การส่งเสริมการกระจายของอนุภาคยางในลาเท็กซ์วัลคาไนซ์อิสระสำหรับฟิล์มยาง

นางสาว กรรณิการ์ วิริยะขันติโชค

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-2590-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ENHANCED DISPERSION OF RUBBER PARTICLES IN FREE VULCANISED LATEX FOR RUBBER FILM

Miss Kannika Viriyakantichok

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

ISBN 974-14-2590-2

Copyright of Chulalongkorn University

492237

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การส่งเสริมการกระจายของอนุภาคยางในลาเท็กซ์วัลคาไนซ์อิสระสำหรับฟิล์มยาง
โดย	นางสาวกรรณิการ์ วิริยะขันติโชค
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. เพียรพรรค ทัศคร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. พลภัทร พฤกษานานนท์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. เพียรพรรค ทัศคร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร. พลภัทร พฤกษานานนท์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สงบทิพย์ พงศ์สถาบดี)

กรรณิการ์ วิริยะขันติโชค : การส่งเสริมการกระจายของอนุภาคยางในลาเท็กซ์วัลคาไนซ์อิสระสำหรับฟิล์มยาง (ENHANCED DISPERSION OF RUBBER PARTICLES IN FREE VULCANISED LATEX FOR RUBBER FILM) อ. ที่ปรึกษา: อ.ดร. เพียรพรรค ทัศคร, อ.ที่ปรึกษาร่วม: ดร. พลภัทร พฤกษานานนท์, 123 หน้า. ISBN 974-14-2590-2.

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงกระบวนการปรับปรุงอนุภาคยางในลาเท็กซ์วัลคาไนซ์อิสระเพื่อใช้สำหรับผลิตฟิล์มยางที่มีความแข็งแรง โดยผสมน้ำยางกับสารเคมีต่างๆ ในรูปแบบสารแขวนลอย กวนในเครื่องผสมที่ระบบปิดพร้อมกับให้ความร้อนในการทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางโมเลกุลขึ้น ในการผลิตน้ำยางวัลคาไนซ์อิสระ ได้ศึกษาผลของการเชื่อมขวางโมเลกุลในสองระบบ คือ ระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์ และระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ TMTD ดิสเพอร์ชัน แล้วศึกษาปัจจัยที่ส่งผลถึงสมบัติของฟิล์มยาง คือ ปริมาณซัลเฟอร์ อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ และเวลาในการทำปฏิกิริยา จากนั้นศึกษาผลของไซเลนและโซเดียมซิลิเกตต่อสมบัติเชิงกลของยาง และค่าการยึดติดระหว่างฟิล์มยางกับพื้นผิวต่างๆ ได้แก่ พื้นยางมะตอย อิฐบล็อก อิฐมอญ ปูนซีเมนต์ และไม้อัด

จากการทดลองพบว่าระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ TMTD ดิสเพอร์ชัน ให้ผลดีกว่า โดยให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดมีค่า 11.4 MPa ที่ปริมาณซัลเฟอร์ 1.5 phr อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 50 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง ค่าร้อยละการบวม 90.4 % อัตราการซึมผ่านได้ของน้ำ 0.13 x10^{-2} kg/(m^2-h-mm) แล้วศึกษาสมบัติของสารตัวเติม พบว่าปริมาณโซเดียมซิลิเกตเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงลดลง ส่วนไซเลนไม่มีผล ค่าความยืดเมื่อขาด 800-900 % ค่าความแข็งมีค่ามากที่สุดที่ปริมาณโซเดียมซิลิเกต 20 phr เท่ากับ 43 IRHD ค่าการยึดติดของฟิล์มยาง พบว่าพื้นผิวอิฐบล็อกมีค่าแรงยึดเกาะกับยางสูงสุดเป็น 14.5 MPa เมื่อเติมไซเลน 1 phr กับโซเดียมซิลิเกต 10 phr

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค.....
สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค.....
ปีการศึกษา.....2549.....

ลายมือชื่อนิสิต.....กรรณิการ์ วิริยะขันติโชค.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4772208923 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: NATURAL RUBBER / FREE VULCANISED LATEX / CROSSLINK / ADHESION

KANNIKA VIRIYAKANTICHOK : ENHANCED DISPERSION OF RUBBER PARTICLES IN FREE VULCANISED LATEX FOR RUBBER FILM. THESIS ADVISOR : PIENPAK TASKORN, Ph.D., THESIS COADVISOR : POLPATR PRUKSANANONT,Ph.D., 123 pp.
ISBN 974-14-2590-2.

A process to enhance the physical properties of rubber particles in free vulcanized latex for making rubber film has been investigated. The chemicals and rubber latex were mixed in a reactor in closed system and heated for vulcanization. Two vulcanized systems were tested: vulcanization with sulfur dispersion and vulcanization using TMTD dispersion. The parameters studied were sulfur loading, curing temperature and reaction time for their effects on tensile strength. Silane and sodium silicate were added to improve the adhesion strength between rubber film formed on different solid surfaces. It was found that vulcanized system with TMTD dispersion was better than that of sulfur. The highest value of tensile strength of rubber film formed from the free vulcanized latex, prepared at sulfur loading of 1.5 phr, curing temperature of 50 °C and reaction time 1 h, was 11.4 MPa. The swelling test using toluene was 90.4 %, vapour permeability 0.13 x10^{-2} kg/(m^2-h-mm). The tensile strength was reduced significantly when sodium silicate was added, but silane had no noticeable effect. The elongation of rubber samples with added silane and sodium silicate was about 800-900%. Sodium silicate at 20 phr yielded a maximum hardness of 43 IRHD. Adhesion strength of rubber on cement brick and concrete surfaces were higher than other surfaces (wood, clay brick and bitumen). The highest adhesion strength of rubber film formed on cement brick was 14.5 MPa when using silane 1 phr together with sodium silicate 10 phr.

Department.....Chemical Technology..... Student's Signature..กรรณิการ์ วิริยะขันติโชค

Field of Study.....Chemical Technology..... Advisor's Signature.....

Academic Year.....2006..... Co-advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.เพียรพรรค ทัศคร ที่ให้คำปรึกษา แนวคิด แนวทางในการทำงานวิจัย ตลอดจนการแก้ไขปัญหา รวมไปถึงความช่วยเหลือในทุกด้านจึงทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอกราบพระคุณ ดร.พลภัทร พฤกษานานนท์ ที่คอยให้การสนับสนุนด้านความรู้ วัตถุดิบต่างๆ และเครื่องมือในการทดลอง

ขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สงบทิพย์ พงศ์สถาบดี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความเห็น คำแนะนำ และแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบุคลากรภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่คอยอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเทคนิคต่างๆ ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ โท พี่ต๊าฟ พี่หมี พี่จิ้ง มารุต และเพื่อน ๆ นิสิตในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ช่วยเหลือในทุกด้าน และเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และญาติพี่น้อง ที่คอยดูแล ให้กำลังใจ รวมถึงความช่วยเหลือ และการสนับสนุนต่างๆ ตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญภาพ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2
1.4 ขอบเขตและวิธีดำเนินการวิจัย..... 3
1.5 ลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย 4

2 วารสารปริทัศน์..... 5
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยางธรรมชาติ..... 5
2.2 น้ำยางข้น..... 16
2.3 วัลคาไนเซชัน..... 21
2.4 น้ำยางวัลคาไนซ์..... 22
2.5 การผลิตน้ำยางคงรูปและสารเคมีสำหรับการเตรียมน้ำยางคงรูป..... 24
2.6 การเตรียมสารเคมีที่ใช้กับน้ำยาง 31
2.7 การผสมสารเคมีกับน้ำยาง..... 35
2.8 วิธีทดสอบน้ำยางคงรูป..... 36
2.9 สารตัวเติม..... 38
2.10 สารประสานคู่ควบไซเลน..... 40
2.11 สารยึดติดและการยึดติด 42

หน้า

2.12 สมบัติและลักษณะพื้นผิว 45
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 49
2.14 สมมติฐานของงานวิจัย 53

3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง 54
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง 54
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 57
3.3 การดำเนินงานวิจัย 58

4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง 66
4.1 ศึกษาสมบัติของวัตถุดิบ 66
4.2 ศึกษาระบบการเชื่อมขวางของโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์ 69
4.3 ศึกษาระบบการเชื่อมขวางของโมเลกุลโดยใช้ เตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ ดิสเพอร์ชัน 81
4.4 ศึกษาผลของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์เปรียบเทียบกับระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้เตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ดิสเพอร์ชัน 85
4.5 ศึกษาผลสภาพการซึมผ่านได้ของน้ำกับฟิล์มยางจากน้ำยางวัลคาร์ไนซ์อิสระ 87
4.6 ศึกษาสมบัติเชิงกลของไซเลนและโซเดียมซิลิเกต 88
4.7 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการยึดติดระหว่างพื้นผิวกับฟิล์มยาง 92

5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 96
5.1 สรุปผลการทดลอง 96
5.2 ข้อเสนอแนะ 100

รายการอ้างอิง 102
ภาคผนวก 104
ภาคผนวก ก 105
ภาคผนวก ข 108
ภาคผนวก ค 110

หน้า

ภาคผนวก ง 112
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 123

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ 8
2.2 ส่วนประกอบของเนื้อยาง 8
2.3 การแยกตัวขององค์ประกอบน้ำยางสดเมื่อถูกปั่น 20
2.4 ตัวอย่างสารเคมีที่ให้ซัลเฟอร์ 26
2.5 ส่วนประกอบของอิมัลชัน 32
2.6 ส่วนประกอบของดิสเพอร์ชัน 34
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี 57
3.2 สูตรการเตรียมดิสเพอร์ชัน 58
3.3 สูตรผสมน้ำยางวัลคาไนซ์อิสระของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์ 59
3.4 สูตรผสมน้ำยางวัลคาไนซ์อิสระระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ เตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ (TMTD) ดิสเพอร์ชัน 59
3.5 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา 60
3.6 ภาวะการทดลองทั้งหมดที่ต้องทำการทดลอง 61
3.7 สัดส่วนของปริมาณไซเลนและโซเดียมซิลิเกต เพื่อศึกษาผลของไซเลน 64
3.8 สัดส่วนของปริมาณไซเลนและโซเดียมซิลิเกต เพื่อศึกษาผลของโซเดียมซิลิเกต 64
4.1 ขนาดอนุภาคของน้ำยางข้น 60% DRC 66
4.2 ขนาดอนุภาคของซัลเฟอร์ดิสเพอร์ชัน 67
4.3 ขนาดอนุภาคของซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (ZDEC) ดิสเพอร์ชัน 68
4.4 ขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ดิสเพอร์ชัน 68
4.5 ค่าความต้านทานแรงดึงและความยืดเมื่อขาดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถุงมือสำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียว (มอก.1056-2548) 70
4.6 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา 70
4.7 ผลการทดลองจากภาวะการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 71
4.8 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรต่อค่าความต้านทานแรงดึงของ ระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์ ที่ถูกแปลง 72
ก.1 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติเข้มข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ 105
ก.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ (TMTD) 106
ก.3 แสดงสมบัติสารประสานคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent) 107

ตาราง หน้า

ง.1 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ซัลเฟอร์ ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 30 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 112
ง.2 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ซัลเฟอร์ ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 30 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง 112
ง.3 สมบัติ ด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ซัลเฟอร์ ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 30 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง 112
ง.4 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ซัลเฟอร์ ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 40 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 113
ง.5 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ซัลเฟอร์ ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 40 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง 113
ง.6 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ซัลเฟอร์ ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 40 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง 113
ง.7 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ซัลเฟอร์ ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 50 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 114
ง.8 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ซัลเฟอร์ ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 50 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง 114
ง.9 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ซัลเฟอร์ ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 50 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง 114
ง.10 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ซัลเฟอร์ ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 60 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 115
ง.11 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ซัลเฟอร์ ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 60 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง 115
ง.12 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ซัลเฟอร์ ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 60 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง 115
ง.13 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ซัลเฟอร์ ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 70 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 116
ง.14 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ซัลเฟอร์ ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 70 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง 116

ตาราง หน้า

ง.15 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ซัลเฟอร์ ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 70 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง 116
ง.16 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ TMTD ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 30 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง.....117
ง.17 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ TMTD ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 40 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง.....117
ง.18 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ TMTD ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 50 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง.....117
ง.19 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ TMTD ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 60 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง.....118
ง.20 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ใช้ TMTD ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่ 70 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง.....118
ง.21 ค่าร้อยละการบวมของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระที่ใช้ TMTD ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ต่างๆ และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 118
ง.22 อัตราการซึมผ่านได้ของน้ำผ่านฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระที่ใช้ TMTD ที่อุณหภูมิ การวัลคาไนซ์ต่างๆ และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง.....119
ง.23 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ปริมาณไซเลนต่างๆ ปริมาณซัลเฟอร์ใน TMTD 1.5 phr อุณหภูมิ ในการวัลคาไนซ์ 50 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 119
ง.24 สมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและค่าความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ปริมาณโซเดียมซิลิเกตต่างๆ ปริมาณซัลเฟอร์ใน TMTD 1.5 phr อุณหภูมิ ในการวัลคาไนซ์ 50 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 120
ง.25 สมบัติด้านความแข็งของยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ปริมาณไซเลนต่างๆ ปริมาณซัลเฟอร์ ใน TMTD 1.5 phr อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 50 °C และ เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 120
ง.26 สมบัติด้านความแข็งของยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่ปริมาณโซเดียมซิลิเกตต่างๆ ปริมาณซัลเฟอร์ใน TMTD 1.5 phr อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 50 °C และ เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 121

ตาราง หน้า

ง.27 ผลของปริมาณไซเลนต่อค่าการยึดติดระหว่างยางกับพื้นผิวต่างๆ ที่ปริมาณซัลเฟอร์ใน TMTD 1.5 phr อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 50 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 121

ง.28 ผลของปริมาณโซเดียมซิลิเกตต่อค่าการยึดติดระหว่างยางกับพื้นผิวต่างๆ ที่ปริมาณซัลเฟอร์ใน TMTD 1.5 phr อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 50 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 122

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 น้ำยางที่ได้จากการกรีดต้นยางพารา 6

2.2 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ 6

2.3 ลักษณะอนุภาคยางธรรมชาติ 8

2.4 สถานะการเป็นสารแขวนลอยของน้ำยางสด 11

2.5 น้ำยางเสียสภาพจับเป็นก้อนยาง 11

2.6 ภาพหน้าตัดตามยาวของเครื่องปั่นน้ำยางข้น 18

2.7 การเชื่อมขวางโมเลกุลของยางด้วยซัลเฟอร์ 21

2.8 แบบจำลองการผลิตและการเกิดปฏิกิริยาของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ 23

2.9 แบบจำลองการผลิตและการเกิดปฏิกิริยาของน้ำยางวัลคาไนซ์อิสระ 23

2.10 การเชื่อมขวางของยางโดยใช้สารเปอร์ออกไซด์ 27

2.11 กลไกการเกิดการคงรูปของยางพอลิคลอโรพรีน โดยใช้โลหะออกไซด์ 28

2.12 กลไกการดูดซับหมู่ไฮดรอกซีกับหมู่ไซเลนอล 41

2.13 ถึงกลไกการสร้างพันธะระหว่างใยแก้วกับสายโซ่ยางด้วย TESPT 41

2.14 โครงสร้างเซลลูโลส 49

3.1 แผนผังชุดอุปกรณ์กวนผสมน้ำยาง 54

3.2 ถ้วยแก้วปากแบนในชุดอุปกรณ์ทดสอบสภาพการซึมผ่านได้ของน้ำ 55

3.3 ชุดทดสอบการยึดติดระหว่างยางกับพื้นผิว ก) ตัวเครื่อง Elcometer 106
ข) ตัวตัดดอลลี ค) ที่ขันนอต ง) ดอลลี 56

3.4 การขึ้นรูปน้ำยางบนแม่แบบกระจก 61

3.5 แผ่นฟิล์มยางที่ลอกออกจากแม่แบบ 61

3.6 การเตรียมน้ำยางวัลคาไนซ์อิสระเพื่อใช้สำหรับผลิตเป็นฟิล์มยาง 62

3.7 แผ่นยางที่ใช้ทดสอบความแข็ง 65

4.1 กราฟแสดงขนาดอนุภาคของน้ำยางข้น 60% DRC 67

4.2 กราฟแสดงขนาดอนุภาคของซัลเฟอร์ดิสเพอร์ชัน 67

4.3 กราฟแสดงขนาดอนุภาคของซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (ZDEC) ดิสเพอร์ชัน 68

4.4 กราฟแสดงขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ดิสเพอร์ชัน 69

4.5 กราฟ Normal Probability plot กับค่า Effect estimate ของค่าความต้านทานแรงดึง
ของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์ ที่ถูกแปลงด้วยวิธีฟังก์ชันผกผัน 71

ภาพประกอบ หน้า

4.6 กราฟ normal probability plot ของค่าความต้านทานแรงดึงของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์ ที่ถูกแปลงด้วยวิธีฟังก์ชันผกผัน 73
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ทำนายได้จากสมการถดถอย.....74
4.8 กราฟแสดงถึงปัจจัยระดับสูงต่ำที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึง 75
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับปริมาณซัลเฟอร์ ที่อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 30, 40, 50, 60 และ 70องศาเซลเซียส ของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์ ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา ก) 1 ชั่วโมง ข) 3 ชั่วโมง ค) 5 ชั่วโมง 77
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง ของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์ ที่ปริมาณซัลเฟอร์ ก) 1.0 phr ข) 1.5 phr ค) 2.0 phr ง) 3.0 phr.....78
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับปริมาณซัลเฟอร์ ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง ของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์ ที่อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ ก) 30 องศาเซลเซียส ข) 40 องศาเซลเซียส ค) 50 องศาเซลเซียส ง) 60 องศาเซลเซียส จ) 70 องศาเซลเซียส 79
4.12 ค่าร้อยละการบวม (%Swelling) ของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์.....81
4.13 ค่าร้อยละการบวมของน้ำยางวัลคาไนซ์อิสระ ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ต่างๆ ของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ TMTD ดิสเพอร์ชัน.....82
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับปริมาณซัลเฟอร์ใน TMTD ที่อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 30, 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุล โดยใช้ TMTD ดิสเพอร์ชัน.....83
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ ที่ปริมาณซัลเฟอร์ใน TMTD 1.0, 1.5, 2.0 และ 3.0 phr ของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ TMTD ดิสเพอร์ชัน 84
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับปริมาณซัลเฟอร์ (เส้นทึบ) หรือปริมาณซัลเฟอร์ใน TMTD (เส้นประ) ที่อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 30, 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง.....85
4.17 ค่าความยืดเมื่อขาดของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์.....86
4.18 ค่าความยืดเมื่อขาดของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ TMTD ดิสเพอร์ชัน 87

ภาพประกอบ หน้า

4.19 ค่าอัตราการซึมผ่านได้ของน้ำผ่านฟิล์มยางวัลคาไนซ์อิสระ ของระบบการเชื่องขวางโมเลกุลโดยใช้ TMTD ดิสเพอร์ชัน....88
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับปริมาณไซเลน ที่ปริมาณซัลเฟอร์ใน TMTD 1.5 phr อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 50 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง....89
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับปริมาณโซเดียมซิลิเกต ที่ปริมาณซัลเฟอร์ใน TMTD 1.5 phr อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 50 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง....89
4.22 ค่าความยืดเมื่อขาดของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ TMTD ดิสเพอร์ชันที่ปริมาณไซเลนต่างๆ (โซเดียมซิลิเกต 5 phr) และที่ปริมาณโซเดียมซิลิเกตต่างๆ (ไซเลน 1 phr) โดยเตรียมที่ปริมาณซัลเฟอร์ใน TMTD 1.5 phr อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 50 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง....90
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณไซเลน ที่ปริมาณซัลเฟอร์ใน TMTD 1.5 phr อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 50 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง....91
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณโซเดียมซิลิเกต ที่ปริมาณซัลเฟอร์ใน TMTD 1.5 phr อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 50 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง....91
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยึดติดของยางกับปริมาณไซเลน ที่พื้นผิวต่างๆ โดยปริมาณซิลิเกต 5 phr ปริมาณซัลเฟอร์ใน TMTD 1.5 phr อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 50 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง....92
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยึดติดของยางกับพื้นผิวต่างๆ ที่ปริมาณไซเลน 5 phr ปริมาณโซเดียมซิลิเกต 5 phr ปริมาณซัลเฟอร์ใน TMTD 1.5 phr อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 50 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง....93
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยึดติดของยางกับปริมาณโซเดียมซิลิเกต ที่พื้นผิวต่างๆ โดยปริมาณไซเลน 1 phr ปริมาณซัลเฟอร์ใน TMTD 1.5 phr อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 50 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง....94
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยึดติดของยางกับพื้นผิวต่างๆ ที่ปริมาณโซเดียมซิลิเกต 10 phr ปริมาณไซเลน 1 phr ปริมาณซัลเฟอร์ใน TMTD 1.5 phr อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 50 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง....95

ภาพประกอบ หน้า

ข.1 ขนาดของชิ้นตัวอย่างทดสอบสมบัติด้านการดึงยาง 108
ค.1 สมบัติความต้านทานแรงดึงของฟิล์มยางพรีวัลคาไนซ์ ที่ปริมาณซัลเฟอร์ต่างๆ ของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์.....110
ค.2 สมบัติด้านความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางพรีวัลคาไนซ์ ที่ปริมาณซัลเฟอร์ต่างๆ ของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ซัลเฟอร์.....110
ค.3 สมบัติความต้านทานแรงดึงของฟิล์มยางพรีวัลคาไนซ์ ที่ปริมาณซัลเฟอร์ต่างๆ ของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ TMTD ดิสเพอร์ชัน.....111
ค.4 สมบัติด้านความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางพรีวัลคาไนซ์ ที่ปริมาณซัลเฟอร์ต่างๆ ของระบบการเชื่อมขวางโมเลกุลโดยใช้ TMTD ดิสเพอร์ชัน.....111