การเตรียมฟิล์มที่มีรูพรุนจากยางธรรมชาติผสมพอลิเมอร์ละลายน้ำ

นางสาวโสรญา รอดประเสริฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0839-6

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19978922

PREPARATION OF POROUS FILM FROM NATURAL RUBBER / WATER-SOLUBLE POLYMER MIX

Miss Soraya Rodprasert

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0839-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมฟิล์มที่มีรูพรุนจากยางธรรมชาติผสมพอลิเมอร์ละลายน้ำ
โดย	นางสาว โสรญา รอดประเสริฐ
ภาควิชา	วัสดุศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาวี ศรีกูลกิจ)

โสรญา รอดประเสริฐ : การเตรียมฟิล์มที่มีรูพรุนจากยางธรรมชาติผสมพอลิเมอร์ละลายน้ำ (PREPARATION OF POROUS FILM FROM NATURAL RUBBER / WATER-SOLUBLE POLYMER MIX) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์, 94 หน้า.
ISBN 974-13-0839-6.

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือ การเตรียมแผ่นฟิล์มยางที่มีรูพรุนโดยการผสมพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำลงในน้ำยางธรรมชาติในความเข้มข้นต่างๆ กันแล้วขึ้นรูปแผ่นฟิล์มยางตามกระบวนการผลิตถุงมือทั่วไป จากนั้นจึงทำการสกัดเอาพอลิเมอร์ออกด้วยน้ำร้อน ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้พอลิเมอร์ 3 ชนิด เพื่อทดลองเปรียบเทียบกันคือ พอลิเอทิลีนไกลคอล แป้ง และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จากนั้นจึงทำการทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มยางในด้าน ความแข็งแรงการทนต่อแรงดึง ความสามารถในการซึมผ่านของอากาศ และความสามารถในการสะท้อนน้ำ และตรวจสอบสภาพพื้นผิวของแผ่นฟิล์มยางโดยการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าแผ่นฟิล์มยางที่ขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเมอร์ความเข้มข้น 1-10% มีขนาดของช่องว่างระหว่างอนุภาคยางใหญ่ขึ้นและมีปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาคยางมากขึ้นกว่าแผ่นฟิล์มยางที่ขึ้นรูปจากน้ำยางที่ไม่ได้ผสมพอลิเมอร์ เมื่อทดสอบหาความสามารถให้อากาศซึมผ่านด้วยเครื่องทดสอบหาความสามารถให้อากาศซึมผ่านผ้า (air permeable tester for fabrics) ตามมาตรฐาน ASTM-D 737-96 พบว่าแผ่นฟิล์มยางที่ขึ้นรูปจากน้ำยางและน้ำยางผสมพอลิเมอร์ไม่สามารถให้อากาศซึมผ่านได้ เมื่อนำน้ำยางผสมพอลิเมอร์มาเคลือบบนผ้าฝ้าย พบว่าน้ำยางผสมพอลิเมอร์บางความเข้มข้นสามารถทำให้ผ้าฝ้ายสะท้อนน้ำแต่อากาศซึมผ่านได้ ซึ่งน้ำยางที่ใช้เคลือบผ้าเหล่านี้เป็นน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 5%, 5ส่วน และ 10%, 10ส่วน น้ำยางผสมแป้ง 5%, 5 ส่วน และน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5% , 5 ส่วน จุ่มเคลือบผ้าเป็นเวลา 15 วินาที เมื่อทดสอบสมบัติด้านการสะท้อนน้ำพบว่าแผ่นฟิล์มยางมีความสะท้อนน้ำได้เทียบเท่าแผ่นฟิล์มยางที่ขึ้นรูปจากน้ำยาง แผ่นฟิล์มยางที่ขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความทนต่อแรงดึงสูงกว่าแผ่นฟิล์มยางขึ้นรูปจากน้ำยางที่ไม่ได้เติมพอลิเมอร์ ส่วนแผ่นฟิล์มยางที่ขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลหรือแป้งจะมีความทนต่อแรงดึงต่ำกว่า เล็กน้อย

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือนิสิต.....
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2543

4172521723 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEY WORD : rubber / water-soluble polymer / porous film

SORAYA RODPPRASERT : PREPARATION OF POROUS FILM FROM NATURAL RUBBER / WATER-SOLUBLE POLYMER MIX.

THESIS ADVISOR : Dr.USA SANGWATANAROJ, 110 pp. ISBN 974-13-0839-6.

The purpose of this study was to prepare porous rubber film from natural rubber and various water soluble polymers such as polyethylene glycol, starch, and polyvinyl alcohol. Polymer was added and mixed well with rubber latex and the rubber film was formed using the coagulant dipping method. The polymer was finally removed from the rubber film by rinsing with hot water . The rubber film was then tested for tensile strength, air permeability, and water repellency. Scanning electron microscope was brought to observe the film surface. Test results indicated that rubber films made from rubber latex / polymer mix contained a bit larger and higher amount of gaps than natural rubber film. However, these rubber films repelled water well and were impermeable by air when tested on an air permeable tester for fabrics. Cotton fabrics coated with rubber latex / polymer mix at certain concentrations were water repellent and air permeable. These coating materials consisted of rubber latex / polyethylene glycol 5-10 % mix , rubber latex / starch 5 % mix , and rubber latex / polyvinyl alcohol 5 % mix and the coating time was 15 seconds. Rubber films made from rubber latex / polyvinyl alcohol mix showed higher tensile strength than natural rubber films while rubber films made from rubber latex / polyethylene glycol or from rubber latex / starch mix showed lower.

Department Materials Science

Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology

Academic year 2000

Student's signature Soraya R.

Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จเรียบร้อยอย่างสมบูรณ์ได้เลยหากขาดท่านผู้ทรงคุณวุฒิเหล่านี้ คือ อาจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ผู้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาอย่างดียิ่งตลอดการทำงานวิจัยชิ้นนี้ อาจารย์วราภรณ์ ขจรไชยกูล ซึ่งขณะนั้นดำรงตำแหน่งเป็นผู้อำนวยการส่วนอุตสาหกรรมยาง ที่ช่วยให้คำแนะนำในการออกสูตรน้ำยางและเทคนิคในการเตรียมยาง และขอกราบขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านสำหรับข้อเสนอแนะและการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้แก่ผู้ทำวิจัย รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ต่างๆให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณหน่วยงานต่างๆและผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในด้านอุปกรณ์สำหรับการทำวิจัย ตลอดจนคำแนะนำอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย ดังรายนามต่อไปนี้

1. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ภายในสถาบันตลอดการทำงานวิจัย
2. ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องทดสอบหาความสามารถในการซึมผ่านอากาศของสิ่งทอ และเครื่องทดสอบความสามารถในการสะท้อนน้ำ

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดา ผู้ให้ความรักและกำลังใจ ตลอดจนให้การอุปการะเลี้ยงดูด้วยความเอื้ออาทรและความเข้าใจจนผู้วิจัยมีความรู้ความสามารถในทุกๆ ด้านที่ดีตลอดมา ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ชาวค่ายอาสาสมัครหอพักนิสิตจุฬาฯ และเพื่อนๆ ทุกกลุ่มทุกท่านสำหรับความห่วงใย น้ำใจ กำลังใจ ความช่วยเหลือและ ความปรารถนาดีที่มีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและส่วนรวมแล้ว ผู้วิจัยขอมอบความดีทั้งหมดแก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

โสรญา รอดประเสริฐ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ฎ

สารบัญรูป.....ฎ

ตารางแสดงคำย่อ.....ฒ

บทที่

1 **บทนำ**.....1

2 **วารสารปริทัศน์**.....2

2.1 น้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex).....2

2.2 การผลิตน้ำยางข้น.....5

2.3 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ.....10

2.4 สารเคมีต่างๆที่เติมในน้ำยาง.....13

2.4.1 สารเพิ่มความคงตัว.....14

2.4.1.1 สารเพิ่มความคงตัวที่มีประจุลบ.....14

2.4.1.2 สารเพิ่มความคงตัวที่มีประจุบวก.....15

2.4.1.3 สารเพิ่มความคงตัวที่ไม่มีประจุ.....15

2.4.1.4 สารเพิ่มความคงตัวที่มีทั้งประจุลบและประจุบวก.....15

2.4.2 สารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing Agent).....15

2.4.2.1 กำมะถัน.....16

2.4.2.2 การวัลคาไนซ์ตัวซีเลเนียมและเทลลูเรียม.....20

2.4.2.3 สารให้กำมะถัน.....21

2.4.2.4 สารเปอร์ออกไซด์.....22

2.4.2.5 สารวัลคาไนซ์อื่น ๆ.....24

2.4.3 สารเร่งวัลคาไนซ์ (Accelerators).....25

2.4.4 สารกระตุ้นวัลคาไนซ์ (Activators).....27

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

2.4.4.1 ซิงก์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO).....27
2.4.4.2 กรดไขมัน (Fatty Acids),.....28
2.4.5 สารหน่วงวัลคาไนซ์ (Retarders).....29
2.4.6 สารป้องกันการเสื่อมของยาง (Age-Resistors).....29
2.4.7 สารตัวเติมหรือฟิลเลอร์ (Fillers).....29
2.4.8 สารทำให้นิ่ม (Softeners).....29
2.4.9 สารอื่น ๆ (Miscellaneous Ingredients).....29
2.5 การผสมสารเคมีในน้ำยาง.....30
2.5.1 การทดสอบน้ำยางและสารเคมีก่อนการผสม.....30
2.5.1.1 น้ำยาง.....30
2.5.1.2 สารเคมี.....30
2.5.2 การทดสอบน้ำยางผสมสารเคมี.....31
2.5.2.1 การทดสอบหาปริมาณของแข็งทั้งหมด
(TSC, Total Solid Content).....31
2.5.2.2การทดสอบหาองศาความคงรูป
(Degree of Vulcanization).....31
2.5.2.3 การทดสอบหาความหนืด (Viscosity).....32
2.5.2.4 การทดสอบหาความเสถียรของความหนืด
(Viscosity Stability).....33
2.5.2.5 การทดสอบหาความคงตัวต่อการปั่น
(Mechanical Stability).....33
2.5.2.6 การทดสอบหาความเป็นกรด-ด่าง (pH Value).....33
2.5.2.7 การทดสอบหาระดับของการเกิดปฏิกิริยายางคงรูป
(Pre-vulcanization)หรือ ระดับของการบ่มน้ำยางผสม (Maturity).....34
2.5.2.8 การทดสอบดูลักษณะขณะจุ่ม (Dipping Characteristics).....34
2.6 การบ่มน้ำยางผสม (Maturation).....34
2.7 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยการจุ่ม.....34

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ **หน้า**

2.7.1 การเตรียมแบบพิมพ์.....35

2.7.2 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยการจุ่ม (Dipping Technique).....35

2.7.3 การล้างผลิตภัณฑ์ยาง (Leaching).....36

2.7.4 การอบแห้งและการทำให้ยางคงรูป (Drying and Vulcanizing).....37

2.7.5 การถอดผลิตภัณฑ์ออกจากแบบพิมพ์.....37

3 **วิธีการทดลอง**.....38

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....38

3.1.1 น้ำยางธรรมชาติชนิดความเข้มข้นร้อยละ 60 38

3.1.2 สารเคมีที่เติมในน้ำยางสูตรปกติ.....39

3.1.3 พอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้.....40

3.1.4 ผ้าฝ้ายถักฟอกขาวโครงสร้างซิงเกอร์เจอซี่ เบอร์ด้าย 20/1.....40

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....40

3.2.1 อุปกรณ์การเตรียมน้ำยางผสม.....40

3.2.2 อุปกรณ์การเตรียมสารละลายพอลิเมอร์.....41

3.2.3 อุปกรณ์การขึ้นรูปชิ้นงาน.....41

3.2.4 อุปกรณ์ในการทดสอบและวิเคราะห์.....41

3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง.....42

3.3.1 การหาความสามารถในการละลายน้ำของพอลิเมอร์.....43

3.3.2 การคำนวณหาสูตรน้ำยางผสมพอลิเมอร์.....43

3.3.3 การผสมน้ำยางและพอลิเมอร์.....49

3.3.3.1 การทดสอบหาปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง.....50

3.3.3.2 การทดสอบหาองศาการคงรูปของน้ำยาง.....50

3.3.4 การขึ้นรูปแผ่นยางและการเคลือบยางบนผ้า.....50

3.3.4.1 การขึ้นรูปแผ่นยาง.....51

3.3.4.2 การเคลือบยางบนผ้า.....52

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ **หน้า**

3.3.5 การทดสอบสมบัติ.....53

3.3.5.1การส่องดูพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope).....53

3.3.5.2 การทดสอบหาความทนแรงดึง (Tensile Strength Test) ตามมาตรฐาน ISO 37.....53

3.3.5.3 การทดสอบหาความสามารถให้อากาศซึมผ่าน (Air Permeability Test).....54

3.3.5.4 การทดสอบความสามารถในการสะท้อนน้ำ (Water Repellency Test).....54

4 **ผลการทดลองและวิจารณ์ผล**.....57

4.1 ผลการทดลองในการละลายพอลิเมอร์.....57

4.2 ผลการผสมพอลิเมอร์ในน้ำยาง.....58

4.3 ลักษณะของแผ่นยาง.....60

4.4 ผลการทดสอบสมบัติ.....63

4.4.1 ผลการส่องดูพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด.....63

4.4.2 ผลการทดสอบความทนแรงดึง.....79

4.4.3 ผลการทดสอบความสามารถให้อากาศซึมผ่าน.....84

4.4.4 ผลการทดสอบคุณภาพการสะท้อนน้ำ.....87

5 **สรุปผลการทดลอง**.....90

6 **ข้อเสนอแนะ**.....91

รายการอ้างอิง.....92

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....94

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ.....11

2.2 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติของซีเลเนียมเทลลูเรียม และกำมะถัน.....21

2.3 ปริมาณกำมะถันที่ได้จากสารให้กำมะถัน.....22

2.4 การวัลคาไนซ์โดยใช้สารประกอบที่ไม่ใช่กำมะถัน.....25

3.1 สมบัติทางเคมีของน้ำยางข้นร้อยละ 60.....38

3.2 สารเคมีที่เติมในน้ำยาง.....39

3.3 ตัวอย่างสูตรน้ำยางปกติ.....43

3.4 สูตรน้ำยางผสมพอลิเมอร์ความเข้มข้น 1 % ปริมาณ 1 ส่วนต่อน้ำหนักยางแห้ง 100 ส่วน.....45

3.5 สูตรน้ำยางผสมพอลิเมอร์ความเข้มข้น 5 % ปริมาณ 1 ส่วนต่อน้ำหนักยางแห้ง 100 ส่วน.....45

3.6 สูตรน้ำยางผสมพอลิเมอร์ความเข้มข้น 5 % ปริมาณ 2 ส่วนต่อน้ำหนักยางแห้ง 100 ส่วน.. ...46

3.7 สูตรน้ำยางผสมพอลิเมอร์ความเข้มข้น 5 % ปริมาณ 3 ส่วนต่อน้ำหนักยางแห้ง 100 ส่วน.. ...46

3.8 สูตรน้ำยางผสมพอลิเมอร์ความเข้มข้น 5 % ปริมาณ 4 ส่วนต่อน้ำหนักยางแห้ง 100 ส่วน 47

3.9 สูตรน้ำยางผสมพอลิเมอร์ความเข้มข้น 5 % ปริมาณ 5 ส่วนต่อน้ำหนักยางแห้ง 100 ส่วน 47

3.10 สูตรน้ำยางผสมพอลิเมอร์ความเข้มข้น 10 % ปริมาณ 10 ส่วนต่อน้ำหนักยางแห้ง 100 ส่วน48

3.11 สูตรน้ำยางผสมพอลิเมอร์ความเข้มข้น 20 % ปริมาณ 20 ส่วนต่อน้ำหนักยางแห้ง 100 ส่วน 48

3.12 สูตรน้ำยางผสมพอลิเมอร์ความเข้มข้น 30 % ปริมาณ 30 ส่วนต่อน้ำหนักยางแห้ง 100 ส่วน 49

3.13 ลักษณะและการคงรูปของยาง..... 51

3.14 มาตรฐานการทดสอบคุณภาพการสะท้อนน้ำตามมาตรฐาน AATCC 22-1974..... 56

4.1 การละลายน้ำของพอลีเอทิลีนไกลคอล (PEG).....57

4.2 การละลายน้ำของแป้ง (STARCH)..... 57

4.3 การละลายน้ำของพอลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)..... 58

4.4 ลักษณะของน้ำยางและน้ำยางผสมพอลิเมอร์..... 59

4.5 ลักษณะของแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางและน้ำยางผสมพอลิเมอร์..... 60

4.6 ผลการทดสอบหาความสามารถให้อากาศซึมผ่าน..... 84

4.7 ผลการทดสอบหาความสามารถให้อากาศซึมผ่านของอากาศเมื่อใช้เวลาในการเคลือบยาง กับผ้าเป็นเวลา 10 วินาที..... 86

4.8 ผลการทดสอบคุณภาพการสะท้อนน้ำ..... 87

4.9 ผลการทดสอบคุณภาพการสะท้อนน้ำใช้เวลาจุ่มน้ำยางผสม 10 วินาที..... 89

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ชั้นของน้ำยางเมื่อถูกหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องอัลตราเซนติฟิวจ์.....4

2.2 การเชื่อมโมเลกุลด้วยกำมะถัน.....9

2.3 การกระจายโมเลกุลของยางธรรมชาติ.....12

2.4 การเชื่อมขวางโมเลกุลยางด้วยกำมะถัน.....16

2.5 ผลของปริมาณกำมะถันต่อความทนแรงดึงและการยืดตัว.....17

2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระดอนของยางกับปริมาณการเชื่อมโยง.....18

2.7 การเชื่อมโยงโมเลกุลยางด้วยสารเปอร์ออกไซด์.....23

3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนชนิดส่องกราด.....42

3.2 วิธีทดสอบการทดสอบหาความสามารถในการสะท้อนน้ำ (Water Repellent Test- Spray Test) ตามมาตรฐาน AATCC 22-1974.....55

3.3 ลักษณะการกระจายตัวของน้ำบนชิ้นตัวอย่าง.....56

4.1 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางแล้วอบแห้ง (NR).....64

4.2 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทธิลีนไกลคอล 5%, 1 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (5PEG1).....64

4.3 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทธิลีนไกลคอล 5%, 2 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (5APEG2).....65

4.4 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทธิลีนไกลคอล 5%, 2 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์หลังอบแห้งยาง (5BPEG2)..... 65

4.5 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทธิลีนไกลคอล 5%, 2 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (5APEG2) [ทำซ้ำเหมือนรูปที่ 4.3].....66

4.6 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทธิลีนไกลคอล 5%, 2 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์หลังอบแห้งยาง (5BPEG2) [ทำซ้ำเหมือนรูปที่ 4.4].....66

4.7 ลักษณะพื้นผิว แผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทธิลีนไกลคอล 5%, 5 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (5PEG5).....67

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.8 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทธิลีนไกลคอล 10%, 10 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (10PEG10).....67
4.9 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทธิลีนไกลคอล 30%, 20 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (30PEG20).....68
4.10 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทธิลีนไกลคอล 30%, 30 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (30PEG30).....68
4.11 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมแป้ง 5 %, 1 ส่วน. แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (5AST1) 71
4.12 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมแป้ง 5 %, 1 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์หลังอบแห้งยาง (5BST1).....71
4.13 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมแป้ง 5 %, 2 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (5AST2).....72
4.14 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมแป้ง 5 %, 2 ส่วน. แล้วไล่พอลิเมอร์หลังอบแห้งยาง (5BST2).....72
4.15 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมแป้ง 5 %, 5 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (5AST5).....73
4.16 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมแป้ง 10 %, 10 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (10AST10) 73
4.17 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 %, 1 ส่วน... แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (5APVA1) 75
4.18 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 %, 1 ส่วน... แล้วไล่พอลิเมอร์หลังอบแห้งยาง (5BPVA1).....75
4.19 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 %, 2 ส่วน... แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห่งยาง(5APVA2) 76
4.20 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 %, 2 ส่วน... แล้วไล่พอลิเมอร์หลังอบแห้งยาง (5BPVA2).....76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.21 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 %, 5 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (5APVA5).....77

4.22 ลักษณะพื้นผิวแผ่นยางธรรมชาติขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 %, 10 ส่วน แล้วไล่พอลิเมอร์ก่อนอบแห้งยาง (10APVA10).....77

4.23 กราฟแท่งแสดงแรงดึงขาดของแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางและน้ำยางผสมพอลิเอทธิลีนไกลคอลความเข้มข้น 1%, 5%, 10% และ 30% ก่อนและหลังการการจำลองการใช้งานที่อุณหภูมิ 100^{0}C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง.....79

4.24 กราฟแท่งแสดงแรงดึงขาดของแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางและน้ำยางผสมแป้งความเข้มข้น 1%, 5% และ 10% ก่อนและหลังการจำลองการใช้งานที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง.....81

4.25 กราฟแท่งแสดงแรงดึงขาดของแผ่นยางขึ้นรูปจากน้ำยางและน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 1%, 5% และ 10% ก่อนและหลังการจำลองการใช้งานที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C เป็นเวลา 22ชั่วโมง.....82

ตารางแสดงคำย่อ

NR	น้ำยางธรรมชาติ
PEG	พอลิเอทิลีนไกลคอล (polyethylene glycol)
ST	แป้ง (starch)
PVA	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol)
1PEG1	น้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 1%, 1 ส่วน
5PEG1	น้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 5%, 1 ส่วน
5PEG2	น้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 5%, 2 ส่วน
5PEG3	น้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 5%, 3 ส่วน
5PEG4	น้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 5%, 4 ส่วน
5PEG5	น้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 5%, 5 ส่วน
10PEG10	น้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 10%, 10 ส่วน
5APEG2	น้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 5%, 2 ส่วน ขึ้นรูปด้วยการไล่พอลิเมอร์ออกจากยางก่อนอบแห้งยาง
5BPEG2	น้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 5%, 2 ส่วน ขึ้นรูปด้วยการไล่พอลิเมอร์ออกจากยางหลังอบแห้งยาง
1ST1	น้ำยางผสมแป้ง 1%, 1 ส่วน
5ST1	น้ำยางผสมแป้ง 5%, 1 ส่วน
5ST2	น้ำยางผสมแป้ง 5%, 2 ส่วน
5ST5	น้ำยางผสมแป้ง 5%, 5 ส่วน
10ST10	น้ำยางผสมแป้ง 10%, 10 ส่วน
5AST1	น้ำยางผสมแป้ง 5%, 1 ส่วน ขึ้นรูปด้วยการไล่พอลิเมอร์ออกจากยางก่อนอบแห้งยาง
5BST1	น้ำยางผสมแป้ง 5%, 1 ส่วน ขึ้นรูปด้วยการไล่พอลิเมอร์ออกจากยางหลังอบแห้งยาง
5AST2	น้ำยางผสมแป้ง 5%, 2 ส่วน ขึ้นรูปด้วยการไล่พอลิเมอร์ออกจากยางก่อนอบแห้ง ยาง
5BST2	น้ำยางผสมแป้ง 5%,2ส่วน ขึ้นรูปด้วยการไล่พอลิเมอร์ออกจากยางหลังอบแห้งยาง

ตารางแสดงคำย่อ (ต่อ)

1PVA1	น้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 1%, 1 ส่วน ขึ้นรูปด้วยการไล่พอลิเมอร์ออกจากยางหลังอบแห้งยาง
5PVA1	น้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5%, 1 ส่วน
5PVA5	น้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5%, 5 ส่วน
10PVA10	น้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10%, 10 ส่วน
5APVA1	น้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5%, 1 ส่วน ขึ้นรูปด้วยการไล่พอลิเมอร์ออกจากยางก่อนอบแห้งยาง
5BPVA1	น้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5%, 1 ส่วน ขึ้นรูปด้วยการไล่พอลิเมอร์ออกจากยางหลังอบแห้งยาง
5APVA2	น้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5%, 2 ส่วน ขึ้นรูปด้วยการไล่พอลิเมอร์ออกจากยางก่อนอบแห้งยาง
5BPVA2	น้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5%, 2 ส่วน ขึ้นรูปด้วยการไล่พอลิเมอร์ออกจากยางหลังอบแห้งยาง