

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฟิล์มบริโอคได้ (Edible films)

ฟิล์มบริโอคได้เป็นฟิล์มชนิดหนึ่งที่ใช้ห่อหุ้มอาหาร เพื่อปกป้องอาหารจากสิ่งแวดล้อม จุลินทรีย์ ตลอดจนการสูญเสียความชื้น และการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ อันจะนำไปสู่การเสื่อมคุณภาพของอาหาร ในช่วงร้อยปีที่ผ่านมาได้มีการประยุกต์ใช้ฟิล์มบริโอคได้ชนิดต่างๆ อย่างแพร่หลาย เช่น การใช้ขี้ผึ้งในการเคลือบเปลือกผลไม้เพื่อลดการคายน้ำของผลไม้ การนำฟิล์มจากเจลาตินมาห่อหุ้มเนื้อสัตว์ เพื่อยืดระยะเวลาการเก็บรักษา การใช้โปรตีนฟิล์มจากถั่วเหลืองในการถนอมอาหาร และการใช้ไขมันเคลือบเนื้อสัตว์เพื่อลดการหดรัด โดยมีความพยายามพัฒนาฟิล์มบริโอคได้อย่างต่อเนื่อง (Pavlati และ Ors, 2009) จนกระทั่งเมื่ออุตสาหกรรมปิโตรเคมีเริ่มเข้ามามีบทบาท บรรจุภัณฑ์ส่วนใหญ่จึงเปลี่ยนมาผลิตจากปิโตรเคมี เนื่องจากให้ฟิล์มที่มีสมบัติทางกลดี อย่างไรก็ตามฟิล์มห่อหุ้มอาหาร (หรือบรรจุภัณฑ์อื่นๆ) ซึ่งผลิตจากปิโตรเคมี (พลาสติก) ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากพลาสติกไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ดังนั้นการผลิตและพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้เอง เช่น ฟิล์มบริโอคได้ จึงกลับมาได้รับความสนใจมากขึ้นอีกครั้งในขณะนี้

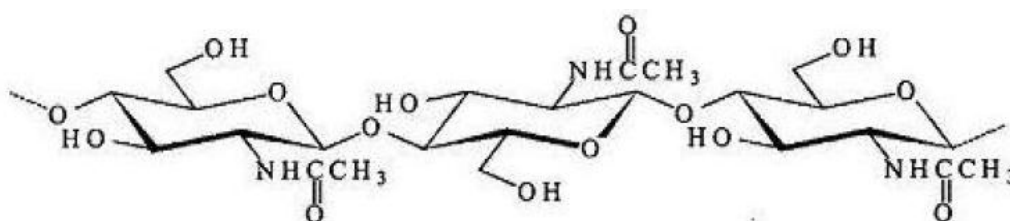
ฟิล์มบริโอคได้จัดว่าเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยวัตถุดิบในการผลิตส่วนใหญ่มาจากวัสดุธรรมชาติทั้งในกลุ่ม พอลิแซ็กคาไรด์เช่น สตาร์ช เพคติน ไคโตซาน จากโปรตีนเช่น คอลลาเจน เจลาติน จากลิพิดเช่น กรดไขมัน ขี้ผึ้ง และจากวัสดุเชิงประกอบจากวัสดุตั้งต้นต่างๆ ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ทั้งนี้ฟิล์มบริโอคได้แต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นกับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตที่แตกต่างกัน (Arvanitoyannis, 2008)

สมบัติหนึ่งที่สำคัญสำหรับฟิล์มบริโอคได้คือ สมบัติเชิงกลได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และร้อยละการยืด (Percent elongation) โดยสมบัติเหล่านี้ขึ้นกับชนิดของวัสดุตั้งต้น โครงสร้างโมเลกุล และกระบวนการขึ้นรูปฟิล์ม อีกทั้งยังขึ้นกับการเติมสารเติมแต่งต่างๆ เช่น การเติมพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) เพื่อช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์ม ทำให้ฟิล์มที่ได้มีความสามารถในการยืดที่ดียิ่งขึ้น

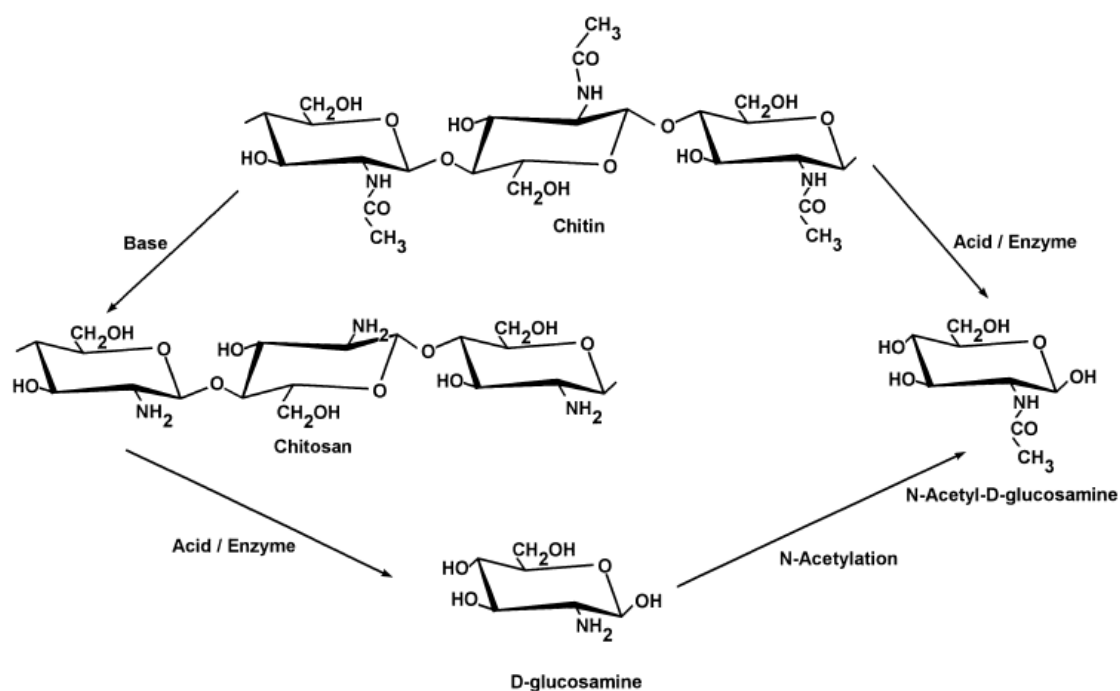
2.2 ไคโตซาน

ไคตินและไคโตซานเป็นโพลีเมอร์ธรรมชาติระหว่างโมโนเมอร์ของ anhydro-N-acetyl-D-glucosamine และ anhydro-D-glucosamine โดยไคตินจะมีสัดส่วนการร่วมกันของโมโนเมอร์ตัวแรกมากกว่าแสดงในรูปที่ 2.1 ส่วนไคโตซานจะมีสัดส่วนของโมโนเมอร์ตัวที่สองมากกว่าตัวแรก ดังนั้นอนุพันธ์ของไคตินและไคโตซานจึงอยู่ในกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสซึ่งมีไนโตรเจน โดยไคโตซานจัดเป็นพอลิเมอร์ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งได้จากการเกิดปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิติล (Deacetylation reaction) ของไคติน ทำให้หมู่ฟังก์ชันที่มีไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมที่เป็นหมู่อะซิดามิโด (-NHCOCH₃) ไปอยู่ในรูปหมู่เอมิโน (-NH₂) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 (ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์, 2544) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ไคโตซานไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในกรด และเป็นวัสดุชีวภาพที่ไม่เป็นพิษ ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ จึงมีความปลอดภัยในการนำไคโตซานมาประยุกต์ใช้งาน (Li และคณะ, 1997; สุปราณี วิวัฒนชัยวงศ์ และคณะ, 2542)

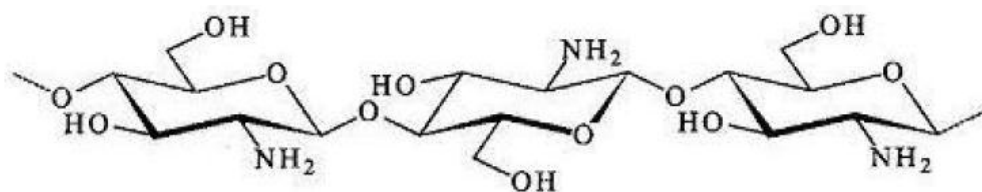
ไคโตซาน (C₆H₁₁NO₄)_n เกิดจากการดึงหมู่อะซิติลออกจากโครงสร้างไคตินหรือสารประกอบโครงสร้างส่วนใหญ่ของไคโตซานจะอยู่ในรูป Poly [β-(1→4)-2-amino-D-glucose] โดยมีโมเลกุลพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีหมู่เอมิโนมาประกอบเรียกว่า Poly amino glucose (Somashekar และ Joseph, 1996) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 การจัดระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานที่กล่าวไว้ข้างต้นนั้นมีค่าเป็นร้อยละหรือที่เรียกว่า Percent deacetylation ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานนี้มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของไคโตซาน โดยเป็นตัวกำหนดสมบัติทางเคมี กายภาพ และชีวภาพของไคโตซาน เช่นหากกำจัดหมู่อะซิติลไปร้อยละ 20 จะทำให้ได้ปริมาณไคโตซานที่ร้อยละ 50-100 แต่ถ้าปริมาณไคโตซานมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 50 ไคโตซานที่ได้จะไม่สามารถละลายได้ในกรดอ่อน หรือเรียกว่าไคติน สมบัติทั่วไปของสารละลายของไคโตซานนั้นจะมีความใส เหนียว มีพฤติกรรมแบบ Non-newtonian สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้เองตามธรรมชาติ โดยฟิล์มที่ได้มีลักษณะใสและยืดหยุ่นได้ดีพอสมควรซึ่งมีค่าร้อยละการยืดประมาณ 10-20 (ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์, 2544)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไคติน (ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์, 2544)



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในจากไคตินเป็นไคโตซาน (Shahidi และคณะ, 1999)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของไคโตซาน (ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์, 2544)

2.2.1 แหล่งวัตถุดิบธรรมชาติของไคโตซาน

ไคโตซานสามารถผลิตได้จากไคตินที่ได้จากวัตถุดิบธรรมชาติเช่น จากสัตว์ที่มีเปลือกแข็งและจุลินทรีย์บางชนิด โดยแหล่งวัตถุดิบของไคตินแสดงในตารางที่ 2.1 ปริมาณของไคตินต่อน้ำหนักแห้งของสัตว์ต่างๆ เหล่านี้มีปริมาณต่างกัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 องค์ประกอบหลักในเปลือกแข็งของสัตว์จำพวกกุ้งและปูประกอบด้วยโปรตีน (ร้อยละ 30-40) เกลือแร่ (ร้อยละ 30-50) และไคติน (ร้อยละ 13-42) เกลือแร่ส่วนใหญ่เป็นพวกเกลือฟอสเฟต (Phosphate) และคาร์บอเนต (Carbonate) ของแคลเซียมและแมกนีเซียม นอกจากนี้ยังมีไขมันและแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ในปริมาณเล็กน้อย (Synowiecki และ Al-Khateeb, 2003)

ตารางที่ 2.1 แหล่งวัตถุดิบสำคัญของไคติน (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2554)

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ประเภทมี-ข้อปล้อง (Arthropod)	แมลง (Insect)	จุลินทรีย์ (Microorganism)
หนอนทะเล (Annelida)	แมลงป่อง	สาหร่ายสีเขียว
หอย (Molluska)	แมงมุม	ยีสต์ (β -Type)
Coelentera	Brachiopods	เชื้อรา (ผนังเซลล์) ^b
Crustaceans	มด	เชื้อรา Penicillium ^b
กุ้งทะเลขนาดใหญ่ (Lobster) ^a	แมลงสาบ	สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำตาล
กุ้ง (Shrimp) ^a	แมลงปีกแข็ง	สปอร์
กุ้งนาง (Prawn) ^a	Chytridiaceae	
ตัวเคย (Krill)	Blastocladiaceae	
ปู (Crab) ^a	Ascomydes	

^aแหล่งวัตถุดิบในปัจจุบัน

^bแหล่งวัตถุดิบในอนาคตเมื่อความต้องการเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณร้อยละไคตินที่มีในสิ่งมีชีวิตต่างๆ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2554)

แหล่งวัตถุดิบ	ปริมาณร้อยละที่พบ
เชื้อรา	5-20
หนอน	20-38
ปลาหมึก	3-20
แมงป่อง	30
แมงมุม	38
แมลงสาบ	35
แมลงปีกแข็ง	37
กุ้ง	40
หนอนไหม	44
ปูเสฉวน	69
ปูหิน	70

2.2.2 फिल्मब्रिโกลได้จากไคโตซาน

ฟิล์มบรีโกลได้ซึ่งผลิตจากไคโตซานอาจใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร โดยมีสมบัติที่สำคัญของฟิล์มไคโตซานคือ ค่าร้อยละการยืด ค่าความแข็งแรงดึง และการป้องกันความชื้น จากงานวิจัยต่างๆ พบว่าสมบัติต่างๆ ดังกล่าวขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและกระบวนการที่ใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์ม โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

ไคโตซานมีสมบัติในการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม เพราะมีความเหนียว ไม่นึกขาดง่าย คงทนและยืดหยุ่น แผ่นฟิล์มที่ได้มีลักษณะเด่นในการป้องกันการสูญเสียความชื้น ไม่เป็นพิษ ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ และสามารถรับประทานได้ นอกจากนี้ยังมีสมบัติยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์หลายชนิด (นภาพร เชี่ยวชาญ และธนารัตน์ ศรีธรรวณิช, 2547; Prashanth และ Tharanathan, 2007) เนื่องจากไคโตซานไม่ละลายในน้ำ การเตรียมสารละลายสำหรับผลิตฟิล์มไคโตซานจึงต้องใช้กรดอินทรีย์เพื่อเป็นตัวทำละลาย เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid) กรดฟอร์มิก (Formic acid) กรดแลคติก (Lactic acid) กรดมาลิก (Malic acid) และกรดโพรพิโอนิก (Propionic acid) เป็นต้น ซึ่งชนิดของกรดที่ใช้ทำละลายจะมีผลต่อความหนืดและสมบัติต่างๆ ของฟิล์ม

Caner และคณะ (1998) ศึกษาสมบัติทางกลของฟิล์มไคโตซานโดยเปรียบเทียบชนิดของกรดที่เป็นตัวทำละลายของไคโตซานได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก กรดแลคติก กรดโพรพิโอนิก โดยใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ จากนั้นนำสารละลายที่ได้เข้าสู่กระบวนการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จึงนำฟิล์มมาเก็บที่อุณหภูมิ 22°C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40-60 ที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่าฟิล์มที่ผสมกรดอะซิติกมีค่าร้อยละการยืดสูงสุด

Begin และ Van Calsteren (1999) ศึกษาสมบัติทางกลของฟิล์มไคโตซาน โดยเตรียมฟิล์มไคโตซานที่ใช้กรดเป็นตัวทำละลาย 5 ชนิด ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดแลคติก และกรดซิตริก พบว่าฟิล์มที่เตรียมโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก และฟอร์มิกมีความแข็งแรงและมีความเปราะ แต่มีความแข็งแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน ในส่วนของฟิล์มที่เตรียมโดยใช้กรดแลคติกและกรดซิตริกจะอ่อน แต่มีการยืดที่ดี ฟิล์มที่เตรียมโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกและกรดฟอร์มิกจะแข็งแรงมากพอที่จะสามารถไปผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ ในทางกลับกันการใช้ไคโตซานที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และการใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะได้ฟิล์มอ่อนซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้ในฟิล์มเคลือบต่างๆ

จากงานวิจัยต่างๆ ที่ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพของฟิล์มไคโตซาน พบว่าฟิล์มที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายมีค่าร้อยละการยึดที่ดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายไคโตซาน อย่างไรก็ตามฟิล์มไคโตซานก็ยังมีสมบัติทางกายภาพที่ด้อยกว่าฟิล์มพลาสติกทางการค้า ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาผลของการเติมพลาสติกไซเซออร์ในขั้นตอนการผสมเพื่อช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและความสามารถในการยึดของฟิล์ม

2.2.2.1 พลาสติกไซเซออร์

พลาสติกไซเซออร์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของของเหลวที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยทั่วไปพลาสติกไซเซออร์จะเข้าไปอยู่ในบริเวณที่เป็นพอลิเมอร์อสัณฐานและมีผลทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์เกิดการเคลื่อนตัวได้ดีขึ้น ทำให้ค่ามอดูลัส ค่าความแข็งแรงดึง ค่าความหนาแน่น และอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์มีค่าลดลง แต่ค่าร้อยละการยึดและค่าความเหนียวมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสิ่งที่ควรคำนึงในการเลือกใช้พลาสติกไซเซออร์ คือพลาสติกไซเซออร์ควรเข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์ มีความเสถียรทั้งที่อุณหภูมิต่ำและสูง (Rahman และ Brazel, 2004)

Martinez-Camacho และคณะ (2010) ศึกษาสมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลของฟิล์มไคโตซานที่ผลิตจากไคโตซานที่เตรียมขึ้นเองและไคโตซานการค้า โดยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายและใช้ชอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ จากผลการทดลองพบว่า การเติมชอร์บิทอลลงในไคโตซานที่เตรียมขึ้นเองช่วยเพิ่มร้อยละการยึดของฟิล์มได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มไคโตซานที่เตรียมขึ้นเอง ทั้งที่เติมและไม่เติมพลาสติกไซเซออร์ มีค่าต่ำกว่าค่าความแข็งแรงดึงของกระดาษแก้วทางการค้า (Commercial cellophane) ฟิล์มที่ผลิตจากไคโตซานทางการค้า ทั้งกรณีที่มีการเติมและไม่เติมพลาสติกไซเซออร์ มีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เพราะเกิดการผสมเข้ากันได้เป็นอย่างดีระหว่างไคโตซานและพลาสติกไซเซออร์

Arvanitoyannis และคณะ (1998) ศึกษาสมบัติทางกลของฟิล์มที่มีการผสมไคโตซานและเจลาติน โดยมีการเติมพลาสติกไซเซออร์ 2 ชนิด คือกลีเซอรอลและชอร์บิทอล โดยในขั้นตอนการผสมมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 22°C และ 60°C พบว่าการเติมพลาสติกไซเซออร์ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลงและทำให้ค่าร้อยละการยึดเพิ่มขึ้น โดยฟิล์มที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C ที่มีการผสมกลีเซอรอลรวมกับไคโตซานและเจลาตินมีค่าร้อยละการยึดสูงที่สุดประมาณ 39.6 นอกจากนี้การเติมกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ยังส่งผลให้ค่าอุณหภูมิหลอมเหลว ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วและค่าระดับความเป็นผลึกมีค่าลดลง

Bourtoom (2008) ศึกษาสมบัติทางกลของฟิล์มที่เตรียมจากสตาร์ข้าวและไคโตซาน โดยมีการผสมพลาสติกไซเซอรต่างๆ ได้แก่ ซอร์บิทอล กลีเซอรอล และพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 20, 40, 60 w/w จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของพลาสติกไซเซอรจะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลงและค่าร้อยละการยืดเพิ่มสูงขึ้น ฟิล์มที่เติมซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอรมีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่ากรณีการใช้พลาสติกไซเซอรชนิดอื่น ซึ่งมีค่าประมาณ 26.06 MPa ส่วนการเติมกลีเซอรอลและพอลิเอทิลีนไกลคอลทำให้โครงสร้างของฟิล์มมีความยืดหยุ่นจึงมีค่าความแข็งแรงดึงต่ำเพียง 14.31 และ 16.14 MPa ตามลำดับ นอกจากนี้ฟิล์มที่ผสมกลีเซอรอลมีค่าร้อยละการยืดของฟิล์มสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีการเติมพลาสติกไซเซอรชนิดอื่น เนื่องจากอนุภาคกลีเซอรอลมีขนาดเล็กจึงสามารถแทรกตัวในช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ได้ดี

Bajdik และคณะ (2009) ทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวและโครงสร้างจุลภาคของฟิล์มไคโตซานที่มีการผสมพลาสติกไซเซอร 2 ชนิดคือ กลีเซอรอลและพอลิเอทิลีนไกลคอล และขึ้นรูปโดยนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิห้อง จากการทดสอบพบว่าฟิล์มที่ผสมกลีเซอรอลมีความเป็นขั้ว (Polarity) สูงกว่าฟิล์มที่ผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล อีกทั้งการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอรยังส่งผลให้โครงสร้างของฟิล์มไคโตซานมีความแข็งแรงที่ดีกว่า เนื่องจากอนุภาคกลีเซอรอลมีการสร้างพันธะไฮโดรเจนในขณะเดียวกันนั้นพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ไคโตซานด้วยกันเองถูกทำลาย โดยระหว่างที่พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ไคโตซานถูกทำลายนั้นจะถูกแทนที่ด้วยโครงสร้างพันธะไฮโดรเจนของกลีเซอรอล จนกลายเป็นฟิล์มที่มีความยืดหยุ่น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอรเพื่อช่วยเพิ่มค่าร้อยละการยืดของฟิล์มและจากงานวิจัยของ Thakhiew และคณะ (2010) ซึ่งศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มไคโตซานที่มีการเติมกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอรที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (ร้อยละ 0, 25, 75 และ 125 w/w) พบว่าปริมาณกลีเซอรอลสูงสุดที่สามารถเติมได้คือร้อยละ 25 (w/w) ฟิล์มที่ได้มีค่าการต้านแรงดึงขาดประมาณ 50 MPa และร้อยละการยืดประมาณ 20 โดยหากเพิ่มความเข้มข้นของกลีเซอรอลให้สูงกว่านี้กลีเซอรอลอาจแยกชั้นออกจากไคโตซาน จึงทำให้ไม่เหมาะสมแก่การใช้งาน ดังนั้นการเติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 25 (w/w) จึงน่าจะเหมาะสมที่สุด

อย่างไรก็ตามฟิล์มไคโตซานที่ได้จากการเติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 25 (w/w) ยังมีค่าร้อยละการยืดต่ำกว่าฟิล์มทางด้านการค้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษากระบวนการทางกายภาพในขั้นตอนการผสมเพื่อพัฒนาสมบัติทางกลและทางกายภาพของฟิล์มไคโตซาน

2.3 ผลของกระบวนการทางกายภาพที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์ม

ไคโตซาน

กระบวนการทางกายภาพที่มีการใช้ในขั้นตอนการเตรียมสารละลายก่อเกิดฟิล์มและอาจส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มมีหลากหลายกระบวนการด้วยกัน เช่นจากงานวิจัยของ Kang และ Min (2010) ซึ่งศึกษาและพัฒนาฟิล์มจากเปลือกมันฝรั่งโดยใช้กระบวนการ 3 กระบวนการเข้าร่วมในขั้นตอนการเตรียมสารละลาย คือ การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันที่ความดันสูง การฉายรังสี และการใช้อัลตราซาวด์ พบว่าฟิล์มที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันที่ความดันสูงจะมีสมบัติทางกายภาพที่ดีและมีผิวฟิล์มเรียบที่สุด เนื่องจากกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันที่ความดันสูงนี้สามารถลดขนาดสายโซ่พอลิเมอร์ให้สั้นลงได้มากที่สุดโดยใช้แรงเฉือนและความดันสูงในขณะเดียวกัน ส่วนการฉายรังสีนั้นจะสามารถลดขนาดของสายโซ่พอลิเมอร์ได้ในระดับที่รองลงมา โดยการใช้พลังงานที่ได้รับมาจากรังสีไปเหนี่ยวนำให้เกิดการแตกพันธะภายในโครงสร้างของพอลิเมอร์ทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์มีขนาดสั้นลง ในขณะที่การใช้อัลตราซาวด์นั้นจะลดขนาดของสายโซ่พอลิเมอร์โดยการใช้คลื่นเสียงที่ระดับความถี่สูง (Ultrasonic) เพื่อก่อให้เกิดควาเวชัน (Cavitation) ภายในสารละลายก่อเกิดฟิล์ม โดย Micro-streaming และแรง Localized high shear ที่เกิดขึ้นจากการเกิดควาเวชันนี้จะสามารถลดขนาดของสายโซ่พอลิเมอร์ลงได้แต่ยังไม่ดีพอ ดังนั้นฟิล์มที่ได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการอัลตราซาวด์นี้จึงมีผิวของฟิล์มที่หยาบและโครงสร้างของฟิล์มที่ไม่แข็งแรงเมื่อเปรียบเทียบกับ 2 กระบวนการข้างต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษากระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันเพียง 2 กระบวนการ ได้แก่ การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยความเร็วรอบสูง และการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูงแบบ 2 ชั้น เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มไคโตซานซึ่งจะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

2.3.1 การทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenization)

โดยทั่วไปสารละลายไคโตซานที่เกิดจากการผสมของไคโตซานและกลีเซอรอลนั้นจะไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีนัก หรืออาจเกิดการแยกชั้นกันได้ งานวิจัยนี้จึงศึกษากระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันซึ่งเป็นกระบวนการที่ช่วยทำให้ของเหลว 2 ชนิดขึ้นไป เกิดการผสมกันเป็นเนื้อเดียวกันหรือเกิดความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion stability) โดยกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันนี้อาศัยแรง

เงื่อนไขที่เกิดขึ้นระหว่างการผสม ส่งผลให้เกิดการลดขนาดของของเหลวซึ่งเป็นวัฏภาคกระจายตัว (Dispersed phase) กระจายตัวในของเหลวอีกชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่าวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) เพื่อเพิ่มความคงตัวของสารผสมและทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวมากขึ้น (จันทิมา ภูงามเงิน, 2546) ในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงหลักการของการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน ผลของการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอิมัลชัน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1.1 หลักการของการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน

หลักการของการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันคือ การให้งาน (Work) กับของเหลวที่ไหลผ่านช่องแคบ (Orifice) ด้วยความดันสูงและความเร็วที่สูงมากๆ ส่งผลให้เกิดแรงเฉือนที่ผิวหน้าของของเหลวขณะไหลผ่านช่องแคบด้วยความเร็วสูง หดของเหลวที่อยู่ใกล้ผนังช่องแคบมากที่สุดจึงมีแรงต้านที่เกิดจากแรงเสียดทานซึ่งกันและกัน โดยหากช่องแคบมีขนาดเล็กลงจะทำให้การไหลมีความเร็วมากขึ้น แรงเฉือนก็จะมากขึ้นด้วย (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2544) ปรากฏการณ์ดังกล่าวทำให้อนุภาคหรือหยดของเหลวที่กระจายอยู่ในวัฏภาคต่อเนื่องเกิดการแตกตัว (Disruption phenomena) ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

- กลไกการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) ก่อให้เกิดแรงเฉือน (Shearing force) ต่อวัฏภาคกระจายตัว และการไหลแบบปั่นป่วนเป็นกลไกสำคัญที่สุดที่ทำให้้อนุภาคแตกตัว ทำให้อนุภาคกระจายตัวสามารถกระจายอยู่ในวัฏภาคต่อเนื่องได้
- คาวิเทชัน (Cavitation) เกิดขึ้นเมื่อความดันในระบบลดลงต่ำกว่าความดันไอของของเหลว จึงทำให้เกิดฟองของไอ (Vapor bubbles) ซึ่งฟองของไอละเอียดจะแตกในบริเวณที่มีความดันสูง (ประมาณ $5 \times 10^6 - 5 \times 10^7$ Pa) ในการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันแบบความดันสูง (High-pressure homogenization) จะเกิดคาวิเทชันขึ้นเสมอ โดยคาวิเทชันทำให้กระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันมีประสิทธิภาพมากขึ้นเนื่องจากคาวิเทชันทำให้เกิดการแตกของวัฏภาคกระจายตัวมากขึ้น (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2544)

2.3.1.2 ชนิดของเครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน

เครื่องที่ทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenizer) มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน ซึ่งกระบวนการที่ศึกษาในงานวิจัยนี้มีดังนี้

- (1) เครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยความเร็วรอบสูง ประกอบด้วยหัวปั่นซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวผสมที่ความเร็วรอบสูง ทำให้เกิดแรงเฉือนต่อสารละลายที่ยังไม่สามารถรวมตัวกันได้ดี การหมุนของ

หัวปั่นที่ความเร็วรอบสูงนั้นจะทำให้สารต่างๆ ที่อยู่ภายในขณะถูกดูดเข้าในหัวปั่นในทิศทางตามแกนการหมุน หัวปั่นจะเหวี่ยงสารเหล่านั้นเกิดแรงเหวี่ยงและการแตกกระจายทำให้วัฏภาคทั้งสองวัฏภาคผสมกลายเป็นเนื้อเดียวกัน ลักษณะของเครื่องผสมนี้แสดงในรูปที่ 2.4 โดยเครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยความเร็วรอบสูงนี้เหมาะสำหรับใช้ในขั้นตอนการผสมอิมัลชันที่มีความหนืดต่ำ และมีความคงตัวค่อนข้างสูง (McClements, 1999)



รูปที่ 2.4 ลักษณะของเครื่องผสมที่ใช้ในการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยความเร็วสูง

(2) เครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยความดันสูง (High-pressure homogenizer) มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ปัมความดันสูง วาล์ว (Valve) และ Breaker ring ซึ่งอยู่รอบๆ วาล์ว หลักของการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยความดันสูง คือการให้ของเหลวชนกับผิวด้านในของ Breaker ring โดยในขณะที่ของเหลวถูกปั๊มผ่านช่องแคบของวาล์ว (ซึ่งโดยทั่วไปปรับขนาดได้ระหว่าง 15-300 μm) ที่ความดันสูง (อาจสูงถึง 10,000 psi) ซึ่งของเหลวเคลื่อนเข้าสู่ช่องแคบอาจถูกเร่งจนอาจมีความเร็วสูงถึง 50-200 m/s ความดันและความเร็วที่สูงมากนี้จะทำให้วัฏภาคกระจายตัวเกิดการเหวี่ยงซึ่งกันและกันจนเสียรูปร่างและแตกออก (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2544) นอกจากนี้ของเหลวที่ออกจากช่องแคบจะชนกับผิวซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการไหล จึงช่วยเร่งการฉีกขาดของอนุภาคในวัฏภาคกระจายตัวได้อีกทางหนึ่งด้วย และความดันที่ลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่ของเหลวออกจากช่องแคบก็อาจมีผลต่อการลดขนาดของอนุภาคเช่นเดียวกัน

โดยทั่วไปเครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยความดันสูง เมื่อพิจารณาตามลักษณะของวาล์วซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของเครื่องสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วย

ความดันสูงแบบมี 1 วาล์ว เรียกว่าเครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันแบบขั้นเดียว (Single-stage homogenizer) โดยปกติขนาดของอนุภาคของวัฏภาคกระจายตัวที่ทำได้จะอยู่ประมาณ 0.1-0.2 mm และอาจจะต่ำถึง 0.02 mm ส่วนเครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยความดันสูงแบบมี 2 วาล์ว เรียกว่าเครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันแบบ 2 ขั้น (Two-stage homogenizer) การที่ของเหลวเคลื่อนที่ผ่านช่องแคบหรือผ่านวาล์วถึง 2 ครั้ง จะทำให้วัฏภาคที่กระจายตัวมีขนาดเล็กลงกว่าการทำให้ของเหลวเคลื่อนที่ผ่านวาล์วเพียงครั้งเดียว (McClements, 1999) ดังนั้นของเหลวที่ผ่านเครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันแบบ 2 ขั้น จึงมีความคงตัวของอิมัลชันที่สูงกว่าของเหลวที่ผ่านเครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันแบบขั้นเดียว ในอุตสาหกรรมที่ผลิตอาหารที่เป็นอิมัลชัน เช่น นม และน้ำกะทิ จึงนิยมใช้เครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันแบบ 2 ขั้น เพื่อเพิ่มความคงตัวให้แก่ผลิตภัณฑ์มากยิ่งขึ้น โดยทั่วไปความดันที่ใช้ในการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันขั้นที่ 1 มักจะเป็นความดันที่สูงกว่าความดันที่ใช้ในการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันขั้นที่ 2 ลักษณะของเครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยความดันสูงนี้แสดงในรูปที่ 2.5 อนุภาคขนาดเล็กที่เกิดหลังจากการผ่านเครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันขั้นที่ 1 มีแนวโน้มที่กลับมารวมตัวกันอีก ทำให้อิมัลชันมีความคงตัวต่ำ ดังนั้นอาจแก้ปัญหาโดยการผ่านการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันขั้นที่ 2 ที่ความดันลดต่ำลง ทำให้อนุภาคที่กลับมารวมตัวกันแตกออกจากกันอีกครั้งหนึ่ง (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2544)

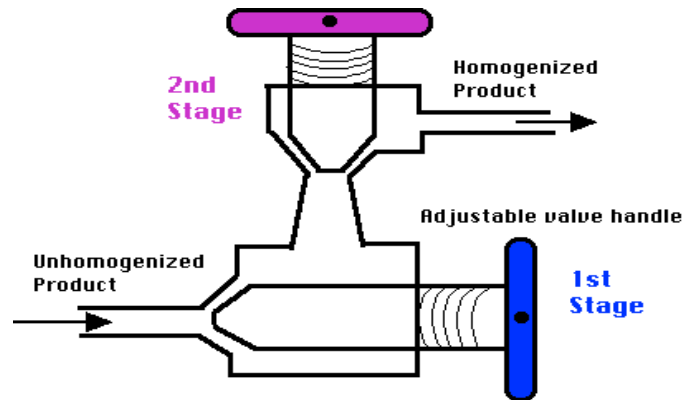
2.3.1.3 ผลของการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันต่อสมบัติของสารละลายฟิล์มบริโกลได้

การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นการทำให้ส่วนประกอบต่างๆ ของสารละลายฟิล์มเข้ากันได้ดีและมีความคงตัวมากขึ้น ส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของสารละลายฟิล์มบริโกลได้ โดยปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของของเหลวที่ผ่านการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันคือความดัน ซึ่งมีผลต่อขนาดของอนุภาคของเหลว โดยการทำให้ของเหลวมีขนาดเล็กลงจำเป็นต้องใช้ความดันสูงในการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.6

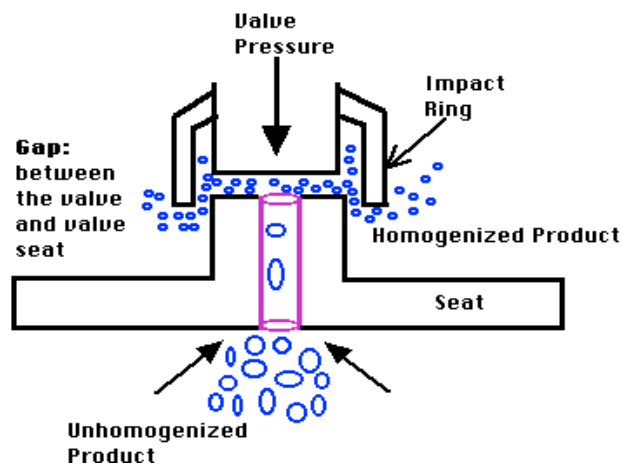
Sablani และคณะ (2009) ศึกษาสมบัติทางกลของฟิล์มบริโกลได้จากเปลือกแอปเปิ้ล โดยใช้กระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันที่ความดันสูง 138, 172 และ 207 MPa และใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยมีการผสมที่ความเข้มข้นร้อยละ 23, 33, 44 (w/w d.b.) จากผลการศึกษาพบว่า การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันที่ความดันสูงสุด 207 MPa มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงลดลง แต่ค่าร้อยละการยืดเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความดันมีผลทำให้เปลือกแอปเปิ้ลและพลาสติกไซเซอร์รวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีขึ้น ค่าความแข็งแรงจึงมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น จากเดิมร้อยละ 23 เป็นร้อยละ 44 (w/w d.b.) เนื่องจากพลาสติกไซเซอร์ช่วยเพิ่มระยะห่างระหว่างสาย

โซ่พอลิเมอร์ ช่องว่างระหว่างสายโซ่ที่เกิดขึ้นส่งผลให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ค่าความแข็งแรงจึงจึงมีค่าลดลง

ก)



ข)

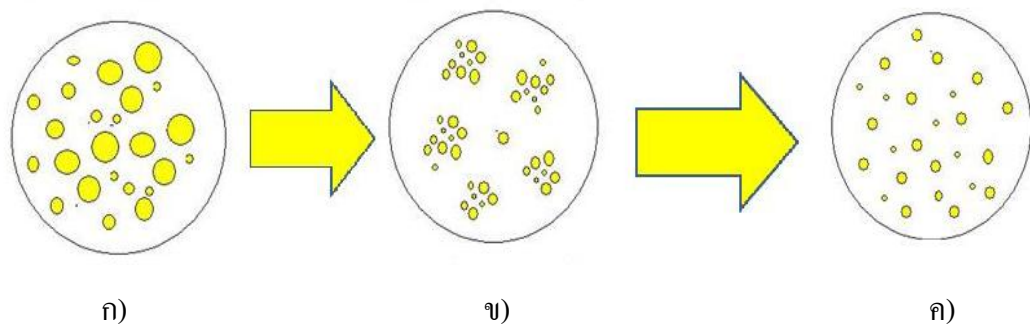


รูปที่ 2.5 เครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยความดันสูง

ก) ลักษณะขั้นตอนการทำงานของเครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยความดันสูงแบบ 2 ชั้น

ข) ลักษณะการทำงานเมื่อผ่านวาล์วในเครื่องทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยความดันสูง

(<http://www.uoguelph.ca/foodscience/dairy-science-and-technology/dairy-processing/homogenization-milk-and-milk-products/homogenization-m, 2555>)



รูปที่ 2.6 ขนาดอนุภาคของของเหลวที่ผ่านและไม่ผ่านการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูง

ก) ขนาดอนุภาคของของเหลวที่ไม่ผ่านการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน

ข) ขนาดอนุภาคของของเหลวที่ผ่านการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูงแบบ 1 ชั้น

ค) ขนาดอนุภาคของของเหลวที่ผ่านการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูงแบบ 2 ชั้น

(<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1026/homogenizer>, 2556)

Kang และ Min (2010) ศึกษาและพัฒนาฟิล์มจากเปลือกมันฝรั่งโดยใช้กลีเซอรอลผสมกับอิมัลซิฟายเออร์จากเลซิดินถั่วเหลืองเป็นพลาสติกไซเซอร์ จากนั้นเตรียมสารละลายเพื่อขึ้นรูปฟิล์มโดยใช้กระบวนการ 3 กระบวนการ คือ การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันที่ความดันสูง การฉายรังสี และการใช้อัลตราซาวด์ จากผลการทดลองพบว่าทั้ง 3 กระบวนการช่วยให้พื้นผิวฟิล์มเรียบ ไม่มีการแยกชั้นขณะอบแห้ง แต่กระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันที่ความดันสูงส่งผลให้ได้ฟิล์มที่มีสมบัติทางกายภาพดีและผิวฟิล์มเรียบที่สุดดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และเมื่อเติมกลีเซอรอลและเลซิดินถั่วเหลืองในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าร้อยละความแข็งแรงดึงของฟิล์มมีค่าลดลงแต่ค่าร้อยละการยืดมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกลีเซอรอลและเลซิดินถั่วเหลืองจะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นซึ่งจะช่วยให้สายโซ่โพลีโดซานมีความยืดหยุ่นและเกิดช่องว่างระหว่างสายโซ่โพลีโดซานเพิ่มมากขึ้น

Vargas และคณะ (2011) ศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มโพลีโดซานที่มีกรดโอเลอิกเป็นตัวทำละลาย โดยมีการใช้กระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันเข้าร่วม 2 กระบวนการคือ การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยการผสมที่ความเร็วรอบสูง 20, 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 นาที และการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยกระบวนการไมโครฟลูอิดิเคชันที่ความดัน 62, 83, 124 และ 165 MPa พบว่าโพลีโดซานที่ไม่มีการเติมกรดโอเลอิกและผ่านการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันจาก 2 กระบวนการนั้นมีค่าความแข็งแรงดึงและร้อยละการยืดไม่แตกต่างกัน แต่สำหรับโพลีโดซานที่เติมกรดโอเลอิกในทุกกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันนั้นมีผลให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากอนุภาคของกรดโอเลอิกเข้า

ไปขัดขวางการเกิดโครงสร้างพอลิเมอร์ นอกจากนี้การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยกระบวนการไมโครฟลูอิดิเคชันอาจก่อให้เกิดการเชื่อมโยงข้ามสายระหว่างสายโซ่โคโคซาน ดังนั้นความดันสูงสุดที่ 165 MPa จึงให้ฟิล์มที่มีค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มสูงขึ้นมากที่สุด แต่ค่าร้อยละการยืดมีค่าลดลงเนื่องจากกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันนี้ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้นจึงส่งผลให้การยืดตัวของฟิล์มน้อยลงตามไปด้วย

Fu และคณะ (2011) ศึกษาสมบัติทางกลของฟิล์มสตาร์ชจากข้าวโพดที่มีการใช้โซลิตอลและกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยใช้อัตราส่วนโซลิตอลต่อกลีเซอรอลเท่ากับ 1:1 สารละลายฟิล์มเตรียมโดยผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันที่ความดันสูง 10, 20, 30, 40 และ 50 MPa พบว่ากระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันที่ความดันสูงทำให้สายโซ่โมเลกุลของสตาร์ชจากข้าวโพดสั้นลงทำให้เกิดการกระจายตัวของสตาร์ชจากข้าวโพดและพลาสติกไซเซอร์เป็นเนื้อเดียวกัน โดยกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันที่ความดันสูงทำให้ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันเนื่องจากกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันทำให้สตาร์ชแตกตัวส่งผลให้อะไมโลสถูกปล่อยออกมาอยู่ในสารละลายฟิล์ม เมื่อเข้าสู่กระบวนการอบแห้งน้ำถูกระเหยอะไมโลสจึงกลับมาจัดเรียงตัวได้แน่นขึ้น นอกจากนี้ค่าร้อยละการยืดของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันเนื่องจากฟิล์มมีค่าระดับความเป็นผลึกเพิ่มสูงขึ้น โครงสร้างฟิล์มมีความแข็งแรงไม่ยืดหยุ่นจึงส่งผลให้ค่าร้อยละการยืดลดลง

Bonilla และคณะ (2012) ศึกษาสมบัติทางกลของฟิล์มโคโคซานน้ำหนักโมเลกุลสูงที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์และมีการเติมน้ำมันหอมระเหย 2 ชนิดคือ Basil oil และ Thyme oil นอกจากนี้ยังมีการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้กระบวนการไมโครฟลูอิดิเคชันที่ความดันสูง พบว่าฟิล์มที่ผ่านการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยกระบวนการไมโครฟลูอิดิเคชันที่ความดันสูงที่ความดัน 150 MPa มีสมบัติดีกว่าฟิล์มที่ไม่เข้าร่วมกระบวนการ เนื่องจากกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันช่วยลดขนาดหยดน้ำมันและทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันลดลง ฟิล์มโคโคซานจึงมีความสามารถในการดูดซับดีขึ้นในบริเวณรอยต่อระหว่างน้ำและน้ำมัน กระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันยังช่วยเพิ่มร้อยละการยืดของฟิล์ม เนื่องจากกระบวนการนี้ทำให้แรงกระทำระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์มีค่าลดลง

2.3.2 การให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มโพลีเอทาน

การให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มเป็นการเพิ่มระดับการเหนียวทำให้เกิดการเชื่อมโยงข้ามของสายโซ่พอลิเมอร์ (Crosslinkage) และช่วยปรับปรุงสมบัติทางกลของฟิล์มโพลีเอทาน โดยมีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้

2.3.2.1 หลักการให้ความร้อน

การให้ความร้อนเป็นกระบวนการที่ใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง โดยอาจใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร การถนอมรักษาอาหาร ปรับปรุงสมบัติการเป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนี้กระบวนการให้ความร้อนยังเป็นกระบวนการที่ช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการภายในผลิตภัณฑ์ เช่น ในกรณีของพอลิเมอร์การให้ความร้อนจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงข้ามของสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้โครงสร้างของพอลิเมอร์มีการเปลี่ยนแปลง โดยความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนและหมู่โมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำ จะทำให้ได้โครงสร้างแบบเปิด ซึ่งอุณหภูมิและเวลาการให้ความร้อนจะมีอิทธิพลต่อการเหนียวทำให้เกิดการเชื่อมโยงข้ามของสายโซ่พอลิเมอร์ (Wihodo and Moraru, 2013)

2.3.2.2 ผลของการให้ความร้อนต่อสมบัติของสารละลายฟิล์มบริโกลได้

Stuchell และ Krochta (1994) เปรียบเทียบสมบัติของฟิล์มโพรตีนสกัดจากถั่วเหลืองที่เตรียมจากสารละลายฟิล์มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85°C พบว่าฟิล์มซึ่งเตรียมจากสารละลายซึ่งผ่านกระบวนการให้ความร้อนมีค่าความแข็งแรงดึงและค่าร้อยละการยืดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ให้ความร้อน โดยการให้ความร้อนจะทำให้โพรตีนจากถั่วเหลืองเสียสภาพซึ่งจะช่วยเพิ่มการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโพรตีนและโพรตีน ทำให้โมเลกุลจัดเรียงตัวใกล้ชิดกันมากขึ้นและลดการเคลื่อนตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ นอกจากนี้ลักษณะภายนอกของฟิล์มยังมีความเรียบและโปร่งใสมากกว่าฟิล์มที่ไม่ให้ความร้อน

Micard และคณะ (2000) ศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มโพรตีนจากข้าวสาลีที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80, 95, 110, 125°C เป็นเวลา 15 นาที และ 140°C เป็นเวลา 1.5 และ 15 นาที พบว่าการให้ความร้อนสารละลายฟิล์มก่อนการขึ้นรูปทำให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่ากรณีที่ไม่ให้ความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการให้ความร้อนทำให้เกิดการเชื่อมโยงข้ามของ

สายโซ่พอลิเมอร์ระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) และพันธะไดซัลไฟด์ จึงส่งผลให้ค่าร้อยละการยึดต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนด้วย

Perez-Gago และ Krochta (2001) ศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มโปรตีนจากเวย์ โดยเปรียบเทียบฟิล์มที่ผลิตจากสารละลายฟิล์มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและฟิล์มที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70, 80, 90 และ 100°C โดยใช้ระยะเวลาต่างๆ ที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที ผลการทดลองพบว่าฟิล์มที่เตรียมจากสารละลายที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนจะมีค่าร้อยละการบวมตัว (Swelling) สูงกว่าฟิล์มที่ผ่านการให้ความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ฟิล์มที่เตรียมจากสารละลายที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนในทุกกรณีมีค่าความแข็งแรงดึงและค่าร้อยละการยึดเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการให้ความร้อน เนื่องจากฟิล์มที่ไม่มีการให้ความร้อนจะมีพลังงานในการเกิดพันธะต่ำ เมื่อสารละลายฟิล์มมีการให้ความร้อนทำให้โครงสร้างทรงกลมของโมเลกุลโปรตีนเกิดการคลายตัว เกิดเป็นพันธะไดซัลไฟด์โคเวเลนต์ ส่งผลให้ฟิล์มมีความแข็งแรงและทนต่อการเสียรูปได้สูงขึ้น

Liu และคณะ (2004) ศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มโปรตีนจากถั่วลิสงที่มีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70, 80 และ 90°C เป็นเวลา 30 นาที พบว่าฟิล์มโปรตีนจากถั่วลิสงที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงมีค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากการให้ความร้อนแก่สารละลายฟิล์มโปรตีนอาจทำให้เกิดการเชื่อมโยงข้ามของสายโซ่พอลิเมอร์ ส่วนค่าร้อยละการยึดมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

Xu และคณะ (2005) เตรียมฟิล์มไคโตซานและสตาร์ช โดยให้ความร้อนในขั้นตอนการผสมสารละลายไคโตซานและสตาร์ชข้าวโพด 2 ชนิด คือ สตาร์ชข้าวโพดแบบทั่วไป และสตาร์ชข้าวโพดแบบแวกซ์สตาร์ช ซึ่งโครงสร้างของไคโตซานจะเกิดการเชื่อมโยงข้ามสายโซ่พอลิเมอร์โดยพันธะไฮโดรเจนของหมู่เอมิโน (NH_2) ของไคโตซานจะรับโปรตอน (H^+) กลายเป็น (NH_3^+) ในสภาวะกรด ขณะที่โครงสร้างผลึกของสตาร์ชถูกทำลายส่งผลให้เกิดหมู่ OH^- ซึ่งจะเกิดการเชื่อมโยงข้ามสายกับไคโตซาน (NH_3^+) จากการทดลองพบว่าฟิล์มไคโตซานที่ผสมสตาร์ชข้าวโพดแบบทั่วไปให้ค่าความแข็งแรงดึงและร้อยละการยึดสูงกว่าฟิล์มไคโตซานที่ผสมสตาร์ชข้าวโพดแบบแวกซ์สตาร์ช เนื่องจากความแตกต่างขององค์ประกอบของอะไมโลสที่มีอยู่ในสตาร์ชทั้ง 2 แบบ ซึ่งสตาร์ชข้าวโพดแบบทั่วไปมีอะไมโลสประมาณร้อยละ 25 และสตาร์ชข้าวโพดแบบแวกซ์สตาร์ชมีอะไมโลเพคตินร้อยละ 100 ซึ่งอะไมโลสเป็นพอลิเมอร์แบบเส้นตรงยาวทำให้สามารถมีการจัดเรียงตัวคล้ายกับสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานและสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนต่อกันได้ดี แต่อะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์แบบกึ่งที่มีโมเลกุลแบบสแตยริค ซึ่งทำให้โอกาสในการเกิดพันธะไฮโดรเจนลดลง ซึ่งการเติมสตาร์ชในปริมาณมากขึ้นจะส่งผลทำให้ฟิล์มที่ได้มีความเปราะและความยืดหยุ่นของฟิล์มต่ำลง และจากการ

ทดสอบด้วยเทคนิค XRD พบว่าฟิล์มไคซานที่ผสมสตาร์ข้าวโพดแบบทั่วไปมีโครงสร้างผลึกมากกว่าฟิล์มไคซานที่ผสมสตาร์ข้าวโพดแบบเร็กชีสตาร์ที่มีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นอสัณฐาน

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าฟิล์มที่เตรียมโดยผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันอาจมีค่าความแข็งแรงดึงและค่าร้อยละการยืดเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งการให้ความร้อนในระหว่างการเตรียมสารละลายฟิล์มอาจทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและร้อยละการยืดของฟิล์มมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันและกระบวนการให้ความร้อนในระหว่างขั้นตอนการเตรียมสารละลายฟิล์มไคโดซานที่มีคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของฟิล์ม โดยคาดว่ากระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันอาจทำให้อนุภาคของกลีเซอรอลมีขนาดเล็กลงและสามารถแทรกตัวในช่องว่างระหว่างสายโซ่ไคโดซานได้ดียิ่งขึ้น และกระบวนการให้ความร้อนอาจเพิ่มการเหนียวทำให้เกิดการเชื่อมโยงข้ามของสายโซ่พอลิเมอร์ภายในสายโซ่พอลิเมอร์ของฟิล์มไคโดซานระหว่างบริเวณสายหลักของไคโดซานที่ NH_3^+ และ OH^- ได้