกนหมุน และความเร็วรอบที่เหมาะสมกับความหนืดของน้ำยางธรรมชาติอโฟกซิไดซ์ อ่านค่าที่ได้จากหน้าปัด คำนวณหาค่าความหนืดของน้ำยางธรรมชาติอโฟกซิไดซ์

### 3.7.4 การทดสอบหาค่าความหนืดแบบ Mooney

นำแผ่นยางแห้งที่ได้จากการสังเคราะห์ มาวัดความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบ Mooney โดยทำการทดสอบที่แกนหมุนขนาดใหญ่ จากนั้นวางตัวอย่างจนเต็มแกนหมุน ตั้งอุณหภูมิในการวัด 100 °C เวลาในการให้ความร้อนก่อนทำการวัด 1 นาที และตั้งเวลาให้เครื่องทำการวัดภายใน 4 นาที นำผลที่ได้เปรียบเทียบกับค่าความหนืดแบบ Mooney ของยางธรรมชาติ

### 3.7.5 การทดสอบหาค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) ของยางธรรมชาติ อีพอกซีไคซ์

ตัดแผ่นยางแห้งที่ได้จากการสังเคราะห์ประมาณ 10 มิลลิกรัม บรรจุในภาชนะอลูมิเนียม นำไปวางบนที่วางตัวอย่าง ทำการทดสอบโดยใช้ไนโตรเจนเหลว เป็นสารช่วยลดอุณหภูมิลงประมาณ  $-100$  ° ซ และทำการทดสอบภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน (ก๊าซเฉื่อย) ในอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ  $10$  ° ซ ต่อนาที

### 3.8 การทดสอบสมบัติในการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติอีพอกซีไคซ์ระหว่างยางผสมสูตรกับวัสดุต่าง ๆ

#### 3.8.1 การทดสอบสมบัติในการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติอีพอกซีไคซ์ ระหว่างยางธรรมชาติที่ยังไม่วัลคาไนซ์กับวัสดุต่าง ๆ

เตรียมวัสดุที่จะทดสอบขนาดกว้าง  $1 \times 12$  นิ้ว โดยวัสดุชิ้นที่ 1 เป็นยางผสมสูตรที่ยังไม่วัลคาไนซ์ ทำความสะอาดผิวหน้าด้วยตัวทำละลาย SBP เพื่อกำจัดฝุ่นละอองและไขมันออก ส่วนวัสดุชิ้นที่ 2 (วัสดุส่วนบนของรองเท้า) เป็นผ้าสะท้อนแสง ผ้าไนลอน ผ้าฝ้าย หนึ่งแท่ง หนึ่งแท่งพีวีซี แล้วทำการทดสอบดังต่อไปนี้

#### 3.8.1.1 การทดสอบการยึดติดโดยใช้น้ำยางธรรมชาติอีพอกซีไคซ์เป็นน้ำยาล้างผิววัสดุ (primer) บนวัสดุส่วนบนของรองเท้า

ทาน้ำยางธรรมชาติเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ บนยางผสมสูตรที่ยังไม่วัลคาไนซ์ และทาน้ำยางธรรมชาติอีพอกซีไคซ์บนวัสดุส่วนบนของรองเท้าด้วยแปรงทากาวอย่างบาง ๆ นำวัสดุทั้งสองไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ  $60$  ° ซ นาน 15 นาที จนแห้งหมด ๆ ทาน้ำยางธรรมชาติเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์บนยางผสมสูตรที่ยังไม่วัลคาไนซ์ และทากาวยางผสมสูตรบนวัสดุส่วนบนของรองเท้า นำไปอบอีกครั้ง จนกาวแห้งหมด ๆ นำวัสดุทั้งสองขึ้นมาประกบติดกัน จากนั้นอัดให้แน่นด้วยลูกกลิ้งเพื่อไล่อากาศ นำไปอบในตู้อบไอน้ำที่อุณหภูมิ  $135$  ° ซ นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทดสอบความสามารถในการยึดติด ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง โดยตัดชิ้นตัวอย่างทดสอบให้มีขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 12 นิ้ว

### 3.8.1.2 การทดสอบการยึดติดโดยใช้น้ำยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์เป็นสารยึดติด

ก) การใช้น้ำยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์เป็นสารยึดติดบนวัสดุส่วนบนของรองเท้า

ทำน้ำยางธรรมชาติเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ บนยางที่ยังไม่วัลคาไนซ์ และทำน้ำยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์บนวัสดุส่วนบนของรองเท้าด้วยแปรงทากาวอย่างบาง ๆ นำวัสดุทั้งสองไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 15 นาที จนแห้งหมด ๆ ทำน้ำยางธรรมชาติเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ บนยางที่ยังไม่วัลคาไนซ์ และทำน้ำยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์บนวัสดุส่วนบนของรองเท้า แล้วนำไปอบในตู้อบซ้ำอีกครั้ง จนแห้งหมด ๆ นำวัสดุทั้งสองชิ้นมาประกบติดกัน หลังจากนั้นทำการทดลองเหมือนข้อ 3.8.1

ข) การใช้น้ำยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์เป็นสารยึดติดบนวัสดุที่จะนำมายึดติดทั้งสองชิ้น

ทำน้ำยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์บนวัสดุทั้งสองชิ้น ด้วยแปรงทากาวอย่างบาง ๆ นำไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 15 นาที จนแห้งหมด ๆ ทำน้ำยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์บนวัสดุทั้งสองชิ้น แล้วนำไปอบในตู้อบซ้ำอีกครั้ง จนแห้งหมด ๆ นำวัสดุทั้งสองชิ้นมาประกบติดกัน หลังจากนั้นทำการทดลองเหมือนข้อ 3.9.1

3.8.2 การทดสอบสมบัติในการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์ระหว่างยางวัลคาไนซ์แล้วกับวัสดุต่าง ๆ

เตรียมวัสดุที่จะทดสอบขนาด 1 x 12 นิ้ว วัสดุชิ้นที่ 1 เป็นยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ ทำการปรับปรุงผิวโดยการขัดหยาบ ทำความสะอาดผิวยางวัลคาไนซ์ด้วยตัวทำละลาย SBP เพื่อกำจัดฝุ่นละอองและไขมันออก ส่วนวัสดุชิ้นที่ 2 จะเป็นผ้าสะท้อนแสง ผ้าไนลอน ผ้าฝ้าย หนึ่งแท่งและหนึ่งแท่งทึบพีวีซี แล้วทำการทดลองเหมือนข้อ 3.8.1.1

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 การสังเคราะห์ยางอิพอกซีไคซ์

สำหรับโครงการพิเศษนี้ ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์ เพื่อใช้งานเป็นสารยึดติด ซึ่งทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์ยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์ ในสภาวะของปฏิกิริยาที่เหมาะสม โดยทำการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์ดังต่อไปนี้

##### 4.1.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารละลายกรดเปอร์อะซิติกที่ใช้ในการสังเคราะห์

จากการสังเคราะห์ยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์ โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารละลายกรดเปอร์อะซิติก เท่ากับ 28.15 42.23 56.30 70.30 และ 84.80 ส่วนของยางร้อยละ ส่วนภายใต้สภาวะของปฏิกิริยาที่เหมาะสมดังนี้ อุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ 10 องศาเซลเซียส ความเร็วในการปั่นกวาน 300 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ในการปั่นกวานหลังจากหยดสารละลายกรดเปอร์อะซิติกหมด 6 ชั่วโมง ความเข้มข้นของสารละลายกรดเปอร์อะซิติก 25 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และน้ำยางที่ใช้ในการสังเคราะห์มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่าจะให้เปอร์เซ็นต์ของหมู่อิพอกไซด์ที่เกิดบนสายโซ่โพลีเมอร์ของยางธรรมชาติ ซึ่งสามารถแสดงไว้ในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 แสดงปริมาณหมู้อพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนสาธโซโม่เลกุลของยางธรรมชาติ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารละลายกรดเปอร์อะซิติก ภายใต้สภาวะของปฏิกิริยาที่เหมาะสม

ครั้งที่	ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก (phr)	เปอร์เซ็นต์โมลหมู้อพอกไซด์
1	28.15	27
2	42.23	40
3	56.30	50
4	70.13	65
5	84.80	78

จากตารางที่ 4.1 พบว่าปริมาณสารละลายกรดเปอร์อะซิติกที่ใช้ มีผลต่อการสังเคราะห์ยางธรรมชาติอพอกซิไดซ์ กล่าวคือเมื่อปริมาณสารละลายกรดเปอร์อะซิติกเพิ่มขึ้น มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์โมลของหมู้อพอกไซด์ที่เกิดบนสาธโซโม่เลกุลของยางธรรมชาติ มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อใช้ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก 56.30 phr จะให้เปอร์เซ็นต์หมู้อพอกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล ตามที่ต้องการ

#### 4.1.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อยางที่ใช้ในการสังเคราะห์

จากการสังเคราะห์ยางธรรมชาติอโฟกไซค์ โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อยางเท่ากับ 15 30 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้อุณหภูมิของปฏิกิริยาที่เหมาะสมดังนี้ อุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ 10 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการปั่นกววน 300 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ในการปั่นกววนน้ำยาง หลังจากหยดสารละลายกรดเปอร์อะซิติกหมด 6 ชั่วโมง ความเข้มข้นของสารละลายกรดเปอร์อะซิติก 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และปริมาณสารละลายกรดเปอร์อะซิติกที่ใช้ในการสังเคราะห์ 56.30 ส่วนต่อยางร้อยละ พบว่าจะให้เปอร์เซ็นต์ของหม้ออโฟกไซค์ ที่เกิดบนสายโซ่โพลีเมอร์ของยางธรรมชาติ ดังแสดงในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 แสดงปริมาณของหม้ออโฟกไซค์ที่เกิดขึ้นบนสายโซ่โพลีเมอร์ของยางธรรมชาติ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อยาง ภายใต้อุณหภูมิของปฏิกิริยาที่เหมาะสม

ครั้งที่	ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%)	เปอร์เซ็นต์โพลีอโฟกไซค์ (%)
1	15	50
2	30	49
3	60	44

จากตารางที่ 4.2 พบว่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางข้นที่ใช้ในการสังเคราะห์มีผลต่อเปอร์เซ็นต์โพลีอโฟกไซค์ที่เกิดขึ้นบนสายโซ่โพลีเมอร์ของยางธรรมชาติ จากผลที่ได้ พบว่าปริมาณเนื้อยาง 15 และ 30 เปอร์เซ็นต์ จะให้เปอร์เซ็นต์หม้ออโฟกไซค์ใกล้เคียงกัน คือ 50 และ 49 เปอร์เซ็นต์โพลีเมอร์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าตามที่ต้องการ โดยไม่มีการเปิดวงอโฟกไซค์ และที่ปริมาณเนื้อยางมาก ๆ จะทำให้เกิดการเปิดวงให้สารประกอบไดออล และน้ำยางมักจะจับตัวเป็นก้อนในขณะที่ทำการทดลองอีกด้วย


#### 4.2 การวิเคราะห์ปริมาณของหมู่ฟังก์ชันในยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์

##### 4.2.1 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

จากการวิเคราะห์ยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์ที่สังเคราะห์ได้ ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เพื่อหาหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นบนสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ พบว่าเกิดสัญญาณขึ้นที่ 870 และ 1240  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นสัญญาณของหมู่ฟังก์ชันสเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์ แสดงอยู่ในภาคผนวก

##### 4.2.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์

จากการวิเคราะห์ยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์ด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ เพื่อหาปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นบนสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ และโครงสร้างของยางที่สังเคราะห์ได้ พบว่าสัญญาณที่เกิดขึ้นเป็นดังต่อไปนี้

Chemical shift	Functional groups
1.29	$\text{CH}_3-\text{CO}$
1.68	$\text{CH}_2-\text{C}=\text{C}$
2.70	$\text{CH}-\text{C}$ 
5.05	$\text{CH}=\text{C}$
7.26	$\text{CHCl}$

สเปกตรัม  $^1\text{H NMR}$  ของยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์ แสดงไว้ในภาคผนวก

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของหมู่ฟังก์ชันบนสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ

$$\text{เปอร์เซ็นต์หมู่ฟังก์ชัน} = \frac{\text{อินทิเกรตที่ตำแหน่ง 2.70}}{\text{ผลรวมอินทิเกรตที่ตำแหน่งที่ตำแหน่ง 2.70 และ 5.05}} \times 100$$

#### 4.2.3 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ

จากการวิเคราะห์ทางธรรมชาติของออกซิไดซ์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ เพื่อหาปริมาณ หมู่ไฮดรอกซิลที่เกิดขึ้นบนสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ พบว่าได้ผลการวิเคราะห์ดัง แสดงในตาราง 4.3

ตาราง 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ของธาตุต่าง ๆ ในยางธรรมชาติออกซิไดซ์ เมื่อ วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ

ตัวอย่างที่	ปริมาณเนื้อยาง (%)	ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก (phr)	% C	% H
1	15	28.15	82.96	11.57
2	15	42.23	81.00	11.34
3	15	56.30	80.06	10.95
4	15	70.13	77.48	10.63
5	15	84.80	74.93	10.32
6	30	56.30	80.21	11.06
7	60	56.30	80.35	11.17

จากผลการวิเคราะห์จะทราบเปอร์เซ็นต์ของอะตอมคาร์บอน และเปอร์เซ็นต์ของ อะตอมไฮโดรเจนในโมเลกุลของยางธรรมชาติออกซิไดซ์ ดังนั้นสามารถหาเปอร์เซ็นต์ ของอะตอมออกซิเจนที่เหลือในโมเลกุลได้ จากการนำยางธรรมชาติซึ่งมีสูตรโมเลกุล ในสายโซ่โมเลกุลคือ  $(C_5H_8)_n$  มาทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน เมื่อเปลี่ยนให้เป็นยาง ธรรมชาติออกซิไดซ์ 100 เปอร์เซ็นต์โมล สายโซ่โมเลกุลที่เกิดขึ้นจะมีสูตร โมเลกุล คือ  $(C_5H_8O)_n$  ออกซิเจนอะตอมที่เพิ่มขึ้นในสายโซ่โมเลกุล ทำให้เกิดการ

เปลี่ยนไปเป็นยางธรรมชาติอิพอกซีไดซ์ 100 เปอร์เซ็นต์โมล ดังนั้นตัวอย่างยางธรรมชาติอิพอกซีไดซ์ ที่ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โมลของหมู่อิพอกไซด์ที่เกิดบนสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ ได้จากเปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนอะตอมที่เพิ่มขึ้นในสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ

การคำนวณ

ยางธรรมชาติ (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>)<sub>n</sub>

น้ำหนักของหน่วยย่อย (repeating unit) = 68

จะมี % อะตอมคาร์บอน = 88.235 %

% อะตอมไฮโดรเจน = 11.764 %

ยางธรรมชาติอิพอกซีไดซ์ 100 เปอร์เซ็นต์โมล (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>O)<sub>n</sub>

น้ำหนักของหน่วยย่อย (repeating unit) = 84

จะมี % อะตอมคาร์บอน = 71.428 %

% อะตอมไฮโดรเจน = 9.523 %

และ % อะตอมออกซิเจน = 19.048 %

เปอร์เซ็นต์ของอะตอมออกซิเจนที่เปลี่ยนแปลงไป 19.048 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์โมลของหมู่อิพอกไซด์ไป 100 เปอร์เซ็นต์โมล

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์โหมลของยางธรรมชาติอ็อกซิไดซ์ที่สังเคราะห์ได้ จะแสดงค่าได้

#### ตาราง 4.4

ตาราง 4.4 แสดงปริมาณของหม้ออ็อกซิไดซ์ที่เกิดขึ้นบนสายโซโหมลของยางธรรมชาติ เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ

ตัวอย่างที่	% O	เปอร์เซ็นต์โหมลหม้ออ็อกซิไดซ์
1	5.47	28.72
2	7.06	40.21
3	8.99	47.20
4	11.89	62.42
5	14.75	77.44
6	8.73	45.83
7	8.48	44.52

#### 4.3 การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติอ็อกซิไดซ์

เมื่อทำการศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยางธรรมชาติอ็อกซิไดซ์ พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการทำคริมใช้เวลาานมาก สำหรับการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการระเหยน้ำออก พบว่าน้ำยางธรรมชาติอ็อกซิไดซ์จะเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองเนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ส่วนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการเหวี่ยงพบว่า เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากใช้น้ำน้อยและไม่ทำให้น้ำยางเปลี่ยนสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบสมบัติของน้ำยางธรรมชาติพอกซีไคซ์ 50 เปอร์เซนต์โมล

เมื่อนำน้ำยางธรรมชาติพอกซีไคซ์ที่สังเคราะห์ได้มาทดสอบ พบว่าน้ำยางที่ได้มีสมบัติต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตาราง 4.5

ตาราง 4.5 แสดงสมบัติของน้ำยางธรรมชาติพอกซีไคซ์ 50 เปอร์เซนต์โมล

สมบัติของยางธรรมชาติพอกซีไคซ์ 50 เปอร์เซนต์โมล	ค่าที่ได้
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (เปอร์เซนต์)	60.23
ปริมาณเนื้อยางแห้ง (เปอร์เซนต์)	58.95
ค่าความหนืด ที่ 30 องศาเซลเซียส (เซ็นติพอยส์)	126.00
ค่าความหนืดแบบ Mooney (ML 1+4 , 100 °C)	76.00

4.5 การศึกษาสมบัติในการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติพอกซีไคซ์ระหว่างยางผสมสูตรที่ยังไม่วัลคาไนซ์กับวัสดุต่าง ๆ

โครงการพิเศษนี้ จะทำการศึกษาการใช้น้ำยางธรรมชาติพอกซีไคซ์ทำหน้าที่เป็นสารยึดติดและเป็นน้ำยาล้างผิวสำหรับปรับปรุงสภาพผิวของวัสดุที่จะทำการยึดติด โดยจะศึกษาการยึดติดระหว่างยางผสมสูตรที่ยังไม่วัลคาไนซ์ กับ ฝ้ายย้อมสีสะท้อนแสง ฝ้ายลอนหนังแท้ ฝ้ายย้อมสี และหนังเทียมพีวีซี จากการศึกษาสามารถแสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 4.6 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.6 แสดงสมบัติในการยึดติดโดยใช้น้ำยางธรรมชาติฟอกซีไคซ์เป็นน้ำยาล้างผิว  
วัสดุส่วนบนของร่องเท้า

วัสดุที่ทดสอบ		ค่าความแข็งแรงในการยึดติด (กิโลกรัมต่อเซนติเมตร)		
วัสดุส่วนพื้น	วัสดุส่วนบนร่องเท้า	ENR-28	ENR-50	ENR-78
ยางผสมสูตรที่ยัง ไม่วัลคาไนซ์ (unvulcanised rubber)	ผ้าฝ้ายสีสะท้อนแสง	2.16	3.39	3.29
	ผ้าไนลอน	1.37	2.46	2.10
	ผ้าฝ้ายอ้อมสี	1.95	3.13	2.95
	ผ้าฝ้ายสีขาว	1.95	1.90	1.76
	หนังแท้	1.83	3.01	2.83
	หนังเทียมพีวีซี	1.26	1.20	1.04
ยางวัลคาไนซ์ (vulcanised rubber)	ผ้าฝ้ายสีสะท้อนแสง	0.73	1.21	1.06
	ผ้าไนลอน	0.58	1.04	0.80
	ผ้าฝ้ายอ้อมสี	0.50	0.89	0.73
	ผ้าฝ้ายสีขาว	0.46	0.43	0.36
	หนังแท้	0.47	0.82	0.61
	หนังเทียมพีวีซี	0.32	0.27	0.20

ENR-28 คือ น้ำยางธรรมชาติฟอกซีไคซ์ 28 เปอร์เซ็นต์โมล

ENR-50 คือ น้ำยางธรรมชาติฟอกซีไคซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล

ENR-79 คือ น้ำยางธรรมชาติฟอกซีไคซ์ 78 เปอร์เซ็นต์โมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงสมบัติในการยึดติดของน้ำยางอพอกซิไดซ์ที่ใช้เป็นสารยึดติดบนวัสดุ  
ส่วนบนของรองเท้า

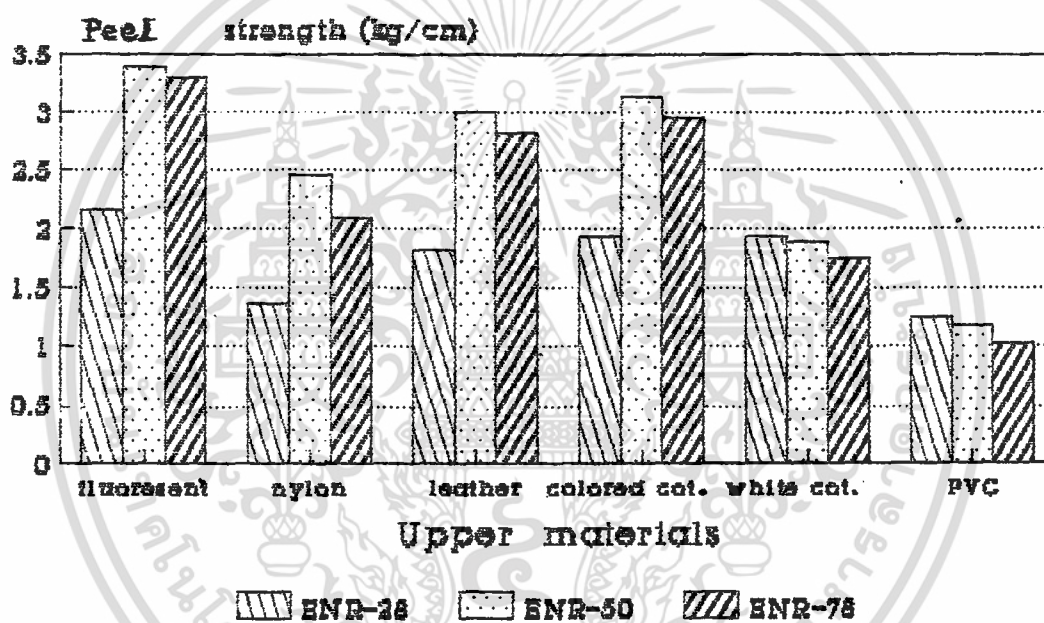
วัสดุที่ทดสอบ		ค่าความแข็งแรงในการยึดติด (กิโลกรัมต่อเซนติเมตร)		
วัสดุส่วนพื้น	วัสดุส่วนบนของรองเท้า	ENR-28	ENR-50	ENR-78
ยางผสมสูตรที่ยัง ไม่วัลคาไนซ์ (unvulcanised rubber)	ผ้าฝ้ายสีสะท้อนแสง	2.14	2.51	2.23
	ผ้าไนลอน	1.73	2.28	1.91
	ผ้าฝ้ายย้อมสี	1.23	1.96	1.96
	ผ้าฝ้ายสีขาว	1.95	1.90	1.76
	หนังแท้	1.02	1.82	1.65
	หนังเทียมพีวีซี	0.48	0.44	0.28
ยางวัลคาไนซ์ (vulcanised rubber)	ผ้าฝ้ายสีสะท้อนแสง	0.64	1.22	0.93
	ผ้าไนลอน	0.52	0.97	0.69
	ผ้าฝ้ายย้อมสี	0.41	0.84	0.62
	ผ้าฝ้ายสีขาว	0.48	0.39	0.23
	หนังแท้	0.37	0.75	0.50
	หนังเทียมพีวีซี	0.30	0.23	0.20

ตารางที่ 4.8 แสดงสมบัติในการยึดติดของน้ำยางอิมัลชันที่ใช้เป็นสารยึดติดบนวัสดุทั้งสองชั้น

วัสดุที่ทดสอบ		ค่าความแข็งแรงในการยึดติด (กิโลกรัมต่อเซนติเมตร)		
วัสดุส่วนพื้น	วัสดุส่วนบนของพื้นรองเท้า	ENR-28	ENR-50	ENR-78
ยางผสมสูตรที่ยัง ไม่วัลคาไนซ์ (unvulcanised rubber)	ผ้าฝ้ายสีสะท้อนแสง	2.28	3.49	3.34
	ผ้าไนลอน	1.49	2.50	2.16
	ผ้าฝ้ายย้อมสี	1.90	3.10	2.37
	ผ้าฝ้ายสีขาว	1.87	1.74	0.98
	หนังแท้	1.90	3.32	1.82
	หนังเทียมพีวีซี	0.52	0.46	0.34
ยางวัลคาไนซ์ (vulcanised rubber)	ผ้าฝ้ายสีสะท้อนแสง	0.82	1.18	1.13
	ผ้าไนลอน	0.64	1.05	0.92
	ผ้าฝ้ายย้อมสี	0.49	1.00	0.75
	ผ้าฝ้ายสีขาว	0.54	0.47	0.31
	หนังแท้	0.43	1.00	0.70
	หนังเทียมพีวีซี	0.36	0.33	0.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Peel Strength ENR as Upper Materials Primer



white cot. = white cotton  
 colored cot. = colored cotton

รูปที่ 4.1 แสดงค่าความแข็งแรงในการยึดติดของน้ำยาางกรรมชาติอิพอกซีไคซ์ที่ใช้เป็นน้ำยาล้างผิววัสดุส่วนบนของรองเท้า

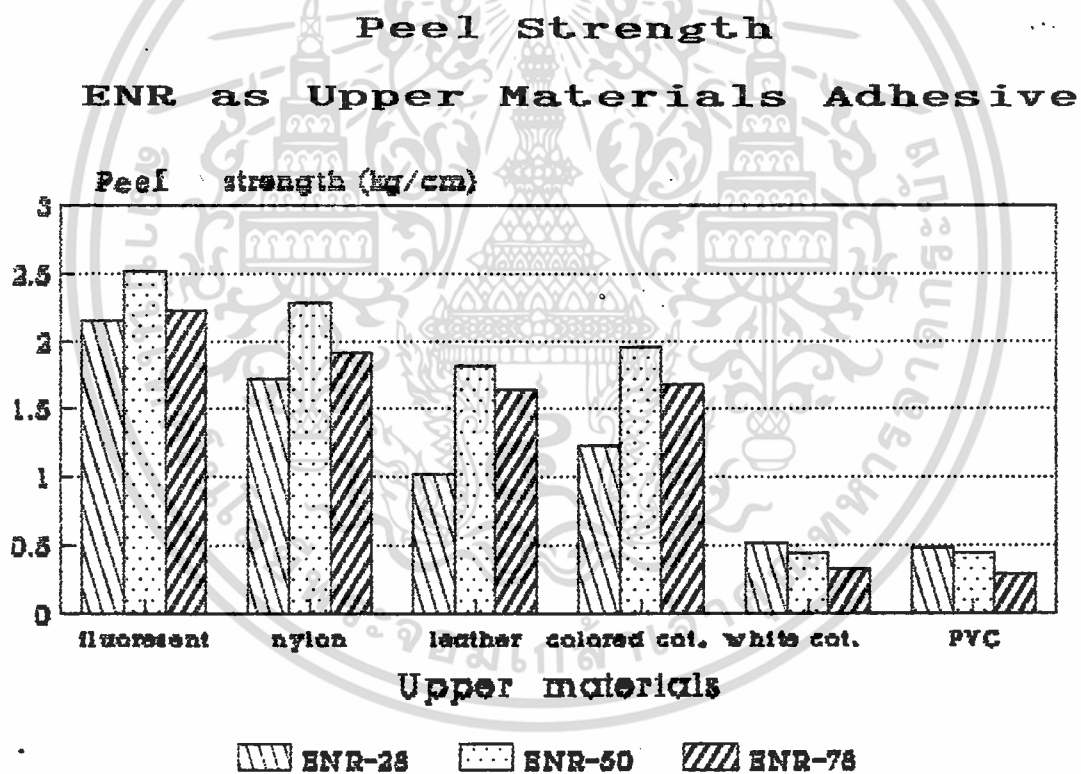
จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงการใช้น้ำยางธรรมชาติอพอกซิไคซ์ที่สังเคราะห์ได้ เป็นน้ำยาล้างผิว พบว่าน้ำยางธรรมชาติอพอกซิไคซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล จะใช้เป็นน้ำยาล้างผิวที่ดีที่สุด สำหรับการยึดติดระหว่างยางผสมสูตรที่ยังไม่วัลคาไนซ์กับผ้าฝ้ายสีสะท้อนแสง ผ้าฝ้ายย้อมสี หนึ่งแก็ และผ้าไนลอน แต่ทำการยึดติดไม่ได้สำหรับผ้าฝ้ายสีขาวและหนึ่งแก็ทึมพีวีซี เนื่องจากน้ำยางธรรมชาติอพอกซิไคซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล จะมีสภาพที่เป็นขีวอยู่ประมาณครึ่งหนึ่งของสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ จึงสามารถที่จะถูกดูดซับเข้าไปได้ดีในวัสดุที่เป็นผ้าฝ้ายสีสะท้อนแสง ผ้าไนลอน ผ้าฝ้ายย้อมสีและหนึ่งแก็ตามลำดับ เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีขีวและปรับสภาพผิวแล้ว เมื่อยางธรรมชาติอพอกซิไคซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมลเกิดการแข็งตัว ด้านที่มีขีวก็จะเกิดแรงดึงคู่ระหว่างโมเลกุลกับวัสดุ ส่วนด้านที่ไม่มีขีวจะเกิดแรงดึงคู่ระหว่างโมเลกุลกับกาวยางผสมสูตร ซึ่งสามารถละลายซึ่งกันและกันได้ ทำให้โครงสร้างโมเลกุลเชื่อมติดกัน หรืออาจจะเนื่องจากยางธรรมชาติอพอกซิไคซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมลซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ และวัสดุที่นำมายึดติดสามารถละลายซึ่งกันและกันได้ ทำให้เกิดการแพร่ซึมบนวัสดุที่นำมายึดติดและกาวยางผสมสูตรเพิ่มมากขึ้น จึงมีผลทำให้ความแข็งแรงในการยึดติดเพิ่มมากขึ้นด้วย

เมื่อใช้น้ำยางธรรมชาติอพอกซิไคซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมลเป็นน้ำยาล้างผิวจะมีสมบัติดีกว่ายางธรรมชาติอพอกซิไคซ์ 28 เปอร์เซ็นต์โมล และ 78 เปอร์เซ็นต์โมล เนื่องจากยางธรรมชาติอพอกซิไคซ์ 28 เปอร์เซ็นต์โมลมีส่วนที่มีขีวน้อยบนสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ ดังนั้นจึงมีความสามารถในการยึดติดกับวัสดุที่มีขีวและปรับสภาพผิวน้อยกว่าการใช้ยางธรรมชาติอพอกซิไคซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล และ 78 เปอร์เซ็นต์โมล ดังนั้นจึงให้ค่าความแข็งแรงในการยึดติดต่ำ และการที่ยางธรรมชาติอพอกซิไคซ์ 78 เปอร์เซ็นต์โมล เป็นโมเลกุลที่มีขีวมากจึงทำให้ยึดติดกับกาวยางผสมสูตรซึ่งมีสมบัติไม่มีขีว จึงให้สมบัติในการยึดติดต่ำ จากเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการทดสอบสมบัติในการยึดติดโดยดูจากผิวของวัสดุจะพบว่ายางธรรมชาติอพอกซิไคซ์ 28 เปอร์เซ็นต์โมลจะยึดเกาะกับผิวของยางผสมสูตรได้ดี และยางธรรมชาติอพอกซิไคซ์ 78 เปอร์เซ็นต์โมล จะยึดเกาะกับ ผ้าฝ้ายสีสะท้อนแสง ผ้าไนลอน ผ้าฝ้ายย้อมสี และ หนึ่งแก็ ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำยางธรรมชาติอียพอกซีไดซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โพลีมีสมบัติในการยึดติดกับผิวของ  
 ผ้าฝ้ายสีขาวและหนังเทียมพีวีซีได้ไม่ดี เนื่องจากผ้าฝ้ายสีขาวเป็นผ้าที่ยังไม่ได้ปรับสภาพผิว  
 จึงยึดติดกับยางธรรมชาติอียพอกซีไดซ์ได้ไม่ดี ส่วนหนังเทียมพีวีซีเป็นวัสดุที่ทำการยึดติดได้  
 ยากในการผลิตรองเท้าระบบร้อน

การยึดติดวัสดุต่างชนิดกันในอุตสาหกรรมรองเท้าระบบร้อนจะใช้กาวสองชนิด ซึ่ง  
 แต่ละชนิดจะทาลงบนวัสดุแต่ละชั้น ในโครงการพิเศษนี้ได้ทดลองใช้น้ำยางธรรมชาติ  
 อียพอกซีไดซ์เป็นสารยึดติดกับวัสดุส่วนบนของรองเท้า และใช้น้ำยางธรรมชาติที่มีปริมาณ  
 เนื้อยางแห้ง 60 เปอร์เซ็นต์ ช่วยในการยึดติดกับยางพรมสูตร ผลการทดสอบสามารถ  
 แสดงได้ดังรูปที่ 4.2



white cot. = white cotton  
 colored cot. = colored cotton

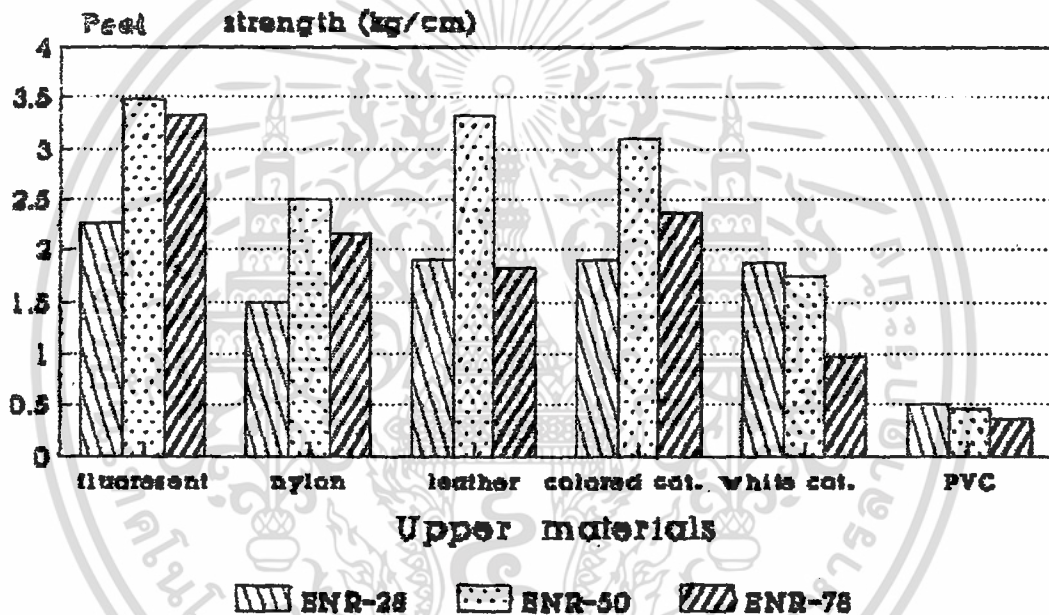
รูปที่ 4.2 แสดงค่าความแข็งแรงในการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติอียพอกซีไดซ์ ที่  
 ใช้เป็นสารยึดติดบนวัสดุส่วนบนของรองเท้า

จากรูปที่ 4.2 พบว่ายางธรรมชาติฟอกซีไคซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล สามารถใช้เป็นสารยึดติดที่ดีที่สุดบนวัสดุส่วนบนของรองเท้า เช่น ฝ่าฝ้ายสีสะท้อนแสง ฝ่าในลอน ฝ่าฝ้ายย้อมสี และหนังแท้ได้ดี เนื่องจากยางธรรมชาติฟอกซีไคซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล มีชีวมากกว่ายางธรรมชาติฟอกซีไคซ์ 28 เปอร์เซ็นต์โมล ส่วนยางธรรมชาติฟอกซีไคซ์ 78 เปอร์เซ็นต์โมล ซึ่งจะมีสภาพชีวมากกว่ายางธรรมชาติฟอกซีไคซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล แต่จะให้ค่าการยึดติดที่ต่ำกว่า เนื่องจากไม่มีความสามารถในการยึดติดกับยางผสมสูตรที่ยังไม่วัลคาไนซ์ จึงทำให้ค่าความแข็งแรงในการยึดติดต่ำกว่า โดยสามารถสังเกตได้จากยางธรรมชาติฟอกซีไคซ์ 78 เปอร์เซ็นต์โมลจะเกาะติดอยู่บนด้านวัสดุส่วนบนของรองเท้าเป็นส่วนใหญ่



ในการยึดติดระหว่างวัสดุต่างชนิดกัน มักนิยมใช้กาวสองชนิดด้วยกัน คือ กาวแต่ละชนิดจะใช้กับวัสดุแต่ละชั้น ในโครงการพิเศษนี้ได้ทดลองใช้น้ำยางธรรมชาติอ็อกซิไดซ์เป็นสารยึดติดบนวัสดุทั้งสองชั้น ผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3

### Peel Strength ENR as Adhesive



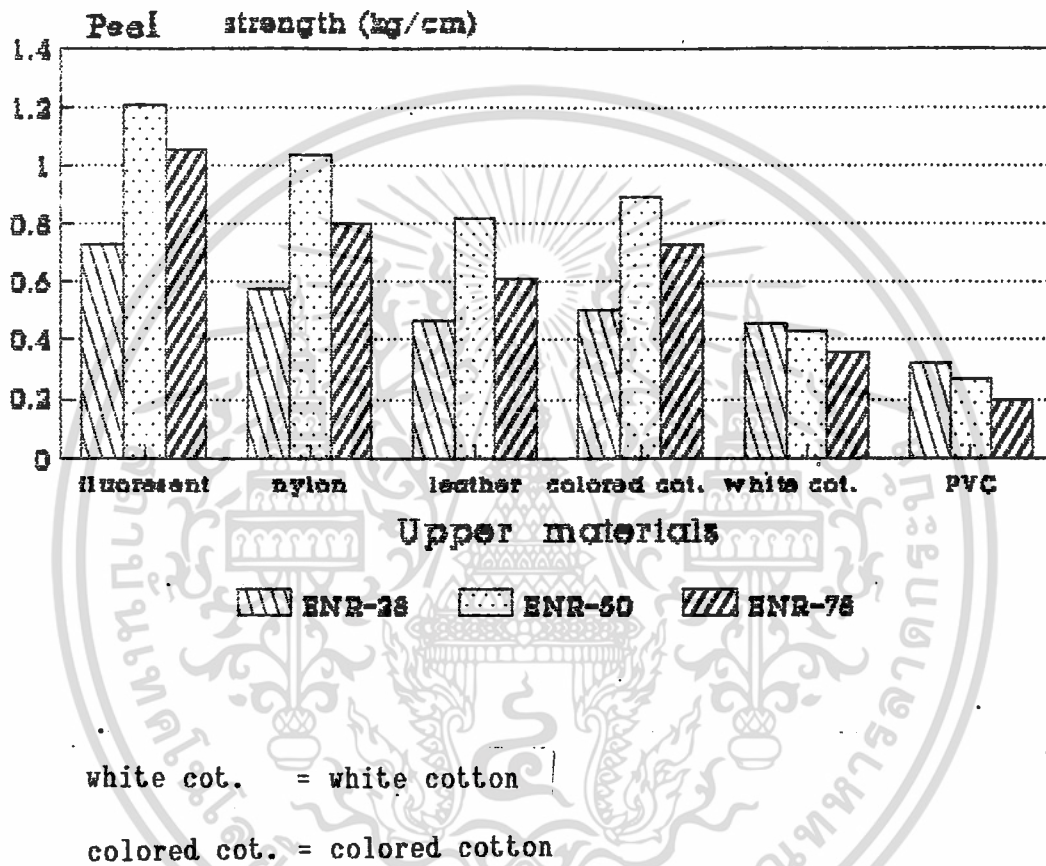
white cot. = white cotton  
colored cot. = colored cotton

รูปที่ 4.3 แสดงค่าความสามารถในการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติอ็อกซิไดซ์ที่ใช้เป็นสารยึดติดบนวัสดุทั้งสองชั้น

จากรูปที่ 4.3 พบว่า น้ำยางธรรมชาติอ็อกซีไดซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมลจะมีสมบัติ เป็นสารยึดติดที่ดีที่สุดสำหรับวัสดุทั้งสองชั้น วัสดุที่มีผิวและปรับสภาพผิวแล้ว เช่น ฟ้าฝ้าย ลีสะท่อนแสง ฟ้าฝ้ายย้อมสี ฟ้าไนลอน และหนังแท้ กับยางผสมสูตร เนื่องจากน้ำยาง ธรรมชาติอ็อกซีไดซ์- 50 เปอร์เซ็นต์โมล จะมีสภาพที่เป็นผิวเหมาะสมที่จะสามารถ เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลกับวัสดุทั้งสองชั้นได้ดีเท่า ๆ กัน จึงทำให้ค่าความแข็งแรง ในการยึดติดสูง ยางธรรมชาติอ็อกซีไดซ์ 28 เปอร์เซ็นต์โมล จะมีแรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุลกับโมเลกุลของวัสดุส่วนบนของรองเท้าต่ำ ส่วนยางธรรมชาติอ็อกซีไดซ์ 78 เปอร์เซ็นต์โมล จะมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลกับโมเลกุลของยางผสมสูตรต่ำ จึงทำให้ มีค่าความแข็งแรงในการยึดติดต่ำกว่ายางธรรมชาติอ็อกซีไดซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล

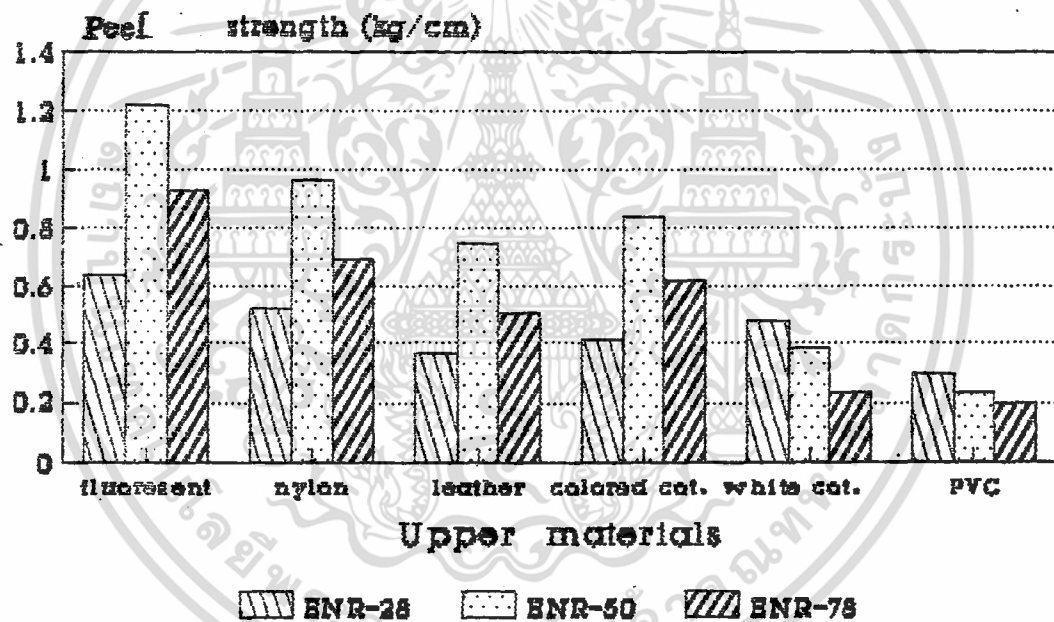
จากรูป 4.1 ถึง 4.3 พบว่า ยางธรรมชาติอ็อกซีไดซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล จะ สามารถใช้เป็นสารยึดติดกับวัสดุทั้งสองชั้นได้ดีที่สุดคือวัสดุที่ปรับสภาพผิวแล้วหรือวัสดุที่มีผิว กับยางผสมสูตรที่ยังไม่วัลคาไนซ์ เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติอ็อกซีไดซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล สามารถละลายได้ซึ่งกันและกันกับวัสดุทั้งสอง และมีโมเลกุลซ้อนทับกัน ระหว่างชั้นวัสดุมากที่สุด และสามารถใช้ออกซิไดซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล เป็นน้ำยาล้างผิวร่วมกับกาวยางผสมสูตร และน้ำยางธรรมชาติที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60 เปอร์เซ็นต์เป็นสารยึดติดได้ นอกจากนี้พบว่าน้ำยางธรรมชาติอ็อกซีไดซ์ 50 เปอร์เซ็นต์ โมลสามารถยึดติดได้ดีกับฟ้าฝ้ายลีสะท่อนแสง ฟ้าไนลอน ฟ้าฝ้ายย้อมสี และหนังแท้ ตามลำดับ

## Peel Strength ENR as Upper Materials Primer



รูปที่ 4.4 แสดงค่าความแข็งแรงในการยึดติดของน้ำยาฉาบกรรมชาติอ็อกซิไดซ์ที่ใช้เป็นน้ำยาล้างผิววัสดุส่วนบนของรองเท้า

**Peel Strength**  
**ENR as Upper Materials Adhesive**



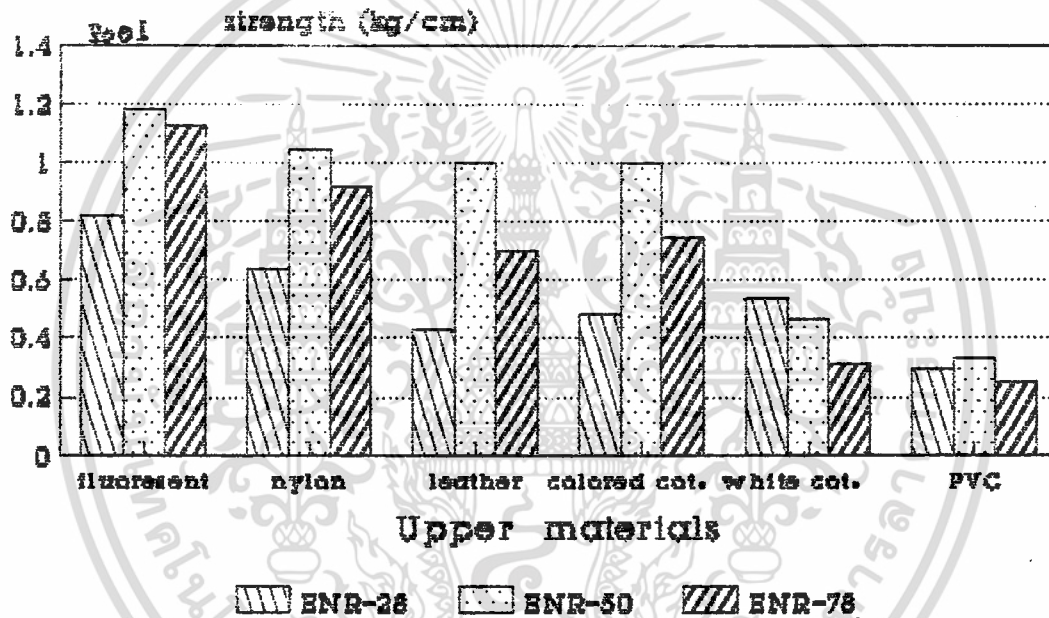
white cot. = white cotton

colored cot. = colored cotton

**รูปที่ 4.5 แสดงค่าความแข็งแรงในการยึดติดของน้ำยางธรรมชาติอ็อกซิไดซ์ที่ใช้  
เป็นสารยึดติดบนวัสดุส่วนบนของรองเท้า**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Peel Strength ENR as Adhesive



white cot. = white cotton

colored cot. = colored cotton

รูปที่ 4.6 แสดงค่าความแข็งแรงในการยึดติดของน้ำยาช่างธรรมชาติอ็อกซิไคซ์ที่ใช้เป็นสารยึดติดบนวัสดุทั้งสองชิ้น

จากรูปที่ 4.4 ถึง 4.6 แสดงให้เห็นว่าน้ำยางธรรมชาติอพกซิไดซ์ไม่เหมาะ  
ในการใช้งานเป็นสารยึดติดกับยางวัลคาไนซ์ เนื่องจากให้ค่าความแข็งแรงในการยึดติดต่ำ  
เนื่องจากยางวัลคาไนซ์มีการเชื่อมโยงโมเลกุลเรียบร้อยแล้ว จึงไม่สามารถละลายซึ่งกัน  
และกันกับโมเลกุลของยางธรรมชาติอพกซิไดซ์ ทำให้ไม่สามารถแพร่ซึมลงบนผิวของยาง  
วัลคาไนซ์ได้ ทำให้ไม่เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติอพกซิไดซ์ กับยาง  
วัลคาไนซ์

จากการทดลองพบว่า น้ำยางธรรมชาติอพกซิไดซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมลที่มีปริมาณ  
เนื้อยางแห้ง 60 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสมในการใช้งานเป็นสารยึดติดในอุตสาหกรรม  
ผลิตรองเท้าระบบร้อน ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหการยึดติดระหว่างผิววัสดุต่างชนิดกันหรือที่มี  
สภาพผิวที่ต่างกัน โดยที่น้ำยางธรรมชาติและกาวยางผสมสูตรที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ไม่  
สามารถยึดติดได้

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอนแนะ

#### 5.1 การศึกษาการสังเคราะห์ยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์

5.1.1 การสังเคราะห์ยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารละลายกรดเปอร์อะซิติก ในช่วง 28.15 - 84.8 ส่วนต่อขางร้อยละ พบว่าเมื่อใช้ปริมาณสารละลายกรดเปอร์อะซิติกเพิ่มขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์โมลของหมู่อิพอกไซด์บนสายโซ่โพลิเมอร์ของยางธรรมชาติมีค่าสูงขึ้น และปริมาณสารละลายกรดเปอร์อะซิติกที่เหมาะสมทำให้เกิดหมู่อิพอกไซด์บนสายโซ่โพลิเมอร์ของยางธรรมชาติ 50 เปอร์เซ็นต์โมลเพื่อที่จะนำไปใช้งานในการอัดฉีด เท่ากับ 56.30 ส่วนของขางร้อยละ

5.1.2 การสังเคราะห์ยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อขางเป็น 15 30 และ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณเนื้อขางที่เหมาะสมทำให้เกิดหมู่อิพอกไซด์บนสายโซ่โพลิเมอร์ของยางดีที่สุด คือ 30 เปอร์เซ็นต์

#### 5.2 การศึกษาสมบัติของน้ำยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมล (ENR-50)

ปริมาณของของแข็งทั้งหมด	60.23	เปอร์เซ็นต์
ปริมาณเนื้อขางแห้ง	58.95	เปอร์เซ็นต์
ความหนืด ที่ 30 องศาเซลเซียส	126.00	เซนติพอยส์
ความหนืดแบบ Mooney (ML 1+4 , 100 °C )	76.00	

#### 5.3 ความแข็งแรงในการอัดฉีดของยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์

จากการทดลองพบว่า ยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ 50 เปอร์เซ็นต์โมลใช้เป็นสารอัดฉีดระหว่างวัสดุต่างชนิดกันได้ดี และสามารถประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมรองเท้าระบบร้อนได้ดี โดยเฉพาะการอัดฉีดระหว่างยางผสมสูตรที่ยังไม่วัลคาไนซ์ กับผ้าฝ้าย ย้อมสีสะท้อนแสง ผ้าไนลอน ผ้าฝ้ายย้อมสี และหนังแท้ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นน้ำยาล้างผิวบนวัสดุส่วนบนของรองเท้าระบบร้อนได้อีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาสภาวะในการสังเคราะห์ทางธรรมชาติของพืชโดยใช้ โดยการศึกษาเพิ่มขนาดของการผลิต เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม
2. ควรทำการศึกษาสารเคมีชนิดอื่น ที่จะนำมาใช้แทนเมทานอลในการทำให้สังเคราะห์ทางธรรมชาติของพืช จีบตัวเป็นก้อน เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนในการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม
3. ควรทำการศึกษาการนำทางธรรมชาติของพืชที่สังเคราะห์ได้ ไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ ให้กว้างขวางยิ่งขึ้น





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ansell		PROCEDURE POLICY MANUAL		Title: 5.6.3	
PLANT : BANGKOK		SUBJECT : MATERIAL SPECIFICATION		Issued: 17.11.86	
		LATICES HIGH AMMONIA LATEX		Effective: 9.2.89	
				Page: 2 of 4	
 6/2/89 ORIGINATOR		Date Reissued: 3.2.89	Revision No.: # 3	Superseded: 25.1.89	
		 7/2/89 T.S.M.	 M.M.	 2/2/89 P.D.M.	

5.6.3

1.0 Purpose

To define the specification to be used for acceptance or rejection of high ammonia latex.

2.0 Equipment

N/A

3.0 Documentation

N/A

4.0 Procedure

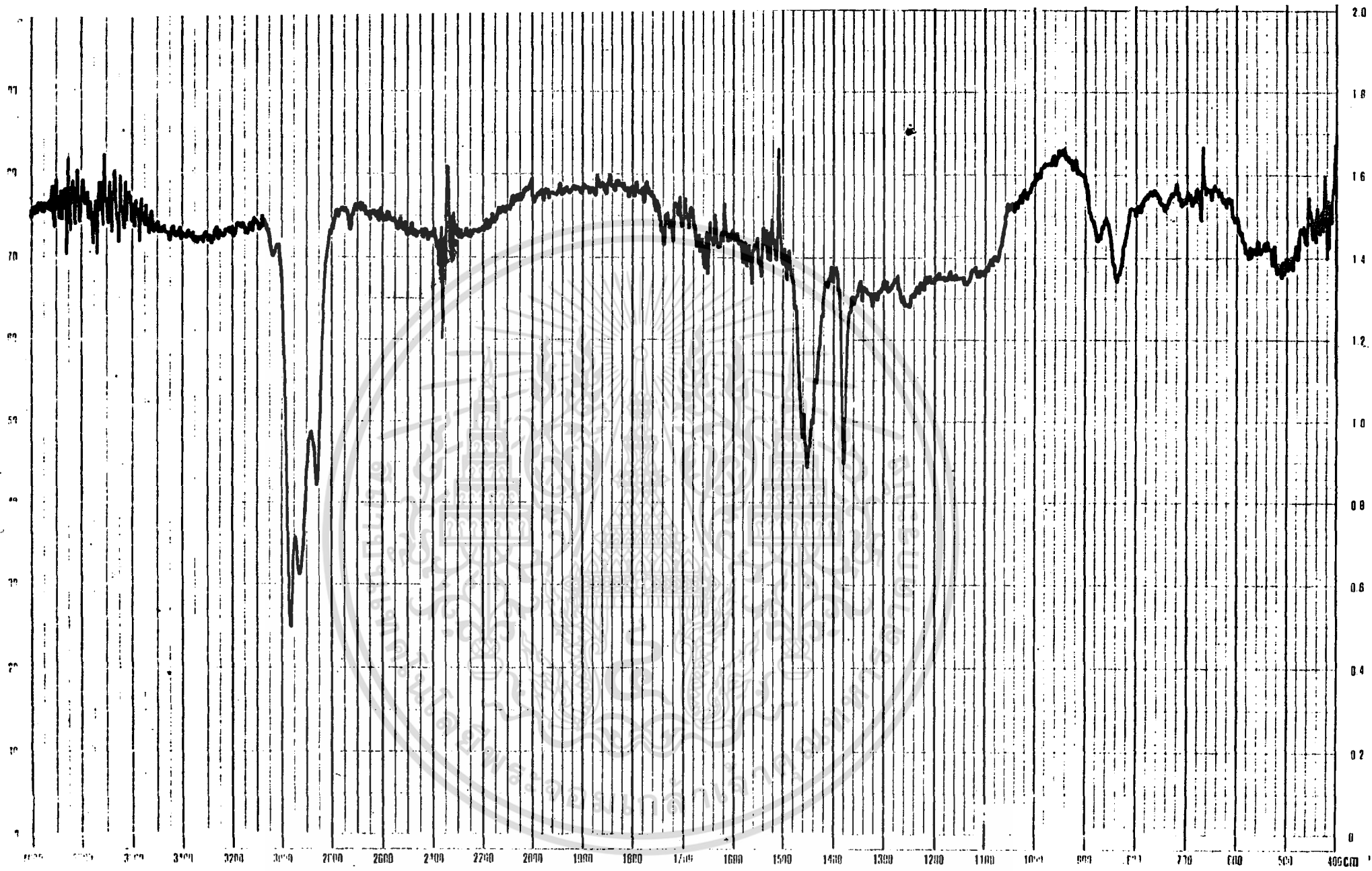
4.1 The following is the specification and limits for high ammonia latex.

Total Solids Content (%) minimum	61.50
Dry Rubber Content (%) minimum	60.00
Non Rubber Solids (%) maximum	2.00
Ammonia (%) of Latex	0.71 - 0.75
<del>MS</del> (seconds), minimum at 7 days	600 - 1000
Magnesium (p.p.m) on Latex, maximum	40
VFA, maximum	0.03
KOH Number, maximum	0.7
PHOSPHATE (p.p.m) on TSC, maximum	130
CST (ml)	2.3 - 3.8
Colour	No pronounced blue or gray.
Odour	No pronounced odour or put refaction.

สมบัติของน้ำยางชั้นชนิดปริมาณแอมโมเนียสูงที่ใช้ในการสังเคราะห์

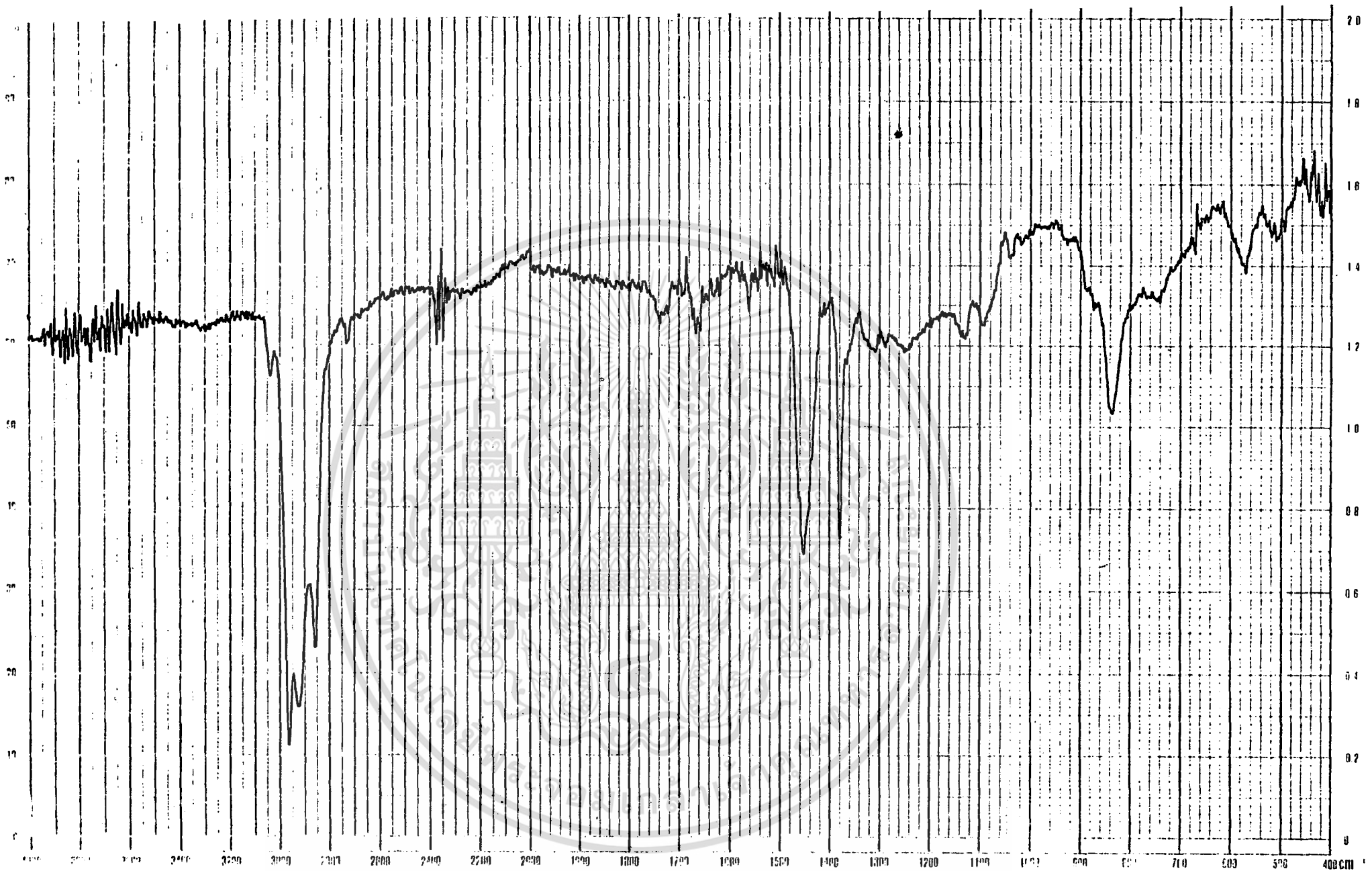
เอกสาร This document is the property of Ansell (Thailand) Ltd and any of its subsidiaries and the information contained therein is confidential. Persons receiving this document are to restrict disclosure except as absolutely necessary consistent with inter-office communication.   
 ไม่ควร This document is the property of Ansell (Thailand) Ltd and any of its subsidiaries and the information contained therein is confidential. Persons receiving this document are to restrict disclosure except as absolutely necessary consistent with inter-office communication.   
 เผยแพร่ This document is the property of Ansell (Thailand) Ltd and any of its subsidiaries and the information contained therein is confidential. Persons receiving this document are to restrict disclosure except as absolutely necessary consistent with inter-office communication.

๑๑



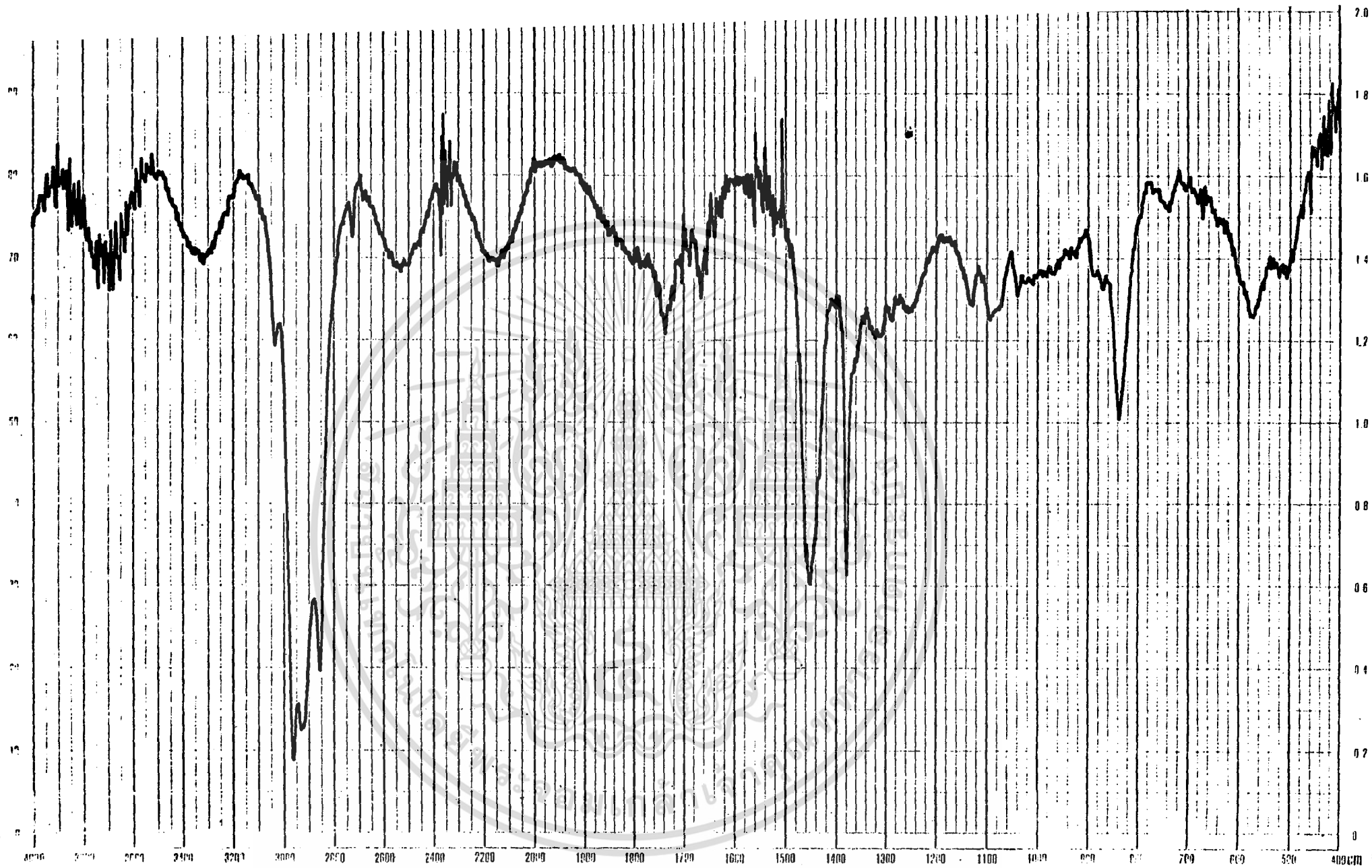
สเปกตรัมของยางธรรมชาติออกซิไดซ์ 27 เปอร์เซ็นต์โมลที่ได้จากเครื่องอินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก 28.15 phr

โดยใช้น้ำยางข้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15 เปอร์เซ็นต์ในการสังเคราะห์



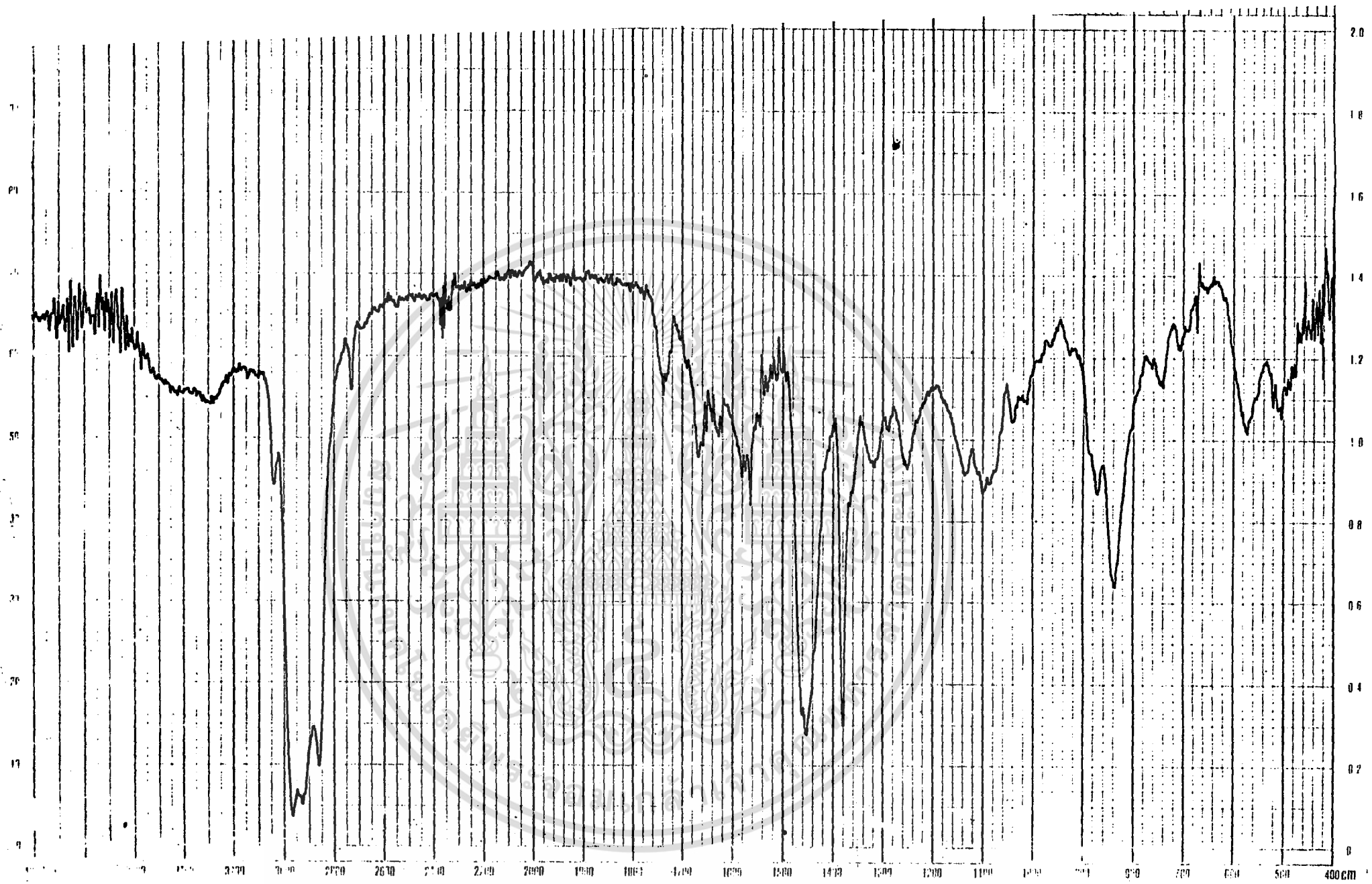
สเปกตรัมของยางธรรมชาติพอกซีไดซ์ 40 เปอร์เซ็นต์โมลที่ได้จากเครื่องอินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก 42.23 phr

โดยใช้น้ำยางชั้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15 เปอร์เซ็นต์ในการสังเคราะห์



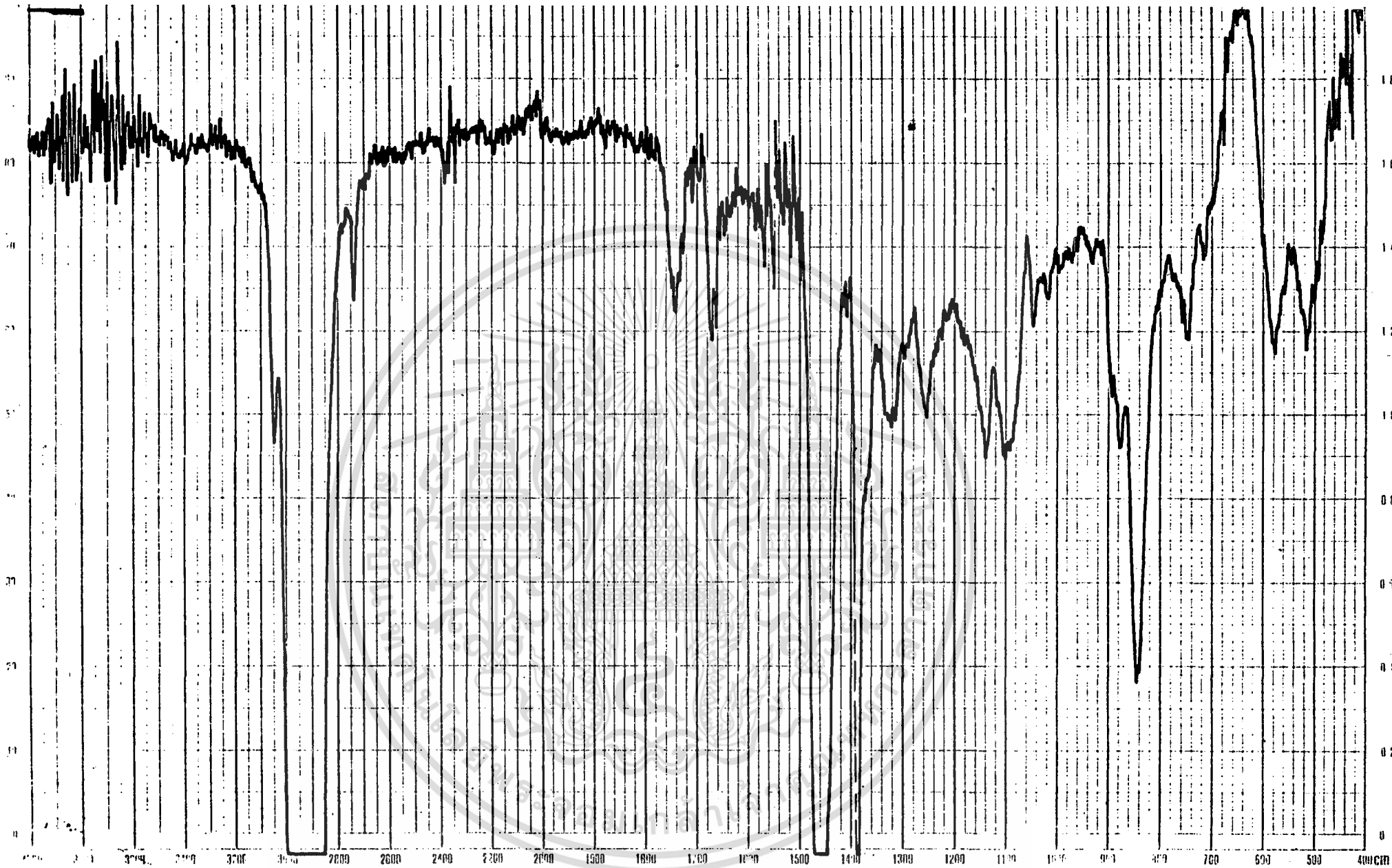
สเปกตรัมของทางธรรมชาติของขั้วไดร์ 50 เฮอร์เซ็นต์โมลที่ได้จากเครื่องอินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก 56.30 phr

โดยใช้น้ำยางชั้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15 เฮอร์เซ็นต์ในการสังเคราะห์



สเปกตรัมของยางธรรมชาติออกซิไดซ์ 65 เปอร์เซ็นต์โมลที่ได้จากเครื่องอินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก 70.13 phr

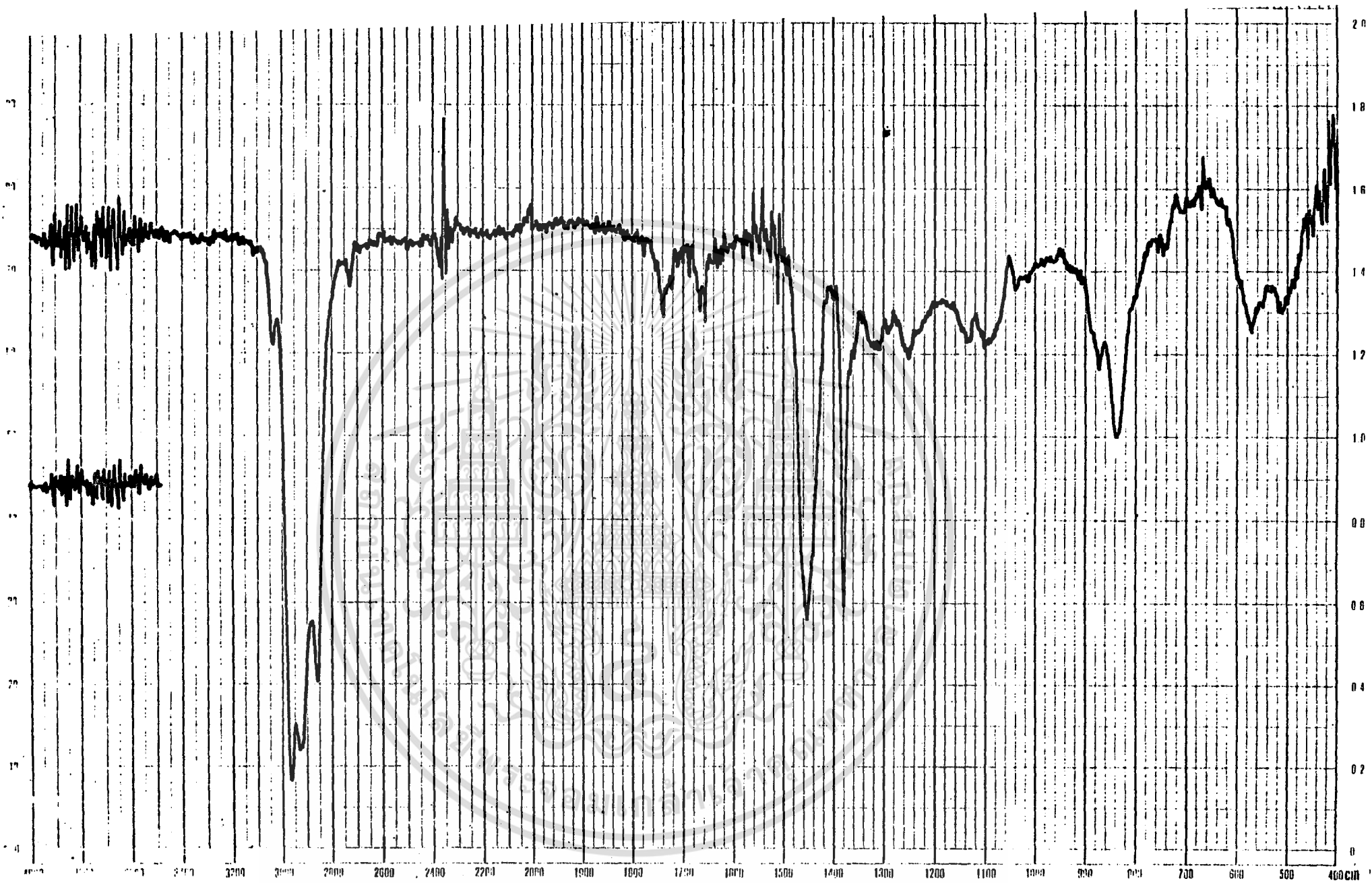
โดยใช้น้ำยางข้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15 เปอร์เซ็นต์ในการสังเคราะห์



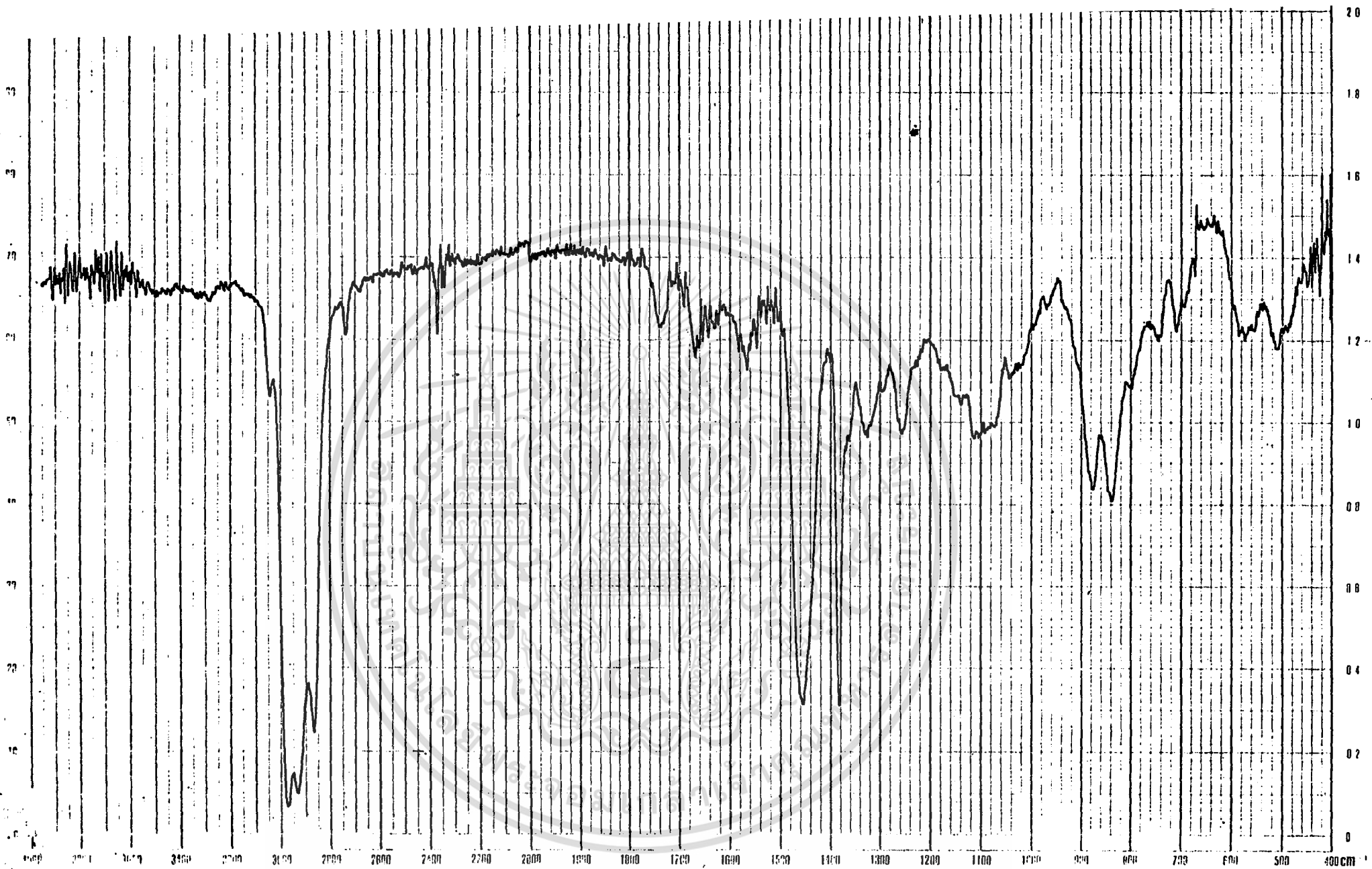
สเปกตรัมของยางธรรมชาติออกซิไดซ์ 78 เปอร์เซ็นต์โมล ที่ได้จากเครื่องอินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก 84.80 phr

โดยใช้น้ำยางข้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15 เปอร์เซ็นต์ในการสังเคราะห์

09

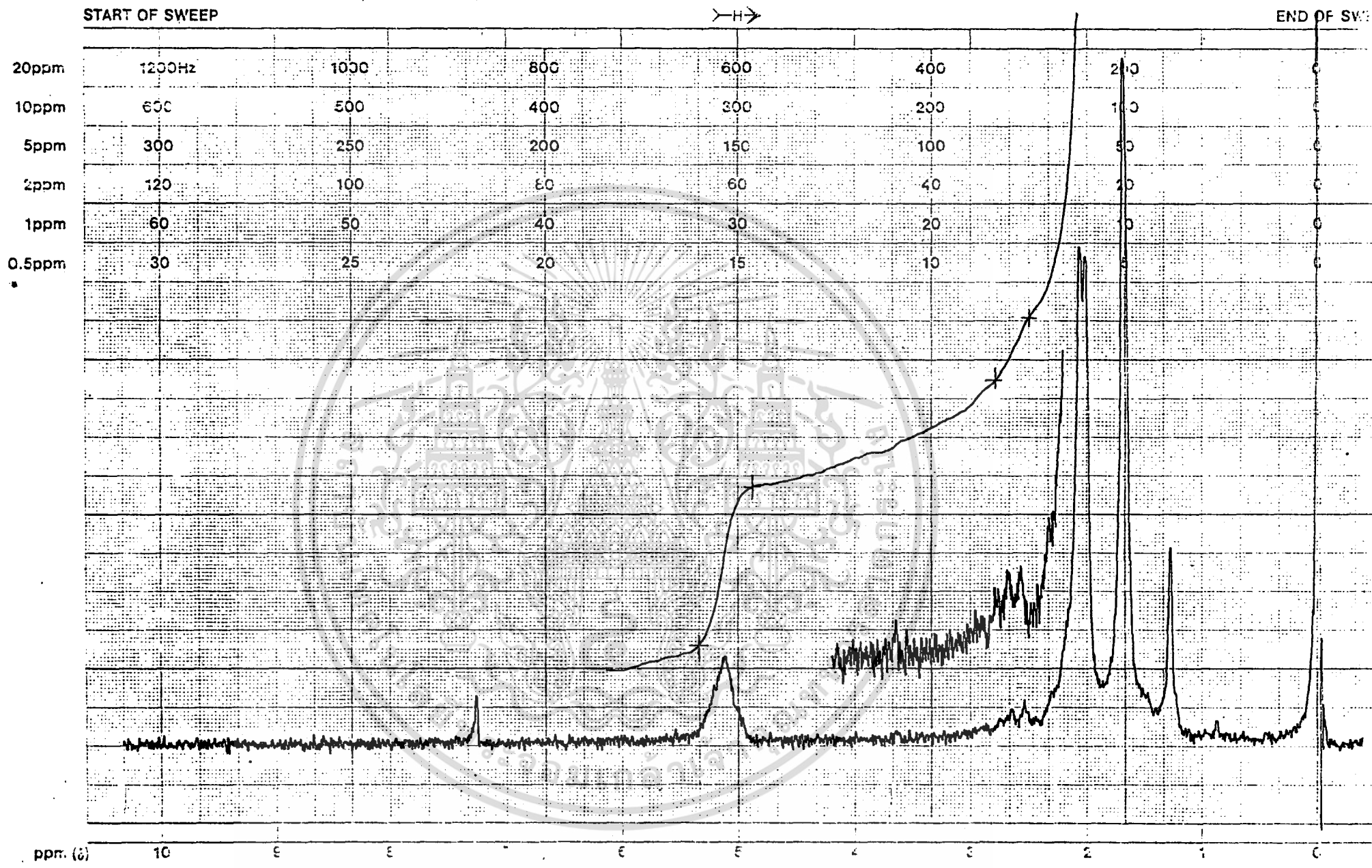


สเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกซิไดซ์ 49 เปอร์เซ็นต์โมล ที่ได้จากเครื่องอินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก 56.30 phr โดยใช้น้ำยางชั้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 30 เปอร์เซ็นต์ในการสังเคราะห์



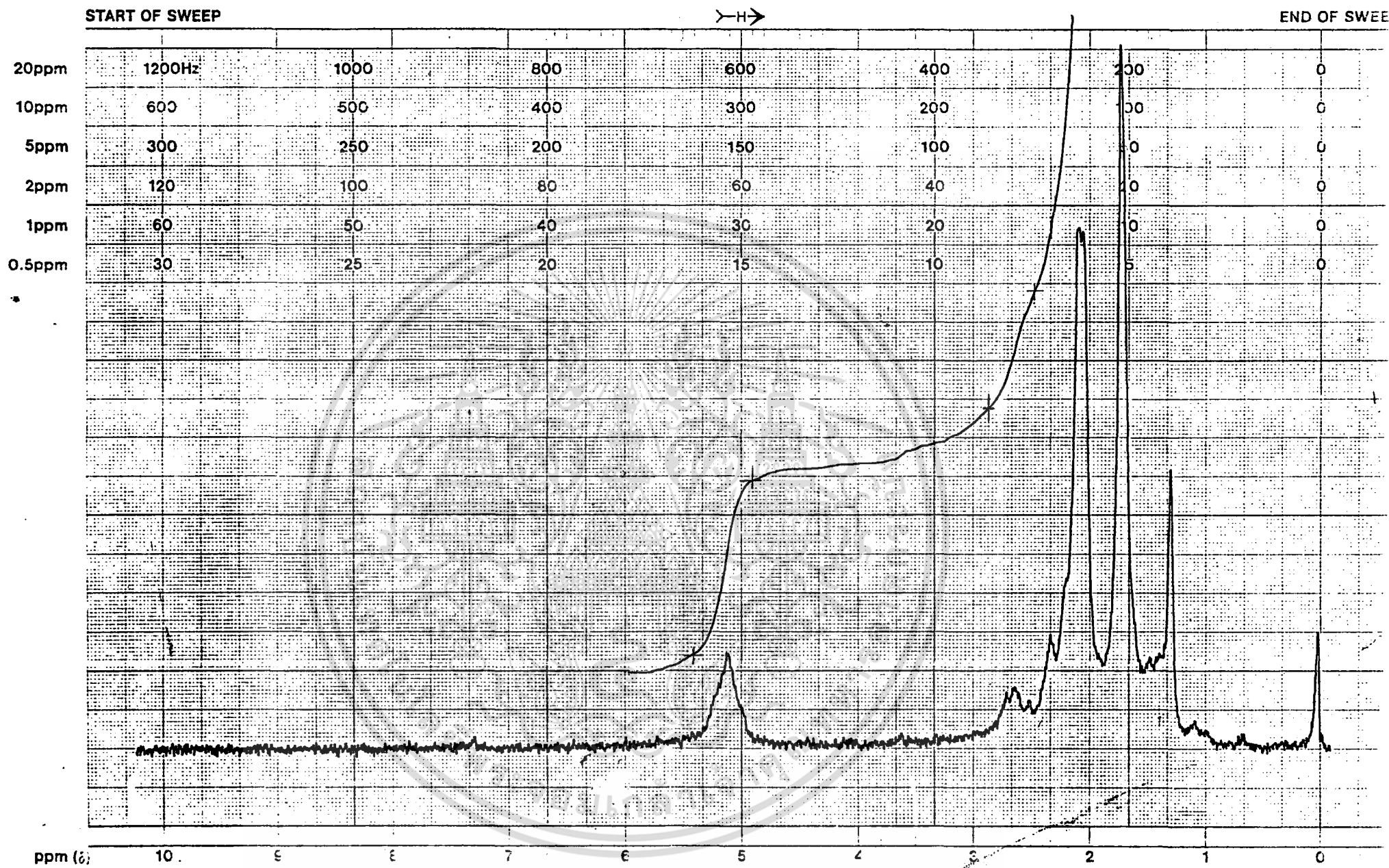
สเปกตรัมของยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ 44 เปอร์เซ็นต์โมลที่ได้จากเครื่องอินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก 56.30 phr

โดยใช้น้ำยางชั้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60 เปอร์เซ็นต์ในการสังเคราะห์



62

สเปกตรัมของสารธรรมชาติฟอกซีไดซ์ 27 เปอร์เซ็นต์โมล ที่ได้จากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ ที่ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก 28.15 phr โดยใช้น้ำอ่างชั้นที่มีปริมาณเนื้อสารแห้ง 15 เปอร์เซ็นต์ในการสังเคราะห์



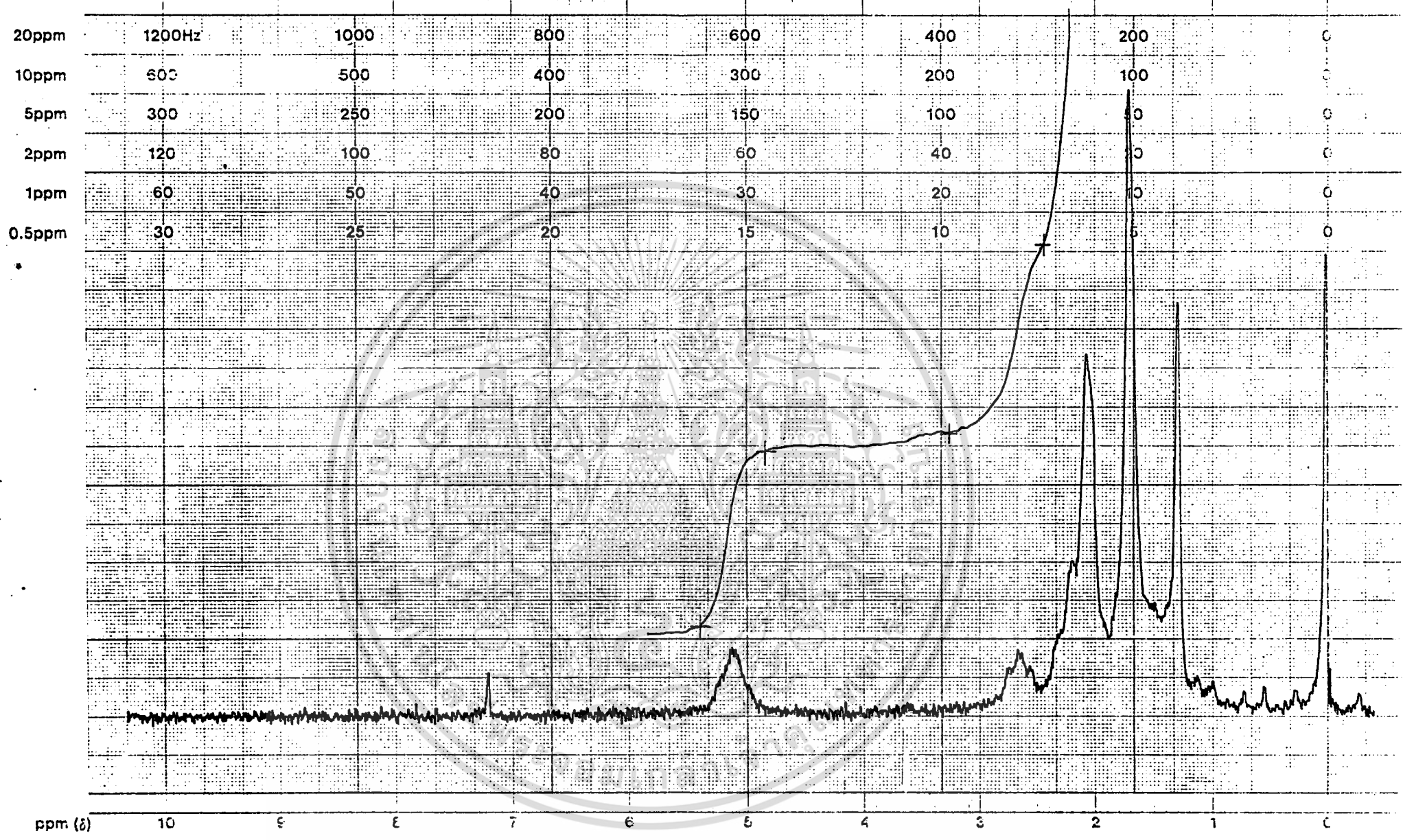
สเปกตรัมของสารพอลิแอลกอฮอล์ 40 เปอร์เซ็นต์โมลที่ได้จากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ ที่ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก 42.23 phr

โดยใช้น้ำสารชั้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15 เปอร์เซ็นต์ในการสังเคราะห์

START OF SWEEP

→H→

END OF SWEEP



64

สเปกตรัมของสารผสมซาติอโฟลชีโด้ 50 เปอร์เซ็นต์โมลที่ได้จากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ ที่ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก 56.30 phr โดยใช้น้ำยางชั้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15 เปอร์เซ็นต์ในการสังเคราะห์

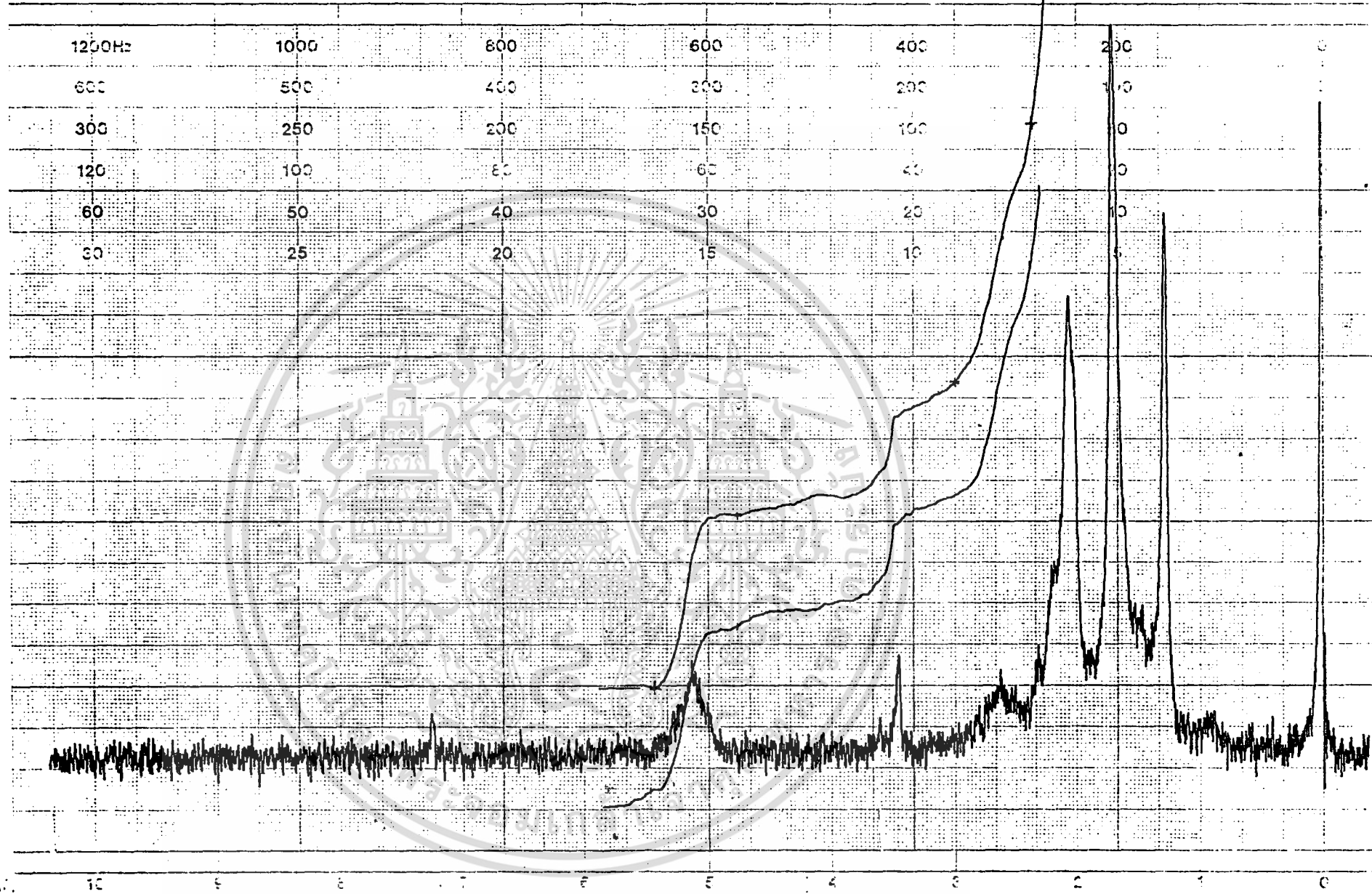
START OF SWEEP

→H→

END OF SWEEP

20ppm  
10ppm  
5ppm  
2ppm  
1ppm  
0.5ppm

1250Hz	1000	800	600	400	200
600	500	400	300	200	100
300	250	200	150	100	50
120	100	80	60	40	20
60	50	40	30	20	10
30	25	20	15	10	5

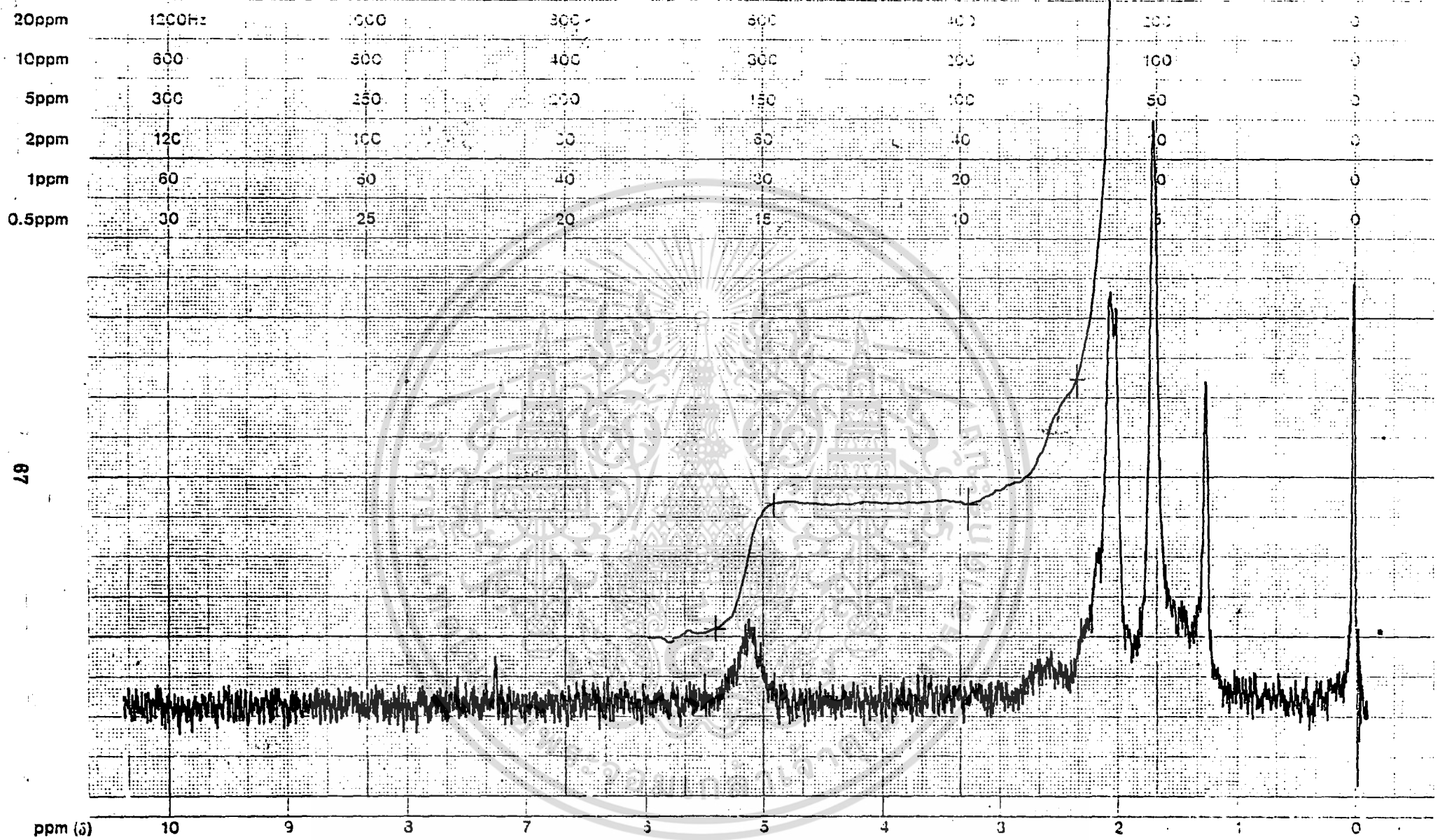


65

สเปกตรัมของยางธรรมชาติออกซิไดซ์ 65 เปอร์เซ็นต์โมลที่ได้จากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ ที่ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก 70.13 phr โดยใช้น้ำยางชั้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15 เปอร์เซ็นต์ในการสังเคราะห์

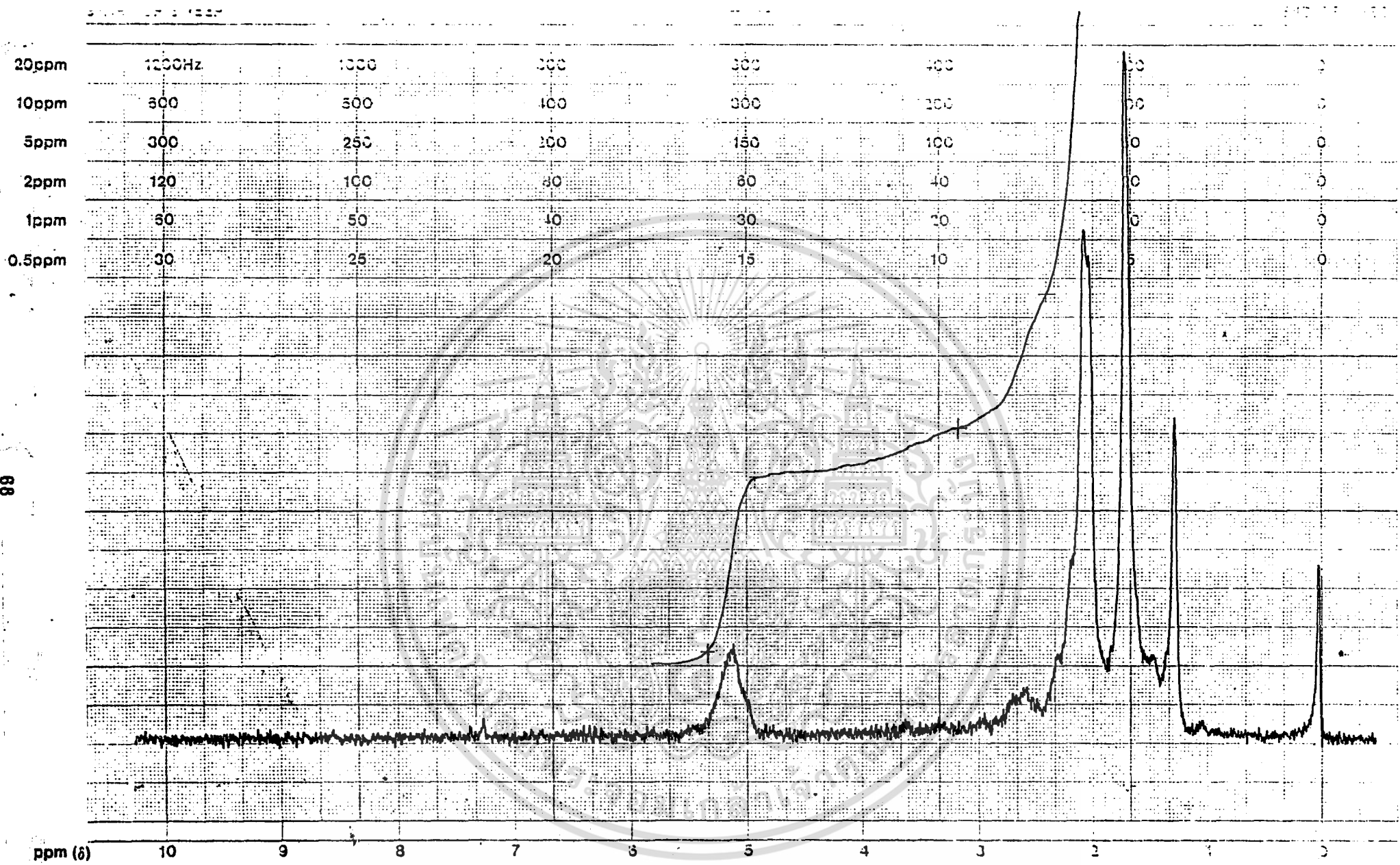


สเปกตรัมของของขรรณชาติเอทิลแอลกอฮอล์ 78 เปอร์เซ็นต์โมลที่ได้จากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ ที่ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก 84.80 phr โดยใช้น้ำยางชั้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15 เปอร์เซ็นต์ในการสังเคราะห์



87

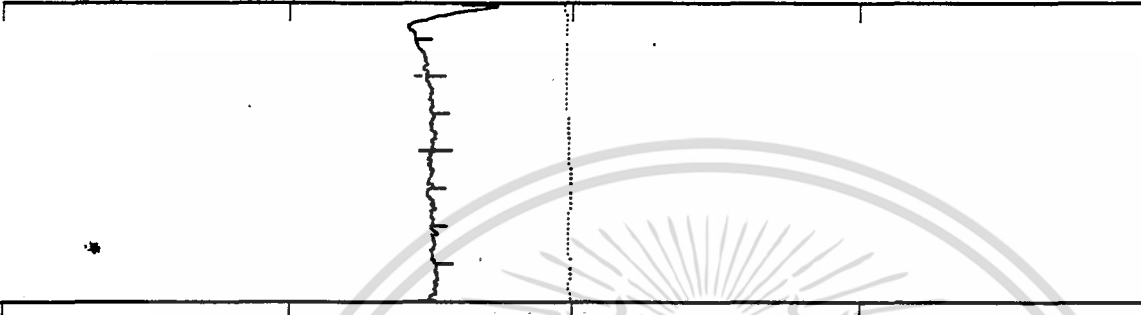
สเปกตรัมของสารธรรมชาติฟอกซีไดร์ 49 เปอร์เซ็นต์โมลที่ได้จากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ ที่ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก 56.30 phr โดยใช้ น้ำยางชั้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 30 เปอร์เซ็นต์ในการสังเคราะห์



สเปกตรัมของยางธรรมชาติออกซิไดซ์ 44 เปอร์เซนต์โมลที่ได้จากเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ ที่ปริมาณกรดเปอร์อะซิติก 56.30 phr โดยใช้น้ำยางชั้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60 เปอร์เซนต์ในการสังเคราะห์

SAMPLE NO. 999  
 DATE 1992 02 10(MON) 12:10  
 TEMPERATURE 100.0  
 MOONEY TIME 2.0 4.0 8.0  
 SCORCH VAL. 0.0 0.0 0.0  
 PREHEAT TIME 1.00 AFTER TIME 4.00  
 FULLSCALE 200 CHART SPEED 5.0

0 50 100 150 200DEG  
 0 50 100 150 200M



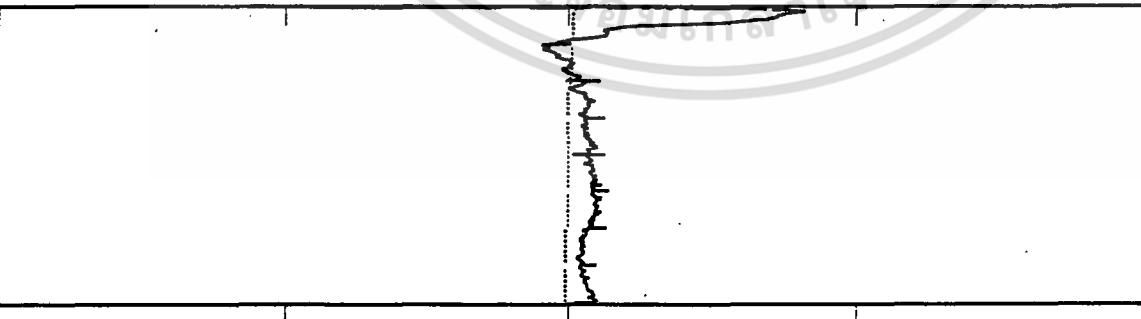
DATE 1992 02 10(MON) 12:14  
 SAMPLE NO. 999

TEMPERATURE 99.7  
 MOONEY VALUE 74.8 75.9 75.8

กราฟของยางธรรมชาติฟลอกซีไคซ์ 50 เปอร์เซนต์โมลที่ได้จากเครื่องวัดความหนืดแบบ Mooney

SAMPLE NO. 999  
 DATE 1992 02 10(MON) 12:36  
 TEMPERATURE 100.0  
 MOONEY TIME 2.0 4.0 8.0  
 SCORCH VAL. 0.0 0.0 0.0  
 PREHEAT TIME 1.00 AFTER TIME 4.00  
 FULLSCALE 200 CHART SPEED 5.0

0 50 100 150 200DEG  
 0 50 100 150 200M



DATE 1992 02 10(MON) 12:39  
 SAMPLE NO. 999

TEMPERATURE 99.9  
 MOONEY VALUE 102.7 103.8 104.2

กราฟของยางธรรมชาติที่ได้จากเครื่องวัดความหนืดแบบ Mooney

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ใดๆ ทั้งสิ้นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

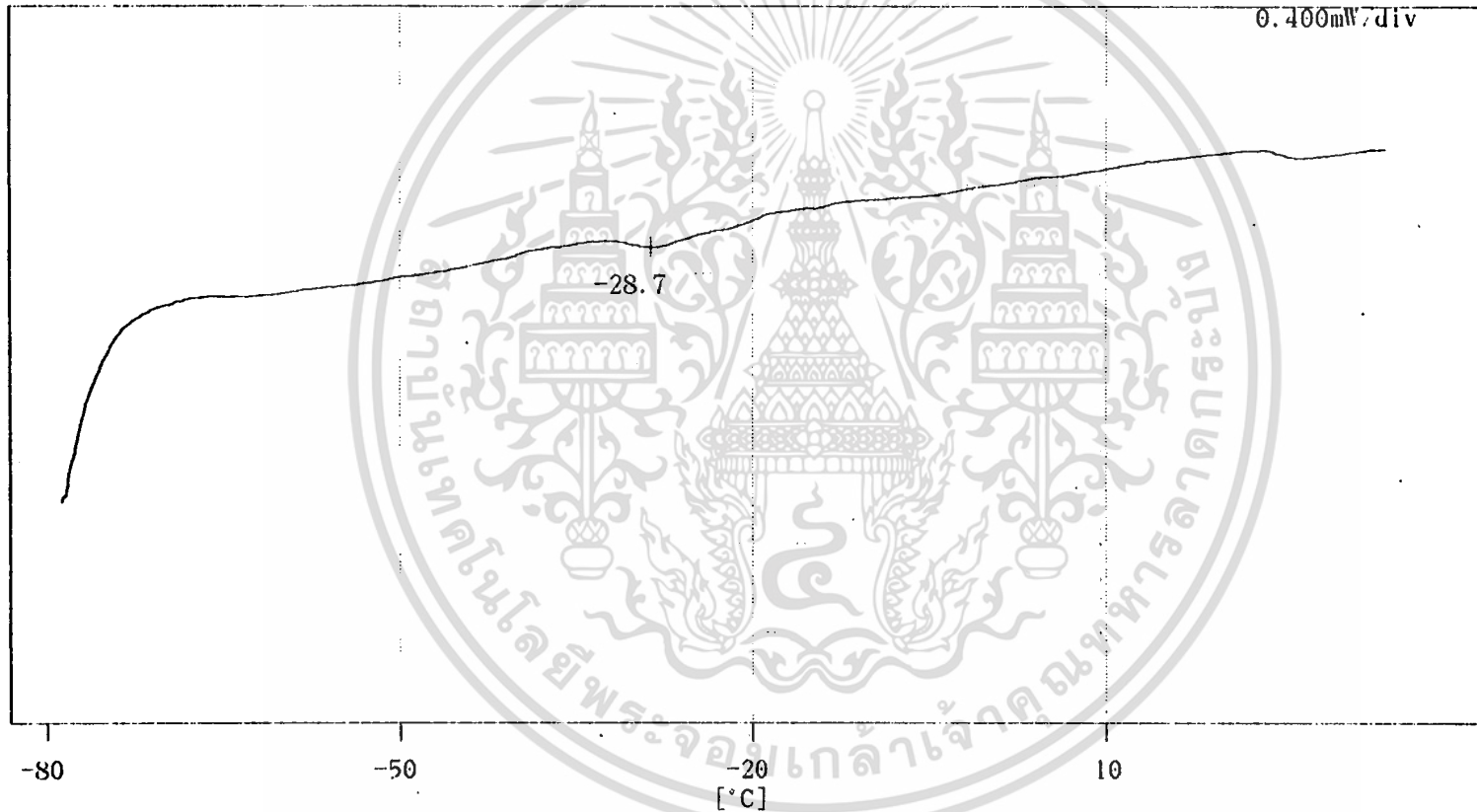
==== THERMAL ANALYSIS REPORT ====

FILE NAME <<ENR24.000>>

DATE (y/m/d) : 00/00/00  
 SAMPLE NAME : ENR24  
 COMMENT :  
 SAMPLE Q'TITY: 10 mg  
 MODULE TYPE : DSC  
 SAMPLING INT.: 1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●

	dT/dt	T (hold)	$\tau$ (hold)	$\delta T$ (add)	x	n (repeat)
1:	10	30	0	0	0	0
2:	10	300	0	0	0	0
3:	5	400	0	0	0	0
4:	0	0	0	0	0	0
5:	0	0	0	0	0	0



[ TEMP. ] -----TEMP(°C)-----Heat Flow(mW)-----  
 1 -28.7 1.1054

กราฟของทางธรรมชาติของพีไอซี 50 เปอร์เซ็นต์โมลที่ได้จากเครื่องดีพีพี เรนเซียสแกนนิงคาลอริมิเตอร์

## บรรณานุกรม

1. นิพนธ์ วงศ์วิเศษลิขิต "สารยึดติดสำหรับอุตสาหกรรมรองเท้า" พระจอมเกล้าลาดกระบังนิทรรศน์'30 2530 หน้า 39-40.
2. บรรเจิด ส่วนพรหม และ สุนันทา เลิศปัญญาโรจน์ "การสังเคราะห์ยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์" โครงการงานพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2534 .
3. รัตน์ เพชรจันทร์ ฮางพารา สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง 2513 หน้า 1-17 และ 251-255 .
4. วราภรณ์ ชจรไชยกุล วิทยาการขึ้นพื้นฐานเกี่ยวกับยางแห้ง งานอุตสาหกรรมยาง ศูนย์วิจัยการยางขนาดใหญ่ 2523 หน้า 1-5 .
5. Skeist , I. Handbook of Adhesives , 2nd ed., Van Nostrand Reinhold Company , New York , 1977 , pp 1-5 .
6. Blackley , D.C. High Polymer Latices , The Garden City Press Limited , Letchworth , 1966 , pp 192-200 .
7. Amu , A.B. and Dulngah , S.B. "Easy Processing Epoxidized Natural Rubber" Journal of Natural Rubber Research , 4,119 -132 (1989) .
8. Baker , C.S.L. , Gelling , I.R. and Newell , R. "Epoxidized Natural Rubber" Rubber Chemistry and Technology , 58,67-85(1985).
9. Bradbury , J.H. and Perera , M.C.S. "Epoxidation of Natural Rubber Studied by NMR Spectroscopy" Journal of Applied Polymer Science , 30, 3347-3364 (1985) .
10. Burfield , D.R., Lim , K.L., Law, K.S."Epoxidation of Natural Rubber Latices : Method of Preparation and Properties of Modified

Rubber" Journal of Applied Polymer Science , 29, 1661-1673(1984).

11. Burfield , D.R., Lim , K.L., Law, K.S. and Ng, S. "Analysis of Epoxidized Natural Rubber. A Comparative Study of DSC , NMR , Elemental Analysis and Direct Titration Methods "Polymer, 25, 995-998 (1984) .

12. Daniel , S., Organic Peroxide, John Wiley & Sons., Inc., Sydney, 1970, pp 378-483 .

13. Gelling , I.R. "Modification of Natural Rubber Latex with Peracetic Acid" Rubber Chemistry and Technology , 58, 86-97(1985).

