



การพัฒนาสารฟอกสีและการออกแบบถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง  
สำหรับกระบวนการผลิตยางเครพขาว

**Bleaching Agent Development and Semi-Batch Reactor Design  
for Pale Crepe Rubber Processing**

รัฐันท์ สิงห์เถื่อน

**Rattanan Singthuean**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Engineering in Chemical Engineering  
Prince of Songkla University**

2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

(1)

ชื่อวิทยานิพนธ์                      การพัฒนาสารฟอกสีและการออกแบบถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องสำหรับ  
กระบวนการผลิตยางเครพขาว  
ผู้เขียน                                      นายรัฐนันท์ สิงห์เถื่อน  
สาขาวิชา                                    วิศวกรรมเคมี

---

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก                      คณะกรรมการสอบ  
.....ประธานกรรมการ  
(ดร.พรศิริ แก้วประดิษฐ์)                                      (รองศาสตราจารย์ ดร.เจริญ นาคะสรรค์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม                      .....กรรมการ  
(ดร.พรศิริ แก้วประดิษฐ์)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกฤทธิรา รัตนวิไล)                                      (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกฤทธิรา รัตนวิไล)

.....กรรมการ  
(ดร.วีรยุทธ เลิศบำรุงสุข)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

|                 |   |
|-----------------|---|
| ชื่อวิทยานิพนธ์ | การพัฒนาสารฟอกสีและการออกแบบถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องสำหรับกระบวนการผลิตยางเครพขาว |
| ผู้เขียน        | นายรัฐนันท์ สิงห์เดือน  |
| สาขาวิชา        | วิศวกรรมเคมี  |
| ปีการศึกษา      | 2553  |

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาสารฟอกสีสำหรับผลิตยางเครพขาวเพื่อทดแทนการนำเข้าสารฟอกสีเชิงพาณิชย์ และการออกแบบถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องเพื่อเป็นแนวทางในการผลิตและควบคุมคุณภาพของยางเครพขาว โดยการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ (1) การศึกษาคุณสมบัติเริ่มต้นของน้ำยางและผลของสารฟอกสีเชิงพาณิชย์ (2) การศึกษาผลของสารฟอกสีที่ผสมขึ้น และ (3) การศึกษาทางเศรษฐศาสตร์ ผลการศึกษาพบว่า โซเดียมซัลไฟด์เหมาะสมสำหรับใช้รักษาสภาพน้ำยางมากกว่าแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากยางแผ่นที่ได้มีค่าสี Lovibond ที่ผ่านมาตรฐานยางไทย (STR) และใช้เวลาในการจับตัวน้อยกว่าถึง 7 เท่า ในกรณีนี้ปริมาณของสารฟอกสีเชิงพาณิชย์ที่เหมาะสม คือ ประมาณ 0.10 % โดยน้ำหนักต่อเนื้อยางแห้ง

จากการประยุกต์ใช้สารเคมีอย่างเพื่อใช้เป็นสารฟอกสี พบว่า ไม่สามารถใช้ฟอกสียางเครพขาวได้เนื่องจากไม่สามารถละลายได้ดีในน้ำยาง และผลการฟอกสีด้วยสารฟอกสีที่ผสมขึ้น พบว่า สารฟอกสีชนิด M1 มีประสิทธิภาพในการฟอกสีที่ดีกว่าชนิด M2 โดยปริมาณที่เหมาะสม คือ ประมาณ 0.18 % และ 0.30% โดยน้ำหนักต่อเนื้อยางแห้ง ตามลำดับ ที่อัตราส่วน 1:9 โดยน้ำหนักของสารเมอร์แคปแทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจาก โครงสร้างแบบไซโอฟินอล ในสารฟอกสี M1 ที่มีค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่ที่สูงกว่าโครงสร้างแบบอัลคิลไฮดรอกซิลในสารฟอกสี M2 อีกทั้งพบว่า การเติมสารลดแรงตึงผิวในสารฟอกสีที่ผสมขึ้นทำให้โอกาสในการตัดสายโซ่ของยางลดลง เป็นผลให้ค่าความหนืดสูงซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของยางแผ่นสูงขึ้น และพบว่า สารฟอกสีที่ผสมขึ้นมีราคาต่ำกว่าสารฟอกสีเชิงพาณิชย์ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตยางเครพขาวในประเทศไทย

คำสำคัญ ยางเครพขาว สารฟอกสี ไฮดรอกไซด์ ถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง

**Thesis Title**                    Bleaching Agent Development and Semi-Batch Reactor Design for  
Pale Crepe Rubber Processing

**Author**                            Mr. Rattanan Singthuean

**Major Program**                Chemical Engineering

**Academic Year**                2010

### **ABSTRACT**

Objective of this research is to develop a bleaching agent for a pale crepe rubber production to replace an imported commercial one and to design a semi-batch reactor as a guideline for the production and quality control. Three major topics are investigated including (1) a preliminary study of latex properties and effects of the commercial agent, (2) effects of bleaching blends on the properties of rubber sheets, and (3) an economic study. Experimental results show that, sodium sulfite is a proper anticoagulant than ammonium hydroxide. Because it provides the average Lovibond color of the rubber sheets corresponding to Standard Thai Rubber (STR), and requires less coagulation time up to 7 times. In this study, the amount of the commercial agent is required about 0.10% by wt. per dry rubber content (DRC).

The results also show that a chemical peptizer cannot be used as the bleaching agent since it cannot dissolve well in the rubber latex. In addition, it is found that M1 has a bleaching efficiency higher than M2 with 1:9 weight ratios of mercaptan and an organic solvent, the proper amounts of M1 and M2 are about 0.18% and 0.30% by wt. per DRC, respectively. The reason is that a thiophenol group used in M1 has higher chain transfer constant than an alkylthiol group used in M2. Furthermore, a mooney viscosity of the rubber sheets can be improved by adding a surfactant in the bleaching blend for reducing a disruption of rubber molecules. In economic point of view, both bleaching blends have lower cost than the commercial one then they are hopefully alternative bleaching agents in pale crepe rubber manufactures in Thailand.

Keywords: pale crepe rubber, bleaching agent, thiol, semi-batch reactor

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร. พรศิริ แก้วประดิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกฤษฎิา รัตนวิไล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาอุทิศเวลาให้คำปรึกษา แนะนำความรู้ในด้านการทำวิจัย รวมทั้งช่วยขัดเกลากระบวนการคิด วิเคราะห์ และให้แนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นต่างๆ ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เจริญ นาคะสรรค์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และ ดร.วีรยุทธ เลิศบำรุงสุข กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้สละเวลา และให้คำแนะนำต่างๆเพื่อให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้สนับสนุนเงินลงทุนในการทำวิจัยจนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บริษัท Asia Pacific Petrochemical Co., Ltd. ที่อนุเคราะห์ Hydrosulfurized heavy naphtha สำหรับใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ โครงการสู่ความเป็นเลิศสาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่กรุณาให้ทุนการศึกษาแก่ข้าพเจ้าในระหว่างการศึกษา

ขอขอบพระคุณ บุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่ให้กำลังใจ และทุนทรัพย์ในการศึกษามาโดยตลอด ตลอดจนขอบคุณทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือข้าพเจ้าที่มีได้กล่าวมา ณ ที่นี้ด้วย ที่มีส่วนช่วยเป็นกำลังใจในการทำวิจัย และให้คำแนะนำทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

รัฐนันท์ สิงห์เดือน

## สารบัญ

| เรื่อง   | หน้า |
|--|------|
| สารบัญ   | (6)  |
| รายการตาราง  | (9)  |
| รายการภาพประกอบ  | (10) |
| คำย่อ  | (13) |
| บทที่  |      |
| 1. บทนำ  | 1    |
| บทนำต้นเรื่อง  | 1    |
| วัตถุประสงค์ของงานวิจัย  | 2    |
| ขอบเขตของงานวิจัย  | 3    |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ  | 3    |
| 2. ตรวจสอบเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง                                | 4    |
| 양ธรรมชาติ  | 4    |
| 양เครพขาว   | 10   |
| การกำจัดสี   | 13   |
| ถังปฏิกรณ์สำหรับการเกิดพอลิเมอร์                                     | 19   |
| 3. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย                                      | 23   |
| วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี  | 23   |
| การเตรียมสารฟอกสีจากสารประกอบเมอร์แคปแทน                             | 27   |
| วิธีการวิจัย   | 28   |
| 4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง                                    | 37   |
| การศึกษาผลของคุณสมบัติเริ่มต้นของน้ำยางสดและผลของสารฟอกสีเชิงพาณิชย์ | 37   |
| ต่อคุณสมบัติของยางเครพขาว  |      |
| การศึกษาผลของสารฟอกสีที่ผสมขึ้นเองในการฟอกสีของยางเครพขาว            | 41   |
| การศึกษาเปรียบเทียบผลการฟอกสีของสารฟอกสี M1 และ M2                   | 55   |
| การศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติทางกายภาพของยางเครพขาว           | 57   |
| การศึกษาทางเศรษฐศาสตร์ของสารฟอกสีในกระบวนการผลิตยางเครพขาว           | 62   |
|  | (6)  |

## สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง   | หน้า |
|--|------|
| 5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ   | 63   |
| บรรณานุกรม   | 67   |
| ภาคผนวก  | 70   |
| ภาคผนวก ก     วิธีและสถานะที่ใช้วิเคราะห์  | 71   |
| ภาคผนวก ข     การคำนวณหาปริมาณน้ำที่เติมลงในน้ำยางเพื่อปรับเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง | 80   |
| ภาคผนวก ค     ค่าสีและความหนืดมูนิ   | 81   |
| ภาคผนวก ง     บทความที่เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ                      | 96   |
| ประวัติผู้เขียน  | 108  |

## รายการตาราง

| ตาราง |  | หน้า |
|-------|--|------|
| 2-1   | ส่วนประกอบของน้ำยางสด  | 5    |
| 2-2   | ข้อกำหนดมาตรฐานยางแผ่นไทย  | 9    |
| 2-3   | ข้อกำหนดมาตรฐานยางเครพขาวขององค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์        | 10   |
| 3-1   | ปริมาณของสารประกอบในสารฟอกสีเคียวโอบลิซ                                | 24   |
| 3-2   | สารฟอกสีจากสารประกอบเมอร์แคปแทน  | 27   |
| 3-3   | ปริมาณของสารฟอกสีที่ใช้ในขั้นตอนการฟอกสี                               | 31   |
| 4-1   | ระยะเวลาในการจับตัวของน้ำยางในขั้นตอนการผลิตยางเครพขาว                 | 37   |
| 4-2   | ผลค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวที่ผ่านการรักษาสภาพน้ำยางกรณีไม่ฟอกสี        | 38   |
| 4-3   | ผลการฟอกสีด้วยสารละลายของสารเคมีย่อยชนิด ULTRA PEP™ 96 ในเฮกเซน        | 43   |
| 4-4   | ผลค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวที่ฟอกสีด้วยสารละลาย 2-Mercaptobenzothiazole | 44   |
| 4-5   | สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของค่าสีและปริมาณสารฟอกสี M1-1      | 45   |
| 4-6   | สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของค่าสีและปริมาณสารฟอกสี M2-1      | 53   |
| 4-7   | ราคาของสารฟอกสีเคียวโอบลิซเปรียบเทียบกับสารฟอกสี M1-1 และ M2-1         | 62   |



## รายการภาพประกอบ

| ภาพประกอบ  | หน้า |
|--|------|
| 2-1 แสดง โครงสร้างโมเลกุลยางธรรมชาติแบบ (ก) cis- และ (ข) trans-1,4-polyisoprene  | 4    |
| 2-2 แสดงแผนผังการแปรรูปน้ำยางดิบของประเทศไทย   | 8    |
| 2-3 แสดงแผนผังขั้นตอนการผลิตยางเครพขาว   | 11   |
| 2-4 แสดงตะกอนน้ำยาง  | 12   |
| 2-5 แสดงจักรรีดยางขนาดอุตสาหกรรม   | 13   |
| 2-6 แสดงยางเครพขาวในเตาอบลมร้อน  | 13   |
| 2-7 แสดง โครงสร้างโมเลกุลของเบตา-แคโรทีน   | 14   |
| 2-8 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Aromatic Thiols (mercaptans) กับเม็ดสีเบตา-แคโรทีน   | 17   |
| 2-9 แผนภาพแสดงการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization)  | 19   |
| 2-10 แสดงการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องในช่วงเวลาต่างๆ  | 20   |
| 3-1 แสดง โครงสร้างของ 2-Mercaptobenzothiazole  | 23   |
| 3-2 แสดง โครงสร้างของ 1-Dodecanethiol  | 23   |
| 3-3 แสดง โครงสร้างของ 4-Methylthiophenol   | 24   |
| 3-4 แสดงจักรรีดยางขนาดเล็ก   | 25   |
| 3-5 แสดงเครื่องวัดความหนืดมูนี่ (Mooney Viscometer, MV2000)  | 26   |
| 3-6 แสดงเครื่องวัดสียาง Lovibond   | 26   |
| 3-7 แสดงเครื่องตัดยางตัวอย่าง  | 26   |
| 3-8 แสดงเครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้ง   | 27   |
| 3-9 แสดงสัดส่วนการออกแบบถึงปฏิกรณ์   | 33   |
| 3-10 แสดงส่วนประกอบถึงปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องในการผลิตยางเครพขาว   | 34   |
| 3-11 แสดงการเปิดวาล์วถ่ายน้ำยางใส่ถาดเพื่อจับตัวเป็นแผ่น   | 35   |
| 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเฉลี่ยและปริมาณสารฟอกสีเชิงพาณิชย์ 0.05 0.08 0.09 0.10 และ 0.15 กรัม ในการฟอกสียางเครพขาวที่ปริมาณเนื้อยางแห้ง 98 กรัม         | 39   |
| 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดมูนี่เฉลี่ยและปริมาณสารฟอกสีเชิงพาณิชย์ 0.05 0.08 0.09 0.10 และ 0.15 กรัม ในการฟอกสียางเครพขาวที่ปริมาณเนื้อยางแห้ง 98 กรัม | 40   |

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบ  | หน้า |
|--|------|
| 4-3 สารเคมีย่อยยงที่ใช้ศึกษา ULTRA PEP™ 96   | 41   |
| 4-4 แสดงแผ่นฟิล์มของสารเคมีย่อยยงในน้ำกลั่น  | 42   |
| 4-5 แสดงสารเคมีย่อยยงในตัวทำละลายเฮกเซน  | 42   |
| 4-6 แสดงน้ำยงหลังเติมสารเคมีย่อยยงในปริมาณ 0.10 กรัม ต่อปริมาณเนือยงแห้ง 98 กรัม   | 43   |
| 4-7 แสดงยงแผ่นที่ฟอกสีด้วยสารละลายของสารเคมีย่อยยง   | 44   |
| 4-8 แสดงสารละลายของ 2-Mercaptobenzothiazole  | 45   |
| 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเฉลี่ยและปริมาณสารฟอกสี M1-1 M1-2 และ M1-3 ต่อปริมาณเนือยงแห้ง 98 กรัม                                       | 46   |
| 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดเฉลี่ยและปริมาณสารฟอกสี M1-1 M1-2 และ M1-3 ต่อปริมาณเนือยงแห้ง 98 กรัม                                | 46   |
| 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของค่าสีเทียบกับค่าสีเริ่มต้นและปริมาณสารฟอกสี M1-1 สำหรับการทดลองที่ปริมาณเนือยงแห้ง 98 196 และ 245 กรัม | 47   |
| 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดเฉลี่ยและและปริมาณสารฟอกสี M1-1 ต่อปริมาณเนือยงแห้ง 98 196 และ 245 กรัม                               | 48   |
| 4-13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองและค่าสีที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ใช้สารฟอกสี M1-1                                   | 49   |
| 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารฟอกสี M1-1 และปริมาณเนือยงที่เพิ่มขึ้น  | 50   |
| 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเฉลี่ยและปริมาณสารฟอกสี M2-1 M2-2 และ M2-3 ต่อปริมาณเนือยงแห้ง 98 กรัม                                      | 51   |
| 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดเฉลี่ยและปริมาณสารฟอกสี M2-1 M2-2 และ M2-3 ต่อปริมาณเนือยงแห้ง 98 กรัม                                | 51   |
| 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของค่าสีเทียบกับค่าสีเริ่มต้นและปริมาณสารฟอกสี M2-1 สำหรับการทดลองที่ปริมาณเนือยงแห้ง 98 196 และ 245 กรัม | 53   |
| 4-18 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองและค่าสีที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ใช้สารฟอกสี M2-1                                   | 54   |

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบ   | หน้า |
|---|------|
| 4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารฟอกสี M2-1 และปริมาณเนื้อเยื่อที่เพิ่มขึ้น   | 54   |
| 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเฉลี่ยและปริมาณสารฟอกสี 0.10 0.18 0.28 0.35 และ 0.45 กรัม ต่อปริมาณเนื้อเยื่อ 98 กรัม  | 56   |
| 4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเฉลี่ยและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในสารฟอกสี M1-3 ที่ปริมาณเนื้อเยื่อ 98 กรัม  | 58   |
| 4-22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเฉลี่ยและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในสารฟอกสี M2-3 ที่ปริมาณเนื้อเยื่อ 98 กรัม  | 58   |
| 4-23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดมูลนิญเฉลี่ยและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการฟอกสีของยางเครพขาวฟอกสีด้วยสารฟอกสี M1-3 และ M2-3 ที่ปริมาณเนื้อเยื่อ 98 กรัม | 59   |
| 4-24 แสดงยางแผ่นหลังจากอบที่อุณหภูมิ 100 °C (ก) ไม่ฟอกสี (ข) ฟอกสีด้วยสารฟอกเชิงพาณิชย์ (ค) ฟอกสีด้วย M2-1 และ (ง) ฟอกสีด้วย M2-1 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว           | 60   |
| 4-25 แผนภาพแสดงการเกิดปฏิกิริยาแทนที่ของอนุมูลไฮดรอกซิลกับเมคิลเฮตาแคโรทีน ภายใต้สภาวะที่มีการเติมสารลดแรงตึงผิว  | 61   |

## คำย่อ

|      |   |                    |
|------|---|--------------------|
| DRC  | = | Dry Rubber Content |
| M1-1 | = | Mixture type 1-1   |
| M1-2 | = | Mixture type 1-2   |
| M1-3 | = | Mixture type 1-3   |
| M2-1 | = | Mixture type 2-1   |
| M2-1 | = | Mixture type 2-2   |
| M2-3 | = | Mixture type 2-3   |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำต้นเรื่อง

นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2444 ที่ประเทศไทยเริ่มมีการปลูกยางพาราเป็นครั้งแรก และมีการขยายพื้นที่ปลูกอย่างแพร่หลายจนเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ และครองความเป็นผู้นำในการผลิตและส่งออกยางของโลกมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2434 จากการสำรวจเมื่อปี 2552 พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพาราประมาณ 16.89 ล้านไร่ ผลิตยางธรรมชาติได้ 3.16 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 32.91 ของปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของโลก โดยสามารถส่งออกขายยังต่างประเทศได้ถึง 2.73 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 41,352 ล้านบาท (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร 2554) โดยการปลูกยางพาราสามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรชาวสวนยาง ตลอดจนอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นยางพาราจึงเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ สามารถนำรายได้เข้าสู่ประเทศได้มาก อีกทั้งการปลูกต้นยางพารายังเป็นการช่วยเพิ่มพื้นที่สีเขียวด้วยเช่นกัน โดยน้ำยางสดจากต้นยางพารานั้น สามารถแปรรูปขึ้นต้นเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้หลายชนิด เช่น น้ำยางข้น (Concentrated latex) ยางแผ่นรมควัน (Rib Smoked Sheet) ยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air Dried Sheet) ยางแท่ง (Block Rubber) และยางเครพ (Crepe Rubber) เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ต่างๆ เหล่านี้ สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ต่อไป เช่น อุตสาหกรรมยางรถยนต์ อุตสาหกรรมการผลิตถุงมือ เป็นต้น (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร 2554)

ยางเครพขาว (White crepe rubber หรือ Pale crepe rubber) เป็นยางที่ผลิตขึ้นจากน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งเป็นยางที่มีคุณภาพและราคาสูงโดยมีราคาสูงกว่ายางแผ่นรมควันชั้นหนึ่งประมาณ 10 บาท (จากข้อมูลขององค์การสวนยาง (อสย.) กระทรวงเกษตรและสหกรณ์) โดยการผลิตยางเครพขาวในประเทศไทยนั้นมีการผลิตเพียงที่เดียว ณ องค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ อำเภอ ช้างกลาง จ.นครศรีธรรมราช โดยมีกำลังการผลิตประมาณ 300 ตัน/ปี ยางเครพขาวเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ยางประเภทยางสี และสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติกอียา ยางขอบรองเท้า อุปกรณ์กีฬา ยางยึด อุปกรณ์การแพทย์ เป็นต้น (องค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2552) โดยคุณสมบัติพิเศษของยางเครพขาวที่แตกต่างออกไปจากผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติชนิดอื่นคือ มีสีที่อ่อน ยางเครพขาวในปัจจุบันผลิตจากน้ำยางสดพันธุ์ RRIM 600 (แหล่งควบคุมพันธุ์ยางขององค์การสวนยาง) ซึ่งเป็นพันธุ์ยางที่ให้น้ำยางสีอ่อนกว่าพันธุ์

อื่นๆ การผลิตยางเครพขาวนั้นเริ่มจากนำน้ำยางธรรมชาติมาฟอกสีโดยสารฟอกสีขาว และนำไปรีดในเครื่องรีดยางเครพ (Creping machine) พร้อมทั้งใช้น้ำทำความสะอาดเพื่อนำสิ่งสกปรกต่างๆ ออกจากยางระหว่างการผลิต จากนั้นจึงนำยางแผ่นที่ได้ไปส่งลมให้แห้ง

ในกระบวนการผลิตยางเครพขาวพบว่ากระบวนการผสมสารเคมีเข้ากับน้ำยางจะใช้กำลังคนในการกวนผสมน้ำยางกับสารเคมีต่างๆ เข้าด้วยกัน โดยไม่มีการควบคุมความเร็วรอบในการกวนผสมและเวลาในการกวนผสมที่แน่นอน โดยความเร็วรอบในการกวนและเวลาในการผสมนั้นจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงาน และปัญหาในการผลิตยางเครพขาวอีกปัญหาหนึ่งคือสารเคมีที่ใช้ในการฟอกสีมีราคาค่อนข้างสูง โดยในปัจจุบันการฟอกสีน้ำยางธรรมชาติจะใช้สารฟอกสีที่มีชื่อทางการค้าว่า เคียวโอบลิว (Curebleach) ที่ต้องนำเข้าจากประเทศศรีลังกา โดยสารฟอกสีเคียวโอบลิว ปริมาตร 1 ลิตรนั้นจะมีราคาประมาณ 1,460 บาท (ราคา ณ วันที่ 15 พฤศจิกายน 2552)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจในการศึกษาการออกแบบและสร้างถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องสำหรับกระบวนการผลิตยางเครพขาวเพื่อเป็นเครื่องต้นแบบให้แก่ผู้ประกอบการที่จะนำไปพัฒนาเข้าสู่ระดับอุตสาหกรรมต่อไปและศึกษาการหาสารฟอกสีชนิดใหม่ในการฟอกสีของยางเครพขาว โดยเป็นการผสมสารฟอกสีขึ้นเองและการประยุกต์ใช้สารเคมีชนิดอื่นในการฟอกสี เพื่อเป็นการทดแทนการใช้สารฟอกสี เคโอบริช ที่ต้องนำเข้าจากประเทศศรีลังกา ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตยางเครพขาวและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้กับผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมผลิตยางเครพขาว และเป็นการกระตุ้นให้มีอุตสาหกรรมการผลิตยางเครพขาวเพิ่มมากขึ้นในประเทศไทย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อลดต้นทุนการนำเข้าสารเคมีฟอกสียาง โดยพัฒนาสารฟอกสีชนิดใหม่สำหรับกระบวนการผลิตยางเครพขาว
2. เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มกำลังการผลิต และควบคุมคุณภาพของยางเครพขาว โดยออกแบบถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้จะศึกษาถึงการพัฒนาสารฟอกสีของยางเครพขาวและการออกแบบถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง ซึ่งมีขอบเขตของการวิจัยดังนี้

1. ศึกษาขั้นตอนในการฟอกสียางสำหรับการผลิตยางเครพขาว โดยเปรียบเทียบสารรักษาสภาพน้ำยางสดทั้งที่ใช้โซเดียมซัลไฟด์และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
2. สารเคมีสำหรับใช้ฟอกสียางที่ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบ ได้แก่ สารเคมีเคียวโอบลิซ, สารเคมีย่อยยวชนิด ULTRA PEP™ 96 และสารเคมีฟอกสีที่ผสมขึ้นเอง
3. สารเคมีฟอกสีที่ผสมขึ้นเองซึ่งเป็นส่วนประกอบของ สารเมอร์แคปแทน และสารลดแรงตึงผิว
4. คุณสมบัติของยางเครพขาวที่ศึกษา ได้แก่ สี (Color) และ ความหนืดมูนิ (Mooney Viscosity)
5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของยางเครพขาวคือ เครื่องวัดสี (LOVIBOND) และเครื่องวัดค่าความหนืดมูนิ (Mooney Viscosity)
6. ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบของถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องขนาด 20 ลิตร

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สารฟอกสีชนิดใหม่ที่สามารถทดแทนการนำเข้าสารฟอกสีจากต่างประเทศ
2. ได้เครื่องต้นแบบของถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องเพื่อใช้ในการผลิตยางเครพขาว
3. แนวทางในการพัฒนาคุณภาพและเพิ่มกำลังการผลิตยางเครพขาว

## บทที่ 2

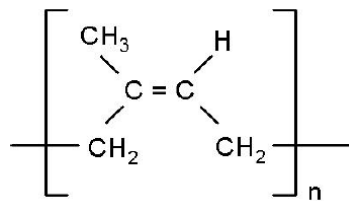
### ตรวจสอบเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ยางธรรมชาติ

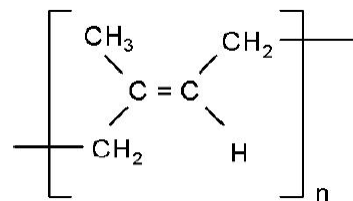
##### 2.1.1 ลักษณะทั่วไปและโครงสร้างของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีหน่วยย่อยของแต่ละหน่วยประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม เขียนเป็นสูตรทางเคมีอย่างง่ายคือ  $C_5H_8$  มีน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยประมาณ 200,000 ถึง 400,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลในช่วงกว้างมาก (วารสาร วิชาการ ไซยกุล 2549)

ยางธรรมชาติที่ได้มาจากต้นยางพาราที่อยู่ในตระกูล *Hevea Brasillensis* จะมีโครงสร้างโมเลกุลส่วนใหญ่เป็นแบบ cis-1,4-polyisoprene ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-1 (ก) ซึ่งไม่ตกผลึกที่อุณหภูมิห้องและเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่น ส่วนน้ำยางจากต้น Gutta percha และ Balata จะมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบ trans-1,4-polyisoprene ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-1 (ข) โดยมีโครงสร้างโมเลกุลที่เป็นระเบียบกว่าแบบ cis-1,4-polyisoprene ดังนั้นจึงสามารถตกผลึกและทำเป็นวัสดุที่แข็งภายใต้สภาวะปกติ (Young 1991)



(ก)



(ข)

ภาพประกอบที่ 2-1 แสดงโครงสร้างโมเลกุลยางธรรมชาติแบบ (ก) cis- และ (ข) trans-1,4-polyisoprene

ที่มา : Young 1991

น้ำยางสดมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว มีสถานะเป็นสารคอลลอยด์หรือแขวนลอย อยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่า pH ประมาณ



6.5-7.0 ความหนืดมีค่าประมาณ 12-15 เซนติพอยส์ (centipoises) และอาจมีค่าแปรปรวนขึ้นอยู่กับปริมาณของส่วนประกอบในน้ำยาง นอกจากนี้ยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุยาง ฤดูกาล เป็นต้น น้ำยางสดอยู่ในสภาวะแขวนลอยและมีประจุที่เป็นลบจึงผลัดกันตลอดเวลาทำให้คงสภาพอยู่ได้ จนกว่าสภาวะแวดล้อมและปัจจัยต่างๆที่มารบกวน เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด ซึ่งทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนของน้ำยาง (Blackley 1997)

### 2.1.2 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

โดยตารางที่ 2-1 แสดงส่วนประกอบต่างๆในน้ำยางสด

ตารางที่ 2-1 ส่วนประกอบของน้ำยางสด

| Constituent              | Proportion / % (m/m) on whole latex |
|--------------------------|-------------------------------------|
| Total solid content, TSC | 27-48                               |
| Dry rubber content, DRC  | 25-45                               |
| Proteinaceous substances | 1-1.5                               |
| Resinous substances      | 1-2.5                               |
| Ash                      | Up to 1                             |
| Sugars                   | 1                                   |
| Water                    | ad 100                              |

ที่มา : Blackley 1997

### 2.1.4 โครงสร้างเคมีของน้ำยางธรรมชาติ

องค์ประกอบของน้ำยางธรรมชาติจะประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยางประมาณ 35%และส่วนที่ไม่ใช่ยางประมาณ 65% โดยผิวของอนุภาคยางมีเยื่อหุ้ม (Membrane) ที่ประกอบด้วยไขมันและโปรตีน โดยอนุภาคยางประกอบด้วย 3 ส่วน (วรารักษ์ ขจรไชยกูล 2525) คือ

1. ชั้นในสุดเป็นส่วนของเนื้อยางล้วนๆ (Rubber hydrocarbon) มีประมาณ 96% โดยน้ำหนักของอนุภาค ประกอบขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ของไอโซพรีน

(isoprene) เป็นโครงสร้างแบบ cis – 1, 4 พอลิไอโซพรีน โดยหมู่ปลายแอลฟาของโมเลกุลยาง ( $\alpha$ -terminal) จะเป็นหมู่โมโนฟอสเฟต (Monophosphate group) หรือ ไดฟอสเฟต (Diphosphate group) ที่ต่อกับโมเลกุลของฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) โดยพันธะไอออนิก (Ionic linkage) หรือพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) และหมู่ปลายโอเมก้า ( $\omega$ -terminal) ประกอบด้วยหมู่ไดเมทิลแอลลิลและทรานส์ไอโซพรีนสองหมู่ (จิตต์ลัดดา ศักดาภิพาณิชย์ 2006)

2. ชั้นกลางเป็นชั้นของไขมัน (lipids) ซึ่งมีประมาณ 3 % โดยน้ำหนักของอนุภาค ส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสโฟไลปิดชนิดอัลฟาเลกซิทิน ( $\alpha$ -lecithin) ทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคยาง โดยปริมาณไขมันที่อยู่ในอนุภาคยางขึ้นอยู่กับพันธุ์ยาง
3. ส่วนนอกสุดเป็นส่วนของโปรตีน มีประมาณ 1% โดยน้ำหนักของอนุภาคยาง ทำหน้าที่เป็นชั้นห่อหุ้มอนุภาคยางซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ อัลฟา-กลอบูลิน ( $\alpha$ - globulin) ชั้นของโปรตีนมีความสำคัญมากเพราะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของอนุภาคยาง คือ กำหนดชนิดของประจุซึ่งได้แก่ ประจุไฟฟ้าลบ, กำหนดคุณสมบัติการเคลื่อนไหวของอนุภาคคอลลอยด์เนื่องจากอิทธิพลของสนามไฟฟ้าในของเหลว (Electrophoretic) และกำหนดเสถียรภาพของน้ำยาง

ส่วนที่ไม่ใช่ยางประกอบด้วย 3 ส่วน (วารกรณ์ จจรไชยกุล 2525 และ กรมส่งเสริมการเกษตร 2553) คือ

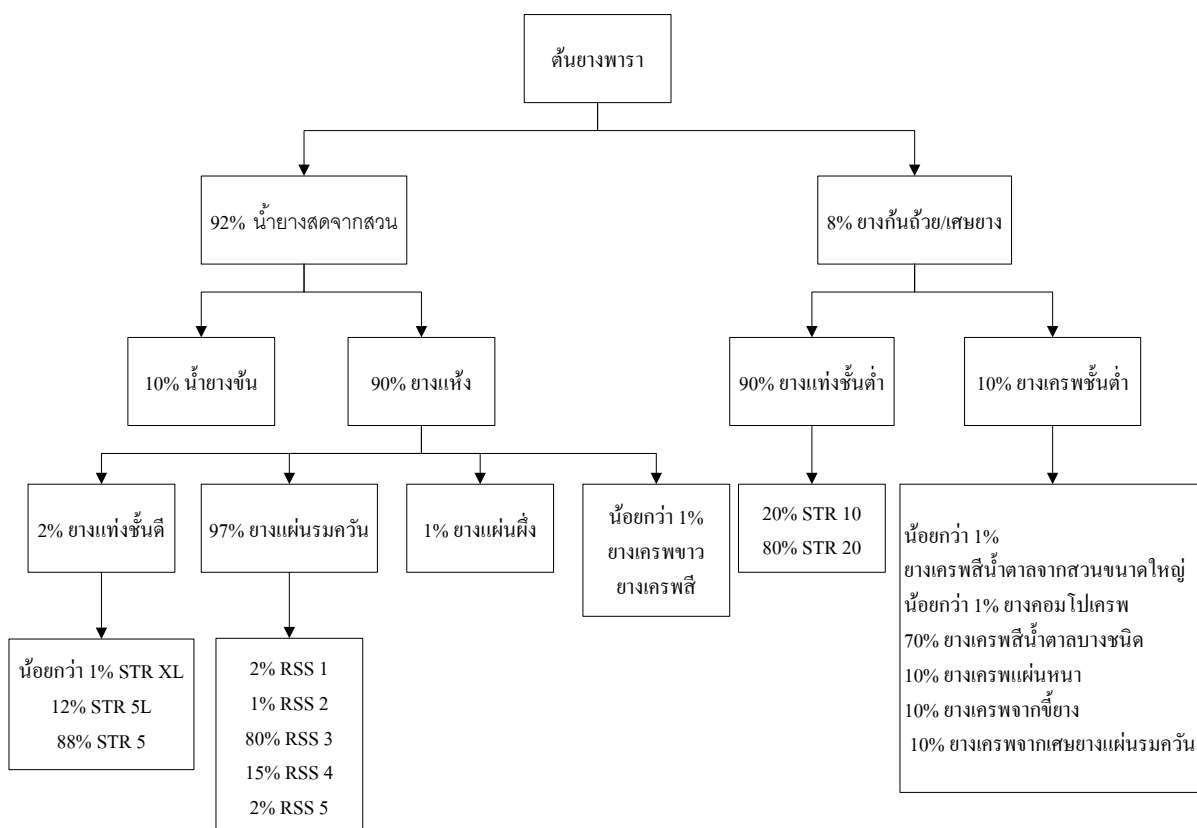
1. น้ำหรือซีรัม (Serum) ซีรัมของน้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิเมตร ประกอบด้วยสารชนิดต่างๆคือ คาร์โบไฮเดรตเป็นสารพวกแป้งและน้ำตาลมีอยู่ในน้ำยางประมาณ 1% โดยน้ำตาลส่วนใหญ่เป็นชนิดควิบาซิทอล (Quebrachitol) และกรดอะมิโน (Amino acid)
2. ลูตอยด์ (Lutoids) เป็นอนุภาคกลม มีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคยางและมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-5 ไมครอน ลูตอยด์มีเยื่อบางหุ้มอยู่โดยภายในเยื่อบางประกอบด้วยส่วนที่เรียกว่า บี-ซีรัม (B-Serum) ซึ่งมีส่วนของสารละลายกรดเกลือ โปรตีน น้ำตาล และโพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) โดยโพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ยางมีสีคล้ำเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ และเมื่อเติมน้ำลงไปในน้ำยาง ลูตอยด์จะบวมพองเป็นผลให้น้ำยางมีความหนืด

เพิ่มขึ้น และเมื่อลูตอยด์แตกความหนืดของน้ำยางจะลดลง หากเติมแอมโมเนียลงในน้ำยางสดพบว่าส่วนของลูตอยด์และสารพวก โลหะแมกนีเซียมจะรวมตัวกับแอมโมเนีย เกิดการตกตะกอนเป็นตมสีน้ำตาลและสีม่วงแยกตัวออกจากเนื้อยางและเกาะรวมกันอยู่ด้านล่าง

3. อนุภาคฟรีวิลลิง (Frey wyssling) เป็นอนุภาคที่มีสีเหลืองเข้ม ซึ่งสีเหลืองเข้มจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของสารแคโรทีนอยด์ (Carotinioid) ที่ประกอบอยู่ โดยอนุภาคฟรีวิลลิงจะมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคของยางและมีความหนาแน่นมากกว่ายางเล็กน้อยและมีส่วนประกอบของไขมันรวมอยู่ด้วยโดยสารแคโรทีนอยด์สามารถรวมตัวกับแอมโมเนียที่ใช้ในการรักษาสภาพน้ำยางและแยกตัวออกจากยางมาอยู่ในส่วนของซีรัม

### 2.1.3 การแปรรูปน้ำยางธรรมชาติ

จากข้อมูลการแปรรูปน้ำยางธรรมชาติของสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตรปี 2542 พบว่า น้ำยางที่ได้จากต้นยางพารา 100% จะได้น้ำยางสด 92% อีก 8% ที่เหลือเป็นยางก้อนถ้วยและเศษยาง ซึ่งส่วนใหญ่ประมาณ 90% ใช้ในการผลิตยางแท่งชั้นต่ำ ส่วนที่เหลือจึงผลิตเป็นยางเครพชั้นต่ำ ส่วนน้ำยางสดนั้นจะมีการแปรรูปเป็นยางแท่งถึง 90% โดยส่วนใหญ่ถึง 97% ของยางแท่งเป็นยางแผ่นรมควันอีก 2% เป็นยางแท่งชั้นดี โดยการผลิตยางเครพขาวจะมีการผลิตน้อยกว่า 1% ของการแปรรูปยางทั้งหมด (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร 2554)



ภาพประกอบที่ 2-2 แสดงแผนผังการแปรรูปน้ำยางดิบของประเทศไทย  
ที่มา : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร 2542

### 2.1.4 มาตรฐานยางแผ่นไทย (Standard Thai Rubber)

โดยข้อกำหนดมาตรฐานของยางแผ่นไทยแสดงไว้ในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ข้อกำหนดมาตรฐานยางแผ่นไทย

| Parameter                                     | Latex     |                | Latex / Sheet  |  | Lump / Sheet |                      |           |                   |
|---|-----------|----------------|----------------|--|--------------|----------------------|-----------|-------------------|
|   | STR<br>XL | STR<br>5L      | STR 5          | STR 5CV                                  | STR<br>10    | STR<br>10CV          | STR<br>20 | STR<br>20CV       |
| Dirt retained on 44m aperture (max. % wt.)    | 0.02      | 0.04           | 0.04           | 0.04                                     | 0.08         | 0.08                 | 0.16      | 0.16              |
| Ash (max. % wt.)                              | 0.40      | 0.40           | 0.60           | 0.60                                     | 0.60         | 0.60                 | 0.80      | 0.80              |
| Nitrogen (max.% wt.)                          | 0.50      | 0.60           | 0.60           | 0.60                                     | 0.60         | 0.60                 | 0.60      | 0.60              |
| Volatile matter (max. % wt.)                  | 0.80      | 0.80           | 0.80           | 0.80                                     | 0.80         | 0.80                 | 0.80      | 0.80              |
| Initial plasticity (PO) (min)                 | 35.00     | 35.00          | 30.00          | -  | 30.00        |                      | 30.00     |                   |
| Plasticity Retention Index (PRI) (min)        | 60.00     | 60.00          | 60.00          | 60.00                                    | 50.00        | 50.00                | 40.00     | 40.00             |
| Colour Lovibond Scale (individual value max.) | 4.00      | 6.00           | -              | -  | -            | -                    | -         | -                 |
| Mooney, Viscosity ML (1'+4') 100 C*           | -         | -              | -              | 70 (+7,-5),<br>60 (+7,-5),<br>50 (+7,-5) | -            | 60<br>(+7,-<br>5)    | -         | 65<br>(+7,-<br>5) |
| Colour Coding Marker                          | blue      | light<br>green | light<br>green | white on<br>green                        | brown        | white<br>on<br>brown | red       | white<br>on red   |

\* ที่มา: <http://www.thaihua.com/v4/en/factory/standard-thai-rubber.php>

สำหรับมาตรฐานของยางเครพขาวพบว่ามาตรฐานยางแผ่นไทยไม่ได้ระบุมาตรฐานของยางเครพขาวไว้ โดยมาตรฐานของยางเครพขาวจะกำหนดโดย องค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ซึ่งเป็นผู้ผลิตยางเครพขาวเพียงแห่งเดียวในประเทศไทย โดยข้อกำหนดมาตรฐานของยางเครพขาวแสดงตามตารางที่ 2-3

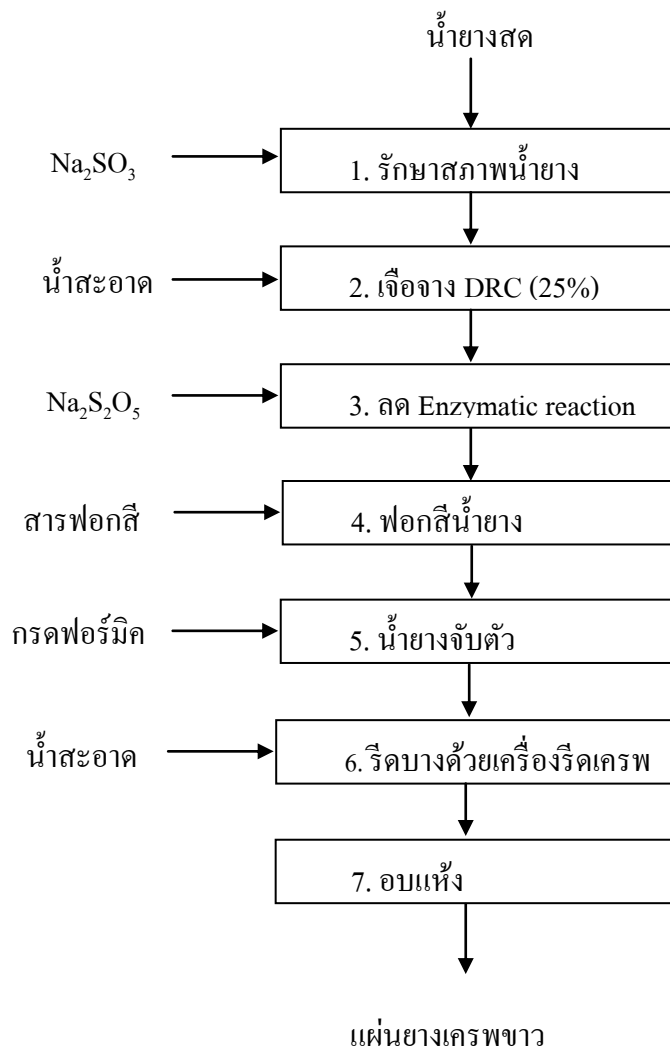
ตารางที่ 2-3 ข้อกำหนดมาตรฐานยางเครพขาวขององค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

| ตัวแปร                         | ค่ามาตรฐาน |
|--------------------------------|------------|
| ค่าสี (หน่วย Lovibond)         | น้อยกว่า 3 |
| ค่าความหนืดมูนี (หน่วย Mooney) | มากกว่า 65 |

## 2.2 ยางเครพขาว (Pale/Sole Crepe Rubber)

### 2.2.1 ขั้นตอนการผลิตยางเครพขาว

จากการทดลองของ RRIM (Rubber Research Institute of Malaysia) ประเทศมาเลเซีย พบว่าน้ำยางพันธุ์ต่างกันจะให้สีของน้ำยางที่แตกต่างกันไป โดยจากการศึกษาขององค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่ายางพันธุ์ RRIM 600 จะให้น้ำยางที่มีสีขาวเหมาะแก่การนำไปผลิตเป็นยางเครพขาวมากที่สุด โดยยางเครพที่ผลิตออกจำหน่ายสามารถทำได้โดยตรงจากน้ำยางและทำได้จากยางที่จับตัวแล้ว สำหรับยางเครพที่ได้จากการใช้น้ำยางมาผลิต จะเป็นยางเครพที่มีคุณภาพดี ส่วนยางเครพที่ใช้พวกลายจับตัวแล้วมาผลิตจะได้เป็นยางเครพคุณภาพต่ำ ซึ่งคุณภาพจะต่ำมากน้อยเพียงใดจะขึ้นอยู่กับยางที่จับตัวแล้วมีความสกปรกมากน้อยเพียงใด โดยขั้นตอนการผลิตยางเครพขาวจากน้ำยางธรรมชาติมีขั้นตอนโดยสรุปดังภาพประกอบที่ 2-3



ภาพประกอบที่ 2-3 แสดงแผนผังขั้นตอนการผลิตยางเครฟขาว

ขั้นตอนในการผลิตยางเครฟขาว (วารสารณ์ ขจรไชยกุล 2524 และ พิสิษฐ์ จินดา

นกร 2552)

1. เก็บรักษาน้ำยางสดให้คงสถานะเป็นน้ำยาง โดยใช้สารเคมีโซเดียมซัลไฟต์ (Sodium sulphite,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) 0.02%-0.1% น้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำยาง หรือโดยใช้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide) ในระดับไม่เกิน 0.02% น้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำยางหรืออาจใช้ฟอร์มัลดีน (Formalin) ก็ได้ แต่การใช้ฟอร์มัลดีนหรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ มากกว่า 0.02% น้ำหนักต่อปริมาตรน้ำยาง จะทำให้น้ำยางมีสีคล้ำได้

2. กรองน้ำยางที่ได้เก็บรักษาด้วยสารเคมี ผ่านร่ง (Sieve) ขนาด 60 เมช. แล้วจึงถ่ายน้ำยางลงในตะกุงน้ำยาง จากนั้นผสมน้ำสะอาดเพื่อให้ได้เนื้อยางแห้งมาตรฐาน (Dry Rubber Content, DRC) 25%



ภาพประกอบที่ 2-4 แสดงตะกุงน้ำยาง  
ที่มา : องค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

3. เติมสารเคมีโซเดียมเมตะไบซัลไฟด์ (Sodium metabisulphite,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) ซึ่งเป็นสารช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ (Enzymatic Reaction) ที่ทำให้น้ำยางมีสีคล้ำ โดยเตรียมสารละลายโซเดียมเมตะไบซัลไฟด์เข้มข้น 2-5% น้ำหนักต่อปริมาตร เติมลงในน้ำยางอัตรา 0.05% - 0.10% ต่อน้ำยางสด หากใช้เกินกว่าอัตราดังกล่าวจะทำให้แผ่นยางเหนียวและแห้งช้าอีกทั้งสีไม่สวยอีกด้วย
4. ฟอกสีน้ำยาง โดยใช้สารฟอกสีในปริมาณ 0.1% ต่อน้ำยางแห้ง
5. จากนั้นทำให้น้ำยางจับตัวโดยใช้กรดฟอร์มิก (Formic Acid) โดยใช้สารละลายกรดฟอร์มิก ความเข้มข้น 2-5% ในปริมาณ 0.35% ต่อน้ำยางแห้ง หากใช้สารละลายกรดฟอร์มิกเข้มข้น 1% น้ำยางจะจับตัวภายในเวลา 6-8 ชั่วโมงและหากต้องการนำยางเข้าเครื่องรีดควรเร็วกว่านี้ก็ต้องเพิ่มปริมาณกรดเพิ่มมากขึ้น
6. นำก้อนยางที่จับตัวแล้วเข้าเครื่องรีดยางเครพ การทำยางเครพสีจางน้ำที่ใช้ต้องสะอาด และปริมาณน้ำต้องมีใช้อย่างเพียงพอ





ภาพประกอบที่ 2-5 แสดงจักรรีดยางขนาดอุตสาหกรรม  
ที่มา : องค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

7. การทำให้แผ่นเครพแห้ง แผ่นเครพจะถูกนำไปผึ่งให้แห้งโดยใช้ความร้อนจากลมร้อนอบที่อุณหภูมิประมาณ 38-40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6-10 วัน

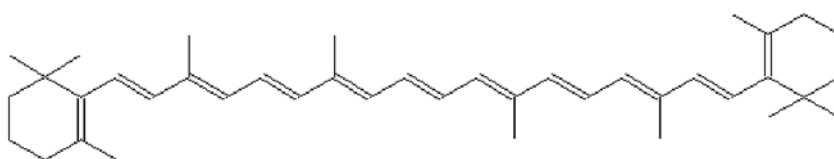


ภาพประกอบที่ 2-6 แสดงยางเครพขาวในเตาอบลมร้อน  
ที่มา : องค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

### 2.3 การกำจัดสี (Bleaching)

การเกิดสีเหลืองในน้ำยางนั้นเกิดจากสารประกอบคือ เบตา-แคโรทีน (β-Carotene) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ให้สีส้มที่พบทั่วไปในพืชและผลไม้ และเป็นสารประกอบที่ทำให้น้ำยางธรรมชาติมีสีเหลือง ดังนั้นการที่จะทำให้น้ำยางมีสีขาวนั้นจำเป็นที่จะต้องกำจัดเบตา-แคโรทีนออกจากน้ำยาง เบตา-แคโรทีน เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-7 โดยเม็ดสี (Pigment) ของเบตา-แคโรทีนเกิดจากพันธะคู่แบบคอนจูเกต

(Conjugated double bonds) ที่ต่อกันยาวถึง 11 พันธะเกิดเป็นโครโมฟอร์ (Chromophore) สารประกอบเมอร์แคปแทนในสารฟอสฟอรัสจะทำหน้าที่เป็นสารแลกเปลี่ยนสายโซ่ (Chain transfer agent) โดยจะทำลายโครงสร้างพันธะคู่แบบคอนจูเกตของเบตา-แคโรทีนให้สั้นลงด้วยการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ (Radical polymerization) ซึ่งหากพันธะคู่แบบคอนจูเกตต่อกันน้อยกว่า 8 พันธะจะทำให้สีไม่มีสี (M. B. Smith and J. March 2010)



ภาพประกอบที่ 2-7 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของเบตา-แคโรทีน

ที่มา : School of Chemistry University of Bristol 2010

โดยจากการสืบค้นสิทธิตริบ์พบว่า เบตา-แคโรทีนนั้นสามารถละลายได้ในสารละลายอินทรีย์ (Organic solvent) โดยการแยกเบตา-แคโรทีนนั้นสามารถทำได้ด้วยการสกัดด้วยไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) หรือ คลอโรฟอร์ม (Chloroform) ที่เป็นสารละลายอินทรีย์ ฮาโลเจน (Halogen organic solvent) (Jaeger 1966) และยังพบการสกัดเบตา-แคโรทีนจากน้ำมันพืช โดยใช้สารละลายอะซิโตนไนไตร (Acetonitrile) นอร์มอลเมทิลไพโรลิดีน (N-methylpyrrolidone) นอร์มอล นอร์มอลไดเมทิลฟอร์มมาไมด์ (N,Ndimethylformamide) (Zajic 1960) และยังพบสิทธิตริบ์ในการสกัดเบตา-แคโรทีนออกจากสาหร่าย โดยการแยกน้ำออกจากสาหร่ายแล้วจากนั้นจึงสกัด เบตา-แคโรทีนด้วยสารละลายอินทรีย์ต่อไป (Hills 1989) อีกทั้งยังพบสิทธิตริบ์ในการแยกเบตา-แคโรทีน ออกจากชีวมวล (biomass) โดยใช้ เยื่อเลือกผ่าน (semi-permeable membrane) อีกด้วย (Rose 1994) แต่กระบวนการแยกเบตา-แคโรทีนจากสิทธิตริบ์ที่สืบค้นมานั้น ไม่เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการแยกเบตา-แคโรทีน ออกจากน้ำยางธรรมชาติเพื่อกำจัดสี เนื่องจากมีต้นทุนสูงเหมาะกับกระบวนการที่ต้องการสกัดเบตา-แคโรทีนเพื่อจำหน่าย นอกจากนี้ น้ำยางสดมีลักษณะเป็นคอลลอยด์ ประกอบด้วยสารประกอบทั้งมีขั้วและไม่มีขั้วผสมกัน จึงเป็นการยากที่จะหาสารละลายที่สามารถสกัดแยกเบตา-แคโรทีนออกจากน้ำยางสดได้

Wititsuwannakul และคณะ (2008) ได้ศึกษาการนำน้ำยางสดมาเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องเหวี่ยงแยกความเร็วรอบสูง (Centrifuge) ปรากฏว่าจะเกิดการแยกชั้นของน้ำยางออกเป็นสามชั้น คือ ชั้นที่เป็นส่วนของอนุภาคยาง, ซีรัม (Serum) และส่วนที่ไม่ใช่น้ำยางนั่นก็คือส่วนที่มีสารสี

เหลืองนั่นเอง ทำให้สามารถแยกสารที่ให้สีเหลืองออกจากรูปร่างธรรมชาติได้ แต่วิธีการเหวี่ยงแยกน้ำยางธรรมชาติด้วยความเร็วรอบสูงนั้นไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตยางเครพขาว เนื่องจากต้นทุนของเครื่องเหวี่ยงแยกความเร็วรอบสูงนั้นมีต้นทุนที่สูงและต้องการเครื่องที่มีขนาดใหญ่มากในการใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตจริง

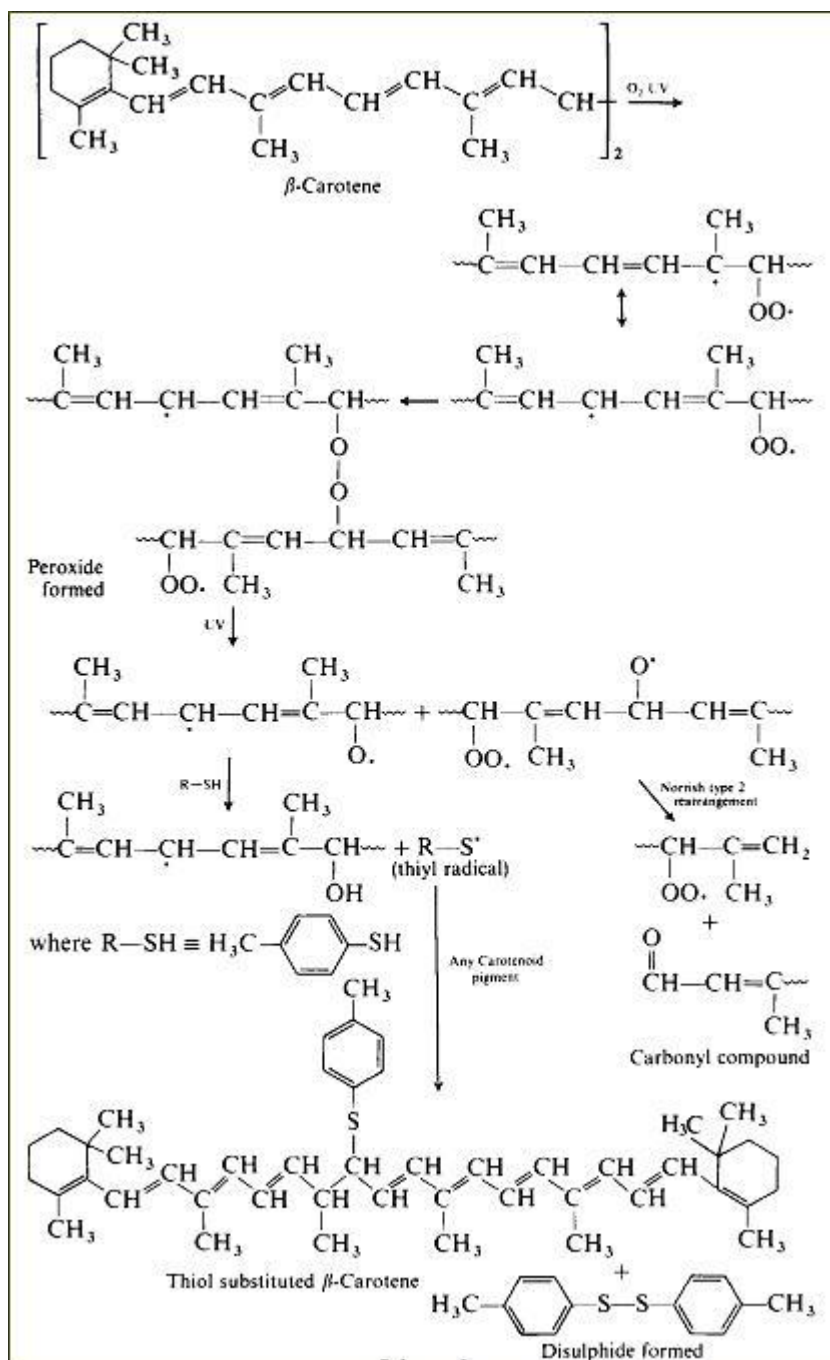
จากการสืบค้นลิตธิบัตร์ที่เกี่ยวข้องกับสารฟอกสีและกระบวนการฟอกสีพบว่า ลิตธิบัตร์โดยส่วนใหญ่เป็นการฟอกสีเส้นใย โดยส่วนประกอบหลักในการฟอกสีของเส้นใยนั้นจะเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) สารลดแรงตึงผิว และสารที่ใส่เพื่อเพิ่มคุณสมบัติอื่นๆ (Thompson 2002 และ Danjo 2004) โดยพบว่า การเติม สารฟอกต้นตอ (Bleach precursor) ที่เป็นพวกพอลิเมอร์หรือ โคพอลิเมอร์ (Copolymer) ลงในสารฟอกสีจะช่วยกำจัดคราบสกปรกได้โดยไม่ใช้อุณหภูมิในการฟอกสีที่สูงอีกด้วย (Madison 1996) อย่างไรก็ตามการนำเอาสารเคมีสำหรับฟอกสีเส้นใยไปใช้ในการฟอกสีน้ำยางอาจจะทำปฏิกิริยารุนแรงต่อพันธะคู่ของอนุภาคยางและส่งผลให้สมบัติของยางเปลี่ยนแปลงได้

การเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระเป็นปฏิกิริยาที่ใช้อนุมูลอิสระ (Free radical) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) ซึ่งจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับ มอนอเมอร์ (Monomer) เกิดเป็นอนุพันธ์ว่องไว (Reactive Species) ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้ โดยสารแลกเปลี่ยนสายโซ่ (Chain transfer agent) จะใช้ในการควบคุมมวลโมเลกุล (Molecular Weight) ของพอลิเมอร์ สารแลกเปลี่ยนสายโซ่ จะเข้าไปทำให้เกิด การสิ้นสุดการเติบโต (Termination) ของ พอลิเมอร์ที่กำลังเจริญเติบโต (Growing polymer) ทำให้สามารถควบคุมมวลโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์ (Polymer chain) ตามที่ต้องการ โดยสารเคมีที่มีค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่ (Chain transfer constant) ที่สูงจะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้รวดเร็ว (O'dian 2004)

สารในกลุ่มไธออล (Thiol/Mercaptan) เป็นสารอินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ (organosulfur compound) โครงสร้างของไธออลจะประกอบด้วยหมู่ sulfhydryl (-C-SH หรือ R-SH) โดยสารในกลุ่มไธออลจะมีค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่สูงที่สุดเนื่องมาจากความแข็งแรงของพันธะ S-H ในหมู่ sulfhydryl ที่มีความแข็งแรงที่น้อยนั่นเอง (O'dian 2004) โดยไธออลนิยมใช้เป็นส่วนประกอบในสารฟอกสีสำหรับกระบวนการผลิตยางเครพขาว

L.M.K. Tillekeratne และคณะ (1987) ได้ศึกษาถึงกลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Aromatic Thiols (mercaptans) กับเม็คดีเซปตา-แคโรทีน โดยกลไกการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระ (Radical polymerization) ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนในการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้

1. เริ่มต้นด้วยการแตกสลายด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (auto-oxidation) ของเบตา-แคโรทีนกับออกซิเจนในอากาศด้วยอิทธิพลจากรังสียูวี เกิดเป็น โมเลกุลที่มีอนุมูลเพอร์ออกซี (Peroxy radical,  $R-OO\cdot$ ) และเพอร์ออกไซด์ (Peroxide,  $R-OO-R$ )
2. สารประกอบเพอร์ออกไซด์เป็นสารประกอบที่ไม่เสถียร สามารถสลายตัวเกิดเป็นอนุมูลอัลคอกซี (Alkoxy radical,  $R-O\cdot$ ) บนโมเลกุลของเบตา-แคโรทีน
3. อนุมูลอัลคอกซี (Alkoxy radical,  $R-O\cdot$ ) บนโมเลกุลของเบตา-แคโรทีนเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลไทออล (Thiol,  $R-SH$ ) ในสารประกอบเมอร์แคปแทนเกิดเป็นอนุมูลไทล (Thiyl radical,  $R-S\cdot$ ) โดยอนุมูลไทลเป็นตัวริเริ่ม (Initiator) ปฏิกิริยาการแทนที่ (Substitution reaction) ระหว่างไทออลกับแคโรทีน
4. จากนั้นอนุมูลไทลจะเข้าแทนที่และทำลายพันธะคู่แบบคอนจูเกตของแคโรทีน ซึ่งยิ่งเพิ่มปริมาณของอนุมูลไทลมากก็จะสามารถกำจัดโครโมฟอร์หรือกลุ่มธาตุที่ทำให้เกิดสีได้มากยิ่งขึ้น



ภาพประกอบที่ 2-8 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Aromatic Thiols (mercaptans) กับเม็ดสีเบตาแคโรทีน

Henri'quez และคณะ (2003) ได้ศึกษาพฤติกรรมของไทออล (Thiol) สองชนิดคือ ไทโอฟีนอล (thiophenol) และ อะลิฟาติกไทออล (aliphatic thiol) ที่เป็นสารแลกเปลี่ยนสายโซ่ ในการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุกรมอิสระของอะครีลาไมด์ (acrylamide) และ 1-vinyl-2-pyrrolidone ที่

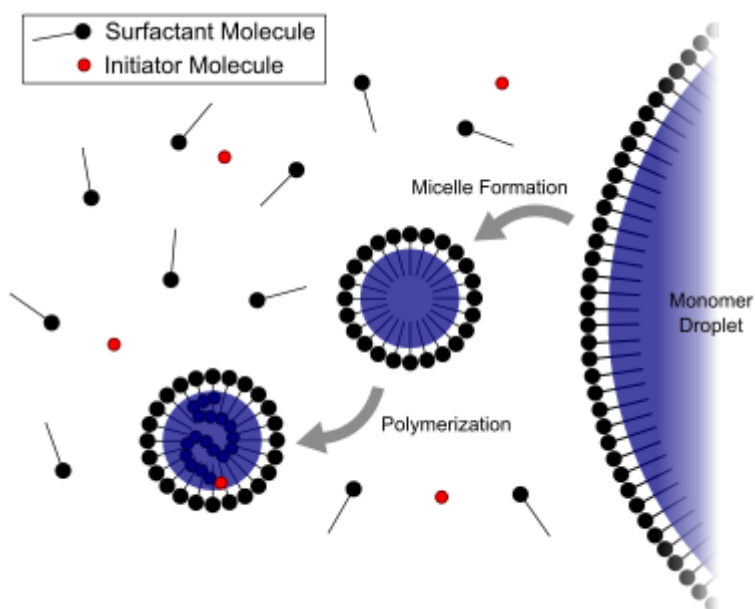
อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาที่  $25^{\circ}\text{C}$  โดยค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่ สามารถหาได้จาก Mayo plot ผลการศึกษาพบว่า reactive species ของไซออล คือ พันธะ  $-\text{SH}$  และค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของไซออล โดยโครงสร้างแบบไซโอฟินอลจะให้ค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่ที่สูงกว่าโครงสร้างแบบอะลิฟาติกไซออล

Valdebenito และ Encinas (2005) ได้ศึกษาถึงพฤติกรรมของ หมู่แทนที่ (4-substituted) ของไซโอฟินอล ที่เป็นสารแลกเปลี่ยนสายโซ่ ในการเกิดพอลิเมอร์โดยแสง (Photopolymerization) ของ อะครีลาไมด์ และ เมทิลเมทาไครเลต (methyl methacrylate) ค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่สามารถหาได้จากสมการของ Mayo ผลการศึกษาพบว่าค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่ของมอนอเมอร์ทั้งคู่จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการให้อิเล็กตรอนของหมู่แทนที่ในโครงสร้างของสารแลกเปลี่ยนสายโซ่โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีกลุ่มให้อิเล็กตรอนในโครงสร้าง (electron donating group) โดยหมู่แทนที่ที่เป็นกลุ่มอะมิโน ( $\text{NH}_2$ ) จะให้ค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่สูงกว่าโครงสร้างที่ไม่มีหมู่แทนที่ในโครงสร้างถึง 10 เท่า ในมอนอเมอร์ทั้งสองชนิด การให้อิเล็กตรอนของหมู่แทนที่ในโครงสร้างของสารแลกเปลี่ยนสายโซ่จะเกี่ยวข้องกับโครงสร้างที่มีความเป็นขั้วใน transition state และตัวแปรที่สำคัญที่กำหนดขั้นตอนในการย้ายสายโซ่ของไซโอฟินอลคือ การสกัดไฮโดรเจน (H-abstraction) ของพันธะ S-H

De Le Fuente และ Madruga (1999) ได้ศึกษาการใช้ n-dodecanethiol เป็นสารแลกเปลี่ยนสายโซ่ในการเกิดพอลิเมอร์ของเมทิลเมทาไครเลต และ สไตรีน (styrene) โดยค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่สามารถหาได้จากสมการของ Mayo โดยมีการเปรียบเทียบผลของปริมาณ 2,2-Azobisisobutyronitrile ที่ทำหน้าที่เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา โดยการเกิดพอลิเมอร์จะเกิดในเบนซีน (benzene) ที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  ผลการศึกษาพบว่าค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่จะไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยา โดยค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่ในการเกิดสไตรีนจะมีค่ามากกว่าการเกิดเมทิลเมทาไครเลตถึง 20 เท่า

การฟอกสีน้ำยางด้วยสารประกอบเมอร์แคปแทนนั้นมีข้อเสีย คือ อาจมีการตัดทอนโมเลกุลของยางร่วมด้วย ทำให้ค่าความหนืดของยางลดลง ทำให้คุณสมบัติของยางเครพที่ได้มีคุณสมบัติลดลง ดังนั้นจึงควรเลือกพันธุ์ยางที่ให้น้ำยางที่ให้ความหนืดสูง และเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงมีการเติมสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ร่วมด้วย สารลดแรงตึงผิวนั้นจะทำหน้าที่ในการสร้างไมเซลล์ (Micelle) และ หยดของมอนอเมอร์ (Monomer Droplet) ซึ่งทำหน้าที่ในการทำให้เกิดเป็นคอลลอยด์ (Colloid) โดยโมเลกุลของเบตา-แคโรทีนและเมอร์แคปแทนในสารฟอกสีซึ่งไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) จะเข้าไปอยู่ในไมเซลล์ และเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ในไมเซลล์ดังแสดงใน

ภาพประกอบที่ 2-9 ทำให้ลดการตัดทอนโมเลกุลของยางลงได้ โดยเรียกปฏิกิริยานี้ว่า การเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization)



ภาพประกอบที่ 2-9 แผนภาพแสดงการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization)

ที่มา : [http://en.wikipedia.org/wiki/Emulsion\\_polymerization](http://en.wikipedia.org/wiki/Emulsion_polymerization)

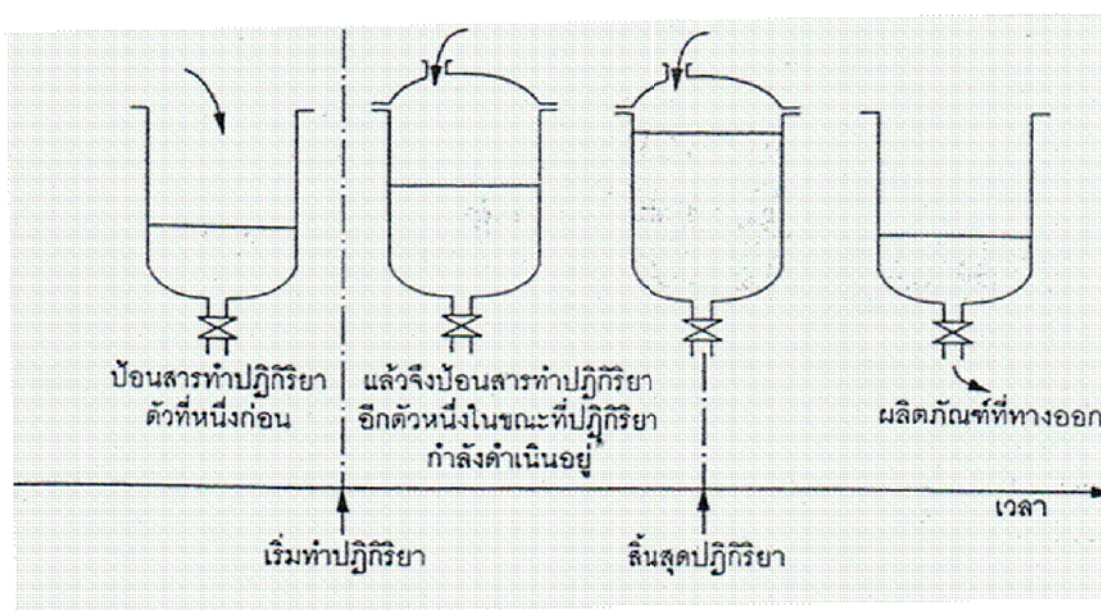
## 2.4 ถังปฏิกรณ์สำหรับการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization reactor)

ถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องนับได้ว่าเป็นถังปฏิกรณ์ที่ใช้กันมากที่สุดชนิดหนึ่งในอุตสาหกรรมเคมี อีกทั้งยังนิยมใช้ในห้องปฏิบัติการทางเคมีและในกระบวนการทางชีวภาพ (Biotechnological Process) อีกด้วย การทำงานของถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องนี้มีลักษณะการทำงานก้ำกึ่งระหว่างการทำงานแบบกะ (Batch operation) กับการทำงานแบบไหลต่อเนื่อง (Continuous operation) กล่าวคือ สารทำปฏิกิริยา (Reactant) ตัวหนึ่ง B ป้อนให้เข้าไปอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ก่อน แล้วจึงป้อนสารทำปฏิกิริยาอีกตัวหนึ่ง A เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง หรือป้อนเป็นระยะๆ ถ้าคูที่การป้อนสาร B การทำงานจะเป็นแบบกะ แต่ถ้าคูที่การป้อนสาร A การทำงานจะเป็นแบบไหลต่อเนื่องจึงเรียกการทำงานแบบนี้ว่า การทำงานแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi batch operation) หรือการทำงานแบบเฟดแบทช์ (Fed-batch operation) (วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา2544)



### ข้อดีของการใช้ถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง (Saarland University 2010)

1. สามารถควบคุมความเข้มข้นของสารทำปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มความสามารถในการเลือกสรร (Selectivity) ของปฏิกิริยา
2. สามารถป้อนสารทำปฏิกิริยาในปริมาณน้อยๆ เพื่อควบคุมการกระจายตัวของส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ได้
3. สามารถควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาได้ (Exothermic reactions)
4. สามารถหลีกเลี่ยงสารพิษของสารตั้งต้นที่ทำปฏิกิริยา (Substrate) ที่เกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ (Organism) หรือเอนไซม์ (Enzyme) ได้
5. สามารถนำผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นออกได้ในระหว่างทำปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มคอนเวอร์ชัน (conversion) และความสามารถในการเลือกสรร
6. หลีกเลี่ยงการสะสมของสารทำปฏิกิริยาที่อาจจะทำให้เกิดการสลายตัวทางความร้อนได้ (Thermal decomposition)
7. สามารถจำลองการทำงานแบบไหลต่อเนื่องในขนาดเล็กๆ ได้



ภาพประกอบที่ 2-10 แสดงการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องในช่วงเวลาต่างๆ

ที่มา : วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา 2544

ถังปฏิกรณ์สำหรับการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆคือ ถังปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor), Continuous-flow reactor with out-back mixing และ



Continuous-flow reactor with back mixing โดยถึงปฏิกรณ์นั้นสามารถมีได้หลากหลายรูปร่างและขนาด โดยตัวแปรที่มีความสำคัญในการออกแบบถึงปฏิกรณ์คือ ขนาดของถึงปฏิกรณ์ (Reactor size), เวลาในกระบวนการ (Residence time), รูปแบบการกวนผสม (Mixing patterns) และ อุณหภูมิในถึงปฏิกรณ์ (Temperature profile) โดยในการที่จะออกแบบถึงปฏิกรณ์นั้นจำเป็นที่จะต้องสร้างแบบจำลอง (Model) สำหรับปรากฏการณ์สำคัญที่เกิดขึ้นภายในถึงปฏิกรณ์ โดยแบบจำลองนั้นมีได้หลายรูปแบบแต่สำหรับถึงปฏิกรณ์เคมี (Chemical reactor) นั้นแบบจำลองควรจะเป็นแบบจำลองของ จลนพลศาสตร์ (Chemical kinetics), การผสมของของไหล (Fluid mixing), การเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพ (Change in physical properties) และการแปรปรวนของอุณหภูมิ (Temperature variation) (Brooks 1997)

จากการสืบค้นสิทธิบัตรพบสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับถึงปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องที่ใช้ในระบบการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน พบว่า Vern Lowry (2002) ได้ออกแบบกระบวนการแบบกึ่งต่อเนื่องในการผลิต ยางไดอีน (diene rubber latex) โดยในการผลิตยางไดอีนแบบเดิมนั้นจะใช้กระบวนการผลิตแบบกะ (Batch process) ซึ่งการผลิตแบบกะนั้นจะให้ความร้อนที่สูงทำให้ต้องอาศัยอุปกรณ์ในการช่วยระบายความร้อนที่มีกำลังสูงเช่นกัน และเวลาในกระบวนการ (Reaction time) ที่นาน อีกทั้งยังพบว่าได้ผลิตภัณฑ์ที่มีอนุภาคขนาดเล็กจำนวนมาก (ขนาดอนุภาคน้อยกว่า 500Å) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการ (Undesirable product) ดังนั้น Vern Lowry จึงได้ออกแบบกระบวนการผลิตแบบกึ่งต่อเนื่องเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้

กระบวนการทำงานจะประกอบด้วย เติมของเหลวเริ่มต้นลงในถึงปฏิกรณ์โดยของเหลวจะประกอบด้วย น้ำ, อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) และ ไดอีนมอนอเมอร์ (Diene monomer) โดยเติมในอัตราส่วน 50-80% ของปริมาตรของถึงปฏิกรณ์ แล้วจึงป้อนของเหลวที่ประกอบไปด้วย ไดอีนมอนอเมอร์ และตัวริเริ่มปฏิกิริยา โดยจะมีการให้ความเย็นแก่ถึงปฏิกรณ์เพื่อลดอุณหภูมิของของเหลว จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาภายในถึงปฏิกรณ์ โดยจะเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยน ไดอีนมอนอเมอร์ไปถึง 80% โดยโมลและปริมาตรสุดท้ายจะเป็น 80% ของปริมาตรของถึงปฏิกรณ์ โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากระบบแบบกึ่งต่อเนื่องจะมีขนาดของอนุภาคระหว่าง 600Å-1200Å และมีผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดของอนุภาคต่ำกว่า 500Å น้อยกว่า 10% ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด อีกทั้งระบบแบบกึ่งต่อเนื่องจะให้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าแบบกะทำให้ระบบระบายความร้อนใช้พลังงานที่น้อยกว่า โดยเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาพบว่าระบบแบบกึ่งต่อเนื่องจะให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สูงกว่าแบบกะ และยังใช้ความดันที่น้อยกว่าอีกด้วย ระบบแบบกึ่งต่อเนื่องจะให้อย่างที่มีความหนืดที่ต่ำโดยจะมีความหนืดน้อยกว่า 200 centipoises โดยส่วนใหญ่จะมีค่าความหนืดในช่วง 50-200 centipoises ในทางตรงข้ามถึงปฏิกรณ์แบบกะทั่วไปนั้นจะให้ความหนืดที่สูงถึง 300 centipoises ให้ความร้อนและเมื่อ

เปรียบเทียบกับกระบวนการแบบกะทั่วไบนั้น กระบวนการแบบกึ่งต่อเนื่องนั้นยังช่วยลดไคอิน  
มอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาอีกด้วย

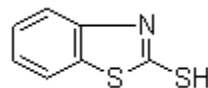
## บทที่ 3

### วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

#### 3.1 วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี

##### 3.1.1 วัสดุคิบและสารเคมี

1. น้ำยางธรรมชาติพันธุ์ RRIM 600 จากสวนยางบริเวณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. โซเดียมซัลไฟต์ (Sodium sulfite,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) ผลิตโดยบริษัท Merck KGaA Co.,Ltd. ประเทศเยอรมนี
3. โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulfite,  $\text{Na}_2\text{O}_5\text{S}_2$ ) ผลิตโดยบริษัท Merck KGaA Co.,Ltd. ประเทศเยอรมนี
4. กรดฟอร์มิก (Formic acid,  $\text{HCOOH}$ ) ผลิตโดยบริษัท Merck KGaA Co.,Ltd. ประเทศเยอรมนี
5. 2-Mercaptobenzothiazole ผลิตโดยบริษัท Merck Schuchardt OHG Co.,Ltd. ประเทศเยอรมนี



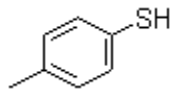
ภาพประกอบที่ 3-1 แสดงโครงสร้างของ 2-Mercaptobenzothiazole

6. 1-Dodecanethiol ผลิตโดยบริษัท Merck Schuchardt OHG Co.,Ltd. ประเทศเยอรมนี



ภาพประกอบที่ 3-2 แสดงโครงสร้างของ 1-Dodecanethiol

7. 4-Methylthiophenol ผลิตโดยบริษัท Merck Schuchardt OHG Co.,Ltd. ประเทศเยอรมนี



ภาพประกอบที่ 3-3 แสดงโครงสร้างของ 4-Methylthiophenol

8. สารฟอกสียางเคียวโอบลีซ (Cureobleach)

เคียวโอบลีซ เป็นสารฟอกสีที่ใช้ในกระบวนการผลิตยางเครพขาว ผลิตโดย บริษัท Livogen Industries (PVT) Ltd. ประเทศศรีลังกา และเป็นที่ยอมรับใช้ในประเทศอินเดีย ศรีลังกา อินโดนีเซีย มาเลเซีย และประเทศไทย ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตยางเครพขาวในไทย จะใช้ สารฟอกสีเคียวโอบลีซเพียงชนิดเดียวในการผลิตยางเครพขาว ตารางที่ 3-1 แสดงส่วนประกอบและปริมาณ (% โดยน้ำหนัก) ของส่วนประกอบในสารฟอกสีเคียวโอบลีซ โดยส่วนประกอบที่สำคัญที่ทำหน้าที่ในการฟอกสีของเคียวโอบลีซ ก็คือ สารประกอบเมอร์แคปแทน (Mercaptan)

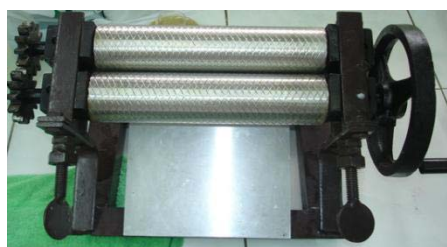
ตารางที่ 3-1 ปริมาณของสารประกอบในสารฟอกสีเคียวโอบลีซ

| สารประกอบ  | หน้าที่        | ปริมาณ (%) |
|--|----------------|------------|
| <p>Pentachloro thiophenol<br/>(Grey Solid, mp ~ 223-227 °C)</p>        | สารฟอกสี       | 35         |
| <p>C8 – alkylphenol ethoxylate<br/>(Commercial name IGEPAL CA-210)</p> | สารลดแรงตึงผิว | 25         |
| Hydrosulfurized Heavy Naphtha  | ตัวทำละลาย     | 40         |

9. Hydrosulfurized heavy naphtha ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท Asia Pacific Petrochemical Co., Ltd.
10. Octylphenol Ethoxylate ผลิตโดยบริษัท Dow Chemical Co.,Ltd.
11. น้ำกลั่น

### 3.1.2 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50, 250, 500, 800, 1000 และ 2000 มิลลิลิตร
2. กระจกบอทดวง (Cylinder) ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร
3. ปิเปต (Pipette) ขนาด 1 และ 5 มิลลิลิตร
4. หลอดหยด (Dropper)
5. แท่งแก้วคน (Stirring rod)
6. แท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar)
7. เครื่องให้ความร้อนและกวนผสม (Heater & Stirrer)
8. เครื่องชั่งสาร 4 ตำแหน่ง
9. ซ้อนตักสาร
10. ตะแกรงกรองน้ำยาง
11. จักรรีดยางขนาดเล็ก



ภาพประกอบที่ 3-4 แสดงจักรรีดยางขนาดเล็ก

12. ถาดอะลูมิเนียมใส่น้ำยาง
13. ตู้อบยางขนาดเล็ก
14. เครื่องวัดความหนืดมูนี่ Mooney Viscometer (MV2000)



ภาพประกอบที่ 3-5 แสดงเครื่องวัดความหนืดมูนี (Mooney Viscometer,MV2000)

#### 15. เครื่องวัดสี Lovibond



ภาพประกอบที่ 3-6 แสดงเครื่องวัดสี Lovibond

#### 16. เครื่องตัดยางตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 3-7 แสดงเครื่องตัดยางตัวอย่าง

### 17. เครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)



ภาพประกอบที่ 3-8 แสดงเครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้ง

### 3.2 การเตรียมสารฟอกสีจากสารประกอบเมอร์แคปแทน

สารฟอกสีที่ผสมขึ้นเองเตรียมจากสารประกอบเมอร์แคปแทนละลายในตัวทำละลายชนิด Hydrosulfurized heavy naphtha ในอัตราส่วนต่างๆ โดยกวนผสมสารประกอบเมอร์แคปแทนและ Hydrosulfurized heavy naphtha ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ตารางที่ 3-2 แสดงชนิดของสารฟอกสี และสัดส่วนระหว่างสารประกอบเมอร์แคปแทนและตัวทำละลายชนิด Hydrosulfurized heavy naphtha

ตารางที่ 3-2 สารฟอกสีจากสารประกอบเมอร์แคปแทน

| สารฟอกสี | ชนิดของสารประกอบเมอร์แคปแทน | สัดส่วนโดยน้ำหนัก    |                               |
|----------|-----------------------------|----------------------|-------------------------------|
|          |                             | สารประกอบเมอร์แคปแทน | Hydrosulfurized heavy naphtha |
| M1-1     | 4-Methylthiophenol          | 1                    | 9                             |
| M1-2     | 4-Methylthiophenol          | 1                    | 12                            |
| M1-3     | 4-Methylthiophenol          | 1                    | 15                            |
| M2-1     | 1-Dodecanethiol             | 1                    | 9                             |
| M2-2     | 1-Dodecanethiol             | 1                    | 12                            |
| M2-3     | 1-Dodecanethiol             | 1                    | 15                            |

### 3.3 วิธีการวิจัย

#### 3.3.1 การศึกษาผลของคุณสมบัติเริ่มต้นของยางแผ่นและผลของสารฟอกสีเคโอบริชต่อคุณสมบัติของยางแผ่น

3.3.1.1 การศึกษาผลการใช้สารรักษาสภาพน้ำยางแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ในการรักษาสภาพน้ำยางเพื่อผลิตยางเครพขาว

##### ขั้นตอนการทดลอง

1. ใช้น้ำยางสดพันธุ์ RRIM 600 (วัดเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง, Dry Rubber Content (DRC) จากสวนยาง)
2. เติมสารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง 2 ชนิด คือ 1) สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในอัตราส่วน 0.05% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำยาง และ 2) สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในอัตราส่วน 0.20% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำยาง ควบคุมความเร็วรอบในการกวนน้ำยางไว้ที่ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที
3. เติมน้ำลงในน้ำยางเพื่อปรับเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งเป็น 25% โดยน้ำหนัก และกวนน้ำยางที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ปริมาณของน้ำที่เติม คำนวณได้จากสูตร

$$V_W = \frac{V_F \times D_F}{D_S} - V_F$$

$V_W$  คือ ปริมาตรของน้ำที่เติมลงในน้ำยาง

$V_F$  คือ ปริมาตรของน้ำยางเดิม

$D_F$  คือ เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งเดิม

$D_S$  คือ เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งที่ต้องการ

4. เก็บตัวอย่างน้ำยางปริมาตร 10 มิลลิลิตร เพื่อทดสอบระยะเวลาในการเน่าเสียของน้ำยาง
5. คึงน้ำยางตัวอย่างจากข้อ 3 ปริมาตร 400 มิลลิลิตร (392 กรัม) โดยมีเนื้อยางแห้ง 98 กรัม (25% DRC) เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป
6. กวนไล่แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ในน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที และกรองน้ำยางหลังจากสิ้นสุดการกวน



7. เติมสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในอัตราส่วน 0.05% โดยน้ำหนักของเนื้อยางแห้ง ควบคุมความเร็วรอบในการกวนน้ำยางไว้ที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
8. เติมสารละลายกรดฟอร์มิคความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในอัตราส่วน 0.35% โดยน้ำหนักของเนื้อยางแห้ง ควบคุมความเร็วรอบในการกวนน้ำยางไว้ที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
9. ตั้งทิ้งให้น้ำยางจับตัวและบันทึกเวลาที่ใช้ในการจับตัวของน้ำยาง
10. เมื่อน้ำยางจับตัวรีดยางด้วยเครื่องรีดยาง 2 ลูกกลิ้ง โดยควบคุมความหนาของแผ่นยางที่ประมาณ 1 มิลลิเมตร และใช้น้ำในการล้างปริมาตร 1 ลิตร
11. อบยางแผ่นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วัน
12. นำแผ่นยางตัวอย่างไปทดสอบสีด้วยเครื่องวัดสี Lovibond

3.3.1.2 การศึกษาผลของสารฟอกสีเคียวโอบลิซ ที่มีผลต่อการฟอกสีและคุณสมบัติของยางเครพขาว

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. ใช้น้ำยางสดพันธุ์ RRIM 600 (วัดเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งจากสวนยาง)
2. เติมสารเคมีรักษาสภาพน้ำยางโดยใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในอัตราส่วน 0.05% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำยาง ควบคุมความเร็วรอบในการกวนน้ำยางไว้ที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
3. เติมน้ำลงในน้ำยางเพื่อปรับเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งเป็น 25% โดยน้ำหนัก และกวนน้ำยางที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
4. ตีงน้ำยางตัวอย่างจากข้อ 3 ปริมาตร 400 มิลลิลิตร (392 กรัม) ซึ่งมีเนื้อยางแห้ง 98 กรัม (25% DRC) เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป
5. เติมสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในอัตราส่วน 0.05% โดยน้ำหนักของเนื้อยางแห้ง ควบคุมความเร็วรอบในการกวนน้ำยางไว้ที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
6. เติมสารฟอกสีเคียวโอบลิซ ควบคุมความเร็วรอบในการกวนน้ำยางไว้ที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ปริมาณของสารฟอกสีเคียวโอบลิซที่ใช้ในการทดลอง คือ 0.05 0.08 0.09 0.10 และ 0.15 กรัม ตามลำดับ

7. เติมสารละลายกรดฟอร์มิคความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในอัตราส่วน 0.35% โดยน้ำหนักของเนื้อยางแห้ง ควบคุมความเร็วรอบในการกวนน้ำยางไว้ที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
8. ตั้งทิ้งให้น้ำยางจับตัวเป็นเวลา 1.30 ชั่วโมง
9. เมื่อน้ำยางจับตัวรีดยางด้วยเครื่องรีดยาง 2 ลูกกลิ้ง โดยควบคุมความหนาของแผ่นยางที่ประมาณ 1 มิลลิเมตร และใช้น้ำในการล้างปริมาตร 1 ลิตร
10. อบยางแผ่นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วัน
11. นำแผ่นยางตัวอย่างไปทดสอบสีด้วยเครื่องวัดสี Lovibond และทดสอบความหนืดมูนิด้วยเครื่องวัดความหนืดมูนิ Mooney Viscometer MV2000

### 3.3.2 การศึกษาผลของสารฟอกสีที่ผสมขึ้นเองในการฟอกสีของยางเครพขาว

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. ใช้น้ำยางสดพันธุ์ RRIM 600 (วัดเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง จากสวนยาง)
2. เติมสารเคมีรักษาสภาพน้ำยางโดยใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในอัตราส่วน 0.05% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำยาง ควบคุมความเร็วรอบในการกวนน้ำยางไว้ที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
3. เติมน้ำลงในน้ำยางเพื่อปรับเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งเป็น 25% โดยน้ำหนัก และกวนน้ำยางที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
4. คึงน้ำยางตัวอย่างจากข้อ 3 ปริมาตร 400 มิลลิลิตร (392 กรัม) ซึ่งมีเนื้อยางแห้ง 98 กรัม (25% DRC) เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป
5. เติมสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในอัตราส่วน 0.05% โดยน้ำหนักของเนื้อยางแห้ง ควบคุมความเร็วรอบในการกวนน้ำยางไว้ที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
6. เติมสารเคมีย่อยยางชนิด ULTRA PEP™ 96 ปริมาณ 0.10 กรัม และสารฟอกสีที่ผสมขึ้นเองดังตารางที่ 3-3 ควบคุมความเร็วรอบในการกวนน้ำยางไว้ที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

ตารางที่ 3-3 ปริมาณของสารฟอกสีที่ใช้ในขั้นตอนการฟอกสี

| สารฟอกสี | ปริมาณสารฟอกสี (กรัม) |      |      |      |      |
|----------|-----------------------|------|------|------|------|
|          | 1                     | 2    | 3    | 4    | 5    |
| M1-1     | 0.10                  | 0.18 | 0.28 | 0.35 | 0.45 |
| M1-2     | 0.18                  | 0.23 | 0.28 | 0.33 | 0.38 |
| M1-3     | 0.23                  | 0.28 | 0.33 | 0.38 | 0.43 |
| M2-1     | 0.10                  | 0.18 | 0.28 | 0.35 | 0.45 |
| M2-2     | 0.28                  | 0.33 | 0.38 | 0.43 | 0.48 |
| M2-3     | 0.33                  | 0.38 | 0.43 | 0.48 | 0.53 |

7. เติมสารละลายกรดฟอร์มิคความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในอัตราส่วน 0.35% โดยน้ำหนักของเนื้อยางแห้ง ควบคุมความเร็วรอบในการกวนน้ำยางไว้ที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

8. ตั้งทิ้งให้น้ำยางจับตัวเป็นเวลา 1.30 ชั่วโมง

9. เมื่อน้ำยางจับตัวรีดยางด้วยเครื่องรีดยาง 2 ลูกกลิ้ง โดยควบคุมความหนาของแผ่นยางที่ประมาณ 1 มิลลิเมตร และใช้น้ำในการล้างปริมาตร 1 ลิตร

10. อบยางแผ่นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วัน

11. นำแผ่นยางตัวอย่างไปทดสอบสีด้วยเครื่องวัดสี Lovibond และทดสอบความหนืดมูนิด้วยเครื่องวัดความหนืดมูนิ Mooney Viscometer MV2000

### 3.3.3 ออกแบบถึงปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องในการผลิตยางเครพขาว

ในการออกแบบถึงรูปทรงกระบอกนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของตัวถังมิได้หลายค่า สำหรับความจุเดียวกัน การหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่เหมาะสมนี้ เป็นการคำนวณแบบซ้ำแล้วซ้ำอีก (Iteration) เพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสม และเสียค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างต่ำสุด การคำนวณหาความหนาของถังซึ่งสามารถใช้งานได้ตามอุณหภูมิและความดันที่กำหนด ขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวถังด้วย โดยขั้นตอนในการคำนวณ มีดังนี้

3.3.3.1 ข้อมูลการออกแบบส่วนประกอบของถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องในการผลิตยางเครพขาว (สูตรผสม สุขมณี 2548)

|   |   |                                |
|---|---|--------------------------------|
| ความดันในการใช้งาน  | P   | = 1 bar                        |
| อุณหภูมิในการใช้งาน   | T   | = อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส |
| ความจุถังขึ้นต่ำ  |   | = 20 ลิตร                      |
| วัสดุที่เลือกใช้  |   | Stainless steel (304)          |
| ค่าความเค้นประลัย (Ultimate stress, $S_{ultimate}$ ) สำหรับ stainless steel |   | 540 N/mm <sup>2</sup>          |
| ค่าความเค้นคราก (Yield stress, $S_{yield}$ ) สำหรับ stainless steel         |   | 200 N/mm <sup>2</sup>          |
| ค่าความเค้นของโลหะแผ่น (Stress plate, $S_{plate}$ )                         |   | 103 N/mm <sup>2</sup>          |
| อุณหภูมิในการออกแบบ (Design temperature, $T_{des}$ )                        | $T_{des} = T + 30 =$                              | 55 องศาเซลเซียส                |
| ความดันในการออกแบบ (Design pressure, $P_{des}$ )                            | $P_{des} = 1.1P_{max} =$                          | 0.11 MPa                       |
| การเชื่อมแบบ Double melled butt joint                                       | ตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสายตา                         |                                |
| ประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อ (Joint efficiency, f)                            | เท่ากับ   | 0.75                           |
| ค่าความเค้นในการออกแบบ (Design stress, $S_{des}$ )                          | โดยกำหนดจากค่าที่ต่ำที่สุดจากกรณีต่างๆดังต่อไปนี้ |                                |

$$S_{des} \mid \frac{5}{8} S_{yield} * f \mid \frac{5}{8} \Delta 200 \Delta 0.75 \mid 93.75 \text{ MPa}$$

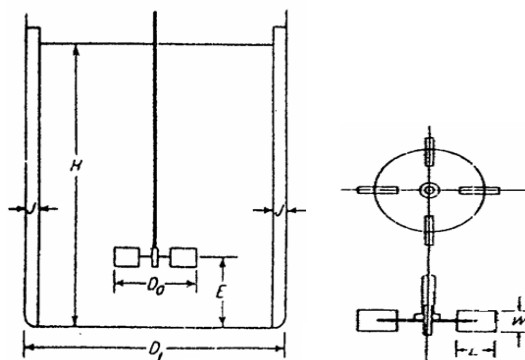
$$S_{des} \mid \frac{1}{4} S_{ultimate} * f \mid \frac{1}{4} \Delta 540 \Delta 0.75 \mid 101.25 \text{ MPa}$$

$$S_{des} \mid S_{plate} * f \mid 103 \Delta 0.75 \mid 77.25 \text{ MPa}$$

ดังนั้นค่าความเค้นในการออกแบบเป็น 77.25 MPa

ในการออกแบบถังปฏิกรณ์กำหนดอัตราส่วนต่างๆดังนี้

$$\frac{D_a}{D_t} \mid \frac{1}{3}, \frac{H}{D_t} \mid 1, \frac{E}{D_t} \mid \frac{1}{3}, \frac{W}{D_a} \mid \frac{1}{5}, \frac{L}{D_a} \mid \frac{1}{4}$$



ภาพประกอบที่ 3-9 แสดงสัดส่วนการออกแบบถังปฏิกรณ์ (McCabe 2005)

โดยถังปฏิกรณ์มีขนาดของส่วนประกอบต่างๆดังนี้

ถังทรงกระบอกกำหนดความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1:1 ปริมาตร 20 ลิตร  
เส้นผ่านศูนย์กลางของถังปฏิกรณ์ ( $D_t$ )

$$D_t \mid \sqrt[3]{\frac{V}{0.785}} \mid \sqrt[3]{\frac{0.020}{0.785}} \mid \sqrt[3]{0.0254} \mid 0.293m$$

กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังปฏิกรณ์ ( $D_t$ )      30 เซนติเมตร

ความสูงของถังปฏิกรณ์ (H)

$$V \mid 0.02 \mid 0.785D_t^2H$$

$$H \mid 0.283m$$

กำหนดความสูงของถังปฏิกรณ์ (H)      40 เซนติเมตร

ระยะระหว่างไบกวนกับถังปฏิกรณ์      10 เซนติเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางของไบกวน ( $D_a$ )      10 เซนติเมตร

ความกว้างของไบกวน (W)      2 เซนติเมตร

ความยาวของไบกวน (L)      2.5 เซนติเมตร

ความหนาต่ำสุดที่ปลอดภัย (t)

$$0.0385 \Delta S_{des} \mid 0.0385 \Delta 77.25 \mid 2.97MPa$$

ผ่านเงื่อนไข ค่า  $0.0385 S_{des} \varnothing P_{des}$

ความหนาของตัวถังสามารถคำนวณได้จากสมการ

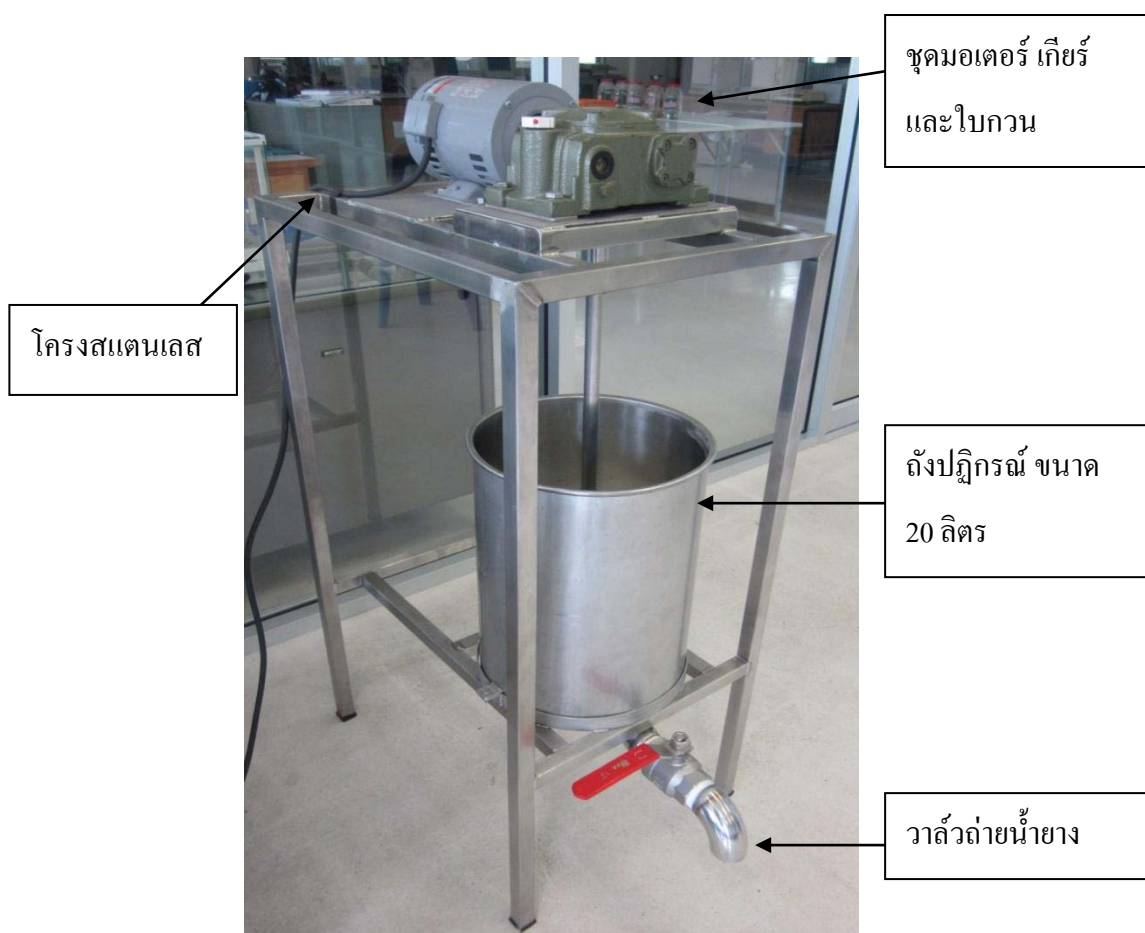
$$t \geq \frac{P_{des} D}{2S_{des} 41.2P_{des}} \geq 0.215 \text{ mm}$$

ความหนาของตัวถังที่ปลอดภัยตลอดอายุที่ใช้งานเท่ากับ  $0.215+1=1.215 \text{ mm}$

กำหนดเลือกใช้ความหนา (ตามความหนาของโลหะแผ่น) 2 mm.

กำหนดความหนากันฉนวนในการจัดสร้างมีค่าเท่ากับส่วนของตัวถัง คือ 2 mm.

ใบกวนแบบ pitched-blade turbine



ภาพประกอบที่ 3-10 แสดงส่วนประกอบถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องในการผลิตยางเครพขาว

### 3.3.3.2 ขั้นตอนการทำงานของถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องในการผลิตยางเครพขาว

1. น้ำยางจะถ่ายเข้าถังปฏิกรณ์ทางด้านบนของถังปฏิกรณ์
2. เติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในอัตราส่วน 0.05% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำยาง ควบคุมความเร็วรอบในการกวนน้ำยาง 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
3. เติมน้ำลงในน้ำยางเพื่อปรับเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งเป็น 25% โดยน้ำหนัก ควบคุมความเร็วรอบในการกวนน้ำยาง 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
4. ใช้น้ำยางที่มีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง 25% โดยน้ำหนัก ปริมาตร 8 ลิตร ในการทดลองแต่ละครั้ง
5. เติมสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในอัตราส่วน 0.05% โดยน้ำหนักของเนื้อยางแห้ง ให้ความเร็วรอบในการกวนน้ำยางไว้ที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
6. เติมสารฟอกสี โดยควบคุมความเร็วรอบในการกวนน้ำยางไว้ที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
7. เติมสารละลายกรดฟอร์มิกความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในอัตราส่วน 0.35% โดยน้ำหนักของเนื้อยางแห้ง ควบคุมความเร็วรอบในการกวนน้ำยางไว้ที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
8. เปิดวาล์วถ่ายน้ำยางใส่ถาดเพื่อให้น้ำยางจับตัวเป็นเวลา 1.30 ชั่วโมง



ภาพประกอบที่ 3-11 แสดงการเปิดวาล์วถ่ายน้ำยางใส่ถาดเพื่อจับตัวเป็นแผ่น

9. เมื่อน้ำยางจับตัวรีดยางด้วยเครื่องรีดยาง 2 ลูกกลิ้ง โดยควบคุมความหนาของแผ่นยางที่ประมาณ 1 มิลลิเมตร และใช้น้ำในการล้างปริมาณ 1 ลิตร
10. อบยางแผ่นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วัน
11. นำแผ่นยางตัวอย่างไปทดสอบสีด้วยเครื่องวัดสี Lovibond และทดสอบความหนืดมูนิด้วยเครื่องวัดความหนืดมูนิ Mooney Viscometer MV2000



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 การศึกษาผลของคุณสมบัติเริ่มต้นของน้ำยางสดและผลของสารฟอกสีเชิงพาณิชย์ต่อคุณสมบัติของยางเครพขาว

##### 4.1.1 การศึกษาผลการใช้สารรักษาสภาพน้ำยางในการรักษาสภาพน้ำยางสดเพื่อผลิตยางเครพขาว

การผลิตยางเครพขาวขององค์การสวนยาง (อศย.) กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ใช้สารโซเดียมซัลไฟต์ (Sodium sulfite) ในการรักษาสภาพน้ำยางสดเพื่อผลิตยางเครพขาว แต่เนื่องจากข้อจำกัดของระยะเวลาในการรักษาสภาพน้ำยางสดของโซเดียมซัลไฟต์ ในการศึกษาครั้งนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide) ในการรักษาสภาพของน้ำยางเพื่อผลิตยางเครพขาว โดยในขั้นต้นการรักษาสภาพน้ำยางสดได้ศึกษาผลของสารรักษาสภาพน้ำยางสดทั้ง 2 ชนิด ซึ่งในกรณีรักษาสภาพด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟต์จะเติมในอัตราส่วน 0.05% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำยาง และในกรณีรักษาสภาพน้ำยางด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จะเติมในอัตราส่วน 0.20% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำยาง

ตารางที่ 4-1 ระยะเวลาในการจับตัวของน้ำยางในขั้นต้นการผลิตยางเครพขาว

| ตัวอย่าง  | ระยะเวลาในการจับตัว (นาที) |
|---|----------------------------|
| 1. น้ำยางที่รักษาสภาพด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟต์       | 25                         |
| 2. น้ำยางที่รักษาสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ | 180                        |

ตารางที่ 4-1 แสดงระยะเวลาในการจับตัวของน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟต์และสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ และตารางที่ 4-2 แสดงผลค่าสีเฉลี่ยของยางแผ่นที่ผ่านการรักษาสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโซเดียม

ซัลไฟด์ที่ไม่ผ่านการฟอกสี จากผลการทดลอง พบว่า น้ำยางที่รักษาสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ใช้ระยะเวลาในการจับตัวนานถึง 180 นาที ซึ่งใช้ระยะเวลามากกว่ายางแผ่นที่รักษาสภาพด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟด์กว่า 7 เท่าดังแสดงในตารางที่ 4-1 อีกทั้งพบว่า น้ำยางที่รักษาสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์สามารถรักษาสภาพน้ำยางสดได้นานถึง 48 ชั่วโมง ในขณะที่น้ำยางที่รักษาสภาพด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟด์สามารถรักษาสภาพน้ำยางได้เพียง 8 ชั่วโมง

ตารางที่ 4-2 ผลค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวที่ผ่านการรักษาสภาพน้ำยางกรณีไม่ฟอกสี

| ตัวอย่าง   | ค่าสีเฉลี่ย |
|--|-------------|
| 1. ยางแผ่นที่รักษาสภาพด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟด์       | 4.5         |
| 2. ยางแผ่นที่รักษาสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ | 15.0        |

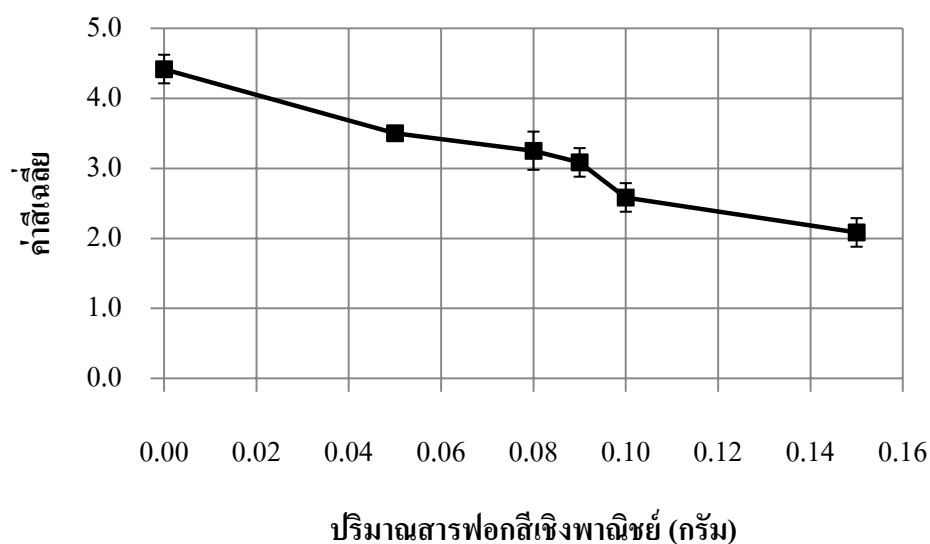
ยางเครพขาวที่ผ่านการรักษาสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์กรณีไม่ฟอกสีมีค่าสีเฉลี่ยเท่ากับ 15 ซึ่งสูงกว่ายางแผ่นที่ผ่านการรักษาสภาพด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟด์กว่า 3 เท่า โดยยางแผ่นที่รักษาสภาพด้วยโซเดียมซัลไฟด์กรณีไม่ฟอกสีมีค่าสีเฉลี่ยเท่ากับ 4.5 ดังแสดงในตารางที่ 4-2 ทั้งนี้เนื่องจากสารแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) หรือสารสี (Pigments) ในอนุภาคฟรียิวสลิง (Frey wysling) ในน้ำยางสามารถรวมตัวกับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ และแยกตัวออกมาอยู่ในส่วนของซีรัม (Serum) ส่งผลต่อค่าสีเฉลี่ยของแผ่นที่ผ่านการรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (วราภรณ์ ขจรไชยกูล 2524) แม้ว่าสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์สามารถรักษาสภาพน้ำยางได้ระยะเวลานานกว่าโซเดียมซัลไฟด์ แต่ทว่าใช้ระยะเวลาในการจับตัวยางแผ่นค่อนข้างนานอีกทั้งค่าสีเฉลี่ยของยางแผ่นที่ได้ค่อนข้างสูงมาก ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมในการนำมาใช้รักษาสภาพน้ำยางเพื่อผลิตยางเครพขาว (รัฐนันท์ สิงห์เดือน 2553)

#### 4.1.2 การศึกษาผลของสารฟอกสีเชิงพาณิชย์ต่อคุณสมบัติของยางเครพขาว

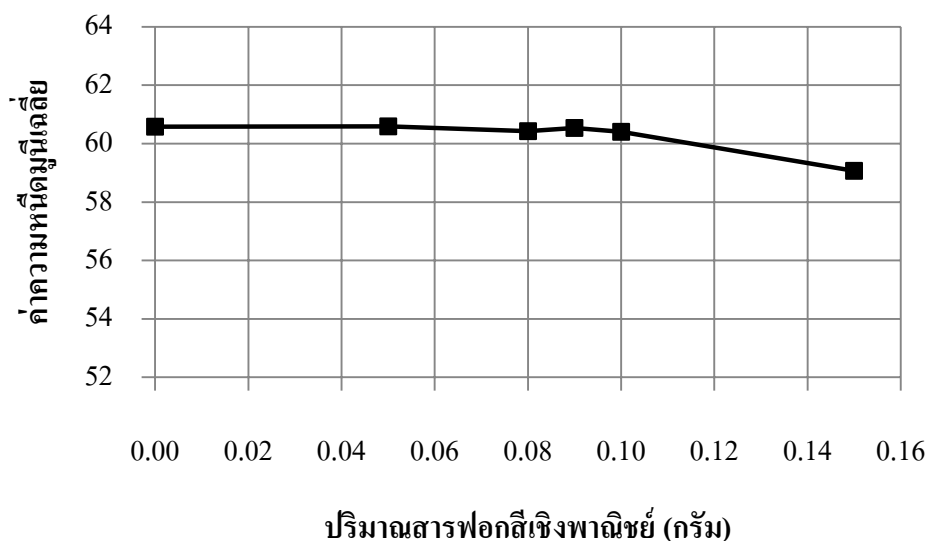
ในปัจจุบันสารฟอกสีเชิงพาณิชย์ชนิดเดียวที่ใช้ในการฟอกสียางเพื่อผลิตยางเครพขาวในประเทศไทย คือ สารฟอกสีเคียวโอบลีช (Curebleach) ซึ่งในการผลิตยางเครพขาวที่องค์การสวนยาง (อศย.) อำเภอช้างกลาง จังหวัดนครศรีธรรมราช ใช้ปริมาณของสารฟอกสีเคียวโอบลีชในอัตราส่วน 0.10-0.15% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, DRC) ในการฟอกสียางเพื่อผลิตยางเครพขาว วัตถุประสงค์ในการศึกษาตอนนี้เพื่อศึกษาผลของสารฟอกสี

เดียวโอบลีสซ์ต่อการฟอกสีและคุณสมบัติของยางเครพขาว โดยศึกษาเพื่อหาปริมาณของสารฟอกสีเดียวโอบลีสซ์ที่เหมาะสมที่ส่งผลให้ได้อย่างเครพขาวมีคุณสมบัติทางกายภาพผ่านมาตรฐาน (Standard Thai rubber, STR) ซึ่งกำหนดให้ค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวต้องมีค่าน้อยกว่าค่า 3 และค่าความหนืดมูนี่ (Mooney viscosity) มากกว่า 60

ภาพประกอบที่ 4-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเฉลี่ยในหน่วย Lovibond และปริมาณสารฟอกสีเชิงพาณิชย์ที่ใช้ในการฟอกสีของยางเครพขาว โดยแกน X แสดงปริมาณสารฟอกสีที่ใช้ในกระบวนการฟอกสีของยางเครพขาว โดยปริมาณที่ศึกษาคือ 0.05 0.08 0.09 0.10 และ 0.15 กรัมต่อปริมาณเนื้อยางแห้ง 98 กรัม และแกน Y แสดงค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสีเดียวโอบลีสซ์ ซึ่งวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Lovibond โดยวัดค่าสี 6 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง และภาพประกอบที่ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดมูนี่เฉลี่ยและปริมาณสารฟอกสีเชิงพาณิชย์ที่ใช้ในกระบวนการฟอกสีของยางเครพขาว โดยแกน X แสดงปริมาณสารฟอกสีที่ใช้โดยปริมาณที่ศึกษาคือ 0.05 0.08 0.09 0.10 และ 0.15 กรัมต่อปริมาณเนื้อยางแห้ง 98 กรัม และแกน Y แสดงค่าความหนืดมูนี่เฉลี่ยของยางเครพขาว ซึ่งวัดความหนืดมูนี่ด้วยเครื่องวัดความหนืดมูนี่ Mooney viscometer MV2000 โดยวัดค่าความหนืด 2 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเฉลี่ยและปริมาณสารฟอกสีเชิงพาณิชย์ 0.05 0.08 0.09 0.10 และ 0.15 กรัม ในการฟอกสียางเครพขาวที่ปริมาณเนื้อยางแห้ง 98 กรัม



ภาพประกอบที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดมูนิเคลียและปริมาณสารฟอกสีเซิงพามิซซ์ 0.05 0.08 0.09 0.10 และ 0.15 กรัม ในการฟอกสียางเครพขาวที่ปริมาณเนื้อยางแห้ง 98 กรัม

ผลการทดลองพบว่า ค่าสีเคลียของยางเครพขาวมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของสารฟอกสีเซิงพามิซซ์ ทั้งนี้เนื่องมาจากสารฟอกสีเซิงพามิซซ์ประกอบด้วย สารประกอบเมอร์แคปแทน (Mercaptan) ที่ทำหน้าที่ในการฟอกสีหรือแลกเปลี่ยนสายโซ่ (Chain transfer agent) โดยสารประกอบเบตาแคโรทีนในน้ำยางจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (auto-oxidation) กับออกซิเจนในอากาศด้วยอิทธิพลจากรังสียูวี โดยอนุมูลไธอิล (Thiyl radical) จากสารประกอบเมอร์แคปแทนจะเข้าแทนที่และทำลายพันธะคู่แบบคอนจูเกต (Conjugated double bonds) ของแคโรทีน ซึ่งยิ่งเพิ่มปริมาณของอนุมูลไธอิลมากก็จะสามารถกำจัดโครโมฟอร์หรือกลุ่มธาตุที่ทำให้เกิดสี (Pigments) ได้มากยิ่งขึ้นทำให้ค่าสีของยางเครพขาวมีค่าลดลง (Tillekeratne et al. 1987 และ Singthuean et al. 2010) ในกรณีนี้พบว่า ที่ปริมาณ 0.10 และ 0.15 กรัม ของสารฟอกสีเซิงพามิซซ์ส่งผลให้ค่าสีเคลียของยางเครพขาวมีค่าน้อยกว่าค่า 3 (2.58 และ 2.08 ตามลำดับ) ซึ่งผ่านมาตรฐานค่าสี ในขณะที่ปริมาณของสารฟอกสีเซิงพามิซซ์ 0.05 0.08 และ 0.09 กรัม ส่งผลให้ยางเครพขาวมีค่าสีเคลียที่ไม่ผ่านมาตรฐาน เนื่องจากมีค่าสีเคลียที่สูงกว่า 3 (3.50, 3.25 และ 3.08 ตามลำดับ)

อย่างไรก็ตาม อนุมูลไธอิลยังสามารถตัดพันธะยางได้อีกด้วยเป็นผลให้ค่าความหนืดมูนิเคลียลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของสารฟอกสี ซึ่งในกรณีนี้พบว่าค่าความหนืดมูนิเคลียของยางแผ่นในทุกกรณียกเว้นที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสีเซิงพามิซซ์ในปริมาณ 0.15 กรัม มีค่าสูงกว่า 60 ซึ่ง

ผ่านมาตรฐานยางแผ่น STR เพราะฉะนั้นในกรณีนี้ปริมาณของสารฟอกสีเชิงพาณิชย์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้อย่างเครพขาวที่มีคุณสมบัติทางกายภาพผ่านมาตรฐาน คือ 0.10 กรัม

#### 4.2 การศึกษาผลของสารฟอกสีที่ผสมขึ้นเองในการฟอกสีของยางเครพขาว

ในการศึกษาขั้นตอนนี้จะทดลองเปรียบเทียบผลที่ได้ของสารฟอกสีที่ผสมขึ้นเองเพื่อหาชนิดของสารฟอกสีและปริมาณที่เหมาะสมที่สุดทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงเศรษฐศาสตร์ในการฟอกสีของยางเครพขาว

##### 4.2.1 การศึกษาการประยุกต์ใช้สารเคมีย่อยยางในการฟอกสีของยางเครพขาว

สารเคมีย่อยยาง (Chemical peptizer) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางเป็นสารช่วยในกระบวนการผลิต (Processing aids) มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความเหนียวของยางหรือช่วยให้ยางนุ่มโดยการย่อยหรือตัดโมเลกุลของยางโดยทางเคมี (Chemical scission) ในขั้นตอนการบดยาง (Mastication) เพื่อช่วยลดเวลาในการบดยางและทำให้ประหยัดพลังงานในการผสม ส่วนประกอบในสารเคมีย่อยยางส่วนใหญ่เป็นสารจำพวกเมอร์แคปแทนซึ่งมีโมเลกุลเป็นวงแหวน (Aromatic mercaptan) Zinc salts of fatty acids และ Dibenzamido – diphenyl –disulphide (Kaplan 1978) โดยในการทดลองขั้นนี้จะศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้สารเคมีย่อยยางซึ่งมีสารเมอร์แคปแทนเป็นองค์ประกอบในการฟอกสีของยางเครพขาว โดยสารเคมีย่อยยางที่ใช้ศึกษา คือ ULTRA PEP™ 96 ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-3



ภาพประกอบที่ 4-3 สารเคมีย่อยยางที่ใช้ศึกษา ULTRA PEP™ 96

ในขั้นตอนการเตรียมสารฟอกสีจากสารเคมีย่อยยางทำโดยใช้สารเคมีย่อยยาง 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร พบว่าสารเคมีย่อยยางไม่สามารถละลายได้ในน้ำกลั่นและเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสพบว่าสารเคมีย่อยยางจะสลายตัวกลายเป็นแผ่นฟิล์มบางๆลอยบริเวณด้านบนของน้ำกลั่นดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-4 ในขณะที่การใช้สารเคมีย่อยยาง 20 กรัม ละลายในตัวทำละลายเฮกเซน (Hexanes) โดยเติมตัวทำละลายให้ได้ปริมาตรของสารละลายเป็น 20 มิลลิลิตรพบว่าสารเคมีย่อยยางสามารถละลายได้ในเฮกเซนดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-5 ทั้งนี้เนื่องจากส่วนประกอบของสารเคมีย่อยยางเป็นสารไม่มีขั้วจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วเช่นเฮกเซน



ภาพประกอบที่ 4-4 แสดงแผ่นฟิล์มของสารเคมีย่อยยางในน้ำกลั่น



ภาพประกอบที่ 4-5 แสดงสารเคมีย่อยยางในตัวทำละลายเฮกเซน

อย่างไรก็ตามดังแสดงในภาพประกอบ 4-6 พบว่าเมื่อเติมสารละลายของสารเคมีย่อยยางในเฮกเซนลงในน้ำยาง สารละลายดังกล่าวกลับไม่ละลายได้ในน้ำยาง โดยจะลอยอยู่ที่ผิวของน้ำยาง และจะสังเกตเห็นยางจะจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆลอยบนผิวหน้าของน้ำยาง และหลังจากผ่านการอบแผ่นยางตัวอย่างให้แห้งพบว่า สารเคมีย่อยยางจับตัวเป็นก้อนในแผ่นยางดังภาพประกอบที่ 4-7 และจากตารางที่ 4-3 ซึ่งแสดงค่าสีและค่าความหนืดมูนิเจ็ลล์ของยางแผ่นที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลายของสารเคมีย่อยยางชนิด ULTRA PEP™ 96 ในเฮกเซนด้วยเครื่องวัดสี Lovibond และเครื่องวัดความหนืด Mooney viscometer MV2000 พบว่า ยางแผ่นที่ฟอกสีด้วยสารเคมีย่อยยางชนิด ULTRA PEP™ 96 ในปริมาณ 0.10 กรัมต่อปริมาณเนื้อยางแห้ง 98 กรัม มีค่าสีเจ็ลล์ต่ำกว่ายางแผ่นที่ไม่ผ่านการฟอกสีเพียงเล็กน้อย คือ จากค่าสี 9.7 ลดเหลือ 8.7 ในขณะที่ค่าความหนืดมูนิเจ็ลล์ของยางแผ่นเกือบจะไม่เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4-3 ผลการฟอกสีด้วยสารละลายของสารเคมีย่อยยางชนิด ULTRA PEP™ 96 ในเฮกเซน

| ตัวอย่าง  | คุณสมบัติของยางแผ่น |             |
|---|---------------------|-------------|
|   | ความหนืดมูนิเจ็ลล์  | ค่าสีเจ็ลล์ |
| 1. ยางแผ่นที่ไม่ผ่านการฟอกสี                    | 60.51               | 9.7         |
| 2. ยางแผ่นที่ฟอกสีด้วยสารละลายของสารเคมีย่อยยาง | 61.59               | 8.7         |

\* น้ำยางที่ใช้เป็นน้ำยางพันธุ์ผสมและเติมแอม โมเนีย



ภาพประกอบที่ 4-6 แสดงน้ำยางหลังเติมสารละลายของสารเคมีย่อยยางในปริมาณ 0.10 กรัม



ภาพประกอบที่ 4-7 แสดงยางแผ่นที่ฟอกสีด้วยสารละลายของสารเคมีย่อยยาง

จากผลการทดลองข้างต้นจึงสรุปได้ว่า สารละลายของสารเคมีย่อยยางชนิด ULTRA PEP™ 96 ในสเกเชนไม่สามารถใช้เป็นสารฟอกสีในการผลิตยางเครพขาวได้ เนื่องจากสารละลายดังกล่าวไม่สามารถละลายได้ในน้ำยาง

#### 4.2.2 การศึกษาผลของสารฟอกสีที่มีองค์ประกอบของ 2-Mercaptobenzothiazole

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลของการฟอกสียางเครพขาวด้วยสารละลายของสารเมอร์แคปแทนชนิด 2-Mercaptobenzothiazole ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-8 และตารางที่ 4-4 แสดงผลของค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวที่ฟอกด้วยสารฟอกสีดังกล่าว ในอัตราส่วนปริมาณ 0.40 และ 0.50 กรัมต่อปริมาณเนื้อยาง 98 กรัม โดยวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Lovibond ซึ่งวัดค่าสี 6 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง

ตารางที่ 4-4 ผลค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวที่ฟอกสีด้วยสารละลาย 2-Mercaptobenzothiazole

| ตัวอย่าง   | ค่าสีเฉลี่ย |
|--|-------------|
| 1. ยางแผ่นที่ไม่ผ่านการฟอกสี                     | 3.47        |
| 2. ยางแผ่นที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสีในปริมาณ 0.40 กรัม | 3.40        |
| 3. ยางแผ่นที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสีในปริมาณ 0.50 กรัม | 2.89        |



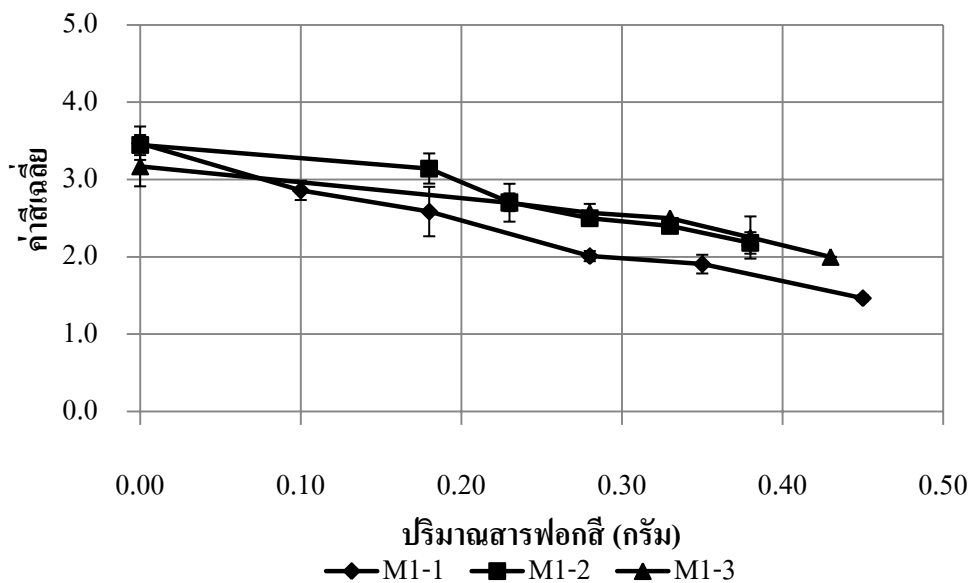


ภาพประกอบที่ 4-8 แสดงสารละลายของ 2-Mercaptobenzothiazole

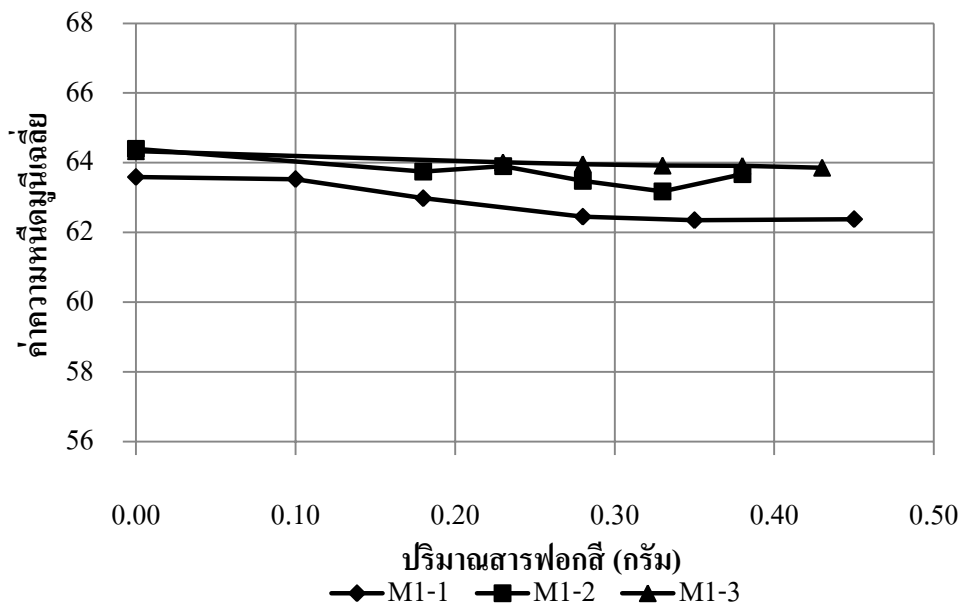
ผลการทดลองพบว่า แม้ค่าสีเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของสารฟอกสีที่มีสารประกอบเมอร์แคปแทนชนิด 2-Mercaptobenzothiazole เป็นองค์ประกอบ แต่อย่างไรก็ตาม ต้องใช้ปริมาณสูงถึง 0.50 กรัมต่อปริมาณเนื้อเยื่อแห้ง 98 กรัม เพื่อที่จะได้อย่างครีพขาวที่มีค่าสีเฉลี่ยตามมาตรฐาน คือ ค่าสีเฉลี่ยต่ำกว่า 3 ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารละลายของ 2-Mercaptobenzothiazole มีสีเหลืองจึงทำให้ต้องใช้ปริมาณค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์ในการนำมาใช้ฟอกสียางครีพขาว

#### 4.2.3 การศึกษาผลของสารฟอกสีที่มีองค์ประกอบของ 4-Methylthiophenol (M1)

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลของการฟอกสียางครีพขาวด้วยสารละลายของสารเมอร์แคปแทนชนิด 4-Methylthiophenol (M1) ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ M1 ในตัวทำละลายแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3-2 ซึ่งภาพประกอบที่ 4-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเฉลี่ยและปริมาณสารฟอกสีที่ใช้ โดยแกน X แสดงปริมาณสารฟอกสีที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักแตกต่างกัน คือ M1-1 M1-2 และ M1-3 และแกน Y แสดงค่าสีเฉลี่ยของยางครีพขาวซึ่งวัดด้วยเครื่องวัดสี Lovibond โดยวัดค่าสี 6 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง และภาพประกอบที่ 4-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดมูนิเจลลี่และปริมาณสารฟอกสีที่ใช้ โดยแกน X แสดงปริมาณสารฟอกสีและแกน Y แสดงค่าความหนืดมูนิเจลลี่ของยางครีพขาวซึ่งวัดด้วยเครื่อง Mooney viscometer MV2000 โดยวัดค่าความหนืดมูนิเจลลี่ 2 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง

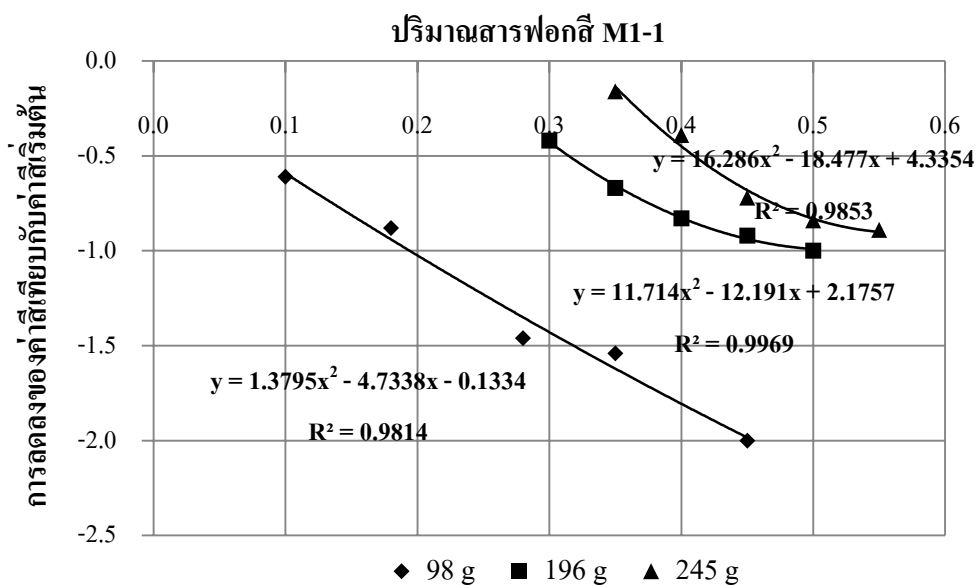


ภาพประกอบที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีเจดีย์และปริมาณสารฟอสฟอรัส M1-1 M1-2 และ M1-3 ต่อปริมาณเนื้อเยื่อแห้ง 98 กรัม



ภาพประกอบที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดมูลีเจดีย์และปริมาณสารฟอสฟอรัส M1-1 M1-2 และ M1-3 ต่อปริมาณเนื้อเยื่อแห้ง 98 กรัม

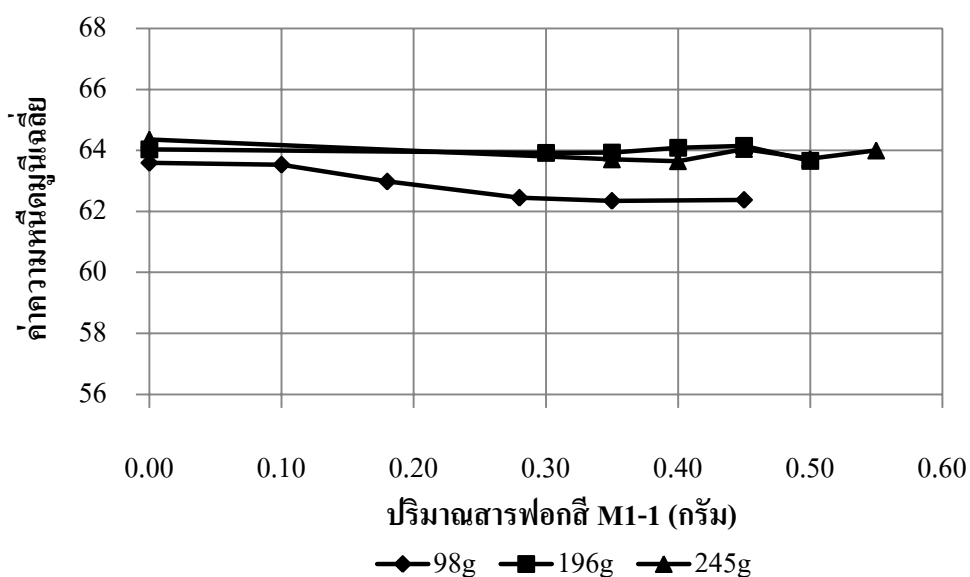
สารฟอกสี M1-1 คือ สารละลายของ 4-Methylthiophenol ในตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) ในอัตราส่วน 1:9 โดยน้ำหนัก ในขณะที่สารฟอกสี M1-2 และ M1-3 คือ สารละลายของ 4-Methylthiophenol ในตัวทำละลายอินทรีย์ในอัตราส่วน 1:12 และ 1:15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และจากภาพประกอบที่ 4-9 พบว่า ความเข้มข้นของสารฟอกสีส่งผลต่อประสิทธิภาพในการฟอกสี โดยเมื่อความเข้มข้นของสารฟอกสีลดลงส่งผลให้ต้องใช้ปริมาณสารฟอกสีเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้ยางเครพขาวที่มีค่าสีตามมาตรฐาน STR ซึ่งที่ปริมาณมากกว่า 0.18 0.23 และ 0.28 กรัม ของสารฟอกสี M1-1 M1-2 และ M1-3 ตามลำดับ ส่งผลให้ค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวมีค่าน้อยกว่าค่า 3 และแม้ว่าค่าความหนืดมูนิเฉลี่ยของยางแผ่นในทุกกรณีจะมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่พบว่าสาร M1-1 ส่งผลมากที่สุดต่อค่าความหนืดดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-10 ทั้งนี้ เนื่องจากมีปริมาณของสารเมอร์แคปแทนมากที่สุด



ภาพประกอบที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของค่าสีเทียบกับค่าสีเริ่มต้นและปริมาณสารฟอกสี M1-1 สำหรับการทดลองที่ปริมาณเนื้อยางแห้ง 98 196 และ 245 กรัม

ภาพประกอบที่ 4-11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของค่าสีเทียบกับค่าสีเริ่มต้นและปริมาณสารฟอกสี M1-1 สำหรับการทดลองที่ปริมาณเนื้อยางแห้ง 98 196 และ 245 กรัม โดยสมการทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงดังตารางที่ 4-5 โดยเมื่อทดลองแทนค่าปริมาณสารฟอกสี M1-1 (x) เท่ากับ 0.40 ลงในสมการพบว่า ที่ปริมาณเนื้อยางแห้ง 98 กรัม การลดลงของค่าสีเทียบกับค่าสีเริ่มต้น (y) มีค่าเท่ากับ -1.806 ในขณะที่ที่ปริมาณเนื้อยางแห้ง 196 และ 245 กรัมการลดลงของ

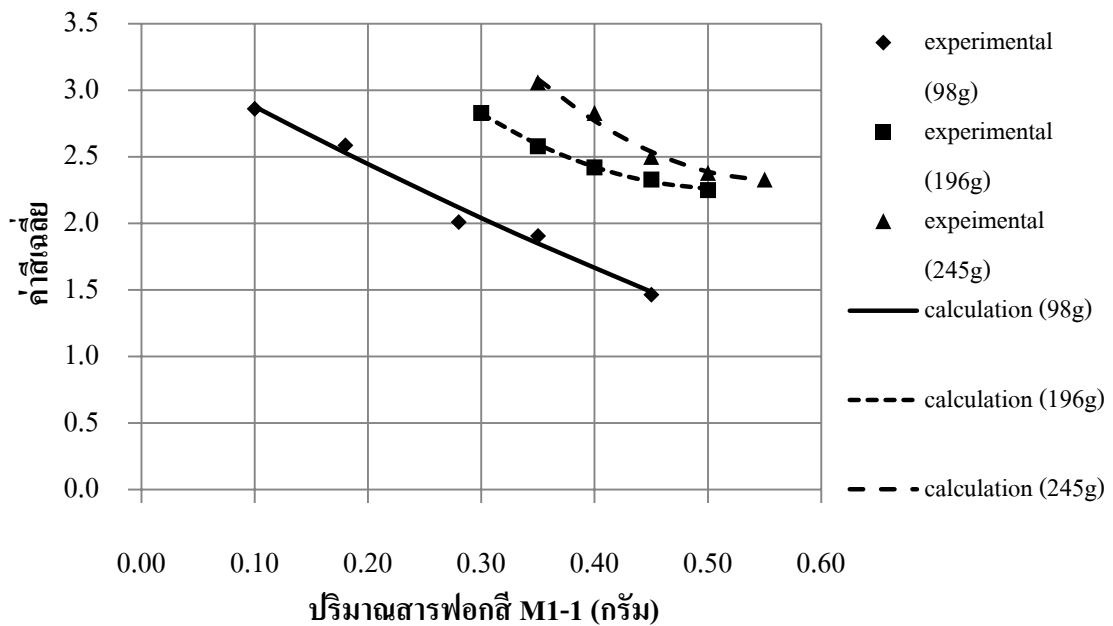
ค่าสีเทียบกับค่าสีเริ่มต้น (y) มีค่าเท่ากับ -0.826 และ -0.449 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ที่ปริมาณสารฟอกสี M1-1 เท่ากับ 0.40 กรัม การลดลงของค่าสีเทียบกับค่าสีเริ่มต้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของเนื้อย่างแห้ง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือที่ปริมาณเนื้อย่างแห้งเพิ่มขึ้นค่าสีเฉลี่ยของยางแผ่นมีแนวโน้มคงที่แม้ปริมาณสารฟอกสีจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของแคโรทีนในน้ำยางมีเท่าเดิมแม้ว่าปริมาณเนื้อย่างแห้งจะเพิ่มขึ้นทำให้ค่าสีเริ่มคงที่ อย่างไรก็ตามกลับส่งผลต่อค่าความหนืดมูนี้เนื่องจากปริมาณสารฟอกที่เหลือไปทำลายพันธะโมเลกุลของยางทำให้ค่าความหนืดมูนี้ของยางแผ่นมีแนวโน้มลดลงดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-12



ภาพประกอบที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดมูนี้เฉลี่ยและและปริมาณสารฟอกสี M1-1 ต่อปริมาณเนื้อย่าง 98 196 และ 245 กรัม

ตารางที่ 4-5 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของค่าสีและปริมาณสารฟอกสี M1-1

| ปริมาณเนื้อย่างแห้ง (กรัม) | สมการ                              | X    | Y      |
|----------------------------|------------------------------------|------|--------|
| 98                         | $y = 1.3795x^2 - 4.7338x - 0.1334$ | 0.40 | -1.806 |
| 196                        | $y = 11.714x^2 - 12.191x + 2.1757$ | 0.40 | -0.826 |
| 245                        | $y = 16.286x^2 - 18.477x + 4.3354$ | 0.40 | -0.449 |



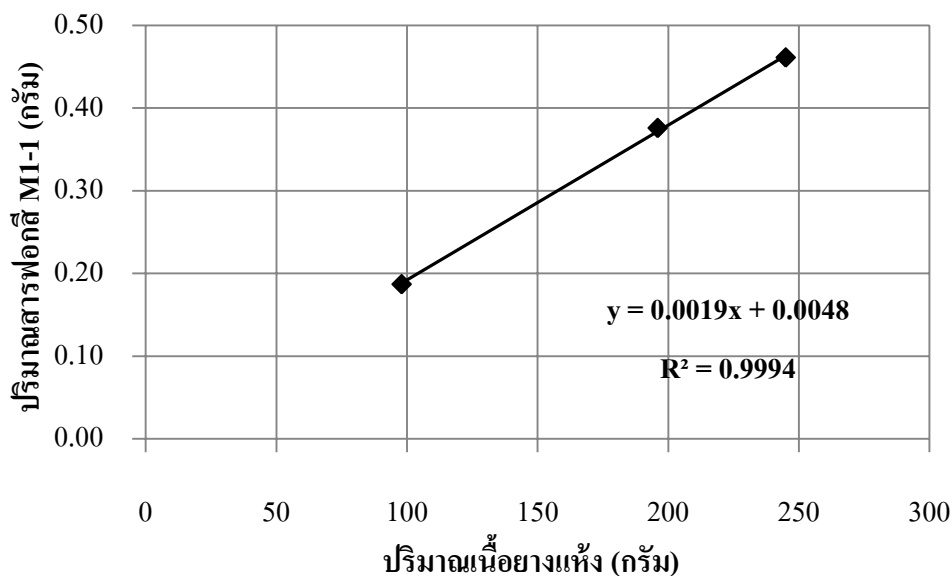
ภาพประกอบที่ 4-13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ใช้สารฟอกสี M1-1

ภาพประกอบที่ 4-13 แสดงการเปรียบเทียบค่าสีที่ทำนายจากสมการทางคณิตศาสตร์กับค่าที่ได้จากการทดลองที่ปริมาณเนื้อเยื่อต่าง ๆ จากผลการศึกษพบว่า ที่ปริมาณเนื้อเยื่อ 98 กรัม ต้องใช้ปริมาณสารฟอกสี M1-1 เท่ากับ 0.187 กรัม ในขณะที่ปริมาณเนื้อเยื่อ 196 และ 245 กรัม ต้องใช้ปริมาณสารฟอกสี M1-1 เท่ากับ 0.376 และ 0.461 กรัม ตามลำดับ ในการฟอกสีน้ำยางเพื่อที่จะทำให้ได้อย่างเครพขาวที่มีค่าสีเท่ากับ 2.5 ซึ่งผ่านมาตรฐาน STR โดยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารฟอกสี M1-1 กับปริมาณเนื้อเยื่อที่เพิ่มขึ้นแสดงดังภาพประกอบที่ 4-14 และสมการความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$y = 0.0019x + 0.0048 \quad (1)$$

โดยที่  $y$  แทน ปริมาณของสารฟอกสี M1-1 (กรัม)

โดยที่  $x$  แทน ปริมาณของเนื้อเยื่อ (กรัม)



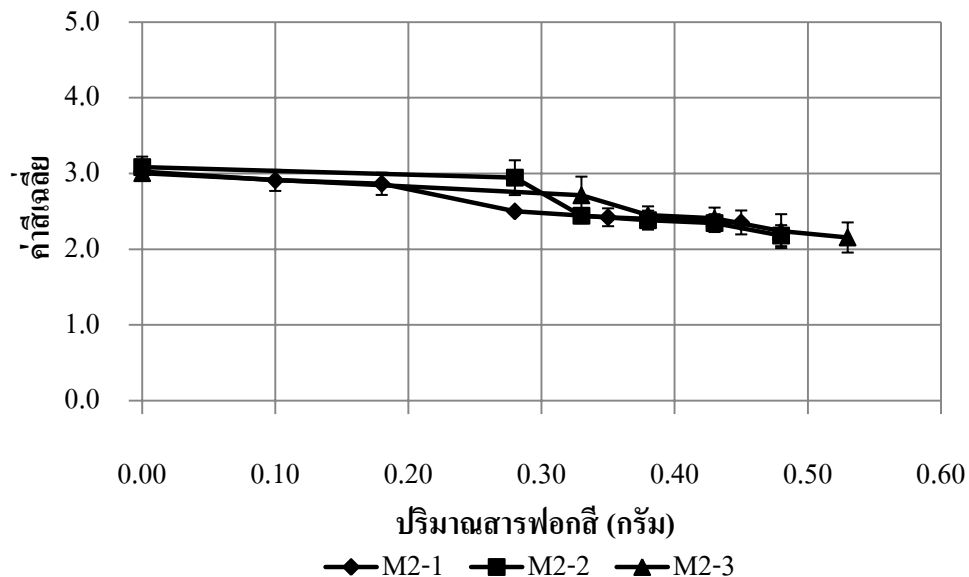
ภาพประกอบที่ 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารฟอกสี M1-1 และปริมาณเนื้อยางที่เพิ่มขึ้น

สมการที่ (1) สามารถใช้ทำนายปริมาณสารฟอกสี M-1 ที่ใช้เมื่อเพิ่มปริมาณเนื้อยางแห้ง โดยกำหนดให้ค่าสีเฉลี่ยที่ได้มีค่า 2.5 และจากผลการทดลองศึกษาการฟอกสีของยางเครพขาวด้วยสารฟอกสี M1-1 โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องที่ปริมาณเนื้อยางแห้งในการทดลองเท่ากับ 1,960 กรัม พบว่า ต้องใช้ปริมาณของสารฟอกสี M1-1 จำนวน 3.20 กรัม เพื่อให้ได้ยางเครพขาวที่มีค่าสีเฉลี่ย 2.5 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้จากสมการ (1) คือ 3.72 กรัม อย่างไรก็ตามในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ความศึกษาหาความสัมพันธ์เพิ่มเติมเพื่อให้ได้ความสมการความสัมพันธ์ที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

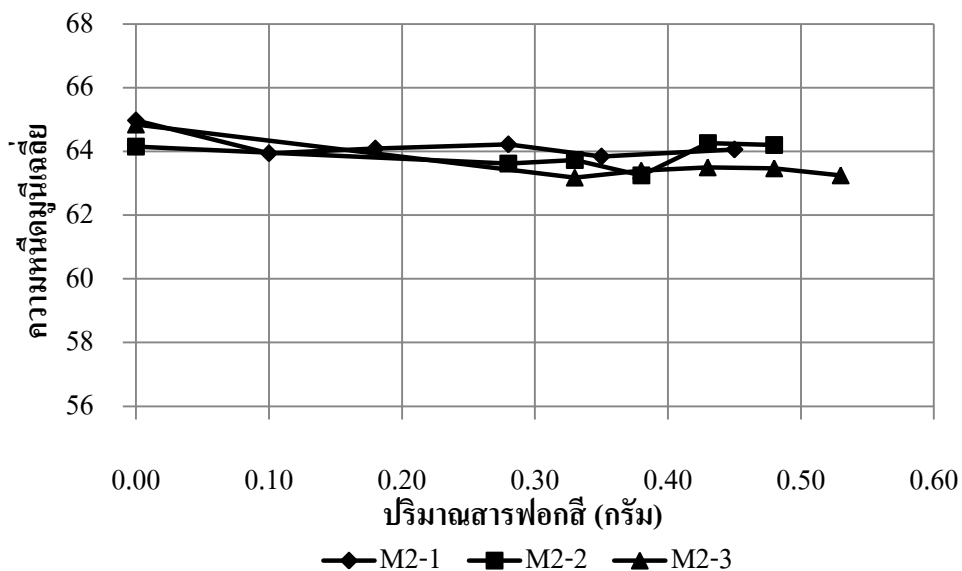
#### 4.2.4 การศึกษาผลของสารฟอกสีที่มีองค์ประกอบของ 1-Dodecanethiol (M2)

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลของการฟอกสียางเครพขาวด้วยสารละลายของสารเมอร์แคปแทนชนิด 1-Dodecanethiol (M2) ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ M2 ในตัวทำละลายแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3-2 ซึ่งภาพประกอบที่ 4-15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเฉลี่ยและปริมาณสารฟอกสี M2-1 M2-2 และ M2-3 ที่ใช้ในการฟอกสีของยางเครพขาว โดยแกน X แสดงปริมาณสารฟอกสี และแกน Y แสดงค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวที่วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Lovibond โดยวัดค่าสี 6 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง และภาพประกอบที่ 4-16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดมูนิเฉลี่ยและปริมาณสารฟอกสี M2-1 M2-2 และ M2-3 โดยแกน X แสดงปริมาณสาร

ฟอกสี และแกน Y แสดงค่าความหนืดมูนิเจ็ลลี่ของยางเครพขาวที่วัดค่าความหนืดมูนิด้วยเครื่องวัด Mooney viscometer MV2000 โดยวัดค่าความหนืดมูนิ 2 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีเจ็ลลี่และปริมาณสารฟอกสี M2-1 M2-2 และ M2-3 ต่อปริมาณเนื้อยางแห้ง 98 กรัม

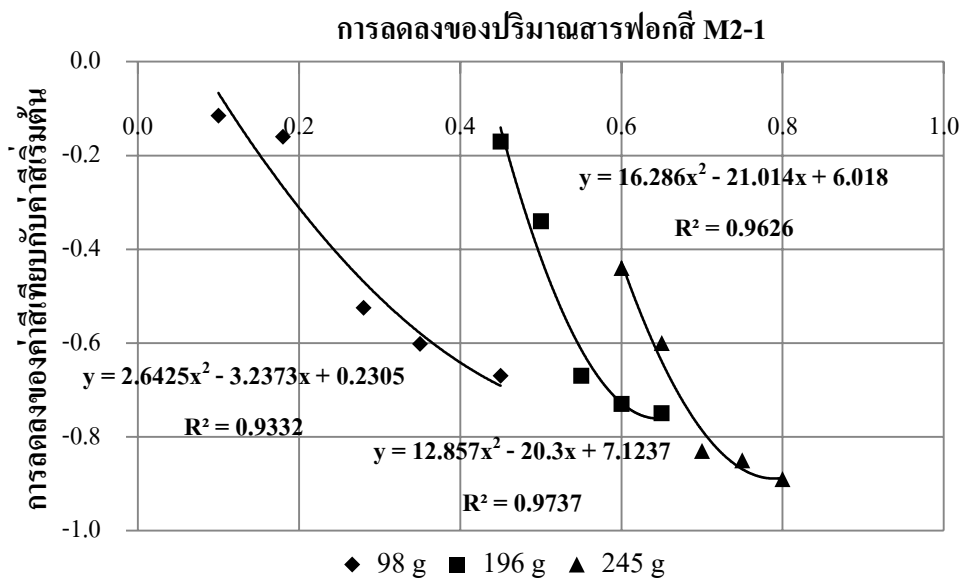


ภาพประกอบที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดมูนิเจ็ลลี่และปริมาณสารฟอกสี M2-1 M2-2 และ M2-3 ต่อปริมาณเนื้อยางแห้ง 98 กรัม

สารฟอกสี M2-1 คือ สารละลายของ 1-Dodecanethiol ในตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) ในอัตราส่วน 1:9 โดยน้ำหนัก ในขณะที่สารฟอกสี M2-2 และ M2-3 คือ สารละลายของ 1-Dodecanethiol ในตัวทำละลายอินทรีย์ในอัตราส่วน 1:12 และ 1:15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และจากภาพประกอบที่ 4-15 และ 4-16 พบว่า ความเข้มข้นของสารฟอกสีส่งผลต่อ ประสิทธิภาพในการฟอกสีเล็กน้อยทั้งค่าสีและค่าความหนืดมูนิ และพบว่าที่ปริมาณมากกว่า 0.28 กรัม ของสารฟอกสี M2-1 ปริมาณมากกว่า 0.33 กรัม ของสารฟอกสี M2-2 และ ที่ปริมาณมากกว่า 0.38 กรัม ของสารฟอกสี M2-3 ส่งผลให้ค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวมีค่าน้อยกว่าค่า 3 และค่าความ หนืดมูนิเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน STR อย่างไรก็ตามสาร M2-1 ส่งผลมากที่สุดต่อค่าสีเฉลี่ยทั้งนี้ เนื่องจากมีปริมาณของสารเมอร์แคปแทนมากที่สุด

ภาพประกอบที่ 4-17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของค่าสีเทียบกับค่าสี เริ่มต้นและปริมาณสารฟอกสี M2-1 ที่การทดลองของปริมาณเนื้อยางแห้ง 98 196 และ 245 กรัม ตารางที่ 4-6 แสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของค่าสีเทียบกับค่าสีเริ่มต้นและปริมาณ สารฟอกสี M2-1 ที่การทดลองของปริมาณเนื้อยางแห้งต่างๆ ซึ่งเมื่อทดลองแทนค่าปริมาณสารฟอก สี M2-1 (x) เท่ากับ 0.40 ลงในสมการ พบว่า ที่ปริมาณเนื้อยางแห้ง 98 กรัม ค่าสีมีแนวโน้มลดลง จากค่าเริ่มต้น โดยการลดลงของค่าสีเทียบกับค่าสีเริ่มต้น (y) มีค่าเท่ากับ -0.642 แต่ที่ปริมาณเนื้อยาง แห้งเพิ่มขึ้นเป็น 196 และ 245 กรัมการลดลงของค่าสีเทียบกับค่าสีเริ่มต้น (y) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คือ มีค่าเท่ากับ 0.218 และ 1.061 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณสารเมอร์แคปแทนที่เหลือจาก การฟอกสีไปทำลาายนุภาคฟริวิสสิ่ง ทำให้สารสีที่อยู่ภายในแยกตัวออกมาอยู่ในน้ำยางเป็นผลให้ ยางแผ่นมีสีคล้ำขึ้น และภาพประกอบที่ 4-18 แสดงการเปรียบเทียบค่าสีที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ ได้จากการทำนายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์



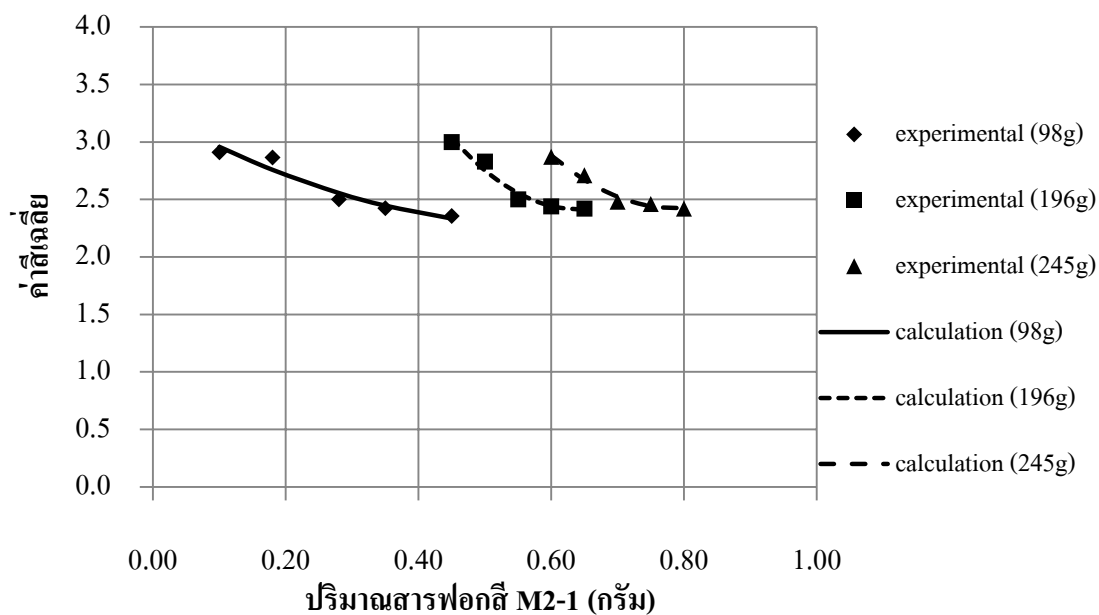


ภาพประกอบที่ 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของค่าสีเทียบกับค่าสีเริ่มต้น และปริมาณสารฟอกสี M2-1 สำหรับการทดลองที่ปริมาณเนื้อยางแห้ง 98 196 และ 245 กรัม

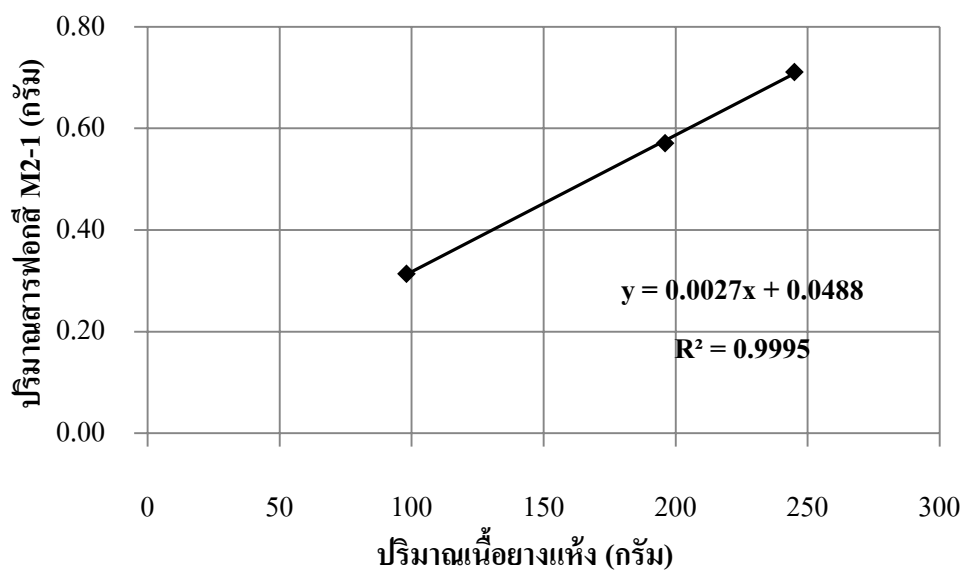
ตารางที่ 4-6 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของค่าสีและปริมาณสารฟอกสี M2-1

| ปริมาณเนื้อยางแห้ง (กรัม) | สมการ                              | X    | Y      |
|---------------------------|------------------------------------|------|--------|
| 98                        | $y = 2.6425x^2 - 3.2373x + 0.2305$ | 0.40 | -0.642 |
| 196                       | $y = 16.286x^2 - 21.014x + 6.018$  | 0.40 | 0.218  |
| 245                       | $y = 12.857x^2 - 20.3x + 7.1237$   | 0.40 | 1.061  |

จากสมการทางคณิตศาสตร์ความสัมพันธ์ที่ได้ พบว่า ที่ปริมาณเนื้อยางแห้ง 98 กรัม ต้องใช้ปริมาณสารฟอกสี M2-1 จำนวน 0.314 กรัม ในขณะที่ปริมาณเนื้อยางแห้ง 196 และ 245 กรัม ต้องใช้ปริมาณสารฟอกสีจำนวน 0.571 และ 0.711 กรัม ในการฟอกสีน้ำยางเพื่อที่จะทำให้ได้ยางเครพขาวที่มีค่าสีเท่ากับ 2.5 ซึ่งผ่านมาตรฐานของ STR



ภาพประกอบที่ 4-18 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ใช้สารฟอกสี M2-1



ภาพประกอบที่ 4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารฟอกสี M2-1 และปริมาณเนื้ออย่างแห้งที่เพิ่มขึ้น

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารฟอกสี M2-1 กับปริมาณเนื้อเยื่อที่เพิ่มขึ้นแสดงดังภาพประกอบที่ 4-19 และสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$y = 0.0027x + 0.0488 \quad (2)$$

โดยที่ y แทน ปริมาณของสารฟอกสี M2-1 (กรัม)

โดยที่ x แทน ปริมาณของเนื้อเยื่อ (กรัม)

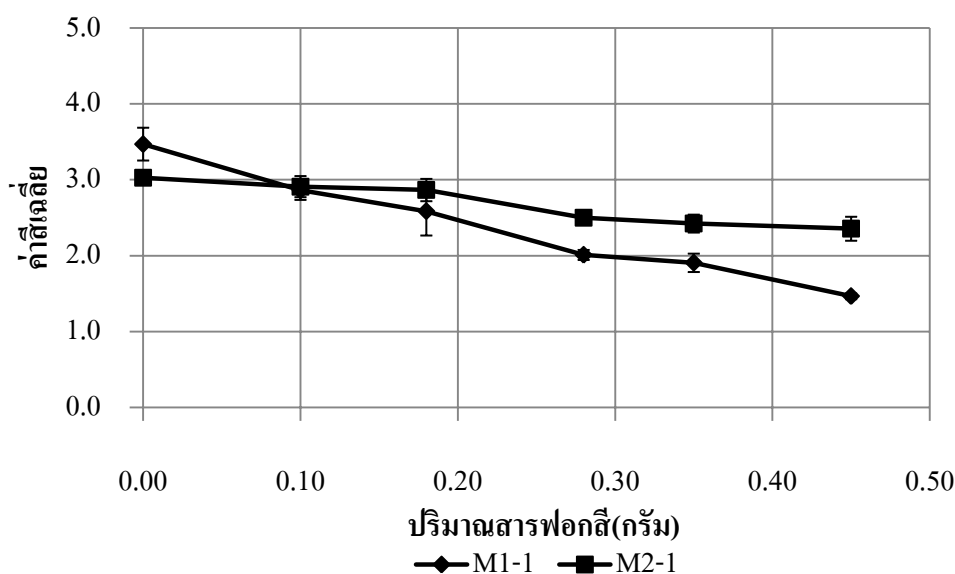
ผลการทดลองศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องที่ปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในการทดลองเท่ากับ 1,960 กรัม พบว่า ปริมาณของสารฟอกสี M2-1 ที่ทำให้ได้ยางแผ่นที่มีค่าสีเฉลี่ยประมาณ 2.5 ที่ได้จากการทดลองคือ 5.60 กรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ (2) คือ 5.34 กรัม อย่างไรก็ตาม เพื่อให้สมการสามารถทำนายค่าปริมาณของสารฟอกสีได้แม่นยำมากขึ้นในกรณีที่มีการขยายขนาดการทดลองที่ใหญ่ขึ้นควรศึกษาเพิ่มเติม

ค่าความหนืดมูนิของยางเครพขาวที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสี M1 และ M2 พบว่าค่าความหนืดมูนิของยางเครพขาวที่ฟอกสีด้วย M1 และ M2 มีค่าค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์จากยางพาราในประเทศไทยของ Sakdapipanich และคณะ (2007) พบว่า เมื่อเวลาในการเกิดยางแผ่นที่นานขึ้นจะทำให้การเกิดเจลในเนื้อยางส่งผลให้ยางแข็งขึ้น เมื่อยางแข็งขึ้นจะส่งผลกับค่าความหนืดมูนิของยางกล่าวคือ เมื่อเจลเกิดขึ้นมากทำให้ค่าความหนืดมูนิมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน

#### 4.3 การศึกษาเปรียบเทียบผลการฟอกสีของสารฟอกสี M1 และ M2

ในการศึกษาครั้งนี้ได้เปรียบเทียบผลการฟอกสีของสารฟอกสีที่ผสมขึ้น 2 ชนิด คือ สาร M1-1 และ M2-1 ในตัวทำละลายอินทรีย์อัตราส่วน 1: 9 โดยน้ำหนัก ซึ่งสารประกอบเมอร์แคปแทนในสารฟอกสี M1-1 คือ 4-Methylthiophenol ในขณะที่สารประกอบเมอร์แคปแทนในสารฟอกสี M2-1 คือ 1-Dodecanethiol ภาพประกอบที่ 4-20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเฉลี่ยและปริมาณสารฟอกสี M1-1 และ M2-1 ที่ใช้ในการฟอกสีของยางเครพขาว ปริมาณของสารฟอกสี M1-1 และ M2-1 ที่ใช้ศึกษาคือ 0.10 0.18 0.28 0.35 และ 0.45 กรัม ต่อปริมาณเนื้อเยื่อแห้ง 98 กรัม โดยแกน X แสดงปริมาณสารฟอกสี และแกน Y แสดงค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสี M1-1 และ M2-1 วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Lovibond โดยวัดค่าสี 6 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อปริมาณของสารฟอกสีเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวมีค่าลดลงซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Tillekeratne และคณะ (1987) อีกทั้งพบว่าค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสี M1-1 มีค่าต่ำกว่ายางเครพขาวที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสี M2-1 ทั้งนี้เนื่องมาจากประสิทธิภาพที่แตกต่างกันในการแลกเปลี่ยนสายโซ่ของสารประกอบเมอร์แคปแทนทั้ง 2 ชนิด



ภาพประกอบที่ 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเฉลี่ยและปริมาณสารฟอกสี 0.10 0.18 0.28 0.35 และ 0.45 กรัม ต่อปริมาณเนื้อยาง 98 กรัม

ประสิทธิภาพในการฟอกสีขึ้นกับค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่ (Chain transfer constant) ของเมอร์แคปแทนที่เป็นองค์ประกอบในสารฟอกสี โดยค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่เป็นตัวบ่งบอกถึงความว่องไวของอนุมูลซัลไฟด์ (Thyl radical) ในเมอร์แคปแทนที่จะเข้าแทนที่และทำลายพันธะคู่แบบคอนจูเกต (Conjugated bonds) ของแคโรทีน โดยค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่จะมีค่ามากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับชนิดและโครงสร้างของสารประกอบนั้น (Oadian, 2004) ในกรณีนี้ 4-Methylthiophenol เป็นสารประกอบเมอร์แคปแทนที่มีหมู่ฟีนอล (Phenol) ในโครงสร้างหรือเรียกว่าเป็นโครงสร้างแบบไทโอฟีนอล (Thiophenol) ซึ่งมีหมู่แทนที่เป็นหมู่อัลคิล ( $-CH_3$ )

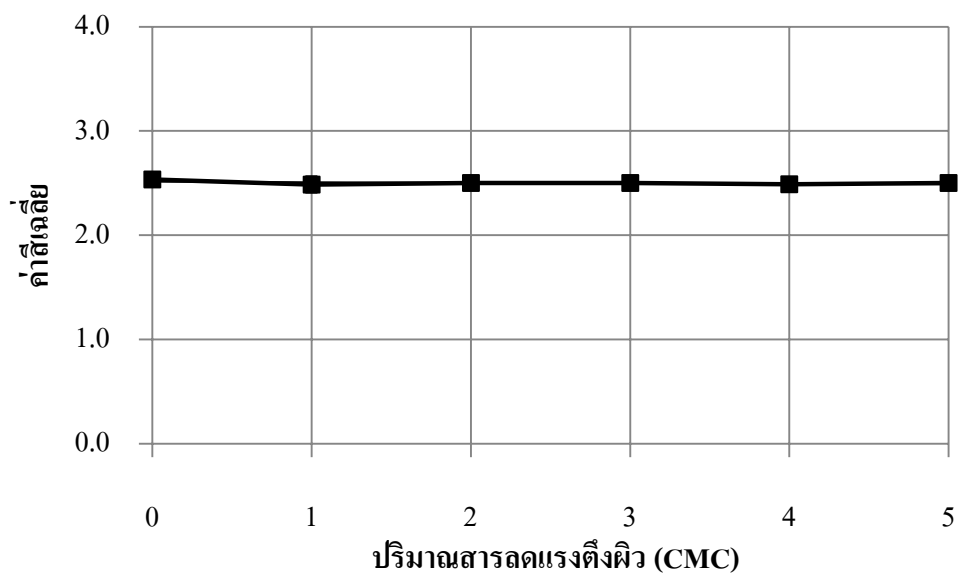
ในขณะที่ 1-Dodecanethiol มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง หรือเรียกว่าเป็นโครงสร้างแบบอะลิฟาติกไทออล (Aliphaticthiol) ซึ่งโครงสร้างแบบอะลิฟาติกไทออลจะเป็นสารให้อิเล็กตรอน (electron donor) ที่น้อยกว่าโครงสร้างแบบไทโอฟีนอล (Scudder, 1992) อีกทั้งพันธะ

-SH ของโครงสร้างแบบไซโอฟินอล มีความแข็งแรงน้อยกว่าโครงสร้างแบบอะลิฟาติกไซออล (Henri'quez, 2003 และ Valdebenito and Encinas, 2005) จึงส่งผลให้โครงสร้างแบบไซโอฟินอลมีความว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยาแทนที่พันธะคู่ของเบตาแคโรทีนมากกว่าโครงสร้างแบบอะลิฟาติกไซออล ทำให้ค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่ ของโครงสร้างแบบไซโอฟินอล มีค่ามากกว่าโครงสร้างแบบอะลิฟาติกไซออล

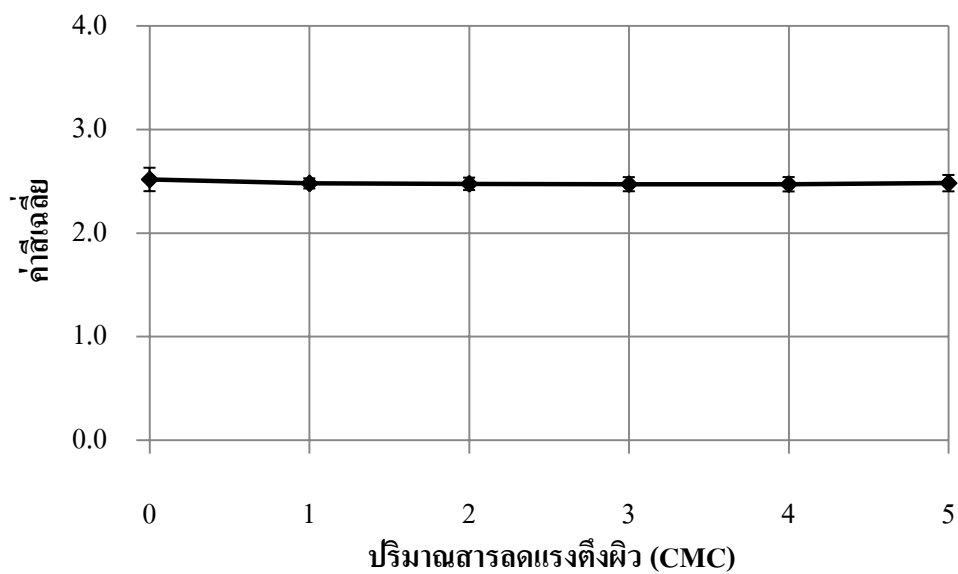
De La Fuente และ Madruga (1999), Hutchinson และคณะ (1995) และ Valdebenito และคณะ (2005) ที่ได้ศึกษาการใช้ n-dodecanethiol และ 4-Methylthiophenol เป็นสารแลกเปลี่ยนสายโซ่ในการเกิดพอลิเมอร์ของเมทิลเมทาไครเลต (Methyl methacrylate) โดยผลการศึกษพบว่า ค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่ ของ 4-Methylthiophenol มีค่าเท่ากับ 14 ซึ่งมีค่าสูงกว่า n-dodecanethiol (มีค่าเท่ากับ 0.525 ในการทดลองของ De La Fuente และ 0.678 ในการทดลองของ Hutchinson) และเนื่องจากค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่ที่สูงกว่าของ 4-Methylthiophenol จึงส่งผลให้สารฟอกสี M1-1 มีประสิทธิภาพในการฟอกสีที่ดีกว่า M2-1 ที่มี 1-Dodecanethiol เป็นองค์ประกอบ (Singthuean et al. 2011) โดยต้องใส่ สารฟอกสี M2-1 ในปริมาณที่มากกว่า สารฟอกสี M1-1 ถึง 55% โดยน้ำหนัก เพื่อที่จะทำให้ได้อย่างครบขาวที่ผ่านมาตรฐานค่าสีของ STR

#### 4.4 การศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติทางกายภาพของยางเครพขาว

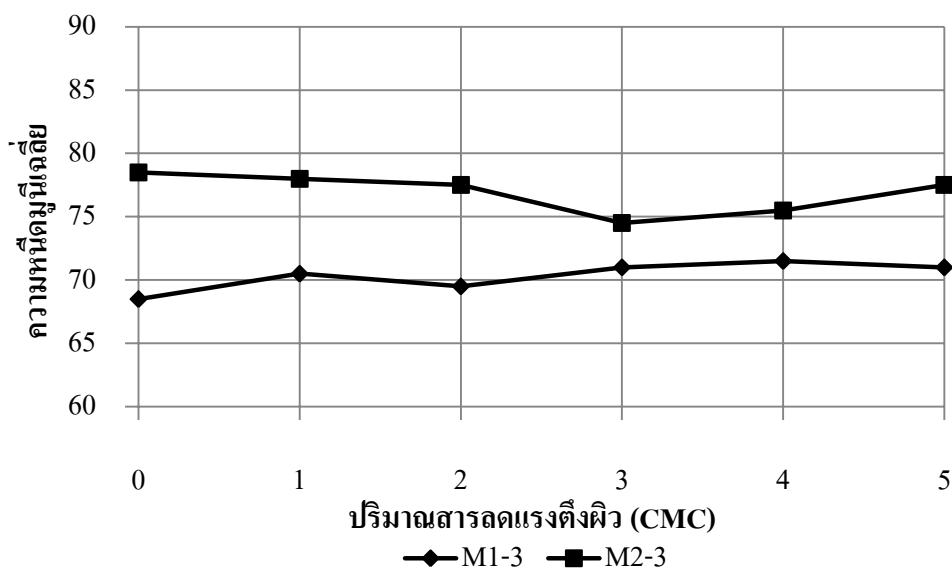
การฟอกสีน้ำยางด้วยสารประกอบเมอร์แคปแทนนั้นมีข้อเสีย คือ อาจมีการตัดทอนโมเลกุลของยางร่วมด้วย และอาจทำให้ค่าความหนืดของยางลดลง เพื่อลดปัญหาดังกล่าวในการทดลองนี้ จะศึกษาการใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุร่วมกับสารฟอกสีชนิด M1-3 และ M2-3 โดยจะศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางเครพขาวเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมกับสารฟอกสีเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการฟอกสีของสารฟอกสีทั้งสองชนิด ปริมาณของสารฟอกสี M1-3 ที่ใช้ศึกษาคือ 0.28 กรัม และปริมาณของสารฟอกสี M2-3 ที่ใช้ศึกษาคือ 0.38 กรัม โดยสารลดแรงตึงผิวที่ใช้คือ Octylphenol Ethoxylate



ภาพประกอบที่ 4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเฉลี่ยและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในสารฟอกสี M1-3 ที่ปริมาณเนื้อยาง 98 กรัม



ภาพประกอบที่ 4-22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเฉลี่ยและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในสารฟอกสี M2-3 ที่ปริมาณเนื้อยาง 98 กรัม

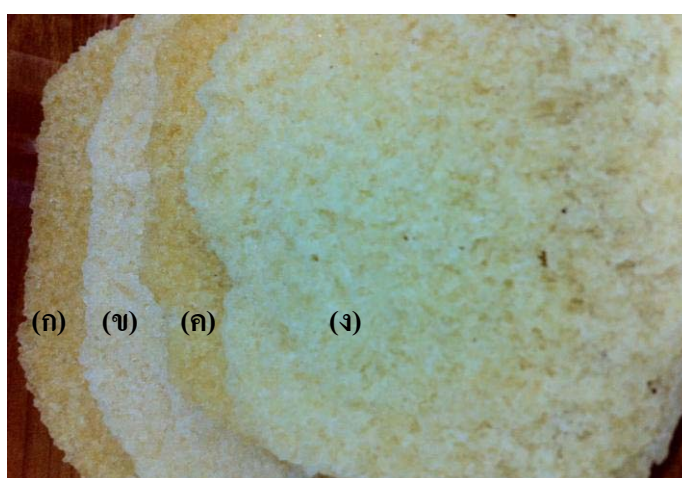


ภาพประกอบที่ 4-23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดมูลี่เฉลี่ยและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการฟอกสีของยางเครพขาวฟอกสีด้วยสารฟอกสี M1-3 และ M2-3 ที่ปริมาณเนื้อยาง 98 กรัม

ภาพประกอบที่ 4-21 และ 4-22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเฉลี่ยและปริมาณสารลดแรงตึงผิว ที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสี M1-3 และ M2-3 ที่ใช้ในการฟอกสีของยางเครพขาว ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้เท่ากับ 1 2 3 4 และ 5 CMC (Critical Micelle Concentration) ตามลำดับโดย 1 CMC ของสารลดแรงตึงผิว มีค่าเท่ากับ 120 ppm แกน X แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในกระบวนการฟอกสีของยางเครพขาวที่ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 CMC และแกน Y แสดงค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสี M1-3 และ M2-3 ที่มีและไม่มีสารลดแรงตึงผิว วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Lovibond โดยวัดค่าสี 6 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง และภาพประกอบที่ 4-23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดมูลี่ของยางเครพขาวและปริมาณสารลดแรงตึงผิว ที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสี M1-3 และ M2-3 ในปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่างๆ แกน X แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในกระบวนการฟอกสีของยางเครพขาวที่ปริมาณ 1 2 3 4 และ 5 CMC และแกน Y แสดงค่าความหนืดมูลี่เฉลี่ยของยางเครพขาวที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสี M1-3 และ M2-3 ที่มีและไม่มีสารลดแรงตึงผิว วัดค่าความหนืดมูลี่ด้วยเครื่องวัดความหนืดมูลี่ Mooney viscometer MV2000 โดยวัดค่าความหนืดมูลี่ 2 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวที่มีการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีซัลเฟอร์ในสารฟอกสี M1-3 และ M2-3 พบว่าค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวที่มีการเติมสารลดแรงตึงผิวมีค่าสีที่ไม่แตกต่างกับยางเครพขาวที่ไม่มีการเติมสารลดแรงตึงผิว อีกทั้งค่า

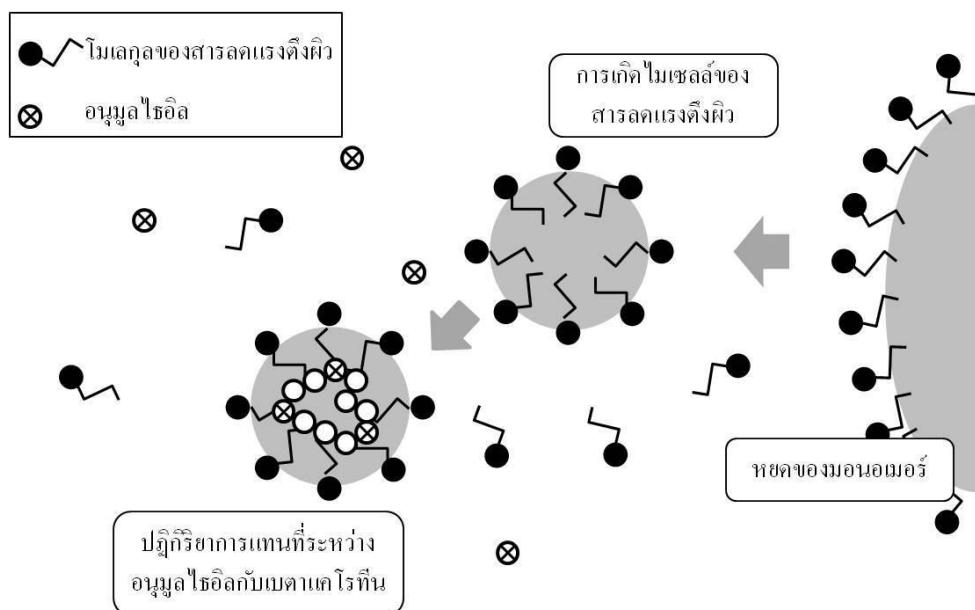
ความหนืดมูนี้ยังมีค่าที่ไม่แตกต่างกันในกรณีที่เติมสารลดแรงตึงผิวและไม่เติมสารลดแรงตึงผิว ซึ่งไม่ตรงกับสมมุติฐานในขั้นต้นที่กล่าวว่าสารลดแรงตึงผิวจะช่วยทำให้สมบัติทางกายภาพดีขึ้น เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวนั้นจะทำหน้าที่ในการสร้างไมเซลล์โดยโมเลกุลของเบตา-แคโรทีนและเมอร์แคปแทน จะเข้าไปอยู่ในไมเซลล์ และเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ในไมเซลล์ (O'dian 2004) ผลการทดลองที่ไม่สอดคล้องกับสมมุติฐานอาจจะเกิดจากการทดลองที่ใช้ปริมาณน้ำยาง 400 มิลลิลิตร (98 กรัมของเนื้อยางแห้ง) ในการทดลองซึ่งมีปริมาณของเบตา-แคโรทีนที่น้อยจึงทำให้ผลการทดลองเห็นผลได้อย่างไม่ชัดเจน



ภาพประกอบที่ 4-24 แสดงยางแผ่นหลังจากอบที่อุณหภูมิ 100 °C (ก) ไม่ฟอกสี (ข) ฟอกสีด้วยสารฟอกเชิงพาณิชย์ (ค) ฟอกสีด้วย M2-1 และ (ง) ฟอกสีด้วย M2-1 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว

จากการทดลองเพิ่มปริมาตรของน้ำยางที่ใช้ในการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการฟอกสีที่มีการใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมกับสารฟอกสีในการฟอกสีต่อคุณสมบัติทางกายภาพของยางเครพขาว โดยทดลองที่ปริมาตรน้ำยางสด 43 ลิตร ใช้สารฟอกสี M2-1 ปริมาตร 11 มิลลิลิตร และสารลดแรงตึงผิวนชนิด Octylphenol Ethoxylate ปริมาตร 8 มิลลิลิตร พบว่าหลังจากอบยางแผ่นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ยางแผ่นที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสีชนิด M2-1 เพียงอย่างเดียวจะมีสีเหลืองขึ้นอย่างชัดเจน ในขณะที่ยางแผ่นที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสีชนิด M2-1 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว และฟอกสีด้วยสารฟอกสีเดี่ยว โอบลิซที่มีส่วนผสมของสารลดแรงตึงผิว ยางแผ่นยังคงมีสีที่ขาวเหมือนเดิม แสดงให้เห็นว่าการเติมสารลดแรงตึงผิวมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการฟอกสีของสารฟอกสีให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น





ภาพประกอบที่ 4-25 แผนภาพแสดงการเกิดปฏิกิริยาแทนที่ของอนุมูลไธอิลกับเม็คสี่เบตา-แคโรทีนภายใต้สภาวะที่มีการเติมสารลดแรงตึงผิว

ภาพประกอบที่ 4-25 แสดงแผนภาพการเกิดปฏิกิริยาแทนที่ของอนุมูลไธอิลกับเม็คสี่เบตา-แคโรทีนภายใต้สภาวะที่มีการเติมสารลดแรงตึงผิว พบว่าเมื่อสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นเท่ากับหรือสูงกว่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะจับกันอยู่ในรูปของไมเซลล์ โดยส่วนที่ไม่มีขั้วของโมเลกุลจะหันเข้าภายในไมเซลล์และหันส่วนที่มีขั้วออกหน้า โดยโมเลกุลของเบตา-แคโรทีนและอนุมูลไธอิลในสารฟอกสีซึ่งเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้วจะแทรกตัวเข้าไปอยู่ในไมเซลล์ และจะเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ของอนุมูลไธอิลกับเม็คสี่เบตา-แคโรทีนภายในไมเซลล์

#### 4.5 การศึกษาทางเศรษฐศาสตร์ของสารฟอกสีในกระบวนการผลิตยางเครพขาว

ตารางที่ 4-7 ราคาของสารฟอกสีเคียวโอบลีชเปรียบเทียบกับสารฟอกสี M1-1 และ M2-1

| สารฟอกสี               | ราคาต่อ 1 ลิตร (บาท) | ปริมาณที่ใช้ (มิลลิลิตร) | ราคา (บาท) |
|------------------------|----------------------|--------------------------|------------|
| 1. สารฟอกสีเคียวโอบลีช | 1460                 | 150                      | 219        |
| 2. M1-1                | 2000                 | -                        | -          |
| 3. M2-1                | 510                  | 150                      | 77         |

ตารางที่ 4-7 แสดงราคาของสารฟอกสีเคียวโอบลีชเปรียบเทียบกับสารฟอกสี M1-1 และ M2-1 พบว่าสารฟอกสี M1-1 มีราคาต่อ 1 ลิตร สูงที่สุดตามด้วย สารฟอกสีเคียวโอบลีช และสารฟอกสี M2-1 โดยปริมาณที่เหมาะสมของสารฟอกสีเคียวโอบลีชที่ส่งผลให้ได้ยางเครพขาวที่มีคุณสมบัติทางกายภาพผ่านตามาตรฐานของ องค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ คือ 150 มิลลิลิตร ต่อปริมาณเนื้อยาง 216.384 กิโลกรัม ในขณะที่สารฟอกสี M2-1 ใช้ปริมาณ 150 มิลลิลิตร ต่อปริมาณเนื้อยาง 216.384 กิโลกรัมเช่นกัน (ผลการศึกษา ณ องค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์) และเมื่อเปรียบเทียบราคาของสารฟอกสีทั้งสองชนิดพบว่าสารฟอกสีเคียวโอบลีชมีราคาที่สูงกว่าสารฟอกสี M2-1 ถึง 3 เท่า จึงกล่าวได้ว่าสารฟอกสี M2-1 ที่ผสมขึ้นเองมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้แทนที่สารฟอกสีเคียวโอบลีชในกระบวนการผลิตยางเครพขาวที่มีราคาสูงกว่าถึง 3 เท่า

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### สรุป

5.1 การศึกษาผลของคุณสมบัติเริ่มต้นของน้ำยางสดและผลของสารฟอกสีเชิงพาณิชย์ต่อคุณสมบัติของยางเครพขาว

1. จากการศึกษาผลการใช้สารรักษาสภาพน้ำยางในการรักษาสภาพน้ำยางสดเพื่อผลิตยางเครพขาวพบว่าสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ไม่เหมาะสมในการใช้รักษาสภาพน้ำยางเพื่อผลิตยางเครพขาวเนื่องจากส่งผลให้ยางแผ่นมีค่าสีเฉลี่ยที่สูงกว่ายางแผ่นที่ผ่านการรักษาสภาพด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ที่ไม่มีการฟอกสีถึง 3 เท่า

2. จากการศึกษาผลของสารฟอกสีเชิงพาณิชย์ต่อคุณสมบัติของยางเครพขาวพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสารฟอกสีเชิงพาณิชย์จะส่งผลให้ค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวมีค่าลดลงโดยปริมาณของสารฟอกสีเชิงพาณิชย์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้ยางเครพขาวที่มีคุณสมบัติทางกายภาพผ่านมาตรฐานขององค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ คือ ปริมาณของสารฟอกสีเชิงพาณิชย์ 0.10 กรัมต่อเนื้อยางแห้ง 98 กรัม

5.2 การศึกษาผลของสารฟอกสีที่ผสมขึ้นเองในการฟอกสีของยางเครพขาว

1. จากการศึกษาการประยุกต์ใช้สารเคมีย่อยชนิด ULTRA PEP™ 96 ซึ่งเป็นสารผสมของเมอร์แคปแทนในการฟอกสีของยางเครพขาวพบว่าสารเคมีย่อยชนิด ULTRA PEP™ 96 ไม่สามารถใช้เป็นสารฟอกสีในการผลิตยางเครพขาวได้เนื่องจาก ULTRA PEP™ 96 ไม่สามารถละลายในน้ำยางเพื่อให้เกิดการฟอกสีได้อย่างทั่วถึง

2. จากการศึกษาผลของสารฟอกสีที่มีองค์ประกอบของ 2-Mercaptobenzothiazole พบว่าสารฟอกสีที่มีสารประกอบเมอร์แคปแทนชนิด 2-Mercaptobenzothiazole เป็นองค์ประกอบไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ฟอกสียางเครพขาวเนื่องจากสีเหลืองของสารฟอกสีและต้องใช้สารฟอกสีในปริมาณที่สูงจึงไม่เหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์ในการนำมาใช้ฟอกสียางเครพขาว

3. การศึกษาผลของสารฟอกสีที่มีองค์ประกอบของ 4-Methylthiophenol (M1) และ 1-Dodecanethiol (M2) พบว่าความเข้มข้นของสารฟอกสีที่ผสมขึ้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการฟอกสี โดยเมื่อความเข้มข้นของสารประกอบเมอร์แคปแทนในสารฟอกสีลดลงจะส่งผลให้

ค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวมีค่าเพิ่มขึ้นโดยปริมาณของสารฟอกสีที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้อย่างเครพขาวที่มีคุณสมบัติทางกายภาพผ่านมาตรฐานของขององค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ของสารฟอกสี M1-1 คือ ปริมาณของสารฟอกสี 0.18 กรัมต่อเนื้อยางแห้ง 98 กรัม สารฟอกสี M1-2 คือ ปริมาณของสารฟอกสี 0.23 กรัมต่อเนื้อยางแห้ง 98 กรัม และสารฟอกสี M1-3 คือ ปริมาณของสารฟอกสี 0.28 กรัมต่อเนื้อยางแห้ง 98 กรัม ในขณะที่ปริมาณของสารฟอกสีที่เหมาะสมที่สุดของสารฟอกสี M2-1 คือ 0.28 กรัมต่อเนื้อยางแห้ง 98 กรัม สารฟอกสี M2-2 คือ ปริมาณของสารฟอกสี 0.33 กรัมต่อเนื้อยางแห้ง 98 กรัม ในขณะที่ปริมาณของสารฟอกสีที่เหมาะสมที่สุดของสารฟอกสี M2-3 คือ 0.38 กรัมต่อเนื้อยางแห้ง 98 กรัม

4. จากความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างการลดลงของค่าสีเทียบกับค่าสีเริ่มต้นและปริมาณสารฟอกสี M1-1 และ M2-1 ที่ปริมาณเนื้อยางแห้ง 98 196 และ 245 กรัม พบว่า ปริมาณเนื้อยางแห้งที่เปลี่ยนไปจะส่งผลต่อปริมาณของสารฟอกสีที่ต้องใช้ในขั้นตอนการฟอกสี โดยเมื่อปริมาณของเนื้อยางเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ต้องใช้สารฟอกสีมากขึ้นในการฟอกสีน้ำยาง

5. การทำนายหาปริมาณสารฟอกสี M1-1 และ M2-1 ที่ปริมาณเนื้อยางแห้งต่างๆ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารฟอกสี M1-1 และ M2-1 กับปริมาณเนื้อยางแห้ง 98 196 และ 245 กรัม สามารถแสดงในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$y = 0.0019x + 0.0048 \quad (1)$$

โดยที่ y แทน ปริมาณของสารฟอกสี M1-1 (กรัม)

โดยที่ x แทน ปริมาณของเนื้อยาง (กรัม)

$$y = 0.0027x + 0.0488 \quad (2)$$

โดยที่ y แทน ปริมาณของสารฟอกสี M2-1 (กรัม)

โดยที่ x แทน ปริมาณของเนื้อยาง (กรัม)

6. จากการศึกษาผลของชนิดสารประกอบเมอร์แคปแทนในสารฟอกสีที่ผสมขึ้นเองพบว่าค่าสีเฉลี่ยของยางเครพขาวที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสี M1-1 มีค่าสีเฉลี่ยที่ต่ำกว่ายางเครพขาวที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสี M2-1 เนื่องมาจากประสิทธิภาพในการฟอกสีที่แตกต่างกันของสารประกอบเมอร์แคปแทนทั้ง 2 ชนิด ประสิทธิภาพในการฟอกสีจะขึ้นกับค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่ (Chain

transfer constant) ของสารประกอบเมอร์แคปแทนที่เป็นองค์ประกอบในสารฟอกสี ซึ่งโครงสร้างแบบอะลิฟาติกไฮดรอลในสารฟอกสี M2-1 จะเป็นสารให้อิเล็กตรอน (electron donor) ที่น้อยกว่า โครงสร้างแบบไฮโดรฟอบในสารฟอกสี M1-1 อีกทั้งพันธะ -SH ของ โครงสร้างแบบไฮโดรฟอบมีความแข็งแรงน้อยกว่าโครงสร้างแบบอะลิฟาติกไฮดรอล จึงส่งผลให้โครงสร้างแบบไฮโดรฟอบมีความว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยาแทนที่พันธะคู่ของเบตาแคโรทีนมากกว่าโครงสร้างแบบอะลิฟาติกไฮดรอล ทำให้ค่าคงที่ในการย้ายสายโซ่ ของโครงสร้างแบบไฮโดรฟอบ มีค่ามากกว่าโครงสร้างแบบอะลิฟาติกไฮดรอล

7. จากการศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติทางกายภาพของยางเครพขาว พบว่าการเติมสารลดแรงตึงผิวมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการฟอกสีของสารฟอกสี โดยเมื่อสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นเท่ากับหรือสูงกว่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะจับกันอยู่ในรูปของไมเซลล์ โดยโมเลกุลของเบตา-แคโรทีนและอนุโมลไทลในสารฟอกสีซึ่งเป็น โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว จะแทรกตัวเข้าไปอยู่ในไมเซลล์ และจะเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ของอนุโมลไฮดรอลกับเม็คซีเบตา-แคโรทีนภายในไมเซลล์

8. การศึกษาทางเศรษฐศาสตร์ของสารฟอกสีในกระบวนการผลิตยางเครพขาว พบว่าสารฟอกสี M2-1 ที่ผสมขึ้นเองมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้แทนที่สารฟอกสีเคโอบริชในกระบวนการผลิตยางเครพขาวที่มีราคาสูงกว่าถึง 3 เท่า

### ข้อเสนอแนะ

1. ในการผสมสารฟอกสีอาจมีการเติมสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) เพื่อช่วยให้อนุโมลไฮดรอลจากสารประกอบเมอร์แคปแทนเข้าแทนที่และทำลายพันธะคู่แบบคอนจูเกตของแคโรทีนได้รวดเร็วขึ้น และสามารถลดการใช้ปริมาณของสารฟอกสีขั้นตอนการฟอกสีลงได้

2. ควรมีการทดลองนำสารฟอกสีที่ผสมขึ้นเองทั้ง 2 ชนิด คือ M1-1 ไปใช้ในกระบวนการผลิตยางเครพขาวขององค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เพื่อเป็นการยืนยันถึงประสิทธิภาพของสารฟอกสีทั้งสองชนิดที่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตยางเครพขาวได้จริงในระดับอุตสาหกรรม

3. เพื่อให้สมการที่ใช้ทำนายปริมาณของสารฟอกสีสามารถใช้ในการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ควรมีการเพิ่มปริมาณของเนื้อยางที่ใช้ในการทดลองฟอกสีน้ำยางเพื่อปรับสมการให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

4. สามารถปรับปรุงเครื่องกวนผสมแบบกึ่งต่อเนื่องในการผลิตยางเครพขาวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องกวนผสมแบบกึ่งต่อเนื่องมากขึ้น โดยอาจมีการติดตั้งปั๊มในการนำสารเคมีเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ และอาจมีการขยายขนาดของถังปฏิกรณ์เพื่อศึกษาการทำงานในระดับอุตสาหกรรม

## บรรณานุกรม

- พิสิษฐ์ จินदानคร. หัวหน้างานผลิต องค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สัมภาษณ์ (23 ธันวาคม 2552).
- รัฐนันท์ สิงห์เดือน พรศิริ แก้วประดิษฐ์ และ สุกฤทธิรา รัตน์วิไล. 2553. “ผลของสารเคมีรักษาสภาพน้ำยางในการผลิตยางเครพขาว”, *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8*, 22-23 เมษายน 2553. (นำเสนอแบบโปสเตอร์)
- วารสารณ์ ขจรไชยกูล. 2524. *การผลิตยางธรรมชาติ*. เอกสารทางวิชาการเลขที่ 92 ศูนย์วิจัยยาง จังหวัดสงขลา.
- วารสารณ์ ขจรไชยกูล. 2525. *น้ำยาง*. เอกสารทางวิชาการเลขที่ 109 ศูนย์วิจัยยาง จังหวัดสงขลา.
- วารสารณ์ ขจรไชยกูล. 2549. *ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน*. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา. 2544. *จลนพลศาสตร์และการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมี*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. ข้อมูลวิชาการยางพารา 2553. <http://www.rubberthai.com> (สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2554).
- สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. อุตสาหกรรมแปรรูปยาง. <http://www.rubberthai.com> (สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2552).
- สุธรรม สุขมณี. 2548. การออกแบบปฏิกรณ์เคมี. *ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์*. สงขลา.
- องค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2552
- Ahmad, H. and Tauer, K. 2003. Effects of chain transfer agent on the radical polymerization of styrene in non-aqueous dispersion. *Colloid Polymer Science* 281: 686-689
- Blackley, D.C. 1997. *Polymer Latices Science and Technology Second Edition Volume 2*. London: Chapman & Hall.
- Brooks, W. B. 1997. Why Are Polymerization Reactors Special. *Ind. Eng. Chem. Res* 36:1158-1162.
- Danjo, H. 2004. Bleaching formulation, US patent number 6,797,196 September 28.

- Fuente, J.L.D.L. and Madruga, E.L. 2000. Homopolymerization of Methyl Methacrylate and Styrene: Determination of the Chain-Transfer Constant from the Mayo Equation and the Number Distribution for n-Dodecanethiol. *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry* 38: 170–178.
- Henri'quez, C. B., Lissi, E.A. and Encinas, M.V. 2003. Thiols as chain transfer agents in free radical polymerization in aqueous solution. *Polymer* 44: 5559–5561.
- Hills, C. B. 1989. Extraction of anti-mutagenic pigments from algae and vegetables, US patent number 4,851,339 July 25.
- Hutchinson, R. A., Paquet, Jr., D. A. and McMinn, J. H. 1995. The Determination of Free-Radical Chain-Transfer Rate Coefficients by Pulsed-Laser Polymerization. *Macromolecule* 28: 5655-5663
- Jaeger, H. K. 1966. Beta-Carotene process, US patent number 3,268,606 August 23.
- Kaplan, E. and Pinto, F. G. 1978. Peptizing agent for natural rubber and synthetic butadiene-styrene rubber, US patent number 4,129,538 December 12.
- Lowry, V. 2002. Semi-batch emulsion process for making diene rubber latex, rubber latex made thereby, and graft copolymer made therefrom, US patent number 6,384,129 May 7.
- Madison, S. A. and Lam, P. C. 1996. Polymeric bleach precursors and methods of bleaching substrates, US patent number 5,560,749 October 1.
- McCabe, W. L., Smith, J. C. and Harriott, P. 2005. *Unit Operation of Chemical Engineering*. Singapore: McGraw-Hill Education
- Odian, J. 2004. *Principles of polymerization, 4<sup>th</sup> edition*. New York: Wiley – Interscience, John Wiley & Sons, inc.
- Singthuean, R., Kaewpradit, P. and Ratanawilai, S., 2010. A preliminary investigation of using blended bleaching mixtures in pale crepe rubber manufacturing. *Proceeding of the 17<sup>th</sup> Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE 2010)*, November 22 – 23, Bangkok, Thailand.
- Singthuean, R., Ratanawilai, S. and Kaewpradit, P., 2011. EFFECT OF BLEACHING MIXTURES ON PROPERTIES OF PALE CREPE. *Proceeding of the 5<sup>th</sup> PSU-UNS*



*International Conference on Engineering and Technology (ICET-2011)*, May 2 – 3, Phuket, Thailand.

- Rose, P. D. 1994. Solvent extraction of beta-carotene, European patent application number 19940300849 February 4.
- SaarlandUniversity. Semi-BatchReactor. <http://www.unisaarland.de> (accessed 15 January 2010).
- Sakdapipanich, J. T. 2007. Structural Characterization of Natural Rubber Based on Recent Evidence from Selective Enzymatic Treatments. *Journal of bioscience and bioengineering* 103(4): 287-292.
- School of Chemistry, University of Bristol. Beta-Carotene Structure. <http://www.chm.bris.ac.uk/motm/carotene> (accessed 5 January 2010).
- Scudder, P. H. 1992. *Electron flow in organic chemistry*. New York: John Wiley & Sons, inc.
- Smith, M. B. and March, J. 2010. *March's advanced organic chemistry: reactions, mechanisms, and structure*. New York: Wiley – Interscience, John Wiley & Sons, inc.
- Thai Hua Rubber Public Company Limited, Standard Thai Rubber. <http://www.thaihua.com/v4/en/factory/standard-thai-rubber.php> (accessed 15 May 2011).
- Thompson, K. M. and Thornthwaite, D. W. 2002. Multiple Component Bleaching Composition, US patent number 6,391,840 May 21.
- Tillekeratne, L.M.K., Tillekeratne, L.M.V and Vimalasiri, A.D.T. 1987. A Study of the Mechanism of Action of Aromatic Thiols on Carotenoid Pigments. *Polymer Degradation and Stability* 19(3):213-219.
- Valdebenito, A. and Encinas, M.V. 2005. Thiophenols as chain transfer agents in the polymerization of vinyl monomers. *Polymer* 46: 10658–10662.
- Wititsuwannakul, R., Rukseree, K., Kanokwiroon K. and Wititsuwannakul, D. 2008. A Rubber Particle Protein Specific for *Hevea* Latex Lectin Binding Involved in Latex Coagulation. *Phytochemistry* 60:1111-1118.
- Young, R.J. and Lovell, P.A. 1991. *Introduction to Polymer Second Edition Volume 2*. London: Chapman & Hall.
- Zajic, J. E. 1960. Process for preparing Beta-Carotene, US patent number 2,959,522 August 11.

## ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

### วิธีและสภาวะที่ใช้วิเคราะห์

#### 1. ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสีของยางเครพขาวด้วยเครื่องวัดสี Lovibond (British Standard 1672)

1. ตัดตัวอย่างแผ่นยางเครพขาวที่มีความหนา  $1 \pm 0.2$  มิลลิเมตร เป็นรูปทรงกลมด้วยเครื่องตัดตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ ก-1 เครื่องตัดแผ่นยางตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ ก-2 แผ่นยางตัวอย่างที่ผ่านการตัดด้วยเครื่องตัดตัวอย่าง

2. นำตัวอย่างยางเครพขาวที่ตัดเป็นทรงกลม ใส่ในที่ใส่แผ่นยางตัวอย่าง (Holder) พร้อมทั้งใส่ห่วงเหล็กเพื่อจับตัวอย่างไม่ให้เคลื่อนที่ ดังภาพประกอบที่ ก-3 และ ก-4



ภาพประกอบที่ ก-3 ที่ใส่แผ่นยางตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ ก-4 แผ่นยางตัวอย่างที่ใส่ในที่ใส่แผ่นยางตัวอย่าง

3. นำที่ใส่แผ่นยางตัวอย่างที่บรรจุตัวอย่างยางครพขาววางบนเครื่องวัดสี Lovibond ทางด้านขวาและวางแม่สีทางด้านซ้ายดังภาพประกอบที่ ก-6 โดยแม่สีที่ใช้ในการเทียบสี มีสองชนิดคือ ชนิด 4/19A จะครอบคลุมค่าสีในช่วง: 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5.0 ชนิด 4/19B จะครอบคลุมค่าสีในช่วง: 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14 และ 16

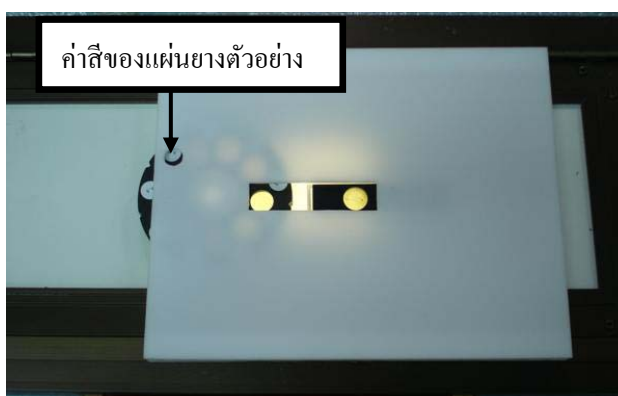


ภาพประกอบที่ ก-5 เครื่องวัดสียาง Lovibond



ภาพประกอบที่ ก-6 แสดงการวางแม่สีและที่ใส่ตัวอย่างบนเครื่อง Lovibond

4. ปิดฝาด้านบนและเปิดไฟเครื่องวัดสี Lovibond ทำการทดสอบสีของยางแผ่น โดยเปรียบเทียบสีของแม่สีให้ตรงกับตัวอย่างยางเครพขาว จากนั้นจึงอ่านค่าสีที่ได้และบันทึกผลการทดลอง



ภาพประกอบที่ ก-7 การอ่านค่าสีของแผ่นยางตัวอย่างด้วยเครื่องวัดสี Lovibond

## 2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความหนืดมูนีของยางเครพขาวด้วยเครื่อง Mooney Viscometer MV 2000 (ASTM D1646)

### 2.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

1. รีดแผ่นยางเครพขาวเพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยเครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ควบคุมการรีดแผ่นยางเครพขาวไว้ที่ 6 ครั้ง



ภาพประกอบที่ ก-8 เครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้ง

2. ตัดแผ่นยางเครพขาวที่ผ่านการรีดด้วยเครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้งให้ได้ น้ำหนัก 12.5 กรัมต่อชิ้นยางตัวอย่างดังภาพประกอบที่ ก-9



ภาพประกอบที่ ก-9 ยางเครพขาวที่ตัดให้มีน้ำหนัก 12.5 กรัม

## 2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. เปิดปั๊มลมและเปิดวาล์วรองจนความดันเท่ากับ 10 บาร์จากนั้นจึงเปิดวาล์ว ความดันเครื่อง Mooney Viscometer MV2000 และรองจนความดันเท่ากับ 3 บาร์



ภาพประกอบที่ ก-10 ปัมลม



ภาพประกอบที่ ก-11 วาล์วปัมลม



ภาพประกอบที่ ก-12 แสดงวาล์วความดันเครื่อง Mooney Viscometer MV2000

2. เปิดเครื่อง Stabilizer    เปิดเครื่อง Mooney Viscometer    เปิดเครื่อง  
คอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์เอกสาร



ภาพประกอบที่ ก-13 เครื่องวัดความหนืด (Mooney Viscometer,MV2000)



ภาพประกอบที่ ก-14 ปุ่มเปิดเครื่อง Mooney Viscometer MV2000



ภาพประกอบที่ ก-15 เครื่อง Stabilizer





ภาพประกอบที่ ก-16 แสดงเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์เอกสาร

3. เลือก Rotor ที่ใช้งาน โดย Rotor ขนาดใหญ่เหมาะกับตัวอย่างที่มีค่าความหนืดมูนี้น้อยกว่า 200 และ Rotor ขนาดเล็กเหมาะกับตัวอย่างที่มีค่าความหนืดมูนี้นมากกว่า 200



ภาพประกอบที่ ก-17 แสดง Rotor ขนาดใหญ่และ Rotor ขนาดเล็ก

4. เปิดโปรแกรม A2000M เลือก DATA เพื่อตั้งชื่อ compound ในกรณีที่ใช้ชื่อเดิมสามารถเรียกใช้ชื่อเดิมได้โดยกดที่ Search ในกรณีที่ใช้ชื่อใหม่ให้เลือก New แล้วพิมพ์ชื่อที่ต้องการ เลือก OK
5. ไปที่ Data เลือก Test Parameter เลือก Search ชื่อที่ตั้งไว้ในข้อ 4 เลือก OK จากนั้นทำการตั้งค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดสอบ โดยตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้
  - 7.1.1. ชนิดของการทดสอบความหนืดมูนี: Scorch หรือ Viscosity
  - 7.1.2. ขนาดของ Rotor: Small หรือ Large

- 7.1.3. ชนิดของการ Preheat: Inclusive หรือ Exclusive
- 7.1.4. Preheat Time (นาที)
- 7.1.5. Test Time (นาที)
- 7.1.6. Decay Time (นาที)
- 7.1.7. อุณหภูมิในการทดสอบ ( $\nabla$ )

โดยในการทดสอบความหนืดมูนิจะใช้ค่าของตัวแปรต่างๆดังตารางที่ ก-1 ตารางที่ ก-1 ตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ความหนืดมูนิ

| ตัวแปร                         | ชนิด/ค่าที่ใช้ |
|--------------------------------|----------------|
| 1. ชนิดของการทดสอบความหนืดมูนิ | Viscosity      |
| 2. ขนาดของ Rotor               | Large          |
| 3. Preheat Time                | 1 นาที         |
| 4. Test Time                   | 4 นาที         |
| 5. Decay Time                  | 1 นาที         |
| 6. อุณหภูมิในการทดสอบ          | 100 $\nabla$   |

6. ไปที่ Test เลือก Start หน้าจอจะขึ้นว่า Please activate the test จากนั้นใส่ตัวอย่างใน platens โดยใช้แผ่นยางเครพขาวตัวอย่างน้ำหนัก 12.5 กรัม จำนวน 2 ชิ้น รองด้วยแผ่นพลาสติกพอลิเอสเตอร์ทั้งข้างบนและข้างล่างของ Platens



ภาพประกอบที่ ก-18 การใส่แผ่นยางเครพขาวตัวอย่างใน Platens

7. รอนสัญญาณ Ready ปรากฏบนเครื่อง Mooney viscosity กดปุ่ม Platen เพื่อปิดกระจกของเครื่อง Mooney viscometer หลังจากนั้นเครื่อง Mooney viscometer จะเดินเครื่อง เพื่อทดสอบค่าความหนืดของยางเครพขาวตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ ก-19 การทำงานของเครื่อง Mooney Viscometer MV2000

8. อ่านค่าความหนืดที่ได้จากกราฟและบันทึกผลการทดลอง

## ภาคผนวก ข

## การคำนวณหาปริมาณน้ำที่เติมลงในน้ำยางเพื่อปรับเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง

สมมติว่าน้ำยางจากสวนมีปริมาณ 10 ลิตร เมื่อวัดหาเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งแล้วได้ 30% ต้องการทำให้เจือจางเป็น 25% ปริมาตรของน้ำที่จะต้องเติมลงในน้ำยางเพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งเป็น 25% คำนวณได้ดังนี้

เนื้อยางแห้ง 30 เปอร์เซ็นต์ จากน้ำยาง 10 ลิตร

เนื้อยางแห้ง 25 เปอร์เซ็นต์ จากน้ำยาง เท่ากับ  $\frac{10 \times 30}{25}$  ลิตร

= 12 ลิตร

เพราะฉะนั้นต้องเติมน้ำ = 12 - 10 = 2 ลิตร

หรืออาจเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$V_W = \frac{V_F \times D_F}{D_S} - V_F$$

$V_W$  คือ ปริมาตรของน้ำที่เติมลงในน้ำยาง

$V_F$  คือ ปริมาตรของน้ำยางเดิม

$D_F$  คือ เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งเดิม

$D_S$  คือ เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งที่ต้องการ

**ภาคผนวก ก**

**คำสี่และความหนักมนุ่**

ตารางที่ ก-1 ค่าสีและความหนืดของยางเครพขาวที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสีเคียวโอบลิตซ์

| ตัวอย่าง                                    | ค่าสี |     |     |     |     |     |             |       | ความหนืดมูนิ |              |  |
|---|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|-------|--------------|--------------|--|
|   | 1     | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | เฉลี่ย      | 1     | 2            | เฉลี่ย       |  |
| 1. ไม่มีสารฟอกสี                            | 4.5   | 4   | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.42 ± 0.20 | 60.62 | 60.54        | 60.58 ± 0.06 |  |
| 2. ฟอกสีด้วยเคียวโอบลิตซ์ในปริมาณ 0.05 กรัม | 3.5   | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.50 ± 0.00 | 60.89 | 60.28        | 60.59 ± 0.43 |  |
| 3. ฟอกสีด้วยเคียวโอบลิตซ์ในปริมาณ 0.08 กรัม | 3     | 3.5 | 3   | 3.5 | 3   | 3.5 | 3.25 ± 0.27 | 60.20 | 60.65        | 60.43 ± 0.32 |  |
| 4. ฟอกสีด้วยเคียวโอบลิตซ์ในปริมาณ 0.09 กรัม | 3     | 3.5 | 3   | 3   | 3   | 3   | 3.08 ± 0.20 | 60.51 | 60.56        | 60.54 ± 0.04 |  |
| 5. ฟอกสีด้วยเคียวโอบลิตซ์ในปริมาณ 0.10 กรัม | 2.5   | 2.5 | 2.5 | 3   | 2.5 | 2.5 | 2.58 ± 0.20 | 60.60 | 60.20        | 60.40 ± 0.28 |  |
| 6. ฟอกสีด้วยเคียวโอบลิตซ์ในปริมาณ 0.15 กรัม | 2     | 2.5 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2.08 ± 0.20 | 58.86 | 59.28        | 59.07 ± 0.30 |  |

ตารางที่ ก-2 ค่าดีและความหนืดของยางเครพขาวที่ฟอกดีด้วยสารฟอกสี MI-1

| ตัวอย่าง                   | ค่าดี |      |      |      |      |      | ความหนืดมูนี่ |       |       |              |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|---------------|-------|-------|--------------|
|                            | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | เฉลี่ย        | 1     | 2     | เฉลี่ย       |
| 1. ไม่มีสารฟอกสี           | 3.33  | 3.75 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.75 | 3.47 ± 0.22   | 63.27 | 63.9  | 63.59 ± 0.45 |
| 2. ฟอกสีในปริมาณ 0.10 กรัม | 3.00  | 3.00 | 2.86 | 2.86 | 2.72 | 2.72 | 2.86 ± 0.13   | 63.65 | 63.4  | 63.53 ± 0.18 |
| 3. ฟอกสีในปริมาณ 0.18 กรัม | 2.38  | 3.00 | 2.38 | 3.00 | 2.38 | 2.38 | 2.59 ± 0.32   | 62.73 | 63.22 | 62.98 ± 0.35 |
| 4. ฟอกสีในปริมาณ 0.28 กรัม | 2.00  | 1.90 | 2.08 | 2.08 | 2.00 | 2.00 | 2.01 ± 0.07   | 62.04 | 62.86 | 62.45 ± 0.58 |
| 5. ฟอกสีในปริมาณ 0.35 กรัม | 2.08  | 1.90 | 1.74 | 1.82 | 1.90 | 2.00 | 1.91 ± 0.12   | 62.58 | 62.12 | 62.35 ± 0.33 |
| 6. ฟอกสีในปริมาณ 0.45 กรัม | 1.43  | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.43 | 1.43 | 1.47 ± 0.04   | 62.15 | 62.61 | 62.38 ± 0.33 |

ตารางที่ ก-3 ค่าดีและความหนืดของยางเครพขาวที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสี M1-1 (800 มิลลิลิตร)

| ตัวอย่าง                   | ค่าดี |      |      |      |      |      |             |       | ความหนืดมูนี่ |              |  |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|-------------|-------|---------------|--------------|--|
|                            | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | เฉลี่ย      | 1     | 2             | เฉลี่ย       |  |
| 1. ไม่มีสารฟอกสี           | 3.50  | 3.00 | 3.50 | 3.00 | 3.00 | 3.50 | 3.25 ± 0.27 | 64.24 | 63.82         | 64.03 ± 0.30 |  |
| 2. ฟอกสีในปริมาณ 0.30 กรัม | 2.50  | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 2.50 | 2.83 ± 0.26 | 63.94 | 63.89         | 63.92 ± 0.04 |  |
| 3. ฟอกสีในปริมาณ 0.35 กรัม | 2.50  | 2.50 | 2.75 | 2.50 | 2.50 | 2.75 | 2.58 ± 0.13 | 64.22 | 63.64         | 63.93 ± 0.41 |  |
| 4. ฟอกสีในปริมาณ 0.40 กรัม | 2.50  | 2.00 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.42 ± 0.20 | 64.15 | 64.02         | 64.09 ± 0.09 |  |
| 5. ฟอกสีในปริมาณ 0.45 กรัม | 2.00  | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.00 | 2.50 | 2.33 ± 0.26 | 63.75 | 64.55         | 64.15 ± 0.57 |  |
| 6. ฟอกสีในปริมาณ 0.50 กรัม | 2.00  | 2.00 | 2.00 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.25 ± 0.27 | 63.43 | 63.89         | 63.66 ± 0.33 |  |



ตารางที่ ก-4 ค่าดีและความหนืดของยางเครพขาวที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสี M1-1 (1,000 มิลลิลิตร)

| ตัวอย่าง                   | ค่าดี |      |      |      |      |      |             |       | ความหนืดมูนี่ |              |  |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|-------------|-------|---------------|--------------|--|
|                            | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | เฉลี่ย      | 1     | 2             | เฉลี่ย       |  |
| 1. ไม่มีสารฟอกสี           | 3.33  | 3.00 | 3.50 | 3.00 | 3.00 | 3.50 | 3.22 ± 0.25 | 63.79 | 64.92         | 64.36 ± 0.80 |  |
| 2. ฟอกสีในปริมาณ 0.35 กรัม | 3.00  | 3.33 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.06 ± 0.13 | 64.26 | 63.15         | 63.71 ± 0.78 |  |
| 3. ฟอกสีในปริมาณ 0.40 กรัม | 3.00  | 3.00 | 3.00 | 2.50 | 2.50 | 3.00 | 2.83 ± 0.26 | 63.26 | 64.04         | 63.65 ± 0.55 |  |
| 4. ฟอกสีในปริมาณ 0.45 กรัม | 2.50  | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 ± 0.00 | 63.76 | 64.34         | 64.05 ± 0.41 |  |
| 5. ฟอกสีในปริมาณ 0.50 กรัม | 2.50  | 2.27 | 2.50 | 2.50 | 2.00 | 2.50 | 2.38 ± 0.21 | 64.28 | 63.18         | 63.73 ± 0.78 |  |
| 6. ฟอกสีในปริมาณ 0.55 กรัม | 2.50  | 2.00 | 2.00 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.33 ± 0.26 | 64.13 | 63.86         | 64.00 ± 0.19 |  |

ตารางที่ ก-5 ค่าดีและความหนืดของยางเครพขาวที่ฟอกดีด้วยสารฟอกสี M1-2

| ตัวอย่าง                   | ค่าดี |      |      |      |      |      |             |       | ความหนืดมูนี่ |              |  |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|-------------|-------|---------------|--------------|--|
|                            | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | เฉลี่ย      | 1     | 2             | เฉลี่ย       |  |
| 1. ไม่มีสารฟอกสี           | 3.50  | 3.50 | 3.18 | 3.50 | 3.50 | 3.50 | 3.45 ± 0.13 | 64.01 | 64.87         | 64.40 ± 0.61 |  |
| 2. ฟอกสีในปริมาณ 0.18 กรัม | 3.18  | 3.50 | 3.18 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.14 ± 0.20 | 63.84 | 63.65         | 63.75 ± 0.13 |  |
| 3. ฟอกสีในปริมาณ 0.23 กรัม | 2.86  | 2.50 | 2.72 | 2.72 | 2.72 | 2.72 | 2.71 ± 0.12 | 63.65 | 64.14         | 63.90 ± 0.35 |  |
| 4. ฟอกสีในปริมาณ 0.28 กรัม | 2.50  | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 ± 0.00 | 63.33 | 63.63         | 63.48 ± 0.21 |  |
| 5. ฟอกสีในปริมาณ 0.33 กรัม | 2.38  | 2.38 | 2.38 | 2.38 | 2.38 | 2.50 | 2.40 ± 0.05 | 63.79 | 62.57         | 63.18 ± 0.86 |  |
| 6. ฟอกสีในปริมาณ 0.38 กรัม | 2.27  | 2.27 | 2.00 | 2.00 | 2.27 | 2.27 | 2.18 ± 0.14 | 64.22 | 63.12         | 63.67 ± 0.78 |  |

ตารางที่ ก-6 ค่าดีและความหนืดของยางเครพขาวที่ฟอกดีด้วยสารฟอกสี M1-3

| ตัวอย่าง                   | ค่าดี |      |      |      |      |      |             |       | ความหนืดมูนี่ |              |  |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|-------------|-------|---------------|--------------|--|
|                            | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | เฉลี่ย      | 1     | 2             | เฉลี่ย       |  |
| 1. ไม่มีสารฟอกสี           | 3.00  | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.50 | 3.50 | 3.17 ± 0.26 | 64.55 | 64.48         | 64.33 ± 0.60 |  |
| 2. ฟอกสีในปริมาณ 0.18 กรัม | 2.73  | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 3.00 | 3.00 | 2.70 ± 0.25 | 64.15 | 63.95         | 64.01 ± 0.13 |  |
| 3. ฟอกสีในปริมาณ 0.23 กรัม | 2.63  | 2.50 | 2.78 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.57 ± 0.12 | 63.58 | 63.98         | 63.96 ± 0.38 |  |
| 4. ฟอกสีในปริมาณ 0.28 กรัม | 2.50  | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.00 | 2.42 ± 0.20 | 64.15 | 63.86         | 63.92 ± 0.21 |  |
| 5. ฟอกสีในปริมาณ 0.33 กรัม | 2.50  | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.50 | 2.50 | 2.25 ± 0.27 | 64.25 | 63.82         | 63.91 ± 0.31 |  |
| 6. ฟอกสีในปริมาณ 0.38 กรัม | 2.00  | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 ± 0.00 | 64.22 | 63.55         | 63.86 ± 0.33 |  |

ตารางที่ ก-7 ค่าดีและความหนืดของยางเครพขาวที่ฟอกดีด้วยสารฟอกสี M2-1

| ตัวอย่าง                   | ค่าดี |      |      |      |      |      |             |       | ความหนืดมูนี่ |              |  |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|-------------|-------|---------------|--------------|--|
|                            | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | เฉลี่ย      | 1     | 2             | เฉลี่ย       |  |
| 1. ไม่มีสารฟอกสี           | 3.00  | 3.00 | 3.00 | 3.15 | 3.00 | 3.00 | 3.03 ± 0.06 | 64.01 | 65.93         | 64.97 ± 1.36 |  |
| 2. ฟอกสีในปริมาณ 0.10 กรัม | 2.73  | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 2.73 | 3.00 | 2.91 ± 0.14 | 64.28 | 63.59         | 63.94 ± 0.49 |  |
| 3. ฟอกสีในปริมาณ 0.18 กรัม | 3.00  | 3.00 | 3.00 | 2.73 | 2.73 | 2.73 | 2.87 ± 0.15 | 64.25 | 63.92         | 64.09 ± 0.23 |  |
| 4. ฟอกสีในปริมาณ 0.28 กรัม | 2.50  | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 ± 0.00 | 63.88 | 64.56         | 64.22 ± 0.48 |  |
| 5. ฟอกสีในปริมาณ 0.35 กรัม | 2.50  | 2.50 | 2.27 | 2.27 | 2.50 | 2.50 | 2.42 ± 0.12 | 63.28 | 64.39         | 63.84 ± 0.78 |  |
| 6. ฟอกสีในปริมาณ 0.45 กรัม | 2.50  | 2.21 | 2.50 | 2.21 | 2.21 | 2.50 | 2.36 ± 0.16 | 64.45 | 63.67         | 64.06 ± 0.55 |  |

ตารางที่ ก-8 ค่าดีและความหนืดของยางเครพขาวที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสี M2-1 (800 มิลลิลิตร)

| ตัวอย่าง                   | ค่าดี |      |      |      |      |      |             |       | ความหนืดมูนี่ |              |  |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|-------------|-------|---------------|--------------|--|
|                            | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | เฉลี่ย      | 1     | 2             | เฉลี่ย       |  |
| 1. ไม่มีสารฟอกสี           | 3.00  | 3.00 | 3.00 | 3.50 | 3.00 | 3.50 | 3.17 ± 0.26 | 66.57 | 66.35         | 66.46 ± 0.16 |  |
| 2. ฟอกสีในปริมาณ 0.45 กรัม | 3.00  | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 ± 0.00 | 67.11 | 66.25         | 66.68 ± 0.61 |  |
| 3. ฟอกสีในปริมาณ 0.50 กรัม | 3.00  | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 2.50 | 2.50 | 2.83 ± 0.26 | 65.98 | 66.49         | 66.24 ± 0.36 |  |
| 4. ฟอกสีในปริมาณ 0.55 กรัม | 2.50  | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 ± 0.00 | 66.65 | 66.42         | 66.54 ± 0.16 |  |
| 5. ฟอกสีในปริมาณ 0.60 กรัม | 2.50  | 2.50 | 2.38 | 2.50 | 2.50 | 2.27 | 2.44 ± 0.10 | 66.46 | 67.03         | 66.75 ± 0.40 |  |
| 6. ฟอกสีในปริมาณ 0.65 กรัม | 2.50  | 2.27 | 2.50 | 2.27 | 2.50 | 2.50 | 2.42 ± 0.12 | 66.81 | 66.37         | 66.59 ± 0.31 |  |

ตารางที่ ก-9 ค่าดีและความหนืดของยางเครพขาวที่ฟอกสีด้วยสารฟอกสี M2-1 (1,000 มิลลิลิตร)

| ตัวอย่าง                   | ค่าดี |      |      |      |      |      | ความหนืดมูนี่ |       |       |              |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|---------------|-------|-------|--------------|
|                            | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | เฉลี่ย        | 1     | 2     | เฉลี่ย       |
| 1. ไม่มีสารฟอกสี           | 3.50  | 3.00 | 3.33 | 3.50 | 3.50 | 3.00 | 3.31 ± 0.25   | 66.87 | 65.55 | 66.21 ± 0.93 |
| 2. ฟอกสีในปริมาณ 0.60 กรัม | 2.50  | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 2.73 | 3.00 | 2.87 ± 0.21   | 66.98 | 66.05 | 66.52 ± 0.66 |
| 3. ฟอกสีในปริมาณ 0.65 กรัม | 3.00  | 3.00 | 2.50 | 2.73 | 2.50 | 2.50 | 2.71 ± 0.25   | 65.48 | 67.10 | 66.29 ± 1.15 |
| 4. ฟอกสีในปริมาณ 0.70 กรัม | 2.50  | 2.50 | 2.38 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.48 ± 0.05   | 66.17 | 65.95 | 66.06 ± 0.16 |
| 5. ฟอกสีในปริมาณ 0.75 กรัม | 2.50  | 2.50 | 2.38 | 2.38 | 2.50 | 2.50 | 2.46 ± 0.06   | 66.27 | 66.15 | 66.21 ± 0.08 |
| 6. ฟอกสีในปริมาณ 0.80 กรัม | 2.27  | 2.27 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.42 ± 0.12   | 66.47 | 66.86 | 66.67 ± 0.28 |

ตารางที่ ก-10 ค่าสีและความหนืดของยางเครพขาวที่พอกสีด้วยสารพอกสี M2-2

| ตัวอย่าง                   | ค่าสี |      |      |      |      |      |             |       | ความหนืดมูนิ |              |  |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|-------------|-------|--------------|--------------|--|
|                            | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | เฉลี่ย      | 1     | 2            | เฉลี่ย       |  |
| 1. ไม่มีสารพอกสี           | 3.18  | 3.00 | 3.00 | 3.33 | 3.00 | 3.00 | 3.09 ± 0.14 | 63.5  | 64.79        | 64.15 ± 0.91 |  |
| 2. พอกสีในปริมาณ 0.28 กรัม | 3.18  | 3.00 | 2.50 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 2.95 ± 0.23 | 63.62 | 63.61        | 63.62 ± 0.01 |  |
| 3. พอกสีในปริมาณ 0.33 กรัม | 2.50  | 2.50 | 2.50 | 2.38 | 2.27 | 2.50 | 2.44 ± 0.10 | 64.47 | 62.99        | 63.73 ± 1.05 |  |
| 4. พอกสีในปริมาณ 0.38 กรัม | 2.27  | 2.27 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.27 | 2.39 ± 0.13 | 64.14 | 62.35        | 63.25 ± 1.27 |  |
| 5. พอกสีในปริมาณ 0.43 กรัม | 2.27  | 2.27 | 2.50 | 2.50 | 2.27 | 2.27 | 2.35 ± 0.12 | 64.18 | 64.33        | 64.26 ± 0.11 |  |
| 6. พอกสีในปริมาณ 0.48 กรัม | 2.00  | 2.27 | 2.27 | 2.27 | 2.27 | 2.00 | 2.18 ± 0.14 | 64.61 | 63.79        | 64.20 ± 0.58 |  |

ตารางที่ ก-11 ค่าดีและความหนืดของยางเครพขาวที่พอกดีด้วยสารพอกดี M2-3

| ตัวอย่าง                   | ค่าดี |      |      |      |      |      |             |       | ความหนืดมูนี่ |              |  |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|-------------|-------|---------------|--------------|--|
|                            | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | เฉลี่ย      | 1     | 2             | เฉลี่ย       |  |
| 1. ไม่มีสารพอกดี           | 2.86  | 3.00 | 3.18 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.01 ± 0.10 | 65.47 | 64.21         | 64.84 ± 0.89 |  |
| 2. พอกดีในปริมาณ 0.33 กรัม | 2.50  | 2.78 | 2.50 | 2.50 | 3.00 | 3.00 | 2.71 ± 0.25 | 63.22 | 63.13         | 63.18 ± 0.06 |  |
| 3. พอกดีในปริมาณ 0.38 กรัม | 2.50  | 2.22 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.45 ± 0.11 | 63.21 | 63.58         | 63.40 ± 0.26 |  |
| 4. พอกดีในปริมาณ 0.43 กรัม | 2.50  | 2.50 | 2.50 | 2.22 | 2.22 | 2.50 | 2.41 ± 0.14 | 63.09 | 63.9          | 63.50 ± 0.57 |  |
| 5. พอกดีในปริมาณ 0.48 กรัม | 2.22  | 2.00 | 2.00 | 2.50 | 2.22 | 2.50 | 2.24 ± 0.22 | 63.28 | 63.66         | 63.47 ± 0.27 |  |
| 6. พอกดีในปริมาณ 0.53 กรัม | 2.22  | 2.00 | 2.50 | 2.00 | 2.22 | 2.00 | 2.16 ± 0.20 | 63.41 | 63.06         | 63.25 ± 0.25 |  |



ตารางที่ ก-12 ค่าดีและความหนืดของยางเครพขาวที่พอกดีด้วยสารฟอกสี MI-3 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว

| ตัวอย่าง                     | ค่าดี |      |      |      |      |      |             |    | ความหนืดมูนี่ |              |  |
|------------------------------|-------|------|------|------|------|------|-------------|----|---------------|--------------|--|
|                              | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | เฉลี่ย      | 1  | 2             | เฉลี่ย       |  |
| 1.พอกดีในปริมาณ 0.28 กรัม    | 2.57  | 2.65 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.54 ± 0.06 | 78 | 79            | 78.50 ± 0.58 |  |
| 2.ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 1 CMC | 2.35  | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.57 | 2.50 | 2.49 ± 0.07 | 78 | 78            | 78.00 ± 0.00 |  |
| 3.ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 2 CMC | 2.50  | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 ± 0.00 | 77 | 78            | 77.50 ± 0.58 |  |
| 4.ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 3 CMC | 2.43  | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.57 | 2.50 ± 0.04 | 74 | 75            | 74.50 ± 0.58 |  |
| 5.ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 4 CMC | 2.43  | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.49 ± 0.03 | 76 | 75            | 75.50 ± 0.58 |  |
| 6.ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 5 CMC | 2.50  | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 ± 0.00 | 77 | 78            | 77.50 ± 0.58 |  |

ตารางที่ ก-13 ค่าสีและความหนืดของยางเครพขาวที่พอกสีด้วยสารฟอกสี M2-3 ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว

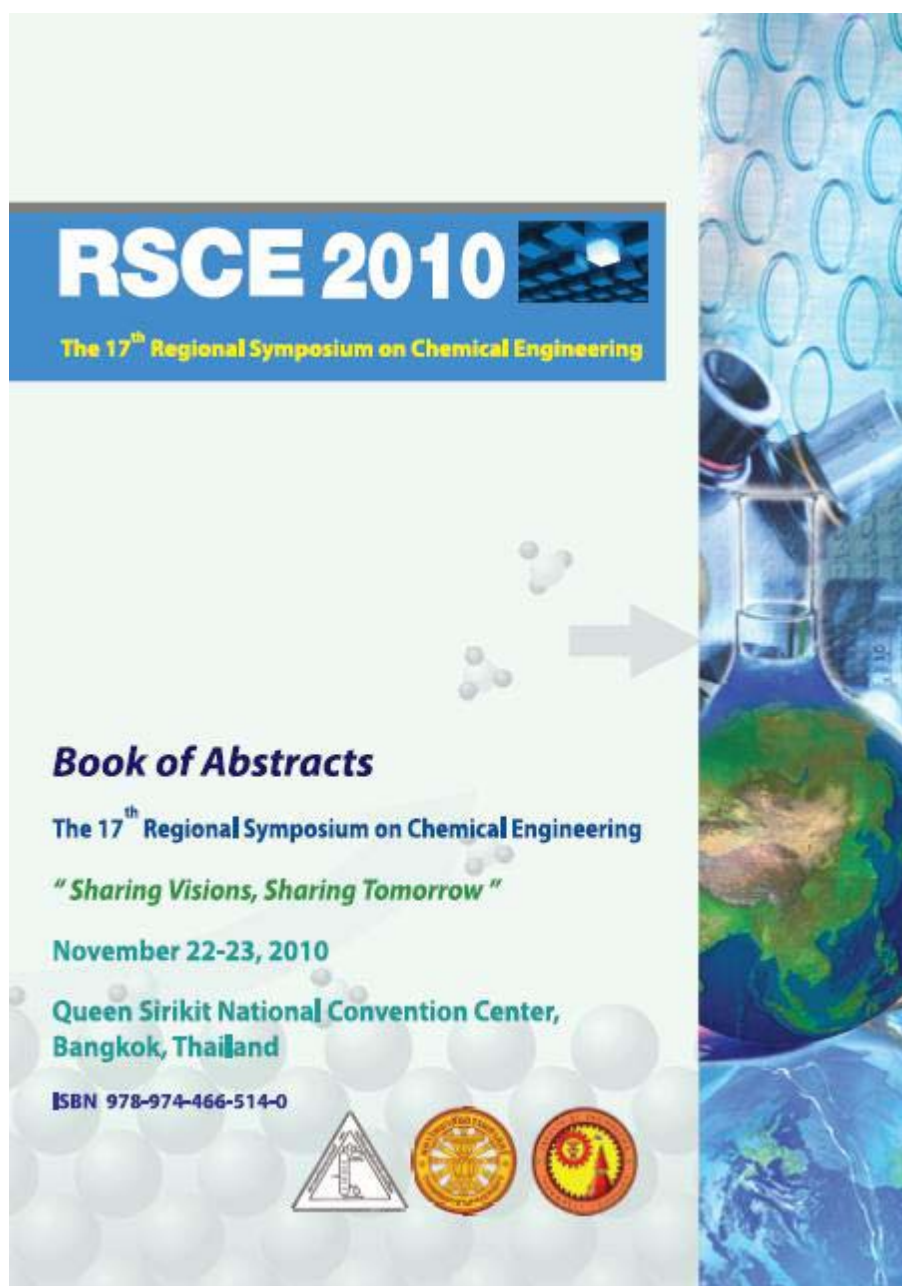
| ตัวอย่าง                     | ค่าสี |      |      |      |      |      |             |    | ความหนืดมูนิ |              |  |
|------------------------------|-------|------|------|------|------|------|-------------|----|--------------|--------------|--|
|                              | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | เฉลี่ย      | 1  | 2            | เฉลี่ย       |  |
| 1.พอกสีในปริมาณ 0.38 กรัม    | 2.38  | 2.73 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.52 ± 0.11 | 69 | 68           | 68.50 ± 0.57 |  |
| 2.ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 1 CMC | 2.50  | 2.38 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.48 ± 0.04 | 70 | 71           | 70.50 ± 0.57 |  |
| 3.ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 2 CMC | 2.50  | 2.50 | 2.35 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.48 ± 0.06 | 69 | 70           | 69.50 ± 0.57 |  |
| 4.ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 3 CMC | 2.33  | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.47 ± 0.07 | 70 | 72           | 71.00 ± 1.41 |  |
| 5.ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 4 CMC | 2.50  | 2.33 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.47 ± 0.07 | 72 | 71           | 71.50 ± 0.57 |  |
| 6.ปริมาณสารลดแรงตึงผิว 5 CMC | 2.50  | 2.56 | 2.50 | 2.33 | 2.50 | 2.50 | 2.48 ± 0.08 | 70 | 72           | 71.50 ± 1.41 |  |

ตารางที่ ก-14 ค่าสีและความหนืดของยางเครพขาวที่พอกสีด้วยสารพอกสี M1-1 และ M2-1 จากกระบวนการผลิตยางเครพขาวด้วยเครื่องความผสมแบบกึ่งต่อเนื่อง

| ตัวอย่าง                 | ค่าสี |      |      |      |      |      | ความหนืดมูนิ |       |       |       |              |
|--------------------------|-------|------|------|------|------|------|--------------|-------|-------|-------|--------------|
|                          | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | เฉลี่ย       | 1     | 2     | 3     | เฉลี่ย       |
| 1.พอกสีด้วยสารพอกสี M1-1 | 2.50  | 2.50 | 2.50 | 2.38 | 2.50 | 2.38 | 2.46 ± 0.06  | 67.15 | 66.89 | 66.95 | 67.00 ± 0.14 |
| 2.พอกสีด้วยสารพอกสี M2-1 | 2.63  | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.55 | 2.50 | 2.53 ± 0.05  | 66.68 | 67.45 | 66.79 | 66.97 ± 0.42 |

## ภาคผนวก ง

บทความที่เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ



## **A preliminary investigation of using blended bleaching mixtures in pale crepe rubber manufacturing**

Rattanan Singthuean\*<sup>1</sup>, Pornsiri Kaewpradit<sup>1</sup> and Sukritthira Ratanawilai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,  
Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112, Thailand

\*e-mail: rattanan.s@hotmail.com

### **Abstract**

This research aims to investigate effects of two blended bleaching mixtures on bleaching pale crepe rubber. Thiol is an efficient chain transfer agent, and widely used as a component in a commercial bleaching agent in rubber industry for bleaching carotenoid pigments presented in natural rubber latex. It disrupts double – bonds conjugation of the pigments in the rubber latex obtaining a color change from red to colorless. Two blended mixtures have been investigated including (1) M-1 consists of aromatic thiol and hydrosulfurized heavy naphtha, and (2) M-2 consists of aromatic thiol, nonionic surfactant and hydrosulfurized heavy naphtha. Experimental results have shown that both bleaching mixtures could provide pale crepe rubber sheet corresponding to Standard Thai Rubber (STR). The results have also been compared with ones obtained by using a commercial bleaching agent. The suitable amounts of both mixtures are 0.018 grams, where as the commercial bleaching agent is required 0.035 grams. It has been found that the amount of the blended mixtures used in a bleaching step is up to 48% less than one of the commercial agent.

**Keyword:** nonionic surfactant, aromatic thiol, chain transfer agent, bleaching process, natural rubber latex

### **Introduction**

Pale crepe rubber has been produced from latex in which the yellow coloring pigment has been removed by bleaching agent in bleaching process [1]. Carotenoid pigment, the long chain of alternating double bonds (conjugated), is responsible for the orange color of the latex. Most carotenoids absorb photons in the blue region of the visible light spectrum, and consequently appear to be yellow [2].

Pale crepe rubber is widely used for high quality products such as pharmaceutical articles, light coloured and transparent goods, adhesives, tapes, tubings and derivatives such as chlorinated rubber. In Thailand, there has been a growing interest for pale crepe rubber in the country however the pale crepe rubber manufacturing has required pale latex and bleaching agent in the manufacturing process. The only available source for bleaching agent is from Sri Lanka which is

the world's largest exporter of pale crepe rubber but nowadays, Sri Lanka has reduced production capacity due to the lack of latex.

The thiol is an efficient chain transfer agent. The weakness of the S-H bond and the high reactivity of the thiyl radicals are two important parameters of chain transferring efficiency [3],[4],[7]. The thiol is widely used as a component in a commercial bleaching agent in the rubber industry for disrupting carotenoid pigments presented in natural rubber latex. Peroxy radicals formed on the carotene molecule undergoing auto oxidation under the influence of UV light initiate radical formation on the thiol. The radicals combine with the unsaturated carotenoids resulting double-bonds conjugation disruption, and performing the colorless compound. On the other hand, thiol also disrupts the bonds of the rubber molecule resulting physical property reduction of the bleached rubber sheet [5].

It is expected that the nonionic surfactant could improve a chain transfer rate of the thiol and also help protect rubber's molecule against thiyl radical due to a micelle formation. A surfactant molecule is composed of two basic parts: a water-soluble (hydrophilic) head group and oil-soluble (hydrophobic) tail group. In aqueous solution, surfactants aggregate into structures called micelles, where the hydrophobic portions (thiol and carotenoid pigment) of the molecules have been protected [6].

This research aims to investigate effects of two blended bleaching mixtures on bleaching pale crepe rubber. Two blended mixtures have been investigated including (1) a mixture – 1 (M-1) consists of aromatic thiol and hydrosulfurized heavy naphtha, and (2) a mixture – 2 (M-2) consists of aromatic thiol, nonionic surfactant and hydrosulfurized heavy naphtha. Nevertheless, natural rubber bleaching agent will be even more predominant if Thailand can develop specialty bleaching agent for pale crepe rubber processing and will lead to a value added of natural rubber products.

### Material

Fresh latex used in this study was obtained from regularly tapped rubber trees (clone RRIM 600) at the adjoining Prince of Songkla University, Thailand. Sodium sulphite, sodium metabisulphite, formic acid and aromatic thiol used in this study were mainly obtained from Merck Chemical (Thailand). Nonionic surfactant was from Dow Chemical Company and commercial bleaching agent was from Livogen Industries (Pvt) Ltd.

### Experimental

#### Bleaching process

- 1) The fresh tapped latex is filtered by using sieves to remove other impurities.
- 2) Afterward it is immediately preserved by adding 0.1% by weight (wt.) of sodium sulphite (2%wt.) per volume (vol.) of the latex.

- 3) The preserved latex is further diluted to be 25%wt. of dry rubber content (DRC) per vol. by adding distilled water. The added volume of the distilled water can be calculated as shown in Equation (1).

$$V_W = \frac{V_F \times D_F}{D_S} - V_F \quad (1)$$

Where;  $V_W$  = volume of distilled water (ml)

$V_F$  = initial volume of latex (ml)

$D_F$  = initial dry rubber content

(%wt)

$D_S$  = final dry rubber content (%wt)

- 4) Sodium metabisulphite (2%wt.) is added 0.05% by wt. per wt. of the latex.
- 5) The latex is then bleached by using the commercial bleaching agent, M-1 and M-2.
- 6) The latex is further coagulated by adding 0.35%wt. of formic acid (2% wt.) per wt. of the latex.
- 7) A coagulated rubber sheet is dried in an oven at 40°C for 3 days to get a solid rubber sheet.

#### Analysis method

Measurement of Mooney Viscosity (ML1+4) has been carried out by using a Mooney Viscometer MV2000 according to ASTM D1646. Twenty five grams of the rubber sheet sample have been divided into two equal portions. The samples have been preheated at 100°C for 1 minute, and sheared continuously for 4 minutes. The values of the moony viscosity should be 60 – 65 mooney units corresponding to Standard Thai Rubber (STR) for the pale crepe rubber sheet.

Measurement of Color has been carried out by using Lovibond according to British Standard 1672. A dried latex film has been compared with a series of Lovibond color glass standard, holding the comparator facing a standard source of white light. Corresponding to the STR, the pale crepe rubber color should be less than 3.0 lovibond units.

## Results and Discussion

### Effect of thiol types

In this study, the effect of thiol types in the commercial and the blended bleaching agents have been investigated. Both mixtures have same components of the aromatic thiol, nonionic surfactant and hydrosulfurized heavy naptha.

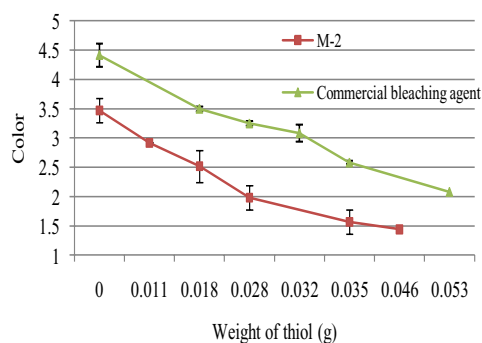


Figure 1: Color of the rubber sheet bleached by the commercial bleaching agent and M-2

Figure 1 illustrates the average color of the pale crepe rubber sheet bleaching by the commercial bleaching agent (including thiol type 1) and the M-2 (including thiol type 2) at different weights of the thiol. The x-axis represents the amount of the thiol component in the mixtures and the y-axis represents the average color of the bleached rubber sheet. Figure 2 shows the deviation of mooney viscosity of the bleached rubber sheet. The y-axis represents deviation of mooney viscosity from one of non-bleached rubber sheet (blank) in percent.

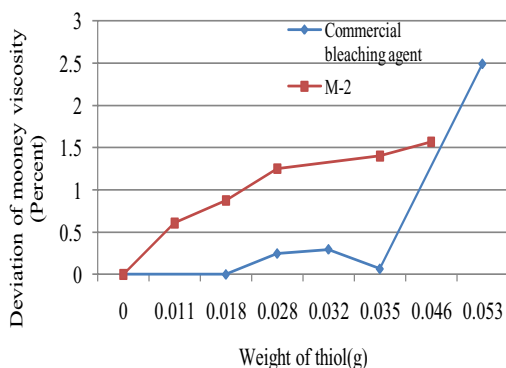


Figure 2: Deviation of Mooney viscosity (ML1+4) of the rubber sheet bleached by commercial bleaching agent and M-2

The experiments have shown that the average color and the mooney viscosity tend to decrease by increasing the amounts of the thiol component in both bleaching mixtures. The thiol molecule has been activated by UV light performing thiyl radical. The radical disrupts the double – bonds conjugation of carotene pigments in the rubber latex obtaining a color change from red to colorless. More amounts of the thiols, more colorless of the rubber sheet. However the excess thiol amount could decrease the mooney viscosity of the rubber sheet [5].

In case of using 0.035g and 0.053g of the thiol type 1 in the commercial bleaching mixture, the pale crepe rubber sheets have the Lovibond color value less than 3.0 corresponding to the STR as shown in the Figure 1. However the mooney viscosity value in case of using 0.035g of the thiol type 1 has lower deviation from its blank than one of using 0.053g as shown in the Figure 2. Then, the proper amount of the thiol type 1 in this case is 0.035 g.

The thiol amounts of 0.018g, 0.028g, 0.035g and 0.046g in case of bleaching by using the M-2 could provide the pale crepe rubber color less than 3.0. However more amounts of the thiol type 2 tend to decrease the value of the mooney viscosity. Thereby in this case, the chosen amount of the thiol in the M-2 is 0.018g. The results in Figure 1 have also shown that the color of the rubber sheet is about 1 time lower than ones bleaching by the commercial agent in all cases. This is because chain transfer constant of the thiol type 2 has higher values than one of the thiol type 1.

The chain transfer constant depends strongly on a structure, and radical displacement reaction of the thiol molecule [4]. Even both thiol types are thiophenol group, but the 4 – substituents are different. The substituted molecule of the thiol type 1 is Cl<sup>-</sup> but one of the thiol type 2 is CH<sub>3</sub><sup>-</sup> which has higher electron donor ability [3], [4], [7], [8]. This results more reduction of the rubber sheet color if the M-2 has been used for bleaching.



### Effect of nonionic surfactant

It is well known that the thiol is the efficient chain transfer agent. It disrupts the double-bonds conjugation of the carotene pigments in the rubber latex under the UV condition performing the colorless rubber sheet. However, it could disrupt the bond of the rubber molecule resulting physical property reduction of the bleached rubber sheet [5]. In this study, effect of nonionic surfactant amount on the bleaching process has been investigated. Two blended mixtures have been compared including M-1 (excluding the surfactant) and M-2 (including the surfactant). It is noted that both mixtures compose of the thiol type 2.

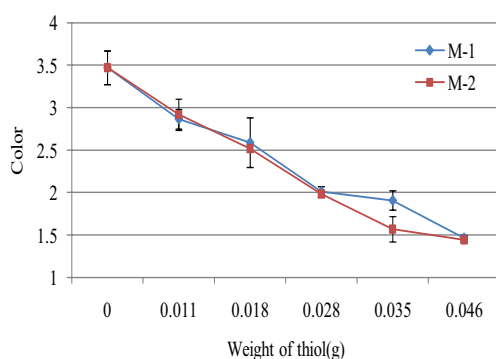


Figure3: Color of pale crepe rubber sheet bleached by M-1 and M-2

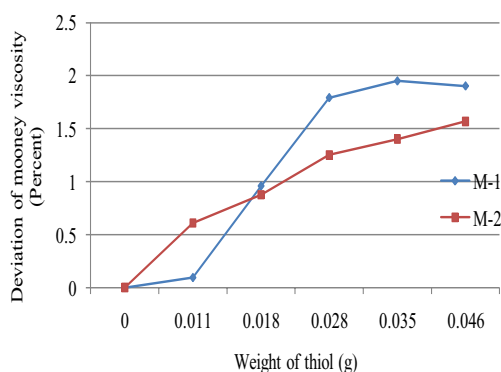


Figure 4: Deviation of Mooney viscosity (ML1+4) bleached by M-1 and M-2

Figure 3 and Figure 4 exhibits the average color and the deviation of the mooney viscosity respectively of the pale crepe rubber sheet bleaching by M-1 and M-

2 at different weights of the thiol, in which component ratios of the mixtures keep constant in all cases. The results have shown that the rubber sheet color could reach the STR in cases of adding 0.018g, 0.028g, 0.035g, and 0.046g of the thiol. The rubber color values bleaching by M-2 have slightly lower than ones bleaching by M-1 as shown in Figure 3.

In addition the deviations of the mooney viscosity from their blank are lower in cases of adding the thiol higher than 0.018g, in which the surfactant amount is higher than its critical micelle concentration (CMC). The micelles enclose the carotene and the thiol particles performing the improvement of the rubber sheet properties [6], [9]. The chosen thiol amounts of both mixtures are 0.018 grams in this case.

### **Conclusion**

The addition of bleaching agents obviously affected to the color and mooney viscosity of pale crepe rubber sheet. More adding the bleaching agents including commercial one, blended M-1 and M-2, more reducing the values of the rubber sheet color and mooney viscosity. Considering the effect of the thiol types, it has been found that the thiol type 2 which composed in the blended mixtures provides the improvement of carotene double-bond conjugation disruption. This is because its chain transfer constant is higher than one of the thiol type 1 which composed in the commercial bleaching agent.

Considering the effect of nonionic surfactant, experimental results have shown that the properties of the rubber sheet could improve by adding the surfactant higher than its CMC due to micelle formation. The chosen thiol amounts of both M-1 and M-2 are 0.018 grams, whereas the commercial bleaching agent is required 0.035 grams. It has also been found that the amount of the blended mixtures used in a bleaching step is up to 48% less than one of the commercial agent.

### **Acknowledgment**

Financial support by Discipline of Excellence (DOE) in Chemical Engineering,

Department of Chemical  
Engineering, Faculty of Engineering, Prince  
of Songkla University.

### References

- 1) วรากรณ์ ขจรไชยกุล: การผลิตยางธรรมชาติ . เอกสาร  
ทางวิชาการเลขที่ 92 ศูนย์วิจัยยาง จังหวัดสงขลา,  
(2524)
- 2) M. B. Smith and J. March: March's  
advanced organic chemistry:  
reactions, mechanisms, and  
structure. Wiley – Interscience,  
John Wiley & Sons, inc., (2010).
- 3) C. Henri'quez, C. Bueno and E.A.  
Lissi: Polymer 44 (2003) 5559–  
5561.
- 4) J. Odian: Principles of  
polymerization, 4<sup>th</sup> edition. Wiley –  
Interscience, John Wiley & Sons,  
inc., (2004)
- 5) L.M.K. Tillekeratne, L.M.V  
Tillekeratne and A.D.T. Vimalasiri:  
Polym Degrad Stab. 19 (1967) 213-  
219.
- 6) J. F. Scamehorn, D. A. Sabatini  
and J. H. Harwell: Encyclopedia of  
Supramolecular Chemistry. (2004)  
1458-1469.
- 7) H. Ahmad and K. Tauer: Colloid  
Polymer Sci. 281 (2003) 686–689.
- 8) P. H. Scudder: Electron flow in  
organic chemistry. John Wiley &  
Sons, inc., (1992)
- 9) J. R. White and S.K. De: Rubber  
technologist's handbook. Rapra  
Technology Limited, (2001).



The image is a conference cover for ICET-2011. At the top left is the logo of Prince of Songkla University (PSU), featuring a golden stupa. To its right is the logo of the Faculty of Engineering (FACEN), with the letters 'PSU' in blue and 'FACEN' in red. Further right is a faint line-art illustration of a traditional Thai boat. Below these logos are two small landscape photos: one of palm trees at sunset and another of a boat on a tropical beach. The main title 'ICET-2011' is prominently displayed in a large, stylized font. Below the title, the text 'Faculty of Engineering' and 'Prince of Songkla University' is written in a smaller font. The central text reads 'The 5<sup>th</sup> PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology (ICET-2011)'. Below this, the dates and location are given: 'May 2-3, 2011 : Merlin Beach Resort Hotel, Tritrang Beach, Phuket, Thailand'. At the bottom right, the website address 'http://www.icet.eng.psu.ac.th' is provided. The bottom of the cover features logos for NSTDA and Faculty of Science.

PSU  
FACEN

ICET-2011

Faculty of Engineering  
Prince of Songkla University

The 5<sup>th</sup> PSU-UNS International Conference on Engineering  
and Technology (ICET-2011)

May 2-3, 2011 : Merlin Beach Resort Hotel, Tritrang Beach,  
Phuket, Thailand

<http://www.icet.eng.psu.ac.th>

NSTDA | FACULTY OF SCIENCE

# EFFECT OF BLEACHING MIXTURES ON PROPERTIES OF PALE CREPE

Rattanan Singhuean\*, Sukritthira Ratanawilai and Pornsiri Kaewpradit

Department of chemical engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Thailand

\* rattanan.s@hotmail.com

**Abstract:** *This research aims to investigate effects of different bleaching mixtures on properties of pale crepe rubber sheet such as color and mooney viscosity. The study includes of different thiol types i.e. thiophenol and alkylthiol, and weight ratios of the thiol and an organic solvent. Experimental results have shown that all blends could give the color and mooney viscosity corresponding to the requirements of Standard Thai Rubber (STR). However, it has been found that the mixture which consists of the thiophenol could provide higher bleaching efficiency than the other one. This is because the thiophenol has higher chain transfer constant than the alkylthiol.*

**Key Words:** *Thiol / Bleaching /Pale crepe rubber*

## 1. INTRODUCTION

Natural rubber is required in the manufacture of many industrial and consumer products. Since it was introduced in Thailand during the early 1900s, the country has grown to become the world's largest producer and exporter of natural rubber with 6,756,000 acres under cultivation and 2.73 million tons of rubber was exported from Thailand in 2009 [Information from Rubber Research Institute of Thailand, Ministry of Agriculture and Cooperative]. Natural rubber latex can be made into various products with different processing method such as concentrated latex, rib smoked sheet, air dried sheet, block rubber and pale crepe rubber.

Pale crepe rubber is widely used for high quality products i.e. pharmaceutical articles, light coloured and transparent goods, etc. It is produce from latex of which the yellow coloring pigment such a carotenoid is transformed by applying the bleaching agent in bleaching step. Since the carotenoid, which contains sequences of conjugated double bonds, could absorb photons in the region of the visible light spectrum. It then consequently appears to be yellow [1], and accordingly gives orange color of the latex.

In a rubber industry, thiol is commonly used as one component in a commercial bleaching mixture. Since it has weak S-H bonds, consequentially give high reactivity of thiyl radicals. The thiyl radicals further disrupt the

conjugated bonds of the carotenoid pigments in natural rubber latex under UV light providing colorless compound [2].

The aim of this research is to investigate effects of different bleaching blends of the thiol and an organic solvent (Hydrosulfurized heavy naphtha) on properties such as color and mooney viscosity of pale crepe rubber. The study here includes of two types of thiols (M1 and M2) with 3 weight ratios of the thiol and the organic solvent contents (1:9,1:12 and 1:15 w/w).

## 2. MATERIALS

Fresh rubber latex used in this study has been obtained from rubber trees of clone RRIM 600, Amphur Hatyai, Songkla province, Thailand. Chemicals i.e. sodium sulphite, sodium metabisulphite, formic acid, thiophenol and alkylthiol are mainly obtained from Merck Chemical Ltd. The composition of six bleaching mixtures are shown in Table 1

Table 1. Different bleaching mixtures

| Mixture | Thiol type | Weight ratio (w/w) |         |
|---------|------------|--------------------|---------|
|         |            | Thiol              | Solvent |
| M1-1    | Thiophenol | 1                  | 9       |
| M1-2    | Thiophenol | 1                  | 12      |
| M1-3    | Thiophenol | 1                  | 15      |
| M2-1    | Alkylthiol | 1                  | 9       |
| M2-2    | Alkylthiol | 1                  | 12      |
| M2-3    | Alkylthiol | 1                  | 15      |

## 3. EXPERIMENTAL

**3.1 Bleaching process.** [Information from The Rubber Estate Organization, Ministry of Agriculture and Cooperative.]

- 1) The fresh tapped latex is filtered by using sieves to remove other impurities.

- 1) Afterward it is immediately preserved by adding 0.1% by weight of 2%wt. sodium sulphite per volume (vol.) of the latex.
- 2) The preserved latex is further diluted to be 25%wt. of dry rubber content (DRC) per wt. of the latex. by adding distilled water. The added volume of the distilled water can be calculated as shown in Equation (1).

$$V_W = \frac{V_F \times D_F}{D_S} - V_F \quad (1)$$

Where;  $V_W$  = volume of distilled water (ml)  
 $V_F$  = initial volume of latex (ml)  
 $D_F$  = initial dry rubber content (%wt)  
 $D_S$  = final dry rubber content (%wt)

- 4) The volume of latex used in each batch is 400 ml.
- 5) 2%wt. sodium metabisulphite is added 0.05% by wt. per wt. of the latex.
- 6) The latex is then bleached by the bleaching mixture (M1-1, M1-2, M1-3, M2-1, M2-2 and M2-3).
- 7) The latex is further coagulated by adding 0.35%wt. of 2%wt. formic acid per wt. of the latex.
- 8) A coagulated rubber sheet is dried in an oven at 40°C for 3 days to get a dried rubber sheet.

### 3.2 Analysis method.

Measurement of mooney viscosity (ML1+4) has been carried out by using a Mooney Viscometer MV2000 according to ASTM D1646. 25 grams of the rubber sheet sample have been divided into two equal portions. The samples have been preheated at 100°C for 1 minute, and sheared continuously for 4 minutes. The values of the mooney viscosity should be higher than 65 mooney units corresponding to STR for the pale crepe rubber sheet.

Measurement of color has been carried out by using Lovibond according to British Standard 1672. A dried latex film has been compared with a series of Lovibond color glass standard, holding the comparator facing a standard source of white light. Corresponding to the STR, the pale crepe rubber color should be less than 3.0 Lovibond units.

## 4. RESULTS AND DISCUSSION

### 4.1 Effect of thiol types on the properties of rubber.

In this study, the effect of thiol types between the thiol type 1 (M-1) and thiol type 2 (M-2) have been investigated. Both mixtures have the same weight ratios of the thiol and the organic solvent contents, 1:9 w/w.

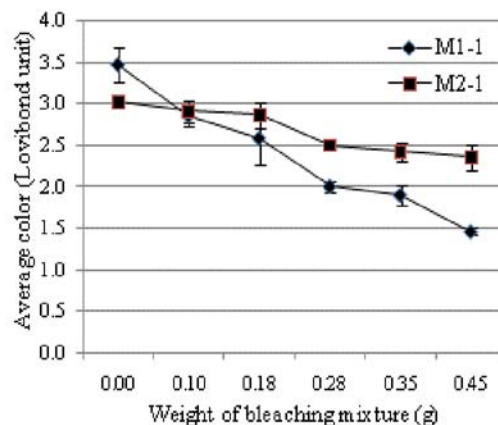


Fig.1. Color of pale crepe bleached with different thiol types, i.e. M1 and M2, in thiol:solvent (1:9, w/w).

Table 2. Mooney viscosity (ML1+4) of the rubber sheet treated with different thiol types, i.e. M1 and M2, in thiol:solvent (1:9, w/w) (mean ± standard deviation).

| Mixture | Weight of bleaching mixture (g) | Mooney viscosity (mooney unit) |
|---------|---------------------------------|--------------------------------|
| M1-1    | 0.00                            | 63.59±0.45                     |
|         | 0.10                            | 63.53±0.18                     |
|         | 0.18                            | 62.98±0.35                     |
|         | 0.28                            | 62.45±0.58                     |
|         | 0.35                            | 62.35±0.33                     |
|         | 0.45                            | 62.38±0.33                     |
| M2-1    | 0.00                            | 64.97±1.36                     |
|         | 0.10                            | 63.94±0.49                     |
|         | 0.18                            | 64.09±0.23                     |
|         | 0.28                            | 64.22±0.48                     |
|         | 0.45                            | 64.06±0.55                     |

Figure 1 illustrates the average color in Lovibond unit of the pale crepe rubber sheet bleached by M1-1 (including thiol type 1) and M2-1 (including thiol type 2) at different weights of the bleaching mixture. The x-axis represents the amount of the bleaching mixtures and the y-axis represents the average color of the bleached rubber sheet. Table 2 shows the mooney viscosity in mooney unit of the rubber sheet treated with different thiol types, i.e. M1 and M2, in thiol: solvent (1:9, w/w) at different weights of the bleaching mixture.

The experiments have shown that the average color tends to decrease by increasing the amounts of the bleaching mixtures. The thiol molecule has been activated by UV light performing thiyl radical. The radical disrupts the double – bonds conjugation of carotene pigments in the rubber latex obtaining a color change from red to colorless. More amounts of the thiols, more colorless of the rubber sheet [2].

It is shown that the pale crepe has the color value less than 3.0 corresponding to the requirements of STR by applying  $> 0.18$  g of M1-1 and  $> 0.28$  g of M2-1 and the mooney viscosity of bleached rubber sheets could reach the requirements of STR in all case. In this case the proper amounts of the bleaching mixtures are 0.18 g of M1-1 and 0.28 g of M2-1. The results in Figure 1 have also shown that the color of the rubber sheet bleached by M1-1 is about 1 time lower than ones bleached by M-2-1 because the mixture containing thiophenol type (M1) has higher bleaching efficiency than one containing alkylthiol type (M2).

The chain transfer constant depends strongly on a structure, and radical displacement reaction of the thiol molecule [4]. The thiol type of the M1 is thiophenol but the thiol type of the M2 is alkylthiol which has lower electron donor ability and higher energy of S-H bond. [3], [4], [5], [6]. This results show more reduction of the rubber sheet color if the M1 has been used for bleaching.

#### 4.2 Effect of weight ratios of thiol and solvent and weight of the mixtures on the properties of rubber.

In this case, effect of weight ratios of thiol and solvent and weight of the mixtures on the properties of rubber has been examined by using three bleaching mixture concentration, 1:9, 1:12 and 1:15 w/w. The six blended mixtures have been compared including M1-1, M1-2, M1-3, M2-1, M2-2 and M2-3.

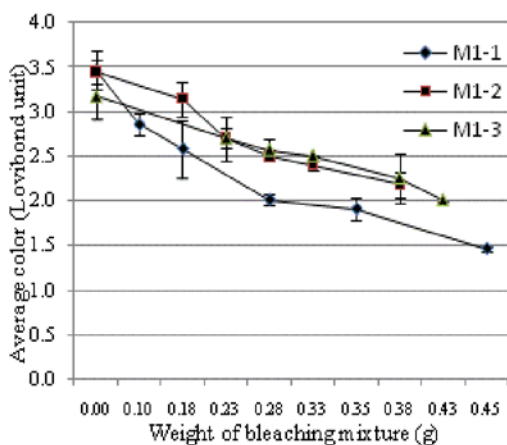


Fig.2. Color of pale crepe bleached with different weight ratios of thiophenol and solvent and different weight of the mixtures.

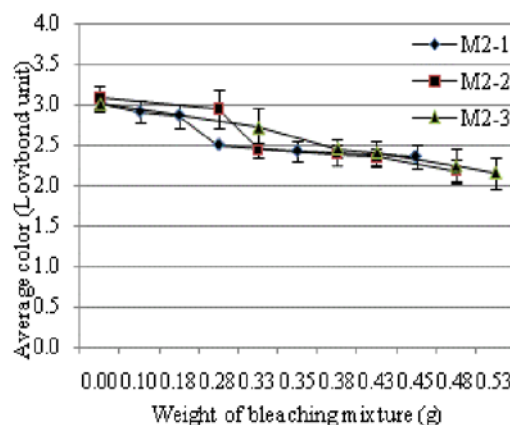


Fig.3. Color of pale crepe bleached with different weight ratios of alkylthiol and solvent and different weight of the mixtures.

Table 3. Mooney viscosity (ML1+4) of the rubber sheet treated with different weight ratios of thiol (thiophenol and alkylthiol) and solvent and different weight of the mixtures (mean  $\pm$  standard deviation).

| Mixture | Weight of bleaching mixture (g) | Mooney viscosity (mooney unit) |
|---------|---------------------------------|--------------------------------|
| M1-2    | 0.00                            | 64.40 $\pm$ 0.61               |
|         | 0.18                            | 63.75 $\pm$ 0.13               |
|         | 0.23                            | 63.90 $\pm$ 0.35               |
|         | 0.28                            | 63.48 $\pm$ 0.21               |
|         | 0.33                            | 63.18 $\pm$ 0.86               |
| M1-3    | 0.38                            | 63.67 $\pm$ 0.78               |
|         | 0.00                            | 64.33 $\pm$ 0.60               |
|         | 0.23                            | 64.01 $\pm$ 0.13               |
|         | 0.28                            | 63.96 $\pm$ 0.38               |
|         | 0.33                            | 63.92 $\pm$ 0.21               |
| M2-2    | 0.38                            | 63.91 $\pm$ 0.31               |
|         | 0.43                            | 63.86 $\pm$ 0.34               |
|         | Blank                           | 64.15 $\pm$ 0.91               |
|         | 0.28                            | 63.62 $\pm$ 0.01               |
|         | 0.33                            | 63.73 $\pm$ 1.04               |
| M2-3    | 0.38                            | 63.25 $\pm$ 1.27               |
|         | 0.43                            | 64.26 $\pm$ 0.11               |
|         | 0.48                            | 64.20 $\pm$ 0.58               |
|         | Blank                           | 64.84 $\pm$ 0.89               |
|         | 0.33                            | 63.18 $\pm$ 0.06               |
| M2-1    | 0.38                            | 63.40 $\pm$ 0.26               |
|         | 0.43                            | 63.50 $\pm$ 0.57               |
|         | 0.48                            | 63.47 $\pm$ 0.27               |
|         | 0.53                            | 63.25 $\pm$ 0.25               |

Figure 2 and figure 3 exhibit the average color in Lovibond unit of the pale crepe rubber sheet bleached by M1-1, M1-2, M1-3 (including thiol type 1) M2-1, M2-2 and M2-3 (including thiol type 2) at different weight ratios of thiol and solvent and different weights of the bleaching mixture. The x-axis represents the amount of the bleaching mixtures and the y-axis represents the average color of the bleached rubber sheet. Table 3 shows the mooney viscosity of the rubber sheet treated with different weight ratios of thiol (thiophenol and alkylthiol) and solvent and different weight of the mixtures.

The results have shown that the color of rubber sheet could reach the requirement of STR by applying > 0.23 g of M1-2, > 0.28 g of M1-3, > 0.33 g of M2-2 and > 0.38 g of M2-3 and the mooney viscosity in mooney unit of bleached rubber sheets could reach the requirements of STR in all case. In this case the proper amounts of the bleaching mixtures are 0.23 g of M1-2, 0.28 g of M1-3, 0.33 g of M2-2 and 0.38 g of M2-3.

It is shown that the color value increase with the decreasing of the weight ratios of thiol to solvent. In addition, it decreases when the weight of mixtures increase and the rubber color values bleached by M1-1 have slightly lower than ones bleached by M1-2 and M1-3 in the same way as M2-1, M2-2 and M2-3 due to the higher thiol concentration.

## 5. CONCLUSION

The addition of bleaching mixtures obviously affected to the color of pale crepe rubber sheet. More adding the bleaching mixtures, more reducing the values of the rubber sheet color.

Considering the effect of the thiol types on the properties of rubber, it has been found that the thiophenol which composed in the M1-1, M1-2 and M1-3 provided the improvement of carotene double-bond conjugation disruption. This is because the chain transfer constant of thiophenol is higher than alkylthiol which composed in the M2-1, M2-2 and M2-3. The chosen thiol amount of M1-1 is 0.18 g, whereas the M2-1 is required 0.28 g which 56% higher than M1-1.

Considering the effect of weight ratio and solvent on the properties of rubber, experimental results have shown that weight ratio of thiol obviously affected to the color of pale crepe rubber sheet. The color value tends to increase with the decrease of the weight ratios of thiophenol to solvent.

## 6. ACKNOWLEDGMENT

Financial supported by The Thailand Research Fund (TRF) RDG5350001.

## 7. REFERENCE

[1] M. B. Smith and J. March, "March's advanced organic chemistry: reactions, mechanisms, and structure", Wiley – Interscience, John Wiley & Sons, inc., 2010.

- [2] L.M.K. Tillekeratne, L.M.V Tillekeratne and A.D.T. Vimalasiri, "A Study of the Mechanism of Action of Aromatic Thiols on Carotenoid Pigments", *Polym Degrad Stab*, 1967, Vol. 19, pp. 213-219.
- [3] J. Odian, "Principles of polymerization, 4<sup>th</sup> edition", Wiley – Interscience, John Wiley & Sons, inc., 2004.
- [4] P. H. Scudder, "Electron flow in organic chemistry", John Wiley & Sons, inc., 1992.
- [5] Henri'quez, C. Bueno, E.A. Lissi and M.V. Encinas, "Thiols as chain transfer agents in free radical polymerization in aqueous solution", *Polymer*, 2003, Vol. 44, pp. 5559–5561.
- [6] A. Valdebenito and M.V. Encinas, "Thiophenols as chain transfer agents in the polymerization of vinyl monomers", *Polymer*, 2005, Vol. 46, pp. 10658–10662.

## ประวัติผู้เขียน

|   |                         |                     |
|---|-------------------------|---------------------|
| ชื่อ สกุล   | นายรัฐนันท์ สิงห์เถื่อน |                     |
| รหัสประจำตัวนักศึกษา                                | 5210120091              |                     |
| วุฒิการศึกษา  |                         |                     |
| วุฒิ  | ชื่อสถาบัน              | ปีที่สำเร็จการศึกษา |
| วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต<br>(ปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์) | มหาวิทยาลัยศิลปากร      | 2550                |

## ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

- ทุนค่าเล่าเรียน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ทุนผู้ช่วยสอน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ทุนโครงการผู้ความเป็นเลิศสาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

รัฐนันท์ สิงห์เถื่อน พรศิริ แก้วประดิษฐ์ และ สุกฤทธิรา รัตนวิไล. 2553. “ผลของสารเคมีรักษาสภาพน้ำยางในการผลิตยางเครพขาว”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8, 22-23 เมษายน 2553. (นำเสนอแบบโปสเตอร์)

Singthuean, R., Kaewpradit, P. and Ratanawilai, S., 2010. A preliminary investigation of using blended bleaching mixtures in pale crepe rubber manufacturing. Proceeding of the 17<sup>th</sup> Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE 2010), November 22 – 23, Bangkok, Thailand.

Singthuean, R., Ratanawilai, S. and Kaewpradit, P., 2011. EFFECT OF BLEACHING MIXTURES ON PROPERTIES OF PALE CREPE. Proceeding of the 5<sup>th</sup> PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology (ICET-2011), May 2 – 3, Phuket, Thailand.