

อภินันทนาการ



สำนักหอสมุด

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์  
งบประมาณรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปี 2550

การรีเคลมมิ่งเชิงกลยางรถยนต์บดละเอียด  
The mechanical reclaiming of ground rubber tire (GRT)

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วันลงทะเบียน... 13 JUL 2011...

เลขทะเบียน... 15641192 63

เลขเรียกหนังสือ... 0 75

1912

๗1678

2550

คณะผู้วิจัย

นางสาวศรารัตน์ มหาศรานนท์

## กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ให้เงินทุนสนับสนุนการทำงานวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2550 เพื่อสนับสนุนการทำวิจัย เรื่อง การรีเคลมมิ่งเชิงกลยางรถยนต์ บดละเอียด(The mechanical reclaiming of ground rubber tire (GRT))ซึ่งเป็นงานวิจัยสาขาการวิจัยประยุกต์ เป็นการทำให้การดำเนินงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่ในการทำงานวิจัย และขอขอบคุณ ศูนย์เครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือ FT-IR



ชื่อโครงการ การรีเคลมมิ่งเชิงกลยางรถยนต์บดละเอียด  
 The mechanical reclaiming of ground rubber tire (GRT)  
 ชื่อผู้วิจัย นางสาวศรรัตน์ มหาศรานนท์  
 หน่วยงานที่สังกัด ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
 โทร (055) 621000-4 ต่อ 3401  
 ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยสาขา วิจัยประยุกต์  
 งบประมาณรายได้ ประจำปี 2550  
 จำนวนเงิน 50,000 บาท ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี  
 ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2549 ถึง 30 กันยายน 2550

### บทคัดย่อ

การปรับปรุงสมบัติการนำรีไซเคิลของกราวนรีเบอร์โดยวิธีรีเคลมมิ่งด้วยเตตระเมทิล ไทลูล์ม ไดซัลไฟด์ บนเครื่องผสมชนิด 2 ลูกกลิ้ง การบดผสมจะใช้ช่วงเวลาและปริมาณเตตระเมทิล ไทลูล์ม ไดซัลไฟด์ที่แตกต่างกัน ก่อนทำรีเคลมมิ่งได้นำกราวนรีเบอร์มาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR ตรวจวัดปริมาณการรีเคลมมิ่งจากค่าการบวมตัวและความหนาแน่นในการเชื่อมโยงโมเลกุล นำค่าการบวมตัวและความหนาแน่นในการเชื่อมโยงโมเลกุลของกราวนรีเบอร์เปรียบเทียบกับยางรีเคลม ซึ่งค่าความหนาแน่นในการเชื่อมโยงโมเลกุลของกราวนรีเบอร์ที่ทำการรีเคลมจะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกราวนรีเบอร์ก่อนการรีเคลมมิ่ง เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ของกราวนรีเบอร์จะแตกออกเป็นแรดิคัล เตตระเมทิล ไทลูล์ม ไดซัลไฟด์ จะรวมตัวกับแรดิคัลของสายโซ่พอลิเมอร์ของกราวนรีเบอร์ ทำให้ปริมาณการเชื่อมโยงโมเลกุลของกราวนรีเบอร์ที่ทำการรีเคลมลดลง เมื่อใช้ปริมาณเตตระเมทิล ไทลูล์ม ไดซัลไฟด์ 2.75 กรัม และเวลาในการบดผสม 60 นาที ทำให้กราวนรีเบอร์ที่มีการรีเคลมดีที่สุด

## Abstract

Groud rubber tire (GRT) was reclaimed by mechanical reclaiming method using tetramethyl thiuram disulfide (TMTD) a multi-functional reclaiming agent, on an two roll mill at various time intervals and different amounts of TMTD. GRT was first deodored reclaiming, and then was analyzed the functional groups by Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR). The degree of reclaiming was evaluated by measurement of swelling ratio and crosslink density. Reclaimed-tire rubber(RTR) was also determined both swelling ratio and degree of crosslink for which compare with in that of GRT. The crosslink density of all reclaiming GRTs was dramatically decreased when comparing with non-reclaiming GRT. During mill, vulcanized rubber sample undergo tremendous mechanical shearing, resulting in random polymer chain breakdown to form polymer radicals. Then the TMTD also breaks into radicals as the temperature rises. There radical will combine with polymer radicals and thereby prevent the recombination of polymer radicals, which explains the decrease of crosslink density of all reclaiming GRTs. However, the optimum concentration and condition for reclaiming of GRT by TMTD is 2.75 g and 60 min. milling time.

## สารบัญเรื่อง (Table of Contents)

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญสัญลักษณ์และคำย่อ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.5 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	10
บทที่ 2 การดำเนินงานวิจัย ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
2.1 การดำเนินงานวิจัย	11
2.2 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	16
บทที่ 3 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
3.1 สรุปผลการทดลอง	35
3.2 ข้อเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม	36



## สารบัญตาราง (List of Tables)

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของตัวทำละลายอะซิโตนที่ได้จากการสกัด RTR และ GRT	19
2.2 แสดงค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของก๊าซจาก GRT และ RTR หลังการสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน	21
2.3 แสดงผลของอัตราการบวมตัวและค่าความหนาแน่นของ การเชื่อมโยงโมเลกุลของ 7, 26 และ 40 mesh GRT	22
2.4 แสดงผลของการบวมตัวและค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล ของ 40 mesh reclaiming GRT ที่ปริมาณ TMTD 1.5, 2.0, 2.75 และ 3.25 g.	24
2.5 แสดงผลของการบวมตัวและค่าความหนาแน่นของ การเชื่อมโยงโมเลกุลของการรีเคลม ณ ช่วงเวลา 40, 50 และ 60 นาที	27
2.6 แสดงผลของการบวมตัวและค่าความหนาแน่นของ การเชื่อมโยงโมเลกุล 103, 104 และ 105 RTR	29
2.7 แสดงผลของอัตราการบวมตัวและค่าความหนาแน่นของ การเชื่อมโยงโมเลกุล 105 RTR, 40 mesh GRT และ 40 mesh reclaiming GRT	31

## สารบัญญรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงโครงสร้างของพอลิไอโซพรีน	4
1.2 แสดงโครงสร้าง สไตรีนบิวทาดิเอน ( Styrene Butadiene : SBR )	5
1.3 แสดงโครงสร้างของ ไอโซบิวทีนไอโซพรีน ( Isobutene Isoprene rubber : IIR )	6
1.4 แสดงโครงสร้างของ ยางเอทธิลีนโพรพิลีนโคพอลิเมอร์	6
1.5 แสดงโครงสร้างของ ยางบิวทาดิเอน ( Butadiene Rubber : BR )	7
1.6 ภาพแสดงโครงสร้างอย่างง่ายของการ Vulcanization ของ ซัลเฟอร์	7
1.7 แสดงกระบวนการ pan process	9
1.8 แสดงกระบวนการดีวัลคาไนซ์ (devulcanization)	10
2.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพเชิงความร้อนด้วยเทคนิค DSC	16
2.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพเชิงความร้อนด้วยเทคนิค TGA ของยางรีเคลม	17
2.3 แสดงสเปคตรัม a) GRT ที่สกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน	18
b) RTR ที่สกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน	
2.4 แสดงสเปคตรัม a) GRT หลังสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน	20
b) RTR หลังสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน	
2.5 แสดงกราฟ a) การบวมตัวของ 7, 26 และ 40 mesh GRT	23
b) ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล 7, 26 และ 40 mesh GRT	
2.6 แสดงกราฟ a) การบวมตัว b) ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล	26
ของ 40 mesh reclaiming GRT ที่ปริมาณ TMTD 1.5, 2.0, 2.75 และ 3.25 g.	
2.7 แสดงกราฟ a) การบวมตัวของการรีเคลม ณ ช่วงเวลา 40, 50 และ 60 นาที	28
b) ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของ ณ ช่วงเวลา 40, 50 และ 60 นาที	
2.8 แสดงกราฟ a) การบวมตัวของ 103, 104 และ 105 RTR	30
b) ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของ 103, 104 และ 105 RTR	
2.9 แสดงกราฟ a) การบวมตัว b) ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล	32
ของ 105 RTR, 40 mesh GRT และ 40 mesh reclaiming GRT	
2.10 การรีเคลม 40 mesh reclaiming GRT, 2.75 g TMTD ณ ช่วงเวลา 40, 50 และ 60 นาที	34

สารบัญัญสัญลักษณ์ และคำย่อ  
(List of Abbreviations)

T%	Percent Transmission
GRT	Groud rubber tire
RTR	Reclaimed-tire rubber
IIR	Isobutene Isoprenerubber
EPM	Ethylene Propylene Copolymer
SBR	Styrene Butadiene Rubber
BR	Butadiene rubber
TMTD	tetramethyl thiuram disulfide
SEM	Scanning Electron Microscopy
°C	Centigrade degree
min	miniute
TGA	thermogavimistry
DSC	Differrenciate Scanning Calorimeter
Phr	part per handed resin
ml	milligram
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spectrophotometer
M	Molarity
pbw	part percent by weight



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ผลิตภัณฑ์จากยางที่ใช้แล้วจำนวนมาก อาทิ ยางเครื่องบิน ยางรถบรรทุก ยางรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ยางรถสองล้อ ยางสายพานขนส่ง และอื่นๆอีกมากมาย ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก[1] ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์เหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (biodegradation) เหมือนผลิตภัณฑ์จากพืชหรือสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากยางที่นำมาทำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้ผ่านกระบวนการทำให้มีโครงสร้างตาข่าย (crosslinking structure) จำนวนมากด้วยสารเชื่อมโยง (crosslinking agent) และยังมีสารเติมสารคงตัว (stabilizer) และสารเติมแต่งอื่นๆ (additives) ทำให้มีสมบัติเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมเซต (thermosetting plastic) ซึ่งไม่สามารถนำกลับมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้ด้วยการให้ความร้อน[2]

จากปัญหาดังกล่าว ทำให้นักวิจัยพยายามหากระบวนการต่างๆซึ่งมีไม่มากนัก[3] เพื่อนำผลิตภัณฑ์ยางใช้แล้วมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด โดยวิธีที่ง่ายที่สุด คือ การนำยางใช้แล้วมาใช้ใหม่ในรูปแบบอื่น (recycle or reuse waste rubber) และอีกวิธีที่เป็นที่น่าสนใจมาก คือ การนำยางใช้แล้วมาทำเป็นยางรีเคลม (reclaiming rubber) ด้วยกระบวนการต่างๆ อาทิ กระบวนการเชิงกล (mechanical)[4], เชิงกลความร้อน (thermo mechanical)[5], เชิงกลไครโอ (cryo mechanical)[6], อัลตราซาวนด์ (ultrasound)[7] และ เทคนิคไมโครไบโอดล ดีซัลฟูไรเซชัน (microbial desulfurization techniques)[8] ดังนั้น เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ยางใช้แล้ว โดยเฉพาะ ยางรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่มีการใช้อย่างกว้างขวางทั่วโลก งานวิจัยนี้จึงได้สนใจศึกษากระบวนการรีเคลมมิงยางรถยนต์ที่ใช้แล้วในรูปแบบที่บดละเอียด (ground rubber tire) ด้วยกระบวนการเชิงกล

### 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โดยส่วนมากในอุตสาหกรรมการรีเคลมมิงยางที่ใช้แล้วด้วยวิธีเชิงกล (mechanical reclaiming) จะใช้สารรีเคลมมิง (reclaiming agents) ประเภทไดซัลไฟด์ และเมอร์แคปเทน ทั้งนี้เนื่องจากสารรีเค

ลมมิ่งประเภทนี้สามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงได้ ดังนั้น งานวิจัยต่างๆจึงมุ่งเน้นการรีเคลมมิ่งยางเหลือใช้ด้วยสารไดซัลไฟด์ประเภทต่างๆ โดย

Knorr[9] ได้ศึกษาการทำงานของไดเอริล ไดซัลไฟด์ (diaryl disulfide) ในกระบวนการรีเคลมมิ่งเศษยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ ที่อุณหภูมิ 150-180 องศาเซลเซียส Okamoto H. และคณะ [10] ศึกษาการรีเคลมมิ่งยางผงจากยางรถยนต์ โดยใช้ 2-เมอร์แคปโตเบนโซไทอะโซล (2-mercaptobenzo thiazole) Anderson[11] ได้ทำการรีเคลมมิ่งยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์ โดยใช้น้ำมัน (oil), ไอน้ำ (water vapor) และ เอริลไดซัลไฟด์ (aryl disulfide) ซึ่งเป็นส่วนผสมของไดฟีนิล ไดซัลไฟด์ (diphenyl disulfide) ไดครีซิล ไดซัลไฟด์ (dicesyl disulfide) และ ไดซิลิลิล ไดซัลไฟด์ (dixylyl disulfide) เป็นสารรีเคลมมิ่ง โดยทำการรีเคลมมิ่ง ณ. อุณหภูมิ 175-195 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 230-260 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง Kohler[12] ได้แสดงเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้ในกระบวนการดีวัลคาไนซ์โดยใช้วัสดุที่เรียกว่า "De-vulc developed by Sekhar"[13] และนอกจากนี้ De และคณะ[14,15] ยังได้พัฒนากระบวนการรีเคลมมิ่งเชิงกลยางเหลือใช้ด้วยไดเอริล ไดซัลไฟด์ (diallyl disulfide), ไดซัลไฟด์ชนิดอื่นๆ, โมโนซัลไฟด์ (mono sulfides), พอลิซัลไฟด์ (polysulfides) และ สารประกอบไทออล (thiol compounds) ด้วย

จากงานวิจัยต่างๆที่ทำการรีเคลมมิ่งเชิงกลยางเหลือใช้โดยสารรีเคลมมิ่งประเภทไดซัลไฟด์ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะใช้สารไดซัลไฟด์ คือ เตตรามิทธิล ไทอูรัม ไดซัลไฟด์ (tetramethyl thiuram disulfide; TMTD) เป็นสารรีเคลมมิ่ง (reclaiming agents) ในกระบวนการรีเคลมมิ่งเชิงกลยางรถยนต์ที่ใช้แล้วในรูปที่บดละเอียด (ground rubber tire)

### 1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อนำยางรถยนต์ที่ทิ้งแล้วมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยกระบวนการรีเคลมมิ่งเชิงกล เป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และเพิ่มมูลค่าของยางรถยนต์เหลือใช้

### 1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาองค์ประกอบของยางรถยนต์บดละเอียด (ground rubber tire) ด้วยเทคนิค TGA
2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางรถยนต์บดละเอียด (ground rubber tire) อาทิ อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (glass-transition temperature,  $T_g$ ), อุณหภูมิหลอมเหลว (melting

temperature,  $T_m$ ), อุณหภูมิการสลายตัว (decomposition temperature,  $T_d$ ), สัณฐานวิทยา (morphology), สี, กลิ่น

3. ศึกษาอุณหภูมิ เวลา และภาวะที่เหมาะสมในการรีไซเคิลยางรถยนต์บดละเอียด (ground rubber tire) ด้วยวิธีเชิงกล
4. ศึกษาองค์ประกอบของยางรีไซเคิลที่ได้จากการรีไซเคิลยางรถยนต์บดละเอียด (ground rubber tire) ด้วยวิธีเชิงกล โดยเทคนิค TGA และศึกษาสมบัติทางกายภาพ อาทิ อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (glass-transition temperature,  $T_g$ ), อุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature,  $T_m$ ), อุณหภูมิการสลายตัว (decomposition temperature,  $T_d$ ), สัณฐานวิทยา (morphology), สี, กลิ่น เทียบกับยางรถยนต์บดละเอียด (ground rubber tire) ที่ใช้เป็นวัสดุตั้งต้น

## 1.5 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

### 1.5.1 ยางรีไซเคิล (Reclaimed – Tire Rubber)

ยางรีไซเคิล เป็นวัสดุที่ได้จากการนำยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมารีไซเคิล ดังนั้น ส่วนผสมส่วนใหญ่จึงเหมือนยางรถยนต์ เช่น ยางธรรมชาติ ยางสไตรีนบิวทอะไดอีนรับเบอร์ ไอโซพรีนไอโซพรีนซึ่งส่วนประกอบแต่ละส่วนนั้นมีคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีไม่เหมือนกัน แล้วแต่ชนิดและส่วนประกอบที่ต้องการคุณลักษณะแบบใด เช่น หน้ายาง ต้องการความทนทานและไม่ยึดเกาะกับพื้นถนนมากนัก จึงใช้ SBR ส่วนแก้มยางต้องการการถ่ายเทความร้อนมากเป็นพิเศษ แต่ไม่ต้องการความทนทานสูงเท่าใดนัก จึงใช้ NR คุณสมบัติส่วนใหญ่ของยางรีไซเคิลนั้น ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบเหล่านี้ว่ามีมากน้อยเพียงใด และวัตถุดิบของแต่ละบริษัทที่ผลิตยางรีไซเคิลนั้น ก็มีส่วนประกอบเหล่านี้ไม่เท่ากันด้วย ดังนั้น จึงจะกล่าวถึงยางรีไซเคิลในส่วนกว้างๆไว้ก่อน คือ ส่วนประกอบแต่ละตัวว่ามีคุณลักษณะอย่างไร และ ยางรีไซเคิลที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีคุณสมบัติอย่างไร



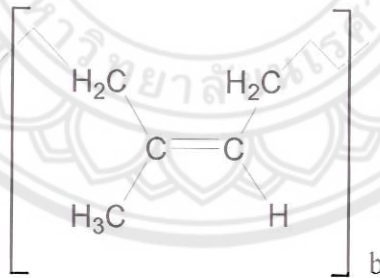
### 1.5.1.1 ยางดิบ ( Raw Rubber )

สิ่งที่สำคัญอันดับแรกของการกำหนดสูตรยาง คือ การเลือกชนิดของยาง ( Elastomer or rubber ) ซึ่งในทางเคมีจัดเป็นสารพอลิเมอร์ มีทั้งยางที่เป็นธรรมชาติและยางสังเคราะห์ นอกจากนี้ยังมียางรีไซเคิล ดังนั้นการเลือกใช้ยางให้ถูกต้องจำเป็นต้องมีความรู้ที่ดีซึ่งมีรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

### 1.5.1.2 ยางธรรมชาติ ( Natural Rubber; NR )

เป็นส่วนประกอบหลักของยางรีไซเคิล ซึ่งยาง NR นี้ได้มาจากต้นยางพารา นำมาเติมสารวัลคาไนซ์ ได้เป็นยางแผ่น ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature หรือ  $T_g$ ) เท่ากับ  $-60$  องศาเซลเซียส คุณสมบัติคือ เป็นเทอร์โมเซตที่ไม่สามารถนำมาขึ้นรูปได้ใหม่ สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี ยืดหยุ่นสูง มีลักษณะเป็น อีลาสโตเมอร์ ที่ อุณหภูมิห้อง มีความทนทานต่ำ ยืดเกาะสูง ดังนั้นจึงไม่นิยมนำมาใช้เป็นหน้ายาง ดอกยาง แต่มักนำมาใช้เป็นแก้มยาง

โดยทั่วไปยางธรรมชาติหมายถึงยางที่ได้จากต้นยางพาราในทางเคมียางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ ประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอมและ ไฮโดรเจน 8 อะตอม เขียนเป็นสูตรทางเคมีคือ  $C_5H_8$  มาต่อกันเป็นโมเลกุลยาวเป็น  $(C_5H_8)_n$  หรือ โดยที่  $n$  มีค่าตั้งแต่ 15000 ขึ้นไป ซึ่งเรียกว่า พอลิไอโซพรีน แสดงได้ดังรูป 2.1



รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างของพอลิไอโซพรีน

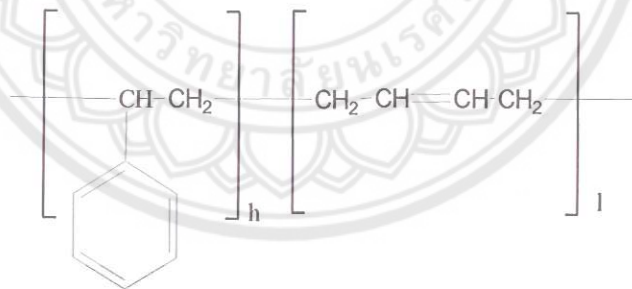
สาเหตุที่มีการใช้ยางธรรมชาติในอุตสาหกรรมยางรถยนต์เพราะว่ายางธรรมชาติสามารถให้สมบัติบางประการที่ยางรถยนต์ต้องการได้ดี สมบัติดังกล่าวได้แก่ ความแข็งแรงของยางดิบ ( green strength ) การเหนียวติดกันระหว่างชิ้นส่วนต่าง ( building tack ) ความคงทนต่อการฉีกขาด ( tear stretch ) การระบายความร้อนดีขณะที่ยางลัดด้วยความเร็ว ( low heat build up ) และความต้านทานการหมุนของยางรถยนต์ ( low tire rolling resistance )

### 1.5.1.3 ยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber)

ยางสังเคราะห์ หมายถึง ยางที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นโดยอาศัยวิธีการทางเคมีคือ ปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) จากสารมอนอเมอร์ชนิดต่างๆ ยางสังเคราะห์ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางรถยนต์ที่สำคัญ ดังนี้

#### 1.5.1.3.1 สไตรีนบิวทาไดอีน (Styrene Butadiene : SBR)

เป็นยางสังเคราะห์ ต่างจากยางธรรมชาติที่มีส่วนผสมของเทอร์โมพลาสติกคือสไตรีน (Styrene) เข้ามาผสมด้วย และมีส่วนผสมของอีลาสโตเมอร์ คือ บิวทาไดอีน (Butadiene) ดังนั้นคุณสมบัติของสไตรีนบิวทาไดอีน จะเป็นอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของทั้งสองชนิดนี้ คือหากว่ามีส่วนผสมของสไตรีนมากกว่า ค่า  $T_g$  ก็จะมีค่ามากขึ้น ทำให้มีคุณสมบัติความเป็นเทอร์โมพลาสติกมากขึ้นในขณะที่มีความเป็นอีลาสโตเมอร์น้อยลง แต่ในทางกลับกัน หากว่ามีบิวทาไดอีนเป็นส่วนประกอบมากกว่า จะทำให้ SBR มีความเป็นอีลาสโตเมอร์สูงกว่า ดังนั้น ค่า  $T_g$  จึงต่ำลงนั่นเอง ยาง SBR เป็นยางที่มีความทนทานสูง และสามารถรับแรงกระแทกได้ดี เนื่องจากมีคุณสมบัติความเป็นเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ไม่ยืดเกาะมากนัก และถ่ายเทความร้อนได้ดีพอสมควร ดังนั้นจึงถูกนำมาใช้เป็น ดอกยางเป็นส่วนใหญ่ เป็นโคพอลิเมอร์ (Copolymer) ของพอลิสไตรีน กับบิวทาไดอีน มีสูตรโครงสร้างคือ



รูปที่ 1.2 แสดงโครงสร้าง สไตรีนบิวทาไดอีน (Styrene Butadiene : SBR)

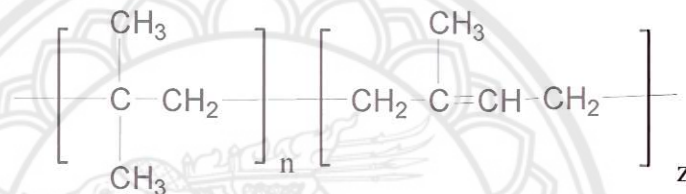
สไตรีนบิวทาไดอีน (Styrene Butadiene : SBR) มีหลายเกรดขึ้นอยู่กับสัดส่วนของสไตรีน และบิวทาไดอีน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการพอลิเมอไรเซชันของ SBR โดยทุกประเภทจะสามารถใช้กำมะถัน (Sulpher) ในการให้ยางคงรูป และแข็งเปราะของสไตรีนบิวทาไดอีน ยังมีการต้านทานน้ำมันไม่ค่อยดีแต่มีความต้านทานต่อการสึกหรอดี ราคาถูก และต่อเนื่องจาก ของ สไตรีน



รีนบิวทะไดอิน เป็นยางสังเคราะห์ ขึ้นจึงมีน้ำหนักโมเลกุลที่สม่ำเสมอผลให้มีคุณภาพที่สม่ำเสมอแต่ที่ข้อเสีย ของสไตรีนบิวทะไดอิน มีความแข็งตัวต่ำ

#### 1.5.1.3.2 ไอโซบิวทีนไอโซพรีน ( Isobutene Isoprene rubber : IIR )

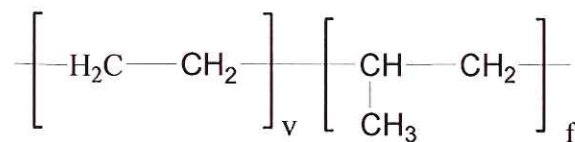
เป็นโคโพลีเมอร์ระหว่างไอโซบิวทีน (Isobutene) และ ไอโซพรีน โดยมี ไอโซพรีนอยู่ในปริมาณน้อยมากประมาณ 1-4 % เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลได้ ( Cross link ) ได้ และมีสูตรโครงสร้างดังนี้



รูปที่ 1.3 แสดงโครงสร้างของ ไอโซบิวทีนไอโซพรีน ( Isobutene Isoprene rubber : IIR )

ยางไอโซบิวทีนไอโซพรีนมีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้างจึงใช้กำมะถันในการคงรูปมีการต้านทานการซึมผ่านของอากาศเป็นอย่างดี มีความต้านทานออกซิเจนและโอโซนสูง ทำให้สามารถทนต่อการออกซิไดซ์และทนต่อความร้อนสูง

1.5.1.3.3 ยางเอทิลีนโพรพิลีนโคพอลิเมอร์ ( Ethylene Propylene Copolymer : EPM ) เป็นโคพอลิเมอร์ของเอทิลีนและโพรพิลีน มีสูตรโครงสร้างดังนี้

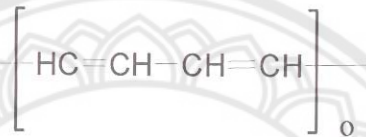


รูปที่ 1.4 แสดงโครงสร้างของ ยางเอทิลีนโพรพิลีนโคพอลิเมอร์

( Ethylene Propylene Copolymer : EPM )

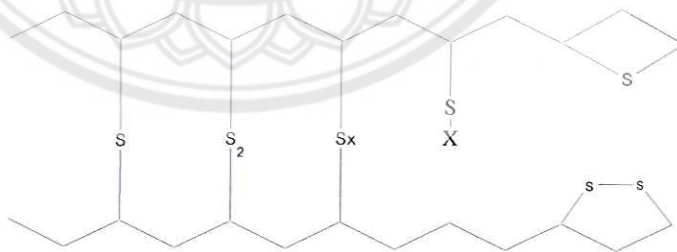
ยางเอทิลีนโพรพิลีนโคพอลิเมอร์ ไม่มีพันธะคู่ ทำให้สามารถเชื่อมโยงโมเลกุลได้ด้วย กำมะถันแต่สามารถใช้ เปอร์ออกไซด์ เชื่อมโยงโมเลกุลแทนได้ มีความต้านทานต่อแรงดึงต่ำ ทนต่อ ออกซิเจน ความร้อนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ และโอโซน

1.5.1.3.3 ยางบิวทาดิอีน ( Butadiene Rubber : BR ) เป็นยางที่เตรียมจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันโดยมีพอลิโพรพิลีน ( polypropylene ) เป็นมอนอเมอร์ และมีตัวเร่งปฏิกิริยา ( catalyst ) ในการทำปฏิกิริยา มีสูตรโครงสร้างดังนี้



รูปที่ 1.5 แสดงโครงสร้างของ ยางบิวทาดิอีน ( Butadiene Rubber : BR )

ยางบิวทาดิอีน จำเป็นต้องใช้ตัวเติมเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อหาสมบัติที่ดีขึ้นกระด้างตัวดีมีการต้านทานต่อการสึกหรอสูงมาก มีความต้านทานต่อกรดและด่างแล้วทำสร้างความแข็งแรงโดยทำการวัลคาไนซ์เซชัน เป็นสารที่มีความสามารถในการทำให้ยางคงรูปได้ เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Curing agent สารดังกล่าวนั้น ถูกเติมลงไปในยางเพื่อทำให้เกิดการเชื่อมโยงพันธะ ภายในโมเลกุลยาง เมื่อเกิดการเชื่อมพันธะแล้ว จะทำให้ยางมีความทนทานพร้อมที่จะใช้งานมากขึ้น สารวัลคาไนซ์ที่นิยมได้แก่ ซัลเฟอร์ ดังรูป 1.6



รูปที่ 1.6 ภาพแสดงโครงสร้างอย่างง่ายของการ Vulcanization ของ ซัลเฟอร์ [16 ]

การเกิดพันธะของยางกับซัลเฟอร์มีหลายแบบด้วยกันคือ เกิดเป็นแบบ โมโนซัลไฟด์ไดซัลไฟด์ ,โพลีซัลไฟด์, ซัลไฟด์ไปจับกับโมเลกุลอิสระตัวอื่นเกิด จับตัวเป็นวงของ โมโนซัลไฟด์ ( monosulfide ) และการจับตัวเป็นวงของไดโมโนซัลไฟด์

### 1.5.2. การผลิตยางรีเคลม

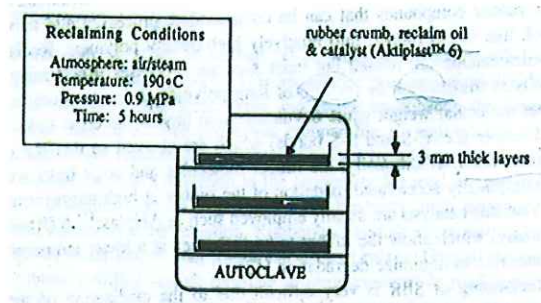
การ รีเคลมมิง และการ ดีวัลคาร์ไนซ์ เป็นกระบวนการผลิตยางรีเคลมก็ จะได้สารประกอบยาง ชนิดใหม่ ที่สามารถนำไปเข้าสู่กระบวนการผลิต และสามารถเกิดการวัลคาไนซ์ ใหม่ได้ การรีเคลมมิง เป็นการตัดสายโซ่โมเลกุลที่ยาวของโพลีเมอร์ ให้เป็นโมเลกุลสั้นลงโดยใช้การดีวัลคาร์ไนซ์ ซึ่งเป็นวิธีการ ทำลายพันธะระหว่าง คาร์บอนกับซัลเฟอร์ หรือซัลเฟอร์กับซัลเฟอร์ โมเลกุลยาง สามารถถูกทำลาย พันธะโดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยา ( catalys ) ช่วยในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของยางในอุณหภูมิสูง ๆ ปัจจุบันได้มีการพัฒนา ตัวเร่งปฏิกิริยา ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นในการใช้เวลาในย่อยสลายให้น้อยลงใน อุณหภูมิที่ต่ำ เรียกว่า Diarsulfide catalys

การ รีเคลมมิง ( Reclaiming ) ของสไตรีนบิวทาไดอีน ( Styrene Butadiene : SBR ) มีความยุ่งยากมาก ต้องใช้ระยะเวลาในการรีเคลมมิงนาน ระหว่างนั้นต้องใช้อุณหภูมิที่สูงด้วย เพราะเป็น สารประกอบของอะโรมาติก (Aromatic) และเป็นอันตรายต่อระบบสิ่งแวดล้อมหลายๆ การรีเคลมมิง จึง เป็นประโยชน์ต่อการรักษาสิ่งแวดล้อมอย่างอุตสาหกรรมยางรีเคลมจึงเป็นที่สนใจอย่างมากในปัจจุบัน การรีเคลมมิง แบ่งออก เป็น 2 ลักษณะคือ

#### 1.5.2.1 Pan Process

ในกระบวนการผลิตยางรีเคลมยุคเก่าๆ จะทำโดย ให้ความร้อนแก่ยางในช่วง 150 – 180 องศาเซลเซียส และให้อากาศ ( $O_2$ ) ผ่านเข้ามาบ้าง มี น้ำมัน รีเคลม ( reclaim oil ), ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) และ ออกซิเจน เป็นที่ต้องการแก่กระบวนการผลิตนี้มาก, ความดัน และระยะเวลา ใน กระบวนการผลิต จะนำยางน้ำมัน รีเคลม และ ตัวเร่งปฏิกิริยา เติกลงไปข้างในยางครัม และ ทำการผสม กันเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อให้ตัวเร่งปฏิกิริยา กระจายตัวเข้าไปในยาง ครัม แล้วใส่เข้าไปใน pan ให้ หนาประมาณ 2-3 ม.ม.และออกซิเจน สามารถเข้าไปได้ มีความดันอยู่ในนั้น ประมาณ 8-9 barr





รูปที่ 1.7 แสดงกระบวนการ pan process

1.5.2.2 Digestion Process [17]

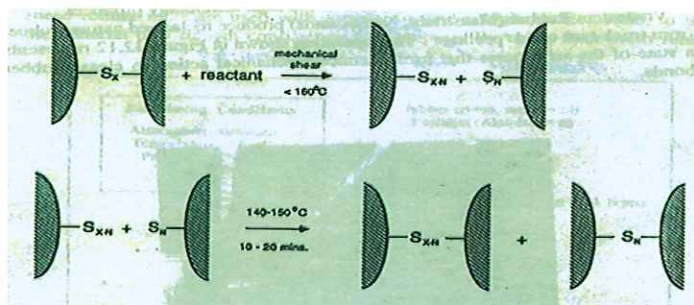
เป็นการนำยางครัม ( Crumb Rubber ) เข้ามาใส่ใน vessel steam เป็นเครื่องให้ความร้อนแก่ยางครัม ซึ่งอยู่ในเครื่อง gaddle agitator เป็นเครื่องกวน ยางครัม กระบวนการ Digestor มี 2 วิธีคือ

- 1. Wet process โดยใช้ alkaline water ( NaOH solution ) เข้าไปผสมกับยางครัม
- 2. Dry process โดยใช้ความร้อนกับยางครัม

สไตรีนบิวทาไดอีน ( Styrene Butadiene ; SBR ) และ ยางธรรมชาติจะมีกระบวนการ รีเคลมมิง (reclaiming) แตกต่างกับ ยางธรรมชาติ เมื่อเกิดการรีเคลมมิง โมเลกุลจะลดลง และ ความเป็น Plasticity เพิ่มขึ้น ต่างจาก สไตรีนบิวทาไดอีน เมื่อเกิดการรีเคลมมิงจะเกิดการทำลายพันธะและ สร้างพันธะควบคู่กันไปด้วย ก็จะเกิดการแข่งขันกันไปด้วย ความเป็น พลาสติกที่ดี ( Plasticity ) จะขึ้นๆลงๆไปด้วย

1.5.2.3 Chemical Devulcanization

การ ดีวัลคาไนซ์ เป็นการทำลายพันธะ ซัลไฟด์ ที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ ของยาง โดยใช้ อุณหภูมิไม่สูงมากนัก ในการทำลายพันธะซัลไฟด์ของยางนั้นก็จะเป็นสารประกอบของยางที่สามารถนำกลับมา การวัลคาไนซ์ ใหม่ได้ดังรูป 1.8



รูปที่ 1.8 แสดงกระบวนการดีวัลคาไนซ์ (devulcanization)

ยางหลังจากที่ทำการ ดีวัลคาไนซ์ เสร็จ ค่า tensile strength ของยางจะลดลงจากเดิม ด้วยดูจากกระบวนการของ De-Link™ process ค่า tensile strength ของยางตอนแรกประมาณ 25.28 MPa เมื่อทำการดีวัลคาไนซ์ Devulcanization แล้วค่า tensile strength อยู่ที่ 16.18 MPa

กระบวนการดีวัลคาไนซ์ ของยาง มี 3 ขั้นตอนดังนี้

1. ตัดยางให้เป็นชิ้น ๆ และทำการแยกโลหะออกจากยางโดยวิธี Magnetic separation
2. ลดอุณหภูมิของยางโดยใช้ ไนโตรเจนเหลว ( liquid Nitrogen ) แล้วทำการบดโดยใช้เครื่อง impact mill
3. นำสาร reactant และยางที่ได้ข้อ 2 ใส่เข้าไปในเครื่องผสม ( twin roll mill ) เป็นเวลา 4 นาที ควบคุมอุณหภูมิโดยใช้น้ำในการควบคุม แล้ว ยางรีเคลมออกมา

#### 2.2.4 Advantage Chemical Devulcanization

การใช้ เคมีคัล ดีวัลคาไนซ์ จะใช้แรงดันต่ำในการผลิต และใช้เวลาน้อยเพราะ กระบวนการนี้ไม่ต้องให้เกิดการผสมกันมากนัก เมื่อใช้เครื่อง calendaring และ extrusion ไม่ต้อง อุณหภูมิที่สูงในการขึ้นรูปและแรงดึงผึงที่เกิดขึ้นก็น้อยจึงลดปัญหาการ Die swell ได้

#### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากยางรถยนต์เสื่อมสภาพที่มีเป็นจำนวนมาก และสามารถเพิ่มมูลค่าของยางรถยนต์เสื่อมสภาพได้เป็นอย่างดี



## บทที่ 2

### การดำเนินงานวิจัย ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 2.1 การดำเนินงานวิจัย

##### 2.1.1. วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง บริษัทไซแอนติฟิก โปรโมชัน ยี่ห้อ Sartorius
2. เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง บริษัท Mattler รุ่น PB302
3. ฟิวรีเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ ( Fourier transform Infrared spectrometer, FT – IR ) รุ่น Spectum GX บริษัท millifore
4. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง คาลอริมิตรี ( Differential Scanning Calorimetry ; DSC ) รุ่น DSC 7 บริษัท Perkin Elmer
5. เทอร์โมมิเตอร์ ( Thermometer ) ช่วงอุณหภูมิ 0 – 300 °C
6. เทอร์โมมิเตอร์ ( Thermometer ) ช่วงอุณหภูมิ 0 – 100 °C
7. เครื่องสแกนนิ่ง อิเล็กตรอน ไมโครสโคปี ( Scanning Electron Microscopy :SEM) รุ่น LEO 1445 VP
8. เครื่องโม่บดลูกกลิ้งคู่ (Two - Roll Mill )
9. เครื่องสกัดแบบต่อเนื่อง ( Soxhlet extractor )
10. ตู้อบความร้อน ( Hot Air Oven )
11. อุปกรณ์เครื่องแก้ว
12. ตู้ดูดความชื้น ( Desicator )
13. อะลูมิเนียมฟอยล์ ( Aluminium Foil )
14. แผ่นเพลท ( glass plate )
15. ถาด ( Trays )

16. อุปกรณ์ ป้องกัน ทางด้านความปลอดภัย

17. เครื่องให้ความร้อน ( heater )

### 2.1.2. สารเคมี

1. ยางรีเคลม ( Reclaimed Rubber (UDC105) ) บริษัท ยูเนียน โคเอนเซีย จำกัด.
2. อะซิโตน ( Acetone )
3. เตตระเมทิล ไทลูล์ม ไดซัลไฟด์
4. มาลิกอิกแอนไฮไดรด์ ( Maleic anhydride: MA )
5. ไดคิวมีลเปอร์ออกไซด์ ( Dicumyl peroxide: DCP )
6. โทลูอิน ( Toluene )
7. เอทานอล ( Ethanol )
8. ก๊าซไนโตรเจน ( Nitrogen gas )
9. น้ำกลั่น ( Distillation water )

### 2.1.3. วิเคราะห์สมบัติของยางรีเคลม

#### 2.1.3.1 หาค่า $T_g$ โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC

นำยางรีเคลมประมาณ 10 มิลลิกรัมใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียม ( Aluminium pan ) และปิดฝานี้ก ให้ความร้อนกับชิ้นงานในช่วงอุณหภูมิ - 80 ถึง 150 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของยางรีเคลมด้วยเครื่อง Perkin Elmer DSC7

#### 2.1.3.2 ตรวจสอบหาองค์ประกอบของยาง ( TGA )

นำยางรีเคลมประมาณ 5 - 10 กรัม มาทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของยางรีเคลมด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตรี ( thermogravimetry :TGA)โดยให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ตั้งแต่ 50 องศาเซลเซียส ถึง 850 องศาเซลเซียส

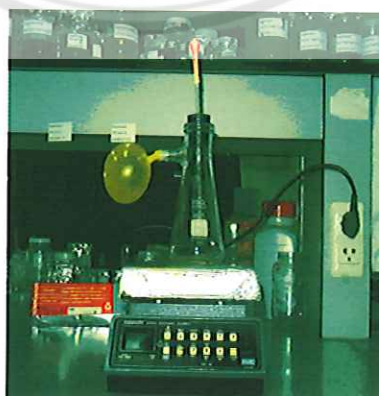
2.1.3.3 สกัดและวิเคราะห์สารที่สกัดได้จากยางรีเคลมโดยใช้ตัวทำละลายอะซิโตน นำ GRT และ RTR มาใส่ในถุงผ้าบางๆรูปทรงกระบอกแล้วใส่ใน Trimble ของ Soxhlet แล้วนำสารละลายอะซิโตนใส่ขวดกั้นกลม โดยใช้อุณหภูมิในการสกัด ประมาณ 80-85 °C และ ตั้งทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง นำสารละลายที่สกัดได้ มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT – IR



แสดงกระบวนการสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบต่อเนื่อง (SOXHLET)

2.1.3.4 การวิเคราะห์กลิ่นของยางรีเคลม

นำ GRT และ RTR หลังสกัดที่ได้จากข้อ 2.1.3.3 มาให้ความร้อนอุณหภูมิต่างกันไปตั้งแต่ 60°C , 70°C , 80°C , 90°C , ..., 140°C, 150°C ,160°C, 170°C, 180 °C แล้วทำการเก็บก๊าซที่ออกมาโดยแสดงการเก็บก๊าซดังภาพข้างล่างนี้ แล้วนำไปวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค FT – IR เพื่อหาหมู่ฟังก์ชันนอล



แสดงการเก็บกลิ่นที่ออกมาจากยางรีเคลม แล้วนำไปวิเคราะห์ FT – IR

### 2.1.3.5 การรีเคลมมิ่ง GRT ด้วย TMTD

นำ GRT ขนาดต่างๆกันคือ 7, 26 และ 40 เมช ทำการรีเคลมมิ่งด้วย TMTD ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.1 โดยใช้เครื่องผสมชนิด 2 ลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) ใช้อุณหภูมิประมาณ 170-220 °C เวลาที่ใช้ผสม 40, 50 และ 60 นาที

ตารางแสดงอัตราส่วนในการผสม GRT ขนาดต่างๆกัน คือ 7, 26 และ 40 เมช กับ TMTD

sample		GRT(g)	TMTD(g)	Time(min)		
7 mesh GRT	B1	100	1.50	40	50	60
	B2		2.00			
	B3		2.75			
	B4		3.25			
26 mesh GRT	M1	100	1.50	40	50	60
	M2		2.00			
	M3		2.75			
	M4		3.25			
40 mesh GRT	S1	100	1.50	40	50	60
	S2		2.00			
	S3		2.75			
	S4		3.25			



### 2.1.3.6 การหาค่าการบวมตัว (swelling ratio) และค่าการเชื่อมโยงโมเลกุล (crosslink density)

นำ GRT 2.0 กรัม ใส่ลงในสารละลายไทลูอิน เป็นเวลา 24, 48, 72, 96, 120 และ 144 ชั่วโมง แล้วนำกระดาษซับมัน ซับบริเวณพื้นที่ผิวหน้า จนกว่าน้ำหนักยางคงที่ บันทึกน้ำหนักยางที่ได้ คำนวณค่าอัตราการบวมตัว ดังสมการ[18]

$$\text{Swelling ratio, } Q = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1}$$

เมื่อ Q = อัตราการบวมตัว

W1 = น้ำหนักก่อนทำการทดสอบอัตราการบวมตัว

W2 = น้ำหนักหลังทำการทดสอบอัตราการบวมตัว

นำค่าที่ได้จากการคำนวณอัตราการบวมตัว มาหาค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล ดังสมการ

$$V = \frac{-[\ln(1 - V_r) + V_r + \chi V_r^2]}{[2 \rho_r V_o (V_r^{1/3} - V_r)]}$$

เมื่อ V = ค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล

V<sub>r</sub> = ปริมาตรของยาง

χ = 0.43 + 0.05 V<sub>r</sub> (Huggin interaction constant)

ρ<sub>r</sub> = ความหนาแน่นของยาง (0.93 g/cm<sup>3</sup>)

V<sub>o</sub> = ปริมาตรโมลาร์ของสารละลาย (106.9 cm<sup>3</sup>/mole)

ρ<sub>s</sub> = ความหนาแน่นของสารละลาย (0.886 g/cm<sup>3</sup>)

$$V_r = \left[ \frac{\rho_r}{\rho_s} \left( \frac{W_s - W_u}{W_u} \right) + 1 \right]^{-1}$$

W<sub>s</sub> = น้ำหนักหลังทำการทดสอบอัตราการบวมตัว

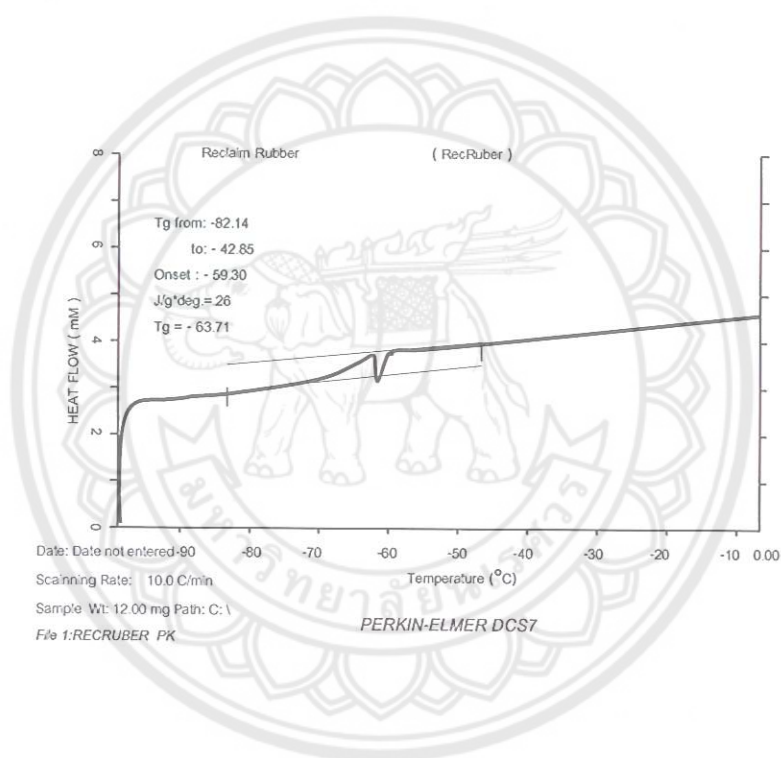
W<sub>u</sub> = น้ำหนักก่อนทำการทดสอบอัตราการบวมตัว



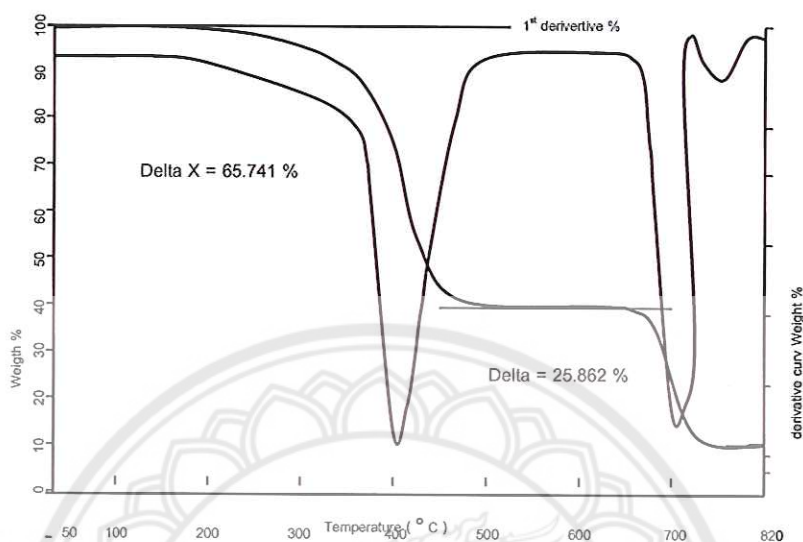
## 2.2 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

### 2.2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของยางรีไซเคิลเชิงความร้อนด้วยเทคนิค DSC และ TGA

จากการนำยาง RTR มาวิเคราะห์เพื่อหาอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วได้ผลดังรูปที่ 2.1 และวิเคราะห์หาองค์ประกอบ ได้ผลดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพเชิงความร้อนด้วยเทคนิค DSC

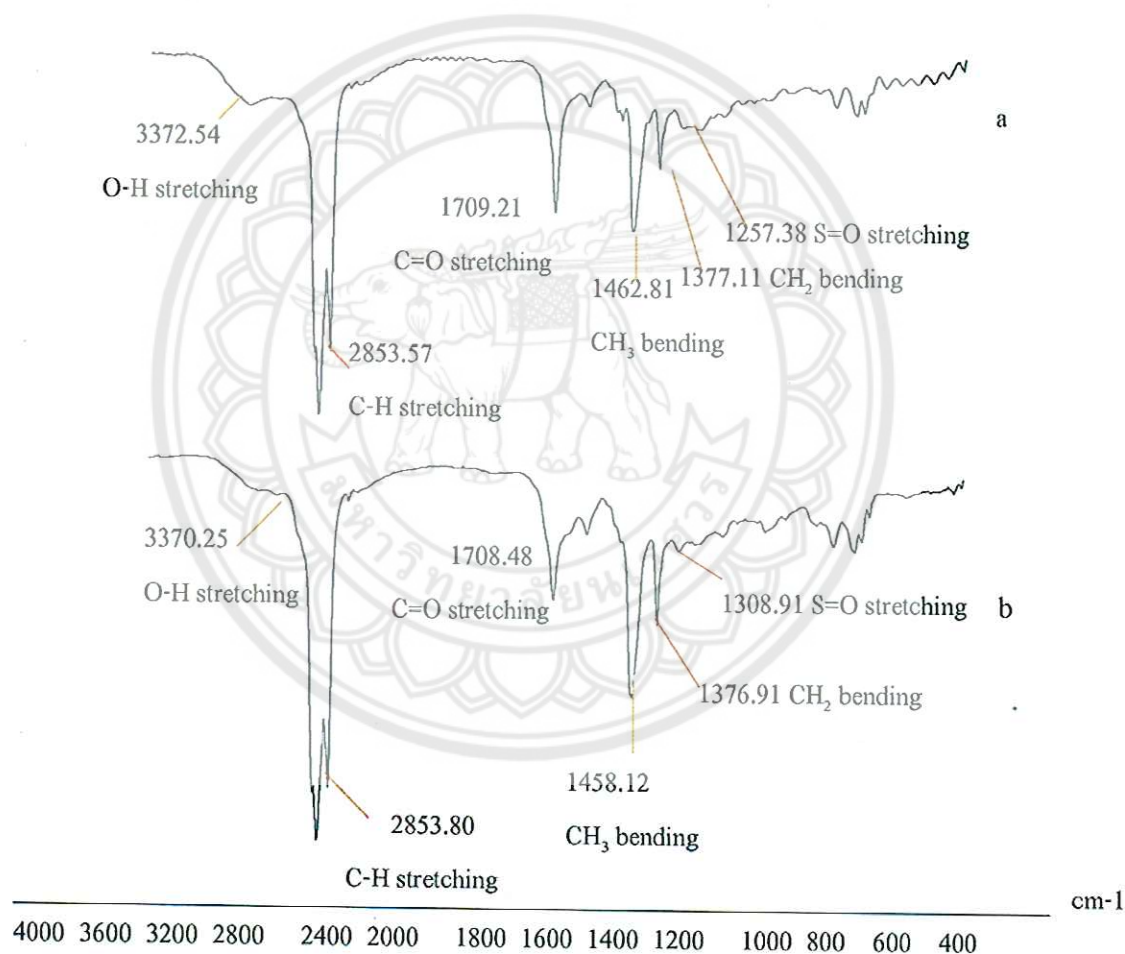


รูปที่ 2.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพเชิงความร้อนด้วยเทคนิค TGA ของยางรีเคลม

จากรูปที่ 2.1 ยางรีเคลมมี  $T_g$  เท่ากับ  $-63.71^\circ\text{C}$  เพียงค่าเดียวทั้งนี้ที่คาดว่ายางรีเคลมที่ทำมาจากยางรถยนต์ที่ได้ใช้จะมีองค์ประกอบของยางหลายชนิดด้วยกัน อาทิเช่น ยางธรรมชาติ ยางสไตรีน บิวทาไดอีน ยางไนไตร โดยยางทั้งสามชนิดที่ยกตัวอย่างมามีค่า  $T_g$  ที่แตกต่างกันไป ดังนั้นจึงได้ศึกษาองค์ประกอบของยางรีเคลมโดยผลปรากฏออกมาดังรูปที่ 2.2 พบว่ายางรีเคลมประกอบด้วยสามส่วนคือ ยางที่สลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ  $420^\circ\text{C}$  คาร์บอนแบลคที่สลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ  $720^\circ\text{C}$  และกากที่สลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ  $780^\circ\text{C}$  ตามลำดับ ดังนั้นจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของยางรีเคลมจึงอาจสรุปได้ว่า ในขั้นตอนของการรีเคลมมิงยางน่าจะสามารถทำให้การเชื่อมโยงโมเลกุลของยางถูกทำลายไป แล้วทำให้เกิดการเข้ากันได้ดี (missibility) ระหว่างยางที่เป็นองค์ประกอบในยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว ซึ่งผลนี้ทำให้ค่า  $T_g$  ของยางรีเคลมที่ได้มีเพียงค่าเดียว

## 2.2.2 ผลการวิเคราะห์ตัวทำละลายอะซิโตนจากการสกัด RTR และ GRT

การสกัด RTR และ GRT ด้วยตัวทำละลายอะซิโตน โดยใช้การสกัดแบบต่อเนื่องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายอะซิโตนที่ได้จากการสกัดนี้ มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT - IR พบว่าสเปคตรัมที่ได้มีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ตัวทำละลายอะซิโตนสามารถจะสกัดสารที่มี S=O stretching ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นภายในยางออกมาได้บางส่วน ทำให้กลิ่นของยางลดลง



รูปที่ 2.3 แสดงสเปคตรัม a) GRT ที่สกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน

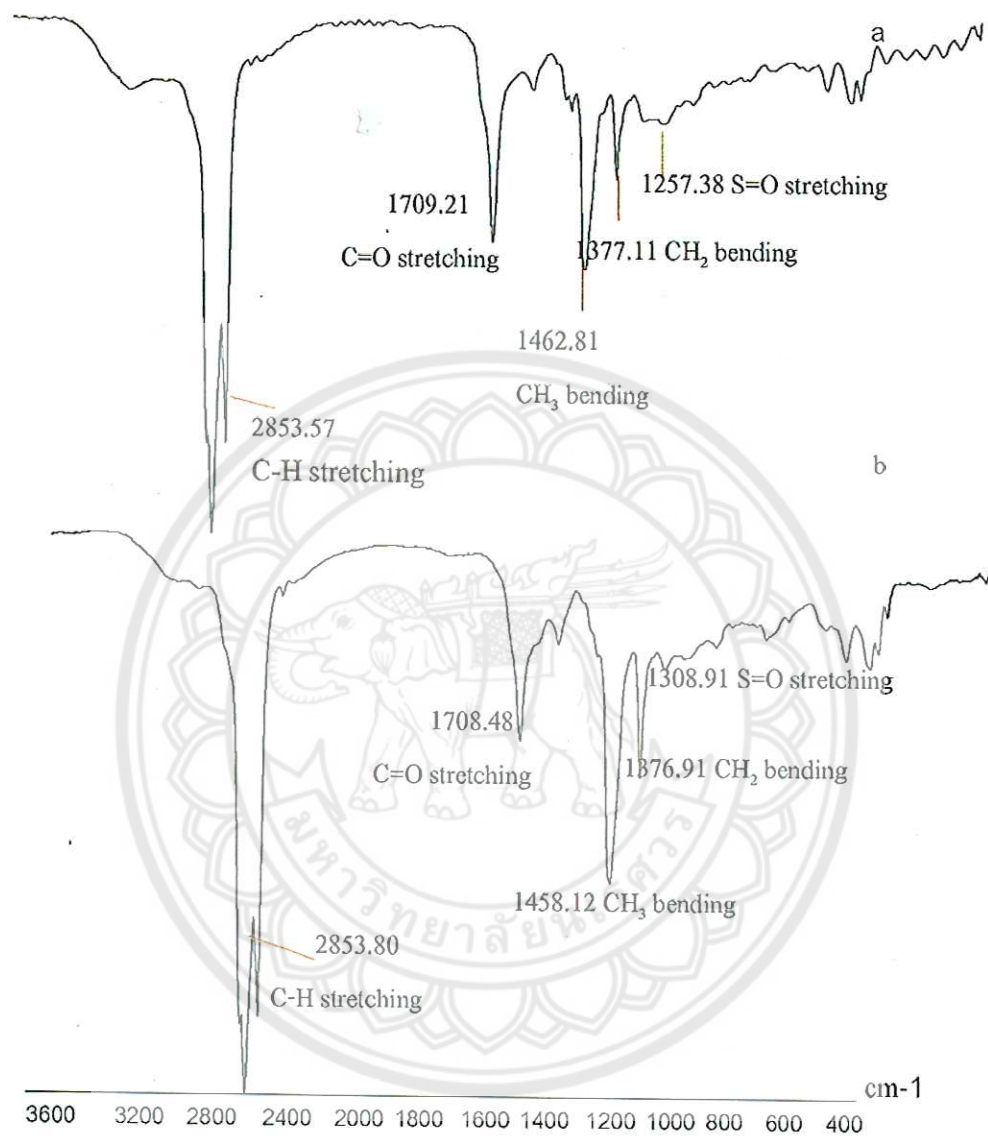
b) RTR ที่สกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของตัวทำละลายอะซิโตนที่ได้จากการสกัด RTR และ GRT

หมู่ฟังก์ชันแนก (Functional group)	เลขคลื่น ( wave number (cm <sup>-1</sup> ))	
	GRT	RTR
OH - stretching	3372.54	3370.25
CH - stretching	2924.72	2924.58
C = O stretching	1709.21	1708.48
CH <sub>3</sub> - bending	1497.65	1458.12
CH <sub>2</sub> - bending	1377.11	1376.91
S = O stretching	1257.38	1308.91

### 2.2.3 ผลการวิเคราะห์ก๊าซของ RTR และ GRT

การวิเคราะห์ก๊าซ RTR และ GRT หลังการสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตนด้วยการให้ความร้อนแก่ RTR และ GRT ซึ่งเมื่อให้ความร้อน ณ ช่วงอุณหภูมิต่างๆ ตั้งแต่ 60 – 180 องศาเซลเซียส ปรากฏว่ามีการเปลี่ยนแปลง คือ มีก๊าซเกิดขึ้น เมื่อยางเริ่มการหลอม แล้วนำก๊าซที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารที่เป็นองค์ประกอบภายใน พบว่าสเปกตรัมที่ได้จะแสดงให้เห็นหมู่ฟังก์ชัน ดังรูปที่ 2.4 เกิดการดูดกลืนแสงได้ตั้งแต่ 110 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.4 แสดงสเปคตร้า a) GRT หลังสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน

b) RTR หลังสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน

ผลการวิเคราะห์ จาก GRT และ RTR หลังการสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน จากสเปคตร้า จะเห็นได้ว่าก๊าซที่ได้จาก GRT และ RTR หลังการสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน ปรากฏหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นดังตารางที่ 2.2



ตารางที่ 2.2 แสดงค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของก๊าซจาก GRT และ RTR หลังการสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน

หมู่ฟังก์ชันแนล (Functional group)	เลขคลื่น (wave number (cm <sup>-1</sup> ))	
	RTR	GRT
CH - stretching	2853.80	2853.57
C = O stretching	1708.48	1709.21
CH <sub>3</sub> - bending	1458.12	1462.81
CH <sub>2</sub> - bending	1376.91	1377.11
S = O stretching	1308.91	1257.38

จากสเปกตรัมวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ระหว่างก๊าซที่ได้จากการให้ความร้อนของ RTR และ GRT ที่สกัดแบบต่อเนื่องด้วยตัวทำละลายอะซิโตน จะเห็นว่าหมู่ฟังก์ชันหลักที่ปรากฏในสเปกตรัมที่เกิดขึ้นไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ตัวทำละลายอะซิโตนสามารถที่จะสกัดสารที่มี S=O ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นภายในยางออกมาได้บางส่วน ทำให้กลิ่นของยางลดลง

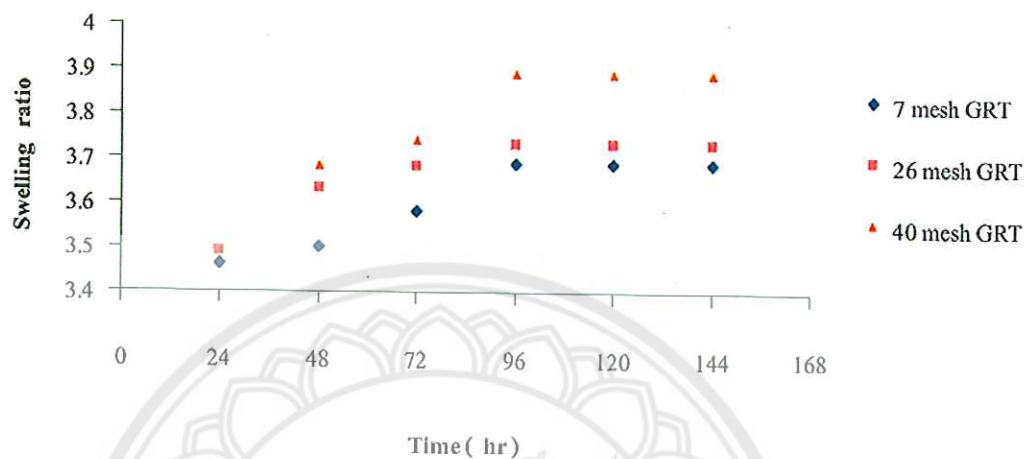
2.2.4 ผลการวิเคราะห์การบวมตัว (Swelling Ratio) และค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล (Crosslink density) ของ 7, 26 และ 40 mesh GRT

การบวมและค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของ 7, 26 และ 40 mesh GRT เป็นการทดสอบสมบัติทางกายภาพของ 7, 26 และ 40 mesh GRT โดยการเปรียบเทียบขนาดของ GRT ที่ดีที่สุดในการรีเคลมด้วยอัตราการบวมตัว นำผลของอัตราการบวมตัวคำนวณ ค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล ซึ่งผลที่ได้ดังตารางที่ 2.3

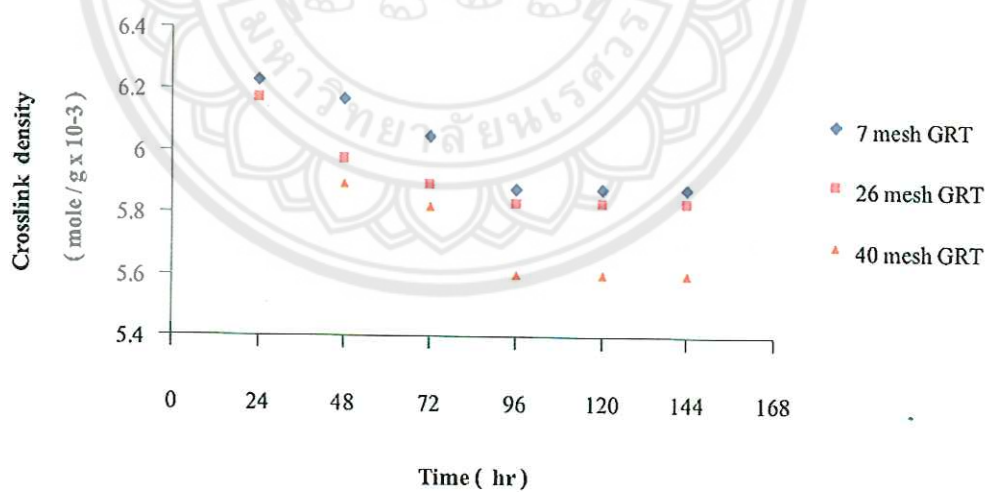
ตารางที่ 2.3 แสดงผลของอัตราการบวมตัวและค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของ 7, 26 และ 40 mesh GRT

Sample	Time (hr)	Swelling ratio	Crosslink density (Mol / g x 10 <sup>-3</sup> )
7 mesh GRT	24	3.46	6.23
	48	3.50	6.17
	72	3.58	6.05
	96	3.69	5.88
	120	3.69	5.88
	144	3.69	5.88
	26 mesh GRT	24	3.49
48		3.63	5.97
72		3.68	5.89
96		3.73	5.83
120		3.73	5.83
144		3.73	5.83
40 mesh GRT		24	3.49
	48	3.68	5.89
	72	3.74	5.82
	96	3.89	5.60
	120	3.89	5.60
	144	3.89	5.60

(a)



(b)



รูปที่ 2.5 แสดงกราฟ a) การบวมตัวของ 7, 26 และ 40 mesh GRT

b) ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล 7, 26 และ 40 mesh GRT

ผลการเปรียบเทียบการบวมตัวและค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของ 7, 26 และ 40 mesh GRT ผลที่ได้ปรากฏว่า 40 mesh GRT จะมีค่าการบวมตัวสูงสุด เมื่อเทียบกับ 7 และ 26 mesh GRT ซึ่งเมื่อนำค่าการบวมตัวมาคำนวณค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล ทำให้ค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของ 40 mesh GRT ต่ำที่สุด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ยิ่ง GRT มีขนาดเล็ก ทำให้สัมผัสกับตัวทำละลายได้ดีกว่า GRT ที่มีขนาดใหญ่ ทำให้เกิดการบวมตัวมาก และทำให้ค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลมีค่าน้อย

2.2.5 ผลการวิเคราะห์การบวมตัว (swelling ratio) และค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล (Crosslink density) ของ 40 mesh reclaiming GRT ที่ปริมาณ TMTD 1.5, 2.0, 2.75 และ 3.25 g.

การบวมตัวและค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของ 40 mesh reclaiming GRT ที่ปริมาณ TMTD 1.5, 2.0, 2.75 และ 3.25 g. โดยเปรียบเทียบปริมาณของ TMTD ที่ดีที่สุดในการรีเคลมด้วยอัตราการบวมตัวมาคำนวณค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล ผลที่ได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงผลของการบวมตัวและค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของ 40 mesh reclaiming GRT ที่ปริมาณ TMTD 1.5, 2.0, 2.75 และ 3.25 g.

Amount of added TMTD (g)	Time (hr)	Swelling ratio	Crosslink density (Mole / g x 10 <sup>-3</sup> )
1.5	24	3.48	6.21
	48	3.68	6.11
	72	3.95	5.54
	96	4.20	5.24
	120	4.75	4.71
	144	4.75	4.71





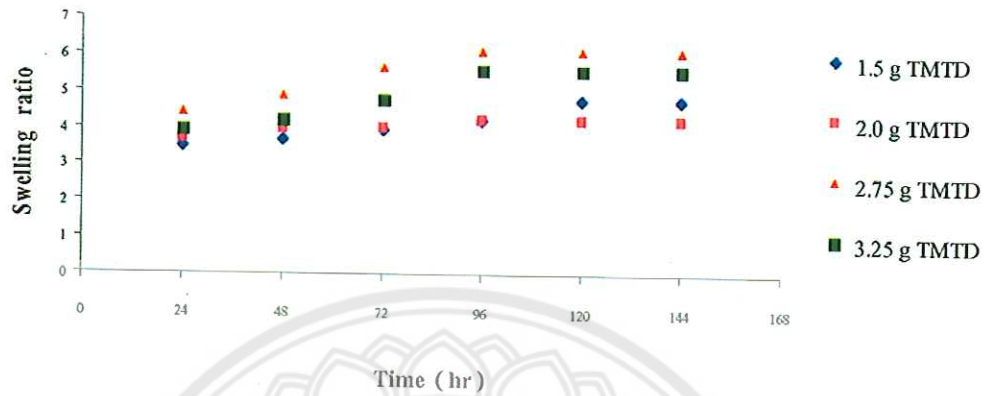
สำนักหอสมุด

13 JUL 2011

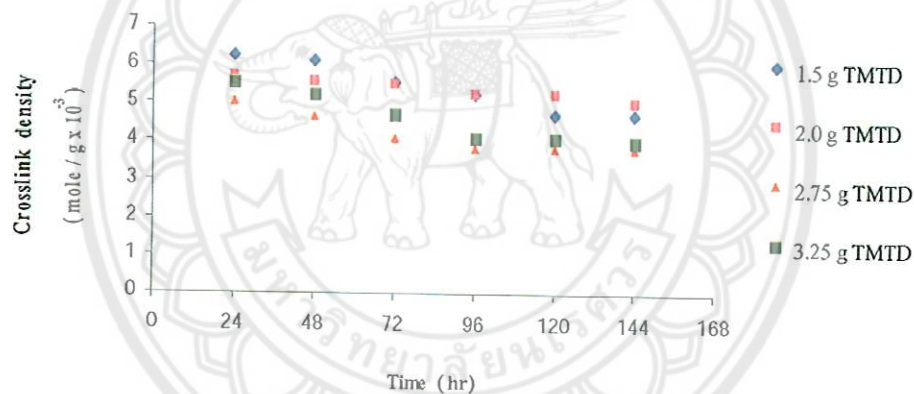
15641192

Amount of added TMTD (g)	Time (hr)	Swelling ratio	Crosslink density (Mole / g x 10 <sup>-3</sup> )
2.00	24	3.68	5.65
	48	3.95	5.54
	72	3.98	5.50
	96	4.20	5.24
	120	4.20	5.24
	144	4.20	5.03
	2.75	24	4.40
48		4.83	4.64
72		5.65	4.06
96		6.10	3.80
120		6.10	3.80
144		6.10	3.80
3.25		24	3.95
	48	4.20	5.24
	72	4.75	4.71
	96	5.60	4.09
	120	5.60	4.09
	144	5.60	4.02

(a)



(b)



รูปที่ 2.6 แสดงกราฟ a) การบวมตัวของ 40 mesh reclaiming GRT ที่ปริมาณ TMTD 1.5, 2.0, 2.75 และ 3.25 g.

b) ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของ 40 mesh reclaiming GRT ที่ปริมาณ TMTD 1.5, 2.0, 2.75 และ 3.25 g.

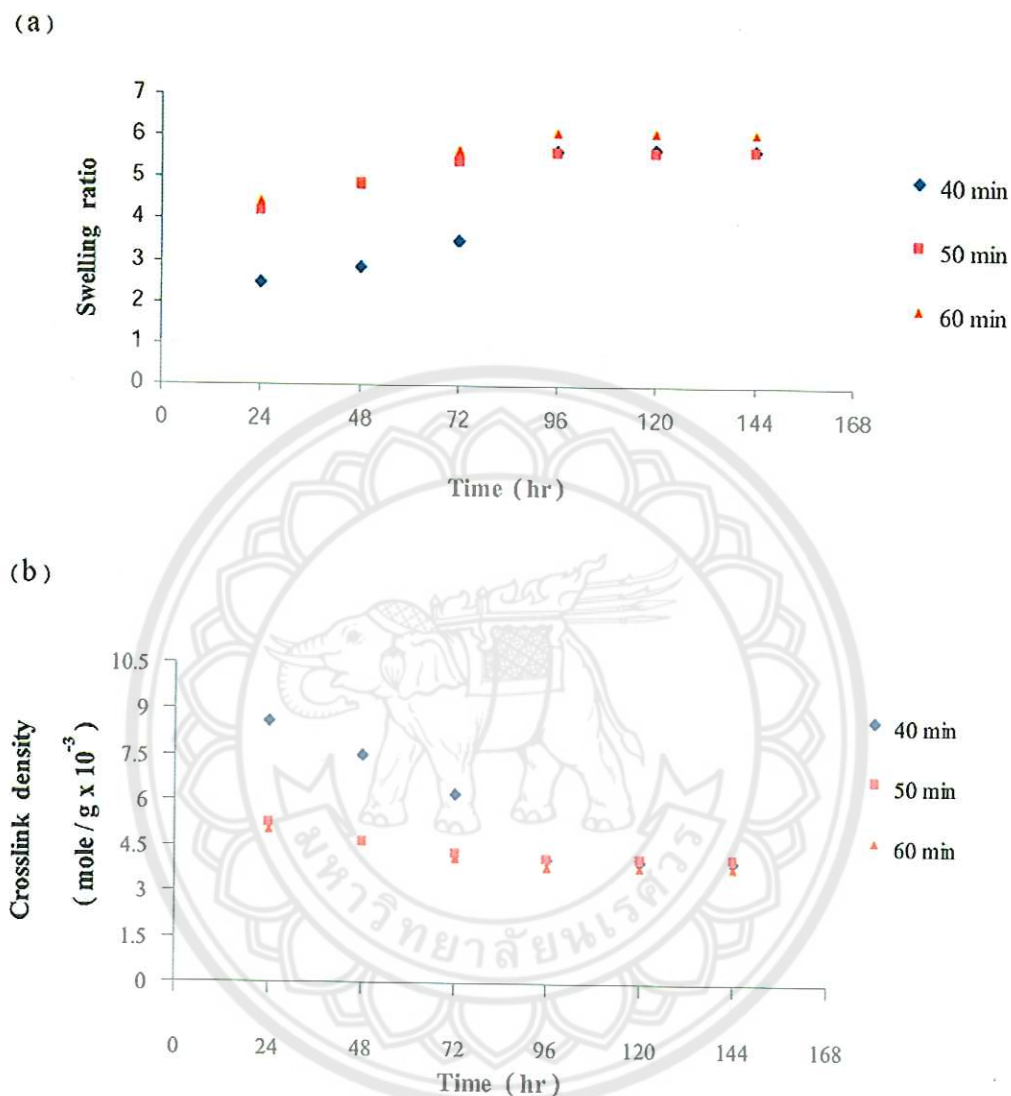
ผลการเปรียบเทียบการบวมตัวและค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของ 40 mesh reclaiming GRT ที่ปริมาณ TMTD 1.5, 2.0, 2.75 และ 3.25 g. ผลที่ได้ปรากฏว่าที่ 2.75 g. TMTD จะมีค่าการบวมตัวสูงสุด เมื่อเทียบกับ 1.5, 2.0 และ 3.25 g. TMTD ซึ่งเมื่อนำค่าการบวมตัวมาคำนวณค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล ทำให้ค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงของที่ 2.75 g. TMTD ต่ำที่สุด ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าที่ 2.75 g. เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการรีเคลมมิ่ง เนื่องจากที่ 2.75 g. TMTD สามารถที่จะกระจายตัวอยู่ในเนื้อยางได้ดีที่สุด

2.2.6 ผลการวิเคราะห์การบวมตัว (Swelling ratio) และค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล (Crosslink density) ของการรีเคลม ณ ช่วงเวลา 40, 50 และ 60 นาที

การบวมตัวและค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของการรีเคลม ณ ช่วงเวลา 40, 50 และ 60 นาที โดยการเปรียบเทียบช่วงเวลาในการรีเคลมที่ให้ผลดีที่สุดของการบวมตัว นำผลของการบวมตัวมาคำนวณ ค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล ผลที่ได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงผลของการบวมตัวและค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของการรีเคลม ณ ช่วงเวลา 40, 50 และ 60 นาที

Time (reclaiming) (min)	Time (hr)	Swelling ratio	Crosslink density (Mol / g x 10 <sup>-3</sup> )
40	24	2.45	8.60
	48	2.85	7.46
	72	3.48	6.21
	96	5.65	4.05
	120	5.70	4.02
	144	5.70	4.02
	50	24	4.20
48		4.85	4.62
72		5.40	4.21
96		5.60	4.09
120		5.60	4.09
144		5.65	4.05
60		24	4.40
	48	4.83	4.64
	72	5.65	4.06
	96	6.10	3.80
	120	6.10	3.80
	144	6.10	3.80



รูปที่ 2.7 แสดงกราฟ a) การบวมตัวของการรีเคลม ณ ช่วงเวลา 40, 50 และ 60 นาที

b) ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของ ณ ช่วงเวลา 40, 50 และ 60 นาที

ผลการเปรียบเทียบการบวมตัวและค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของการรีเคลม ณ ช่วงเวลา 40, 50 และ 60 นาที ผลที่ได้ปรากฏว่าที่เวลา 60 นาที ในการรีเคลม GRT ด้วย TMTD จะมีค่าการบวมตัวสูงสุด ซึ่งเมื่อนำค่าการบวมตัวมาคำนวณค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล ทำให้ค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงที่เวลา 60 นาทีต่ำที่สุด ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าที่เวลา 60 นาที เป็นช่วงเวลาในการรีเคลมมีงที่เหมาะสมที่สุดและเป็นช่วงเวลาที่มี TMTD กระจายตัวในเนื้อยางได้มากที่สุด



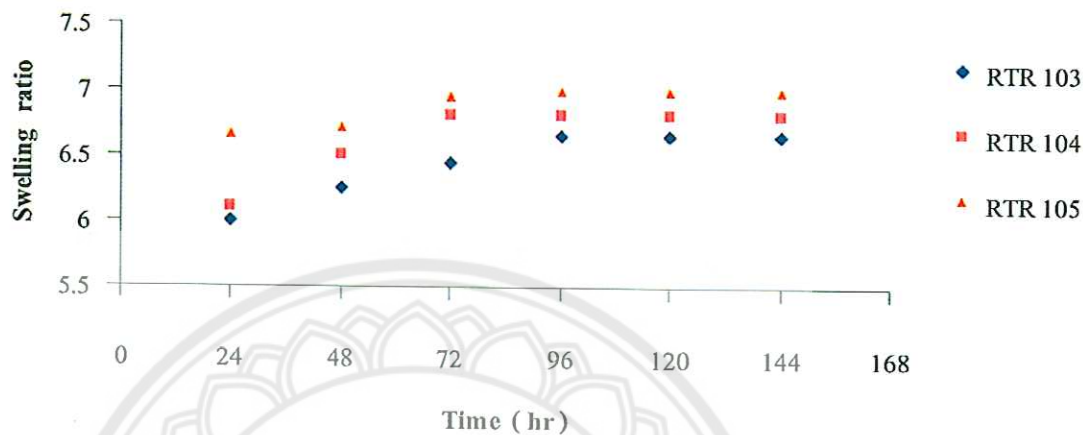
### 2.2.7 ผลการวิเคราะห์การบวมตัว (Swelling ratio) และค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล (Crosslink density) ของ 103, 104 และ 105 RTR

การบวมตัวและค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของ 103, 104 และ 105 RTR โดยการเปรียบเทียบขนาดของ RTR ที่ดีที่สุด ด้วยอัตราการบวมตัว นำผลของการบวมตัวคำนวณ ค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล ซึ่งผลที่ได้ดังตารางที่ 2.6

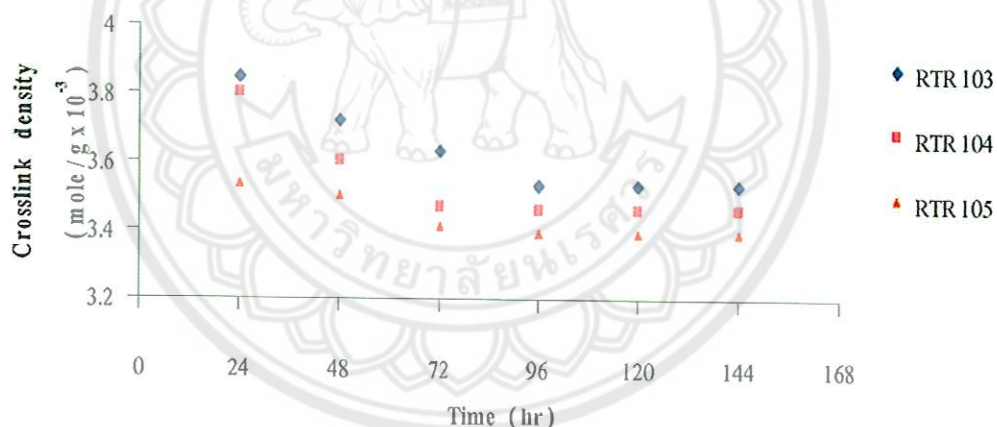
ตารางที่ 2.6 แสดงผลของการบวมตัวและค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล 103, 104 และ 105 RTR

Sample	Time (hr)	Swelling ratio	Crosslink density (Mol / g x 10 <sup>3</sup> )
RTR 103	24	6.0	3.85
	48	6.25	3.72
	72	6.45	3.63
	96	6.65	3.53
	120	6.65	3.53
	144	6.65	3.53
RTR 104	24	6.1	3.80
	48	6.5	3.60
	72	6.8	3.47
	96	6.81	3.46
	120	6.81	3.46
	144	6.81	3.46
RTR 105	24	6.65	3.53
	48	6.71	3.5
	72	6.95	3.41
	96	6.98	3.39
	120	6.98	3.39
	144	6.98	3.39

(a)



(b)



รูปที่ 2.8 แสดงกราฟ a) การบวมตัวของ 103, 104 และ 105 RTR

b) ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของ 103, 104 และ 105 RTR

ผลการเปรียบเทียบการบวมตัวและค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของ 103, 104 และ 105 RTR ผลที่ได้ปรากฏว่าที่ 105 RTR จะมีค่าการบวมตัวสูงสุด ซึ่งเมื่อนำค่าการบวมตัวมาคำนวณค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล ทำให้ค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงของ 105 RTR ต่ำที่สุด ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า RTR ที่มีความละเอียดมากจะสัมผัสกับตัวทำละลายได้ดี ทำให้เกิดการบวมตัวมาก ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลจึงต่ำ

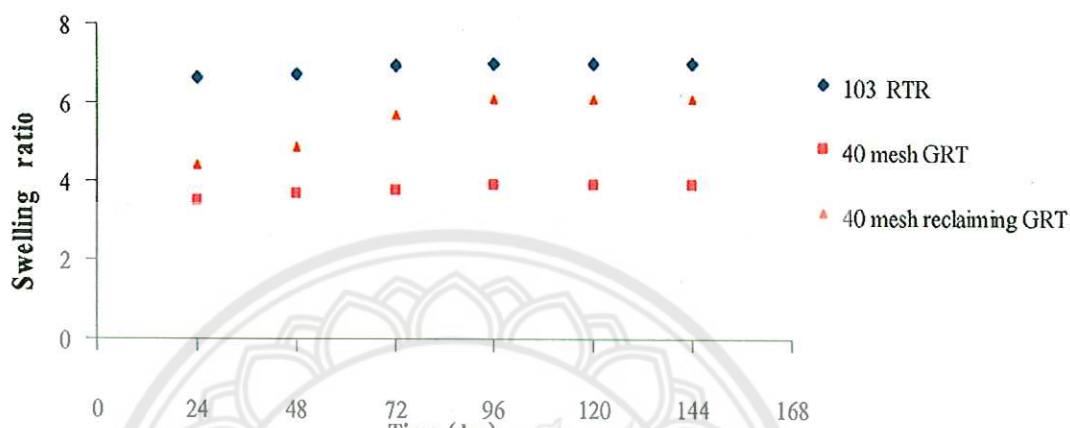
2.2.8 ผลการวิเคราะห์การบวมตัว (Swelling ratio) และค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล (Crosslink density) ของ 105 RTR, 40 mesh GRT และ 40 mesh reclaiming GRT

การวิเคราะห์การบวมตัวและค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของ 105 RTR, 40 mesh GRT และ 40 mesh reclaiming GRT โดยใช้โทลูอีนเป็นตัวทำละลาย เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของ 105 RTR, 40 mesh GRT และ 40 mesh reclaiming GRT ด้วยการทดสอบการบวมตัว นำผลการบวมตัวมาคำนวณค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงของผลที่ได้มีดังตารางที่ 2.7

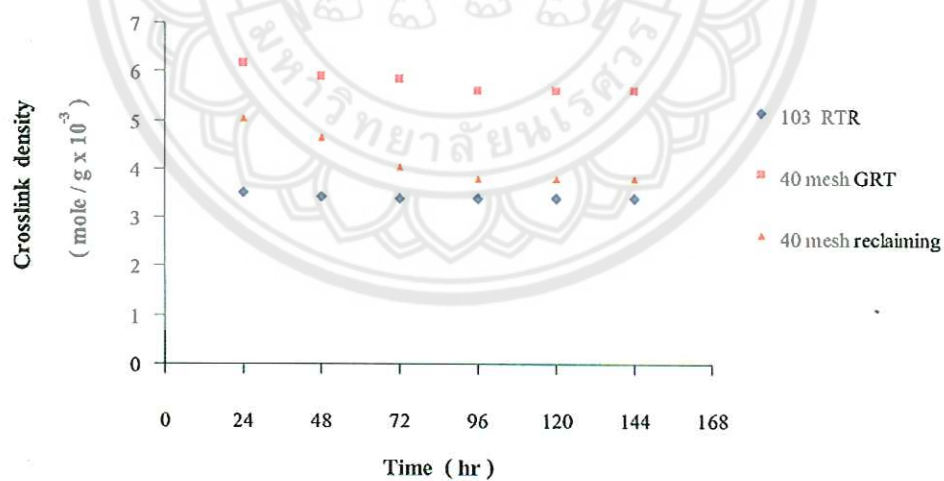
ตารางที่ 2.7 แสดงผลของอัตราการบวมตัวและค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล 105 RTR, 40 mesh GRT และ 40 mesh reclaiming GRT

Sample	Time (hr)	Swelling ratio	Crosslink density (Mol / g x 10 <sup>-3</sup> )
40 mesh GRT	24	3.49	6.17
	48	3.68	5.89
	72	3.74	5.82
	96	3.89	5.60
	120	3.89	5.60
	144	3.89	5.60
105 RTR	24	6.65	3.53
	48	6.71	3.41
	72	6.95	3.39
	96	6.98	3.39
	120	6.98	3.39
	144	6.98	3.39
40 mesh reclaiming GRT	24	4.40	5.03
	48	4.83	4.64
	72	5.65	4.04
	96	6.10	3.80
	120	6.10	3.80
	144	6.10	3.80

(a)



(b)



รูปที่ 2.9 แสดงกราฟ a) การบวมตัวของ 105 RTR, 40 mesh GRT และ 40 mesh reclaiming GRT

b) ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของ 105 RTR, 40 mesh GRT และ 40 mesh reclaiming GRT



ผลการเปรียบเทียบการบวมตัวและค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลของ 105 RTR, 40 mesh GRT และ 40 mesh reclaiming GRT ผลที่ได้ปรากฏว่าที่ 105 RTR จะมีค่าการบวมตัวสูงสุด ซึ่งเมื่อนำค่าการบวมตัวมาคำนวณค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล ทำให้ค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงของ 105 RTR ต่ำที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบ 40 mesh GRT และ 40 mesh reclaiming GRT ผลที่ได้ปรากฏว่าที่ 40 mesh reclaiming GRT มีค่าการบวมตัวสูงกว่า 40 mesh GRT ทำให้มีค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลต่ำกว่าของ 40 mesh GRT

### 2.2.9 ผลของการรีเคลม GRT ด้วย TMTD โดยใช้เครื่องผสมชนิด 2 ลูกกลิ้ง

ผลการรีเคลม GRT ด้วย TMTD เป็นการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของ GRT ให้มีสมบัติใกล้เคียงกับ RTR โดยในการรีเคลม GRT ด้วย TMTD จะมีการเลือกขนาดของ GRT ปริมาณของ TMTD รวมถึงเวลาในการรีเคลมที่ดีที่สุด ซึ่งผลการรีเคลมจะแสดง ดังรูปที่ 2.10



40 mesh reclsiming GRT, 2.75 g TMTD, 40 นาที



40 mesh reclsiming GRT, 2.75 g TMTD, 50 นาที



40 mesh reclaimsing GRT, 2.75 g TMTD, 60 นาที

รูปที่ 2.10 แสดงการรีเคลม 40 mesh reclaimsing GRT, 2.75 g TMTD ณ ช่วงเวลา 40, 50 และ 60 นาที

ผลการรีเคลม GRT ด้วย TMTD โดยการรีเคลม GRT ด้วย TMTD จะเลือกขนาดของ GRT ปริมาณของ TMTD รวมถึงช่วงเวลาในการรีเคลม ซึ่งจากผลของการบวมตัวและค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล สามารถสรุปได้ว่า 40 mesh reclaimsing GRT ปริมาณ TMTD ที่ 2.75 g ณ ช่วงเวลาในการรีเคลมมี 60 นาที จะสามารถปรับปรุงสมบัติของ GRT ได้ดีที่สุด โดยปฏิกิริยาของการรีเคลม GRT อธิบายได้ว่า เมื่อเกิดการผสมเชิงกลทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์เกิดการแตกตัวได้เป็นแรติคัล หลังจากนั้น TMTD จะเข้าไปเทอร์มินเนตกับสายโซ่ของพอลิเมอร์เกิดการอิมมัตว ทำให้ GRT ที่ทำการรีเคลมเกิดความอ่อนนุ่มมากขึ้นและมีสมบัติใกล้เคียงกับ RTR

### บทที่ 3

## สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 3.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาสมบัติของ 7, 26 และ 40 GRT ก่อนที่จะนำไปทำการปรับปรุงประสิทธิภาพด้วย TMTD โดยมีการนำ GRT แต่ละขนาดมาสกัดสารวัลคาไนซ์ด้วยตัวทำละลายอะซิโตน ปรากฏว่า GRT ก่อนและหลังสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตนมีสมบัติที่ไม่แตกต่างกัน

สำหรับการวิเคราะห์หากลืนยางภายใต้ความร้อนของ GRT และ RTR ซึ่งในการวิเคราะห์ปรากฏว่า GRT และ RTR จะเริ่มให้กลิ่นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่แตกต่างจาก GRT และ RTR ที่สกัดด้วยอะซิโตนมากนัก และอุณหภูมิที่ประมาณ 110 องศาเซลเซียส GRT และ RTR จะเริ่มเหนียวติดภาชนะ โดยในการวิเคราะห์จะนำก๊าซที่สลายตัวออกมาจาก GRT และ RTR ที่ได้รับความร้อนมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR พบว่าทั้ง GRT ที่สกัดและที่ไม่ได้สกัดด้วยอะซิโตน ปรากฏมีพีคของซัลเฟอร์เกิดขึ้น ณ ช่วงอุณหภูมิที่ประมาณ 120 องศาเซลเซียสขึ้นไป แต่เมื่อนำ GRT มาเปรียบเทียบกับ RTR พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันกลิ่นที่ปรากฏในสเปกตรัมคล้ายกัน

การปรับปรุงประสิทธิภาพของ GRT โดยใช้ TMTD มาทำการผสมที่อัตราส่วนความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ณ ช่วงเวลาที่แตกต่างกัน เมื่อทดสอบปรากฏว่าที่อุณหภูมิประมาณ 170-175 องศาเซลเซียส GRT เริ่มมีกลิ่นออกมา เมื่ออุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส GRT เริ่มหลอมติดกับภาชนะ จากนั้นนำมาทดสอบพบว่าที่ 2.75 g TMTD สามารถกระจายตัวอยู่ในโมเลกุลของ GRT ได้ดี โดยวิเคราะห์จากความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล จะสังเกตได้ว่าค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลที่ 2.75 g TMTD มีค่าต่ำสุด ดังนั้นขนาดยิ่งมากค่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลยิ่งน้อยด้วย เมื่อนำผล GRT ที่ทำการรีเคลมมิ่ง มาเปรียบเทียบกับ RTR ปรากฏว่า GRT ที่ทำการรีเคลมมิ่งด้วย 2.75 g TMTD ณ ช่วงเวลา 60 นาที มีค่าการเชื่อมโยงโมเลกุลที่มีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก

### 3.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของ GRT ที่ผ่านการรีเคลมมิ่งด้วยเทคนิค Solid State NMR และ SEM เพิ่มเติม



### บรรณานุกรม

1. Adhikari, B., De.D., and Maiti, S., Reclamation and recycling of waste rubber. *Prog.Polym.Sci.* 25 (2000): 909-948.
2. Throne JL. *Adv Polym Technol* No.7 (4)(1987):347.
3. Warner WC. *Rubber Chem Technol* (1994): 67:559.
4. Braton NR. *Waste Age* May-June,61(1972).
5. Harshaft AA. *Environ Sci Technol* 6 (1972): 412.
6. Phadke AA, De SK. *Conserv Recyl* 9 (1986): 271.
7. Tukachinsky A, Schworm D, and Isayev AI. *Rubber Chem Technol* 69 (1996):92.
8. Tsuchii A, and Takeda K. *Appl Environ Microbiol* 56 (1990):269.
9. Knorr K. *Kautschuk Gummi Kunststoffe* 47(1994):54.
10. Okamoto H, Inagaki S and Onauchi Y, Furukawa J. *Nippon Gomu Kyokaishi* 52(12) (1979): 774.
11. Anderson E. Jr. *US Patent* (1985): 4, 544, 675.
12. Kohler R, O'Neill J. *Rubber World* 216(2) (1977):32.
13. Sekhar BC. *European Patent Application* (1995):EP 0690091 AL.
14. De D, Adhikari B, and Maiti S. *J Polym Mater* 1997;14:333.
15. De D, Maiti S, and Adhikari B. *J Appl Polym Sci* 73(14)(1999): 2951.
16. <http://chemistry2.csudh.edu/rpendarvis/EtherSH.html>. Retried on January 26, 2005 .
17. Adhiakri, B., De, D. and Maiti, S. ( 2000 ). Reclaamtion and rerycling of waste rubber. *Journal of Progress in Polymer sciene.* 25, 909 – 948.
18. Kumnuantip G., and Sombatatsompop N. ( 2003 ). Dynamic mechanical properties and swelling behaviour of NR/reclaimed rubber blend . 57, 3167 – 3174.
19. Helaly, F.M., Darwish, W.M. and Abd El – Ghaffar, M.A. ( 1999 ). Effet of some polyaromatic amihes on the properties of NR and SBR vulcanization. *Journal of polymer Degradation and stability.* 64, 254 – 257.