

การใช้เอนไซม์ไลเปสเพื่อลดระยะเวลาการบ่มเร่งความเสถียร และลดการใช้แอมโมเนียในน้ำยางข้น

Use of Lipase in Reducing the Maturation Time and Use of Ammonia in Concentrated Natural Rubber Latex

จิราภรณ์ วงศ์ชติย์ และแคทเลียา ปัทมพรหม*

ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านพอลิเมอร์ชีวภาพและยางธรรมชาติ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Jiraporn Wongkhat and Cattaleeya Pattamaprom*

Center of Excellence on Biopolymer and Natural Rubber Technology,
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,
Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้เอนไซม์ไลเปสในการเร่งความเสถียรเชิงกล (mechanical stability time, MST) ของน้ำยางข้น (concentrated natural rubber latex, CNRL) ทั้งในน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (LA latex) และชนิดแอมโมเนียสูง (HA latex) โดยศึกษาผลของการบ่มเร่งความเสถียรด้วยเอนไซม์ไลเปสต่อสมบัติต่าง ๆ ของน้ำยางข้น และศึกษาผลของน้ำยางข้นที่บ่มเร่งความเสถียรด้วยเอนไซม์ไลเปสต่อการขึ้นรูปเป็นยางพองน้ำ ผลการทดลองพบว่าการเติมเอนไซม์ไลเปสลงในน้ำยางข้นทำให้ค่า MST ของน้ำยางข้นทั้งสองชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น โดยไม่ส่งผลต่อสมบัติอื่น ๆ ของน้ำยางข้น การเติมเอนไซม์ไลเปสลงในน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูงในปริมาณเพียง 0.004 % และเติมลงในน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำในปริมาณมากกว่า 0.04 % โดยปริมาตรของน้ำยางข้น ทำให้ค่า MST ของน้ำยางข้นเพิ่มขึ้นได้เร็วกว่าน้ำยางข้นเกรดการค้า และการนำน้ำยางข้นมาผลิตเป็นยางพองน้ำพบว่ายางพองน้ำที่ได้จากน้ำยางข้นที่เติมเอนไซม์ไลเปสมีความหนาแน่น (density) ต่างจากยางพองน้ำที่ได้จากน้ำยางข้นเกรดการค้าเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการเติมเอนไซม์ไลเปสลงในน้ำยางข้นไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำยางข้นในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางพองน้ำ

คำสำคัญ : น้ำยางข้น; การบ่มน้ำยาง; เอนไซม์; ความเสถียรเชิงกล; ยางพองน้ำ

*ผู้รับผิดชอบบทความ : cattalee@engr.tu.ac.th

Abstract

This study investigated the use of lipase in accelerating the mechanical stability of concentrated natural rubber latex (CNRL) including the low-ammonia latex (LA latex) and high-ammonia latex (HA latex). The effects of CNRL treated with lipase were also investigated on other latex properties and on latex foam production. It was found that lipase treatment was an effective method in accelerating the MST of both LA latex and HA latex without affecting other properties of CNRL. The results showed that the MSTs of HA latex treated with 0.004 % v/v and LA latex treated with ≥ 0.04 % v/v of lipase were significantly higher than that of the commercial HA and LATZ latex. For the effect on latex foam production, it was observed that the density of latex foam obtained from CNRL treated with lipase was not significantly different from those produced from the commercial latex. This implied that lipase addition did not cause any adverse effect on the latex foam product.

Keywords: concentrated natural rubber latex; maturation; enzyme; mechanical stability time; latex foam

1. บทนำ

น้ำยางชั้นที่ได้จากกระบวนการบ่มแห้งเหวี่ยงใหม่ ๆ มีค่าความเสถียรเชิงกล (mechanical stability time, MST) ต่ำกว่าค่ามาตรฐานสำหรับการนำไปใช้งาน ดังนั้นก่อนนำน้ำยางชั้นออกจำหน่าย ผู้ประกอบการจึงจำเป็นต้องบ่มน้ำยางเพื่อให้มีค่า MST ตามค่ามาตรฐานที่กำหนด (650 วินาที) โดยค่า MST ของน้ำยางชั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่ม เนื่องจากฟอสโฟลิปิดและไขมันที่ห่อหุ้มอนุภาคยาง จะเกิดการแตกตัวเป็นกรดไขมัน รวมตัวกับแอมโมเนียที่เติมลงในน้ำยาง เกิดเป็นสบู่กรดไขมัน [1-4] และถูกดูดซับอยู่ที่ผิวอนุภาคยาง ทำให้น้ำยางมีความเสถียรเพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากการบ่มน้ำยางในสภาวะปกติจะใช้เวลานานมาก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงนิยมเติมแอมโมเนียมลอเรต (ammonium laurate) เพื่อเร่งความเสถียรเชิงกลของน้ำยางชั้น โดยปริมาณสูงสุดในการเติมแอมโมเนียมลอเรตที่จะไม่ทำให้เกิดฟองมาก

เกินไปหรือเกิดปัญหาในการนำน้ำยางชั้นไปใช้งานในภายหลัง คือ 0.03-0.04 % โดยน้ำหนัก โดยใช้ระยะเวลาในการบ่มน้ำยาง 28-45 วัน ซึ่งวิธีนี้เป็นการเติมประจุลงในน้ำยางโดยตรง เนื่องจากอนุภาคยางจะมีปริมาณประจุเพิ่มขึ้นโดยธรรมชาติตามระยะเวลาที่จัดเก็บน้ำยางอยู่แล้ว หากเติมแอมโมเนียมลอเรตในปริมาณที่สูงจะส่งผลให้น้ำยางชั้นมีความเสถียรเชิงกลที่มากเกินไปที่ระยะเวลาการจัดเก็บนาน ๆ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาในการนำน้ำยางชั้นไปใช้ในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยาง โดยเฉพาะการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางโดยวิธีจุ่มพิมพ์ [5] และทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพต่ำลง

ปัญหาในการใช้แอมโมเนียมลอเรตดังกล่าว ได้มีการศึกษาเพื่อหาแนวทางต่าง ๆ ในการเพิ่มค่า MST ของน้ำยางชั้นอย่างยั่งยืน ซึ่งจากงานวิจัยของ เดชณรงค์ และยศธร [6] พบว่าการใช้เอนไซม์ไลเปสสามารถเร่งความเสถียรเชิงกลของน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (HA latex) ได้รวดเร็วที่สุด โดยการเติม

เอนไซม์ไลเปสปริมาณ 0.004 % v/v สามารถเพิ่มค่า MST ของน้ำยางชั้นจนถึงค่ามาตรฐานภายในระยะเวลาเพียงแค่ 2 วัน ขณะที่การเติมแอมโมเนียมลอเรตที่ความเข้มข้น 0.04 wt% ต้องใช้เวลาถึง 24 วัน ในการเพิ่มค่า MST ให้ถึงค่ามาตรฐาน นอกจากนี้เมื่อเก็บน้ำยางชั้นไว้เป็นระยะเวลาสั้น ค่า MST ของน้ำยางชั้นที่เติมเอนไซม์ไลเปสจะมีค่าคงที่ที่ 1,100 วินาที ซึ่งผลการวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มค่า MST โดยใช้เอนไซม์ไลเปสจะสามารถช่วยลดปัญหาค่า MST ที่สูงเกินไปของน้ำยางชั้นที่ถูกเก็บไว้เป็นเวลานาน และการที่ค่า MST ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ยังช่วยลดปัญหาในการจับตัวยากของน้ำยางที่เก็บไว้เป็นเวลานานก่อนการนำไปขึ้นรูปอีกด้วย อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าวข้างต้นยังไม่ได้มีการศึกษาการใช้เอนไซม์ไลเปสเกรดอื่น ๆ ในการเร่งความเร็วเชิงกลของน้ำยางชั้น รวมถึงยังไม่ได้ศึกษาผลของปริมาณแอมโมเนียต่อประสิทธิภาพในการบ่มเร่งค่า MST นอกจากนี้ยังไม่ได้มีการศึกษาผลของการนำน้ำยางชั้นที่บ่มเร่งความเร็วด้วยเอนไซม์ไลเปสไปใช้ในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อศึกษาผลของการเติมเอนไซม์ไลเปสต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยางเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ยางที่ได้จากน้ำยางชั้นเกรดการค้าโดยทั่วไป

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจศึกษาการใช้เอนไซม์ไลเปสในการเพิ่มความเสถียรเชิงกลของน้ำยางชั้น โดยศึกษาผลของเอนไซม์ไลเปส 2 เกรด และผลของปริมาณของเอนไซม์ไลเปสที่เหมาะสมสำหรับใช้เพิ่มความเสถียรเชิงกลของน้ำยางชั้นทั้งในสถานะที่มีแอมโมเนียต่ำและสถานะที่มีแอมโมเนียสูง และศึกษาผลของน้ำยางชั้นที่บ่มเร่งความเร็วด้วยเอนไซม์ไลเปสต่อสมบัติการขึ้นรูปและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยางพองน้ำเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ยางที่ได้จากน้ำยางชั้นเกรดการค้าโดยทั่วไป

2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

น้ำยางชั้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 4 ชนิด ซึ่งทั้ง 4 ชนิด เป็นน้ำยางชั้นที่ได้จากกระบวนการหมุนปั่นใหม่ ๆ และยังไม่ผ่านการบ่มเร่งความเร็วเชิงกล ได้แก่ น้ำยางชั้นสำหรับใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิง (blank) และใช้ในการศึกษาการบ่มเร่งความเร็วเชิงกลโดยใช้เอนไซม์ไลเปส จะใช้น้ำยางชั้น 2 ชนิด คือ (1) น้ำยางชั้นที่มีปริมาณแอมโมเนีย 0.6 % โดยน้ำหนัก (high-ammonia latex) โดยใช้ชื่อย่อว่า น้ำยางชั้น HA latex (2) น้ำยางชั้นที่มีปริมาณแอมโมเนีย 0.2 % โดยน้ำหนัก (low-ammonia latex) ใช้ชื่อย่อน้ำยางชั้น LA latex โดยน้ำยางชั้นทั้ง 2 ชนิด เป็นน้ำยางชั้นที่ไม่ได้เติม TMTD/ZnO และแอมโมเนียมลอเรต ส่วนน้ำยางชั้นเกรดการค้าสำหรับใช้เป็นตัวอย่างเปรียบเทียบในการทดลองจะใช้น้ำยางชั้น 2 ชนิด คือ (3) น้ำยางชั้นเกรดการค้าชนิดแอมโมเนียสูง (commercial high ammonia latex) โดยใช้ชื่อย่อน้ำยางชั้น commercial HA latex เป็นน้ำยางชั้นที่มีปริมาณแอมโมเนีย 0.6 % โดยน้ำหนัก และเติมแอมโมเนียม ลอเรตเพื่อเร่งความเร็วเชิงกลให้กับน้ำยาง (4) น้ำยางชั้นเกรดการค้าชนิดแอมโมเนียต่ำ (commercial low ammonia latex) ใช้ชื่อย่อน้ำยางชั้น commercial LATZ latex เป็นน้ำยางชั้นที่มีปริมาณแอมโมเนีย 0.2 % โดยน้ำหนัก ที่เติม TMTD/ZnO เพื่อรักษาสภาพน้ำยางและเติมแอมโมเนียมลอเรตเพื่อเร่งความเร็วเชิงกลให้กับน้ำยาง โดยน้ำยางทุกเกรดซื้อจากบริษัท Thai Eastern Rubber, Thailand สำหรับเอนไซม์ไลเปสที่ศึกษาเป็นเอนไซม์ไลเปสทางการค้าจาก 2 แหล่ง ได้แก่ เอนไซม์ไลเปสทางการค้าแหล่งที่ 1 และแหล่งที่ 2 ซึ่งเป็นเอนไซม์ไลเปสที่มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ (enzyme activity) 30,000 IU/mL และ 100,000 LU/g ตามลำดับ กรดที่ใช้จับก้อนน้ำยาง ได้แก่ กรด

อะซีติก (J.T. Baker, Avantor, Malaysia) สารเคมีที่ใช้ในการหาปริมาณแอมโมเนียในน้ำยาง ได้แก่ สารละลายเทอริค 16 เอ 16 (Rubber Research Institute, Thailand) เมทิลเรด (Panreac, Spain) กรดไฮโดรคลอริก (Merck, Germany) และสารเคมีที่ใช้ในการผลิตยางฟองน้ำ ได้แก่ โฟแทสเซียมโอเลียด (Rubber Research Institute, Thailand) กำมะถัน (Rubber Research Institute, Thailand) ซิงค์ ไดเอทิล ไดไทโอคาร์บาเมต (Rubber Research Institute, Thailand) ซิงค์-2-เมอร์แคปโตเบนโซไทอาโซล (Rubber Research Institute, Thailand) วิงสเตย์ แอล (Rubber Research Institute, Thailand) ดี พี จี (Rubber Research Institute, Thailand) เอสเอสเอฟ (Rubber Research Institute, Thailand) และ ซิงค์ออกไซด์ (Global Chemical, Thailand)

2.2 การเตรียมน้ำยางชั้นที่เร่งความเสถียรเชิงกลโดยใช้เอนไซม์ไลเปส

น้ำยางชั้นที่เร่งความเสถียรด้วยเอนไซม์ไลเปส สามารถเตรียมโดยการเติมเอนไซม์ไลเปสในปริมาณที่กำหนดลงในน้ำยางชั้น LA latex (ชนิดที่ 1) และ HA latex (ชนิดที่ 2) ที่ได้จากกระบวนการปั่นเหวี่ยงใหม่ ๆ และยังไม่ผ่านการบ่มเร่งความเสถียร จากนั้นเก็บน้ำยางชั้นที่อุณหภูมิห้องและทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของน้ำยางชั้นตามระยะเวลาบ่มที่กำหนด โดยเปรียบเทียบค่าความเสถียรเชิงกลและสมบัติต่าง ๆ ของน้ำยางชั้นกับน้ำยางชั้นเกรดการค้าและน้ำยางชั้นอ้างอิง (blank) ซึ่งเป็นน้ำยางชั้น LA latex (ชนิดที่ 1) และ HA latex (ชนิดที่ 2) ที่ได้จากกระบวนการปั่นเหวี่ยงใหม่ ๆ ซึ่งยังไม่ผ่านการบ่มเร่งความเสถียรและไม่ได้เติมสารเร่งความเสถียรใด ๆ

2.3 การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของน้ำยางชั้น

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของน้ำยางชั้น ได้แก่ ความเสถียรเชิงกล (MST) ทดสอบตาม

มาตรฐาน ISO35: 2004 ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง (total solid content, TSC) ทดสอบตามมาตรฐาน ISO124: 2014 ปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC) ทดสอบตามมาตรฐาน ISO126: 2005 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำยาง (alkalinity as ammonia, %NH₃) ทดสอบตามมาตรฐาน ISO125: 2011 โดยสมบัติดังกล่าวข้างต้นจะทดสอบตัวอย่างละ 2 ซ้ำ (n = 2) และความเป็นกรด-ด่างในน้ำยาง (pH) ทดสอบตามมาตรฐาน ISO976: 2013

2.4 การเตรียมน้ำยางฟองน้ำ

การเตรียมน้ำยางฟองน้ำสามารถเตรียมตามสูตรการผสมเคมียาง ดังตารางที่ 1 โดยเริ่มจากการใส่น้ำยางและโฟแทสเซียมโอเลียดลงในหม้อปั่น นำหม้อปั่นเข้าเครื่องตีโฟมยาง (ยี่ห้อ XPX รุ่น JD56) ปรับความเร็วระดับ 5 ปั่นน้ำยางให้ขึ้นฟองเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นลดความเร็วการปั่นเหลือระดับ 3 เติมหำมะถัน ซิงค์ ไดเอทิล ไดไทโอคาร์บาเมต ซิงค์-2-เมอร์แคปโตเบนโซไทอาโซลและวิงสเตย์ แอล ปั่นสารให้เข้ากันเป็นเวลา 2 นาที เติมดีพีจีและซิงค์ออกไซด์ ปั่นสารให้เข้ากันเป็นเวลา 30 วินาที แล้วจึงเติมเอสเอสเอฟ ปั่นจนสารเข้ากันเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นเทโฟมยางที่ตีได้ลงในแม่พิมพ์เพื่อเตรียมเป็นชิ้นงานทดสอบสี่เหลี่ยมขนาด 2.5×5×5 ซม. ทิ้งให้น้ำยางเซตตัวในแม่พิมพ์ประมาณ 10 นาที แล้วนำเข้าสู่ตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำยางฟองน้ำออกจากแม่พิมพ์และชั่งถ่วงด้วยน้ำร้อน 70 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 5-30 นาที เพื่อชะล้างสารเคมีที่ยังตกค้างอยู่ จากนั้นจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส จนแห้ง โดยชิ้นงานยางฟองน้ำที่ได้จะนำไปศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำ ได้แก่ ความหนาแน่น เปรียบเทียบกับสมบัติของยางฟองน้ำที่เตรียมจากน้ำยางชั้นเกรดการค้า

Table 1 The formulations of latex compound

Ingredients	Quantities (g)
60 % Concentrated natural rubber latex	167
10 % Potassium oleate	15
50 % Sulphur	4
50 % ZDEC	2
50 % ZMBT	2
50 % Wingstay-L	2
50 % ZnO	10
33 % DPG	3
12.5 % SSF	8

2.5 การทดสอบความหนาแน่นของยางพองน้ำ

การทดสอบความหนาแน่นของยางพองน้ำในงานวิจัยนี้ได้ตัดแปลงการเตรียมตัวอย่างขึ้นทดสอบจาก มอก. 2741-2559 โดยเตรียมขึ้นทดสอบที่มีขนาดความกว้างด้านละ 50 ± 1 mm หนา 2.5 ± 1 mm จำนวน 5 ชิ้น/ตัวอย่าง ($n = 5$) และคำนวณหาความหนาแน่นจากสูตร $\rho = \frac{m}{V} \times 10^6$ เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น เป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) m คือ น้ำหนัก เป็นกรัม (g) และ V คือ ปริมาตร เป็นลูกบาศก์มิลลิเมตร (mm^3)

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสมบัติต่าง ๆ ของน้ำยางชั้นที่บ่มเร่งความเสถียรด้วยเอนไซม์ไลเปสกับน้ำยางชั้นเกรดการค้าด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ Student t-test และกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยทดสอบสมมติฐานแบบสองทาง (two-tailed test) ซึ่งมีสมมติฐานในการทดสอบ ดังนี้

สมมติฐานหลัก (H_0) : ค่าเฉลี่ยของสมบัติต่าง ๆ ของน้ำยางชั้นเกรดการค้า (μ_1) มีค่าไม่แตกต่างจากน้ำยางชั้นที่บ่มเร่งความเสถียรด้วยเอนไซม์ไลเปส (μ_2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($H_0: \mu_1 = \mu_2$)

สมมติฐานรอง (H_1): ค่าเฉลี่ยของสมบัติต่าง ๆ ของน้ำยางชั้นเกรดการค้า (μ_1) มีค่าแตกต่างจากน้ำยางชั้นที่บ่มเร่งความเสถียรด้วยเอนไซม์ไลเปส (μ_2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($H_1: \mu_1 \neq \mu_2$)

การหาค่าสถิติ (t) จะคำนวณโดยใช้สมการ

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

เมื่อ t คือ ค่าสถิติที่ใช้พิจารณาใน t-test; x_1, x_2 คือ ค่าเฉลี่ยกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2; S_1, S_2 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2; n_1, n_2 คือ ขนาดกลุ่มตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2

โดยค่าสถิติ (t) ที่ได้จากสมการข้างต้นจะนำไปใช้หาค่าจริงจากการคำนวณ (p-value) ที่ระดับนัยสำคัญที่กำหนด เพื่อใช้ในการสรุปผลการทดสอบสมมติฐาน งานวิจัยนี้วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม Excel ในการประมวลผลเพื่อหาค่า p-value โดยสามารถแปลผลการทดสอบดังนี้

กรณีที่ค่า p-value มากกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญ ($p\text{-value} \geq 0.05$) จะยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของสมบัติต่าง ๆ ของน้ำยางชั้นเกรดการค้ามีค่าไม่แตกต่างจากน้ำยางชั้นที่บ่มเร่งความเสถียรด้วยเอนไซม์ไลเปสอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

กรณีที่ค่า p-value น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ ($p\text{-value} < 0.05$) จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) หรือยอมรับสมมติฐานรอง (H_1) นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของสมบัติต่าง ๆ ของน้ำยางชั้นเกรดการค้ามีค่าแตกต่างจากน้ำยางชั้นที่บ่มเร่งความเสถียรด้วยเอนไซม์ไลเปสอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลของเกรตเอนไซม์ไลเปสต่อค่า MST ของน้ำยางชั้น

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้เอนไซม์ไลเปสทางการค้าจาก 2 แหล่ง ในปริมาณ 0.004 % v/v เพื่อบ่มเร่งความเสถียรเชิงกลของน้ำยางชั้นชนิด LA latex และ HA latex โดยค่า MST ของน้ำยางชั้นทั้ง 2 ชนิดที่ระยะเวลาบ่ม 0 วัน (ค่าเริ่มต้น) คือ 110 และ 130 วินาที ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่า MST ที่ระยะเวลาบ่ม 40 วัน ระหว่างน้ำยางชั้น blank กับน้ำยางชั้นที่บ่มเร่งความเสถียรด้วยเอนไซม์ไลเปสทางการค้าจาก 2 แหล่ง ด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ Student t-test ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าค่า MST ของน้ำยางชั้นทั้งสองชนิดที่บ่มเร่งความเสถียรด้วยเอนไซม์ไลเปสทางการค้าแหล่งที่ 1 และน้ำยางชั้น blank มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) ขณะที่ค่า MST ของน้ำยางชั้นที่บ่มเร่งความเสถียรด้วยเอนไซม์ไลเปสทางการค้าแหล่งที่ 2 มีค่าสูงกว่าน้ำยางชั้น blank อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ($p\text{-value} < 0.05$) ซึ่งความแตกต่างของค่า MST ของน้ำยางชั้นที่บ่มเร่งความเสถียรเชิงกลด้วยเอนไซม์ไลเปสทางการค้าจาก 2 แหล่ง ที่แตกต่างกัน อาจเป็นเพราะค่ากิจกรรมของเอนไซม์ที่ต่างกัน โดยเอนไซม์ไลเปสทางการค้าแหล่งที่ 2 ที่มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ 100,000 LU/g ซึ่งสูงกว่าเอนไซม์ไลเปสทางการค้าแหล่งที่ 1 ที่มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ 30,000 IU/mL จะมีประสิทธิภาพในการเร่งความเสถียรเชิงกลของน้ำยางชั้นได้ดีกว่า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เอนไซม์ไลเปสทางการค้าแหล่งที่ 2 ในการศึกษาการบ่มเร่งความเสถียรเชิงกลของน้ำยางชั้นต่อไป

Table 2 T-test analysis of the MST of untreated CNRL and CNRL treated with 2 grades of lipase measured at 40 days storage

Grades of lipase	MST (sec.)			
	LA latex		HA latex	
	Mean ± S.D.	p-values (t-test)	Mean ± S.D.	p-values (t-test)
Blank	259±2.8		397±4.24	
Commercial lipase 1	267±12.7	0.60	396±2.83	0.50
Commercial lipase 2	1126±51.6	0.03*	1294±43.84	0.02*

*p-value < 0.05: The difference is statistically significant.

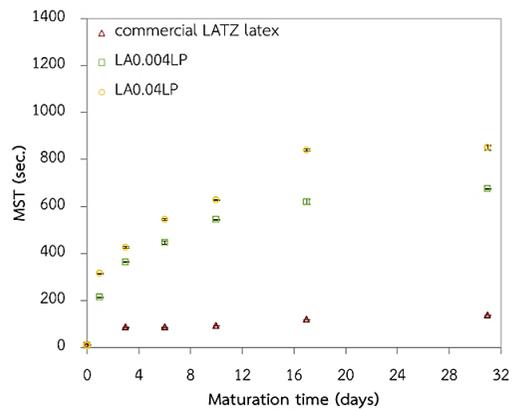
3.2 ผลของความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเปสต่อค่า MST ของน้ำยางชั้นที่ระยะเวลาการบ่มต่าง ๆ

การศึกษาการใช้เอนไซม์ไลเปสปริมาณ 0.004 และ 0.04 % v/v ในการบ่มเร่งความเสถียรของน้ำยางชั้นชุดที่ 1 ที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 3, 6, 10, 17

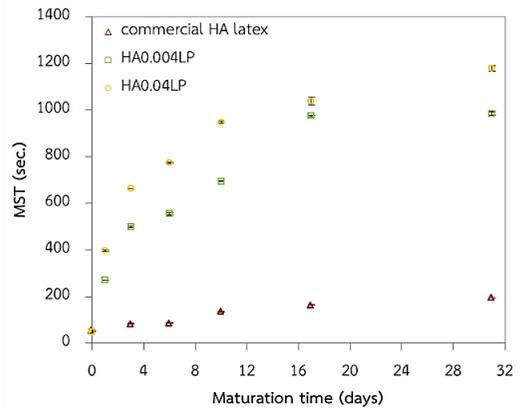
และ 31 วัน เปรียบเทียบกับการใช้แอมโมเนียมลอเรต 0.04 wt% ในน้ำยางชั้นเกรดการค้า (commercial LAZ latex และ commercial HA latex) พบว่าค่า MST ของน้ำยางชั้น LA latex ที่บ่มเร่งความเสถียรด้วยเอนไซม์ไลเปสในปริมาณ 0.004 % v/v

(ตัวอย่าง LA0.004LP) และ 0.04 % v/v (ตัวอย่าง LA0.04LP) มีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานต่ำสุดที่ยอมรับได้ (600 วินาที) ในระยะเวลา 17 และ 10 วัน ตามลำดับ ขณะที่ค่า MST ของน้ำยางชั้น commercial LATZ latex ยังมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานมาก ดังแสดงในรูปที่ 1a ส่วนการบ่มเร่งความความเสถียรด้วยเอนไซม์ไลเปสในน้ำยางชั้น HA latex พบว่าค่า MST ของน้ำยางชั้นที่บ่มเร่งความความเสถียรด้วยเอนไซม์ไลเปสในปริมาณ 0.004 % v/v (ตัวอย่าง HA0.004LP) และ 0.04 % v/v (ตัวอย่าง HA0.04LP) มีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานในระยะเวลา 10 และ 3 วัน ตามลำดับ ขณะที่ค่า MST ของน้ำยางชั้น commercial HA latex มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและยังมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานมาก ดังแสดงในรูปที่ 1b ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการใช้เอนไซม์ไลเปสสามารถช่วยเร่งค่า MST ให้กับน้ำยางชั้น เนื่องจากเอนไซม์ไลเปสจะช่วยเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิฟลิปิดที่อยู่บนผิวอนุภาคยางเกิดเป็นกรดไขมันสายโซ่ยาว ซึ่งจะรวมตัวกับแอมโมเนียในน้ำยางกลายเป็นสบู่กรดไขมันและถูกดูดซับที่ผิวอนุภาคยาง ทำให้อนุภาคยางมีความเสถียรเพิ่มมากขึ้น โดยการเติมเอนไซม์ไลเปสในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ค่า MST ของน้ำยางชั้นมีค่าเพิ่มเร็วขึ้น โดยค่า MST ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้ จะส่งผลดีในแง่ของการลดระยะเวลาการบ่มเร่งความเสถียรของน้ำยางชั้นก่อนนำออกจำหน่าย ทำให้สามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตน้ำยางชั้นออกสู่ตลาดได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่า MST ของน้ำยางชั้น HA latex จะมีค่าที่สูงกว่าค่า MST ของน้ำยางชั้น LA latex เนื่องจากการไฮโดรไลซิสของพอลิฟลิปิดจะเกิดขึ้นได้ดีในสภาวะที่มีแอมโมเนียสูง ทำให้น้ำยางชั้น HA latex มีสบู่กรดไขมันเกิดขึ้นมากกว่า จึงส่งผลให้น้ำยางชั้น HA latex มีค่า MST ที่สูงกว่าน้ำยางชั้น LA latex [2] อย่างไรก็ตาม การเติมเอนไซม์ไลเปสลงในน้ำยางชั้นชนิด LA latex ใน

ปริมาณที่เพิ่มขึ้น ยังส่งผลให้ค่า MST ของน้ำยางชั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการเติมเอนไซม์ไลเปสในปริมาณที่เหมาะสมลงในน้ำยางชั้นชนิด LA latex อาจทำให้ค่า MST ของน้ำยางชั้นเพิ่มขึ้นเร็วเทียบเท่ากับน้ำยางชั้นชนิด HA latex ซึ่งจะสามารถนำมาใช้พิจารณาการลดปริมาณการใช้แอมโมเนียในน้ำยางชั้น เพื่อลดปัญหาผลกระทบต่อการใช้แอมโมเนียในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นได้อีกด้วย



(a) LA latex



(b) HA latex

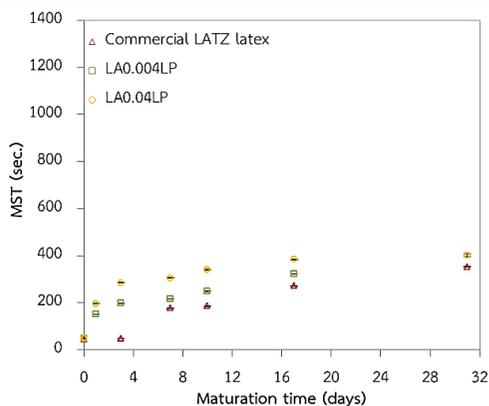
Figure 1 The MST of CNRL (Lot 1) during 31 days of storage period

สำหรับการศึกษาค้นคว้าในการทำซ้ำ ผู้วิจัยได้ศึกษาผลของการบ่มเร่งความเสถียรด้วย

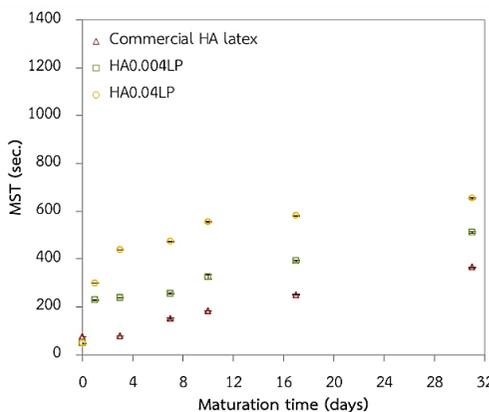
เอนไซม์ไลเปสในน้ำยางชั้นชุดที่ 2 จากโรงงานผลิตเดียวกัน แต่ได้รับน้ำยางชั้นที่ผลิตใหม่มาในช่วงเวลาต่างกัน 3 เดือน โดยศึกษาการบ่มเร่งความเสถียรที่ระยะเวลาบ่ม 1, 3, 7, 10, 17 และ 31 วัน ซึ่งพบว่าที่ระยะเวลาบ่ม 31 วัน น้ำยางชั้น LA latex ในชุดที่ 2 ทุกตัวอย่างมีค่า MST ที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน โดยจะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลาบ่มเดียวกัน การใช้เอนไซม์ไลเปสในปริมาณ 0.04 % v/v จะทำให้น้ำยางชั้นมีค่า MST ที่สูงกว่าน้ำยางชั้น commercial LATZ latex ขณะที่การใช้เอนไซม์ไลเปสในปริมาณ 0.004 % v/v น้ำยางชั้นจะมีค่า MST ที่ใกล้เคียงกับน้ำยางชั้น commercial LATZ latex ดังแสดงในรูปที่ 2a ส่วนกรณีของน้ำยางชั้น HA latex พบว่าค่า MST ของน้ำยางชั้นที่บ่มเร่งความเสถียรด้วยเอนไซม์ไลเปสในปริมาณ 0.004 และ 0.04 % v/v มีค่าสูงกว่าน้ำยางชั้น commercial HA latex ที่ระยะเวลาบ่มเดียวกัน โดยการใช้เอนไซม์ไลเปสในปริมาณ 0.04 % v/v จะทำให้น้ำยางชั้นมีค่า MST สูงเกินค่ามาตรฐานในระยะเวลา 31 วัน ขณะที่น้ำยางชั้นที่บ่มเร่งความเสถียรด้วยเอนไซม์ไลเปสในปริมาณ 0.004 % v/v และน้ำยางชั้น commercial HA latex ที่บ่มเร่งด้วยแอมโมเนียมลอรเรต 0.04 wt% ยังมีค่า MST ที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 2b

การศึกษาพบว่าค่า MST ของน้ำยางชั้นชุดที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นช้ากว่าชุดที่ 1 ทั้งในน้ำยางชั้น LA latex และน้ำยางชั้น HA latex ดังแสดงในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าในชุดตัวอย่างน้ำยางชั้นที่แตกต่างกัน การเพิ่มขึ้นของค่า MST ก็จะมีค่าแตกต่างกันด้วยเช่นกัน โดยอาจเกิดจากความแตกต่างขององค์ประกอบที่ผิวอนุภาคยางในแต่ละชุดตัวอย่างที่ส่งผลให้ค่า MST เพิ่มขึ้นต่างกัน [7] ความแตกต่างของผลการเร่งค่า MST ในน้ำยางชั้นชุดที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นน้ำยางชั้นชนิดเดียวกันจากบริษัทผู้ผลิตรายเดียวกัน แสดงถึงคุณภาพของน้ำยางธรรมชาติที่มีการเปลี่ยนแปลงตาม

ฤดูกาล โดยปัจจัยหลักต่อความแตกต่างในการเร่งความเสถียรจะได้ศึกษาในงานวิจัยถัดไป



(a) LA latex



(b) HA latex

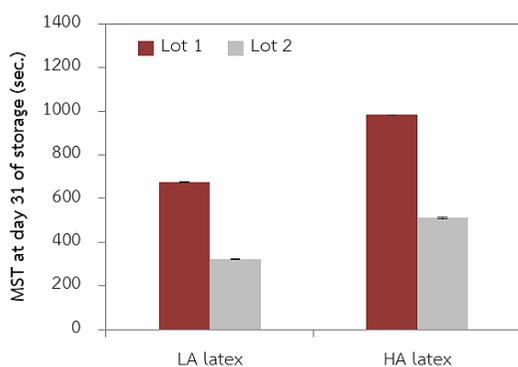
Figure 2 The MST of CNRL (Lot 2) during 31 days of storage period

3.3 ผลของการบ่มเร่งด้วยเอนไซม์ไลเปสต่อสมบัติพื้นฐานของน้ำยางชั้น

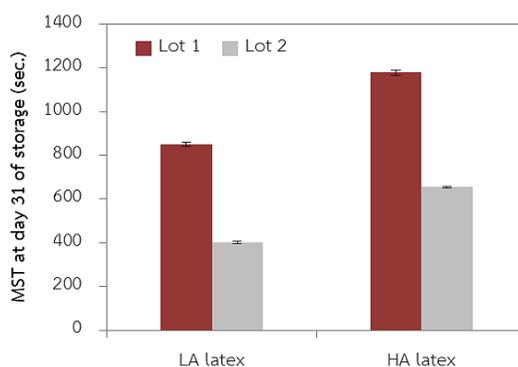
ผลการศึกษาสมบัติพื้นฐานของน้ำยางชั้น ได้แก่ ค่า %TSC, %DRC และ %NH₃ ที่ระยะเวลาบ่ม 1 และ 31 วัน ของน้ำยางชั้น blank น้ำยางชั้นเกรดการค้า และน้ำยางชั้นที่บ่มเร่งความเสถียรด้วยเอนไซม์ไลเปสของน้ำยางชั้นชุดที่ 1 และชุดที่ 2 แสดงดังตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ โดยการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ

Student t-test เพื่อเปรียบเทียบสมบัติพื้นฐานของน้ำยางชั้นเมื่อระยะเวลาบ่มเปลี่ยนไปพบว่า สมบัติพื้นฐานของน้ำยางชั้นทั้ง 2 ชุด ที่บ่มเป็นระยะเวลา 1 วัน และ 31 วัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาบ่มมีผลน้อยมากต่อสมบัติพื้นฐานของน้ำยางชั้น โดยค่า %TSC และ %DRC ของน้ำยางชั้นมีแนวโน้มไม่

เปลี่ยนแปลง เนื่องจากสารที่เป็นของแข็งทั้งหมดในน้ำยางและเนื้อยางไม่เกิดการย่อยสลายตามระยะเวลาบ่ม ในขณะที่เมื่อระยะเวลาบ่มนานขึ้น ค่า %NH₃ ของน้ำยางมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำยางเกิดการระเหยได้ง่าย จึงส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางมีค่าลดลงตามระยะเวลาบ่มด้วยเช่นกัน



(a) latex treated with 0.004 % v/v of lipase



(b) latex treated with 0.04 % v/v of lipase

Figure 3 The MST of 2 Lots of latex treated with lipase at day 31 of storage

Table 3 The percentages of TSC, DRC and NH₃ of CNRL (lot 1) measured at day 1 and day 31 of the storage

Samples	Properties								
	%TSC			%DRC			%NH ₃		
	1 day	31 days	p-values (t-test)	1 day	31 days	p-values (t-test)	1 day	31 days	p-values (t-test)
Blank LA	62.4±0.0	62.6±0.1	0.42	61.2±0.2	61.5±0.0	0.23	0.3±0.0	0.2±0.0	0.09
Commercial LATZ latex	62.3±1.2	61.8±0.3	0.70	61.2±0.1	61.8±0.5	0.27	0.3±0.0	0.2±0.0	0.16
LA0.004LP	62.4±0.0	61.9±0.1	0.10	61.2±0.2	61.4±0.1	0.10	0.3±0.0	0.2±0.0	0.07
LA0.04LP	62.4±0.0	62.5±0.0	0.28	61.2±0.2	61.6±0.1	0.11	0.3±0.0	0.2±0.0	0.16
Blank HA	61.6±0.6	61.2±0.2	0.30	60.4±0.1	60.0±0.1	0.20	0.6±0.0	0.5±0.0	0.08
Commercial HA latex	61.6±0.3	61.9±0.9	0.80	60.4±0.1	60.2±0.4	0.48	0.7±0.0	0.6±0.0	0.09
HA0.004LP	61.6±0.6	61.9±0.1	0.52	60.4±0.1	61.3±1.7	0.57	0.6±0.0	0.5±0.0	0.11
HA0.04LP	61.6±0.6	61.6±0.2	0.39	60.4±0.1	59.2±1.4	0.46	0.6±0.0	0.5±0.0	0.09

*p-value < 0.05: The difference is statistically significant.

Table 4 The percentages of TSC, DRC and NH₃ of CNRL (Lot 2) measured at day 1 and day 31 of the storage

Samples	Properties								
	%TSC			%DRC			%NH ₃		
	1 day	31 days	p-values (t-test)	1 day	31 days	p-values (t-test)	1 day	31 days	p-values (t-test)
Blank LA	63.9±0.2	64.2±0.2	0.53	62.8±0.1	62.7±0.1	0.20	0.2±0.0	0.2±0.0	0.20
Commercial LATZ latex	63.1±0.5	63.7±0.3	0.43	62.0±0.1	62.3±0.0	0.09	0.2±0.0	0.2±0.0	0.50
LA0.004LP	64.1±0.2	64.4±0.1	0.17	62.3±0.3	62.8±0.1	0.21	0.2±0.0	0.2±0.0	0.20
LA0.04LP	64.7±1.5	64.0±0.7	0.39	62.5±0.1	63.0±0.0	0.08	0.2±0.0	0.2±0.0	0.50
Blank HA	62.6±1.8	63.7±0.4	0.61	62.1±0.1	62.2±0.3	0.50	0.7±0.0	0.7±0.0	0.70
Commercial HA latex	63.1±0.7	64.0±0.2	0.23	61.9±0.1	62.0±0.3	0.55	0.7±0.0	0.6±0.0	0.39
HA0.004LP	63.3±0.6	63.6±0.3	0.66	62.1±0.3	62.5±0.2	0.07	0.6±0.0	0.6±0.0	1.0
HA0.04LP	62.5±1.3	63.5±0.2	0.54	61.9±0.1	62.4±0.0	0.07	0.6±0.0	0.6±0.0	0.50

*p-value < 0.05: The difference is statistically significant.

Table 5 T-test analysis of %TSC, %DRC and %NH₃ of CNRL (lot 1) measured at day 31 of the storage

Samples	Properties					
	%TSC		%DRC		%NH ₃	
	Mean ± S.D.	P-values (t-test)	Mean ± S.D.	P-values (t-test)	Mean ± S.D.	P-values (t-test)
Commercial LATZ latex	61.8±0.3		61.8±0.5		0.2±0.0	
LA0.004LP	61.2±0.1	0.64	61.4±0.1	0.48	0.2±0.0	0.19
LA0.04LP	62.5±0.0	0.18	61.6±0.1	0.62	0.2±0.0	0.16
Commercial HA latex	61.9±0.9		60.2±0.4		0.6±0.0	
HA0.004LP	61.9±0.2	0.95	61.3±1.7	0.46	0.5±0.0	0.17
HA0.04LP	61.6±0.1	0.73	59.2±1.4	0.56	0.5±0.0	0.10

*p-value < 0.05: The difference is statistically significant.

การวิเคราะห์ทางสถิติแบบ Student t-test เพื่อศึกษาผลของการบ่มเร่งความเสถียรด้วย เอนไซม์ไลเปสต่อสมบัติพื้นฐานของน้ำยางชั้นที่ระยะ เวลาบ่ม 31 วัน ของน้ำยางชั้นชนิด LA latex และ HA latex เทียบกับน้ำยางชั้นเกรดการค้าของน้ำยางชั้นชุด ที่ 1 และชุดที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 5 และ 6 พบว่า สมบัติพื้นฐานของน้ำยางชั้นชนิด LA latex และ HA

latex ทั้ง 2 ชุดตัวอย่าง ที่บ่มเร่งความเสถียรด้วย เอนไซม์ไลเปสในปริมาณ 0.004 และ 0.04 % v/v มี ค่าไม่แตกต่างจากน้ำยางชั้นเกรดการค้าอย่างมี นัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 แสดงให้เห็น ว่าการบ่มเร่งความเสถียรของน้ำยางชั้นด้วยเอนไซม์ ไลเปสในปริมาณที่ต่างกันไม่ส่งผลต่อสมบัติพื้นฐานของ น้ำยางชั้น เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำยางชั้นเกรดการค้า

Table 6 T-test analysis of %TSC, %DRC and %NH₃ of CNRL (lot 2) measured at day 31 of the storage

Samples	Properties					
	%TSC		%DRC		%NH ₃	
	Mean ± S.D.	P-values (t-test)	Mean ± S.D.	P-values (t-test)	Mean ± S.D.	P-values (t-test)
Commercial LATZ latex	63.7±0.3		62.3±0.0		0.2±0.01	
LA0.004LP	64.4±0.1	0.11	62.8±0.1	0.07	0.2±0.01	0.09
LA0.04LP	64.0±0.7	0.53	63.0±0.0	0.01*	0.2±0.01	0.06
Commercial HA latex	64.0±0.2		62.0±0.3		0.6±0.01	
HA0.004LP	63.6±0.2	0.43	62.5±0.2	0.06	0.6±0.01	0.14
HA0.04LP	63.5±0.2	0.28	62.4±0.2	0.27	0.6±0.00	0.53

*p-value < 0.05: The difference is statistically significant.

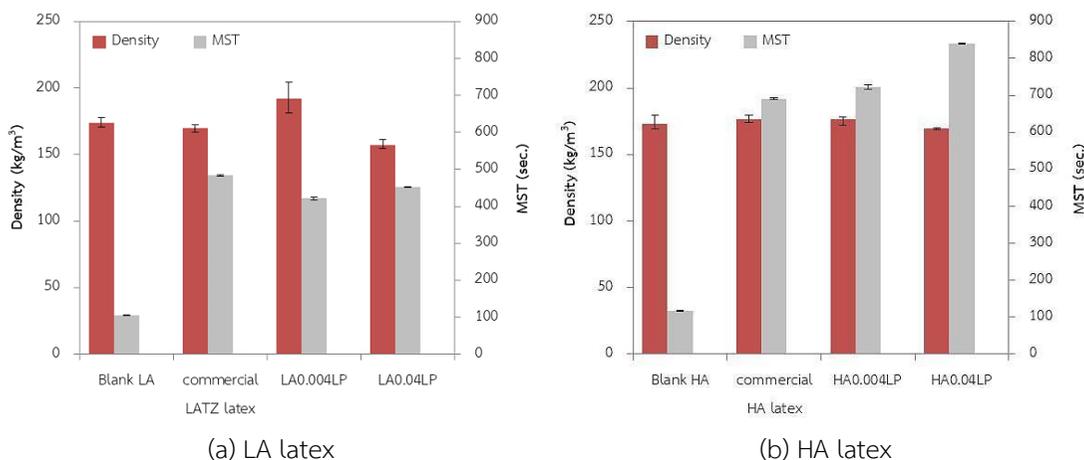


Figure 4 The MST and density of latex foam made from commercial latex compared with those made from lipase-treated latex

3.4 ผลของน้ำยางชั้นที่บ่มเร่งความเสถียรด้วยเอนไซม์ไลเปสต่อการขึ้นรูปเป็นยางพองน้ำ

การศึกษาผลการนำน้ำยางชั้นมาขึ้นรูปเป็นยางพองน้ำจะใช้น้ำยางชั้นชุดที่ 2 ที่บ่มเป็นระยะเวลา 60 วัน มาขึ้นรูปเป็นยางพองน้ำ เพื่อศึกษาสมบัติของยางพองน้ำที่ได้จากน้ำยางชั้นที่บ่มเร่งความเสถียรด้วย

เอนไซม์ไลเปสกับน้ำยางชั้นเกรดการค้า โดยการศึกษาการใช้น้ำยางชั้นชนิด LA latex และ HA latex มาขึ้นรูปเป็นยางพองน้ำ พบว่ากรณีของน้ำยางชั้นชนิด LA latex ซึ่งมีค่า MST ที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ความหนาแน่นของยางพองน้ำมีความสัมพันธ์กับค่า MST ของน้ำยางชั้น ดังแสดงในรูปที่ 4a โดยจะเห็นได้ว่ายาง

ฟองน้ำที่ได้จากน้ำยางชั้นที่มีค่า MST สูงจะมีความหนาแน่นที่ลดลง ขณะที่การนำน้ำยางชั้นชนิด HA latex ที่มีค่า MST ที่สูงกว่าค่ามาตรฐานมาขึ้นรูปเป็นยางฟองน้ำ พบว่าความหนาแน่นของยางฟองน้ำที่ได้ไม่ขึ้นกับค่า MST ของน้ำยางชั้นมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 4b ซึ่งจะเห็นว่ายางฟองน้ำที่ขึ้นรูปจากน้ำยางชั้นที่มีค่า MST ที่แตกต่างกันจะมีความหนาแน่นที่ต่างกันเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม การศึกษาเห็นได้ว่าทั้งกรณีน้ำยางชั้นชนิด LA latex และ HA latex ค่า MST มีผลต่อสมบัติของยางฟองน้ำน้อยมาก ดังนั้นการปรับปรุงค่า MST อาจเป็นประโยชน์ในด้านอื่นของกระบวนการผลิตน้ำยางหรือการแปรรูปที่ไม่ใช่สมบัติทั่วไปหรือการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำ

4. สรุปผลการวิจัย

การเติมเอนไซม์ไลเปสลงในน้ำยางชั้นสามารถเร่งค่า MST ให้กับน้ำยางชั้นได้ทั้งน้ำยางชั้นชนิด LA latex และชนิด HA latex โดยที่ไม่ส่งผลต่อสมบัติอื่น ๆ ของน้ำยางชั้น เนื่องจากเอนไซม์ไลเปสจะไปช่วยเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของฟอสโฟลิปิดที่อยู่บนผิวอนุภาคยางเกิดเป็นกรดไขมันสายโซ่ยาว ซึ่งจะรวมตัวกับแอมโมเนียในน้ำยางกลายเป็นสบู่กรดไขมันและถูกดูดซับที่ผิวอนุภาคยาง ทำให้อนุภาคยางมีความเสถียรเพิ่มมากขึ้น การเติมเอนไซม์ไลเปสลงในน้ำยางชั้น HA latex ในปริมาณเพียง 0.004 % v/v จะช่วยเพิ่มค่า MST ให้กับน้ำยางชั้นได้เร็วกว่าการเติมแอมโมเนียมลอเรตในน้ำยางชั้นเกรดการค้าทั่วไป ขณะที่การเติมเอนไซม์ไลเปสลงในน้ำยางชั้น LA latex ต้องเติมเอนไซม์ไลเปสในปริมาณที่มากกว่า 0.04 % v/v จึงจะทำให้ค่า MST ของน้ำยางชั้นมีค่ามากกว่าน้ำยางชั้นเกรดการค้า เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของฟอสโฟลิปิดจะเกิดขึ้นได้ดีในสภาวะที่มีแอมโมเนียสูง ทำให้น้ำยางชั้น HA latex มีค่า MST เพิ่มขึ้นเร็วกว่าน้ำยางชั้น

LA latex นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำยางธรรมชาติที่ได้ในแต่ละช่วงเวลามีสมบัติต่างกัน ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการเร่งความเสถียรต่างกันด้วย การนำน้ำยางชั้นมาขึ้นรูปเป็นยางฟองน้ำพบว่าความหนาแน่นของยางฟองน้ำที่ได้จากน้ำยางชั้นที่บ่มเร่งด้วยเอนไซม์ไลเปสมีค่าใกล้เคียงกับยางฟองน้ำที่ได้จากน้ำยางชั้นเกรดการค้า แสดงให้เห็นว่าการบ่มเร่งความเสถียรของน้ำยางชั้นด้วยเอนไซม์ไลเปสไม่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำยางในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย ประเภททุนวิจัยทั่วไปสำหรับผู้ปฏิบัติงานในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ตามสัญญาเลขที่ TUGR 2/28/2562 และได้รับการสนับสนุนเอนไซม์ไลเปสจากบริษัท โนวัวไซม์ จำกัด

6. References

- [1] Chen, S.F. and Ng, C.S., 1984, The natural higher fatty acid soaps in natural rubber latex and their effect on the mechanical stability of the latex, *Rubber Chem. Technol.* 57: 243-253.
- [2] Nithiuthai, B., Nithiuthai, P., Pongphai, P., Sumpaongern, S., Noreewong, N. and Wuttichan, C., 1995, Acceleration of Natural Rubber, Research Report, Prince of Songkla University, Pattani. (in Thai)
- [3] Pendle, T.D. and Gorton, A.D.T., 1978, The mechanical stability of natural rubber latexes, *Rubber Chem. Technol.* 51: 986-1005.
- [4] Sansatsadeekul, J., Sakdapipanich, J. and Rojruthai, P., 2011, Characterization of

- associated proteins and phospholipids in natural rubber latex, *J. Biosci. Bioeng.* 111: 628-634.
- [5] Hill, D.M., 2018, *The Science and Technology of Latex Dipping*, Smithers Information, Ltd., United Kingdom, 14 p.
- [6] Pimalai, D., Wongngam, Y. and Pattama prom, C., 2018, Alternative methods for accelerating mechanical stability of concentrated natural rubber latex, *Defect Diffus. Forum* 382: 26-30.
- [7] Hasma, H., 1991, Lipids associated with rubber particles and their possible role in mechanical stability of latex concentrates, *J. Nat. Rubber Res.* 6: 105-114.