

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไคตินและไคโตซาน

การนำไคติน-ไคโตซานมาพัฒนาเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ในประเทศไทย ถือได้ว่าได้เปรียบกว่าประเทศอื่นๆ อันเนื่องมาจากประเทศไทยมีความพร้อมด้านวัตถุดิบ อันได้แก่ เปลือกกุ้งและกระดองปู ประเทศไทยส่งออกกุ้งแช่แข็งเป็นสินค้าส่งออกอันดับต้นๆ ของโลก จากสถิติของกระทรวงพาณิชย์ พบว่ายอดการส่งออกกุ้งสดแช่แข็งของประเทศไทยตั้งแต่ ม.ค. 2552- ธ.ค. 2552 มีปริมาณสูงถึงสองแสนตัน สร้างรายได้ให้กับประเทศเป็นจำนวน 46,098 ล้านบาท (<http://www2.ops3.moc.go.th>) และถึงแม้ว่ารัฐบาลจะมีนโยบายจำกัดพื้นที่การเพาะเลี้ยงกุ้ง แต่เปลือกกุ้งที่จะถูกป้อนให้กับโรงงาน เพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นไคติน-ไคโตซานนั้น สามารถได้มาจาก 2 แหล่ง คือ จากฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้งประมาณ 2 แสนตันต่อปี และจากทะเลประมาณ 3 แสนตันต่อปี ดังนั้นจึงไม่น่ามีปัญหาในด้านการขาดแคลนวัตถุดิบเปลือกกุ้งในประเทศไทยได้ วัตถุดิบส่วนใหญ่ที่ใช้ในการผลิตไคตินจะได้จากส่วนเปลือกหัวกุ้งและกระดองปู เมื่อคิดปริมาณไคตินต่อน้ำหนักตัวของกุ้งและปู จะได้ 14-27 % และ 13-15% ตามลำดับ

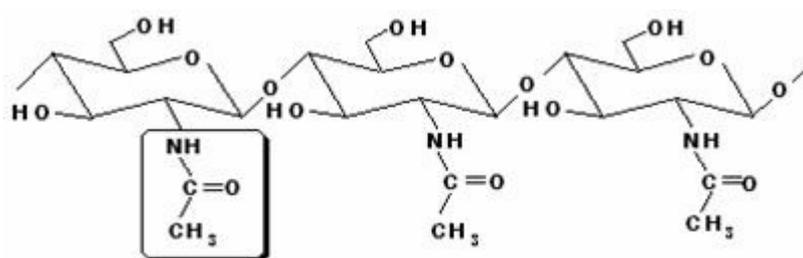
ปัจจุบันโรงงานที่ดำเนินการผลิตไคตินและไคโตซานในประเทศไทยยังมีอยู่ไม่มากนัก จากรายงานวิจัยเรื่อง “การศึกษาและวิเคราะห์สถานการณ์ของโรงงานผู้ผลิตและตลาดการใช้ไคตินและไคโตซาน” โดย รศ.ดร. สุพจน์ หารหนองบัวและคณะ (2546) รวบรวมรายชื่อผู้ประกอบการผลิตสารไคติน-ไคโตซานไว้เพียง 10 รายการ และผู้ประกอบการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นที่ได้จากไคติน-ไคโตซานในประเทศไทยอีก 10 รายการ รวมถึงธุรกิจผลิตไคโตซานในรูปแบบผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อการส่งออกอีก 19 รายการ นอกจากนี้อัตราการผลิตของแต่ละโรงก็ยังไม่สูงมาก หากความต้องการของตลาดมีมากขึ้น การขยายตัวเป็นอุตสาหกรรมมีความเป็นไปได้มากและรวดเร็ว เพราะเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตสารไคติน-ไคโตซานเป็นเทคโนโลยีที่ง่ายไม่ซับซ้อน สามารถทำได้ตั้งแต่ในระดับครัวเรือน และขยายขนาดเป็นระดับอุตสาหกรรม จึงใช้เงินลงทุน เครื่องจักร-เครื่องมือ และแรงงานไม่มาก สามารถจัดการระบบการผลิตได้ไม่ยาก จากความพร้อมในหลายด้านดังกล่าว ในอนาคตเมืองไทยอาจจะเป็นประเทศที่ส่งออกไคติน-ไคโตซานระดับต้นๆ ของโลก เช่นเดียวกับกุ้งแช่แข็งก็อาจจะเป็นไปได้ โดยส่วนใหญ่ผู้ผลิตจะนำไคโตซานจะนำไปใช้ประโยชน์ทางด้าน

เกษตรกรรม การใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ และการนำไปผสมในเครื่องสำอางเพื่อบำรุงผิวและเส้นผม

ไคตินเป็นโพลีเมอร์ทางธรรมชาติมีปริมาณมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลสที่เป็นส่วนประกอบของเนื้อไม้ ลักษณะเป็นโพลีเมอร์สายยาวที่ประกอบขึ้นจากน้ำตาลหน่วยย่อยซึ่งเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสมีชื่อว่า N-acetyl-D-glucosamine มาเรียงต่อกันเป็นสาย ชื่อทางเคมีของไคตินคือ Poly[β -(1 \rightarrow 4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucopyranose] ไคตินเป็นสารที่ละลายยาก สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์ เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถัน กรดฟอสฟอริก และกรดฟอร์มิกที่ปราศจากน้ำ แต่ไม่ละลายในด่างเจือจาง แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ พบได้ในเปลือกแข็งที่หุ้มเซลล์ของรา ยีสต์ และจุลินทรีย์หลายชนิด และโครงสร้างแข็งของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง จำพวกแมลง กุ้ง ปู ปลาหมึก เป็นต้น โครงสร้างของไคตินแสดงในภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1

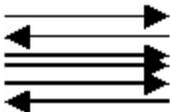
แสดงโครงสร้างทางเคมีของไคติน



ไคตินที่ได้จากแต่ละแหล่ง มีโครงสร้างและสมบัติแตกต่างกันโดยแบ่งตามลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยได้ 3 กลุ่ม คือ

(1) แบบอัลฟา \rightleftharpoons มีการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในลักษณะสวนทางกัน มีความแข็งแรงสูง ได้แก่ ไคตินจากเปลือกกุ้ง และกระดองปู

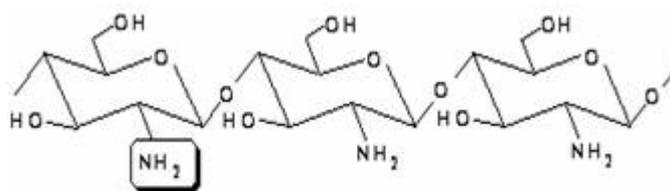
(2) แบบเบตา \rightleftharpoons มีการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในทิศทางเดียวกัน จึงจับกันได้ไม่ค่อยแข็งแรง มีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีมากกว่าแบบอัลฟา ได้แก่ ไคตินจากแกนปลาหมึก

(3) แบบแกมมา  มีการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในลักษณะที่ไม่แน่นอน (สวนทางกันสลับทิศทางเดียวกัน) มีความแข็งแรงรองจากแบบอัลฟา ได้แก่ โคตินจากเห็ดรา และพืชชั้นต่ำ

ส่วนโคโตซานคืออนุพันธ์ของโคติน เกิดจากการตัดเอาหมู่อะซิติกของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine (หรือโคติน) ด้วยด่างเข้มข้นออกตั้งแต่ 50 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป (เรียกปฏิกิริยานี้ว่า deacetylation นั่นคือเป็นการเปลี่ยนน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine เป็น glucosamine โดยมีหมู่อะซิตามิโดเปลี่ยนเป็นหมู่อะมิโนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีดังกล่าวมักเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ร้อยละร้อยเปอร์เซ็นต์ จึงเกิดนิยามของคำว่า degree of deacetylation หมายถึงเปอร์เซ็นต์ของโคตินที่เปลี่ยนโครงสร้างเป็นโคโตซาน ปกติแล้วโคโตซานที่ได้จะมีส่วนผสมของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine และ glucosamine อยู่ในสายโพลิเมอร์เดียวกัน ระดับการกำจัดหมู่ acetyl (หรือเปอร์เซ็นต์การเกิด deacetylation) นี้มีผลต่อสมบัติและการทำงานของโคโตซาน นอกจากนี้น้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานบอกถึงความยาวของสายโคโตซาน ซึ่งมีผลต่อความหนืด เช่น โคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะมีสายยาวและสารละลายมีความหนืดมากกว่าโคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นต้น ดังนั้นการนำโคโตซานไปใช้ประโยชน์จะต้องพิจารณาทั้งเปอร์เซ็นต์การเกิด deacetylation และน้ำหนักโมเลกุล ชื่อทางเคมีของโคโตซานคือ Poly [β -(1 \rightarrow 4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose] มีโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 2.2 และมีสมบัติละลายได้ในกรดอ่อน เช่น กรดอะซิติก เป็นต้น

ภาพที่ 2.2

แสดงโครงสร้างทางเคมีของโคโตซาน



จากรายงานวิจัยโดย รศ.ดร. สุพจน์ หารหนองบัวและคณะ (2546) สามารถสรุปการใช้ประโยชน์ของโคตินและโคโตซานได้ ดังนี้

- *การเกษตร* การนำสารไคตินและไคโตซานมาใช้ในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ทั้งพืชและสัตว์ได้มีการศึกษาอย่างแพร่หลาย สารทั้งสองเป็นสารธรรมชาติที่ช่วยลดความเสี่ยงของเกษตรกรและผู้บริโภคต่อการได้รับสารพิษจากปุ๋ยและยาปราบศัตรูพืช พร้อมทั้งมีจุดเด่นที่สามารถช่วยเพิ่มผลผลิต ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาพืชผลทางการเกษตร รวมถึงสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้และปลอดภัยต่อสภาพแวดล้อม

- *อาหาร* การทดลองใช้ไคโตซานในสัตว์เพื่อศึกษาความสามารถในการลดระดับคอเลสเตอรอลนั้นพบว่าให้ผลดี จากสมบัติของไคโตซานในด้านการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา นับเป็นจุดเด่นที่สำคัญต่อการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการถนอมอาหาร ไคโตซานยังถูกนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งในกระบวนการผลิตอาหารและเครื่องดื่มหลายชนิด นอกจากนี้เนื่องจากไคตินและไคโตซานสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ จึงมีการผลิตเพื่อนำมาใช้เป็นฟิล์มห่อหุ้มเพื่อถนอมอาหารอีกด้วย

- *เส้นใยและสิ่งทอ* ไคตินและไคโตซานสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นเส้นใยและเส้นด้ายในการทำผ่านอโนวูฟเวน (nonwoven) ผ้าปิดแผลไหมละลาย ใช้เป็นสารตกแต่งสำเร็จของสิ่งทอ (textile finishing agent) ใช้เป็นสารช่วยในกระบวนการสิ่งทอ (textile auxiliaries) และใช้เป็นสารเติมแต่งในกระบวนการผลิตกระดาษ

- *เครื่องสำอาง* ไคโตซานเป็นสารประเภท non-toxic polyelectrolyte ที่มีประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ทั้งนี้เพราะ ประจุบวกของหมู่แอมโมเนียม ($-NH^+$) ที่เรียงรายอยู่บนโครงสร้างของไคโตซานจะมีความว่องไวต่อการจับกับผิวหนังและเส้นผมที่ประกอบด้วยโปรตีน สาร Mucopolysaccharides และไขมันที่มีประจุลบได้เป็นอย่างดี ไคโตซานที่เคลือบอยู่นี้จะก่อตัวเป็นฟิล์มบางๆ พร้อมกับดูดซับความชื้นและไขมันเอาไว้ จึงช่วยรักษาความชุ่มชื้น และความยืดหยุ่นให้แก่ผิวหนังและเส้นผม และนอกเหนือจากสมบัติในการช่วยยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและลดอาการระคายเคืองหรือคันศีรษะ การนำสารไคติน-ไคโตซานไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางโดยตรงยังคงมีข้อจำกัดในปัญหาด้านการละลายเนื่องจากไคตินนั้นไม่ละลายในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ ส่วนไคโตซานละลายได้ในสารละลายกรดเจือจางบางชนิดดังนั้นที่ผ่านมาจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาสารไคติน-ไคโตซานที่ละลายน้ำได้ โดยทำการดัดแปรโครงสร้างด้วยกระบวนการทางเคมี เช่น N-carboxybutyl chitosan ที่เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยากับ levulinic acid สามารถละลายน้ำ และสารละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลได้โดยไม่ต้องเติมกรดใดๆ สารละลายดังกล่าวที่แสดง อนุพันธ์ของสารไคติน-ไคโตซานเหล่านี้มีสมบัติในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ให้กับผิวทั่วไปและผิวที่แพ้ง่าย รวมทั้งช่วยลดการเกิดริ้วรอย นอกจากนี้ยังมี

การพัฒนาโครงสร้างไคโตซานให้มีหมู่ hydrophobic และ hydrophilic เพื่อช่วยสร้างเสถียรภาพให้กับสารอิมัลชัน และทำให้ส่วนผสมของเครื่องสำอางสามารถผสมเข้ากันได้ดี ปัจจุบันผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของสารไคติน-ไคโตซาน ได้แก่ ครีมและโลชั่นบำรุงผิว แชมพู โลชั่นบำรุงผม แป้งแต่งหน้า ยาทาเล็บ ยาสีฟัน และมอยส์เจอร์ไรเซอร์ เป็นต้น

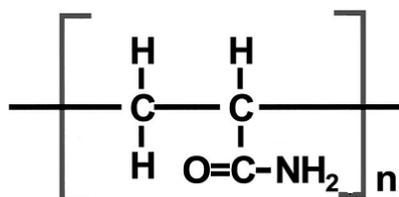
- *การแพทย์* ไคติน-ไคโตซานเป็นสารธรรมชาติที่มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อและเซลล์ของร่างกาย สามารถรับประทานได้ และย่อยสลายได้ตามธรรมชาติโดยไม่เป็นพิษต่อร่างกาย จึงมีงานวิจัยจำนวนมากที่ให้ความสนใจกับการนำสารไคติน-ไคโตซานมาประยุกต์ใช้ทางด้านการแพทย์และเภสัชกรรม เช่น ใช้เป็นวัสดุทดแทนกระดูก ใช้ทางด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ ใช้เป็นวัสดุปิดบาดแผล ใช้ทางด้านระบบนำส่งยา (drug delivery system) และใช้ป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของเลือด (blood anticoagulant) และสารห้ามเลือด (hemostatic)

- *การบำบัดน้ำ* จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าไคโตซานมีประสิทธิภาพในการใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพ (bio-flocculant) ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร พบว่าการนำเอาไคโตซานมาใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพร่วมกับ CMC เพื่อแยกโปรตีนและไขมันออกจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมการผลิตนม นั้นให้ผลดี คือนอกจากจะเป็นระบบการบำบัดด้วยสารจากธรรมชาติแล้ว ยังทำให้น้ำเสียสามารถนำไปบำบัดต่อได้ง่ายขึ้น ลดปริมาณการใช้สารเคมีเพื่อปรับ pH และ sludge ที่ตกตะกอนแยกออกมาก็ยังสามารถนำไปใช้เป็นสารเติมแต่งในอาหารได้ และเมื่อนำไคโตซานไปใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพในบ่อเลี้ยงกุ้ง ยังพบว่า สามารถลดความขุ่น ปริมาณตะกอนแขวนลอย ตลอดจนค่า BOD และ COD ลงได้ สำหรับการศึกษาเพื่อใช้ประโยชน์ไคติน-ไคโตซานในการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้น ได้ศึกษาการใช้ cross-linked chitosan bead ในการดูดซับสีรีแอคทีฟในน้ำสี โดยพบว่าสามารถกำจัดสีได้ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอีกเป็นจำนวนมาก ที่ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้ไคติน-ไคโตซานเป็นตัวจับไอออนโลหะในน้ำทิ้ง เช่น ไอออนของปรอท ทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม เป็นต้น

2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโพลีอะคริลาไมด์

ภาพที่ 2.3

แสดงโครงสร้างทางเคมีของโพลีอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide; PAM)



โพลีเมอร์ละลายน้ำได้ถูกผลิตเพื่อทางการค้าอย่างกว้างขวาง จากความต้องการการใช้งานจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมอาหารและยา เป็นต้น โพลีอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide; PAM) เป็นโพลีเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีความสนใจจากหลายประเภทอุตสาหกรรม เพื่อการนำไปใช้ปรับปรุงสภาพน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ มีโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 2.3 การศึกษาเรื่องพิษวิทยาของโพลีอะคริลาไมด์ ซึ่งมีการศึกษามากกว่า 30 ปี แสดงให้เห็นว่า โพลีอะคริลาไมด์ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์ และถูกสลายทางชีวภาพ (bio-degradable) สาเหตุที่โพลีอะคริลาไมด์เป็นที่นิยมในการใช้บำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม น่าจะมาจากโพลีอะคริลาไมด์สามารถสังเคราะห์ได้หลายประเภท (ชนิดประจุบวก ชนิดประจุลบ และชนิดไม่มีประจุ) นอกจากนี้ยังมีราคาถูก อีกทั้งใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย มักจะพบการใช้โพลีเอไมด์เพื่อบำบัดน้ำที่มีเศษตะกอนขนาดเล็ก และใช้โพลีอะคริลาไมด์ในการรวมตะกอนอนุภาคตะกอนขนาดใหญ่กว่า

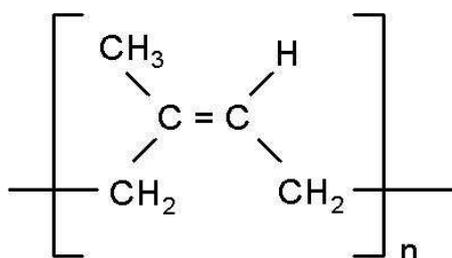
การผลิตสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย หรือกากของเสียในปัจจุบัน ผู้ผลิตมักนำสารโพลีเมอร์ไปผ่านกระบวนการปรับแต่งเพื่อการใช้งานที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และเหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละรูปแบบ โพลีอะคริลาไมด์ประจุบวกสังเคราะห์มักถูกทำให้มีน้ำหนักโมเลกุลมากจึงมีหมู่ฟังก์ชันจำนวนมาก ซึ่งหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้จะมีคุณสมบัติเป็นประจุบวกทั้งในสารละลายกรด และด่าง ซึ่งทำให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำคอลลอยด์ที่ต้องการจับตะกอนนั้น มีอนุภาคที่เป็นประจุลบอยู่เป็นจำนวนมาก

2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับน้ำยาง

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตยางธรรมชาติรายใหญ่ของโลก จากสถิติของกระทรวงพาณิชย์ พบว่ายอดการส่งออกยางพาราของประเทศไทยตั้งแต่ ม.ค. 2552- ธ.ค. 2552 คือ 2.7 ล้านตัน สร้างรายได้ให้กับประเทศเป็นจำนวน 146,263 ล้านบาท โดยน้ำยางชั้นมีปริมาณการส่งออกสูงถึง 1 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 40,638 ล้านบาท (<http://www2.ops3.moc.go.th>) น้ำยางชั้นซึ่งเป็นสินค้าส่งออกสำคัญของประเทศนี้ได้มาจากน้ำยางธรรมชาติหรือน้ำยางพาราสด ซึ่งเป็นส่วนของเหลวคอลลอยด์ที่ได้มาจากต้นยางพารา โดยสายพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยคือ *Heavea Brasilienesi* โครงสร้างโมเลกุลมีลักษณะเป็นซิส-1,4-โพลีไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene) ดังที่แสดงในภาพที่ 2.4

ภาพที่ 2.4

แสดงโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ



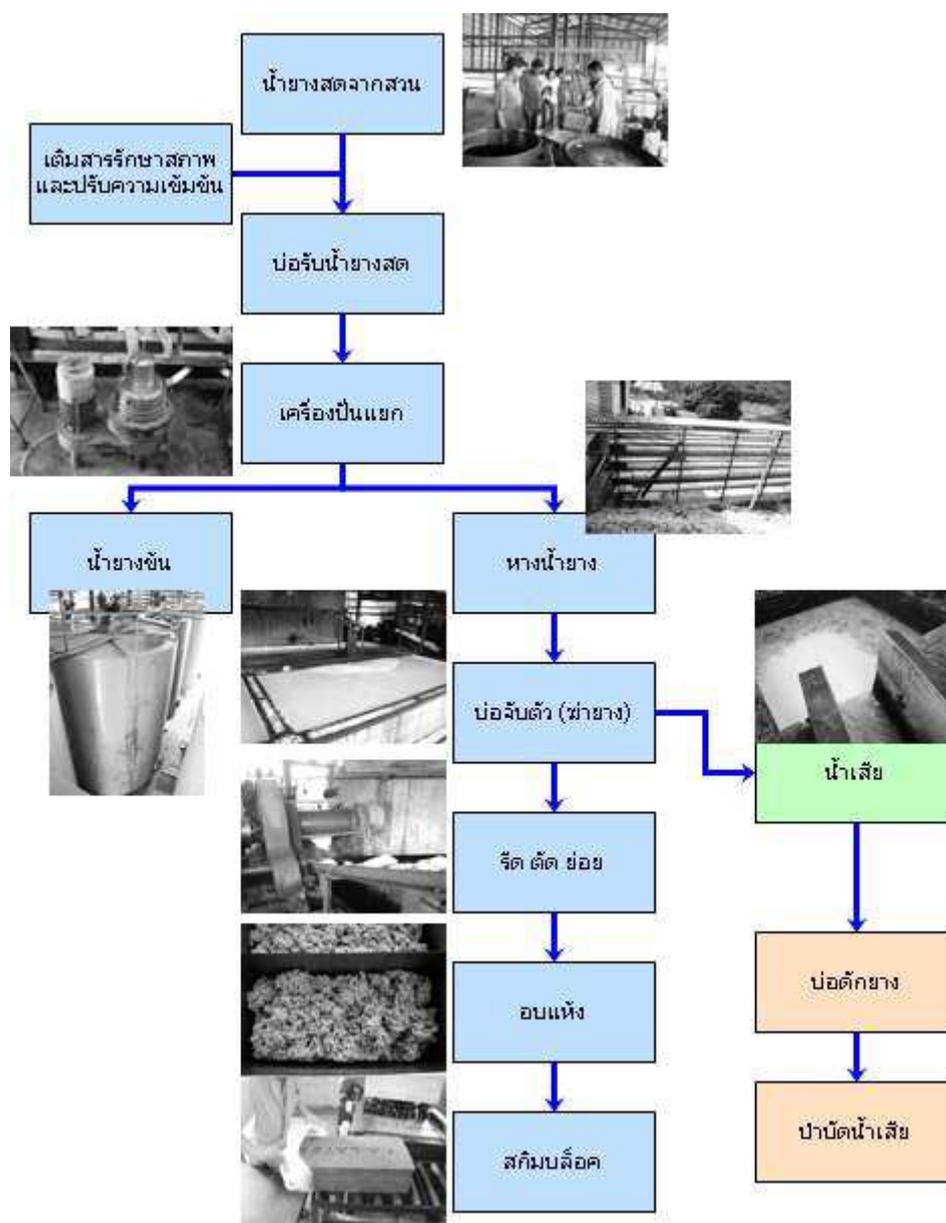
น้ำยางสดที่ได้มากจากต้นยางพาราโดยปกติแล้วมีสีขาวขุ่นคล้ายกับนมวัว องค์ประกอบของน้ำยางสดจะมีส่วนของเนื้อยางประมาณ 20%-45% โดยน้ำหนัก และมีส่วนที่ไม่ใช่ยาง (เช่น โปรตีน ไขมัน) 5% โดยน้ำหนัก แขนงลอยอยู่ในส่วนของเหลว จากคุณสมบัตินี้เอง ทำให้การขนย้ายน้ำยางสดที่มีเนื้อยางปริมาณน้อยไปสู่โรงงานผลิตผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ทำให้สิ้นเปลืองค่าขนส่งเป็นอย่างมาก ดังนั้นในเชิงพาณิชย์จึงนิยมนำน้ำยางสดมาเพิ่มความเข้มข้นของเนื้อยางให้เท่ากับ 60% โดยน้ำหนัก เรียกว่า “น้ำยางข้น” (วรภรณ์ ขวไร่ชยกุล, 2549) โดยจะมีการเติมสารแอมโมเนียเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของน้ำยางโดยจุลินทรีย์ และทำให้น้ำยางมีความเสถียรมากขึ้น (Paiphansiri และ Tangboriboorat, 2005) วิธีการผลิตน้ำยางข้นโดยทั่วไปมี 4 วิธี ได้แก่ การระเหยน้ำ (Evaporation), การทำให้เกิดครีม (Creaming), การแยกด้วยไฟฟ้า (Electrodecantation) และการปั่น (Centrifuging) ซึ่งวิธีการระเหยน้ำจะแยกเอาส่วนที่เป็นน้ำ

ออกเพียงอย่างเดียว ดังนั้นปริมาณสารที่ไม่ใช่เนื้อมันจะยังคงอยู่ในน้ำยางข้น และการกระจายของอนุภาคยางยังคงเหมือนเดิม ส่วนวิธีการทำให้เกิดครีม การแยกด้วยไฟฟ้า และการปั่น จะแยกเอาบางส่วนของสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่เนื้อมันออกจากอนุภาคของยางที่กระจายอยู่ในน้ำยางข้น จะต่างไปจากน้ำยางสดธรรมชาติเพราะมีอนุภาคของยางขนาดเล็กได้ถูกแยกออกระหว่างกรรมวิธีการปั่น วิธีการปั่นเป็นวิธีที่นิยมและทำเป็นเชิงพาณิชย์มากที่สุดเพราะว่าวิธีการอื่นนั้นยุ่งยากกว่าและสิ้นเปลืองเวลามากกว่า การปั่นจะเพิ่มความแรงของการเคลื่อนที่ของอนุภาคยาง มีผลให้แยกส่วนที่เป็นเนื้อมันเข้มข้นลอยอยู่ส่วนบน และจะถูกแยกออกได้เป็น “น้ำยางข้น” แต่อย่างไรก็ตาม การปั่นไม่สามารถแยกอนุภาคยางให้ลอยขึ้นไปรวมกันได้ทั้งหมด ยังคงเหลืออนุภาคยางประมาณ 10% ตกตะกอนอยู่ด้านล่างซึ่งจะประกอบด้วยอนุภาคยางที่มีขนาดเล็กกว่า ส่วนนี้ถูกแยกออกและเรียกว่า “หางน้ำยาง” หรือชาวบ้านทั่วไปมักเรียกว่า “น้ำยางสกิม” โดยมีองค์ประกอบเป็นเนื้อมันอยู่เพียงประมาณ 3-8 % โดยน้ำหนัก และมีส่วนที่ไม่ใช่ยาง เช่น น้ำ โปรตีน น้ำตาล และสารอินทรีย์อื่นๆ ในสัดส่วนที่สูงมาก จากการที่หางน้ำยางมีขนาดอนุภาคเนื้อมันเล็กและแขวนลอยอยู่ในน้ำปริมาณมากนี้เอง ทำให้การจับเอาเนื้อมันจากหางน้ำยางออกมาใช้ประโยชน์ทำได้ยาก และกรรมวิธีที่จะทำให้หางน้ำยางมีความเข้มข้นมากขึ้นก็ทำได้ยากด้วย (Ripple และคณะ, 2003) โดยทั่วไปโรงงานอุตสาหกรรมผู้ผลิตน้ำยางข้น จะใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นในการจับตัวเนื้อมันออกจากหางน้ำยางเพราะเป็นวิธีที่ง่าย แต่จะมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อใช้กับหางน้ำยางที่ถูกเก็บไว้นาน และหางน้ำยางที่มีปริมาณแอมโมเนียสูง ดังนั้นก่อนการจับก้อนยางสกิมมักจะต้องทำให้มีปริมาณแอมโมเนียในหางน้ำยางต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อลดเวลาในการจับตัวและลดปริมาณกรดที่จะใช้ โดยวิธีทั่วไปที่ใช้ลดปริมาณแอมโมเนีย คือ การกวนหางน้ำยางในถังเก็บพร้อมใช้ลมเป่า การออกแบบรางยาวเพื่อให้หางน้ำยางไหลไปรวบรวมในที่ไกลออกไป และการสูบน้ำยางขึ้นไปบนหอสูงแล้วปล่อยให้ไหลลงมา เนื้อมันสกิมที่ได้จากการรวมตะกอนด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นมักมีสีคล้ำ และมีคุณภาพต่ำ คือ มีกลิ่นค่อนข้างแรง เกิดการเน่าเสียได้ง่าย คุณสมบัติความทนทานต่อการเสื่อมสลายต่ำ (อดิศัย รุ่งวิชานวิวัฒน์, 2542) นอกจากนี้น้ำทิ้งที่เหลือ (น้ำเซรั่ม) มีการปนเปื้อนของซัลเฟตในปริมาณมาก มีค่าความเป็นกรดสูง จำเป็นต้องผ่านการบำบัดก่อนการปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม เป็นภาระค่าใช้จ่ายของโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องบำบัดน้ำทิ้งนี้ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเป็นก๊าซพิษ ส่งกลิ่นเหม็น เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ถึงแม้ว่าปริมาณของยางสกิมที่ผลิตได้เมื่อเทียบกับปริมาณการผลิตยางธรรมชาติในรูปแบบอื่นๆ ถือว่าค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 1.5% ของปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของประเทศไทย) และยางสกิมมีสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ด้อยกว่ายางธรรมชาติรูปแบบอื่น แต่ไม่อาจจะ

หลีกเลี่ยงการผลิตยางสกิมได้ เนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการจัดการทางน้ำยางหรือน้ำทิ้งจากโรงงานยาง ดังนั้นกระบวนการผลิตยางสกิมจึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและผู้ปฏิบัติงานในโรงงานน้ำยางขึ้นเป็นอย่างมาก

ภาพที่ 2.5

แผนผังสรุปขั้นตอนการผลิตของโรงงานน้ำยางขึ้น



จากความอนุเคราะห์ของบริษัท ยางวีเอ จำกัด ซึ่งเป็นโรงงานน้ำยางชั้นในเขตจังหวัดตรัง ทำให้ผู้วิจัยได้เรียนรู้และทำความเข้าใจถึงขั้นตอนการผลิตน้ำยางชั้น และการทำยางสกิมบลิคในระดับโรงงานอุตสาหกรรม (ดังภาพที่ 2.5) ดังต่อไปนี้

2.3.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำยางชั้น

น้ำยางสดจากสวนของเกษตรกรจะถูกนำมาขายให้กับโรงงานน้ำยางชั้น โดยโรงงานน้ำยางชั้นจะมีการตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำยางสดเบื้องต้น เพื่อปรับความเข้มข้นของน้ำยางที่ได้รับมาให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่โรงงานต้องใช้ ก่อนจะนำเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำยางชั้นต่อไป และจะมีการเติมสารเพื่อรักษาสภาพของน้ำยางสดระหว่างการเก็บไว้ในบ่อรับน้ำยางสดด้วย สำหรับคุณภาพของน้ำยางสดที่ต้องตรวจสอบ ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง (TSC), ปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC), จำนวนกรดไขมันระเหยได้ (VFA) ต้องน้อยกว่า 0.06, ปริมาณแอมโมเนีย (NH_3), ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) ต้องอยู่ระหว่าง 40 ถึง 55 ppm หากเกินจะทำการปรับให้ Mg ลดลง โดยใช้สารละลาย Diammonium hydrogen phosphate (DAP) 15% นอกจากนี้มีการเติมแอมโมเนียเพิ่มเข้าไปให้มีปริมาณประมาณ 0.6-0.65% ซึ่งการเติมแอมโมเนียในน้ำยางสดขึ้นอยู่กับฤดูกาลด้วย คือ ฤดูฝนจะต้องเติมแอมโมเนียในปริมาณมากขึ้น จากนั้นน้ำยางสดจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำยางชั้น โดยในประเทศไทยโรงงานน้ำยางชั้นส่วนใหญ่ใช้การปั่นแยก (Centrifuging) เพื่อแยกเอาส่วนของเนื้อยางเข้มข้นที่ลอยอยู่ส่วนบน ออกไปสู่ถังเก็บน้ำยางชั้น และจะได้น้ำยางที่มีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งตกอยู่ส่วนล่าง คือหางน้ำยาง หางน้ำยางจะถูกส่งไปเข้าสู่โรงผลิตสกิมต่อไป สำหรับน้ำยางชั้นจะมีการตรวจสอบคุณภาพของน้ำยางชั้นอยู่อย่างสม่ำเสมอระหว่างที่อยู่ในถังเก็บน้ำยางชั้น การปรับคุณภาพของน้ำยางชั้นจะขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า

2.3.2 ขั้นตอนการทำสกิมบลิค

หางน้ำยางที่ออกจากเครื่องปั่นแยกแล้ว จะถูกส่งไปตามรางยาว หรือหอทรงสูงเพื่อทำการระเหยไล่แอมโมเนีย ซึ่งโรงงานยางวีเอ ระเหยไล่แอมโมเนียโดยการปล่อยให้ไหลบนรางยาวมากกว่า 400 เมตร เมื่อหางน้ำยางจะไหลเข้าสู่โรงงานสกิม โดยเข้ามารวมกันที่บ่อพักหางน้ำยาง เมื่อจะทำการรวมตะกอน จะถ่ายหางน้ำยางลงสู่บ่อจับยาง หรือที่ชาวบ้านมักเรียกว่าบ่อฆ่ายาง ซึ่งในระหว่างที่อยู่ในบ่อพักและบ่อจับยางจะมีการกวนหางน้ำยางด้วยใบพัดเพื่อช่วยในการระเหยแอมโมเนียอีกทางหนึ่งด้วย ในการรวมตะกอนยางสกิม โรงงานใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นเติมลงไปแล้วปั่นกวนจนสังเกตเห็นว่ายางเสียสภาพแล้ว จึงทิ้งไว้ในบ่อ 1-2 วัน เพื่อให้ยางลอยอัดรวมตัวกันเอง โดยทั่วไปหางน้ำยางควรเหลือแอมโมเนียประมาณ 0.2% เพื่อลดปริมาณกรดที่ใช้เติม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2544) เมื่อยางจับก้อนกันดีแล้วจะนำยางชั้นมาล้างน้ำ แล้วส่งเข้าสู่เครื่องตัด

เครื่องรีด และเครื่องย่อยเพื่อทำให้ชิ้นยางขนาดเล็ก บาง และง่ายต่อการอบแห้ง โดยระหว่างผ่านกระบวนการตัด-รีด-ย่อยจะมีการฉีดพ่นน้ำเพื่อล้างชิ้นยางด้วย แล้วจึงนำยางเข้าสู่เครื่องอบแห้ง โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 100°C เมื่อยางแห้งแล้ว นำไปอัดบดลิ่มคมีน้ำหนักประมาณ 30 กิโลกรัม และบรรจุใส่ถุงพลาสติกเพื่อเตรียมขายต่อไป

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติน้ำยางและการใช้สารรวมตะกอน

Rippel และคณะ (2003) ได้ศึกษาสมบัติของยางธรรมชาติที่อยู่ในน้ำยางชั้น (cream rubber) และที่อยู่ในหางน้ำยาง (skim rubber) โดยใช้เครื่องมือต่างๆ เช่น Atomic Force Microscopy และ Scanning Electric Potential Microscopy จากการศึกษาพบว่า อนุภาคของยางพาราเป็นองค์ประกอบของโมโนเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำชื่อ cis-1,4-polyisoprene ซึ่งถูกล้อมรอบด้วย protein-phospholipid ที่ชอบน้ำโดยชนิดของ protein และ phospholipid ที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณสมบัติของยาง เช่น ความแข็งแรง และความยืดหยุ่น โดยขนาดของอนุภาคยางในน้ำยางชั้นมีขนาดประมาณ 467 nm ใหญ่กว่าขนาดของอนุภาคยางในหางน้ำยางคือ 297 nm แต่ยางในน้ำยางชั้นและหางน้ำยางมีค่า zeta potential ใกล้เคียงกันคือ -70 และ -64 mV ตามลำดับ ในสถานะที่มีได้มีการเติมแอมโมเนียเข้าไปซึ่งแสดงว่าผิวของอนุภาคยางมีความเป็นประจุลบ อันเกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนของฟอสโฟไลปิดและโปรตีน ในสถานะปกติอนุภาคของยางในน้ำยางจะผลักกันเนื่องจากแรงจากประจุลบอันเป็นแรงไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force) ทำให้เกิดสารแขวนลอยที่เสถียร (stabilized colloidal suspension) บนผิวของอนุภาคจะเกิดขึ้นของประจุชั้นสองชั้นซ้อนกันเรียกว่า double layer หากชั้นดังกล่าวมีความหนาแน่นสูงส่งผลให้เกิดแรงผลักของประจุมากตามไปด้วย ดังนั้นวิธีใดก็ตามที่ลดความหนาแน่นของชั้นของประจุดังกล่าวได้จะสามารถลดแรงไฟฟ้าสถิตย์นี้ได้ จึงทำให้โมเลกุลของยางสามารถเกาะกันหรือรวมตัวกัน (coagulation) เนื่องจากแรงวานเดอร์วาลส์ได้ จึงเกิดเป็นสถานะที่ไม่เสถียรขึ้น ในงานวิจัยนี้สนใจนำยางจากในหางน้ำยางซึ่งมีอาจมีจำนวนมากถึง 10% กลับมาใช้ประโยชน์โดยกระบวนการรวมตัวดังกล่าว ในงานวิจัยของ Rippel และคณะ (2003) ยังรายงานด้วยว่า การนำยางในหางน้ำยางมาใช้กำลังเป็นที่สนใจเนื่องจากมีโปรตีนต่ำ จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ทำอุปกรณ์ป้องกันพวกถุงมือ หน้ากาก หรือ อุปกรณ์การแพทย์ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับทารก เนื่องจากทำให้เกิดการแพ้ น้อยกว่ายางจากน้ำยางชั้นที่มีโปรตีนจำนวนมาก และยังพบด้วยว่า ยางในหางน้ำยางมีแนวโน้มที่จะนำไปผสมกับโพลีเมอร์ชนิดอื่นได้ดีกว่าเพราะมีขนาดเล็ก และมีผิวสัมผัสของอนุภาคที่ดีกว่ายางในน้ำยางชั้น ดังเช่น

ในงานวิจัยของ Paiphansiri และ Tangboriboonrat (2005) ซึ่งสนใจศึกษาการใช้ยางจากในหาน้ำยางมาใช้ร่วมกับโพลีคลอโรพรีน เป็นต้น

การรวมตัวของอนุภาคในสารแขวนลอยนั้น เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการบำบัดน้ำปนเปื้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำที่มีส่วนผสมของของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ จึงช่วยลดความขุ่นของน้ำเสียได้ หลักการของการรวมตะกอนอาจเกิดจากการสะเทินประจุ (neutralization) และการเชื่อมโยงเป็นสายยาว (bridging) สำหรับการใส่โพลิเมอร์บำบัดน้ำนั้น จะขึ้นกับองค์ประกอบหลายประการได้แก่ ชนิดและจำนวนประจุของโพลิเมอร์ ขนาดหรือมวลโมเลกุลของโพลิเมอร์ หากโพลิเมอร์มีขนาดเล็กการรวมตะกอนอาจเกิดจากการสะเทินประจุ โดยโพลิเมอร์จะถูกดูดซับบนผิวของอนุภาคที่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้เกิดการลดประจุบนอนุภาคส่งผลให้แรงผลักดันลงและเกาะกลุ่มกันขึ้น สำหรับโพลิเมอร์ที่มีขนาดใหญ่ สายยาว สายนั้นอาจยาวมากจนถูกดูดซับบนผิวของอนุภาคมากกว่าหนึ่งอนุภาคทำให้เกิดการเชื่อมโยงของอนุภาคขึ้น เกิดการเกาะกลุ่มได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามพบว่า กลไกทั้งสองมักจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กันในการเกาะกลุ่มของอนุภาค การเกาะกลุ่มอาจเริ่มจากอนุภาคที่มีชั้น double layer บางลงเนื่องจากประจุที่ลดลงไปแล้ว เรียกว่า coagulation จะได้กลุ่มอนุภาคที่เกาะกันแน่นซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคมีแรงดึงดูดในช่วงบริเวณใกล้กับผิวของอนุภาค (พลังงานศักย์เป็นลบ) และเมื่อแต่ละกลุ่มอนุภาคเกาะเกี่ยวกันด้วยสายโพลิเมอร์จะเกิดโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นและเกาะกลุ่มกันหลวมๆ เรียกว่า flocculation ซึ่งมักเกิดกับอนุภาคที่มีแรงดึงดูดในสองบริเวณคือบริเวณใกล้กับผิวของอนุภาคและบริเวณถัดออกไปอีก กระบวนการทั้งสองมักจะเกิดร่วมกัน จึงมักเรียกรวมกันไปเป็น coagulation และ flocculation ของการเกิดตะกอน

สำหรับการรวมอนุภาคยางในหาน้ำยาง การเติมกรดเป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้เกิดการจับตัวของอนุภาคยางได้ แต่การจับตัวของอนุภาคยางในหาน้ำยางซึ่งมีความเข้มข้นน้อยๆ นั้น จำเป็นต้องใช้กรดจำนวนมากดังนั้นจึงทำให้เกิดน้ำเสียที่มีความเป็นกรดสูง จึงจำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายที่ต้องบำบัดต่อไป การใช้โพลิเมอร์จับตัวกับโมเลกุลของยางจึงเป็นเรื่องน่าสนใจศึกษา และเนื่องจากผิวของอนุภาคยางแสดงความเป็นประจุลบ การเติมโพลิเมอร์ที่มีประจุบวกลงไปจึงเป็นไปตามกลไกการสะเทินประจุ และอาจมีการเชื่อมโยงร่วมด้วยในระหว่างการรวมตะกอน โพลิเมอร์ที่เราสนใจในงานวิจัยนี้คือ โพลีอะคริลาไมด์และไคโตซาน ซึ่งพบว่ามีการใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำมากมาย อาทิเช่น การใช้โพลีอะคริลาไมด์โมเลกุลใหญ่และมีประจุจำนวนมาก ร่วมกับแร่ดินเหนียวหรือโลหะออกไซด์ในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ (Bolto et al., 2001) การใช้โพลิอะคริลาไมด์บำบัดน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษและโรงงานกระดาษ ร่วมกับการใช้อะลัม

(alum) และโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (polyaluminum chloride, PACl) เพื่อลดการใช้สารสองตัวหลัง เพราะพบว่าสารประกอบที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ หากร่างกายมนุษย์ได้รับมากเกินไปจะทำให้ป่วยเป็นโรคความจำเสื่อมได้ (Ahmad และคณะ, 2008) และมีการดัดแปรโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ด้วยการกราฟท์ด้วยโพลีอะคริลาไมด์ เพื่อใช้เป็นสารรวมตะกอนที่มีประจุบวกในการรวมตะกอนจากน้ำเสียโรงงานยาสูบ (Wan และคณะ, 2007) เป็นต้น จากการทำวารสารปริทัศน์ (ตรวจสอบในฐานข้อมูลของ SCOPUS) ไม่พบการรายงานการจับยางในทางน้ำยางด้วยโพลีอะคริลาไมด์ แต่มีการใช้โพลีอะคริลาไมด์ในการบำบัดน้ำจากโรงงานผลิตยางพารา โดยมีได้ระบุว่า มีประจุหรือไม่ (Tekasakul and Tekasakul, 2006) จึงได้ขอความอนุเคราะห์โพลีเมอร์บำบัดน้ำเสียจากบริษัท Water Doctor จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตโพลีเมอร์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำในอุตสาหกรรม จากข้อมูลที่บริษัทให้มาและจากการทดสอบคุณสมบัติของสารด้วย FT-IR Spectra พบว่าโพลีเมอร์ประจุบวกนี้มีคุณสมบัติคล้ายโพลีอะคริลาไมด์ แต่มีการดัดแปรโครงสร้างให้มีประจุบวก

โพลีเมอร์อีกชนิดหนึ่งที่สนใจในงานวิจัยนี้คือ ไคโตซาน ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ประจุบวกชนิดหนึ่ง มีสมบัติที่ดีในการจับตะกอนและยังเป็นผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมอาหารทะเล เพราะไคโตซานเปลี่ยนรูปมาจากไคตินอันได้จากกระดองปู เปลือกกุ้ง แขนปลาหมึก เป็นต้น มีตัวอย่างงานวิจัยที่นำไคโตซานมาละลายในกรดอะซิติกแล้วนำไปจับแร่เบนโทไนต์ (bentonite), คาโอลิไนท์ (kaolinite) และดินเหนียวในน้ำ (Pan และคณะ, 1999) พบว่าสามารถบำบัดน้ำได้มีประสิทธิภาพ จึงเป็นสารที่สามารถนำมาใช้แทนสารประกอบอลูมิเนียมได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ ยังมีการทดสอบประสิทธิภาพของไคโตซานที่มีขนาดโมเลกุลและ %deacetylation ต่างๆ กัน ในการจับตะกอนเบนโทไนต์ (Roussy และคณะ, 2005) เป็นต้น เท่าที่ทราบยังมีได้มีการศึกษาอย่างจริงจังในการนำไคโตซานมาจับก้อนยางน้ำยาง แต่เคยได้ทราบมาว่ามีการนำไคโตซานไปจับก้อนยางที่ปะปนอยู่ในน้ำล้างเครื่องของโรงงานผลิตน้ำยาง

ด้วยความสนใจดังกล่าวจึงได้ทำงานวิจัยร่วมกับ MTEC ในการศึกษาเบื้องต้น โดยได้ทดสอบการรวมอนุภาคยางในทางน้ำยางโดยใช้โพลีเมอร์ประจุบวก ได้แก่ ไคโตซานมวลโมเลกุลเล็กที่ละลายน้ำได้ ไคโตซานมวลโมเลกุลใหญ่ที่ละลายในกรดอะซิติกอันเป็นกรดอินทรีย์ และเป็นกรดอ่อนจึงเกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่ากรดซัลฟิวริก และโพลีเมอร์อะคริลาไมด์ดัดแปรให้มีประจุบวกละลายในน้ำ (โพลีเมอร์บำบัดน้ำเชิงพาณิชย์) พบว่า การปรับค่า pH ของทางน้ำยางให้เป็นกลางส่งผลให้ประสิทธิภาพการจับเนื้อยางดีขึ้น เนื่องจากการปรับค่า pH ด้วยกรดไฮโดรคลอริกทำให้เกิดการลดความหนาของชั้น double layer ลงไปบางส่วน และเมื่อใช้ไคโตซานที่ละลายในอะซิติก 2% wt/wt เป็นสารรวมตะกอน ให้ผลการจับก้อนยางจากทางน้ำยางที่เป็น

กลางดีกว่าโคโตซานละลายน้ำ และโพลีเมอร์อะคริลาไมด์ที่ใช้ในที่นี้ทุกตัว รวมถึงกรดอะซิติก 2%wt/wt เพียงอย่างเดียวด้วย นั่นคือ ใช้โคโตซานที่ละลายในอะซิติก 2%wt/wt เพียง 0.43 phr เมื่อ phr คือ ส่วนใน 100 ส่วนของยาง ซึ่งน่าจะเป็นเพราะคุณสมบัติความเป็นประจุบวกที่มากกว่า และสายโพลีเมอร์ที่ยาวกว่าของโคโตซานที่ละลายในกรดอะซิติกทำให้เกิดการรวมเนื้อยางได้ดีกว่าโคโตซานขนาดเล็ก

อย่างไรก็ดี การจับอนุภาคยางสกิมด้วยโคโตซานที่ละลายในกรดอะซิติกจะได้น้ำเซรัมที่มีความเป็นกรดมากกว่าสารจับตะกอนชนิดอื่น และเมื่อทดสอบด้วยหางน้ำยางที่เป็นกลางเพื่อเปรียบเทียบระหว่างการเติมสารละลายโคโตซานความเข้มข้นเท่ากันที่ปริมาตรต่างๆ กัน กับการเติมสารละลายโคโตซานที่มีความเข้มข้นต่างกันที่ปริมาตรเท่ากัน พบว่าวิธีหลังให้ผลที่ดีกว่า น่าจะเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในทิศทางที่เพิ่มขึ้นเป็นการลดการเกิดประจุบวกของโครงสร้างโคโตซาน

นอกจากนี้ได้มีการทดสอบปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการจับอนุภาคยาง (โดยการทดสอบใช้หางน้ำยางที่เป็นกลางกับสารละลายโคโตซานละลายในกรดอะซิติก) ได้แก่ ความเร็วรอบของใบพัดกวน เวลาของการกวน และเทคนิคในการเติมสารละลาย พบว่า เมื่อใช้ความเร็วรอบที่ทดสอบ คือ 100, 200, 400 และ 800 rpm และเวลาที่ใช้ในการกวนเร็วคือ 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที ไม่ส่งผลที่แตกต่างต่อการจับเนื้อยางสกิมอย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อใช้ความเร็วมากเกินไปจะทำให้เนื้อยางที่จับก้อนแล้วแตกออกจากกัน สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการสเปรย์เทียบกับเทคนิคการเทในครั้งเดียว ในการรวมตะกอนหางน้ำยางที่เป็นกลาง โดยใช้สารละลายโคโตซานละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 2% wt/wt พบว่า ผลของการรวมตะกอนด้วยวิธีการสเปรย์ต่ำกว่าวิธีเทในครั้งเดียวเล็กน้อย น่าจะเนื่องมาจากการสเปรย์ให้เป็นหยดเล็กๆ จะไปเกาะติดที่ผิวของหางน้ำยาง และเกิดการรวมตะกอนที่ผิวเพียงเท่านั้น นอกจากนี้ยังทดสอบเทคนิคการเทแบบแบ่งเติม พบว่า ผลของการรวมตะกอนด้วยเทคนิคเติมครั้งเดียวหรือแบ่งเติมไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อพิจารณาจากของแข็งที่จับก้อนออกมาได้ แต่การแบ่งเติมสารทำให้สีของน้ำเซรัมหลังการรวมตะกอนเหลืองใสมากขึ้น