



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ  
ที่เตรียมจากการบ่มด้วยยูเรีย

(Physical Properties of Deproteinized Natural Rubber

Prepared From Urea Treatment)

โดย ผศ.ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์ และคณะ

14 ธันวาคม 2552

## บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่เตรียม  
(อังกฤษ) Physical Properties of Deproteinized Natural Rubber Prepared From Urea Treatment

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัดและที่อยู่

ชื่อ-สกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์  
หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ที่อยู่ 39 หมู่ 1 ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110  
โทรศัพท์/โทรสาร 025493578/025775026  
E-mail address warunee.a@en.rmutt.ac.th

นักศึกษา / ผู้ร่วมวิจัย

1. นางสาวจันทร์สุคนธ์ วรรณช
2. นางสาวสุกัญญา ทรัพย์สิริรัตน์

ระยะเวลาดำเนินการ 17 เดือน ตั้งแต่วันที่ 15 กรกฎาคม 2551 ถึงวันที่ 14 ธันวาคม 2552

### ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำในเชิงอุตสาหกรรมในประเทศถือว่าไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการเตรียมน้ำยางโปรตีนต่ำต้องใช้เวลาานาน ต้นทุนสูง ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ต้องเตรียมจากน้ำยางโปรตีนต่ำจึงมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น คุณภาพของน้ำยางโปรตีนต่ำ สมบัติทางกล ทางความร้อน และการเสื่อมสภาพ ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพด้อยลงไป ดังนั้นถ้าภายในประเทศมีการพัฒนาเทคโนโลยีการเตรียมน้ำยางโปรตีนต่ำอย่างมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว ราคาถูก เราจะสามารถเพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากน้ำยางได้ด้วย

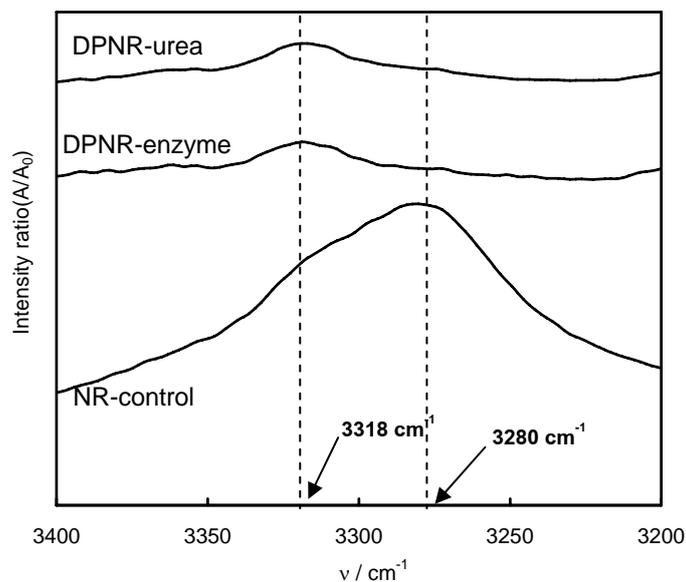
### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสมบัติของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่เตรียมด้วยยูเรีย โดยเปรียบเทียบกับน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่เตรียมจากเอนไซม์

## ผลการดำเนินการ

1. การเตรียมน้ำยางโปรตีนต่ำบ่มด้วยยูเรีย ทำโดยการนำน้ำยางธรรมชาติเข้มข้น แอมโมเนียสูงมาเติมด้วยยูเรีย 0.1 wt% และ SDS 1.0 wt% บ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชม. จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง 2 รอบได้น้ำยางโปรตีนต่ำเรียกว่า “DPNR-urea” และทำการเตรียมน้ำยางโปรตีนต่ำบ่มด้วยเอนไซม์เพื่อเปรียบเทียบ โดยนำน้ำยางธรรมชาติเข้มข้น แอมโมเนียสูงมาเติมด้วยไซเอนไซม์ (KP-3939) 0.04 wt% และ SDS 1.0 wt% บ่มที่อุณหภูมิ 38°C นาน 24 ชม. จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง 2 รอบได้น้ำยางโปรตีนต่ำเรียกว่า “DPNR-enzyme” แล้วทดสอบปริมาณโปรตีนละลายน้ำได้ ผลดังแสดงในตารางที่ 1 และสมบัติทางกายภาพแสดงดังตารางที่ 2 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของยางแสดงดังรูปที่ 1

2. น้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำจากข้อ 1 มาเตรียมเป็นน้ำยางคอมปาวด์สูตรถูงมือ โดยในการทดลองประกอบด้วย น้ำยางธรรมชาติ สารวัลคาไนซ์ สารกระตุ้น สารตัวเติม และสารตัวเร่ง และทดสอบสมบัติทางกล ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2



รูป 1 FTIR spectra of น้ำยางธรรมชาติแอมโมเนียสูง (NR-Control), น้ำยางโปรตีนต่ำบ่มด้วยเอนไซม์ (DPNR-Enzyme) และน้ำยางโปรตีนต่ำบ่มด้วยยูเรีย (DPNR-Urea) ตามลำดับ

**ตารางที่ 1** แสดงละลายน้ำได้ของน้ำยางธรรมชาติแอมโนเนียสูง (NR-control), น้ำยางโปรตีนต่ำบ่มด้วยเอนไซม์ (DPNR-Enzyme) และน้ำยางโปรตีนต่ำบ่มด้วยยูเรีย (DPNR-Urea)

Sample	ปริมาณโปรตีนละลายน้ำได้ ( $\mu\text{g/g}$ )
NR-Control)	42,455
DPNR-Enzyme	15
DPNR-Urea	15

**ตารางที่ 2** แสดง %TSC,%DRC, VFA number, MST, Tensile strength และ Elongation at break ของน้ำยางธรรมชาติเข้มข้นแอมโนเนียสูง (NR-Control), น้ำยางโปรตีนต่ำบ่มด้วยเอนไซม์ (DPNR-Enzyme) และน้ำยางโปรตีนต่ำบ่มด้วยยูเรีย (DPNR-Urea)

Sample	%TSC	%DRC	VFA number	MST, second	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
น้ำยางธรรมชาติเข้มข้นแอมโนเนียสูง (NR-Control)	61.79	60.56	0.028	1451	20.9	843
น้ำยางโปรตีนต่ำบ่มด้วยเอนไซม์ (DPNR-Enzyme)	52.23	52.09	0.015	840	5.1	773
น้ำยางโปรตีนต่ำบ่มด้วยยูเรีย (DPNR-Urea)	49.96	49.81	0.014	695	5.7	743

### สรุปผลการวิจัย

1.จากการวิจัยพบว่าเราสามารถเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำโดยการบ่มด้วยยูเรียซึ่งใช้เวลารวดเร็วกว่า (จาก 24 ชม เหลือ 1 ชม.) ราคาถูกกว่ากระบวนการที่เตรียมด้วยการบ่มด้วยเอนไซม์ โดยค่าปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่ายางก่อนกำจัดโปรตีน 7.5 เท่า และเมื่อตรวจโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR พบว่าการดูดกลืนของ N-H ในโปรตีนสายโซ่ยาว ที่  $3280\text{ cm}^{-1}$  นั้นหายไปเมื่อทำการบ่มด้วยยูเรียและเอนไซม์แต่ปรากฏพีคใหม่ที่  $3318\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นการดูดกลืนแสงของ N-H สายโซ่สั้นๆ เช่น เปปไทด์ เป็นการยืนยันถึงประสิทธิภาพของการกำจัดโปรตีนในน้ำยางด้วยวิธีดังกล่าว

2. ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ของน้ำยางที่ผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีนโดยการบ่มด้วยยูเรียพบว่าสามารถทำให้โปรตีนที่ละลายได้ในน้ำลดลงได้ถึง 2,830 เท่า เทียบกับน้ำยางธรรมชาติเข้มข้นแอมโมเนียสูง

3. สมบัติทางกายภาพได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณเนื้อยางแห้ง ปริมาณส่วนที่ไม่ใช่ยาง จำนวนกรดไขมันระเหยได้ และความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกลของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำบ่มด้วยยูเรียมีค่าใกล้เคียงกันกับการบ่มด้วยเอนไซม์ นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ของน้ำยางธรรมชาติหลังกำจัดด้วยเอนไซม์และการบ่มด้วยยูเรียมีค่าต่ำกว่าน้ำยางชั้นแอมโมเนียสูงมาก แต่กระบวนการกำจัดโปรตีนในน้ำยางด้วยการบ่มด้วยยูเรียจะใช้เวลาในการบ่มน้อยกว่าและสามารถบ่มที่อุณหภูมิห้องได้อีกทั้งราคาของยูเรียจะถูกลงกว่าการใช้เอนไซม์อย่างมาก

4. เมื่อนำน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำบ่มด้วยยูเรียมาทดลองเตรียมเป็นน้ำยางคอมปาวด์ด้วยสูตรถุงมือยาง พบว่าค่าสมบัติทางกล ได้แก่ ค่าการทนต่อแรงดึงลดต่ำกว่าน้ำยางธรรมชาติแอมโมเนียสูงที่ไม่ได้กำจัดโปรตีนก่อน แต่ค่าการยืดตัวนั้นสูงใกล้เคียงกัน

### ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติมและวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

จากการวิจัยเสนอแนะว่างานวิจัยนี้เป็นการพัฒนากระบวนการเตรียมน้ำยางโปรตีนต่ำที่ง่ายและราคาถูก ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับน้ำยางโปรตีนต่ำที่เตรียมด้วยเอนไซม์ จึงเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถทำได้เองในประเทศไทย อีกทั้งมีประโยชน์อย่างมากต่อนักวิจัยที่ทำวิจัยเกี่ยวกับน้ำยางโดยการพัฒนาด้านการปรับปรุงโครงสร้างทางเคมี (Chemical modification of natural rubber latex) และมีโอกาสทำเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ไม่ต้องการการแพ้ด้วยโปรตีนในยาง โดยในการวิจัยนี้ได้ทดลองทำน้ำยางคอมปาวด์สูตรถุงมือยางเดียวโดยไม่ได้ทดลองปรับปรุงสูตร ในส่วนงานวิจัยเพิ่มเติมน่าจะมีการทดลองปรับปรุงสูตรเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติทางกลที่ดีต่อไป เช่น มือเทียม ฟองน้ำ ของเล่นเด็ก เป็นต้น ส่วนการวิจัยเพิ่มเติมเรื่องน้ำยางนั้นควรมุ่งศึกษาเพิ่มเติมถึงสมบัติของการเก็บรักษาน้ำยางระยะเวลานานขึ้นเป็นเดือนเพื่อคุณสมบัติของน้ำยางโปรตีนต่ำและการปรับปรุงความคงตัวหรือเสถียรภาพของน้ำยาง รวมถึงการพัฒนาเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกล เช่น tensile strength ของน้ำยางโปรตีนต่ำ

### ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

1. การตีพิมพ์เผยแพร่ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้แก่นักวิชาการยางและอุตสาหกรรมการผลิตที่สนใจ
2. การนำเสนอผลงานทางวิชาการในงาน 1<sup>st</sup> Polymer Conference of Thailand (PCT-1) วันที่ 7-8 ตุลาคม 2553 ณ สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ หลักสี่ กรุงเทพฯ

## บทคัดย่อ

การศึกษสมบัติทางกายภาพของน้ำยางโปรตีนต่ำเพื่อดูความเป็นไปได้ในการนำน้ำยางโปรตีนไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ยางฟิล์มที่ปราศจากการแพ้ กระบวนการกำจัดโปรตีนออกจากยางธรรมชาติทำได้โดยการบ่มน้ำยางชั้นแอมโมเนียสูงด้วยยูเรีย 0.1 wt% และสารสบู่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เปรียบเทียบกับการกำจัดโปรตีนแบบเดิมที่บ่มด้วยโปรทีโอไลติกเอนไซม์ 0.04 wt% และสารสบู่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 38°C จากการทดสอบปริมาณไนโตรเจนของน้ำยางหลังกำจัดโปรตีนด้วยยูเรียลดลงเหลือ 0.06 wt% จากเดิมน้ำยางชั้น 0.45 wt% ในสถานะที่ทำการทดลองนี้ นอกจากปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำของน้ำยางหลังการบ่มด้วยยูเรียจะลดลงเหลือ 15 µg/g จากเดิมน้ำยางชั้น 42,455 µg/g โดยการลดลงของปริมาณโปรตีนนี้สามารถยืนยันผลโดยดูจากโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี เสนอว่ากระบวนการกำจัดโปรตีนด้วยยูเรียดังกล่าวมีประสิทธิภาพเทียบเท่าแบบเดิม แต่รวดเร็วกว่า และประหยัดกว่า ต่อมาได้ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพของน้ำยางดังกล่าว พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณเนื้อยางแห้งของยางโปรตีนต่ำบ่มด้วยยูเรียและบ่มด้วยเอนไซม์มีค่าใกล้เคียงกับน้ำยางชั้น ขณะที่จำนวนกรดไขมันระเหยได้และความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกลนั้นมีค่าต่ำกว่าน้ำยางชั้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากการที่ปริมาณโปรตีนในน้ำยางลดลงนั่นเอง หลังจากนั้นนำน้ำยางโปรตีนต่ำมาเตรียมเป็นน้ำยางคอมปาวด์ด้วยสูตรถุงมือยางและทดสอบสมบัติทางกล พบว่าค่าการทนต่อแรงดึงของยางโปรตีนต่ำคอมปาวด์มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับยางชั้นคอมปาวด์แต่ค่าการยืด ณ จุดขาดนั้นใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากสูตรในการทำยางคอมปาวด์ที่ใช้ยังไม่เหมาะสม

## Abstract

Physical properties of deproteinized natural rubber were investigated in order to apply the DPNR latex as non-allergy rubber thin film products. Removal of proteins from natural rubber was made by incubation of high ammonium natural rubber latex (HA-NR) with urea 0.1 wt%, 1 hour in the presence of surfactant at room temperature (DPNR-urea) compared incubation of HA-NR with proteolytic enzyme 0.04 wt%, 24 hours in the presence of SDS at 38°C (DPNR-enzyme). The nitrogen content of the DPNR-urea was reduced to 0.06 wt% from 0.45 wt% under the test condition. Furthermore, amount of water soluble protein was observed through modified lowry method and it was found that water soluble protein content after incubation HA-NR with urea was reduced to 15 µg/g from 42,455 µg/g. The reduction of protein content can be confirmed by observation a chemical structure through FT-IR technique. It is suggesting that the urea treatment is an effective method to remove protein from rubber latex. The physical properties of the DPNR latex were investigated. It was found that %TSC and %DRC of DPNR-urea were similar to that of DPNR-enzyme and HA-NR latex. While VFA number and Mechanical stability of DPNR-urea and DPNR-enzyme was lower than that of HA-NR due to lower amount of protein presence in rubber latex. The mechanical properties were then observed when we applied the DPNR latex to vulcanized rubber glove. Tensile strength of the DPNR decreased compared to that of the commercial HA-NR whereas elongation at break is quite same under the test formulations. This maybe due to rubber compound formulations of deproteinized natural rubber is not suitable.

## เนื้อหา

### 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำในเชิงอุตสาหกรรมในประเทศถือว่าไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการเตรียมน้ำยางโปรตีนต่ำต้องใช้เวลาานาน ต้นทุนสูง ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ต้องเตรียมจากน้ำยางโปรตีนต่ำจึงมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น คุณภาพของน้ำยางโปรตีนต่ำ สมบัติทางกล ทางความร้อน และการเสื่อมสภาพ ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพด้อยลงไป ดังนั้นถ้าภายในประเทศเรามีการพัฒนาเทคโนโลยีการเตรียมน้ำยางโปรตีนต่ำอย่างมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว ราคาถูก เราจะสามารถเพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากน้ำยางได้

เป็นที่ทราบแล้วว่า ในน้ำยางธรรมชาติมีสารที่ไม่ใช่เนื้อยาง (non-rubber components) ผสมอยู่ด้วยประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของยาง เช่น โปรตีน ไขมัน และอื่นๆ โดยยางธรรมชาติมีปริมาณโปรตีนประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาแปรรูปทำผลิตภัณฑ์บางอย่างทำให้เกิดการวัลคาไนซ์เร็ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติบางประการไม่ดี เช่น ยางมีความทนทานต่อแรงกดหรือกันกระแทกไม่ดี ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ดีในเชิงวิศวกรรม สำหรับผลิตภัณฑ์บางอย่างที่แปรรูปมาจากน้ำยาง เช่น ถุงมือ ทำให้ผู้ใช้ถุงมือบางคนเกิดอาการแพ้โปรตีนที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ยาง ดังนั้น การกำจัดโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำยางหรือผลิตภัณฑ์ยางให้มีปริมาณลดน้อยลงโดยการเตรียมน้ำยางที่มีปริมาณโปรตีนต่ำก่อนที่จะนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์จึงน่าสนใจ วิธีการหนึ่งคือการพัฒนากระบวนการกำจัดโปรตีนจากน้ำยาง ซึ่งการศึกษากระบวนการกำจัดโปรตีนจากน้ำยางธรรมชาตินั้นควรทำอย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพและราคาถูก ก่อนจะนำมาเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากโปรตีนต่อไป [1-5]

### 2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาสมบัติของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่เตรียมด้วยยูเรีย โดยเปรียบเทียบกับน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่เตรียมจากเอนไซม์

### 3. ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

เพื่อเพิ่มศักยภาพในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากการใช้น้ำยางซึ่งถือเป็นวัตถุดิบหลักในประเทศไทยชนิดหนึ่งให้มีคุณภาพดีขึ้น ดังนั้นการกำจัดกระบวนการกำจัดโปรตีนจากยางธรรมชาติอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ราคาถูก ก่อนจะนำมาเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์จึงมีความจำเป็น คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการวิจัยและพัฒนาการเตรียมน้ำยาง

ธรรมชาติโปรตีนต่ำที่สามารถนำไปปรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำยางให้ดีขึ้น และนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากโปรตีนที่ก่อให้เกิดอาการแพ้ได้ โดยเป็นการศึกษาต่อยอดองค์ความรู้ในส่วนของสมบัติของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่เตรียมจากการบ่มด้วยยูเรีย เช่น สมบัติทางความร้อน ทางกล ทางกายภาพ การเสื่อมสภาพ ของน้ำยางทั้งก่อนและหลังวัลคาไนซ์

งานวิจัยที่ผ่านมา Seiichi Kawahara และคณะ [6] ศึกษาวิธีการกำจัดโปรตีนจากยางธรรมชาติด้วยการบ่มด้วยยูเรียและสารสบู่เพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์ฟิล์มบางที่ปราศจากการแพ้ของโปรตีนในยาง โดยมีการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิ ค่า pH และเวลาในการบ่มเพื่อให้ได้สภาวะที่ดีที่สุด และพบว่าปริมาณไนโตรเจนของยางลดลงเป็น 0.02 จากเดิม 0.38 wt% ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม เพื่อกำจัดโปรตีนให้ลดลงกว่าเดิม คณะผู้วิจัยจึงดำเนินการเตรียมยางธรรมชาติจากน้ำยางธรรมชาติแอมโนเนียสูงผ่านการกำจัดโปรตีนด้วยเอนไซม์ก่อนและนำมาบ่มต่อยูเรีย พบว่าปริมาณการแพ้โปรตีน (allergen) ลดลงเหลือน้อยกว่า 0.7  $\mu\text{g/ml}$  ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมากเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่ขายตามท้องตลาด

Warunee Klinklai และคณะ [7] รายงานวิธีการเตรียมยางธรรมชาติบริสุทธิ์สูงจากการบ่มด้วยยูเรีย การเตรียมจะใช้น้ำยางสด (fresh latex) และน้ำยางธรรมชาติแอมโนเนียสูงมาบ่มด้วยยูเรียและสารสบู่ แล้วศึกษาผลของความเข้มข้นของยูเรีย อุณหภูมิและเวลาในการบ่มพบว่าภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ปริมาณไนโตรเจนและโปรตีนที่ก่อให้เกิดการแพ้ในน้ำยางหลังการบ่มมีปริมาณ 0.005 wt% และ 1.0  $\mu\text{g/ml}$  ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่ายางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่เตรียมมาจากการบ่มด้วยเอนไซม์ และการลดลงของโปรตีนสามารถยืนยันได้โดยใช้ FTIR

ต่อมามีกลุ่มนักวิจัยของ Yoshimasa Yamamoto และคณะ [8] ได้คิดค้นวิธีการกำจัดโปรตีนโดยการบ่มยูเรียและสารสบู่ในลักษณะที่เป็นกระบวนการแบบแบช งานวิจัยพบว่าปริมาณไนโตรเจนของยางลดลงจาก 0.38 wt% เป็น 0.02 wt% หลังจากบ่มด้วยยูเรีย 10 นาที ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการบ่มด้วยเอนไซม์ 12 ชั่วโมง และได้นำเสนอถึงการนำไปใช้งานโดยการเตรียมเป็นแบบชขนาดใหญ่อด้วยระบบการบ่มการหมุนเหวี่ยงอย่างต่อเนื่องที่เรียกว่า semicircular channel และ การหมุนเหวี่ยงอย่างต่อเนื่องตามลำดับในการเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำในปริมาณมาก ๆ

แม้ว่างานวิจัยที่ผ่านมาหลายวิธีการที่กำจัดโปรตีนออกจากยาง เช่น การบ่มด้วยเอนไซม์ (enzymatic deproteinization) แต่วิธีการดังกล่าวใช้เวลาในการบ่มนานถึง 24 ชม. และราคาของเอนไซม์ที่ค่อนข้างสูง ทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดต่อยอดความรู้เพื่อพัฒนาการเตรียมยางธรรมชาติโปรตีนต่ำในประเทศไทยโดยวิธีการบ่มด้วยยูเรีย (urea treatment) โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่มีการเติมด้วยสารเติมแต่งเพื่อเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก ราคาถูกกว่า และรวดเร็วเพื่อนำมาแก้ปัญหาเรื่องของผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่ต้องหลีกเลี่ยงการแพ้จากโปรตีน

## 4. วิธีการ

### 4.1 สารเคมี

- 4.1.1 น้ำยางธรรมชาติเข้มข้นแอมโมเนียสูง (High Ammonia Natural Rubber, NR)
- 4.1.2 โปรทีโอไลติกเอนไซม์ (Proteolytic enzyme)
- 4.1.3 ยูเรีย (Urea)
- 4.1.4 โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate, SDS)
- 4.1.5 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO)
- 4.1.6 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide, KOH)
- 4.1.7 ซิงค์ไดเอทิลไดไทโธคาร์บามेट (Zinc diethyl dithiocarbamate)
- 4.1.8 ซิงค์เมอร์แคปโทเบนโซไทอาโซล (Zinc 2-mercaptobenzothiazole)
- 4.1.9 โพแทสเซียมคาพริเลต (Potassium caprylate)
- 4.1.10 กำมะถัน (Sulfur)
- 4.1.11 ไททาเนียม (Titanium)
- 4.1.12 วิงสเทย์แอล (Wingstay-L)

### 4.2 การดำเนินงาน

#### 4.2.1 การเตรียมยางธรรมชาติโปรตีนต่ำด้วยการบ่มด้วยยูเรีย (Urea deproteinized natural rubber, DPNR-Urea)

1. นำน้ำยางธรรมชาติเข้มข้นแอมโมเนียสูงมาปรับให้มีความเข้มข้นของยางแห้ง (dry rubber content, DRC) เป็น 30% DRC และเติมด้วยสารละลาย SDS 1 wt%.
2. เติมยูเรียลงไป 0.1 wt%. และบ่มด้วยการปั่นที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง
3. นำน้ำยางมาเข้าเครื่องแยกโปรตีนโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifugation) ด้วยความเร็ว 10000 rpm จำนวน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และนำมาส่วนเนื้อยางที่แยกได้มาละลายในสารละลาย SDS 1 wt% ปั่นจนกระทั่งน้ำยางละลายเป็นเนื้อเดียวกันประมาณ 1.5 ชม. และนำมาเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง ปั่นด้วยความเร็วรอบ 10000 rpm ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และสุดท้ายนำมาทำเป็นน้ำยางชั้น
4. นำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่ได้ไปหาปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้
5. นำยางโปรตีนต่ำ (U-DPNR) ไปทดสอบ FT-IR spectroscopy เพื่อยืนยันการลดลงของปริมาณไนโตรเจน

6. ทดสอบสมบัติของน้ำยางชั้นที่ได้ ได้แก่ Total solids content (ISO 124), Dry rubber content (ISO 126), Mechanical stability (ISO35), Volatile fatty acid number (ISO 506)

#### 4.2.2 การเตรียมยางธรรมชาติโปรตีนต่ำด้วยการบ่มด้วยเอนไซม์ (Enzymatic deproteinized natural rubber, DPNR-Enzyme)

1. นำน้ำยางธรรมชาติเข้มข้นแอมโนเนียสูงมาปรับให้มีความเข้มข้นเนื้อยาง (dry rubber content, DRC) เป็น 30% DRC และเติมด้วยสารละลาย SDS 1 wt%.

2. เติมเอนไซม์ลงไป 0.04 wt%. และบ่มด้วยการปั่นที่อุณหภูมิ 38°C นาน 24 ชั่วโมง

3. นำน้ำยางมาเข้าเครื่องแยกโปรตีนโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifugation) ด้วยความเร็ว 10000 rpm จำนวน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และนำมาส่วนเนื้อยางที่แยกได้มาละลายในสารละลาย SDS 1 wt% ปั่นจนกระทั่งน้ำยางละลายเป็นเนื้อเดียวกันประมาณ 1.5 ชม. และนำมาเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง ปั่นด้วยความเร็วรอบ 10000 rpm ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และสุดท้ายนำมาทำเป็นน้ำยางชั้น

4. นำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่ได้ไปหาปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้

5. นำยางโปรตีนต่ำ (DPNR-Enzyme) ไปทดสอบ FT-IR spectroscopy เพื่อยืนยันการลดลงของปริมาณไนโตรเจน

6. ทดสอบสมบัติของน้ำยางชั้นที่ได้ ได้แก่ Total solids content (ISO 124), Dry rubber content (ISO 126), Mechanical stability (ISO35), Volatile fatty acid number (ISO 506)



(ก) ละลาย SDS



(ข) นํ้ายางบ่มด้วยยูเรียหรือเอนไซม์



(ค) ชั่งนํ้ายางเพื่อนํ้าไปปั่น



(ง) นํ้ายางที่ชั่งแล้ว



(จ) ปั่นด้วยเครื่อง Centrifugal

รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการเตรียมนํ้ายางโปรตีนต่ำ (ก) ละลาย SDS (ข) นํ้ายางบ่มด้วยยูเรียหรือเอนไซม์ (ค) ชั่งนํ้ายางเพื่อนํ้าไปปั่น (ง) นํ้ายางที่ชั่งแล้ว และ (จ) ปั่นด้วยเครื่อง Centrifugal

#### 4.2.3 การเตรียมยางธรรมชาติโปรตีนต่ำคอมเปาวด์

นํ้ายางธรรมชาติโปรตีนต่ำจากข้อ 4.2.1 และ 4.2.2 มาเตรียมเป็นนํ้ายางคอมเปาวด์สูตรถูงมือ [2-3] เทียบกับนํ้ายางธรรมชาติเข้มข้นแอมโมเนียสูง โดยในการทดลองประกอบด้วย นํ้ายางธรรมชาติ สารวัลคาไนซ์ สารกระตุ้น สารตัวเติม และสารตัวเร่ง ดังแสดงอัตราส่วนการผสมของนํ้ายางในตารางที่ 1

ตารางที่ 2 แสดงอัตราส่วนของการผสมน้ำยางคอมปาวด์

วัตถุดิบ	น้ำหนัก (กรัม)
น้ำยางข้น (60% DRC)	167
สารละลายโปแตสเซียมคาพริเลต ,20%	0.8
สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ,10%	2
ดิสเพิซชั่นกำมะถัน ,50%	1.6
ดิสเพิซชั่น Zinc diethyl dithiocarbamate (ZDEC) ,50%	0.8
ดิสเพิซชั่น Zinc 2-mercaptobenzothiazole (ZMBT) ,50%	0.8
ดิสเพิซชั่นซิงค์ออกไซด์ ,50%	2
ดิสเพิซชั่นไทเทเนียม, 50%	2.0
ดิสเพิซชั่นนิงสเตย์แอล, 50%	2.0
น้ำ	ส่วนที่เหลือปรับเป็น 180 กรัม

#### ขั้นตอนการทำ Coagulant dipping

1. เตรียมน้ำยางข้น 167 กรัม กวนใส่แอมโมเนียประมาณครึ่งชั่วโมง
2. เมื่อใส่แอมโมเนียเรียบร้อยแล้วค่อยเติมสารเคมีที่เตรียมไว้ตามลำดับตั้ง  
ตารางที่ 1 ปั่นอย่างช้าๆ บ่มทิ้งไว้เวลานาน 6 ชม.
3. เตรียมแม่พิมพ์เซรามิกโดยการล้างให้สะอาด นำมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ  
100 องศาเซลเซียส ประมาณ 2-3 นาที
4. นำแม่พิมพ์มาจุ่มในน้ำยางที่เตรียมไว้ จุ่มทิ้งไว้ 5 วินาที ยกแม่พิมพ์ขึ้นนาน  
2 วินาที และจุ่มครั้งที่ 2 และ 3 ใช้ระยะเวลาเท่าๆกัน ทิ้งไว้แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศา  
เซลเซียส 30 นาที
5. เมื่ออบเสร็จนำออกมาจากเตาอบ ตั้งไว้ให้เย็น
6. ถอดออกจากแม่พิมพ์ด้วยแปรงเพื่อไม่ให้ถุงมือติดกัน
7. นำไปทดสอบสมบัติทางกล



(ก) สารเคมีที่ใช้ คือสารละลายโปแตสเซียมคาพริเลต, สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์, ดิสเพิซชั่นกำมะถัน, ดิสเพิซชั่น ZDEC, ดิสเพิซชั่น ZMBT, ดิสเพิซชั่นซิงค์ออกไซด์, ดิสเพิซชั่นไทเทเนียม และดิสเพิซชั่นวินสเตย์แอล ตามลำดับ



(ข) ตู้อบที่ใช้ในการทำถุงมือ

(ค) ถุงมืออย่างหลังอบเสร็จ

รูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการเตรียมน้ำยางโปรตีนต่ำคอมเปาวด์ (ก) สารเคมีที่ใช้ คือสารละลายโปแตสเซียมคาพริเลต, สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์, ดิสเพิซชั่นกำมะถัน, ดิสเพิซชั่น ZDEC, ดิสเพิซชั่น ZMBT, ดิสเพิซชั่นซิงค์ออกไซด์, ดิสเพิซชั่นไทเทเนียม และดิสเพิซชั่นวินสเตย์แอล ตามลำดับ (ข) ตู้อบที่ใช้ในการทำถุงมือ และ (ค) ถุงมืออย่างหลังอบเสร็จ

#### 4.2.4 การวิเคราะห์ผล

- 1.ทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน (% Nitrogen content) และโปรตีนละลายน้ำได้ในน้ำยางหลังการบ่มด้วยยูเรียและเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติก่อนการกำจัดโปรตีน และกำจัดโปรตีนด้วยเอนไซม์
- 2.ทดสอบการตกค้างของยูเรีย ด้วยเครื่อง FTIR เพื่อวิเคราะห์หาโครงสร้างของน้ำยางก่อนและหลังการกำจัดโปรตีน

3. ทดสอบคุณภาพน้ำยางชั้นของน้ำยางธรรมชาติหลังบ่มด้วยยูเรีย และเทียบกับการกำจัดโปรตีนด้วยเอนไซม์ ได้แก่ Total solids content (ISO 124), Dry rubber content (ISO 126), Mechanical stability (ISO35), Volatile fatty acid number (ISO 506)

4. ทดสอบสมบัติทางกลของน้ำยางธรรมชาติบ่มด้วยยูเรียสำหรับเตรียมขึ้นรูปด้วยสูตรการจุ่มเพื่อทำถุงมือทางการแพทย์

5. วิเคราะห์ผลของการกำจัดโปรตีนในยางธรรมชาติเทียบกับน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่เตรียมในโรงงานอุตสาหกรรม

### 4.3 การทดสอบ [9-10]

#### 4.3.1 การทดสอบหาปริมาณไนโตรเจน

ปริมาณไนโตรเจนวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Nitrogen analyzer (model FP 528) ที่มีค่าความว่องไว 0.001% การคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนจะใช้ซอฟต์แวร์ในเครื่อง การเตรียมตัวอย่างใช้เป็นของแข็งโดยการตกตะกอนน้ำยางด้วยเมทานอล นำไปอบให้แห้งและนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Nitrogen analyzer

#### 4.3.2 การทดสอบหาปริมาณโปรตีนละลายได้ในน้ำ

ปริมาณโปรตีนละลายที่ละลายน้ำได้โดยเตรียมฟิล์มยางแห้งทดสอบจากน้ำยางชั้น โดยใช้วิธี Modified Lowry Method ค่าเฉลี่ยของปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ คัดจากการทดสอบ 4 ซ้ำ ตาม ASTM D5712 - 05e1 ชื่อ "Standard Test Method for Analysis of Aqueous Extractable Protein in Natural Rubber and Its Products Using the Modified Lowry Method"

#### 4.3.3 การทดสอบปริมาณของแข็งทั้งหมด (Determination of total solids content, %TSC)

เตรียมน้ำยางประมาณ 2.0 กรัม ใส่ในจานแก้ว นำไปอบในตู้อบโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จนแผ่นฟิล์มยางใส นำออกจากตู้อบทำให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้น ชั่งและบันทึกน้ำหนัก การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 124:Latex-rubber-determination of total solids content เพื่อหาปริมาณของส่วนที่เป็นเนื้อยางทั้งหมดในน้ำยางรวมกับสารอื่นๆที่เป็นของแข็งและไม่ใช่น้ำยาง

#### 4.3.4 การทดสอบปริมาณเนื้อยางแห้ง (Determination of dry rubber content, %DRC)

เตรียมน้ำยางประมาณ 2.0 กรัม ใส่ในจานแก้วแล้วเติมน้ำดีไอไนซ์ (Deionized water, DI) 10 มล. หยดกรดอะซิติก 2%wt ในน้ำยางให้ตกตะกอนล้างกรดอะซิติก

ออกด้วยน้ำ DI หลายๆ ครั้ง นำไปอบในตู้อบโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนแผ่นฟิล์มยางใส นำออกจากตู้อบทำให้เย็นในโถแก้วดูความชื้น ซึ่งและบันทึกน้ำหนัก

#### 4.3.5 การทดสอบความคงตัวเชิงกล (Determination of Mechanical stability)

เจือจางตัวอย่างทดสอบให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 55 ใช้เครื่องกวนความเร็วสูง บันทึกเวลาเมื่อตัวอย่างทดสอบเริ่มจับตัวเป็นเม็ด ตามมาตรฐาน ISO35: 1995 Latex rubber, natural, concentrate-determination of mechanical stability

#### 4.3.6 การทดสอบจำนวนกรดไขมันระเหยได้ (Determination of Volatile fatty acid number, VFA number)

ชั่งตัวอย่างน้ำยางประมาณ 50 กรัม และเติมด้วยสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้น 30 % v/v ปริมาตร 50 มล. และกวนน้ำยางที่อุณหภูมิ 70°C จนเกิดการจับตัวและแยกส่วนเซรัมนำไปปรับเป็นกรดด้วยซัลฟูริกเข้มข้น 50 % v/v จากนั้นนำเซรัมนี้ไปกลั่นไอน้ำและกรดไขมันที่มีอยู่จะถูกคำนวณได้จากนำไปไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานเบเรียมไฮดรอกไซด์

#### 4.3.7 การทดสอบโครงสร้างด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)

การศึกษาโครงสร้างของยางธรรมชาติหลังปฏิกิริยาเรียนรู้ทำได้โดยใช้เทคนิคอินฟราเรด (FTIR-470) ยี่ห้อ Nicolet ประเทศสหรัฐอเมริกา ดังแสดงในรูป 3 โดยนำตัวอย่างยางมาละลายด้วยคลอโรฟอร์ม และหยดเป็นฟิล์มบางๆ บนแผ่น KBr จากนั้นรอให้สารเคมีระเหย ก็ทำการทดสอบโดยให้คลื่นอินฟราเรดผ่านและประมวลผล



รูปที่ 4 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

#### 4.3.8 วิธีการทดสอบสมบัติทางกล

ตัดชิ้นงานทดสอบเป็นรูป Dumbbell เพื่อทดสอบความทนต่อแรงดึงตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 412 โดยให้แรงขนาด 2.5 kN ใช้ความเร็วในการดึง 500 mm/min จนชิ้นงานทดสอบขาด ทดสอบชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นและนำมาหาค่าเฉลี่ย จะได้ค่า tensile strength, elongation at break และ tensile stress ดังสมการ

$$\text{Tensile strength} = \frac{\text{force at break (N)}}{\text{Original area (mm}^2\text{)}}$$

$$\text{Elongation} = \frac{(\text{length at break} - \text{original length})}{\text{Original length}} \times 100$$

### 5. ผลการวิจัย

การวิจัยขั้นตอนแรกทำการเตรียมน้ำยางโปรตีนต่ำด้วยการบ่มด้วยยูเรีย (DPNR-Urea) และเอนไซม์ (DPNR-enzyme) และนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณโปรตีนละลายน้ำได้ สมบัติทางกายภาพของน้ำยาง โครงสร้างทางเคมี และในขั้นที่สองนำน้ำยางโปรตีนต่ำที่เตรียมได้มาผสมสารเคมีเพื่อเตรียมเป็นยางคอมปาวด์โดยเลือกสูตรถลุงมือเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำยางโปรตีนต่ำไปใช้งานจริง และทดสอบสมบัติเชิงกล ได้ผลการทดสอบดังนี้

#### 5.1 ผลการทดสอบปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen content, %)

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณไนโตรเจนของน้ำยางธรรมชาติเข้มข้นแอมโนเนียสูง (NR), น้ำยางโปรตีนต่ำบ่มด้วยเอนไซม์ (DPNR-Enzyme) และน้ำยางโปรตีนต่ำบ่มด้วยยูเรีย (DPNR-Urea)

Sample	Nitrogen Content (%)
NR-Control	0.45
DPNR-Enzyme	0.07
DPNR-Urea	0.06

การหาปริมาณไนโตรเจนทำการทดสอบโดยใช้เครื่อง Nitrogen analyzer ของยางธรรมชาติก่อนกำจัดโปรตีน (NR-control) และยางธรรมชาติโปรตีนต่ำด้วยการบ่มด้วยยูเรีย (DPNR-Urea) และบ่มด้วยเอนไซม์ (DPNR-enzyme) ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่มียางธรรมชาติลดลงถึง 7.5 เท่า เมื่อทำการบ่มน้ำยางธรรมชาติด้วยยูเรีย และมีค่า

ใกล้เคียงกับการบ่มด้วยเอนไซม์ โดยที่ปริมาณไนโตรเจนในยางจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีน โดยมี conversion factor ในการเปลี่ยนค่าจากปริมาณไนโตรเจนเป็นปริมาณโปรตีนคือ 6.25 [11] ดังนั้นปริมาณโปรตีนที่มีในยางธรรมชาติคือประมาณ 2.81 % หลังจากกระบวนการกำจัดโปรตีนโดยการบ่มด้วยยูเรียจะเหลือ 0.37 % เท่านั้น ใกล้เคียงกับการบ่มด้วยเอนไซม์คือ 0.43 %

#### 5.2 ผลการทดสอบปริมาณโปรตีนละลายน้ำได้ (Water Soluble Protein, $\mu\text{g/g}$ )

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณโปรตีนละลายน้ำได้ของน้ำยางธรรมชาติเข้มข้นแอมโมเนียสูง (NR-Control), น้ำยางโปรตีนต่ำบ่มด้วยเอนไซม์ (DPNR-Enzyme) และน้ำยางโปรตีนต่ำบ่มด้วยยูเรีย (DPNR-Urea)

Sample	Water Soluble Protein ( $\mu\text{g/g}$ )
NR-Control	42,455
DPNR-Enzyme	15
DPNR-Urea	15

โปรตีนในยางธรรมชาติสามารถเป็นเหตุทำให้ผู้ใช้งานบางคนเกิดอาการแพ้ได้ ดังนั้นการลดปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำเจือยลงได้ในน้ำยางก็เป็นวิธีทางลดการแพ้แก่ผู้ใช้ได้ ในการวิจัยทำการกำจัดโปรตีนโดยการบ่มด้วยยูเรียพบว่าสามารถทำให้โปรตีนที่ละลายได้ในน้ำลดลงได้ถึง 2,830 เท่า เทียบกับน้ำยางธรรมชาติเข้มข้นแอมโมเนียสูงโดยทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 4

### 5.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของน้ำยาง

ตารางที่ 5 แสดงค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids content, %TSC), ปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, %DRC), จำนวนกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid number, VFA number) และความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกล (Mechanical Stability, MST) ของน้ำยางธรรมชาติแอมโมเนียสูง (NR-Control), น้ำยางโปรตีนต่ำปมด้วยเอนไซม์ (DPNR-Enzyme) และน้ำยางโปรตีนต่ำปมด้วยยูเรีย (DPNR-Urea)

Properties	NR-Control	DPNR-Enzyme	DPNR-Urea
Total Solids content, %	61.79	52.23	49.96
Dry Rubber Content, %	60.56	52.09	49.81
Volatile fatty acid number	0.028	0.015	0.014
Mechanical Stability, second	1451	840	695

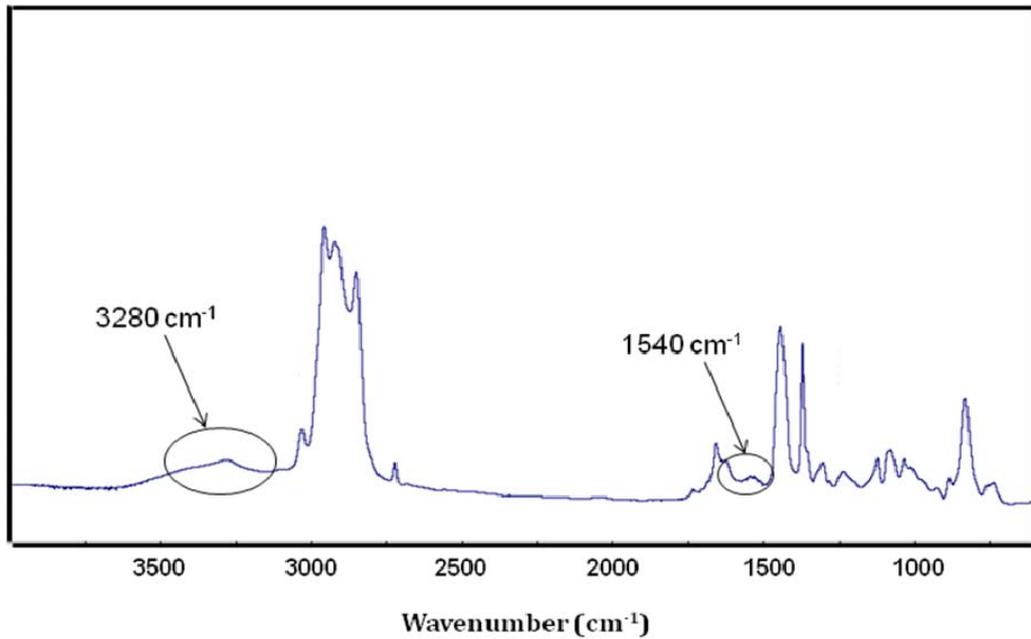
สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณเนื้อยางแห้ง จำนวนกรดไขมันระเหยได้ และความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกล ได้ทำการตรวจสอบจากน้ำยางที่ทำการปั่นเหวี่ยงและเก็บรักษาไว้อย่างน้อย 15 วันโดยมีการเติมแอมโมเนียลงไปประมาณ 0.2 wt% ต่อเนื้อยาง ก่อนนำไปทดสอบเพื่อดูสภาพน้ำยางของน้ำยางหลังกำจัดโปรตีนโดยการปมด้วยยูเรียและการปมด้วยเอนไซม์เทียบกับน้ำยางก่อนกำจัดโปรตีน ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 5 พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณเนื้อยางแห้งของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำปมด้วยยูเรียและเอนไซม์นั้นมีค่าต่ำกว่าน้ำยางธรรมชาติชั้นแอมโมเนียสูง เป็นผลเนื่องจากในขั้นตอนการปรับปริมาณน้ำยางด้วยน้ำหลังจากการปั่นเหวี่ยงครั้งที่สองนั้น เติมน้ำในปริมาณที่มากเพื่อให้ได้น้ำยางจำนวนที่ต้องการนำไปน้ำยางคอมเพาวด์ คือประมาณ 2,000 มล

ปริมาณกรดที่ระเหยได้ในน้ำยางบ่งบอกถึงคุณภาพการเก็บรักษา น้ำยาง เพราะกรดที่ระเหยได้ในน้ำยางเกิดจากการที่แบคทีเรียย่อยสลายโปรตีนในน้ำยาง ทำให้น้ำยางเกิดการบูดเน่า ซึ่งแบคทีเรียจะเติบโตได้ดีเมื่อน้ำยางมีค่า pH ต่ำกว่า 8 ค่าปริมาณกรดที่ระเหยได้ในน้ำยางที่พบเมื่อเก็บรักษา น้ำยางโปรตีนต่ำไว้ 2 สัปดาห์ นั้นมีค่าน้อยกว่าในน้ำยางธรรมชาติชั้นแอมโมเนียสูง ทั้งนี้เนื่องมาจากมีปริมาณโปรตีนที่ต่ำทำให้แบคทีเรียย่อยสลายโปรตีนเกิดปริมาณกรดที่ระเหยได้น้อยกว่า

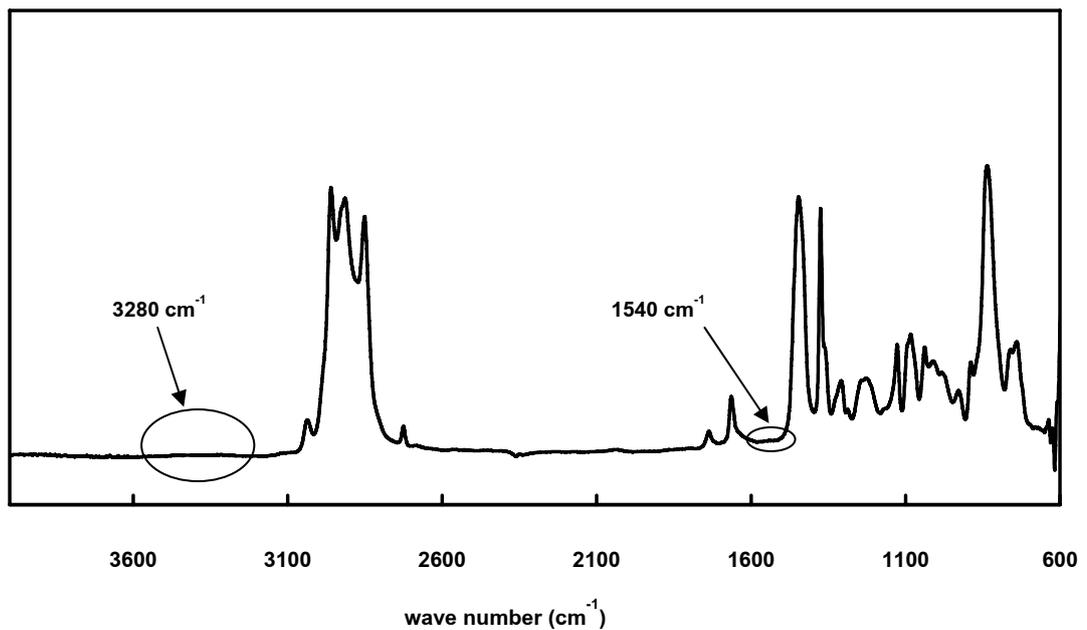
ความเสถียรเชิงกลของน้ำยางโปรตีนที่เตรียมด้วยการปมด้วยยูเรียและเอนไซม์ที่เก็บไว้เป็นเวลา 15 วัน พบว่าค่าความเสถียรเชิงกลของน้ำยางโปรตีนต่ำปมด้วยยูเรีย (DPNR-urea) มีค่าต่ำกว่าน้ำยางธรรมชาติชั้นแอมโมเนียสูงแต่มีค่าใกล้เคียงกับน้ำยางโปรตีนที่เตรียมด้วยเอนไซม์ ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำยางธรรมชาติชั้นแอมโมเนียสูงเก็บรักษาด้วยแอมโมเนียใน

ปริมาณที่มาก (ไม่ต่ำกว่า 0.70%) เกิดสบู่อมโนเนียมในน้ำยางปริมาณสูงจึงมีความเสถียรมากที่สุด เมื่อเทียบกับน้ำยางโปรตีนต่ำที่เตรียมได้

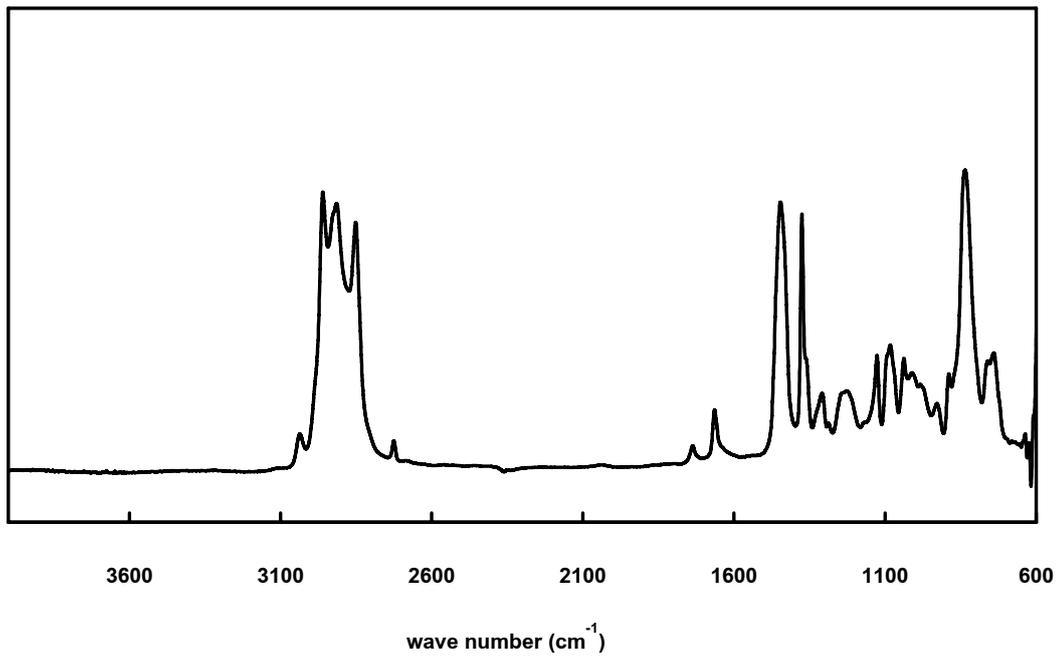
#### 5.4 ผลการทดสอบโครงสร้างด้วยเครื่อง FTIR



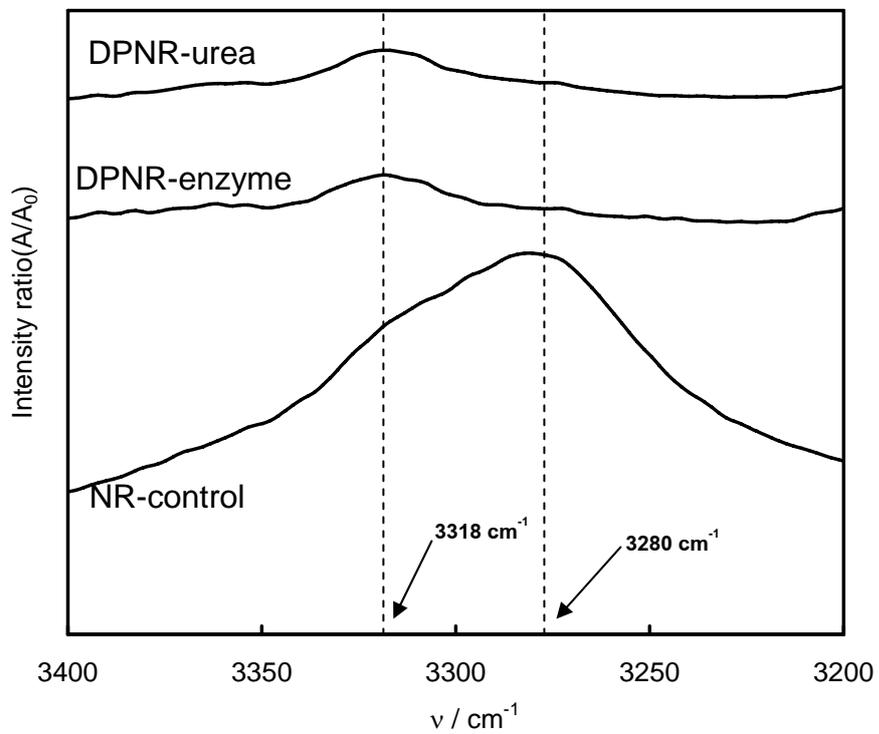
รูปที่ 5 FTIR spectrum of NR-Control



รูปที่ 6 FTIR spectrum of DPNR-enzyme



รูปที่ 7 FTIR spectrum of DPNR-urea

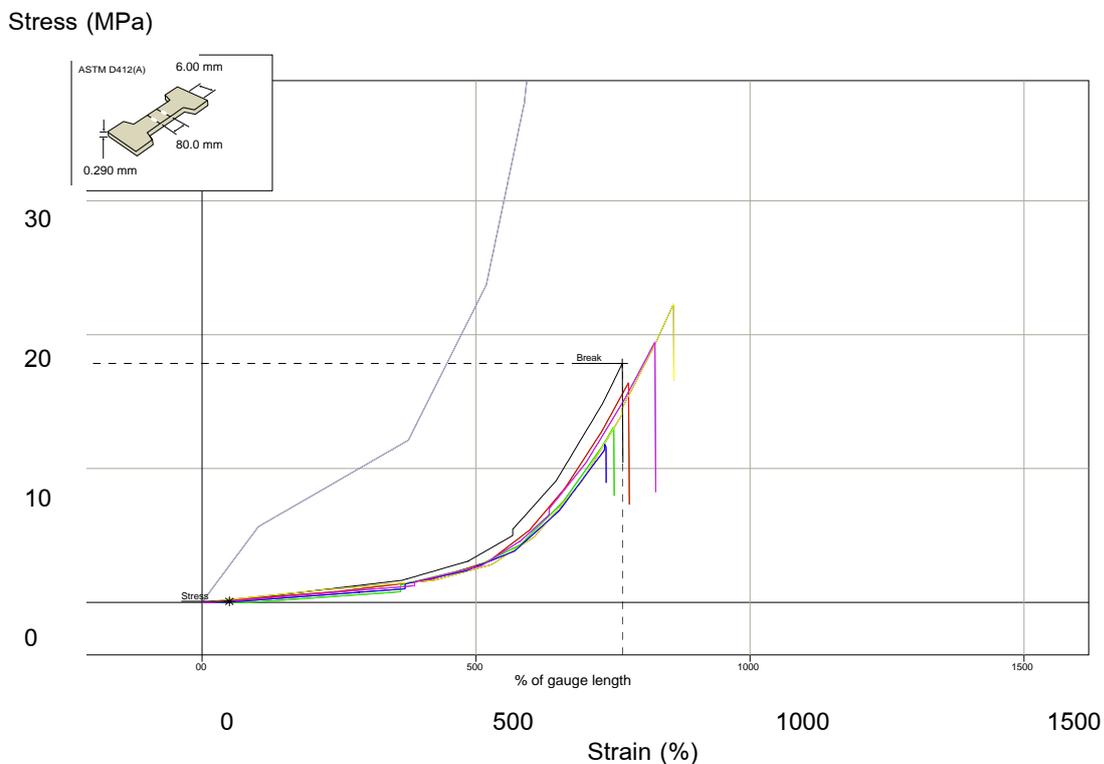


รูปที่ 8 FTIR spectra of NR-Control, DPNR-enzyme and DPNR-urea

การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของน้ำยางหลังกำจัดโปรตีนด้วยยูเรียและเอนไซม์ด้วยเทคนิค FT-IR เปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 5-7 พบว่าการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $3280\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดของ N-H และที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1540\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นการสั่นแบบงอของ N-H ของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่บ่มด้วยยูเรียและเอนไซม์นั้นไม่ปรากฏพีกทั้งสอง ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนที่ผิวของอนุภาคยางและในน้ำยางถูกทำให้อ่อนตัวด้วยยูเรีย (denature) หรือถูกเอนไซม์ย่อยสลายจนกลายเป็นเปปไทด์ที่สามารถละลายน้ำได้ และถูกสกัดออกมาด้วยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วสูง ผลนั้นสอดคล้องกับการวิจัยที่ผ่านมา [6]

อินฟราเรดสเปกตรัมของยางธรรมชาติก่อนและหลังการกำจัดโปรตีนด้วยยูเรียและเอนไซม์ แสดงดังรูปที่ 8 พบว่ายางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่บ่มด้วยยูเรียและเอนไซม์มีการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $3320\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดของ N-H ที่มีโมเลกุลสายโซ่สั้นๆ เช่น เปปไทด์ แตกต่างจากยางธรรมชาติก่อนกำจัดโปรตีนที่พบดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $3280\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดของ N-H ที่มีโปรตีนอยู่นั่นเอง ผลการทดลองสามารถยืนยันได้ว่าการกำจัดโปรตีนด้วยการบ่มด้วยยูเรียและเอนไซม์นั้นได้ลดลงเหมือนกับผลการทดลองจากปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนละลายน้ำได้

### 5.5 ผลการทดสอบสมบัติทางกลของน้ำยางคอมปาวด์



รูปที่ 9 แสดงกราฟ stress-strain curve ของยางธรรมชาติคอมปาวด์

ลำดับต่อมาให้นำน้ำยางโปรตีนต่ำที่เตรียมได้มาผสมสารเคมีเพื่อเตรียมเป็นยางคอมปาวด์โดยเลือกสูตรถูงมือดังตารางที่ 2 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำยางโปรตีนต่ำไปใช้งานจริง และทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ การทนต่อแรงดึงและการยืด ณ จุดขาด โดยค่าได้จากกราฟ stress-strain curve ในรูปที่ 9 และนำผลที่ได้นำมาแสดงในตารางที่ 6

**ตารางที่ 6** แสดงผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) และการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ของยางคอมปาวด์จากน้ำยางธรรมชาติแอมโมเนียสูง (NR-Control), น้ำยางโปรตีนต่ำบ่มด้วยเอนไซม์ (DPNR-Enzyme) และน้ำยางโปรตีนต่ำบ่มด้วยยูเรีย (DPNR-Urea)

Sample	Tensile strength (MPa)	Elongation at Break (%)
NR-Control	20.9	843
DPNR-Enzyme	5.1	773
DPNR-Urea	5.7	743

ตารางที่ 6 พบว่าค่าการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ของยางธรรมชาติก่อนกำจัดโปรตีนนั้นค่าสูงกว่ายางธรรมชาติหลังกำจัดโปรตีนออกแล้วประมาณ 4 เท่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของโปรตีนและปริมาณความเข้มข้นของเนื้อยางในน้ำยางคอมปาวด์ ส่วนในกรณีค่าการดึงยืด ณ จุดขาด (elongation at break) นั้นพบว่ามีค่าการทนต่อการดึงยืดใกล้เคียงกันทั้งน้ำยางก่อนและหลังการกำจัดโปรตีน คือ การดึงยืดสูงมากกว่า 600 % สามารถนำไปพัฒนาสูตรที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการโปรตีนได้โดยควรมีการปรับปรุงสมบัติการทนต่อแรงดึงของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนที่บ่มด้วยยูเรียเพิ่มเติมเนื่องจากน้ำยางดังกล่าวมีปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ต่ำมากและกระบวนการดังกล่าวก็เตรียมได้ไม่ยุ่งยากและต้นทุนไม่แพง

## 6. วิจารณ์ผล

การเตรียมน้ำยางโปรตีนต่ำด้วยการบ่มด้วยยูเรีย (DPNR-Urea) และบ่มด้วยเอนไซม์ (DPNR-enzyme) พบว่าขั้นตอนการเตรียมโดยการบ่มด้วยยูเรียจะช่วยลดระยะเวลาในการบ่มเหลือเพียง 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ส่วนกรณีการบ่มด้วยเอนไซม์แบบเดิมนั้นใช้เวลานาน 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ดังนั้นในขั้นตอนนี้กระบวนการกำจัดโปรตีนด้วยยูเรียจะให้ประโยชน์หลายด้าน ได้แก่ ประหยัดเวลา ประหยัดพลังงาน และยูเรียมีราคาถูกกว่าเอนไซม์มาก ทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำลงและรวดเร็วมากขึ้น ถ้าหากใช้กระบวนการนี้ในอุตสาหกรรมน้ำยาง หลังจากนั้นเรานำน้ำยางโปรตีนต่ำที่เตรียมได้มาทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่

ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณโปรตีนละลายน้ำได้ สมบัติทางกายภาพของน้ำยาง โครงสร้างทางเคมี และสมบัติทางกลของน้ำยางคอมปาวด์

## 7. สรุปผล

1. จากการวิจัยพบว่าเราสามารถเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำโดยการบ่มด้วยยูเรีย ซึ่งใช้เวลารวดเร็วกว่า (จาก 24 ชม เหลือ 1 ชม.) ราคาถูกกว่ากระบวนการที่เตรียมด้วยการบ่มด้วยเอนไซม์ โดยค่าปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่ายางก่อนกำจัดโปรตีน 7.5 เท่า และเมื่อตรวจโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR พบว่าการดูดกลืนของ N-H ในโปรตีนสายโซ่ยาว ที่  $3280\text{ cm}^{-1}$  นั้นหายไปเมื่อทำการบ่มยางด้วยยูเรียและเอนไซม์แต่ปรากฏพีคใหม่ที่  $3318\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นการดูดกลืนแสงของ N-H สายโซ่สั้นๆ เช่น เปปไทด์ เป็นการยืนยันถึงประสิทธิภาพของการกำจัดโปรตีนในน้ำยางด้วยวิธีดังกล่าว

2. ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ของน้ำยางที่ผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีนโดยการบ่มด้วยยูเรียพบว่าสามารถทำให้โปรตีนที่ละลายได้ในน้ำลดลงได้ถึง 2,830 เท่า เทียบกับน้ำยางธรรมชาติเข้มข้นแอมโมเนียสูง

2. สมบัติทางกายภาพได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณเนื้อยางแห้ง จำนวนกรดไขมันระเหยได้ และความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกล ของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำบ่มด้วยยูเรียมีค่าใกล้เคียงกันกับการบ่มด้วยเอนไซม์

3. เมื่อนำน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำบ่มด้วยยูเรียมาทดลองเตรียมเป็นน้ำยางคอมปาวด์ด้วยสูตรถุงมือยาง พบว่าค่าสมบัติทางกล ได้แก่ ค่าการทนต่อแรงดึงลดต่ำกว่าน้ำยางธรรมชาติแอมโมเนียสูงที่ไม่ได้กำจัดโปรตีนก่อน แต่ค่าการยืดตัวนั้นสูงใกล้เคียงกัน

## 8. ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยเสนอแนะว่างานวิจัยนี้เป็นการพัฒนากระบวนการเตรียมน้ำยางโปรตีนต่ำที่ง่ายและราคาถูก ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับน้ำยางโปรตีนต่ำที่เตรียมด้วยเอนไซม์ จึงเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถทำได้เองในประเทศไทย อีกทั้งมีประโยชน์อย่างมากต่อนักวิจัยที่ทำวิจัยเกี่ยวกับน้ำยางโดยการพัฒนาด้านการปรับปรุงโครงสร้างทางเคมี (Chemical modification of natural rubber latex) และมีโอกาสทำเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ไม่ต้องการการแพ้ด้วยโปรตีนในยาง โดยในการวิจัยนี้ได้ทดลองทำน้ำยางคอมปาวด์สูตรถุงมือยางเดี่ยวโดยไม่ได้ทดลองปรับปรุงสูตร ในส่วนงานวิจัยเพิ่มเติมน่าจะมีการทดลองปรับปรุงสูตรเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติทางกล เช่น การทนต่อแรงดึงที่ดีได้ต่อไป และการนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ยางปราศจากโปรตีน เช่น มือเทียม ฟองน้ำ ของเล่นเด็ก เป็นต้น ส่วนการวิจัยเพิ่มเติมเรื่องน้ำยางนั้นควรศึกษาเพิ่มเติมถึงสมบัติของการเก็บรักษา น้ำยางระยะเวลาขึ้นเป็นเดือนเพื่อดูสมบัติของน้ำยางโปรตีนต่ำและการปรับปรุงความคงตัวหรือเสถียรภาพของน้ำยาง รวมถึงการพัฒนาเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกล เช่น tensile strength ของน้ำยางโปรตีนต่ำ

ปัญหาและอุปสรรคที่พบคือ การสังเคราะห์สารเคมีคือ Zinc diethyl dithiocarbamate ในสูตรถุงมือใช้เวลาเวลานานกว่า 3 เดือน รวมทั้งเครื่องมือและการทดสอบที่ต้องไปขอใช้กับสถานที่อื่น บางครั้งต้องรอคิวนานมาก

## 9. เอกสารอ้างอิง

- [1] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. คู่มือเทคโนโลยียาง, สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2545.
- [2] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ, ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการ, หน้า 81-87, 2537.
- [3] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. ยางธรรมชาติ : การผลิตและการใช้งาน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, หน้า 87-164, 2549.
- [4] Roberts AD. Natural Rubber Science and technology. Brickendonbury. Oxford University; 1988.
- [5] Warner Hofmann. Rubber Technology Handbook, Hanser Publishers, Munich Vienna New York; Oxford University Press, New York and Canada; 1989.
- [6] Kawahara S, Klinklai W, and Isono Y. Polymer for Advanced Technologies 15: 181-184; 2004.
- [7] Klinklai W, Saito T, Kawahara S, Tashiro K, Suzuki Y, Sakdapipanich J and Isono Y. Journal of Applied Polymer Science 93: 555-559; 2004.
- [8] Yamamoto Y, Nghia PT, Klinklai W, Saito T and Kawahara S. Journal of Applied Polymer Science 107: 2329-2332; 2008.
- [9] พงษ์ธร แซ่ฮุ่ย และชาคริต สิริสิงห, ยาง กระบวนการผลิตและการทดสอบ, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, กรุงเทพมหานคร, 2550.
- [10] พงษ์ธร แซ่ฮุ่ย, ยาง ชนิด สมบัติ และการใช้งาน, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, กรุงเทพมหานคร, 2547.
- [11] Loadman M.J.R. and William Charles Wake. Analysis of rubber and rubber-like polymers, 4th edition, Kluwer Academic Publishers, Printed in the UK; 1998. p.95-98.
- [12] Peter A. Ciullo and Norman Hewitt. The Rubber Formulary, Noyes Publications, Norwich New York, USA; 1999.
- [13] Nicholas P. Cheremisinoff. Elastomer Technology Handbook, CRC Press, Inc. USA; 1993.

สรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	ชี้แจงโดยนักวิจัย
<b>ความคิดเห็นด้านการพิมพ์</b>	
1. ตรวจสอบคำผิด หน้า 7,8,9,13,14,18,19	แก้ไขคำผิดเรียบร้อยแล้ว
2. คำว่า solid content แก้ไขเป็น "solids content ในทุกจุดของรายงาน	แก้ไขเรียบร้อยแล้ว
3. หน้า 3 ข้อ 2 และหน้า 20 หัวข้อสรุปผลที่กล่าวว่า ซึ่งกระบวนการกำจัดโปรตีน...แต่รวดเร็วและราคาถูกกว่า นั้น ขอให้ทบทวนการเขียน อ่านแล้วไม่เข้าใจ	แก้ไขเรียบร้อยแล้วตั้งรายงานหน้า 4 และ 21
4. หน้า 6 ข้อ 1 ที่กล่าวว่า เนื่องจากโปรตีนที่มีอยู่ในยางนั้น ดังนั้นจึงทำให้โปรตีนที่มีอยู่ในน้ำยางหรือผลิตภัณฑ์ยางมีปริมาณลดน้อยลง นักวิจัยควรทบทวนการเขียนใหม่ อ่านแล้วไม่เข้าใจ	แก้ไขเรียบร้อยแล้วตั้งรายงานหน้า 7
5. หน้า 8 ชื่อสารเคมี ZnO และ KOH ควรใช้ชื่อเต็ม และใช้ภาษาอังกฤษหรือภาษาไทยควรเหมือนกันทั้งหมด	แก้ไขเรียบร้อยแล้วตั้งรายงานหน้า 9
6. หน้า 9 หัวข้อ 4.2.2 ข้อ 5 ทดสอบ FTIR แล้วเพื่อเปรียบเทียบอะไร	หัวข้อ 4.2.2 ข้อ 5 นำยางโปรตีนต่ำ (DPNR-Enzyme) ไปทดสอบ FT-IR spectroscopy เพื่อยืนยันการลดลงของปริมาณไนโตรเจน
7. ตารางที่ 2 หน้า11 ตรวจสอบการเขียนคำว่า ดิสเพนชัน ให้ตรงกับการออกเสียงภาษาอังกฤษ และทำไมไทเทเนียมและ wingstay L ไม่อยู่ในรูป dispersion	แก้ไขตารางที่ 2 หน้า 12 แล้ว
8. หน้า 12 รูป (ก) สารเคมีที่ใช้เตรียมควรระบุให้เห็นชัดเจนว่าคือสารอะไร	แก้ไขเรียบร้อยแล้วตั้งรายงานหน้า 13
9. คำว่า volatile fatty acid แก้ไขเป็น volatile fatty acid number ในทุกจุดของรายงาน	แก้ไขเรียบร้อยแล้วตั้งรายงาน
10. ตรวจสอบคำว่า tensile stress ถูกต้องหรือไม่ ในทุกจุดของรายงาน	แก้ไขเรียบร้อยแล้วตั้งรายงาน
11. ตรวจสอบเอกสารอ้างอิงหน้า 22 หมายเลข 2 ไม่ถูกต้อง	แก้ไขเลขที่หน้า เป็น 81-87 เรียบร้อยแล้วตั้งรายงาน

<b>ความคิดเห็นด้านวิชาการ</b>	
1. หน้า 13 แก้ไขวิธีการทดสอบให้ตรงตามมาตรฐาน ISO	ดำเนินการแล้ว
2. ควรมีผลทดสอบสมบัติปริมาณความเป็นต่างความเป็นกรด-ด่าง (pH) และคำนวณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ของน้ำยางทั้ง 3 ชนิดด้วย	ไม่มีผลทดสอบดังกล่าวในรายงานนี้เนื่องจากไม่ได้เขียนในขอบเขตตอนแรก และจะดำเนินการเพิ่มเติมในการเสนอขอทุนวิจัยครั้งต่อไป
3. วิธีการเตรียม ควรระบุความเร็วของการปั่น ปั่น 2 ครั้งความหมายว่าอย่างไร ระหว่างครั้งที่ 1 และ 2 ห่างกันนานเท่าไร เอาอะไรออกไปบ้าง ตามรายงาน %DRC ก็ไม่ได้ 60% โปรดอธิบาย	ความเร็วของการปั่น 10000 rpm ปั่นและแยกครีมและซีรัมออกจากกัน และนำส่วนที่เป็นครีมมาละลายในสารละลาย SDS และทำการปั่นครั้งที่ 2 ใช้ระยะเวลาห่างกันประมาณ 1.5 ชม. และนำมาทำน้ำยางชั้น ส่วนการปรับน้ำยางแล้วไม่ได้ 60% นั้นเนื่องมาจากการเติมน้ำลงไปมากเกินไปเพื่อให้ได้น้ำยางปริมาณ 2 ลิตร แต่เราสามารถปรับสูตรได้ตามตารางที่ 2
4. ก่อนหาปริมาณ N <sub>2</sub> นั้นเตรียมตัวอย่างอย่างไร	ใช้ตัวอย่างเป็นของแข็งโดยการตกตะกอนน้ำยางด้วยเมทานอล นำไปอบให้แห้งและนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Nitrogen analyzer หน้า 14
5. การเริ่มต้นจากน้ำยางชั้น HA ถือว่า มีการกำจัดโปรตีนไปแล้วบางส่วน และมี preservative อยู่แล้ว เมื่อนำมาเข้า centrifuge แล้วเติม preservative อีกทำไม การทดสอบสมบัติน้ำยางชั้น ทำหลังจากเตรียมน้ำยางมาแล้วนานเท่าไร	น้ำยางชั้น HA นั้นทำการทดสอบสมบัติเลย ส่วนน้ำยางโปรตีนต่ำที่เตรียมมาจากการบ่มน้ำยางชั้น HA นั้นทำการทดสอบหลังจากทิ้งไว้นานประมาณสองสัปดาห์
6. การทดลองนี้ได้เตรียมน้ำยางกี่ครั้ง ผลการทดสอบเหมือนกับทำแค่ครั้งเดียวไม่มีการทำซ้ำ	การเตรียมน้ำยางทำหลายครั้งแต่ทำการทดสอบเพียงครั้งเดียว
7. สูตรน้ำยาง compound ที่อ้างอิง คำนวณจากน้ำยางชั้นที่มี %DRC เท่ากับ 60% แต่น้ำยางที่เตรียมได้จากการบ่ม urea/enzyme มี %DRC ไม่ถึง มีการปรับสูตรอย่างไรบ้าง	ทำโดยการปรับปริมาณน้ำให้มีปริมาณเท่าๆ กันในตารางที่ 2 คือปริมาณรวมเท่ากับ 180 กรัม
8. ขั้นตอนการทำถุงมือยังไม่ถูกต้อง เขียนอธิบายละเอียด ใช้วิธี coagulant dip หรือไม่	วิธี coagulant dip โดยเขียนรายละเอียดเพิ่มเติมตามที่ได้ทดลองจริงในการวิจัยนี้

<p>9. ควรแสดง FTIR Spectrum ของน้ำยางชั้น ธรรมดา เพื่อแสดงว่าเดิมมี peak ที่ <math>3280\text{ cm}^{-1}</math> และ <math>1540\text{ cm}^{-1}</math></p>	<p>เพิ่มเติมแล้วในรูปที่ 5 หน้า 19</p>
<p>10. ควรรายงานค่า soluble protein มากกว่า ปริมาณ <math>\text{N}_2</math></p>	<p>ปรับรายงานแล้วตารางสรุป หน้า 3</p>
<p>11. ผลวิจัยได้น้ำยางที่ให้สมบัติ tensile ต่ำมาก จึง ไม่น่าจะสรุปว่าดี อย่างไรก็ตาม นักวิจัยน่าจะชี้ ประเด็นการปรับปรุงสมบัติดังกล่าว เพราะผลของ protein ละลายน้ำได้ต่ำดีมาก ซึ่งหากเตรียมน้ำยาง ได้ไม่ยุ่งยาก ต้นทุนไม่แพง ก็เป็นเรื่องน่าสนใจ ทดลองต่อเพื่อปรับปรุงสมบัติ</p>	