

การพัฒนากระบวนการแยกเนื้อเยื่อเพื่อสกัดไขมัน
ที่ใช้ในการผลิตน้ำนมข้นจืด

Developing of a Continuous Process for Recovery of Creaming Agent
used in the Production of Concentrated Skim Latex

ชัยวุฒิ สอนแสงธรรม
CHAIWUT SAIBAEONGTHUM

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-235-046

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนากระบวนการแบบต่อเนื่องเพื่อนำกลับสารครีม
ที่ใช้ในการผลิตน้ำยางสกิมข้น

Developing of a Continuous Process for Recovery of Creaming Agent
used in the Production of Concentrated Skim Latex



T105300

ชัยวุฒิ สายแสงธรรม
CHAIWUT SAISAENGTHUM

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 105300
วัน,เดือน,ปี..... 18 พ.ย. 2552

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-220-046

**Developing of a Continuous Process for Recovery of Creaming Agent
used in the Production of Concentrated Skim Latex**

CHAIWUT SAISAENGTHUM

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2009
KMITL-2009-EN-M-220-046**

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนากระบวนการแบบต่อเนื่องเพื่อนำกลับสารครีมที่ใช้ในการผลิตน้ำยางสกิมเข้มข้น

Thesis Title Developing of a Continuous Process for Recovery of Creaming Agent used in the Production of Concentrated Skim Latex

นักศึกษา นายชัชวาทิ สายแสงธรรม

รหัสประจำตัว 50061104

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-220-046

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ประกอบ	กิจไชยา	
ดร.พรสวรรค์	อัสวแสงรัตน์	
ดร.วัลย์รัตน์	สุขสมัย	
ดร.สุรพิชญ	ลอยกุลนันท์	
รศ.ดร.ดวงกมล	ณ ระนอง	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา ๐๙.๐๐-๑๑.๐๐ น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2552

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนากระบวนการแบบต่อเนื่องเพื่อนำกลับสารครีมที่ใช้ใน การผลิตน้ำยางสกิมชั้น
นักศึกษา	นายชัยวุฒิ สายแสงธรรม
รหัสประจำตัว	50061104
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนากระบวนการนำกลับสารครีม (A702) ที่ใช้ในการผลิตน้ำยางสกิมชั้นให้สามารถดำเนินการแบบต่อเนื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการทดลองด้วยระบบแบบกะเพื่อเก็บข้อมูลเบื้องต้น จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการออกแบบระบบแบบต่อเนื่องในขั้นถัดไป การทดลองด้วยระบบแบบกะจัดทำขึ้นเพื่อประเมินอิทธิพลของอุณหภูมิ, ความเข้มข้นของสารครีม, และสารปนเปื้อนในสารละลายสารครีม (แอมโมเนียในสารละลายสารครีมในน้ำ และส่วนอื่นที่ไม่ใช่ยางในสารละลายสารครีมในน้ำชีรั้ม) ที่มีต่ออุณหภูมิการเกิดหมอกของสารครีม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการเกิดหมอกของสารครีมมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารครีมเพิ่มขึ้น โดยแอมโมเนียมีผลทำให้อุณหภูมิการเกิดหมอกของสารละลายสารครีมในน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในกรณีของสารละลายสารครีมในน้ำชีรั้มพบว่า สารละลายจะเริ่มเกิดหมอกที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าสารละลายสารครีมในน้ำมาก เป็นผลมาจากสารปนเปื้อนที่อยู่ในสารละลายสารครีมในน้ำชีรั้ม ทำให้การนำกลับสารครีมในสารละลายสารครีมในน้ำชีรั้มสามารถทำได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการนำกลับสารครีม คือ การควบคุมอุณหภูมิของสารละลายสารครีมในน้ำชีรั้มให้เท่ากับ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที โดยใช้อ่างน้ำนร้อนในการให้ความร้อน ซึ่งสภาวะดังกล่าวสามารถนำกลับสารครีมได้ร้อยละ 77 โดยน้ำหนัก โดยอาศัยข้อมูลดังกล่าวเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่องได้ถูกออกแบบขึ้นและจากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือกำหนดให้อุณหภูมิเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส และเวลาเชิงสเปสในเครื่องเท่ากับ 45 นาทีซึ่งสามารถนำกลับสารครีมได้ร้อยละ 82 โดยน้ำหนัก โดยสารครีมที่นำกลับได้สามารถนำกลับมาใช้ในการครีม หางน้ำยางใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพอย่างน้อย 5 รอบ เมื่อประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการครีมหางน้ำยางและกระบวนการนำกลับสารครีม พบว่ากระบวนการดังกล่าวให้ผลตอบแทน 40.2 บาท/กิโลกรัมยางแห้ง และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 15 วัน

Thesis Title	Developing of a continuous process for recovery of creaming agent used in the production of concentrated skim latex
Student	Mr. Chaiwut Saisaengthum
Student ID.	50061104
Degree	Master of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2009
Thesis Adviser	Assoc. Prof. Dr. Duangkamol Na-Ranong

ABSTRACT

This research was conducted in order to develop a continuous process for the recovery of creaming agent (A702) used in the production of concentrated skim latex. The experiment was performed using a batch system to obtain the preliminary design data. According to the obtained data, the recovery system operated continuously was designed. The batch experiment was performed to evaluate the effects of temperature, concentration of the creaming agent (CA) and impurities in the CA solutions (ammonia in CA-water solution and non-rubber in CA-serum solution) on cloud point temperature of the solutions. The result showed that the cloud point temperature of the CA-water solution decreased when the concentration of CA increased. Existing of ammonia in the CA-water solution resulted in slightly increasing of the cloud point temperature. In the case of CA-serum solution, the solution started to cloud when the temperature was raised to 65°C. This result revealed that the impurities in the CA-serum solution led to the decreasing of cloud point temperature. Moreover the recovery of the CA from the CA-serum solution was much easier than the recovery from the CA-water solution. The optimum recovery condition was to maintain the temperature of the CA-serum solution constant at 90°C for 20 minutes using a hot oil bath. Under this condition, the CA was recovered by 77 %wt. The designed continuous recovery unit showed the best performance when it was operated at the temperature of 90 °C and the space-time of 45 minutes. Under this condition, the CA was recovered by 82 %wt. The recovered CA was reused in the creaming process without dropping in its efficiency at least 5 cycles of operation. The economic analysis of the creaming process and the CA recovery process showed that the overall process gave the profit of 40.2 baht/kilogram of dry rubber and the payback period was 15 days.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี จากความช่วยเหลือของบุคคลหลายท่าน ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่มอบความรู้ คำแนะนำ ในการดำเนินงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (โครงการเลขที่ MT-B-50-POL-07-390-I) และโครงการพัฒนานุเคราะห์วิจัยระดับบัณฑิตศึกษาระหว่างศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังสำหรับเงินทุนวิจัยที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยแนะนำ และให้คำปรึกษา ทั้งในด้านวิชาการ และแนวคิด พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือตลอดการดำเนินงานวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ดร.สุรพิชญ ลอยกุลนันท์ และนางฉวีวรรณ กงแก้ว นักวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่สนับสนุนข้อมูลและความช่วยเหลือตลอดการดำเนินงานโครงการวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณวิรัช สายแสงธรรม และคุณสมประสงค์ สายแสงธรรม และขอขอบใจ คุณพัฒนภรณ์ เลิศยิ่งแจ่มจันทร์ สำหรับกำลังใจและความช่วยเหลือให้ผู้วิจัยบรรลุในการต่อสู้กับอุปสรรคต่างๆ รวมทั้งเป็นแรงผลักดันให้งานวิจัยนี้สำเร็จเร็วยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินโครงการนี้ รวมถึงความช่วยเหลือจากเพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

สุดท้ายนี้ ความรู้และประโยชน์ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ครูอาจารย์ทั้งในอดีตและปัจจุบัน หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ชัชวดี สายแสงธรรม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการทำวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 นวัตกรรมชาติ.....	4
2.1.1 ส่วนประกอบและปริมาณของสารต่างๆ ในหางน้ำยาง.....	4
2.1.2 เสถียรภาพและการเสถียรภาพของน้ำยาง.....	7
2.2 กรรมวิธีการผลิตยางจากน้ำยางธรรมชาติ.....	8
2.3 มาตรฐานและประเภทของยางแปรรูป.....	14
2.3.1 ยางแปรรูปประเภทต่างๆ.....	14
2.3.2 มาตรฐานของยางแปรรูปชนิดต่างๆ.....	16
2.4 พฤติกรรมการแยกวัฏภาคของสารละลายพอลิเมอร์.....	18
2.5 อุปกรณ์และวิธีการนำกลับพอลิเมอร์.....	22
2.6 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์.....	22
2.6.1 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน.....	22
2.6.2 งวดเวลาคืนทุน.....	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การทดลอง.....	25
3.1 สารเคมี.....	25
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	25
3.3 วิธีการทดลอง.....	26
3.3.1 ระบบแบบกะ.....	26
3.3.1.1 ขั้นตอนการเตรียมสารตัวอย่าง.....	26
3.3.1.2 การหาอุณหภูมิสารละลายวิกฤติต่ำสุดของสาร A702	26
3.3.1.3 การนำกลับสาร A702 ในระบบสารครีมในน้ำและสารครีม ในน้ำที่มีแอมโมเนีย.....	26
3.3.1.4 การนำกลับสารเคมีในระบบสารครีมในน้ำซีรัม.....	27
3.3.2 ระบบแบบต่อเนื่อง.....	27
3.4 วิธีคำนวณผลการทดลอง.....	28
3.4.1 ร้อยละยางแห้ง.....	28
3.4.2 ร้อยละการนำกลับยาง.....	28
3.4.3 ร้อยละการนำกลับสาร A702.....	29
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	31
4.1 ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพ ของกระบวนการนำกลับสารครีม.....	31
4.1.1 ประสิทธิภาพการครีมหางน้ำยามเมื่อใช้สาร A702 ด้วยความเข้มข้นต่างๆ.....	31
4.1.2 อุณหภูมิสารละลายวิกฤติด้านต่ำ (LCST) ของสารละลาย A702.....	32
4.1.3 อิทธิพลของแอมโมเนียที่มีต่อการนำกลับสารละลาย A702 ในน้ำบริสุทธิ์.....	34
4.1.4 อิทธิพลของลักษณะการให้ความร้อนที่มีต่อการนำกลับสาร A702.....	35
4.1.5 อิทธิพลของระยะเวลาในการให้ความร้อนที่มีต่อการนำกลับสาร A702..	35
4.1.6 ระยะเวลาการเก็บรักษาหางน้ำยาม.....	36
4.1.7 ศึกษาประสิทธิภาพการครีมเมื่อใช้สาร A702 ที่ผ่านการนำกลับ.....	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ออกแบบและทดสอบการทำงานของเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง.....	38
4.3 ศึกษาอิทธิพลของ space-time ที่มีต่อประสิทธิภาพการนำกลับสารครีม ของเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง.....	42
4.4 ศึกษาประสิทธิภาพการครีมเมื่อใช้สาร A702 ที่ผ่านการนำกลับด้วย เครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง.....	44
4.5 การขยายขนาดเครื่องแยกและนำกลับสาร A702 แบบต่อเนื่อง (อัตราการผลิต 200 ลิตร/ชั่วโมง).....	45
4.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการรวบรวมเนื้อยาง ในทางน้ำยาง โดย ใช้สารครีม A702 ที่ผ่านการใช้งานและนำกลับด้วย เครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก.....	53
ภาคผนวก ก การหาปริมาณเนื้อยางแห้ง.....	54
ภาคผนวก ข ผลการทดลองอุณหภูมิสารละลาย A702.....	57
ภาคผนวก ค วิธีคำนวณปริมาณสารครีม A702 ที่นำกลับได้.....	58
ภาคผนวก ง สมบัติของสาร A702 ที่นำกลับได้.....	66
ภาคผนวก จ การคำนวณค่าพลังงานนำกลับสาร A702.....	71
ภาคผนวก ฉ ผลงานทางวิชาการ.....	72
ประวัติผู้เขียน.....	81

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างส่วนประกอบและปริมาณของสารต่างๆ ในน้ำยาง.....	6
2.2 การแยกตัวขององค์ประกอบน้ำยาง เมื่อถูกเหวี่ยงแยกหนีศูนย์กลาง.....	10
2.3 เปรียบเทียบสมบัติของน้ำยางชั้นที่ได้จาก 3 วิธีหลัก.....	11
2.4 สมบัติเชิงกายภาพของยางสกิม.....	13
2.5 คุณสมบัติของน้ำยางชั้นที่ได้จากการครีมน้ำยางชั้นจากการปั่นความเร็วสูง.....	14
2.6 ข้อกำหนดมาตรฐานน้ำยางชั้นไทย (มอก. 980 – 2533).....	16
2.7 ข้อกำหนดมาตรฐานยางแผ่นรมควัน.....	17
2.8 ข้อกำหนดมาตรฐานยางแท่งไทย.....	18
4.1 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกระบวนการรวบรวมเนื้อยางในทางน้ำยางระหว่างวิธีการ ใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นและการครีมน้ำยางโดยใช้สารครีมน้ำยาง A702.....	47
4.2 เงินลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มกระบวนการรวบรวมเนื้อยางในทางน้ำยางด้วยการครีมน้ำยาง โดยใช้สารครีมน้ำยาง A702.....	48

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สูตรโครงสร้างและรูปร่างโมเลกุลของยางธรรมชาติ.....	4
2.2 โครงสร้างของอนุภาคยางในน้ำยางธรรมชาติ	5
2.3 กรรมวิธีการผลิตน้ำยางเข้มข้นจากน้ำยางพารา.....	8
2.4 ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางสด.....	8
2.5 การแปรรูปน้ำยางสดในรูปแบบต่างๆ.....	14
2.6 สมดุลวิภาคของระบบที่มีอุณหภูมิสารละลายวิกฤติแบบต่างๆ.....	19
2.7 ผลของจำนวนสายโซ่ (chain segment, x) ที่มีต่อแผนภูมิวิภาค.....	20
2.8 ผลของความดันที่มีต่อแผนภูมิวิภาค.....	21
2.9 กราฟแสดงต้นทุน ปริมาณการผลิต และจุดคุ้มทุน.....	23
3.1 อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการนำกลับสาร A702.....	27
3.2 ไดอะแกรมเครื่องนำกลับสาร A702 แบบต่อเนื่อง.....	27
3.3 เครื่องต้นแบบสำหรับนำกลับสารครีม A702.....	27
3.4 แผนผังแสดงคุณมวลของสาร A702.....	30
4.1 อิทธิพลของสารครีม A702 ที่มีต่อประสิทธิภาพการครีมหางน้ำยางที่ความเข้มข้นต่างๆ	31
4.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของ A702 และแอมโมเนียที่มีต่อ LCST ของสารละลาย A702 ในน้ำบริสุทธิ์.....	32
4.3 อิทธิพลของความเข้มข้นของสาร A702 และแอมโมเนียที่มีต่ออุณหภูมิ LCST ของ สารละลาย A702 ในน้ำบริสุทธิ์และน้ำซีรัมที่ความเข้มข้นสาร A702 ต่างๆ	33
4.4 อิทธิพลของแอมโมเนียและอุณหภูมิ ที่มีต่อประสิทธิภาพการนำกลับสาร A702 ที่ระยะเวลาในการนำกลับต่างๆ	34
4.5 อิทธิพลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อน ที่มีต่อประสิทธิภาพการนำกลับ สาร A702 ในน้ำซีรัม.....	36
4.6 อิทธิพลของสารครีม A702 ที่เติมเพิ่ม ที่มีต่อประสิทธิภาพการครีมหางน้ำยาง ด้วยสาร A702 ที่ผ่านการนำกลับหลายครั้ง	38
4.7 ไดอะแกรมชุดเครื่องนำกลับสาร A702 ที่ทำงานอย่างแบบต่อเนื่อง.....	39
4.8 ชุดเครื่องนำกลับสาร A702 แบบต่อเนื่องที่ปรับปรุงหน่วยแลกเปลี่ยนความร้อน.....	40

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.9	ร้อยละการนำกลับสาร A702 ในระบบสารละลาย A702 ในน้ำซีรัม ที่ระยะเวลาต่างๆ ด้วยเครื่องแยกและนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 90°C และ Space-time 25 นาที.....	41
4.10	อุณหภูมิของน้ำซีรัมที่เวลาต่างๆ ภายในเครื่องแยกและนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง...	42
4.11	อิทธิพลของ space-time ที่มีต่อประสิทธิภาพการนำกลับสาร A702 ในน้ำซีรัม ที่ อุณหภูมินำกลับ 90°C	43
4.12	อิทธิพลของ space-time ที่มีต่อประสิทธิภาพการนำกลับสาร A702 ในน้ำซีรัม ที่อุณหภูมินำกลับ 90°C ในช่วง space-time นาน 13-55 นาที	43
4.13	ประสิทธิภาพการครีมหางน้ำยางด้วยสารครีม A702 ที่ผ่านการนำกลับ ด้วยเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง.....	44
4.14	เครื่องนำกลับสาร A702 แบบต่อเนื่อง (อัตราการผลิตสูงสุด 200 ลิตร/ชม.).....	45

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

เทคโนโลยีการผลิตน้ำยางข้นที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางพาราในประเทศไทย เริ่มจากการนำน้ำยางสดไปปั่นแยกด้วยเครื่องเหวี่ยง (centrifuge) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำยางข้นร้อยละ 45 โดยน้ำหนัก ซึ่งสามารถนำไปแปรรูปต่อให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง เช่น ถุงมือ ถุงยางอนามัย[1] และได้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเป็นหางน้ำยาง (skim) ร้อยละ 55 โดยน้ำหนัก ซึ่งหางน้ำยางจะมีเนื้อยางแห้งเจือปนอยู่ประมาณ 3-8 %DRC (dry rubber content) [2] โดยทั่วไปโรงงานอุตสาหกรรมจะพยายามรวบรวมเนื้อยางในหางน้ำยางโดยการเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (concentrated sulfuric acid) เพื่อลดการสูญเสียเนื้อยางในกระบวนการ เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีประสิทธิภาพต่ำเมื่อใช้กับหางน้ำยางที่เก็บไว้นานและหางน้ำยางที่มีปริมาณแอมโมเนียสูง[3] นอกจากนี้เนื้อยางที่ได้จากการจับตัวด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นมักมีคุณภาพต่ำ มีสีคล้ำและมีปริมาณสิ่งเจือปนสูง น้ำทิ้งที่เหลือจากกระบวนการจับตัวด้วยกรดดังกล่าวจึงยังมีค่าความเป็นกรดสูง ก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อน ส่งกลิ่นเหม็นในโรงงานและบริเวณข้างเคียงอีกด้วย[4]

สุรพิชญ ลอยกุลนันท์ และคณะ[5] ได้นำเสนอเทคโนโลยีทางเลือกในการเก็บรวบรวมเนื้อยางในหางน้ำยาง โดยใช้สารที่ทำให้เกิดการครีม (creaming agent) ชนิดใหม่ที่เรียกว่าสาร A 702 ซึ่งวิธีการนี้มีประสิทธิภาพในการรวบรวมเนื้อยางได้ถึงร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก เนื้อยางแห้งที่ได้มีคุณภาพสูงขึ้น คือ มีสีจางลงและมีสิ่งเจือปนน้อย แต่กระบวนการนี้มีข้อจำกัดที่สำคัญ คือ สารครีมที่ใช้มีราคาแพง ซึ่งหากไม่มีการนำสารครีมกลับมาใช้ใหม่จะทำให้มีค่าใช้จ่ายในการเก็บรวบรวมเนื้อยางจากหางน้ำยางมากกว่าการใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นถึง 470 เท่า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแยกเอาสารครีมออกมาน้ำทิ้งและนำกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการเก็บรวบรวมเนื้อยางในหางน้ำยางครั้งต่อไป ทำให้น้ำทิ้งจากกรรมวิธีนี้ปราศจากการปนเปื้อนของสารครีมและไม่เป็นกรด เพื่อให้กระบวนการนี้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จึงต้องออกแบบเครื่องนำกลับสารครีม ให้สามารถนำกลับสารครีมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้งานได้ง่าย และมีต้นทุนในการปฏิบัติงานต่ำ ซึ่งจะทำให้เทคโนโลยีการรวบรวมเนื้อยางในหางน้ำยางด้วยสาร A702 มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้เป็นทางเลือกใหม่ในกระบวนการรวบรวมเนื้อยางในหางน้ำยางของอุตสาหกรรมยางพาราได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ (ความเข้มข้นของสารครีม A702, อุณหภูมิในการนำกลับสารครีม, เวลาในการให้ความร้อน และแอมโมเนีย) ที่มีต่อประสิทธิภาพของกระบวนการนำกลับสารครีม A702

1.2.2 ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับนำกลับสารครีมที่สามารถปฏิบัติงานได้อย่างต่อเนื่อง (ขนาดกำลังการผลิต 2.4 ลิตร/ชั่วโมง)

1.2.3 ศึกษาอิทธิพลของ space-time ที่มีต่อประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบสำหรับนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงาน

1.2.4 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการรวบรวมเนื้อยางในทางน้ำยางโดยใช้สารครีม A702 ที่ผ่านการใช้งานและนำกลับด้วยเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง

1.2.5 ถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับผู้ประกอบการเพื่อนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารครีม A702, อุณหภูมิในการนำกลับสารครีม, เวลาในการให้ความร้อน และแอมโมเนีย ที่มีต่อประสิทธิภาพของกระบวนการนำกลับสารครีมโดยใช้ของผสมสารครีม A702 กับน้ำ และสารครีม A702 กับน้ำซีรัม ด้วยกระบวนการแบบกะ (batch process) จากนั้นจึงออกแบบระบบแบบต่อเนื่อง โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการทดลองแบบกะมากำหนดตัวแปรปฏิบัติงานที่สำคัญ แล้วจึงศึกษาอิทธิพลของ space-time ที่มีต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องต้นแบบสำหรับนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง (2.4 ลิตร/ชั่วโมง) เพื่อหาสภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสม และขยายขนาดเครื่องต้นแบบให้มีขนาดเหมาะสมกับการทดลองใช้งานในระดับอุตสาหกรรม (200 ลิตร/ชั่วโมง)

1.4 ขั้นตอนการทำวิจัย

1.4.1 คำนวณและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการและอุปกรณ์ที่ใช้ในการนำกลับพอลิเมอร์

1.4.2 ทดลองการนำกลับสารครีม A702 เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพของกระบวนการนำกลับสารครีม A702 ด้วยชุดทดลองแบบกะ

1.4.3 ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับนำกลับสารครีมที่สามารถปฏิบัติงานได้อย่างต่อเนื่อง

1.4.4 ทดลองการนำกลับสารครีม A702 โดยใช้เครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่องที่ space-time ต่างๆ เพื่อศึกษาอิทธิพลของ space-time ที่มีต่อประสิทธิภาพการนำกลับสารครีม A702

1.4.5 ถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับผู้ประกอบการเพื่อนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.5.1 เนื้อหาที่ได้สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้น

1.5.2 กระบวนการรวบรวมเนื้อหาค้นคว้าการครีมีมีความคุ้มค่าแก่การลงทุนยิ่งขึ้น และสามารถนำไปใช้ได้จริงในอุตสาหกรรม

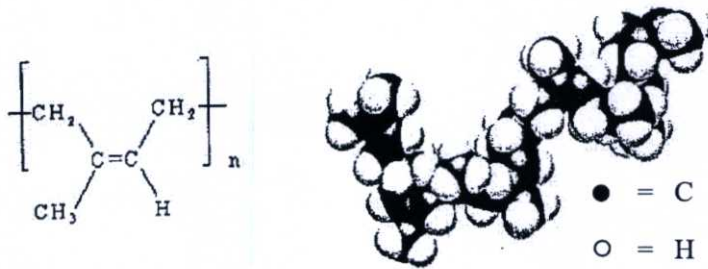
1.5.3 มีการนำเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นโดยกลุ่มนักวิจัยไทยไปใช้จริงในระดับอุตสาหกรรม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำยางธรรมชาติ [6-7]

ยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูง เกิดจากไอโซพรีนโมโนเมอร์ (isoprene) [6] จึงเรียกยางธรรมชาติว่า “พอลิไอโซพรีน (polyisoprene)” ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างและรูปร่างโมเลกุลของยางธรรมชาติ[6]

น้ำยางธรรมชาติ (latex) จากต้นยางพารามีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวข้นคล้ายน้ำมัน เป็นสารแขวนลอย ชนิดไฮโดรโซล (hydrosol) ที่มีสารกระจายอยู่ในตัวทำละลายที่เป็นน้ำ แต่มีความพิเศษกว่าไฮโดรโซลทั่วไป คือมีคุณสมบัติทั้งที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) โดยคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำจะเด่นกว่าคุณสมบัติที่ชอบน้ำ มีค่า pH 6.5–7.0 ความหนาแน่น 0.975 - 0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร และความหนืดค่อนข้างแปรปรวน โดยความหนืด, ปริมาณเนื้อยางแห้ง และสารต่างๆ ในน้ำยางจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น พันธุ์ยาง, อายุต้นยาง, ฤดูกาลกรีดยาง, วิธีการกรีดยาง

2.1.1 ส่วนประกอบและปริมาณของสารต่างๆ ในน้ำยาง

น้ำยางสดประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลัก คืออนุภาคยาง และส่วนที่ไม่ใช่ยาง (non-rubber substances) [8-9]

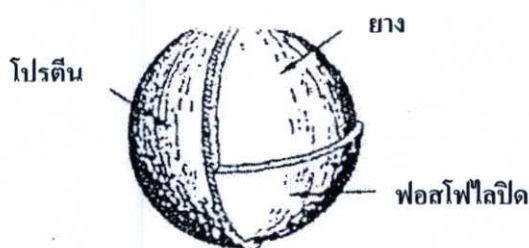
1) อนุภาคยาง

อนุภาคยางที่อยู่ในน้ำยาง แขวนลอยกระจายอยู่ในของเหลวซีรัมในลักษณะไมเซลล์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4-5 ไมครอน มีสมบัติทางไฟฟ้าเป็นประจุลบ ถูกห่อหุ้มด้วยสารจำพวกโปรตีนและไขมัน

ก) ส่วนของโปรตีน โปรตีนที่อยู่บริเวณผิวของอนุภาคยางนี้จะมีส่วนประกอบของกำมะถัน (cystine disulphide linkage) ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ดังนั้นในขณะที่น่าจะเกิดการเสียสภาพ โปรตีนในส่วนนี้จะสลายตัวให้สารประกอบพวกไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารเมอร์แคปแทน (mercaptan) ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นขึ้น

ข) ส่วนของไขมัน ซึ่งอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางและโปรตีน ส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสโฟไลปิดชนิด α -Lecithin เชื่อว่าทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวนอกของอนุภาคยาง

โดยโปรตีนจะอยู่ชั้นนอกสุดและอาจมีโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียมและทองแดงเจือปนประมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งโปรตีนและโลหะจะมีอิทธิพลต่อการคงรูป (vulcanization) ของยางอย่างมาก



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอนุภาคยางในน้ำยางธรรมชาติ[8]

2) ส่วนอื่นที่ไม่ใช่ยาง

ก) ส่วนที่เป็นน้ำหรือซีรัม จะมีลักษณะสีใสนเป็นฟองได้ง่าย ประกอบด้วยโปรตีน, คาร์โบไฮเดรต, ฟอสฟอรัส, โปแตสเซียม, ทองแดง และ แมกนีเซียม

- คาร์โบไฮเดรต สารพวกแป้งและน้ำตาลมีอยู่ในน้ำยางประมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นน้ำตาลคิวบาซิทอล (quebrachitol), น้ำตาลกลูโคส, น้ำตาลซูโครส และน้ำตาลฟรุกโตส ซึ่งแบคทีเรียจะใช้น้ำตาลเหล่านี้เป็นอาหาร และเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายทำให้เกิดกรดไขมันที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก (short chain fatty acid) ทำให้ง่ายที่ได้เกิดการเสียสภาพและรวมตัวเป็นก้อน โดยไขมันเหล่านี้จัดเป็นกรดไขมันที่ระเหยง่าย (volatile fatty acid, VFA) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรักษาสภาพของน้ำยาง ค่า VFA ควรจะมีค่าประมาณ 0.01-0.02

- โปรตีนและกรดอะมิโน จะพบที่บริเวณผิวของอนุภาคยาง โดยโปรตีนที่พบมากคือ โปรตีนประเภทอัลฟาไกลูโบลิน

ข) ส่วนของลูทอยด์ และสารอื่นๆ [10-11]

- ลูทอยด์ เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5-3.0 ไมครอน มีค่า pH เท่ากับ 0.5 โดยมีโปรตีนซึ่งละลายน้ำและไม่ละลายน้ำประมาณร้อยละ 5 และ 2 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เยื่อหุ้มมีลักษณะบางจนเกิดการออสโมซิส (osmosis) ได้ง่าย ดังนั้นเมื่อเติมน้ำลงในน้ำยางสด จะทำให้ช่องเหลวในลูทอยด์ขยายตัวและแตกได้ง่าย เมื่อลูทอยด์แตกของเหลวภายในซึ่งป็นสารที่มีประจุบวกและอิออนของโลหะ เช่น แคลเซียมอิออนและแมกนีเซียมอิออน จะเจือปนอยู่ในซีรัม ทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกัน เมื่อลูทอยด์ขยายตัวจะทำให้ความหนืดของน้ำยางเพิ่มขึ้น และเมื่อลูทอยด์แตกออกความหนืดจะลดลง ส่วนเนื้อเยื่อต่างๆ ของลูทอยด์ที่แตกออกจะเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนติดอยู่ที่ผิววนอกของอนุภาคยางเป็นสาเหตุให้น้ำยางเสียสภาพ ทั้งนี้ อากาศร้อนหรืออุณหภูมิสูง อาจทำให้ลูทอยด์แตกได้เช่นกัน การเติมแอมโมเนียลงในน้ำยางสดจะทำให้ส่วนของลูทอยด์และสารพวกโลหะแมกนีเซียม เกิดการรวมตัวกับแอมโมเนีย และแยกตัวออกมาจากเนื้อยางตกตะกอนเป็นสีน้ำตาลและสีม่วง ซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำยางสดได้

- สารอื่นๆ เช่น สารจำพวกฟอสโฟไลปิด, สารโพลีฟีนอลออกซิเดส ประมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก เป็นส่วนที่ทำให้เกิดสีเหลืองหรือสีคล้ำของน้ำยางเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ และอนุภาคเฟรย์-วิสลิง (frey-wyssling) มีรูปร่างค่อนข้างกลมและมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ายาง แต่มีความหนาแน่นน้อยกว่า ประกอบด้วย สารเม็คดีพวกลาโรดินอยด์ ซึ่งทำให้น้ำยางมีสีเหลืองเข้ม สามารถรวมตัวกับแอมโมเนีย และแยกตัวออกจากยางมาอยู่ในส่วนของซีรัม

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างส่วนประกอบและปริมาณของสารต่างๆ ในน้ำยาง [8]

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%)
เนื้อยางแห้ง (dry rubber content,DRC)	33
โปรตีน	1.4
คาร์โบไฮเดรต	1.6
ไขมัน	1
ไกลโคไลปิด (Glycolipids) และฟอสโฟไลปิด (Phospholipids)	0.6
สารอินทรีย์	0.5
อื่นๆ	0.4
น้ำ	61.5

2.1.2 เสถียรภาพและการเสถียรภาพของน้ำยาง [12]

เสถียรภาพของน้ำยาง การที่น้ำยางคงสถานะเป็นของเหลวแขวนลอยที่มีอนุภาคยางกระจายตัวอยู่ในซีรัมได้เนื่องจากอนุภาคยางถูกห่อหุ้มด้วยชั้นโปรตีน ซึ่งมีประจุลบล้อมรอบ ชั้นโปรตีนนี้จะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อนุภาคยางแต่ละอนุภาครวมตัวกันเป็นก้อนยางแข็งตกตะกอนที่เรียกว่าโคแอกคูลัม (coagulum) เนื่องจากประจุลบรอบอนุภาคยางจะผลักกันทำให้อนุภาคยางไม่จับตัวรวมกันเป็นก้อน ทำให้สามารถลอยกระจัดกระจายอยู่ในน้ำซีรัมได้

การเสถียรภาพของน้ำยาง เมื่อน้ำยางสดไหลออกจากต้นยาง จะเกิดการตกตะกอนและเสถียรภาพ ระยะเวลาการตกตะกอนขึ้นกับอุณหภูมิแวดล้อมและเสถียรภาพของน้ำยาง โดยเกิดการจับตัวเป็นก้อนแยกส่วนจากน้ำซีรัม และในที่สุดจะเกิดการเน่าเสีย (putrefaction) และส่งกลิ่นเหม็น การเสถียรภาพของน้ำยางแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ

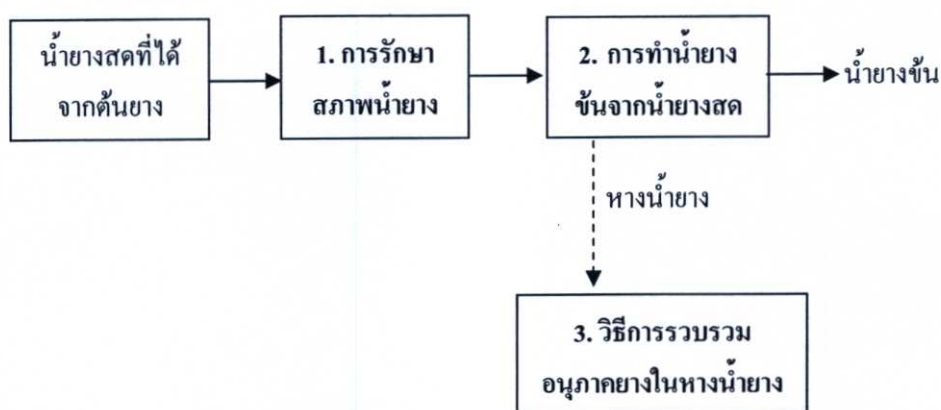
ก) การเสถียรภาพหรือการตกตะกอนตามธรรมชาติ (natural coagulation) เกิดจากจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรียในอากาศ ปะปนอยู่ในน้ำยาง เมื่อเวลาผ่านไปจุลินทรีย์จะทำปฏิกิริยากับโปรตีน, คาร์โบไฮเดรต และน้ำตาล เกิดเป็นกรดไขมันระเหยง่าย สภาวะความเป็นกรดจะทำลายชั้นโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยาง เป็นผลให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนของแข็งขนาดเล็ก ซึ่งจะมีขนาดและปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ รวมทั้งกลิ่นเหม็นเนื่องจากการสลายตัวของโปรตีน

ข) การแข็งตัวเนื่องจากกรด (acid coagulation) ในกระบวนการผลิตยางแห้งมีการใช้สารตกตะกอน ได้แก่สารเคมีที่ช่วยให้น้ำยางจับตัวเป็นของแข็ง ในกรณีของน้ำยางสดนิยมใช้กรดฟอร์มิก, กรดอะซิติก และกรดซัลฟิวริกเจือจาง (ประมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) เมื่อใส่กรดเจือจางในน้ำยาง กรดจะแตกตัวให้ไฮโดรเนียมไอออนที่มีประจุบวก เข้าทำปฏิกิริยากับคาร์บอกซิเลทไอออน ($R-CO_2^-$) เกิดเป็นกรดไขมัน (RCO_2H) ที่ไม่ละลายน้ำรอบอนุภาคยาง เป็นผลให้แรงผลักระหว่างอนุภาคยางอันเนื่องมาประจุลดลงและหายไปในที่สุด เมื่อชั้นห่อหุ้มอนุภาคยางถูกทำลาย อนุภาคยางจึงจับตัวเป็นก้อนยางของแข็งอย่างรวดเร็ว

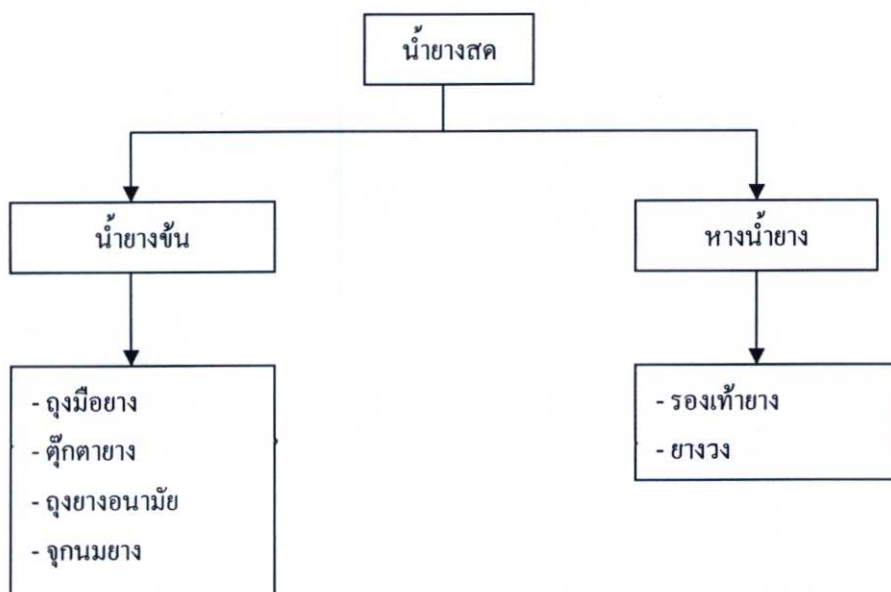
ปัจจุบันชาวสวนยางนิยมใช้กรดฟอร์มิกเป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตยางแห้ง เนื่องจากมีราคาถูกและให้ยางแห้งที่มีสมบัติต่างๆ ดี, กรดอะซิติกนิยมใช้ในการผลิตยางเครพตีจาง และใช้กรดซัลฟิวริกในการจับตัวของหางน้ำยางหรือยางสกิม

2.2 กรรมวิธีการผลิตยางจากน้ำยางธรรมชาติ [13]

น้ำยางสดที่ได้จากต้นยางจะมีปริมาณเนื้อยางน้อยและมีเสถียรภาพต่ำ ไม่เหมาะในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมยาง จึงต้องเติมสารเคมีในน้ำยางสดเพื่อรักษาเสถียรภาพของน้ำยาง จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการที่ทำให้น้ำยางมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามกรรมวิธีในรูปที่ 2.3 ในน้ำยางข้นที่ได้มีปริมาณยางแห้งร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก โดยน้ำยางข้นสามารถนำไปแปรรูปต่อเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เนื่องจากน้ำยางข้นมีข้อได้เปรียบกว่าน้ำยางสดคือ ลดต้นทุนในการขนย้ายน้ำยางจากโรงงานน้ำยางข้นไปยังโรงงานแปรรูป และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอมากกว่า



รูปที่ 2.3 กรรมวิธีการผลิตน้ำยางเข้มข้นจากน้ำยางสด



รูปที่ 2.4 ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางสด

กรรมวิธีการผลิตน้ำยางชั้นจากน้ำยางสดมี 3 ขั้นตอน ดังนี้

การรักษาสภาพน้ำยาง[14]

น้ำยางสดจะมีเสถียรภาพต่ำ กล่าวคือ อนุภาคในน้ำยางจะจับตัวภายใน 2-3 ชั่วโมงหลังจากกรีดน้ำยาง เนื่องจากสาเหตุหลายประการ เช่น การเกิดปฏิกิริยาของจุลินทรีย์กับส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางทำให้เกิดกรด เป็นผลให้ pH ของน้ำยางลดลง หรือการที่ไขมันเกิดไฮโดรไลซิสกลายเป็นกรดไขมัน ซึ่งมีประจุลบไปเกาะบนผิวของอนุภาคยางทำให้โปรตีนที่อยู่บริเวณบนผิวเกิดการเคลื่อนที่ หรืออาจจับกับอออนของโลหะที่มีอยู่ในน้ำยางเช่น แคลเซียม และแมกนีเซียม ดังนั้นเพื่อรักษาเสถียรภาพของน้ำยาง โดยทั่วไปจะเติมแอมโมเนียปริมาณมากกว่าร้อยละ 0.35 โดยน้ำหนักเพื่อกำจัดแบคทีเรีย โดยแอมโมเนียที่เติมจะทำปฏิกิริยากับกรดที่เกิดจากการไฮโดรไลซิสของโปรตีนและฟอสโฟลิปิด ทำให้น้ำยางมีความเป็นกลางเพิ่มขึ้น และจับกับอออนของโลหะในน้ำยางเช่น แมกนีเซียม เกิดเป็นแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ อย่างไรก็ตามการใช้แอมโมเนียทำให้เกิดกลิ่นฉุน และระเหยได้ง่าย จึงอาจลดปริมาณแอมโมเนียและเติมสารรักษาสภาพชนิดอื่นร่วมด้วย เช่น กรดบอริก (boric acid), เตตระเมทิลไธยูเรมไดซัลไฟด์ (tetramethylthiuram disulphide, TMTD), โซเดียมเพนตะคลอโรเฟเนต (sodiumpentachlorophenate, SPP) และซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide)

วิธีการทำน้ำยางชั้น แบ่งได้เป็น 3 วิธี

ก) วิธีการปั่นความเร็วสูง

เป็นวิธีการผลิตน้ำยางชั้นที่สำคัญและใช้มากที่สุดในระดับอุตสาหกรรม โดยใช้เครื่องปั่นความเร็วสูงหรือเซนตริฟิว หมุนเหวี่ยงเพิ่มแรงทำให้อนุภาคยางเคลื่อนที่แยกออกจากส่วนที่เป็นของเหลวได้เร็วขึ้น ขณะหมุนเหวี่ยงน้ำยางจะไหลไปรวมกันที่ส่วนกลางของเครื่อง แกนกลางของเครื่องจะหมุนด้วยความเร็วสูง (ประมาณ 6000 รอบต่อนาที) ทำให้เกิดแรงเหวี่ยงส่วนที่หนักหรือมีความหนาแน่นสูง ได้แก่ น้ำหรือซีรัม ให้อยู่ด้านนอกของเครื่องแล้วไหลออกจากเครื่อง เป็นหางน้ำยางหรือสกิน (skim) ส่วนอนุภาคยางที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าจะรวมกันที่แกนกลางเป็นน้ำยางชั้น (concentrated latex) ไหลเข้าสู่ถังเก็บน้ำยางชั้นต่อไป ปกติน้ำยางชั้นที่ได้จากการปั่นความเร็วสูงจะมีเนื้อยางแห้งประมาณร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก โดยวิธีการปั่นความเร็วสูงจะแยกองค์ประกอบบางส่วนที่ไม่ใช่ยางและอนุภาคยางขนาดเล็กออกจากน้ำยางชั้น องค์ประกอบในน้ำยางเมื่อถูกเหวี่ยงแยก ดังแสดงในตารางที่ 2.2 น้ำยางสดปริมาณ 100 กรัม เมื่อถูกปั่นแยกจะได้เป็นน้ำยางชั้น 50 กรัม และหางน้ำยาง 50 กรัม

ตารางที่ 2.2 การแยกตัวขององค์ประกอบน้ำยาง เมื่อถูกเหวี่ยงแยกหนีศูนย์กลาง [15]

องค์ประกอบ	น้ำยางสด (Field Latex) 100 g	น้ำยางข้น (Concentrated Latex) 50 g	หางน้ำยาง (Skim Latex) 50 g
ปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC)	32.5	60	5.0
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid content, % TSC)	36.0 g	30.75 g 61.50%	5.25 g 10.50%
กรดไขมันที่ระเหยง่าย	0.1	0.06	0.04
แมกนีเซียม	200 ppm	120 ppm	80 ppm
ซีรัม	64 g	19.25 g 38.50%	44.75 g 89.50%
รวม	100 g	50 g 100%	50 g 100 %

ข) วิธีทำให้เกิดครีม (creaming)

น้ำยางเป็นสารละลายอิมัลชันแบบคอลลอยด์ ประกอบด้วยอนุภาคยางเคลื่อนที่แบบอิสระในทุกทิศทางอย่างไม่เป็นระเบียบ หรือที่เรียกว่าเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (brownian motion) แขนงลอยอยู่ในน้ำ แต่เนื่องจากอนุภาคยางมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าน้ำ ดังนั้นหากตั้งน้ำยางทิ้งไว้เป็นเวลานาน อนุภาคยางจะลอยขึ้นไปผิวหน้าในลักษณะเป็นครีมแยกออกจากชั้นน้ำ ทำให้ได้ครีมที่มีความเข้มข้นมากขึ้น ในทางปฏิบัติการผลิตน้ำยางข้นด้วยวิธีนี้จะทำโดยการเติมสารเคมีที่ทำให้เกิดครีม (creaming agent) ประเภทไฮโดรคอลลอยด์ที่ละลายน้ำได้ เช่น แอมโมเนีย หรือโซเดียมอัลจีเนต (sodium alginate) ทำให้อนุภาคยางมีขนาดใหญ่ขึ้น เป็นผลให้อนุภาคยางเคลื่อนที่ช้าลง จนกระทั่งรวมตัวลอยอยู่ที่ผิวหน้าคล้ายการเกิดครีม ทำให้บริเวณส่วนบนของน้ำยางมีความเข้มข้นของเนื้อยางสูง โดยสารที่ทำให้เกิดคริมนั้นทำให้เกิดการเกาะรวมตัวของอนุภาคยางแบบผันกลับได้ ผลึกภัณฑ์ที่ได้จากครีมมีความทนต่อแรงดึง (tensile strength) และมีความยาวก่อนที่ยางจะขาด (elongation at break) สูง วิธีนี้จะทำให้สูญเสียอนุภาคยางขนาดเล็ก และใช้เวลานานจึงไม่เป็นที่ยอมรับ

ค) วิธีระเหยน้ำ (evaporation)

วิธีนี้เป็นการระเหยน้ำส่วนหนึ่งออกจากน้ำยางสด ทำโดยการให้ความร้อนแก่น้ำยางที่ความดันต่ำในภาชนะ เช่น ถังหมุน ดังนั้นองค์ประกอบต่างๆในน้ำยางและการกระจายของขนาดอนุภาคยางจะไม่เปลี่ยนแปลง น้ำยางชั้นที่ได้จากวิธีนี้มีความหนืด, ความเสถียรทางเคมีและทางเชิงกลสูงขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสารแอนติออกซิเดนต์ตามธรรมชาติ จึงป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเหมาะสำหรับการขนส่งน้ำยางชั้นระยะไกล และการใช้งานที่มีการเติมสารเพิ่มเนื้อ (fillers) ปริมาณมาก เช่น การนำไปทำกาวติดรองเท้า, ผ้า และพรม

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบสมบัติของน้ำยางชั้นที่ได้จากการทำน้ำยางชั้นทั้ง 3 วิธี[15]

สมบัติทั่วไป	น้ำยางชั้นที่ได้จาก		
	การปั่นความเร็วสูง	การทำให้เกิดครีม	การระเหย
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC)	61.5	68	61-72
ปริมาณของยางแห้ง (% DRC)	60	66.8	56-64
ความเสถียรเชิงกล (mechanical stability time,s)	1000	1600	-
จำนวนกรดไขมันที่ระเหย	0.02-0.03	0.07	-
ปริมาณส่วนที่ไม่ใช่ยาง (%wt)	~ 2 %	~ 2 %	5.5-8.%

2.2.3 การรวบรวมอนุภาคยางในหางน้ำยาง มี 2 วิธี ดังนี้

ก) การจับตัวอนุภาคยาง

หางน้ำยางเป็นส่วนที่เหลือจากการเหวี่ยงแยกน้ำยางสด และแยกส่วนของน้ำยางชั้นออกไปแล้ว ในหางน้ำยางมีปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 3-10 โดยน้ำหนัก ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเล็ก (0.03-1.2 ไมครอน) และมีส่วนที่ไม่ใช่ยางในปริมาณสูง เช่น โปรตีนร้อยละ 10-20 โดยน้ำหนัก และไขมันที่ละลายได้ในอะซิโตนร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนัก การนำหางน้ำยางไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น ยางแท่งเกรดต่ำ ต้องทำให้อนุภาคยางแยกออกจากน้ำ โดยทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม การทำให้อนุภาคยางในหางน้ำยางจับตัวนิยมนำโดยเติมสารช่วยในการจับตัว ได้แก่ กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ในการแยกเนื้อยางออกจากหางน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย แต่ยังมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อใช้กับหางน้ำยางที่เก็บไว้นานและหางน้ำยางที่มีปริมาณแอมโมเนียสูง เนื้อยางที่ได้จากการจับตัวด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นมักมีคุณภาพต่ำ มีสีคล้ำและมีโปรตีนสูง นอกจากนี้ยัง

ไม่สามารถแยกเอาสารเคมีที่ช่วยในการแยกเนื้อเยื่อออกจากส่วนที่เป็นน้ำทิ้งได้ และน้ำทิ้งที่เหลือภายหลังจากจับเนื้อเยื่อออกไปแล้วมีค่าความเป็นกรดสูง ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม จำเป็นต้องมีการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่บ่อน้ำทิ้ง ทำให้เสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

ปรีดีเปรม ทศนกุล และคณะ [16] ทำการศึกษาค่า pH กับปริมาณยางจับตัวเป็นก้อนของหางน้ำยาง โดยใช้กรดร่วมกับสารเคมีชนิดอื่น ในเบื้องต้นทดลองจับตัวหางน้ำยางด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 25 ปริมาณ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ต่อหางน้ำยาง 100 กรัม พบว่าปริมาณกรดซัลฟิวริกตั้งแต่ 2 มิลลิลิตรขึ้นไป ได้ปริมาณยางจับตัวเป็นก้อนค่อนข้างสูง จากนั้นจึงทดลองจับด้วยด้วยกรดซัลฟิวริกร่วมกับไดออกทิลโซเดียมซัลโฟซัคซิเนต (dioctyl sodium sulphosuccinate) ในอัตราปริมาณยางแห้งร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 โดยน้ำหนัก พบว่าได้ปริมาณยางจับตัวเป็นก้อนน้อยกว่าการใช้กรดซัลฟิวริกเพียงอย่างเดียว ต่อมาเลือกใช้กรดซัลฟิวริกจับตัวร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ และแคลเซียมไนเตรด ในปริมาณยางแห้งร้อยละ 0.2, 0.4 และ 0.8 โดยน้ำหนัก พบว่าการใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 25 ปริมาณ 4 มิลลิลิตร ร่วมกับสารเคมีทั้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นของยางแห้งร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก จะได้ปริมาณยางจับตัวเป็นก้อนสูง

ข) การทำหางน้ำยางเข้มข้น

การทำหางน้ำยางให้เข้มข้นนี้อาจทำได้โดยการระเหยน้ำออกด้วยกรรมวิธีปกติ หรือให้ความร้อนแก่หางน้ำยางที่ความดันต่ำ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องการพลังงานสูง หรือเติมสารที่ทำให้เกิดครีม (creaming agent) ประเภทอัลจินัท (alginate) เข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตร ปริมาณ ร้อยละ 15-45 โดยน้ำหนัก ลงในหางน้ำยางแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน จะทำให้อนุภาคยางลอยขึ้นชั้นบน โดยอัตราการแยกชั้นจะขึ้นกับขนาดอนุภาคของยาง และความหนืดของสารละลาย การเติมโซเดียมอัลจินัทปริมาณร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนักของยาง ไม่เพียงพอที่จะทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวจนกระทั่งลอยขึ้นไปได้ แต่การเติมปริมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนักของยาง จะทำให้ความหนืดของสารละลายสูงมากจึงไม่เกิดการแยกชั้น

สุรพิชญ ลอยกุลนันท์ และคณะ [17] ได้พัฒนาเทคนิคการครีมเพื่อเก็บรวบรวมเนื้อเยื่อออกจากหางน้ำยางพาราโดยใช้พอลิเมอร์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น water-soluble hydrocolloid ตัวอย่างเช่น *N,O*-carboxymethyl chitosan (NOCMC) เป็นสารที่เตรียมได้ง่ายจากวัสดุธรรมชาติที่เหลือใช้แล้ว ย่อยสลายได้ง่าย ไม่เป็นพิษ และปนเปื้อนในเนื้อเยื่อน้อยมาก หลังจากตั้งของผสมระหว่างหางน้ำยางและ NOCMC ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจะสังเกตเห็นการแยกชั้นระหว่างชั้นครีมซึ่งอยู่ด้านบนและชั้นซีรัมซึ่งอยู่ด้านล่าง อนุภาคยางที่อยู่ในชั้นครีมไม่มีการเสียสภาพ สามารถทำให้อยู่ในรูปของหางน้ำยางเข้มข้นได้ การเก็บรวบรวมเนื้อเยื่อในชั้นครีมโดยใช้กรดเจือจาง สามารถเก็บรวบรวมได้ถึงร้อยละ 90-100 โดยน้ำหนัก โดยปริมาณเนื้อเยื่อที่ได้จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ NOCMC ที่เพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดเมื่อความเข้มข้นของ NOCMC ระหว่าง 7.34-10.3 g/l

กระบวนการครีมน้ำยางด้วย NOCMC เป็นกระบวนการที่สามารถช่วยลดปริมาณ โปรตีนในเนื้อยางได้ และพบว่ายางสกิมที่ได้จากการครีมน้ำยางด้วย NOCMC นั้นมีค่า Initial Wallace Plasticity (P_0) และ Mooney Viscosity ต่ำกว่ายางสกิมที่ได้จากการจับตัวแบบเดิม (ตารางที่ 2.4) นอกจากนี้เนื้อยางสกิมที่เก็บรวบรวมได้จากชั้นครีมนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามอายุของหางน้ำยาง, แหล่งที่มาของหางน้ำยาง และปริมาณของแอมโมเนียที่อยู่ในหางน้ำยาง ซึ่งก่อให้เกิดความยืดหยุ่นในการนำไปใช้งานมากกว่าระบบที่ใช้ในปัจจุบัน

ตารางที่ 2.4 สมบัติเชิงกายภาพของยางสกิม[17]

สมบัติของยางสกิม	ยางสกิมที่ได้จากการจับตัวด้วย H_2SO_4	ยางสกิมที่ได้จากการครีมน้ำยางด้วย NOCMC แล้วจับตัวด้วย 2% H_2SO_4
Nitrogen Content (%)	3.32	1.29
Initial Wallace Plasticity (P_0)	51.3	48.3
Mooney Viscosity	58.1	50.3

สุรพิชญ ลอยกุลนันท์ และคณะ[5] ได้พัฒนาวิธีการแยกเนื้อยางออกจากหางน้ำยางธรรมชาติด้วยเทคนิคการทำให้เกิดครีมนำพอลิเมอร์ที่ไวต่อความร้อน (thermal sensitive polymer) ที่มีค่า อุณหภูมิสารละลายวิกฤติ (lower critical solution temperature, LCST) ระหว่าง 30-100°C มาใช้เป็นสารครีมน้ำยางที่แยกตัวออกมานี้มีความเข้มข้นของเนื้อยางในช่วงร้อยละ 40-60 โดยน้ำหนัก สามารถนำไปแปรรูปเป็นน้ำยางความเข้มข้นสูงที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางประมาณร้อยละ 60-80 โดยน้ำหนัก ได้โดยการปั่นเหวี่ยงในเครื่องเหวี่ยงแยกหนีศูนย์กลาง ซึ่งมีคุณสมบัติที่ได้ใกล้เคียงกับน้ำยางชั้นที่ได้จากการปั่นความเร็วสูง ดังแสดงในตารางที่ 2.5 และสามารถนำไปแปรรูปเป็นน้ำยางแห้งโดยการปล่อยให้แห้ง หรือจับตัวด้วยกรดความเข้มข้นต่ำแทนการใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ส่วนน้ำทิ้งที่อยู่ด้านล่างเมื่อให้ความร้อนจนกระทั่งมีอุณหภูมิ 30-100°C พอลิเมอร์ที่ไวต่อความร้อนจะแยกตัวออกมา และสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ โดยกระบวนการนี้สามารถรวบรวมเนื้อยางกลับได้ในปริมาณร้อยละ 90-100 โดยน้ำหนักของหางน้ำยาง ได้เนื้อยางแห้งที่มีคุณภาพสูง คือ มีสีจางและมีโปรตีนเจือปนอยู่น้อย

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของน้ำยางชั้นที่ได้จากการครีมน้ำยางชั้นจากการปั่นความเร็วสูง

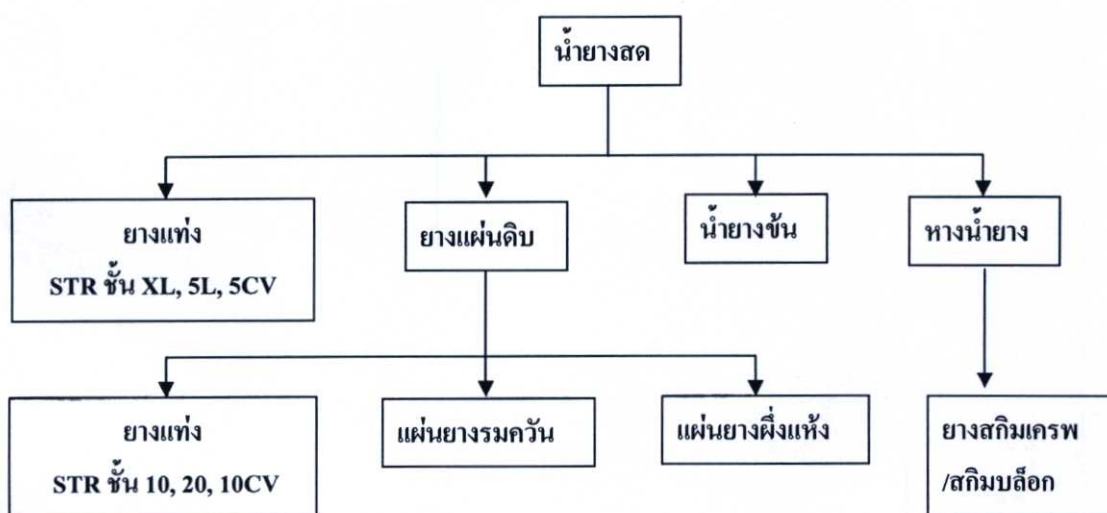
คุณสมบัติ	น้ำยางชั้น	
	ได้จากการปั่นความเร็วสูง	ได้จากการครีม A702
% Total Solid Content (TSC)	35 – 45 %	35 – 45 %
% Dry Rubber Content (DRC)	30 – 43 %	33 – 44 %
Non-Rubber Content (NRC)	2 - 5 %	1 - 2 %
Volatile Fatty Acid (VFA)	< 0.08	< 0.08
% Alkalinity	Adjustable	Adjustable
pH	10	10
Magnesium	400 – 2000 ppm	Zero

Source: R&D Lab – Tavorn Rubber Industry (1982) Co., Ltd.

2.3 ประเภทและมาตรฐานของยางแปรรูป[18-19]

2.3.1 ประเภทของยางแปรรูป

โดยทั่วไปยางธรรมชาติที่ได้จากต้นยางในรูปของน้ำยาง จะถูกนำมาแปรรูปเพื่อจัดจำหน่ายในรูปแบบต่างๆ โดยแบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ น้ำยางชั้น ยางเครพ ยางแท่ง และยางแผ่นยางรมควัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 [18]



รูปที่ 2.5 การแปรรูปน้ำยางสดในรูปแบบต่างๆ[18]

2.3.1.1 น้ํายางข้น (concentrated latex) น้ํายางข้นได้จากการนำน้ํายางสดผ่านกระบวนการทำให้เป็นน้ํายางที่มีความเข้มข้น คือ มีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณร้อยละ 60 โดยน้ําน้ำหนัก ซึ่งสูงกว่าน้ํายางสดที่มีปริมาณเนื้อยางประมาณร้อยละ 25-30 โดยน้ําน้ำหนัก ทำให้การขนส่งสามารถทำได้ง่ายขึ้นเป็นอย่างมาก และเหมาะสมกับการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ต้องการคุณภาพสูง เช่น ถุงมือยาง และถุงยางอนามัย ดังนั้นการผลิตน้ํายางข้นจึงมีการลงทุนทางด้านเครื่องจักรและอุปกรณ์ตลอดจนการใช้เทคโนโลยีการผลิตสูงกว่าการผลิตยางประเภทอื่นๆ

2.3.1.2 ยางเครพ (crepe rubber) เป็นยางที่ได้จากการนำเศษยางไปรีดด้วยเครื่องเครพ และมีการใช้น้ําน้ำเพื่อล้างสิ่งสกปรกออกจากยางในขณะรีดยาง เนื่องจากยางที่ใช้โดยมากเป็นยางที่มีมูลค่าต่ำ มีสิ่งสกปรกเจือปนค่อนข้างมาก เช่น น้ํายางสกิม, เศษยางก้นถ้วย, เศษยางที่ติดบนเปลือกไม้หรือติดบนดิน, และเศษยางที่ได้จากการผลิตยางแผ่นรมควัน หลังจากรีดในเครื่องเครพแล้วจะนำยางไปผึ่งแห้งหรืออบแห้งด้วยลมร้อน ยางเครพที่ได้จะมีสีค่อนข้างเข้ม และมีหลายรูปแบบ เช่น brown crepe, flat bark crepe, skim crepe และ blanket crepe ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์และชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

2.3.1.3 ยางแท่ง STR (block rubber) [19] ประเทศไทยเริ่มผลิตยางแท่งเมื่อปี 2511 เพื่อปรับปรุงรูปแบบให้มีขนาดเหมาะสมกับการใช้ในภาคอุตสาหกรรม โดยมีการตรวจสอบคุณภาพทางวิทยาศาสตร์ และจำแนกชั้นตามข้อกำหนดมาตรฐาน วัตถุดิบที่ใช้ผลิตยางแท่งใช้ได้ทั้ง น้ํายางสดที่จับตัวแล้ว และยางแห้ง เช่น ยางแผ่นดิบ และเศษยางก้นถ้วย ขั้นตอนที่สำคัญในการผลิตคือ ตัดย่อยยางดิบให้เป็นชิ้นเล็กๆ นำไปล้าง อบให้แห้ง และอัดเป็นแท่งขนาด 33.3 กิโลกรัม โดยยางแท่ง STR แบ่งเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ STR10, STR20, STR 5L และ STR CV ยางแท่ง STR ใช้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตยางล้อรถยนต์ โดยทั่วไปคุณสมบัติของยางแท่ง STR 20 สามารถใช้ทดแทนกันได้กับยางแผ่นรมควัน ชั้น 3

2.3.1.4 ยางแผ่นรมควัน เป็นการแปรรูปยางโดยผู้ส่งออกซื้อยางแผ่นดิบมาจากชาวสวน แล้วนำไปรมควันเพื่อทำให้เป็นยางสุก

2.3.2 มาตรฐานของยางแปรรูปชนิดต่างๆ [14]

2.3.2.1 ข้อกำหนดมาตรฐานน้ำยางชั้นไทย แสดงไว้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ข้อกำหนดมาตรฐานน้ำยางชั้นไทย (มอก. 980 – 2533)[14]

สมบัติ	ขีดจำกัดน้ำยางชั้นชนิดปั่น	
	HA	LA
ปริมาณของแข็งทั้งหมด 1/, %(มวล/มวล), ต่ำสุด	61.5	61.5
ปริมาณเนื้อยางแห้ง, %(มวล/มวล), ต่ำสุด	60	60
ปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่เนื้อยาง 2/, %(มวล/มวล), สูงสุด	1.8	1.8
ความเป็นด่าง (ในรูปแอมโมเนีย), %(มวล/มวล) ของน้ำยาง	0.6	0.29
	(ต่ำสุด)	(สูงสุด)
เวลาความคงตัวต่อเครื่องกล 3/, วินาที, ต่ำสุด	650	650
ปริมาณของยางจับตัว, %(มวล/มวล) สูงสุด	0.05	0.05
ปริมาณทองแดง, มก./กก. ของปริมาณของแข็งทั้งหมด, สูงสุด	8	8
ปริมาณแมงกานีส, มก./กก. ของปริมาณของแข็งทั้งหมด, สูงสุด	8	8
ปริมาณตะกอน, %(มวล/มวล) สูงสุด	0.1	0.1
จำนวนกรดไขมันระเหยได้ (VFA No.)	ตามที่ตกลงกันระหว่างผู้ผลิตและผู้ใช้ แต่ต้องไม่เกิน 0.15	
จำนวนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 4/ (KOH No.)	ตามที่ตกลงกันระหว่างผู้ผลิตและผู้ใช้ แต่ต้องไม่เกิน 1.0	
การตรวจสีด้วยสายตา	ไม่เป็นสีฟ้าหรือสีเทา	
การตรวจกลิ่นภายหลังการทำให้เป็นกลางโดยกรดบอริก	ไม่มีกลิ่นบูดเน่า	

- 1/ ปริมาณของแข็งทั้งหมดเลือกได้ตามที่ต้องการ
- 2/ ผลต่างระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดกับปริมาณเนื้อยางแห้ง
- 3/ เวลาความคงตัวต่อเครื่องกลต่ำสุดอาจเป็นค่าที่สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ได้
- 4/ ถ้าน้ำยางประกอบด้วยกรดบอริก จำนวนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อาจเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ได้ โดยปริมาณที่เกินไปนั้นมีสมมูลย์เท่ากับกรดบอริก ซึ่งทดสอบหาได้โดยวิธีของ ISO 1802

2.3.2.2 ข้อกำหนดมาตรฐานยางแผ่นรมควันชั้น 1, 2 และ 3 แสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 มาตรฐานยางแผ่นรมควัน[14]

สมบัติ	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3
การขึ้นรา	ต้องไม่มีราหรือมีราแห้งเล็กน้อย เฉพาะผิวของแผ่นยางที่ห่อ	มีราสนิมได้เล็กน้อย หรือมีราแห้งที่แผ่นยางที่ใช้ห่อ แต่ไม่เกิน 5% ของตัวอย่างที่ตรวจ	มีราสนิมได้เล็กน้อย หรือมีราแห้งที่แผ่นยางที่ใช้ห่อ แต่ไม่เกิน 10% ของตัวอย่างที่ตรวจ
สมบัติของยางแผ่น	ยางทุกแผ่นจะต้องมีสมบัติดังนี้คือ - แห้ง - เนื้อแข็ง - ไม่มีจุดพอง - ไม่มีกรวดทราย - ไม่มีสิ่งปนเปื้อน - ไม่มีตำหนิใด ๆ - สะอาด - ไม่มีราสนิม	ยางทุกแผ่นจะต้องมีสมบัติดังนี้คือ - แห้ง - เนื้อแข็ง - ไม่มีจุดพอง - ไม่มีกรวดทราย - ไม่มีสิ่งปนเปื้อน - ไม่มีตำหนิใด ๆ - สะอาด	ยางทุกแผ่นจะต้องมีสมบัติดังนี้คือ - แห้ง - เนื้อแข็ง - ไม่มีจุดพอง - ไม่มีกรวดทราย - ไม่มีสิ่งปนเปื้อน
ตำหนิที่ยอมรับได้	- มีฟองอากาศขนาดหัวเข็มหมุดกระจายอยู่ทั่วแผ่น - มีจุดดำ ๆ ของเปลือกไม้เล็กน้อย	- มีฟองอากาศขนาดเล็ก - มีจุดดำ ๆ ของเปลือกไม้เล็กน้อย	- มีฟองอากาศขนาดเล็ก - มีจุดดำ ๆ ของเปลือกไม้เล็กน้อย
ตำหนิที่ยอมรับไม่ได้	- ยางเหนียวเยิ้ม - ยางเนื้ออ่อน - ยางแก่ไฟ - ยางไหม้ - ยางอ่อนรมควัน - ยางแก่รมควัน - ยางทึบ	- ยางเหนียวเยิ้ม - ยางเนื้ออ่อน - ยางแก่ไฟ - ยางไหม้ - ยางอ่อนรมควัน - ยางแก่รมควัน - ยางทึบ	- ยางเหนียวเยิ้ม - ยางเนื้ออ่อน - ยางแก่ไฟ - ยางไหม้ - ยางอ่อนรมควัน - ยางแก่รมควัน - ยางทึบ

2.3.2.3 ข้อกำหนดมาตรฐานยางแห่งประเทศไทย แสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ข้อกำหนดมาตรฐานยางแห่งประเทศไทย[14]

สมบัติ/ชั้นยางแท่ง	STR XL	STR 5L	STR 10	STR 20
	น้ำยาง		ยางก้อน/ยางแผ่น	
ปริมาณสิ่งสกปรก, % ไม่เกิน	0.02	0.04	0.08	0.16
ปริมาณเถ้า, % ไม่เกิน	0.4	0.4	0.6	0.8
ปริมาณไนโตรเจน, % ไม่เกิน	0.5	0.6	0.6	0.6
ปริมาณสิ่งระเหย, % ไม่เกิน	0.8	0.8	0.8	0.8
ความอ่อนตัวเริ่มแรก, ไม่ต่ำกว่า	35	35	30	30
ดัชนีความอ่อนตัว, ไม่ต่ำกว่า	60	60	50	40
สี วัดด้วยโลวิบอนด์ ไม่เกิน	4	6	-	-
ความหนืด ML (1'+4') 100°C	-	-	-	-
แถบสี	ฟ้า	เขียวอ่อน	น้ำตาล	แดง

2.4 พฤติกรรมการแยกวัฏภาคของสารละลายพอลิเมอร์ [20-21]

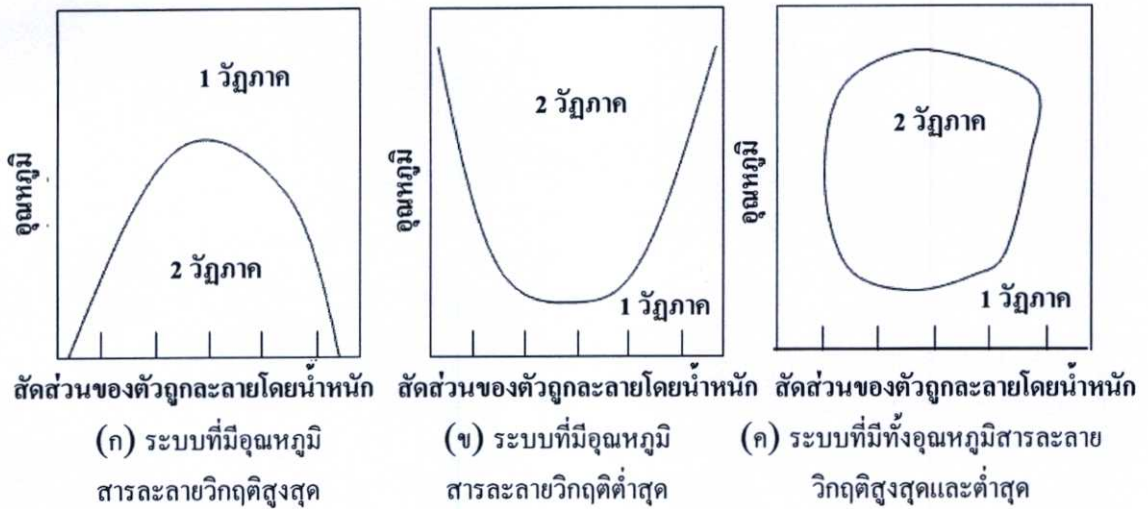
สำหรับระบบที่มีการละลายซึ่งกันและกันได้บางส่วน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอาจทำให้พอลิเมอร์เกิดการแยกวัฏภาค (phase separation) เป็นของแข็งและของเหลวขึ้น ซึ่งเป็นการทำให้ตัวทำละลายที่ดีเปลี่ยนเป็นตัวทำละลายที่ไม่ดี (poorer solvent) เนื่องมาจากการเปลี่ยนอุณหภูมิมิมีผลต่อเทอร์โมไดนามิกส์ของของผสม โดยอุณหภูมิสูงสุดหรือต่ำสุดที่ของเหลวทั้งสองสามารถละลายกันได้เรียกว่า อุณหภูมิสารละลายวิกฤติ (critical solution temperature)

พฤติกรรมการละลายที่สามารถละลายซึ่งกันและกันได้บางส่วนมี 3 ประเภท คือ

ก) ระบบที่มีอุณหภูมิสารละลายวิกฤติสูงสุด (upper critical solution temperature, UCST) ระบบนี้เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิจนสูงเกิน UCST พอลิเมอร์และตัวทำละลายจะละลายกลายเป็นสารละลายเนื้อเดียว และเมื่อลดอุณหภูมิลงจนต่ำกว่า UCST จะทำให้เกิดการแยกวัฏภาคขึ้น ลักษณะการแยกวัฏภาคชนิดนี้จะพบมากในพอลิเมอร์เกือบทุกชนิด ดังรูปที่ 2.6 (ก)

ข) ระบบที่มีอุณหภูมิสารละลายวิกฤติต่ำสุด (lower critical solution temperature, LCST) ระบบนี้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เกิดการแยกวัฏภาคเป็น 2 วัฏภาคได้มากขึ้น เนื่องจากมีความสามารถในการละลายได้น้อยลง แต่จะรวมเป็นเนื้อเดียวกันเมื่อลดอุณหภูมิจนถึง LCST ลักษณะการแยกวัฏภาคชนิดนี้มักพบเมื่อพอลิเมอร์มี interaction กับตัวทำละลาย เช่น พันธะไฮโดรเจน การถ่ายเทประจุ หรือการลดปริมาตรเมื่อทำการผสม ทำให้เอนโทรปีของการผสมลดลง ดังรูปที่ 2.6 (ข)

ค) ระบบที่มีทั้งอุณหภูมิสารละลายวิกฤติสูงสุดและต่ำสุด ระบบนี้จะมีเส้นโค้งการละลายปิด (closed solubility curve) เกิดขึ้นเนื่องจากระบบมีทั้งอุณหภูมิสารละลายวิกฤติสูงสุดและต่ำสุด ดังรูปที่ 2.6 (ค)



รูปที่ 2.6 สมดุลวัฏภาคของระบบที่มีอุณหภูมิสารละลายวิกฤติแบบต่างๆ [20]

2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิสารละลายวิกฤติ [20]

ก) จำนวนสายโซ่โมเลกุล

จากทฤษฎีของ Flory – Huggins

$$X = a + \frac{b}{T} \quad (2.1)$$

โดย X คือ อันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์กับตัวทำละลาย ซึ่งเป็นปริมาณไม่มีหน่วย

T คือ อุณหภูมิ (°C)

a และ b คือค่าคงที่ (ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ)

สมการข้างต้นไม่สามารถคำนวณค่าได้ถูกต้องแม่นยำเหมือนค่าที่ได้จากการทดลอง แต่สามารถใช้ประมาณแนวโน้ม ซึ่งความผิดพลาดอาจเนื่องมาจากความบริสุทธิ์ของตัวทำละลายพอลิเมอร์ และอนุมานว่าการผสมสารละลายไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

โมเลกุลพอลิเมอร์เป็นสายโซ่ของส่วน โมเลกุล (segments) ซึ่งแต่ละ segment มีขนาดเท่า

กับโมเลกุลของตัวทำละลาย โดยจำนวนของ segment (x) ในสายโซ่บอกถึงขนาดโมเลกุลพอลิเมอร์ มีค่าเท่ากับอัตราส่วนปริมาตรของโมเลกุล (molecular volume) ของพอลิเมอร์ต่อปริมาตรของตัวทำละลาย

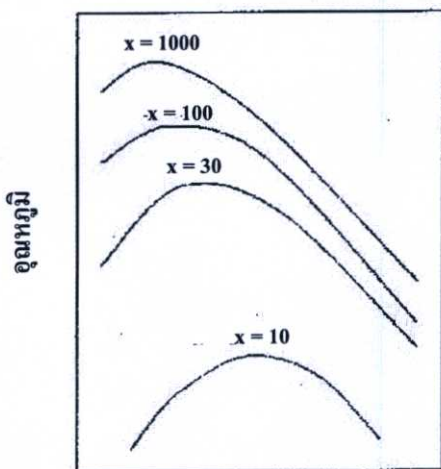
ค่าวิกฤติของ interaction parameter (X_c) มีความสัมพันธ์กับขนาดของสายโซ่พอลิเมอร์ หรือจำนวน segment (x) ดังนี้

$$X_c = \frac{1 + 2x^{-0.5} + x^{-1}}{2} \quad (2.2)$$

$$\phi 2c = \frac{1}{1 + x^{0.5}} \quad (2.3)$$

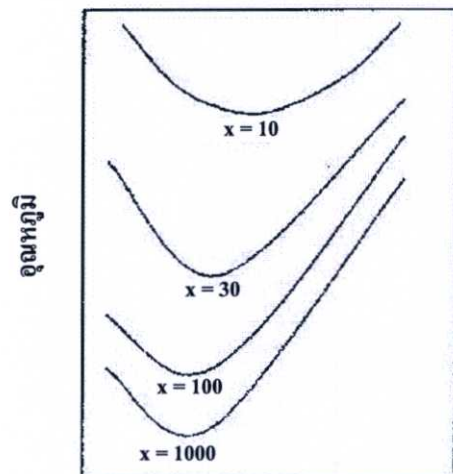
โดย $\phi 2c$ คือ สัดส่วนของตัวถูกละลายโดยปริมาตร

เมื่อมวลโมเลกุลของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ทำให้จำนวน segment มากขึ้น ซึ่งจากสมการที่ (2.1) อุณหภูมิจะมีค่าเพิ่มขึ้น และจากสมการที่ (2.2) ค่าอันตรกิริยาจะลดลงดังรูปที่ 2.7 (ก) โดยระบบ LCST มีผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอิสระ (free volume) ของพอลิเมอร์ และตัวทำละลายที่ไม่เหมือนกัน เป็นผลให้ค่าอันตรกิริยา (X) เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ดังรูปที่ 2.7 (ข)



สัดส่วนของตัวถูกละลายโดยน้ำหนัก

(ก)



สัดส่วนของตัวถูกละลายโดยน้ำหนัก

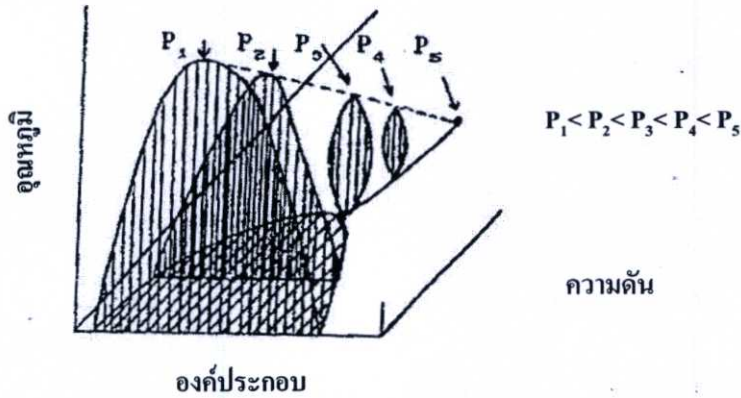
(ข)

รูปที่ 2.7 ผลของจำนวนสายโซ่ (chain segment, x) ที่มีต่อแผนภูมิวิกฤต[20]

(ก) ระบบอุณหภูมิสารละลายวิกฤติสูงสุด (ข) ระบบอุณหภูมิสารละลายวิกฤติต่ำสุด

ข) ความดัน

ความดันเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการละลายของของเหลวที่สามารถละลายซึ่งกันและกันได้บางส่วน การเพิ่มความดันจะทำให้อุณหภูมิสารละลายวิกฤตสูงสุด (UCST) ลดลง และอุณหภูมิสารละลายวิกฤตต่ำสุด (LCST) เพิ่มขึ้น ดังนั้นทุกระบบสามารถมีไค้งการละลายปิด ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ผลของความดันที่มีต่อแผนภูมิวิภูภาค[20]

ค) สารปนเปื้อน[22]

อุณหภูมิวิกฤตมีผลเปลี่ยนแปลงต่อการเติมสารที่สามหรือสารปนเปื้อนลงไป ซึ่งสารปนเปื้อนที่เติมลงไปจะส่งผลกระทบต่อตำแหน่งของอุณหภูมิสารละลายวิกฤต และเปลี่ยนรูปร่างเส้นไค้งการละลายของของเหลว โดยเมื่อสารปนเปื้อนละลายในสารละลายตัวใดในสารละลายผสม 2 ชนิด จะส่งผลทำให้อุณหภูมิสารละลายวิกฤตสูงสุด (UCST) เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิสารละลายวิกฤตต่ำสุด (LCST) ลดลง แต่ถ้าสารปนเปื้อนละลายได้ในสารละลายทั้ง 2 ชนิด จะทำให้อุณหภูมิสารละลายวิกฤตสูงสุด (UCST) ลดลง และอุณหภูมิสารละลายวิกฤตต่ำสุด (LCST) เพิ่มขึ้น

2.5 อุปกรณ์และวิธีการนำกลับพอลิเมอร์ [23-26]

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำกลับสารคริมที่ใช้ในการคริมหางน้ำยาง ซึ่งสารคริมที่ใช้เป็นพอลิเมอร์ที่ไวต่อความร้อน (thermal sensitive polymers) โดยงานวิจัยที่ได้กล่าวถึงวิธีการและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการนำกลับพอลิเมอร์ ได้แก่ สิทธิบัตร WO/1997/016237 [23] เสนอวิธีการและอุปกรณ์เพื่อแยกของเหลวผสมที่ไวต่อความร้อน (temperature sensitive liquid mixtures) โดยการพ่นของเหลวผสมที่ต้องการแยกให้เป็นฝอย โดยใช้ nozzle เพื่อให้เกิดประจุไฟฟ้าขึ้น แล้วซึมผ่านแผ่นเมมเบรนที่มีการให้ความร้อน

สิทธิบัตรเกาหลี (publication number 1020060076678A) [24] ได้เสนอวิธีนำกลับเซลล์โลสที่อยู่ในน้ำทิ้งของกระบวนการผลิต โดยนำน้ำทิ้งมากรองด้วยแผ่นเมมเบรน (ขนาดช่อง 1-10 nm) และสั่นด้วยความถี่ 100,000-150,000 รอบต่อวินาที เพื่อแยกสารอื่นๆ ออกจากเซลล์โลส

สิทธิบัตร WO/1998/002467 [25] ได้เสนอวิธีการอุปกรณ์ในการนำกลับพอลิเมอร์ในตัวทำละลาย โดยการใช้เครื่องทำให้แห้งด้วยความร้อน (thermal dryer) ซึ่งเป็นวิธีการนี้ต้องใช้พลังงานจำนวนมาก เพื่อที่จะระเหยตัวทำละลายออกจากพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิ 50-290°C จากนั้นไอของตัวทำละลายจะถูกแยกออกจากเครื่องทำให้แห้งด้วยความร้อน ด้วยระบบสุญญากาศที่ความดัน 10-200 mmHg โดยพอลิเมอร์ที่นำกลับได้ยังคงมีตัวทำละลายเจือปนเล็กน้อย

Xavier Bourges และคณะ[26] ได้กล่าวถึงวิธีการแยกเซลล์โลสใน injectable bone substitute (IBS) ซึ่งประกอบด้วยเซลล์โลสและ biphasic calcium phosphate (BCP) โดยการนำ IBS มาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง ultracentrifuge ที่ความเร็วรอบสูง 20,000 rpm นาน 30 นาที และกรองชั้นน้ำด้วยแผ่นกรองขนาดช่อง 0.4 ไมโครเมตร และนำไปอบที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง

2.6 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

2.6.1 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Breakeven Analysis) [27-28]

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน เป็นการพิจารณาหาปริมาณคุ้มทุน เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจว่าควรจะมีระดับการผลิตเท่าใดที่ทำให้รายได้มีค่าเท่ากับค่าใช้จ่าย หรือใช้ในการตัดสินใจว่าจะทำการผลิตสินค้าเองหรือว่าจ้างช่างผู้รับเหมา ปริมาณดังกล่าวเรียกว่า จุดคุ้มทุน (Q_{BE}) ซึ่งปริมาณนี้คำนวณจากความสัมพันธ์ของรายได้และค่าใช้จ่ายที่ระดับการผลิตที่แตกต่างกัน ขนาดของระดับการผลิตอาจจะเป็นปริมาณต่อปี เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการผลิต ชั่วโมงในการผลิตต่อเดือน และอื่นๆ

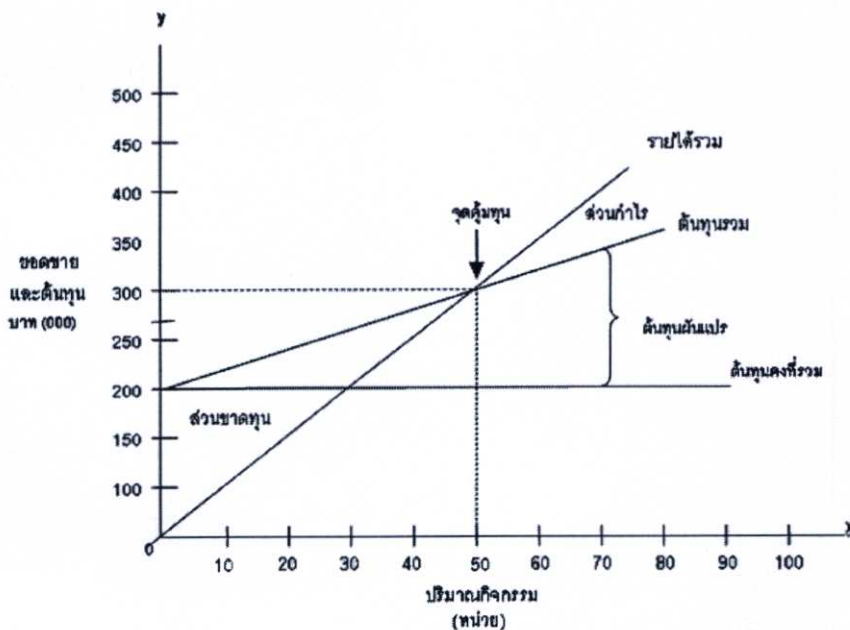
ต้นทุนอาจจะเป็นเส้นตรงหรือไม่ใช่เส้นตรงโดยประกอบด้วย

- ต้นทุนคงที่ เป็นค่าคงที่หรือมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงสำหรับตัวแปรทุกตัว แม้ว่าระดับการผลิตจะเปลี่ยนไป หรือแม้ว่าจะไม่มีการผลิตเลย ต้นทุนประเภทนี้ก็ยังคงเกิดขึ้น แต่สถานการณ์นี้ไม่ควรเกิดขึ้นนาน ถ้าไม่มีการผลิตก็ควรปิดโรงงานเพื่อเป็นการลดต้นทุนดังกล่าว ต้นทุนคงที่ที่สามารถลดลงได้ถ้าปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักร, ระบบสารสนเทศและสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ต้นทุนคงที่ได้แก่ ต้นทุนการสร้างอาคาร, ค่าประกัน, ค่าใช้จ่ายโรงงานคงที่, ค่าต้นทุนคงที่แรงงาน, ต้นทุนอุปกรณ์และระบบสารสนเทศ เป็นต้น

- ต้นทุนผันแปร เป็นต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงเมื่อระดับกำลังการผลิตเปลี่ยนแปลง หรือขนาดของโรงงานเปลี่ยนแปลง เราสามารถลดต้นทุนแปรผันได้โดยการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ดี, การผลิตที่มีประสิทธิภาพ, การปรับปรุงคุณภาพและการปรับปรุงความปลอดภัย, และเพิ่มปริมาณการขาย ต้นทุนผันแปรได้แก่ ต้นทุนแรงงานทางตรง ต้นทุนวัสดุ ต้นทุนทางอ้อม ค่าการตลาด ค่าจ้างผู้รับเหมาช่าง ค่าโฆษณา และค่าประกันผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

- ต้นทุนรวม คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ในการผลิต สามารถคำนวณได้จากต้นทุนคงที่รวมกับต้นทุนผันแปร

โดยที่จุดคุ้มทุน (Q_{BE}) คือ จุดตัดระหว่างรายได้กับต้นทุนรวมดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงต้นทุน ปริมาณการผลิต และจุดคุ้มทุน [28]

2.6.2 งวดเวลาคืนทุน (Payback Period) [29]

ระยะเวลาคืนทุน หมายถึง ระยะเวลาที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากการลงทุน มีจำนวนเท่ากับกระแสเงินสดที่จ่ายลงทุนสุทธิตอนเริ่มโครงการ การคำนวณระยะเวลาคืนทุนจำแนกเป็น 2 กรณีคือ

กรณีที่ 1 กระแสเงินสดรับสุทธิมีจำนวนเท่ากันทุกปี

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มโครงการ}}{\text{เงินสดรับสุทธิต่อปี}} \quad (2.4)$$

กรณีที่ 2 กระแสเงินสดรับสุทธิต่อปีมีจำนวนแตกต่างกัน การคำนวณระยะเวลาคืนทุนทำได้โดยรวมจำนวนเงินสดสุทธิในแต่ละปีสะสมไปจนกระทั่งมีจำนวนเท่ากับเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มโครงการ

ข้อดีข้อเสียของวิธีงวดเวลาคืนทุนในการตัดสินใจจ่ายลงทุนระยะยาว

- ข้อดี - สะดวกในการคำนวณและให้ความเข้าใจแก่ผู้ลงทุนได้ง่าย
- ข้อเสีย - ไม่ได้แสดงความสามารถในการทำกำไรของโครงการ
 - ไม่คำนึงถึงเงินสดรับภายหลังที่ได้คืนทุนแล้ว
 - ไม่คำนึงค่าเงินตามเวลา

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 สารเคมี

- สาร A 702 (พอลิเมอร์ที่ไวต่อความร้อน)
- น้ำสะอาด
- สารละลายแอมโมเนียเข้มข้นร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก
- หางน้ำยางที่มีเนื้อยางแห้งประมาณร้อยละ 5 จากโรงงานน้ำยางชั้นในภาคตะวันออกและภาคใต้

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- หลอดแก้วทดลอง
- ถ้วยสแตนเลสขนาด 200 มิลลิลิตร (เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร)
- กรวยแยกขนาด 500 มิลลิลิตร
- เครื่องกวนสารแบบแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
- เทอร์โมคัพเปิล
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
- เครื่องชั่งน้ำหนัก
- นาฬิกาจับเวลา
- เครื่องคั่นแบบสำหรับนำกลับสารครีม (รูปที่ 3.3)
- กระดาษกรองเบอร์ 1
- ตะแกรงขนาด 50 เมช
- ตู้อบสารเคมี

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ระบบแบบกะ

3.3.1.1 ขั้นตอนการเตรียมสารตัวอย่าง

- เตรียมสารละลายสารคริม A702 โดยผสมสารคริม A702 กับน้ำสะอาด ที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 1 วัน
- นำสารละลายสารคริม A702 ผสมกับน้ำสะอาดในอัตราส่วน 1:4 และกวนให้เข้ากันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ในระบบสารคริม A702/น้ำ)
- นำสารละลายสารคริม A702 ผสมกับน้ำสะอาดในอัตราส่วน 1:4 และเติมแอมโมเนียเข้มข้นร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนัก โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เติมมีค่าเท่ากับความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยาง จากนั้นกวนให้เข้ากันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ในระบบสารคริม A702/น้ำ+แอมโมเนีย)
- นำสารละลายสารคริม A702 ผสมกับหางน้ำยางในอัตราส่วน 1:4 และกวนให้เข้ากันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้นในกรวยแยกนาน 12 ชั่วโมง (ในระบบสารคริม A702/น้ำซีรัม) แล้วไขแยกส่วนที่เป็นน้ำซีรัมออกจากส่วนที่เป็นเนื้อยางชั้นในชั้นคริม

3.3.1.2 การหาอุณหภูมิสารละลายวิกฤติต่ำสุดของสาร A702 ใน 3 ระบบ

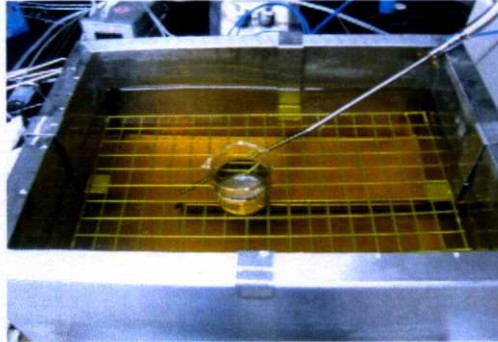
นำสารละลายสาร A702/น้ำ, สารละลายสาร A702 /น้ำ+แอมโมเนีย และสารละลายสาร A702 /น้ำซีรัม ในช่วงความเข้มข้นของสาร A702 ร้อยละ 0.3-5 โดยน้ำหนัก มาบรรจุในหลอดแก้ว แล้วนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ และเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ (ประมาณ 1°C ใน 1 ชั่วโมง) พร้อมทั้งสังเกตการเปลี่ยนสีของสารละลายสาร A702 ที่อุณหภูมิต่างๆ

3.3.1.3 การนำกลับสาร A702 ในระบบสารคริมในน้ำและสารคริมในน้ำที่มีแอมโมเนีย

นำสาร A 702/น้ำ และ A 702/น้ำ+แอมโมเนีย ปริมาณ 50 กรัม ใส่ด้วยสแตนเลสแล้วไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ โดยควบคุมให้อุณหภูมิของสารละลายสาร A702 อยู่ที่ 85 และ 95°C ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ให้ความร้อนแก่สารละลายสาร A702 ไว้เป็นเวลาต่างๆ นาน 0 – 120 นาที เมื่อครบเวลาที่ต้องการ กรองสารละลายสาร A702 ผ่านกระดาษกรองในตาอบ ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการนำกลับสาร A 702 และอบกระดาษกรองที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 วัน

3.3.1.4 การนำกลับสารครีม A702 ในระบบสารครีมในน้ำซีรัม

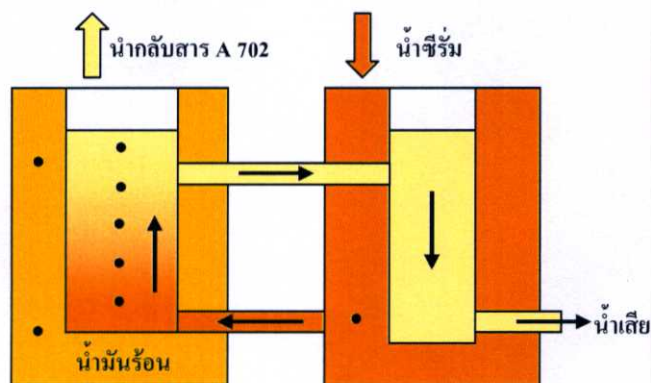
นำสารละลายสาร A702/น้ำซีรัม ปริมาณ 50 กรัม ใส่ด้วยสแตนเลสแล้วไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิดังรูป 3.1 ให้ความร้อนแก่สาร A702 ไว้เป็นเวลาต่างๆ นาน 0-60 นาที โดยจะเริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิของสาร A702 อยู่ที่ 85, 90 และ 95°C ตามลำดับ เมื่อครบเวลาที่ต้องการ กรองสารละลายสาร A 702 ด้วยตะแกรงขนาด 50 เมช แล้วนำสาร A702 (เจล) ที่นำกลับได้ อบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 วัน



รูปที่ 3.1 อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการนำกลับสาร A702 แบบกะ

3.3.2 ระบบแบบต่อเนื่อง

ทดลองนำกลับสารครีม A702/น้ำซีรัม ด้วยเครื่องนำกลับสารครีมที่ออกแบบขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และ 3.3 โดยใช้อุณหภูมิในการนำกลับสาร A702 ที่ 90°C และป้อนสาร A702/น้ำซีรัม เข้าเครื่องนำกลับสารครีมอย่างต่อเนื่องโดยควบคุมอัตราการป้อนสาร A702/น้ำซีรัม และระยะเวลาที่สาร A702 อยู่ในเครื่องนานตั้งแต่ 15-55 นาที แล้วนำสาร A702 (เจล) ที่นำกลับได้อบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 วัน



รูปที่ 3.2 ไดอะแกรมเครื่องนำกลับสาร A702 แบบต่อเนื่อง

(ลูกศรแสดงทิศทางการไหลของน้ำซีรัม, ● แสดงตำแหน่งควบคุมอุณหภูมิ)



รูปที่ 3.3 เครื่องต้นแบบสำหรับน้ำกลับสารครีม A702

3.4 วิธีคำนวณผลการทดลอง

3.4.1 ร้อยละยางแห้ง

$$\text{ร้อยละยางแห้งในทางน้ำยาง} = \frac{\text{นน.ยางในทางน้ำยาง} \times 100}{\text{ที่จับตัวด้วยกรดและอบแห้ง} \times \text{นน.ทางน้ำยาง}} \quad (3.1)$$

$$\text{ร้อยละยางแห้งในยางชั้นครีม} = \frac{\text{นน.ยางชั้นครีม} \times 100}{\text{ที่จับตัวด้วยกรดและอบแห้ง} \times \text{นน.ชั้นครีม}} \quad (3.2)$$

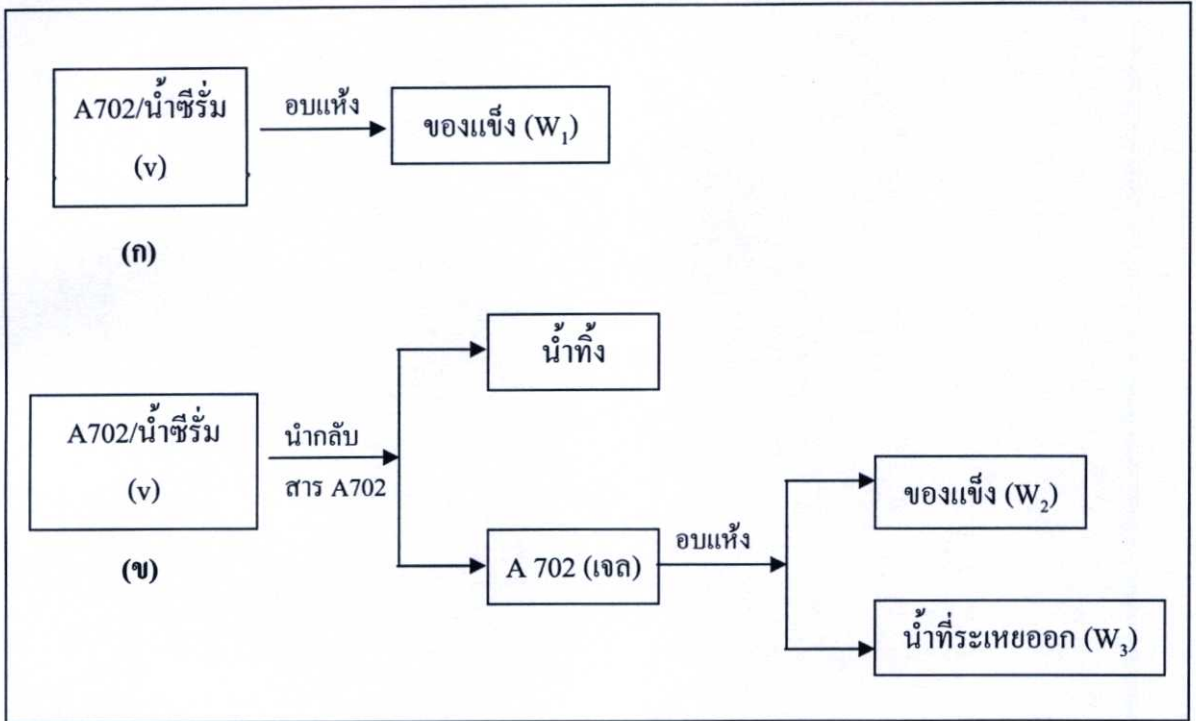
3.4.2 ร้อยละการนำกลับยาง

$$\text{ร้อยละการนำกลับยาง} = \frac{\text{ร้อยละยางแห้งในยางชั้นครีม} \times \text{น้ำหนักของชั้นครีม}}{\text{ร้อยละยางแห้งในทางน้ำยาง} \times \text{น้ำหนักของทางน้ำยาง}} \times 100 \quad (3.3)$$

3.4.3 ร้อยละการนำกลับสาร A702

3.4.3.1 ระบบแบบกะ

สมมุติฐานและวิธีการคำนวณร้อยละการนำกลับสาร A702 แสดงในภาคผนวก ค ซึ่งได้จากการทำดุลมวลสาร A702 ดังแสดงในรูปที่ 3.4 กลายเป็นสมการที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนผังแสดงคูลมวลของสาร A702

(ก) ระบบที่ไม่มี การนำกลับสาร A702, (ข) ระบบที่มีการนำกลับสาร A702

$$\text{ร้อยละการนำกลับสาร A702} = \frac{W_2 - \left[W_3 \times \frac{W_1 - (Y \times \frac{v}{V})}{v} \right]}{Y \times \frac{v}{V}} \times 100 \quad (3.4)$$

3.4.3.2 ระบบแบบต่อเนื่อง

การคำนวณร้อยละการนำกลับสาร A702 ในระบบแบบต่อเนื่อง มีสมมุติฐาน เช่นเดียวกับการทดลองในระบบแบบกะ แต่การทดลองในระบบต่อเนื่องต้องนำ A702 (เจล) ที่ได้จากการนำกลับ ไปใช้ในการครีมน้ำครั้งต่อไป ซึ่ง A702 (เจล) ที่นำกลับได้ เมื่อนำไปอบแห้งจะไม่สามารถละลายน้ำได้ ดังนั้นจึงไม่สามารถนำไปใช้ในการครีมน้ำครั้งต่อไปได้ อีกทั้งการทดลองในระบบแบบต่อเนื่องต้องให้ปริมาณน้ำซีรั่มเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการหาน้ำหนักของ W_2 โดยวิธีการระเหยแห้งเพื่อนำค่าไปใช้ในการคำนวณร้อยละการนำกลับสาร A702 จะต้องใช้พลังงานในการระเหยแห้งเป็นจำนวนมาก จึงได้สร้างสมการเพื่อคำนวณร้อยละการนำกลับสาร A702 ขึ้นใหม่ ให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ A702 (เจล) กับประมาณร้อยละการนำกลับ A702 กลายเป็นสมการ 3.5 ดังแสดงในภาคผนวก (ก) โดยเปลี่ยนวิธีการหาน้ำหนักของ

W_2 โดยการนำตัวอย่างของ A702 (เจล) ที่นำกลับได้บางส่วนไปอบแห้งเพื่อจะได้อัตราส่วนของ A02 (เจล) ก่อนอบแห้งและหลังอบแห้ง (R) แล้วนำไปคูณกับปริมาณทั้งหมดของ A702 (เจล) ที่นำกลับได้ จะได้เป็นน้ำหนักของ W_2

$$\text{ร้อยละการนำกลับสาร A702} = \frac{0.45 \times A702 (\text{เจล}) \times R}{Y} \times 100 \quad (3.5)$$

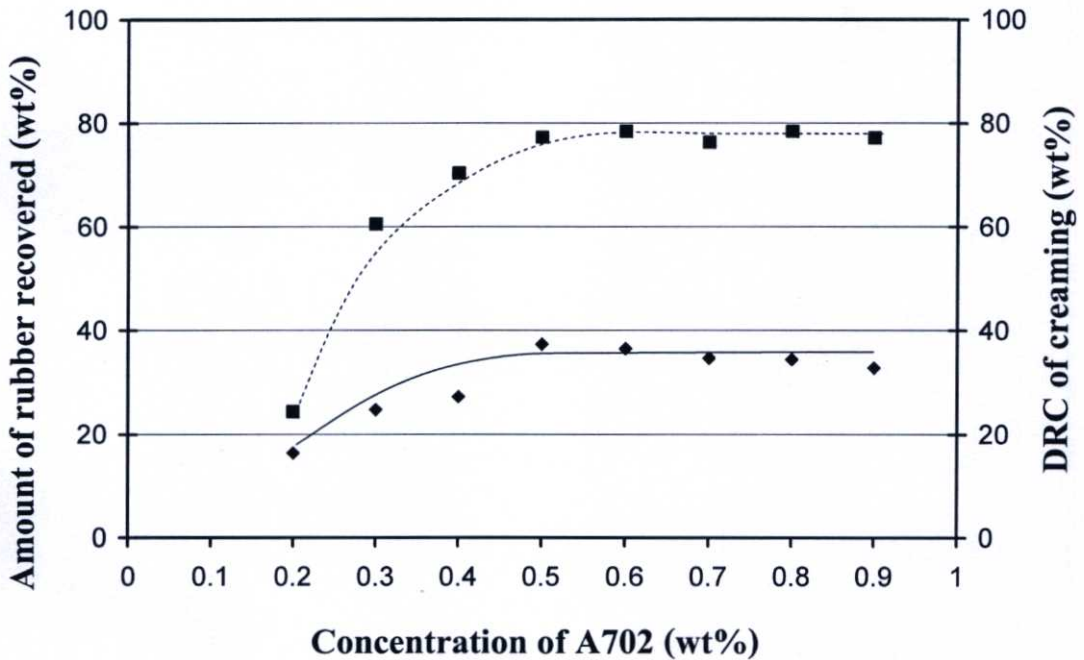
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพของกระบวนการนำกลับสารครีม

4.1.1 ประสิทธิภาพการครีมหางน้ำยางเมื่อใช้สาร A702 ด้วยความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของสาร A702 เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการครีมหางน้ำยาง โดยจะต้องทราบปริมาณสาร A702 ที่ใช้ในการครีมหางน้ำยางอย่างเหมาะสม เพื่อให้สามารถนำกลับเนื้อยางในหางน้ำยางได้ครบ และมีค่าร้อยละยางแห้ง (%DRC) ที่มาก จากรูปที่ 4.1 จะพบว่าเมื่อเลือกใช้สาร A702 เข้มข้นในช่วง 0.5-0.9 %wt จะทำให้ประสิทธิภาพการครีมมีค่าค่อนข้างคงที่ (ทั้งปริมาณเนื้อยางที่นำกลับได้และค่าร้อยละยางแห้งของน้ำยางชั้นที่ได้) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกการครีมโดยใช้สาร A702 ที่มีความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก เป็นสภาวะมาตรฐานของการครีมหางน้ำยางและการนำกลับสาร A702

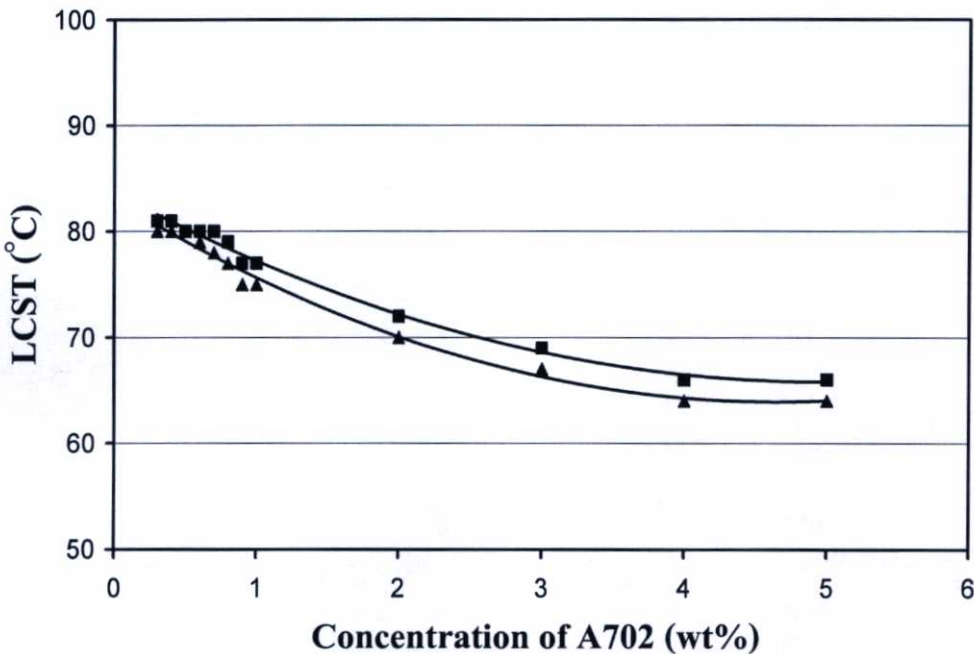


รูปที่ 4.1 อิทธิพลของสารครีม A702 ที่มีต่อประสิทธิภาพการครีมหางน้ำยางที่ความเข้มข้นต่างๆ

(■) Amount of rubber recovered, (◆) DRC of creaming phase

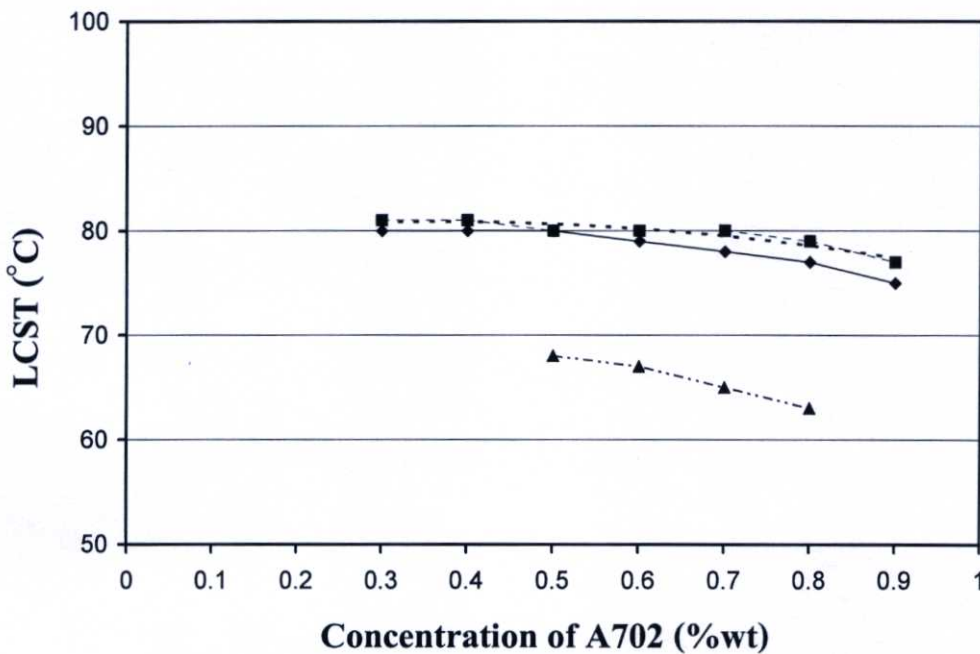
4.1.2 อุณหภูมิสารละลายวิกฤติด้านต่ำ (LCST) ของสารละลาย A702

ในการนำกลับสาร A702 จำเป็นต้องทราบอุณหภูมิ LCST ของสารละลาย A702, ความเข้มข้นของสาร A702 และสารเจือปนในน้ำซีรัมที่มีผลต่ออุณหภูมิ LCST ของระบบ ในการทดลองได้เลือกใช้สารละลาย A702 ในน้ำบริสุทธิ์ และสารละลาย A702 ในสารละลายแอมโมเนีย (น้ำบริสุทธิ์ + 0.7 wt% แอมโมเนีย) เป็นตัวแทนระบบอุดมคติ และสารละลาย A702 ในน้ำซีรัมเป็นระบบที่ใช้จริง เพื่อศึกษาพฤติกรรมการแยกเฟสของสาร A 702 ผลการทดลองในรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ LCST ของสารละลาย A 702 ในน้ำบริสุทธิ์มีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสาร A 702 เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร A 702 ในระหว่างการนำกลับสาร A 702 (ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากการให้ความร้อน) จะไม่ส่งผลให้ปริมาณสาร A 702 ที่นำกลับได้ลดลง และสาร A702 สามารถละลายในน้ำได้มากที่สุดเพียงร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของสาร A702 และแอมโมเนียที่มีต่ออุณหภูมิ LCST ของสารละลาย A702 ในน้ำบริสุทธิ์ (■) สารละลาย A702 ในสารละลายแอมโมเนีย, (▲) สารละลาย A702 ในน้ำบริสุทธิ์

นอกจากนี้ยังพบว่าแอมโมเนียมีผลทำให้ LCST ของสารละลายเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากแอมโมเนีย สามารถละลายได้ทั้งในน้ำและสารครีม จึงทำให้อุณหภูมิ LCST ต่ำสุดเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจากสารละลายสาร A702 ในน้ำประมาณ 2°C และจากผลการทดลองในรูปที่ 4.3 พบว่าในช่วงความเข้มข้นของสาร A702 ที่เหมาะสมในการครีมหางน้ำยาง อุณหภูมิ LCST ของสารละลาย A702 ในน้ำซีรัมต่ำกว่า LCST ของสารละลายตัวแทนตลอดช่วงความเข้มข้นของสารละลาย A702 ที่ใช้ในการทดลอง (ประมาณ 10°C) ซึ่งเป็นผลมาจากส่วนอื่นที่ไม่ใช่ยาง (non-rubber) ที่อยู่ในหางน้ำยาง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าโปรตีนและสิ่งเจือปนต่างๆ ที่มีในหางน้ำยางธรรมชาติจะทำให้ LCST ของสารละลาย A702 ในน้ำซีรัมต่ำลงเหลือประมาณ 65°C

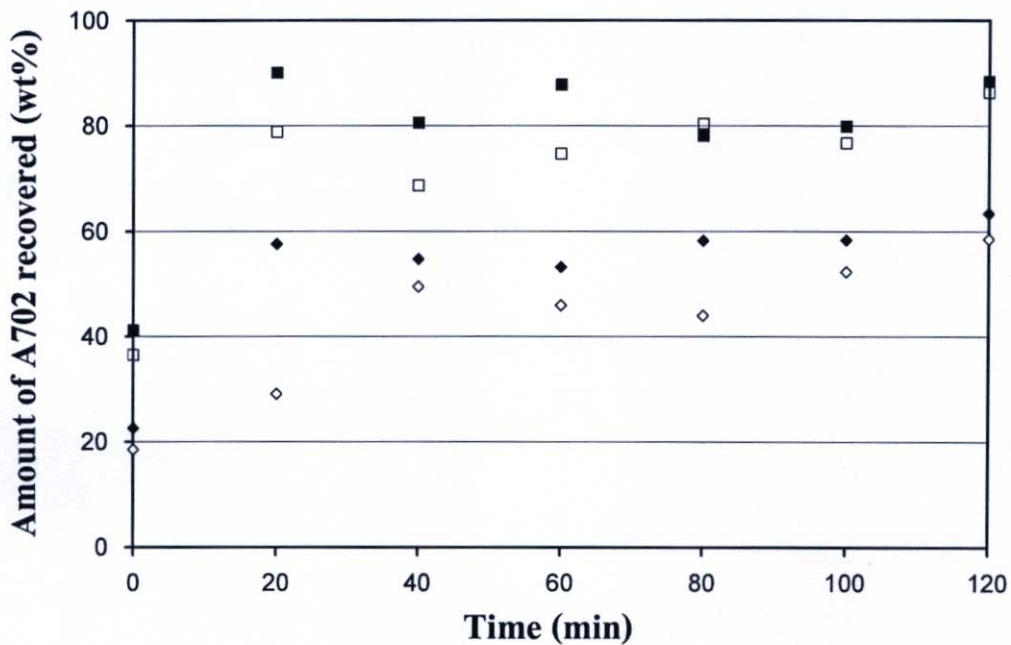


รูปที่ 4.3 อิทธิพลของความเข้มข้นของสาร A702 และแอมโมเนียที่มีต่ออุณหภูมิ LCST ของสารละลาย A702 ในน้ำบริสุทธิ์และน้ำซีรัมที่ความเข้มข้นสาร A702 ต่างๆ
 (■) สารละลาย A702 ในสารละลายแอมโมเนีย, (◆) สารละลาย A702 ในน้ำบริสุทธิ์,
 (▲) สารละลาย A702 ในน้ำซีรัม

4.1.3 อิทธิพลของแอมโมเนียที่มีต่อการนำกลับสารละลาย A702 ในน้ำบริสุทธิ์

เมื่อเตรียมสารละลาย A702 ในน้ำบริสุทธิ์เข้มข้นร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก และนำมาให้ความร้อนเพื่อนำกลับสาร A702 ที่อุณหภูมิ 85°C และ 95°C ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าทั้งสองกรณีเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลาย A702 เป็นเวลานานตั้งแต่ 20 นาทีขึ้นไป ปริมาณการนำกลับสาร A 702 จะเริ่มคงที่ แต่เมื่อเติมแอมโมเนียลงในระบบและใช้อุณหภูมิในการนำกลับต่ำ (85°C) จะต้องให้ความร้อนนานขึ้นเป็น 40 นาที จึงจะได้ปริมาณการนำกลับสาร A702 คงที่

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณการนำกลับหลังจากเริ่มคงที่แล้วจะพบว่า แอมโมเนียในระบบทำให้ปริมาณการนำกลับสาร A702 ลดลงซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในรูปที่ 4.2 คือ การเติมแอมโมเนียทำให้ LCST ของระบบสูงขึ้น



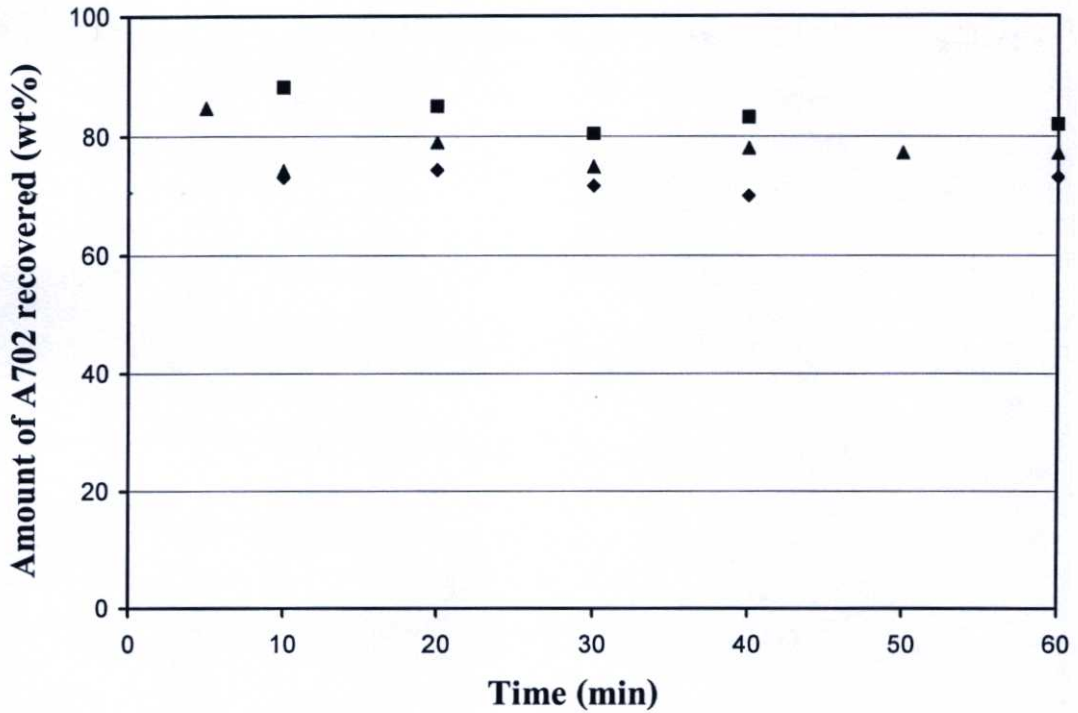
รูปที่ 4.4 อิทธิพลของแอมโมเนียและอุณหภูมิ ที่มีต่อประสิทธิภาพการนำกลับสาร A702 ที่ระยะเวลาในการนำกลับต่างๆ (□) สาร A702 ในสารละลายแอมโมเนียที่ 95°C, (■) สาร A702 ในน้ำบริสุทธิ์ 95°C, (◇) สาร A702 ในสารละลายแอมโมเนียที่ 85°C, (◆) สาร A702 ในน้ำบริสุทธิ์ 85°C

4.1.4 อิทธิพลของลักษณะการให้ความร้อนที่มีต่อการนำกลับสาร A702

เมื่อใช้เวลาในการให้ความร้อนเพื่อนำกลับสาร A702 เท่ากันพบว่าปริมาณสาร A702 ที่นำกลับได้ โดยการเพิ่มอุณหภูมิน้ำซีรัมอย่างรวดเร็วด้วยการให้ความร้อนเฉพาะบริเวณด้านล่างด้วย hotplate มีปริมาณน้อยกว่าการทำให้อุณหภูมิน้ำซีรัมเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ด้วยอ่างน้ำมันร้อน เมื่อสังเกตลักษณะของสารละลาย A702 ระหว่างการให้ความร้อน พบว่าในกรณีแรกจะเกิดการเดือดของน้ำซีรัมในระหว่างการให้ความร้อนเกิดเป็นฟองอากาศไประกวนระบบ ทำให้สาร A702 รวมตัวจับกันเป็นก้อนได้ลดลง จึงสรุปได้ว่าการนำกลับสาร A702 จะเกิดได้ดีเมื่อของเหลวในระบบนี้ ไม่มีการไหลวนของฟองอากาศเนื่องจากการเดือด

4.1.5 อิทธิพลของระยะเวลาในการให้ความร้อนที่มีต่อการนำกลับสาร A702

เมื่อนำน้ำซีรัมที่ได้จากการครีมนางน้ำยาง (A702 เข้มข้นร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก) มาให้ความร้อนเพื่อนำกลับสาร A702 ที่อุณหภูมิ 85, 90 และ 95°C ดังแสดงในรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อให้ความร้อนเป็นเวลานานตั้งแต่ 20 นาทีขึ้นไป ปริมาณของแข็ง W_2 ที่นำกลับได้จะมีค่าค่อนข้างคงที่และอัตราส่วนระหว่างของแข็ง W_2 ที่นำกลับได้ต่อปริมาณสาร A702 ในน้ำซีรัม มีค่าประมาณร้อยละ 180-200 โดยน้ำหนัก เนื่องจากองค์ประกอบใน W_2 มีส่วนอื่นที่ไม่ใช่ยางที่อยู่ในน้ำซีรัม เช่น โปรตีน รวมอยู่ด้วย (spectrum IR ของสาร A702 แสดงในภาคผนวก ง) และเมื่อคำนวณร้อยละการนำกลับสาร A 702 ตามสมการ 3.4 พบว่าสามารถนำกลับสาร A702 ได้ร้อยละ 82, 77 และ 73 โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งปริมาณสาร A702 ที่นำกลับได้ทั้ง 3 อุณหภูมิดังกล่าวมีปริมาณใกล้เคียงกัน แต่ลักษณะทางกายภาพของสาร A702 ที่นำกลับได้ที่อุณหภูมิ 90 และ 95°C มีลักษณะที่รวมตัวจับกันเป็นก้อนที่แน่น ซึ่งช่วยให้สามารถตักออกมาได้โดยง่าย ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงกำหนดสภาวะที่ใช้ในการนำกลับสาร A702 โดยใช้อุณหภูมิ 90°C และเวลาในการให้ความร้อนเพื่อนำกลับนาน 20 นาที



รูปที่ 4.5 อิทธิพลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อน ที่มีต่อประสิทธิภาพการนำกลับสาร A702 ในน้ำซีรั่ม (■) 85°C, (▲) 90°C, (◆) 95°C

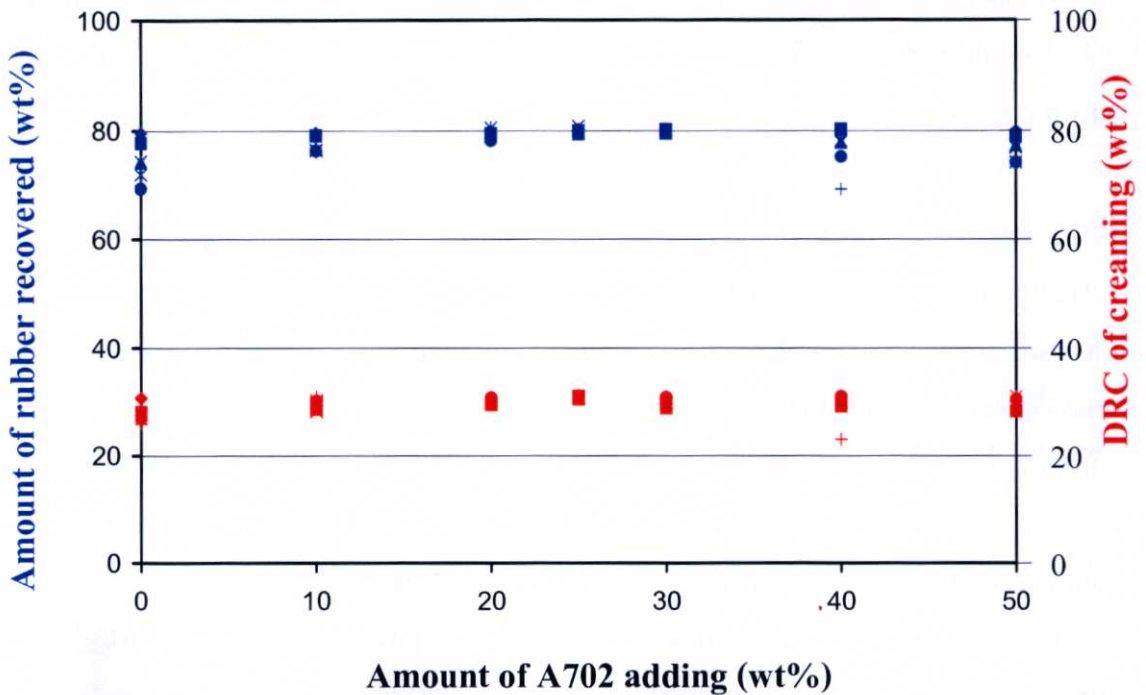
4.1.6 อิทธิพลของแหล่งที่มา ถูดูแล และระยะเวลาการเก็บรักษาทางน้ำยงที่มีต่อประสิทธิภาพการนำกลับสาร A702

จากผลการทดลองโดยนำทางน้ำยงจากโรงงานผลิตน้ำยงชั้นที่จังหวัดชลบุรีและสงขลา ในช่วงเดือนมีนาคมและมิถุนายน มาเก็บไว้เป็นเวลานาน 2 สัปดาห์ กับ 3.5 เดือน แล้วนำมาครีမ်ด้วยสาร A702 และนำกลับสาร A702 ที่อุณหภูมิ 90°C นาน 20 นาที เมื่อนำปริมาณ A702 ที่นำกลับได้มาเปรียบเทียบพบว่าสามารถนำกลับสาร A702 ได้ร้อยละ 78 และ 80 โดยน้ำหนัก ดังนั้นปริมาณสาร A702 ที่นำกลับได้จึงมีค่าไม่ขึ้นกับแหล่งที่มาของทางน้ำยง ถูดูแลและระยะเวลาในการเก็บรักษาทางน้ำยง

4.1.7 ศึกษาประสิทธิภาพการครีမ်เมื่อใช้สาร A702 ที่ผ่านการนำกลับ

เนื่องจากในระหว่างการนำกลับสาร A702 มีการให้ความร้อนและสาร A702 ที่นำกลับได้มีส่วนอื่นที่ไม่ใช่สาร A702 ปนอยู่ด้วย ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการครีမ်ทางน้ำยงลดลงได้ จึงควรทดสอบประสิทธิภาพของสาร A702 ที่นำกลับได้ โดยการนำสาร A702 ที่นำกลับได้มาครีမ်ทางน้ำยงซ้ำแต่เนื่องจากผลการทดลองใน 4.1.5 พบว่ามีสาร A702 บางส่วนที่สูญเสียไประหว่างการนำกลับ ดังนั้นก่อนที่จะนำสาร A702 (เจล) ที่นำกลับได้ไปครีမ်ทางน้ำยง จำเป็นต้องเติมสาร A702 ใหม่เพิ่ม เพื่อเป็นการชดเชยสาร A702 ที่สูญเสีย ในเบื้องต้นจึงนำ A702 (เจล) ที่

นำกลับได้มาละลายน้ำ และเติมสาร A702 ใหม่เพิ่มเข้าไป (ปริมาณร้อยละ 10, 20, 25, 30, 40 หรือ 50 ของสาร A702 ที่ใช้เริ่มต้น) แล้วจึงนำไปครีมหางน้ำยางใหม่อีกรอบ ทำเช่นนี้วนไปหลายๆ รอบ ได้ผลการทดลองดังในรูปที่ 4.6 โดยผลการทดลอง การนำสาร A702 (เจด) ที่นำกลับได้มาครีมซ้ำ โดยไม่เติมสาร A 702 เพิ่ม พบว่าในการครีมรอบที่ 2 สารครีม A702 ยังคงมีประสิทธิภาพในการครีมหางน้ำยางใกล้เคียงกับการครีมในรอบแรกที่เป็นสาร A702 ใหม่ แต่เมื่อนำสาร A702 (เจด) มาครีมซ้ำในรอบต่อๆ ไป พบว่าประสิทธิภาพของกระบวนการครีมหางน้ำยางจะลดลงตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพของกระบวนการครีมหางน้ำยางที่ลดลงนี้ในเบื้องต้นสันนิษฐานว่าเกิดจาก 2 สาเหตุ สาเหตุแรกคือ เกิดจากสาเหตุที่สาร A702 เสื่อมประสิทธิภาพเนื่องจากการให้ความร้อนในระหว่างการนำกลับ แต่จากผลการวิเคราะห์ spectrum ของสาร A702 (spectrum IR ของสาร A702 แสดงในภาคผนวก ง) พบว่า spectrum ของสาร A702 ที่ยังไม่ได้ใช้งานและสาร A702 ที่นำกลับได้ในน้ำ มีลักษณะเหมือนกัน จึงสรุปได้ว่าความร้อนในระหว่างการนำกลับไม่ทำให้สาร A702 เสื่อมประสิทธิภาพ และสาเหตุที่สองคือ เกิดจากสาเหตุที่มีสาร A702 สูญเสียไประหว่างการนำกลับ ทำให้ความเข้มข้นสาร A702 ที่เหลือไม่เหมาะสมในการครีมหางน้ำยางรอบถัดไป ซึ่งจากการทดลองในส่วนที่มีการเติมสาร A702 เพิ่มบางส่วน ผลการทดลองพบว่า การเติมสาร A702 ลงไปร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก สามารถรักษาประสิทธิภาพการครีมหางน้ำยางให้คงที่ได้ แม้ว่าจะทำการครีมหางน้ำยางด้วยสาร A702 ที่ผ่านการให้ความร้อนซ้ำถึง 6 รอบก็ตาม ซึ่งปริมาณสาร A702 ที่เติมเพิ่มร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก สามารถชดเชยสาร A702 ที่สูญเสียไประหว่างการนำกลับได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในข้อ 4.1.5 ที่สามารถนำกลับสาร A702 ได้ร้อยละ 77 โดยน้ำหนัก ทำให้การครีมครั้งถัดไปความเข้มข้นของสาร A702 ในระบบยังคงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมเช่นเดียวกับครีมในครั้งแรก จึงสามารถรักษาประสิทธิภาพของกระบวนการครีมหางน้ำยางได้ ดังนั้นในการทดลองนี้สามารถนำกลับสาร A702 ได้ร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.6 อิทธิพลของสารครีม A702 ที่เติมเพิ่ม ที่มีต่อประสิทธิภาพการครีมหางน้ำยางด้วยสาร A702 ที่ผ่านการนำกลับหลายครั้ง (◆) รอบที่ 1, (■) รอบที่ 2, (▲) รอบที่ 3, (×) รอบที่ 4, (*) รอบที่ 5, (●) รอบที่ 6, (+) รอบที่ 7

4.2 ออกแบบและทดสอบการทำงานของเครื่องนำกลับสาร A702 แบบต่อเนื่อง

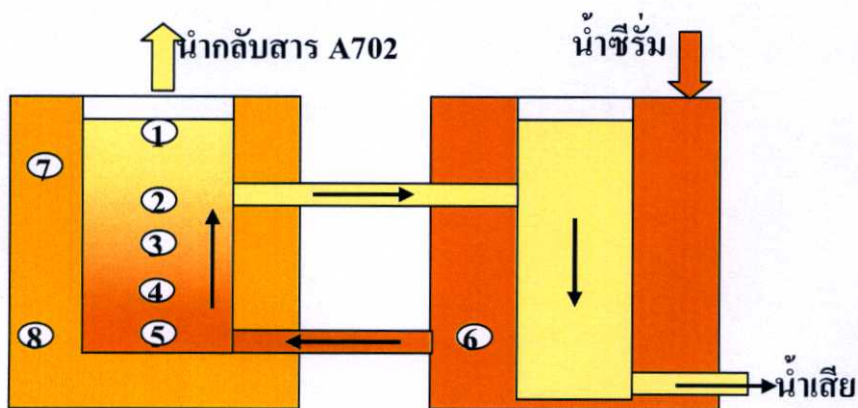
4.2.1 เครื่องนำกลับสาร A702 แบบต่อเนื่อง (ขนาด 23 ลิตร)

จากการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการนำกลับสาร A702 ที่ใช้ในการครีมหางน้ำยาง ด้วยชุดทดลองแบบกะ พบว่าการทำให้อุณหภูมิของน้ำชีรัมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้อัตราการนำกลับสาร A702 ลดลงเมื่อเทียบกับการให้ความร้อนจากภายนอกโดยการใช้อ่างน้ำมัน และการนำกลับสาร A702 จะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อของเหลวในระบบนี้ ไม่มีการไหลวนของฟองอากาศ เนื่องจากการเดือด และในระบบสาร A702/ชีรัม อุณหภูมิ LCST ของสารละลายสาร A702 ในน้ำชีรัมต่ำกว่าระบบสารละลายสาร A702 ในน้ำ สภาพที่ใช้ในการนำกลับสาร A702 เข้มข้นร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 90°C และระยะเวลาในการให้ความร้อนนาน 20 นาที นำข้อมูลที่ได้นี้ไปใช้ในการออกแบบเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่องต่อไป

ชุดเครื่องนำกลับสาร A702 แบบต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 4.7 โดยเครื่องนำกลับสารครีมประกอบด้วยถึง 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 สำหรับการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่น้ำชีรัม ด้วยการนำความร้อนจากน้ำชีรัมที่แยกเอาสาร A702 ออกแล้วให้ไหลผ่านขดลวดทองแดงเพื่อให้ความร้อนเบื้องต้นแก่น้ำชีรัม และส่วนที่ 2 สำหรับการนำกลับสาร A702 ซึ่งมีการให้ความร้อนโดยใช้แท่งฮีตเตอร์จุ่ม

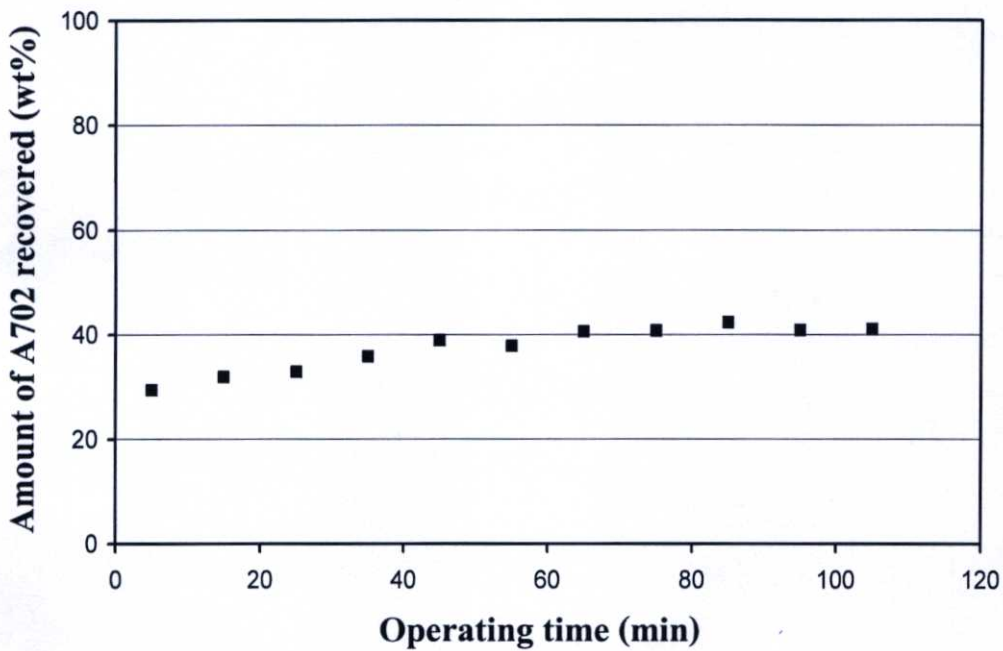
เพื่อให้ความร้อนเบื้องต้นแก่น้ำซีรัม ได้เปลี่ยนจากการใช้ขวดทองแดงเป็นการใช้ถังที่มีขนาดต่างกัน 2 ใบวางซ้อนกัน โดยให้น้ำซีรัมที่แยกเอาสาร A702 ออกแล้วไหลมายังถังใบเล็กที่อยู่ด้านในเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำซีรัมที่อยู่ด้านนอก และในส่วนถังนำกลับสาร A702 ได้ปรับปรุงโดยการเพิ่มความสูงของถังแยกสาร A702 ให้สูงกว่าท่อทางออกของน้ำซีรัม ซึ่งจะเป็นบริเวณกักเก็บสาร A702 ที่รวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ลอยมาอยู่ในบริเวณนี้ ทำให้อสาร A702 ไม่ไปอุดตันท่อทางออก สามารถไหลไปยังหน่วยให้ความร้อนเบื้องต้นได้สะดวก

เครื่องนำกลับสาร A702 แบบต่อเนื่องที่ปรับปรุงหน่วยแลกเปลี่ยนความร้อน และเพิ่มพื้นที่ในการกักเก็บสาร A702 ในรูปที่ 4.8 มีหลักการการทำงานคือ เมื่อนำสารละลาย A702/ซีรัม ป้อนเข้ามาที่ถังชุดที่ 1 ทางด้านบน (ถังด้านนอก) สารละลาย A702 จะไหลลงมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำทิ้งที่แยกสาร A702 ออกแล้วที่อยู่ในถังด้านใน เป็นการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่สารละลาย A702 จากอุณหภูมิห้องเพิ่มขึ้นเป็นอุณหภูมิประมาณ 49-52°C จากนั้นสารละลาย A702 จะไหลออกจากถังชุดที่ 1 ผ่านทางท่อด้านล่างเข้าสู่ถังชุดที่ 2 โดยสารละลาย A702 จะไหลเข้าที่ถังด้านใน ซึ่งเป็นถังที่ใช้ในการเปลี่ยนเฟสและนำกลับสาร A702 โดยภายในถังมีการควบคุมอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ จำนวน 5 จุด และระยะเวลาที่สารละลาย A702 อยู่ในถัง ตั้งแต่บริเวณท่อทางเข้าด้านล่างจนถึงท่อทางออกที่ตำแหน่งประมาณกลางถัง โดยสารละลาย A702 จะไหลขึ้นมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำมันที่อยู่รอบถังจนสารละลาย A702 มีอุณหภูมิสูงขึ้นและคงที่ประมาณ 90°C สาร A702 จะเริ่มเปลี่ยนเฟสเป็นของแข็งในบริเวณนี้และรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ลอยขึ้นด้านบนเข้าสู่บริเวณที่ใช้กักเก็บสาร A702 ทำให้สามารถตักสาร A702 ออกมาได้โดยง่าย ส่วนน้ำทิ้งที่แยกสาร A702 ออกแล้วจะไหลออกจากถังใบที่ 2 ผ่านทางท่อทางออกที่ตำแหน่งประมาณกลางถังกลับเข้าสู่ถังชุดที่ 1 (ถังด้านใน) เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารละลาย A702 ที่มีสาร A702 อยู่ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น แล้วไหลออกที่ท่อทางด้านล่าง

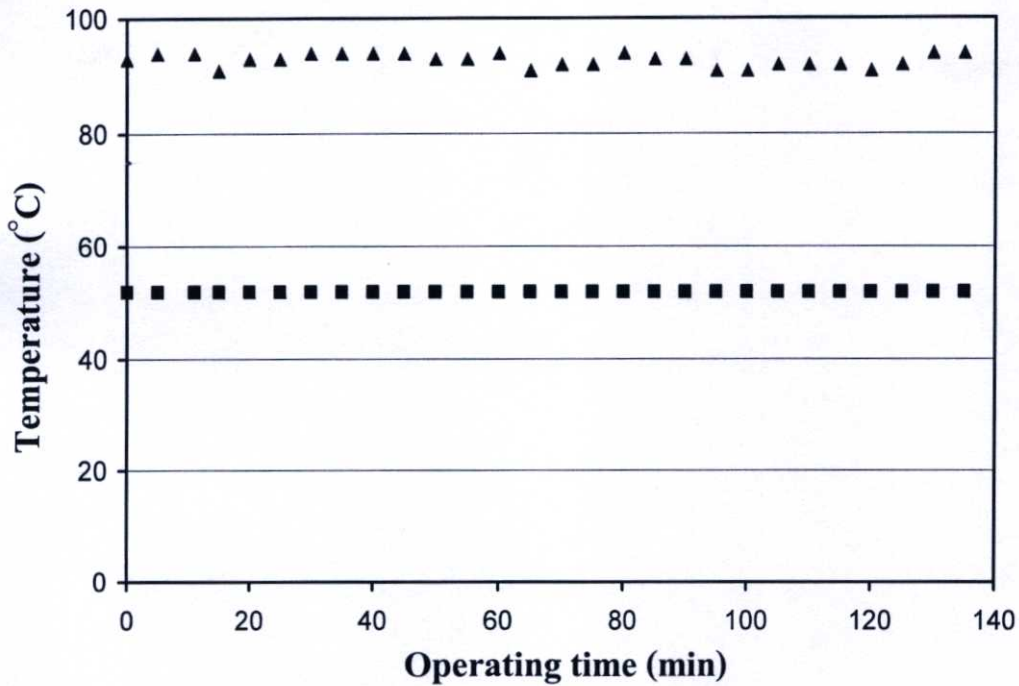


รูปที่ 4.8 ชุดเครื่องนำกลับสาร A702 แบบต่อเนื่องที่ปรับปรุงหน่วยแลกเปลี่ยนความร้อน (ลูกศรแสดงทิศทางการไหลของน้ำซีรัม, ○ แสดงตำแหน่งควบคุมอุณหภูมิ)

ทดสอบการทำงานของเครื่องนํากลับสาร A702 ที่ปรับปรุงขึ้นใหม่โดยใช้ชีรุ่มที่เตรียมจากสาร A702 เข้มข้นร้อยละ 0.6 โดยนําน้ำหนัก และให้ความร้อนแก่ระบบโดยใช้ฮีตเตอร์จุ่มลงในถังนํานํ้าร้อนรอบถังนํากลับสาร A702 โดยสภาวะที่ใช้ในการนํากลับสาร A702 คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการนํากลับ 90°C, space time นาน 25.38 นาที และอัตราการป้อนของชีรุ่มที่ 65 ml/min การทดลองได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวของการปฏิบัติงานหลังจากเริ่มต้นการทำงานไปแล้วเป็นเวลาประมาณ 20 นาที และที่สภาวะคงตัวสามารถนํากลับสาร A702 ได้ร้อยละ 45 โดยนําน้ำหนัก และในหน่วยให้ความร้อนเบื้องต้นได้นําคความร้อนจากนํ้าชีรุ่มที่แยกสาร A702 ออกแล้ว มาให้ความร้อนเบื้องต้นแก่นํ้าชีรุ่ม พบว่าสามารถเพิ่มอุณหภูมินํ้าชีรุ่มจากอุณหภูมิห้องที่ 25°C เพิ่มขึ้นเป็น 52°C ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งช่วยให้ประหยัดพลังงานในการนํากลับสาร A702 ได้ประมาณร้อยละ 40 (เทียบกับการทดลองแบบกะ) แต่เนื่องจากปริมาณสาร A702 ที่นํากลับได้ด้วยเครื่องนํากลับสารครีมแบบต่อเนื่องที่สภาวะที่ใช้ในการทดลองนี้ยังมีประสิทธิภาพการนํากลับสาร A702 ไม่ดีเท่ากับประสิทธิภาพที่ได้จากการนํากลับด้วยระบบแบบกะ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและปรับปรุงสภาวะที่ใช้ในการนํากลับสาร A702 ให้เหมาะสมยิ่งขึ้นต่อไป



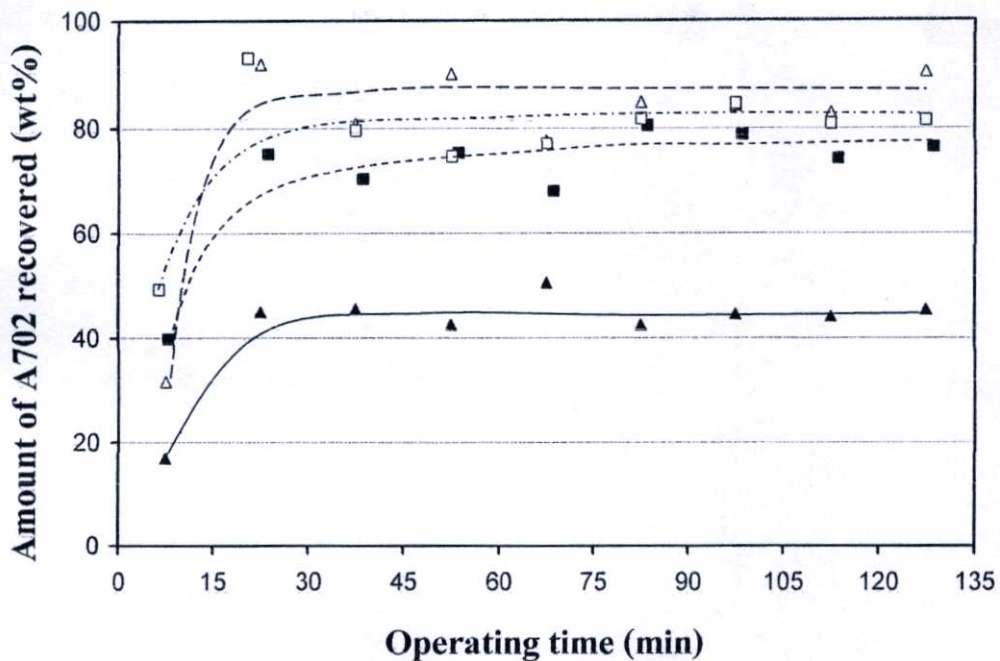
รูปที่ 4.9 ร้อยละการนํากลับสาร A702 ในระบบสารละลาย A702 ในนํ้าชีรุ่มที่ระยะเวลาต่างๆ ด้วยเครื่องนํากลับสารครีมแบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 90°C และ space-time นาน 25 นาที



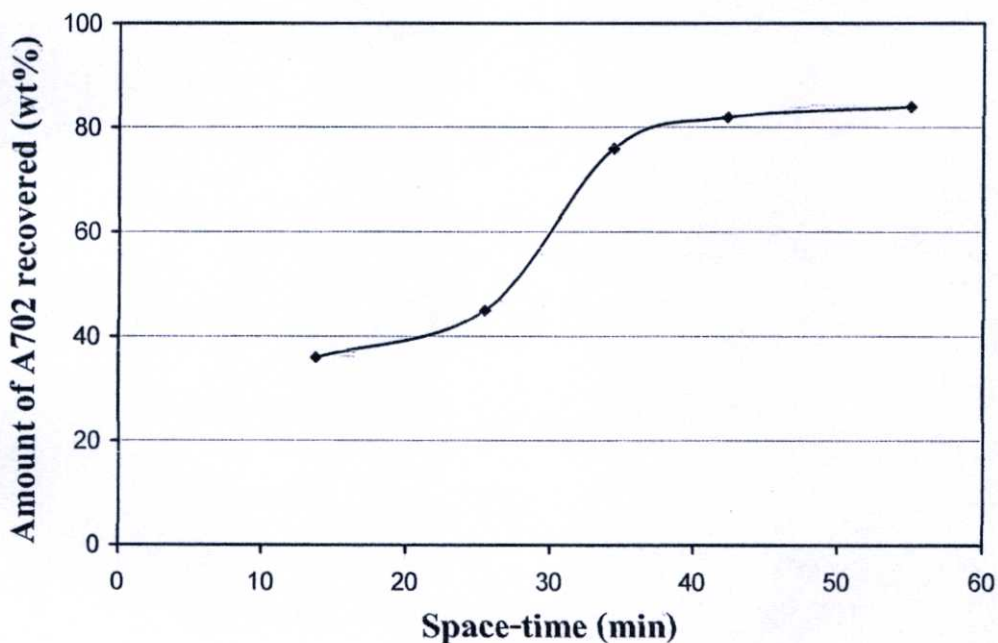
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิของน้ำซีรัมที่เวลาต่างๆ ภายในเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง
(▲) อุณหภูมิตำแหน่งที่ 2, (■) อุณหภูมิตำแหน่งที่ 6

4.3 ศึกษาอิทธิพลของ Space-time ที่มีต่อประสิทธิภาพการนำกลับสาร A702 ของเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง

การทดสอบประสิทธิภาพการนำกลับสาร A702 ด้วยเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่องในเบื้องต้นที่ space-time นาน 25 นาที พบว่าเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่องสามารถนำกลับสาร A702 ได้เพียงร้อยละ 45 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีประสิทธิภาพการนำกลับสาร A702 ไม่ดีพอ จึงได้เปลี่ยนสถานะที่ใช้ในการนำกลับสาร A702 โดยการเพิ่ม space-time ให้มากขึ้น (ปรับอัตราการป้อนซีรัมให้ต่ำลง) เป็นประมาณ 35, 45 และ 55 นาที ตามลำดับ โดยปริมาณสาร A702 ที่นำกลับได้ในช่วงระยะเวลาต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่ม space-time ให้มากขึ้น (ปรับอัตราการไหลต่ำลง) จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการนำกลับสาร A702 ได้ดีขึ้น และเมื่อปฏิบัติงานไปเป็นเวลานานตั้งแต่ 20 นาทีขึ้นไป ปริมาณสาร A702 ที่นำกลับได้จะมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยที่สถานะคงตัวสามารถนำกลับสาร A702 ได้ร้อยละ 76-84 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 4.12 โดยที่สถานะที่ใช้ในการนำกลับสาร A702 ได้ดีคือที่ space time ตั้งแต่ 38 นาทีขึ้นไป (สามารถนำกลับสาร A702 ได้มากกว่าการนำกลับด้วยระบบแบบกะ) ดังนั้นในการทดลองขั้นถัดไปจึงเลือกใช้สถานะมาตรฐานที่อุณหภูมินำกลับสาร A702 ที่ 90°C และ space-time นาน 45 นาที ซึ่งสามารถนำกลับสาร A702 ได้ถึงร้อยละ 82 โดยน้ำหนัก



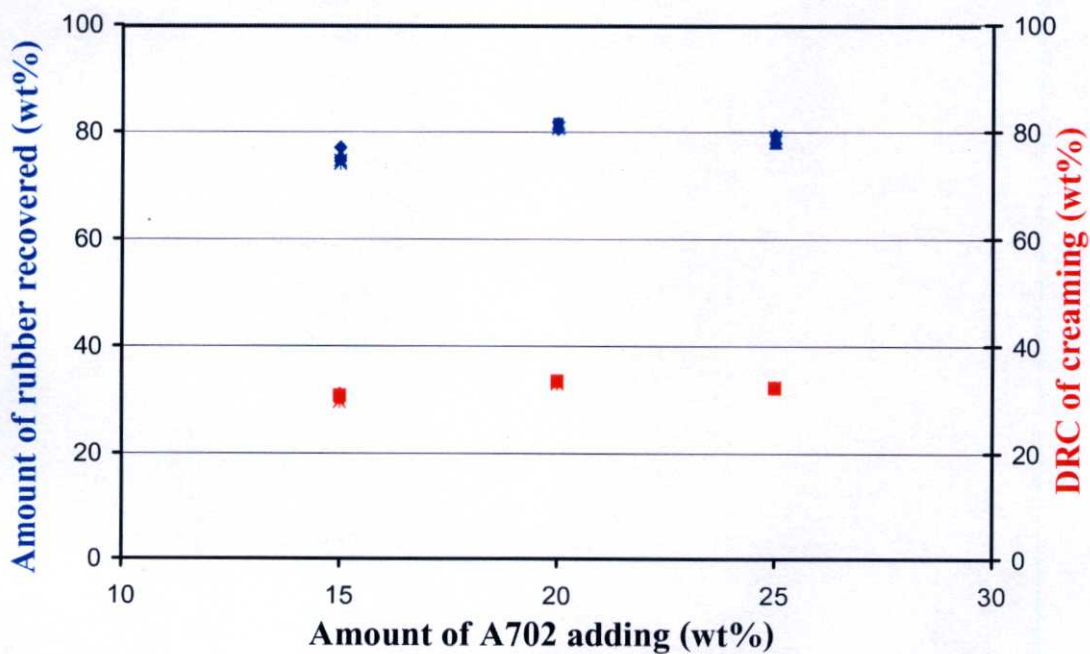
รูปที่ 4.11 อิทธิพลของ space-time ที่มีต่อประสิทธิภาพการนำกลับสาร A702 ในน้ำซีรัม ที่อุณหภูมิ นำกลับ 90°C (▲) space-time 25.38 นาที, (■) space-time 34.37 นาที, (□) space-time 42.30 นาที, (△) space-time 55.00 นาที



รูปที่ 4.12 อิทธิพลของ space-time ที่มีต่อประสิทธิภาพการนำกลับสาร A702 ในน้ำซีรัม ที่อุณหภูมิ นำกลับ 90°C ในช่วง space-time นาน 13-55 นาที

4.4 ศึกษาประสิทธิภาพการครีมเมือใช้สาร A702 ที่นำกลับได้จากเครื่องนำกลับสาร A702 แบบต่อเนื่อง

จากการทดลองในหัวข้อ 4.1.5 การนำกลับสาร A702 ด้วยระบบแบบกะ พบว่าสามารถนำกลับสาร A702 ได้ร้อยละ 77 โดยน้ำหนัก และเมื่อนำ A702 (เจล) ที่นำกลับได้ มาครีมหางน้ำยางซ้ำ พบว่าปริมาณสาร A702 ที่เติมเพิ่มร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก สามารถรักษาประสิทธิภาพการครีมหางน้ำยางไว้ได้คงที่ และในการทดสอบประสิทธิภาพของสาร A702 ที่นำกลับได้ด้วยเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง ที่สภาวะอุณหภูมิในการนำกลับสาร 90°C และ space-time นาน 45 นาที สามารถนำกลับสาร A702 ได้ร้อยละ 82 โดยน้ำหนัก จึงทำการทดลองโดยนำสาร A702 (เจล) ที่นำกลับได้มาละลายน้ำ และเติมสาร A702 เพิ่ม(ปริมาณร้อยละ 15, 20 และ 25 ของสาร A702 ที่ใช้เริ่มต้น) แล้วนำไปครีมหางน้ำยางใหม่ ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น จากนั้นนำกลับสารครีม A702 ด้วยเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง โดยใช้ space-time นาน 45 นาที ทำเช่นนี้วนไปหลายๆ รอบ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.13 พบว่าการเติมสาร A702 เพิ่มอีกร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ในการครีมแต่ละรอบ ระบบยังคงสามารถรักษาประสิทธิภาพการครีมหางน้ำยางได้ค่อนข้างคงที่ ได้ร้อยละการนำกลับอนุภาคยางและร้อยละยางแห้งของชั้นครีมมีค่าคงที่ แม้ว่าจะทำการครีมซ้ำถึง 5 รอบก็ตาม ดังนั้นจากผลการทดลองในรูปที่ 4.13 สรุปได้ว่าเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่องมีประสิทธิภาพในการนำกลับสาร A702 ได้ร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพการครีมหางน้ำยางด้วยสารครีม A702 ที่ผ่านการนำกลับด้วยเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง (◆) รอบที่ 1, (■) รอบที่ 2, (▲) รอบที่ 3, (×) รอบที่ 4, (*) รอบที่ 5

4.5 การขยายขนาดเครื่องนํากลับสาร A702 แบบต่อเนื่อง (อัตราการผลิต 200 ลิตร/ชั่วโมง)

จากการทดลองนํากลับสาร A702 ในห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่องนํากลับสาร A702 แบบต่อเนื่องได้ผลการทดลองดังที่กล่าวในหัวข้อ 4.3 และ 4.4 ซึ่งผลการทดลองที่ space-time นาน 45 นาที สามารถนํากลับสาร A702 ได้ถึงร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก ดังนั้นในขั้นถัดไปเป็นการขยายขนาดเครื่องนํากลับสาร A702 แบบต่อเนื่อง เพื่อนำไปทดลองในระดับอุตสาหกรรม โดยในเบื้องต้นกำหนดให้เครื่องนํากลับสาร A702 สามารถรองรับอัตราการผลิตสูงสุดได้ประมาณ 200 ลิตร/ชั่วโมง ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าในห้องปฏิบัติการถึง 90 เท่า ดังนั้นในถังแยกสาร A702 ที่ใช้ถังฮีตเตอร์จุ่มลงในน้ำมันรอบถังนํากลับสาร A702 จะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นได้ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงได้ปรับปรุงโดยการติดตั้งปั๊มสูบน้ำมันร้อนให้ไหลวนทั่วตลอดทั้งความสูงของถัง เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.14

การทดสอบการทำงานของเครื่องนํากลับสาร A702 โดยใช้ซีรัมที่เตรียมจากสาร A702 เข้มข้นร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก และสภาวะที่ใช้ในการนํากลับสาร A702 คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการนํากลับ 90°C, space time นาน 66 นาที และอัตราการป้อนของซีรัมที่ 120 ลิตร/ชั่วโมง จากการทดลองเป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าระบบยังไม่เข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งถ้าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ระบบสามารถนํากลับสาร A702 ได้ประมาณร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก และในหน่วยให้ความร้อนเบื้องต้นได้นำความร้อนจากน้ำซีรัมที่แยกสาร A702 ออกแล้ว มาให้ความร้อนเบื้องต้นแก่น้ำซีรัม พบว่าสามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำซีรัมจากอุณหภูมิห้องที่ 25°C เพิ่มขึ้นเป็น 49°C ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องนี้สามารถนํากลับสาร A702 ได้ดีเทียบเท่ากับเครื่องนํากลับสารครีมแบบต่อเนื่องในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 4.14 เครื่องนํากลับสาร A702 แบบต่อเนื่อง มีอัตราการผลิตสูงสุดผลิต 200 ลิตร/ชั่วโมง (รูปถ่ายตอนที่ยังไม่ได้หุ้มฉนวนกันความร้อน)

4.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการรวบรวมเนือยางในทาง น้ำยางโดยใช้สาร A702 ที่ผ่านการใช้งานและนำกลับด้วยเครื่องนำกลับสารคริม แบบต่อเนื่อง

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการรวบรวมเนือยางในทางน้ำยาง เป็น การประมาณต้นทุนการผลิตของกระบวนการรวบรวมเนือยางด้วยวิธีการคริมโดยใช้สาร A702 เทียบกับการใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้กันในปัจจุบัน เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการ ตัดสินใจแก่ผู้ประกอบการด้านอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นที่จะเลือกเทคนิคนี้เป็นทางเลือกใหม่ สำหรับการรวบรวมเนือยางในทางน้ำยาง

ปัจจุบันกระบวนการรวบรวมเนือยางในทางน้ำยางโดยการใช้กรดซัลฟิวริก เนือยางที่ได้จะนำไป ผลิตเป็นยางสกินเครพ (skim crepe) แต่สำหรับเทคนิคการคริมโดยใช้สาร A702 เนือยางที่ได้มี คุณสมบัติที่ดีขึ้นกว่าเนือยางที่ได้จากวิธีการใช้กรด แต่ยังมีคุณสมบัติบางชนิดที่ไม่ได้ตามมาตรฐาน ยางแท่ง STR 20 (P_0 , P_1 และ Mooney) ซึ่งเป็นยางที่มีคุณภาพและมูลค่าสูงกว่ายางสกินเครพ จึงควร จะปรับคุณสมบัติของเนือยางที่ได้โดยการนำน้ำยางสดมาผสมกับคริมที่ได้ แล้วจึงนำไปแปรรูปต่อ เป็นยางแท่ง STR 20 ดังนั้นในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการรวบรวม เนือยางในทางน้ำยางนี้จึงได้ประมาณต้นทุนการผลิตทั้ง 2 วิธี คือวิธีการใช้กรดซัลฟิวริกแล้ว นำไปแปรรูปได้ผลิตภัณฑ์เป็นยางสกินเครพและการทำทางน้ำยางให้เข้มข้นโดยวิธีการคริม แล้ว นำไปแปรรูปต่อเป็นยางแท่ง STR 20

4.6.1 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของวิธีการใช้กรดซัลฟิวริก

ขั้นตอนการรวบรวมเนือยางในทางน้ำยางโดยการใช้กรดซัลฟิวริก ทำโดยการเติมกรด ซัลฟิวริกเข้มข้นลงไปทางน้ำยางในอัตราส่วน กรดซัลฟิวริก 1 กิโลกรัมต่อทางน้ำยาง 1 ตัน และ นำเนือยางที่ได้ไปผ่านกระบวนการผลิตยางสกินเครพ โดยการรีดให้เป็นแผ่นบางๆ ด้วยเครื่องเครพ โดยค่าใช้จ่ายของขั้นตอนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

4.6.2 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของวิธีการคริมโดยสาร A702

การรวบรวมเนือยางในทางน้ำยางโดยการทำทางน้ำยางให้เข้มข้นโดยวิธีการคริมด้วยสาร A702 ทำโดยการผสมสาร A702 เข้มข้นร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก ในทางน้ำยาง ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น โดยในส่วนของชั้นคริมนำเนือยางที่ได้ไปผ่านกระบวนการผลิตยางแท่ง STR 20 และในส่วนของน้ำ ซิรัมนำไปผ่านกระบวนการนำกลับสาร A702 ด้วยเครื่องนำกลับสารคริมแบบต่อเนื่องเพื่อนำไปใช้ ในการคริมทางน้ำยางรอบต่อไป ซึ่งจากการทดสอบประสิทธิภาพการนำกลับสาร A702 ของเครื่อง นำกลับสารคริมแบบต่อเนื่องพบว่าสามารถนำกลับสาร A702 ได้ร้อยละ 82 โดยน้ำหนัก ดังนั้นใน

การครีมนำยางรอบต่อไป จึงต้องเติมสาร A702 เพิ่มประมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยค่าใช้จ่ายของขั้นตอนต่างๆ ได้สรุปไว้ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกระบวนการรวบรวมเนื้อยางในทางนำยางระหว่างวิธีการใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นและการครีมนำยางโดยใช้สารครีมนำยาง A702

รายการค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่าย (บาท/กก.ยางแห้ง)	
	วิธีการใช้กรดซัลฟิวริก	วิธีการครีมนำยาง A702
ต้นทุนสารเคมี	0.7	4.8
กระบวนการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์	2.5	6*
ค่าบำบัดน้ำเสีย	0.7	-
รวมต้นทุนทั้งหมด	3.9	10.8
ราคาผลิตภัณฑ์ที่ขาย	36 (สกินเครพ)	51 (STR 20)
กำไร	32.1	40.2

หมายเหตุ

* คำนวณกลับสาร A702 3.5 บาท/กก.ยางแห้ง (ภาคผนวก จ) + ค่าแปรรูปเป็นยางแท่ง 2.5บาท/กก.ยางแห้ง

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าการรวบรวมเนื้อยางในทางนำยางด้วยวิธีการครีมนำยางโดยใช้สารครีมนำยาง A702 จะมีต้นทุนรวมทั้งหมดสูงกว่าวิธีการใช้กรดซัลฟิวริก 6.9 บาท/กก.ยางแห้ง ในกรณีที่นำเนื้อยางที่ได้ไปแปรรูปต่อเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน (สกินเครพ) แม้ว่าการรวบรวมเนื้อยางด้วยวิธีการครีมนำยางจะให้ผลกำไร 25.2 บาท/กก.ยางแห้ง ซึ่งน้อยกว่าวิธีการใช้กรดซัลฟิวริก แต่น้ำเสียที่ได้จากวิธีการครีมนำยางโดยใช้สารครีมนำยาง A702 จะมี non-rubber ปริมาณมาก สามารถนำน้ำเสียนี้ไปหมักเพื่อให้เกิดก๊าซชีวภาพ และนำมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกภายในโรงงานได้ ซึ่งผลพลอยได้ในส่วนนี้จะทำให้การรวบรวมเนื้อยางด้วยวิธีการครีมนำยางมีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ยิ่งขึ้น และในกรณีที่มีการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำยางสกินชั้นที่ได้โดยการนำไปผสมน้ำยางชั้น แล้วนำไปแปรรูปเป็นยางแท่ง STR 20 ซึ่งเป็นยางที่มีมูลค่าสูงกว่ายางสกินเครพ 15 บาท/กก.ยางแห้ง (ผลต่างของราคายางแท่ง STR กับยางสกินเครพจะขึ้นอยู่กับราคายางในขณะนั้น ในการวิเคราะห์นี้ได้ใช้ข้อมูลในช่วงที่ยางมีราคาต่ำโดยยางทั้ง 2 ชนิด มีราคาต่างกัน 15 บาท/กก.ยางแห้ง ถ้าเป็นในช่วงที่ยางมีราคาสูง ยางทั้ง 2 ชนิด ก็จะมีราคาต่างกันมากกว่า 15 บาท/กก.ยางแห้ง) จะทำให้วิธีการครีมนำยางได้ผลกำไรมากถึง 40.2 บาท/กก.ยางแห้ง

4.6.3 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของวิธีการครีมโดยสาร A702

ในกรณีเงินลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มโครงการและระยะเวลาคืนทุนดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนในงานวิจัยนี้มีสมมุติฐานดังนี้

1. อัตราการผลิตหางน้ำยาง 40 ตัน/วัน คิดเป็นปริมาณเนื้อยางแห้ง 2,000 กิโลกรัม
2. ขยายขนาดเครื่องนำกลับสารครีมให้สามารถป้อนน้ำซีรัมได้ 1 ตันต่อชั่วโมง
3. โรงงานปฏิบัติงานวันละ 8 ชั่วโมง
4. กระแสเงินสดรับสุทธิมีจำนวนเท่ากันทุกปี
5. ไม่คิดค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์และเครื่องจักร

ตารางที่ 4.2 เงินลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มกระบวนการรวบรวมเนื้อยางในหางน้ำยางด้วยการครีมโดยใช้สารครีม A702

รายการ	ราคา/หน่วย (บาท)	จำนวน	จำนวนเงิน
สาร A702	200	240 กิโลกรัม	48,000
ถังครีมหางน้ำยาง	6,000	20 ใบ	120,000
เครื่องนำกลับสาร A702	200,000	5 เครื่อง	1,000,000
รวมเงินลงทุน			1,168,000

ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ 2.4

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{1,168,000}{40.2 \times 2000} = 15 \text{ วัน}$$

จากการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของกระบวนการรวบรวมเนื้อยางในหางน้ำยางด้วยวิธีการครีมดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าต้องการเงินลงทุนสุทธิในตอนเริ่มโครงการเพื่อเป็นค่าใช้จ่ายในการสร้างถังครีม, เครื่องนำกลับสาร A702 และค่าสาร A702 รวมเป็นเงิน 1,168,000 บาท ซึ่งเป็นจำนวนเงินที่มากเมื่อเทียบกับวิธีการจับตัวเนื้อยางด้วยกรด ที่ใช้เงินลงทุนเริ่มแรกเพียงเล็กน้อยในการสร้างบ่อสำหรับจับตัวเนื้อยาง (ประมาณ 30,000 บาท) แต่อย่างไรก็ตามหากสามารถปรับปรุงคุณภาพของน้ำยางสกิมขั้นที่ได้ ให้สามารถนำไปแปรรูปต่อได้เป็นยางแท่ง STR 20 ได้สำเร็จ ผลกำไรจากการขายเป็นผลิตภัณฑ์ยางแท่ง STR 20 (40.2 บาท/กก.ยางแห้ง) สามารถทำให้วิธีการครีมมีระยะเวลาคืนทุนภายใน 15 วัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการนำกลับสาร A 702 ที่ใช้ในการครีมหางน้ำยาง โดยการใช้ความร้อนในการแยกสาร A 702 ออกจากน้ำซีรัม พบว่าการทำให้อุณหภูมิของน้ำซีรัมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยใช้ hotplate ทำให้ร้อยละการนำกลับสารครีม A702 ลดลงเมื่อเทียบกับการให้ความร้อนอย่างช้าๆ โดยการใช้อ่างน้ำมันร้อน ในระบบสารละลาย A 702/น้ำ สามารถนำกลับสาร A 702 ได้ประมาณร้อยละ 84 และแอมโมเนียมีผลทำให้ปริมาณการนำกลับสาร A 702 ลดลง เนื่องจากแอมโมเนียทำให้อุณหภูมิ LCST ของระบบเพิ่มขึ้น และในระบบสาร A 702/ซีรัม อุณหภูมิ LCST ของสารละลายสาร A 702/ซีรัม ต่ำกว่าระบบสารละลาย A 702/น้ำ สภาวะที่ใช้ในการนำกลับสาร A 702 เข้มข้น 0.6 wt% ที่อุณหภูมิ 90°C ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่นำกลับได้ (สาร A702+สารปนเปื้อนในซีรัม) จะไม่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการให้ความร้อนหลังจาก 20 นาทีไปแล้ว ที่สภาวะปฏิบัติงานนี้สามารถนำกลับสาร A702 ได้ร้อยละ 77 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้ไปออกแบบเครื่องแยกและนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่องต่อไป

การออกแบบชุดเครื่องแยกและนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่องอาศัยข้อมูลจากการทดลองแบบกะมา กำหนดตัวแปรปฏิบัติงานที่สำคัญ แล้วจึงศึกษาอิทธิพลของ space-time ที่มีต่อประสิทธิภาพในการทำงาน จากผลการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิ 90°C และ space-time นาน 15-55 นาที พบว่าการเพิ่ม space-time ให้นานขึ้น จะสามารถนำกลับสาร A702 ได้มากขึ้น โดยที่ space-time นาน 45 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการนำกลับสาร A702 สามารถนำกลับสาร A702 ได้ร้อยละ 82 โดยน้ำหนัก และการนำความร้อนจากน้ำซีรัมที่แยกสาร A702 ออกแล้วมาให้ความร้อนเบื้องต้นแก่น้ำซีรัมช่วยประหยัดพลังงานได้ประมาณร้อยละ 40 (เทียบกับการทดลองแบบกะ) การทดสอบประสิทธิภาพของสาร A702 ที่นำกลับได้โดยการนำสาร A702 ที่นำกลับได้มาครีมกับหางน้ำยางช้า พบว่าความร้อนที่ใช้ระหว่างการนำกลับสาร A702 ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการครีมหางน้ำยางของสาร A702 และการชดเชยปริมาณสาร A702 ที่สูญเสียไประหว่างการนำกลับโดยการเติมสาร A702 เพิ่มร้อยละ 20 ในการครีมแต่ละรอบ สามารถรักษาประสิทธิภาพการครีมได้คงที่ ดังนั้นเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่องสามารถนำกลับสาร A702 ได้ร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการรวบรวมเนื้อยางในหางน้ำยางด้วยวิธีการครีมโดยใช้สาร A702 เทียบกับวิธีการใช้กรดซัลฟิวริก พบว่าวิธีการครีมโดยใช้สาร A702 ให้ผลตอบแทนสูงถึง 40.2 บาท/กิโลกรัมยางแห้ง และมีระยะเวลาคืนทุน 15 วัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] พิษเศรษฐกิจสุราษฎร์ธานี 2536. [Online] Available:
<http://kanchanapisek.or.th/kp8/srt/srt704.html>
- [2] วิธีการผลิตยางน้ำข้นของไทย. [Online] Available:
<http://www.agrowealth.com/agrowealth/library/libraryview.php?id=69>
- [3] กระบวนการผลิตยางเครป. [Online] Available:
<http://www.reothai.co.th/P61.htm#กระบวนการผลิตยางเครป>
- [4] เปลี่ยน “หางน้ำยาง” ให้เป็นเงิน ลดการนำเข้ายางสังเคราะห์ [Online] Available:
http://www.trf.or.th/News/Content.asp?Art_ID=505
- [5] สุรพิชญ ลอยกุลนันท์ และคณะ. กรรมวิธีการแยกเนื้อยางออกจากหางน้ำยางธรรมชาติโดยใช้พอลิเมอร์ที่ไวต่อความร้อน. ประเทศไทย. สิทธิบัตรไทยเลขที่ 22185. 31 มกราคม 2549.
- [6] ศูนย์ส่งเสริมการศึกษา. “ประเภทและคุณสมบัติของยาง”, [Online] Available:
ebook.nfe.go.th/ebook/html/021-bk/136.html.
- [7] University of Wisconsin. “Structure of Polymer Lattices Particular.” [Online] Available:
<http://www.uwsp.edu/chemistry/FacResearch1.pdf>.1989.
- [8] เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี. “น้ำยางสด.” วารสารเรื่องยางและพอลิเมอร์. ฉบับที่ 2, เมษายน-มิถุนายน. 2540.
- [9] รัตน์ เพชรจันทร์. “ยางพารา.” เอกสารนิเทศการศึกษา. ฉบับที่ 264, เมษายน-มิถุนายน. 2527.
- [10] Yip. E. and Goonez J.B. “Stability of Fresh Hevea Latex in Relation to Latex Vessel.” Plugging Proo Latex Rubber Conf Kuala Lumpur, Rubber Res. Inst. Malaysia. 2:203.1975.
- [11] Southorn W.A. “Physiology on Hevea (Latex-flow).” J.Rubber Res. Inst. Malaysia.21:494-512.1976.
- [12] อธิพิล แจ่มชัด. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง., 2547.
- [13] ประมวล ตั้งบริบูรณ์รัตน์. พอลิเมอร์คอลลอยด์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: รวบรวมวิชาการพิมพ์., 2545.
- [14] อุตสาหกรรมแปรรูปยาง. [Online] Available:
http://www.rubberthai.com/information/Wichakan50/18_%CD%D8%B5%CA%D2%CB%A1%C3%C3%1%E1%BB%C3%C3%D9%BB%C2%D2%A7.pdf

- [15] วิธีการผลิตน้ำยางชั้นของไทย. [Online] Available:
<http://www.yangpara.com/Plant/rubbermethod.htm>
- [16] ปรีดีเปรม ทศนกุล และคณะ. สารเสริมการจับตัวของน้ำยาง. ศูนย์วิจัยยางสงขลา สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร., 2541.
- [17] สุรพิชญ ลอยกุลนันท์ และคณะ. กระบวนการเก็บรวบรวมเนื้อยางจากทางน้ำยางธรรมชาติ. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค)., 2546.
- [18] อุตสาหกรรมยางพาราแปรรูปขั้นต้น. [Online] Available:
http://www2.diw.go.th/I_Standard/Web/pane_files/Industry12.asp
- [19] การผลิตยางแท่ง. [Online] Available:
<http://www.rakbankerd.com/kaset/view.php?id=219&s=tblplant>
- [20] อิทธิพล แจ่มชัด. พอลิเมอร์ฟิสิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [21] ศิริวรรณ ศรีสรณ์ตรี. สมดุลวัฏภาค. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ปรินดาการพิมพ์. 2533.
- [22] KK and LK Sharma. **Physical Chemistry**. 3 rd Ed. New York: Churchill Livingstone. 1997.
- [23] GANNON, Raymond, Peter. **METHOD AND APPARATUS FOR SEPARATING LIQUID MIXTURES USING INTERMITTENT HEATING**. Publication No. WO/1997/016237.
- [24] PARK, HYOUNG DAM, JUNG, JU YOUNG., **METHOD FOR RECYCLING HYDROXYPROPYMETHYCELLULOSE PROCESS WASTEWATER BY SEPARATING WATER-SOLUBLE POLYMER COMPOUNDS AND WATER-SOLUBLE LOW MOLECULAR ORGANIC COMPOUNDS FROM HYDROXYPROPYMETHYCELLULOSE PROCESS WASTEWATER USING AN ULTRAFINE MEMBRANE.**, Korean patent., Publication No.1020060076678A.
- [25] ABEL, Richard, COMBS, Robert, ROWLAND, Michael, SMITH, Stanley, W. **POLYMER RECOVERY**, Publication No. WO/1998/002467
- [26] Xavier Bourges, Michel Schmitt, Yves Amouriq, Guy Daculsi, Gilbert Legeay, and Pierre Weiss. **Interaction between hydroxypropyl methylcellulose and biphasic calcium phosphate after steam sterilisation: capillary gas chromatography studies**. J Biomater Sci Polym Ed.2001; 12(6):573-579

- [27] กรกฏ ไบบัวแก้ว.เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป
- [28] การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน [Online] Available: http://www.pdt.kmutnb.ac.th/E-Learning/Engineering_Economics/BEP.htm
- [29] การตัดสินใจจ่ายลงทุนระยะยาว. [Online] Available: <http://elearning.spu.ac.th/allcontent/act314/chapter05-4.htm>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การหาปริมาณเนื้อยางแห้ง

การหาปริมาณยางแห้งในหางน้ำยาง

1. ชั่งกระดาษกรองเบอร์ 1 , งานกระเบื้อง และบีกเกอร์
2. ชั่งหางน้ำยาง 20 กรัมใส่ในบีกเกอร์
3. นำกรดอะซีติกเข้มข้นร้อยละ 20 โดยปริมาตร ปริมาณ 20 มิลลิลิตร เติมลงในหางน้ำยาง เขย่า แล้วตั้งทิ้งไว้สักพัก
4. นำหางน้ำยางไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ตั้งทิ้งไว้จนเหลือแต่เนื้อยางบนกระดาษกรอง
5. นำกระดาษกรองใส่จาน จากนั้นนำไปอบพร้อมกับบีกเกอร์ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง
6. ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์, งาน และกระดาษกรอง จากนั้นหาค่าหนักยางพาราที่ได้

การหาปริมาณยางแห้งในยางที่ผ่านการคริม

1. นำยางพาราที่ผ่านการคริม 5 กรัม ลงในงานกระเบื้อง
2. เติมกรดอะซีติกเข้มข้นร้อยละ 20 โดยปริมาตร ปริมาณ 20 มิลลิลิตร เติมลงในงานกระเบื้อง รอสักครู่ ให้กรดจับตัวกับสาร โดยจะมีลักษณะเป็นแผ่น
3. เทกรดอะซีติกออก และนำยางแผ่นที่ได้ล้างน้ำประมาณ 3-5 นาที
4. อบยางพาราที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง
5. ชั่งน้ำหนักยางพาราที่ได้

ตาราง ก.1 ปริมาณเนื้อยางแห้งและร้อยละการนำกลับเนื้อยางที่ได้จากการครีมนำยางที่ความเข้มข้นสาร A702 ต่างๆ

%wt A 702	นน.ครีม	Sample ก่อนอบ	Sample หลังอบ	นน.ยางที่นำกลับได้	%นำกลับเนื้อยาง	%DRC ครีม
0.2	9.04	5.33	0.87	1.48	24.38	16.38
0.3	14.86	5.17	1.28	3.68	60.57	24.77
0.4	15.69	6.39	1.74	4.27	70.34	27.25
0.5	20.40	5.03	1.88	7.62	77.25	37.37
0.6	21.20	5.01	1.83	7.74	78.40	36.50
0.7	21.70	5.01	1.74	7.53	76.31	34.70
0.8	20.80	5.01	1.72	7.16	78.44	34.43
0.9	23.20	5.00	1.64	7.61	77.14	32.82

ตาราง ก.2 ปริมาณเนื้อยางแห้งและร้อยละการนำกลับเนื้อยางที่ได้จากการครีมนำยางด้วยสารครีมที่นำกลับได้และเติมเพิ่มด้วยปริมาณต่างๆ (แบบกะ)

%A702 ที่เติมเพิ่ม	%นำกลับยาง						
	1	2	3	4	5	6	7
0	79.58	77.70	74.18	74.35	71.93	69.29	69.43
10	79.57	79.05	76.63	76.33	76.46	76.27	76.05
20	78.36	79.45	79.54	78.97	80.51	78.21	79.50
25	80.24	79.84	79.44	80.82	80.05	-	-
30	79.94	80.17	79.60	80.05	80.12	80.00	79.84
40	80.17	80.19	77.83	77.91	78.25	75.16	69.17
50	79.89	79.08	77.30	76.85	74.12	74.15	-
% A702 ที่เติมเพิ่ม	%DRC ครีม						
	1	2	3	4	5	6	7
0	30.67	28.08	27.57	27.63	26.94	27.11	25.94
10	30.22	28.57	29.26	28.18	30.27	30.15	30.88
20	29.43	29.44	29.63	29.53	29.43	30.76	29.78
30	30.44	29.46	28.89	29.72	30.01	30.80	29.61
40	30.67	29.62	29.24	30.27	30.30	30.99	23.03
50	30.76	28.25	29.17	29.57	30.99	30.48	-

ตาราง ก.3 ปริมาณเนื้อมะพร้าวแห้งและร้อยละการนำกลับเนื้อมะพร้าวที่ได้จากการครีมน้ำแข็งด้วยสาร
ครีมนำกลับได้และเติมเพิ่มด้วยปริมาณต่างๆ (แบบต่อเนื่อง)

%A702 ที่เติมเพิ่ม	%DRC ครีม				
	1	2	3	4	5
15	31.37	30.80	30.22	29.66	29.66
20	33.01	33.48	33.43	33.09	33.11
25	32.56	32.26	32.02	32.39	32.44
%A702 ที่เติมเพิ่ม	%นำกลับยาง				
	1	2	3	4	5
15	77.05	74.63	75.60	74.61	74.05
20	80.50	81.66	81.54	80.70	80.76
25	79.43	78.67	78.09	78.99	79.13

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองอุณหภูมิสารละลาย A702

ตารางที่ ข.1 อุณหภูมิสารละลายวิกฤติต่ำสุดของสารละลายสารครีมในระบบต่างๆ

ความเข้มข้นของ สารละลายสารครีม (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ(°C)		
	ระบบสารละลาย สารA702/น้ำ	ระบบสารละลาย สาร A702/น้ำ ที่มี NH ₃ ร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนัก	ระบบสารละลาย สารA702/ซีรัม
0.3	80	81	-
0.4	80	81	-
0.5	80	80	67
0.6	79	80	65
0.7	78	80	64
0.8	77	79	63
0.9	75	77	-
1	75	77	-
2	70	72	-
3	67	69	-
4	64	66	-
5	64	66	-

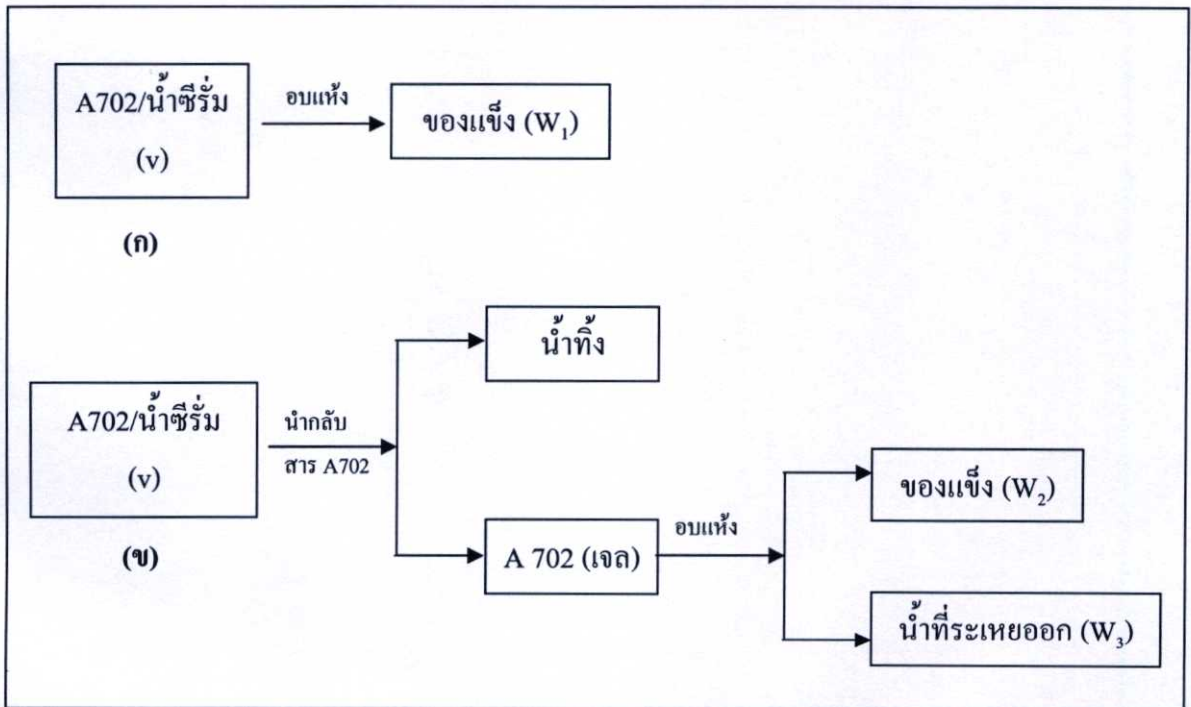
ภาคผนวก ค

วิธีคำนวณปริมาณสารครีม A702 ที่นำกลับได้

ค.1 วิธีการคำนวณร้อยละการนำกลับสาร A702

นำหางน้ำยางและน้ำปริมาณ V มาครีမ်กับสารครีม A702 ปริมาณ Y แล้วตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้นเป็นชั้นครีมและชั้นซีรัม โดยจะได้ชั้นครีมประมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตรของทั้งระบบ จากนั้นไขแยกชั้นซีรัมเพื่อนำไปให้ความร้อนเพื่อนำกลับสาร A702 การคำนวณร้อยละการนำกลับสาร A702 สามารถคำนวณได้จากการทำดุลมวลดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยมีสมมุติฐาน 3 คือ

1. สาร A702 กระจายตัวในน้ำอย่างสม่ำเสมอ
2. โพรตีน, คาร์โบไฮเดรต, ไขมัน และอนุภาคยางที่นำกลับไม่ครบ กระจายตัวในน้ำอย่างสม่ำเสมอ
3. ปริมาณน้ำคงที่ตลอดการทดลอง(ความเข้มข้นของสาร A702, Non-rubbers และอนุภาคยางในน้ำคงที่)



รูปที่ 3.4 แผนผังแสดงดุลมวลของสาร A702

(ก) ระบบที่ไม่มีการนำกลับสาร A702, (ข) ระบบที่มีการนำกลับสาร A702

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการทดลองเพื่อหาความเข้มข้นของสารอื่นที่ไม่ใช่ A702 ในน้ำซีรัม (nonA702) โดยนำน้ำซีรัมปริมาตร v ไประเหยแห้งตามรูป 3.4 (ก) เพื่อหาน้ำหนัก W_1 โดยองค์ประกอบหลักใน W_1 มี 2 ส่วน คือ สาร A702 และสารอื่นที่ไม่ใช่ A702 ในน้ำซีรัม (โปรตีน, คาร์โบไฮเดรต, ไขมัน และอนุภาคยงที่นำกลับไม่หมด)

$$\begin{aligned}
 W_1 &= A702 + \text{nonA702} \\
 \text{nonA702} &= W_1 - A702 \\
 &= W_1 - \left(Y \times \frac{v}{V}\right) \\
 \therefore \text{ความเข้มข้นของ nonA702} &= \frac{W_1 - \left(Y \times \frac{v}{V}\right)}{v} \quad (\text{ค.1})
 \end{aligned}$$

2. ทำการทดลองนำกลับสาร A702 โดยนำน้ำซีรัมปริมาตร v มาให้ความร้อนเพื่อนำกลับสาร A702 ได้เป็น A702 (เจล) แล้วนำ A702 (เจล) ที่ได้ไปอบแห้งตามรูป 3.4 (ข) ได้เป็น W_2 และ W_3 โดยองค์ประกอบใน W_2 มี 2 ส่วน คือ สาร A702 ที่นำกลับได้ (X) และ nonA702 บางส่วนที่ติดเข้ามา กับ A702 (เจล) ในระหว่างการนำกลับ (some nonA702) ซึ่งสาร A702 ที่นำกลับไม่หมดและ nonA702 ที่เหลือจะอยู่ในน้ำทิ้ง

$$\begin{aligned}
 W_2 &= X + \text{some nonA702} \\
 X &= W_2 - \text{some nonA702} \quad (\text{ค.2})
 \end{aligned}$$

โดยที่ปริมาณของ some nonA702 ที่อยู่ A702 (เจล) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ W_3 ซึ่งความเข้มข้นของ nonA702 ในการทดลองที่ 2 นี้ยังคงเท่ากับการทดลองที่ 1 ดังนั้นปริมาณ

some nonA702 ในการทดลองที่ 2 เท่ากับ $W_3 \times \frac{W_1 - \left(Y \times \frac{v}{V}\right)}{v}$ แทนค่ากลับในสมการที่ ค.2

$$X = W_2 - W_3 \times \frac{W_1 - \left(Y \times \frac{v}{V}\right)}{v} \quad (\text{ค.3})$$

$$\therefore \text{ร้อยละการนำกลับสาร A702} = \frac{X}{Y \times \frac{v}{V}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละการนำกลับสาร A702} = \frac{W_2 - \left[W_3 \times \frac{W_1 - (Y \times \frac{v}{V})}{v} \right]}{Y \times \frac{v}{V}} \times 100 \quad (\text{ก.4})$$

ตัวอย่างการคำนวณ

นำหางนํ้ายงและนํ้าปริมาณ 250 กรัม มาครีมนกับสารครีมน A702 ปริมาณ 1.5 กรัม ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น จากนั้นไขแยกชั้นชีร์มปริมาณ 50 กรัม นำไปให้ความร้อนเพื่อนํ้ากลับสาร A702 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ปริมาณสาร A702 ที่นํ้ากลับได้ในสารละลายสาร A702 (ระบบแบบกะ)

V นํ้าชีร์ม	A702 เจล	W ₂	W ₃	A702 ที่นํ้ากลับได้(X)	%นํ้ากลับ A702
50	8.21	0.66	7.55	0.2976	99.20
50	7.31	0.59	6.72	0.2674	89.14
50	7.41	0.59	6.82	0.2626	87.53

ขั้นตอนการคำนวณ

1. นำนํ้าชีร์มปริมาณ 10.01 กรัม อบแห้งได้เป็นนํ้าหนัก W₁ = 0.55 กรัม แทนค่าในสมการ ก.1

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ nonA702} &= \frac{W_1 - \left(Y \times \frac{v}{V} \right)}{v} \\ &= \frac{0.55 - \left(1.5 \times \frac{10.01}{250} \right)}{10.01} \\ &= 0.048 \end{aligned}$$

2. นำนํ้าชีร์มปริมาณ 50 กรัม มาให้ความร้อนเพื่อนํ้ากลับสาร A702 แล้วนำไปอบแห้งตามรูป 3.4 (ข) ได้นํ้าหนัก W₂ = 0.59 กรัม และ W₃ = 6.72 กรัม แทนค่าในสมการที่ ก.4

$$\text{ร้อยละการนำกลับสาร A702} = \frac{W_2 - \left[W_3 \times \frac{W_1 - (Y \times \frac{v}{V})}{v} \right]}{Y \times \frac{v}{V}} \times 100$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0.59 - \left[6.72 \times \frac{0.55 - (1.5 \times \frac{10.01}{250})}{10.01} \right]}{1.5 \times \frac{10.01}{250}} \times 100 \\
 \text{ร้อยละการนำกลับสาร A702} &= 87.26
 \end{aligned}$$

จากการทดลองพบว่าร้อยละการนำกลับสาร A702 จะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำหนัก W_2 ดังนั้น

$$\text{ร้อยละการนำกลับสาร A702} = \frac{\text{factor} \times W_2}{Y \times \frac{V}{V}} \times 100 \quad (\text{ก.5})$$

แทนค่า ร้อยละการนำกลับสาร A702 และ W_2 ในสมการที่ ก.5

$$87.26 = \frac{\text{factor} \times 0.59}{1.5 \times \frac{50}{250}}$$

จะได้ค่า $\text{factor} = 0.45$

ตารางที่ ค.2 ปริมาณสาร A702 ที่นำกลับได้ในสารละลายสาร A702 ในระบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ
ต่างๆ (ระบบแบบกะ)

อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการ ให้ความร้อน (นาที)	ปริมาณ A702 ที่นำกลับได้ (g)		ร้อยละการนำกลับสาร A702 (%wt/wt)	
		A702/น้ำ	A702/น้ำ+ NH ₃	A702/น้ำ	A702/น้ำ+ NH ₃
85	0	0.0678	0.0557	22.6	18.57
	20	0.1729	0.0873	57.63	29.1
	40	0.1643	0.1486	54.77	49.53
	60	0.1598	0.1379	53.27	45.97
	80	0.1749	0.1402	58.3	44.03
	100	0.1751	0.1571	58.37	52.37
95	0	0.1235	0.1095	41.17	36.5
	20	0.2702	0.2366	90.07	78.87
	40	0.2417	0.2062	80.57	68.73
	60	0.2633	0.2241	87.77	74.7
	80	0.2344	0.2412	78.13	80.4
	100	0.2397	0.2302	79.9	76.73

ตารางที่ ค.3 ปริมาณสาร A702 ที่นำกลับได้ในสารละลายสาร A702 /ซีรัม ที่อุณหภูมิต่างๆ
(ระบบแบบกะ)

อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการให้ความ ร้อน (นาที)	ปริมาณ A 702 (เจด) ที่นำกลับได้ (g)	ร้อยละการนำกลับสาร A702 (%wt/wt)
85	0	0.6996	93.24
	10	0.6618	88.20
	20	0.6383	85.07
	30	0.6039	80.49
	40	0.6247	83.26
	50	0.7033	93.74
	60	0.6159	82.09
90	5	0.7309	84.77
	10	0.6407	74.30
	20	0.6811	78.99
	30	0.6463	74.96
	40	0.673	78.05
	50	0.6661	77.25
	60	0.6658	77.22
95	0	0.7866	104.84
	10	0.5487	73.13
	20	0.5582	74.40
	30	0.5387	71.80
	40	0.526	70.10
	50	0.4996	66.59
	60	0.5492	73.20

ตารางที่ ค.4 ปริมาณสารครีม A702 ที่นำกลับได้ในสารละลายสารครีม A702 ในน้ำซีรัม
ที่ space-time ต่างๆ (ระบบแบบต่อเนื่อง)

Space-time	เวลา	A 702 (เจล) ที่นำกลับได้ (g)	R	A702 ที่นำกลับได้ (g)	ร้อยละการนำกลับ สาร A702
25.38	15	53.30	0.0463	2.4685	16.88
	30	90.76	0.0725	6.5810	45.00
	45	95.23	0.0700	6.6707	45.61
	60	78.18	0.0797	6.2277	42.58
	75	101.67	0.0728	7.4021	50.61
	90	85.34	0.0729	6.2240	42.56
	105	90.93	0.0718	6.5301	44.65
	120	83.11	0.0777	6.4594	44.17
	135	92.67	0.0718	6.6501	45.47
34.37	16	67.69	0.0677	4.5855	39.80
	31	88.96	0.0912	8.1105	75.10
	46	83.45	0.0911	7.6021	70.39
	61	85.68	0.0949	8.1344	75.32
	76	80.66	0.0911	7.3492	68.05
	91	84.03	0.1034	8.6918	80.48
	106	82.47	0.1033	8.5225	78.91
	121	85.66	0.0937	8.0235	74.29
	136	91.31	0.0905	8.2592	76.47
44.59	13	35.86	0.0992	3.5582	49.32
	28	79.91	0.0968	7.7381	92.95
	50	118.58	0.0820	9.7200	79.61
	66	46.47	0.0846	3.9298	44.26
	81	57.75	0.0986	5.6927	68.38
	96	72.44	0.1081	7.8314	94.07
	113	88.96	0.0929	8.2625	87.57
	128	71.79	0.0959	6.8811	82.66
	143	93.83	0.0842	7.8959	94.84

ตารางที่ ค.4 (ต่อ) ปริมาณสารครีม A702 ที่นำกลับได้ในสารละลายสารครีม A702 ในน้ำซีรัม
ที่ space-time ต่างๆ (ระบบแบบต่อเนื่อง)

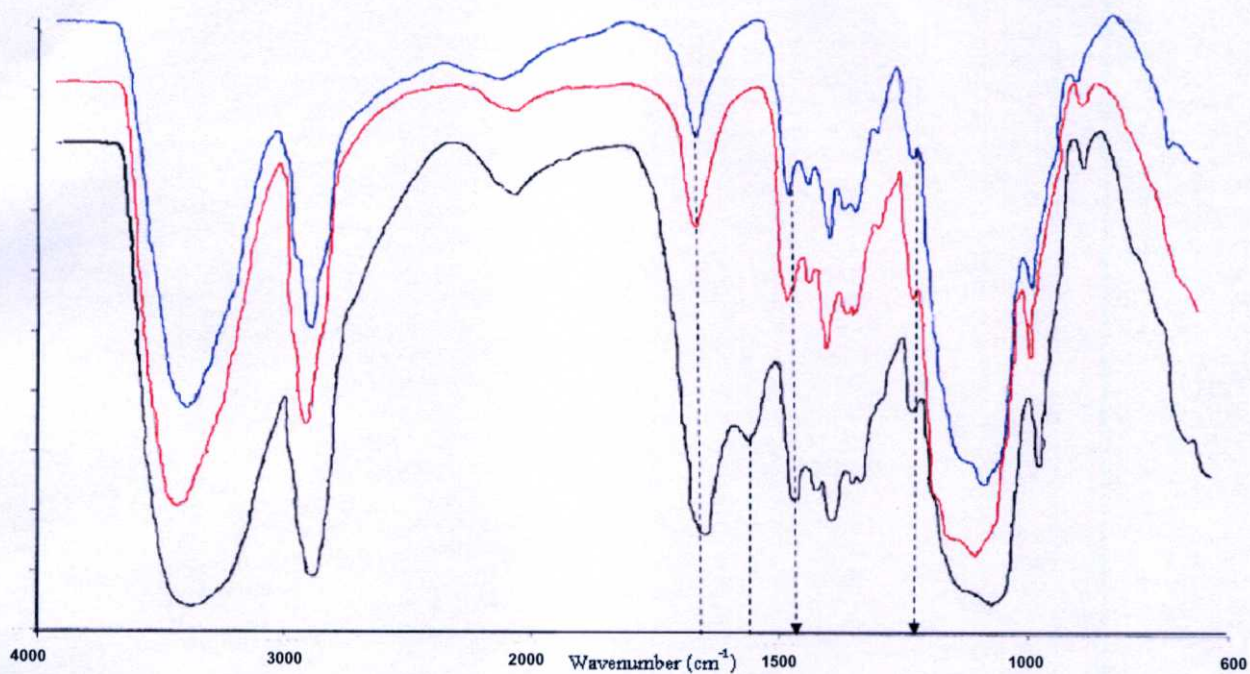
Space-time	เวลา	A 702 (เจต) ที่นำกลับได้ (g)	R	A702 ที่นำกลับได้ (g)	ร้อยละการนำกลับ สาร A702
55	15	46.13	0.0463	2.1365	31.65
	30	63.13	0.0982	6.1986	91.83
	45	58.87	0.0926	5.4499	80.74
	60	65.68	0.0925	6.0766	90.02
	75	55.37	0.0948	5.2478	77.74
	90	59.44	0.0963	5.727	84.84
	105	57.69	0.0986	5.6867	84.25
	120	55.09	0.1016	5.5985	82.94
	135	69.63	0.0877	6.1071	90.48

ภาคผนวก ง

สมบัติสาร A702 ที่นำกลับได้

ง.1 การทดสอบสาร A702 ที่นำกลับได้ด้วยเทคนิค IR

การวิเคราะห์สาร A702 ด้วยเทคนิค IR เป็นการวิเคราะห์เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงพันธะในโมเลกุลของสาร A702 ที่นำกลับได้เทียบกับสาร A702 ที่ยังไม่ได้ใช้งานและไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยตัวอย่างสาร A702 ที่นำกลับแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สาร A702 ที่นำกลับได้จากระบบสารละลาย A702/น้ำ ซึ่งเป็นระบบอุดมคติ และสาร A702 ที่นำกลับได้จากระบบสารละลาย A702/น้ำซีรัม ซึ่งเป็นระบบที่ใช้จริง ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ ง.1 ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะของ spectrum ที่เกิดขึ้นในกรณีของสาร A702 ที่ยังไม่ได้ใช้งานและสาร A702 ที่นำกลับได้จากระบบสารละลาย A702/น้ำ จะมีลักษณะ spectrum คล้ายคลึงกัน คือมีจำนวน peak ที่เกิดขึ้นเท่ากันและตำแหน่งการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง wavenumber ใกล้เคียงกันทั้งหมด แต่พื้นที่ได้กราฟของ A702 ที่นำกลับได้จากระบบสารละลาย A702/น้ำ เพิ่มขึ้นจากสาร A702 ที่ยังไม่ได้ใช้งานเพียงเล็กน้อย ในช่วงตำแหน่งการดูดกลืนแสงระหว่าง $1455-1195\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเกิดจากความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ ดังนั้นการให้ความร้อนระหว่างกระบวนการนำกลับสาร A702 ไม่ส่งผลทำให้โมเลกุลของสาร A702 เปลี่ยนแปลงไป และเมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างสาร A702 ที่นำกลับได้จากระบบสารละลาย A702/น้ำซีรัม และสาร A702 ที่ยังไม่ได้ใช้งาน พบว่าลักษณะ spectrum ที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันคือ สาร A702 ที่นำกลับได้จากระบบ A702/น้ำซีรัม เกิด peak ที่ตำแหน่งการดูดกลืนแสง 1650 และ 1542 cm^{-1} เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นช่วงของพันธะ N-H bending (Amines) และมีพื้นที่ได้กราฟเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงตำแหน่งการดูดกลืนแสง $1455-1195\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งอยู่ในช่วงของพันธะ C-N stretch (Amines) ซึ่ง amines เป็นหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของโปรตีน ดังนั้นลักษณะ spectrum ที่เปลี่ยนแปลงในโมเลกุลของสาร A702 ที่นำกลับได้ จึงเกิดจากโปรตีนในหางน้ำยาที่ปนอยู่ในสาร A702 ที่นำกลับได้



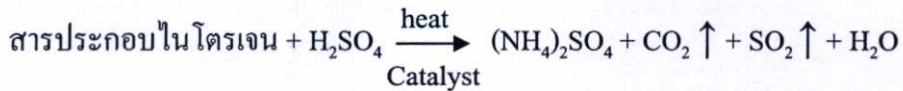
รูปที่ ค.1 spectrum ของสาร A702 (—) สาร A702 ที่ยังไม่ได้ใช้งาน,
 (—) สาร A702 ที่นำกลับได้จากระบบสารละลาย A702/น้ำ,
 (—) สาร A702 ที่นำกลับได้จากระบบ สารละลาย A702/น้ำแข็ง

ตารางที่ ค.1 พันธะในช่วงตำแหน่งการดูดกลืนแสงต่างๆ

C-H	Alkanes	2960-2850(s) stretch
C-H	Alkenes	3080-3020(m) stretch
		1000-675(s) bend
C-H	Aromatic Rings	3100-3000(m) stretch
	Phenyl Ring Substitution Bands	870-675(s) bend
C-H	Alkynes	3333-3267(s) stretch
		700-610(b) bend
C=C	Alkenes	1680-1640(m,w) stretch
C≡C	Alkynes	2260-2100(w,sh) stretch
C=C	Aromatic Rings	1600, 1500(w) stretch
C-O	Alcohols, Ethers, Carboxylic acids, Esters	1260-1000(s) stretch
C=O	Aldehydes, Ketones, Carboxylic acids, Esters	1760-1670(s) stretch
O-H	Monomeric -- Alcohols, Phenols	3640-3160(s,br) stretch
	Hydrogen-bonded -- Alcohols, Phenols	3600-3200(b) stretch
	Carboxylic acids	3000-2500(b) stretch
N-H	Amines	3500-3300(m) stretch
		1650-1580 (m) bend
C-N	Amines	1340-1020(m) stretch
C≡N	Nitriles	2260-2220(v) stretch
NO ₂	Nitro Compounds	1660-1500(s) asymmetrical stretch
		1390-1260(s) symmetrical stretch

ค.2 การทดสอบโปรตีนในสาร A702 ที่นำกลับได้โดยวิธี Kjeldahl Method

วิธี Kjeldahl Method เป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน โดยตัวอย่างจะถูกย่อยที่อุณหภูมิ 420°C ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น และเติมโพแทสเซียมซัลเฟตลงไป เพื่อเพิ่มจุดเดือดของการย่อยให้สูงขึ้น โดยมีคอปเปอร์ซัลเฟตเป็นคะตะลิสต์ (catalyst) เพื่อเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้นเกิดเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของไนโตรเจน ได้เป็นแอมโมเนียมซัลเฟต ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่เกิดขึ้นจะระเหยออกไป ดังสมการ



เมื่อเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่มากเกินไปลงในแอมโมเนียมซัลเฟต จะได้ก๊าซแอมโมเนียออกมา และให้ความร้อนโดยการกลั่นเพื่อไล่ก๊าซแอมโมเนียออกมาให้หมด และจับด้วยสารละลายกรดบอริก 4 % แล้วไตเตรดหาปริมาณแอมโมเนียมด้วยสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.1M ที่มีการหาความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว (standardization) โดยการไทเทรตกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต เพื่อคำนวณปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ดังนั้นผลวิเคราะห์ที่ได้เป็นปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต้องคูณด้วยค่า conversion factor เท่ากับ 6.25 เพื่อเปลี่ยนให้เป็นปริมาณโปรตีนทั้งหมด

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน (% N) และเปอร์เซ็นต์โปรตีนได้ดังนี้

$$\% \text{ N} = \frac{V(\text{sample} - \text{blank}) \times M \times 14.007 \times 100}{W \times 1000} \quad \dots\dots (1)$$

$$\% \text{ Protein} = \% \text{ N} \times F \quad \dots\dots (2)$$

เมื่อ

V = ปริมาตรของกรด HCl ที่ใช้ หน่วยเป็น มิลลิลิตร

M = ความเข้มข้นกรด HCl หน่วยเป็น โมลาร์

F = ค่าคงที่ (Kjeldahl content = 6.25)

W = น้ำหนักตัวอย่าง หน่วยเป็นกรัม

1000 = เพื่อเปลี่ยนหน่วยของน้ำหนักตัวอย่าง หน่วยเป็นมิลลิกรัม

14.007 = น้ำหนักอะตอมของไนโตรเจน

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในสาร A702 ที่ยังไม่ได้ใช้งานเท่ากับร้อยละ 0.024 โดยน้ำหนักคิดเป็นปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนัก และปริมาณไนโตรเจน

ทั้งหมดในสาร A702 ที่นำกลับได้ในระบบ A702/น้ำซีรัม มีค่าในช่วงร้อยละ 1.41-2.17 โดยน้ำหนัก ซึ่งปริมาณโปรตีนในช่วงร้อยละ 8.7-13.6 โดยน้ำหนัก ซึ่งพบการทดสอบสอดคล้องกับผลในข้อ ค.1 ที่พบปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นในสาร A702 ที่นำกลับได้ในระบบ A702/น้ำซีรัม

ค.3 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดย gel permeation chromatography

ผลการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของสาร A702 ที่ยังไม่ได้ใช้งานและสาร A702 ที่นำกลับได้ในระบบ A702/น้ำซีรัม ดังแสดงในตารางที่ ค.2

ตารางที่ ค.2 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของสาร A702

	Mn(Daltons)	Mw(Daltons)	Polydispersity
สาร A702 ที่ยังไม่ได้ใช้งาน	159829	587886	3.6782
สาร A702 ที่นำกลับได้ในระบบ A702/น้ำซีรัม	268858	620447	2.3077

ผลการทดลองพบว่าสาร A702 ที่นำกลับได้ในระบบ A702/น้ำซีรัม มีค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (Mw) มากขึ้น และการกระจายตัว (Polydispersity) ลดลง และจากผลการทดลองในหัวข้อ 4.1.5 พบว่ามีสาร A702 บางส่วนที่สูญเสียไประหว่างการนำกลับ จากผลการทดลองทั้ง 2 สรุปได้ว่าสาร A702 ที่สูญเสียไประหว่างการนำกลับ เป็นสาร A702 ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ (โมเลกุลมีขนาดเล็ก) ซึ่งสาร A702 ที่มีขนาดใหญ่มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำกลับได้มากกว่าโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก จึงทำให้น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยในสาร A702 ที่นำกลับได้ในระบบ A702/น้ำซีรัม สูงขึ้นและขนาดโมเลกุลแต่ละตัวมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น ทำให้ค่าการกระจายตัวลดลง

ภาคผนวก จ

การคำนวณค่าพลังงานในการนำกลับสาร A702

การคำนวณพลังงานในการนำกลับสาร A702 ในน้ำซีรัม (ต่อ 1 กิโลกรัมยางแห้ง) คำนวณจากสมการ

$$Q = mC_p \Delta T$$

m = ปริมาณน้ำซีรัม
 C_p = ค่าความจุจำเพาะของน้ำซีรัม
 ΔT = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

จากผลการทดลอง

$$m = 20 \text{ กิโลกรัม}$$

$$C_p = 4.53 \frac{KJ}{Kg.K}$$

$$\Delta T = 38^\circ C \text{ (อุณหภูมิน้ำซีรัมหลังการให้ความร้อนเบื้องต้นเป็น } 52^\circ C \text{ และนำกลับสาร A702 ที่ } 90^\circ C)$$

แทนค่าสมการ

$$Q = 20Kg \times 4.53 \frac{KJ}{Kg.K} \times 38K$$

$$Q = 3442.8 \text{ KJ}$$

เกิด Heat loss ประมาณ 10% สูญเสียพลังงานไป

$$Q_{\text{loss}} = 344.3 \text{ KJ}$$

การคำนวณค่าไฟฟ้า

$$\text{ค่าไฟฟ้า 1 หน่วย} = 3600 \text{ KJ} = 3.20 \text{ บาท}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายในการนำกลับสาร A702} &= \frac{(3442.8 + 344.3KJ)}{3600KJ} \times 3.20 \text{ บาท} \\ &= 3.36 \text{ บาท/กิโลกรัมยางแห้ง} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ฉ

ผลงานทางวิชาการ

1. วารสารเรื่อง “การพัฒนากระบวนการแบบต่อเนื่องเพื่อนำกลับสารเคมีที่ใช้ในการผลิตน้ำยางชั้นจากยางน้ำยาง”
2. สิทธิบัตรเรื่อง “เครื่องแยกและนำกลับ โพลีเมอร์ที่ไวต่อความร้อนแบบต่อเนื่อง”



วันที่ 26 มีนาคม 1

มีนาคม 2552

Telecommunication Engineering	
1. Ternary Sequential Logic Design <i>S. Wisaphanchai, K. Silapachart and K. Dejhan</i>	1
2. Differential Voltage Current Conveyor-Based Chopper Modulator Circuit <i>M. Kurngern, T. Treepayak and K. Dejhan</i>	7
3. Electronically Tunable Current-Mode Multifunction Filter with Three Inputs and Single Output <i>M. Kurngern and K. Dejhan</i>	13
4. Current Tunable Current-Mode Universal Filter with Single Input and Three Outputs <i>M. Kurngern and K. Dejhan</i>	19
5. Simple CMOS Square-Rooting Circuit <i>M. Kurngern and K. Dejhan</i>	25
6. Multiphase Sinusoidal Oscillator Differentiator-based Using CCCIs <i>M. Somdunyakarnak, J. Juansang, P. Prommee and K. Dejhan</i>	31
7. Analysis of p-persistent Random Slot Multiple Accesses Algorithm for DOCSIS <i>T. Pawasophon and S. Sittichivapak</i>	37
Electrical Power Engineering	
8. Design and Analysis of a Solar Cell Simulator Circuit <i>A. Ewatakarnwivat, C. Chooak and V. Kinnares</i>	42
Chemical Engineering	
9. Developing of a Continuous Process for Recovery of Creaming Agent Used in the Production of Concentrated Latex from Skim Latex <i>C. Saisangthum, D. Na-Ranong, S. Loykulnit and C. Kongkaew</i>	48
Mechanical Engineering	
10. A Study of Guideline of Potential Modification of Webcam Application in Image Based Displacement Measuring <i>T. Asornthong and T. Huanan</i>	54
Industrial Engineering	
11. Factorial Experiment Design for Optimizing Lacquering Process of Tin Plate <i>T. Kitchaerapal</i>	60

วิศวกรรมโทรคมนาคม

1. การออกแบบวงจรเทอร์มินาชันเว็ลลอสจิก <i>สมพงษ์ นิตยหาญชิริ, ผู้เกียรติ ศิปะไพศาลศรี, กอบชัย เศรษฐหาญ</i>	1
2. วงจรข้อผิดพลาดเดอริเวอ์เชิงจรรยาพจนกระแสนแรงดันอินพุตแตกต่างกันเป็นวงจรพื้นฐาน <i>มนตรี คำเงิน, อธิมา ศรีภักดิ์, กอบชัย เศรษฐหาญ</i>	7
3. วงจรกรองความถี่หลายฟังก์ชันโหมตกระแสนที่รับค่าพหามิตอร์ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์แบบสามอินพุตและหนึ่งเอาต์พุต <i>มนตรี คำเงิน, กอบชัย เศรษฐหาญ</i>	13
4. วงจรกรองความถี่หลายรูปแบบโหมตกระแสนที่รับค่าพหามิตอร์ด้วยกระแสนแบบหนึ่งอินพุตและสามเอาต์พุต <i>มนตรี คำเงิน, กอบชัย เศรษฐหาญ</i>	19
5. วงจรสร้างที่ส่งอย่างง่ายที่สร้างด้วยเทคโนโลยีซีมอส <i>มนตรี คำเงิน, กอบชัย เศรษฐหาญ</i>	25
6. วงจรกำเนิดสัญญาณโซมหลายเฟสด้วยโครงสร้างดีเฟอเรนเชียลโดยใช้ CCCII <i>มนตรี สมุดสมภก, จตุพล จวนสง, ทวีวัฒน์ หอนมี, กอบชัย เศรษฐหาญ</i>	31
7. การวิเคราะห์กระบวนการทางเข้าถึงหลายเล็ดแบบแรมดอมค่า p-persistent สำหรับโครงข่าย DOCSIS <i>ธัญรัตน์ ภาระโสมาน, สุวิมล สิทธิชีวภาค</i>	37

วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง

8. การออกแบบและวิเคราะห์วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า <i>เอก เขื่อนขันธ์การวิวัฒน์, ชัยวุฒิ สุวัจน์, วิจิตร กิมรต</i>	42
--	----

วิศวกรรมเครื่องกล

9. การพัฒนากระบวนการแบบต่อเนื่องเพื่อปากลับสารเคมีที่ใช้ในการผลิตน้ำยาล้างจานทางน้ำยาง <i>ชัยวุฒิ สายแสงธรรม, ดวงกมล ณ ระนอง, สุรวิชัย ลอยกุลนันท์, อวีวรรณ คงแก้ว</i>	48
---	----

วิศวกรรมอุตสาหการ

10. การศึกษาแนวทางปรับปรุงคุณภาพของการประยุกต์กล้องเว็บแคมในการวัดระยะเชิงภาพ <i>เทอด ยักษ์ทอง, สุทัศนะ พุฒะนันท์</i>	54
11. การออกแบบการทดลองแบบแผนเดอริเวอ์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบแลกเกอร์บนแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก <i>ทศพล เกียรติเจริญผล</i>	60

การพัฒนากระบวนการแบบต่อเนื่องเพื่อนำกลับสารครีมที่ใช้ใน การผลิตน้ำยางชั้นจากหางน้ำยาง

Developing of a continuous process for recovery of creaming agent used in the production of concentrated latex from skim latex

ชัยวุฒิ สายแสงธรรม¹, ควงกมล ฉะระนอง¹, สุรพิชญ์ ลอยกุลนันท์² และฉวีวรรณ คงแก้ว²

- 1) ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2) ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการนำกลับสารครีมด้วยกระบวนการแบบกะ โดยศึกษาอิทธิพลของลักษณะการให้ความร้อน เวลาในการให้ความร้อน ที่มีต่อประสิทธิภาพการนำกลับสารครีม ผลการทดลองพบว่า การให้ความร้อนอย่างรวดเร็วมีผลทำให้ร้อยละการนำกลับสาร A702 ต่ำกว่าการให้ความร้อนโดยใช้น้ำมันร้อน อุณหภูมิเกิดหมอก (Cloud point temperature) ของระบบสารครีมในน้ำสูงกว่าในระบบสารครีมในน้ำซีรัม สภาวะที่เหมาะสมในการนำกลับของกระบวนการแบบกะคืออุณหภูมิ 90°C และเมื่อให้ความร้อนนาน 20 นาทีขึ้นไป ปริมาณของแข็งทั้งหมด (A702 + สารปนเปื้อนในซีรัม) ที่ได้จากการนำกลับค่อนข้างคงที่ และสามารถนำกลับสารครีมได้ 77% จากนั้นได้ออกแบบเครื่องนำกลับแบบต่อเนื่องขึ้น โดยอ้างอิงข้อมูลที่ได้จากการทดลองขั้นต้น พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่นำกลับได้มีค่าสูงสุดเมื่อซีรัมมีอุณหภูมิ 90 °C นาน 27 นาที โดยสามารถนำกลับสารครีมได้ 82% ซึ่งมีประสิทธิภาพการนำกลับสารครีมดีกว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการนำกลับด้วยระบบแบบกะ

คำสำคัญ: สารครีม, เครื่องแยกแบบต่อเนื่อง, อุณหภูมิจุดเกิดหมอก, หางน้ำยาง

Abstract

In this study, the effect of operating parameters (method of heating, temperature and heating time) on the efficiency of the recovery process was investigated using the solution of Creaming agent-water (CA-W) and CA-serum (CA-S). The experiments were performed using batch and continuous setups. The result showed that rapid heating resulted in the higher cloud point temperature and the lower percentage of the recovered creaming agent comparing to external heating by oil bath. The cloud point temperature of the CA-W was higher than that of the CA-S. An appropriated recovery temperature of the batch operation was 90°C, and the amount of total solid recovered (CA+ impurities) was nearly constant after 20 min of heating. Under this condition, the recovery of creaming agent was 77%wt. A continuous separator was

designed based on the obtained data. The maximum amount of the recovered creaming agent was obtained under the condition of $T = 90^{\circ}\text{C}$ for 27 min. The recovery of creaming agent was 82%wt. The designed continuous separator showed good performance comparable to the batch one.

Keyword: creaming agent, continuous separator, cloud point temperature, skim latex

1. บทนำ

เทคโนโลยีการผลิตที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางพาราในประเทศไทย เริ่มจากการนำน้ำยางสดไปปั่นแยกด้วยเครื่องเหวี่ยง (Centrifuge) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำยางข้นที่สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีราคาสูง เช่น กุ้งมือ กุ้งยางอนามัย เป็นต้น[1] แต่กระบวนการปั่นแยกที่ใช้ ไม่สามารถเก็บรวบรวมเนื้อยางที่มีอยู่ได้ครบถ้วน คือสามารถรวบรวมน้ำยางในลักษณะน้ำยางข้นได้เพียง 45% และที่เหลืออีก 55% จะเป็นหางน้ำยาง (skim) ซึ่งหางน้ำยางจะมีเนื้อยางเจือปนอยู่ 3-8%DRC (Dry rubber content) [2] โดยทั่วไปโรงงานอุตสาหกรรมพยายามรวบรวมเนื้อยางในหางน้ำยางโดยเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Concentrated sulfuric acid) วิธีนี้เป็นวิธีเดียวที่ใช้กันอยู่ในอุตสาหกรรมยางพาราของไทย ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย แต่ยังมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อใช้กับหางน้ำยางที่เก็บไว้นานและหางน้ำยางที่มีปริมาณแอมโมเนียสูง[3] เนื้อยางที่ได้จากการจับตัวด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นนี้มีกลิ่นเหม็น มีคุณภาพต่ำ และมีโปรตีนสูง นอกจากนี้ยังไม่สามารถแยกเอาสารเคมีที่ช่วยในการแยกเนื้อยางออกจากส่วนที่เป็นน้ำทิ้งได้ น้ำทิ้งที่เหลือภายหลังจากจับเนื้อยางออกไปแล้วจึงมีค่าความเป็นกรดสูง เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม จำเป็นต้องมีการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่บ่อน้ำทิ้ง ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำทิ้งเป็นจำนวนมากก่อนปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรม[4]

นักวิจัยจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)[5] จึงได้พัฒนาเทคโนโลยีการผลิตใหม่ในการเก็บรวบรวมเนื้อยางในหางน้ำยาง โดยใช้สารเคมี A702 ซึ่งวิธีการใหม่นี้มีประสิทธิภาพในการรวบรวมเนื้อยางได้ถึง 95% เนื้อยางแห้งที่ได้มีคุณภาพสูงขึ้น คือ มีสีจางและมีโปรตีนต่ำ สามารถแยกเอาสารเคมีออกมาจากน้ำทิ้งได้ อีกทั้งสามารถนำกลับไปใช้ได้ใหม่ในกระบวนการแยกเนื้อยางออกจากหางน้ำยางธรรมชาติครั้งต่อๆ ไปได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ ดังนั้นน้ำทิ้งจากกรรมวิธีนี้จึงมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง เนื่องจากไม่เป็นกรดและปราศจากการปนเปื้อนของสารเคมี แต่กระบวนการนี้มีข้อจำกัดที่สำคัญ คือ สารเคมีที่ใช้มีราคาแพง จะต้องนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ให้ได้ จึงได้มีการออกแบบเครื่องแยกและนำกลับสารเคมี ให้สามารถนำกลับสารเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้งานได้ง่าย และมีต้นทุนในการปฏิบัติงานต่ำกว่ากระบวนการนี้จึงจะมีความคุ้มค่าแก่การลงทุนยิ่งขึ้น ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะนำกระบวนการนี้ไปใช้กันอย่างแพร่หลายและพัฒนาเป็นทางเลือกใหม่ของอุตสาหกรรมการผลิตยางพาราไทยได้ อีกทั้งยังสนับสนุนเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นโดยกลุ่มนักวิจัยไทยให้สามารถนำไปใช้ได้จริงในระดับอุตสาหกรรม ลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ

2. สารเคมีและวิธีการทดลอง

2.1 สารเคมี

1. สาร A702 (พอลิเมอร์ที่ไวต่อความร้อน)
2. น้ำปราศจากไอออน
3. สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 25 %wt
4. หางน้ำยางพารา จากโรงงานอุตสาหกรรมยางพาราในภาคตะวันออก

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 ระบบแบบกะ

- การครีมนางน้ำยางด้วยสารเคมี A702
กวนสารเคมี A702 เข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนักในน้ำปราศจากไอออนเป็นเวลา 1 วัน จากนั้น เติมหางน้ำยางตามสัดส่วน 4:1 ในสารละลายสารเคมี และกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ให้แยกชั้น

- การหาอุณหภูมิสารละลายวิกฤตที่สุดของสาร A702 ใน 3 ระบบ

นำสาร A702/น้ำ, A702/น้ำ+แอมโมเนีย และ A702/น้ำซีรัม เข้มข้นร้อยละ 0.3-5 โดยน้ำหนัก มาบรรจุในหลอดแก้ว แล้วนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ โดยเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ พร้อมทั้งสังเกตการเปลี่ยนสีของสารละลายสาร A702 ที่มีความเข้มข้นต่างๆ

- การนำกลับสาร A702 ในสารละลายทั้ง 3 ระบบ

นำสาร A702/น้ำ, A702/น้ำ+แอมโมเนีย และ A702/น้ำซีรัม ปริมาณ 50 กรัม ใส่ในถ้วยสเตนเลสและนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 85, 90 และ 95 °C เป็นเวลานาน 0-120 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนด สำหรับระบบ A702/น้ำ, A702/น้ำ+แอมโมเนีย กรองสารละลาย A702 ในเตาอบ ผ่านกระดาษกรอง สำหรับระบบ A702/น้ำซีรัม กรองสารละลาย A702 โดยใช้ตะแกรงขนาด 50 เมช แล้วนำสาร A702 อบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 วัน

2.2.2 ระบบแบบต่อเนื่อง

ทดลองนำกลับสารครีม A702 ในน้ำซีรัม ด้วยเครื่องแยกและนำกลับสารครีมที่ออกแบบขึ้น โดยใช้อุณหภูมิ 90°C และควบคุมระยะเวลาที่สารครีมอยู่ในเครื่องนาน 15-55 นาที แล้วนำสารครีมที่ได้อบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 วัน

2.2.3 การคำนวณร้อยละการนำกลับของสาร A702

ค่าร้อยละการนำกลับที่ใช้ในงานวิจัยนี้คำนวณจาก

สมการ

นน.ของแข็งที่นำกลับได้หลังอบ+TDS*น้ำทิ้ง

$$\% \text{นำกลับ A702} = \frac{-(\text{TDS น้ำซีรัม} - \text{นน. A702 ที่ใช้})}{\text{นน. A702 ที่ใช้ครีม}} \times 100 \quad (1)$$

$$\% \text{นำกลับ A702} = \frac{0.4 \times \text{นน.ของแข็งที่นำกลับได้หลังอบ}}{\text{นน. A702 ที่ใช้ครีม}} \times 100 \quad (2)$$

$$\% \text{DRC cream} = \frac{\text{นน.ยางชั้นครีมหลังอบแห้ง}}{\text{นน.ยางชั้นครีม}} \times 100 \quad (3)$$

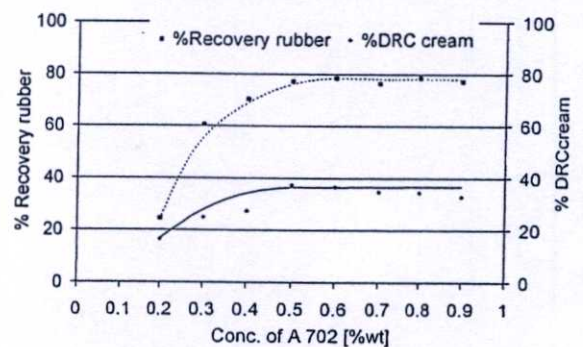
$$\% \text{นำกลับยาง} = \frac{\text{DRC ยางชั้นครีม} \times \text{นน.ยางชั้นครีม}}{\text{DRC หางน้ำยาง} \times \text{นน.หางน้ำยาง}} \times 100 \quad (4)$$

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพกระบวนการนำกลับสารครีม A702

3.1.1 ประสิทธิภาพการครีมด้วยความเข้มข้น A702 ต่างๆ

ความเข้มข้นของสาร A702 เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการครีมหางน้ำยาง โดยจะต้องทราบปริมาณสาร A702 ที่ใช้ในการครีมหางน้ำยางอย่างเหมาะสม ให้สามารถนำกลับเนื้อยางในหางน้ำยางได้ครบ และมีค่า %DRC มาก จากรูปที่ 1 จะพบว่าเมื่อเลือกใช้สาร A702 เข้มข้นในช่วง 0.5-0.9% จะทำให้ประสิทธิภาพการครีมมีค่าค่อนข้างคงที่ (ทั้งปริมาณเนื้อยางที่นำกลับได้และค่า DRC ของน้ำยางชั้นที่ได้) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกการครีมโดยใช้สารครีม A702 ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.6% เป็นสภาวะมาตรฐานของการครีมและการนำกลับสารครีม A702

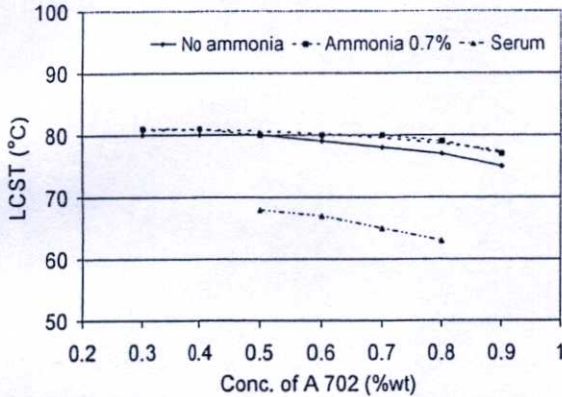


รูปที่ 1 อิทธิพลของความเข้มข้นสาร A702 ที่มีต่อประสิทธิภาพการครีมหางน้ำยาง

3.1.2 ศึกษาอุณหภูมิสารละลายวิกฤติต่ำ (LCST) ของสารละลาย A702

การทดลองได้ใช้สารละลาย A702 ในน้ำบริสุทธิ์ และสารละลาย A702 ในสารละลายแอมโมเนีย (น้ำบริสุทธิ์ + 0.7w(%NH₃)) เป็นตัวแทนระบบอุดมคติ และสารละลาย A702 ในน้ำซีรัมเป็นระบบที่ใช้จริง เพื่อศึกษาพฤติกรรมการแยกเฟสของสาร A702 ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลาย A702 และสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย A702 ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อสารละลาย A702 มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิ LCST สารละลายจะมีลักษณะขุ่น โดยจากการทดลองพบว่าในช่วงความเข้มข้นของ A702 ที่เหมาะสมในการครีมหางน้ำยาง อุณหภูมิ LCST ของสารละลาย A702 ในน้ำซีรัมต่ำกว่า LCST ของสารละลายตัวแทนตลอดช่วงความเข้มข้นของสารละลาย A702 ที่ใช้ในการทดลอง (ประมาณ 10°C) ซึ่งเป็นผลมาจากอนุภาคของแข็ง (non-rubber) ที่อยู่ในหางน้ำยาง

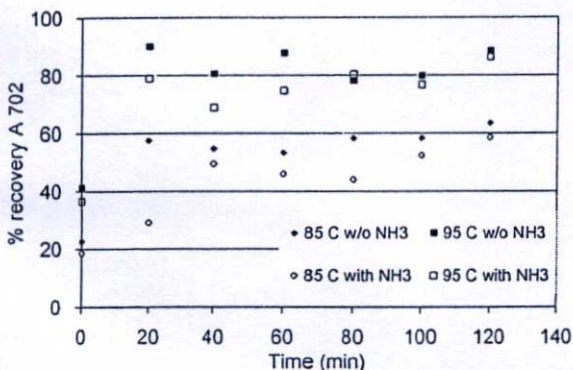
ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าโปรตีนและสิ่งเจือปนต่างๆ ที่มีในหางน้ำยางธรรมชาติจะทำให้ LCST ของสารละลาย A702 ในน้ำซีรัมต่ำลงเหลือประมาณ 65 °C



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลง LCST ของสารละลาย A702 ในน้ำบริสุทธิ์และสารละลาย A702 ในน้ำซีรัม

3.1.3 อิทธิพลของแอมโมเนียที่มีต่อการนำกลับสารละลาย A702 ในน้ำบริสุทธิ์

เมื่อเตรียมสารละลาย A702 ในน้ำบริสุทธิ์เข้มข้น 0.7%wt และนำมาให้ความร้อนเพื่อนำกลับสาร A702 ที่อุณหภูมิ 85 และ 95 °C ผลการทดลองในรูปที่ 3 พบว่าทั้งสองกรณีเมื่อให้ความร้อนเป็นเวลานานตั้งแต่ 20 นาทีขึ้นไป ปริมาณการนำกลับสาร A702 จะเริ่มคงที่ แต่เมื่อเติม NH_3 ลงในระบบและใช้อุณหภูมิในการนำกลับต่ำ (85°C) จะต้องให้ความร้อนนานขึ้นเป็น 40 นาที จึงจะได้ปริมาณการนำกลับสาร A702 คงที่



รูปที่ 3 การนำกลับ A702 ในระบบ A702/น้ำ ที่ระยะเวลาในการนำกลับและอุณหภูมิต่างๆ

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณการนำกลับหลังจากเริ่มคงที่แล้วจะพบว่า NH_3 ในระบบทำให้ปริมาณการนำกลับสาร A702 ลดลงซึ่งสอดคล้องกับผล

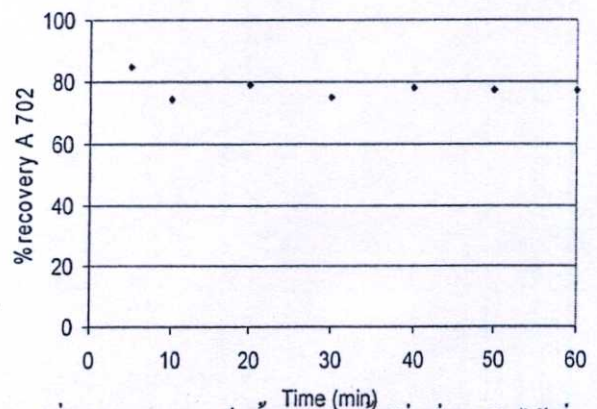
การทดลองในรูปที่ 2 ซึ่งการเติม NH_3 ทำให้ LCST ของระบบสูงขึ้น

3.1.4 อิทธิพลของลักษณะการให้ความร้อนที่มีต่อการนำกลับสารครีม A702

เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการนำกลับเท่ากันพบว่า ปริมาณสาร A702 ที่นำกลับได้ด้วยการทำให้อุณหภูมิน้ำซีรัมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วด้วย hot plate จะมีค่าต่ำกว่าการทำให้อุณหภูมิน้ำซีรัมเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆด้วยอ่างน้ำมันร้อนเนื่องจากเกิดการเดือดขึ้นบริเวณด้านล่าง ซึ่งการนำกลับสาร A702 จะเกิดได้ดีเมื่อน้ำซีรัมในระบบนี้ไม่มีกรไหลวนของฟองอากาศเนื่องจากการเดือด

3.1.5 อิทธิพลของระยะเวลาในการให้ความร้อนที่มีต่อการนำกลับสารครีม A702

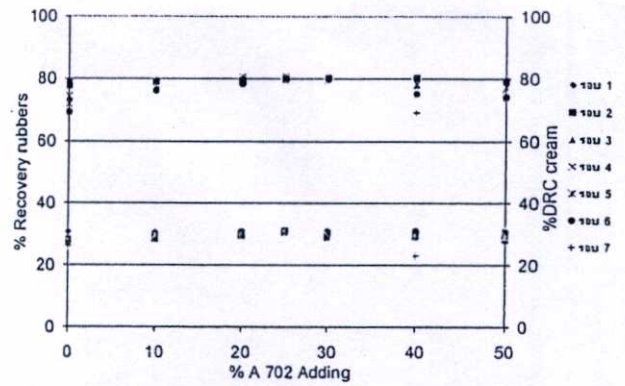
เมื่อนำน้ำซีรัมที่ได้จากการครีมหางน้ำยาง (A702 เข้มข้น 0.6%) มาให้ความร้อนเพื่อนำกลับสารครีม A702 ที่อุณหภูมิ 90 °C ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าเมื่อให้ความร้อนเป็นเวลานานตั้งแต่ 20 นาทีขึ้นไป ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่นำกลับได้ (สาร A702+สารปนเปื้อนในซีรัม) จะมีค่าคงที่ สามารถนำกลับสาร A702 ได้ 77%wt โดย %นำกลับ A702 สามารถคำนวณได้อย่างถูกต้องโดยใช้สมการที่ (1) ซึ่งเป็นสมการที่มีตัวแปรที่ต้องใช้มาก ดังนั้นผู้ทดลองจึงสร้างสมการเพื่อประมาณ %นำกลับ A702 ขึ้นใหม่ให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น กลายเป็นสมการที่ (2) ซึ่งทั้ง 2 สมการผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงกำหนดเวลาในการให้ความร้อนเพื่อการนำกลับเป็น 20 นาที



รูปที่ 4 ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำซีรัมที่นำกลับได้ที่อุณหภูมิ 90 °C และเวลาการให้ความร้อนต่างๆ

3.2 ศึกษาประสิทธิภาพการครีมเมือใช้สาร A702 ที่ผ่านการนำกลับ

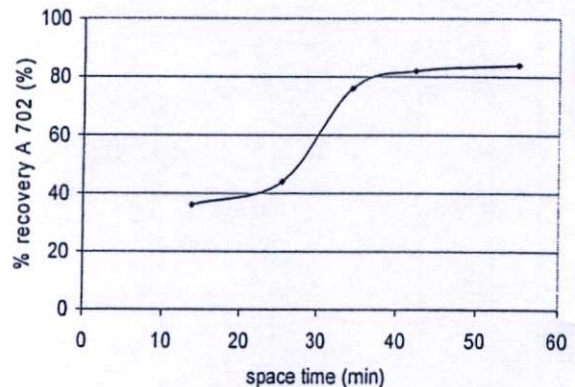
เนื่องจากในระหว่างการนำกลับสาร A702 มีการให้ความร้อน ดังนั้นสาร A702 อาจเสื่อมสภาพลงทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการครีมหางน้ำยางลดลงตามไปด้วย จึงควรที่จะต้องทดสอบประสิทธิภาพของสาร A702 ที่ผ่านกระบวนการนำกลับด้วยการนำสาร A702 ที่นำกลับได้มาครีมหางน้ำยางซ้ำ และเนื่องจากมีสาร A702 บางส่วนที่สูญเสียไประหว่างการนำกลับ ดังนั้นเพื่อเป็นการชดเชยสาร A702 ที่สูญเสีย ในเบื้องต้นจึงนำของแข็งทั้งหมดที่ได้จากการนำกลับมาละลายน้ำ และเติมสาร A702 ใหม่เพิ่มเข้าไป (ปริมาณร้อยละ 10,20,25,30,40 หรือ 50 ของสาร A702 ที่ใช้เริ่มต้น) แล้วจึงนำไปครีมหางน้ำยางใหม่ ทำเช่นนี้วนไปหลายๆ รอบ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งผลการทดลองการนำสาร A702 ที่นำกลับได้มาครีมซ้ำโดยไม่เติมสาร A 702 เพิ่ม พบว่าในการครีมรอบที่ 2 สารครีม A702 ยังคงมีประสิทธิภาพของกระบวนการครีมหางน้ำยาง เช่นเดียวกับการครีมในรอบแรกซึ่งเป็นสาร A702 ใหม่ แต่เมื่อนำสาร A702 มาครีมซ้ำในรอบต่อไป พบว่าประสิทธิภาพของกระบวนการครีมหางน้ำยางลดลง ซึ่งประสิทธิภาพของกระบวนการครีมหางน้ำยางที่ลดลงไม่ได้เกิดจากการที่สาร A702 เสื่อมประสิทธิภาพ แต่เกิดจากการที่มีสาร A702 สูญเสียไประหว่างการนำกลับ ทำให้ความเข้มข้นสาร A702 ที่เหลือไม่เพียงพอในการครีมหางน้ำยางรอบถัดไป จึงได้ทดลองโดยเติมสาร A702 เพิ่มบางส่วนดังกล่าวข้างต้น จากผลการทดลองพบว่าการเติมสาร A702 ลงไป 25-30% สามารถรักษาประสิทธิภาพการครีมหางน้ำยางให้คงที่ได้ แม้ว่า จะทำการครีมด้วยสาร A702 ที่ผ่านการให้ความร้อนซ้ำถึง 6 รอบก็ตาม เนื่องจากสาร A702 ที่เติมเพิ่ม 25-30% สามารถชดเชยสาร A702 ที่สูญเสียไปได้ ทำให้การครีมครั้งถัดไปในระบบยังคงมีความเข้มข้นของสาร A702 ในช่วงที่เหมาะสมเช่นเดิม จึงสามารถรักษาประสิทธิภาพของกระบวนการครีมหางน้ำยางได้ ดังนั้นในการทดลองนี้ปริมาณสาร A702 ที่สามารถนำกลับได้คือ 75% ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองใน 3.1.5



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการครีมด้วยสารครีม A702 ที่ผ่านการนำกลับหลายครั้ง

3.3 ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพการนำกลับสารครีมของเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง

เครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่องมีการให้ความร้อนด้วยการถ่ายเทความร้อนจากน้ำมันร้อนรอบๆเครื่อง และมีจุดตรวจวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในเครื่อง 5 จุด โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการนำกลับคือ 90°C และ space time 15-55 นาที ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6



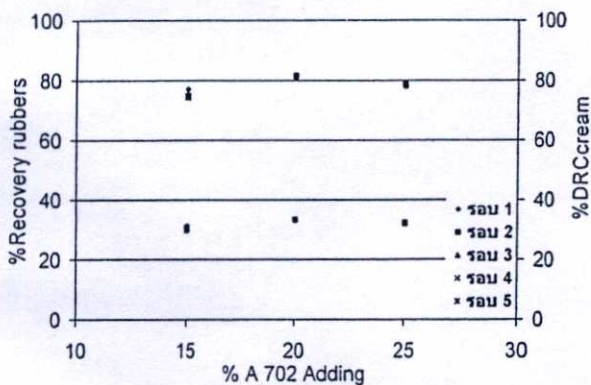
รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการนำกลับสาร A 702 ที่ space time ต่างๆ

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่ม Space-time ให้มากขึ้น (ปรับอัตราการไหลต่ำลง) จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการนำกลับสารครีม A702 ได้ดีขึ้น โดยสถานะมาตรฐานที่ใช้ในการนำกลับสาร A702 ในการทดลองถัดไปคือที่ space-time นาน 45 นาที โดยที่ space-time นี้จะเริ่มจะมีอุณหภูมิคงที่ที่ 90°C ตั้งแต่ระยะ $\frac{3}{5}$ ของความสูงของเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง คิดเป็นระยะเวลานาน 27 นาที สามารถนำกลับสาร

A702 ได้ถึง 82%wt ซึ่งมีประสิทธิภาพการนำกลับสาร A702 ดีกว่าระบบแบบกะ

3.4 ศึกษาประสิทธิภาพการครีมเมื่อใช้สาร A702 ที่ผ่านการนำกลับด้วยเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง

จากการทดลองใน 3.1.5 การนำกลับสาร A702 ด้วยวิธีการแบบกะ พบว่าสามารถนำกลับสาร A702 ได้ 77%wt และเมื่อนำของแข็งทั้งหมดที่ได้จากการนำกลับมาครีมหางน้ำยางใหม่ พบว่าปริมาณสาร A702 ที่เติมเพิ่ม 25% สามารถรักษาประสิทธิภาพการครีมหางน้ำยางไว้ได้คงที่ ดังนั้นในการทดสอบประสิทธิภาพของสารครีม A702 ที่นำกลับได้ด้วยเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง ซึ่งสามารถนำกลับสาร A702 ได้ 82%wt ที่ Space-time นาน 45 นาที จึงทำการทดลองโดยนำของแข็งทั้งหมดที่ได้จากการนำกลับ มาละลายน้ำ และเติมสาร A702 ใหม่เพิ่ม (ปริมาณร้อยละ 15, 20 และ 25 ของสาร A702 ที่ใช้เริ่มต้น) แล้วจึงนำไปครีมหางน้ำยางใหม่ ทำเช่นนี้วนไปหลายๆ รอบ เช่นเดียวกับการทดลองใน 3.2 ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าการเติมสาร A702 ลงไป 15-20% สามารถรักษาประสิทธิภาพการครีมหางน้ำยางได้คงที่ (มี %การนำกลับอนุภาคยาง และ %DRCของชั้นครีม มีค่าคงที่) แม้ว่า จะทำการครีมซ้ำถึง 5 รอบก็ตาม



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพการครีมด้วยสาร A702 ที่ผ่านการนำกลับด้วยเครื่องนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่า การให้ความร้อนอย่างรวดเร็วทำให้ปริมาณสาร A702 ที่นำกลับได้ลดลงเมื่อเทียบกับการให้ความร้อนจากภายนอกโดยการใช้อ่างน้ำมัน สภาวะที่ใช้ใน


การนำกลับสาร A702 เพิ่มขึ้น 0.6 wt% ที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลานาน 20 นาที สามารถนำกลับสาร A702 ได้ 75%wt จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้ไปออกแบบเครื่องแยกและนำกลับสารครีมแบบต่อเนื่อง ซึ่งมีการนำความร้อนกลับมาใช้เพื่อให้ความร้อนเบื้องต้นแก่ น้ำชีรั่ม ช่วยให้ประหยัดพลังงานที่ใช้ในการนำกลับสาร A702 ได้ 30% (เทียบกับการทดลองแบบกะ) โดยพบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่นำกลับได้มีค่าสูงสุดเมื่อชีรั่มมีอุณหภูมิ 90°C นาน 27 นาที สามารถนำกลับสารครีม A702 ได้ 80%wt ซึ่งมีประสิทธิภาพการนำกลับสาร A702 ดีกว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการนำกลับด้วยระบบแบบกะ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนบางส่วนจาก ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] พิษเศรษฐกิจสุราษฎร์ธานี 2536. [Online] Available: <http://kanchanapisek.or.th/kp8/srt/srt704.html>
- [2] วิธีการผลิตยางน้ำข้นของไทย. [Online] Available: <http://www.agrowealth.com/agrowealth/library/libraryview.php?id=69>
- [3] กระบวนการผลิตยางเครป [Online] Available: <http://www.reothai.co.th/P61.htm#กระบวนการผลิตยางเครป>
- [4] เปลี่ยนหางน้ำยางให้เป็นเงิน ลดการนำเข้ายางสังเคราะห์ [Online] Available: http://www.trf.or.th/News/Content.asp?Art_ID=505
- [5] สุรพิชญ ลอยกุลนันท์ และคณะ. กรรมวิธีการแยกเนื้อยางออกจากหางน้ำยางธรรมชาติโดยใช้พอลิเมอร์ที่ไวต่อความร้อน. ประเทศไทย. สิทธิบัตรไทย เลขที่ 22185. 31 มกราคม 2549.

 คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร <input checked="" type="checkbox"/> การประดิษฐ์ <input type="checkbox"/> การออกแบบผลิตภัณฑ์ <input type="checkbox"/> อนุสิทธิบัตร ข้าพเจ้าผู้ลงลายมือชื่อในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตามพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2535 และพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2542	สำหรับเจ้าหน้าที่	
	วันรับคำขอ- 6 ส.ค. 2552	เลขที่คำขอ
	วันยื่นคำขอ	0901000967
	สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	
	ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์	
	ประเภทผลิตภัณฑ์	
วันประกาศโฆษณา	เลขที่ประกาศโฆษณา	
วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	
ลายมือชื่อเจ้าหน้าที่		
1.ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์ "เครื่องแยกและนำกลับโพลีเมอร์ที่ไวต่อความร้อนแบบต่อเนื่อง"		
2.คำขอรับสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์นี้เป็นคำขอสำหรับแบบผลิตภัณฑ์อย่างเดียวกันและเป็นคำขอลำดับที่ ในจำนวน คำขอ ที่ยื่นในคราวเดียวกัน		
3. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 111 อุทยาน วิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง	3.1 สัญชาติ ไทย	3.2 โทรศัพท์ 02-564-7000 ต่อ 1314 - 1350
	3.3 โทรสาร 02 564 7003	3.4 อีเมล flo@imc.nstda.or.th
4.สิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร <input type="checkbox"/> ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ <input checked="" type="checkbox"/> ผู้รับโอน <input type="checkbox"/> ผู้ขอรับสิทธิโดยเหตุอื่น		
5. ตัวแทน (ถ้ามี) ที่อยู่ (เลขที่ ถนน จังหวัด รหัสไปรษณีย์) น.ส.อรุณศรี ศรีธนะชิตพิล และ/หรือ นายชาญชัย นีรทัตมงคล และ/หรือ น.ส.อรกนก พรหมรักษา อยู่ที่ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 111อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120	5.1 ตัวแทนเลขที่ 1463,1731,1513	5.2 โทรศัพท์ 02 5647000
	5.3 โทรสาร 025647003	5.4 อีเมล flo@imc.nstda.or.th
6.ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ) 1. นายสุรพิชญ ลอยกุลนันท์ 2. นางจวีวรรณ คงแก้ว อยู่ที่ 112 ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 3. น.ส.ดวงกมล ณ ระนอง 4.นายชัยวุฒิ สายแสงธรรม อยู่ที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง		
7.คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิม ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้ถือว่าได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ในวันเดียวกับคำขอรับสิทธิบัตร เลขที่ วันยื่น เพราะคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิมเพราะ <input type="checkbox"/> คำขอเดิมมีการประดิษฐ์หลายอย่าง <input type="checkbox"/> ถูกคัดค้านเนื่องจากผู้ขอไม่มีสิทธิ <input type="checkbox"/> ขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ		

หมายเหตุ ในกรณีที่ไม่อาจจะบรรยายละเอียดได้ครบถ้วน ให้จัดทำเป็นเอกสารแนบท้ายแบบพิมพ์นี้โดยระบุหมายเลขกำกับข้อและหัวข้อที่แสดงรายละเอียดเพิ่มเติมดังกล่าวด้วย

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายชัยวุฒิ สายแสงธรรม
วัน เดือน ปีเกิด	9 ตุลาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดสมุทรสาคร
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานวิจัย	<ol style="list-style-type: none"> 1. ชัยวุฒิ สายแสงธรรม, ดวงกมล ฅ ระนอง, สุรพิชญ ลอยกุลนันท์ และฉวีวรรณ คงแก้ว “การพัฒนากระบวนการแบบต่อเนื่องเพื่อนำกลับสารครีมที่ใช้ในการผลิตน้ำยางข้นจากหางน้ำยาง” วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 26 ฉบับที่ 1 เดือนมีนาคม 2552 หน้า 48-53 2. สุรพิชญ ลอยกุลนันท์, ฉวีวรรณ คงแก้ว, ดวงกมล ฅ ระนอง และชัยวุฒิ สายแสงธรรม “เครื่องแยกและนำกลับโพลิเมอร์ที่ไวต่อความร้อนแบบต่อเนื่อง” สิทธิบัตรไทย เลขที่คำขอ 0901000967