1. บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ตลอดระยะเวลา 5 ปี ที่ผ่านมาประเทศไทยส่งออกกุ้งในรูปของผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ เป็นอันดับหนึ่งของโลกด้วยปริมาณมากกว่า 30,000 เมตริกตัน/ปี ดังนั้นจึงมีเปลือกกุ้งเหลือจากกระบวนการผลิตมากมาย แม้ว่าเศษเหลือดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์แต่ก็นับว่ามีมูลค่าต่ำ ดังนั้นการแปรรูปเปลือกกุ้งไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้มากกว่านี้ก็จะเป็นแนวทางสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเศษเหลือจากกระบวนการผลิตได้อีกทางหนึ่ง

เปลือกกุ้งมีส่วนประกอบสำคัญ 3 ชนิดคือ ไคติน (chitin) โปรตีน และ แคลเซียมคาร์บอเนต ดังนั้นการสกัดไคตินจากเปลือกกุ้งด้วยวิธีทางเคมีจึงดำเนินการโดย 2 กระบวนการ คือ การกำจัดโปรตีน (deproteinization) ด้วยสารละลายด่างและการกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนต (decalcification) ด้วยสารละลายกรด ไคตินเป็นพอลิเมอร์ของ *N*-acetyl-D-glucosamine เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β-(1→4) glycosidic เนื่องจากไคตินมีคุณสมบัติที่ไม่สามารถละลายน้ำและตัวทำละลายทั่วไปเช่น กรด ด่าง เกลือ หรือ ตัวทำละลายอนินทรีย์ ดังนั้นการนำไปประยุกต์ใช้จึงมีขอบเขตจำกัด พอลิเมอร์ดังกล่าวถูกย่อยสลายในธรรมชาติด้วยเอ็นไซม์ไคติเนส (Ilyina *et al.*,1999) และ ไคโตซาเนส (Jeon และ Kim, 2000) ได้

เมื่อนำไคตินมากำจัดหมู่อะซิติล (deacetylation) ออกจากโมเลกุลได้อนุพันธ์ที่เรียกว่า ไคโตแซน (chitosan) ดังนั้นไคโตแซนจึงเป็นพอลิเมอร์ที่มีหมู่อะมิโนอิสระ ($-NH_2$) ที่สามารถรับโปรตอนได้จำนวนมากหรือมีคุณสมบัติเป็น cationic polyelectrolyte ไคโตแซนอาจมีน้ำหนักโมเลกุลแปรเปลี่ยนได้ในช่วงกว้างคือ 800-1500 กิโลดาลตัน

ไคโตแซนสามารถละลายในสารละลายที่มีพีเอชต่ำกว่า 5.5 ได้หลายชนิด (Filar and Wirick, 1978 อ้างโดย สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2533) เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดออกซาลิก กรดมาโลนิก กรดซัคซินิก กรดอะดิพิก กรดแลกติก กรดไพรูวิก กรดมาลิก กรดทาร์ทาริก และกรดซิตริก ในสารละลายของกรดแก่ก็สามารถละลายได้เช่นกันแต่มักเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการสลายพันธะ glycosidic เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก

ไคโตแซนมีคุณบัติทางเคมีและฟิสิกส์เฉพาะตัวหลากหลายขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 3 ประการ คือ ขนาดหรือน้ำหนักของโมเลกุล ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลจากโมเลกุลของไคตินและแหล่งที่มาของไคตินตั้งต้น จากความหลากหลายดังกล่าวจึงมีผู้ศึกษาเพื่อนำไคโตแซนไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ อย่างกว้างขวางเช่น ในทางการแพทย์ใช้เร่งการสมานแผล (wound healing) และ เร่งการแข็งตัวของเลือด (hemostasis) ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ในอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ และในโรงงานอุตสาหกรรมใช้เป็นสารเร่งการตกตะกอนน้ำเสีย (Guerrero *et al.* ,1998; Olsen *et al.*,1996; วิสิฐ จะวะสิต และลูกจันทร์ ภัควัชพันธุ์, 2533 อ้างโดย เถวียน บัวตุ่ม, 2541; Jun *et al.*,1994)

Guerrero *et al.* (1998) ศึกษาการใช้ไคโตแซนเป็นสารก่อตะกอน (coagulant) เพื่อลดปริมาณโปรตีนในน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปเนื้อปลา พบว่าสามารถลดปริมาณสารแขวนลอยได้ 75 % ที่พีเอช 7.2-7.8 เมื่อเปรียบเทียบกับ sodium polyacrylate ที่จะต้องปรับ พีเอชจนถึง 4 จึงสามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ 97 % Olsen *et al.* (1996) รายงานว่าไคโตแซน และ Carboxy Methyl Cellulose (CMC) ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิต yoghurt, sour cream, juice และ butteroil ได้ดีพอ ๆกัน วิสิฐ จะวะสิต และลูกจันทร์ ภัควัชพันธุ์ (2533 อ้างโดย เถวียน บัวตุ่ม, 2541) พบว่าเมื่อใช้ไคโตแซนเพื่อเร่งการตกตะกอนในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม สามารถลดปริมาณสารแขวนลอยได้ 70-80% และแยกโปรตีนออกมาได้ 16-68% นอกจากนั้นประสิทธิภาพในการเร่งการตกตะกอนจะสูงขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับเกลืออนินทรีย์ เช่น อลูมิเนียมซัลเฟต หรือ เฟอริกซัลเฟต Jun *et al.* (1994) รายงานว่าเมื่อใช้ไคโตแซนเพื่อบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเต้าหู้พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 300 มก./ลิตร pH 5.8 สามารถลดความขุ่นได้ถึง 97%

การบำบัดน้ำเสียเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งของโรงงานผลิตน้ำยางข้นซึ่งกระบวนการผลิตโดยทั่วไปดำเนินการโดยนำน้ำยางสดที่เติมก๊าซ ammonia เพื่อป้องกันการแข็งตัวของยางมาปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ด้วยความเร็ว 2,000 ถึง 3,000 g (Blackley, 1966; วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2531) ผลผลิตที่เป็นน้ำยางข้น (concentrated latex) คืออนุภาคยางที่มีขนาดใหญ่ มีความหนาแน่นต่ำกว่าจะแยกออกโดยแรงหนีศูนย์กลาง (centrifugal force) ขึ้นไปชั้นบน ส่วนที่เป็นอนุภาคขนาดเล็กและประกอบไปด้วยน้ำเป็น

ส่วนใหญ่จะอยู่ชั้นล่างที่เรียกว่าหางน้ำยางหรือน้ำยางสกิม (skim latex) ซึ่งอาจถือได้ว่าเป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต แต่เนื่องจากหางน้ำยางประกอบด้วยของแข็งทั้งหมด 6.97% เนื้อยาง 3.38% ไนโตรเจน 3.57% โปรตีน 22.3% (พรพรรณ นิธิอุทัย และคณะ, 2534 อ้างโดย ศิวโรฒ บุญราศรี, 2543) ดังนั้นการบำบัดน้ำยางสกิมโดยตรงจึงมีปัญหามาก เนื่องจากมีเนื้อยางซึ่งขัดขวางกระบวนการบำบัดน้ำเสียและยังมีสารอินทรีย์อื่นๆ สูง ในทางปฏิบัติจึงมักทำการแยกส่วนที่เป็นเนื้อยางออกไปก่อนโดยเติมกรดซัลฟิวริกลงไปให้มีความเข้มข้นของกรดในน้ำยางสกิมประมาณ 10% เพื่อให้เนื้อยางจับตัวกันเป็นก้อน ผลพลอยได้นี้เรียกว่ายางสกิมเครพ (skim crepe) ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่ากับโรงงานอีกทางหนึ่ง น้ำที่เหลือจึงปล่อยเข้าสู่กระบวนการบำบัด

อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าน้ำที่เหลือจากการแยกส่วนที่เป็นเนื้อยางโดยเติมกรดซัลฟิวริกลงไปยิ่งทำให้มีระดับซัลเฟตซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นของก๊าซ hydrogen sulfide เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังเป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาสำหรับการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไร้ออกซิเจนที่เรียกว่า Upflow Anerobic Sludge Blanket (UASB) ซึ่งถือว่าเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพ และกำลังได้รับความสนใจมากที่สุดในปัจจุบัน กลไกการทำงานคือน้ำเสียจะถูกปล่อยเข้าสู่ส่วนล่างของถังปฏิกิริยา (reactor) ระบบปิด ซึ่งมีจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีภายใต้สภาพไร้ออกซิเจน น้ำที่ผ่านการย่อยสารอินทรีย์ออกไปแล้วจะลอยขึ้นสู่ด้านบนของถังแยกออกไประบบนี้ใช้พื้นที่น้อย และเหมาะสมสำหรับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในปริมาณมากปนเปื้อนอยู่ (Bitton, 1994) การทำงานของจุลินทรีย์ดังกล่าวจะถูกยับยั้งเมื่ออยู่ในระบบที่มีปริมาณซัลเฟตสูงถึง 2,000 มก./ลิตร (Choi and Rim, 1990)

ศิวโรฒ บุญราศรี (2543) รายงานว่าน้ำยางสกิมที่เก็บตั้งทิ้งไว้นานเกินกว่า 5 วัน จะไม่จับตัวหลังการเติมกรดซัลฟิวริก 10% ปัญหาดังกล่าวนี้อาจแก้ไขได้โดยกำจัดโปรตีนออกจากน้ำยางสกิมโดยการปั่นเหวี่ยงหรือการใช้เอนไซม์แต่เป็นวิธีที่ยุ่งยากและต้นทุนสูง นอกจากนั้นพบว่าการเติมสารละลายโซเดียมพอลิอะคริเลทซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุบวกและมีน้ำหนักโมเลกุลเกิน 10,000 ลงไปที่ระดับความเข้มข้น 0.2% ก็สามารถทำให้เนื้อยางจับตัวเป็นก้อนด้วยกรดซัลฟิวริกได้ อย่างไรก็ตามโซเดียมพอลิอะคริเลทเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่นำเข้าจากต่างประเทศและเป็นที่ทราบกันดีว่าถูกย่อยสลายในธรรมชาติได้ยากเช่นเดียวกับพลาสติกทั่วไป นอกจากนั้นยังไม่มีข้อมูลชัดเจนถึงระดับความ

ปลอดภัยเมื่อกระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นหากใช้สารอื่นที่ย่อยสลายได้ง่ายในธรรมชาติเพื่อแยกอนุภาคยางจากน้ำยางสกิมแทนกรดซัลฟิวริกได้ก็จะเป็นการลดปัญหาที่เกิดกับระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการ UASB และสิ่งแวดล้อมได้

เนื่องจากไคโตแซนเป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติเป็น cationic polyelectrolyte จึงน่าจะจับกับประจุลบของอนุภาคยางทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนของเนื้อยางได้ นอกจากนั้นไคโตแซนยังสามารถผลิตจากวัตถุดิบราคาถูกในประเทศและถูกย่อยสลายได้ง่ายในธรรมชาติ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงมุ่งเน้นที่จะประเมินศักยภาพในการนำไคโตแซนมาใช้แยกยางสกิมเครพจากหางน้ำยางเปรียบเทียบกับการใช้กรดซัลฟิวริก โดยศึกษาระดับความเข้มข้นไคโตแซนที่เหมาะสมที่ทำให้การจับตัวของอนุภาคยางเป็นก้อน ส่วนประกอบและสมบัติของน้ำที่เหลือหลังการจับตัวของอนุภาคยาง พร้อมทั้งเปรียบเทียบคุณสมบัติทางฟิสิกส์บางประการของยางสกิมเครพที่ได้

การตรวจเอกสาร

1. ไคตินและไคโตแซน

1.1 แหล่งของไคตินในธรรมชาติ

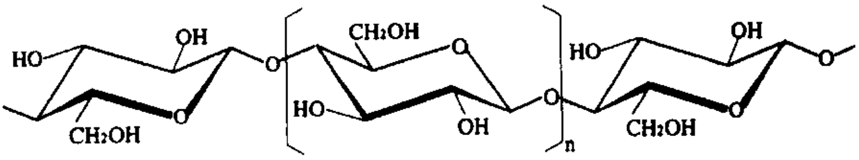
Muzzarelli (1977) กล่าวว่า Henri Braconnot เป็นบุคคลแรกที่ได้รายงานการค้นพบไคตินในปี ค.ศ.1811 โดยการสกัดจากเชื้อราและเห็ดต่างๆ จึงให้ชื่อว่า fungine ต่อมามีผู้รายงานการค้นพบไคตินจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ จากหนอนไหม (silkworm) (Lassaigne, 1843) แมลง (Odier, 1823) แบคทีเรีย (Zobell, 1937) แสดงให้เห็นว่าไคตินพบกระจายอยู่ทั่วไปทั้งพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ เป็นสารซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้ความแข็งแกร่งกับเนื้อเยื่อหรือเซลล์เช่นเดียวกับ เซลลูโลสในพืช คอลลาเจน คอนดรอยตินซัลเฟต และเคราตินในสัตว์ โดยจะเป็นส่วนประกอบสำคัญในเปลือกนอก (exoskeleton) ของสัตว์กลุ่ม Artropod เช่น หนอนไหม แมลง กุ้ง กั้ง เคย ปู และยังพบได้ที่เนื้อเยื่อบุผิวของระบบทางเดินอาหาร กระดองของสัตว์พวก mollusks เช่น ปลาหมึก และเปลือกหอย ในพืชพบได้ที่ผนังเซลล์เช่นเดียวกับราและแบคทีเรีย ไคตินเป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพที่มากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส โมเลกุลของไคตินมักจะเชื่อมต่ออยู่ด้วยกับโปรตีน โดยจะทำหน้าที่เช่นเดียวกับผนังเซลล์ของพืช แทนที่เซลลูโลส หรือบางครั้งอาจจะทำหน้าที่อยู่ร่วมกับเซลลูโลสในโครงสร้างของสัตว์ (Rudall, 1969 อ้างโดย Knorr, 1984; Muzzarelli, 1977)

1.2 โครงสร้างทางเคมี กายภาพของไคตินและไคโตแซน

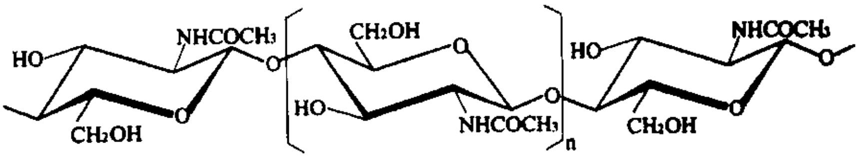
Shahidi *et al.* (1999) กล่าวว่า โครงสร้างทางเคมีของไคตินจะคล้ายกับเซลลูโลสโดยจะมี monomer ที่สำคัญคือ 2-acetamido-2-deoxy-β-D-glucose ต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิดเบต้า 1, 4 (β - (1→4) glycosidic bond) เช่นเดียวกับเซลลูโลส ดังรูปที่ 1 มีโครงสร้างทางเคมีต่างกันที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 โดยไคตินจะเชื่อมต่อกับหมู่อะซีตาไมด์ (acetamide group) ในขณะที่เซลลูโลสเชื่อมต่อกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) จากลักษณะการเรียงตัวของหน่วยย่อยเช่นนี้ทำให้ปลายข้างหนึ่งของพอลิเมอร์เป็นคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ในขณะที่ปลายอีกข้างหนึ่งเป็นคาร์บอนตำแหน่งที่ 1

โครงสร้างทางกายภาพของไคติน Muzzarelli (1977) รายงานว่า ไคตินเป็นของแข็งสีขาวมีรูปร่างไม่แน่นอน ผลึกมีลักษณะเป็นสะเก็ด (flaky) และเป็นมัด (fibrous)

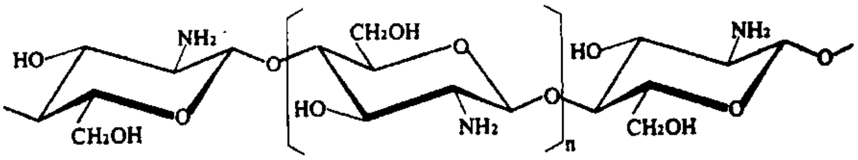
Meyers และ Chen (1985 อ้างโดย Shahidi *et al*, 1999) รายงานว่าในการสกัดไคตินจะต้องมีการสกัดเม็ดสี (pigment) โปรตีน และแคโรทีโนโปรตีน (carotenoproteins) หากสกัดจากเปลือกกุ้งและปู เนื่องจากไคตินจะเชื่อมกับโมเลกุลอื่นด้วย เช่น โปรตีน พอลิฟีนอล เมลานิน คาโรทีนอยด์ และแอสตราแซนทีนปนอยู่จะต้องกำจัดออก หากนำไคตินไปทำปฏิกิริยากับด่างเข้มข้น จะทำให้หมู่อะซิติลในโครงสร้างของไคตินถูกกำจัดออกทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า ไคโตแซน จึงถือได้ว่าไคโตแซนเป็นอนุพันธ์ชนิดหนึ่งของไคติน (Muzzarelli , 1977) ดังรูปที่ 1



cellulose



chitin



chitosan

รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของ เซลลูโลส ไคติน และไคโตแซน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Brine (1984)

1.3 การเตรียมไคตินและไคโตแซน

1.3.1 การเตรียมไคติน

ไคตินในธรรมชาติอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนโดยมีโปรตีนและแร่ธาตุเป็นส่วนประกอบสำคัญ ดังนั้นการสกัดด้วยวิธีทางเคมี จึงต้องผ่าน 2 ขั้นตอนสำคัญ คือ การกำจัดแร่ธาตุ (demineralization) ด้วยใช้สารละลายกรดและการกำจัดโปรตีน (deproteinization) ด้วยใช้สารละลายด่าง และเนื่องจากพันธะไกลโคซิดิกจะถูกทำลายได้ทั้งในสภาพกรดและด่าง ดังนั้นสภาวะของปฏิกิริยาในกระบวนการสกัดที่แตกต่างกันจึงมีผลทำให้คุณสมบัติและคุณภาพของไคติน ที่สกัดได้แตกต่างกันด้วย (Muzzarelli, 1977 ; Ashford *et al*, 1977)

1.3.1.1 การกำจัดแร่ธาตุ

วัสดุสำคัญที่ใช้ในการเตรียมไคติน ได้แก่ เปลือกของสัตว์พวก crustaceans ซึ่งมีแร่ธาตุเป็นส่วนประกอบประมาณ 30 - 35% องค์ประกอบส่วนใหญ่จะเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต จากงานวิจัยหลายฉบับใช้กรด HCl ความเข้มข้น 1 - 2 M เพื่อกำจัดแร่ธาตุดังกล่าวโดยสามารถทำได้ที่อุณหภูมิห้อง แคลเซียมคาร์บอเนตถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแคลเซียมคลอไรด์ซึ่งละลายน้ำได้ จึงสามารถแยกออกโดยการกรองหรือตกตะกอน ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพของไคตินที่ผลิตได้ คือ ชนิดและความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิและระยะเวลาการทำปฏิกิริยา การกำจัดแร่ธาตุที่ดีควรใช้กรดที่มีความเข้มข้นต่ำ และเวลาที่เหมาะสมพร้อมกับมีการคนอย่างสม่ำเสมอ Johnson และ Penistion (1982) รายงานว่า การกำจัดแร่ธาตุที่ไม่เหมาะสมและการล้างกรดซึ่งใช้ในการกำจัดแร่ธาตุที่ไม่สมบูรณ์อาจมีผลต่อโครงสร้างของไคติน สภาวะของปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการกำจัดแร่ธาตุจากแหล่งวัตถุดิบต่างชนิดกันซึ่งรวบรวมโดย Muzzarelli (1977) รวมทั้งผลงานวิจัยที่มีเพิ่มเติมในระยะต่อมาสรุปได้ดังนี้

Hackman (1954 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) สกัดไคตินจากเปลือกกุ้งมังกร (lobter) อบแห้งโดยใช้สารละลายกรด HCl เข้มข้น 2 M ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 ชั่วโมง พบว่าไคตินที่ได้มีเถ้าเป็นองค์ประกอบน้อยมากจนตรวจวัดไม่ได้

Horowitz *et al.* (1957 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) ใช้เปลือกกุ้งมังกรที่ผ่านการกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตออกแล้วมาสกัดแร่ธาตุโดยใช้สารละลายกรดฟอร์มิก เข้มข้น 90% ที่อุณหภูมิห้อง

Takeda และ Abe (1962 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) และ Takeda และ Katsuura (1964 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) กำจัดแร่ธาตุในกระดองปู (king crab) โดยใช้สารละลาย EDTA pH 10 ที่อุณหภูมิห้อง

Broussigac (1968 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) กำจัดแร่ธาตุในกระดองปูโดยใช้ 1.37 M HCl ปริมาณมากเกินพอ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าได้ผลิตผลประกอบด้วยเถ้า 0.4-0.5%

สุทธวัฒน์ เบญจกุล (2533) กำจัดแร่ธาตุจากเปลือกกุ้งแชบ๊วย (*Penaeus indicus*) ที่ผ่านการกำจัดโปรตีนแล้วด้วย 1.25 M HCl ที่อุณหภูมิห้อง (27 - 30^{0}C) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใช้อัตราส่วนระหว่างสารตัวอย่างและสารละลายกรด 1 : 10 (น้ำหนัก : ปริมาตร) พบว่า ไคตินที่ได้ประกอบด้วยเถ้า 0.18%

มณฑา จำเริญรักษ์ (2544) สกัดไคตินจากเปลือกกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*)อบแห้งด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก 1.0 M (อัตราส่วนของเปลือกกุ้งต่อสารละลายกรดเป็น 15 :190, น้ำหนัก : ปริมาตร) ที่อุณหภูมิห้อง 1.5 ชั่วโมง กรองและล้างหลายๆ ครั้ง ด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการกำจัดอิออน ปรับ pH ให้เป็นกลาง อบที่ 80^{0}C ในตู้อบลมร้อน พบว่าไคตินที่สกัดได้มีปริมาณ 22.18% และปริมาณเถ้า 0.26%

1.3.1.2 **การกำจัดโปรตีน**

การแยกโปรตีนออกจากไคตินซึ่งมักอยู่รวมกันโดยการจับกันอย่างหลวมๆ ด้วยพันธะไฮโดรเจนหรือจับกันด้วยพันธะโควาเลนต์ (Conrad, 1965 อ้างโดย สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2533) ส่วนใหญ่ดำเนินการได้ 2 วิธี คือ สกัดโปรตีนออกด้วยสารละลายด่างและย่อยด้วยเอนไซม์ (Muzzarelli, 1977) จากการรวบรวมของ Muzzarelli (1977) และผลงานวิจัยระยะต่อมาสรุปได้ดังนี้

Hackman (1954 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) ใช้เปลือกกุ้งมังกรที่กำจัดแร่ธาตุแล้วแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 M ที่อุณหภูมิ 100^{0}C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยมีการคนเป็นครั้งคราว กระทำขั้นตอนดังกล่าวซ้ำ 4 ครั้ง

หรือมากกว่า ล้างให้เป็นกลางด้วยน้ำ แล้วล้างไคตินด้วยแอลกอฮอล์และอีเทอร์ 17% ไคตินที่ได้มีไนโตรเจน 6.8% และไม่มีเถ้า

Whistler และ BeMiller (1962 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) กำจัดโปรตีนจากกระดองปู โดยแช่ตัวอย่างบด 500 กรัม ใน 10% NaOH (2.5 M) เป็นเวลา 3 วัน ที่อุณหภูมิห้องโดยเปลี่ยนด่างใหม่ทุกวัน ล้างจนเป็นกลางด้วยน้ำ กำจัดสารสีด้วย 95% เอทานอล ปริมาตร 6 ลิตร ตามด้วยอะซิโตน 1 ลิตร เอทานอล 2.5 ลิตร และขั้นสุดท้ายล้างด้วยอีเทอร์ 0.5 ลิตร จากนั้นนำไปทำให้แห้งภายใต้การลดความดัน นำไคตินแห้งไปแช่ใน 37% HCl ที่อุณหภูมิ –20 ^{o}C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำจนเป็นกลาง ได้ไคติน 20% และมีไนโตรเจน 7.1%

No *et al.* (1989) รายงานว่า วิธีกำจัดโปรตีนจากเปลือกกุ้งก้ามกราม (crawfish) ที่ดีที่สุด คือ ใช้ 3.5% NaOH (0.875 M) ที่อุณหภูมิ 65^{o}C คนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ใช้อัตราส่วนระหว่างสารตัวอย่างและสารละลายด่าง 1 : 10 (น.น. : ปริมาตร)

สุทธวัฒน์ เบญจกุล (2533) นำเปลือกกุ้ง (*Penaeus indicus*) อบแห้งที่ผ่านการบดให้มีขนาด 1.4 - 2.0 มม. มากำจัดโปรตีนด้วย 2.0% NaOH (0.5 M) ที่อุณหภูมิ 100^{o}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้งและสารละลายด่าง 1 : 10 (มวล : ปริมาตร) ได้ไคติน 26.84% ไนโตรเจน 6.80%

Sornprasit (1997) เตรียมไคตินจากกระดองปลาหมึก (*Loligo formosana* และ *Loligo lessoniana*) ซึ่งกำจัดโปรตีนด้วย 1.0 M NaOH ใช้อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อสารละลายด่าง 1 : 13 (มวล : ปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 50^{o}C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ได้ไคติน 36%

มณฑา จำเริญรักษ์ (2544) เตรียมไคตินจากกระดองปลาหมึก (*Loligo formosana*) และจากเปลือกกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ตามวิธีของ Sornprasit (1997) และ Bough *et al.* (1978) พบว่า ไคตินที่สกัดได้มีปริมาณ 37.31 และ 22.18% และมีปริมาณไนโตรเจน 6.49% และ 6.48% ตามลำดับ

Takeda และ Abe (1962 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) และ Takeda และ Katsuura (1964 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) ทำการย่อยโปรตีนจากกระดองปู (king crab) ด้วยเอนไซม์ เช่น proteinase จากปลาทูน่า ที่ pH 8.6

อุณหภูมิ 37.5°C papain ที่ pH 5.5 - 6.0 อุณหภูมิ 37.5°C หรือจากแบคทีเรีย ที่ pH 7.0 อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 ชั่วโมง พบว่าไคตินที่ได้ยังคงมีส่วนประกอบโปรตีน 5% นอกจากนั้นยังมีการนำเอนไซม์อื่นมาใช้ได้อีกโดย Broussignac (1968 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) นำกระดองปูที่ผ่านการกำจัดแร่ธาตุแล้วไปกำจัดโปรตีนโดยใช้เอนไซม์ papain pepsin หรือ trypsin

1.3.2 การเตรียมไคโตแซน

เนื่องจากคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของไคติน ประกอบด้วยกลุ่มอะซิติลเอมีน (-$NHCOCH_3$) ในการเตรียมไคโตแซนจากไคตินจะต้องกำจัดหมู่อะซิติลออกไปกระบวนการนี้เรียกว่า deacetylation ซึ่งเป็นวิธีทางเคมี สามารถทำได้โดยนำไคตินไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย NaOH เข้มข้น (40 - 50%; 10.0-12.5 M) ที่อุณหภูมิสูง จากการวิจัยหลายๆ ฉบับพบว่าการปรับเปลี่ยนคุณลักษณะของไคตินซึ่งเป็นสารตั้งต้น และการใช้สภาวะของปฏิกิริยาต่างกันทำให้คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของไคโตแซนที่ได้มีความหลากหลายเหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ แตกต่างกันไป ซึ่งจากการรวบรวมของ Muzzarelli (1977) และงานวิจัยระยะต่อมาสรุปดังนี้

1) ขนาดของวัตถุดิบ

Muzzarelli (1977) กล่าวว่าอัตราเร็วในการกำจัดหมู่อะซิติลและความหนืดของไคโตแซนที่ผลิตได้จากไคตินที่มีขนาด 180 - 850 ไมโครเมตร หรือ 20 - 80 mesh มีค่าใกล้เคียงกัน Bough *et al.* (1978) เตรียมไคโตแซนจากเปลือกกุ้งบดขนาด 1, 2 และ 6.4 มม. พบว่า ไคโตแซนที่เตรียมจากเปลือกกุ้งบดขนาดเล็กจะมีความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าขนาดใหญ่

2) สภาวะของปฏิกิริยาในการกำจัดแร่ธาตุและโปรตีน

Madhavan และ Ramachandran (1974 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) พบว่า การเตรียมไคโตแซนจากไคตินซึ่งกำจัดแร่ธาตุด้วย HCl ความเข้มข้นสูงกว่า 1.25 M มีผลทำให้ความหนืดของไคโตแซนลดลงซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Muzzarelli (1977) จึงสรุปว่าสภาวะของปฏิกิริยาในขั้นตอนการกำจัดโปรตีนด้วยด่างมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของไคโตแซนน้อยกว่าในขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุโดยใช้กรด

3) ระยะเวลาของปฏิกิริยาในการกำจัดหมู่อะซิติล

Nud'ga *et al.* (1970 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) และ Namazaki และ Kito (1975 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) รายงานว่า ระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติลจากไคตินระหว่าง 1 - 6 ชั่วโมง จะได้ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลที่ไม่แตกต่างกัน แต่ถ้าใช้เวลานานเกิน 6 ชั่วโมง จะมีผลทำให้ได้ไคโตแซนมีความหนืดลดลง 10 เท่า ของค่าสูงสุด Muzzarelli (1977) จึงแนะนำว่าการใช้ 50% NaOH (12.5 M) ที่อุณหภูมิ 118°C เวลา 30 นาที น่าจะเพียงพอสำหรับการเตรียมไคโตแซนที่มีความหนืดสูง ต่อมา Bough *et al.* (1978) ศึกษาระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติลโดยใช้ 50% NaOH อัตราส่วนไคตินต่อด่าง 1 : 5 หรือ 1 : 10 (มวล : ปริมาตร) เป็นเวลา 5 และ 15 นาที ที่อุณหภูมิ 145 - 150 °C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน พบว่าการกำจัดหมู่อะซิติลที่ใช้ระยะเวลาสั้นจะได้ไคโตแซนที่มีความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าที่ใช้ระยะเวลานาน

Sornprasit (1997) เตรียมไคโตแซนจากกระดองปลาหมึก (*Loligo formosana* และ *Loligo lessoniana*) โดยการกำจัดหมู่อะซิติลด้วย 50%NaOH อัตราส่วนด่างต่อไคติน 1 : 15 (มวล : ปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 60°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ได้ไคโตแซน 27%

นพรัตน์ มะเห (2541) เตรียมไคโตแซนจากเปลือกกุ้งกุลาดำมาทำการกำจัดหมู่อะซิติล โดยการทำปฏิกิริยากับ 50% NaOH ที่อุณหภูมิ 100°C ภายใต้สุญญากาศ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างไคตินและสารละลายด่าง 1 : 30 (มวล : ปริมาตร) ล้างด้วยน้ำกรองจนเป็นกลาง ทำซ้ำอีกครั้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดหมู่อะซิติลโดยใช้อัตราส่วนไคตินต่อสารละลายด่างเท่ากับ 1 : 5 (มวล : ปริมาตร) เป็นเวลา 30 นาที มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติลเป็น 97.20%

มณฑา จำเริญรักษ์ (2544) เตรียมไคโตแซนจากกระดองปลาหมึก (*Loligo formosana*) และจากกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) โดยใช้กระดองปลาหมึก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% โดยใช้อัตราส่วนของไคตินต่อสารละลายด่าง เป็น 1 : 15 (มวล : ปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 60°C ทำการรีฟลั๊กซ์

ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าได้ไคโตแซนที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติล 73.10% และมีน้ำหนักโมเลกุล 6.35 x10^6 ดาลตัน และเตรียมไคโตแซนจากเปลือกกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ด้วยวิธีเดียวกับการเตรียมไคโตแซนจากกระดองปลาหมึก แต่ในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิติลทำภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 126^{0}C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ได้ไคโตแซนที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล 92.24% และมีน้ำหนักโมเลกุล 2.69 x10^6 ดาลตัน

4) ความเข้มข้นด่างในปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิติล

Wu และ Bough (1978) ศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของ NaOH ที่ใช้ทำปฏิกิริยา 3 ระดับ คือ 35, 40 และ 50% (8.75, 10.00, 12.50 M) และระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติล ที่อุณหภูมิ 100^{0}C พบว่า เมื่อใช้ด่างความเข้มข้นสูงขึ้น และระยะเวลาการทำปฏิกิริยานานขึ้น ทำให้ความหนืดของไคโตแซนลดลงทั้งระดับความเข้มข้นของด่าง 40 และ 50% สำหรับที่ความเข้มข้น 35% ความหนืดของผลิตผลมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 21 ชั่วโมง โดยให้เหตุผลว่าความเข้มข้นของด่างที่เพิ่มขึ้นอาจมีผลต่อการทำลายโครงสร้างหรืออาจทำให้โมเลกุลของไคโตแซนสั้นลง

5) สภาวะบรรยากาศของปฏิกิริยา

Rigby (1936 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) และ Wolfrom *et al.* (1958 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) รายงานว่า วิธีกำจัดหมู่อะซิติลจากไคตินโดยใช้ 40% NaOH ที่อุณหภูมิ 115^{0}C 6 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน พบว่า สามารถกำจัดหมู่อะซิติลได้ 82% Bough *et al.* (1978) พบว่า ในสภาวะที่มีอากาศส่งผลให้ไคโตแซนมีความหนืดน้อยกว่าในสภาวะสุญญากาศ และในสภาวะที่มีไนโตรเจนภายใต้อุณหภูมิเดียวกัน เนื่องจากออกซิเจนมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันส่งผลต่อการทำลายโครงสร้างของไคโตแซน

6) การฟอกสี

Morjani *et al.* (1975 อ้างโดย Muzzarelli, 1977) พบว่า การฟอกสีโดยใช้ 0.5% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีผลทำให้ไคโตแซนมีความหนืดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตผลที่ไม่ผ่านการฟอกสี

1.4 คุณลักษณะของไคโตแซน

คุณลักษณะที่สำคัญของไคโตแซนเกิดจากปัจจัยหลัก 2 ประการ คือ ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลและน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันของไคโตแซน ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติที่ไม่แน่นอน ทั้งทางเคมีและทางกายภาพของไคโตแซน แม้จะใช้วัตถุดิบจากแหล่งเดียวกัน

1.4.1 ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล (degree of deacetylation)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไคโตแซนที่สำคัญประการหนึ่ง คือ ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล หากสูงยิ่งทำให้มีอะมิโนอิสระสามารถรับโปรตอนทำให้เกิดประจุบวกที่ pH เป็นกลางมากขึ้น การวัดระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตแซนสามารถดำเนินการได้หลายวิธี เช่น IR spectroscopy (Brugnerotto, 2001) Mass spectrometry (Hayes and Devies, 1978) UV-spectroscopy (Tan *et al.*, 1998; Muzzarelli and Rocchetti, 1985) Colorimetric methods (Prochazkova *et al.*, 1999) เอนไซม์ (Nanjo *et al.*, 1991) และ Conductometric titration (Kurita *et al.*, 1993)

Muzzarelli และ Rocchetti (1985) ได้พัฒนาเทคนิคการวัดระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตแซนด้วย UV-spectroscopy โดยการอ่านค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไคโตแซนในกรดอะซิติกจาก first derivative absorption spectra ที่ความยาวคลื่น 202 นาโนเมตร เพราะที่ความยาวคลื่นดังกล่าวเป็นจุดที่การดูดกลืนแสงของกรดอะซิติกมีค่าคงที่ไม่ขึ้นที่ความเข้มข้น (isobestic point) จึงไม่มีผลรบกวนต่อการดูดกลืนแสงของ *N*-glucosamine ผู้วิจัยกล่าวว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุด เพราะเป็นวิธีที่ง่าย มีความแน่นอนและไม่ทำลายสารตัวอย่าง และรายงานว่าระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคตินและไคโตแซนทั่วไปมีค่าต่ำประมาณ 10 และ 60% ตามลำดับ สำหรับไคโตแซนที่กำจัดหมู่อะซิติลได้ค่อนข้างสมบูรณ์อยู่ในช่วง 90 - 100% Anonymous (1989 อ้างโดย สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2533) กล่าวว่า ไคโตแซนที่ผลิตขายในตลาดมีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิติลด้วย UV-spectroscopy พบว่ามีค่าสูงกว่า 90%

มณฑา จำเริญรักษ์ (2544) เตรียมไคโตแซนจากไคตินที่ได้จากกระดองปลาหมึก (*Loligo formosana*) และจากกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*)

วัดระดับการกำจัดหมู่อะซิติลวิธีเดียวกับ Muzzarelli และ Rocchetti (1985) พบว่าระดับการกำจัดหมู่อะซิติลเป็น 73.10% และ 92.24% ตามลำดับ

1.4.2 น้ำหนักโมเลกุล

น้ำหนักโมเลกุลเป็นปัจจัยอีกประการหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไคโตแซน ซึ่งจะมีผลตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมไคตินจนได้ไคโตแซน เพราะจะมีผลทำให้ขนาดของพอลิเมอร์ที่แตกต่างกัน ในการเตรียมแต่ละครั้งจะมีขนาดโมเลกุลต่างกันได้ในช่วงกว้าง ขนาดหรือน้ำหนักโมเลกุลอาจแสดงเป็นค่า number averaged molecular weight (Mn), weight averaged molecular weight (Mw) และ viscosity averaged molecular weight (Mv) ซึ่งค่าที่ได้เหล่านี้ Chang (1980) กล่าวว่า Mv และ Mw มีค่าใกล้เคียงกันดังนั้น จึงใช้แทนกันได้

การวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักโมเลกุลของไคตินและไคโตแซนอาจทำได้หลายวิธี เช่น การวัดค่า light scattering (Hackman and Goldbery (1974) membrane osmometry, viscosmetry และ high-performance liquid chromatography (Wu *et al.*, 1976; Domard and Rinaudo, 1983)

Bough *et al.* (1978) กล่าวว่าน้ำหนักโมเลกุลของไคตินและไคโตแซนที่เตรียมได้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ลักษณะของวัตถุดิบและสภาวะของปฏิกิริยาแต่ละขั้นตอนที่ใช้ เช่น ในการกำจัดแร่ธาตุเพื่อสกัดไคติน ถ้ากรดที่ความเข้มข้นสูง ใช้เวลานานขึ้น และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ไคตินที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำลง และในการเตรียมไคโตแซนถ้ากำจัดหมู่อะซิติลโดยใช้ด่างที่ความเข้มข้นสูงขึ้น ใช้เวลานานขึ้น อุณหภูมิสูงขึ้นและทำในบรรยากาศเปิดที่มีก๊าซออกซิเจนอยู่ มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำลงเช่นกัน

1.4.3 การละลาย

ไคโตแซน เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายกรดอ่อน เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก กรดมาลิก กรดมาโลนิก กรดโพรพิออนิก และกรดซัคซินิก เข้มข้น 5% และสามารถละลายได้ในกรดอื่นๆ ที่ความเข้มข้นสูงขึ้น เช่น กรดออกซาลิก กรดซิตริก กรดไพรูวิก หรือกรดทาร์ทาริก อย่างไรก็ตามความสามารถในการละลายถึงจุดอิ่มตัวในกรดแต่ละชนิดมีระดับต่างกัน (Ashford *et al.*,1977)

2. ประโยชน์ของไคโตแซน

การประยุกต์ใช้ไคโตแซนขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ เช่น ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย การป้องกันการเกิดเชื้อรา ยืดอายุของอาหาร ด้านการแพทย์ เช่น เร่งการสมานแผล ใช้เป็นสารลดความอ้วน และการห้ามเลือด ส่งยาไปสู่บริเวณที่ต้องการ เป็นต้น ในที่นี้จะนำผลการศึกษาการใช้ไคโตแซนโดยเน้นในด้านที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาครั้งนี้ คือ เกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียและการต้านการเกิดเชื้อราซึ่งเป็นคุณสมบัติหนึ่งที่จะช่วยรักษาคุณภาพของเนื้อยางได้

2.1 การประยุกต์ใช้ไคโตแซนทางด้านการบำบัดน้ำเสีย

จากคุณสมบัติที่สำคัญของไคโตแซน คือ เป็นพอลิเมอร์ที่เต็มไปด้วยประจุบวกเมื่อละลายอยู่ในสารละลายกรดอ่อนๆ รายงานการวิจัยหลายฉบับพบว่าไคโตแซนสามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการต่างๆ ดังนี้

Guerrero *et al.* (1998) ใช้ไคโตแซนเป็นสารรวมตะกอนเพื่อลดปริมาณโปรตีนในน้ำเสียจากโรงงานแยกเนื้อปลา โดยช่วง pH ที่เหมาะสมในการแยก คือ 7.2 - 7.8 สามารถลด TSS (total suspended solid)ได้ถึง 75% โดยเทียบกับ sodiumpolyacrylate ซึ่งจะต้องปรับ pH ให้ต่ำถึง 4 สามารถลด TSS ได้ 97% ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ No และ Meyers (1989) ซึ่งใช้ไคโตแซนเป็นสารรวมตะกอนเช่นกัน แต่ใช้กับโรงงานผลิตอาหารทะเล พบว่า pH 6 เป็น pH ที่เหมาะสมสามารถลดความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอย (suspended solids) และความขุ่นในน้ำได้ถึง 97% และ 83% ตามลำดับ

Osen *et al.* (1996) ใช้ไคโตแซนเป็นสารลดปริมาณโปรตีนและไขมันในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตอาหารซึ่งมีนมเป็นองค์ประกอบหลัก พบว่า pH 5.3 สามารถที่จะมีประสิทธิภาพพอๆ กับเมื่อใช้ Carboxy Methyl Cellulose (CMC) ซึ่งจะต้องปรับ pH เป็น 4.2 นอกจากนี้หากใช้ไคโตแซนสามารถลดเปอร์เซ็นต์การใช้กรดเพื่อปรับ pH ลงปริมาณ 50% Dyrset *et al.* (1998) ใช้ไคโตแซนเป็นสารรวมตะกอนโปรตีน โดยใช้ *lactobacillus* เป็นจุลินทรีย์ในปรับ pH พบว่าสามารถลดค่า COD (chemical oxygen demand) ลงได้ 49 - 82% เมื่อเปรียบเทียบกับ CMC ซึ่งสามารถลดได้ 65 - 78% เท่านั้น

นอกจากนี้ Lalov (2000) พบว่า สามารถใช้ไคโตแซนเป็นสารแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchanger)เพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไวน์ (COD 2800 มก.O_2/ลิตร) พบว่าสภาพที่ดีที่สุด คือ ใช้ไคโตแซน 10 กรัม/ลิตร ใช้เวลา 30 นาที Divakaran และ Pillai (2001) พบว่า ไคโตแซนยังสามารถเป็นสารก่อตะกอนของ kaolinite ในน้ำได้ด้วย โดย pH 7.5 เป็นสภาพที่เหมาะสม ปริมาณไคโตแซนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ kaolinite เมื่อมีความเข้มข้นของ kaolinite สูงก็จะเกิดเป็นตะกอนที่ใหญ่และตกตะกอนได้เร็วมาก Juang *et al.* (1999) พบว่า หากใช้ไคโตแซนในการแยก Cu(II) ออกจากสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.3 - 5.0 โมล/ลบ.ม. พบว่าไคโตแซนสามารถดูดซับ Cu(II) ได้ถึง 2.75 โมล/กก. และหากมีการเติม kaolinite ลงไปด้วยจะทำให้ใช้เวลาในการแยกได้เร็วขึ้น

จากรายงานการวิจัยที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าใช้ไคโตแซนบำบัดน้ำเสียนั้นขึ้นอยู่กับ pH ของน้ำเสียด้วย โดยหากเป็นน้ำเสียที่ต้องการกำจัดโปรตีน หรือ kaolinite จะมี pH ที่เหมาะสมในช่วง pH เป็นกลางค่อนไปทางกรดเล็กน้อย

2.2 การประยุกต์ใช้ไคโตแซนทางด้านการต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

Wang (1992) ใช้ไคโตแซนเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของ food borne pathogens เช่น *Staphylococcus aureus*, *Escherichia Coli* , *Yersinia enterocolitica*, *Listeria monocytogene* และ *Salmonella typhimurium* ที่ pH 6.5 และ 5.5 อุณหภูมิ 30^{0}C พบว่าที่ pH 6 ไคโตแซนสามารถยับยั้งได้ดีมากที่สุด คือ *Staphylococcus aureus* และลำดับต่อมา คือ *Salmonella typhimurium*, *Escherichia Coli* และ *Yersinia enterocolitica* ตามลำดับ จะยับยั้งได้ดีขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไคโตแซน แต่จะไม่สามารถยับยั้ง *Listeria monocytogene* ได้ ที่ pH 5.5 ทุกความเข้มข้นของไคโตแซนจะยับยั้ง food borne pathogens ทุกชนิด ยกเว้นที่ความเข้มข้นของไคโตแซน 0.5% จะไม่ยับยั้ง *Salmonella typhimurium* และจากการศึกษาของ Tsai และ Su (1999) ใช้ไคโตแซนต้านการเจริญเติบโตของ *Escherichia coli* (*E. coli*)ในสภาพกรด พบว่าระยะที่สามารถต้านการเจริญเติบโตได้ดีคือ ระยะ exponential phase อุณหภูมิค่อนข้างสูง (25 - 30 ^{0}C) ในสภาพเป็นกรด และถ้ามี

ไอออนของโลหะลงไปจะทำให้ความสามารถในการต้านการเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากไอออนโลหะจะไปจับกับไคโตแซน ทำให้ความสามารถในการต้านการเจริญเติบโตของไคโตแซนลดลง และได้สรุปว่าไคโตแซนเป็นสาเหตุที่ทำให้ glucose และ lactate dehydrogenase แตกออกจาก *E .coli* ทำให้สามารถต้านการเจริญเติบโตของ *E. coli* ได้ โดยเกี่ยวข้องกับประจุบวกของไคโตแซนและประจุลบบน *E. coli*

Darmadji และ Izuminoto (1994) ใช้ไคโตแซนในการรักษาคุณภาพเนื้อ โดยสามารถต้านการเจริญของรา รักษาคุณสมบัติทางเคมี ความสด และสี โดยพบว่าสารละลายไคโตแซน 0.01% สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ spoilage bacteria บางชนิด เช่น *Bacillus subtilis* IFO 3025, *E. coli* RB, *Pseudomonas fragi* IFO 3458 และ *Staphylococcus aureus* IAM 1011 หากใช้ที่ความเข้มข้นสูงที่ 0.1 - 1.0% จะยับยั้ง meat starter culltures เช่น *Lacto bacillus lantarium* IAM 1216 *Pediococcus pentosaceu* IAM 12296 และ *Micrococcus varian* IFO 3765 เมื่อใช้ที่ความเข้มข้น 0.5 - 1.0% สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ Spoilage bacteria ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน การเน่าเสีย สามารถคงสภาพความยืดหยุ่นและสีของเนื้อได้ 48 ชั่วโมง เมื่อเก็บที่ 30 ^{o}C หรือที่ 4^{o}C ได้ถึง 10 วัน

Ghaouth *et al*. (1992) ใช้ไคโตแซนเพื่อยืดระยะการเน่าของผลสตรอเบอรี พบว่า หากเติมสารละลายไคโตแซนลงบนผลของสตรอเบอรีที่เพิ่งตัดใหม่ๆ จะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสปอร์ การงอกของ germ tube การเจริญของ *Botrytis cinerea* และ *Rhizopus stolonifer* และหากใช้ไคโตแซนที่ความเข้มข้น 1.5 มก./มล. สามารถเปลี่ยนรูปร่างของ *Rhizopus stolonifer* ได้ จึงสรุปว่าไคโตแซนมีคุณสมบัติต้านเชื้อรา (fungi static property) นอกจากนี้ Reddy *et al*. (2000) ยังพบว่าหากใช้ไคโตแซนความเข้มข้น 6 กรัม/ลิตร จะสามารถยืดระยะในการสุกและเน่าของผลสตรอเบอรี หากเก็บที่ 3^{o}C โดยสามารถทำให้ระดับ anthocyanin และกรดไม่เปลี่ยนแปลง

Jeon *et al*. (2000) ศึกษาการใช้ไคโตแซนในรูปของโอลิโกไคโตแซน (chitooligosaccharides) เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของ *E. coli* พบว่าเมื่อใช้ไคโตแซนในรูปของโอลิโกไคโตแซนที่ความเข้มข้น 0.5% สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์

TS 9392

2.3 การประยุกต์ใช้ไคโตแซนในด้านอื่นๆ

Jo *et al.* (2001) ใช้ไคโตแซนในรูปโอลิโกไคโตแซน (MW 5000 ; 0.2%) เติมลงในส่วนผสมของไส้กรอก โดยเก็บไว้ใน 2 ลักษณะ คือ แบบมีอากาศปกติและแบบสุญญากาศ ที่ 4°C 3 สัปดาห์ พบว่าไม่มีความแตกต่างของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ระหว่างที่เติมและไม่เติมไคโตแซน ($p>0.05$) แต่สามารถลดการเกิดเหม็นหืน (lipid oxidation) ในสภาพปกติได้ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับชุดควบคุม และจะทำให้สีบริเวณผิวของไส้กรอกเข้มขึ้น นอกจากนี้จากการศึกษาของ Lin และ Chao (2001) ใช้ไคโตแซนเพื่อลดไขมันในไส้กรอกแบบจีน โดยพบว่าเมื่อเติมไคโตแซน 0.1% ที่ขนาดโมเลกุลต่างๆ สามารถที่จะลดไขมัน (ประมาณ 22%) โดยที่ยังรักษาคุณสมบัติอื่นๆ ของไส้กรอกได้เหมือนเดิมหรือดีกว่าที่ไม่ได้เติมไคโตแซน

Kwakye *et al.* (2001) ศึกษาการใช้ไคโตแซนเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตฟิล์มเพื่อควบคุมการปล่อยยา พบว่าเมื่อใช้ไคโตแซนเป็นส่วนผสมจะทำให้การแตกตัวของยาคงที่ยิ่งขึ้นในทุกๆ pH จึงเหมาะแก่การนำไปใช้

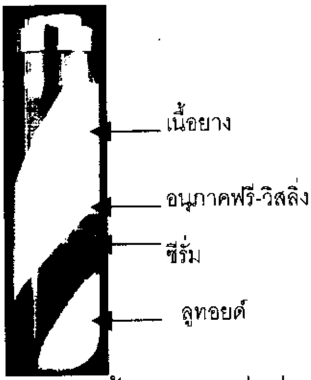
Campos *et al.* (2001) ไคโตแซนในการแก้ปัญหาการเกิดโรคตาแห้ง (dry eye) โดยใช้ไคโตแซนในรูปเกล็ดเล็กๆ (chitosan nanoparticle) เพื่อส่ง cyclo sporin A จากบริเวณผิวตาสู่ชั้น conea และ conjuctiva พบว่าสภาพที่เหมาะสมคือ ใช้ไคโตแซนขนาด 293 นาโนเมตร

Rishud *et al.* (2000) ใช้ไคโตแซนในการเป็นตัวส่งยาปฏิชีวนะไปยังกระเพาะ โดยการทำไคโตแซนให้อยู่ในรูปของเจล พบว่าสามารถที่จะควบคุมการปล่อยยาปฏิชีวนะได้เหมาะสมกับบริเวณกระเพาะได้ดี

3. สมบัติทั่วไปของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีมอยู่ในสภาพคอลลอยด์ มีความหนาแน่นประมาณ 0.975 - 0.980 กรัม/มล. pH ประมาณ 6.5 - 7.0 ความหนืดแปรปรวน (Blackley, 1966) ส่วนประกอบของน้ำยางจะมองเห็นได้ชัดเมื่อปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง (ultracentrifuge) ประมาณ 70,000g จะแยกน้ำยางออกเป็น 4 ชั้นคือ ชั้นเนื้อยาง ซีรั่ม (serum) ลูทอยด์ (lutoid) และอนุภาคฟรี-วิสลิง (frey-wyssling) (*วราภรณ์ ขจรไชยกุล*, 2524)

ดังรูปที่ 2 โดยแต่และชั้นมีส่วนประกอบต่างๆ ดังรูปที่ 3

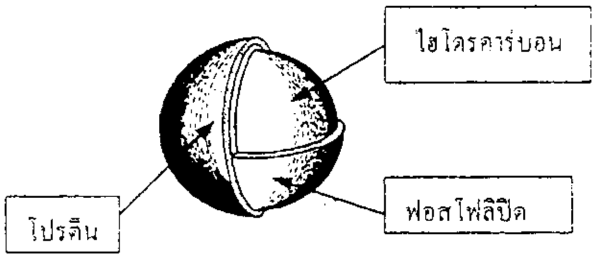


รูปที่ 2 ชั้นต่างๆ ของน้ำยางสดเมื่อปั่นแยกด้วยความเร็วสูง (70,000g)
ที่มา : ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2545)

รูปที่ 3 องค์ประกอบของชั้นต่างๆ ของน้ำยางสดเมื่อปั่นแยกด้วยความเร็วสูง
ที่มา : วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2524

Central Library
Prince of Songkla University

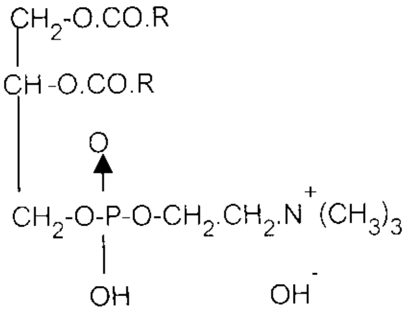
อนุภาคของยางส่วนใหญ่เป็นรูปทรงกลมและลูกแพร์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.02 - 2 ไมโครเมตร ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอน คือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (*cis*-1,4-polyisoprene ; $(C_5H_8)_n$) ประมาณ 86% นอกจากนี้ยังมีน้ำประมาณ 10% โปรตีนประมาณ 1% ลิปิดประมาณ 3% และยังมีไอออนของโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียม ทองแดง ปนอยู่ประมาณ 0.05% ลักษณะผิวอนุภาคยางจะมีชั้นไฮโดรคาร์บอนห่อหุ้มด้วยชั้นฟอสโฟลิปิด (phospholipid) และถัดมาเป็นชั้นของโปรตีน (Blackley,1966) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะผิวอนุภาคน้ำยาง

ที่มา : Blackley (1966)

ฟอสฟอลิปิด เป็นตัวกลางยึดระหว่างไฮโดรคาร์บอนกับโปรตีน หรืออาจจะปนกันอยู่โดยไม่ได้แยกชั้นชัดเจน โดยฟอสโฟลิปิดในอนุภาคยางส่วนใหญ่เป็นเลซิทีน (lecithin) ซึ่งมีประมาณ 2% (Blackley,1966) มีโครงสร้างดังรูป ที่ 5



รูปที่ 5 สูตรโครงสร้างของเลซิทิน

ที่มา : Blackley, 1966

เลซิทิน และโปรตีนรอบอนุภาคยางยึดเหนี่ยวอยู่กันได้อาจเนื่องจาก pH ของน้ำยางสดประมาณ 6.5 ชั้นของลิปิดมีประจุบวกมากกว่าประจุลบ ส่วนชั้นของโปรตีนมีประจุลบมากกว่าประจุบวก ประจุที่แตกต่างกันของสารทั้งสองจึงดึงดูดซึ่งกันและกัน (Blackley, 1966)

โปรตีนที่อยู่ในน้ำยางส่วนใหญ่เป็นอัลฟา-กลูบบูลิน (α-globulin) และฮีวิน (hevein) อัลฟา-กลูบบูลินเป็นโปรตีนที่มีสมบัติเป็นเซอร์เฟซ-เอกทีพ (surface active) จะอยู่บนรอยต่อระหว่างน้ำ-อากาศ น้ำมัน-น้ำ ได้ ไม่ละลายในน้ำกลั่น แต่จะละลายในกรด ด่าง และเกลือ มีจุดไอโซอิเลคตริค (Isoelectric point) ที่ pH ประมาณ 4.8 น้ำยางสดจะจับตัวอย่างรวดเร็วภายใต้สภาวะที่มีค่า pH ที่อัลฟา-กลูบบูลินละลายได้น้อยที่สุด สำหรับฮีวินละลายอยู่ในชั้นน้ำ มีจุดไอโซอิเลคตริกเท่ากับ 4.5 โมเลกุลประกอบด้วยกำมะถันประมาณ 5% โดยมวล (Blackley, 1966)

4. การรักษาสภาพและการเสียสภาพของน้ำยาง

โปรตีนในน้ำยางส่วนหนึ่งจะดูดซับอยู่รอบผิวของอนุภาคยาง ฟอร์มชั้นห่อหุ้ม (hydrated protein envelope) อนุภาคยางไว้ ชั้นห่อหุ้มนี้มีความสำคัญต่อสถานะความคงตัวเป็นของเหลวของน้ำยางเพราะชั้นโปรตีนนี้จะป้องกันไม่ให้แต่ละอนุภาคยางรวมตัวกัน เมื่อมีการสูญเสียน้ำ (dehydrated) ในชั้นของโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยางอยู่ซึ่งอาจเกิดขึ้นโดยการเติมแอลกอฮอล์หรือสารบางอย่างลงในน้ำยาง น้ำยางจะสูญเสียความคงตัวและเกิดการรวมของอนุภาคยางจับกันเป็นก้อนยาง เรียกว่า โคแอกกูลั่ม (coagulum) แยกจากส่วนของซีรั่ม

นอกจากชั้นของโปรตีนจะทำหน้าที่รักษาความคงสถานะเป็นของเหลวให้น้ำยางแล้ว ความคงสถานะของเป็นเหลวของน้ำยางเนื่องจากประจุไฟฟ้าลบรอบๆ อนุภาคซึ่งจะก่อให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคยาง และเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ช่วยรักษาสถานะการกระจัดกระจาย (dispersion) ของอนุภาคยางทำให้น้ำยางเป็นของเหลวอยู่ได้ ถ้าหากเกิดผลกระทบกระเทือนทำให้ประจุไฟฟ้าลบลดลง อนุภาคยางก็จะรวมกันได้ ขนาดอนุภาคจะใหญ่ขึ้น การเคลื่อนที่กระจัดกระจายของอนุภาคก็จะค่อยๆ ลดลงจนในที่สุดจะเกิดเป็นก้อนโคแอกกูลั่ม ในทางตรงกันข้ามถ้าหากประจุไฟฟ้าลบที่อยู่รอบอนุภาคยางเพิ่มขึ้นความคงสถานะเป็นน้ำยางก็จะเพิ่มขึ้น (Blackley, 1966) กล่าวโดยสรุป คือ ความคง

สถานะของเหลวของน้ำยางเนื่องจากปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ ประจุไฟฟ้าลบ และชั้นโปรตีนที่อยู่รอบๆ อนุภาคยาง ถ้าหากทั้ง 2 ปัจจัยนี้ถูกทำให้ลดลงน้ำยางก็จะสูญเสียสถานะความเป็นของเหลวและจับเป็นก้อนยางแยกตัวออกจากซีรั่มในที่สุด

4.1. การรักษาสภาพน้ำยาง

เมื่อน้ำยางไหลออกจากต้นยาง จะมีแบคทีเรียในอากาศและในสภาพแวดล้อมลงไปปะปนใช้สารที่ไม่ใช่ยางเป็นอาหาร สารที่เป็นอาหารของแบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลกลูโคส และฟรุคโตสแม้ว่าโดยปกติจะมีน้ำตาลเหล่านี้อยู่ในน้ำยางไม่มากนัก แต่เนื่องจากในน้ำยางมีน้ำตาลซูโครสประมาณ 0.1% ถึง 1.0% ซึ่งสามารถจะเปลี่ยนเป็นกลูโคส และฟรุคโตสได้โดยเอนไซม์ invertase ที่มีอยู่ในน้ำยาง ปฏิกิริยาที่แบคทีเรียใช้น้ำตาล ทำให้น้ำตาลสลายตัวให้กรดซึ่งเป็นกรดไขมันระเหย (volatile fatty acid, VFA) พวกฟอร์มิก อะซิติก โพรพิออนิก เป็นส่วนใหญ่และมีกรดอื่นๆ บ้างเล็กน้อยนอกจากนี้สารพวกลิปิดที่มีอยู่ในน้ำยางเกิดการ hydrolyse กลายเป็นกรดไขมัน กรดไขมันเหล่านี้จะเข้าไปแทนที่สารโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยางอยู่และยังไปทำปฏิกิริยากับโลหะไอออนพวก แคลเซียม แมกนีเซียม ที่มีอยู่ในน้ำยางก่อให้เกิดการสูญเสียสถานะการเป็นของเหลวของน้ำยาง ดังนั้นน้ำยางสดก็จะมีกรดเพิ่มขึ้นหากไม่มีการเติมสารเคมีรักษาน้ำยาง สภาวะความเป็นกรดจะทำลายชั้นโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยางอยู่ ทำให้น้ำยางเสียสภาพความคงสถานะเป็นของเหลว หนืดขึ้น และจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆ มีกลิ่นเหม็นของสารบูดเน่าภายในเวลาเพียงไม่กี่ชั่วโมงนับจากไหลออกจากต้นยาง การจับตัวดังกล่าวเรียกว่าการจับตัวที่เกิดเองตามธรรมชาติ ซึ่งจะเกิดช้าหรือเร็วเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ และสมบัติความคงตัวของน้ำยางแต่ละพันธุ์เป็นต้น

ดังนั้นเพื่อป้องกันมิให้น้ำยางจับเป็นก้อนก่อนเวลาที่ต้องการหรือเพื่อให้น้ำยางอยู่ในสภาพของเหลวตามที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องเติมสารเคมีรักษาสภาพของน้ำยาง

สารเคมีที่จะใช้รักษาสถานะของเหลวของน้ำยางควรมีสมบัติดังนี้

ก. มีประสิทธิภาพในการทำลายหรือกีดขวางปฏิกิริยาของแบคทีเรีย

ข. ควรเร่งส่งเสริมสถานะการเป็นสารแขวนลอยของน้ำยางโดยการเพิ่มประจุและเพิ่มพลังงานระหว่างอนุภาคยางกับส่วนที่เป็นน้ำ และเนื่องจากขณะที่

น้ำยางออกจากต้นยาง ชั้นของสารโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยางอยู่มีฤทธิ์เป็นด่าง ฉะนั้นสารที่รักษาสภาพน้ำยางจึงควรเพิ่ม pH ให้น้ำยาง นั่นคือสารรักษาน้ำยางควรเป็นด่าง

ค. ควรเป็นสารที่ทำให้ไอออนของโลหะหนักไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งจะโดยการกีดกั้นการเกิดปฏิกิริยา หรือโดยการทำให้เกิดการตกตะกอนเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำก็ได้ ความต้องการทำให้ไอออนของโลหะไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยานั้นมีเหตุผล 2 ประการ คือ ไอออนของโลหะเป็นตัวการสำคัญในการเจริญอยู่ได้ของพวกจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุให้น้ำยางจับกัน และไอออนดังกล่าวโดยเฉพาะไอออนของแมกนีเซียมก่อให้เกิดการเสียสภาพของน้ำยาง

ง. สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่มีอยู่ในน้ำยาง

จ. นอกจากสมบัติดังกล่าวข้างต้นแล้ว สารรักษาสภาพของน้ำยาง ควรมีสมบัติที่ไม่เป็นพิษต่อคนและเนื้อยาง ไม่ควรทำให้สีของน้ำยางและสีของยางที่แห้งแล้วเปลี่ยนแปลง มีกลิ่นรุนแรง หรือก่อให้เกิดปัญหายุ่งยากต่อขบวนการนำน้ำยางไปแปรรูปเพื่อใช้งาน คือควรมีราคาถูกและขนย้ายได้สะดวก (Blackley, 1966; วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2531)

4.2 การจับตัวกันของอนุภาคยาง

น้ำยางสดสามารถเกิดการจับตัวเองได้ตามธรรมชาติโดยไม่ต้องมีการเติมสารเคมีใดแต่การจับตัวอย่างสมบูรณ์ของน้ำยางตามธรรมชาตินั้นต้องใช้เวลานาน (กว่า 36 ชั่วโมง) จึงจะได้ก้อนยางที่สามารถเคลื่อนย้ายไปสู่ขั้นตอนการผลิตต่อๆ ไป ดังนั้นถ้าต้องการนำน้ำยางสดไปผลิตเป็นยางดิบแห้งชนิดต่างๆ จึงจำเป็นต้องทำให้น้ำยางจับตัวภายในระยะเวลาที่กำหนดเพื่อประหยัดเวลา ประหยัดที่เก็บ และเพื่อให้ได้ก้อนยางจับตัวที่มีลักษณะตรงกับความต้องการ ทั้งนี้โดยใช้สารเคมีทำให้น้ำยางจับตัว (coagulant) สารเคมีที่ทำให้น้ำยางจับตัวที่สำคัญได้แก่ กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดเมื่อแตกตัวจะให้ไอออนไฮโดรเจน (H^+) และเมื่อไอออนนี้ทำปฏิกิริยากับอนุมูลลบของคาร์บอกซิเลต ($R.CO_2^-$) ที่อยู่รอบๆ อนุภาคยางดังสมการ

$$H^+ + R.CO_2^- \longrightarrow R.CO_2H \quad \text{(fatty acid)}$$

จะเกิดกรดไขมันขึ้นรอบๆ อนุภาคยาง กรดนี้ไม่ละลายน้ำ ไม่แตกตัวเป็นน้ำ เมื่อเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวนี้พลังยึดรอบๆ อนุภาคยางจะลดเป็นศูนย์ ชั้นห่อหุ้มอนุภาคยางแฟบลง ส่วนของโมเลกุลที่เป็นน้ำ (hydration sheath) ที่เคยห่อหุ้มอนุภาคยางอยู่จะกระจายไป น้ำยางขณะนี้จึงอยู่ในสถานะจับเป็นก้อนโคแอกกูลั่มอย่างรวดเร็ว

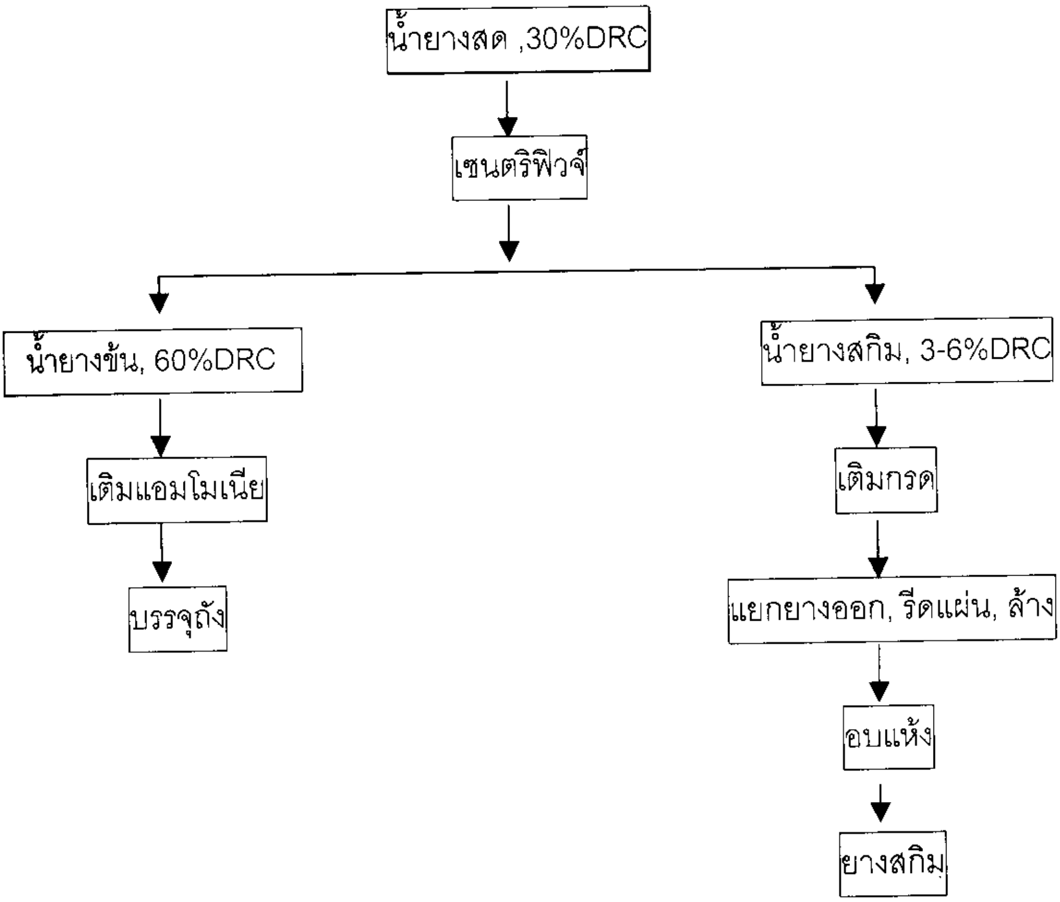
กรดที่นิยมใช้เป็นสารเคมีให้น้ำยางจับตัวคือ กรดฟอร์มิก เพราะมีราคาถูกและให้สมบัติทางกายภาพและทางเทคนิคของยางดี ส่วนกรดซัลฟิวริกจะใช้กับหางน้ำยาง (skim latex) ไม่นิยมใช้กรดซัลฟิวริกในการทำยางแห่งและยางธรรมดาเพราะจะทำให้ได้ยางสีไม่สวยและยังทำให้ยางมีปริมาณเถ้าสูง (Blackley, 1966; วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2531)

5. กระบวนการผลิตน้ำยางข้นและน้ำยางสกิม

5.1 การผลิตน้ำยางข้น

การเตรียมน้ำยางสดจากธรรมชาติเพื่อผลิตน้ำยางข้น (concentrated latex) จะมีการเติมสารเคมีป้องกันน้ำยางจับตัวกันของอนุภาคยาง สารเคมีที่เติม คือ แอมโมเนีย หรือแอมโมเนียร่วมกับสารช่วยตัวอื่น ได้แก่ zinc oxide (ZnO) (บุญเกื้อ ชินคง, 2525) zinc diethyl dithiocarbamate (ZDC) (Blackley, 1966) sodium pentachlorophenate (SPP) tetramethyl thiuam disulfide (TMTD) และ boric acid โดยน้ำยางสดก่อนนำไปปั่นจะมีแอมโมเนียประมาณ 0.4% ต่อน้ำหนักน้ำยาง หลังจากปั่นแอมโมเนียจะลดลงเหลือประมาณ 0.2% ต่อน้ำหนักน้ำยาง จะช่วยป้องกันการเพิ่มจำนวนกรดไขมันระเหยทำให้สามารถยืดระยะเวลาเก็บได้นานขึ้น (Blackley, 1966; วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2531)

การผลิตน้ำยางข้นมีวิธีการต่างๆ คือ วิธีการระเหยน้ำ (evaporation) ทำให้เกิดครีม (creaming) ปั่นเหวี่ยง (centrifuge) และแยกด้วยกระแสไฟฟ้า (electrodecantation) การผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่นเหวี่ยงเป็นวิธีที่นิยมและทำกันมากที่สุดในทางอุตสาหกรรม อนุภาคที่มีขนาดใหญ่สามารถแยกออกจากชั้นน้ำได้ดี ส่วนอนุภาคยางที่มีขนาดเล็กเกินไปจะแยกออกจากน้ำยางสดได้ยาก ทำให้อนุภาคเหล่านี้ปนไปกับส่วนซีรั่ม เรียกส่วนนี้ว่า น้ำยางสกิม (skim latex) (Blackley, 1966) ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น
ที่มา : พรพรรณ นิธิอุทัย และคณะ (2534 อ้างโดย ศิวโรฒ บุญราศรี, 2543)

แอมโมเนียเป็นสารเคมีสำคัญที่ใช้รักษาน้ำยางข้น ปกติจะใช้ 0.7% ต่อน้ำหนักน้ำยาง (เรียกน้ำยางข้นนี้ว่า High Ammonia : HA) หรือใช้แอมโมเนีย 0.2% ต่อน้ำหนักน้ำยางร่วมสารช่วยอื่นๆ (เรียกว่า Low Ammonia : LA) เนื่องจากแอมโมเนียสามารถทำลายแบคทีเรีย โดยทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมไอออน (ซึ่งเป็นตัวการให้น้ำยางเสียสภาพ) ในน้ำยางเกิดเป็น magnesium ammonium phosphate ตกตะกอนได้ดังสมการ

$$Mg^{2+} + NH_3 + HPO_4^{2-} \longrightarrow Mg\,NH_4PO_4 \text{ (ตกตะกอน)}$$

แอมโมเนียยังมีสมบัติไฮโดรไลซ์สารไขมันในน้ำยางเกิดเป็นกรดไขมันซึ่งในที่สุดจะเปลี่ยนเป็น ammonium soap ที่มีสมบัติช่วยส่งเสริมสถานะของเหลวให้น้ำยาง นอกจากนี้แอมโมเนียเป็นสารที่ระเหยง่ายเมื่อต้องการใช้น้ำยางในขบวนการทำผลิตภัณฑ์และจะไม่มีสารตกค้างอยู่ในเนื้อยางเมื่อยางนั้นแห้งแล้ว (Blackley, 1966; วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2531)

5.2 น้ำยางสกิม

น้ำยางสกิมที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น จะมีส่วนประกอบ ดังตารางที่ 1น้ำยางสกิมที่ได้จะถูกนำมารวบรวมเข้าด้วยกัน จากนั้นจะทำการเติมกรดซัลฟิวริก ซึ่งเป็นสารเคมีที่ทำให้น้ำยางจับตัว แล้วจึงตัด ล้าง อบ และอัดแท่ง ดังรูปที่ 6

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของน้ำยางสดและน้ำยางสกิม

ส่วนประกอบ	น้ำยางสด(%)	น้ำยางสกิม(%)
เนื้อยาง	33	3.38
ของแข็งทั้งหมด	36	6.97
ปริมาณไนโตรเจน	0.17	3.57
ปริมาณโปรตีนในน้ำยาง	1-1.15	22.3

ที่มา : พรพรรณ นิธิอุทัย และคณะ (2534 อ้างโดย ศิวโรฒ บุญราศรี, 2543)

เนื้อยางแห้งในน้ำยางสกิมประมาณ 2.5-10% อัตราส่วนระหว่างเนื้อยางและส่วนที่ไม่ใช่ยางสูง (non rubber) ประมาณ 1:1 ส่วนที่ไม่ใช่ยางส่วนใหญ่เป็นโปรตีนและไนโตรเจนอื่นๆ เนื่องจากส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นซีรั่มซึ่งมีองค์ประกอบทีไม่ใช่ยางและอนุภาคยางในยางสกิมมีขนาดเล็กซึ่งมีพื้นที่ผิวที่ทำให้มีโปรตีนมาเกาะอยู่ได้มากกว่าอนุภาคยางในส่วนอื่นซึ่งมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าในปริมาณยางที่เท่ากัน (Blackley, 1966)

การรวมอนุภาคยางจากน้ำยางสกิมโดยตรงจะทำได้ข่อนข้างยาก เพราะมีปริมาณโปรตีนและแอมโมเนียสูง โดยปกติแล้วจะมีการเติมกรดซัลฟิวริก แคลเซียมคลอไรด์ หรือ ฟอร์มาลดีไฮด์ (Blackley, 1966)

ศิวโรฒ บุญราศรี (2543) รายงานว่า น้ำยางสกิมจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นโดยปกติแล้วสามารถจับตัวได้ด้วยกรดซัลฟิวริก 10% แต่น้ำยางสกิมที่เก็บตั้งทิ้งไว้นานเกินกว่า 5 วัน จะไม่สามารถจับตัวได้ด้วยกรดซัลฟิวริก 10% เนื่องจากโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยางได้หลุดออกมาขัดขวางการจับตัวเป็นก้อนของอนุภาคยาง การขจัดโปรตีนออกจากน้ำยางสกิมโดยการเซนตริฟิวจ์หรือใช้เอนไซม์ทำลายโปรตีน จะทำให้น้ำยางสกิมสามารถจับตัวได้ด้วยกรดซัลฟิวริก 10% อีกครั้ง หรือการใช้สารละลายโซเดียมพอลิอะครีเลทที่มีน้ำหนักโมเลกุลเกิน 100,000 เติมลงไปในปริมาณ 0.2% ของน้ำยางสกิม จะทำให้น้ำยางสกิมสามารถจับตัวด้วยกรดซัลฟิวริก 10% ได้

กระบวนการวัลคาไนซ์ยางสกิม ยางที่ได้จะแข็งกว่ายางธรรมดา โดยความแข็งของยางสกิมจะสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนที่มีในเนื้อยาง (Blackley, 1966)

จากกระบวนการผลิตน้ำยางสกิมจะมีกรดซัลฟิวริกเหลืออยู่ในน้ำเสีย และทำให้เกิดเป็นสารประกอบซัลไฟด์และซัลเฟต ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็นของโรงงานผลิตยาง และนอกจากนี้จะต้องดำเนินการอย่างรวดเร็วเพราะหากเก็บค้างไว้หลายวันจะทำให้อนุภาคยางสกิมไม่จับตัวกันอีกด้วย

6. คุณสมบัติและวิธีบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

ธีรยศ วิทิตสุวรรณกุล (2538 อ้างโดย แกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์, 2539) พบว่า น้ำทิ้งในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีค่า BOD_5 และ COD สูงมาก เนื่องจากส่วนประกอบต่างๆ ทั้งหมดของน้ำยางพาราที่เป็นซีรั่มจะรวมตัวสะสมกันอยู่ในน้ำทิ้งออกมาจากกระบวนการผลิต ส่วนประกอบต่างๆ ของน้ำทิ้งซึ่งเป็นซีรั่มที่ได้จากการผลิตน้ำยางข้น จะมีคุณสมบัติ ดังตารางที่ 2

นอกจากนี้ระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันมากจะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบไม่ใช้อากาศ เรียกว่า บ่อหมักไร้อากาศ เพราะสามารถประหยัดพลังงาน (แกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์, 2539) มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2525) กล่าวว่าสภาพแวดล้อมไร้ออกซิเจน หรือแบบแอนแอโรบิก (anaerobic respiration) หมายถึง สภาวะแวดล้อมที่มีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำน้อยมากจนไม่เพียงพอสำหรับการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ ในสภาวะเช่นนี้สารตัวสุดท้ายที่รับอิเล็กตรอนในกระบวนการ

หมักของจุลินทรีย์จะเป็นสารชนิดอื่นที่ไม่ใช่ออกซิเจน เช่น SO_4^{2-} ,NO_3^-, CO_3^{2-} ถ้าสารที่รับอิเล็กตรอนเป็นสารอินทรีย์กระบวนการนี้เรียกว่า เฟอร์เมนเตชัน (fermentation) (Brock *et al*, 1984)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของซีรั่มที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

ตัวแปร	ค่าตัวแปร
pH	4.77
ค่า BOD (มก./ลิตร)	13,670
ค่า COD (มก./ลิตร)	32,690
ปริมาณของแข็งรวม (มก./ลิตร)	36,410
ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	2,850
ปริมาณไนโตรเจน (มก./ลิตร)	4,620

ที่มา : ธีรยศ วิทิตสุวรรณกุล (2538 อ้างโดย แกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์, 2539)

ขั้นตอนการย่อยสลายในสภาวะที่ไม่มีอากาศ เริ่มจากแบคทีเรียที่สร้างกรด (acidogenic bacteria) จะย่อยสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมัน ให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก และสารอื่นๆ ทำให้น้ำเสียมีกลิ่นเปรี้ยว และมี pH ลดลง กรดอินทรีย์เหล่านี้จะเป็นสารกึ่งกลางที่สำคัญ คือ กรดอะซิติก ซึ่งจะถูกย่อยสลายต่อไปโดยแบคทีเรียที่สร้างมีเทนซึ่งได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Methanobacterium Methanosarcina* และ *Methanococcus* โดยจะเปลี่ยนกรดอะซิติกให้เป็นมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนนี้เจริญได้เฉพาะในสภาพที่ไร้อากาศเท่านั้น สามารถเจริญดีในช่วง pH 6.8 - 7.2 เจริญได้ทั้งช่วงอุณหภูมิปานกลาง (15 - 40°C) และช่วงอุณหภูมิสูง (55 - 65°C) แบคทีเรียกลุ่มนี้มีการเจริญเติบโตช้า และมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมน้อยมาก (Novaes, 1986 and Ronald, 1981 อ้างโดย

แกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์, 2539) ส่วนแบคทีเรียชนิดอื่นๆ จะย่อยสลายสารอินทรีย์ให้สารที่มีกลิ่นเหม็นต่างๆ เช่น แอมโมเนีย อินโดล (Indole) mercaptan aldehyde และไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นผลให้น้ำทิ้งมีกลิ่นเหม็นเน่าและมีสีดำเกิดขึ้น (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2534)

แบคทีเรียกลุ่มที่สามารถเจริญได้ในสภาพที่ไม่ต้องการออกซิเจนโดยใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Desulfovibrio* และอื่นๆ เช่น *D.desulfuricans* สามารถเปลี่ยนแปลงซัลเฟต ซัลไฟต์ ไธโอซัลเฟตให้เป็น ซัลไฟด์ ดังสมการ (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2534)

$$SO_4^{2-} + 4H_2 \xrightarrow{D.desulfuricans} S^{2-} + 4H_2O$$

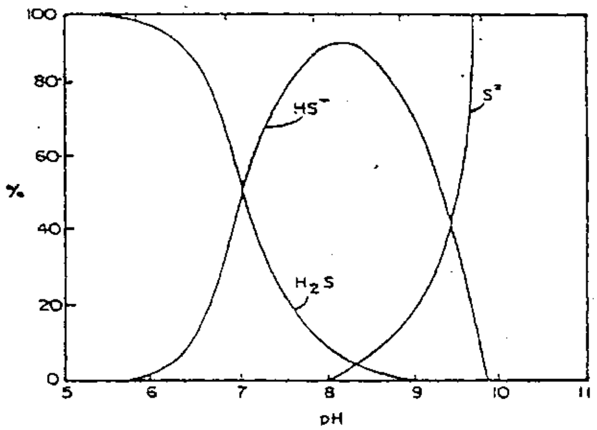
$$SO_3^{2-} + 3H_2 \xrightarrow{D.desulfuricans} S^{2-} + 3H_2O$$

นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตในสกุลอื่นๆ เช่น *Desulfotomaculum, Bacillus megaterium, Pseudomonas zelinskii* ฯลฯ ซัลไฟด์ (S^{2-}) ที่ได้สามารถเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ได้ดังสมการ

$$S^{2-} + H^+ \longleftrightarrow HS^-$$

$$HS^- + H^+ \longleftrightarrow H_2S$$

ในสภาพที่ pH สูงส่วนมากจะอยู่ในรูปของซัลไฟด์ (S^{2-}) ในสภาพที่ pH เป็นกลางส่วนมากจะอยู่ในรูป HS^- และที่ pH เป็นกรดมักจะอยู่ในรูป H_2S เป็นส่วนใหญ่ (Brock *et al.*,1984; Sawyer *et al.*, 1994) ดังรูป 7



รูปที่ 7 ผลของ pH ต่อสมดุลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ – ซัลไฟด์

ที่มา : Sawyer *et al.* (1994)

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีกลิ่นเหม็น และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เมื่ออยู่ในสภาพไม่แตกตัว เช่น H_2S ดังตารางที่ 3 ถ้าอยู่ในรูปที่แตกตัวเช่น HS^- และ S^{2-} จะไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต (สิริ ทุกข์วินาท, 2528 อ้างโดย แกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์, 2539)

ตารางที่ 3 ผลกระทบทางสรีระวิทยาของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อมนุษย์

ความเข้มข้นในอากาศ (ส่วนในล้านส่วน)	ผลกระทบ
30	กลิ่นเหม็นเหมือนไข่เน่า
100	ประสาทรับรู้กลิ่นเสื่อมสภาพใน 2-15 นาที
200	ไอและตาแดง
300	ประสาทรับรู้กลิ่นเสื่อมสภาพลงอย่างรวดเร็ว
600	สิ้นสติภายใน 30 นาที
800	สิ้นสติอย่างรวดเร็ว
1,000	สิ้นสติทันที
2,000	เสียชีวิตในเวลาไม่กี่นาที

ที่มา : Dally (1982 อ้างโดย แกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์, 2539)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายไคโตแซนในการแยกเนื้อยางออกจากน้ำยางสกิม
2. เปรียบเทียบคุณลักษณะของเหลวที่เหลือจากการแยกเนื้อยางจากน้ำยางสกิมด้วยสารละลายไคโตแซน กรดซัลฟิวริก และกรดอะซิติก
3. เปรียบเทียบคุณลักษณะของเนื้อยางที่ได้จากการแยกเนื้อยางจากน้ำยางสกิมด้วยสารละลายไคโตแซน กรดซัลฟิวริก และกรดอะซิติก