



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการการตรวจสอบการจับก๊อนในน้ำยางชั้น

โดย รองศาสตราจารย์ ดร. นพิตา หิณูชีระนันท์ และคณะ

สัญญาเลขที่ RDG5950012
รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการการตรวจสอบการจับก้อนในน้ำอย่างขึ้น

คณะผู้วิจัย

1. รศ.ดร. นพิตา ทิพย์ธีระนันท์ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. รศ.ดร. รัตน์วรรณ มกรพันธุ์ วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. รศ.ดร. ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (ว.ช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช.-สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร
(Executive Summary)

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) การตรวจสอบการจับก้อนในน้ำยางข้น
(ภาษาอังกฤษ) Investigation of Coagulation in Concentrated Natural Rubber Latex

ชื่อผู้วิจัย รองศาสตราจารย์ ดร. นพิตา หิฎฐิธีระนันท์

หน่วยงานที่สังกัด ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์ 02-218-7523 โทรสาร 02-255-5831 อีเมลล์ napida.h@chula.ac.th

ได้รับอนุมัติงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

งบประมาณที่ได้รับ 1,886,610 บาท ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี

เริ่มทำการวิจัยเมื่อ (วัน/เดือน/ปี) 15 ก.พ. 2559 ถึง (วัน/เดือน/ปี) 14 พ.ค. 2560

ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

น้ำยางข้นเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นกลางเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางประเภทฟิล์มที่สำคัญ ได้แก่ ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย และผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทางการแพทย์และทันตกรรมต่างๆ เช่น แผ่นยางปิดปาก ถุงนิ้ว เส้นด้ายยึด ท่อสวนปัสสาวะ เป็นต้น น้ำยางข้นผลิตจากกระบวนการปั่นเหวี่ยงน้ำยางจากธรรมชาติที่มีความเข้มข้นราว 30% โดยน้ำหนัก เพื่อแยกยางคริมออกจากหางน้ำยาง ทำให้ความเข้มข้นสูงขึ้นเท่าตัวประมาณ 60% โดยน้ำหนัก ในกระบวนการปั่นเหวี่ยงนี้ทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียเสถียรภาพไปบางส่วน (เพื่อแยกชั้นคริม) ซึ่งอาจเป็นการสูญเสียโปรตีนหรือเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid ester) ซึ่งทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ธรรมชาติ (natural emulsifier) สำหรับอนุภาคยางพาราให้แขวนลอยในน้ำได้ดีเป็นเนื้อเดียว อนุภาคยางธรรมชาติในน้ำยางข้นมีขนาดอยู่ในช่วงระหว่าง 0.1 ไมครอน ถึง 2-3 ไมครอนขึ้นกับอายุของต้นยางพารา และเป็นอนุภาคที่มีประจุตามชนิดสารอิมัลซิไฟเออร์ธรรมชาติ การถนอมน้ำยางข้นเพื่อรอการใช้งานจะต้องรักษาเสถียรภาพด้วยการเติมแอมโมเนียไม่ให้เกิดการบูดเน่าหรือแยกชั้นอันเนื่องมาจากการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ ซึ่งจะก่อให้เกิดภาวะกรดที่ไม่เป็นผลดีต่อเสถียรภาพของน้ำยางข้น

แม้ว่าผู้ผลิตน้ำยางข้นจะมีความพยายามในการรักษาเสถียรภาพของน้ำยางด้วยแอมโมเนียซึ่งเป็นสารเคมีที่หาได้ง่าย แต่สารเคมีประเภทสารลดแรงตึงผิวหรือสบู่ซึ่งทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ก็นำมาใช้เพื่อไม่ให้อนุภาคยางในน้ำยางข้นจับก้อน โดยสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ ได้แก่ แอมโมเนียมลอเรตหรือโซเดียมลอเรต ซึ่งทำให้ค่าเสถียรภาพเชิงกล (mechanical stability, MST) ของน้ำยางข้นมีค่ามากกว่า 600 วินาที ในการขนส่งน้ำยางข้น

ไปยังลูกค้า ได้แก่ โรงงานผลิตถุงมือยาง หรือโรงงานเส้นด้ายยางยืด น้ำยางชั้นที่ผ่านคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมจะถูกรับบรรจุอยู่ในถังเหล็กเคลือบและขนส่งทางรถยนต์หรือทางเรือ แต่เมื่อไปถึงปลายทางแล้วเทน้ำยางชั้นออกมาพบว่าในบางครั้งโดยเฉพาะช่วงกลางฤดูถึงช่วงปิดกรีตในหน้าแล้ง มักพบปัญหาน้ำยางจับก้อน ทั้งที่กระบวนการขนส่งใช้เวลาอย่างมาก คือ 1 คืนโดยปกติ ถึง 2 เดือนหากส่งเรือไปประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นต้น จากการสังเกตของผู้ประกอบการจะพบเหตุเมื่อน้ำยางมีการสัมผัสกับวัสดุเหล็ก เช่น ตะแกรงกรองน้ำยาง หรือถังบรรจุ เนื่องจากน้ำยางชั้นมีสีขาวขุ่น การจับก้อนถ้าไม่เกิดที่ผิวก็ยากต่อการตรวจพบ นอกจากจะพบก้อนอย่างที่ตะแกรงร่อนแล้ว ยังมักเจอก้อนอย่างที่กั้นถังอีกด้วย

ความเสียหายจากการจับก้อนยางมีผลกระทบหลายมิติทำให้แก้ไขยาก ได้แก่ ทางผลิตภัณฑ์ เมื่อน้ำยางมีการจับก้อนยางแล้ว น้ำยางก็ตกสเปคทันที เพราะก้อนยางมีเสถียรภาพสูงไม่สามารถทำให้คืนตัวเป็นกลับมาเป็นน้ำยางได้ ลูกค้าไม่มั่นใจในการนำไปใช้ขึ้นรูปเป็นฟิล์ม หรือการทำเป็นเส้น เพราะอาจทำให้ไม่ก่อฟิล์มยางบนแบบฟิล์มเป็นรู เป็นก้อน หรือหากเป็นด้ายยาง เส้นก็จะขาดง่ายไม่ต่อเนื่อง เสียหายทั้งล็อตผลิต จึงไม่มีการประนีประนอมในการรับซื้อ ในทางกฎหมาย ถ้าน้ำยางชั้นที่ขนส่งออกนอกประเทศไปแล้วเกิดปัญหาการจับก้อน จะไม่สามารถนำน้ำยางชั้นนั้นกลับเข้าในประเทศได้อีก ดังนั้นเมื่อน้ำยางชั้นตกสเปคไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน ๓ การจ่ายหน้าโรงงานของลูกค้า ผู้ขายหรือผู้ส่งออกจำเป็นต้องกรองน้ำยางชั้นลือตนั้นแล้วขายไปในราคาถูกให้กับโรงงานอื่นๆ ในละแวกนั้นรับซื้อไปแทน ทำให้เกิดความเสียหายต่อผู้ผลิตน้ำยางชั้นเป็นอย่างมาก เหตุการณ์ลักษณะนี้มักเกิดในช่วงปิดกรีตราวเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคม ซึ่งเป็นฤดูร้อน น้ำระเหยมาก แต่เป็นช่วงที่ต้องเก็บน้ำยางสต็อกไว้ให้ลูกค้า ถ้าน้ำยางเกิดการตกสเปคไป จะคิดเป็นมูลค่าราว 10% ของยอดขาย ซึ่งรวมทั้งค่าใช้จ่ายในการขนส่งและชื่อเสียง ในแง่ของการผลิต แม้ว่าการสูญเสียในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นเป็นครั้งคราว แต่ก็สามารถเกิดขึ้นได้เรื่อยไป ไม่มีความแน่นอน และเกิดขึ้นกับผู้ผลิตน้ำยางชั้นแทบทุกราย จึงเป็นปัญหารบกวนในระดับอุตสาหกรรมทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้น้ำยางชั้น

ด้วยเหตุที่ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางรายใหญ่ที่สุดในโลก และผู้ประกอบการก็มีศักยภาพในการพัฒนาอุตสาหกรรมนี้ให้ก้าวหน้าทันสมัยตามเทคโนโลยีในปัจจุบัน การตรวจสอบปัญหาการเกิดการจับก้อนน้ำยางจึงเป็นองค์ความรู้ที่ควรมีข้อมูลพื้นฐานและเป็นแนวทางในการแนะนำ แก้ไข ตรวจสอบ ติดตาม และป้องกันเพื่อบรรเทาปัญหานี้ต่อไปในอนาคต ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะ 1) ติดตามการเสถียรภาพของน้ำยางชั้นในโรงงานผลิตน้ำยางชั้น ทั้งในส่วนของกระบวนการผลิต การขนส่ง และการจัดเก็บ โดยจะทำในลักษณะของแบบสอบถาม-แบบสำรวจเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดการจับก้อนในหน้างานจริง ตลอดจนความถี่ในการจับก้อนยาง 2) ศึกษาสถานการณ์จำลองในการจับก้อนของเนื้อยางอันเนื่องมาจากประจุของเหล็กที่อาจเกิดจากการหลุดลอกของสารเคลือบผนังด้านในของถังเก็บแล้วไปสัมผัสกับน้ำยางชั้นขณะขนส่ง หรือประจูนอื่นๆ เช่น แคลเซียมไอออน หรือแมกนีเซียมไอออน ที่อาจติดมากับน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำยางชั้น และ 3) ศึกษาการเพิ่มเสถียรภาพ

ให้กับน้ำยางข้นด้วยสารลดแรงตึงผิว โดยจะศึกษาผลกระทบในด้านเสถียรภาพของอนุภาคยางผ่านการวัดค่าเสถียรภาพเชิงกล (mechanical stability, MST) การเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้า (electrophoretic mobility) ซึ่งใช้ในการวัดศักย์ซีต้า (zeta potential) ขนาดอนุภาคน้ำยาง และเสถียรภาพเชิงอิเล็กโทรไลต์ (electrolytic stability) โดยใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ นอกจากนี้ยังศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่เตรียมได้จากน้ำยางข้นอีกด้วย

วัตถุประสงค์

- ศึกษาสาเหตุการจับก้อนในน้ำยางข้นในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น
- ศึกษาสถานการณ์จำลองในการจับก้อนของเนื้อยางอันเนื่องมาจากประจุของเหล็ก และประจุอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในการผลิตน้ำยางข้น เช่น แคลเซียมไอออน และแมกนีเซียมไอออน
- ศึกษาผลของการใช้สารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคยางในน้ำยางข้น และสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่เตรียมได้

ผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่อาจก่อให้เกิดการจับก้อนยางในโรงงานผ่านการสำรวจโรงงานน้ำยางข้น จำนวน 6 โรงงานในเขต จ.ตรัง และ จ.สงขลา แล้วนำมาเปรียบเทียบผลกัน นอกจากนี้ยังตั้งสมมติฐานการจับก้อนยางจากสาเหตุ 2 ประการ คือ การที่น้ำยางข้นสัมผัสกับประจุบวก เช่น สนิมของเหล็กที่อาจเกิดจากภาชนะบรรจุ และแคลเซียมหรือแมกนีเซียมที่อาจปนเปื้อนมากับน้ำที่ใช้ในการผลิต ตลอดจนแร่ธาตุที่อยู่ภายในเนื้อยาง รวมถึงปริมาณการใช้สารลดแรงตึงผิวที่อาจยังไม่เหมาะสมจนทำให้เกิดการจับก้อนยางในน้ำยางข้นได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงแบ่งแนวทางการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1) การติดตามการเสถียรภาพของน้ำยางข้นในโรงงานผลิตน้ำยางข้น ทั้งในกระบวนการผลิต การขนส่ง และการจัดเก็บ โดยจะทำในลักษณะของแบบสอบถาม-แบบสำรวจเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดการจับก้อนในโรงงานจริง และความถี่ที่เกิดขึ้น จากผลการสำรวจสามารถสรุปสาเหตุของการจับก้อนยางในน้ำยางข้นตามประเด็นดังต่อไปนี้

- ลักษณะที่ตั้งของโรงงานผลิตน้ำยางข้น การเลือกใช้ปั๊ม และการออกแบบถังเก็บน้ำยางข้น
ลักษณะทางพื้นที่ของโรงงานผลิตน้ำยาง ควรให้บริเวณรับน้ำยางสดอยู่ที่สูงกว่าบ่อเก็บน้ำยางสด และบ่อเก็บน้ำยางสดควรอยู่สูงกว่าเครื่องปั่นเหวี่ยง เนื่องจากในกระบวนการผลิตนั้น น้ำยางสดจะไหลเข้าเครื่องปั่นแยกด้วยแรงโน้มถ่วงทำให้ไม่ต้องใช้ปั๊มเพื่อสูบน้ำยางสดเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง แต่จากลักษณะพื้นที่

ของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นส่วนใหญ่พบว่าต้องใช้ปั๊มเพื่อขนถ่ายน้ำยางสดเข้าสู่แท็งก์เก็บน้ำยางสด และขนถ่ายน้ำยางชั้นเข้าสู่แท็งก์เก็บน้ำยางชั้น หรือแท็งก์ของรถบรรทุก การเลือกชนิดปั๊มที่เหมาะสมกับน้ำยางชั้นจะสามารถลดปัญหาการเกิดก้อนยางได้ โดยปั๊มที่เหมาะสมกับสารที่มีลักษณะลาเท็กซ์หรือคอลลอยด์ คือ ปั๊มไดอะแฟรม ส่วนปั๊มหอยโข่ง หรือปั๊มสกรูสามารถใช้ได้ แต่ไม่ควรมีกำลังสูงมากนักเพื่อป้องกันแรงเฉือนที่เกิดระหว่างอุปกรณ์ของปั๊มและอนุภาคยางในน้ำยางชั้น นอกจากนี้การออกแบบถังเก็บน้ำยางชั้นควรใช้ถังสูงเพื่อบรรจุน้ำยางชั้นให้มีปริมาณมาก ซึ่งจะสามารถปล่อยน้ำยางชั้นลงสู่แท็งก์ของรถบรรทุกที่อยู่ต่ำกว่าได้โดยใช้พลังงานศักย์ซึ่งขึ้นอยู่กับความสูงของน้ำยางชั้น

- การเรียงลำดับการติดตั้งปั๊มและตะแกรงกรอง

สำหรับขั้นตอนการขนถ่ายน้ำยางชั้นจากแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นสู่แท็งก์ของรถบรรทุก พบว่าส่วนใหญ่มีการใช้ปั๊มสำหรับขนถ่ายน้ำยางชั้น และใช้ตะแกรงกรองเพื่อป้องกันไม่ให้อ่อนยางไหลเข้าสู่แท็งก์ของรถบรรทุก อย่างไรก็ตามพบว่าลำดับการติดตั้งปั๊มและตะแกรงกรองของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นที่ไม่พบปัญหาเรื่องการจับก้อนของน้ำยางชั้น คือ การให้น้ำยางชั้นไหลผ่านตะแกรงกรองก่อนจากนั้นจึงผ่านปั๊มเพื่อเข้าสู่แท็งก์ของรถบรรทุก สำหรับการเลือกขนาดตะแกรงควรเลือกความละเอียดที่มีความเหมาะสมไม่ควรมีความละเอียดที่มากเกินไปเนื่องจากจะเป็นการเพิ่มแรงเฉือนระหว่างอนุภาคยางและช่องทางออกของตะแกรงได้

- การปนเปื้อนของน้ำยางชั้น

เนื่องจากน้ำยางชั้นจะถูกเก็บในแท็งก์น้ำยางชั้นเป็นเวลา 21 วันเพื่อรอจำหน่าย ดังนั้นถ้าแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นมีความสกปรก เช่น มีเศษยางเหลืออยู่ก่อนบรรจุน้ำยางชั้น หรือผนังแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นมีสนิมเกิดขึ้น ตลอดจนแท็งก์ของรถบรรทุกไม่สะอาด มีก้อนยางติดอยู่ อาจส่งผลให้เกิดการจับก้อนของน้ำยางได้ โดยพบว่าโรงงานที่ทำความสะอาดแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นหรือแท็งก์รถบรรทุกอยู่เสมอจะไม่พบปัญหาการจับก้อนของเนื้อยาง หรือบางโรงงานเลือกใช้วิธีถ่ายน้ำยางออกจากแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นเพียง 80% ของแท็งก์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดยางที่แข็งขึ้นด้านบนของผิวหน้าของน้ำยางชั้นหลุดออกไปสู่แท็งก์ของรถบรรทุก ดังนั้นทุกโรงงานควรออกมาตราการหรือกำหนดช่วงเวลาในการบำรุงรักษาแท็งก์เก็บน้ำยางชั้น หรือแท็งก์รถบรรทุกให้สะอาดและไม่มีสนิมทุกปี และก่อนที่จะบรรจุน้ำยางชั้นชุดใหม่ลงไปแท็งก์เก็บน้ำยางชั้น ควรเอาน้ำยางชั้นเก่าออกให้หมดก่อน รอให้แห้ง แล้วจึงลอกฟิล์มยางที่เกาะตามขอบผนังแท็งก์ให้ได้มากที่สุด ในกรณีที่สเคลือบหรืออีพ็อกซีที่เคลือบผิวแท็งก์หลุดร่อน ควรทำการซ่อมบำรุงทันที นอกจากนี้ท่อส่งที่ใช้ในการขนถ่ายน้ำยางชั้นจากแท็งก์เก็บไปยังแท็งก์ของรถบรรทุกก็ต้องสะอาด ไม่มีคราบยาง หรือน้ำด้วยเช่นกัน

- ผลของช่องว่างในภาชนะบรรจุขณะขนส่ง
การบรรจุน้ำยางชั้นให้เต็มภาชนะสามารถรักษาเสถียรภาพของน้ำยางชั้นได้ดีกว่าการบรรจุไม่เต็มภาชนะ ถ้าหากบรรจุน้ำยางชั้นเพียงครึ่งเดียวของแท็งก์รถบรรทุก หรือมีช่องว่างในการบรรจุมากเกินไป จะส่งผลทำให้น้ำยางเกิดการเคลื่อนที่ชนกับผนังของแท็งก์อย่างแรงระหว่างการขนส่งได้ ซึ่งอาจทำให้น้ำยางชั้นเสียเสถียรภาพได้
- อุณหภูมิ
อุณหภูมิของน้ำยางชั้นที่ได้ออกมาจากเครื่องปั่นเหวี่ยงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 33-38 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามเมื่อน้ำยางชั้นได้รับความร้อนจะส่งผลให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางได้ โดยพบว่ามี การจับก้อนของเนื้อยางเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป สามารถเหนี่ยวนำให้น้ำยางชั้นเกิดการจับก้อนได้
- ลูกค้ำ
กลุ่มลูกค้ำที่รับซื้อน้ำยางชั้นมีหลายประเทศและหลายอุตสาหกรรม ซึ่งมีข้อจำกัดในการรับซื้อน้ำยางชั้นที่แตกต่างกันออกไป บางโรงงานที่ผลิตน้ำยางชั้นที่ไม่พบการร้องเรียนเรื่องการจับก้อนของน้ำยาง อาจเนื่องมาจากการมีกลุ่มลูกค้ำจำนวนมาก สามารถเลือกจำหน่ายให้กับลูกค้ำที่ต้องการได้ แต่สำหรับบางโรงงานนั้นมีฐานลูกค้ำไม่มากนัก ทำให้ไม่สามารถเลือกลูกค้ำได้ ซึ่งลูกค้ำบางรายมีความละเอียดในการตรวจรับน้ำยางชั้นสูง ส่งผลให้การจำหน่ายน้ำยางชั้นมีข้อจำกัดมากขึ้น นอกจากนี้พบว่าปัญหาการจับก้อนของน้ำยางชั้นส่วนหนึ่งเป็นปัญหาด้านเทคนิคทางการตลาดของแต่ละบริษัท

2) ศึกษาสถานการณ์จำลองในการจับก้อนของเนื้อยางอันเนื่องมาจากประจุของเหล็กที่อาจเกิดจากการหลุดลอกของสารเคลือบผนังด้านในของถังเก็บ ทำให้เหล็กบางส่วนไปสัมผัสกับน้ำยางชั้นขณะขนส่ง รวมถึงผลจากประจุอื่นๆ เช่น แคลเซียมและแมกนีเซียมที่อาจปะปนมากับน้ำที่ใช้ในการผลิตและจากในตัวของน้ำยางชั้นเอง

จากการศึกษา electrophoretic mobility พบว่า เมื่อค่า pH ของน้ำยางเปลี่ยนไป จะส่งผลให้ประจุบนอนุภาคยางมีการเปลี่ยนแปลงด้วย โดยปกติอนุภาคยางจะแสดงความเป็นประจุลบ เมื่อ pH มีค่าสูงกว่า PZC หรือที่ pH 4.3 และแสดงความเป็นประจุบวก เมื่อ pH มีค่าต่ำกว่า PZC ดังนั้นถ้าน้ำยางมีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้นจนเข้าใกล้จุด PZC หรือจุดที่อนุภาคยางไม่แสดงความเป็นประจุ จะทำให้น้ำยางมีโอกาสจับก้อนได้

การศึกษาระยะเหวี่ยงแอมโมเนียที่เวลาต่างๆ พบว่า เมื่อตั้งน้ำยางชั้นทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ค่า pH ของน้ำยางจะมีค่าลดลง ในช่วงชั่วโมงแรก ค่า pH มีการเปลี่ยนแปลง 0.3 ค่า และจะเปลี่ยนแปลงน้อยลง จนค่า pH มี

ค่าคงที่ เมื่อตั้งน้ำยางข้นทิ้งไว้นานกว่า 6 ชั่วโมง ดังนั้นการระเหยของแอมโมเนียไม่ส่งผลให้ค่า pH ของน้ำยางมีค่าน้อยลงต่ำกว่า 8.6 ได้

การศึกษาการจับก้อนของเนื้อยางด้วยสารละลายเหล็กไอออน (Fe^{2+}) แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) และแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) พบว่าความเข้มข้นของ stock solution มีผลต่อการจับก้อนของเนื้อยาง โดยความเข้มข้นของ stock solution ที่นำมาใช้ในการทดสอบ คือ 1,000 ppm เพื่อให้เห็นการจับก้อนในน้ำยางข้นอย่างชัดเจน ปัจจัยที่มีผลต่อการจับก้อนของเนื้อยาง ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะ เวลาในการปั่น กวน และอุณหภูมิ จากผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นและเวลาเริ่มต้นที่พบการเริ่มการจับก้อนของเนื้อยางของสารละลายไอออนโลหะทั้งสามชนิด คือ 100 ppm และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยการเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) เป็น 40 และ 60 องศาเซลเซียส จะพบการจับก้อนของเนื้อยางที่เพิ่มมากขึ้น และมีขนาดใหญ่ขึ้น อีกทั้งจากผลการศึกษาพบว่า Ca^{2+} จะส่งผลต่อการจับก้อนของเนื้อยางสูงที่สุด รองลงมา คือ Mg^{2+} และ Fe^{2+}

การศึกษาการจับก้อนยางด้วยสนิมเหล็ก พบว่าเมื่อสนิมเหล็กเจอกับน้ำหรือน้ำยางข้น จะทำให้สนิมหลุดออกจากแท่งเหล็กแล้วแขวนลอยในน้ำ ทำให้ในระบบมี Fe^{2+} เพิ่มขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของ Fe^{2+} ที่หลุดจากแท่งเหล็กสนิมมีค่า 19 ppm จะส่งผลทำให้ยางเกิดการจับก้อนได้ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 6 ซึ่งในภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณและขนาดก้อนยางมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยปริมาณการจับก้อนยางมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 5 เท่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจากอุณหภูมิห้องเป็น 40 องศาเซลเซียส

3) ศึกษาการเพิ่มเสถียรภาพให้กับน้ำยางข้นโดยใช้สารลดแรงตึงผิว ในส่วนนี้จะศึกษาผลกระทบในด้านเสถียรภาพของอนุภาคผ่านการวัดค่าเสถียรภาพเชิงกล (mechanical stability, MST) และเสถียรภาพเชิงอิเล็กโทรไลต์ (electrolytic stability) โดยใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ นอกจากนี้ยังศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่เตรียมจากน้ำยางข้นอีกด้วย

ผลการศึกษาการใช้สารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคในน้ำยางข้น สามารถทำได้โดยนำน้ำยางข้นที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 7,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มาเติมสารลดแรงตึงผิว 0.01% โดยน้ำหนัก และจัดเก็บเป็นเวลา 14 วัน วิเคราะห์สมบัติเชิงเสถียรภาพ พบว่าสารลดแรงตึงผิว AL ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตน้ำยางข้นในระดับอุตสาหกรรม ให้ค่าความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกลเท่ากับ 163 วินาที ปริมาณยางจับเป็นก้อนเท่ากับ 0.0003% โดยน้ำหนัก และมีความสูงของฟอง 4.80 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาสารลดแรงตึงผิวชนิดอื่นๆ ได้แก่ SLS SDBC Brij30 และ TX100 ให้ค่าความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกลสูงกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิว AL โดยมีค่าเท่ากับ 246 217 192 และ 252 วินาทีตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าความสูงของฟองที่สูงกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิว AL เช่นกัน แต่มีเพียงน้ำยางที่ได้จากการเติมสาร

ลดแรงดึงผิว SDBS และ TX100 เท่านั้น ที่ค่าปริมาณยางจับเป็นก้อนต่ำกว่าน้ำยางที่เติมสารลดแรงดึงผิว AL โดยมีค่าเท่ากับ 0% และ 0.0002% โดยน้ำหนักตามลำดับ

สำหรับการศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มยางที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปแบบจุ่ม พบว่าแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจากน้ำยางชั้นที่เติมสารลดแรงดึงผิว AL ปริมาณ 0.01% โดยน้ำหนัก ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงเท่ากับ 20.8 เมกะปาสคาล ค่าโมดูลัสที่ 300% เท่ากับ 1.47 เมกะปาสคาล และค่าระยะยืด ณ จุดขาดเท่ากับ 741% ซึ่งมีเพียงแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากน้ำยางที่ได้จากการเติมสารลดแรงดึงผิว SLS และ Brij30 เท่านั้น ที่ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงโมดูลัสที่ 300% และค่าระยะยืด ณ จุดขาดสูงกว่าแผ่นฟิล์มที่ได้จากการเติมสารลดแรงดึงผิว AL โดยค่าความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากน้ำยางชั้นที่มีสารลดแรง SLS และ Brij30 เท่ากับ 22.9 และ 24.1 เมกะปาสคาล ค่าโมดูลัสที่ 300% เท่ากับ 3.42 และ 3.69 เมกะปาสคาล และระยะยืด ณ จุดขาด 763% และ 770% ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่อาจก่อให้เกิดการจับก้อนยางในโรงงานผ่านการสำรวจโรงงานน้ำยางชั้น จำนวน 6 โรงงานในเขต จ.ตรัง และ จ.สงขลา แล้วนำมาเปรียบเทียบผลกัน นอกจากนี้ยังตั้งสมมติฐานการจับก้อนยางจากสาเหตุ 2 ประการ คือ การที่น้ำยางชั้นสัมผัสกับประจุบวก เช่น สนิมของเหล็กที่อาจเกิดจากภาชนะบรรจุ และแคลเซียมหรือแมกนีเซียมที่อาจปนเปื้อนมากับน้ำที่ใช้ในการผลิต ตลอดจนแร่ธาตุที่อยู่ภายในเนื้อยาง และปริมาณของสารลดแรงดึงผิวที่ใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งอาจยังไม่เหมาะสมจนทำให้เกิดการจับก้อนยางในน้ำยางชั้นได้

สามารถสรุปสาเหตุของการจับก้อนยางในน้ำยางชั้นตามประเด็นดังต่อไปนี้

- ลักษณะที่ตั้งของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น การเลือกใช้ปั๊ม และการออกแบบถังเก็บน้ำยางชั้น
ลักษณะทางพื้นที่ของโรงงานผลิตน้ำยาง ควรให้บริเวณรับน้ำยางสดอยู่ที่สูงกว่าบ่อเก็บน้ำยางสด และบ่อเก็บน้ำยางสดควรอยู่สูงกว่าเครื่องปั่นเหวี่ยง และการเลือกชนิดปั๊มที่เหมาะสมกับน้ำยางชั้นจะสามารถลดปัญหาการเกิดก้อนยางได้ โดยปั๊มที่เหมาะสมกับสารที่มีลักษณะลาเท็กซ์หรือคอลลอยด์ คือ ปั๊มไดอะแฟรม ส่วนปั๊มหอยโข่ง หรือปั๊มสกรูสามารถใช้ได้ แต่ไม่ควรมีกำลังสูงมากนักเพื่อป้องกันแรงเฉือนที่เกิดระหว่างอุปกรณ์ของปั๊มและอนุภาคยางในน้ำยางชั้น
- การเรียงลำดับการติดตั้งปั๊มและตะแกรงกรอง

ลำดับการติดตั้งปั๊มและตะแกรงกรองของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นที่ไม่พบปัญหาเรื่องการจับก้อนของน้ำยางชั้น คือ การให้น้ำยางชั้นไหลผ่านตะแกรงกรองก่อนจากนั้นจึงผ่านปั๊มเพื่อเข้าสู่แท็งก์ของรถบรรทุก สำหรับการเลือกขนาดตะแกรงควรเลือกความละเอียดที่มีความเหมาะสม

- การปนเปื้อนของน้ำยางชั้น

เนื่องจากภายหลังการปั่นเหวี่ยง น้ำยางชั้นจะถูกเก็บในแท็งก์น้ำยางชั้นเป็นเวลา 21 วันเพื่อรอจำหน่าย ซึ่งในขั้นตอนนี้ พบว่าถ้าแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นมีความสกปรก กล่าวคือ มีเศษยางเหลืออยู่ก่อนบรรจุน้ำยางชั้นหรือผนังแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นมีสนิมเกิดขึ้น ตลอดจนแท็งก์ของรถบรรทุกที่มีก้อนยางติดอยู่ อาจส่งผลให้เกิดการจับก้อนของน้ำยางได้

- การไม่ตรวจสอบคุณภาพของน้ำที่ใช้ในการผลิตและน้ำยางสด

เนื่องจากผลการตรวจสอบอติพิลของประจุแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กให้ผลว่าประจุแคลเซียมและแมกนีเซียมต่างก็มีผลต่อการจับก้อนในน้ำยางชั้นมากกว่าประจุเหล็ก ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าประจุแคลเซียมและแมกนีเซียมที่มากับน้ำที่ใช้ในการผลิตอาจเป็นตัวการที่ก่อให้เกิดการจับก้อนยางได้ ดังนั้นผู้ผลิตควรมีมาตรการหรือแผนในการตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยไม่ควรมีปริมาณแคลเซียมหรือแมกนีเซียมสูงเกินไปนักโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงหน้าแล้งที่ปริมาณน้ำมีน้อย อาจทำให้ไอออนเหล่านี้มีความเข้มข้นสูงได้ นอกจากนี้ควรตรวจสอบปริมาณแมกนีเซียมและแคลเซียมที่มากับน้ำยางสดที่นำมาส่งให้กับทางโรงงานทุกล็อต เพราะถึงแม้ว่าทางโรงงานจะมีการเติม DAP เพื่อจับปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสดก่อนส่งเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง แต่ปริมาณการเติมอาจไม่เพียงพอ ทำให้มีขี้แป้งมาก และไอออนเหล่านี้ อาจหลุดลอดไปในน้ำยางชั้นแล้วก่อให้เกิดการจับก้อนยางได้ง่ายขึ้น

- ผลของช่องว่างในภาชนะบรรจุขณะขนส่ง

การบรรจุน้ำยางชั้นให้เต็มภาชนะสามารถรักษาเสถียรภาพของน้ำยางชั้นได้ดีกว่าการบรรจุไม่เต็มภาชนะ

- อุณหภูมิ

เมื่อน้ำยางชั้นได้รับความร้อนจะส่งผลให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางได้เนื่องจากมีปริมาณน้ำบางส่วนระเหยกลายเป็นไอ ส่งผลให้อนุภาคยางอยู่ใกล้ชิดกันมากขึ้น ซึ่งอุณหภูมิตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียส เป็นต้นไปส่งผลให้เกิดการจับก้อนของยางได้

- ลูกค้ำ

กลุ่มลูกค้ำที่รับซื้อน้ำยางชั้นจะมีหลายประเทศและหลากหลายอุตสาหกรรม ซึ่งมีความข้อจำกัดในการรับซื้อน้ำยางที่แตกต่างกันออกไป

จากการศึกษาค่าประจุบนอนุภาคยาง พบว่าเมื่อค่า pH ของน้ำยางเปลี่ยนไป จะส่งผลให้ประจุบนอนุภาคยางมีการเปลี่ยนแปลงด้วย อนุภาคยางธรรมชาติมีค่า PZC ตรงกับ pH 4.3 เมื่อ pH มีค่าสูงกว่า 4.3 อนุภาคยางจะแสดงความเป็นประจุลบ และเมื่อ pH มีค่าต่ำกว่า 4.3 จะแสดงความเป็นประจุบวก ดังนั้นถ้าน้ำยางมีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้นจนเข้าใกล้จุด PZC หรือจุดที่อนุภาคยางไม่แสดงความเป็นประจุ จะทำให้น้ำยางมีโอกาสจับก้อนได้

การศึกษาการระเหยแอมโมเนียที่เวลาต่างๆ พบว่าเมื่อตั้งน้ำยางขึ้นทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ค่า pH ของน้ำยางจะมีค่าลดลง ในช่วงชั่วโมงแรก ค่า pH มีการเปลี่ยนแปลง 0.3 ค่า และจะเปลี่ยนแปลงน้อยลง จนค่า pH มีค่าคงที่ เมื่อตั้งน้ำยางขึ้นทิ้งไว้มากกว่า 6 ชั่วโมง ดังนั้นการระเหยของแอมโมเนียไม่ส่งผลให้ค่า pH ของน้ำยางมีค่าน้อยลงต่ำกว่า 8.6 ได้ เนื่องจาก พิล์มน้ำยางที่ก่อตัวมีความหนาแน่นมากขึ้น และฟิล์มยางที่ก่อตัวขึ้นขัดขวางการระเหยของแอมโมเนีย ทำให้ค่า pH น้ำยางไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแม้จะทดสอบในภาชนะเปิด ในสภาวะการใช้งานจริงที่น้ำยางธรรมชาติถูกเก็บไว้ในภาชนะปิด โอกาสที่แอมโมเนียระเหยมีค่าน้อยกว่าสภาวะการทดลอง ดังนั้นแอมโมเนียที่ระเหยได้น้อยกว่าจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH น้อยกว่า ฉะนั้นในสภาวะการใช้งานจริงค่า pH ของน้ำยางจะเปลี่ยนแปลงได้ค่า pH สูงกว่า 8.6 ซึ่งสูงกว่าค่า PZC ของอนุภาคยางธรรมชาติ และอนุภาคยางยังคงมีประจุลบ ส่งผลให้อนุภาคยังมีเสถียรภาพกระจายตัวอยู่ได้

การศึกษาการจับก้อนของเนื้องานด้วยสารละลาย Fe^{2+} Mg^{2+} และ Ca^{2+} พบว่าความเข้มข้นของ stock solution มีผลต่อการจับก้อนของเนื้องาน โดยความเข้มข้นของ stock solution ที่เหมาะสม คือ 1,000 ppm ปัจจัยที่มีผลต่อการจับก้อนของเนื้องาน ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะ เวลาในการปั่นกวน และอุณหภูมิ จากผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นและเวลาเริ่มต้นที่พบการเริ่มการจับก้อนของเนื้องานของสารละลายไอออนโลหะทั้งสามชนิด คือ 100 ppm และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยการเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) เป็น 40 และ 60 องศาเซลเซียส จะพบการจับก้อนของเนื้องานที่เพิ่มมากขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้น อีกทั้งจากผลการศึกษาพบว่า Ca^{2+} จะส่งผลต่อการจับก้อนของเนื้องานสูงที่สุด รองลงมา คือ Mg^{2+} และ Fe^{2+}

การศึกษาการจับก้อนยางด้วยสนิมเหล็ก พบว่าสนิมเหล็กเมื่อเจอน้ำหรือน้ำยางข้น จะทำให้ตัวสนิมหลุดออกจากแท่งเหล็กแล้วแขวนลอยในน้ำ ทำให้ในระบบมีเหล็กประจุ $2+$ เพิ่มขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของเหล็กประจุ $2+$ ที่หลุดจากแท่งเหล็กสนิมมีค่า 19 ppm จะส่งผลให้น้ำเกิดการจับก้อนได้

ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 6 ซึ่งในภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณและขนาดก้อนยางมีค่าเพิ่มขึ้น โดยปริมาณการจับก้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 5 เท่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจากอุณหภูมิห้องเป็น 40 องศาเซลเซียส

สำหรับผลของสารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคในน้ำยางข้น พบว่าสารลดแรงตึงผิว AL ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตน้ำยางข้นในระดับอุตสาหกรรม ให้ค่าความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกล เท่ากับ 163 วินาที ปริมาณยางจับเป็นก้อน 0.0003% โดยน้ำหนัก และความสูงของฟอง 4.80 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาสารลดแรงตึงผิวชนิดอื่นๆ ได้แก่ SLS SDBC Brij30 และ TX100 ให้ค่าความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกลสูงกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิว AL โดยมีค่าเท่ากับ 246 217 192 และ 252 วินาทีตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าความสูงของฟองที่สูงกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิว AL เช่นกัน แต่น้ำยางที่เติมสารลดแรงตึงผิว SDBS และ TX100 เท่านั้น ที่มีค่าปริมาณยางจับเป็นก้อนต่ำกว่าน้ำยางที่เติมสารลดแรงตึงผิว AL สำหรับการศึกษาค่าผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มยาง พบว่า แผ่นฟิล์มที่เตรียมจากน้ำยางที่เติมสารลดแรงตึงผิว SLS และ Brij30 ให้ค่าการต้านแรงดึงโมดูลัสที่ 300% และค่าระยะยืด ณ จุดขาดสูงกว่าแผ่นฟิล์มที่ได้จากการเติมสารลดแรงตึงผิว AL

ข้อเสนอแนะ

-

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

-

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่อาจก่อให้เกิดการจับก้อนยางในโรงงานผ่านการสำรวจโรงงาน น้ำยางชั้น จำนวน 6 โรงงานในเขต จ.ตรัง และ จ.สงขลา โดยแบ่งแนวทางการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) ติดตามการเสถียรภาพของน้ำยางชั้นในโรงงานผลิต ทั้งในกระบวนการผลิต การขนส่ง และการจัดเก็บ โดยจะทำในลักษณะของแบบสอบถาม-แบบสำรวจเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดการจับก้อนในโรงงานจริง และความถี่ที่เกิดขึ้น 2) ศึกษาสถานการณ์จำลองในการจับก้อนของเนือยางอันเนื่องมาจากประจุของเหล็กที่อาจเกิดจากการหลุดลอกของสารเคลือบผนังด้านในของถังเก็บ ทำให้เหล็กบางส่วนไปสัมผัสกับน้ำยางชั้นขณะขนส่ง รวมถึงผลจากประจุอื่นๆ เช่น แคลเซียมและแมกนีเซียมที่อาจมาจากน้ำที่ใช้ในการผลิตและจากในตัวของน้ำยางชั้นเอง 3) ศึกษาการเพิ่มเสถียรภาพให้กับน้ำยางชั้น โดยการใช้สารลดแรงตึงผิวและผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่เตรียมได้จากน้ำยางชั้น สามารถสรุปสาเหตุของการจับก้อนยางในน้ำยางชั้นตามประเด็นดังต่อไปนี้ 1. ลักษณะที่ตั้งของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น การเลือกใช้ปั๊ม และการออกแบบถังเก็บน้ำยางชั้น 2. การเรียงลำดับการติดตั้งปั๊มและตะแกรงกรอง 3. การปนเปื้อนของน้ำยางชั้น 4. การไม่ตรวจสอบคุณภาพของน้ำที่ใช้ในการผลิตและน้ำยางสดในด้านประจุต่างๆ และ 5. ลูกค้ำ ในการศึกษาผลของสารละลายไอออนของเหล็ก แมกนีเซียม และแคลเซียมที่มีผลต่อการจับก้อนของเนือยาง พบว่าความเข้มข้นของสารละลายไอออน เวลาในการปั่นกววน และอุณหภูมิมีผลต่อการจับก้อนของเนือยาง โดยการจับก้อนของเนือยางเริ่มเกิดขึ้นที่ความเข้มข้น 100 ppm และเวลา 12 ชั่วโมง และแนวโน้มการจับก้อนของเนือยางจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่สารละลายไอออนของแคลเซียมจะมีผลต่อการจับก้อนของเนือยางมากที่สุด รองลงมาแมกนีเซียมและเหล็ก ตามลำดับ ในขณะที่ไอออนเหล็กที่หลุดจากสนิมเหล็กส่งผลให้ยางเกิดการตกตะกอนที่ความเข้มข้น 19 ppm และเวลา 6 ชั่วโมง และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ขนาดก้อนยางใหญ่ขึ้นและปริมาณก้อนยางมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับผลของสารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคในน้ำยางชั้น พบว่าสารลดแรงตึงผิว AL ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นในระดับอุตสาหกรรม ให้ค่าความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกล เท่ากับ 163 วินาที ปริมาณยางจับเป็นก้อน 0.0003% โดยน้ำหนัก และความสูงของฟอง 4.80 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาสารลดแรงตึงผิวชนิดอื่นๆ ได้แก่ SLS SDBC Brij30 และ TX100 ให้ค่าความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกลสูงกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิว AL โดยมีค่าเท่ากับ 246 217 192 และ 252 วินาทีตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าความสูงของฟองที่สูงกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิว AL เช่นกัน แต่น้ำยางที่เติมสารลดแรงตึงผิว SDBC และ TX100 เท่านั้น ที่มีค่าปริมาณยางจับเป็นก้อนต่ำกว่าน้ำยางที่เติมสารลดแรงตึงผิว AL สำหรับการศึกษาค่าผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มยาง พบว่าแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจากน้ำยางชั้นที่เติมสารลดแรงตึงผิว AL ที่ปริมาณ 0.01% โดยน้ำหนัก ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงเท่ากับ 20.8 เมกะปาสคาล ค่าโมดูลัสที่ 300% เท่ากับ 1.47 เมกะปาสคาล และค่าระยะยืด ณ จุดขาดเท่ากับ 741% ซึ่งมีเพียงแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากน้ำยางที่เติมสารลดแรงตึงผิว SLS และ Brij30 เท่านั้น ที่ให้ค่าการต้านแรงดึง โมดูลัสที่ 300% และค่าระยะยืด ณ จุดขาดสูงกว่าแผ่นฟิล์มที่ได้จากการเติมสารลดแรงตึงผิว AL

คำสำคัญ

การจับก้อน น้ำยางชั้น สารลดแรงตึงผิว ปริมาณยางจับเป็นก้อน ค่าความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกล

ABSTRACT

This research aimed to investigate the factors to develop the rubber lump in the 6 factories producing the concentrate natural rubber latex in Trang and Songkla provinces. This research was divided as 3 parts: 1) Investigation of stability of concentrate natural rubber latex in the factories via questionnaire for analyzing the cause for rubber lump formation, 2) Simulation of the ion effects such as iron ion possibly occurred from the unperfected coating of the storage. Moreover, the effect of calcium and magnesium ions possibly found in the supplied water and inside the natural rubber latex itself was also explored and 3) Improvement of concentrated natural rubber latex stability via the addition of surfactants and their effects on the properties of rubber films were also evaluated. From the investigation, the factors for promoting the rubber lump formation could be concluded as followed: 1) position of the factory, pump selection and design of storage for the concentrate natural rubber latex 2) order of pump and screen, 3) impurities in the concentrate natural rubber latex 4) non-quality inspection of ions in the supplied water and fresh natural rubber latex and 5) customers. For investigating the effect of ions on the coagulating process of concentrated natural rubber, the concentrations of ions, the stirring time and temperatures affected the rubber coagulation. This process started when the concentration reached 100 ppm and the stirring time was 12 h. The coagulum trend was increased with increment of the temperature. The calcium ion was the most effective in coagulating process, followed by magnesium and iron ion, respectively. The iron ion from iron rust made rubber coagulate at concentration of 19 ppm and 6 h. When the temperature increased, the size and content of coagulum was also increased. For the effect of the surfactant on the stability of rubber particles, the concentrated natural rubber latex having surfactant AL, general surfactant used in the commercial production of concentrated natural rubber latex, showed the mechanical stability time (MST) as 163 sec with 0.0003 wt% coagulum and 4.80 cm height of bubble. To consider the other surfactants such as SLS, SDBC, Brij30 and TX100, the MST of the concentrated natural rubber latex having these surfactants were 246, 217, 192 and 252 sec, respectively and these values were higher than that having surfactant AL. However, the coagulum of the concentrated natural rubber latex stabilized by SDBS and TX100 was lower than that stabilized by AL. For the effect of surfactant on mechanical properties of rubber films, the results indicated that the rubber film prepared by the concentrated natural rubber latex stabilized by 0.01 wt% AL showed 20.8 MPa tensile strength with 1.47 MPa for 300% modulus and 741% elongation at break. Whereas, only rubber films obtained from the concentrated natural rubber latex stabilized by SLS and Brij30 exhibited the higher mechanical properties.

Keyword:

Coagulation, Concentrated Natural rubber Latex, Coagulum content, Surfactants, Mechanical stability time

สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร	3
บทคัดย่อ	13
ABSTRACT	14
สารบัญเรื่อง.....	15
บทที่ 1	18
บทนำ.....	18
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	18
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	21
1.2.1 เพื่อหาสาเหตุการจับก้อนในน้ำยางชั้นในโรงงานผลิตน้ำยางชั้น.....	21
1.2.2 เพื่อศึกษาสถานการณ์จำลองในการจับก้อนในน้ำยางชั้นอันเนื่องมาจากประจุของเหล็ก แคลเซียม และแมกนีเซียม	21
1.2.3 เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคยางในน้ำยางชั้น และ สมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่เตรียมได้.....	21
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	21
1.3.1 หาสาเหตุและความถี่ของการจับก้อนในน้ำยางชั้นในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางชั้นผ่านการใช้ แบบสอบถาม-แบบสำรวจ	21
1.3.2 ศึกษาสถานการณ์จำลองในการจับก้อนของเนื้อยางอันเนื่องมาจากประจุของเหล็ก.....	21
1.3.3 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุและประจุลบต่อเสถียรภาพของ อนุภาคยางในน้ำยางชั้น และสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่เตรียมได้.....	21
บทที่ 2	22
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	22
2.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	22
2.1.1 น้ำยางธรรมชาติ.....	22
2.1.2 สมบัติของน้ำยางตามมาตรฐาน มอก.	23

2.1.3	กระบวนการผลิตน้ำยางชั้น (กลุ่มงานเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด, 2001)	25
2.1.4	ทฤษฎีการจับก้อนยาง	30
2.2	การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	31
บทที่ 3		35
	การดำเนินการวิจัย	35
3.1	การสำรวจโรงงานผลิตน้ำยางชั้นเพื่อหาสาเหตุการจับก้อนยาง	35
3.2	การศึกษาการจำลองการจับก้อนของเนื้อยางอันเนื่องมาจากค่า pH และประจุของเหล็ก แคลเซียม และแมกนีเซียม	35
3.2.1	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	35
3.2.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	36
3.2.3	วิธีดำเนินงานวิจัย	36
3.3	การศึกษาผลของการใช้สารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคยางในน้ำยางชั้น และสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่ได้	42
3.3.1	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	42
3.3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	42
3.3.3	วิธีดำเนินงานวิจัย	43
บทที่ 4		45
	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	45
4.1	การสำรวจโรงงานผลิตน้ำยางชั้นเพื่อหาสาเหตุการจับก้อนยาง	45
4.1.1	ภาพรวมการสำรวจโรงงานผลิตน้ำยางชั้น	45
4.1.2	ปัญหาและการตั้งสมมุติฐาน	55
4.1.3	สรุปปัจจัยและการแก้ไขปัญหที่ทำให้เกิดการจับก้อนในน้ำยางชั้น	69
4.2	การศึกษาการจำลองการจับก้อนของเนื้อยางอันเนื่องมาจากค่า pH และประจุของเหล็ก แคลเซียม และแมกนีเซียม	72
4.2.1	การศึกษาประจุที่ผิวอนุภาคยางที่ pH ต่างๆ	72
4.2.2	การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ที่ระยะเวลาต่างๆ	73

4.2.3 การศึกษาการจับก๊อนของเนื้อเยื่อด้วยสารละลายเหล็ก (Fe^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และ แคลเซียม (Ca^{2+}).....	75
4.2.4 การศึกษาการจับก๊อนอย่างด้วยสนิมเหล็ก	95
4.2.5 สรุปผลการศึกษา	109
4.3 การศึกษาผลของการใช้สารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคยางในน้ำอย่างข้น และสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่ได้.....	110
4.3.1 ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำอย่างข้น.....	113
4.3.2 ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อความต้านทานต่อแรงดึงและความทนทานความร้อนของแผ่นฟิล์มยาง.....	119
4.3.3 สรุปผลการศึกษาการใช้สารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคยางในน้ำอย่างข้น และสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มยางที่ได้	123
บทที่ 5	125
สรุปผลการทดลอง.....	125
บรรณานุกรม.....	130
ภาคผนวก.....	133
ภาคผนวก ก	134
ภาคผนวก ข	147
ภาคผนวก ค	150
ภาคผนวก ง.....	151
ภาคผนวก จ	155
ภาคผนวก ฉ	177

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

น้ำยางข้นเป็นผลิตภัณฑ์ชั้นกลางเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางประเภทฟิล์ม ได้แก่ ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ถุงนิ้ว เส้นด้ายยืด ผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้ในทางการแพทย์ เช่น ท่อสวนปัสสาวะ และผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้ในงานทันตกรรม เช่น แผ่นยางปิดปาก เป็นต้น น้ำยางข้นที่ผลิตจากโรงงานได้มาจากกระบวนการปั่นเหวี่ยงน้ำยางจากธรรมชาติที่มีความเข้มข้นราว 30% โดยน้ำหนัก เพื่อแยกยางครีมออกจากหางน้ำยาง ทำให้น้ำยางมีความเข้มข้นสูงขึ้นเท่าตัวประมาณ 60% โดยน้ำหนัก ในกระบวนการปั่นเหวี่ยงนี้เองทำให้เกิดการสูญเสียเสถียรภาพน้ำยางไปบางส่วน (เพื่อแยกชั้นครีม) ซึ่งอาจเป็นการสูญเสียโปรตีนหรือเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid ester) ที่ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ธรรมชาติ (natural emulsifier) สำหรับอนุภาคยางพาราสามารถแขวนลอยในน้ำได้ดี โดยอนุภาคยางธรรมชาติในน้ำยางข้นมีขนาดอยู่ในช่วงระหว่าง 0.1 ไมครอน ถึง 2-3 ไมครอน ขึ้นกับอายุของต้นยางพารา และอนุภาคยางธรรมชาติยังเป็นอนุภาคที่มีประจุตามชนิดสารอิมัลซิไฟเออร์ธรรมชาติ การถนอมน้ำยางข้นเพื่อรอการใช้งานจะต้องรักษาเสถียรภาพด้วยการเติมแอมโมเนียไม่ให้เกิดการบูดเน่าหรือแยกชั้นอันเนื่องมาจากการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ ซึ่งจะก่อให้เกิดภาวะกรดที่ไม่เป็นผลดีต่อเสถียรภาพของน้ำยางข้น

แม้ว่าผู้ผลิตน้ำยางข้นจะพยายามรักษาเสถียรภาพของน้ำยางด้วยแอมโมเนียซึ่งเป็นสารเคมีที่หาได้ง่าย แต่อาจเกิดปัญหาได้อีกจึงต้องใช้สารเคมีประเภทสารลดแรงตึงผิวหรือสบู่เพื่อทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ไม่ให้อนุภาคยางจับก้อน โดยสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ได้แก่ แอมโมเนียมลอเรตหรือโซเดียมลอเรต ซึ่งทำให้ค่าเสถียรภาพเชิงกล (mechanical stability, MST) ของน้ำยางข้นมีค่ามากกว่า 600 วินาที ในการขนส่งน้ำยางข้นไปยังลูกค้าได้แก่ โรงงานผลิตถุงมือยาง หรือโรงงานเส้นด้ายยางยืด น้ำยางข้นที่ผ่านคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมจะถูกบรรจุอยู่ในถังเหล็กเคลือบและขนส่งทางรถยนต์หรือทางเรือ แต่เมื่อไปถึงปลายทางแล้วเทน้ำยางข้นออกมาพบว่าในบางครั้งโดยเฉพาะช่วงกลางฤดูถึงช่วงปิดกรีตในหน้าแล้ง มักพบปัญหาน้ำยางจับก้อน ทั้งที่กระบวนการขนส่งใช้เวลาอย่างมาก คือ 1 คืนโดยปกติ ถึง 2 เดือนหากส่งเรือไปยังประเทศในทวีปอเมริกาหรือยุโรป จากการสังเกตของผู้ประกอบการจะพบการจับก้อนของน้ำยางข้นเมื่อน้ำยางข้นสัมผัสกับวัสดุที่ทำจากเหล็ก เช่น ตะแกรงกรองน้ำยาง หรือถังบรรจุ แต่เนื่องจากน้ำยางข้นมีสีขาวขุ่น ทำให้ยากต่อการตรวจพบถ้าการจับก้อนนั้นไม่ได้

เกิดขึ้นที่ผิวหน้าของน้ำยาง นอกจากนี้ทางผู้ผลิตยังพบก้อนยางที่ตะแกรงกรองก่อนถ่ายลงสู่แท็งก์ของรถบรรทุก และที่ก้นถังเก็บน้ำยางชั้นอีกด้วย

ความเสียหายจากการเกิดการจับก้อนของน้ำยางชั้นมีผลกระทบหลายมิติ เช่น ในแง่ของการนำไปใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ พบว่าเมื่อในน้ำยางมีการจับก้อนยางแล้ว น้ำยางก็ตกสเปคทันที เพราะก้อนยางมีเสถียรภาพสูงไม่สามารถทำให้คืนตัวเป็นน้ำยางได้ ลูกค้าไม่มั่นใจในการนำไปใช้ขึ้นรูปเป็นฟิล์ม หรือการทำให้เป็นเส้น เพราะอาจทำให้ไม่ก่อฟิล์มยางบนแบบ ฟิล์มเป็นรู เป็นก้อน หรือถ้าเป็นด้ายยาง เส้นก็จะขาดง่ายไม่ต่อเนื่อง ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังนั้นจึงไม่มีการประนีประนอมในการรับซื้อ และในกรณีการส่งออกน้ำยางชั้นนั้น ถ้าน้ำยางชั้นที่ส่งออกไม่ผ่านสเปคของลูกค้า ก็ไม่สามารถนำกลับเข้ามาในประเทศได้อีก ดังนั้นเมื่อน้ำยางชั้นตกสเปคไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน ณ การจ่ายหน้าโรงงานลูกค้า ผู้ขายหรือผู้ส่งออกจำเป็นต้องกรองขายน้ำยางชั้นไปในราคาถูกให้กับโรงงานอื่นๆ ในละแวกนั้นที่พอใจรับซื้อไปแทน สร้างความเสียหายอย่างมากต่อผู้ผลิต การจับก้อนในน้ำยางชั้นมักเกิดขึ้นในช่วงปิดกริตราวเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน น้ำระเหยมาก แต่เป็นช่วงที่ต้องเก็บน้ำยางสต็อกไว้ให้ลูกค้า การเกิดปัญหาการจับก้อนในน้ำยางชั้นนี้ จะคิดเป็นมูลค่าความเสียหายราว 10% ของยอดขาย ซึ่งรวมทั้งค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และชื่อเสียง ในแง่ของการผลิต แม้ว่าการสูญเสียจะเกิดขึ้นเป็นครั้งคราว แต่ก็เกิดได้เรื่อยไปไม่มีความแน่นอน และเกิดขึ้นกับผู้ผลิตน้ำยางชั้นแทบทุกราย จึงเป็นปัญหารบกวนในระดับอุตสาหกรรมทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้น้ำยางชั้น

ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางในน้ำยางชั้นสามารถสรุปได้ดังนี้ (Afreem และคณะ, 2013)

- การกวน ความเร็วรอบการกวนน้ำยางในถังเก็บควรใช้ความเร็วรอบต่ำในช่วง 20 – 40 รอบ/นาที ถ้าใช้ความเร็วรอบมากเกินไปจะก่อให้เกิดแรงเสียดทาน แรงเฉือน (shear force) และการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent) ทำให้น้ำยางมีเสถียรภาพที่ลดลงจนทำให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางได้
- การเลือกใช้ปั๊ม เนื่องจากในการผลิตน้ำยางชั้นหรือการใช้น้ำยางชั้นเพื่อทำผลิตภัณฑ์ต้องมีการขนถ่ายน้ำยางในปริมาณมากผ่านการใช้ปั๊ม แต่ว่าการใช้ปั๊มส่งผลทำให้บริเวณของน้ำยางที่ติดกับปั๊มมีแรงเฉือนสูง ก่อให้เกิดก้อนยางที่ตำแหน่งนี้ได้ นอกจากนี้ น้ำยางที่มีก้อนยางปนเปื้อนอาจก่อให้เกิดการอุดตันต่อระบบการขนส่งน้ำยางได้ ดังนั้นควรเลือกใช้ปั๊มที่ไม่พ่นอากาศปริมาณมากเข้าสู่ น้ำยาง โดยปั๊มที่สามารถใช้ในการขนส่งน้ำยางมักเป็นชนิดเซนตริฟิวกัล (centrifugal) สกรูเดี่ยว (single screw) หรือไดอะแฟรม (diaphragm)

- การปนเปื้อนทองแดงและแมกนีเซียม ผลของสารทั้งสองนี้รุนแรงมาก เนื่องจากทองแดงก่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์เอมีน (copper amine complex) ทำให้ยางเกิดการตกตะกอนและไม่สามารถนำไปทำน้ำยางชั้นได้ ขณะที่แมกนีเซียมสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำตาลในน้ำยางธรรมชาติและก่อให้เกิดเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid, VFA) ทำให้น้ำยางชั้นมีค่า VFA สูง ดังนั้นอุปกรณ์ที่สัมผัสกับน้ำยางจะต้องไม่มีส่วนประกอบที่ทำจากโลหะทั้งสองชนิดนี้

การป้องกันปัญหาการจับก้อนของน้ำยางในทางอุตสาหกรรมนั้น พบว่ามีการเติมแอมโมเนียลงไปใต้น้ำยางสดก่อนนำไปทำน้ำยางชั้นให้มี pH > 10 เพื่อเพิ่มเสถียรภาพทางไฟฟ้า (electrostatic) ให้กับน้ำยางซึ่งจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการจับก้อน โดยแอมโมเนียจะไปทำให้เกิดการไฮโดรไลซิสของกรดไขมันและโปรตีนบนอนุภาคยาง ทำให้น้ำยางเนาเสียได้ช้าลง (Reis และคณะ, 2015) นอกจากนี้ยังมีการเติมสารลดแรงตึงผิว (surfactant) บางชนิดลงไปใต้น้ำยางชั้นอีกด้วย เช่น โพแทสเซียมโอเลต (potassium oleate) โพแทสเซียมลอเรต (potassium laurate) คาพรีเลต (caprylate) หรือโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulphate) เพื่อเพิ่มเสถียรภาพขณะปั่นเหวี่ยงในกระบวนการทำน้ำยางชั้น (Singh และคณะ, 2014) ถึงแม้ว่าจะมีกระบวนการในการรักษาเสถียรภาพของอนุภาคยางใต้น้ำยาง แต่ยังคงพบปัญหาการจับก้อนของเนื้อยางใต้น้ำยางชั้นขณะขนส่งหรือการจัดเก็บ ทำให้ทางโรงงานน้ำยางชั้นไม่สามารถส่งน้ำยางชั้นไปให้กับโรงงานทำผลิตภัณฑ์ปลายน้ำได้

ด้วยเหตุที่ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางรายใหญ่ที่สุดในโลก และผู้ประกอบการก็มีศักยภาพในการพัฒนาอุตสาหกรรมนี้ให้ก้าวหน้าทันสมัยตามเทคโนโลยีปัจจุบัน การตรวจสอบถึงปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาการเกิดการจับก้อนใต้น้ำยางชั้นในโรงงานผลิตน้ำยางชั้นจึงเป็นสิ่งที่ต้องทำเพื่อใช้เป็นแนวทางในการตรวจติดตาม ป้องกันหรือบรรเทาปัญหานี้ต่อไปในอนาคต ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงแบ่งหัวข้องานวิจัยออกเป็น

- 1) การสำรวจโรงงานน้ำยางชั้นเพื่อหาสาเหตุการจับก้อนของน้ำยาง ซึ่งจะตรวจสอบทั้งในกระบวนการผลิต การขนส่ง และการจัดเก็บ โดยทำในลักษณะของแบบสอบถาม-แบบสำรวจเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่อาจทำให้เกิดการจับก้อนในโรงงานจริง และความถี่ที่เกิดขึ้น

- 2) การศึกษาสถานการณ์จำลองในการจับก้อนยางใต้น้ำยางชั้นอันเนื่องมาจากประจุของเหล็กที่อาจเกิดจากการหลุดลอกของสารเคลือบผนังด้านในของถังเก็บ ทำให้เหล็กบางส่วนไปสัมผัสกับน้ำยางชั้นขณะขนส่ง และประจุแคลเซียมและแมกนีเซียมที่อาจมากับน้ำที่ใช้ในการผลิต และแร่ธาตุที่ต้นยางพาราดูดซึมไป

3) การเพิ่มเสถียรภาพให้กับน้ำยางชั้นโดยการใส่สารลดแรงตึงผิว ซึ่งมาจากสมมติฐานว่าการเติมสารลดแรงตึงผิวอาจไม่เพียงพอที่จะรักษาเสถียรภาพของน้ำยาง หรือแรงตึงผิวชนิดที่มีฟองอากาศก่อให้เกิดฟองขนาดเล็กภายในน้ำยางชั้น ซึ่งสามารถพัฒนาต่อไปเป็นก้อนยางได้ โดยในส่วนนี้จะศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคยางผ่านการวัดค่าเสถียรภาพเชิงกล (mechanical stability, MST) และเสถียรภาพเชิงอิเล็กโทรไลต์ (electrolytic stability) โดยใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ นอกจากนี้ยังจะศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่เตรียมได้จากน้ำยางชั้นอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อหาสาเหตุการจับก้อนในน้ำยางชั้นในโรงงานผลิตน้ำยางชั้น
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสถานการณ์จำลองในการจับก้อนในน้ำยางชั้นอันเนื่องมาจากประจุของเหล็ก แคลเซียม และแมกนีเซียม
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคยางในน้ำยางชั้น และสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 หาสาเหตุและความถี่ของการจับก้อนในน้ำยางชั้นในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางชั้นผ่านการใช้แบบสอบถาม-แบบสำรวจ
- 1.3.2 ศึกษาสถานการณ์จำลองในการจับก้อนของเนื้อยางอันเนื่องมาจากประจุของเหล็ก
- 1.3.3 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุและประจุลบต่อเสถียรภาพของอนุภาคยางในน้ำยางชั้น และสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่เตรียมได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

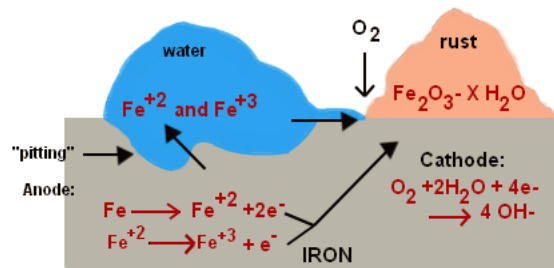
2.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

2.1.1 น้ํายางธรรมชาติ

น้ํายางชั้นเป็นคอลลอยด์ของอนุภาคยางที่เป็นสารไฮโดรคาร์บอนแขวนลอยได้ในน้ำโดยไม่เกาะติดกันเนื่องจากมีอิมัลซิไฟเออร์ธรรมชาติช่วยพยุงและป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคยาง (Ho, 1989) การทำลายชั้นอิมัลซิไฟเออร์หรือชั้นป้องกัน (protective layer) รอบอนุภาคยางเป็นเหตุผลสำคัญของการสูญเสียเสถียรภาพของอิมัลชัน และทำให้อนุภาคยางรวมตัวแยกออกจากวัฏภาคน้ำ การเก็บน้ํายางชั้นต้องเก็บในภาวะที่เป็นด่างที่ pH 8-10 โดยการเติมแอมโมเนียเพื่อป้องกันไม่ให้น้ํายางชั้นบูดเน่าเนื่องจากการย่อยสลายโปรตีนและเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ธรรมชาติด้วยแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังมีการเติมสารเคมีที่ใช้รักษาเสถียรภาพของน้ํายางชั้น คือ สบู่แอมโมเนียมลอเรตที่ปริมาณน้อยๆ ราว 0.02-0.05% โดยน้ำหนัก ในกรณีน้ํายางชั้นที่มีปริมาณแอมโมเนียต่ำ สารรักษาสภาพทุติยภูมิ (secondary preservative) ที่มักใช้กัน คือ เตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ (tetramethylthiuram disulfide, TMTD) และซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide, ZnO) โดยเติมในปริมาณ 0.025% โดยปริมาตร

Bhowmick (2547) กล่าวว่าในการก่อเจลหรือการจับก้อนของน้ํายางชั้นในระบบที่ให้ความร้อน (heat gelling) จะเกิดสารประกอบเกลือซิงค์ออกไซด์-แอมโมเนีย (zinc oxide-ammonia salt) ซึ่งเชื่อกันว่า ZnO ละลายในน้ำแอมโมเนียเกิดเป็นสารเชิงซ้อนซิงค์เอมีน (zinc amine) ที่อุณหภูมิห้องและมีแอมโมเนียสูง และก่อตัวเป็นเจลที่ pH 9-10 นอกจากนี้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สารเชิงซ้อนแอมโมเนียก็จะลดลง นำไปสู่การแยกตัวก่อเจลขึ้น จากการทดลองพบว่าเจลเกิดขึ้นเมื่อสบู่จากกรดไขมันถูกกำจัดออกในรูปเกลือสังกะสีที่ไม่ละลายน้ำโดยการลดปริมาณสารเชิงซ้อน zinc amine ซึ่งก็เกิดเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเช่นกัน ในเบื้องต้นสมมุติฐานการก่อเจลหรือจับก้อนน้ํายางในวันที่อากาศร้อนของฤดูปิดกรีต ทำให้สารเชิงซ้อนโลหะออกไซด์แอมโมเนียมีปริมาณลดลง เร่งให้เกิดการจับก้อน นอกจากนี้ในกรณีที่มีการผุกร่อนของเหล็กภายในภาชนะบรรจุที่ขนส่งไป ซึ่งอาจเป็นบริเวณเล็กๆ (pitting) หรือมีรอยแตกของเคลือบทำให้เหล็กสัมผัสน้ำต่างเป็นเวลานาน ทำให้เกิดประจุบวกของเหล็กดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการ

สีก่อนจากกลไกเชิงไฟฟ้าเคมี (electrochemicals) จับกับประจุลบของอนุภาคยาง ยางก็จะแยกวัฏภาคจับก้อนได้



รูปที่ 1 การผุกร่อนของเหล็กที่สัมผัสน้ำและอากาศทำให้เกิดสนิมในส่วนที่เป็นขั้ว Cathode

2.1.2 สมบัติของน้ำยางตามมาตรฐาน มอก.

ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4033 (พ.ศ. 2552) เรื่องยกเลิกและกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำยางธรรมชาติ โดยได้ออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำยางชั้นธรรมชาติ (natural rubber latex concentrate) เลขที่ มอก. 980-2552 (ภาคผนวก ก) ซึ่งนิยามความหมายของน้ำยางชั้นจากการปั่นเหวี่ยง (centrifuged rubber latex concentrate) หมายถึงน้ำยางธรรมชาติที่ทำให้เข้มข้นโดยการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกเซรัม (serum) บางส่วนออกไป น้ำยางชั้นแบ่งออกเป็น 5 ชนิด คือ

- (1) ชนิด HA เป็นน้ำยางชั้นจากการปั่นเหวี่ยง ซึ่งรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียแต่เพียงอย่างเดียว และมีค่าความเป็นด่างไม่น้อยกว่า 0.60% โดยน้ำหนักของน้ำยางชั้น
- (2) ชนิด LA เป็นน้ำยางชั้นจากการปั่นเหวี่ยง ซึ่งรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียร่วมกับสารรักษาสภาพน้ำยางชั้นชนิดอื่น และมีค่าความเป็นด่างไม่เกิน 0.29% โดยน้ำหนักของน้ำยางชั้น
- (3) ชนิด MA เป็นน้ำยางชั้นจากการปั่นเหวี่ยง ซึ่งรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียร่วมกับสารรักษาสภาพน้ำยางชั้นชนิดอื่น และมีค่าความเป็นด่าง 0.30 ถึง 0.59% โดยน้ำหนักของน้ำยางชั้น
- (4) ชนิด HA ครีม เป็นน้ำยางชั้นจากการแยกครีม ซึ่งรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียเพียงอย่างเดียว และมีค่าความเป็นด่างไม่น้อยกว่า 0.55% โดยน้ำหนักของน้ำยางชั้น
- (5) ชนิด LA ครีม เป็นน้ำยางชั้นจากการแยกครีม ซึ่งรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียร่วมกับสารรักษาสภาพน้ำยางชั้นชนิดอื่น และมีค่าความเป็นด่างไม่เกิน 0.35% โดยน้ำหนักของน้ำยางชั้น

ตามมาตรฐาน มอก. 980-2552 ได้กำหนดคุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของน้ำยางชั้นธรรมชาติดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของน้ำยางชั้นธรรมชาติ

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด					วิธี ทดสอบ
		HA	LA	MA ³⁾	HA ครีม	LA ครีม	
1	ของแข็งทั้งหมด (%โดยน้ำหนัก) ไม่น้อยกว่า	61.5 หรือให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย			65.0	65.0	ISO 124
2	เนื้อยางแห้ง (%โดยน้ำหนัก) ไม่น้อยกว่า	60.0	60.0	60.0	64.0	64.0	ISO 126
3	ของแข็งที่ไม่ใช่น้ำยาง (%โดยน้ำหนัก) ไม่เกิน	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	-
4	ความเป็นด่าง ¹⁾ (คำนวณเป็น NH ₃) (%โดยน้ำหนัก) ของน้ำยางชั้น	ไม่น้อยกว่า 0.60	ไม่เกิน 0.29	0.30-0.59	ไม่น้อยกว่า 0.55	ไม่เกิน 0.35	ISO 125
5	เสถียรภาพต่อการปั่น ²⁾ (mechanical stability, MST)	650	650	650	650	650	ISO 35
6	ยางจับก้อน (coagulum) (%โดยน้ำหนัก) ไม่เกิน	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	ISO 706
7	ทองแดง มิลลิกรัม/กิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด ไม่เกิน	8	8	8	8	8	ISO 8053
8	แมกกาเนส มิลลิกรัม/กิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด ไม่เกิน	8	8	8	8	8	ISO 7780
9	แมกนีเซียม มิลลิกรัม/กิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด ไม่เกิน	40 หรือให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย					⁴⁾
10	ตะกอน (sludge) (%โดยน้ำหนัก) ไม่เกิน	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	ISO 2005
11	ค่ากรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA number) (%โดยน้ำหนัก) ไม่เกิน	0.06 หรือให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย					ISO 506
12	ค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH number) (%โดยน้ำหนัก) ไม่เกิน	0.07 หรือให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย					ISO 127

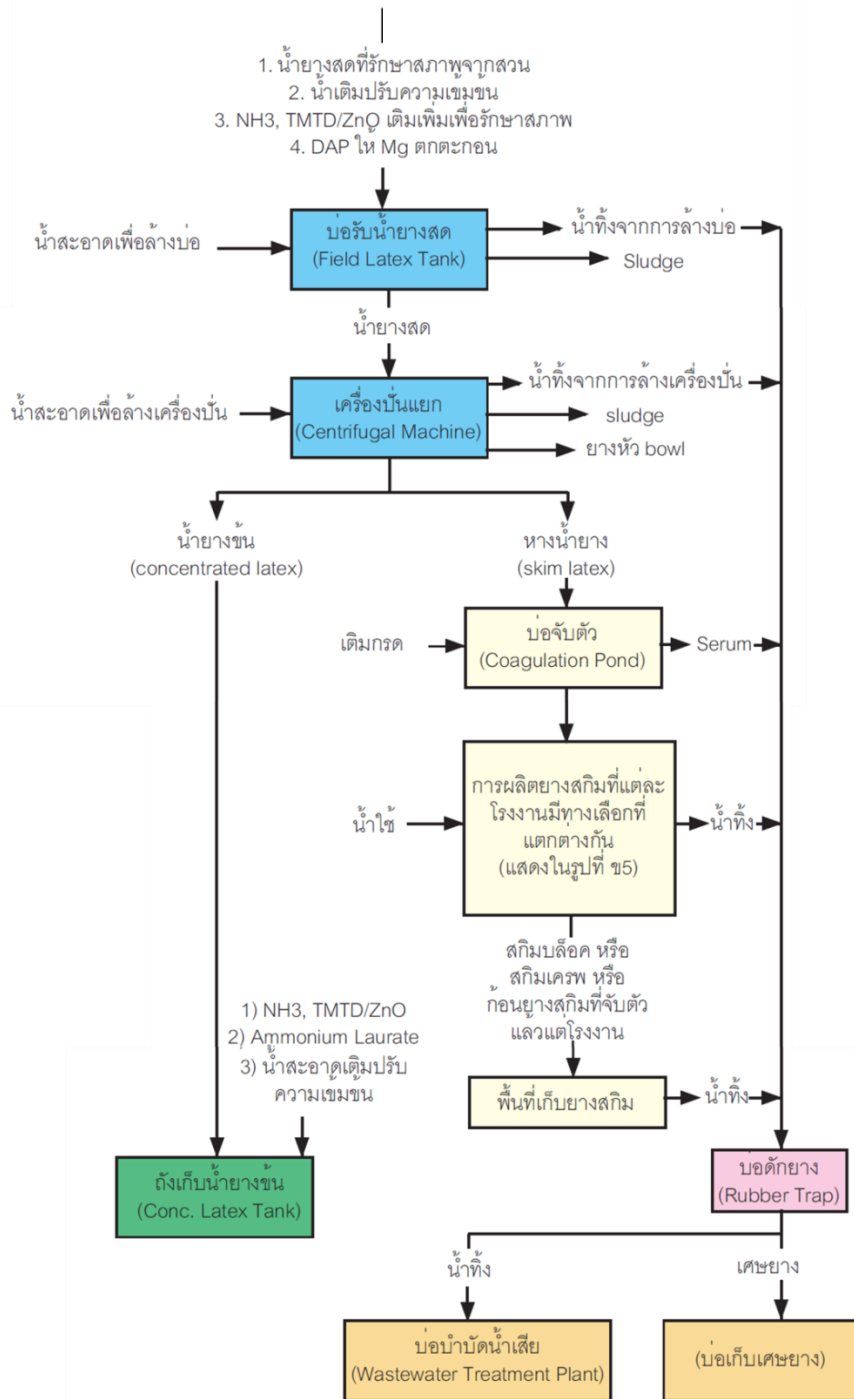
- หมายเหตุ
- 1) คำนวณจากผลต่างระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดกับปริมาณเนื้อยางแห้ง
 - 2) เสถียรภาพต่อการปั่น เป็นค่าที่วัดภายหลัง 21 วันนับจากวันที่ทำ
 - 3) MA หรือ XA หมายถึง Medium Ammonia Latex
 - 4) การทดสอบปริมาณแมกนีเซียม ให้เป็นไปตาม หัวข้อ 8.3 ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.980-2552

2.1.3 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น (กลุ่มงานเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด, 2001)

กระบวนการผลิตน้ำยางข้นแสดงดังรูปที่ 2 วัตถุประสงค์ที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตน้ำยางข้น คือ น้ำยางสดที่ได้จากการกรีดต้นยางพาราตอนเช้ามีดี โดยชาวสวนจะรักษาสภาพน้ำยางสดไม่ให้จับตัวด้วยการเติมแอมโมเนีย TMTD และ ZnO แล้วบรรจุลงถังหรือรถแท็งก์เพื่อขนส่งไปขายให้โรงงานผลิตน้ำยางข้น

เมื่อถึงโรงงานผลิตน้ำยางข้น ชาวสวนจะเทน้ำยางสดจากถังบรรจุหรือรถแท็งก์ผ่านตะแกรงกรองลงสู่บ่อรับน้ำยางสดของโรงงาน โรงงานจะเก็บตัวอย่างน้ำยางสดเพื่อหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC) และหาปริมาณแอมโมเนียเพื่อคำนวณเงินที่จะจ่ายให้กับชาวสวน จากนั้นพนักงานจะเติมแอมโมเนียให้น้ำยางสดในบ่อรับน้ำยางให้มีปริมาณแอมโมเนียเกินกว่า 0.4% โดยน้ำหนัก หากผลทดสอบพบว่าน้ำยางสดมีปริมาณแมกนีเซียมสูง ซึ่งมีผลต่อกระบวนการปั่นเหวี่ยงก็จะเติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (diammonium hydrogen phosphate, DAP) แล้วทิ้งไว้ข้ามคืนเพื่อให้แมกนีเซียมตกตะกอนเป็นขี้แป้ง (sludge) น้ำยางสดที่นำไปปั่นควรมีปริมาณแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ส่วนต่อล้านส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมด (ppm based on total solid content) และเมื่อปั่นแล้วควรมีไม่เกิน 20 ppm นอกจากนี้ต้องนำตัวอย่างน้ำยางสดไปทดสอบหาปริมาณกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA) ถ้ามีค่า VFA น้อยกว่า 0.05% จึงจะสามารถนำน้ำยางสดป้อนเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงได้ แต่ถ้าน้ำยางสดมีค่า VFA สูงกว่า 0.05% ก็ไม่ควรนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง เมื่อน้ำยางสดถูกถ่ายโอนไปสู่กระบวนการปั่นเหวี่ยงจนหมดบ่อแล้ว จะทำความสะอาดบ่อรับน้ำยางสดโดยใช้น้ำฉีดล้างทำความสะอาดทุกครั้งก่อนรับน้ำยางสดชุดใหม่

วิธีผลิตน้ำยางข้นมี 4 วิธี คือ วิธีปั่นเหวี่ยง วิธีระเหยน้ำ (evaporation) วิธีการทำให้เกิดครีม (creaming) และวิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (electrodecantation) แต่วิธีการปั่นเหวี่ยงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด โดยหลักการของวิธีปั่นเหวี่ยง คือ การปั่นแยกน้ำยางโดยอาศัยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงประมาณ 6,000 รอบ/นาที ภายในของเครื่องประกอบด้วยชุดจานแยก (separator discs) วางซ้อนๆ กันจำนวนหลายชั้น น้ำยางสดจะถูกป้อนเข้าเครื่องผ่านที่จ่ายน้ำยาง (distributor) ลงสู่กันถึงปั่น จากนั้นน้ำยางจะไหลผ่านชุดของจานแยกซึ่งมีรูให้น้ำยางไหลเข้าสู่ภายในของถังปั่นด้วยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วสูง น้ำยางสดจะถูกแยกออกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งเป็นส่วนของเนื้อยางจะไหลเข้าหาศูนย์กลางของเครื่องปั่นเหวี่ยงและลอยตัวไหลออกมาตามทางออกด้านบนลงสู่ถังเก็บน้ำยางข้น อีกส่วนหนึ่งของน้ำยางที่ถูก



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น (กลุ่มงานเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด, 2001)

แยกจะเป็นส่วนของหางน้ำยาง (skim latex) ซึ่งจะไหลออกจากศูนย์กลางเครื่องปั่นเหวี่ยงสู่ทางออกของหางน้ำยางและลงสู่ถังเก็บหางน้ำยาง (ประสพชัย, 2000) (รูปที่ 3)

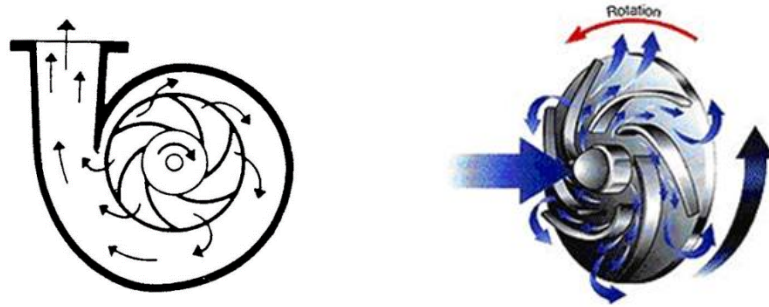


รูปที่ 3 เครื่องปั่นเหวี่ยงสำหรับผลิตน้ำยางข้นและรางขนส่งน้ำยางข้น

ปกติน้ำยางข้นที่ได้จากเครื่องปั่นเหวี่ยงจะมีความเข้มข้นของเนื้อยางประมาณ 60% เครื่องปั่นเหวี่ยงขนาดเล็ก สามารถผลิตน้ำยางข้นได้วันละ 200-250 แกลลอน และเครื่องปั่นเหวี่ยงขนาดใหญ่อาจผลิตน้ำยางข้นได้ถึงวันละ 450 แกลลอน ปกติการเดินเครื่องจะทำติดต่อกันได้อย่างมากเพียง 6 ชั่วโมง/ครั้ง เพื่อทำความสะอาดเครื่อง ล้างพวกตะกหรือขี้แป้งที่ติดเครื่องปั่นเหวี่ยง

เนื่องจากน้ำยางข้นเป็นคอลลอยด์ที่มีอนุภาคแขวนลอยอยู่ในน้ำ ซึ่งไม่ควรจะถูกกระทบกระเทือนจากแรงภายนอกมากนัก การขนส่งน้ำยางข้นจึงมักใช้หลักการถ่ายเทตามแรงโน้มถ่วงของโลก แต่เนื่องจากสภาพพื้นที่ของการตั้งโรงงานอาจไม่สามารถใช้แรงโน้มถ่วงในการขนถ่ายน้ำยางข้นได้ทั้งหมด จึงจำเป็นต้องใช้ปั๊มในการถ่ายเทน้ำยางข้นจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ซึ่งปั๊มที่ใช้ส่วนใหญ่ ได้แก่ 1. ปั๊มหอยโข่ง (volute type pump) 2. ปั๊มไดอะแฟรม (diaphragm pump) และ 3. ปั๊มสกรู (screw pump) โดยหลักการทำงานของปั๊มแต่ละชนิดแตกต่างกัน กล่าวคือ

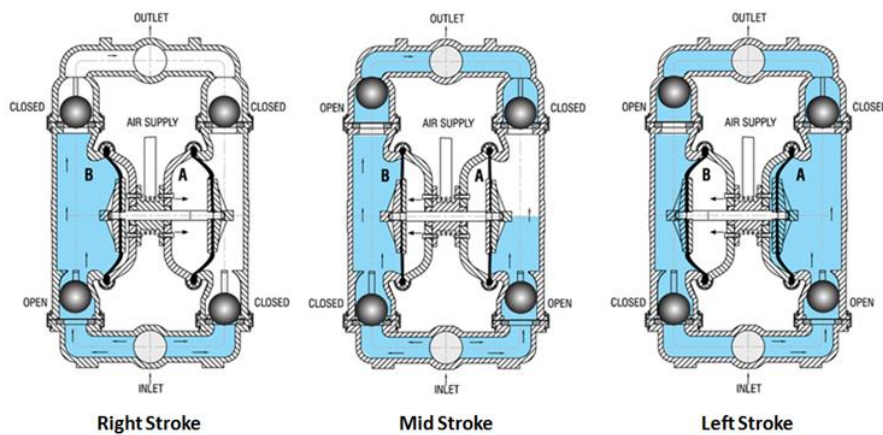
- (1) ปั๊มหอยโข่ง (รูปที่ 4) จัดเป็นปั๊มประเภทปั๊มกลุ่มแรงเหวี่ยงหรือปั๊มเซนตริฟูกอล (centrifugal) ปั๊มชนิดนี้ใช้ในการขนส่งของเหลวโดยการแปลงพลังงานจลน์ของการหมุน (kinetic energy) เป็นพลังงานทางอุทกพลศาสตร์ (hydrodynamic energy) พลังงานหมุนส่วนใหญ่มาจากมอเตอร์ไฟฟ้า หรือเครื่องยนต์ โดยของเหลวจะถูกส่งผ่านเข้าไปในใบพัด พลังงานการหมุนถูกนำไปเพิ่มพลังงานให้กับของเหลวอย่างต่อเนื่อง เกิดการเคลื่อนที่ผ่านช่องระหว่างครีบของใบพัด จะเกิดการผลัดดันให้เกิดการไหลออกไปในแนวรัศมี ความเร็วจากการไหลที่ออกไปจากใบพัด จะถูกแปลงเป็นพลังงานความดัน (pressure energy)



รูปที่ 4 ปัมเซนตริฟูกอลแบบหอยโข่งและทิศทางการไหลของของเหลวในปัม

สำหรับปัมเซนตริฟูกอลแบบหอยโข่งเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง คือ ของเหลวที่ไหลเข้ามาสู่ศูนย์กลางของใบพัดที่ทิศทางขนานกับแกนของเพลลาแล้วไหลออกทำมุม 90 องศา กับทิศทางที่ไหลเข้า ดังแสดงในรูปที่ 4 ช่องทางเดินของของเหลวจากลิ้นของเรือนปัมมีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้นตามความยาวของเส้นรอบวงในทิศทางการหมุนของใบพัด

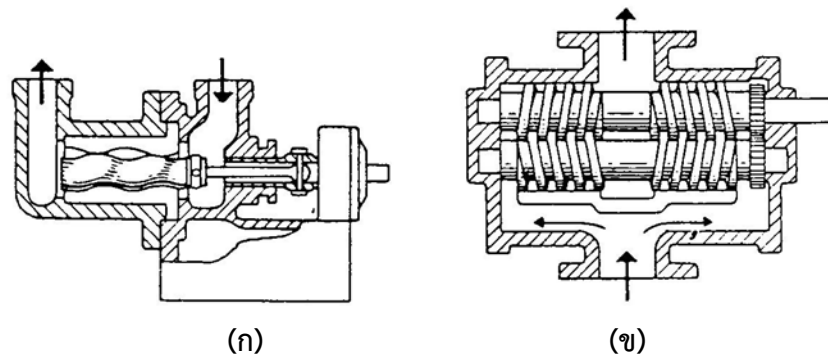
- (2) ปัมไดอะแฟรม จัดเป็นปัมประเภทสูบชัก (reciprocating pump) ทำงานโดยใช้การเคลื่อนที่ของลูกสูบทำให้ภายในห้องสูบมีแรงดันต่ำกว่าบรรยากาศภายนอก เกิดแรงดูดทำให้ความดันบรรยากาศภายนอกผลักดันของเหลวขึ้นผ่านเช็ควาล์วเข้ามาในห้องสูบ และเกิดการผลักออกไปจากปัมที่ความดันสูงกว่า สำหรับปัมสูบชักแบบไดอะแฟรมจะเพิ่มพลังงานให้กับของเหลวโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบ ปัมไดอะแฟรมมีลักษณะการทำงานแบบดูด-อัดเป็นสโตรกดังแสดงในรูปที่ 5 ปัมไดอะแฟรมจะใช้พลังงานลมเป็นต้นกำลังขับเคลื่อน



รูปที่ 5 หลักการทำงานพื้นฐานของปัมแบบไดอะแฟรม

แผ่นไดอะแฟรมให้เกิดการเคลื่อนที่ซ้าย-ขวาเพื่อเพิ่มอัตราการไหลของของเหลว ซึ่งอาศัยสมบัติของอากาศที่สามารถยุบและขยายตัวได้ แผ่นไดอะแฟรมที่ใช้งานโดยทั่วไปจะเป็นชนิดที่ทนการกัดกร่อนจากสารเคมี นิยมใช้สำหรับดูดของเหลวที่มีความหนืด เช่น น้ำมันหรือสารเคมี ซึ่งเป็นข้อดีของปั๊มชนิดนี้ ปั๊มไดอะแฟรมจำเป็นต้องมีปั๊มลมช่วยในการทำงาน ซึ่งความดันลมจะเป็นตัวควบคุมปริมาณการไหลด้วยเช่นกัน

- (3) ปั๊มสกรู จัดเป็นปั๊มประเภทโรตารี (rotary pump) หลักการทำงาน คือ ของเหลวถูกดูดเข้าและอัดปล่อยออกโดยการหมุนรอบจุดศูนย์กลางของเครื่องมือกล ซึ่งมีช่องว่างให้ของเหลวไหลเข้าทางด้านดูดและเก็บอยู่ระหว่างผนังของห้องสูบกับด้านข้างที่หมุนหรือโรเตอร์ (rotor) จนกว่าจะถึงด้านจ่าย การหมุนของโรเตอร์จะก่อให้เกิดการแทนที่เพื่อเพิ่มปริมาตรของของเหลว (positive displacement) ให้ทางด้านจ่าย สำหรับปั๊มโรตารีแบบสกรู (รูปที่ 6) จะเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยโรเตอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นสว่านที่หมุนเพื่อขับเคลื่อนให้ของเหลวเคลื่อนที่ไประหว่างร่องเกลียวสว่านกับผนังห้องสูบจากทางดูดไปสู่ทางจ่าย จำนวนสว่านหรือโรเตอร์อาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งถึงสามตัว



รูปที่ 6 ปั๊มโรตารีแบบสว่าน (screw pump) (ก) แบบสว่านเดี่ยว (single-screw) และ (ข) แบบสองสว่าน (two-screw)

2.1.4 ทฤษฎีการจับก้อนยาง

ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางในน้ำยางข้น (Afreen และคณะ, 2013 และ กุลทิวา, 1996)

- การกวน ความเร็วรอบของการกวนน้ำยางข้นในถังเก็บควรใช้ความเร็วรอบต่ำในช่วง 20 – 40 รอบ/นาที ถ้าใช้ความเร็วรอบมากเกินไปจะก่อให้เกิดแรงเสียดทาน แรงเฉือน (shear force) และการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent) ซึ่งจะทำให้ น้ำยางข้นมีเสถียรภาพที่ลดลงจนทำให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางได้
- การเลือกใช้ปั๊ม เนื่องจากในการผลิตน้ำยางข้นหรือการใช้น้ำยางข้นเพื่อทำผลิตภัณฑ์ต้องมีการขนถ่ายน้ำยางข้นในปริมาณมากผ่านการใช้ปั๊ม แต่ว่าการใช้ปั๊มส่งผลทำให้บริเวณของน้ำยางที่ติดกับปั๊มมีแรงเฉือนสูง ก่อให้เกิดก้อนยางที่ตำแหน่งนี้ได้ นอกจากนี้ น้ำยางข้นที่มีก้อนยางปนเปื้อนอาจก่อให้เกิดการอุดตันในระบบการขนส่งน้ำยางข้น ดังนั้นควรเลือกใช้ปั๊มที่ไม่พ่นอากาศปริมาณมากเข้าสู่ น้ำยางข้น โดยปั๊มที่สามารถใช้ในการขนส่งน้ำยางมักเป็นชนิดเซนตริฟิวกัล สกรูเดี่ยว หรือไดอะแฟรม
- การปนเปื้อนทองแดงและแมกนีเซียม ผลของสารทั้งสองนี้รุนแรงมาก เนื่องจากทองแดง ก่อให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์เอมีน (copper amine complex) ทำให้ยางเกิดการตกตะกอน และไม่สามารถนำไปทำน้ำยางข้นได้ ขณะที่แมกนีเซียมสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำตาลในน้ำยางข้นและก่อให้เกิดกรดซึ่งจะทำให้กรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid, VFA) มีค่าสูง ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้สัมผัสกับน้ำยางจะต้องไม่มีส่วนประกอบที่ทำจากโลหะทั้งสองชนิดนี้
- การเติมแอมโมเนีย หากปริมาณแอมโมเนียอยู่ในระดับต่ำ อาจส่งผลให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางได้
- กระบวนการปั่นเหวี่ยง เวลาที่ใช้สำหรับการปั่นเหวี่ยงที่นานกว่า 3 ชั่วโมง อาจส่งผลให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางได้ ซึ่งเวลาที่เหมาะสมสำหรับการปั่นเหวี่ยงได้แก่ การเร่งความเร็วของจานปั่นภายใน 10 นาที ทำการปั่นเหวี่ยงนาน 2.50 ชั่วโมง หลังจากนั้นรอให้จานปั่นหยุดหมุนพร้อมลดอุณหภูมิของมอเตอร์เป็นเวลา 20 นาที
- สภาพอากาศความเย็น ปกติความเย็นจะไม่มีผลต่อเสถียรภาพของน้ำยางจนกระทั่งถึงจุดเยือกแข็งของน้ำ เช่น ในอากาศเย็นมากๆ อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียสจะทำให้ น้ำจับตัว

เป็นน้ำแข็ง แยกตัวออกจากอนุภาคของยาง ทำให้อนุภาคของยางถูกผลักให้รวมตัวกระจาย อยู่ในปริมาณของน้ำน้อยลง ทำให้อนุภาคยางมีโอกาสมากระทบกันได้มากขึ้น ส่งผลให้ยาง รวมตัวเป็นก้อนได้ ความร้อนทำให้อนุภาคของน้ำยางชั้นสูงขึ้น ซึ่งอนุภาคของน้ำยางชั้นที่ สูงขึ้นไม่เป็นผลต่อเสถียรภาพของน้ำยางชั้น จนกระทั่งถึงจุดเดือดของน้ำซึ่งทำให้น้ำระเหยไป เป็นการเพิ่มโอกาสให้อนุภาคยางมีโอกาสจับก้อนกัน

- การกระทบกันทางกลในระหว่างการขนส่งสามารถทำให้เกิดการกระทบกันของอนุภาคยางได้ เมื่อกระทบกันบ่อยเข้าจะทำให้อนุภาคยางมีแรงในการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ยางรวมกัน เป็นอนุภาคใหญ่ขึ้นและจับก้อนกันบางส่วน จนทำให้น้ำยางเกิดการเสถียรภาพขึ้น
- อิทธิพลของกระแสไฟฟ้าหรือประจุจากขั้วไฟฟ้า เนื่องจากอนุภาคของยางมีประจุลบถ้าเอา ขั้วบวกใส่เข้าไปในน้ำยาง อนุภาคยางจะวิ่งเข้าหาขั้วบวก ถ่ายประจุให้แล้วตัวเองเป็นกลางทำ ให้เกิดการรวมกันของอนุภาคยางได้
- สารเคมีประเภทกรด กรดแก่ ได้แก่ สารใดๆ ที่แตกตัวให้อนุมูลไฮโดรเจน ซึ่งอนุมูลนี้จะทำให้ ปฏิกริยากับอนุมูลคาร์บอกซิเลต (carboxylate) ที่อยู่รอบๆ อนุภาคยางทำให้เกิดเป็นกรด ไขมันซึ่งไม่ละลายน้ำและทำให้ชั้นของอนุมูลประจุลบที่อยู่รอบๆ อนุภาคยางเบาบางลง เกิด การจับก้อนของอนุภาคยางอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้อนุมูลโลหะก็จะทำให้ยางที่มีประจุลบเสถียร ภาย เสถียรภาพ เนื่องจากอนุมูลโลหะกับอนุมูลคาร์บอกซิเลตทำปฏิกริยากันเกิดเป็นสบู่ของโลหะ หนัก (metallic soaps) ไม่ละลายน้ำ

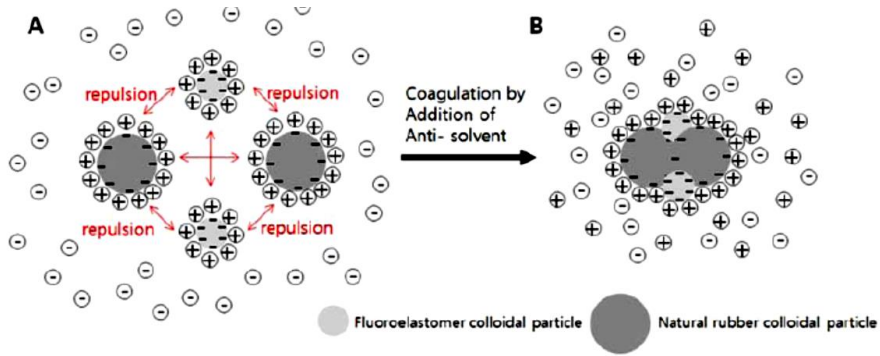
2.2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

น้ำยางธรรมชาติได้มาจากต้นยางพารา ประกอบด้วยอนุภาคของยางประมาณ 30 – 45% โดยปริมาตร และมีลูตอยด์ (lutoids) 10 – 20% โดยปริมาตร ทั้งสองส่วนนี้แขวนลอยในวุ้นภาคน้ำหรือเรียกว่าซีรัม (serum) ซึ่งมีสารประกอบทางชีวเคมีมากมาย เช่น แร่ธาตุ คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ และโปรตีน อนุภาคยาง ประกอบด้วยซิส-1,4-ไอโซพรีน (*cis*-1,4-polyisoprene) เป็นส่วนแกน (core) ล้อมรอบด้วยเมมเบรนที่ทำจาก ฟอสโฟลิปิด (phospholipids) และโปรตีน ซึ่งเมมเบรนนี้มีความหนาประมาณ 10 – 20 นาโนเมตร Ho และ Ng (1979) ตรวจอนุภาคยางที่มีขนาดราว 500 นาโนเมตร – 5 ไมครอน มีค่า electrophoretic mobility เป็นลบ เนื่องจากกรดไขมันสายโซ่ยาว (long chain fatty acid) ในน้ำเกลือ pH 7.2 และมีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้นเมื่อ pH น้อยกว่า 5 และมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ 0.21% หลังจับก้อนด้วยกรด เสถียรภาพของน้ำยางธรรมชาติจึง

ขึ้นอยู่กับอิมัลซิไฟเออร์ธรรมชาติโดยเฉพาะกรดไขมันสายโซ่ยาว ซึ่งทำให้เกิดประจุลบถึง 86% หลังจากที่ถูกกระตุ้น ภายหลังจะเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีมากมายในน้ำยางธรรมชาติ ส่งผลทำให้เกิดการตกตะกอน (coagulation) ได้ โดยธรรมชาติแล้วการตกตะกอนหรือการจับก้อนยางนั้นมักเกิดในถ้วยที่รองรับน้ำยางอันเนื่องมาจากผลของ แบนด์ที่เรียที่ทำให้เกิดภาวะความเป็นกรดขึ้น หรือในบางครั้งอาจเกิดการจากการเติมกรดลงไปให้น้ำยาง ขั้นตอน การเกิดการจับก้อนของเนื้อยางนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้ อนุภาคยางเริ่มจับตัวกันกลายเป็นคลัสเตอร์ (cluster) เมื่อคลัสเตอร์มีการขยายขนาดขึ้น ทำให้อัตราส่วนโดยปริมาตรยังผล (effective volume fraction) มีค่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเข้าใกล้สู่สถานะการเกิดเจล (gel point) เมื่อคลัสเตอร์นี้ขยายตัวต่อไปเรื่อยๆ จะส่งผลทำให้เกิดการ ตกตะกอนได้ การตกตะกอนหรือการจับก้อนยางสามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการเติมแอมโมเนียเพื่อทำให้ค่า pH ของ น้ำยางมีค่ามากกว่า 10 ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สำหรับการทำน้ำยางข้น โดยการที่น้ำยางมีภาวะความเป็นเบสสูงจะทำให้ เกิดการไฮโดรไลซิสของฟอสโฟลิปิดและโปรตีนซึ่งทำให้อนุภาคยางมีความเสถียร นอกจากนี้ในบางกรณียังมีการ เติมนสารเพิ่มความเสถียร (stabilizer) เพื่อทำให้เกิดแรงผลักกันระหว่างอนุภาคที่เหมาะสม (Reis และคณะ, 2015) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ใช้เทคนิคการปั่นเหวี่ยงเพื่อใช้ในการเตรียมน้ำยางข้นจำเป็นต้องใส่สารเพิ่มความเสถียร หรือสารลดแรงตึงผิว (surfactant) เพื่อรักษาเสถียรภาพของอนุภาคยางขณะปั่นเหวี่ยงด้วย (Singh และคณะ, 2014)

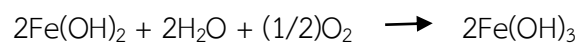
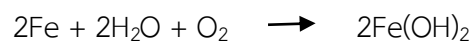
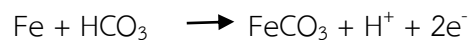
Force และ Martijevic (1968) ศึกษา Electrolytic Coagulation ด้วยประจุบวกของสารอิเล็กโทรไลต์ ชนิดต่างๆ ได้แก่ NaNO_3 , KNO_3 , CsCl , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, BaCl_2 , $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ และ $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ กับ SBR latex โดยการหาค่า critical coagulation concentration (CCC) initial rate of coagulation และ coagulation time (โดยควบคุม pH และตรวจเช็ค electromobility ของอนุภาคยางด้วยเครื่อง electrophoresis) จากการวัด light scattering ของน้ำยางที่เติม electrolyte ความเข้มข้นต่างๆและพบว่า ประจุที่มีขนาดอะตอมใหญ่หรือขั้วสูงจะมีค่า CCC ต่ำกว่า เมื่อใช้เวลาเท่ากันและไม่ขึ้นกับปริมาณ latex อัตราการ จับก้อนเพิ่มขึ้นตามปริมาณประจุบวก

Lee และคณะ (2012) นำเสนอการผสมอนุภาคยางธรรมชาติกับอนุภาคยางฟลูออโรในลาเท็กซ์โดยการ ทำ stabilization-destabilization ของคอลลอยด์ โดยเติมตัวทำละลายแอสีโตน (acetone) ที่มีประจุตรงกันกับ stabilizer ของอนุภาคยางทั้งสอง (ในที่นี้มีประจุบวก) ทำให้เกิดการเสียเสถียรภาพ เป็นผลให้ยางทั้งสองจับก้อน เข้าหากัน (ดู Scheme I)



Scheme I. Schematic of (A) stabilized colloid drops due to the electrostatic repulsion and (B) destabilized colloid system by the anti-solvent, which neutralize the surface charges of drops to render flocculation.

Veawab และคณะ (1999) รายงานว่าเหล็กที่สัมผัสกับน้ำต่างเอมีนในหอกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการสึกกร่อนเนื่องจากกรดไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และการสึกกร่อนเกิดการปล่อยกรด H^+ พร้อมกับการตกตะกอนสีขาวของ FeCO_3 ซึ่งจะรบกวนเสถียรภาพ ทำให้น้ำยางจับก้อนได้ เช่นเดียวกันในภาวะที่เหล็กสัมผัสน้ำและอากาศ กลไกเกิดสนิมแบบเคมีไฟฟ้า (รูป 1) ก็จะทำให้ประจุบวกของเหล็ก และอิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นก็จะทำปฏิกิริยากับน้ำให้ประจุไฮดรอกซิลที่เมื่อจับกับเหล็กเป็น Fe(OH)_3 ก็อาจทำหน้าที่เป็น flocculant ทำให้ตกตะกอนยางออกมา



น้ำยางหรือลาเท็กซ์ของยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ที่ได้มาจากระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน (emulsion polymerization) จำเป็นต้องมีการรักษาเสถียรภาพของน้ำยางไม่ให้จับตัวกันเป็นก้อนก่อนถึงเวลาที่ต้องการโดยการใส่สารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวที่ใช้กับน้ำยางสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สารลดแรงตึงผิวแบบมีประจุ (ionic surfactant) เช่น โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulfate, SDS) แอมโมเนียมโดเดคซิลซัลเฟต (ammonium dodecyl sulfate, ALS) โพแทสเซียมลอริลซัลเฟต (potassium lauryl sulfate, PLS) โซเดียมออกทิลซัลเฟต (sodium octyl sulfate, SOS) เป็นต้น และแบบไม่มีประจุ (non-ionic surfactant) เช่น พอลิแอลกอฮอล์ (polyols) พอลิเอทิลีนไกลคอลโดเดซิลอีเทอร์ (polyethylene glycol dodecyl ether, Brij® 30) โนนิลฟีนอลพอลิเอทิลีนไกลคอลอีเทอร์ (nonylphenol polyethylene

glycol ether, Tergitol® NP-9) ซอร์บิแทน โมโนปาล์มิเตท (Sorbitan monopalmitate, Span® 40) เป็นต้น โดยปรากฏการณ์การจับก้อนของเนื้อยางนั้นขึ้นกับประเภทและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ สารลดแรงตึงผิวแบบมีประจุจะทำให้อนุภาคมีเสถียรภาพผ่านการผลักกันทางไฟฟ้า (electrostatic repulsion) ขณะที่สารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุจะทำให้อนุภาคยางเสถียรผ่านกลไกความเกะกะของโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว (Immanuel และคณะ, 2003)

Feiz, Navarchian (2012) ศึกษาการสร้างแบบจำลองผลของสารลดแรงตึงผิวแบบมีประจุลบ (anionic surfactant) ผสมกับแบบไม่มีประจุต่อการตกตะกอนสำหรับกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันของสไตรีน พบว่าการเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุทำให้จำนวนอนุภาคของพอลิเมอร์ลดลงอันเนื่องมาจากการตกตะกอน และยังทำให้มีค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้างกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวแบบมีประจุลบ

Chen และ Wu (2014) ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวแบบประจุลบชนิดต่างๆ ต่อเสถียรภาพของอนุภาคพอลิเมอร์ในการสังเคราะห์ลาเท็กซ์ของฟลูออรีเนตอะคริเลต (fluorinated acrylate) ได้แก่ sodium dodecyl benzene sulfonate (SDBS) perfluorooctanesulfonic acid potassium (PFOSAP) และ sodium 2-hydroxy-3-(methacryloyloxy)prop-ane-1-sulfonate, HMPAS) พบว่าเมื่อนำสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ใส่ลงในลาเท็กซ์ของฟลูออรีเนตอะคริเลตที่มีสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ผสมอยู่ ลาเท็กซ์ของฟลูออรีเนตอะคริเลตที่มี HMPAS เป็นสารลดแรงตึงผิวจะยังไม่เกิดการตกตะกอนแม้ว่าจะใส่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ลงไปถึง 1.5%

จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีเพียงแค่ผลของสารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคของยางสังเคราะห์เท่านั้น แต่ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับน้ำยางธรรมชาติตลอดจนผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำยางชั้นและสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่ได้มาจากการใช้น้ำยางชั้นที่มีสารลดแรงตึงผิวต่างชนิดกันยังไม่ได้มีการรายงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการเพิ่มเสถียรภาพให้กับน้ำยางชั้นโดยการใช้สารลดแรงตึงผิว โดยจะศึกษาผลกระทบในด้านเสถียรภาพของอนุภาคยางผ่านการวัดค่าเสถียรภาพเชิงกล การเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าซึ่งใช้ในการวัดศักย์ซีต้า ขนาดอนุภาคน้ำยาง และเสถียรภาพเชิงอิเล็กโทรไลต์ โดยใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ นอกจากนี้ยังจะศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่เตรียมได้จากน้ำยางชั้นอีกด้วย

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้แบ่งวิธีดำเนินการวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

3.1 การสำรวจโรงงานผลิตน้ำยางชั้นเพื่อหาสาเหตุการจับก้อนยาง

การสำรวจโรงงานผลิตน้ำยางชั้นเพื่อหาสาเหตุการจับก้อนยาง กระทำโดยผ่านการสัมภาษณ์และเก็บข้อมูลที่โรงงานอุตสาหกรรมผู้ผลิตน้ำยางชั้นที่เข้าร่วมจำนวน 6 โรงงานในเขต จ. ตรัง จำนวน 2 โรงงาน และ จ. สงขลา จำนวน 4 โรงงาน โดยในแบบสอบถามจะประกอบด้วยหัวข้อที่ใช้ในการสอบถามดังต่อไปนี้

- กระบวนการผลิต และกระบวนการขนถ่ายน้ำยางชั้น
- ภาวะที่ใช้ในการจัดเก็บน้ำยางชั้น เช่น ระยะเวลาในการจัดเก็บน้ำยางชั้นก่อนนำไปขายหรือนำไปผลิตสินค้า และอุณหภูมิจัดเก็บ
- วิธีการล้างถังเก็บ ถังเก็บสำหรับการขนส่ง และอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น
- วิธีการหรือการประกันคุณภาพในด้านการรับน้ำยาง การเก็บรักษาน้ำยาง ลักษณะและวิธีการล้างถังจัดเก็บ และการบำรุงรักษาถังจัดเก็บและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นหรือการใช้น้ำยางชั้น
- ความถี่และบริเวณที่เกิดการจับก้อนของน้ำยาง ปริมาณและลักษณะของก้อนยางที่ได้
- สมบัติของน้ำยางชั้นภายหลังเกิดการจับก้อนตามมาตรฐานน้ำยางชั้น

3.2 การศึกษาการจำลองการจับก้อนของเนื้อยางอันเนื่องมาจากค่า pH และประจุของเหล็ก แคลเซียม และแมกนีเซียม

(สถานที่เก็บข้อมูล: วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

3.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- น้ำยางชั้น (Dry rubber content 60.15%, total solid content 61.83 %, ammonium content on water phase 1.83%,) จากบริษัท Thai Rubber Latex Group
- Fe^{2+} จาก Iron (II) Chloride Tetrahydrate ($FeCl_2 \cdot 4H_2O$) จากบริษัท Sigma-Aldrich

- Ca^{2+} จาก Calcium Chloride (CaCl_2) จากบริษัท Sigma-Aldrich
- Mg^{2+} จาก Magnesium Chloride ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) จากบริษัท Ajax Finechem Pty., Ltd.
- น้ำปราศจากไอออน (DI water)

3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- เครื่องวัด electrophoretic mobility (ZetaMeter 3.0)
- เครื่องทดสอบการตกตะกอน (Wizard Jar Tester, model plus 6) รุ่น Plus 6 ยี่ห้อ Wizard โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2035
- Standard Testing Sieve ขนาด 140 mesh เพื่อทดสอบปริมาณยางจับเป็นก้อน (Coagulum content) โดยทดสอบตามมาตรฐาน ISO 706
- เครื่องวัดความขุ่น (Turbidity meter) รุ่น TN-100 waterproof ยี่ห้อ Thermo Scientific โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D6855-03
- pH/mV/Conductivity/TDS/Salt/Temp Tester ยี่ห้อ AMTAST โดยทดสอบตามมาตรฐาน ISO 976
- เครื่องวัดปริมาณ Ammonia High Range รุ่น HI 733 ยี่ห้อ Hanna instruments โดยทดสอบตามมาตรฐาน ISO 125
- เครื่องวัดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) รุ่น HI 721 ยี่ห้อ Hanna instruments โดยทดสอบตามมาตรฐาน ISO 125

3.2.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.2.3.1 การศึกษา electrophoretic mobility ของน้ำยางชั้น

- เจือจางน้ำยางชั้นในน้ำปราศจากไอออนโดยใช้อัตราส่วนอัตราส่วนน้ำยางชั้น/น้ำปราศจากไอออนเท่ากับ 1/1,000
- ปรับค่าความเป็นกรดของสารละลายโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.1 mM และปรับค่าความเป็นเบส โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 mM ให้ได้สารละลายที่มีค่า pH อยู่ระหว่าง 2 ถึง 10
- วัดค่า electrophoretic mobility ของเม็ดยางที่สัมพันธ์กับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำยาง

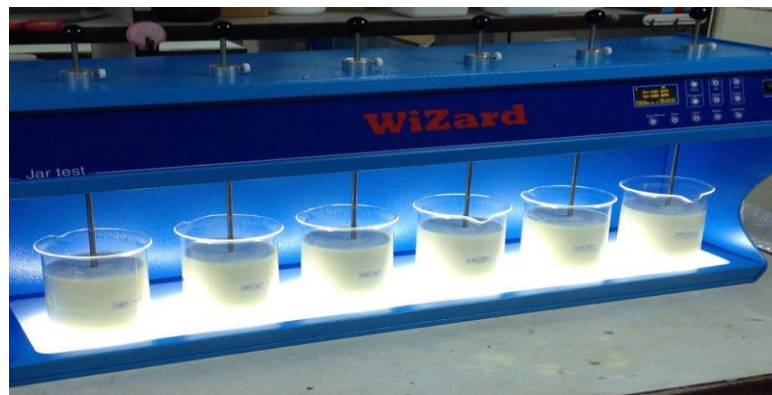
3.2.3.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ที่ระยะเวลาต่างๆ

- นำน้ำยางชั้น 200 กรัมใส่ในภาชนะ
- นำภาชนะที่มีน้ำยางชั้นมาใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (shaker bath) ที่ 40 องศาเซลเซียส เพื่อให้แอมโมเนียระเหย และวัดค่าความเป็นกรดต่าง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.2.3.3 การศึกษาการจับก้อนของเนื้อยางด้วยสารละลายเหล็ก (Fe^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และแคลเซียม (Ca^{2+})

ตอนที่ 1 ผลของความเข้มข้นของ stock solution ต่อการจับก้อนยาง

- เตรียมสารละลาย Mg^{2+} และ Ca^{2+} ที่ความเข้มข้น 1,000 5,000 และ 10,000 ppm
- นำน้ำยางชั้นปริมาณ 500 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วปั่นกวนด้วยเครื่องทดสอบการตกตะกอน (Jar tester) เติมสารละลาย Mg^{2+} และ Ca^{2+} ใน ปริมาณ 50, 100, 150, 200, 250 และ 300 ppm จาก stock solution ที่ความเข้มข้น 10,000 ppm โดยใช้หลอดหยด จากนั้นปั่นกวนที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) โดยใช้ความเร็วรอบในการปั่น 100 รอบ/นาที โดยควบคุมให้เกิดการปั่นกวนแบบสม่ำเสมอ (laminar flow) ดังแสดงในรูปที่ 7 เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 7 การทดสอบการปั่นกวนโดยใช้เครื่อง Jar tester

- นำน้ำยางข้นปริมาณ 500 กรัม ทำการปั่นกวนด้วยเครื่อง Jar tester ทำการเติมสารละลายละลาย Mg^{2+} และ Ca^{2+} ในปริมาณ 50 ppm จาก stock solution ที่ความเข้มข้น 1,000 5,000 และ 10,000 ppm ทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) โดยใช้ความเร็วรอบในการปั่น 100 รอบ/นาที โดยควบคุมให้เกิดการปั่นกวนแบบสม่ำเสมอเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง
- นำน้ำยางที่ผ่านการปั่นกวนแล้วมาทดสอบเพื่อหาค่า pH ค่าความขุ่น (turbidity) โดยทำการเจือจางในอัตราส่วนน้ำยาง/น้ำปราศจากไอออน เท่ากับ 1/ 5,000 และการจับก้อนของเนื้อยางโดยกรองผ่านตะแกรง (standard testing sieve ขนาด 140 mesh) และหาปริมาณการจับก้อน โดยนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในตู้อบลมร้อนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง
- ศึกษาความเข้มข้นของ stock solution ที่เหมาะสม เพื่อใช้ในกระบวนการทดสอบในลำดับต่อไป

ตอนที่ 2 การศึกษาการเริ่มจับก้อนของเนื้อยางที่ความเข้มข้นของสารละลายไอออนต่างๆ

- นำน้ำยางข้นปริมาณ 500 กรัมมาปั่นกวนด้วยเครื่อง Jar tester และเติมสารละลายละลาย Fe^{2+} Mg^{2+} และ Ca^{2+} ในปริมาณ 50 100 150 200 250 และ 300 ppm จาก stock solution ที่ความเข้มข้นที่ได้จากการศึกษาในตอนที 1 โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) โดยใช้ความเร็วรอบในการปั่น 100 รอบ/นาที โดยควบคุมให้เกิดการปั่นกวนแบบสม่ำเสมอ (laminar flow) เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง
- นำมาทดสอบเพื่อหาค่า pH, ค่าความขุ่น โดยทำการเจือจางในอัตราส่วนน้ำยาง/น้ำปราศจากไอออน เท่ากับ 1/ 5,000 และการจับก้อนของเนื้อยางโดยกรองผ่านตะแกรงขนาด 140 mesh และหาปริมาณการจับก้อน โดยนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในตู้อบลมร้อนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง
- ศึกษาหาความเข้มข้นเริ่มต้นที่เกิดการจับก้อนของเนื้อยาง เพื่อใช้ในการทดสอบลำดับต่อไป

ตอนที่ 3 การศึกษาการเริ่มจับก้อนของเนื้อเยื่อที่เวลาต่างๆ

- นำน้ำยางชั้นปริมาณ 500 กรัมมาปั่นกวนด้วยเครื่อง Jar tester และเติมสารละลาย Fe^{2+} Mg^{2+} และ Ca^{2+} ในปริมาณเริ่มต้นในการจับก้อนของเนื้อเยื่อที่ได้จากการศึกษาในตอนที 2 ทำการทดสอบเป็นระยะเวลา 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) โดยใช้ความเร็วรอบในการปั่น 100 รอบ/นาที โดยควบคุมให้เกิดการปั่นกวนแบบสม่ำเสมอ
- นำมาทดสอบเพื่อหาค่า pH ค่าความขุ่น และปริมาณโดยทำการเจือจางในอัตราส่วนน้ำยาง/น้ำปราศจากไอออน เท่ากับ 1/ 5,000 และการจับก้อนของเนื้อเยื่อโดยกรองผ่านตะแกรงขนาด 140 mesh หาปริมาณการจับก้อน โดยนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง
- ศึกษาหาเวลาเริ่มต้นที่เกิดการจับก้อนของเนื้อเยื่อ

ตอนที่ 4 การศึกษาการเริ่มจับก้อนของเนื้อเยื่อที่อุณหภูมิต่างๆ

- นำน้ำยางชั้นปริมาณ 500 กรัมมาปั่นกวนด้วยเครื่อง Jar tester และเติมสารละลาย Fe^{2+} Mg^{2+} และ Ca^{2+} ในปริมาณและเวลาเริ่มต้นในการจับก้อนของเนื้อเยื่อที่ได้จากการศึกษาในตอนที 1 และ 2 โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) 40 และ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วรอบในการปั่น 100 รอบ/นาที โดยควบคุมให้เกิดการปั่นกวนแบบสม่ำเสมอ
- นำมาทดสอบเพื่อหาค่า pH ค่าความขุ่น และปริมาณแอมโมเนีย โดยทำการเจือจางในอัตราส่วนน้ำยาง/น้ำปราศจากไอออน เท่ากับ 1/ 5,000 และการจับก้อนของเนื้อเยื่อโดยกรองผ่านตะแกรงขนาด 140 mesh หาปริมาณการจับก้อน โดยนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และยืนยันการจับก้อนของเนื้อเยื่อโดยการหล่อฟิล์ม (cast film) น้ำยางชั้นที่ผ่านกระบวนการทดสอบแล้วปริมาณ 10 มิลลิลิตร ในจานเพาะเชื้อและทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง

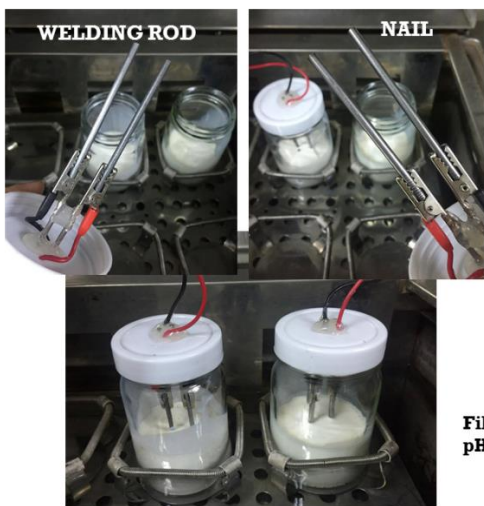
3.2.3.4 การศึกษาการจับก้อนของเนื้อเยื่อด้วยสนิมเหล็ก

ตอนที่ 1 การศึกษาการจับก้อนเนื่องจากขั้วเหล็กในชุดอุปกรณ์ electrochemical cell

- กรองน้ำยางชั้นผ่านตะแกรงก่อนเริ่มการทดลอง
- ใช้ตะปู (แทนเหล็กของตัวถังน้ำยาง) และลวดเชื่อม (แทนเหล็กบริเวณที่มีการเชื่อมถึงเหล็ก) เป็นขั้วอิเล็กโทรด ดังรูปที่ 8
- เริ่มการทดลองโดยใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลต์ต่อเข้ากับอุปกรณ์
- ปลอ่ยให้ปฏิกิริยาเกิดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- กรองน้ำยางหลังครบเวลา 2 ชั่วโมง และวัดค่า pH ของน้ำยาง เพื่อสังเกตปริมาณและขนาดของตะกอนยางที่เกิดขึ้น
- ทำการทดลองต่อโดยเปลี่ยนขั้วเหล็กทุกๆ 2 ชั่วโมง

ตอนที่ 2 การศึกษาการเกิดสนิมบนเหล็ก

- เช็ดทำความสะอาดแท่งเหล็กก่อนการทดสอบ
- ทำเหล็กให้เกิดสนิมโดยการจุ่มในกรดไฮโดรคลอริก เหล็กสัมผัสไอกรด และเหล็กที่จุ่มในน้ำ
- วางแท่งเหล็กลงบนจานเพาะเชื้อ เพื่อให้ความชื้นบนเหล็กสัมผัสกับอากาศ
- หลังจากแห้ง แท่งเหล็กจะเกิดเป็นสนิมในแนวที่สัมผัสจานเพาะเชื้อ
- นำด้านอื่นๆ ที่ยังไม่เป็นสนิม จุ่มลงในน้ำ แล้ววางบนจานเพาะเชื้อต่อไป เพื่อให้เกิดสนิมรอบแท่งเหล็ก



Filtrate NR latex before setting experiment.
pH of NR latex = 10.88

รูปที่ 8 ชุดอุปกรณ์ electrochemical cell

ตอนที่ 3 การศึกษาการปริมาณสนิมในน้ำที่เกิดจากแท่งเหล็กสนิม

- ชั่งน้ำปราศจากไอออนจำนวน 500 กรัมใส่ในบีกเกอร์
- นำแท่งเหล็กสนิมที่เตรียมได้มาแช่น้ำที่เตรียมไว้ โดยใส่บีกเกอร์ละ 2 4 6 8 และ 10 แท่ง เป็นเวลา 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง
- เมื่อครบระยะเวลา นำแท่งเหล็กออกจากน้ำ แล้ววัดปริมาณ Fe^{2+} ที่เกิดขึ้น

ตอนที่ 4 การศึกษาการจับก้อนในน้ำยางชั้นที่เกิดจากแท่งเหล็กสนิมที่เวลาต่างๆ

- นำน้ำยางชั้นปริมาณ 500 กรัม ทำการปั่นกวนด้วยเครื่อง Jar tester โดยใส่แท่งเหล็กสนิมตามปริมาณที่ใช้ศึกษาหาความเข้มข้นเหล็กในน้ำที่ได้จากตอนที่ 1 ทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) โดยใช้ความเร็วรอบในการปั่น 100 รอบ/นาที โดยควบคุมให้เกิดการปั่นกวนแบบสม่ำเสมอ 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง
- นำมาทดสอบเพื่อหาค่า pH ค่าความขุ่น (Turbidity) โดยทำการเจือจางในอัตราส่วนน้ำยาง/น้ำปราศจากไอออน เท่ากับ 1/ 5,000 และการจับก้อนของเนื้อยางโดยกรองผ่านตะแกรงขนาด 140 mesh และหาปริมาณการจับก้อน โดยนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และยืนยันการจับก้อนของเนื้อยางโดยการหล่อฟิล์มจากน้ำยางชั้นที่ผ่านกระบวนการทดสอบ ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ในจานเพาะเชื้อ และทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง
- ศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นที่เกิดการจับก้อนของเนื้อยาง เพื่อใช้ในการทดสอบลำดับต่อไป

ตอนที่ 5 การศึกษาการจับก้อนของเนื้อยางที่อุณหภูมิต่างๆ

- นำน้ำยางชั้นปริมาณ 500 กรัม ทำการปั่นกวนด้วยเครื่อง Jar tester โดยใส่เหล็กสนิมในปริมาณและเวลาเริ่มต้นในการจับก้อนของเนื้อยางที่ได้จากการศึกษาในตอนที่ 4 โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) 40 และ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วรอบในการปั่น 100 รอบ/นาที โดยควบคุมให้เกิดการปั่นกวนแบบสม่ำเสมอ
- นำมาทดสอบเพื่อหาค่า pH, ค่าความขุ่น และปริมาณโดยทำการเจือจางในอัตราส่วนน้ำยาง/น้ำปราศจากไอออน เท่ากับ 1/ 5,000 และการจับก้อนของ

เนื้อยางโดยกรองผ่านตะแกรงขนาด 140 mesh และหาปริมาณการจับก้อน โดยนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และยืนยันการจับก้อนของเนื้อยางโดยการหล่อฟิล์มจากน้ำยางชั้นที่ผ่านกระบวนการทดสอบ ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ในจานเพาะเชื้อและทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง

3.3 การศึกษาผลของการใช้สารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคยางในน้ำยางชั้น และสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่ได้

(สถานที่เก็บข้อมูล: ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

3.3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- น้ำยางชั้น 60% (natural rubber latex 60%) สถาบันวิจัยยาง
- แอมโมเนียมลอเรต (ammonium laurate, AL) บริษัท นำรับเบอร์ แอนด์ ลาเท็กซ์ จำกัด
- โซเดียมลอริลซัลเฟต (sodium lauryl sulphate, SLS) บริษัทเคมีภัณฑ์ คอร์ปชั่น จำกัด (ประเทศไทย)
- พอลิเอทิลีนไกลคอลโดเดซิลอีเทอร์ (polyethylene glycol dodecyl ether, Brij30) บริษัท เดอะเรียลทรี (ไทยแลนด์)
- โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (sodium dodecyl benzene sulfonate, SDBS) Sigma-aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา
- พอลิเอทิลีนไกลคอล เติร์ท-ออกทิลเฟนิลอีเทอร์ (polyethylene glycol tert-octylphenyl ether, Triton X-100) Sigma-aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- เครื่องเขย่าสาร (shaker) ยี่ห้อ CTL รุ่น SK3
- เครื่องกวนสารแบบใบพัด (overhead stirrer) ยี่ห้อ IKA รุ่น RW-20 ประเทศเยอรมนี
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Memmert รุ่น WNB29 ประเทศเยอรมนี

- ตู้อบ (oven) ยี่ห้อ Binder รุ่น FD-115
ประเทศเยอรมนี
- เครื่องชั่งสาร ยี่ห้อ METTLER TOLEDO
ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.3.3.1 ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำยางข้น

เตรียมน้ำยางข้นที่มีสารลดแรงตึงผิวชนิดและปริมาณต่างๆ โดยนำน้ำยางข้นที่มีปริมาณแอมโมเนียสูงมาผสมกับสารลดแรงตึงผิวตามปริมาณที่ได้กำหนดไว้ แล้วกวนที่ความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที แล้วศึกษาผลของการใช้สารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำยางข้นดังรายละเอียดต่อไปนี้

- พารามิเตอร์ที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมน้ำยางข้น ได้แก่
 - 1) ชนิดของแรงตึงผิว
 - ชนิดไม่มีประจุ: Triton X-100 และ Brij30
 - ชนิดประจุลบ: AL SLS และ SDBS
 - 2) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว: 0.01– 1% โดยน้ำหนัก
- ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำยางข้น ได้แก่
 - เสถียรภาพของอนุภาคผ่านการวัดค่าเสถียรภาพเชิงกล (mechanical stability, MST) ตามมาตรฐาน ISO 35:2004
 - ยางจับก้อน (coagulum) ตามมาตรฐาน ISO 706:2004
 - ขนาดอนุภาคน้ำยาง ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (particle size analyzer)
 - เสถียรภาพเชิงอิเล็กโทรไลต์ (electrolytic stability) โดยใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์

3.3.3.2 ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติเชิงกลและความทนทานความร้อนของแผ่นฟิล์มยาง

นำน้ำยางชั้นที่มีแรงตึงผิวชนิดต่างๆ และปริมาณที่แตกต่างกันมาเติมสารเคมีเพื่อใช้ในการวัลคาไนซ์ โดยใช้สูตรการวัลคาไนซ์สำหรับการขึ้นรูปถุงมือยางทางการแพทย์ ขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มยางโดยการจุ่มพิมพ์มือในสารช่วยจับตัว (coagulant) แล้วจุ่มลงในน้ำยางที่เตรียมไว้ จากนั้นอบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำแผ่นฟิล์มยางที่ได้ไปทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง และความทนทานความร้อน โดยบ่มแรงขึ้นงานด้วยความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส (± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 168 ± 2 ชม. ตามมาตรฐาน มอก. 1056 – 2548 โดยสูตรการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจะใช้สูตรในการทำถุงมือยางทางการแพทย์ ดังแสดงในตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 สูตรในการทำถุงมือยางทางการแพทย์

น้ำยางและสารเคมี	ปริมาณ (กรัม)
60% น้ำยางชั้น	167
10% KOH	2
10% Teric A 16	0.2
50% Sulfur	1.6
50% ZDEC	0.8
50% ZMBT	0.8
50% Titanium dioxide	2
50% Wingstay-L	2
50% Zine Oxide	2
น้ำ	170.5

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

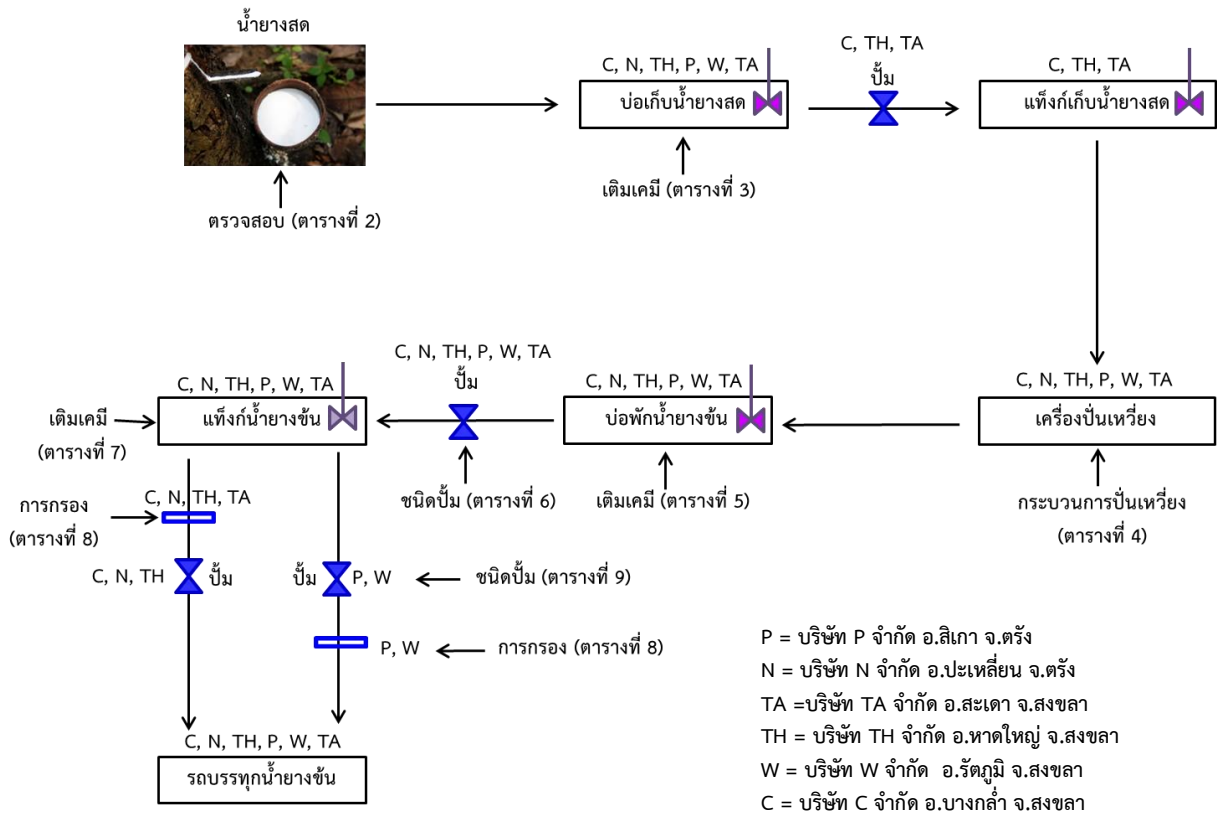
4.1 การสำรวจโรงงานผลิตน้ำยางชั้นเพื่อหาสาเหตุการจับก้อนยาง

4.1.1 ภาพรวมการสำรวจโรงงานผลิตน้ำยางชั้น

การเยี่ยมชมโรงงานผลิตน้ำยางชั้นทั้งหมด 6 แห่ง ได้แก่

- (1) บริษัท P จำกัด อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง
- (2) บริษัท TA จำกัด อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา
- (3) บริษัท TH จำกัด อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
- (4) บริษัท N จำกัด อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง
- (5) บริษัท W จำกัด อำเภอรัตนภูมิ จังหวัดสงขลา
- (6) บริษัท C จำกัด อำเภอบางกล่ำ จังหวัดสงขลา

แผนผังกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นของโรงงานที่ไปเยี่ยมชมสามารถสรุปได้ดังแสดงในผังรูปที่ 9 กระบวนการผลิตน้ำยางชั้นเริ่มต้นจากชาวสวนนำน้ำยางสดที่ถูกรักษาสภาพไม่ให้จับตัวด้วยการเติมแอมโมเนีย เตตระเมทิลไทยรัมไดซัลไฟด์ (tetramethylthiuramdisulfide, TMTD) และซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide, ZnO) มาส่งที่จุดรับซื้อน้ำยางสดหรือส่งโรงงานผลิตโดยตรง น้ำยางสดจะถูกถ่ายผ่านตะแกรงกรองลงสู่รางรับน้ำยางสด จากนั้นน้ำยางสดจะไหลจากรางรับน้ำยางสดลงสู่บ่อเก็บน้ำยางสด ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเกิดกลิ่นเหม็นของไอระเหยแอมโมเนีย เนื่องจากการฟุ้งกระจายของแอมโมเนียระหว่างการถ่ายน้ำยางสด



รูปที่ 9 แผนผังกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นโดยสรุปของทุกโรงงาน

ณ จุดรับซื้อน้ำยางสดจะมีการตรวจสอบสมบัติของน้ำยางสดดังต่อไปนี้ซึ่งแสดงในตารางที่ 3

- ปริมาณแอมโมเนีย
- ปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 26
- จำนวนกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA) ไม่เกิน 0.05-0.1
- ปริมาณแมกนีเซียม (magnesium, Mg)

พบว่าแต่ละโรงงานจะวัดค่าทั้ง 4 สมบัตินี้ ยกเว้นบริษัท TA จำกัด ที่จะวัดเพียงค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางสดเพียงอย่างเดียว ขณะที่บริษัท N จำกัด และ บริษัท W จำกัด ที่ไม่ได้ตรวจวัดปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสด

ตารางที่ 3 การตรวจสอบสมบัติของน้ำยางสดของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นต่างๆ

ชื่อโรงงาน	สมบัติ			
	Ammonia	DRC	VFA	Mg
1.บริษัท C จำกัด	✓	✓	✓	✓
2.บริษัท N จำกัด	✓	✓	✓	-
3.บริษัท TH จำกัด	✓	✓	✓	✓
4.บริษัท P จำกัด	✓	✓	✓	✓
5.บริษัท W จำกัด	✓	✓	✓	-
6.บริษัท TA จำกัด	-	✓	-	-

สำหรับบ่อเก็บน้ำยางสดจะต้องมีการปรับสภาพน้ำยางสดให้เหมาะสมต่อกระบวนการปั่นเหวี่ยง ด้วยการเติมสารเคมีดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 4)

- แอมโมเนีย ปริมาณ 0.03-0.45%
- TMTD/ZnO ปริมาณ 0.03-0.08%
- สาร DAP เพื่อลดปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสด ซึ่งการเติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (diammonium hydrogen phosphate, DAP) จะขึ้นอยู่กับปริมาณแมกนีเซียม ที่วัดได้สำหรับน้ำยางสดที่จะนำมาปั่นเหวี่ยง ควรมีปริมาณแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm
- แอมโมเนียมลอเรท (ammonium laurate, AL) ปริมาณ 0.01-0.04% เพื่อช่วยในกระบวนการผลิต

ตารางที่ 4 การเติมเคมีในบ่อเก็บน้ำยางสดของแต่ละโรงงานผลิตน้ำยางชั้น

ชื่อโรงงาน	สาร					
	TMTD/ZnO	AL	DAP	Ammonia	น้ำ	
					น้ำคลองน้ำฝน	น้ำ
1. บริษัท C จำกัด	√	√	√	√		√
2.บริษัท N จำกัด	√	-	√	√	√	-
3.บริษัท TH จำกัด	√	-	√	√	-	-
4.บริษัท P จำกัด	√	√	√	√	-	√
5.บริษัท W จำกัด	√	√	√	√	-	√
6.บริษัท TA จำกัด	√	-	√	-	-	-

ภายหลังผสมสารเคมีแล้วทำการกวนด้วยใบพัดที่ความเร็วรอบต่ำเป็นเวลา 0.5-1.0 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ 12-24 ชั่วโมง ก่อนเข้าสู่กระบวนการปั่นเหวี่ยง สำหรับโรงงานผลิตน้ำยางชั้นบางแห่งจะมีแท็งก์เก็บน้ำยางสด ได้แก่ บริษัท C จำกัด บริษัท TH จำกัด และ บริษัท TA จำกัด ซึ่งพบว่ามีการใช้ปั๊มแบบหอยโข่งในการสูบน้ำยางสดเข้าสู่แท็งก์เก็บ

ขั้นตอนถัดไป คือ กระบวนการปั่นเหวี่ยงเพื่อผลิตน้ำยางชั้น ซึ่งอาศัยหลักการ คือ น้ำยางเป็นคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยอนุภาคของยางแขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในเซรุ่ม และเนื่องจากอนุภาคยางเหล่านี้เบากว่าเซรุ่มจึงลอยตัวสู่ผิวหน้าน้ำยางและมีการเคลื่อนไหวแบบบราวเนียน (Brownian) ซึ่งอัตราการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก ดังนั้นการปั่นเหวี่ยงจะช่วยเพิ่มแรงดึงดูด และเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยาง ซึ่งช่วยแยกส่วนที่เป็นเนื้อยางออกจากส่วนเซรุ่ม (กรมควบคุมมลพิษ, 2005) ในการปั่นเหวี่ยงน้ำยางสดจะได้น้ำยาง 2 ส่วน คือ หางน้ำยาง และน้ำยางชั้น โดยน้ำยางชั้นจะมีเนื้อยางแห้งประมาณ 60% เครื่องปั่นเหวี่ยงมี 2 ขนาด ได้แก่ เครื่องปั่นเหวี่ยงขนาดเล็ก สามารถป้อนน้ำยางสดได้ประมาณ 200-250 ลิตร/ชั่วโมง และเครื่องปั่นเหวี่ยงขนาดใหญ่สามารถป้อนน้ำยางสดได้ 400-450 ลิตร/ชั่วโมง และใช้เวลาในการปั่นเหวี่ยง 2-4 ชั่วโมง รายละเอียดของการปั่นเหวี่ยงแสดงในตารางที่ 5 พบว่าอุณหภูมิของน้ำยางชั้นหลังออกจากเครื่องปั่นเหวี่ยงอยู่ในช่วง 33- 38 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 5 ภาวะที่ใช้ในกระบวนการปั่นเหวี่ยงของแต่ละโรงงานผลิตน้ำยางข้น

ชื่อโรงงาน	กระบวนการปั่นเหวี่ยง			
	เวลา (ชม.)	ปริมาณต่อรอบ	ความเร็วรอบ	อุณหภูมิน้ำยางข้น
1. บริษัท C จำกัด	2.50	250 กก./ชม.	7,050	33
2.บริษัท N จำกัด	3.00	400 ลิตรต่อชม.	7,000	38
3.บริษัท TH จำกัด	2.00	420 กก./ชม.	7,200	33
4.บริษัท P จำกัด	2.17	350 กก./ชม.	7,200	34
5.บริษัท W จำกัด	2.50	300 กก./ชม.	7,200	38
6.บริษัท TA จำกัด	2.50	200 กก./ชม.	7,200	38

น้ำยางข้นที่ออกจากเครื่องปั่นเหวี่ยงจะไหลตามรางเข้าไปสู่บ่อพักน้ำยางข้น สำหรับรางที่ใช้จะมี 2 แบบ ได้แก่ รางแบบเปิดโล่ง และรางที่มีฝาปิดชิดจนถึงบ่อพักน้ำยางข้น ซึ่งมีเพียงบริษัท C จำกัด เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 10 และมีเพียง 2 บริษัทเท่านั้นที่มีการเติมสารเคมีสำหรับขั้นตอนนี้ ได้แก่ บริษัท N จำกัด ใส่ AL และบริษัท W จำกัด ใส่ AL และแอมโมเนีย (ตารางที่ 6) นอกจากนั้นพบว่าบ่อพักน้ำยาง

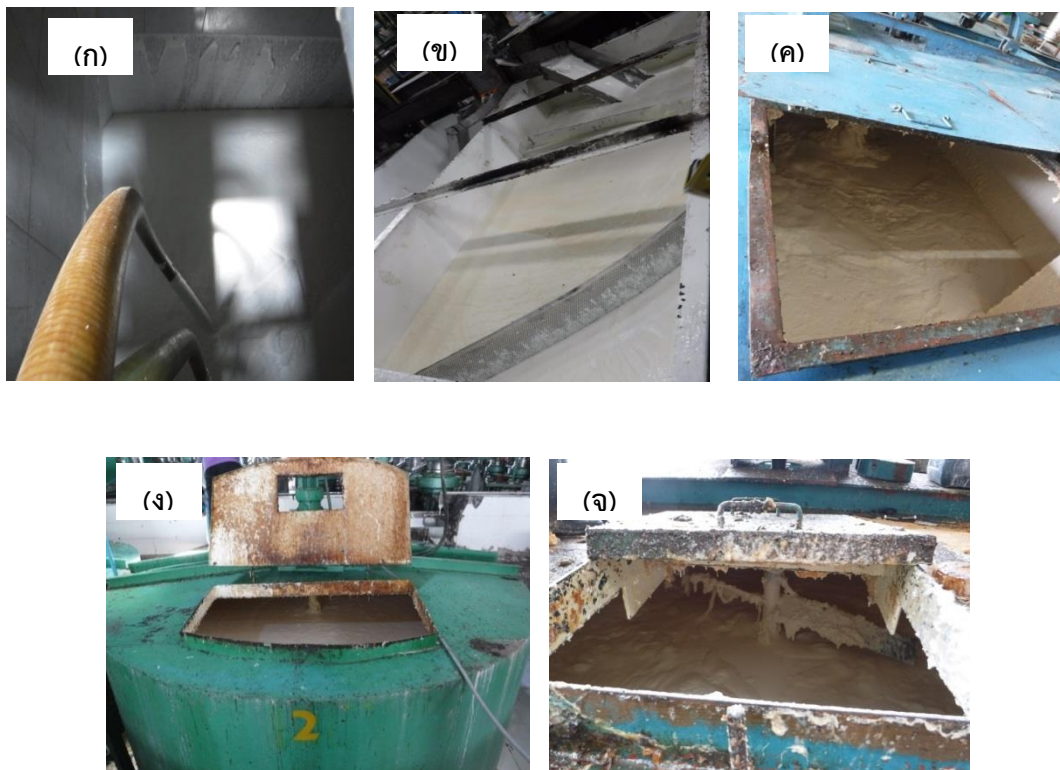


รูปที่ 10 รางน้ำยางข้น (ก) รางแบบเปิดโล่งของโรงงาน W จำกัด และ (ข) รางแบบที่มีฝาปิดชิดของโรงงาน C จำกัด

ตารางที่ 6 การเติมเคมีในบ่อพักน้ำยางชั้น

ชื่อโรงงาน	สาร	
	AL	Ammonia
1.บริษัท N จำกัด	✓	-
2.บริษัท W จำกัด	✓	✓

ชั้นของทุกแห่งจะมีก้อนยางและฟองยางเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของน้ำยางชั้นดังแสดงในรูปที่ 11 เนื่องจากน้ำยางชั้นที่ออกมาจากเครื่องปั่นเหวี่ยงจะมีค่า MST ต่ำมาก ซึ่งทางบริษัท TH จำกัด แก้ไขปัญหาด้วยการตักฟองหรือก้อนยางออกก่อนเข้าเก็บเข้าสู่แท็งก์เก็บน้ำยางชั้น ในขณะที่บริษัท N จำกัด ใช้การกรองผ่านตะแกรงกรอง 2 ชั้น และเมื่อสังเกตจะพบว่าบ่อพักน้ำยางชั้นของ C จำกัดจะมีฟองยางเกิดขึ้นน้อยกว่าบริษัทอื่นๆ



รูปที่ 11 บ่อพักน้ำยางชั้นของ (ก) บริษัท C จำกัด (ข) บริษัท N จำกัด (ค) บริษัท TH จำกัด (ง) บริษัท P จำกัด และ (จ) บริษัท W จำกัด

ในขั้นตอนถัดไปน้ำยางชั้นจะถูกปั๊มเข้าแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นเพื่อรอจำหน่ายต่อไป สำหรับปั๊มที่ใช้ได้แก่ ปั๊มหอยโข่ง ปั๊มไดอะแฟรม และปั๊มสกรู (ตารางที่ 7) และแต่ละโรงงานมีการเติมเคมีในแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นดังแสดงในตารางที่ 8 นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมน้ำเพื่อใช้ปรับค่า DRC ในน้ำยางชั้นด้วย (ยกเว้นบริษัท TH จำกัด ที่ไม่เติมน้ำลงไปใต้น้ำยางชั้นที่ได้ แต่จะปรับรอบของการปั่นเหวี่ยงเพื่อให้ได้ค่า DRC ตามที่ต้องการ แต่วิธีการนี้ต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญของผู้ปฏิบัติงานเป็นหลัก ทำให้ไม่นิยมใช้ในโรงงานโดยทั่วไป) โดยน้ำที่เติมลงไปนั้น ส่วนใหญ่ใช้น้ำบาดาลที่ผ่านการกรองด้วยทรายและเรซิน มีเพียงบริษัท C จำกัด และบริษัท TA 1992 จำกัด ที่ใช้น้ำบาดาลที่ไม่ผ่านการกรอง ในขณะที่บริษัท N จำกัด ใช้น้ำกรองที่ผสมแอมโมเนีย

ตารางที่ 7 ชนิดปั๊มในการขนถ่ายน้ำยางชั้นจากบ่อพักเข้าสู่แท็งก์เก็บน้ำยางชั้น

ชื่อโรงงาน	ชนิดปั๊ม		
	หอยโข่ง	ไดอะแฟรม	สกรู
1. บริษัท C จำกัด	-	-	✓
2. บริษัท N จำกัด	-	✓	-
3. บริษัท TH จำกัด	✓	-	-
4. บริษัท P จำกัด	-	-	✓
5. บริษัท W จำกัด	-	-	✓
6. บริษัท TA จำกัด	✓	-	-

สำหรับขั้นตอนสุดท้าย คือ การขนถ่ายน้ำยางชั้นจากแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นเข้าสู่รถบรรทุก ซึ่งแบ่งโรงงานเป็น 2 ประเภท ได้แก่

ประเภทที่ 1. โรงงานที่ให้น้ำยางชั้นไหลผ่านตะแกรงกรองที่ทำจากสแตนเลสก่อนแล้วจึงผ่านปั๊มเพื่อเข้าสู่แท็งก์เก็บของรถบรรทุก ได้แก่

- บริษัท C จำกัด
- บริษัท N จำกัด

ตารางที่ 8 การเติมเคมีในแท้งก์เก็บน้ำอย่างชื้น

ชื่อโรงงาน	สาร				
	TMTD/ZnO	AL	Ammonia	น้ำ	
				น้ำกรอง	น้ำ
1. บริษัท C จำกัด	-	✓	✓	-	✓
2.บริษัท N จำกัด	✓	✓	✓	✓	-
3.บริษัท TH จำกัด	-	-	-	✓	-
4.บริษัท P จำกัด	-	-	✓	✓	-
5.บริษัท W จำกัด	-	✓	-	✓	-
6.บริษัท TA จำกัด	-	✓	-	-	✓

- บริษัท TH จำกัด
- บริษัท TA จำกัด

ประเภทที่ 2 โรงงานที่ปั้มน้ำอย่างชื้นผ่านตะแกรงกรองที่ทำจากสแตนเลสเพื่อเข้าสู่แท้งก์เก็บของรถบรรทุกได้แก่

- บริษัท P จำกัด
- บริษัท W จำกัด

การเลือกใช้ชนิดของปั้มและตะแกรงกรองที่มีช่องทางออกขนาดแตกต่างกันของแต่ละโรงงานแสดงในตารางที่ 9 และตารางที่ 10 ตามลำดับ กล่าวคือ โรงงานประเภทที่ 1 ใช้ปั้มไดอะแฟรม มีเพียงบริษัท TA จำกัด ที่ไม่ใช้ปั้มแต่ใช้การไหลตามแรงโน้มถ่วงซึ่งใช้เพียงตาข่ายไนลอนเพื่อดักก้อนขนาดใหญ่ที่ปลายท่อส่งเท่านั้น ในขณะที่โรงงานประเภทที่ 2 ซึ่งใช้ปั้มแบบสกรู มักพบปัญหาที่ลูกค้ำร้องเรียนเรื่องการจับก้อนในน้ำอย่างชื้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของแรงเฉือนระหว่างสกรูของปั้มและน้ำอย่างชื้นที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งจะได้ทำการศึกษาสมมติฐานในลำดับถัดไป







ตารางที่ 9 ชนิดของปั๊มเพื่อใช้ในการขนถ่ายน้ำยางชั้นเข้าสู่แท็งก์ของรถบรรทุก

ชื่อโรงงาน	ชนิดปั๊ม		
	หอยโข่ง	ไดอะแฟรม	สกรู
1. บริษัท C จำกัด	-	√	-
2.บริษัท N จำกัด	-	√	-
3.บริษัท TH จำกัด	-	√	-
4.บริษัท P จำกัด	-	-	√
5.บริษัท W จำกัด	-	√	√
6.บริษัท TA จำกัด	ไม่ใช่ปั๊ม		

นอกจากนี้ยังพบว่า การเลือกใช้ตะแกรงกรองที่มีความละเอียดแตกต่างกันและลำดับการวางตะแกรงก่อนหรือหลังการสูบน้ำยางชั้นโดยใช้ปั๊มอาจส่งผลต่อการจับก้อนของน้ำยางชั้นได้ ซึ่งจะได้ทำการศึกษาสมมติฐานในลำดับถัดไปเช่นกัน ตารางที่ 10 แสดงลักษณะตะแกรงกรองของโรงงานต่างๆ โดยพบว่าการใช้ตะแกรงกรองที่ละเอียดมากของบริษัท N จำกัด บริษัท P จำกัด และบริษัท W จำกัด ไม่ได้ทำให้ปริมาณก้อนยางในน้ำยางชั้นลดลง แต่กลับเป็นโรงงานที่พบปัญหาการเกิดก้อนยางในน้ำยางชั้นหลายครั้ง

สำหรับการทำความสะอาดตามจุดต่างๆ ในกระบวนการ โดยทั่วไปจะมีการล้างทำความสะอาดบ่อเก็บน้ำยางสดทุกครั้งหลังการใช้งาน เนื่องจากมีการเติมสารเคมีช่วยในการตกตะกอนแมกนีเซียมและมีการจับตัวของยางที่ผนังบ่อ ซึ่งอาจทำให้น้ำยางสดเกิดการปนเปื้อนได้ ในส่วนการทำความสะอาดเครื่องปั้นหรียงนั้นจะล้างเครื่องปั้นหรียงทุกๆ รอบการผลิต (ทุก 2-3 ชั่วโมงแล้วแต่กระบวนการผลิต) เนื่องจากการอุดตันของยางและกากขี้แป้ง โดยใช้น้ำล้างเพื่อนำเศษยางและขี้แป้งออกจากเครื่องปั้นหรียงสำหรับการทำความสะอาดแท็งก์เก็บน้ำยางชั้น ส่วนใหญ่จะใช้การทิ้งให้แห้งแล้วจึงลอกเศษยางที่เหลือออกก่อนจะบรรจุน้ำยางชั้นในครั้งถัดไป และก่อนการบรรจุน้ำยางชั้นเข้าสู่รถบรรทุก พนักงานจะตรวจสอบเรื่องความสะอาดและวาล์วก่อนบรรจุทุกน้ำยางชั้นทุกครั้ง และเนื่องจากรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งน้ำยางชั้นไปยังลูกค้านั้นเป็นรถที่ทางบริษัทจ้างขึ้นมา จึงไม่สามารถทำความสะอาดหรือบำรุงรักษาพื้นผิวภายในของแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นได้เอง

ตารางที่ 10 ลักษณะตะแกรงกรองที่ใช้ในการกรองน้ำอย่างชั้นก่อนเข้าสู่แทงก์เก็บน้ำอย่างชั้นของรถบรรทุก

ชื่อโรงงาน	การกรอง		
	กรองหยาบ	กรองละเอียด	ตะแกรงกรอง
1.บริษัท C จำกัด	✓ ($\varnothing \approx 10$ มม.)	-	
2.บริษัท N จำกัด	✓ ($\varnothing \approx 2$ มม.)	✓ ($\varnothing \approx 0.5$ มม.)	
3.บริษัท TH จำกัด	✓ ($\varnothing \approx 10$ มม.)	✓ ($\varnothing \approx 1$ มม.)	
4.บริษัท P จำกัด	✓ ($\varnothing \approx 1$ มม.)	✓ ($\varnothing \approx 0.5$ มม.)	
5.บริษัท W จำกัด	✓ ชั้นนอก ($\varnothing \approx 1$ มม.)	✓ ชั้นใน ($\varnothing \approx 0.5$ มม.)	
6.บริษัท TA จำกัด	✓ (ใช้ตาข่ายไนลอน)		

4.1.2 ปัญหาและการตั้งสมมุติฐาน

- ลักษณะที่ตั้งของโรงงานผลิตน้ำยางข้น และการเลือกใช้ปั๊มในการขนถ่ายน้ำยางข้น

โดยปกติแล้วบริเวณรับน้ำยางสดควรอยู่ที่สูงกว่าบ่อเก็บน้ำยางสด และบ่อเก็บน้ำยางสดควรอยู่สูงกว่าเครื่องปั่นเหวี่ยง เพื่อให้น้ำยางสดไหลเข้าเครื่องปั่นแยกด้วยแรงโน้มถ่วง ทำให้ไม่ต้องติดปั๊มเพื่อสูบน้ำยางสดเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง แต่จากลักษณะทางพื้นที่ของโรงงานผลิตน้ำยางข้นที่เข้าไปสำรวจ พบว่าต้องมีการใช้ปั๊มในส่วนต่างๆ ของกระบวนการ ได้แก่ การขนถ่ายน้ำยางสดเข้าสู่แท็งก์เก็บน้ำยางสด การขนถ่ายน้ำยางข้นจากบ่อพักเข้าสู่แท็งก์เก็บน้ำยางข้น และการขนถ่ายน้ำยางข้นเข้าสู่แท็งก์ของรถบรรทุก ยกเว้นบริษัท TA จำกัด ที่ไม่มีปั๊มที่จุดถ่ายน้ำยางข้นลงในแท็งก์ของรถบรรทุก การใช้ปั๊มอาจก่อให้เกิดแรงเฉือนระหว่างอนุภาคน้ำยางข้นกับอุปกรณ์ของภายในปั๊มขณะปั๊มทำงาน การใช้ปั๊มที่มีกำลังมากเพื่อเร่งอัตราการขนถ่ายยิ่งเป็นการเพิ่มแรงเฉือนให้กับอนุภาคยางในน้ำยางข้น อาจส่งผลให้เกิดการจับก้อนได้

การเลือกใช้ปั๊มนับเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการขนส่งของเหลวที่เป็นลาเท็กซ์หรือคอลลอยด์ในกรณีของลาเท็กซ์สังเคราะห์ บริษัท Dow Chemical ซึ่งได้ผลิตลาเท็กซ์สังเคราะห์ภายใต้ชื่อทางการค้า Trinseo (Trinseo, 2016) ได้กำหนดคู่มือการจัดการลาเท็กซ์ โดยการใช้ปั๊มนั้นจัดเป็นหนึ่งในข้อกำหนดที่ต้องให้ความระมัดระวัง ในกรณีที่ลาเท็กซ์มีความไวต่อแรงเฉือนมาก ควรเลือกใช้ปั๊มไดอะแฟรมเท่านั้นเพื่อหลีกเลี่ยงการจับก้อนของลาเท็กซ์ ในหลายบริษัทเลือกใช้ปั๊มเกียร์ (stainless steel gear pump) และปั๊มมอยโน (Moyno pump) แต่ปั๊มเหล่านี้ไม่เหมาะกับลาเท็กซ์ที่ถูกปั๊มตลอดเวลา และปั๊มพิสตัน (piston pump) ก็ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการขนถ่ายลาเท็กซ์ด้วยเช่นกัน

- ลำดับในการวางตะแกรงกรองกับปั๊ม และขนาดตะแกรงกรองสำหรับการขนถ่ายน้ำยางข้น

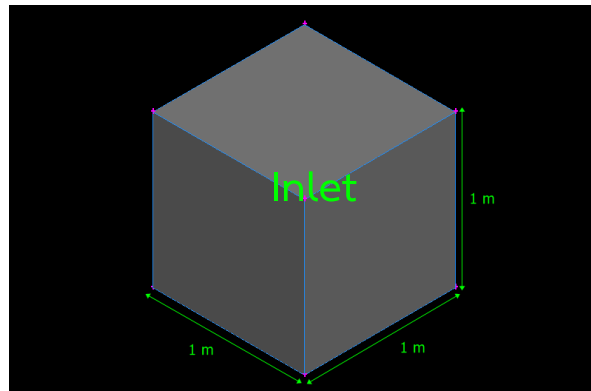
การเรียงลำดับการติดตั้งปั๊มและตะแกรงกรองสำหรับการขนถ่ายน้ำยางข้นจากแท็งก์เก็บน้ำยางข้นเข้าสู่แท็งก์ของรถบรรทุกของแต่ละโรงงาน พบว่าเป็นตำแหน่งที่มีความแตกต่างกัน โดยปัญหาการจับก้อนในน้ำยางข้นจะเกิดขึ้นเฉพาะโรงงานที่เลือกใช้ปั๊มในการสูบน้ำยางข้นเพื่อให้ไหลผ่านตะแกรงกรองเพื่อเข้าสู่รถแท็งก์บรรทุก ซึ่งการกระทำในลักษณะนี้ทำให้น้ำยางข้นได้รับแรงกระทำถึงสองครั้ง กล่าวคือ เมื่อน้ำยางข้นไหลผ่านปั๊ม ทำให้น้ำยางข้นมีพลังงานสูงเพื่อให้ไหลผ่านตะแกรงกรองที่มีรูขนาดเล็กได้ ซึ่งอาจส่งผลให้มีก้อนยางขนาดเล็กหลุดผ่านตะแกรงกรองเข้าสู่แท็งก์ของรถบรรทุก นอกจากนี้อนุภาคยางยังเกิดการเสียดสีหรือเกิดแรงเฉือนกับบริเวณช่องทางออก

ของตะแกรงได้มากกว่าการให้น้ำอย่างชั้นไหลผ่านตะแกรงก่อนการป้อน ดังนั้นทางทีมงานวิจัยจึงได้ศึกษาผลที่เกิดจากขนาดช่องทางออก (ขนาดตะแกรง) ค่าความหนืดของน้ำอย่างชั้น และลักษณะของช่องตะแกรงต่อแนวโน้มการกระจายตัวของค่าความเครียดเฉือน (wall shear stress) ที่บริเวณช่องทางออกของตะแกรง โดยมีขั้นตอนดำเนินการทดสอบดังต่อไปนี้

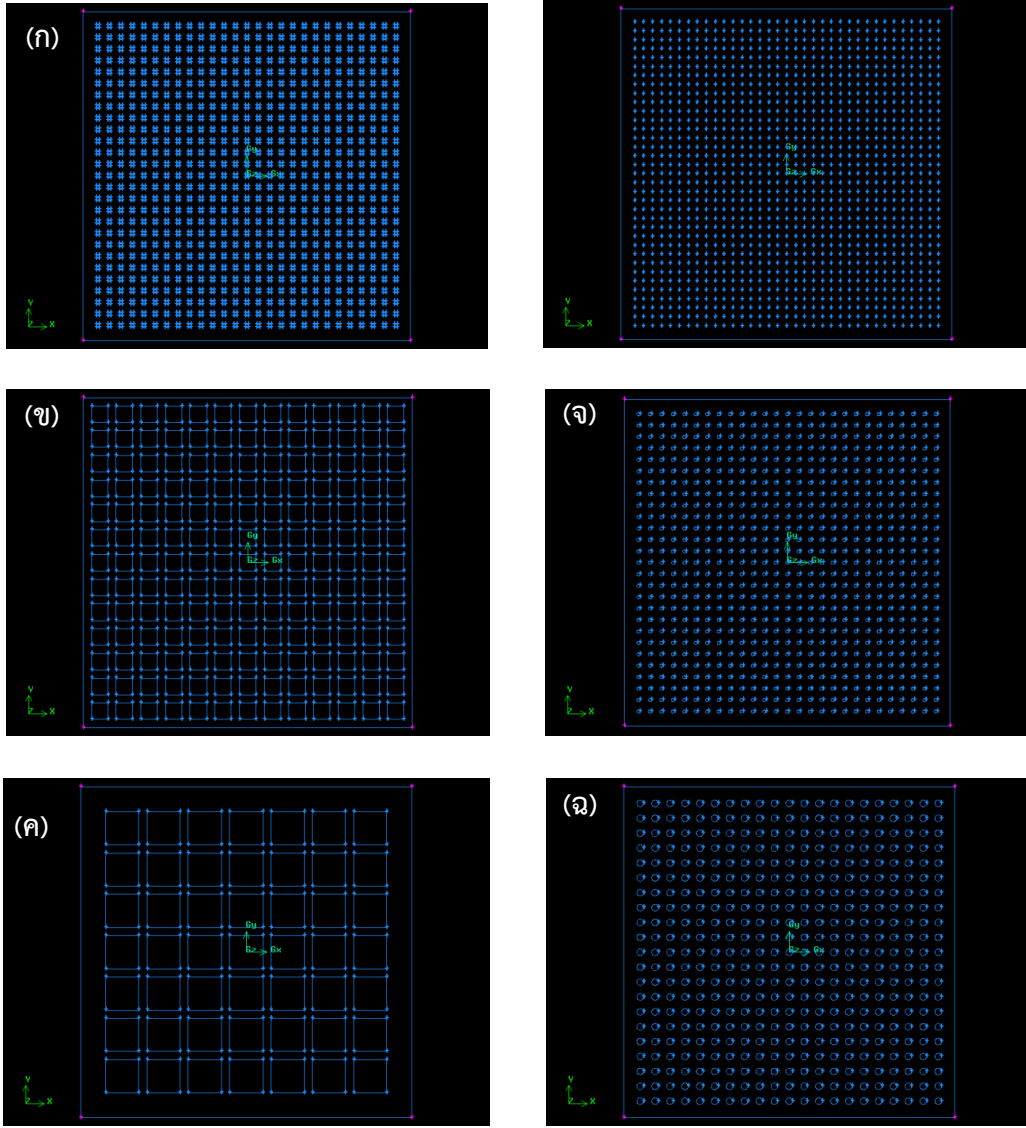
1. การสร้าง computational domain ที่ใช้ในการคำนวณในแต่ละกรณีศึกษา
2. การพัฒนาแบบจำลองและทำการจำลองกระบวนการสำหรับกรณีศึกษาต่างๆ ด้วยโปรแกรม ANSYS Fluent
3. การสรุปผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการ

ในการทดสอบแบบจำลองนี้จะกำหนด

- computational domain เป็นแบบคิวบิก (cubic) ขนาด $100 \times 100 \times 100$ ซม.³ ดังแสดงในรูปที่ 12
- ระยะห่างระหว่างช่องทางออกของของเหลวเท่ากับ 2.5 ซม. และช่องทางออกมี 2 แบบ คือ แบบสี่เหลี่ยมขนาด 1×1 5×5 และ 10×10 ซม.² และแบบวงกลมมีรัศมี 0.1 0.5 และ 1.0 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 12 Computational domain ที่ใช้ในการจำลองหาความเครียดเฉือนที่เกิดระหว่างของเหลวและช่องทางออก



รูปที่ 13 ลักษณะและการจัดเรียงตัวของช่องทางออก โดยทางซ้ายมือเป็นช่องทางออกแบบสี่เหลี่ยมขนาด (ก) 1×1 ซม.² (ข) 5×5 ซม.² (ค) 10×10 ซม.² และทางขวามือเป็นช่องทางออกแบบวงกลมมีรัศมี (ง) 0.1 ซม. (จ) 0.5 ซม. และ (ฉ) 1.0 ซม.

ในการจำลองระบบจะใช้ของเหลวที่มีความหนืดต่างกัน 2 ค่า คือ 1.003 (เทียบเท่ากับ ความหนืดของน้ำ) และ 1.76 เซนติพอยส์ (Danwanichakul และคณะ, 2012) แต่ให้ของเหลวมีความหนาแน่นเท่ากัน คือ 998.2 กก./ลบ.ม.) และเป็นการจำลองแบบวิฏภาคเดียว มีการไหลแบบราบเรียบ และเป็นการจำลองที่ภาวะคงตัว (steady state)

ภาวะขอบเขตที่ใช้ในการจำลอง ประกอบไปด้วยความเร็วขาเข้า (velocity-inlet) สำหรับ ทางเข้าของของเหลว และความเร็วขาออก (outflow) ที่ช่องทางออก การคำนวณความเร็วป้อนเข้าของของเหลวจะแสดงดังสมการที่ 1

$$v_{\text{liquid}} = \frac{M}{\rho \times A} \quad (1)$$

เมื่อ M คือ อัตราการไหลเชิงมวล (กก./วินาที)

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (กก./ลบ.ม.)

A คือ พื้นที่หน้าตัดทางเข้าของของเหลว (ตร.ม.)

จากข้อมูลข้างต้นสามารถคำนวณความเร็วของของเหลวได้เท่ากับ 2.78×10^{-4} เมตร/วินาที

ผลของค่าความหนืดของของไหลต่อค่าความเครียดเฉือนเฉลี่ยของของเหลวที่สัมผัสตะแกรงแสดงในตารางที่ 11 พบว่าถ้าช่องทางออกกว้างขึ้นจะมีค่าความเครียดเฉือนเฉลี่ยของของเหลวลดลง และถ้าความหนืดของของเหลวเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ค่าความเครียดเฉือนเฉลี่ยของของเหลวมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

ผลของลักษณะและขนาดของช่องทางออกต่อค่าความเครียดเฉือนเฉลี่ยของของเหลวที่สัมผัสตะแกรงแสดงในตารางที่ 12 พบว่าลักษณะช่องไม่มีผลต่อค่าความเครียดเฉือนเฉลี่ยของของเหลวที่สัมผัสตะแกรง แต่พื้นที่ของช่องทางออกมีผลมากกว่าโดยพบว่าถ้าช่องทางออกมีพื้นที่น้อยมากยิ่งขึ้นส่งผลให้ความเครียดเฉือนเฉลี่ยของของเหลวที่สัมผัสตะแกรงมีค่ามาก เนื่องจากอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่ช่องทางออกของแต่ละขนาดมีค่าเท่ากันแต่พื้นที่หน้าตัดของทางออกลดลง ทำให้ความเร็วของของไหลมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ความเครียดเฉือนเฉลี่ยของของเหลวที่สัมผัส

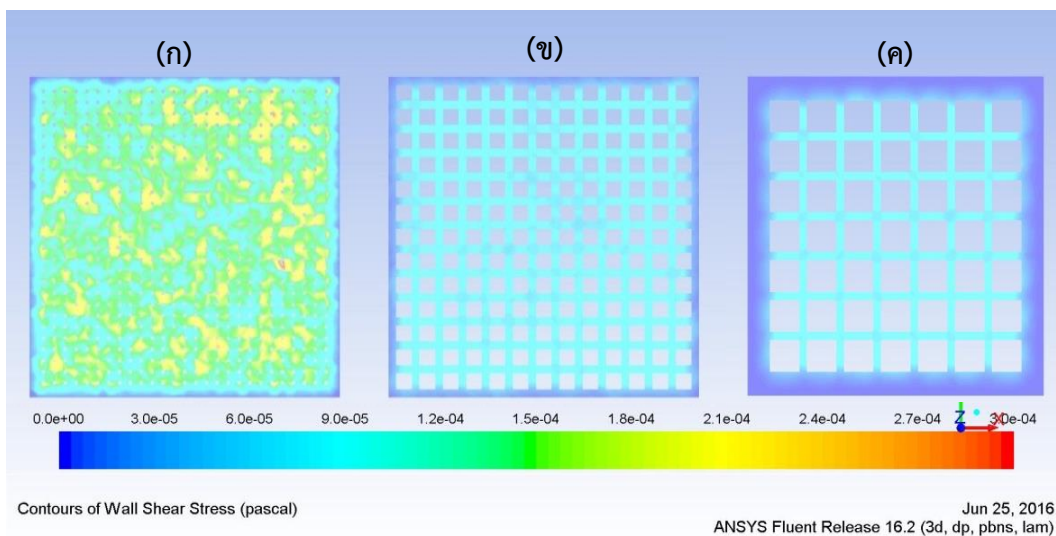
ตารางที่ 11 ผลของค่าความหนืดของของไหลต่อค่าความเครียดเฉือนเฉลี่ยของของเหลวที่สัมผัสตะแกรง

ขนาดช่องทางออก (ซม ²)	ค่าความเครียดเฉือนเฉลี่ยของของเหลว (ปาสคาล $\times 10^{-5}$)	
	ความหนืด 1.003 เซนติพอยส์	ความหนืด 1.76 เซนติพอยส์
1 \times 1	6.89	1.05
5 \times 5	2.78	4.57
10 \times 10	1.85	2.99

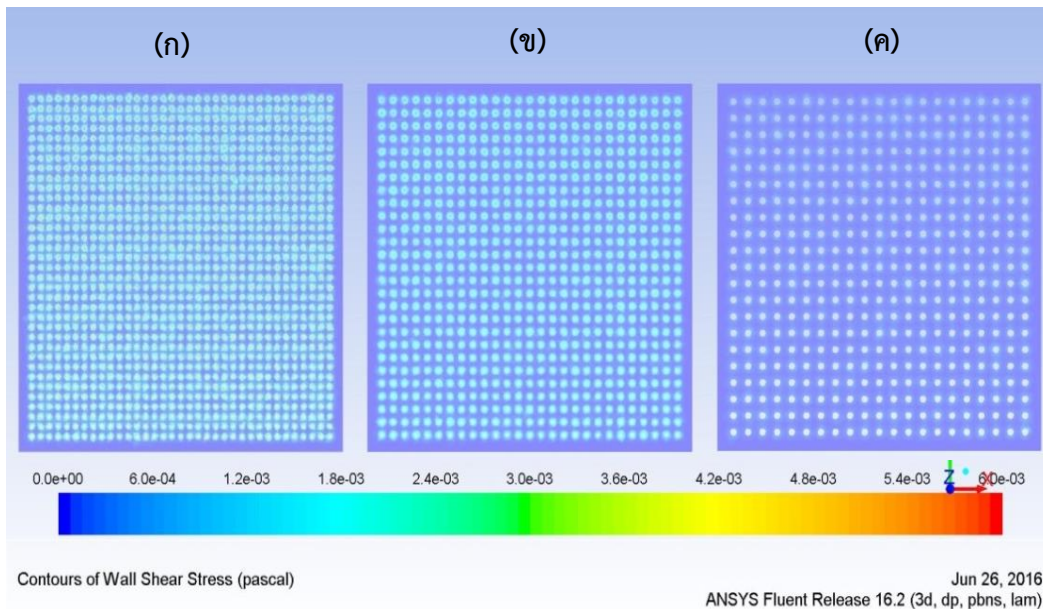
ตารางที่ 12 ค่าความเครียดเฉือนเฉลี่ยของลักษณะและพื้นที่ของช่องทางออกที่ต่างกัน

ลักษณะช่องทางออก	ขนาดช่องทางออก	พื้นที่ของช่องทางออก (ตร.ซม.)	ความเครียดเฉือนเฉลี่ย (ปาสคาล $\times 10^{-5}$)
สี่เหลี่ยมจัตุรัส	1×1 ซม. ²	1	6.89
	5×5 ซม. ²	25	2.78
	10×10 ซม. ²	100	1.85
วงกลม	รัศมี 0.1 ซม.	0.03	221.8
	รัศมี 0.5 ซม.	0.07	3.24
	รัศมี 1.0 ซม.	3.14	1.43

ตะแกรงมีค่ามากขึ้น ลักษณะการกระจายตัวของค่าความเครียดเฉือนเฉลี่ยของของเหลวที่สัมผัสตะแกรงแสดงดังรูปที่ 14 – 15 พบว่าตะแกรงที่มีช่องทางออกแคบจะมีโซนสีเหลืองซึ่งแสดงถึงบริเวณที่มีค่าความเครียดเฉือนมากกว่าตะแกรงที่มีช่องทางออกกว้าง



รูปที่ 14 การกระจายตัวของค่าความเครียดเฉือนเฉลี่ยของของเหลวที่สัมผัสตะแกรงขนาด (ก) 1×1 (ข) 5×5 และ (ค) 10×10 ซม.²



รูปที่ 15 การกระจายตัวของค่าความเครียดเฉือนเฉลี่ยของของเหลวที่สัมผัสตะแกรงซึ่งมีช่องทางออกเป็นวงกลมที่มีรัศมี (ก) 0.1 (ข) 0.5 และ (ค) 1.0 ซม

ตารางที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณยางจับเป็นก้อนของน้ำยางชั้นทั้งก่อนและหลังผ่านตะแกรงกรองของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น 2 แห่ง พบว่า น้ำยางชั้นที่ได้จากบริษัท N จำกัด ให้ค่าปริมาณยางจับเป็นก้อนทั้งก่อนและหลังผ่านตะแกรงกรองไม่แตกต่างกัน (มีค่าเท่ากับ 0.0002% โดยน้ำหนัก) แต่ น้ำยางชั้นทั้งก่อนและหลังผ่านตะแกรงกรองที่ได้จากบริษัท P จำกัด ซึ่งผ่านการจัดเก็บเป็นระยะเวลา 90 วันให้ผลแตกต่างกัน โดยพบว่าค่าปริมาณยางจับเป็นก้อนของน้ำยางชั้นก่อนผ่านตะแกรงกรองมีค่าเท่ากับ 0.001% โดยน้ำหนัก แต่ภายหลังจากการกรองปริมาณยางจับเป็นก้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.002% โดยน้ำหนัก แสดงว่าน้ำยางที่ไหลผ่านตะแกรงกรองอาจเหนียวน่าทำให้เกิดการจับก้อนภายในน้ำยางชั้นได้มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของความเครียดเฉือนของของเหลวที่สัมผัสตะแกรง อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการจัดเก็บน้ำยางชั้นก็ส่งผลต่อค่าปริมาณการจับก้อนอย่างด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 13 ค่าปริมาณยางจับเป็นก้อนของน้ำยางชั้นทั้งก่อนและหลังผ่านตะแกรง

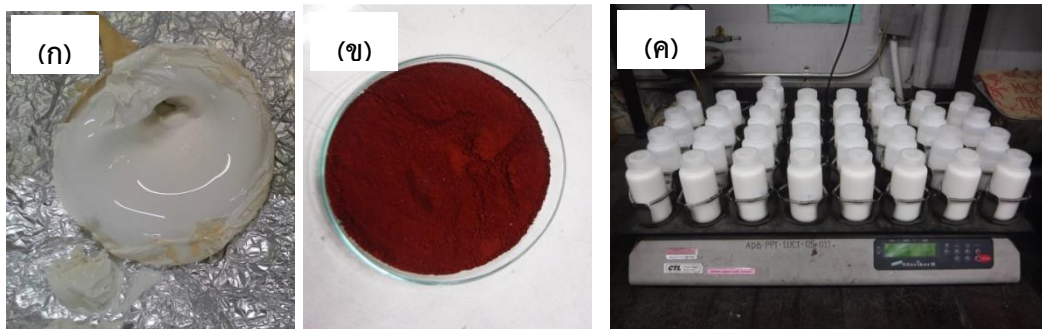
ชื่อโรงงาน	ปริมาณยางจับเป็นก้อน (ร้อยละต่อน้ำหนัก)	
	ก่อนผ่านตะแกรงกรอง	หลังผ่านตะแกรงกรอง
1.บริษัท N จำกัด	0.0002	0.0002
2.บริษัท P จำกัดB*	0.0010	0.0020

* จัดเก็บเป็นเวลา 90 วันก่อนการวิเคราะห์

● สิ่งปนเปื้อนในน้ำยางชั้น

การมีสิ่งปนเปื้อนอยู่ภายในถังเก็บน้ำยางชั้นหรือแท็งก์รถบรรทุก อาจส่งผลให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางได้ โดยตั้งสมมติฐานสิ่งปนเปื้อนในที่นี้ ได้แก่ ก้อนยางอยู่ในถังเก็บน้ำยางชั้นหรือแท็งก์รถบรรทุก และสนิมเหล็กในถังเก็บน้ำยางชั้นหรือแท็งก์รถบรรทุก

เพื่อทดสอบสมมติฐานในข้อนี้ กำหนดให้บรรจุน้ำยางชั้น ชนิด HA ในขวดพลาสติก ปริมาณ 250 กรัม ศึกษาผลของการปนเปื้อนภายในภาชนะบรรจุ ได้แก่ ก้อนยางสด และผงสนิมเหล็ก (รูปที่ 16) โดยใส่สารดังกล่าวลงในขวดพลาสติกบรรจุน้ำยางชั้นที่ปริมาณ 0.01 0.1 และ 1.0% โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง นำน้ำยางที่ได้วิเคราะห์สมบัติของน้ำยางชั้น ได้แก่ เสถียรภาพต่อการปั่น (mechanical stability, MST) ตามมาตรฐาน ISO 35 และยางจับก้อน (coagulum) ตามมาตรฐาน ISO 706 ซึ่งแสดงในตารางที่ 14 (สมบัติของน้ำยางชั้นอื่นๆ แสดงในภาคผนวก ข)



รูปที่ 16 ทดสอบสมมติฐานผลของการปนเปื้อนของน้ำยาง (ก) ก้อนยางสด (ข) ผงสนิมเหล็ก และ (ค) การวางขวดในเครื่องเขย่า

(1) ผลของการปนเปื้อนก่อนยางสดต่อสมบัติของน้ำยางชั้น

ตารางที่ 14 แสดงผลของการเติมก้อนยางสดลงในน้ำยางชั้นต่อสมบัติของน้ำยางชั้นที่ปริมาณต่างๆ ได้แก่ 0.01 0.10 และ 1.00% โดยน้ำหนักของเนื้อยางแห้ง จากผลการทดลองพบว่าค่า MST ของน้ำยางชั้นก่อนเติมก้อนยางสดมีค่าเท่ากับ 1,480 วินาที ในขณะที่น้ำยางชั้นที่มีก้อนยางสดมีค่า MST โดยน้ำยางชั้นที่มีก้อนยางร้อยละ 0.01 0.10 และ 1.00% โดยน้ำหนัก มีค่า MST เท่ากับ 1,478 1,462 และ 1,403 วินาทีตามลำดับ และการมีก้อนยางสดในน้ำยางชั้นส่งผลให้ปริมาณยางจับเป็นก้อนของน้ำยางชั้นมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.0003% โดยน้ำหนัก เป็น 0.0004% และ 0.0007% โดยน้ำหนัก เมื่อมีปริมาณก้อนยางสดในน้ำยางชั้นเท่ากับ 0.01% โดยน้ำหนัก และ 0.10 หรือ 1.00% โดยน้ำหนักตามลำดับ แสดงว่าก้อนยางสดอาจเหนียวนำทำให้เกิดการจับก้อนยางในน้ำยางชั้นได้มากขึ้น

ตารางที่ 14 การทดสอบสมมติฐานต่างๆ ที่มีผลต่อค่า MST และปริมาณยางจับเป็นก้อน เขย่าเป็นเวลา 15 ชั่วโมง จัดเก็บเป็นเวลา 1 วัน

สมมติฐาน	ปริมาณ	สมบัติของน้ำยางชั้น	
		MST (วินาที)	Coagulum (%โดยน้ำหนัก)
1. การปนเปื้อนก่อนยางสด			
● น้ำยางชั้นที่ใช้ในการทดลอง	-	1,480 ± 5.51	0.0003 ± 0.00
● น้ำยางชั้นที่มีการปนเปื้อนก่อนยาง	0.01% โดยน้ำหนัก	1,478 ± 2.00	0.0004 ± 0.00
	0.10% โดยน้ำหนัก	1,462 ± 2.08	0.0007 ± 0.00
	1.00% โดยน้ำหนัก	1,403 ± 7.21	0.0007 ± 0.00
2. การปนเปื้อนผงสนิมเหล็ก			
● น้ำยางชั้นที่ใช้ในการทดลอง	-	1,467 ± 9.07	0.0010 ± 0.00
● น้ำยางชั้นที่มีการปนเปื้อนผงสนิม	0.01% โดยน้ำหนัก	1,449 ± 2.52	0.0010 ± 0.00
	0.10% โดยน้ำหนัก	1,389 ± 9.17	0.0010 ± 0.00
3. ช่องว่างภายในภาชนะบรรจุ			
● น้ำยางชั้นที่ใช้ในการทดลอง	-	1,467 ± 9.07	0.0010 ± 0.00
● ปริมาณน้ำยางชั้นที่บรรจุในภาชนะ	50%	1,597 ± 6.24	0.0002 ± 0.00
	75%	1,551 ± 7.21	0.0003 ± 0.00
	100%	1,419 ± 2.65	0.0010 ± 0.00
4. อุณหภูมิ			
● น้ำยางชั้นที่ใช้ในการทดลอง	-	1,480 ± 5.51	0.0003 ± 0.00
● น้ำยางชั้นที่ผ่านการบ่มด้วยความ	40 °ซ	1,419 ± 2.00	0.0009 ± 0.00

(2) ผลของการปนเปื้อนผงสนิมเหล็กต่อสมบัติของน้ำยางชั้น

ตารางที่ 14 แสดงผลของผงสนิมเหล็กต่อสมบัติของน้ำยางชั้นที่ปริมาณต่างๆ ได้แก่ 0.01% และ 0.10% โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองพบว่าน้ำยางชั้นมีค่า MST เท่ากับ 1,467 วินาที ในขณะที่การเติมผงสนิมเหล็กลงในน้ำยางชั้นส่งผลให้ค่า MST ของน้ำยางชั้นลดลง โดยการเติมผงสนิมเหล็กที่ปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 0.01% เป็น 0.10% โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่า MST ของน้ำยางชั้นมีค่าลดลงจาก 1,449 เป็น 1,389 วินาที แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่จะทำให้เกิดก้อนยางได้รวดเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าการเติมผงสนิมเหล็กที่ปริมาณต่างๆ ไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณยางจับเป็นก้อน โดยน้ำยางชั้นและน้ำยางชั้นที่เติมผงสนิมเหล็กที่ปริมาณต่างๆ มีค่าปริมาณยางจับเป็นก้อนเท่ากับ 0.0010% โดยน้ำหนัก

อย่างไรก็ตามเมื่อศึกษาผลของสิ่งปนเปื้อนในน้ำยางชั้น ได้แก่ ก้อนยางสด และผงสนิมเหล็ก โดยเพิ่มระยะเวลาการเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จัดเก็บเป็นเวลา 21 วัน จากนั้นนำน้ำยางชั้นที่ได้วิเคราะห์ค่าปริมาณยางจับเป็นก้อน ซึ่งแสดงในตารางที่ 15 พบว่าน้ำยางชั้นที่ผ่านการจัดเก็บเป็นเวลา 21 วัน ให้ปริมาณยางจับเป็นก้อนเพิ่มขึ้นจาก 0.0003% เป็น 0.002% โดยน้ำหนัก ซึ่งเมื่อพิจารณาน้ำยางชั้นที่มีก้อนยางสด 0.01% โดยน้ำหนัก มีค่าปริมาณยางจับเป็นก้อนเพิ่มขึ้นเป็น 0.003% โดยน้ำหนัก ในขณะที่ผลของการเพิ่มปริมาณก้อนยางสดและผงสนิม

ตารางที่ 15 การทดสอบการปนเปื้อนที่อาจมีผลต่อปริมาณยางจับเป็นก้อน (coagulum)

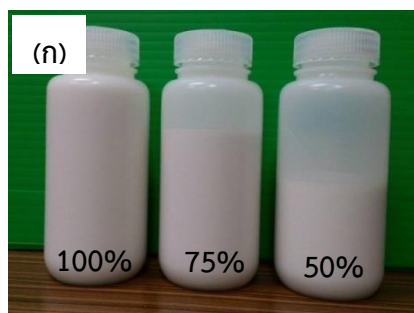
สมมติฐาน	ปริมาณ	Coagulum (%โดยน้ำหนัก)	
		15 ชม. (1วัน)	24 ชม. (21 วัน)
1. การปนเปื้อนก้อนยางสด			
● น้ำยางชั้นที่ใช้ในการทดลอง	-	0.0003± 0.00	0.0020± 0.00
● น้ำยางชั้นที่มีการปนเปื้อนก้อนยาง	0.01% โดยน้ำหนัก	0.0004± 0.00	0.0030± 0.00
	0.10% โดยน้ำหนัก	0.0007± 0.00	0.0020± 0.00
	1.00% โดยน้ำหนัก	0.0007± 0.00	0.0020± 0.00
2. การปนเปื้อนผงสนิมเหล็ก			
● น้ำยางชั้นที่ใช้ในการทดลอง	-	0.0010± 0.00	0.0020± 0.00
● น้ำยางชั้นที่มีการปนเปื้อนผงสนิม	0.01% โดยน้ำหนัก	0.0010± 0.00	0.0020± 0.00
	0.10% โดยน้ำหนัก	0.0010± 0.00	0.0020± 0.00

เหล็กให้ค่าปริมาณยางจับเป็นก้อนที่เท่ากับ 0.002% โดยน้ำหนัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการจับก้อนในน้ำยางข้น อาจเกิดได้จากหลายสาเหตุได้พร้อมกัน ซึ่งไม่อาจจะระบุได้ชัดเจนว่าการจับก้อนของน้ำยางข้นเกิดได้จากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งได้อย่างแน่นอน

- ผลของช่องว่างในภาชนะบรรจุขณะขนส่ง

สมมติฐานเบื้องต้นคาดว่าถ้ามีช่องว่างอากาศมากหรือบรรจุไม่เต็มจะทำให้ น้ำยางข้นเกิดการสั่นสะเทือนขณะขนส่ง ทำให้ น้ำยางข้นซึ่งมีการรักษาสภาพด้วยสบู่อุณหภูมิสูงซึ่งจะทำให้เกิดการจับก้อนยางได้ นอกจากนี้การเกิดจุดตุ่มบนแม่พิมพ์หลังจุ่ม คือ ฟิล์มฟองที่เสถียรสุดท้ายจะกลายเป็นเม็ดดำในถุงมือ

วิธีการทดสอบนำน้ำยางข้น ชนิด HA บรรจุใส่ขวดพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร โดยศึกษาผลของการมีช่องว่างของการบรรจุ ซึ่งบรรจุน้ำยางที่ 50 75 และ 100% ของปริมาตรขวด จากนั้นนำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง (รูปที่ 17) นำน้ำยางที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติตามตารางที่ 14 พบว่าน้ำยางข้นที่ได้จากการเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบ/นาทีเป็นเวลา 15 ชั่วโมง โดยใช้การบรรจุน้ำยางข้นเพียง 50 และ 75% ของปริมาตรขวด ส่งผลให้ค่า MST ของน้ำยางข้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจาก 1,467 วินาที เป็น 1,597 และ 1,551 วินาที ตามลำดับ สำหรับการบรรจุน้ำยางข้นที่ 100% (เต็มขวด) ให้ค่า MST ใกล้เคียงกับน้ำยางข้นก่อนการเขย่า คือ มีค่า MST เท่ากับ 1,419 วินาที



รูปที่ 17 ทดสอบสมมติฐานผลของการมีช่องว่างอากาศขณะขนส่ง (ก) บรรจุน้ำยางข้นที่ 50 75 และ 100% ของปริมาตรขวด และ (ข) การวางขวดบนเครื่องเขย่า

เมื่อพิจารณาค่าปริมาณยางจับเป็นก้อน พบว่าน้ำยางชั้นที่เตรียมจากการบรรจุน้ำยางชั้นใส่ขวดพลาสติก 50% และ 75% ให้ค่าปริมาณยางจับเป็นก้อนเท่ากับ 0.0002% และ 0.0003% โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับน้ำยางชั้นก่อนนำไปเขย่า (0.0010% โดยน้ำหนัก) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากภาวะที่ใช้สำหรับเขย่าอาจเป็นการเขย่าที่ไม่รุนแรงนัก ส่งผลให้เกิดการจับก้อนของน้ำยางได้ยากขึ้น ในขณะที่การบรรจุน้ำยางชั้นที่ 100% ของปริมาตรขวด ให้ค่าปริมาณยางจับเป็นก้อนเท่ากับ 0.0010% ซึ่งเท่ากับน้ำยางชั้นก่อนนำไปเขย่า แสดงว่าการบรรจุน้ำยางชั้นให้เต็มภาชนะสามารถรักษาเสถียรภาพของน้ำยางชั้นได้ดีกว่าการบรรจุไม่เต็มภาชนะ

- อุณหภูมิ

จากการสำรวจโรงงานผลิตน้ำยางชั้น พบว่าอุณหภูมิของน้ำยางชั้นที่ได้ออกมาจากเครื่องปั่นเหวี่ยงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 33-38 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามเมื่อน้ำยางชั้นได้รับความร้อนจะส่งผลให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางได้เนื่องจากมีปริมาณน้ำบางส่วนระเหยกลายเป็นไอ ส่งผลให้อุณหภูมิภายในใกล้ชิดกันมากขึ้น

เพื่อศึกษาสมมติฐานเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิของน้ำยางชั้นต่อการจับก้อนของเนื้อยาง นำน้ำยางชั้นบรรจุใส่ขวดตูแรนขนาด 1 ลิตร จากนั้นนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง (รูปที่ 18) จากนั้นนำน้ำยางที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติดังแสดงในตารางที่ 14 พบว่าน้ำยางชั้นที่ผ่านการแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา



รูปที่ 18 ทดสอบสมมติฐานผลของอุณหภูมิของน้ำยางชั้น

15 ชั่วโมง ส่งผลให้ปริมาณยางจับเป็นก้อนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.0003% โดยน้ำหนัก (น้ำยางชั้นก่อนบ่มด้วยความร้อน) เป็น 0.0009% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดก้อนในน้ำยางมากที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำยางชั้นเริ่มต้นที่ใช้ในการทำการทดลอง

- น้ำที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น

จากการรวบรวมข้อมูลการเยี่ยมชมโรงงานผลิตน้ำยางชั้นจำนวน 6 แห่ง พบว่าโรงงานเหล่านี้มักใช้น้ำบาดาลและน้ำกรองในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานต่างๆ แสดงดังรูปที่ 19 ดังนั้นทางทีมวิจัยจึงได้นำตัวอย่างน้ำของแต่ละโรงงานมาตรวจสอบหาปริมาณองค์ประกอบไอออนที่อาจส่งผลให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยาง โดยวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของโลหะต่างๆ ได้แก่ แคลเซียม (calcium, Ca) แมกนีเซียม (magnesium, Mg) โพแทสเซียม (potassium, K) และโซเดียม (sodium, Na) ด้วยเทคนิค Flame atomic absorption spectroscopy, AAS และวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของเหล็ก (Iron, Fe) ด้วยเทคนิค Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะในน้ำตัวอย่างที่ได้จากแต่ละบริษัท ช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน พ.ศ. 2559 แสดงอยู่ในตารางที่ 16 พบว่าน้ำที่ได้จากบริษัท N จำกัด บริษัท P จำกัด และบริษัท TA จำกัด มี Ca ปริมาณมาก โดยมีค่าเท่ากับ 36.9 67.3 และ 83.9 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่โรงงานอื่นๆ มีปริมาณ Ca ในน้ำน้อยกว่า 6 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับปริมาณ Fe ในน้ำของแต่ละโรงงานพบในปริมาณน้อยมาก ซึ่งบางโรงงานไม่สามารถตรวจพบปริมาณ Fe ในน้ำได้ สำหรับปริมาณ Mg ในน้ำพบว่ามีความอยู่ในช่วง 0.70-1.55 มิลลิกรัม/ลิตร ยกเว้นบริษัท



รูปที่ 19 ตัวอย่างน้ำจากโรงงานผลิตน้ำยางชั้น

ตารางที่ 16 น้ำที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นของแต่ละโรงงาน (เดือนเมษายน-มิถุนายน พ.ศ. 2559)

ชื่อโรงงาน	ธาตุ (มิลลิกรัม/ลิตร)				
	Ca	Fe	Mg	K	Na
1.บริษัท C จำกัด	0.57	0.05	0.86	2.28	1.59
2.บริษัท N จำกัด	36.9	ไม่พบ ¹	1.49	2.03	5.04
3.บริษัท TH จำกัด	5.99	<0.010	1.55	1.61	3.96
4.บริษัท P จำกัด	67.3	ไม่พบ ¹	25.8	2.61	7.83
5.บริษัท W จำกัด	1.45	<0.010	0.70	1.24	4.56
	1.25	ไม่พบ ¹	0.81	3.48	5.54
6.บริษัท TA จำกัด	83.9	<0.010	14.8	4.99	3.63

¹detection limit = 0.001

TA จำกัด ที่มีปริมาณ Mg ในน้ำเท่ากับ 14.9 มิลลิกรัม/ลิตร และบริษัท P จำกัด ซึ่งมีปริมาณ Mg ในน้ำสูงที่สุด คือ 25.80 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณ K ในน้ำจากตัวอย่างแต่ละบริษัทมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในช่วง 1.61-4.99 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งบริษัท TA จำกัด มีปริมาณ K ในน้ำสูงที่สุด คือ 4.99 มิลลิกรัม/ลิตร นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ Na ในน้ำจากตัวอย่างแต่ละบริษัทมีค่าตั้งแต่ 1.59-7.83 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณ Na สูงที่สุด มาจากบริษัท P จำกัด ถึงแม้ว่าน้ำที่ บริษัท TA จำกัด ใช้ในการผลิตจะมีปริมาณไอออนต่างๆ อยู่มากเมื่อเทียบกับโรงงานอื่น แต่โรงงานนี้ก็กลับไม่พบการร้องเรียนจากทางลูกค้าเกี่ยวกับการจับก้อนในน้ำยางชั้น อาจเป็นไปได้ว่าลูกค้าที่ซื้อน้ำยางจากโรงงานนี้นำไปผลิตสินค้าที่ก้อนยางไม่มีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ บริษัท TA จำกัด จะไม่ขายน้ำยางชั้นจนหมดถังเก็บ เนื่องจากป้องกันไม่ให้อายุยางที่ลอยอยู่บนผิวหน้าของน้ำยางชั้นที่อยู่ส่วนบนของถังหลุดออกไปยังลูกค้า แต่จะให้มีน้ำยางชั้นคงเหลือไว้ในถัง (ประมาณ 20% ของปริมาตรถังเก็บ) เพื่อผสมกับน้ำยางชั้นชุดใหม่ที่ผลิตออกมา

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะในน้ำตัวอย่างที่ได้จากแต่ละบริษัท ในช่วงเดือนเมษายน 2559- กุมภาพันธ์ 2560 ดังแสดงในตารางที่ 17 พบว่าน้ำที่ได้จากบริษัท N จำกัด ช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณโลหะเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเดือนมิถุนายน ในขณะที่น้ำที่ได้จากบริษัท P จำกัด ช่วงเดือนตุลาคม พบว่าปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นเป็น 74.6 และ 28.0 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อเทียบกับเดือนเมษายนซึ่งมีปริมาณ Ca เท่ากับ 67.3 มิลลิกรัม/ลิตร และ Mg 25.8 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อพิจารณาน้ำตัวอย่างที่ได้จากบริษัท TA จำกัด พบว่าในช่วงเดือนเมษายน 2559 น้ำมีปริมาณ Ca สูงสุดเท่ากับ 83.9 มิลลิกรัม/ลิตร และมีแนวโน้มลดลงในช่วงเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน ปริมาณ Ca ลดลงเท่ากับ 24.8 และ 24.9 มิลลิกรัม/ลิตรตามลำดับ จากนั้นช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 พบปริมาณแคลเซียมเพิ่มสูงอีกครั้ง มีค่าเท่ากับ 69.3 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่โลหะอื่นๆ พบการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

ตารางที่ 17 น้ำที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นของแต่ละโรงงาน (เดือนเมษายน 2559- กุมภาพันธ์ 2560)

ชื่อโรงงาน	เดือนที่จัดเก็บ	องค์ประกอบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	(เดือน/ปี)	Ca	Fe	Mg	K	Na
2.บริษัท N จำกัด	มิ.ย. 2559	36.9	ไม่พบ ¹	1.49	2.03	5.04
	ต.ค. 2559	36.1	ไม่พบ ¹	2.15	5.46	7.66
	ก.พ. 2560	37.1	ไม่พบ ¹	1.83	5.92	6.49
4.บริษัท P จำกัด	เม.ย. 2559	67.3	ไม่พบ ¹	25.8	2.61	7.83
	ต.ค. 2559	74.6	ไม่พบ ¹	28.0	2.77	8.70
6.บริษัท TA จำกัด	เม.ย. 2559	83.9	<0.010	14.8	4.99	3.63
	ต.ค. 2559	24.8	ไม่พบ ¹	12.8	6.26	7.49
	พ.ย. 2559	24.9	ไม่พบ ¹	11.8	5.79	6.41
	ก.พ. 2560	69.3	ไม่พบ ¹	13.4	6.00	8.19

4.1.3 สรุปปัจจัยและการแก้ไขปัญหาที่ทำให้เกิดการจับก้อนในน้ำยางชั้น

- ลักษณะที่ตั้งของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น การเลือกใช้ปั๊ม และการออกแบบถังเก็บน้ำยางชั้น

ลักษณะทางพื้นที่ของโรงงานผลิตน้ำยาง ควรให้บริเวณรับน้ำยางสดอยู่ที่สูงกว่าบ่อเก็บน้ำยางสด และบ่อเก็บน้ำยางสดควรอยู่สูงกว่าเครื่องปั่นเหวี่ยง เนื่องจากในกระบวนการผลิตนั้น น้ำยางสดจะไหลเข้าเครื่องปั่นแยกด้วยแรงโน้มถ่วงซึ่งไม่ต้องติดปั๊มเพื่อสูบน้ำยางสดเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง แต่จากลักษณะทางพื้นที่ของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นส่วนใหญ่พบว่าต้องใช้ปั๊มเพื่อขนถ่ายน้ำยางสดเข้าสู่แท็งก์เก็บน้ำยางสด และขนถ่ายน้ำยางชั้นเข้าสู่แท็งก์เก็บน้ำยางชั้น หรือแท็งก์ของรถบรรทุก การเลือกชนิดปั๊มที่เหมาะสมกับน้ำยางชั้นจะสามารถลดปัญหาการเกิดก้อนยางได้ โดยปั๊มที่เหมาะสมกับสารที่มีลักษณะลาเท็กซ์หรือคอลลอยด์ คือ ปั๊มไดอะแฟรม ส่วนปั๊มหอยโข่ง หรือปั๊มสกูสามารถใช้ได้ แต่ไม่ควรมีกำลังสูงมากนักเพื่อป้องกันแรงเฉือนที่เกิดระหว่างอุปกรณ์ของปั๊มและอนุภาคยางในน้ำยางชั้น นอกจากนี้การออกแบบถังเก็บน้ำยางชั้น ควรใช้ถังสูงเพื่อบรรจุน้ำยางชั้นให้มีปริมาณมาก ซึ่งจะสามารถปล่อยน้ำยางชั้นลงสู่แท็งก์ของรถบรรทุกที่อยู่ต่ำกว่าได้โดยใช้พลังงานศักย์ซึ่งขึ้นอยู่กับความสูงของน้ำยางชั้น

- การเรียงลำดับการติดตั้งปั๊มและตะแกรงกรอง

สำหรับขั้นตอนการขนถ่ายน้ำยางชั้นจากแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นสู่แท็งก์ของรถบรรทุก พบว่าส่วนใหญ่มีการใช้ปั๊มสำหรับขนถ่ายน้ำยางชั้นและใช้ตะแกรงกรองเพื่อป้องกันไม่ให้ก้อนยางไหลเข้าสู่แท็งก์ของรถบรรทุก อย่างไรก็ตามพบว่าลำดับการติดตั้งปั๊มและตะแกรงกรองของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นที่ไม่พบปัญหาเรื่องการจับก้อนของน้ำยางชั้น คือ การให้น้ำยางชั้นไหลผ่านตะแกรงกรองก่อนจากนั้นจึงผ่านปั๊มเพื่อเข้าสู่แท็งก์ของรถบรรทุก สำหรับการเลือกขนาดตะแกรงควรเลือกความละเอียดที่มีความเหมาะสม ไม่ควรมีความละเอียดที่มากเกินไปเนื่องจากจะเป็นการเพิ่มแรงเฉือนระหว่างอนุภาคยางและช่องทางออกของตะแกรงได้

- การปนเปื้อนของน้ำยางชั้น

น้ำยางชั้นจะถูกเก็บในแท็งก์น้ำยางชั้นเป็นเวลา 21 วัน เพื่อรอจำหน่าย ซึ่งในขั้นตอนนี้พบว่าถ้าแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นมีความสกปรก กล่าวคือ มีเศษยางเหลืออยู่ก่อนบรรจุน้ำยางชั้นหรือผนังแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นมีสนิมเกิดขึ้น ตลอดจนแท็งก์ของรถบรรทุกที่มีก้อนยางติดอยู่อาจส่งผลให้เกิดการจับก้อนของน้ำยางได้ ซึ่งพบว่าโรงงานที่ทำความสะอาดแท็งก์เก็บน้ำยางชั้น หรือแท็งก์

รถบรรทุกอยู่สม่ำเสมอจะไม่พบปัญหาการจับก้อนของเนือยาง หรือบางโรงงานจะเลือกใช้วิธีถายนํ้ายางออกจากแท็งก์เก็บนํ้ายางชั้นเพียง 80% ของแท็งก์ เพื่อป้องกันไม่ให้เศษยางที่เกิดขึ้นด้านบนของผิวหน้าของนํ้ายางชั้นหลุดออกไปสู่แท็งก์ของรถบรรทุก ดังนั้นทุกโรงงานควรออกมาตรการหรือกำหนดช่วงเวลาในการบำรุงรักษาแท็งก์เก็บนํ้ายางชั้น หรือแท็งก์รถบรรทุกให้สะอาดและไม่มีสนิมทุกปี และก่อนที่จะบรรจุนํ้ายางชั้นชุดใหม่ลงไปในแท็งก์เก็บนํ้ายางชั้น ควรเอานํ้ายางชั้นเก่าออกให้หมดก่อน รอให้แห้ง แล้วจึงลอกฟิล์มยางที่เกาะตามขอบผนังแท็งก์ให้ได้มากที่สุด ในกรณีที่สีเคลือบหรืออีพ็อกซีที่เคลือบผิวแท็งก์หลุดร่อน ควรทำการซ่อมบำรุงทันที นอกจากนี้ท่อส่งที่ใช้ในการขนถ่ายนํ้ายางชั้นจากแท็งก์เก็บไปยังแท็งก์ของรถบรรทุกก็ต้องสะอาด ไม่มีคราบยาง หรือนํ้าด้วยเช่นกัน

- ผลของช่องว่างในภาชนะบรรจุขณะขนส่ง

การบรรจุนํ้ายางชั้นให้เต็มภาชนะสามารถรักษาเสถียรภาพของนํ้ายางชั้นได้ดีกว่าการบรรจุไม่เต็มภาชนะ ถ้าหากบรรจุนํ้ายางชั้นเพียงครึ่งเดียวของแท็งก์รถบรรทุก หรือมีช่องว่างในการบรรจุมากเกินไป จะส่งผลทำให้นํ้ายางเกิดการเคลื่อนที่ชนกับผนังของแท็งก์อย่างแรงระหว่างการขนส่งได้ ซึ่งอาจทำให้นํ้ายางชั้นเสียเสถียรภาพได้

- อุณหภูมิ

อุณหภูมิของนํ้ายางชั้นที่ได้ออกมาจากเครื่องปั่นเหวี่ยงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 33-38 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนํ้ายางชั้นได้รับความร้อนจะส่งผลให้เกิดการจับก้อนของเนือยางได้ โดยพบว่าการจับก้อนของเนือยางเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป สามารถเหนี่ยวนำให้นํ้ายางชั้นเกิดการจับก้อนได้

- น้ำที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตนํ้ายางชั้น

น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตนํ้ายางชั้นที่มีสารแคลเซียม (calcium, Ca) และแมกนีเซียม (magnesium, Mg) เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการจับก้อนของยางในนํ้ายางชั้นได้ ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า การเติมสารละลาย Ca^{2+} ส่งผลให้เกิดการจับก้อนของเนือยางสูงที่สุด รองลงมาเป็นสารละลาย Mg^{2+} และ Fe^{2+} ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าความเข้มข้นของสารละลาย Ca^{2+} และ Mg^{2+} เท่ากับ 50 ppm ก็ส่งผลให้เกิดการจับก้อนของยางได้

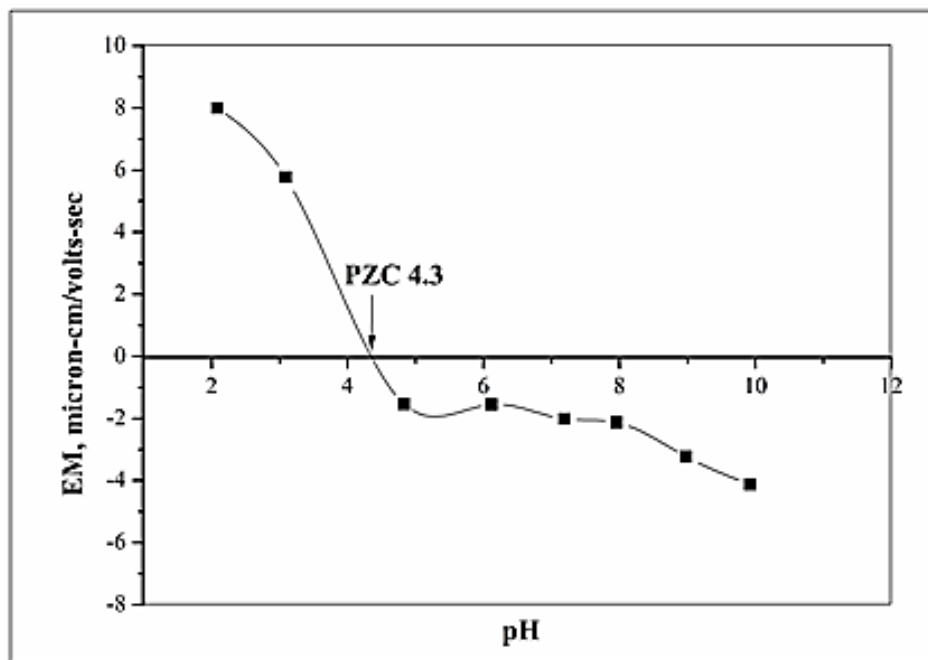
- ลูกค้ำ

กลุ่มลูกค้าที่รับซื้อน้ำยางชั้นมีหลายประเทศและหลายอุตสาหกรรม ซึ่งมีความข้อจำกัดในการรับซื้อน้ำยางที่แตกต่างกันออกไป บางโรงงานผลิตน้ำยางชั้นที่ไม่พบการร้องเรียนเรื่องการจับก้อนของน้ำยางชั้น อาจเนื่องมาจากการมีกลุ่มลูกค้าจำนวนมาก สามารถเลือกจำหน่ายให้กับลูกค้าที่ต้องการได้ แต่สำหรับบางโรงงานนั้นมีฐานลูกค้าไม่มากนักทำให้ไม่สามารถเลือกลูกค้าได้ ซึ่งลูกค้าบางรายมีความละเอียดในการตรวจรับน้ำยางชั้นสูง ส่งผลให้การจำหน่ายน้ำยางชั้นมีข้อจำกัดมากขึ้น นอกจากนี้พบว่าปัญหาการจับก้อนของน้ำยางชั้นส่วนหนึ่งเป็นปัญหาทางด้านเทคนิคทางการตลาดของแต่ละบริษัท

4.2 การศึกษาการจำลองการจับก้อนของเนื้อเยื่ออ่อนเนื่องจากค่า pH และประจุของเหล็ก แคลเซียม และ แมกนีเซียม

4.2.1 การศึกษาประจุที่ผิวอนุภาคยางที่ pH ต่างๆ

จากผลการวัดค่า electrophoretic mobility ของน้ำยางชั้นที่ค่า pH ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 20 พบว่าที่ค่า pH สูงๆ ($\text{pH} > 5$) อนุภาคยางจะแสดงค่าความเป็นประจุลบ ซึ่งเป็นผลจากการใส่แอมโมเนีย ในน้ำยางตั้งแต่กระบวนการผลิต เพื่อให้เม็ดยางมีเสถียรภาพในการแขวนลอย และเมื่อ pH มีค่าต่ำลง ค่าความเป็นประจุลบของอนุภาคยางจะลดลงด้วย และเมื่อถึงจุดๆหนึ่งที่ค่า electrophoretic mobility มีค่าเป็นศูนย์ หรืออนุภาคยางมีค่า point of zero charge (PZC) ที่ pH เท่ากับ 4.3 ดังนั้นที่จุดนี้ อนุภาคยางมีโอกาสที่จะเคลื่อนตัวมารวมกันจับก้อนได้ เพราะอนุภาคยางไม่แสดงค่าความเป็นประจุใดๆ เมื่อไม่มีแรงผลักดันของประจุจะทำให้ยางไม่สามารถแขวนตัวได้ โดยตัวแปรที่ทำให้ค่า pH มีการเปลี่ยนแปลงนี้อาจเป็นผลมาจากการระเหยไปของแอมโมเนีย



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า electrophoretic mobility กับค่า pH

4.2.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ที่ระยะเวลาต่างๆ

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ที่ระยะเวลาต่างๆ แสดงดังตารางที่ 18 เมื่อตั้งน้ำยางทิ้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (รูปที่ 21) พบว่าค่า pH ของน้ำยางมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลา เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ค่า pH น้ำยางมีค่าลดลงไป 0.3 หน่วย แต่เมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 4 ชั่วโมง ค่า pH ของน้ำยางลดลงไม่มากนัก โดยในช่วงระหว่างการทดสอบพบว่าเมื่อทิ้งน้ำยางขึ้นไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่านานกว่า 4 ชั่วโมง จะเกิดแผ่นยางแห้งปกคลุมบนผิวหน้าของน้ำยาง ดังนั้นเมื่อครบเวลาทดสอบแต่ละช่วง จะทำการช้อนฟิล์มยางแห้งที่เกิดขึ้นออก แล้วจึงวัดค่าความเป็นกรดต่างของน้ำยาง ทำการวัดค่าความเป็นกรดต่างน้ำยางเช่นนี้เรื่อยๆ จนครบเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งค่า pH ในช่วงเวลาตั้งแต่ชั่วโมงที่ 8 ค่า pH ของน้ำยางขึ้นมีค่าคงที่เท่ากับ 8.6 ทั้งนี้เนื่องจากการทดลอง เพื่อให้ทราบค่าการระเหยของแอมโมเนียที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ทำให้ในการทดลองดังกล่าวต้องทดสอบในภาชนะเปิดที่ต่างไปจากในสภาวะการใช้งานจริง เพื่อให้แอมโมเนียระเหยออกจากระบบและดูการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ดังนั้นในสภาวะการทดลองนี้จะเป็นสภาวะที่รุนแรงกว่าสภาวะการใช้งานจริง โดยทั่วไปเมื่อใส่น้ำยางทิ้งไว้ในภาชนะเปิดจะพบฟิล์มยางก่อตัวขึ้นบนผิวน้ำยาง ซึ่งเกิดจากน้ำในน้ำยางระเหยออกไป ดังนั้นในการทดลองจึงต้องตั้งภาชนะใน shaker bath เพื่อป้องกันการเกิดฟิล์มยาง แต่จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทิ้งน้ำยางไว้หลังชั่วโมงที่ 4 จะเห็นแผ่นฟิล์มน้ำยางเกิดขึ้นบนผิวน้ำยาง ประกอบกับในการทดลองได้ทำการตั้งภาชนะใส่น้ำยางในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ที่ส่งผลให้เกิดฟิล์มน้ำยางก่อตัวได้เร็วขึ้น และเมื่อถึงชั่วโมงที่ 8 ฟิล์มน้ำยางที่ก่อตัวมีความหนามากขึ้น และฟิล์มยางที่ก่อตัวขึ้นขัดขวางการระเหยของแอมโมเนีย ทำให้ค่า pH น้ำยางไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแม้จะทดสอบในภาชนะเปิด ดังนั้นในสภาวะการใช้งานจริงที่น้ำยางธรรมชาติถูกเก็บไว้ในภาชนะปิด โอกาสที่แอมโมเนียระเหยมีค่าน้อยกว่าสภาวะการทดลองนี้ ดังนั้นแอมโมเนียที่ระเหยได้น้อยกว่าจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH น้อยกว่า ดังนั้นในสภาวะการใช้งานจริงค่า pH ของน้ำยางจะเปลี่ยนแปลงได้ค่า pH สูงกว่า 8.6 ซึ่งสูงกว่าค่า PZC ของอนุภาคยางธรรมชาติ ดังนั้นอนุภาคยางยังคงมีประจุลบ และโอกาสในการที่จะเปลี่ยนเป็นไม่แสดงค่าความเป็นประจุจะเกิดขึ้นได้ยาก ส่งผลให้อนุภาคเม็ดยางยังคงมีเสถียรภาพกระจายตัวอยู่ในน้ำยางธรรมชาติ

ตารางที่ 18 ค่า pH น้ำยางชั้นที่ตั้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ระยะเวลา	ค่า pH ของน้ำยางชั้น
เริ่มต้น	10.62
1 ชั่วโมง	10.29
2 ชั่วโมง	9.93
4 ชั่วโมง	9.29
6 ชั่วโมง	8.87
8 ชั่วโมง	8.72
10 ชั่วโมง	8.74
12 ชั่วโมง	8.72
15 ชั่วโมง	8.68
18 ชั่วโมง	8.67
21 ชั่วโมง	8.63
24 ชั่วโมง	9.55 (ยางแห้งแข็งติดกันขวด)



รูปที่ 21 น้ำยางชั้นใน shaker bath อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่เวลา (A) 0 ชั่วโมง (B) 12 ชั่วโมง และ (C) 24 ชั่วโมง

4.2.3 การศึกษาการจับก้อนของเนื้อยางด้วยสารละลายเหล็ก (Fe^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และแคลเซียม (Ca^{2+})

4.2.3.1 ความเข้มข้นของ stock solution ที่มีผลต่อการจับก้อนยาง

ตารางที่ 19 แสดงค่า pH ค่าความขุ่น (turbidity) (น้ำยางข้น/น้ำปราศจากไอออน = 1/5000) และปริมาณแอมโมเนียของน้ำยางข้นและน้ำยางข้นที่ผ่านการปั่นกวนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าค่า pH มีค่าลดลงจากค่าเริ่มต้น 0.25 (2.26%) ค่าความขุ่นมีค่าลดลง 7.0 NTU (1.71%) และปริมาณแอมโมเนียมีค่าลดลง 944 ppm (5.26 %) แสดงให้เห็นว่าน้ำยางข้นที่ผ่านการปั่นกวนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH และค่าความขุ่นในปริมาณที่น้อยมาก สำหรับผลต่อการลดลงของปริมาณแอมโมเนียที่ละลายอยู่ในน้ำยางข้น ก็มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย โดยไม่มีผลต่อปริมาณแอมโมเนียที่ใช้ในการรักษาเสถียรภาพของน้ำยางข้น อีกทั้งการลดลงของ pH ค่าความขุ่นและปริมาณแอมโมเนีย ไม่มีผลต่อการจับก้อนของเนื้อยางโดยจะเห็นได้จากการไม่พบการจับก้อนของเนื้อยางเมื่อกรองผ่านตะแกรงขนาด 0.1 มิลลิเมตร (standard testing sieve ขนาด 140 mesh) ดังแสดงในรูปที่ 22

ตารางที่ 19 ค่าการทดสอบน้ำยางข้นและน้ำยางข้นที่ผ่านการปั่นกวนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

Sample	pH	Turbidity (NTU)*	NH ₃ (ppm)
NR latex	11.06 ± 0.07	408.67 ± 17.04	17,936 ± 472
NR latex_24 h stirring	10.81 ± 0.02	401.67 ± 10.97	16,992 ± 472

*น้ำยางข้น/น้ำปราศจากไอออน = 1/5000



รูปที่ 22 ลักษณะของตะแกรง (sieve) ก่อนใช้งานและหลังใช้งานกรองน้ำยางที่ผ่านการปั่นกวน 24 ชั่วโมง

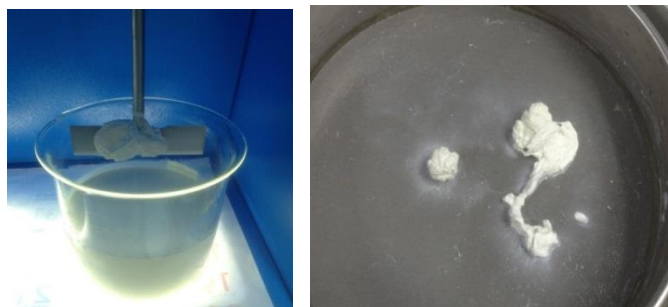
ผลการทดลองการจับก้อนของเนื้อมังโดยใช้สารละลาย Mg^{2+} และ Ca^{2+} ที่ความเข้มข้น 50 100 150 200 250 และ 300 ppm โดยเตรียมจาก stock solution ที่ความเข้มข้น 10,000 ppm ใช้ระยะเวลาในการปั่นกวน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ดังแสดงในตารางที่ 20 และ 21 ตามลำดับ จากตารางที่ 20 พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแมกนีเซียม ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH แต่ค่าความขุ่นของน้ำยางมีแนวโน้มลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการจับก้อนของเนื้อมัง ทำให้อุณหภูมิของเนื้อมังในสารละลายน้ำยางมีค่า

ตารางที่ 20 ค่าการทดสอบการจับก้อนของเนื้อมัง โดยใช้สารละลาย Mg^{2+} ที่ความเข้มข้นต่างๆ จาก stock solution ที่ความเข้มข้น 10,000 ppm

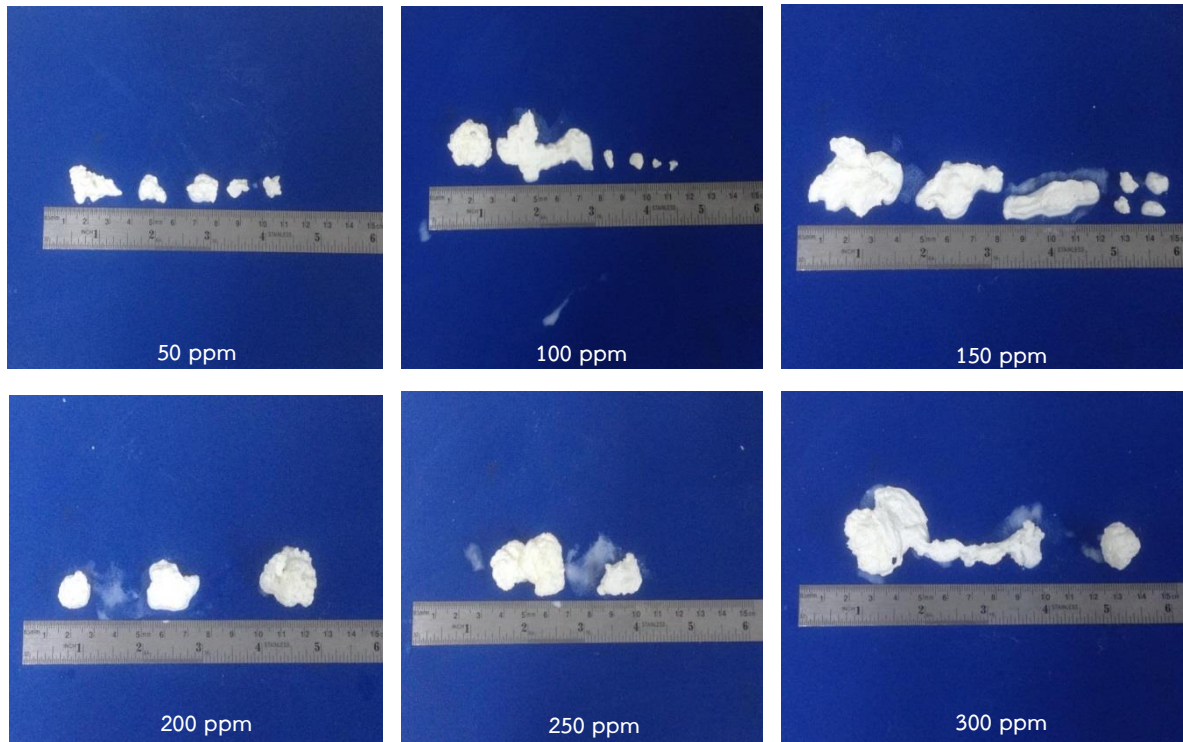
$[Mg^{2+}]$	pH	Turbidity (NTU)*	การจับก้อน
0	10.8 ± 0.02	402 ± 11	-
50	10.7 ± 0.03	384 ± 12	0.22
100	10.8 ± 0.03	361 ± 5	0.40
150	10.7 ± 0.06	355 ± 4	0.71
200	10.9 ± 0.02	346 ± 5	0.88
250	10.7 ± 0.01	346 ± 4	1.04
300	10.9 ± 0.02	339 ± 13	1.66

*น้ำยางข้น/น้ำปราศจากโอออน = 1/5000

ลดลง สอดคล้องกับปริมาณการจับก้อนของเนื้อมังที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยลักษณะและขนาดของก้อนยางที่เกิดจากการจับก้อนแสดงดังรูปที่ 23 และ 24



รูปที่ 23 ลักษณะการเกิดการจับก้อนของเนื้อมังในน้ำยางข้น โดยใช้สารละลาย Mg^{2+}



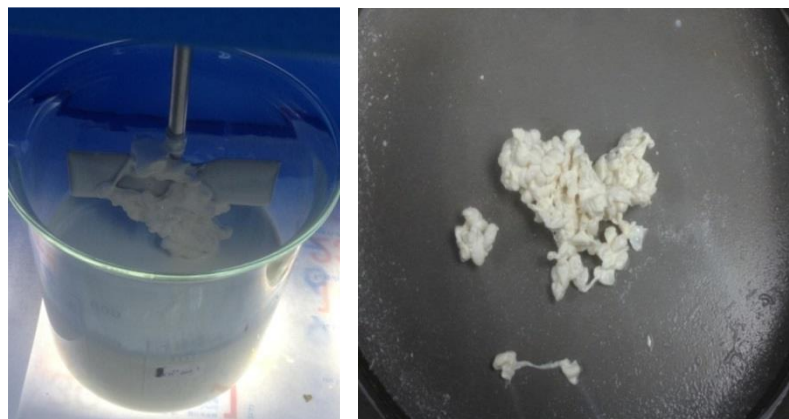
รูปที่ 24 ลักษณะการจับก้อนของเนื๋อยาง โดยใช้สารละลาย Mg^{2+} ที่ความเข้มข้นต่างๆ จาก stock solution ที่ความเข้มข้น 10,000 ppm

จากตารางที่ 21 พบว่าสารละลาย Ca^{2+} มีผลต่อการจับก้อนของเนื๋อยางและให้ผลเช่นเดียวกับสารละลาย Mg^{2+} โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH แต่มีผลทำให้ความขุ่นของน้ำยางมีแนวโน้มลดลงและปริมาณการจับก้อนของเนื๋อยางที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยการลดลงของค่าความขุ่นและปริมาณการจับก้อนของสารละลาย Ca^{2+} มีค่าสูงกว่าสารละลาย Mg^{2+} โดยลักษณะและขนาดของก้อนยางที่เกิดจากการจับก้อนแสดงในรูปที่ 25 และ 26

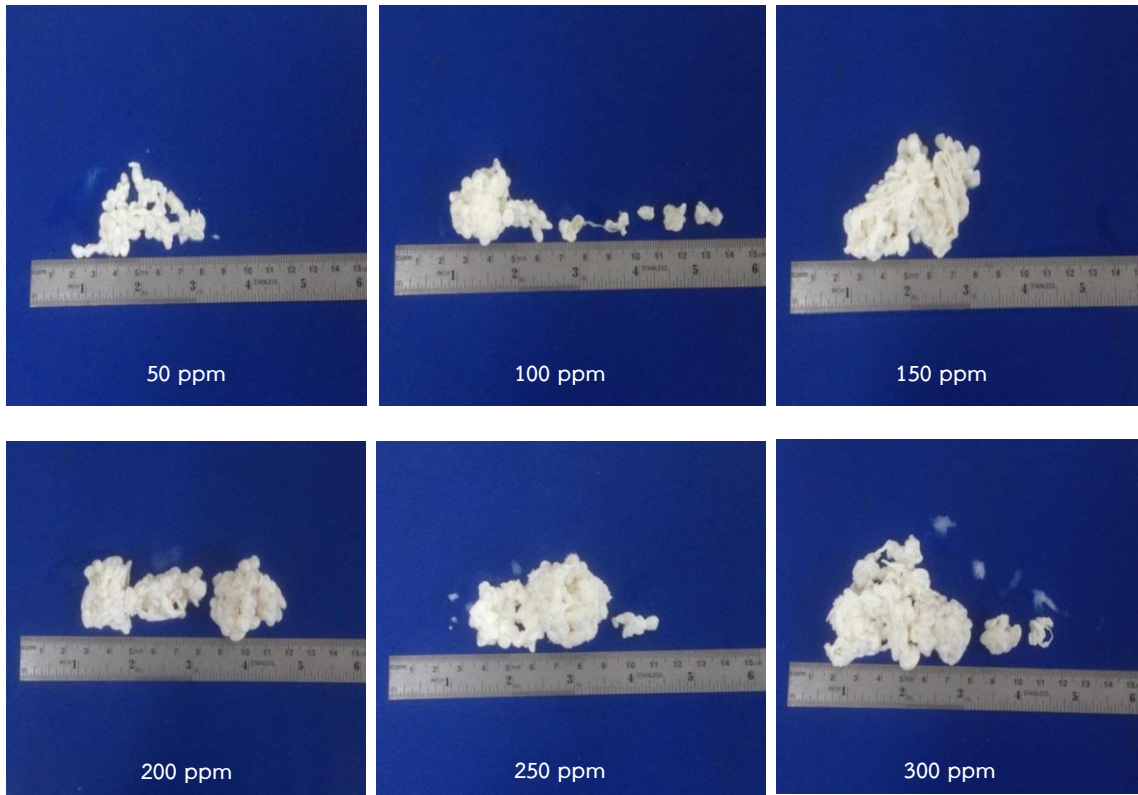
ตารางที่ 21 ค่าการทดสอบการจับก้อนของเนื้อมายาง โดยใช้สารละลาย Ca^{2+} ที่ความเข้มข้นต่างๆ จาก stock solution ที่ความเข้มข้น 10,000 ppm

$[\text{Ca}^{2+}]$ (ppm)	pH	Turbidity (NTU)*	การจับก้อน (% โดยมวล)
0	10.8 ± 0.02	402 ± 11	-
50	10.7 ± 0.03	382 ± 21	0.30
100	10.7 ± 0.02	371 ± 17	0.59
150	10.7 ± 0.02	345 ± 20	0.88
200	10.7 ± 0.01	335 ± 10	1.18
250	10.8 ± 0.02	331 ± 6	1.64
300	10.8 ± 0.03	328 ± 9	2.12

*น้ำยางข้น/น้ำปราศจากโอออน = 1/5000



รูปที่ 25 ลักษณะการเกิดการจับก้อนของเนื้อมายางในน้ำยางข้น โดยใช้สารละลาย Ca^{2+}



รูปที่ 26 ลักษณะการจับก้อนของเนื้อมาย โดยใช้สารละลาย Ca^{2+} ที่ความเข้มข้นต่างๆ จาก stock solution ที่ความเข้มข้น 10,000 ppm

จากรูปที่ 27 พบว่าการจับก้อนของเนื้อมายมีลักษณะคล้ายหยดน้ำ ซึ่งอาจเกิดจากการจับก้อนทันทีที่หยดสารละลาย Ca^{2+} ที่ความเข้มข้น 10,000 ppm ลงไป ซึ่งในสารละลาย Mg^{2+} ก็พบการจับก้อนในลักษณะเช่นเดียวกัน จึงสามารถสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของ stock solution มีผลต่อการจับก้อนของเนื้อมาย ดังนั้นในการทดสอบขั้นต่อไปจึงทดสอบการจับก้อนที่ความเข้มข้นของไอออนในน้ำมายังขั้นเท่ากับ 50 ppm โดยใช้ stock solution ของสารละลาย Mg^{2+} และ Ca^{2+} ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 5,000 และ 1,000 ppm โดยทำการปั่นกวนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง โดยผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 22 และ 23



รูปที่ 27 ลักษณะการจับก้อนยางที่ได้จากการใช้สารละลาย Ca^{2+} ที่ความเข้มข้น 10,000 ppm

จากตารางที่ 22 พบว่าค่า pH ของน้ำยางชั้นที่มีการเติมสารละลาย Mg^{2+} ที่ความเข้มข้นเท่ากัน (50 ppm) จาก stock solution ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (1,000 5,000 และ 10,000 ppm) มีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ stock solution ไม่มีผลต่อค่า pH แต่ค่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของ stock solution เพิ่มสูงขึ้น แสดงถึงแนวโน้มการจับก้อนของเนื้อยางที่เพิ่มสูงขึ้น สำหรับปริมาณและขนาดของการจับก้อนของเนื้อยางจะพบว่าขนาดของก้อนยางมีขนาดเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ stock solution และที่ความเข้มข้นของ stock solution ที่ 1,000 และ 5,000 ppm ไม่พบการจับก้อนทันทีที่หยดสาร

ตารางที่ 22 การทดสอบการจับก้อนของเนื้อยางด้วยสารละลาย Mg^{2+} โดยใช้ stock solution ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (จำนวน Mg^{2+} ในน้ำยางชั้นควบคุมให้เท่ากับ 50 ppm)

[Stock Mg^{2+}] (ppm)	pH	Turbidity (NTU)*	การจับก้อน (% โดยมวล)
0	10.8 ± 0.02	402 ± 11	-
1,000	10.9 ± 0.02	392 ± 3	-
5,000	10.9 ± 0.01	385 ± 13	-
10,000	10.7 ± 0.03	384 ± 12	0.22 %

*น้ำยางชั้นน้ำปราศจากไอออน = 1/5000

ละลายลงในน้ำอย่าง และไม่ปรากฏลักษณะของการจับก้อนคล้ายหยดน้ำดังที่พบใน stock solution ที่ความเข้มข้น 10,000 ppm ดังแสดงในรูปที่ 28 ทั้งนี้ผลการทดสอบการจับก้อนของ สารละลาย Ca^{2+} ก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับสารละลาย Mg^{2+} ดังแสดงในตารางที่ 23 และรูปที่ 29

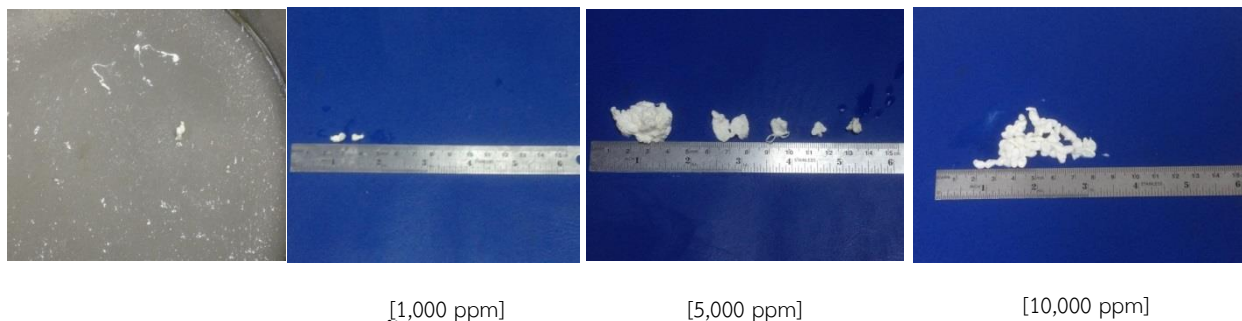


รูปที่ 28 ลักษณะการจับก้อนของเนื้อเยื่อจากสารละลาย Mg^{2+} ที่ความเข้มข้นของ stock solution ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 23 การทดสอบการจับก้อนของเนื้อเยื่อ โดยใช้สารละลาย Ca^{2+} ที่ความเข้มข้นของ stock solution ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (จำนวน Ca^{2+} ในน้ำยางชั้นควบคุมให้เท่ากับ 50 ppm)

[Stock Ca^{2+}] (ppm)	pH	Turbidity (NTU)*	การจับก้อน (% โดยมวล)
0	10.8 ± 0.02	402 ± 11	-
1,000	10.7 ± 0.01	388 ± 4	-
5,000	10.9 ± 0.04	382 ± 11	0.25%
10,000	10.7 ± 0.03	382 ± 21	0.30 %

*น้ำยางชั้นน้ำปราศจากไอออน = 1/5000

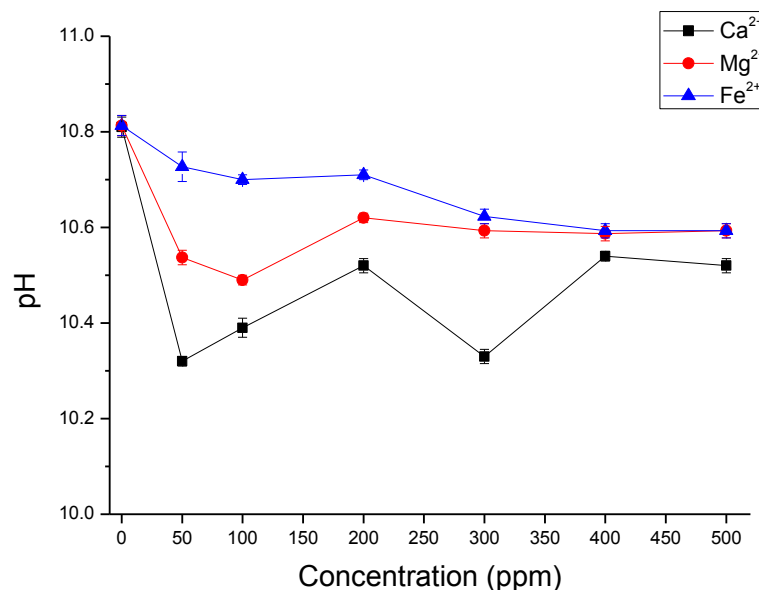


รูปที่ 29 ลักษณะการจับก้อนของเนื้อเยื่อจากสารละลาย Ca^{2+} ที่ความเข้มข้นของ stock solution ที่แตกต่างกัน

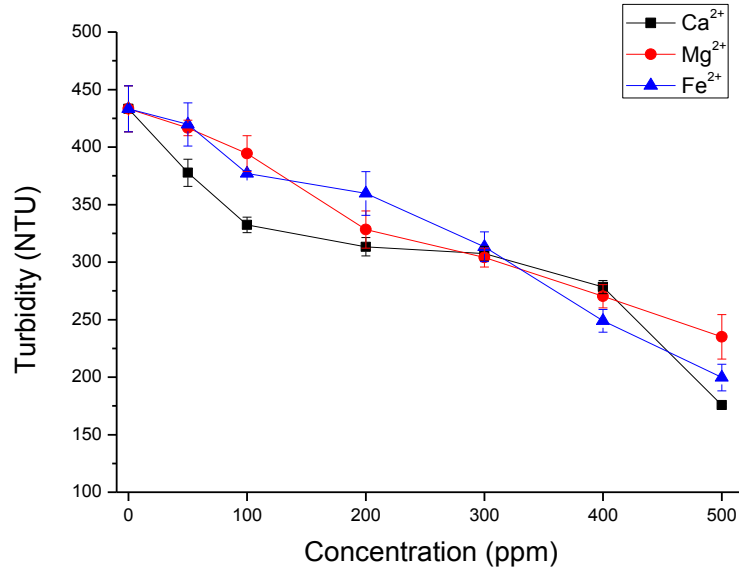
จากผลการทดสอบดังกล่าวข้างต้น ความเข้มข้นของ stock solution ที่ความเข้มข้น 1,000 ppm มีความเข้มข้นไม่สูงมากเกินไปและไม่ก่อให้เกิดการจับก้อนของเนื้อเยื่อในทันที จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการทดสอบเพื่อหาปัจจัยที่มีผลในการจับก้อนของเนื้อเยื่อ ได้แก่ ความเข้มข้นของประจุโลหะ เวลา และอุณหภูมิในลำดับต่อไป

4.2.3.2 การศึกษาการเริ่มจับก้อนของเนื้อเยื่อที่ความเข้มข้นของสารละลายไอออนต่างๆ

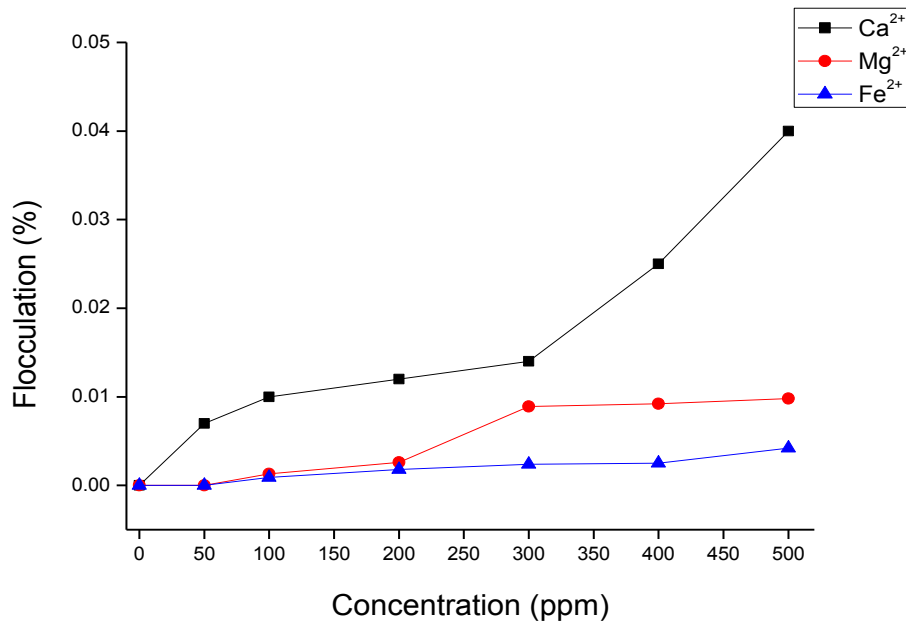
จากการทดสอบการเริ่มจับก้อนของเนื้อเยื่อโดยใช้สารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} ที่ความเข้มข้น 50 100 150 200 250 และ 300 ppm ทำการทดสอบโดยการปั่นกวนที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าเมื่อความเข้มข้นของของสารละลายทั้งสามชนิดเพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH (รูปที่ 30) แต่ค่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลง โดยสารละลาย Ca^{2+} ให้ค่าความขุ่นลดลงต่ำที่สุด (รูปที่ 31) แสดงถึงปริมาณการจับก้อนของเนื้อเยื่อที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายทั้งสามชนิดเพิ่มสูงขึ้นสอดคล้องกับปริมาณการจับก้อนของเนื้อเยื่อ (รูปที่ 32) โดยสารละลาย Ca^{2+} จะพบปริมาณการจับก้อนของเนื้อเยื่อสูงที่สุด รองลงมาเป็นสารละลาย Mg^{2+} และ Fe^{2+} ตามลำดับ โดยลักษณะของการจับก้อนของเนื้อเยื่อจากสารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+}



รูปที่ 30 ค่า pH ของน้ำยาขุ่นจากการทดสอบการจับก้อนของเนื้อเยื่อ โดยใช้สารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} ที่ความเข้มข้นต่างๆ

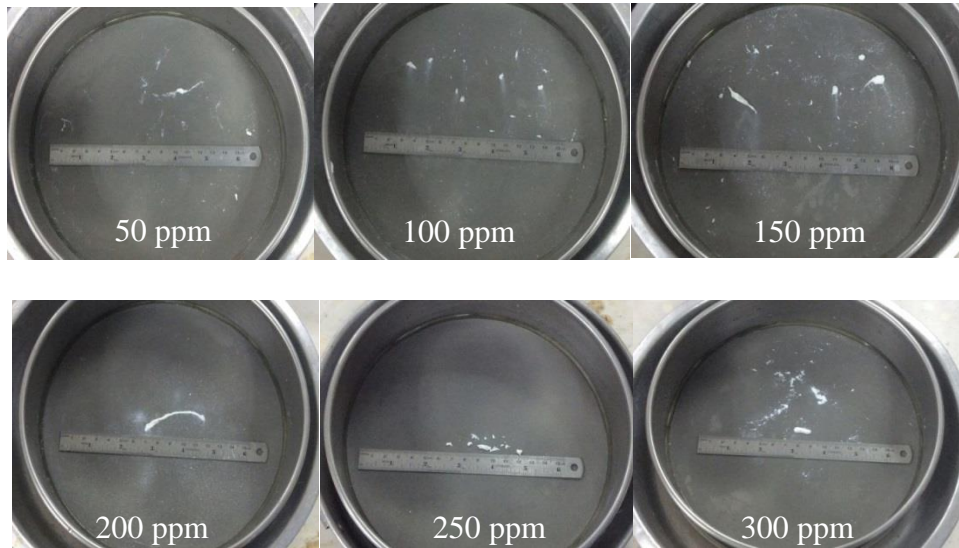


รูปที่ 31 ค่าความขุ่นของน้ำยางขึ้นจากการทดสอบการจับก้อนของเนื้อยาง โดยใช้สารละลาย Ca²⁺ Mg²⁺ และ Fe²⁺ ที่ความเข้มข้นต่างๆ

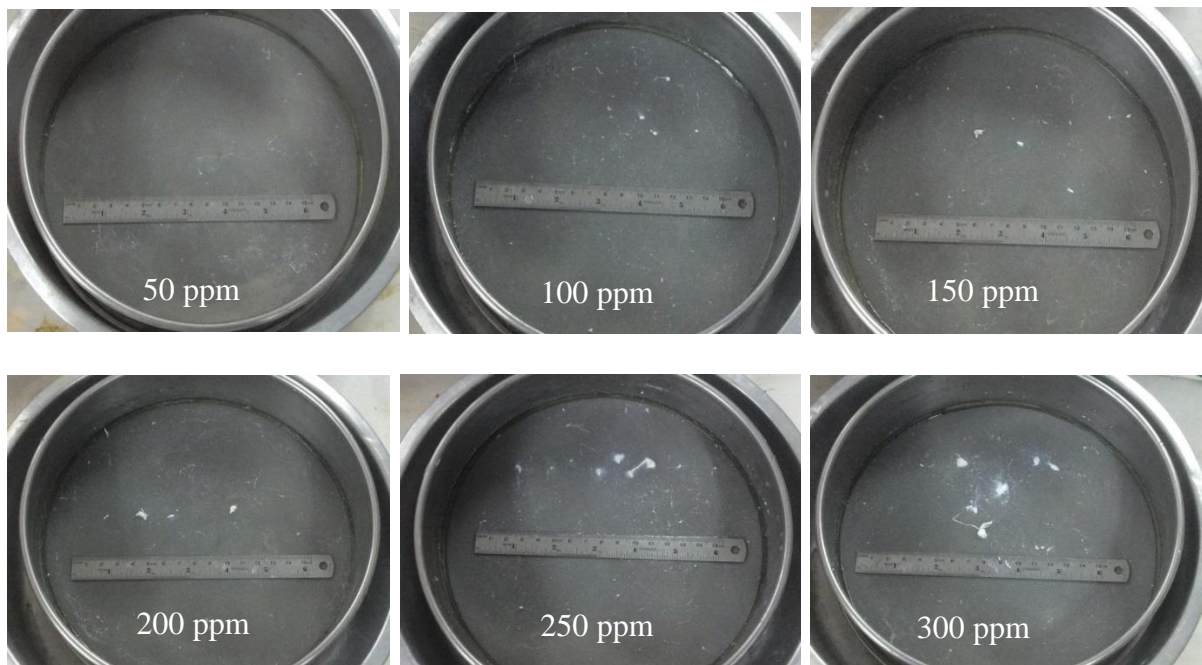


รูปที่ 32 ปริมาณการจับก้อนของเนื้อยางในน้ำยางขึ้นด้วยสารละลาย Ca²⁺ Mg²⁺ และ Fe²⁺ ที่ความเข้มข้นต่างๆ

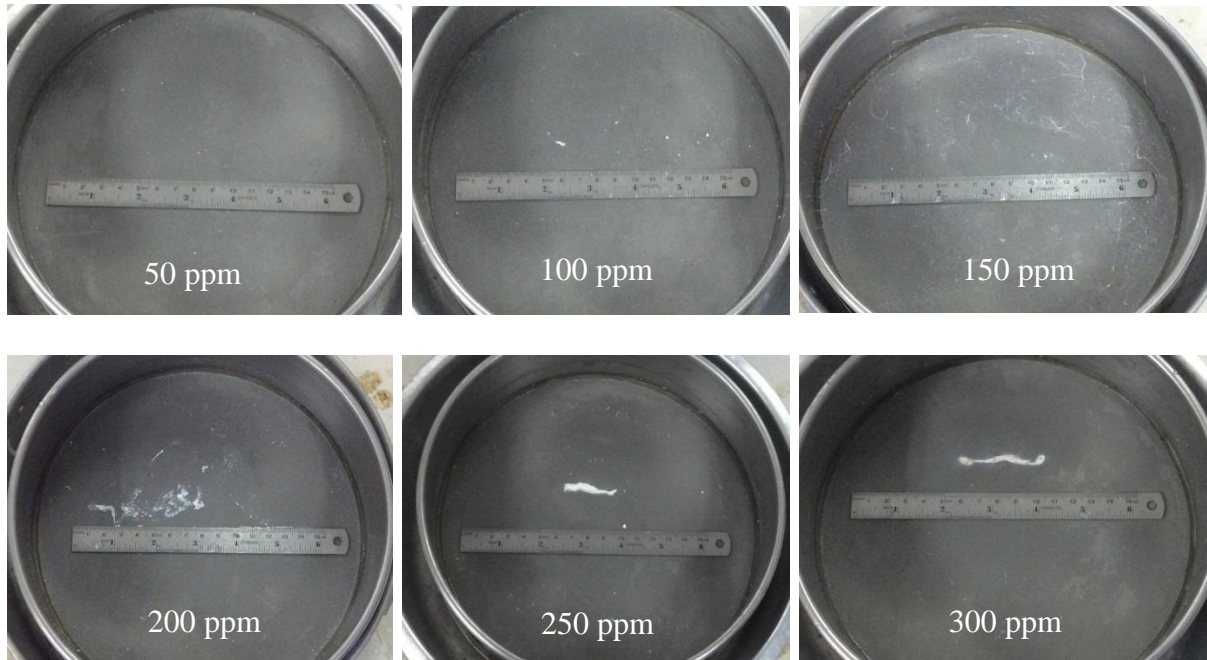
และ Fe^{2+} ที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 33 34 และ 35 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของสารละลายไอออนโลหะทั้งสามชนิดที่ 100 ppm เป็นความเข้มข้นเริ่มต้นที่พบการจับก้อนของเนื้อยาง และใช้ค่าความเข้มข้นที่ 100 ppm เพื่อศึกษาการเริ่มจับก้อนของเนื้อยางที่เวลาต่างๆ ต่อไป



รูปที่ 33 ลักษณะการจับก้อนของเนื้อยางในน้ำยางชั้นด้วยสารละลาย Ca^{2+} ที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 34 ลักษณะการจับก้อนของเนื้อยางในน้ำยางชั้นด้วยสารละลาย Mg^{2+} ที่ความเข้มข้นต่างๆ

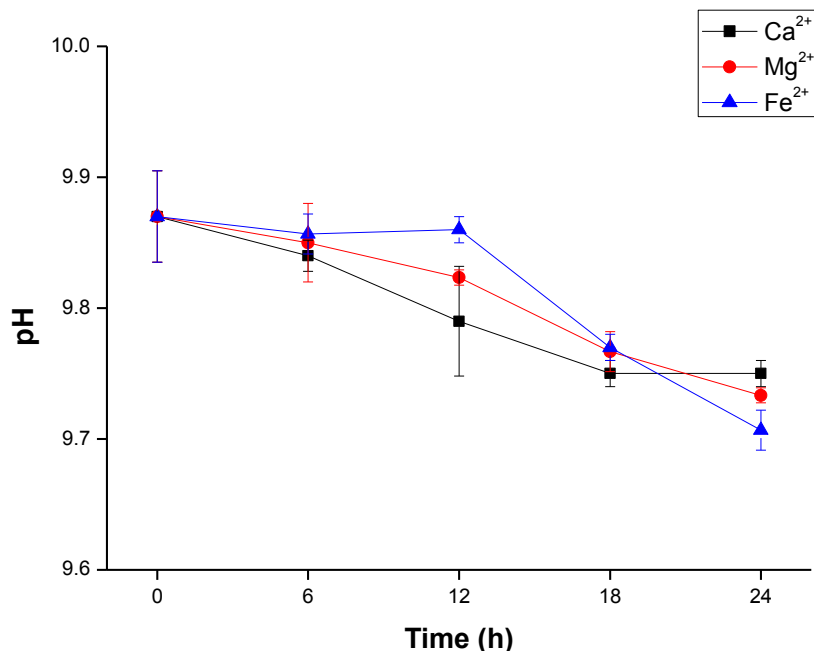


รูปที่ 35 ลักษณะการจับก้อนของเนื๋อยางในน้ำยางชั้นด้วยสารละลาย Fe^{2+} ที่ความเข้มข้นต่างๆ

4.2.3.3 การศึกษาการเริ่มจับก้อนของเนื๋อยางด้วยสารละลายไอออนที่เวลาต่างๆ

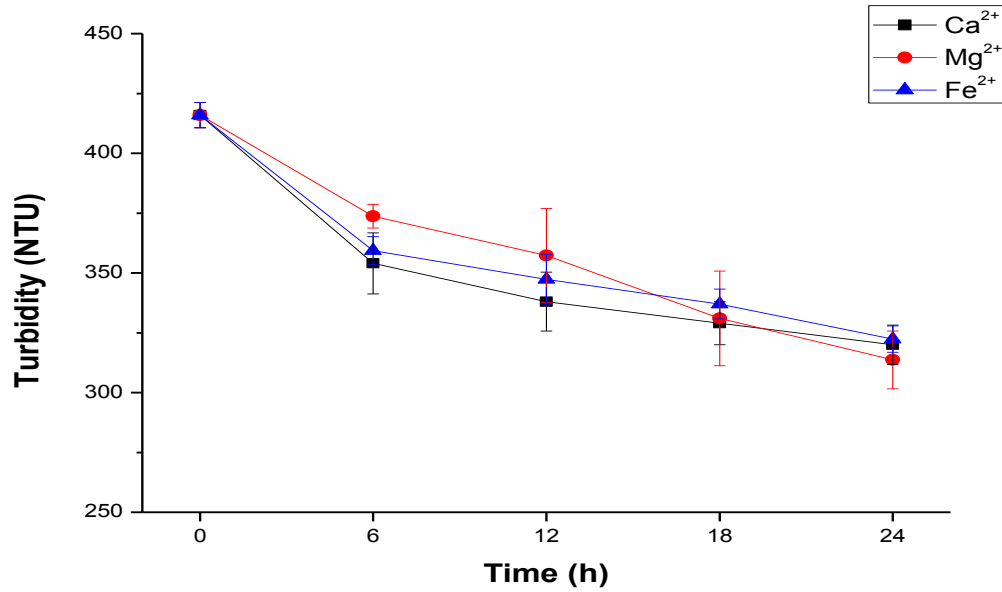
จากการทดสอบการเริ่มจับก้อนของเนื๋อยางด้วยสารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} ที่เวลา 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง ทำการทดสอบโดยการปั่นกวนที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ใช้ค่าความเข้มข้นของสารละลายไอออนในน้ำยางชั้นเท่ากับ 100 ppm จากผลการทดสอบพบว่าค่า pH ลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มเวลาในการทดสอบ โดยค่า pH ของน้ำยางชั้นมีค่าลดลง 0.3 0.81 1.22 และ 1.22% เมื่อเติมสารละลาย Ca^{2+} ลงไปในน้ำยางชั้น ขณะที่ pH ของน้ำยางชั้นมีค่าลดลง 0.2 0.47 1.05 และ 1.38% เมื่อเติมสารละลาย Mg^{2+} และมีค่าลดลง 0.14 0.10 1.01 และ 1.65% เมื่อเติมสารละลายเหล็ก Fe^{2+} ลงไปในน้ำยางชั้นแล้วกวนทิ้งไว้เป็นเวลา 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 36

สำหรับค่าความชุ่มมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โดยค่าความชุ่มของน้ำยางชั้นที่ผ่านการทดสอบการจับก้อนและทำการเจือจาง 5,000 เท่า มีค่าลดลง 15 19 21 และ 23% เมื่อเติมสารละลาย Ca^{2+} ลงไปในน้ำยางชั้น และค่าความชุ่มของน้ำยางชั้นมีค่าลดลง 10 14 20 และ 25% เมื่อเติมสารละลาย Mg^{2+} ขณะที่ค่าความชุ่มของน้ำยางชั้นมีค่าลดลง 14 17 19 และ 23%

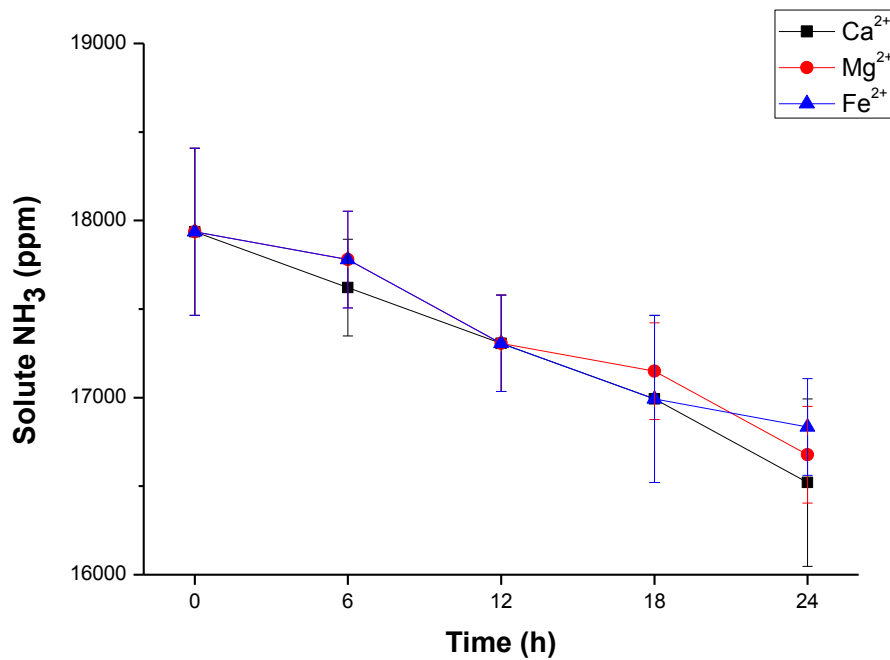


รูปที่ 36 ค่า pH ของน้ำยางชั้นที่ได้จากการทดสอบการจับก้อนของเนื้อมะพร้าวด้วยสารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} ที่เวลาต่างๆ

เมื่อทดสอบกับสารละลาย Fe^{2+} ที่เวลา 6 12 18 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 37 โดยค่าความขุ่นจากการทดสอบด้วยสารละลาย Ca^{2+} จะมีค่าความขุ่นลดลงต่ำสุด แสดงถึงปริมาณการจับก้อนของเนื้อมะพร้าวที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำยาง มีค่าลดลง 1.8 3.5 5.3 และ 7.9 % เมื่อทดสอบกับสารละลาย Ca^{2+} และมีค่าลดลง 0.9 3.5 4.4 และ 7.0 % เมื่อทดสอบกับสารละลาย Mg^{2+} และมีค่าลดลง 0.9 3.5 5.3 และ 6.1% เมื่อทดสอบกับสารละลาย Fe^{2+} ที่เวลา 6 12 18 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ ดังแสดงในรูป 38 ซึ่งเกิดจากการระเหยของแอมโมเนียระหว่างทำการทดสอบ โดยที่การลดลงของปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำยางชั้นจะมีผลต่อการจับก้อนของเนื้อมะพร้าว โดยมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการลดลงของค่า pH และค่าความขุ่น แต่การลดลงของปริมาณแอมโมเนียในช่วงที่ไม่เกิน 8% โดยน้ำหนักจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของการจับก้อนของเนื้อมะพร้าวเพียงเล็กน้อย

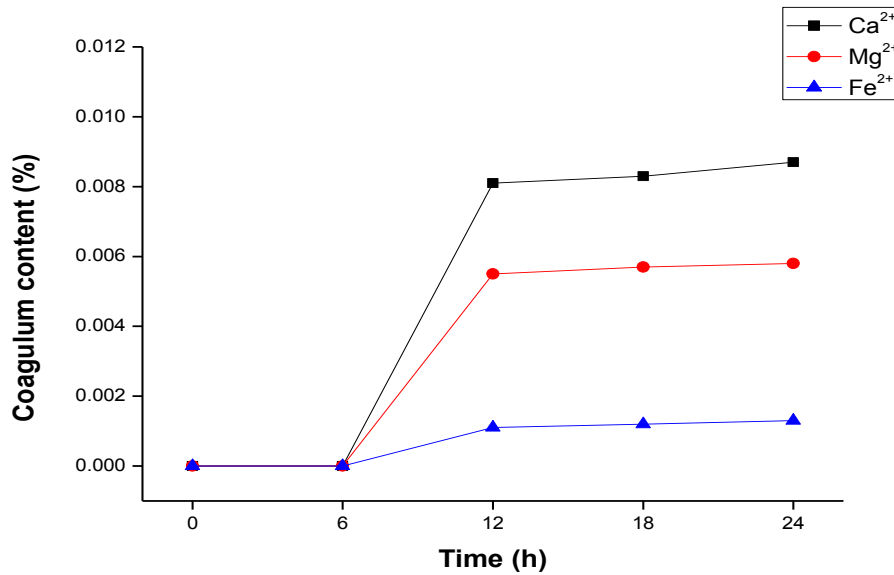


รูปที่ 37 ค่าความขุ่นของน้ำยางข้นที่ได้จากการทดสอบการจับก้อนของเนื้อยางด้วยสารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} ที่เวลาต่างๆ

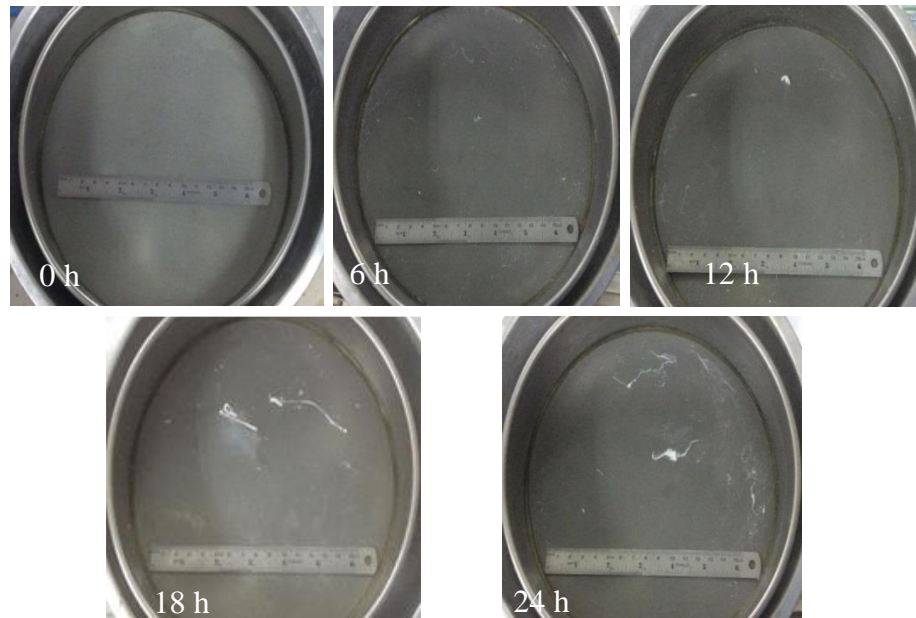


รูปที่ 38 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางข้นที่ได้จากการทดสอบการจับก้อนของเนื้อยางด้วยสารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} ที่เวลาต่างๆ

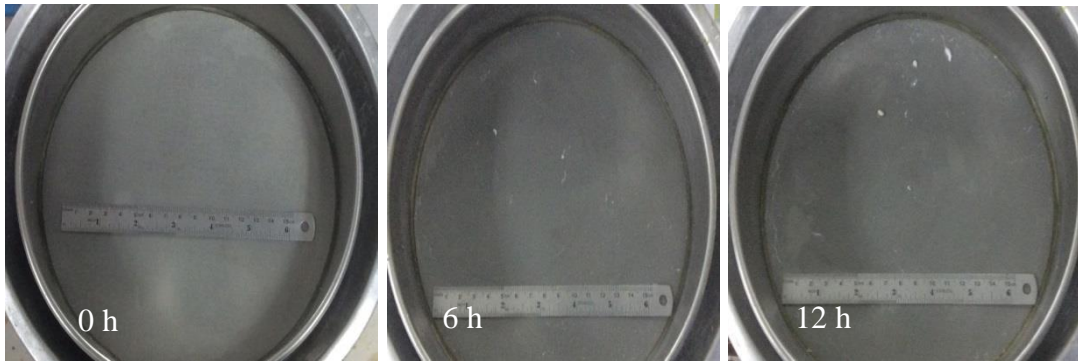
สำหรับปริมาณการจับก้อนของเนื้อเยื่อที่มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเวลาในการทดสอบเพิ่มขึ้น รูปที่ 39 แสดงให้เห็นว่าการเติมสารละลาย Ca^{2+} จะพบปริมาณการจับก้อนของเนื้อเยื่อสูงที่สุด รองลงมาเป็นสารละลาย Mg^{2+} และ Fe^{2+} ตามลำดับ โดยลักษณะของการจับก้อนของเนื้อเยื่อจากสารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} ที่เวลาต่างๆ แสดงในรูปที่ 40 41 และ 42 ตามลำดับ



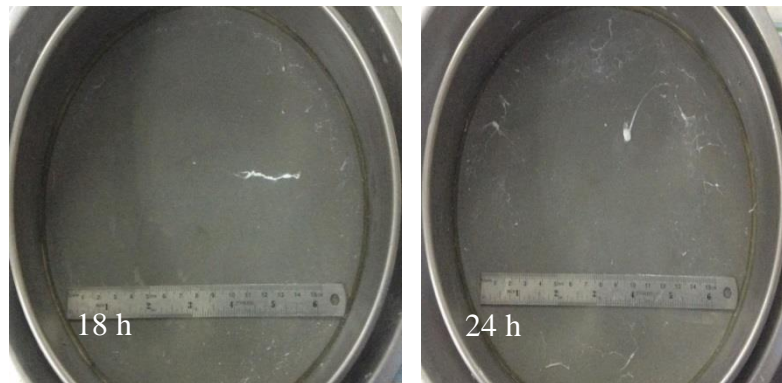
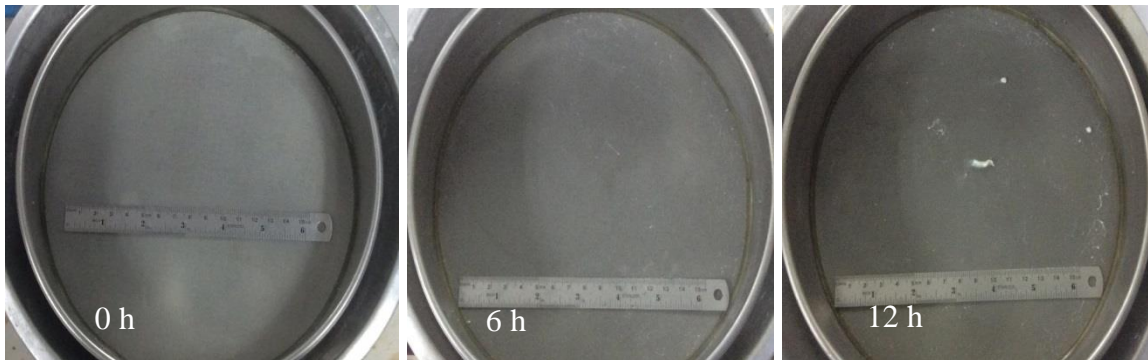
รูปที่ 39 ปริมาณการจับก้อนของเนื้อเยื่อน้ำยางข้นเมื่อเติมสารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} แล้วกวนนานแตกต่างกัน



รูปที่ 40 ลักษณะการจับก้อนของเนื้อเยื่อจากสารละลายแคลเซียม Ca^{2+} ที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 41 ลักษณะการจับก้อนของเนื้องานจากสารละลาย Mg^{2+} ที่เวลาต่างๆ

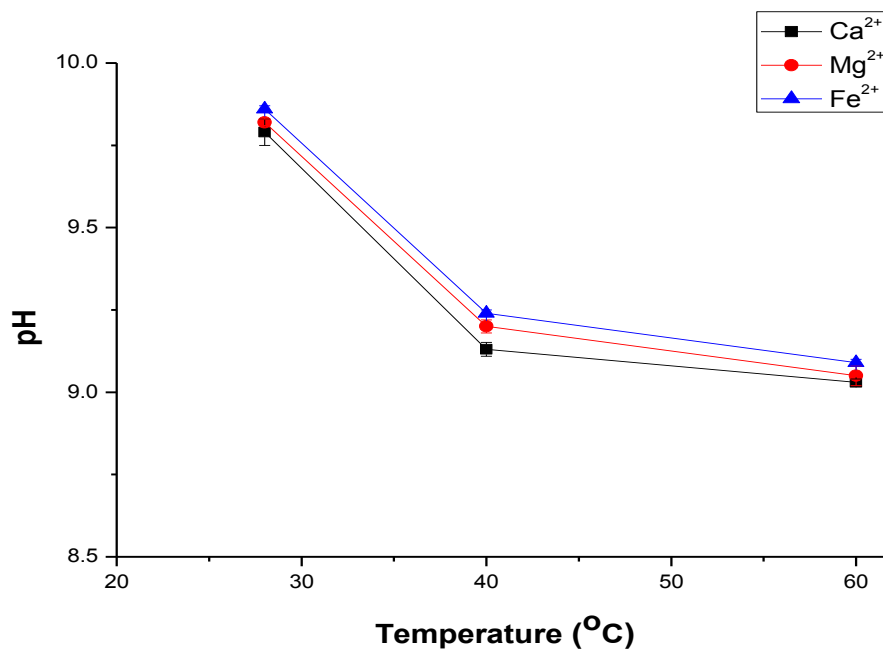


รูปที่ 42 ลักษณะการจับก้อนของเนื้องานจากสารละลาย Fe^{2+} ที่เวลาต่างๆ

ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าที่เวลา 12 ชั่วโมง เป็นเวลาเริ่มต้นที่พบการจับก้อนของเนื้อมังกร ทั้งนี้จะเลือกใช้เวลาทดสอบที่ 12 ชั่วโมงและความเข้มข้นของสารละลายที่ 100 ppm เพื่อศึกษาการเริ่มจับก้อนของเนื้อมังกรที่อุณหภูมิต่างๆ ต่อไป

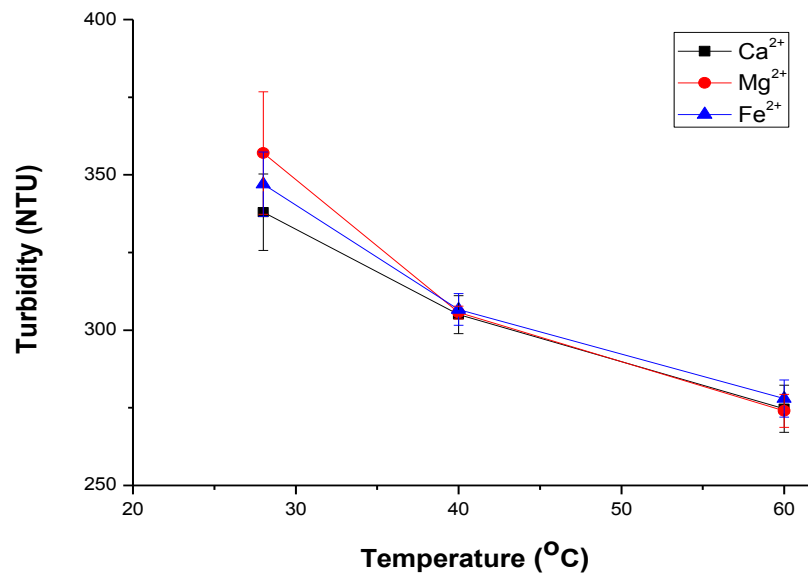
4.2.3.4 การศึกษาการเริ่มจับก้อนของเนื้อมังกรที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการทดสอบการเริ่มจับก้อนของเนื้อมังกรโดยใช้สารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} ที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) 40 และ 60 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบโดยการปั่นกววนโดยใช้ค่าความเข้มข้นของสารละลายที่ 100 ppm และใช้เวลา 12 ชั่วโมง จากผลการทดสอบพบว่า pH มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทดสอบ โดยค่า pH ของน้ำยางชั้นมีค่าลดลง 6.74 และ 7.76% เมื่อทดสอบกับสารละลาย Ca^{2+} และมีค่าลดลง 6.31 และ 7.84% เมื่อทดสอบกับสารละลาย Mg^{2+} และมีค่าลดลง 6.29 และ 7.81% เมื่อทดสอบกับสารละลาย Fe^{2+} ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า pH ที่อุณหภูมิห้องดังแสดงในรูปที่ 43

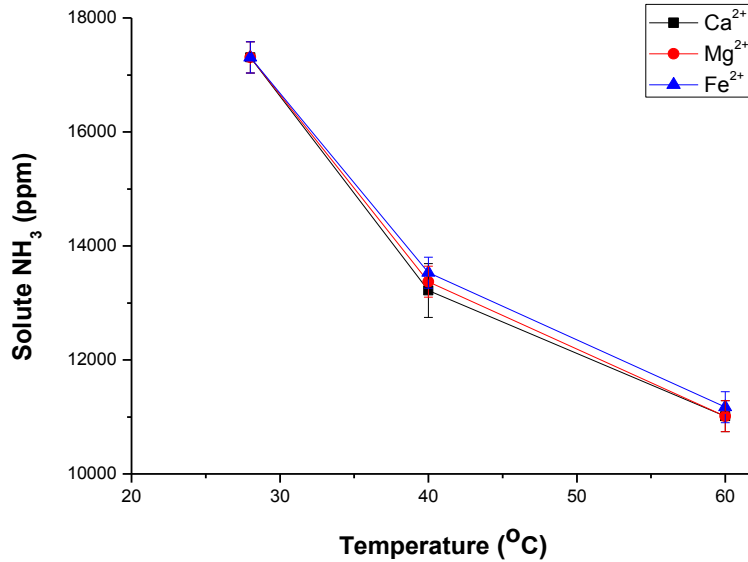


รูปที่ 43 ค่า pH จากการทดสอบการจับก้อนของเนื้อมังกรโดยใช้สารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} ที่อุณหภูมิต่างๆ

สำหรับค่าความขุ่น มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยค่าความขุ่นของน้ำยางชั้นที่ผ่านการทดสอบการจับก้อนและทำการเจือจาง 5,000 เท่า มีค่าลดลง 12.4 และ 21.1% เมื่อทดสอบกับสารละลาย Ca^{2+} และมีค่าลดลง 14.4 และ 23.3% เมื่อทดสอบกับสารละลาย Mg^{2+} และมีค่าลดลง 11.6 และ 19.9% เมื่อทดสอบกับสารละลาย Fe^{2+} ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบที่อุณหภูมิห้องดังแสดงในรูปที่ 44 โดยค่าความขุ่นจากการทดสอบด้วยสารละลาย Ca^{2+} จะมีค่าความขุ่นลดลงต่ำสุด แสดงถึงปริมาณการจับก้อนของเนื้อยางที่เพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำยางมีค่าลดลง 23.6 และ 36.4 % เมื่อทดสอบกับสารละลาย Ca^{2+} และมีค่าลดลง 22.7 และ 36.4% เมื่อทดสอบกับสารละลาย Mg^{2+} และมีค่าลดลง 21.8 และ 35.5% เมื่อทดสอบกับสารละลาย Fe^{2+} ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบที่อุณหภูมิห้องดังแสดงในรูปที่ 45 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องมาจากการระเหยของปริมาณแอมโมเนียระหว่างทำการทดสอบเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจากอุณหภูมิห้องเป็น 40 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงประมาณ 21-24 % และที่ 60 องศาเซลเซียสมีค่าลดลงประมาณ 35-36% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการลดลงของปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำยางชั้นจะมีผลต่อการจับ

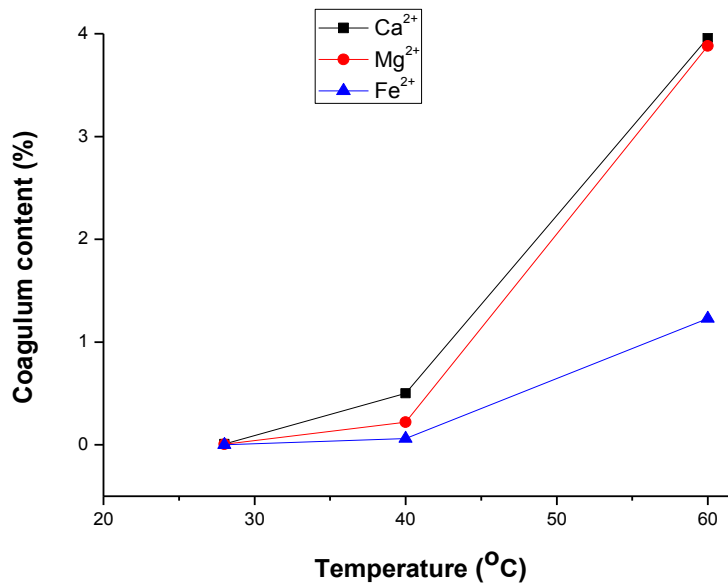


รูปที่ 44 ค่าความขุ่นจากการทดสอบการจับก้อนของเนื้อยาง โดยใช้สารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} ที่อุณหภูมิต่างๆ



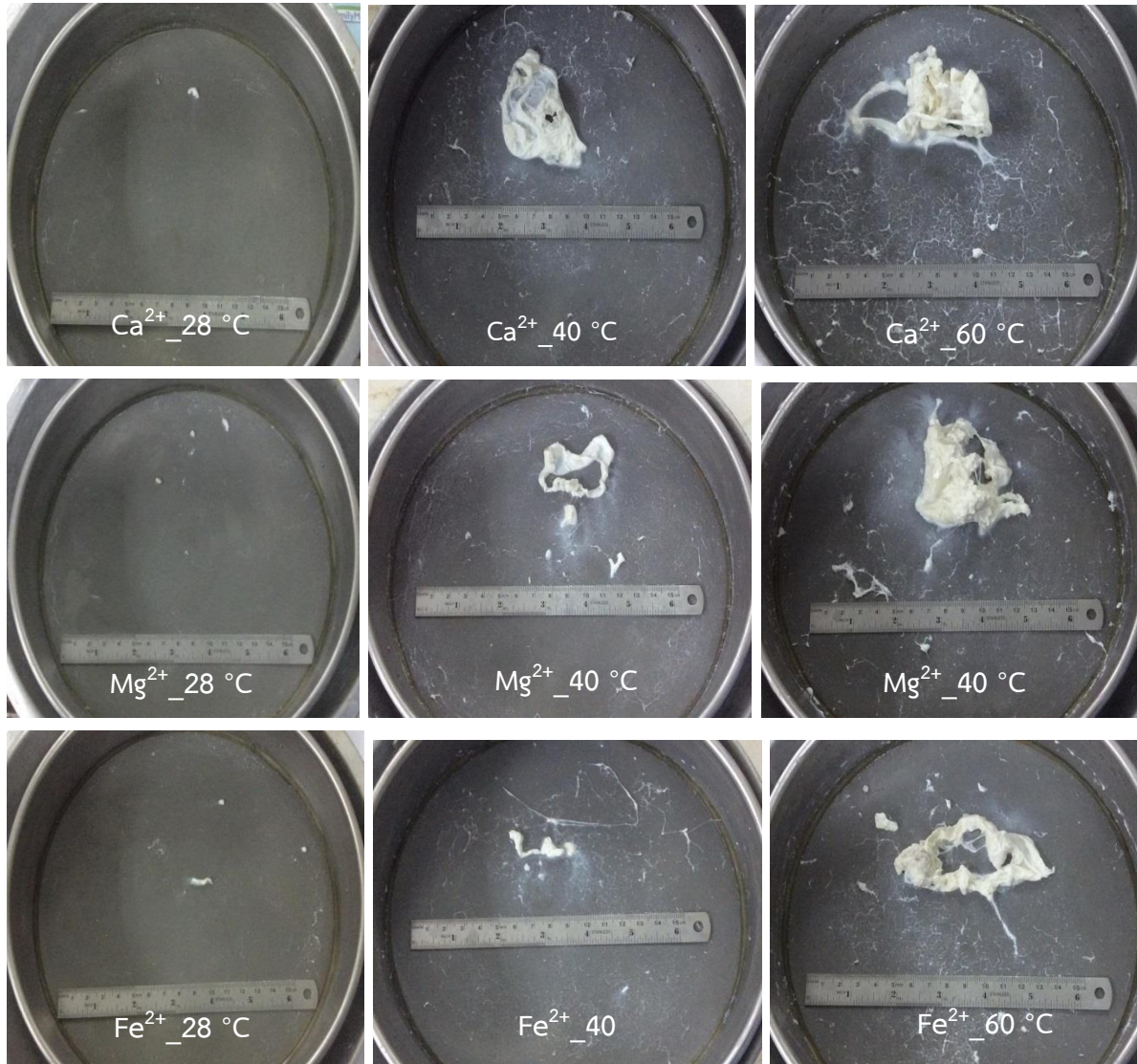
รูปที่ 45 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางชั้นที่ได้จากการทดสอบการจับก้อนของเนื้อยาง โดยใช้สารละลาย Ca²⁺ Mg²⁺ และ Fe²⁺ ที่อุณหภูมิต่างๆ

ก้อนของเนื้อยาง โดยมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการลดลงของค่า pH และค่าความขุ่น โดยสามารถยืนยันได้อย่างชัดเจนจากแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นของปริมาณการจับก้อนของเนื้อยางตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 46 และขนาดของก้อนยางที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 47 โดยจะพบ

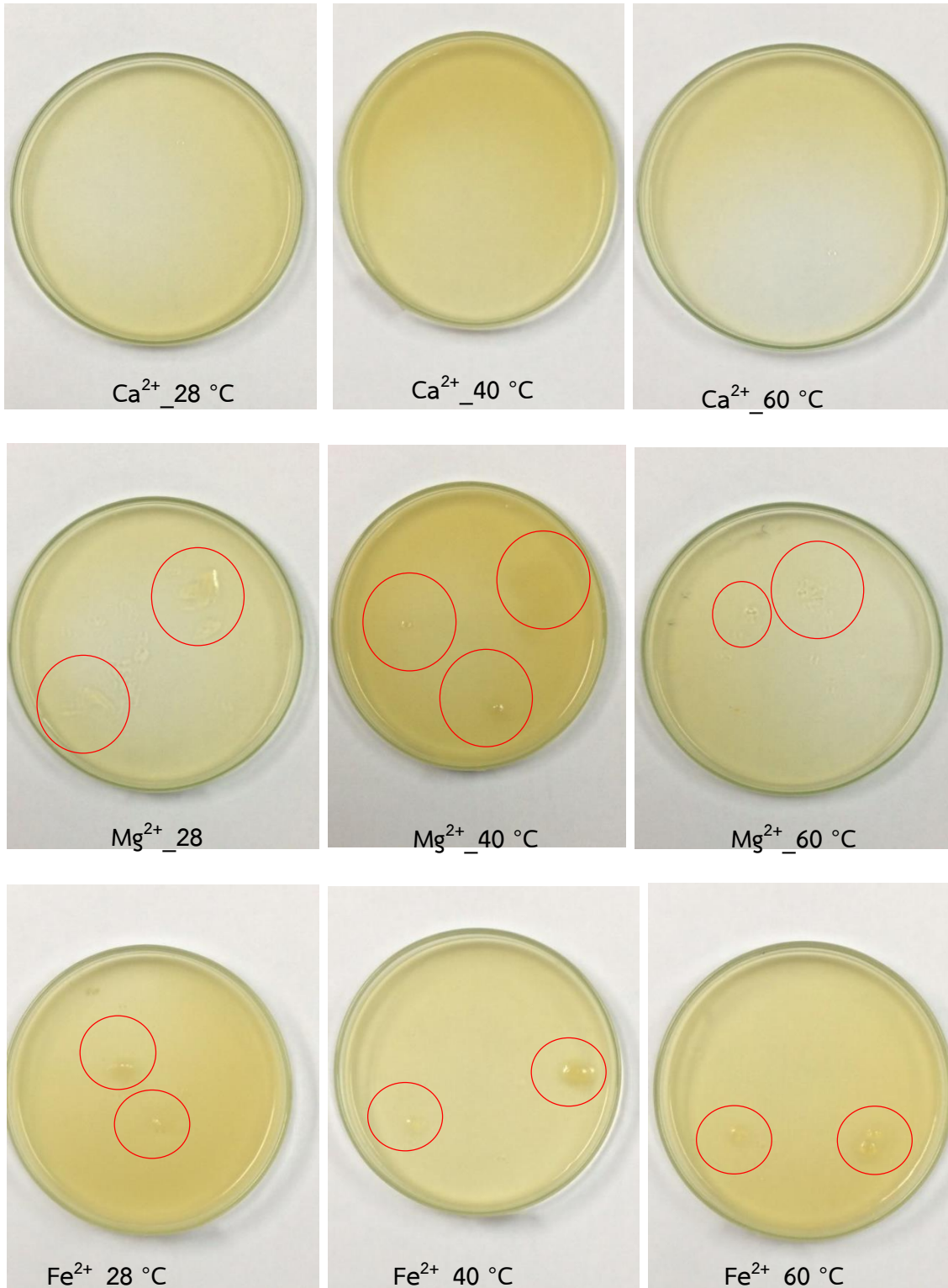


รูปที่ 46 ปริมาณการจับก้อนของเนื้อยางที่ได้จากการทดสอบการจับก้อนของเนื้อยางโดยใช้สารละลาย Ca²⁺ Mg²⁺ และ Fe²⁺ ที่อุณหภูมิต่างๆ

ปริมาณและขนาดของการจับก้อนของเนื้อเยื่อที่ใกล้เคียงกันระหว่างสารละลาย Ca^{2+} และ Mg^{2+} ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพื่อยืนยันให้เห็นถึงการจับก้อนของเนื้อเยื่อ โดยจะพบลักษณะของก้อนยาง (ในวงกลม) ปรากฏบนแผ่นฟิล์มยางแห้งที่ได้จากการหล่อฟิล์ม (cast film) ดังแสดงในรูปที่ 48 โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 40 และ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 47 ลักษณะการจับก้อนของเนื้อเยื่อโดยใช้สารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 48 การหล่อฟิล์มเพื่อยืนยันการจับก้อนของเนื้อย่าง โดยใช้สารละลาย Ca²⁺ Mg²⁺ และ Fe²⁺ ที่อุณหภูมิ
ต่างๆ

ตารางที่ 24 ค่ากรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA number) จากการทดสอบการจับก้อนของเนื้อมาตรฐานโดยใช้สารละลาย Ca^{2+} ที่อุณหภูมิต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่ากรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA number)
น้ำยางข้น (Blank)	0.031
Ca^{2+} , 28 °C	0.026
Ca^{2+} , 40 °C	0.027
Ca^{2+} , 60 °C	0.025

*ทดสอบโดยมาตรฐาน ISO 506:1992

จากการทดสอบค่ากรดไขมันที่ระเหยได้ (VF number) โดยเลือกศึกษาเฉพาะจากการทดสอบการจับก้อนของน้ำยางข้นโดยใช้สารละลาย Ca^{2+} ที่อุณหภูมิห้อง (28 °C), 40 และ 60 °C ซึ่งพบปริมาณและขนาดของการจับก้อนของเนื้อมาตรฐานสูงที่สุด โดยค่ากรดไขมันที่ระเหยได้แสดงถึงผลิตภัณฑ์พลอยได้ (by products) ที่เกิดจากกระบวนการการย่อยสลายโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นอีกปัจจัยที่ทำให้เกิดการจับก้อนของน้ำยางข้น จากผลการทดสอบพบว่าค่ากรดไขมันที่ระเหยได้ที่อุณหภูมิต่างๆมีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าจับก้อนของเนื้อมาตรฐานที่เกิดขึ้นไม่ได้มีสาเหตุจากเชื้อจุลินทรีย์ แต่การจับก้อนของเนื้อมาตรฐานมาจากประจุของ Ca^{2+} เท่านั้น อีกทั้ง ที่อุณหภูมิสูงถึง 60 °C เป็นสภาวะที่จุลินทรีย์ไม่สามารถอยู่รอดได้

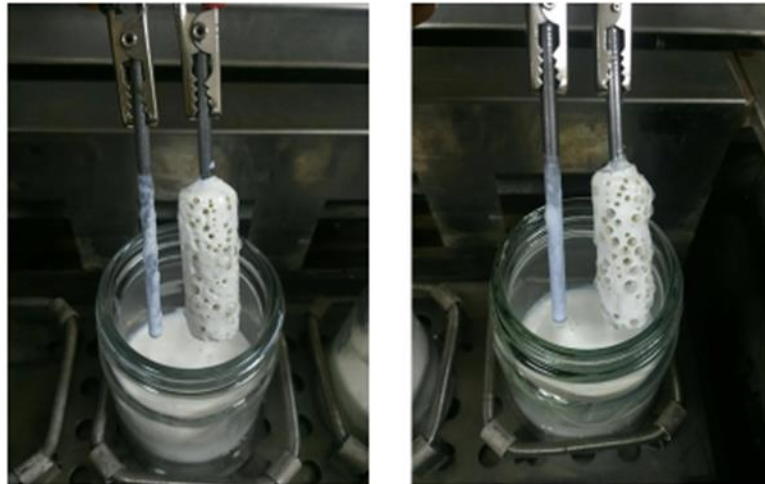
4.2.4 การศึกษาการจับก้อนยางด้วยสนิมเหล็ก

4.2.4.1 การศึกษาการจับก้อนเนื่องจากขี้เหล็กในชุดอุปกรณ์ electrochemical cell

เนื่องจากสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าการตกตะกอนยางอาจเกิดจากสนิมเหล็ก ดังนั้นในการทดสอบด้วยอุปกรณ์ electrochemical cell จึงถูกนำมาใช้ในการทดสอบ เพื่อใช้กระแสไฟฟ้าแรงให้เหล็กเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ให้เกิดสนิมเกาะอยู่บนแท่งเหล็ก จากการทดสอบพบว่า กำลังไฟฟ้าที่ใส่เข้าไปในเซลล์ ทำให้อุณหภูมิของมาเกาะที่ขั้วอิเล็กโทรดเหล็กดังแสดงในรูปที่ 49

นำน้ำยางที่ผ่านการทดสอบด้วยอุปกรณ์ electrochemical cell กรองผ่านตะแกรงพบว่าน้ำยางที่ได้ไม่มีตะกอนเกิดขึ้นหลังการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีดังแสดงในรูปที่ 50 และเมื่อ

ทดสอบเป็นระยะเวลาต่อไป พบว่าอนุภาคยางเกาะบนแท่งเหล็กดังแสดงในรูปที่ 51 และ 52 แต่ไม่ทำให้ยางเกาะตัวกันจับก้อนกันแยกชั้นออกจากน้ำยาง โดยผลการทดลองที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างผลที่เกิดกับน้ำยางจากการใช้ขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากตะปูหรือลวดเชื่อม แต่การเพิ่มความต่างศักย์ จะทำให้ปริมาณยางที่เกาะขั้วอิเล็กโทรดเหล็กมีมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 53



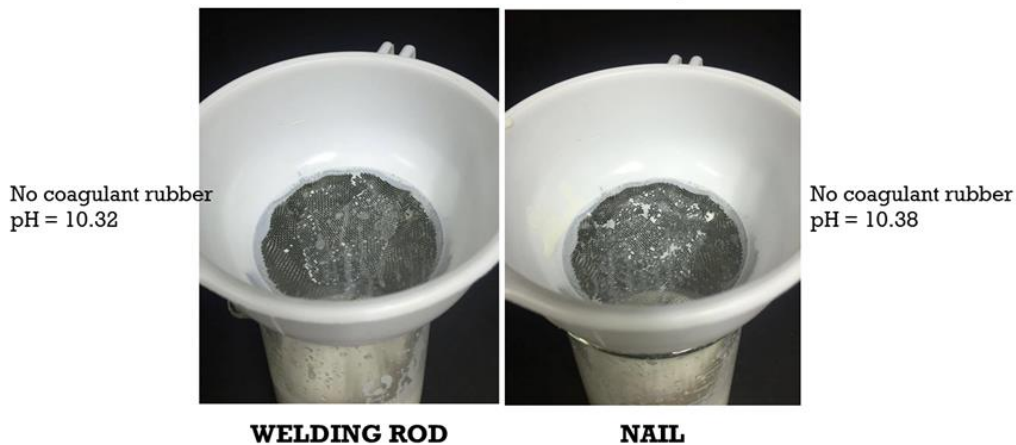
NAIL

WELDING ROD

*Collecting sample every 2 h

รูปที่ 49 ลักษณะยางที่เกิดขึ้น หลังทำ electrochemical cell เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

Filtrate NR latex after electrolysis



No coagulant rubber
pH = 10.32

No coagulant rubber
pH = 10.38

WELDING ROD

NAIL

รูปที่ 50 ลักษณะของน้ำยางหลังปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี 2 ชั่วโมง และการกรองผ่านตะแกรง



NAIL

WELDING ROD

*Sample figure after 10 h

รูปที่ 51 ลักษณะยางที่เกิดขึ้น หลังทำ electrochemical cell เป็นเวลา 10 ชั่วโมง



NAIL

WELDING ROD

รูปที่ 52 ลักษณะยางที่เกิดขึ้น หลังทำ electrochemical cell เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

Electrolysis by using welding rod



Voltage usage = 6 Volts



Voltage usage = 9 Volts

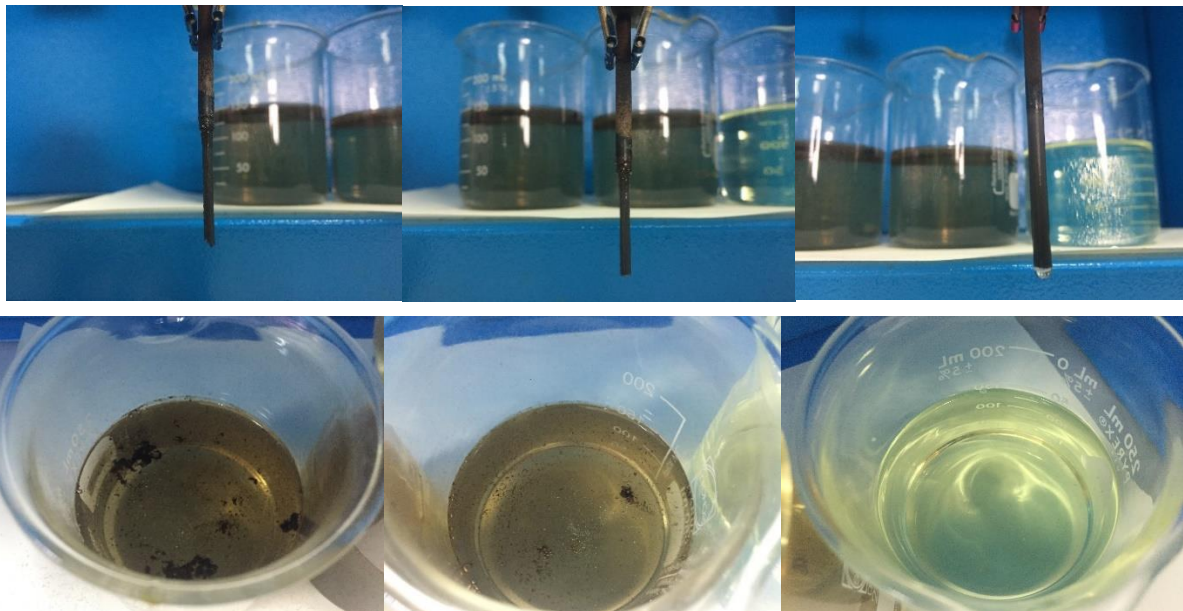
รูปที่ 53 ลักษณะยางที่เกิดขึ้นหลังทำ electrochemical cell โดยใช้ความต่างศักย์ที่ 6 และ 9 โวลท์

4.2.4.2 การศึกษาการเกิดสนิมบนเหล็ก

เนื่องจากต้องการเร่งให้เหล็กเกิดสนิม ดังนั้นจึงนำแท่งเหล็กแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าแท่งเหล็กมีลักษณะที่เปลี่ยนไปจากตอนเริ่มต้น ดังแสดงในรูปที่ 54 เป็นรูปที่ 55



รูปที่ 54 ลักษณะแท่งเหล็กก่อนเกิดสนิม ตะปุดตัดหัว (เหล็กด้านซ้าย) ลวดเส้น (เหล็กแท่งกลาง) และลวดเชื่อม (เหล็กด้านขวา)



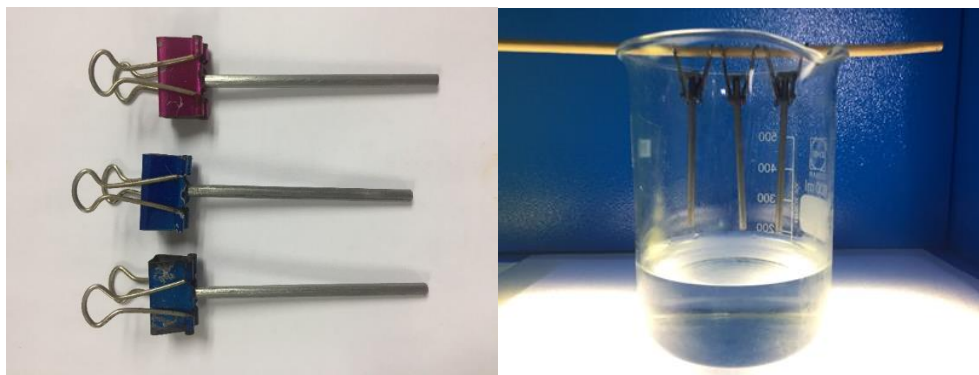
รูปที่ 55 ลักษณะแท่งเหล็กหลังจากแช่ในกรดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เมื่อจบการทดลองพบว่า แท่งเหล็กถูกกัดกร่อนด้วยกรด แต่สนิมไม่เกาะติดกับแท่งเหล็ก แต่เมื่อตั้งเหล็กทิ้งไว้ จะพบคราบสนิมเกาะติดบนแท่งเหล็ก ในขณะที่เดียวกันคลิปที่ใช้หนีบแท่งเหล็กในการทดลอง มีสนิมเกาะอยู่บนคลิปหนีบกระดาษด้วย ซึ่งปฏิกิริยาระหว่างเหล็กกับกรดไฮโดรคลอริก เป็นดังนี้



ซึ่งถ้ามีกรดมากเกินไป และวางทิ้งไว้ในอากาศ จะได้สารละลายสีเหลืองเข้มที่มาจาก $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}]^{2+}$ และ $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]^{3+}$

โดยทั่วไปเหล็กเกิดเป็นสนิมเมื่อถูกความชื้นและอากาศ แต่การแช่เหล็กในกรดที่เข้มข้นจะกัดกร่อนเหล็กให้ผุ แต่จากการทดลองพบว่าคลิปที่หนีบเหล็กไว้เกิดสนิม แสดงว่าไอกรดระเหยไปทำให้เกิดสนิมได้ ดังนั้นจึงเปลี่ยนเป็นห้อยเหล็กไว้ให้สัมผัสไอแทน (รูปที่ 56 และ 57)



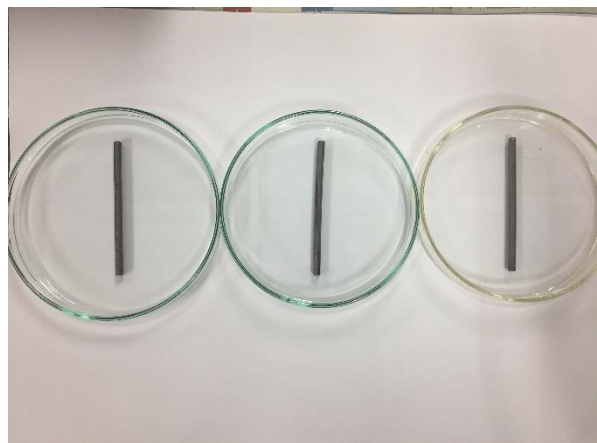
รูปที่ 56 การทดสอบการเกิดสนิมด้วยไอระเหยกรด



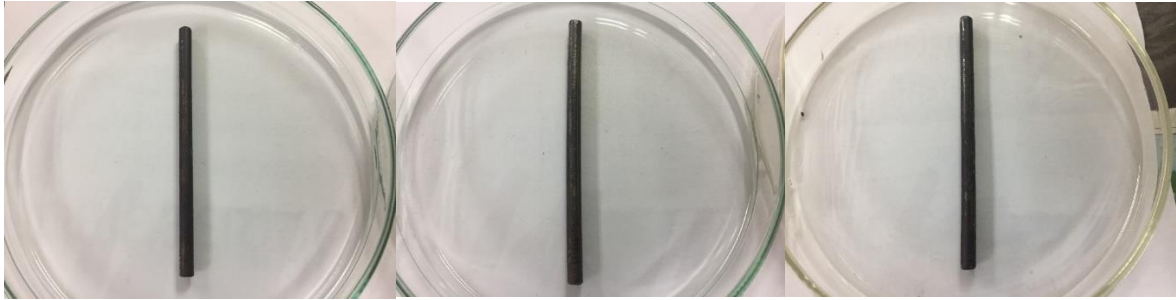
รูปที่ 57 ลักษณะเหล็กหลังสัมผัสไอกรดระเหย

เมื่อเวลาผ่านไป เป็น 3 ชั่วโมง แท่งเหล็กมีสีดำ (รูปที่ 57) ซึ่งปกติสนิมที่เกิดจากเหล็กประจุ 2+ จะเป็นสนิมสีส้ม ส่วนสนิมที่เกิดจากเหล็กประจุ 3+ จะเป็นเหล็กที่มีสีดำ ดังนั้นไอกรดไฮโดรคลอริกทำปฏิกิริยากับแท่งเหล็กรุนแรง จนเหล็กเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเหล็ก 2+ เป็นเหล็ก 3+ ดังนั้นจึงเปลี่ยนเป็นนำเหล็กมาแช่ในกรดไฮโดรคลอริกแล้ววางทิ้งไว้ในอากาศ

จากการทดสอบ พบว่าเมื่อนำเหล็กจุ่มในกรดไฮโดรคลอริกแล้ววางทิ้งไว้ในอากาศ ดังรูปที่ 58 จะพบว่าเหล็กเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีดำดังแสดงในรูปที่ 59 และเมื่อพลิกเหล็กกลับด้านขึ้นมา (รูปที่ 60) จะพบว่าด้านล่างที่สัมผัสกับงานเพาะเชื้อยังคงมีน้ำอยู่ และเกิดสนิมขึ้น แสดงว่าถ้ามีความชื้นและอากาศจะก่อให้เกิดสนิมเหล็กขึ้นได้



รูปที่ 58 การทดสอบเหล็กเกิดสนิม โดยเหล็กสัมผัสกรดและอากาศ



รูปที่ 59 ลักษณะเหล็กหลังสัมผัสกรดและอากาศ



รูปที่ 60 ลักษณะเหล็กหลังสัมผัสกรดและอากาศ (ด้านตรงข้ามกับรูป 59)

ทำการทดสอบใหม่อีกครั้งโดยเปลี่ยนมาใช้น้ำปราศจากไอออน โดยน้ำปราศจากไอออนที่ใส่ลงไปจะไปอยู่บริเวณที่เหล็กสัมผัสกับจานเพาะเชื้อ ทั้งนี้ไม่ได้ใส่น้ำในปริมาณมากจนท่วมเหล็ก เพื่อให้เหล็กได้สัมผัสอากาศด้วย และพบว่าเหล็กเกิดสนิมสีส้มบริเวณที่สัมผัสจานซึ่งมีน้ำกลั่นอยู่บริเวณนั้นดังแสดงในรูปที่ 61



รูปที่ 61 ลักษณะเหล็กหลังสัมผัสน้ำและอากาศ

ทดสอบเพิ่ม โดยใช้ไมโครปิเปตค่อยๆ หยดน้ำลงบนเหล็กดังแสดงในรูปที่ 62 และเมื่อเวลาผ่านไปจนน้ำระเหยหมด พบว่ามีสนิมเกิดขึ้นบนเหล็กตามลักษณะน้ำที่หยดลงบน

เหล็กดังแสดงในรูปที่ 63 ซึ่งสนิมที่เกิดขึ้นเป็นสนิมสีส้ม แสดงว่าเป็นสนิมของเหล็กประจุ 2+ เมื่อเปรียบเทียบสนิมเหล็กที่เกิดกับตะปูหรือลวดเส้นกับลวดเชื่อม พบว่าตะปูเกิดสนิมได้ดีกว่า ในขณะที่ลวดเชื่อมเกิดสนิมได้น้อยและไม่สม่ำเสมอดังแสดงในรูปที่ 64 ดังนั้นในการทดสอบการตกตะกอนในน้ำอย่างชันจะใช้ตะปูหรือลวดเส้นในการเกิดสนิมเหล็ก



รูปที่ 62 ลักษณะน้ำที่ใช้ไมโครปิเปตหยดลงบนเหล็ก (รอยคราบสนิมที่เกิด เป็นรอยสนิมจากการทดลองก่อนหน้า)



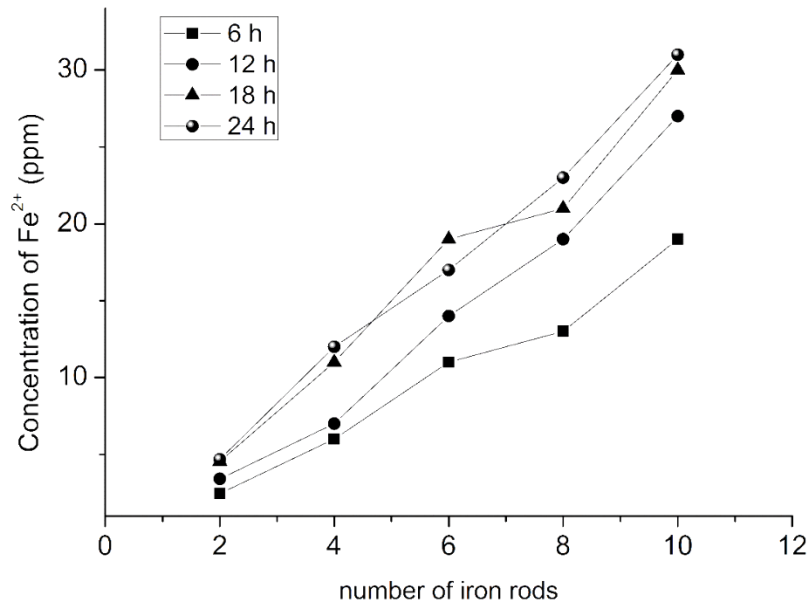
รูปที่ 63 ลักษณะน้ำที่ใช้ไมโครปิเปตหยดลงบนเหล็ก



รูปที่ 64 ลักษณะสนิมที่เกิดขึ้นบน (ภาพซ้าย) ลวดเชื่อมและ (ภาพขวา) ตะปูหรือลวดเส้น

4.2.4.3 การศึกษาการปริมาณสนิมในน้ำที่เกิดจากแท่งเหล็กสนิม

จากการศึกษาหาปริมาณสนิม หรือเหล็กประจุ 2+ ในน้ำที่เกิดจากแท่งเหล็กสนิมที่ อุณหภูมิห้อง 28 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง โดยผลการทดสอบแสดงใน รูปที่ 65 พบว่าเมื่อนำแท่งเหล็กสนิมแช่ในน้ำ ทำให้สนิมที่เกิดขึ้นหลุดออกจากแท่งเหล็กแล้ว ละลายอยู่ในน้ำแทน ดังจะเห็นได้จากปริมาณของเหล็กประจุ 2+ ที่วัดได้ในน้ำที่สัมพันธ์กับจำนวน แท่งเหล็กสนิมในลักษณะความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง โดยเมื่อจำนวนแท่งเหล็กสนิมที่แช่ในน้ำเพิ่มขึ้น



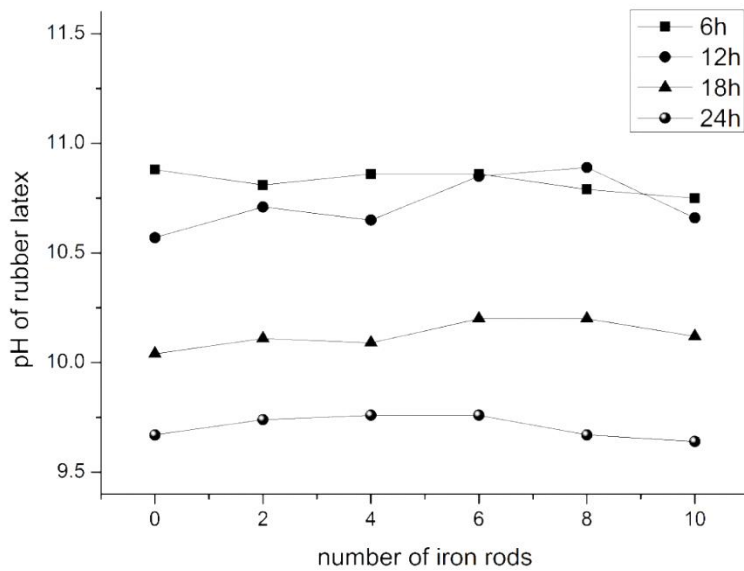
รูปที่ 65 ความสัมพันธ์ของปริมาณเหล็กสนิมในน้ำกับจำนวนแท่งเหล็กสนิม

ทำให้ปริมาณเหล็กประจุ 2+ ในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น และยังสนิมเหล็กสัมผัสกับน้ำนานขึ้น จะทำให้ ปริมาณสนิมที่หลุดออกมามีค่าเพิ่มขึ้นด้วย จากนั้นจะนำเหล็กสนิมมาทดสอบกับน้ำอย่างชันเพื่อ ศึกษาอิทธิพลของแท่งเหล็กสนิมต่อการจับก้อนของน้ำอย่างชัน

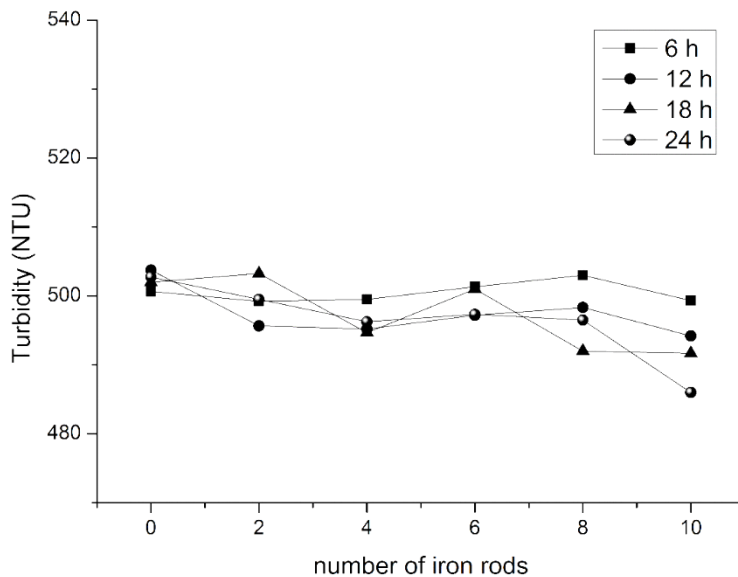
4.2.4.4 การศึกษาการจับก้อนในน้ำอย่างชันที่เกิดจากแท่งเหล็กสนิมที่เวลาต่างๆ

จากการทดสอบการเริ่มจับก้อนของเนื้อยางโดยใช้แท่งเหล็กสนิมจำนวน 0 2 4 6 8 และ 10 แท่ง ที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) ซึ่งจำนวนแท่งสนิมดังกล่าวทำให้เกิดเหล็กประจุ 2+ ดังการทดสอบในหัวข้อ 4.2.4.3 ทำการทดสอบโดยการปั่นกวนเป็นเวลา 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง พบว่า pH มีค่าลดลงเมื่อปริมาณของเหล็กประจุ 2+ และเวลาในการทดสอบเพิ่มขึ้นดัง แสดงในรูปที่ 66

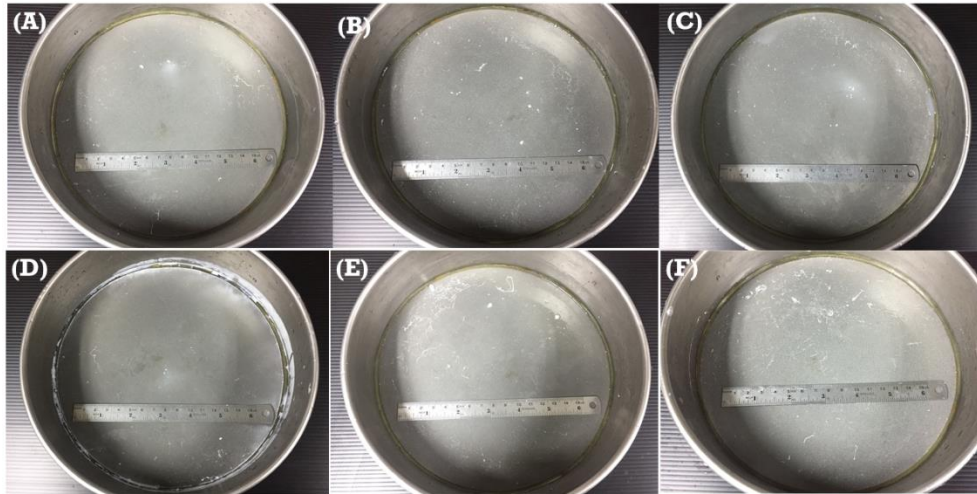
สำหรับค่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการทดสอบ โดยค่าความขุ่นของน้ำยางชั้นที่ลดลงสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อทำการปั่นน้ำยางชั้นเป็นเวลาหนึ่ง อนุภาคยางบางส่วนเกิดการจับก้อน ทำให้ปริมาณยางที่แขวนลอยในตัวกลางมีค่าลดลงดังแสดงในรูปที่ 67 โดยค่าความขุ่นจากการทดสอบด้วยแท่งสนิมเหล็กจำนวน 10 แท่ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้ค่าความเข้มข้นของเหล็กประจุ 2+ เท่ากับ 31 ppm จะมีค่าความขุ่นลดลงต่ำสุด แสดงถึงปริมาณการจับก้อนของเนื้อยางที่เพิ่มมากขึ้นดังจะเห็นได้จากปริมาณก้อนยางที่เกิดขึ้นหลังการกรองผ่านตะแกรงดังแสดงในรูปที่ 68



รูปที่ 66 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ของน้ำยางชั้นกับจำนวนแท่งเหล็กสนิม

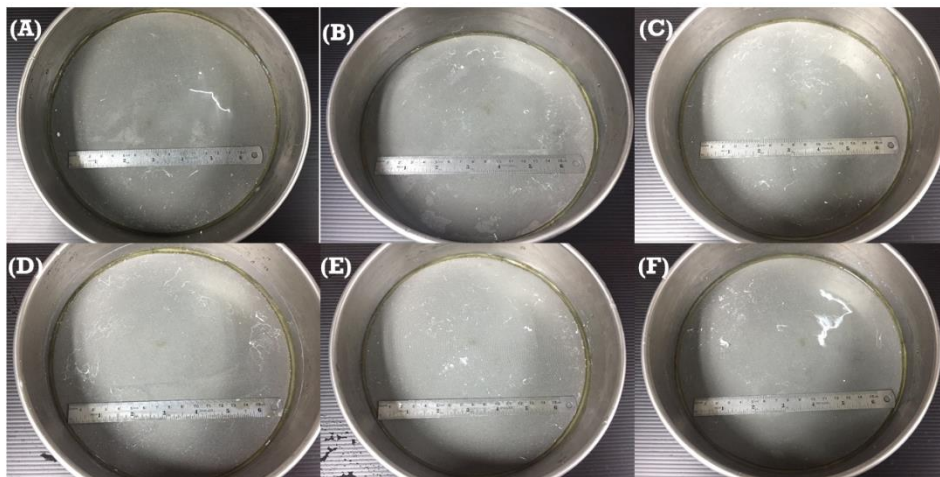


รูปที่ 67 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำยางชั้นกับจำนวนแท่งเหล็กสนิม

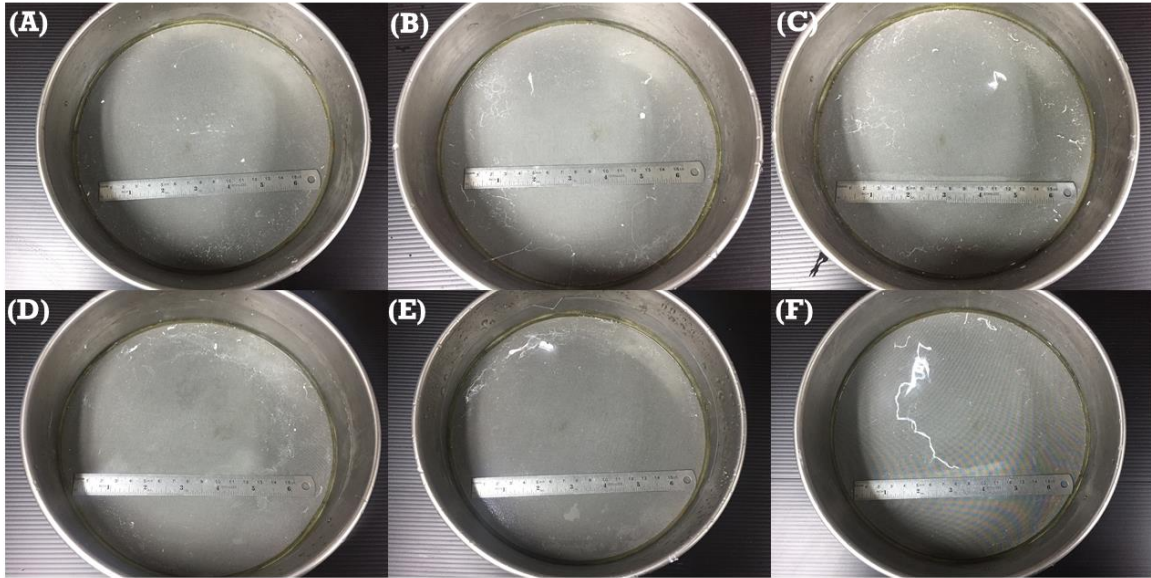


รูปที่ 68 ตะกอนที่เกิดจากการใส่เหล็กที่มีสนิมลงในน้ำยางชันเป็นเวลา 6 ชั่วโมง (A) น้ำยางชันที่ไม่มีเหล็กสนิม (B) น้ำยางชันที่มีเหล็กสนิม 2.46 ppm (C) 6 ppm (D) 11 ppm (E) 13 ppm (F) 19 ppm

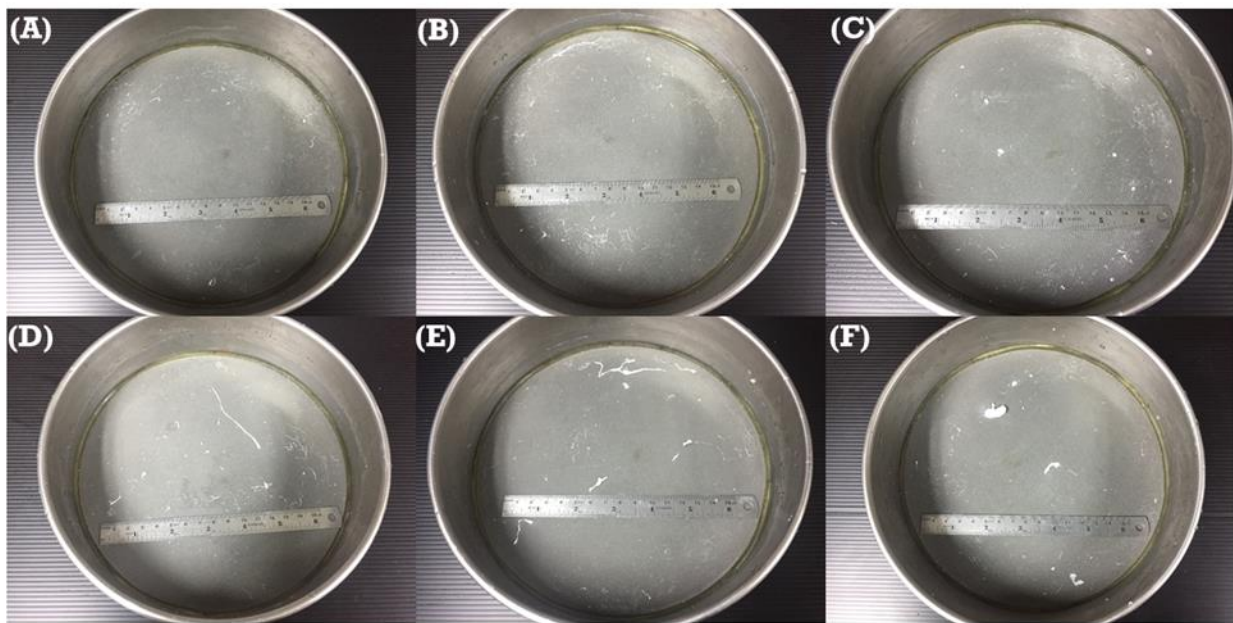
และขนาดของก้อนยางที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 69-71 โดยพบว่าปริมาณเหล็กประจุ 2+ ที่เกิดจากแท่งเหล็กสนิมจำนวน 10 แท่งแช่ในน้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งให้ความเข้มข้นของเหล็กประจุ 2+ เท่ากับ 19 ppm สามารถจับเนื้อยางให้ปรากฏเป็นก้อนเด่นชัดได้ ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของเหล็กประจุ 2+ ที่เกิดจากเหล็กสนิมในช่วงเวลา 6 ชั่วโมงในส่วนของการศึกษาผลของอุณหภูมิ



รูปที่ 69 ตะกอนที่เกิดจากการใส่เหล็กที่มีสนิมในน้ำยางชันเป็นเวลา 12 ชั่วโมง (A) น้ำยางชันที่ไม่มีเหล็กสนิม (B) น้ำยางชันที่มีเหล็กสนิม 3.41 ppm (C) 7 ppm (D) 14 ppm (E) 19 ppm (F) 27 ppm



รูปที่ 70 ตะกอนที่เกิดจากการใส่เหล็กที่มีสนิมในน้ำยางชั้นเป็นเวลา 18 ชั่วโมง (A) น้ำยางชั้นที่ไม่มีเหล็กสนิม (B) น้ำยางชั้นที่มีเหล็กสนิม 4.54 ppm (C) 11 ppm (D) 19 ppm (E) 21 ppm (F) 30 ppm



รูปที่ 71 ตะกอนที่เกิดจากการใส่เหล็กที่มีสนิมในน้ำยางชั้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (A) น้ำยางชั้นที่ไม่มีเหล็กสนิม (B) น้ำยางชั้นที่มีเหล็กสนิม 4.68 ppm (C) 12 ppm (D) 17 ppm (E) 23 ppm (F) 31 ppm

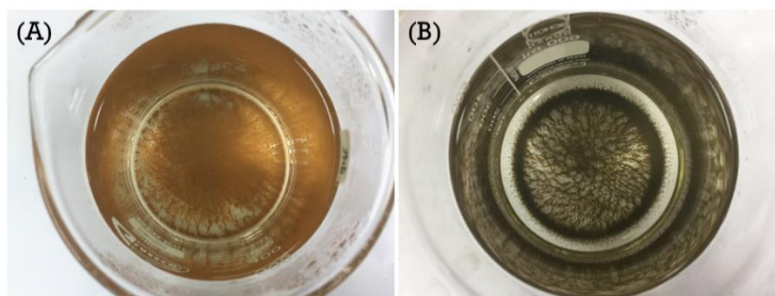
2.4.4.5 การศึกษาการจับก้อนของเนื้อเยื่อที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการทดสอบการเริ่มจับก้อนของเนื้อเยื่อโดยใช้แท่งเหล็กสนิม จำนวน 10 แท่ง แช่ในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) 40 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 24 พบว่า ค่าเหล็กประจุ 2+ ที่หลุดออกจากแท่งสนิมเหล็กมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิห้องเป็นอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 60 องศาเซลเซียส ค่าเหล็กประจุ 2+ มีค่าลดลง และเมื่อทำการตั้งบิกเกอร์หลังการทดสอบทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะพบตะกอนสนิมที่เกิดขึ้นนอนอยู่ก่อนบิกเกอร์ดังแสดงในรูป 72 โดยตะกอนที่เกิดจากเหล็กสนิมที่ลักษณะเป็นตะกอนสีส้มและสีดำ ซึ่งเป็นตะกอนที่เกิดขึ้นในน้ำอุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เหล็กประจุ 2+ ถูกออกซิไดส์กลายเป็นเหล็กประจุ 3+ ทำให้ค่าเหล็กประจุ 2+ ที่วัดได้มีค่าลดลง และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีก้อนยางเกาะแท่งเหล็กที่มีสนิมแน่นไม่หลุดออกมาจากบิกเกอร์อีก 16.5 กรัมดังแสดงในรูป 73 ซึ่งถ้ารวมปริมาณยางก้อนส่วนนี้ด้วย coagulant ทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะได้เป็น 6.039%

ตารางที่ 25 ค่าการทดสอบการจับก้อนของเนื้อเยื่อ โดยใช้เหล็กสนิมที่อุณหภูมิต่างๆ ในเวลาทดสอบ 6 ชั่วโมง

Temperature (°C)	[Fe ²⁺] (ppm)	pH	Turbidity (NTU)*	การจับก้อน (% โดยมวล)
30	11.00	10.8 ± 0.02	499 ± 12.10	0.009
40	43.00	10.4 ± 0.05	488 ± 10.79	0.056
60	19.00	11.1 ± 0.06	478 ± 7.41	0.707

*น้ำยางชั้น/น้ำปราศจากไอออน = 1/5000

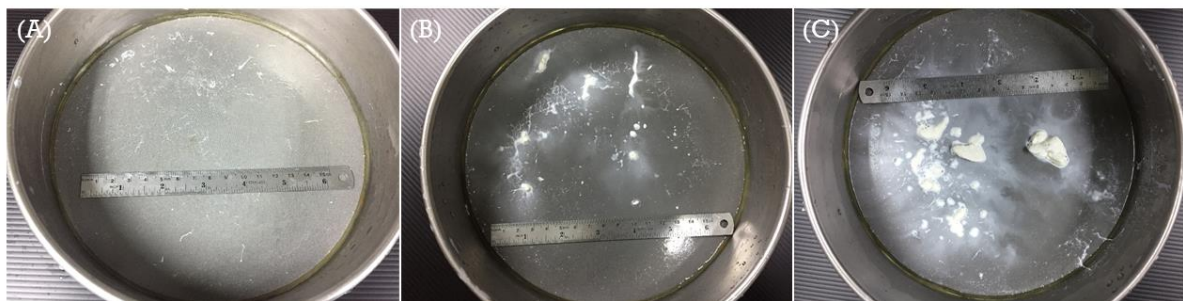


รูปที่ 72 ตะกอนที่เกิดจากการใส่เหล็กสนิมในน้ำ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (A) 40 องศาเซลเซียส (B) 60 องศาเซลเซียส

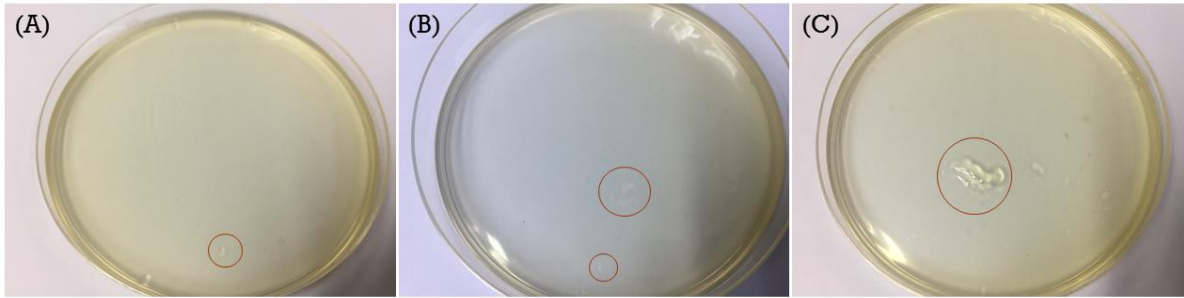


รูปที่ 73 ก้อนยางที่จับตัวบนแท่งเหล็กสนิม หลังแช่น้ำยางข้นเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

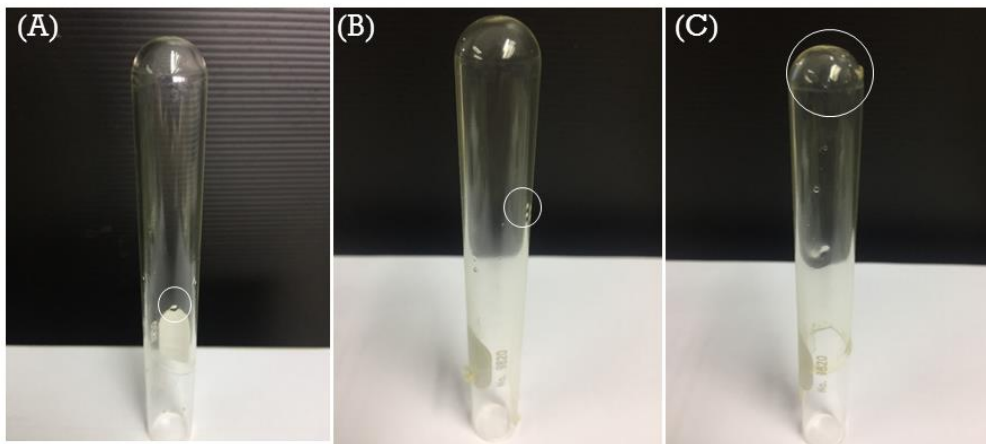
โดยในส่วนของค่า pH ผลปรากฏว่า มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิในการทดสอบเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้อง เป็น 40 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 60 องศาเซลเซียส ค่า pH จะมีค่าสูงขึ้นอีกครั้ง แสดงว่าในระหว่างที่แช่แท่งเหล็กสนิมในน้ำยางข้นมีไฮดรอกไซด์ไอออนเกิดเพิ่มขึ้นดังแสดงใน ตารางที่ 24 สำหรับค่าความชุ่มมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยค่าความชุ่มของน้ำยางข้น ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่าลดลง 2.20 และ 4.22 % ตามลำดับ โดยค่าความชุ่มที่ลดลง แสดงถึงปริมาณการจับก้อนของเนื้อยางที่เพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงใน รูปที่ 74 ตะกอนที่เกิดขึ้นหลังการกรองมีปริมาณและขนาดเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดกับลักษณะแผ่นฟิล์มยางที่เกิดจากการหล่อฟิล์มและการขึ้นรูปฟิล์มผ่านจุ่ม ด้วยหลอดทดลอง จะพบลักษณะของก้อนยาง (ในวงกลม) ปรากฏบนแผ่นฟิล์มยางแห้งที่ได้จากการหล่อฟิล์มและฟิล์มที่ได้จากการจุ่มดังแสดงในรูปที่ 75 และ 76 โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 40 และ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 74 ยางก้อนที่เกิดขึ้นหลังการกรองยางการแช่เหล็กสนิมเป็นเวลา 6 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ (A) 30 องศาเซลเซียส (B) 40 องศาเซลเซียส (C) 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 75 พิล์มยางแห้งที่เกิดจากการ cast film ของน้ำยางที่ผ่านการแช่เหล็กสนิมเป็นเวลา 6 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ (A) 30 องศาเซลเซียส (B) 40 องศาเซลเซียส (C) 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 76 พิล์มยางแห้งที่เกิดจากการ dip ด้วยหลอดทดลอง ของน้ำยางที่ผ่านการแช่เหล็กสนิมเป็นเวลา 6 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ (A) 30 องศาเซลเซียส (B) 40 องศาเซลเซียส (C) 60 องศาเซลเซียส

4.2.5 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษา electrophoretic mobility พบว่า เมื่อค่า pH ของน้ำยางเปลี่ยนไป จะส่งผลให้ประจุบนอนุภาคยางมีการเปลี่ยนแปลงด้วย โดยปกติอนุภาคยางจะแสดงความเป็นประจุลบ เมื่อ pH มีค่าสูงกว่า PZC หรือที่ pH 4.3 และแสดงความเป็นประจุบวก เมื่อ pH มีค่าต่ำกว่า PZC ดังนั้นถ้าน้ำยางมีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้นจนเข้าใกล้จุด PZC หรือจุดที่อนุภาคยางไม่แสดงความเป็นประจุ จะทำให้น้ำยางมีโอกาสจับก้อนได้

การศึกษาระยะเหี่ยวแอมโมเนียที่เวลาต่างๆ พบว่า เมื่อตั้งน้ำยางขึ้นทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ค่า pH ของน้ำยางจะมีค่าลดลง ในช่วงชั่วโมงแรก ค่า pH มีการเปลี่ยนแปลง 0.3 ค่า และจะเปลี่ยนแปลงน้อยลง จนค่า pH มีค่าคงที่เมื่อตั้งน้ำยางขึ้นทิ้งไว้มากกว่า 6 ชั่วโมง ดังนั้นการระเหยของแอมโมเนียไม่ส่งผลให้ค่า pH ของน้ำยางมีค่าน้อยลงต่ำกว่า 8.6 ได้ เนื่องจากฟิล์มยางที่ก่อตัวหนาขึ้นขัดขวางการระเหยแอมโมเนียให้เกิดขึ้นน้อยลง แม้ว่า

ทำการช้อนแผ่นฟิล์มทิ้งทุกครั้งก่อนทดสอบ แต่ฟิล์มยางที่เกิดขึ้นมีขนาดหนาและใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อตั้งน้ำยางทิ้งไว้นานกว่า 6 ชั่วโมง ฟิล์มน้ำยางที่มีความหนามากจะขัดขวางการระเหยของแอมโมเนีย ส่งผลให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH ซึ่งส่งผลให้ค่า pH ของน้ำยางมีการเปลี่ยนแปลงได้น้อยลงจนมีค่าคงที่

การศึกษาการจับก้อนของเนือยางด้วยสารละลาย Fe^{2+} Mg^{2+} และ Ca^{2+} พบว่าความเข้มข้นของ stock solution มีผลต่อการจับก้อนของเนือยาง โดยความเข้มข้นของ stock solution ที่เหมาะสม คือ 1,000 ppm ปัจจัยที่มีผลต่อการจับก้อนของเนือยาง ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะ เวลาในการปั่นกวน และอุณหภูมิ จากผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นและเวลาเริ่มต้นที่พบการเริ่มการจับก้อนของเนือยางของสารละลายไอออนโลหะทั้งสามชนิด คือ 100 ppm และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยการเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) เป็น 40 และ 60 องศาเซลเซียส จะพบการจับก้อนของเนือยางที่เพิ่มมากขึ้น และมีขนาดใหญ่ขึ้น อีกทั้งจากผลการศึกษาพบว่า Ca^{2+} จะส่งผลต่อการจับก้อนของเนือยางสูงที่สุด รองลงมา คือ Mg^{2+} และ Fe^{2+}

การศึกษาการจับก้อนยางด้วยสนิมเหล็ก พบว่าสนิมเหล็กเมื่อเจอน้ำหรือน้ำยางข้น จะทำให้ตัวสนิมหลุดออกจากแท่งเหล็กแล้วแขวนลอยในน้ำ ทำให้ในระบบมีเหล็กประจุ $2+$ เพิ่มขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของเหล็กประจุ $2+$ ที่หลุดจากแท่งเหล็กสนิมมีค่า 19 ppm จะส่งผลให้ยางเกิดการจับก้อนได้ ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 6 ซึ่งในภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณและขนาดก้อนยางมีค่าเพิ่มขึ้น โดยปริมาณการจับก้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 5 เท่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจากอุณหภูมิห้องเป็น 40 องศาเซลเซียส

4.3 การศึกษาผลของการใช้สารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคน้ำยางข้น และสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่ได้

ยางธรรมชาติจัดเป็นสารคอลลอยด์ชนิดไม่ชอบตัวทำละลาย (lyophobic colloids) ซึ่งตามทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานอิสระที่พื้นผิว (Gibbs free energy) ของสารกับพื้นที่ผิว (surface area) กล่าวหา อนุภาคขนาดเล็กซึ่งมีพื้นที่ผิวมากจะมีพลังงานอิสระที่พื้นผิวมากทำให้ระบบไม่คงตัว (thermodynamically unstable system) เพื่อทำให้ระบบเกิดความคงตัว ระบบจะลดพลังงานอิสระที่พื้นผิวลง โดยแต่ละอนุภาคของยางมาเกาะกลุ่มกันเป็นอนุภาคใหญ่ เกิดเป็น ความไม่คงตัวทางกายภาพที่สำคัญเรียกว่า การเกาะกลุ่มกันของอนุภาคน้ำยาง (particle aggregation หรือ agglomeration หรือ crystal growth) จนทำให้เกิดการตกตะกอนอย่างถาวร ดังนั้นจึงต้องเติมสารเพิ่มความคงตัวให้กับน้ำยาง โดยสารเหล่านี้อาจเป็นกลุ่มพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิว โดยมันจะไปยึดเกาะที่พื้นผิวของอนุภาคน้ำยาง ป้องกันไม่ให้แต่ละอนุภาคน้ำยางมาเกาะรวมตัวกันตลอดกระบวนการผลิต การขนส่ง จนถึงการใช้งานไปใช้ ส่วนใหญ่สารเพิ่มความคงตัวที่นิยมใช้คือ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (non-ionic surfactants) กลไกการ

ทำงานของสารเพิ่มความคงตัวมีสองกลไกหลักคือ steric repulsion ซึ่งพบในสารลดแรงตึงผิวหรือพอลิเมอร์ชนิดไม่มีประจุและ electrostatic repulsion ซึ่งพบในสารเพิ่มความคงตัวที่แตกตัวเป็นประจุไฟฟ้าได้ (ศรีณย์, 2013 และ Wu, 2011) สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด ได้แก่

1. สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ได้แก่

- พอลิเอทิลีนไกลคอลโดเดซิลอีเทอร์ (polyethylene glycol dodecyl ether, Brij30)
- พอลิเอทิลีนไกลคอลอีเทอร์ (polyethylene glycol tert-octylphenyl ether, Triton X-100)

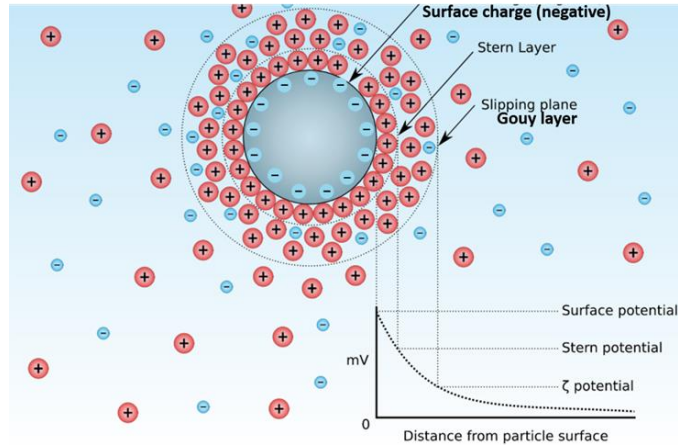
โดยกลไกการทำงานของสารลดแรงตึงผิวชนิดนี้เกี่ยวข้องกับ steric repulsion คือ การใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ขัดขวางการเกาะกลุ่มกันของอนุภาค ซึ่งประสิทธิภาพของกลไกนี้จะขึ้นกับปริมาณสารที่เกาะกับผิวอนุภาคว่ามีมากน้อยเพียงใดซึ่งขึ้นกับปริมาณสารที่ใช้ โดยปริมาณสารที่เกาะกับผิวอนุภาคจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้

2. สำหรับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ ได้แก่

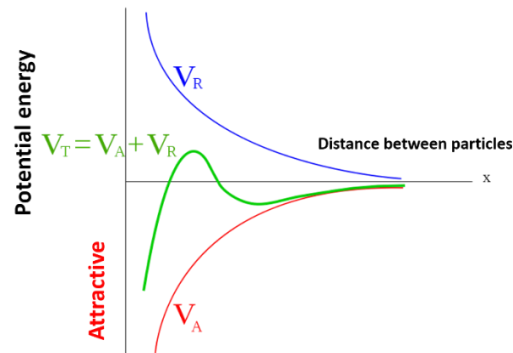
- แอมโมเนียมลอเรต (ammonium laurate, AL)
- สารโซเดียม ลอริลซัลเฟต (sodium lauryl sulphate, SLS)
- โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (sodium dodecyl benzene sulfonate, SDBS)

โดยกลไกการทำงานของสารลดแรงตึงผิวชนิดนี้เกี่ยวข้องกับการใช้แรงผลักทางไฟฟ้า (electrostatic repulsion) การป้องกันการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคโดยอาศัยแรงผลักทางไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎี DLVO (Derjaguin and Landau, Verwey and Overbeek theory) ซึ่งเป็นการอธิบายถึงแรง 2 ชนิดในทิศทางตรงข้ามกัน คือ 1. แรงดูด (attraction force; VA) เกิดจากแรงแวนเดอร์วาลซึ่งแปรผันตรงกับขนาดของอนุภาค และ 2. แรงผลัก (repulsion force; VR) เกิดจากแรงทางประจุไฟฟ้าบริเวณพื้นผิว (electronic double layer; EDL) ซึ่งประกอบด้วยชั้นของประจุต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 77 และ 78 ดังนี้

1. ชั้น stern layer เป็นชั้นของประจุที่มีประจุตรงข้ามกับอนุภาค โดยจะจับกับอนุภาคด้วยแรงผลักทางไฟฟ้าที่แข็งแรง ประจุในชั้นนี้จะเคลื่อนที่ไปกับอนุภาคโดยไม่มีการเคลื่อนไหวของประจุกับตัวกลาง
2. ชั้น Gouy layer เป็นชั้นที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของประจุอนุภาคเพื่อให้รอบๆ อนุภาคมีประจรรวมเป็นศูนย์ หลังจากประจุของอนุภาคถูกสะเทินด้วย stern layer แล้ว ประจุที่เหลืออยู่จะเหนี่ยวนำให้ประจุต่างๆ ในตัวกลางมาล้อมรอบอนุภาคเพื่อลดแรงผลักทางไฟฟ้าให้เป็นศูนย์ จะได้มีความเสถียรมากขึ้น ทฤษฎี DLVO เป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของอนุภาคกับแรงรวม (VT) ของแรงดูดและแรงผลัก



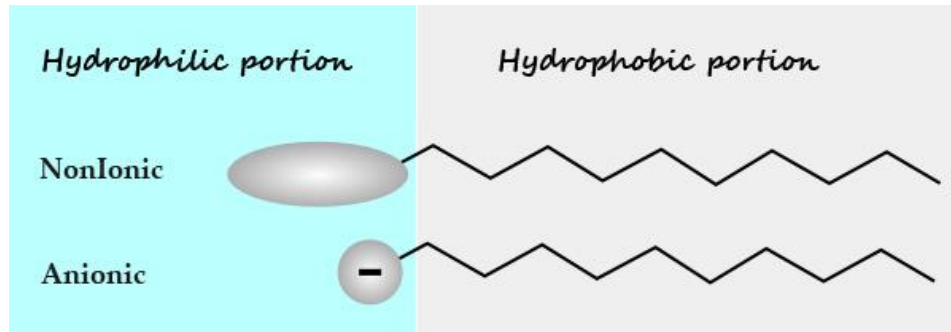
รูปที่ 77 electronic double layer (EDL) (Wu, 2011)



รูปที่ 78 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางระหว่างอนุภาคกับแรงผลักทางไฟฟ้าตามทฤษฎี DLVO (Wu, 2011)

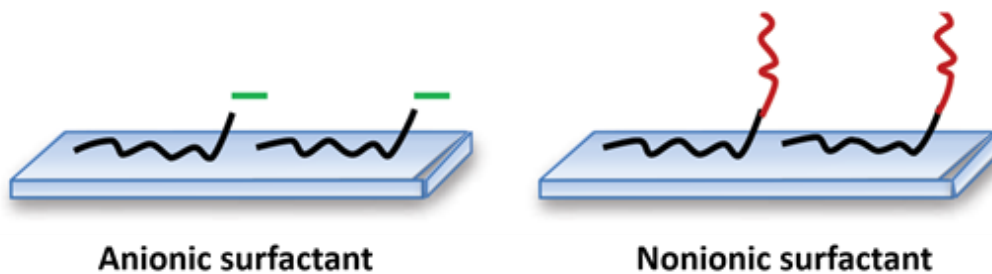
ซึ่งจุดประสงค์ของการใช้สารลดแรงตึงผิววนั้น เพื่อให้อนุภาคที่มีความเสถียร ปองกันไม่ให้แต่ละอนุภาค
 ยางมาเกาะรวมตัวดังได้กล่าวข้างต้น

โครงสร้างทางเคมีของสารลดแรงตึงผิวประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ ส่วนหัวซึ่งมีสมบัติชอบน้ำ
 (hydrophilic head group) และส่วนหางซึ่งไม่มีขั้วและมีสมบัติชอบไขมัน (hydrophobic tail) แสดงดัง
 รูป 79



รูปที่ 79 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว

รูปที่ 80 แสดงการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนผิวสัมผัสไม่มีขั้ว (hydrophobic surface) โดยสีเขียวคือ ประจุลบ ขณะที่สีแดงแสดงถึงส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic component) และส่วนสีดำแสดงถึงส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic component)



รูปที่ 80 การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนผิวสัมผัส (Singh,2013)

4.3.1 ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำยางข้น

4.3.1.1 เสถียรภาพของอนุภาคยางผ่านการวัดค่าเสถียรภาพเชิงกล (mechanical stability, MST)

การวิเคราะห์ค่าเสถียรภาพเชิงกล ปริมาณยางจับเป็นก้อน และความสูงของฟองภายหลังการทดสอบค่าเสถียรภาพเชิงกล แสดงในตารางที่ 26 พบว่าน้ำยางข้นที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 7000 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และถูกจัดเก็บไว้นาน 14 วัน โดยไม่เติมสารลดแรงตึงผิว ให้ผลิตภัณฑ์น้ำยางข้นที่มีค่าเสถียรภาพเชิงกลเท่ากับ 139 วินาที ปริมาณยางจับเป็นก้อนสูงที่สุดเท่ากับ 0.008% โดยน้ำหนัก และความสูงของฟองเท่ากับ 5.07 เซนติเมตร

เมื่อศึกษาผลของการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ และปริมาณที่แตกต่างกันลงในน้ำยางข้นที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 7,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารลด

แรงดึงผิวปริมาณ 0.01 0.1 0.3 และ 1.0% โดยน้ำหนัก กวนเป็นเวลา 15 นาที จัดเก็บเป็นเวลา 14 วัน ดังแสดงในตารางที่ 26 พบว่า เมื่อเติมสารลดแรงดึงแอมโมเนียมลอเรต (ammonium laurate, AL) ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำยาล้างจานในปัจจุบัน ที่ปริมาณ 0.01% โดยน้ำหนัก (การทดลองที่ 2) ให้น้ำยาล้างจานที่มีค่าเสถียรภาพเชิงกลเพิ่มขึ้นเป็น 163 วินาที ปริมาณยางจับก้อนลดลงเหลือเพียง 0.0003% โดยน้ำหนัก และค่าความสูงของฟองลดลงเท่ากับร้อยละ 5.3 เมื่อเทียบกับน้ำยาล้างจานที่ไม่เติมสารลดแรงดึงผิว อย่างไรก็ตามผลของการเพิ่มปริมาณสารลดแรงดึงผิว AL เป็น 0.1 0.3 และ 1.0% โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าเสถียรภาพเชิงกลเพิ่มสูงขึ้นเป็น 204 492 และ 2,198 วินาที ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสารลดแรงดึงผิวชนิด AL จัดเป็น soap anions ที่มีสายโซ่ alkyl ที่มีความยาวปานกลาง ซึ่งสามารถเกิดการดูดซับที่บริเวณผิวสัมผัสได้อย่างแข็งแรง และสามารถรวมผสมเข้ากับ fatty acid anions ที่มีอยู่ในน้ำยาล้างจานได้ โดยผลการเติมสารลดแรงดึงผิวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของอัตราการดูดซับ (rate of adsorption) และเพิ่มการดูดซับที่บริเวณผิวสัมผัสของอนุภาคยางกับน้ำ (rubber water interface) โดยการดูดซับนี้อาจเกิดขึ้นจากแทนที่โปรตีนที่มีอยู่ในธรรมชาติ ซึ่งมีค่าคงตัวเชิงกล (mechanical stabilizers) ค่อนข้างต่ำ (Silva และคณะ, 2009) สำหรับปริมาณยางจับเป็นก้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่ากับ 0.0002 0.0006 และ 0.0007% โดยน้ำหนัก ในขณะที่ค่าความสูงฟองเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก คือ มีค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 2.0-8.5

ตารางที่ 26 ผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำยางข้น

ลำดับ	ชนิด สารลดแรงตึงผิว	ปริมาณสารลดแรงตึงผิว (%โดยน้ำหนัก)	ความคงตัวของน้ำยางต่อ เครื่องมือกล (วินาที)	ปริมาณยางจับเป็นก้อน (%โดยน้ำหนัก)	การ เปลี่ยนแปลง ความสูงฟอง ^{*a} (%)
1	-	0	139	0.0080	0
2		0.01	163	0.0003	-5.3
3	AL	0.10	204	0.0002	8.5
4		0.30	492	0.0006	2.0
5		1.00	2198	0.0007	4.5
6		0.01	246	0.0006	8.5
7	SLS	0.10	950	0.0005	8.5
8		0.30	1901	0.0007	49.3
9		1.00	483	0.0002	78.9
10		0.01	217	0.0000	-0.8
11	SDBS	0.10	645	0.0003	-10.7
12		0.30	1667	0.0002	-14.6
13		1.00	1553	0.0001	5.9
14		0.01	192	0.0005	8.5
15	Brij30	0.10	247	0.0035	9.1
16		0.30	232	0.0010	-1.4
17		1.00	173	0.0007	0.0
18		0.01	252	0.0002	-0.8
19	TX100	0.10	318	0.0001	3.2
20		0.30	272	0.0007	13.0
21		1.00	284	0.0004	13.8

*a การคำนวณ ร้อยละการเปลี่ยนแปลง = $\frac{(B-A) \times 100}{A}$ โดย A คือความสูงของฟองเมื่อไม่เติมสารลดแรงตึงผิว และ B คือความสูงของฟองเมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวที่ชนิดและปริมาณต่างๆ

สำหรับการศึกษาผลของการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ ได้แก่ สารโซเดียมลอริลซัลเฟต (sodium lauryl sulphate, SLS) และโซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (sodium dodecyl benzene sulfonate, SDBS) ที่ปริมาณ 0.01 0.1 0.3 และ 1.0% โดยน้ำหนัก แสดงในตารางที่ 26 พบว่าน้ำยางชั้นที่ได้จากการเติมสารลดแรงตึงผิว SLS และ SDBS ที่ปริมาณ 0.01% โดยน้ำหนัก ให้ค่าเสถียรภาพเชิงกลที่เท่ากับ 246 และ 217 วินาทีตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าน้ำยางชั้นที่ได้จากการเติม AL (163 วินาที) และค่าเสถียรภาพเชิงกลสูงสุดที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 0.30% โดยน้ำหนัก คือ SLS 1901 วินาที และ SDBS 1667 วินาที (ค่าปริมาณยางจับเป็นก้อน เท่ากับ 0.0007% และ 0.0002% โดยน้ำหนักตามลำดับ) แต่เมื่อปริมาณสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นเป็น 1.00% โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าเสถียรภาพเชิงกลลดลง (SLS 483 วินาที และ SDBS 1553 วินาที) ซึ่งอธิบายได้จากกลไกการทำงานของสารลดแรงตึงผิวชนิดนี้ได้แก่ การใช้แรงผลักทางไฟฟ้า (electrostatic repulsion) การป้องกันการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคโดยอาศัยแรงผลักทางไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎี DLVO ซึ่งเป็นการอธิบายถึงแรง 2 ชนิดในทิศทางตรงข้ามกัน คือ 1. แรงดูด (attraction force; VA) เกิดจากแรงแวลเดอร์วาลส์ซึ่งแปรผันตรงกับขนาดของอนุภาค และ 2. แรงผลัก (repulsion force; VR) เกิดจากแรงทางประจุไฟฟ้าบริเวณพื้นผิว (electronic double layer; EDL) เมื่อพิจารณาค่าความสูงของฟองพบว่า การเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิว SLS จาก 0.01% เป็น 1.00% โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าความสูงของฟองเพิ่มขึ้นร้อยละการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 8.5 เป็นร้อยละ 78.9 ในขณะที่ผลของการเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิว SDBS ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงเพียงเล็กน้อยคืออยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ -0.8 ถึง 5.9

เมื่อศึกษาผลของการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ได้แก่ พอลิเอทิลีนไกลคอลโดเดซิลอีเทอร์ (polyethylene glycol dodecyl ether, Brij30) และพอลิเอทิลีนไกลคอลอีเทอร์ (polyethylene glycol tert-octylphenyl ether, Triton X-100) ที่ปริมาณ 0.01 0.1 0.3 และ 1.0% โดยน้ำหนัก พบว่าน้ำยางชั้นที่ได้จากการเติมสารลดแรงตึงผิว Brij30 และ Triton X-100 ที่ปริมาณ 0.01% โดยน้ำหนัก ให้ค่าเสถียรภาพเชิงกลที่เท่ากับ 192 และ 252 วินาทีตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าน้ำยางชั้นที่ได้จากการเติม AL (163 วินาที) และค่าเสถียรภาพเชิงกลสูงสุดที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 0.10% โดยน้ำหนัก คือ Brij30 ให้ค่า MST เท่ากับ 247 วินาที และ Triton X-100 ให้ค่า MST เท่ากับ 318 วินาที (ค่าปริมาณยางจับเป็นก้อน เท่ากับ

0.0035% และ 0.0001% โดยน้ำหนักตามลำดับ) เมื่อพิจารณาปริมาณสารลดแรงตึงเพิ่มขึ้นเป็น 1.00% โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าเสถียรภาพเชิงกลลดลง (Brij30 ให้ค่า MST เท่ากับ 173 วินาที และ Triton X-100 ให้ค่า MST เท่ากับ 284 วินาที) เช่นเดียวกับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ อธิบายได้จากกลไกการทำงานของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ กลไกการทำงาน คือ การใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ขัดขวางการเกาะกลุ่มกันของอนุภาค ซึ่งปริมาณสารที่เกาะกับผิวอนุภาคจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้จนกระทั่งที่ความเข้มข้นสูงกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (critical micelles concentration; CMC) ปริมาณสารที่เกาะกับผิวอนุภาคจะลดลง เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวจะเกาะกลุ่มกันเป็นไมเซลล์ และเมื่อพิจารณาค่าความสูงของฟองพบว่า ผลของการเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิวทั้งสองตัว ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงเพียงเล็กน้อย คือ อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละการเปลี่ยนแปลง เท่ากับ -0.8 ถึง 13.8

4.3.1.2 ขนาดอนุภาคน้ำยาง




ตารางที่ 27 แสดงผลของขนาดอนุภาคน้ำยางชั้นที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 7000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารลดแรงตึงผิวปริมาณร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก กวนเป็นเวลา 15 นาที และจัดเก็บนาน 14 วัน ด้วยเครื่องวัดขนาดและการกระจายตัว (Laser particle size distribution analyzer, PSD) พบว่า ขนาดอนุภาคน้ำยางชั้นที่ได้จากการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ TX100 ให้ค่าสูงที่สุดเท่ากับ 6.84 ไมโครเมตร รองลงมา ได้แก่ น้ำยางที่เติมสารลดแรงตึงผิว Brij30 ซึ่งมีขนาดอนุภาคเท่ากับ 6.38 ไมโครเมตร และ น้ำยางที่เติมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ SDBS ขนาดอนุภาคเท่ากับ 1.40 ไมโครเมตร

ตารางที่ 27 ผลของชนิดสารลดแรงตึงผิวต่อขนาดอนุภาคน้ำยาง






















ลำดับ	ชนิดสารลดแรงตึงผิว	ปริมาณสารลดแรงตึงผิว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ขนาดอนุภาค (ไมโครเมตร)
1	AL	0.30	1.14±0.02
2	SLS	0.30	1.23±0.01
3	SDBS	0.30	1.40±0.01
4	Brij	0.30	6.38±0.05
5	TX100	0.30	6.84±0.35

4.3.1.3 เสถียรภาพเชิงอิเล็กโทรไลต์ (electrolytic stability) โดยใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์

การวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงอิเล็กโทรไลต์ของน้ำยางชั้นที่ได้จากกระบวนการปั่นเหวี่ยง ทั้งแบบที่เติมและไม่เติมสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.5% ปริมาณ 4 มิลลิลิตร เติมลงในน้ำยางชั้นปริมาณ 16 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (ตารางที่ 28) ซึ่งสัญลักษณ์ต่างๆ มีความหมายดังต่อไปนี้

- แถบสีดำ  คือ น้ำยางชั้นจับตัวเป็นก้อนทั้งหมด
- แถบสีดำส่วนใหญ่  คือ น้ำยางชั้นส่วนใหญ่จับตัวเป็นก้อน
- แถบสีขาว  คือ น้ำยางชั้นจับตัวเป็นก้อนเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 28 ผลของชนิดและปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพเชิงอิเล็กโทรไลต์ของน้ำยางชั้น

ลำดับ	ชนิดสารลดแรงตึงผิว	ปริมาณสารลดแรงตึงผิว (% โดยน้ำหนัก)	การจับก้อนยาง
1	-	0	
2		0.01	
3	AL	0.10	
4		0.30	
5		1.00	
6	SLS	0.01	
7		0.10	
8		0.30	
9		1.00	
10	SDBS	0.01	
11		0.10	
12		0.30	
13		1.00	
14	Brij30	0.01	
15		0.10	
16		0.30	
17		1.00	
18	TX100	0.01	
19		0.10	
20		0.30	
21		1.00	

จากผลการทดลอง พบว่าภายหลังเติมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ลงในน้ำยางชั้น และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมง น้ำยางชั้นที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงแบบไม่เติมสารลดแรงตึงผิวจับตัวเป็นก้อนทั้งหมด เช่นเดียวกับน้ำยางชั้นแบบเติมสารลดแรงตึงผิว AL SLS SDBS และ Brij30 ที่ปริมาณ 0.01 และ 0.10% โดยน้ำหนัก และทั้งสารลดแรงตึงผิว TX100 ที่ปริมาณ 0.01% โดยน้ำหนัก โดยพบว่าน้ำยางชั้นที่ได้จับตัวเป็นก้อนทั้งหมด เมื่อศึกษาผลของการเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพเชิงอิเล็กโตรไลต์ของน้ำยางชั้น พบว่าการเพิ่มสารลดแรงตึงผิวเป็น 0.30% และ 1.00% โดยน้ำหนัก ส่งผลให้น้ำยางชั้นจับตัวเป็นก้อนปริมาณลดลง ผลของการเติมสารลดแรงตึงผิว SLS SDBS และ TX100 ที่ 1.00% โดยน้ำหนัก ทำให้น้ำยางชั้นที่ได้จับตัวเป็นก้อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (เมื่อเทียบกับการเติมสารลดแรงตึงผิว AL ซึ่งพบว่าน้ำยางชั้นส่วนใหญ่เกิดการจับตัวเป็นก้อน) แสดงให้เห็นว่าน้ำยางชั้นที่ได้มีเสถียรภาพเชิงอิเล็กโตรไลต์สูงชิ้นนั่นเอง

4.3.2 ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อความต้านทานต่อแรงดึงและความทนทานความร้อนของแผ่นฟิล์มยาง

นำน้ำยางชั้นที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 7000 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารลดแรงตึงผิวปริมาณ 0.01 0.1 0.3 และ 1.0% โดยน้ำหนัก กวนเป็นเวลา 15 นาที จัดเก็บเป็นเวลา 14 วัน มาเติมสารเคมีเพื่อใช้ในการวัลคาไนซ์ โดยใช้สูตรการวัลคาไนซ์ตามการขึ้นรูปถุงมือยางทางการแพทย์ แล้วขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มยางโดยการจุ่มพิมพ์มือในสารช่วยจับตัว (coagulant) แล้วจุ่มลงในน้ำยางชั้น จากนั้นอบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (รูปที่ 81) นำแผ่นฟิล์มยางที่ได้ไปทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและความทนทานความร้อน โดยบ่มเร่งขึ้นงานด้วยความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส (± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 168 ± 2 ชม. ตามมาตรฐาน มอก. 1056 – 2548 สมบัติเชิงกลและความทนทานความร้อนของแผ่นฟิล์มยางแสดงในตารางที่ 29 พบว่าแผ่นฟิล์มยางที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปแบบจุ่มที่ไม่เติมสารลดแรงตึงผิว ให้แผ่นฟิล์มยางที่มีความต้านทานต่อแรงดึง 21.9 เมกะปาสคาล ระยะเวลายืด ณ จุดขาด 724.3% และค่าโมดูลัสที่ 300% เท่ากับ 1.51 เมกะปาสคาล



รูปที่ 81 แผ่นฟิล์มยางที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีจุ่ม (dipping process)

ตารางที่ 29 ผลของสารลดแรงตึงผิวต่อความต้านทานต่อแรงดึงและความทนทานความร้อนของแผ่นฟิล์มยาง

ลำดับ	ปริมาณ สารลดแรงตึงผิว		ความต้านทานต่อแรงดึง (เมกะปาสคาล)			โมดูลัส ที่ร้อยละ 300 (เมกะปาสคาล)			ระยะยืด ณ จุดขาด (ร้อยละ)		
	แรงตึง	ตึงผิว	ก่อนบ่มแรง	หลังบ่มแรง	การเปลี่ยนแปลง ^a	ก่อนบ่มแรง	หลังบ่มแรง	การเปลี่ยนแปลง ^a	ก่อนบ่มแรง	หลังบ่มแรง	การเปลี่ยนแปลง ^a
	ผิว (‰โดย น้ำหนัก)	(%โดย น้ำหนัก)									
1	-	0	21.9±1.25	18.1±1.82	-17.4	1.51±0.07	1.60±0.08	6.0	724±34.0	656±80.7	-9.39
2		0.01	20.8±0.07	17.6±0.99	-15.4	1.47±0.02	1.31±0.01	-10.9	741±14.6	800±14.1	7.96
3	AL	0.10	21.0±1.20	17.3±1.32	-17.6	1.48±0.09	2.57±0.92	73.6	737±2.10	578±80.0	-21.57
4		0.30	21.3±2.23	18.0±1.08	-15.5	1.48±0.12	1.41±0.10	-4.7	744±20.0	656±19.1	-11.83
5		1.00	23.9±2.80	16.8±2.60	-29.7	3.39±0.06	2.13±0.12	-37.2	789±6.80	791±29.7	0.25
6		0.01	22.9±2.36	13.8±2.71	-39.7	3.42±0.37	1.83±0.14	-46.5	763±49.8	806±44.2	5.64
7	SLS	0.10	23.9±1.27	9.4±4.41	-60.7	3.87±0.51	3.16±0.84	-18.3	769±21.0	633±80.0	-17.69
8		0.30	25.3±2.31	8.9±3.40	-64.8	3.29±0.59	1.73±0.02	-47.4	795±30.8	730±63.3	-8.18
9		1.00	19.7±0.95	15.1±1.66	-23.4	1.49±0.11	1.61±0.12	8.1	692±3.50	606±27.5	-12.43
10		0.01	22.2±0.68	14.9±1.10	-32.9	1.63±0.20	1.58±0.18	-3.1	706±11.5	704±78.8	-0.28
11	SDBS	0.10	20.4±1.27	11.4±2.61	-44.1	1.82±0.22	1.61±0.08	-11.5	678±21.9	590±28.3	-12.98
12		0.30	20.4±1.10	8.5±0.15	-58.3	3.81±0.08	4.69±2.20	23.1	733±7.60	521±69.7	-28.92
13		1.00	11.7±0.96	6.9±0.30	-41.0	3.46±0.11	3.69±0.00	6.6	659±7.80	472±98.8	-28.38
14		0.01	24.1±1.70	15.8±1.79	-34.4	3.69±0.21	2.23±0.11	-39.6	770±18.2	783±28.8	1.69
15	Brij30	0.10	22.5±1.90	12.6±1.15	-44.0	3.65±0.15	1.94±0.07	-46.8	758±14.0	788±11.4	3.96
16		0.30	22.2±2.45	8.8±1.18	-60.4	3.94±0.56	4.72±0.29	19.8	701±101	577±41.9	-17.69
17		1.00	14.1±1.30	12.2±0.74	-13.5	1.21±0.04	1.40±0.19	15.7	694±26.2	677±33.9	-2.45
18		0.01	21.5±1.01	15.4±1.00	-28.4	1.46±0.08	1.27±0.10	-13.0	718±4.70	718±56.7	0.00
19	TX100	0.10	20.4±1.17	15.2±1.76	-25.5	1.59±0.03	1.83±0.34	15.1	705±12.9	620±36.5	-12.06
20		0.30	18.9±0.40	14.1±1.12	-25.4	1.45±0.08	1.58±0.13	9.0	698±4.00	615±26.7	-11.89
21		1.00	7.4±2.92	2.7±0.51	-63.5	2.68±0.79	1.15±0.08	-57.1	643±116	656±35.0	2.02

*a การคำนวณ ร้อยละการเปลี่ยนแปลง = $\frac{(B-A) \times 100}{A}$ โดย A คือค่าก่อนบ่มแรง และ B คือค่าหลังผ่านการบ่มแรง

เมื่อศึกษาผลของการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ และปริมาณที่แตกต่างกันลงในน้ำ ยางชั้นที่ใช้ในกระบวนการผลิตแผ่นฟิล์มยางดังแสดงในตาราง 29 พบว่าการเติมสารลดแรงตึง AL ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางชั้นในปัจจุบัน ที่ปริมาณ 0.01% โดยน้ำหนัก ให้แผ่นฟิล์มยางที่มีความต้านทานต่อแรงตึงลดลงเป็น 20.8 เมกะปาสคาล และค่าโมดูลัสที่ 300% ลดลงเท่ากับ 1.47 เมกะปาสคาล ในขณะที่ค่าระยะยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นเป็น 741% เมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มแบบไม่เติมสารลดแรงตึงผิว สำหรับผลของการเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิว AL เป็น 0.10% และ 1.00% โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงตึงเพิ่มขึ้นเป็น 21.0 และ 23.9 เมกะปาสคาลตามลำดับ ในขณะที่ค่าโมดูลัสที่ 300% และระยะยืด ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน (ค่าโมดูลัสที่ 300% เท่ากับ 1.48 และ 3.39 เมกะปาสคาล และค่าระยะยืด ณ จุดขาด เป็น 737% และ 789% ตามลำดับ)

สำหรับการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ ได้แก่ SLS และ SDBS ที่ปริมาณ 0.01 0.10 0.30 และ 1.00% โดยน้ำหนัก แสดงในตารางที่ 29 พบว่าน้ำยางชั้นที่ได้จากการเติมสารลดแรงตึงผิว SLS และ SDBS ที่ปริมาณ 0.01% โดยน้ำหนัก ให้แผ่นฟิล์มยางที่มีความต้านทานต่อแรงตึงเท่ากับ 22.9 และ 22.2 เมกะปาสคาลตามลำดับ และค่าโมดูลัสที่ 300% เท่ากับ 3.42 และ 1.63 เมกะปาสคาลตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าน้ำยางชั้นที่ได้จากการเติมสารลดแรงตึงผิว AL (20.8 และ 1.48 เมกะปาสคาลตามลำดับ) โดยการเติมสารลดแรงตึงผิวทั้ง 2 ตัวที่ปริมาณ 0.30% โดย น้ำหนัก ให้ค่าความต้านทานต่อแรงตึงและค่าระยะยืด ณ จุดขาดสูงสุด โดยสารลดแรงตึงผิว SLS ให้ค่าต้านแรงตึงสูงสุดเท่ากับ 25.3 เมกะปาสคาล ค่าระยะยืด ณ จุดขาดสูงสุดเท่ากับ 795% และ โมดูลัส 300% เท่ากับ 3.29 เมกะปาสคาล ในขณะที่สารลดแรงตึงผิว SDBS ให้ค่าความต้านทาน ต่อแรงตึงเท่ากับ 20.4 เมกะปาสคาล ค่าระยะยืด ณ จุดขาดสูงสุดเท่ากับ 733% และโมดูลัสสูงสุด เท่ากับ 3.81 เมกะปาสคาล

เมื่อศึกษาผลของการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ Brij30 และ Triton X-100 ที่ ปริมาณ 0.01 0.10 0.30 และ 1.00% โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 29) พบว่าน้ำยางชั้นที่ได้จากการเติม สารลดแรงตึงผิว Brij30 และ Triton X-100 ที่ปริมาณ 0.01% โดยน้ำหนัก ให้แผ่นฟิล์มยางที่มี ค่าต้านแรงตึงและค่าระยะยืด ณ จุดขาดสูงสุด โดยสารลดแรงตึงผิว Brij30 ให้ค่าต้านแรงตึง สูงสุดเท่ากับ 24.1 เมกะปาสคาล ค่าระยะยืด ณ จุดขาดสูงสุดเท่ากับ 783% และโมดูลัสที่

300% เท่ากับ 3.69 เมกะปาสคาล ซึ่งค่าที่ได้สูงกว่าแผ่นฟิล์มยางที่ได้จากน้ำยางชั้นที่เติมสารลดแรงตึงผิว AL สำหรับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 21.5 เมกะปาสคาล ค่าระยะยืด ณ จุดขาดสูงสุดเท่ากับ 718% และค่าโมดูลัสที่ 300% เท่ากับ 1.46 เมกะปาสคาล เมื่อพิจารณาผลของการเพิ่มสารลดแรงตึงทั้ง 2 ตัวเป็น 0.10 0.30 และ 1.00% โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าต้านแรงดึงและค่าระยะยืด ณ จุดขาดลดลง

เมื่อพิจารณาสมบัติเชิงกล พบว่ายางธรรมชาติเองมีความทนต่อแรงดึง (tensile strength) สูง เนื่องจากยางธรรมชาติมีสมบัติที่สามารถเกิดผลึกได้ในขณะที่รับแรงดึง หรือที่เรียกว่า (stress induced crystallization) สำหรับผลของใช้สารลดแรงตึง Brij 30 ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุด เท่ากับ 24.1 ± 1.70 เมกะปาสคาล เมื่อเติมสารลดแรงตึงที่ปริมาณร้อยละ 0.01 รองลงมาเป็นสารลดแรงตึงผิว SLS ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงเท่ากับ 22.9 ± 2.36 เมกะปาสคาล พิจารณาจากโครงสร้างของสารทั้งสองตัวพบว่า มีลักษณะเป็นสายโซ่ตรงซึ่งไม่ขัดขวางโมเลกุลยางขณะเกิดการเชื่อมโยงกันเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ หรือปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า ปฏิกิริยาวัลคาไนซ์เซชัน (vulcanization) ซึ่งแตกต่างจากโครงสร้างของ SDBS และ TX100 ที่ประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน (aromatic ring) ในขณะที่แผ่นฟิล์มยางที่ได้จากการเติม AL ให้ค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 20.8 ± 0.07 เมกะปาสคาล โดยที่โครงสร้างของ AL ประกอบด้วยสายโซ่ตรงเช่นเดียวกับ SLS อย่างไรก็ตามพบว่า ทั้ง SLS และ Brij 30 ประกอบด้วยหมู่ ethoxyl group ซึ่ง SLS อยู่ในรูปเกลือ ethoxysulfates จะมีค่าการละลายน้ำที่ดี กล่าวคือ มีค่า HLB (hydrophilic-lipophilic balance) ที่สูง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความเสถียรเชิงกลได้

เมื่อพิจารณาแผ่นฟิล์มยางภายหลังผ่านการบ่มแรงด้วยความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 168 ชม. พบว่าแผ่นฟิล์มยางที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปแบบจุ่มซึ่งเตรียมจากน้ำยางชั้นที่ได้จากการเติมสารลดแรงตึง AL ที่ปริมาณ 0.01 ถึง 1.00% โดยน้ำหนัก ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าการใช้สารลดแรงตึงชนิดอื่นๆ และเมื่อพิจารณาค่าระยะยืด ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มภายหลังผ่านการบ่มแรง พบว่ามีเพียงแผ่นฟิล์มที่ได้จากน้ำยางชั้นที่เติมสารลดแรงตึงผิว AL ที่ปริมาณ 0.01% โดยน้ำหนัก (ค่าระยะยืด ณ จุดขาดเพิ่มจาก 741% เป็น 800%) สารลดแรงตึงผิว SLS ที่ปริมาณ 0.01% โดยน้ำหนัก (ค่าระยะยืด ณ จุดขาดเพิ่มจาก 763% เป็น 806%) และสารลดแรงตึงผิว Brij30 ที่ปริมาณ 0.01% และ 0.10% โดยน้ำหนัก (ค่าระยะยืด ณ

จุดขาดเพิ่มจาก 770% เป็น 783% และเพิ่มจาก 758% เป็น 788% ตามลำดับ) ที่ส่งผลให้ค่าความตึงยึดเมื่อขาดสูงกว่าแผ่นฟิล์มยางก่อนบ่มแรง สำหรับค่าโมดูลัสของแผ่นฟิล์มยางที่ได้จากการเติมสารลดแรงตึงผิวมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มยางก่อนบ่มแรงดังแสดงในตารางที่ 29

4.3.3 สรุปผลการศึกษาการใช้สารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคยางในน้ำยางข้น และสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มยางที่ได้

ผลการศึกษาการใช้สารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคในน้ำยางข้น โดยนำน้ำยางที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 7000 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารลดแรงตึงผิว 0.01% โดยน้ำหนัก และจัดเก็บเป็นเวลา 14 วัน วิเคราะห์สมบัติเชิงเสถียรภาพ พบว่าสารลดแรงตึงผิว AL ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตน้ำยางข้นในระดับอุตสาหกรรม ให้ค่าความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกลเท่ากับ 163 วินาที ปริมาณยางจับเป็นก้อน 0.0003% โดยน้ำหนัก และความสูงของฟอง 4.80 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาสารลดแรงตึงผิวชนิดอื่นๆ ได้แก่ SLS SDBC Brij30 และ TX100 ให้ค่าความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกลสูงกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิว AL โดยมีค่าเท่ากับ 246 217 192 และ 252 วินาทีตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าความสูงของฟองที่สูงกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิว AL เช่นกัน แต่มีเพียงน้ำยางที่ได้จากการเติมสารลดแรงตึงผิว SDBC และ TX100 เท่านั้น ที่ค่าปริมาณยางจับเป็นก้อนต่ำกว่าน้ำยางที่เติมสารลดแรงตึงผิว AL โดยมีค่าเท่ากับ 0.0000% และ 0.0002% โดยน้ำหนักตามลำดับ

สำหรับการศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มยางที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปแบบจุ่ม พบว่าแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจากน้ำยางข้นแบบเติมสารลดแรงตึงผิว AL ที่ปริมาณ 0.01% โดยน้ำหนัก ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงเท่ากับ 20.8 เมกะปาสคาล ค่าโมดูลัสที่ 300% เท่ากับ 1.47 เมกะปาสคาล และค่าระยะยืด ณ จุดขาดเท่ากับ 741% ซึ่งมีเพียงแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากน้ำยางที่ได้จากการเติมสารลดแรงตึงผิว SLS และ Brij30 เท่านั้น ที่ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง โมดูลัสที่ 300% และค่าระยะยืด ณ จุดขาดสูงกว่าแผ่นฟิล์มที่ได้จากการเติมสารลดแรงตึงผิว AL คือ ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากน้ำยางที่ได้จากการเติมสารลดแรง SLS และ Brij30 เท่ากับ 22.9 และ 24.1 เมกะปาสคาล ค่าโมดูลัสที่ 300% เท่ากับ 3.42 และ 3.69 เมกะปาสคาล และระยะยืด ณ จุดขาด 763% และ 770% ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับแผ่นฟิล์มยางที่ผ่านการบ่มแรง ดังแสดงในตารางที่ 30

ตารางที่ 30 สรุปผลของชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคยางในน้ำอย่างข้น และสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มยางที่ได้

ลำดับ	สารลดแรงตึงผิว	ปริมาณสารลดแรงตึงผิว (%โดยน้ำหนัก)	ความคงตัวของน้ำ ยางต่อเครื่องมือกล (วินาที)	ปริมาณยางจับเป็นก้อน (%โดยน้ำหนัก)	ความสูงฟอง (ซม.)	ความต้านทานต่อแรงดึง (เมกะปาสคาล)		โมดูลัสที่ 300% (เมกะปาสคาล)		ระยะยืด ณ จุดขาด (%)	
						ก่อนบ่ม	หลังบ่ม	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม
						แรง	แรง	แรง	แรง	แรง	แรง
1	AL	0.01	163	0.0003	4.80	20.8	17.6	1.47	1.31	741	800
2	SLS	0.01	246	0.0006	5.50	22.9	13.8	3.42	1.83	763	806
3	SDBS	0.01	217	0.0000	5.03	22.2	14.9	1.63	1.58	706	704
4	Brij30	0.01	192	0.0005	5.50	24.1	15.8	3.69	2.23	770	783
5	TX100	0.01	252	0.0002	5.03	21.5	15.4	1.46	1.27	718	757

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ถึงแม้ว่าปัญหาการจับก้อนยางในโรงงานผลิตน้ำยางข้นสร้างความเสียหายต่อธุรกิจไม่มากนัก และเป็นปัญหาที่ไม่ได้เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่แน่นอน แต่ก็ทำให้เกิดความสูญเสียทางด้านภาพลักษณ์ และอาจสูญเสียลูกค้าได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานที่มีฐานลูกค้าไม่มากนัก ปัญหาการจับก้อนยางในโรงงานไม่ได้ถูกศึกษาอย่างจริงจังมากนัก และโรงงานผลิตน้ำยางข้นมักไม่มีการบันทึกข้อมูลเก็บไว้ จึงยากต่อการวินิจฉัยถึงสาเหตุที่แท้จริงได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่อาจก่อให้เกิดการจับก้อนยางในโรงงานผ่านการสำรวจโรงงานน้ำยางข้น จำนวน 6 โรงงานในเขต จ.ตรัง และ จ.สงขลา แล้วนำมาเปรียบเทียบผลกัน นอกจากนี้ยังตั้งสมมติฐานการจับก้อนยางจากสาเหตุ 2 ประการ คือ การที่น้ำยางข้นสัมผัสกับประจุบวก เช่น สนิมของเหล็กที่อาจเกิดจากภาชนะบรรจุ และแคลเซียมหรือแมกนีเซียมที่อาจมากับน้ำที่ใช้ในการผลิต ตลอดจนแร่ธาตุที่อยู่ภายในเนื้อยาง และชนิดรวมถึงปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรมที่อาจยังไม่เหมาะสมจนทำให้เกิดการจับก้อนยางในน้ำยางข้นได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงแบ่งแนวทางการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1) ติดตามการเสถียรภาพของน้ำยางข้นในโรงงานผลิตและใช้น้ำยางข้น ทั้งในกระบวนการผลิต การขนส่ง และการจัดเก็บ โดยจะทำในลักษณะของแบบสอบถาม-แบบสำรวจเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดการจับก้อนในหน้างานจริง และความถี่ที่เกิดขึ้น

2) ศึกษาสถานการณ์จำลองในการจับก้อนของเนื้อยางอันเนื่องมาจากประจุของเหล็กที่อาจเกิดจากการหลุดลอกของสารเคลือบผนังด้านในของถังเก็บ ทำให้เหล็กบางส่วนไปสัมผัสกับน้ำยางข้นขณะขนส่ง รวมถึงผลจากประจุอื่นๆ เช่น แคลเซียมและแมกนีเซียมที่อาจมาจากน้ำที่ใช้ในการผลิตและจากในตัวของน้ำยางข้นเอง

3) ศึกษาการเพิ่มเสถียรภาพให้กับน้ำยางข้นโดยการใช้สารลดแรงตึงผิว โดยจะศึกษาผลกระทบในด้านเสถียรภาพของอนุภาคยางผ่านการวัดค่าเสถียรภาพเชิงกล (mechanical stability, MST) และเสถียรภาพเชิงอิเล็กโทรไลต์ (electrolytic stability) โดยใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ นอกจากนี้ยังจะศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่เตรียมได้จากน้ำยางข้นอีกด้วย สามารถสรุปสาเหตุของการจับก้อนยางในน้ำยางข้นตามประเด็นดังต่อไปนี้

- ลักษณะที่ตั้งของโรงงานผลิตน้ำยางข้น การเลือกใช้ปั๊ม และการออกแบบถังเก็บน้ำยางข้น

ลักษณะทางพื้นที่ของโรงงานผลิตน้ำยาง ควรให้บริเวณรับน้ำยางสดอยู่ที่สูงกว่าบ่อเก็บน้ำยางสด และบ่อเก็บน้ำยางสดควรอยู่สูงกว่าเครื่องปั่นเหวี่ยง และการเลือกชนิดปั๊มที่เหมาะสมกับน้ำยางข้นจะสามารถลดปัญหาการเกิดก้อนยางได้ โดยปั๊มที่เหมาะสมกับสารที่มีลักษณะลาเท็กซ์หรือคอลลอยด์ คือ ปั๊มไดอะแฟรม ส่วนปั๊มหอยโข่ง หรือปั๊มสกรูสามารถใช้ได้ แต่ไม่ควรมีกำลังสูงมากนักเพื่อป้องกันแรงเฉือนที่เกิดระหว่างอุปกรณ์ของปั๊มและอนุภาคยางในน้ำยางข้น
- การเรียงลำดับการติดตั้งปั๊มและตะแกรงกรอง

ลำดับการติดตั้งปั๊มและตะแกรงกรองของโรงงานผลิตน้ำยางข้นที่ไม่พบปัญหาเรื่องการจับก้อนของน้ำยางข้น คือ การให้น้ำยางข้นไหลผ่านตะแกรงกรองก่อนจากนั้นจึงผ่านปั๊มเพื่อเข้าสู่แท็งก์ของรถบรรทุก สำหรับการเลือกขนาดตะแกรงควรเลือกความละเอียดที่มีความเหมาะสม
- การปนเปื้อนของน้ำยางข้น

น้ำยางข้นจะถูกเก็บในแท็งก์น้ำยางข้นเป็นเวลา 21 วัน เพื่อรอจำหน่าย ซึ่งในขั้นตอนนี้ พบว่าถ้าแท็งก์เก็บน้ำยางข้นมีความสกปรก กล่าวคือ มีเศษยางเหลืออยู่ก่อนบรรจุน้ำยางข้นหรือผนังแท็งก์เก็บน้ำยางข้นมีสนิมเกิดขึ้น ตลอดจนแท็งก์ของรถบรรทุกที่มีก้อนยางติดอยู่อาจส่งผลให้เกิดการจับก้อนของน้ำยางได้
- การไม่ตรวจสอบคุณภาพของน้ำที่ใช้ในการผลิตและน้ำยางสด

เนื่องจากผลการตรวจสอบอภินิหารของประจุแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กให้ผลว่าประจุแคลเซียมและแมกนีเซียมต่างก็มีผลต่อการจับก้อนในน้ำยางข้นมากกว่าประจุเหล็ก ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าประจุแคลเซียมและแมกนีเซียมที่มากับน้ำที่ใช้ในการผลิต ตลอดจนแร่ธาตุที่อยู่ภายในน้ำยางสด อาจเป็นตัวการที่ก่อให้เกิดการจับก้อนยางได้ ดังนั้นผู้ผลิตควรมีมาตรการหรือแผนในการตรวจสอบคุณภาพน้ำ โดยไม่ควรมีปริมาณแคลเซียมหรือแมกนีเซียมสูงเกินไปนักโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงหน้าแล้งที่ปริมาณน้ำมีน้อย อาจทำให้ไอออนเหล่านี้มีความเข้มข้นสูงได้ นอกจากนี้ควรตรวจสอบปริมาณแมกนีเซียมและแคลเซียมที่มากับน้ำยางสดที่นำมาส่งให้กับทางโรงงานทุกล็อต เพราะถึงแม้ว่าทางโรงงานจะมีการเติม DAP เพื่อจับปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสดก่อนส่งเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง แต่ปริมาณการเติมอาจไม่เพียงพอ ทำให้มีซีซีแข็งมาก และไอออนเหล่านี้อาจหลุดรอดไปในน้ำยางข้นแล้วก่อให้เกิดการจับก้อนยางได้ง่ายขึ้น
- ผลของช่องว่างในภาชนะบรรจุขณะขนส่ง

การบรรจุน้ำยางชั้นให้เต็มภาชนะสามารถรักษาเสถียรภาพของน้ำยางชั้นได้ดีกว่าการบรรจุไม่เต็มภาชนะ

- อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำยางชั้นที่ได้ออกมาจากเครื่องปั่นเหวี่ยงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 33-38 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามเมื่อน้ำยางชั้นได้รับความร้อนจะส่งผลให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางได้ โดยพบว่าการจับก้อนของเนื้อยางเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป ส่งผลให้เกิดการจับก้อนของยางได้

- ลูกค้ำ

กลุ่มลูกค้ำที่รับซื้อน้ำยางชั้นจะมีหลายประเทศและหลากหลายอุตสาหกรรม ซึ่งมีความข้อจำกัดในการรับซื้อน้ำยางที่แตกต่างกันออกไป

การเรียงลำดับของสาเหตุการจับก้อนในน้ำยางจากผลกระทบบากไปน้อย ได้แก่

1. ปริมาณสารแคลเซียม (calcium, Ca) แมกนีเซียม (magnesium, Mg) และ สารละลายเหล็ก (Iron, Fe) ในน้ำยางชั้นซึ่งเกิดจากน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นและการใช้ปุ๋ยของเกษตรกร ซึ่งจากการทดลอง พบว่า การเติมสารละลาย Ca^{2+} ส่งผลให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางสูงที่สุด รองลงมา เป็นสารละลาย Mg^{2+} และ Fe^{2+} ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าความเข้มข้นของสารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} และเวลาเริ่มต้นที่พบการเริ่มการจับก้อนของเนื้อยางเท่ากับ 100 ppm และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ

2. อุณหภูมิของน้ำยางชั้น โดยพบว่าการจับก้อนของเนื้อยางเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป ส่งผลให้เกิดการจับก้อนของยางได้

3. ตะแกรงกรองและสิ่งปนเปื้อนในน้ำยาง ซึ่งส่งผลไม่แตกต่างกันมากนัก กล่าวคือ กรณีตะแกรงกรองควรเลือกที่มีความเหมาะสม ไม่ควรมีความละเอียดที่มากเกินไปเนื่องจากจะเป็นการเพิ่มแรงเฉือนระหว่างอนุภาคยางและช่องทางออกของตะแกรงได้ โดยบริษัท C ซึ่งไม่พบปัญหาการจับก้อนของยาง ทำการกรองหยาบเพียงครั้งเดียว โดยใช้ตะแกรงกรองหยาบที่ความละเอียดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 มิลลิเมตร สำหรับการปนเปื้อนของเศษยางจากแท็งก์หรือรถบรรทุกก็เป็นสาเหตุใ้ยางจับก้อนได้เช่นกัน

จากการศึกษาค่าประจุบนอนุภาคยาง พบว่า เมื่อค่า pH ของน้ำยางเปลี่ยนไป จะส่งผลให้ประจุบนอนุภาคยางมีการเปลี่ยนแปลงด้วย อนุภาคยางธรรมชาติมีค่า PZC ตรงกับ pH 4.3 เมื่อ pH มีค่าสูง

กว่า 4.3 อนุภาคยางจะแสดงความเป็นประจุลบ และเมื่อ pH มีค่าต่ำกว่า 4.3 จะแสดงความเป็นประจุบวก ดังนั้นถ้าน้ำยางมีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้นจนเข้าใกล้จุด PZC หรือจุดที่อนุภาคยางไม่แสดงความเป็นประจุ จะทำให้ยางมีโอกาสดับก่อนได้

การศึกษาการระเหยแอมโมเนียที่เวลาต่างๆ พบว่า เมื่อตั้งน้ำยางขึ้นทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ค่า pH ของน้ำยางจะมีค่าลดลง ในช่วงชั่วโมงแรก ค่า pH มีการเปลี่ยนแปลง 0.3 ค่า และจะเปลี่ยนแปลงน้อยลง จนค่า pH มีค่าคงที่ เมื่อตั้งน้ำยางขึ้นทิ้งไว้มากกว่า 6 ชั่วโมง ดังนั้นการระเหยของแอมโมเนียไม่ส่งผลให้ค่า pH ของน้ำยางมีค่าน้อยลงต่ำกว่า 8.6 ได้ เนื่องจาก फिल्मน้ำยางที่ก่อตัวมีความหนาแน่นมากขึ้น และฟิล์มยางที่ก่อตัวขึ้นขัดขวางการระเหยของแอมโมเนีย ทำให้ค่า pH น้ำยางไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแม้จะทดสอบในภาชนะเปิด ในสภาวะการใช้งานจริงที่น้ำยางธรรมชาติถูกเก็บไว้ในภาชนะปิด โอกาสที่แอมโมเนียระเหยมีค่าน้อยกว่าสภาวะการทดลอง ดังนั้นแอมโมเนียที่ระเหยได้น้อยกว่าจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH น้อยกว่า ฉะนั้นในสภาวะการใช้งานจริงค่า pH ของน้ำยางจะเปลี่ยนแปลงได้ค่า pH สูงกว่า 8.6 ซึ่งสูงกว่าค่า PZC ของอนุภาคยางธรรมชาติ และอนุภาคยางยังคงมีประจุลบ ส่งผลให้อนุภาคยังมีเสถียรภาพกระจายตัวอยู่ได้

การศึกษาการจับก่อนของเนื้อง่ายด้วยสารละลาย Fe^{2+} Mg^{2+} และ Ca^{2+} พบว่าความเข้มข้นของ stock solution มีผลต่อการจับก่อนของเนื้อง่าย โดยความเข้มข้นของ stock solution ที่เหมาะสม คือ 1,000 ppm ปัจจัยที่มีผลต่อการจับก่อนของเนื้อง่าย ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะ เวลาในการปั่นกววน และอุณหภูมิ จากผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นและเวลาเริ่มต้นที่พบการเริ่มการจับก่อนของเนื้อง่ายของสารละลายไอออนโลหะทั้งสามชนิด คือ 100 ppm และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยการเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) เป็น 40 และ 60 องศาเซลเซียส จะพบการจับก่อนของเนื้อง่ายที่เพิ่มมากขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้น อีกทั้งจากผลการศึกษาพบว่า Ca^{2+} จะส่งผลต่อการจับก่อนของเนื้อง่ายสูงที่สุด รองลงมา คือ Mg^{2+} และ Fe^{2+}

การศึกษาการจับก่อนยางด้วยสนิมเหล็ก พบว่าสนิมเหล็กเมื่อเจอน้ำหรือน้ำยางขึ้น จะทำให้ตัวสนิมหลุดออกจากแท่งเหล็กแล้วแขวนลอยในน้ำ ทำให้ในระบบมีเหล็กประจุ $2+$ เพิ่มขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของเหล็กประจุ $2+$ ที่หลุดจากแท่งเหล็กสนิมมีค่า 19 ppm จะส่งผลให้ยางเกิดการจับก่อนได้ ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 6 ซึ่งในภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณและขนาดก้อนยางมีค่าเพิ่มขึ้น โดยปริมาณการจับก่อนมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 5 เท่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจากอุณหภูมิห้องเป็น 40 องศาเซลเซียส

สำหรับผลของสารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคในน้ำอย่างขุ่น พบว่าสารลดแรงตึงผิว AL ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตน้ำอย่างขุ่นในระดับอุตสาหกรรม ให้ค่าความคงตัวของน้ำอย่างต่อเนื่องเท่ากับ 163 วินาที ปริมาณยางจับเป็นก้อน 0.0003% โดยน้ำหนัก และความสูงของฟอง 4.80 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาสารลดแรงตึงผิวชนิดอื่นๆ ได้แก่ SLS SDBC Brij30 และ TX100 ให้ค่าความคงตัวของน้ำอย่างต่อเนื่องสูงกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิว AL โดยมีค่าเท่ากับ 246 217 192 และ 252 วินาทีตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าความสูงของฟองที่สูงกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิว AL เช่นกัน แต่น้ำยางที่เติมสารลดแรงตึงผิว SDBS และ TX100 เท่านั้น ที่มีค่าปริมาณยางจับเป็นก้อนต่ำกว่าน้ำยางที่เติมสารลดแรงตึงผิว AL

สำหรับการศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มยาง พบว่าแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจากน้ำยางขุ่นที่เติมสารลดแรงตึงผิว AL ที่ปริมาณ 0.01% โดยน้ำหนัก ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงเท่ากับ 20.8 เมกะปาสคาล ค่าโมดูลัสที่ 300% เท่ากับ 1.47 เมกะปาสคาล และค่าระยะยืด ณ จุดขาดเท่ากับ 741% ซึ่งมีเพียงแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากน้ำยางที่เติมสารลดแรงตึงผิว SLS และ Brij30 เท่านั้น ที่ให้ค่าการต้านแรงดึง โมดูลัสที่ 300% และค่าระยะยืด ณ จุดขาดสูงกว่าแผ่นฟิล์มที่ได้จากการเติมสารลดแรงตึงผิว AL

บรรณานุกรม

เอกสารภาษาไทย

- กรมควบคุมมลพิษ. 2005. แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษ อุตสาหกรรมน้ำยางชั้น. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- กุลทิศา รัตนเวคินรักษ์. 1996. การผลิตและการทดสอบน้ำยางชั้น. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- กลุ่มงานเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด. 2001. หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขา. สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม
- มอก.980-2552. น้ำยางชั้นธรรมชาติ. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- ประสพชัย รัตนเหล็กไหล. 2000. ผลของสารเคมีต่อการจับก้อนของน้ำยางธรรมชาติ. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ศรีณย์ ตันตะรวางศา และรัชชัย แพชมัด. 2013. กลไกและทฤษฎีความคงตัว ทางกายภาพของยาแขวนตะกอนขนาดนาโนเมตร. วารสารไทยเภสัชศาสตร์และวิทยาการสุขภาพ ปี 8 ฉบับ 1 หน้า 36-41.

เอกสารภาษาอังกฤษ

- Afreen S., Haque KR., Huda M.K. Troubleshooting for the observed problems in processing latex concentrate from natural resource. 4th International Conference on Energy and Environment 2013 (ICEE 2013). doi: 10.1088/1755-1315/16/1/012007.
- Amornvadee Veawab, Paitoon Tontiwachwuthikul, Amit Chakma, Corrosion Behavior of Carbon Steel in the CO₂ Absorption Process Using Aqueous Amine Solutions, Ind. Eng. Chem. Res. 38 (1999) 3917-3924
- Bhowmick A.K., Hall M.M., Benaray H.A. Rubber Products Manufacturing Technology. New York, Marcell Dekker, 1994.
- C. C. Ho and W. L. Ng, Surface study on the rubber particles in pretreated Hevea latex system, Colloid & Polymer Sci. 257 (1979) 406-412.

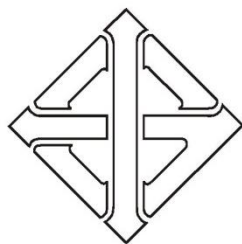
- C. C. Ho, Changes in electrokinetic properties of natural rubber latex after surface chemical modifications, *Colloid Polym Sci* 267 (1989) 643-647.
- Chen L., Wu F. Effect of different surfactants on colloidal and polymer properties of fluorinated acrylated latex. *J Saudi Chem Soc.* 18 (2014) 545 – 550.
- Danwanichakul, P., Lertsurasakda, P., Wiwattanasit, R. Correlation between dry rubber content in field latex and viscosity measured with efflux time method. *Songklanakar J. Sci. Tech.* 34 (2012) 551-555.
- Feiz S., Navarchian A.H. Emulsion polymerization of styrene: Simulation the effect of mixed ionic and non-ionic surfactant system in the presence of coagulation. *Chem Eng Sci.* 69 (2012) 431 – 439.
- Force C.G., Matijevic E., Colloidal Properties of Rubber Latex II. Electrolytic Coagulation, *Kolloid-Zeitschrift und Zeitschrift für Polymere*, 224 (1968) 51-62.
- Immanuel C.D., Doyle III F.J., Cordeiro C.F., Sundaram S.S. Population balance PSD model for emulsion polymerization with steric stabilizers. *AIChE J.* 49 (2003) 1392 - 1404.
- Karunanayake, L. and Perera, G. M. P. (2006), Effect of magnesium and phosphate ions on the stability of concentrated natural rubber latex and the properties of natural rubber latex-dipped products. *J. Appl. Polym. Sci.*, 99: 3120–3124.
- Lee, D-A, Hong J-P, Lee C-W, Oh J-S, Kwak S-B, Han T-H, Lee J-H, Lee Y-K, Kim B-W, Choi H.R., Kim T-S, Nam J-D, Natural rubber/fluoroelastomer blended composites using colloid stabilization-destabilization method, *Macromolecular Research*, 20 (2012), 673-681.
- Reis G.D., Menut P., Bonfils F., Vaysse L. Acid-induced aggregation and gelation of natural rubber latex. *Colloid Surface A* 482 (2015) 9 – 17.
- Singh M., Esquena J., Solans C., Booten K., Tadros T.F. Influence of hydrophobically modified inulin (INUTEC NRA) on the stability of vulcanized natural rubber latex. *Colloid Surface A* 451 (2014) 90 – 100.
- Singh M. and Evelyn L. Surfactants and their use in latex technology. *MRB Rubber Technology Developments.* 13(2013) 33-36.
- Silva K.M.D. and Walpalage S. Effects of Added Ammonium Laurate Soap on Natural Rubber Latex. *J.Rubb.Res.* 12(2009) 59-70.

Trinseo, http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_092b/0901b8038092b318.pdf?filepath=syntheticrubber/&fromPage=GetDoc (เข้าถึงเมื่อ 10 เมษายน 2559).

Wu L., Zhang J., Watanabe W. *Advanced Drug Delivery Reviews* 63 (2011) 456–469.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก



มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก.980-2552

น้ำยางชั้นธรรมชาติ

NATURAL RUBBER LATEX CONCENTRATE

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

ICS 83.040.10

ISBN 978-974-292-783-7

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
นำอย่างชั้นธรรมชาติ

มอก.980 – 2552

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2202 3300

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 126 ตอนพิเศษ 150 ง
วันที่ 12 ตุลาคม พุทธศักราช 2552

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 608
มาตรฐานน้ำยางข้น

ประธานกรรมการ นางวารภรณ์ ขจรไชยกูล	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
กรรมการ นายพยับ นามประเสริฐ ดร.อรสา อ่อนจันทร์ นายพลชิต บัวแก้ว นายไพบูลย์ หอมเกต นายวรเทพ วงศาสุทธิกุล นางสาวมาลา ธนากรนิธิกุล นายสุเทพ เตชานุรักษ์ นางสุขจิตร ชलयนนาวิน นายทีฆายุ ทมวงศ์ นางสาวทิพวรรณ ประทุมถิ่น	กรมวิทยาศาสตร์บริการ กรมวิชาการเกษตร องค์การสวนยาง สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย สมาคมผู้ผลิตถุงมือยางไทย สมาคมน้ำยางข้นไทย บริษัท แอนเซลล์ (ประเทศไทย) จำกัด บริษัท รอยล์อินดัสตรีส์ (ประเทศไทย) จำกัด บริษัท เอช วี ฟิลลา จำกัด
กรรมการและเลขานุการ นางกิ่งแก้ว อริยเดช	สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำยางชั้นธรรมชาตินี้ ได้ประกาศใช้ครั้งแรกเป็นมาตรฐานเลขที่ มอก.980-2533 ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 107 ตอนที่ 142 วันที่ 9 สิงหาคม พุทธศักราช 2533 ต่อมาได้พิจารณาเห็นสมควรแก้ไขปรับปรุงคุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีบางรายการ เช่น ของแข็งทั้งหมด ของแข็งที่ไม่ใช่น้ำยาง ยางจับก้อน เป็นต้น เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้ สอดคล้องตามมาตรฐานระหว่างประเทศ และความสามารถของผู้ทำในประเทศ จึงได้แก้ไขปรับปรุงโดยยกเลิกมาตรฐานเดิมและกำหนดมาตรฐานนี้ขึ้นใหม่

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้น โดยใช้ข้อมูลจากผู้ทำ ผู้ใช้ และเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

ISO 35-2004	Natural rubber latex concentrate – Determination of mechanical stability
ISO 123-2001	Rubber latex – Sampling
ISO 124-1997	Latex, rubber – Determination of total solids content
ISO 125-2003	Natural rubber latex concentrate – Determination of alkalinity
ISO 126-1995	Latex, rubber, natural concentrate – Determination of dry rubber content
ISO 127-1995	Rubber, natural latex concentrate – Determination of KOH number
ISO 506-1992	Rubber latex, natural, concentrate – Determination of volatile fatty acid number
ISO 706-2004	Rubber latex – Determination of coagulum content (sieve residue)
ISO 2005-1992	Rubber latex, natural, concentrate – Determination of sludge content
ISO 7780-1998	Rubbers and rubber latices – Determination of manganese content – Sodium periodate photometric methods
ISO 8053-1995	Rubber and latex – Determination of copper content – Photometric method

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตาม มาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511



ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 4033 (พ.ศ. 2552)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง ยกเลิกและกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

น้ำยางชั้นธรรมชาติ

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำยางชั้นธรรมชาติ มาตรฐานเลขที่ มอก. 980-2533

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ.2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1651 (พ.ศ. 2533) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ.2511 เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม น้ำยางชั้นธรรมชาติ ลงวันที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ.2533 และออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำยางชั้นธรรมชาติ มาตรฐานเลขที่ มอก.980-2552 ขึ้นใหม่ ดังมีรายการละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ให้มีผลเมื่อพ้นกำหนด 90 วัน นับแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2552

ชาญชัย ชัยรุ่งเรือง

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

น้ำยางชั้นธรรมชาติ

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมเฉพาะน้ำยางชั้นธรรมชาติที่ทำจากน้ำยางธรรมชาติโดยวิธีหมუნเหวียงและโดยวิธีแยกครีม

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 น้ำยางธรรมชาติ (natural rubber latex) หมายถึง สารคอลลอยด์ที่มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวที่กรี๊ดได้จากต้นยางพาราที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ฮีเวีย บราซิลเลียนซิส (*Hevea brasiliensis*)
- 2.2 น้ำยางชั้นธรรมชาติ (natural rubber latex concentrate) หมายถึง น้ำยางธรรมชาติที่ทำให้เข้มข้นโดยการหมუნเหวียงหรือการแยกครีม ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “น้ำยางชั้น”
- 2.3 น้ำยางชั้นจากการหมუნเหวียง (centrifuged rubber latex concentrate) หมายถึง น้ำยางธรรมชาติที่ทำให้เข้มข้นโดยใช้แรงหมუნเหวียง เพื่อแยกเซรัม (serum) บางส่วนออกไป
- 2.4 น้ำยางชั้นจากการแยกครีม (creamed rubber latex concentrate) หมายถึง น้ำยางธรรมชาติที่ทำให้เข้มข้นโดยใช้สารช่วยทำให้เนื้อยางเป็นครีมลอยแยกตัวออกจากเซรัม
- 2.5 เซรัม (serum) หมายถึง ตัวกลางในการกระจายตัวสำหรับอนุภาคยาง

3. ชนิด

- 3.1 น้ำยางชั้นแบ่งเป็น 5 ชนิด คือ
- 3.1.1 ชนิด HA เป็นน้ำยางชั้นจากการหมუნเหวียง ซึ่งรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียแต่เพียงอย่างเดียว และมีค่าความเป็นด่างไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.60 โดยน้ำหนักน้ำยางชั้น
- 3.1.2 ชนิด LA เป็นน้ำยางชั้นจากการหมუნเหวียง ซึ่งรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียร่วมกับสารรักษาสภาพน้ำยางชั้นชนิดอื่น และมีค่าความเป็นด่างไม่เกินร้อยละ 0.29 โดยน้ำหนักน้ำยางชั้น
- 3.1.3 ชนิด MA เป็นน้ำยางชั้นจากการหมუნเหวียง ซึ่งรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียร่วมกับสารรักษาสภาพน้ำยางชั้นชนิดอื่น และมีค่าความเป็นด่างร้อยละ 0.30 ถึงร้อยละ 0.59 โดยน้ำหนักน้ำยางชั้น
- 3.1.4 ชนิด HA ครีม เป็นน้ำยางชั้นจากการแยกครีม ซึ่งรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียแต่เพียงอย่างเดียว และมีค่าความเป็นด่างไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.55 โดยน้ำหนักน้ำยางชั้น
- 3.1.5 ชนิด LA ครีม เป็นน้ำยางชั้นจากการแยกครีม ซึ่งรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียร่วมกับสารรักษาสภาพน้ำยางชั้นชนิดอื่น และมีค่าความเป็นด่างไม่เกินร้อยละ 0.35 โดยน้ำหนักน้ำยางชั้น

4. คุณลักษณะที่ต้องการ

- 4.1 ลักษณะทั่วไป
ต้องเป็นของเหลวชั้น ไม่จับตัวกันเป็นก้อน และไม่มีสิ่งแปลกปลอม
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
- 4.2 สี
ต้องมีสีขาวตามธรรมชาติของน้ำยางชั้น ไม่เป็นสีเทา หรือสีเทาอมฟ้า
การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.1
- 4.3 กลิ่น
ต้องไม่มีกลิ่นบูดเน่า
การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.2
- 4.4 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี
ให้เป็นไปตามตารางที่ 1
และถ้ามีการใช้สารรักษาสภาพชนิดอื่นนอกจากแอมโมเนียให้ระบุชนิดและปริมาณ

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี
(ข้อ 4.4)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด					วิธีทดสอบตาม
		ชนิด HA	ชนิด LA	ชนิด MA ³⁾	ชนิด HA ครีม	ชนิด LA ครีม	
1	ของแข็งทั้งหมด ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่น้อยกว่า	61.0 หรือให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย			65.0	65.0	ISO 124
2	เนื้อยางแห้ง ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่น้อยกว่า	60.0	60.0	60.0	64.0	64.0	ISO 126
3	ของแข็งที่ไม่ใช่ยาง ¹⁾ ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่เกิน	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	-
4	ความเป็นด่าง (คำนวณเป็น NH ₃) ร้อยละโดยน้ำหนักน้ำยางข้น	ไม่น้อยกว่า 0.60	ไม่เกิน 0.29	0.30 - 0.59	ไม่น้อยกว่า 0.55	ไม่เกิน 0.35	ISO 125
5	เสถียรภาพต่อการปั่น ²⁾ (mechanical stability) วินาที ไม่น้อยกว่า	650	650	650	650	650	ISO 35
6	ยางจับก้อน (coagulum) ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่เกิน	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	ISO 706
7	ทองแดง มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด ไม่เกิน	8	8	8	8	8	ISO 8053
8	แมงกานีส มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด ไม่เกิน	8	8	8	8	8	ISO 7780
9	แมกนีเซียม มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด ไม่เกิน	40 หรือให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย					ข้อ 8.3
10	ตะกอน (sludge) ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่เกิน	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	ISO 2005
11	ค่ากรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA number) ไม่เกิน	0.06 หรือให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย					ISO 506
12	ค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH number) ไม่เกิน	0.7 หรือให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย					ISO 127

หมายเหตุ ¹⁾ คำนวณจากผลต่างระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดกับปริมาณเนื้อยางแห้ง

²⁾ เสถียรภาพต่อการปั่น เป็นค่าที่วัดภายหลัง 21 วันนับจากวันที่ทำ

³⁾ “MA” หรือ “XA” หมายถึง Medium Ammonia Latex

5. การบรรจุ

- 5.1 ให้บรรจุน้ำยางชั้นในภาชนะที่เหมาะสม สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท ในกรณีที่ภาชนะบรรจุทำด้วยโลหะ ควรเคลือบผนังด้านในเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ เช่น เคลือบด้วยบิโทเมนหรืออีพ็อกซีเรซิน
- 5.2 น้ำหนักสุทธิของน้ำยางชั้นในแต่ละภาชนะบรรจุต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.4

6. เครื่องหมายและฉลาก

- 6.1 ที่ภาชนะบรรจุน้ำยางชั้นทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน
 - (1) ชื่อผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานนี้หรือคำว่า “น้ำยางชั้นไทย (Standard Thai Latex)” หรือ “STL”
 - (2) ชนิด
 - (3) น้ำหนักสุทธิ น้ำหนักภาชนะบรรจุ และน้ำหนักรวม เป็นกิโลกรัม โดยให้อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน
 - (4) วัน เดือน ปีที่ทำ และรหัสรุ่นที่ทำ
 - (5) ชื่อผู้ทำ หรือโรงงานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียนในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

7. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

- 7.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามภาคผนวก ก.

8. การทดสอบ

- 8.1 สี
 - 8.1.1 เครื่องมือ
จานแก้วกันแบนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร
 - 8.1.2 วิธีทดสอบ
เทตัวอย่างประมาณ 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในจานแก้วกันแบน แล้วตรวจพินิจ
- 8.2 กลิ่น
 - 8.2.1 สารละลายและวิธีเตรียม
 - 8.2.1.1 สารละลายกรดบอริกอิ่มตัว
ละลายกรดบอริกประมาณ 60 กรัม ในน้ำกลั่น 1 000 ลูกบาศก์เซนติเมตร จนอิ่มตัวที่อุณหภูมิห้อง

8.2.2 วิธีทดสอบ

เทตัวอย่างประมาณ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสารละลายกรดบอริกอิ่มตัว 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผสมให้เข้ากันโดยการเขย่าบีกเกอร์ ถ้ายังมีกลิ่นแอมโมเนียอยู่ ให้เติมสารละลายกรดบอริกอิ่มตัวลงไปอีกจนไม่มีกลิ่นแอมโมเนีย แล้วดมว่ามีกลิ่นบูดเน่าหรือไม่ ยืนยันผลการทดสอบอีกครั้งหนึ่งโดยตั้งบีกเกอร์ไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 10 นาที จุ่มกระดาษกรองลงในตัวอย่างปล่อยให้แห้ง แล้วดมกลิ่นที่กระดาษกรอง

8.3 แมกนีเซียม

8.3.1 สารละลายและวิธีเตรียม

8.3.1.1 สารละลายบัฟเฟอร์แอมโมเนีย/แอมโมเนียมคลอไรด์ ($\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{Cl}$)

ซึ่งแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 67.5 กรัม ละลายในน้ำ 250 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายแอมโมเนีย (ความหนาแน่นสัมพัทธ์ 0.880) 570 มิลลิลิตร* เจือจางให้ส่วนผสมทั้งหมดเป็น 1 ลิตร สารละลายที่ได้ควรมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 10.5

หมายเหตุ * ถ้าใช้แอมโมเนียที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์ ต่างไปจาก 0.880 (สารละลายแอมโมเนีย ร้อยละ 33 โดยน้ำหนัก) เช่น แอมโมเนีย ความหนาแน่นสัมพัทธ์ 0.91 (สารละลายแอมโมเนีย ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก) ต้องใช้ปริมาณแอมโมเนียมากกว่า 570 มิลลิลิตร ปริมาณที่เพิ่มขึ้นใช้ค่าความเป็นกรด-ด่าง 10.5 เป็นตัวกำหนด

8.3.1.2 แอมโมเนีย ความหนาแน่นสัมพัทธ์ 0.880

8.3.1.3 สารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ (EDTA) 0.005 โมลต่อลิตร

ซึ่งไดโซเดียม เอทิลีน ไดเอมีน เทตระแอซิดิก แอซิด (disodium ethylene diamine tetraacetic acid -EDTA) 1.86 กรัม ละลายในน้ำ ทำให้มีปริมาตรเป็น 1 000 มิลลิลิตร ทาความเข้มข้นที่แน่นอนโดยไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม 0.005 โมลต่อลิตร (เตรียมสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียมโดยใช้ $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.2325 กรัม ละลายในน้ำและทำให้มีปริมาตรเป็น 1 000 มิลลิลิตร)

8.3.1.4 สารละลายโพแทสเซียมไซยาไนด์ (KCN) 40 กรัมต่อ 1 000 มิลลิลิตร

8.3.1.5 อินดิเคเตอร์ อิริโอโครม แบล็ก ที (Eriochrome Black T)

ซึ่งอิริโอโครม แบล็ก ที 0.3 กรัม และโพแทสเซียมคลอไรด์ 100 กรัม บดผสมให้เข้ากัน

8.3.2 วิธีทดสอบ

ชั่งน้ำยาล้างอย่างละเอียดประมาณ 10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดแอซิดิกร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก 5 มิลลิลิตร เมื่อยางจับตัวเป็นก้อนนำออกจากเซรุ่มปิเปตต์ เซรุ่ม 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์อีกใบหนึ่ง เติมสารละลายบัฟเฟอร์ปรับความเป็นกรด-ด่างของสารละลายให้อยู่ในช่วง 10.0 ถึง 10.2 แล้วเติมโพแทสเซียมไซยาไนด์ 4 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์ อิริโอโครม แบล็ก ที 0.1 กรัม แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ จุดยุติการไทเทรตคือ จุดที่สารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีฟ้า

มอก.980-2552

$$\text{แมกนีเซียมร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{24.31 \times B \times D \times 100}{1000 \times 10 \times C}$$

- เมื่อ 24.31 คือ มวลอะตอมของแมกนีเซียม
- A คือ น้ำหนักของน้ำยารุ่นที่ใช้ เป็นกรัม
- B คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ เป็นโมลต่อลิตร \times ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอที่ใช้ เป็นมิลลิลิตร
- C คือ $\frac{A \times TSC}{100}$
- D คือ $(A-C) + 15$
- TSC คือ น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด เป็นกรัม
- ปริมาณแมกนีเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) = $\frac{\text{แมกนีเซียมร้อยละโดยน้ำหนัก} \times 1\,000\,000}{100}$

- 8.4 น้ำหนักสุทธิ
ชั่งน้ำหนักน้ำยารุ่นรวมภาชนะบรรจุด้วยเครื่องชั่งที่เหมาะสม แล้วหักด้วยน้ำหนักภาชนะบรรจุเปล่า
ผลต่างที่ได้คือน้ำหนักสุทธิ

ภาคผนวก ก.

การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

(ข้อ 7.1)

ก.1 รุ่ง

ก.1.1 กรณีภาชนะบรรจุขนาดเล็ก (ขนาดบรรจุไม่เกิน 210 ลูกบาศก์เดซิเมตร)

รุ่งในที่นี้ หมายถึง น้ำยางชั้นชนิดเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน บรรจุในภาชนะบรรจุชนิดและขนาดเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

ก.1.2 กรณีภาชนะบรรจุขนาดใหญ่ (ขนาดบรรจุเกิน 210 ลูกบาศก์เดซิเมตร)

รุ่งในที่นี้ หมายถึง น้ำยางชั้นในภาชนะบรรจุเดี่ยวภาชนะนั้น

ก.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

ก.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบคุณลักษณะที่ต้องการ

ก.2.1.1 กรณีภาชนะบรรจุขนาดเล็ก

- (1) ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่งเดียวกัน จำนวนร้อยละ 10 ของขนาดรุ่ง แล้วกลิ้งหรือเขย่าภาชนะบรรจุ หรือกวนตัวอย่างให้ทั่วถึงด้วยเครื่องกวนติดมอเตอร์หรือเครื่องกวนชนิดอื่นที่เหมาะสม จนกระทั่งตัวอย่างผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ควรหลีกเลี่ยงการกวนตัวอย่างมากเกินไป และหลีกเลี่ยงการให้ตัวอย่างสัมผัสอากาศโดยไม่จำเป็น แล้วใช้เครื่องมือที่เหมาะสม เช่น ท่อแก้วหรือท่อเหล็กกล้าไร้สนิม ที่สะอาดและแห้ง ชักตัวอย่างในแต่ละภาชนะบรรจุจากผิวหน้าถึงก้นภาชนะทันที โดยชักตัวอย่างมาภาชนะบรรจุละเท่า ๆ กัน ให้ได้ตัวอย่างรวมไม่น้อยกว่า 2 ลูกบาศก์เดซิเมตร เก็บไว้ในขวดที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท แล้วแสดงวัน เดือน ปีที่ชักตัวอย่าง และรายละเอียดที่จำเป็นอื่น ๆ เกี่ยวกับการชักตัวอย่างไว้ที่ขวดด้วย
- (2) ตัวอย่างน้ำยางชั้นต้องเป็นไปตามข้อ 4. ทุกรายการ จึงจะถือว่าน้ำยางชั้นรุ่งนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.2.1.2 กรณีภาชนะบรรจุขนาดใหญ่

- (1) ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

(1.1) การชักตัวอย่างจากภาชนะบรรจุ

เมื่อกวนน้ำยางชั้นเข้ากันอย่างทั่วถึงแล้ว ใช้เครื่องมือที่เหมาะสมชักตัวอย่างจากระดับต่าง ๆ 3 ระดับ คือ ระดับบน กลาง และล่าง ในปริมาณเท่า ๆ กัน ให้ได้ตัวอย่างรวมไม่น้อยกว่า 2 ลูกบาศก์เดซิเมตร เก็บไว้ในขวดที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท แล้วแสดงวัน เดือน ปีที่ชักตัวอย่าง และรายละเอียดที่จำเป็นอื่น ๆ เกี่ยวกับการชักตัวอย่างไว้ที่ขวดด้วย

(1.2) การชักตัวอย่างขณะที่มีการถ่ายหรือบรรจุน้ำยางชั้นจากถังเก็บ (storage tank) ลงภาชนะบรรจุ
เมื่อกวนน้ำยางชั้นในถังเก็บจนเข้ากันดีแล้ว ให้ชักตัวอย่างน้ำยางชั้น 3 ครั้ง แต่แต่ละครั้ง
ควรเป็นน้ำยางชั้นที่มาจากระดับลึกประมาณ $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{2}$ และ $\frac{3}{4}$ จากผิวหน้าน้ำยางชั้นใน
ปริมาณ เท่า ๆ กัน ให้ได้ตัวอย่างรวมไม่น้อยกว่า 2 ลูกบาศก์เดซิเมตร เก็บไว้ในขวด
ที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท แล้วแสดงวัน เดือน ปีที่ชักตัวอย่าง และรายละเอียด
ที่จำเป็นอื่น ๆ เกี่ยวกับการชักตัวอย่างไว้ที่ขวดด้วย

(2) ตัวอย่างน้ำยางชั้นต้องเป็นไปตามข้อ 4. ทุกรายการ จึงจะถือว่าน้ำยางชั้นรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์
ที่กำหนด

ก.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบน้ำหนักสุทธิ และเครื่องหมายและฉลาก (เฉพาะกรณี
ภาชนะบรรจุขนาดเล็ก)

ก.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ ก.1

ก.2.2.2 จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 5.2 และข้อ 6. ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่
ก.1 จึงจะถือว่าน้ำยางชั้นรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ ก.1 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบน้ำหนักสุทธิและเครื่องหมายและฉลาก
(เฉพาะกรณีภาชนะบรรจุขนาดเล็ก)
(ข้อ ก.2.2.1 และข้อ ก.2.2.2)

ขนาดรุ่น หน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่าง หน่วยภาชนะบรรจุ	เลขจำนวนที่ยอมรับ
ไม่เกิน 150	2	0
151 ถึง 500	8	1
500 ถึง 1 200	13	2
1 201 ขึ้นไป	20	3

ก.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างน้ำยางชั้นต้องเป็นไปตามข้อ ก.2.1.1 (2) และข้อ ก.2.2.2 ทุกข้อ หรือเป็นไปตามข้อ ก.2.1.2
(2) แล้วแต่กรณี จึงจะถือว่าน้ำยางชั้นรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข1 การทดสอบสมบัติของน้ำยางชั้น

คุณลักษณะ	วิธีทดสอบ
1. ของแข็งทั้งหมด %โดยน้ำหนัก	ISO 124
2. เนื้อยางแห้ง %โดยน้ำหนัก	ISO 126
3. ความเป็นด่าง ¹⁾ (คำนวณเป็น NH ₃) %โดยน้ำหนักน้ำยางชั้น	ISO 125
4. ค่ากรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA number)	ISO 506
5. ค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH number)	ISO 127
6. เสถียรภาพต่อการปั่น ²⁾ (mechanical stability)	ISO 35
7. ยางจับก้อน (coagulum) %โดยน้ำหนัก	ISO 706
8. แมกนีเซียม มิลลิกรัม/กิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด	การยาง
9. ความหนืดของน้ำยาง	ISO 1652

ตารางที่ ข2 ผลของการปนเปื้อนก่อนยางสดต่อสมบัติของน้ำยางชั้น

คุณลักษณะ	ปริมาณก่อนยางสด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	น้ำยางชั้น	0.01	0.1	1
1. ของแข็งทั้งหมด %โดยน้ำหนัก	61.66±0.01	61.74±0.03	61.63±0.03	61.84±0.03
2. เนื้อยางแห้ง %โดยน้ำหนัก	60.21±0.00	60.22±0.06	60.06±0.01	60.29±0.03
3. ความเป็นด่าง ¹⁾ (คำนวณเป็น NH ₃) %โดยน้ำหนัก	0.63±0.00	0.61±0.00	0.63±0.00	0.59±0.00
4. ค่ากรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA number)	0.025±0.00	0.025±0.00	0.024±0.00	0.021±0.00
5. ค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH number)	0.65±0.01	0.60±0.00	0.63±0.02	0.63±0.01
6. ความเป็นด่าง	10.09±0.01	10.08±0.01	10.07±0.00	10.07±0.00
7. ความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกล (MST), (วินาที)	1480±5.51	1478±2.00	1462±2.08	1403±7.21
8. ปริมาณยางจับเป็นก้อน (coagulum) %โดยน้ำหนัก	0.0003±0.00	0.0004±0.00	0.0007±0.00	0.0007±0.00
9. ปริมาณแมกนีเซียม (ppm)	21±1.93	21±0.00	20±1.11	18±1.12
10. ความหนืดของน้ำยาง (cPs)	64.0	63.5	61.0	62.0

ตารางที่ ข3 ผลของการปนเปื้อนผงสนิมเหล็กต่อสมบัติของน้ำยางชั้น

คุณลักษณะ	ปริมาณผงสนิมเหล็ก(ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
	น้ำยางชั้น	0.01	0.1
1.ของแข็งทั้งหมด %โดยน้ำหนัก	61.69±0.07	61.71±0.09	61.71±0.06
2.เนื้อยางแห้ง %โดยน้ำหนัก	60.06±0.04	60.13±0.02	60.13±0.02
3.ความเป็นด่าง ¹⁾ (คำนวณเป็น NH ₃) %โดยน้ำหนัก	0.63±0.00	0.64±0.00	0.59±0.00
4.ค่ากรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA number)	0.021±0.00	0.024±0.00	0.020±0.00
5.ค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH number)	0.61±0.01	0.65±0.01	0.61±0.00
6.ความเป็นด่าง	10.05±0.01	10.05±0.01	10.05±0.01
7.ความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกล (MST), (วินาที)	1467±9.07	1449±2.52	1389±9.17
8.ปริมาณยางจับเป็นก้อน (coagulum) %โดยน้ำหนัก	0.001±0.00	0.001±0.00	0.001±0.00
9.ปริมาณแมกนีเซียม (ppm)	28±2.95	24±4.01	24±3.18
10.ความหนืดของน้ำยาง (cPs)	63.0	61.5	63.0

ตารางที่ ข4 ผลของช่องว่างในภาชนะบรรจุต่อสมบัติของน้ำยางชั้น

คุณลักษณะ	ปริมาณบรรจุน้ำยางชั้น (ร้อยละ)			
	น้ำยางชั้น	50	75	100
1.ของแข็งทั้งหมด %โดยน้ำหนัก	61.69±0.07	61.78±0.17	61.77±0.06	61.81±0.10
2.เนื้อยางแห้ง %โดยน้ำหนัก	60.06±0.04	60.21±0.04	60.20±0.04	60.23±0.01
3.ความเป็นด่าง ¹⁾ (คำนวณเป็น NH ₃) %โดยน้ำหนัก	0.63±0.00	0.62±0.00	0.62±0.00	0.63±0.00
4.ค่ากรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA number)	0.021±0.00	0.032±0.00	0.032±0.00	0.033±0.00
5.ค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH number)	0.61±0.01	0.61±0.00	0.63±0.02	0.60±0.00
6.ความเป็นด่าง	10.05±0.01	10.04±0.01	10.05±0.00	10.04±0.00
7.ความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกล (MST), (วินาที)	1467±9.07	1597±6.24	1551±7.21	1419±2.65
8.ปริมาณยางจับเป็นก้อน (coagulum) %โดยน้ำหนัก	0.001±0.00	0.0002±0.00	0.0003±0.00	0.001±0.00
9.ปริมาณแมกนีเซียม (ppm)	28±2.95	21±1.11	23±3.85	26±1.11
10.ความหนืดของน้ำยาง (cPs)	63.0	63.5	61.5	62.5

ตารางที่ ข5 ผลของอุณหภูมิของน้ำยางชั้นต่อสมบัติของน้ำยางชั้น

คุณลักษณะ	อุณหภูมิของน้ำยางชั้น (องศาเซลเซียส)	
	น้ำยางชั้น	40
1.ของแข็งทั้งหมด %โดยน้ำหนัก	61.66±0.01	61.75±0.07
2.เนือยางแห้ง %โดยน้ำหนัก	60.21±0.00	60.15±0.01
3.ความเป็นต่าง ¹⁾ (คำนวณเป็น NH ₃) %โดยน้ำหนัก	0.63±0.00	0.62±0.00
4.ค่ากรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA number)	0.025±0.00	0.022±0.00
5.ค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH number)	0.65±0.01	0.62±0.01
6.ความเป็นต่าง	10.09±0.01	10.07±0.00
7.ความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกล (MST), (วินาที)	1480±5.51	1419±2.00
8.ปริมาณยางจับเป็นก้อน (coagulum) %โดยน้ำหนัก	0.0003±0.00	0.0009±0.00
9.ปริมาณแมกนีเซียม (ppm)	21±1.93	21±1.11
10.ความหนืดของน้ำยาง (cPs)	64.0	62.5

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค1 การเยี่ยมชมโรงงานผลิตน้ำยางข้น

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	วัน/เดือน/ปี
1.	บริษัท P จำกัด	15 มีนาคม 2559
2.	บริษัท TA จำกัด	29 มีนาคม 2559
3.	บริษัท TH จำกัด สาขาหาดใหญ่	31 พฤษภาคม 2559
4.	บริษัท N จำกัด	13 มิถุนายน 2559
5.	บริษัท W จำกัด	21 มิถุนายน 2559
6.	บริษัท C จำกัด	27 มิถุนายน 2559

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง1 ค่าการทดสอบการจับก้อนของเนื้อยาง โดยใช้สารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} ที่ความเข้มข้นต่างๆ

Conc. (ppm)	Ca^{2+}			Mg^{2+}			Fe^{2+}		
	pH	Turbidity *	การจับก้อน **	pH	Turbidity *	การจับก้อน **	pH	Turbidity *	การจับก้อน **
0	10.8±0.02	433±20	-	10.8±0.02	433±20	-	10.8±0.02	433±20	-
50	10.3±0.01	378±12	0.007	10.5±0.02	417±7	-	10.7±0.03	420±19	-
100	10.4±0.02	332±7	0.010	10.5±0.01	394±16	0.001	10.7±0.01	377±3	0.0009
150	10.5±0.02	313±8	0.012	10.6±0.01	328±16	0.003	10.7±0.01	360±19	0.0018
200	10.3±0.02	307±6	0.014	10.6±0.02	304±8	0.009	10.6±0.02	313±13	0.0024
250	10.5±0.01	278±6	0.025	10.6±0.02	270±10	0.009	10.6±0.02	249±10	0.0025
300	10.5±0.02	176±2	0.040	10.6±0.02	235±19	0.010	10.6±0.02	200±12	0.0042

* น้ำยางชั้น/น้ำปราศจากไอออน = 1/5000 และหน่วย Turbidity คือ NTU

** การจับก้อน หน่วย % โดยมวล

ตารางที่ ๓2 ค่าการทดสอบการจับก้อนของเนื้อยางโดยใช้สารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} ที่เวลาต่างๆ

Time (h)	Ca^{2+}				Mg^{2+}				Fe^{2+}			
	pH	Turbidity* (NTU)	NH_3 (ppm)	การจับก้อน (% โดยมวล)	pH	Turbidity* (NTU)	NH_3 (ppm)	การจับก้อน (% โดยมวล)	pH	Turbidity* (NTU)	NH_3 (ppm)	การจับก้อน (% โดยมวล)
0	9.87±0.04	416±5.3	17,936±472	-	9.87±0.04	416±5.3	17,936±472	-	9.87±0.04	416±5.3	17,936±472	-
6	9.84±0.01	354±12.8	17,621±273	-	9.85±0.03	374±4.9	17,779±273	-	9.86±0.02	359±5.9	17,779±273	-
12	9.79±0.04	338±12.3	17,307±273	0.0081	9.82±0.01	357±19.7	17,307±273	0.0055	9.86±0.01	347±10.4	17,307±273	0.0011
18	9.75±0.01	329±9.0	16,992±472	0.0083	9.77±0.02	331±19.8	17,149±273	0.0057	9.77±0.01	337±6.2	16,992±472	0.0012
24	9.75±0.01	320±8.2	16,520±472	0.0087	9.73±0.01	314±12.1	16,677±273	0.0058	9.71±0.02	322±5.5	16,835±273	0.0013

*น้ำยางชั้นน้ำปราศจากไอออน = 1/5000

ตารางที่ ๓3 ค่าการทดสอบการจับก้อนของเนื้อยางโดยใช้สารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} ที่อุณหภูมิต่างๆ

Temp (°C)	Ca^{2+}				Mg^{2+}				Fe^{2+}			
	pH	Turbidity (NTU)	NH_3 (ppm)	การจับก้อน (% โดยมวล)	pH	Turbidity (NTU)	NH_3 (ppm)	การจับก้อน (% โดยมวล)	pH	Turbidity (NTU)	NH_3 (ppm)	การจับก้อน (% โดยมวล)
28	9.79±0.04	338±12.3	17,307±273	0.01	9.82±0.01	357±19.7	17,307±273	0.006	9.86±0.01	347±10.4	17,307±273	0.001
40	9.13±0.02	305±6.1	13,216±472	0.50	9.20±0.02	306±12.1	13,373±273	0.22	9.24±0.01	307±5.13	13,531±273	0.06
60	9.03±0.01	275±7.6	11,013±273	3.96	9.05±0.03	274±5.3	11,013±273	3.88	9.09±0.01	278±6.0	11,171±273	1.23

*น้ำยางชั้นน้ำปราศจากไอออน = 1/5000

ตารางที่ ๓4 ปริมาณเหล็กประจุ 2+ ในน้ำที่เกิดจากแท่งเหล็กสนิม

Time	Number of iron rods	[Fe ²⁺] (ppm)
6 h	2	2.46 ± 0.20
	4	6.00 ± 0.25
	6	11.00 ± 0.34
	8	13.00 ± 0.43
	10	19.00 ± 0.33
12 h	2	3.41 ± 0.32
	4	7.00 ± 0.21
	6	14.00 ± 0.14
	8	19.00 ± 0.23
	10	27.00 ± 0.33
18 h	2	4.54 ± 0.16
	4	11.00 ± 0.31
	6	19.00 ± 0.24
	8	21.00 ± 0.43
	10	30.00 ± 0.33
24 h	2	4.68 ± 0.16
	4	12.00 ± 0.31
	6	17.00 ± 0.24
	8	23.00 ± 0.33
	10	31.00 ± 0.43

ตารางที่ 5 ค่าการทดสอบการจับก้อนของเนื้อเยื่อโดยใช้เหล็กสนิมที่เวลาต่างๆ

time	[Fe ²⁺] (ppm)	pH	Turbidity (NTU) (dilute 1/5,000)	การจับก้อน (% โดยมวล)
6 h	0.00	10.88 ± 0.02	500.67 ± 9.71	0.0016
	2.46	10.81 ± 0.03	499.20 ± 12.85	0.0024
	6.00	10.86 ± 0.05	499.50 ± 4.16	0.0028
	11.00	10.86 ± 0.04	501.33 ± 7.23	0.0035
	13.00	10.79 ± 0.03	503.00 ± 6.68	0.0071
	19.00	10.75 ± 0.02	499.33 ± 12.10	0.0088
12 h	0.00	10.57 ± 0.02	503.75 ± 2.63	0.0020
	3.41	10.71 ± 0.02	495.67 ± 16.77	0.0029
	7.00	10.65 ± 0.04	495.20 ± 14.25	0.0042
	14.00	10.85 ± 0.03	497.20 ± 14.91	0.0048
	19.00	10.89 ± 0.02	498.33 ± 8.62	0.0080
	27.00	10.66 ± 0.05	494.20 ± 14.89	0.0102
18 h	0.00	10.04 ± 0.04	502.00 ± 16.64	0.0024
	4.54	10.11 ± 0.05	503.25 ± 6.34	0.0032
	11.00	10.09 ± 0.03	494.67 ± 13.65	0.0044
	19.00	10.20 ± 0.02	501.00 ± 4.24	0.0051
	21.00	10.20 ± 0.02	492.00 ± 15.62	0.0102
	30.00	10.12 ± 0.04	491.67 ± 5.13	0.0141
24 h	0.00	9.67 ± 0.04	502.75 ± 6.24	0.0028
	4.68	9.74 ± 0.03	499.50 ± 0.71	0.0033
	12.00	9.76 ± 0.02	496.25 ± 14.08	0.0044
	17.00	9.76 ± 0.05	497.33 ± 13.05	0.0065
	23.00	9.67 ± 0.04	496.50 ± 5.20	0.0124
	31.00	9.80 ± 0.03	486.00 ± 7.21	0.0640

ภาคผนวก จ
บทความสำหรับเผยแพร่



b
คู่มือ

โครงการการตรวจสอบการจับก้อนในน้ำยางชั้น

โดย รองศาสตราจารย์ ดร. นพิตา หิณฺฐิระนันท์ และคณะ

คู่มือ
โครงการการตรวจสอบการจับก้อนในน้ำยางข้น

คณะผู้วิจัย

1. รศ.ดร. นพิตา ทิณชี่ระนันท์ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. รศ.ดร. รัตน์วรรณ มกรพันธุ์ วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. รศ.ดร. ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. นายวสุเทพ ฤชา วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. นางสาวอังคณา พงศ์พิไลพฤต วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6. นางสาวสิริยา อางนันทน์ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช.-สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

คำนำ

น้ำยางชั้นเป็นผลิตภัณฑ์ชั้นกลางเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางประเภทฟิล์ม ที่สำคัญคือถุงมือยางและถุงยางอนามัย นอกจากนี้ก็ได้แก่ถุงนิ้ว ยางรัดถุง เส้นด้ายยืด ท่อสวนปัสสาวะ และผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้ทางการแพทย์และทันตกรรม เช่นแผ่นยางปิดปาก ยางรัดฟัน น้ำยางชั้นที่ผลิตจากโรงงานนั้น มาจากกระบวนการปั่นเหยียงน้ำยางจากธรรมชาติที่มีความเข้มข้นราว 30% โดยน้ำหนัก เพื่อแยกยางครีมนอกจากหางน้ำยาง ทำให้ความเข้มข้นสูงขึ้นเท่าตัวประมาณ 60% โดยน้ำหนัก ในกระบวนการปั่นเหยียงนี้เองทำให้เกิดการสูญเสียเสถียรภาพน้ำยางไปบางส่วน (เพื่อแยกชั้นครีม) ซึ่งอาจเป็นการสูญเสียโปรตีนหรือเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid ester) ที่ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ธรรมชาติ (natural emulsifier) สำหรับอนุภาคยางพาราให้แขวนลอยในน้ำได้ดีเป็นเนื้อเดียว อนุภาคยางธรรมชาติในน้ำยางชั้นมีขนาดเล็กอยู่ในช่วงระหว่าง 0.1 ไมครอน ถึง 2-3 ไมครอนขึ้นกับอายุต้นยางพารา และเป็นอนุภาคที่มีประจุตามชนิดสารอิมัลซิไฟเออร์ธรรมชาติ การถนอมน้ำยางชั้นเพื่อการใช้งานจะต้องรักษาเสถียรภาพด้วยการเติมแอมโมเนียไม่ให้เกิดการบูดเน่าหรือแยกชั้นอันเนื่องมาจากการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ ซึ่งจะก่อให้เกิดภาวะกรดที่ไม่เป็นผลดีต่อเสถียรภาพของน้ำยางชั้น

แม้ว่าผู้ผลิตน้ำยางชั้นจะได้พยายามรักษาเสถียรภาพของน้ำยางด้วยแอมโมเนียซึ่งเป็นสารเคมีที่หาได้ง่าย แต่อาจเกิดปัญหาได้อีกจึงต้องใช้สารเคมีประเภทสารลดแรงตึงผิวหรือสบู่ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์เพื่อไม่ให้อนุภาคยางจับก้อน โดยสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ ได้แก่ แอมโมเนียมลอเรตหรือโซเดียมลอเรต ซึ่งทำให้ค่าเสถียรภาพเชิงกล (mechanical stability, MST) ของน้ำยางชั้นมีค่ามากกว่า 600 วินาที ในการขนส่งน้ำยางชั้นไปยังลูกค้า ได้แก่ โรงงานผลิตถุงมือยาง หรือโรงงานเส้นด้ายยางยืด น้ำยางชั้นที่ผ่านคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมจะถูกบรรจุอยู่ในถังเหล็กเคลือบและขนส่งทางรถยนต์หรือทางเรือ แต่เมื่อไปถึงปลายทางแล้วเหน้ำยางชั้นออกมาพบว่าในบางครั้งโดยเฉพาะช่วงกลางฤดูถึงช่วงปิดกรีดในหน้าแล้ง มักพบปัญหาน้ำยางจับก้อน ความเสียหายจากการเกิดก้อนยางมีผลกระทบหลายมิติทำให้แก้ไขยาก ได้แก่ ทางผลิตภัณฑ์ เมื่อในน้ำยางมีการจับก้อนยางแล้ว น้ำยางก็ตกสเปคทันที เพราะก้อนยางมีเสถียรภาพสูงไม่สามารถทำให้คืนตัวเป็นน้ำยางได้ ลูกค้าไม่มั่นใจในการนำไปใช้ขึ้นรูปเป็นฟิล์ม หรือการทำให้เป็นเส้น เพราะอาจทำให้ไม่ก่อฟิล์มยางบนแบบ ฟิล์มเป็นรู เป็นก้อน หรือหากเป็นด้ายยาง เส้นก็จะขาดง่ายไม่ต่อเนื่อง เสียหายทั้งล็อตผลิต จึงไม่มีการประนีประนอมในการรับซื้อ ทางกฎหมายหากน้ำยางส่งออกแล้วห้ามนำกลับเข้าประเทศ ดังนั้นเมื่อน้ำยางชั้นตกสเปคไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน ณ การจ่ายหน้าโรงงานลูกค้า ผู้ขายหรือผู้ส่งออกจำต้องรองขายไปในราคาถูกให้กับโรงงานอื่นๆ ในละแวกนั้นที่พอใจรับซื้อไปแทน ทางการค้ามูลค่าความเสียหายมักเกิดในช่วงปิดกรีดราวเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคม ซึ่งเป็นฤดูร้อนน้ำระเหยมาก แต่เป็นช่วงที่ต้องเก็บน้ำยางสต็อกไว้ให้ลูกค้า ถ้าน้ำยางเกิดการตกสเปคไปก็คือเป็นมูลค่าราว 10% ของยอดขาย ซึ่งรวมทั้งค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และชื่อเสียง ในแง่การผลิต แม้ว่าการสูญเสียจะเกิดขึ้นเป็นครั้งคราว

แต่ก็เกิดได้เรื่อยไป ไม่มีความแน่นอน และเกิดขึ้นกับผู้ผลิตน้ำยางชั้นแทบทุกราย จึงเป็นปัญหารบกวนในระดับอุตสาหกรรมทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้น้ำยางชั้น

ด้วยเหตุที่ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางรายใหญ่ที่สุดในโลก และผู้ประกอบการก็มีศักยภาพในการพัฒนาอุตสาหกรรมนี้ให้ก้าวหน้าทันสมัยตามเทคโนโลยีปัจจุบัน การตรวจสอบปัญหาการเกิดการจับก้อนน้ำยางจึงเป็นองค์ความรู้ที่ควรมีข้อมูลพื้นฐานและเป็นแนวทางเพื่อให้เกิดการแนะนำแก้ไข ตรวจสอบติดตาม ป้องกันบรรเทาปัญหานี้ต่อไปในอนาคต โดยคู่มือฉบับนี้ได้นำเสนอกระบวนการเบื้องต้นเกี่ยวกับการผลิตน้ำยางชั้น กลไกการจับก้อนยาง อิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการจับก้อนยาง การเลือกพื้นที่ในการตั้งโรงงานผลิตน้ำยางชั้น การเลือกชนิดปื้มที่เหมาะสมกับการขนถ่ายน้ำยางชั้น และปัจจัยที่พึงระวังต่อการผลิตและขนส่งน้ำยางชั้น รวมถึงผลการใช้สารลดแรงตึงผิวในน้ำยางชั้น

สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
คำนำ	3
สารบัญเรื่อง.....	5
1. กระบวนการผลิตน้ำยางชั้น.....	6
2. กลไกการจับก้อนยาง.....	8
3. อิทธิพลของปัจจัยต่อการจับก้อนยาง.....	9
4.1 การเลือกพื้นที่ในการตั้งโรงงานผลิตน้ำยางชั้น.....	11
4.2 การเลือกชนิดปื้มที่เหมาะสมกับการขนถ่ายน้ำยางชั้น.....	12
4.3 ปัจจัยที่พึงระวังในการผลิตและการขนส่งน้ำยางชั้น.....	15
4.4 ผลของการเลือกใช้สารลดแรงตึงผิว.....	16
5. บทสรุป.....	19
บรรณานุกรม.....	22

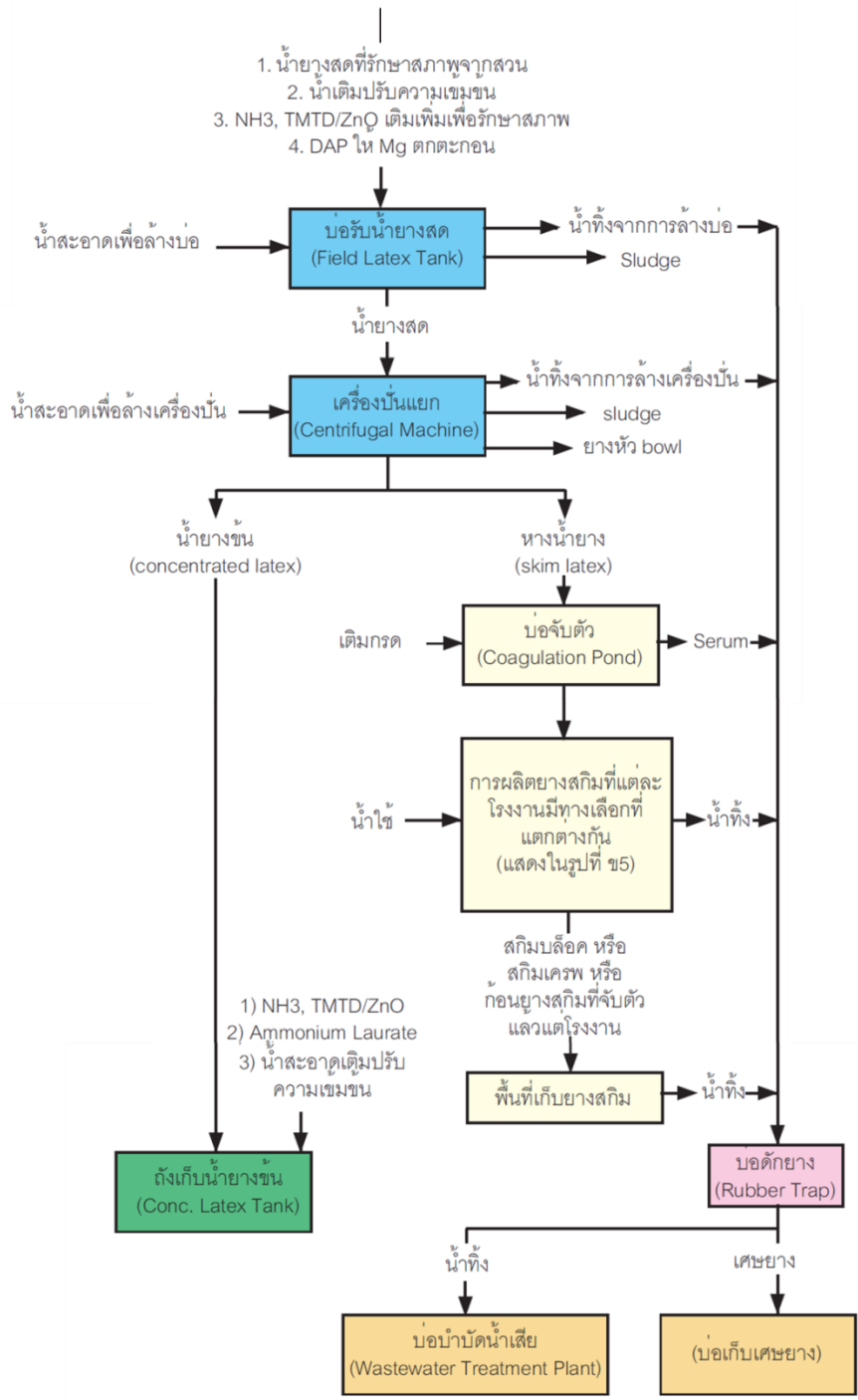
1.กระบวนการผลิตน้ำยางข้น

กระบวนการผลิตน้ำยางข้น (กลุ่มงานเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด, 2001)

กระบวนการผลิตน้ำยางข้นแสดงดังรูปที่ 1 วัตถุประสงค์ที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตน้ำยางข้น คือ น้ำยางสดที่ได้จากการกรีตต้นยางพาราตอนเช้ามีด โดยชาวสวนจะรักษาสภาพน้ำยางสดไม่ให้จับตัวด้วยการเติมแอมโมเนีย TMTD และ ZnO แล้วบรรจุลงถังหรือรถแท็งก์เพื่อขนส่งไปขายให้โรงงานผลิตน้ำยางข้น

เมื่อถึงโรงงานผลิตน้ำยางข้น ชาวสวนจะเทน้ำยางสดจากถังบรรจุหรือรถแท็งก์ผ่านตะแกรงกรองลงสู่บ่อรับน้ำยางสดของโรงงาน โรงงานจะเก็บตัวอย่างน้ำยางสดเพื่อหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC) และหาปริมาณแอมโมเนียเพื่อคำนวณเงินที่จะจ่ายให้กับชาวสวน จากนั้นพนักงานจะเติมแอมโมเนียให้น้ำยางสดในบ่อรับน้ำยางให้มีปริมาณแอมโมเนียเกินกว่า 0.4% โดยน้ำหนัก หากผลทดสอบพบว่าน้ำยางสดมีปริมาณแมกนีเซียมสูง ซึ่งมีผลต่อกระบวนการปั่นเหวี่ยงก็จะเติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (diammonium hydrogen phosphate, DAP) แล้วทิ้งไว้ข้ามคืน เพื่อให้แมกนีเซียมตกตะกอนเป็นขี้แป้ง (sludge) น้ำยางสดที่นำไปปั่นควรมีปริมาณแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ส่วนต่อล้านส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมด (ppm based on total solid content) และเมื่อปั่นแล้วควรมีไม่เกิน 20 ppm นอกจากนี้ต้องนำตัวอย่างน้ำยางสดไปทดสอบหาปริมาณกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA) ถ้ามีค่า VFA น้อยกว่า 0.05% จึงจะสามารถนำน้ำยางสดป้อนเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงได้ แต่ถ้าน้ำยางสดมีค่า VFA สูงกว่า 0.05% ก็ไม่ควรนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง เมื่อน้ำยางสดถูกถ่ายโอนไปสู่กระบวนการปั่นเหวี่ยงจนหมดบ่อแล้ว จะทำความสะอาดบ่อรับน้ำยางสดโดยใช้น้ำฉีดล้างทำความสะอาดทุกครั้งก่อนรับน้ำยางสดชุดใหม่

วิธีผลิตน้ำยางข้นมี 4 วิธี คือ วิธีปั่นเหวี่ยง วิธีระเหยน้ำ (evaporation) วิธีการทำให้เกิดครีม (creaming) และวิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (electrodecantation) แต่วิธีการปั่นเหวี่ยงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด โดยหลักการของวิธีปั่นเหวี่ยง คือ การปั่นแยกน้ำยางโดยอาศัยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงประมาณ 6,000 รอบ/นาที ภายในของเครื่องประกอบด้วยชุดจานแยก (separator discs) วางซ้อนๆ กันจำนวนหลายชั้น น้ำยางสดจะถูกป้อนเข้าเครื่องผ่านที่จ่ายน้ำยาง (distributor) ลงสู่กันถังปั่น จากนั้นน้ำยางจะไหลผ่านชุดของจานแยกซึ่งมีรูให้น้ำยางไหลเข้าสู่ภายในของถังปั่นด้วยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วสูง น้ำยางสดจะถูกแยกออกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งเป็นส่วนของเนื้อยางจะไหลเข้าหาศูนย์กลางของเครื่องปั่นเหวี่ยงและลอยตัวไหลออกมาตามทางออกด้านบนลงสู่ถังเก็บน้ำยางข้น อีกส่วนหนึ่งของน้ำยางที่ถูกแยกจะเป็นส่วนของหางน้ำยาง (skim latex) ซึ่งจะไหลออกจากศูนย์กลางเครื่องปั่นเหวี่ยงสู่ทางออกของหางน้ำยางและลงสู่ถังเก็บหางน้ำยาง (ประสพชัย, 2000) (รูปที่ 2)



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น (กลุ่มงานเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด, 2001)



รูปที่ 2 เครื่องปั่นเหวี่ยงสำหรับผลิตน้ำยางข้นและรางขนส่งน้ำยางข้น

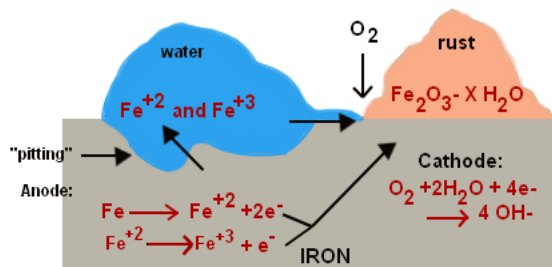
ปกติน้ำยางข้นที่ได้จากเครื่องปั่นเหวี่ยงจะมีความเข้มข้นของเนื้อยางประมาณ 60% เครื่องปั่นเหวี่ยงขนาดเล็ก สามารถผลิตน้ำยางข้นได้วันละ 200-250 แกลลอน และเครื่องปั่นเหวี่ยงขนาดใหญ่อาจผลิตน้ำยางข้นได้ถึงวันละ 450 แกลลอน ปกติการเดินเครื่องจะทำติดต่อกันได้อย่างมากเพียง 6 ชั่วโมง/ครั้ง เพื่อทำความสะอาดเครื่อง ล้างพวกนมหรือขี้แป้งที่ติดเครื่องปั่นเหวี่ยง

2. กลไกการจับก้อนยาง

ยางธรรมชาติ (Nature Rubber Latex) จัดเป็นสารคอลลอยด์ชนิดไม่ชอบตัวทำละลาย (Lyophobic colloids) ซึ่งตามทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานอิสระที่พื้นผิว (Gibbs free energy) ของสารกับพื้นที่ผิว (surface area) กล่าววา อนุภาคขนาดเล็กซึ่งมีพื้นที่ผิวมากจะมีพลังงานอิสระที่พื้นผิวมากทำให้ระบบไม่คงตัว (Thermodynamically unstable system) เพื่อให้ระบบเกิดความคงตัว ระบบจะลดพลังงานอิสระที่พื้นผิวลง โดยแต่ละอนุภาคของยางมาเกาะกลุ่มกันเปนอนุภาคใหญ่ เกิดเป็นความไม่คงตัวทางกายภาพที่สำคัญเรียกว่า การเกาะกลุ่มกันของอนุภาคยาง (particle aggregation หรือ agglomeration หรือ crystal growth) จนทำให้เกิดการตกตะกอนอย่างถาวร ซึ่งน้ำยางข้นเป็นคอลลอยด์ของอนุภาคยางที่เป็นสารไฮโดรคาร์บอนแวนลอยได้ในน้ำ โดยไม่เกาะติดกันเนื่องจากมีอิมัลซิไฟเออร์ธรรมชาติช่วยพยุงและป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคยาง (Ho, 1989) การทำลายชั้นอิมัลซิไฟเออร์หรือชั้นป้องกัน (protective layer) รอบอนุภาคยางเป็นเหตุผลสำคัญของการสูญเสียเสถียรภาพของอิมัลชัน และทำให้อนุภาคยางรวมตัวแยกออกจากวัฏภาคน้ำ การเก็บน้ำยางข้นต้องเก็บในภาวะที่เป็นด่างที่ pH 8-10 โดยการเติมแอมโมเนียเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยางข้นบูดเน่าเนื่องจากการย่อยสลายโปรตีนและเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ธรรมชาติด้วยแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังมีการเติมสารเคมีที่ใช้รักษาเสถียรภาพของน้ำยางข้น คือ สบู่แอมโมเนียมลอเรตที่ปริมาณน้อยๆ ราว 0.02-0.05% โดยน้ำหนัก ใน

กรณีนี้ข้างขึ้นที่มีปริมาณแอมโมเนียต่ำ สารรักษาสภาพทุติยภูมิ (secondary preservative) ที่มักใช้กัน คือ เตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ (tetramethylthiuram disulfide, TMTD) และซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide, ZnO) โดยเติมในปริมาณ 0.025% โดยปริมาตร

Bhowmick (2547) กล่าวว่าในการก่อเจลหรือการจับก้อนของน้ำยางข้นในระบบที่ให้ความร้อน (heat gelling) จะเกิดสารประกอบเกลือซิงค์ออกไซด์-แอมโมเนีย (zinc oxide-ammonia salt) ซึ่งเชื่อกันว่า ZnO ละลายในน้ำแอมโมเนียเกิดเป็นสารเชิงซ้อนซิงค์เอมีน (zinc amine) ที่อุณหภูมิห้องและมีแอมโมเนียสูง และก่อตัวเป็นเจลที่ pH 9-10 นอกจากนี้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สารเชิงซ้อนแอมโมเนียก็จะลดลง นำไปสู่การแยกตัวก่อเจลขึ้นจากการทดลองพบว่าเจลเกิดขึ้นเมื่อสบู่มากกว่าครดไขมันถูกกำจัดออกในรูปเกลือสังกะสีที่ไม่ละลายน้ำโดยการลดปริมาณสารเชิงซ้อน zinc amine ซึ่งก็เกิดเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเช่นกัน ในเบื้องต้นสมมติฐานการก่อเจลหรือจับก้อนน้ำยางในวันที่อากาศร้อนของฤดูปิดกรี๊ด ทำให้สารเชิงซ้อนโลหะออกไซด์แอมโมเนียมีปริมาณลดลง เร่งให้เกิดการจับก้อน นอกจากนี้ในกรณีที่มีการผุกร่อนของเหล็กภายในภาชนะบรรจุที่ขนส่งไป ซึ่งอาจเป็นบริเวณเล็กๆ (pitting) หรือมีรอยแตกของเคลือบทำให้เหล็กสัมผัสน้ำต่างเป็นเวลานาน ทำให้เกิดประจุบวกของเหล็กดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการสึกกร่อนจากกลไกเชิงไฟฟ้าเคมี (electrochemicals) จับกับประจุลบของอนุภาคยาง ยางก็จะแยกตัวจากจับก้อนได้



รูปที่ 3 การผุกร่อนของเหล็กที่สัมผัสน้ำและอากาศทำให้เกิดสนิมในส่วนที่เป็นขั้ว Cathode

3. อิทธิพลของปัจจัยต่อการจับก้อนยาง

ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางในน้ำยางข้น (Afreeen และคณะ, 2013 และ กุลทิวา, 1996)

- การกวน ความเร็วรอบของการกวนน้ำยางข้นในถังเก็บควรใช้ความเร็วรอบต่ำในช่วง 20 – 40 รอบ/นาที ถ้าใช้ความเร็วรอบมากเกินไปจะก่อให้เกิดแรงเสียดทาน แรงเฉือน (shear

force) และการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent) ซึ่งจะทำให้น้ำอย่างขุ่นมีเสถียรภาพที่ลดลงจนทำให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางได้

- การเลือกใช้ปั๊ม เนื่องจากในการผลิตน้ำอย่างขุ่นหรือการใช้น้ำอย่างขุ่นเพื่อทำผลิตภัณฑ์ต้องมีการขนถ่ายน้ำอย่างขุ่นในปริมาณมากผ่านการใช้ปั๊ม แต่ว่าการใช้ปั๊มส่งผลทำให้บริเวณของน้ำอย่างขุ่นที่ติดกับปั๊มมีแรงเฉือนสูง ก่อให้เกิดก้อนอย่างตำแหน่งนี้ได้ นอกจากนี้ น้ำอย่างขุ่นที่มีก้อนยางปนเปื้อนอาจก่อให้เกิดการอุดตันในระบบการขนส่งน้ำอย่างขุ่น ดังนั้นควรเลือกใช้ปั๊มที่ไม่พ่นอากาศปริมาณมากเข้าสู่ น้ำอย่างขุ่น โดยปั๊มที่สามารถใช้ในการขนส่งน้ำอย่างขุ่นมักเป็นชนิดเซนตริฟิวกัล สกรูเดี่ยว หรือไดอะแฟรม
- การปนเปื้อนทองแดงและแมกนีเซียม ผลของสารทั้งสองนี้รุนแรงมาก เนื่องจากทองแดงก่อให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์เอมีน (copper amine complex) ทำให้ยางเกิดการตกตะกอน และไม่สามารถนำไปทำน้ำอย่างขุ่นได้ ขณะที่แมกนีเซียมสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำตาลในน้ำอย่างขุ่นและก่อให้เกิดกรดซึ่งจะทำให้กรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid, VFA) มีค่าสูง ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้สัมผัสกับน้ำอย่างขุ่นจะต้องไม่มีส่วนประกอบที่ทำจากโลหะทั้งสองชนิดนี้
- การเติมแอมโมเนีย หากปริมาณแอมโมเนียอยู่ในระดับต่ำ อาจส่งผลให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางได้
- กระบวนการปั่นเหวี่ยง เวลาที่ใช้สำหรับการปั่นเหวี่ยงที่นานกว่า 3 ชั่วโมง อาจส่งผลให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางได้ ซึ่งเวลาที่เหมาะสมสำหรับการปั่นเหวี่ยงได้แก่ การเร่งความเร็วของจานปั่นภายใน 10 นาที ทำการปั่นเหวี่ยงนาน 2.50 ชั่วโมง หลังจากนั้นรอให้จานปั่นหยุดหมุนพร้อมลดอุณหภูมิของมอเตอร์เป็นเวลา 20 นาที
- สภาพอากาศความเย็น ปกติความเย็นจะไม่มีผลต่อเสถียรภาพของน้ำยางจนกระทั่งถึงจุดเยือกแข็งของน้ำ เช่น ในอากาศเย็นมากๆ อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียสจะทำให้น้ำจับตัวเป็นน้ำแข็ง แยกตัวออกจากอนุภาคของยาง ทำให้อนุภาคของยางถูกผลักให้รวมตัวกระจายอยู่ในปริมาณของน้ำน้อยลง ทำให้อนุภาคยางมีโอกาสมากระทบกันได้มากขึ้น ส่งผลให้ยางรวมตัวเป็นก้อนได้ ความร้อนทำให้อนุภาคของน้ำอย่างขุ่นสูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิของน้ำอย่างขุ่นที่สูงขึ้นไม่เป็นผลต่อเสถียรภาพของน้ำอย่างขุ่น จนกระทั่งถึงจุดเดือดของน้ำซึ่งทำให้น้ำระเหยไปเป็นการเพิ่มโอกาสให้อนุภาคยางมีโอกาสจับก้อนกัน

- การกระทบกันทางกลในระหว่างการขนส่งสามารถทำให้เกิดการกระทบกันของอนุภาคยางได้ เมื่อกระทบกันบ่อยเข้าจะทำให้อนุภาคยางมีแรงในการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ยางรวมกันเป็นอนุภาคใหญ่ขึ้นและจับก้อนกันบางส่วน จนทำให้น้ำยางเกิดการเสียเสียสภาพขึ้น
- อิทธิพลของกระแสไฟฟ้าหรือประจุจากขั้วไฟฟ้า เนื่องจากอนุภาคของยางมีประจุลบถ้าเอาขั้วบวกใส่เข้าไปในน้ำยาง อนุภาคยางจะวิ่งเข้าหาขั้วบวก ถ่ายประจุให้แล้วตัวเองเป็นกลางทำให้เกิดการรวมกันของอนุภาคยางได้
- สารเคมีประเภทกรด กรดแก่ ได้แก่ สารใดๆ ที่แตกตัวให้อนุมูลไฮโดรเจน ซึ่งอนุมูลนี้จะทำให้ปฏิกิริยากับอนุมูลคาร์บอกซิเลต (carboxylate) ที่อยู่รอบๆ อนุภาคยางทำให้เกิดเป็นกรดไขมันซึ่งไม่ละลายน้ำและทำให้ชั้นของอนุมูลประจุลบที่อยู่รอบๆ อนุภาคยางเบาบางลง เกิดการจับก้อนของอนุภาคยางอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้อนุมูลโลหะก็จะทำใหยางที่มีประจุลบเสียเสียสภาพ เนื่องจากอนุมูลโลหะกับอนุมูลคาร์บอกซิเลตทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นสบู่ของโลหะหนัก (metallic soaps) ไม่ละลายน้ำ

4.1 การเลือกพื้นที่ในการตั้งโรงงานผลิตน้ำยางชั้น

โดยปกติแล้วบริเวณรับน้ำยางสดควรอยู่ที่สูงกว่าบ่อเก็บน้ำยางสด และบ่อเก็บน้ำยางสดควรอยู่สูงกว่าเครื่องปั่นเหวี่ยง เพื่อให้น้ำยางสดไหลเข้าเครื่องปั่นแยกด้วยแรงโน้มถ่วง ทำให้ไม่ต้องติดปั๊มเพื่อสูบน้ำยางสดเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง แสดงดังรูปที่ 4 แต่จากลักษณะทางพื้นที่ของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นที่เข้าไปสำรวจ พบว่าต้องมีการใช้ปั๊มในส่วนต่างๆ ของกระบวนการ ได้แก่ การขนถ่ายน้ำยางสดเข้าสู่แท้งก์เก็บน้ำยางสด การขนถ่ายน้ำยางชั้นจากบ่อพักเข้าสู่แท้งก์เก็บน้ำยางชั้น และการขนถ่ายน้ำยางชั้นเข้าสู่แท้งก์ของรถบรรทุก การใช้ปั๊มอาจก่อให้เกิดแรงเฉือนระหว่างอนุภาคน้ำยางชั้นกับอุปกรณ์ของภายในปั๊มขณะปั๊มทำงาน การใช้ปั๊มที่มีกำลังมากเพื่อเร่งอัตราการขนถ่ายยิ่งเป็นการเพิ่มแรงเฉือนให้กับอนุภาคยางในน้ำยางชั้น อาจส่งผลให้เกิดการจับก้อนได้

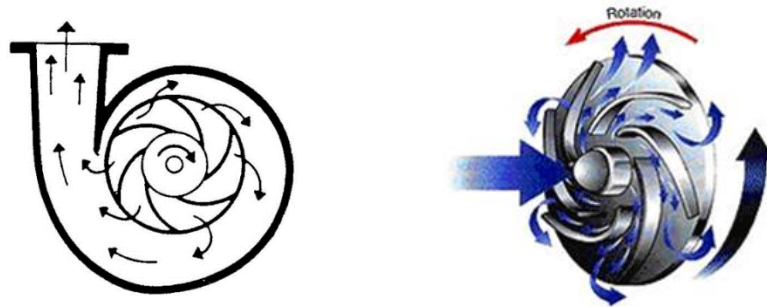


รูปที่ 4 ลักษณะที่ตั้งของโรงงานผลิตน้ำอย่างชัน

4.2 การเลือกชนิดปั๊มที่เหมาะสมกับการขนถ่ายน้ำอย่างชัน

เนื่องจากน้ำอย่างชันเป็นคอลลอยด์ที่มีอนุภาคแขวนลอยอยู่ในน้ำ ซึ่งไม่ควรจะถูกกระทบกระเทือนจากแรงภายนอกมากนัก การขนส่งน้ำอย่างชันจึงมักใช้หลักการถ่ายเทตามแรงโน้มถ่วงของโลก แต่เนื่องจากสภาพพื้นที่ของการตั้งโรงงานอาจไม่สามารถใช้แรงโน้มถ่วงในการขนถ่ายน้ำอย่างชันได้ทั้งหมด จึงจำเป็นต้องใช้ปั๊มในการถ่ายเทน้ำอย่างชันจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ซึ่งปั๊มที่ใช้ส่วนใหญ่ ได้แก่ 1. ปั๊มหอยโข่ง (volute type pump) 2. ปั๊มไดอะแฟรม (diaphragm pump) และ 3. ปั๊มสกรู (screw pump) โดยหลักการทำงานของปั๊มแต่ละชนิดแตกต่างกัน กล่าวคือ

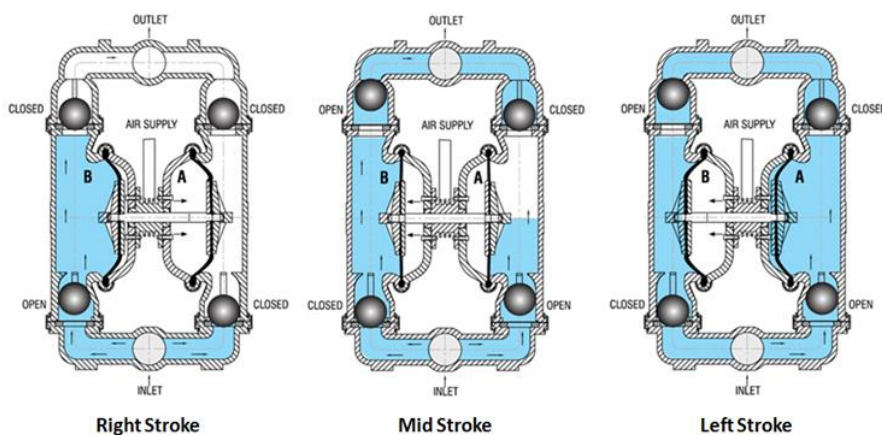
- (4) ปั๊มหอยโข่ง (รูปที่ 5) จัดเป็นปั๊มประเภทปั๊มกลุ่มแรงเหวี่ยงหรือปั๊มเซนตริฟูกอล (centrifugal) ปั๊มชนิดนี้ใช้ในการขนส่งของเหลวโดยการแปลงพลังงานจลน์ของการหมุน (kinetic energy) เป็นพลังงานทางอุทกพลศาสตร์ (hydrodynamic energy) พลังงานหมุนส่วนใหญ่มาจากมอเตอร์ไฟฟ้า หรือเครื่องยนต์ โดยของเหลวจะถูกส่งผ่านเข้าไปในใบพัด พลังงานการหมุนถูกนำไปเพิ่มพลังงานให้กับของเหลวอย่างต่อเนื่อง เกิดการเคลื่อนที่ผ่านช่องระหว่างครีบของใบพัด จะเกิดการผลักดันให้เกิดการไหลออกไปในแนวรัศมี ความเร็วจากการไหลที่ออกไปจากใบพัด จะถูกแปลงเป็นพลังงานความดัน (pressure)



รูปที่ 5 ปัมเซนตริฟูกอลแบบหอยโข่งและทิศทางการไหลของของเหลวในปัม

energy) สำหรับปัมเซนตริฟูกอลแบบหอยโข่งเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง คือ ของเหลวที่ไหลเข้าสู่ศูนย์กลางของใบพัดที่ทิศทางขนานกับแกนของเพลา แล้วไหลออกทำมุม 90 องศา กับทิศทางที่ไหลเข้า ดังแสดงในรูปที่ 4 ช่องทางเดินของของเหลวจากลิ้นของเรือนปัมมีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้นตามความยาวของเส้นรอบวงในทิศทางการหมุนของใบพัด

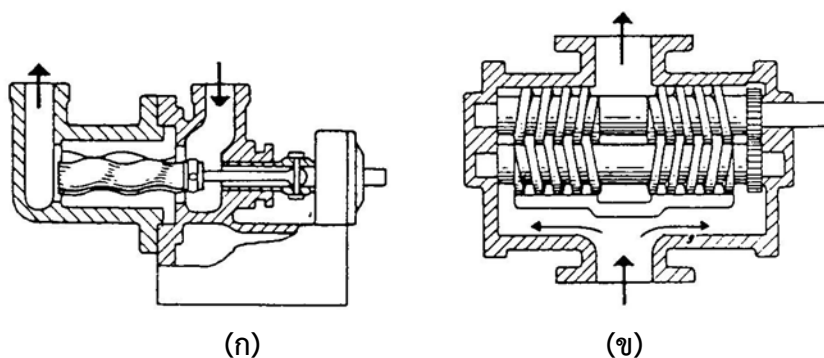
- (5) ปัมไดอะแฟรม จัดเป็นปัมประเภทสูบชัก (reciprocating pump) ทำงานโดยใช้การเคลื่อนที่ของลูกสูบทำให้ภายในห้องสูบลมแรงดันต่ำกว่าบรรยากาศภายนอก เกิดแรงดูดทำให้ความดันบรรยากาศภายนอกผลักดันของเหลวขึ้นผ่านเช็ควาล์วเข้ามาในห้องสูบ และเกิดการผลักดันออกไปจากปัมที่มีความดันสูงกว่า สำหรับปัมสูบชักแบบไดอะแฟรมจะเพิ่มพลังงานให้กับของเหลวโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบ ปัมไดอะแฟรมมีลักษณะการทำงานแบบดูด-อัดเป็นสโตรกดังแสดงในรูปที่ 6 ปัมไดอะแฟรมจะใช้พลังงานลมเป็นต้นกำลังขับเคลื่อน



รูปที่ 6 หลักการทำงานพื้นฐานของปัมแบบไดอะแฟรม

แผ่นไดอะแฟรมให้เกิดการเคลื่อนที่ซ้าย-ขวาเพื่อเพิ่มอัตราการไหลของของเหลว ซึ่งอาศัยสมบัติของอากาศที่สามารถยุบและขยายตัวได้ แผ่นไดอะแฟรมที่ใช้งานโดยทั่วไปจะเป็นชนิดที่ทนการกัดกร่อนจากสารเคมี นิยมใช้สำหรับดูดของเหลวที่มีความหนืด เช่น น้ำมันหรือสารเคมี ซึ่งเป็นข้อดีของปั๊มชนิดนี้ ปั๊มไดอะแฟรมจำเป็นต้องมีปั๊มลมช่วยในการทำงาน ซึ่งความดันลมจะเป็นตัวควบคุมปริมาณการไหลด้วยเช่นกัน

- (6) ปั๊มสกรู จัดเป็นปั๊มประเภทโรตารี (rotary pump) หลักการทำงาน คือ ของเหลวถูกดูดเข้าและอัดปล่อยออกโดยการหมุนรอบจุดศูนย์กลางของเครื่องมือกล ซึ่งมีช่องว่างให้ของเหลวไหลเข้าทางด้านดูดและเก็บอยู่ระหว่างผนังของห้องสูบกับด้านข้างที่หมุนหรือโรเตอร์ (rotor) จนกว่าจะถึงด้านจ่าย การหมุนของโรเตอร์จะก่อให้เกิดการแทนที่เพื่อเพิ่มปริมาตรของของเหลว (positive displacement) ให้ทางด้านจ่าย สำหรับปั๊มโรตารีแบบสกรู (รูปที่ 7) จะเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยโรเตอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นสว่านที่หมุนเพื่อขับเคลื่อนให้ของเหลวเคลื่อนที่ไประหว่างร่องเกลียวสว่านกับผนังห้องสูบจากทางดูดไปสู่ทางจ่าย จำนวนสว่านหรือโรเตอร์อาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งถึงสามตัว



รูปที่ 7 ปั๊มโรตารีแบบสว่าน (screw pump) (ก) แบบสว่านเดี่ยว (single-screw) และ (ข) แบบสองสว่าน (two-screw)

การเลือกชนิดปั๊มที่เหมาะสมกับน้ำยางข้นจะสามารถลดปัญหาการเกิดก้อนยางได้ โดยปั๊มที่เหมาะสมกับสารที่มีลักษณะลาเท็กซ์หรือคอลลอยด์ คือ ปั๊มไดอะแฟรม ส่วนปั๊มหอยโข่ง หรือปั๊มสกรูสามารถใช้ได้ แต่ไม่ควรมีกำลังสูงมากนักเพื่อป้องกันแรงเฉือนที่เกิดระหว่างอุปกรณ์ของปั๊มและอนุภาคยางในน้ำยางข้น นอกจากนี้การออกแบบถังเก็บน้ำยางข้น ควรใช้ถังสูงเพื่อบรรจุน้ำยางข้นให้มีปริมาณ

มาก ซึ่งจะสามารถปล่อยน้ำยางชั้นลงสู่แท็งก์ของรถบรรทุกที่อยู่ต่ำกว่าได้โดยใช้พลังงานศักย์ซึ่งขึ้นอยู่กับความสูงของน้ำยางชั้น

สำหรับขั้นตอนการขนถ่ายน้ำยางชั้นจากแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นสู่แท็งก์ของรถบรรทุก พบว่าส่วนใหญ่มีการใช้ปั๊มสำหรับขนถ่ายน้ำยางชั้น และใช้ตะแกรงกรองเพื่อป้องกันไม่ให้ก้อนยางไหลเข้าสู่แท็งก์ของรถบรรทุก อย่างไรก็ตามพบว่าลำดับการติดตั้งปั๊มและตะแกรงกรองของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นที่ไม่พบปัญหาเรื่องการจับก้อนของน้ำยางชั้น คือ การให้น้ำยางชั้นไหลผ่านตะแกรงกรองก่อนจากนั้นจึงผ่านปั๊มเพื่อเข้าสู่แท็งก์ของรถบรรทุก สำหรับการเลือกขนาดตะแกรงควรเลือกความละเอียดที่มีความเหมาะสม ไม่ควรมีความละเอียดที่มากเกินไปเนื่องจากจะเป็นการเพิ่มแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคยางและช่องทางออกของตะแกรงได้

4.3 ปัจจัยที่พึงระวังในการผลิตและการขนส่งน้ำยางชั้น

ปัจจัยที่พึงระวังในการผลิตและการขนส่งน้ำยางชั้น ได้แก่

- ปริมาณสารแคลเซียม (calcium, Ca) แมกนีเซียม (magnesium, Mg) และสารละลายเหล็ก (Iron, Fe) ในน้ำยางชั้นซึ่งเกิดจากน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นและการใช้ปุ๋ยของเกษตรกร ซึ่งจากผลการวิจัย พบว่า การเติมสารละลาย Ca^{2+} ส่งผลให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางสูงที่สุด รองลงมาเป็นสารละลาย Mg^{2+} และ Fe^{2+} ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าความเข้มข้นของสารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} และเวลาเริ่มต้นที่พบการเริ่มการจับก้อนของเนื้อยางเท่ากับ 100 ppm และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ ดังนั้นควรบำบัดคุณภาพน้ำก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำยางชั้น
- อุณหภูมิของน้ำยางชั้น ส่วนใหญ่อุณหภูมิของน้ำยางชั้นที่ได้ออกมาจากเครื่องปั่นเหวี่ยงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 33-38 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามเมื่อน้ำยางชั้นได้รับความร้อนจะส่งผลให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางได้ โดยพบว่ามีการจับก้อนของเนื้อยางเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ โดยการเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) เป็น 40 และ 60 องศาเซลเซียส จะพบการจับก้อนของเนื้อยางที่เพิ่มมากขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้น
- การเรียงลำดับการติดตั้งปั๊มและตะแกรงกรอง ลำดับการติดตั้งปั๊มและตะแกรงกรองของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นที่ไม่พบปัญหาเรื่องการจับก้อนของน้ำยางชั้น คือ การให้น้ำยางชั้นไหลผ่านตะแกรงกรองก่อนจากนั้นจึงผ่านปั๊มเพื่อเข้าสู่แท็งก์ของรถบรรทุก โดยผลจากการสำรวจ

โรงงานผลิตน้ำยางชั้นที่ไม่พบปัญหาการจับก้อนของยาง ทำการกรองหยาบเพียงครั้งเดียว โดยใช้ตะแกรงกรองหยาบที่ความละเอียดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 มิลลิเมตร

- ผลของช่องว่างในภาชนะบรรจุขณะขนส่ง การบรรจุน้ำยางชั้นให้เต็มภาชนะสามารถรักษาเสถียรภาพของน้ำยางชั้นได้ดีกว่าการบรรจุไม่เต็มภาชนะ
- การปนเปื้อนของน้ำยางชั้น น้ำยางชั้นจะถูกเก็บในแท็งก์น้ำยางชั้นเป็นเวลา 21 วัน เพื่อรอจำหน่าย ซึ่งในขั้นตอนนี้ พบว่าถ้าแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นมีความสกปรก กล่าวคือ มีเศษยางเหลืออยู่ก่อนบรรจุน้ำยางชั้นหรือผนังแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นมีสนิมเกิดขึ้น ตลอดจนแท็งก์ของรถบรรทุกที่มีก้อนยางติดอยู่อาจส่งผลให้เกิดการจับก้อนของน้ำยางได้ (รูปที่ 8)

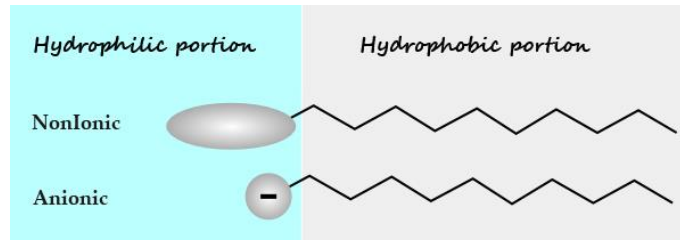


รูปที่ 8 บ่อพักน้ำยางชั้นที่ปนเปื้อนด้วยก้อนยางและสนิม

4.4 ผลของการเลือกใช้สารลดแรงตึงผิว

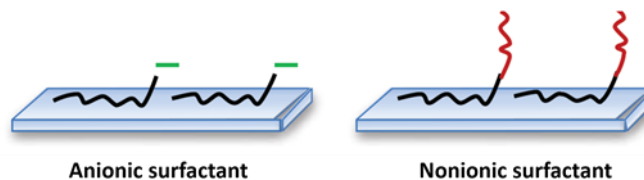
สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) จะไปยึดเกาะที่พื้นผิวของอนุภาคยาง ปกกันไม่ให้แต่ละอนุภาคยางมาเกาะรวมตัวกันตลอดกระบวนการผลิต การขนส่ง จนถึงการนำไปใช้ ส่วนใหญ่สารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้คือ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (non-ionic surfactants) กลไกการทำงานของสารลดแรงตึงผิวมีสองกลไกหลักคือ steric repulsion ซึ่งพบในสารลดแรงตึงผิวหรือพอลิเมอร์ชนิดไม่มีประจุและ electrostatic repulsion ซึ่งพบในสารลดแรงตึงผิวที่แตกตัวเป็นประจุไฟฟ้าได้ (ศรัณย์, 2013 และ Wu, 2011)

โครงสร้างทางเคมีของสารลดแรงตึงผิวประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ ส่วนหัวซึ่งมีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic head group) และส่วนหางซึ่งไม่มีขั้วและมีคุณสมบัติชอบไขมัน (hydrophobic tail) แสดงดังรูป 9



รูปที่ 9 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว

รูปที่ 10 แสดงการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนผิวสัมผัสชนิดไม่มีขั้ว (hydrophobic surface) โดยสีเขียวคือประจุลบ ขณะที่สีแดงแสดงถึงส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic component) และส่วนสีดำแสดงถึงส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic component)



รูปที่ 10 การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนผิวสัมผัส (Singh,2013)

- สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ โดยกลไกการทำงานของสารลดแรงตึงผิวชนิดนี้ได้แก่ steric repulsion คือ การใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ขัดขวางการเกาะกลุ่มกันของอนุภาค ซึ่งประสิทธิภาพของกลไกนี้จะขึ้นกับปริมาณสารที่เกาะกับผิวอนุภาคว่ามีมากน้อยเพียงใด โดยขึ้นกับปริมาณสารที่ใช้ ซึ่งปริมาณสารที่เกาะกับผิวอนุภาคจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้จนกระทั่งที่ความเข้มข้นสูงกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (critical micelles concentration; CMC) ปริมาณสารที่เกาะกับผิวอนุภาคจะลดลง เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวจะเกาะกลุ่มกันเป็นไมเซลล์ ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ได้แก่ พอลิเอทิลีนไกลคอลลโดเดคซิลอีเทอร์ (polyethylene glycol dodecyl ether, Brij30) พอลิเอทิลีนไกลคอลลอีเทอร์ (polyethylene glycol tert-octylphenyl ether, Triton X-100)
- สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ ซึ่งกลไกการทำงานของสารลดแรงตึงผิวชนิดนี้ได้แก่ การใช้แรงผลักทางไฟฟ้า (electrostatic repulsion) การป้องกันการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคโดยอาศัยแรงผลักทางไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎี DLVO (Derijaguin and Landau, Verwey and Overbeek theory; DLVO theory) ซึ่งเป็นการอธิบายถึงแรง 2 ชนิดในทิศทางตรงข้ามกัน คือ 1. แรงดูด

(attraction force; VA) เกิดจากแรงวัลเตอร์วาลซึ่งแปรผันตรงกับขนาดของอนุภาค และ 2. แรงผลัก (repulsion force; VR) เกิดจากแรงทางประจุไฟฟ้าบริเวณพื้นผิว(electronic double layer; EDL) ซึ่งประกอบด้วยชั้นของประจุต่างๆตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ ได้แก่ แอมโมเนียมลอเรต (ammonium laurate, AL) สารโซเดียม ลอริลซัลเฟต (sodium lauryl sulphate, SLS) และ โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (sodium dodecyl benzene sulfonate, SDBS)

อย่างไรก็ตามจากผลการผลการศึกษาการใช้สารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคในน้ำ ยางชั้น โดยนำน้ำยางที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 7000 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารลดแรงตึงผิว 0.01% โดยน้ำหนัก และจัดเก็บเป็นเวลา 14 วัน ตารางที่ 1 วิเคราะห์ สมบัติเชิงเสถียรภาพ พบว่าสารลดแรงตึงผิว AL ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิต น้ำยางชั้นในระดับอุตสาหกรรม ให้ค่าความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกลเท่ากับ 163 วินาที ปริมาณยางจับเป็นก้อน 0.0003% โดยน้ำหนัก และความสูงของฟอง 4.80 เซนติเมตร เมื่อพิจารณา สารลดแรงตึงผิวชนิดอื่นๆ ได้แก่ SLS SDBC Brij30 และ TX100 ให้ค่าความคงตัวของน้ำยางต่อ เครื่องมือกลสูงกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิว AL โดยมีค่าเท่ากับ 246 217 192 และ 252 วินาที ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าความสูงของฟองที่สูงกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิว AL เช่นกัน (5.50 5.03 5.50 และ 5.03 ซม. ตามลำดับ) แต่มีเพียงน้ำยางที่ได้จากการเติมสารลดแรงตึงผิว SDBS และ TX100 เท่านั้น ที่ค่าปริมาณยางจับเป็นก้อนต่ำกว่าน้ำยางที่เติมสารลดแรงตึงผิว AL โดยมีค่าเท่ากับ 0.0000% และ0.0002% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้นิชนิดสารลดแรงตึงผิวนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ยกตัวอย่างเช่น สารลดแรงตึงผิวมีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่นำไป ผลิตหรือไม่ กระบวนการเติมสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน และราคา เป็นต้น

ตารางที่ 1 ผลของชนิดของสารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคยางในน้ำยางชั้น

ลำดับ	สารลดแรงตึงผิว	ปริมาณสารลดแรงตึงผิว (%โดยน้ำหนัก)	ความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกล (วินาที)	ปริมาณยางจับเป็นก้อน (%โดยน้ำหนัก)	ความสูงฟอง (ซม.)
1	AL	0.01	163	0.0003	4.80
2	SLS	0.01	246	0.0006	5.50
3	SDBS	0.01	217	0.0000	5.03
4	Brij30	0.01	192	0.0005	5.50
5	TX100	0.01	252	0.0002	5.03

5. บทสรุป

ถึงแม้ว่าปัญหาการจับก้อนยางในโรงงานผลิตน้ำยางชั้นสร้าง ความเสียหายต่อธุรกิจไม่มากนัก และเป็นปัญหาที่ไม่ได้เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่แน่นอน แต่ก็ทำให้เกิดความสูญเสียทางด้านภาพลักษณ์ และอาจสูญเสียลูกค้าได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานที่มีฐานลูกค้าไม่มากนัก ซึ่งจากการสำรวจโรงงานผลิตน้ำยางชั้นจำนวน 6 โรงงาน และทำการทดลองถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดการจับก้อนยางในน้ำยางชั้น สามารถสรุปสาเหตุของการจับก้อนยางในน้ำยางชั้นตามประเด็นดังต่อไปนี้

- ลักษณะที่ตั้งของโรงงานผลิตน้ำยางชั้น การเลือกใช้ปั๊ม และการออกแบบถังเก็บน้ำยางชั้น
ลักษณะทางพื้นที่ของโรงงานผลิตน้ำยาง ควรให้บริเวณรับน้ำยางสดอยู่ที่สูงกว่าบ่อเก็บน้ำยางสด และบ่อเก็บน้ำยางสดควรอยู่สูงกว่าเครื่องปั่นเหวี่ยง และการเลือกชนิดปั๊มที่เหมาะสมกับน้ำยางชั้นจะสามารถลดปัญหาการเกิดก้อนยางได้ โดยปั๊มที่เหมาะสมกับสารที่มีลักษณะลาเท็กซ์หรือคอลลอยด์ คือ ปั๊มไดอะแฟรม ส่วนปั๊มหอยโข่ง หรือปั๊มสกรูสามารถใช้ได้ แต่ไม่ควรมีกำลังสูงมากนักเพื่อป้องกันแรงเฉือนที่เกิดระหว่างอุปกรณ์ของปั๊มและอนุภาคยางในน้ำยางชั้น
- การเรียงลำดับการติดตั้งปั๊มและตะแกรงกรอง
ลำดับการติดตั้งปั๊มและตะแกรงกรองของโรงงานผลิตน้ำยางชั้นที่ไม่พบปัญหาเรื่องการจับก้อนของน้ำยางชั้น คือ การให้น้ำยางชั้นไหลผ่านตะแกรงกรองก่อนจากนั้นจึงผ่านปั๊มเพื่อเข้าสู่แท็งก์ของรถบรรทุก สำหรับการเลือกขนาดตะแกรงควรเลือกความละเอียดที่มีความเหมาะสม
- การปนเปื้อนของน้ำยางชั้น
น้ำยางชั้นจะถูกเก็บในแท็งก์น้ำยางชั้นเป็นเวลา 21 วัน เพื่อรอจำหน่าย ซึ่งในขั้นตอนนี้ พบว่าถ้าแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นมีความสกปรก กล่าวคือ มีเศษยางเหลืออยู่ก่อนบรรจุน้ำยางชั้นหรือผนังแท็งก์เก็บน้ำยางชั้นมีสนิมเกิดขึ้น ตลอดจนแท็งก์ของรถบรรทุกที่มีก้อนยางติดอยู่อาจส่งผลให้เกิดการจับก้อนของน้ำยางได้
- การไม่ตรวจสอบคุณภาพของน้ำที่ใช้ในการผลิตและน้ำยางสด
เนื่องจากผลการตรวจสอบอิทธิพลของประจุแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กให้ผลว่าประจุแคลเซียมและแมกนีเซียมต่างก็มีผลต่อการจับก้อนในน้ำยางชั้นมากกว่าประจุเหล็ก ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าประจุแคลเซียมและแมกนีเซียมที่มากับน้ำที่ใช้ในการผลิต ตลอดจนแร่ธาตุที่อยู่ภายในน้ำยางสด อาจเป็นตัวการที่ก่อให้เกิดการจับก้อนยางได้ ดังนั้นผู้ผลิตควรมีมาตรการหรือแผนในการตรวจสอบคุณภาพน้ำ

โดยไม่ควรมีปริมาณแคลเซียมหรือแมกนีเซียมสูงเกินไปนักโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงหน้าแล้งที่ปริมาณน้ำมีน้อย อาจทำให้ไอออนเหล่านี้มีความเข้มข้นสูงได้ นอกจากนี้ควรตรวจสอบปริมาณแมกนีเซียมและแคลเซียมที่มากับน้ำอย่างสดที่นำมาส่งให้กับทางโรงงานทุกล็อต เพราะถึงแม้ว่าทางโรงงานจะมีการเติม DAP เพื่อจับปริมาณแมกนีเซียมในน้ำอย่างสดก่อนส่งเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง แต่ปริมาณการเติมอาจไม่เพียงพอ ทำให้มีซีพีแ่งมาก และไอออนเหล่านี้อาจหลุดรอดไปในน้ำอย่างข้นแล้วก่อให้เกิดการจับก้อนยางได้ง่ายขึ้น

- ผลของช่องว่างในภาชนะบรรจุขณะขนส่ง

การบรรจุน้ำอย่างข้นให้เต็มภาชนะสามารถรักษาเสถียรภาพของน้ำอย่างข้นได้ดีกว่าการบรรจุไม่เต็มภาชนะ

- อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำอย่างข้นที่ได้ออกมาจากเครื่องปั่นเหวี่ยงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 33-38 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามเมื่อน้ำอย่างข้นได้รับความร้อนจะส่งผลให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางได้ โดยพบว่าการจับก้อนของเนื้อยางเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป ส่งผลให้เกิดการจับก้อนของยางได้

- ลูกค้ำ

กลุ่มลูกค้ำที่รับซื้อน้ำอย่างข้นจะมีหลายประเทศและหลากหลายอุตสาหกรรม ซึ่งมีความข้อจำกัดในการรับซื้อน้ำอย่างข้นที่แตกต่างกันออกไป

การเรียงลำดับของสาเหตุการจับก้อนในน้ำอย่างข้นจากผลกระทบมากไปน้อย ได้แก่

1. ปริมาณสารแคลเซียม แมกนีเซียม และสารละลายเหล็ก ในน้ำอย่างข้นซึ่งเกิดจากน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำอย่างข้นและการใช้ปุ๋ยของเกษตรกร ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า การเติมสารละลาย Ca^{2+} ส่งผลให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางสูงที่สุด รองลงมาเป็นสารละลาย Mg^{2+} และ Fe^{2+} ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าความเข้มข้นของสารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} และเวลาเริ่มต้นที่พบการเริ่มการจับก้อนของเนื้อยางเท่ากับ 100 ppm และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ

2. อุณหภูมิของน้ำอย่างข้น โดยพบว่าการจับก้อนของเนื้อยางเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป ส่งผลให้เกิดการจับก้อนของยางได้

3. ตะแกรงกรองและสิ่งปนเปื้อนในน้ำยาง ซึ่งส่งผลไม่แตกต่างกันมากนัก กล่าวคือ กรณีตะแกรงกรองควรเลือกที่มีความเหมาะสม ไม่ควรมีความละเอียดที่มากเกินไปเนื่องจากจะเป็นการเพิ่มแรงเฉือนระหว่างอนุภาคยางและช่องทางออกของตะแกรงได้ โดยบริษัท C ซึ่งไม่พบปัญหาการจับก้อนของยาง ทำการกรองหยาบเพียงครั้งเดียว โดยใช้ตะแกรงกรองหยาบที่ความละเอียดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 มิลลิเมตร สำหรับการปนเปื้อนของเศษยางจากแท็งก์หรือรถบรรทุกก็เป็นสาเหตุให้ยางจับก้อนได้เช่นกัน

บรรณานุกรม

เอกสารภาษาไทย

- กุลทิศา รัตนเวคินรักษ์. 1996. การผลิตและการทดสอบน้ำยางชั้น. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- กลุ่มงานเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด. 2001. หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขา. สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม
- ประสพชัย รัตนเหล็กไหล. 2000. ผลของสารเคมีต่อการจับก้อนของน้ำยางธรรมชาติ. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ศรัณย์ ตันตะราวงศา และรัชชัย แพชมัด. 2013. กลไกและทฤษฎีความคงตัว ทางกายภาพของยาแขวนตะกอนขนาดนาโนเมตร. วารสารไทยเภสัชศาสตร์และวิทยาการสุขภาพ ปี 8 ฉบับ 1 หน้า 36-41.

เอกสารภาษาอังกฤษ

- Afreen S., Haque KR., Huda M.K. Troubleshooting for the observed problems in processing latex concentrate from natural resource. 4th International Conference on Energy and Environment 2013 (ICEE 2013). doi: 10.1088/1755-1315/16/1/012007.
- Bhowmick A.K., Hall M.M., Benaray H.A. Rubber Products Manufacturing Technology. New York, Marcell Dekker, 1994.
- Singh M. and Evelyn L. Surfactants and their use in latex technology. MRB Rubber Technology Developments. 13(2013) 33-36.
- Wu L., Zhang J., Watanabe W. Advanced Drug Delivery Reviews 63 (2011) 456-469.

ภาคผนวก ฉ

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

แผนกิจกรรม	บรรล่วัตถุประสงค์ข้อที่	ผลที่ได้รับ
<p>1. เพื่อหาสาเหตุการจับก้อนในน้ำยางชั้นในโรงงานผลิตน้ำยางชั้น</p>	<p>จัดทำแบบสอบถาม-แบบสำรวจเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดการจับก้อนในหน่วยงานจริง</p>	<p>สรุปสาเหตุของการจับก้อนยางในน้ำยางชั้นดังต่อไปนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ปริมาณ สารแคลเซียม (calcium, Ca) แมกนีเซียม (magnesium, Mg) และ สารละลายเหล็ก (Iron, Fe) ในน้ำยางชั้นซึ่งเกิดจากน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นและการใช้ปุ๋ยของเกษตรกร ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า การเติมสารละลาย Ca^{2+} ส่งผลให้เกิดการจับก้อนของเนื้อยางสูงที่สุด รองลงมาเป็นสารละลาย Mg^{2+} และ Fe^{2+} ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าความเข้มข้นของสารละลาย Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+} และเวลาเริ่มต้นที่พบการเริ่มการจับก้อนของเนื้อยางเท่ากับ 100 ppm และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ 2. อุณหภูมิของน้ำยางชั้น โดยพบว่ามีการจับก้อนของเนื้อยางเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป ส่งผลให้เกิดการจับก้อนของยางได้ 3. ตะแกรงกรองและสิ่งปนเปื้อนในน้ำยาง ซึ่งส่งผลไม่แตกต่างกันมากนัก กล่าวคือ กรณีตะแกรงกรองควรเลือกที่มีความเหมาะสม ไม่ควรมีความละเอียดที่มากเกินไปเนื่องจากจะเป็นการเพิ่มแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคยางและช่องทางออกของตะแกรงได้ โดยบริษัท C ซึ่งไม่พบปัญหาการจับก้อนของยาง ทำการกรองหยาบเพียงครั้งเดียว โดยใช้ตะแกรงกรองหยาบที่มีความละเอียดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 มิลลิเมตร สำหรับการปนเปื้อนของเศษยางจากแท่งกัหรือรถบรรทุกก็เป็นสาเหตุให้น้ำยางจับก้อนได้เช่นกัน
<p>2. เพื่อศึกษาสถานการณ์จำลองในการจับก้อนในน้ำยางชั้นอันเนื่องมาจากประจุของเหล็กแคลเซียม และแมกนีเซียม</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● การศึกษา electrophoretic mobility ของน้ำยางชั้น ● การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ที่ระยะเวลาต่างๆ ● การศึกษาการจับก้อนของเนื้อยางด้วยสารละลายเหล็ก (Fe^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และแคลเซียม (Ca^{2+}) 	<p>ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นและเวลาเริ่มต้นที่พบการเริ่มการจับก้อนของเนื้อยางของสารละลายไอออนโลหะทั้งสามชนิด (Ca^{2+} Mg^{2+} และ Fe^{2+}) คือ 100 ppm และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยการเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) เป็น 40 และ 60 องศาเซลเซียส จะพบการจับก้อนของเนื้อยางที่เพิ่มมากขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้น อีกทั้งจากผลการศึกษาพบว่า Ca^{2+} จะส่งผลต่อการจับ</p>

แผนกิจกรรม	บรรลุวัตถุประสงค์ข้อที่	ผลที่ได้รับ
	<ul style="list-style-type: none"> ● การศึกษาการจับก่อนของเนื้อเยื่อด้วยสนิมเหล็ก 	<p>ก้อนของเนื้อเยื่อสูงที่สุด รองลงมา คือ Mg^{2+} และ Fe^{2+}</p>
<p>3. เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคยางในน้ำยางข้น และสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่เตรียมได้</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● ศึกษาผลของการใช้สารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำยางข้นดังรายละเอียดต่อไปนี้ <ol style="list-style-type: none"> 1) ชนิดของแรงตึงผิว <ul style="list-style-type: none"> -ชนิดไม่มีประจุ: Triton X-100 และ Brij30 -ชนิดประจุลบ: AL SLS และ SDBS 2) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว: 0.01–1% โดยน้ำหนัก ● ศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางที่เตรียมจากน้ำยางข้นที่เติมสารลดแรงตึงผิวชนิดต่าง ได้แก่ สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง และความทนทานความร้อน 	<p>สำหรับผลของสารลดแรงตึงผิวต่อเสถียรภาพของอนุภาคในน้ำยางข้น พบว่า สารลดแรงตึงผิว ได้แก่ SLS SDBC Brij30 และ TX100 ให้ค่าความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกลสูงกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิว AL แต่น้ำยางที่เติมสารลดแรงตึงผิว SDBS และ TX100 เท่านั้น ที่มีค่าปริมาณยางจับเป็นก้อนต่ำกว่าน้ำยางที่เติมสารลดแรงตึงผิว AL</p> <p>สำหรับการศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มยาง พบว่าแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจากน้ำยางข้นที่เติมสารลดแรงตึงผิว SLS และ Brij30 ที่ให้ค่าการต้านแรงดึง โมดูลัสที่ 300% และค่าระยะยืด ณ จุดขาดสูงกว่าแผ่นฟิล์มที่ได้จากการเติมสารลดแรงตึงผิว AL</p>