

การปรับปรุงสมบัติทางกลของฟิล์มบริโภาคได้จากไคโตซานโดยวิธีการทางกายภาพ

*มานิดาจำปาหอม¹, สักกมนเทพหัตถ์สินณอยุธยา² และสมชาติโสภณรณฤทธิ์¹

¹สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุกรุงเทพฯ 10140

²ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุกรุงเทพฯ 10140

ผู้เขียนติดต่อ: มานิดา จำปาหอม E-mail: chocball22@gmail.com

บทคัดย่อ

แม้จะเป็นที่ยอมรับกันว่าฟิล์มบริโภาคได้ซึ่งเตรียมจากพอลิเมอร์ชีวภาพมีสมบัติบางประการที่น่าสนใจแต่ฟิล์มบริโภาคได้มีสมบัติทางกลด้อยกว่าฟิล์มที่เตรียมจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดงานวิจัยนี้จึงมุ่งปรับปรุงสมบัติทางกลของฟิล์มบริโภาคได้โดยเลือกศึกษาฟิล์มที่เตรียมจากไคโตซานทั้งนี้ศึกษาผลของกระบวนการทางกายภาพบางกระบวนการที่อาจนำมาใช้ร่วมกับขั้นตอนการเตรียมสารละลายก่อเกิดฟิล์มได้แก่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดการเชื่อมโยงข้ามของสายโซ่ไคโตซานด้วยความร้อนนอกจากนี้ยังศึกษากระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันของสารละลายไคโตซานและพลาสติกไซเซอร์ (กลีเซอรอล) แบบต่างๆได้แก่การผสมที่ความเร็วรอบสูง 9600 รอบต่อนาทีที่ความดันบรรยากาศและการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูงแบบ 2 ชั้นที่ความดันเกจ 10/5 MPa, 20/5 MPa และ 30/5 MPa หลังจากเตรียมสารละลายก่อเกิดฟิล์มแล้วนำสารละลายดังกล่าวไปอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจากนั้นทดสอบสมบัติทางกลของฟิล์มที่ได้ในเทอมของค่าเปอร์เซ็นต์การยืดและค่าความแข็งแรงดึงจากผลการทดลองพบว่ากระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูงแบบ 2 ชั้นทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของฟิล์มเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: การเชื่อมโยงข้ามด้วยความร้อน; การทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน; การผสม; การอบแห้งแบบลมร้อน; พลาสติกไซเซอร์

1. บทนำ

ปัจจุบันบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารส่วนใหญ่ผลิตจากพลาสติก เนื่องจากพลาสติกมีความเหนียวใส สามารถบรรจุสิ่งของที่มีน้ำหนักมาก และป้องกันความเสียหายของอาหารที่อาจเกิดจากความชื้นและออกซิเจนได้เป็นอย่างดี ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารเป็นเวลานาน อย่างไรก็ตามบรรจุภัณฑ์พลาสติกผลิตจากวัตถุดิบซึ่งเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป [1] นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์พลาสติกยังเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ยาก จึงไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุนี้จึงมีงานวิจัยเป็นจำนวนมากที่มุ่งพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติ (Biodegradable Packagings) ภายใต้อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม [2] บรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติที่ได้รับความสนใจมากที่สุดชนิดหนึ่งคือพอลิแซคคา

ไรต์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่พบมากในผลผลิตทางการเกษตรหรือโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงแก่สิ่งมีชีวิตพวกกุ้ง ปู และหมีก (เช่นกรณีของเปลือกกุ้ง กระดองปู และแกนหมีก) [3] งานวิจัยนี้จึงศึกษากระบวนการเตรียมฟิล์มบริโภาคได้จากไคโตซานซึ่งเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่มีปริมาณมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส ไคโตซานผลิตได้จากปฏิกิริยากำจัดหมู่แอสิติลของไคติน มีองค์ประกอบเป็นกลูโคซามีน (Glucosamine) และเอ็น-แอสิติลกลูโคซามีน (N-acetyled Glucosamine) เชื่อมต่อสายพอลิเมอร์ด้วยพันธะ (1-4) - กลูโคไซด์ิก [(1-4) Glucosidic Bonds] [4]

โดยทั่วไปแล้วฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากไคโตซานจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่ต่ำกว่าฟิล์มทางการค้า โดยจากการศึกษาของ Thakhiew et al. (2010) พบว่าฟิล์มบริโภาคได้จากไคโตซานมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดประมาณ 20



เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ฟิล์มการค้ำค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของฟิล์มประมาณ 60~90 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติการยืดของฟิล์มบริโภาคได้จากโคโตซาน โดยคาดว่าเวลาที่ฟิล์มโคโตซานมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดต่ำ [5] อาจเนื่องจากในขั้นตอนการผสม อนุภาคของกลีเซอรอลแทรกตัวในสายโซ่พอลิเมอร์ได้ไม่ดีพอ ดังนั้นหากปรับปรุงขั้นตอนการผสมสารละลายก่อเกิดฟิล์มโคโตซานโดยใช้กระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (โฮโมจีไนซ์เซชัน) ที่ความดันบรรยากาศโดยการผสมด้วยความเร็วรอบสูง หรือการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (โฮโมจีไนซ์เซชัน) โดยใช้ความดันสูงแบบ 2 ชั้น จะสามารถพัฒนาสมบัติทางกลบางประการ เช่น สมบัติการยืดของฟิล์มบริโภาคได้จากโคโตซานได้ นอกจากนี้ยังได้ทดลองการให้ความร้อนในระหว่างขั้นตอนการผสมสารละลายก่อเกิดฟิล์มโคโตซาน เพื่อเป็นการเพิ่มระดับการเชื่อมโยงข้ามของสายโซ่พอลิเมอร์ (Crosslinkage) ซึ่งอาจช่วยปรับปรุงสมบัติทางกลของฟิล์มโคโตซานได้อีกทางหนึ่งด้วย

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

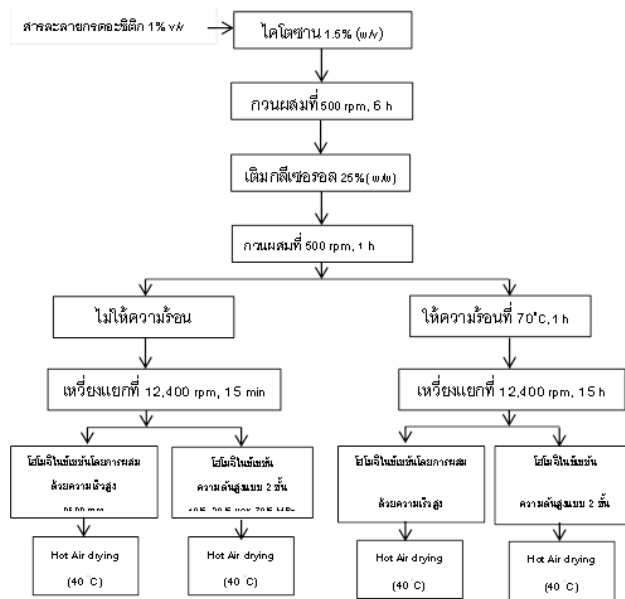
ในขั้นตอนการเตรียมสารละลายก่อเกิดฟิล์มโคโตซาน ใช้โคโตซานจากบริษัท S.K. Profishery Co., Ltd. (น้ำหนักโมเลกุล 900,000 Da และเปอร์เซ็นต์การดึงหมู่เอซิติลประมาณ 90.20) กลีเซอรอลจากบริษัท Carlo Erba (Val de Reuil, Italy) และกรดอะซิติคจากบริษัท Merck (Darmstadt, Germany) สามารถแบ่งลำดับขั้นตอนการเตรียมสารละลายโคโตซานได้ดังนี้ [5]

เตรียมสารละลายโคโตซานความเข้มข้น 1.5% (w/v) ผสมในสารละลายกรดอะซิติค 1% (v/v) โดยใช้ เครื่องผสม (Framo-Geratechnik, รุ่น M 21/1, Eisenbach, Germany) ที่ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที อนุภาคของ 6 ชั่วโมง จากนั้นจึงเติมกลีเซอรอลที่ 25% (w/w) ลงในสารละลายโคโตซานที่ได้ผสมไว้โดยใช้

เครื่องผสมที่ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายโคโตซานที่ได้เข้าสู่กระบวนการเหวี่ยงแยกที่ความเร็วรอบ 12,400 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที (Hitachi, รุ่น HimacCR21, Ibaraki, Japan) เพื่อกำจัดอนุภาคสิ่งแปลกปลอมในสารละลายโคโตซาน จากนั้นนำสารละลายโคโตซานที่เหวี่ยงแยกแล้วเข้าสู่กระบวนการ 2 กระบวนการ คือการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และไม่ทำการให้ความร้อน

จากนั้นนำสารละลายโคโตซาน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการให้ความร้อนเข้าสู่กระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยศึกษากระบวนการผสมที่ความเร็วรอบสูง 9600 รอบต่อนาที ที่ความดันบรรยากาศ และกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูงแบบ 2 ชั้น ที่ความดันแกว 3 ระดับ คือ 10/5 MPa, 20/5 MPa และ 30/5 MPa สารละลายก่อเกิดฟิล์มโคโตซานที่ผ่านการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันอาจมีฟองอากาศหลงเหลืออยู่จึงต้องตั้งสารละลายทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อลดปริมาณฟองในฟิล์มโคโตซาน ในการศึกษาครั้งนี้ใช้สารละลายก่อเกิดฟิล์มโคโตซานที่ไม่ให้ความร้อนและไม่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นตัวอย่างควบคุม

นำสารละลายก่อเกิดฟิล์มโคโตซานน้ำหนัก 30 กรัม ที่ได้จากการผ่านกระบวนการต่างๆ ที่กล่าวไว้ข้างต้นเทลงบนแผ่นอะคริลิกที่มีขนาด 16x18 ซม. เพื่อเตรียมขึ้นรูปฟิล์มให้ได้ความหนา 15 μm [6] จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 °C ให้ได้ความชื้นสุดท้าย 14 % (d.b.) นำฟิล์มโคโตซานที่ได้มาบ่มที่ความชื้นสัมพัทธ์ 75 % เป็นเวลา 48 ชั่วโมงเพื่อให้ฟิล์มโคโตซานมีความชื้นคงที่ จากนั้นนำตัวอย่างไปหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืด (Percent elongation) และค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์ม (Tensile strength) โดยสามารถสรุปแผนภูมิขั้นตอนการดำเนินการทดลองได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภูมิขั้นตอนและเงื่อนไขการดำเนินการทดลอง

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งฟิล์มโคโตะซาน สามารถทำนายระยะเวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้งฟิล์มโคโตะซานที่ผ่านกระบวนการเตรียมต่างๆกัน พบว่ากรณีที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนสารละลายก่อเกิดฟิล์มโคโตะซานที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยการผสมที่ความเร็วรอบสูง 9,600 รอบต่อนาทีที่ความดันบรรยากาศจะใช้เวลาในการอบแห้งลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสารละลายที่ไม่ผ่านการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (ตารางที่ 1) แต่เมื่อนำสารละลายดังกล่าวมาผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูงแบบ 2 ชั้น ที่ความดันเกจ 10/5, 20/5 และ

ตารางที่ 1 เวลาการอบแห้งฟิล์มที่ผ่านกระบวนการต่างๆ โดยกำหนดความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 14% (d.b.)

		ไม่ให้ความร้อน (นาท)	ให้ความร้อน (นาท)
ไม่มีการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน		743	711
การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันที่ความเร็วรอบสูง		672	674
การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูงแบบ 2 ชั้น	10/5 MPa	869	853
	20/5 MPa	939	907
	30/5 MPa	985	971

เมื่อนำฟิล์มโคโตะซานไปวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดและความแข็งแรงดึง (ตารางที่ 2) พบว่ากรณีฟิล์มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ฟิล์มโคโตะซานที่ไม่ผ่านและผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยการผสมที่ความเร็ว

30/5 MPa พบว่าต้องใช้เวลาในการอบแห้งขึ้นตามความดันที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูงแบบ 2 ชั้นนั้นเป็นกระบวนการที่ช่วยให้กลีเซอรอลแทรกตัวในสายโซ่โคโตะซานได้ดีขึ้น ซึ่งกลีเซอรอลนั้นเป็นพลาสติกไฮโดรฟิลิกที่สมบัติน้ำ (hydrophilic) [7] จึงทำให้ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น

กรณีที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนพบว่า การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งของฟิล์มที่นำไปผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยวิธีต่างๆ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ดังแสดงในตารางที่ 1

รอบสูง 9,600 rpm มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดและค่าความแข็งแรงดึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยการผสมที่ความเร็วรอบสูง 9,600 rpm อาจไม่สามารถลดขนาดกลีเซอรอลได้ดี



พอ จึงส่งผลให้กลีเซอรอลไม่สามารถเข้าไปแทรกตัวอยู่ในสายโซโม่เลกุลของโคโคซานได้ ในทางตรงกันข้ามกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูงแบบ 2 ชั้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มมีค่าสูงขึ้นเป็น 46.4 MPa ที่ความดัน 10/5 MPa (เทียบกับค่าของตัวอย่างควบคุมที่ 37.8 MPa) แต่เมื่อมีการเพิ่มความดันเป็น 20/5 MPa, 30/5 MPa ค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มจะมีค่าลดลงเป็น 34.6 MPa และ 33.1 MPa ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเพิ่มความดันในกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูงแบบ 2 ชั้นนี้อาจทำให้ขนาดอนุภาคของกลีเซอรอลเล็กลง และสามารถกระจายตัวในสารละลายได้ดีขึ้นกลีเซอรอลจึงอาจแทรกตัวในสายโซโคโคซานได้มากขึ้น [8] ส่งผลให้ฟิล์มโคโคซานที่เตรียมได้นี้มีค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มต่ำลงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงผลในตารางที่ 2

ส่วนกรณีของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนพบว่าฟิล์มที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยการผสมที่ความเร็วรอบสูง 9,600 รอบต่อนาทีจะมีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าฟิล์มที่ไม่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน แต่จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อฟิล์มผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูงแบบ 2 ชั้นพบว่า ค่าความแข็งแรงดึงจะสูงขึ้นเมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้นโดยที่ความดันสูงสุด (30/5 MPa) มีค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มมีค่าสูงที่สุด 59.2 MPa เนื่องจากกระบวนการให้ความร้อนช่วยทำให้เกิดการเชื่อมโยงข้ามของสายโซโคโคซานและกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูงแบบ 2 ชั้นนี้อาจทำให้ขนาดอนุภาคสายโซโคโคซานเล็กลงกระจายตัวได้ดีขึ้น จึงส่งผลให้มีสายโซโคโคซานที่มีการเชื่อมโยงกันกระจายตัวอยู่ในฟิล์มสูงขึ้นทำให้ค่าความ

แข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามค่าเปอร์เซ็นต์การยืดมีค่าลดลงเมื่อความดันสูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มที่ไม่ผ่านและผ่านการให้ความร้อนที่ทุกกระบวนการเตรียมฟิล์ม พบว่าการให้ความร้อนส่งผลให้ฟิล์มมีค่าความแข็งแรงดึงสูงขึ้นกว่ากรณีไม่ผ่านการให้ความร้อน เนื่องจากกระบวนการให้ความร้อนจะช่วยให้เกิดการเชื่อมโยงข้ามของสายโซโคโคซานดังที่กล่าวไว้แล้วในข้างต้น

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในกรณีไม่ให้ความร้อนพบว่าฟิล์มโคโคซานที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูงแบบ 2 ชั้น สามารถทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดเพิ่มขึ้นตามความดันอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มสูงขึ้นแล้วลดลงเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ส่วนกรณีให้ความร้อนพบว่ากระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูงแบบ 2 ชั้นที่ความดันสูงสุด (30/5 MPa) ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มมีค่าสูงขึ้นและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดมีค่าลดลง เนื่องจากความร้อนช่วยทำให้เกิดการเชื่อมโยงข้ามของสายโซโคโคซาน ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นฟิล์มโคโคซานในกรณีไม่ให้ความร้อนที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูงแบบ 2 ชั้น ที่ความดันสูง 30/5 MPa มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดสูงสุด 37.0 เปอร์เซ็นต์จึงเป็นฟิล์มที่มีสมบัติทางกลใกล้เคียงกับความต้องการมากที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

ตารางที่ 2 ค่าการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืดและค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มโคโคซานที่เตรียมโดยวิธีการต่างๆ

กระบวนการผสมสารละลาย		ค่าความแข็งแรงดึง (MPa)	ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด (%)	
ไม่ให้ความร้อน	ไม่มีการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน	37.8 ± 1.3 ^b	28.7 ± 2.2 ^a	
	การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันที่ความเร็วรอบสูง	38.5 ± 2.9 ^b	29.1 ± 1.5 ^a	
	การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูงแบบ 2 ชั้น	10/5 MPa	46.4 ± 2.9 ^{cd}	35.9 ± 2.6 ^{de}
		20/5 MPa	34.6 ± 3.1 ^{ab}	36.3 ± 0.8 ^e

		30/5 MPa	33.1 ± 5.2 ^a	37.0 ± 3.8 ^e
ให้ความร้อน	ไม่มีการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน		44.9 ± 2.1 ^c	33.2 ± 1.5 ^{cd}
	การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันที่ความเร็วรอบสูง		49.4 ± 2.9 ^{de}	32.2 ± 3.8 ^{bc}
	การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความดันสูงแบบ 2 ชั้น	10/5 MPa	46.2 ± 5.8 ^{cd}	37.2 ± 2.0 ^e
		20/5 MPa	52.9 ± 2.0 ^e	29.9 ± 2.0 ^{ab}
30/5 MPa		59.2 ± 4.4 ^f	30.7 ± 2.9 ^{abc}	

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปกรณ์ โอภาประกาสิต และมณฑนา โอภาประกาสิต (2551). พอลิเมอร์กับปัญหาสิ่งแวดล้อม, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.vcharkarn.com/varticle/18774#P6>, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/06/2554
- [2] ปมทอง มาลากุล ณ อยุธยา (2553). Biodegradable Plastics, Plastic Focus, ปีที่ 13, ฉบับที่ 12, หน้า 12-13
- [3] ภาวดี เมธะคานนท์ (2544). เรื่อนำรู้ไคติน-ไคโตซาน, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, หน้า 11-12.
- [4] พูนทรัพย์ วิชัยพงษ์ (2548). สารนำรู้ไคติน-ไคโตซาน, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.dss-go.th/dssweb/starticles/files/bsp_12_2548_chitin-chitosan.pdf, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/06/2554
- [5] Thakhiew, W. Devahastin, S. and Soponronnarit S. (2010). Effects of Drying Methods and Plasticizer Concentration on Some Physical and Mechanical Properties of Edible Chitosan Films, Journal of Food Engineering, Vol. 99, No. 2, pp. 216-224.
- [6] Mayachiew, P. and Devahastin, S. (2008). Comparative Evaluation of Physical Properties of Edible Chitosan Films Prepared by Different Drying Methods, Drying Technology, Vol. 26, No. 2, pp. 176-185.
- [7] Kang, H.J. and Min, S.C. (2010). Potato Peel-Based Biopolymer Film Development Using High-Pressure Homogenization, Irradiation, and Ultrasound, LWT - Food Science and Technology, Vol. 43, No. 6, pp. 903-909.
- [8] Sablani, S., Dasse, F., Bastarrachea, L., Dhawan, S., Hendrix, K.M. and Min, S.C. (2009). Apple Peel-Based Edible Film Development Using a High-Pressure Homogenization, Journal of Food Science, Vol. 74, No. 7, pp. E 372-381.