

การศึกษาคุณสมบัติบางประการของฟิล์มคีแตม

พรพฐ อัดแอ^{1*} วุฒิชัย นาครักษา^{1*}

บทคัดย่อ

ศึกษาปริมาณเจลโลสที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มคีแตม โดยใช้โคโตซาน 0.25 กรัมต่อเจลโลส 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 กรัม ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR พบว่า ฟิล์มคีแตมมีพีคในช่วง Wavenumbers 1635.37 ถึง 1636.84 cm^{-1} ปรากฏ แสดงให้เห็นถึงการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโคโตซานและเจลโลสที่เรียกว่า คีแตม (Chitam) และเมื่อนำฟิล์มที่ได้มาตรวจสมบัติบางประการของฟิล์มคีแตมที่ผลิตได้ พบว่า เมื่อดูภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พื้นผิวของฟิล์มคีแตมจะมีลักษณะขรุขระ ซึ่งฟิล์มคีแตมที่อัตราส่วนโคโตซานต่อเจลโลส 1:4 มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นดีที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณเจลโลสจะส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ปนเปื้อนในฟิล์มคีแตมมีปริมาณลดลง แต่เมื่อนำมาตรวจความต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (Clear zone) พบว่า ฟิล์มคีแตมไม่มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์

คำสำคัญ : ฟิล์มคีแตม, โคโตซาน, โซโลกลูแคน, เจลโลส, ความสามารถในการต้านจุลินทรีย์

¹ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร

* ผู้นิพนธ์หลัก e-mail: woatthichai.na@kmitl.com และ 60608029@kmitl.com

STUDY ON SOME PROPERTIES OF CHITAM FILMS

Pornpatu Adair^{1*} Woatthichai Narkrugs^{1*}**Abstract**

Study the appropriate jellose content in film production was conducted production by using Chitosan 0.25 g per 0.25, 0.50, 0.75 and 1.00 g of jellose respectively. From the FTIR resuted that all of Chitam films had peak time in the period of wavenumbers 1635.37 to 1636.84 cm^{-1} . It shows the formation of a complex between chitosan and jellose, namely Chitam. Films were examine some properties with the morphological of film by SEM, chitam films has a rough surface. Chitam film from chitosan:jellose ratio at 1:4 had the highest values of tensile strength and elongation at break. From total plate count, it reviewed that increasing ratio of jellose all microorganism will be reduced. Regarding with clear zone analysis, it was found that Chitam film at are not antimicrobial activity.

Keywords : Chitam film, Chitosan, Xyloglucan, Jellose, Anitimicrobial activity

¹ Faculty of Agro-Industry King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok

* Corresponding author, e-mail: woatthichai.na@kmitl.com และ 60608029@kmitl.com

บทนำ

มะขาม (*Tamarindus indica* L.) เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ อยู่ในตระกูล Fabaceae (Leguminosae) เจริญเติบโตในประเทศต่างๆ มากกว่า 50 ประเทศทั่วโลก (Kumar *et al.*, 2008) ประเทศไทยเป็นแหล่งปลูกมะขามขนาดใหญ่ มีอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับมะขามเป็นจำนวนมาก ซึ่งผลิตภัณฑ์มะขามส่วนมากจะใช้เฉพาะส่วนของเนื้อมะขาม ส่วนของเมล็ดมะขามเป็นของเหลือทิ้ง ซึ่งเนื้อในเมล็ดมะขามในส่วนของเอนโดสเปิร์มจะใช้ผลิตผงเมล็ดมะขาม (Tamarind kernel powder: TKP) ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของผงเมล็ดมะขามประกอบด้วยสารโพลีแซคคาไรด์ 50–60% โดยโพลีแซคคาไรด์หลักที่พบคือ ไซโลกลูแคน หรือที่เรียกกันว่า เจลโลส (Marathe *et al.*, 2002)

เจลโลสประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 3 ชนิด คือ น้ำตาลกลูโคส (glucose) น้ำตาลไซโลส (xylose) และน้ำตาลกาแลคโตส (galactose) ในอัตราส่วน 3 : 2.5 : 1 โดยมี (1→4)- β -D-glucan และ (1→6)- α -D-xylose เป็นสายกิ่ง และมี (1→2)- β -D-galactose เข้าแทนที่บางส่วน (Goyal *et al.*, 2008) ซึ่งเจลโลสมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูงและละลายน้ำได้ดี มีความคงตัวต่อความร้อน ความเป็นกรดต่าง และแรงเฉือน จึงทำให้เจลโลสถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ (El-Sidding *et al.*, 2006) อาทิเช่น เป็นสารให้ความข้นหนืด สารให้ความคงตัว สารทดแทนไขมัน หรือเป็นแป้งดัดแปรเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการไหลและความร้อนของผลิตภัณฑ์ต่างๆ (Kumar *et al.*, 2008; El-Sidding *et al.*, 2006)

โคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิดิลของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine ออกจากสายของไคตินตั้งแต่ 50 % ขึ้นไป (Aranaz *et al.*, 2014) ชื่อทางเคมีว่า Poly- β (1,2)-2-deoxy-D-glucose มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ไม่ละลายน้ำ แต่มีคุณสมบัติเป็น cationic polyelectrolyte, chelating และ dispersion forming และเนื่องจากมีหมู่ $-NH_2$ ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ทำให้โคโตซานสามารถละลายได้ในสารละลายกรดอ่อน (Kumar *et al.*, 2000) นอกจากนี้ยังมีประจุบนสายโมเลกุลจึงสามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติ โดยไม่ก่อให้เกิดการตกค้างหรือเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และยังมีคุณสมบัติในการดูดซับที่ดี ทำให้วัสดุเหล่านี้เหมาะที่จะนำมาเป็นวัสดุทางเลือกในอุตสาหกรรมผลิตโพลิเมอร์สังเคราะห์ (Tan *et al.*, 2009; Croisier *et al.*, 2013)

สำหรับคำว่า “คีแตม (Chitam)” นั้นมาจากคำ 2 คำรวมกันคือ คี (Chi) มาจากคำว่า Chitosan และ แตม (Tam) มาจากคำว่า Tamarind ซึ่งคีแตมเกิดจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างหมู่แอลดีไฮด์ของเจลโลสและหมู่อะมิโนของ โคโตซานด้วยพันธะโคเวเลนต์เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า คีแตม โดยที่อัตราส่วนของไซโลกลูแคนกับไซโตซาน 1:3 จะทำให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงสูง สามารถทนต่อความร้อนได้ดี มีความสามารถในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ และสามารถนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งอาหาร (food ingredient) ที่ดี (Simi *et al.*, 2009)

การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาปริมาณเจลโลสที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มคีแตม โดยใช้โคโตซาน 0.25 กรัมต่อเจลโลส 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 กรัม ตามลำดับ พร้อมทั้งตรวจสอบสมบัติบางประการของฟิล์มคีแตมที่ผลิตได้ อาทิเช่น ความหนา สัมผัสและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม ความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและการยืดตัว (Tensile strength and Elongation at break) และความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial activity) เป็นต้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของเจลโลสที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเจลโลสกับไคโตซานในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์มคีแตม
2. เพื่อศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์มคีแตมที่ผลิตได้

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

ในการทดลองนี้ใช้เจลโลส (MW อยู่ระหว่าง $3.42 \times 10^5 - 10.1 \times 10^5$ ดาลตัน) จากบริษัท ปิ่นเพชร จำกัด จังหวัดเพชรบูรณ์ และไคโตซาน (Shrimp chitosan polymer type 40 Mesh Pass, MW 1.14×10^6 ดาลตัน) จาก Ta Ming enterprise Co., Ltd ประเทศไทย

การผลิตฟิล์มคีแตม

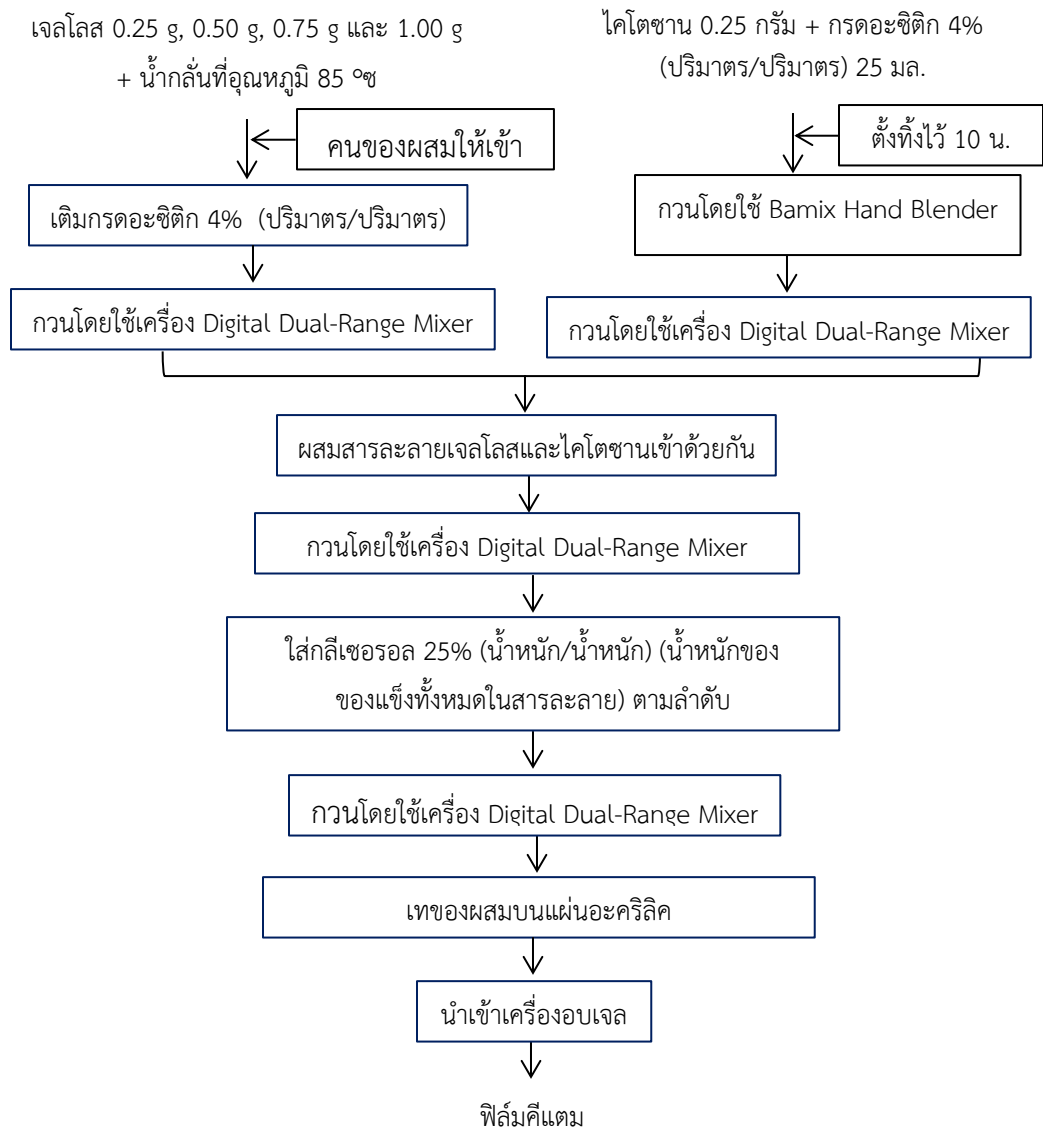
กำหนดอัตราส่วนของไคโตซานต่อเจลโลสที่ใช้ในการผลิตฟิล์มคีแตม ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์. (Completely Randomized Design: CRD) ซึ่งปัจจัยที่จะศึกษา คือ ปริมาณของเจลโลสที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มคีแตม

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของไคโตซานต่อเจลโลสที่ใช้ในการผลิตฟิล์มคีแตม

อัตราส่วนของไคโตซานต่อเจลโลส	ไคโตซาน (กรัม)	เจลโลส (กรัม)
1:1	0.25	0.25
1:2	0.25	0.50
1:3	0.25	0.75
1:4	0.25	1.00

ขั้นตอนการผลิตฟิล์มคีแตมจะแบ่งสารละลายออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ สารละลายของเจลโลส โดยการนำเจลโลส 0.25 g, 0.50 g, 0.75 g และ 1.00 g มาละลายในน้ำกลั่นร้อนที่อุณหภูมิ 85 °ซ ปริมาตร 10 มล. ใช้แท่งแก้วคนสารคนของผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 15 นาที คนจนเจลโลสละลายหมด จากนั้นเติมกรดอะซิติก 4% (ปริมาตร/ปริมาตร) 25 มล. แล้วนำสารละลายเจลโลสที่ได้ไปกวนด้วยเครื่อง Digital Dual-Range Mixer ความเร็วรอบ 220 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที และในส่วนของสารละลาย จะนำไคโตซาน 0.25 กรัม มาละลายกรดอะซิติก 4% (ปริมาตร/ปริมาตร) ปริมาตร 25 มล. ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที จนไคโตซานละลาย แล้วกวนด้วยเครื่อง Bamix Hand Blender ระดับความเร็วสูงสุด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นกวนสารละลายไคโตซานด้วยเครื่อง Digital Dual-Range Mixer ความเร็วรอบ 220 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงเทสารละลายทั้ง 2 ส่วนผสมรวมกัน แล้วกวนต่อด้วยเครื่อง Digital Dual-Range Mixer ความเร็วรอบ 220 รอบ/นาที เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเติมน้ำเกลือ 25% (น้ำหนัก/น้ำหนัก) (น้ำหนักของของแข็งทั้งหมดในสารละลาย) ตามลำดับ แล้วกวนต่อด้วยเครื่อง Digital Dual-Range Mixer ความเร็วรอบ 220 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเทของผสมลงบนแผ่นอะคริลิกขนาด 10×12

ชม. นำเข้าเครื่องอบเจล ที่อุณหภูมิ 37.5 °ซ เป็นเวลา 6 ชม. แล้วจึงลอกแผ่นฟิล์มออก จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณลักษณะและสมบัติบางประการของฟิล์มที่ผลิตได้



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการผลิตฟิล์มคิแตม

ศึกษาผลของเจลโลสที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเจลโลสกับไคโตซานในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์มคีแตม

FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

โดยใช้เครื่อง FTIR ยี่ห้อ Thermo scientific รุ่น Nicolet 6700 ประเทศเยอรมัน

การศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์มคีแตมที่ผลิตได้

ความหนา (Thickness)

วัดความหนาด้วยไมโครมิเตอร์แบบดิจิตอล โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ISO 4593:1993 (ISO standard, 1993) สุ่มวัด 5 ตำแหน่ง (บนชิ้นทดสอบ 5x5 ตร.ซม.) แล้วหาค่าเฉลี่ยความหนาของฟิล์ม

scanning electron microscope (SEM)

การศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม โดยใช้ Scanning Electron Microscopy (SEM) ยี่ห้อ LEO รุ่น LEO 1455 VP ประเทศเยอรมัน ที่กำลังขยาย 1000 และ 5000 เท่า

ความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและการยืดตัว (Tensile strength and Elongation at break)

โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตาม ASTM D 882 เป็นมาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติแรงดึงยึดของแผ่นฟิล์มและซีทพลาสติกบางที่มีความหนาน้อยกว่า 1 มม. หรือ 0.04 นิ้ว

ความสามารถในการต้านจุลินทรีย์

โดยการตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด (Total viable count) โดยใช้วิธีพอร์เพลท และทดสอบความต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (Clear zone) โดยใช้วิธี Disk diffusion (มาตรฐาน AATCC 147)

ผลการวิจัย

ศึกษาผลของเจลโลสและกลีเซอรอลที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเจลโลสกับไคโตซานในระหว่าง

FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

จากผลการวิเคราะห์ FTIR ด้วยเครื่อง FTIR ดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่าฟิล์มคีแตมมีพีคในช่วง Wavenumbers 1635.37 ถึง 1636.84 cm^{-1} ปรากฏ แสดงให้เห็นถึงหมู่ aliphatic secondary amides ซึ่งชี้ให้เห็นว่า กรดอะมิโน 4% (pH ประมาณ 3) พันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ของไซโลกลูแคนจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรด (Acid Hydrolysis) ส่งผลให้วงแหวนของเจลโลสที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เปิดออก และเกิดหมู่แอลดีไฮด์ (-CHO) ขึ้น จากนั้นจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างหมู่แอลดีไฮด์ (-CHO) ของเจลโลสและหมู่เอมีโน (-NH₂) ของไคโตซานด้วยพันธะโคเวเลนต์เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า คีแตม (Chitam) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Simi *et al.* (2009)

การศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์มซีแตมที่ผลิตได้

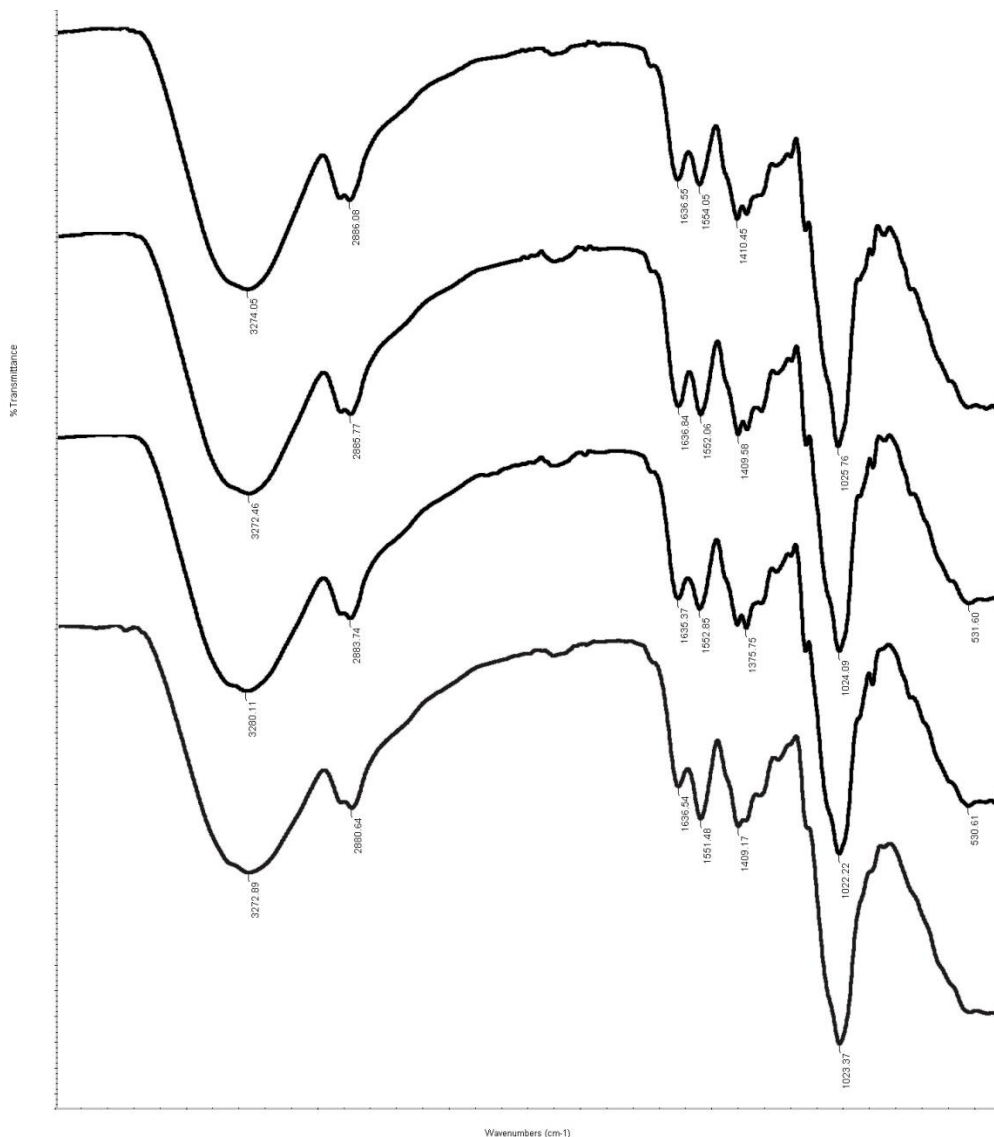
ความหนา (Thickness)

ฟิล์มซีแตมในอัตราส่วนไคโตซานต่อเจลาติน 1:1 , 1:2 และ 1:3 มีค่าความหนาไม่แตกต่างกัน แต่มีความหนาน้อยกว่าฟิล์มซีแตมในอัตราส่วนไคโตซานต่อเจลาติน 1:4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มซีแตมที่มีการเพิ่มปริมาณเจลาตินในอัตราส่วนไคโตซานต่อเจลาตินเป็น 1:1 , 1:2 และ 1:3 ไม่มีผลทำให้ฟิล์มซีแตมมีความหนาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเจลาตินในอัตราส่วนไคโตซานต่อเจลาตินเป็น 1:4 จะทำให้ฟิล์มซีแตมที่ได้มีความหนาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 2 แสดงค่าความหนาของฟิล์มซีแตม

อัตราส่วนของไคโตซานต่อเจลาติน	ความหนา (มม.)
1:1	0.06 ± 0.01^a
1:2	0.05 ± 0.01^a
1:3	0.08 ± 0.01^b
1:4	0.09 ± 0.01^{bc}

หมายเหตุ: ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

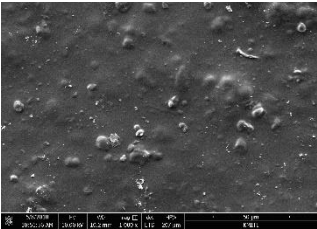
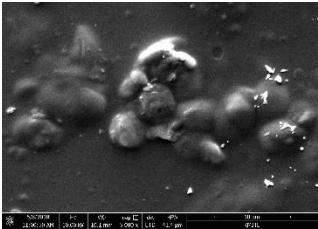
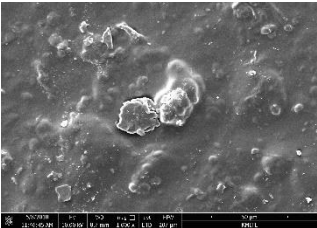
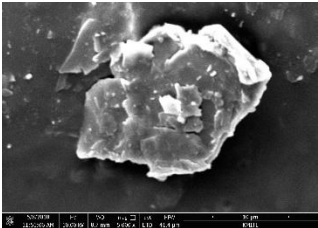
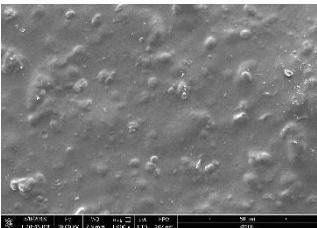
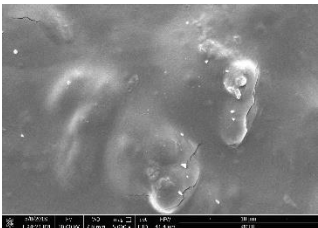
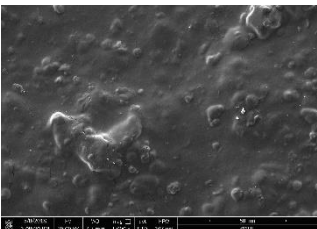
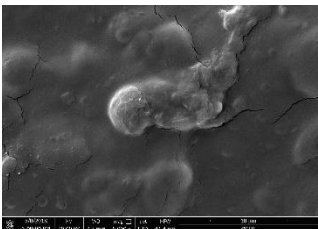


ภาพที่ 2 FTIR spectra ของ ก, ข, ค และ ง ฟิล์มคี่แตมที่อัตราส่วนไคโตซานต่อเจลโลส 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 ตามลำดับ โดยเติมกลีเซอรอล 25 % (น้ำหนัก/น้ำหนัก) (น้ำหนักของของแข็งทั้งหมดในสารละลาย)

scanning electron microscope (SEM)

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (ตารางที่ 3) แสดงให้เห็นถึงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มชนิดต่างๆ ที่แตกต่างกัน กล่าวคือ พื้นผิวของฟิล์มคี่แตมจะมีลักษณะขรุขระ และพบการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างหมู่แอลดีไฮด์ (-CHO) ของเจลโลสและหมู่เอมีน (-NH₂) ของไคโตซาน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR (ภาพที่ 1, 2 และ 3) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Simi *et al.* (2009)

ตารางที่ 3 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มคีแตม โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 1000 และ 5000 เท่า

อัตราส่วนของไคโตซานต่อเจลโลส	ระดับกำลังขยาย (เท่า)	
	1000	5000
1:1		
		
1:2		
		

ความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและการยืดตัว (Tensile strength and Elongation at break)

จากผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและการยืดตัวของฟิล์มคีแตม โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าฟิล์มคีแตมในอัตราส่วนไคโตซานต่อเจลโลส 1:4 มีความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและการยืดตัวของฟิล์มมาก

ที่สุด กล่าวคือ फिल्मชนิดนี้มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นดีที่สุด ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณเจลโลสจะทำให้ฟิล์มคิแทมที่ได้มีความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและการยืดตัวเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างไคโตซานต่อเจลโลสที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเจลโลสและไคโตซานที่เหมาะสม ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้เกิดจากพอร์มเจลที่แข็งแรงและยืดหยุ่น

ตารางที่ 4 แสดงค่าความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและการยืดตัวของฟิล์มคิแทม

อัตราส่วนของไคโตซานต่อเจลโลส	ค่าการต้านแรงดึงขาด (กรัม×แรง)	ค่าระยะทางในการดึงขาด (มม.)
1:1	2,355.56 ± 73.83 ^{ab}	13.60 ± 0.53 ^a
1:2	2,736.07 ± 84.20 ^{bc}	14.26 ± 0.21 ^{ab}
1:3	3,103.68 ± 25.13 ^{cd}	14.69 ± 0.14 ^b
1:4	3,485.59 ± 32.08 ^d	14.90 ± 0.04 ^b

หมายเหตุ: ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ความสามารถในการต้านจุลินทรีย์

การตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด (Total viable count)

จากผลการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งหมด (ตารางที่ 5) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเจลโลสจะส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ปนเปื้อนในฟิล์มคิแทมมีปริมาณลดลง ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าอัตราส่วนของไคโตซานต่อเจลโลสที่เหมาะสมจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเจลโลสและไคโตซานที่เหมาะสม ทำให้ฟิล์มคิแทมที่ได้มีฤทธิ์ในการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Simi *et al.* (2009)

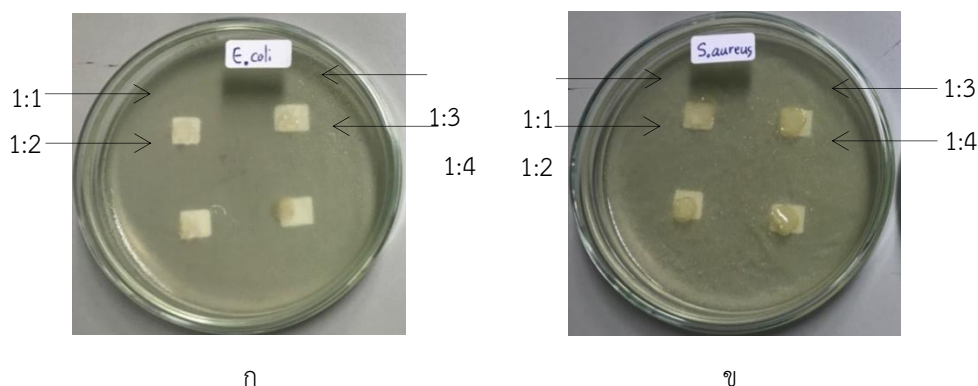
ตารางที่ 5 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ปนเปื้อนในฟิล์มคิแทม

อัตราส่วนของไคโตซานต่อเจลโลส	ผลการตรวจนับ CFU/g (หรือ CFU/ml)
1:1	< 2.5×10 ⁴ ^c
1:2	< 2.5×10 ⁴ ^c
1:3	< 2.5×10 ³ ^b
1:4	< 2.5×10 ¹ ^a

หมายเหตุ: ^{a-c} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ความต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (Clear zone)

จากผลการตรวจวิเคราะห์ความต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (Clear zone) ของฟิล์มคิแตมที่อัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 3 พบว่าฟิล์มคิแตมที่อัตราส่วนต่างๆ ทั้ง 4 ชนิด ไม่พบบริเวณ Clear zone บนอาหารแข็ง Nutrient Agar (NA) ที่ผสมเชื้อ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* หลังจากบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 °ซ นาน 24 ชั่วโมง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าฟิล์มคิแตมทั้ง 4 ชนิดนี้ไม่มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อ *E. coli* และ *S. aureus* ดังนั้นควรเพิ่มสารประกอบอื่นๆ ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ร่วมกับการผลิตฟิล์มคิแตม เพื่อเสริมคุณสมบัติของฟิล์มให้มีฤทธิ์ในการต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ดี อาทิเช่น การใช้นาโนอิมัลชันซินนามาลดีไฮด์ ซึ่ง Huanle et al. (2016) ได้ทำการศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* และเชื้อรา *Candida Albicans* HG01 ของฟิล์มไคโตซานร่วมกับการใช้นาโนอิมัลชันซินนามาลดีไฮด์ พบว่านาโนอิมัลชันซินนามาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 1.5 และ 2.0 % มีผลในการยับยั้ง *E. coli* และ *S. aureus* และมีผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของนาโนอิมัลชันซินนามาลดีไฮด์



ภาพที่ 3 ผลการตรวจวิเคราะห์ Clear zone ที่อุณหภูมิ 37 °ซ นาน 24 ชม. ของฟิล์มคิแตม ก. ฟิล์มคิแตมที่อัตราส่วนต่างๆ บนอาหารแข็ง Nutrient Agar (NA) ที่ผสมเชื้อ *Escherichia coli* และ ข. ฟิล์มคิแตมที่อัตราส่วนต่างๆ บนอาหารแข็ง Nutrient Agar (NA) ที่ผสมเชื้อ *Staphylococcus aureus*

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาปริมาณเจลโลสที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มคิแตม โดยใช้ไคโตซาน 0.25 กรัมต่อเจลโลส 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 กรัม ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR พบว่า ฟิล์มคิแตมมีพีคในช่วง Wavenumbers 1635.37 ถึง 1636.84 cm^{-1} ปรากฏ แสดงให้เห็นถึงหมู่ aliphatic secondary amides ซึ่งชี้ให้เห็นว่า กรดอะซิติก 4% พันธะไกลโคซิดิกของเจลโลสจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรด (Acid Hydrolysis) ส่งผลให้วงแหวนของเจลโลสที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เปิดออก และเกิดหมู่แอลดีไฮด์ (-CHO) ขึ้น จากนั้นจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง

- Huanle, C., Xiaorong, H., Enmin, C., Shan, W., David, J.M., Shilin, L., Bin, L. and Yan, L. (2016). **Preparation, characterization, and properties of chitosan films with cinnamaldehyde nanoemulsions.** Food Hydrocolloids. 61: 662-671.
- Kumar, M.N.R. (2000). **A review of chitin and chitosan applications.** Reactive and Functional Polymers. 46(1): 1-27.
- Marathe, R.M., Annapure, U.S., Singhal, R.S. Singhal, R.S. and Kulkarni, P.R. (2002). **Gelling behavior of polyse from tamarind kernel polysaccharide.** Food hydrocolloids. 16: 423-426.
- Simi C.K. (2009). **Transparent xyloglucan-chitosan complex hydrogels for different applications.** Food Hydrocolloids. 2010: 72-80.
- Tan, H., Chu, C.R., Payne, K.A. and Marra K.G. (2009). **Injectable in situ forming biodegradable chitosan-hyaluronic acid based hydrogels for cartilage tissue engineering.** Biomaterials. 30(13): 2499-2506.