

## รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

---

1. แผนงานวิจัย : แผนบูรณาการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์เพื่อสุขภาพ
2. โครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารธรรมชาติ  
กิจกรรม : การพัฒนาผลิตภัณฑ์ธรรมชาติสำหรับบรรจุภัณฑ์คุณภาพ
3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) : การผลิตฟิล์มต้านจุลินทรีย์ที่ผสมสารสกัดจากธรรมชาติ  
ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Production of antimicrobial film with natural extracts
4. คณะผู้ดำเนินงาน  
หัวหน้าการทดลอง : นางสาวศิริพร เต็งรัง  
ผู้ร่วมงาน : นางสาวอัจฉราพร ศรีจุฑานุ  
: ประยูร เอ็นมาก  
: วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร  
กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผล  
เกษตร กรมวิชาการเกษตร

### 5. บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติและประสิทธิภาพของฟิล์มต้านจุลินทรีย์โดยใช้สารสกัดจากเปลือกมังคุดเป็นสารต้านการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ทำการทดลองที่กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ระหว่างปี 2560-2562 โดยเตรียมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบขึ้นบาง เปลือกมังคุดอบแห้งแบบผง และเปลือกมังคุดผงทางการค้า ด้วยการแช่ในสารละลายเอทานอล 95% เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงให้ปริมาณสารสกัดหยาบมากที่สุด เท่ากับ 24.04% และมีปริมาณสารแอลฟาแมงโกสทินสูงสุด เท่ากับ 55.74% สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* ได้ดีที่สุด โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใส 12.25 มิลลิเมตร จึงนำมาเติมในฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณ 0 10,000 30,000 50,000 และ 70,000 ppm เติมหีสเซอร์อลปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก พบว่าฟิล์มที่เติมสารสกัดมีค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลือง ( $b^*$ ) เพิ่มขึ้นตามปริมาณสารสกัดที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 4.1 16.4 29.3 47.6 และ 56.3 ตามลำดับ เมื่อทดสอบประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มและคุณสมบัติของฟิล์ม พบว่าฟิล์มเติมสารสกัดปริมาณ 70,000 ppm สามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* ได้ดีที่สุด

เนื่องจากไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียบนผิวหน้าของฟิล์ม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ย 13.25 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นฟิล์มต้านจุลินทรีย์ได้ ส่วนฟิล์มในกรรมวิธีอื่นมีการเจริญเติบโตของเชื้อบนผิวหน้าของฟิล์ม โดยฟิล์มไม่เติมสารสกัดเชื้อเจริญเติบโตได้ดีที่สุด คุณสมบัติของฟิล์มเติมสารสกัดปริมาณ 70,000 ppm มีความชื้น 7.71% มีปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) 0.412 มีความต้านทานแรงดึงขาด 329.69 kgf/cm<sup>2</sup> และดึงยืดได้ 387.10% สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหารได้ เนื่องจากมีค่าสูงกว่ามาตรฐานฟิล์มยืดชนิดพอลิเอทิลีน ตามมาตรฐาน มอก.1136-2536 อีกทั้งยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ 94.28% มีต้นทุนการผลิตเฉพาะต้นทุนจากสารเคมีประมาณ 17 บาท/ตารางฟุต จึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตออกมาใช้งานในเชิงพาณิชย์

## Abstract

The objective of this research is to study the properties and efficiency of the antimicrobial film by using mangosteen peel extract as an antimicrobial agent. The experiments were carried out at Postharvest and Processing Research and Development Division from 2017 to 2019. The crude mangosteen peel extracts were prepared from thin slices of dried mangosteen peel, dried mangosteen peel powder and commercial mangosteen peel powder by soaked in 95% ethanol 48 hours, it was found that dried mangosteen peel powder had the highest content of crude extract as 24.04% including the highest content of alpha-mangostin as 55.74%. In addition, it is the most effective in inhibiting the growth of bacterial *Staphylococcus aureus*. The average diameter of the clear zone was 12.25 millimeters. Therefore, it was chosen to add to the polyvinyl alcohol (PVA) film. PVA solution 4% (w/v) was prepared and glycerol 30% (w/w) was added into PVA solution following by addition of crude extract from dried mangosteen powder as 0 10,000 30,000 50,000 and 70,000 ppm. The higher contents of extract would affect the increase of the blue-yellow color score ( $b^*$ ) of films as 4.1, 16.4, 29.3, 47.6 and 56.3, respectively. The antimicrobial efficiency and the other properties of films were investigated. It was found that the film containing 70,000 ppm of the extract could inhibit the growth of bacteria *Staphylococcus aureus* due to no growth of the bacteria on the film surface. The average diameter of the clear zone was 13.25 millimeters, which could be applied as the antimicrobial film. For the other films, they were found the growth of bacteria on the films surface. The maximum growth of bacteria was found on non-extract added film. Properties of 70,000 ppm extract-added film showed the moisture content 7.71%, water activity ( $a_w$ ) 0.412, tensile strength 329.69 kgf/cm<sup>2</sup> and elongation 387.10% which could be applied as a stretch wrap film. Because tensile strength and elongation were higher than the standard of

polyethylene stretch film according to the TIS 1136-1993 standard. Besides, it was also environmentally friendly because of 94.28% water-soluble. The production cost was approximately 17 baht/ft<sup>2</sup> from chemicals. Therefore, there is a possibility to produce for commercial use.

## 6. คำนำ

ประเทศไทยมีผลผลิตและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลายชนิดที่สามารถนำมาสกัดเอาสารสำคัญมาเพิ่มมูลค่าและใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้ ซึ่งที่ผ่านมามีรายงานการศึกษาและมีข้อมูลของสารสกัดหรือสารสำคัญหลายชนิด รวมถึงวิธีการสกัด วิธีการกักเก็บ และคุณสมบัติของสารสกัด ตลอดจนการนำเอาสารสกัดมาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะสารสำคัญในเปลือกมังคุด

สารสำคัญหลักในเปลือกมังคุด คือ แซนโทน (Xanthone) เป็นสาร secondary metabolites อยู่ในกลุ่มพอลิฟีนอล มีโครงสร้างดัง Figure 1 มีอนุพันธ์หรือสารประกอบหลัก คือ แอลฟา-แมงโกสติน ( $\alpha$ -mangostin) มีโครงสร้างดัง Figure 2 นอกจากนี้ยังมีสารอื่นๆ เป็นส่วนประกอบ เช่น เบต้า-แมงโกสติน แกมมา-แมงโกสติน และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นๆ เช่น เทอฟิน แอนโทไซยานิน แทนนิน ฟลาโวนอยด์ และลิคินิน เป็นต้น (Narasimhan *et al.*, 2017) โดยแซนโทนมีผลทางเภสัชหลายอย่าง เช่น ยับยั้งแบคทีเรีย ยับยั้งการอักเสบ และยับยั้งอนุมูลอิสระ เป็นต้น

การสกัดสารสำคัญจากเปลือกมังคุดสามารถทำได้หลายวิธี เช่น สกัดโดยใช้ตัวทำละลายเอทานอล เมทานอล เฮกเซน และอะซิโตน ด้วยวิธีการสกัดเย็น การสกัดร้อนด้วยเครื่อง Soxhlet หรือเขย่าในอ่างควบคุมอุณหภูมิ และการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ เป็นต้น โดยจากรายงานของอุดมลักษณ์ และคณะ พบว่าการสกัดสารจากเปลือกมังคุดแห้งด้วยเอทานอลได้สารสกัดหยาบมากที่สุด 26.59% และจากรายงานของ Satong-aun *et al.* (2011) พบว่าการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟให้สารแอลฟา-แมงโกสตินสูงที่สุด 49.79% รองลงมาคือการเขย่าในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ ปัจจัยร่วมกัน

คุณสมบัติที่โดดเด่นของสารสกัดจากเปลือกมังคุด คือ มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ โดยจากรายงานของอุดมลักษณ์และคณะ (2549) พบว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดสดจากการสกัดเย็นด้วยเอทานอลมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* ได้ดี สอดคล้องกับรายงานของ พงศธรและคณะ (2551) และ Palakawong *et al.* (2010) ที่รายงานว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก เช่น *S. aureus* และ *L. monocytogenes* ได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ เช่น *E. coli* และ *Salmonella sp.* เป็นต้น นอกจากนี้สุพัฒน์และคณะ (2554) ใช้สารสกัดจากผงเปลือกมังคุดเติมลงในฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากฟางข้าว เพื่อยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคแอนแทรกซ์ในกล้วยหอมทอง และมะม่วงน้ำดอกไม้ พบว่าสารสกัดเข้มข้น 20,000 ppm มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *C. gloeosporioides* และ *C. musarum* ได้ดี นอกจากนี้บุษกรและคณะ (2554) ได้นำสารสกัดจากเปลือกมังคุดมาเคลือบบนฟิล์ม LDPE แล้วนำไปห่อขึ้นปลา พบว่าฟิล์มเคลือบสารสกัดมีประสิทธิภาพในการ

ลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในชั้นปลาได้ แสดงให้เห็นว่าสามารถนำสารสกัดจากเปลือกมังคุดมาประยุกต์ใช้กับบรรจุภัณฑ์เพื่อพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ได้

บรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ หรือการบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial food packaging) คือ ระบบการบรรจุที่สามารถทำลายหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (Spoilage Microorganism) และจุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogens) ที่ปนเปื้อนในอาหาร ช่วยให้เกิดความปลอดภัยและยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร นิยมใช้กับอาหารที่เสื่อมเสียง่ายจากจุลินทรีย์ หลักการคือ การใช้สารต้านจุลินทรีย์ร่วมกับระบบการบรรจุ มีหลายรูปแบบ เช่น ซองหรือแผ่นปลดปล่อยสารระเหย แผ่นปลดปล่อยก๊าซ สารเคลือบหรือฟิล์มเคลือบต่อต้านจุลินทรีย์ และฟิล์มแต่งเติมต่อต้านจุลินทรีย์ เป็นต้น โดยฟิล์มแต่งเติมต่อต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial incorporated films) เป็นการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ลงไป ในฟิล์มพลาสติกโดยตรง โดยอาจเติมลงในฟิล์มพอลิเมอร์ในช่วงของการหลอมหรือโดยการใช้ตัวทำละลาย ส่วนใหญ่จะใช้สารต่อต้านจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้นประมาณ 0.1-5 โดยน้ำหนัก (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี: IR31, 2555)

สารต้านจุลินทรีย์ หมายถึง สารที่ทำให้จุลินทรีย์หยุดการเจริญเติบโตหรือตาย เนื่องจากสารนั้นไปทำให้สมบัติของผนังเซลล์ของจุลินทรีย์เปลี่ยนไป ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และมีผลต่อกลไกทางพันธุกรรม โดยสารต้านจุลินทรีย์ที่นิยมใช้และได้รับการอนุมัติจากองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา ได้แก่ ซิลเวอร์ไอออน และซีโอไมค แต่ยังคงมีราคาสูง ซึ่งหากสามารถใช้สารสกัดจากเปลือกมังคุดได้จะเป็นการลดต้นทุนในการผลิต ปลอดภัย และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้

ผลของการทิ้งอาหารเน่าเสีย (Food Waste) จากการถูกทำลายโดยจุลินทรีย์ และการเจ็บป่วยเนื่องจากอาหารเป็นพิษที่มีจำนวนมากในแต่ละปี ทำให้มีการการศึกษาและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น เพื่อลดการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์และเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้บริโภค เนื่องจากอาหารที่เราบริโภคอาจจะมีการปนเปื้อนจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ทำให้ไม่สามารถรู้ได้ว่าอาหารนั้นมีการปนเปื้อนหรือไม่ ซึ่งอาจทำให้เกิดอาการเจ็บป่วยหรือเกิดโรคอาหารเป็นพิษได้ โดยแบคทีเรียก่อโรคในอาหารที่พบมาก ได้แก่ *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* และ *Escherichai coli* เป็นต้น โดย *S. aureus* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก สามารถเจริญได้เมื่ออยู่ที่อุณหภูมิ 7-48 องศาเซลเซียส และจะผลิตสารพิษเมื่ออยู่ที่อุณหภูมิ 20-37 องศาเซลเซียส โดยแบคทีเรียจะผลิตสารพิษในขณะที่เจริญในอาหารก่อนที่เราจะบริโภคเข้าไป สามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วเมื่อทิ้งอาหารไว้ที่อุณหภูมิห้อง ทำให้อาเจียน ปวดท้อง ท้องร่วง และทำให้อาหารเน่าเสีย (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี:IR19, 2553)

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์นิยมใช้พลาสติกย่อยสลายได้เป็นสารกึ่งฟิล์ม เนื่องจากเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยพลาสติกย่อยสลายได้ที่มีคุณสมบัติเชิงกลดีและราคาไม่สูงมาก คือ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol; PVA) โดย PVA ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลอะซิเตต (polyvinyl acetate) ซึ่งโครงสร้างทางเคมีของ PVA แสดงดัง Figure 3 (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี: IR12, 2553)

PVA เป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพและละลายได้ดีในน้ำ มีความต้านทานต่อน้ำมัน ไขมัน และสารละลายต่างๆ ได้ดี มีความทนต่อแรงดึง การฉีกขาด และการกระแทก อีกทั้งมีความยืดหยุ่น และการกั้นการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนสูง การย่อยสลายขึ้นอยู่กับปริมาณผลึกและน้ำหนักโมเลกุล โดยสามารถละลายในน้ำและย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีในบ่อบำบัดน้ำเสีย แต่ย่อยสลายได้ช้าในดิน โดยตัวอย่างการนำ PVA ไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ เช่น บรรจุภัณฑ์ใช้ครั้งเดียวสำหรับเอนไซม์และสารเคมีเพื่อใส่ในถังฆ่าเชื้อ สารกำจัดแมลง สารกำจัดวัชพืช และสารอันตรายต่างๆ นอกจากนี้ยังมีรายงานการนำ PVA ไปเติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์สำหรับอาหาร พบว่าฟิล์มที่เตรียมได้สามารถต้านเชื้อ *Salmonella typhimurium* ได้ดี (Tripathi et al., 2018) และการเติมสารสกัดจากเมล็ดองุ่น 2.5% ลงในฟิล์ม PVA ผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Salmonella enteritidis* และ *Listeria innicua* ได้ (Musetti et al., 2014) แสดงให้เห็นว่าสามารถเติมสารต้านจุลินทรีย์ลงใน PVA เพื่อพัฒนาเป็นฟิล์มต้านจุลินทรีย์ได้

การทดลองนี้จึงมีกรอบแนวความคิดในการผลิตฟิล์มต้านจุลินทรีย์สำหรับอาหาร โดยใช้สารสกัดจากเปลือกมังคุดเป็นสารต้านจุลินทรีย์นำมาแต่งเติมลงในฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งยืดหยุ่นและย่อยสลายได้ดี และทดสอบการต้านจุลินทรีย์ก่อโรคในอาหารชนิดแกรมบวก เนื่องจากสารสกัดจากเปลือกมังคุดสามารถต้านการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ เพื่อพัฒนาและประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์สำหรับอาหารต่อไป เป็นการสร้างความปลอดภัยให้แก่ผู้บริโภค ลดการเน่าเสียของอาหาร และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพิ่มคุณสมบัติให้บรรจุภัณฑ์ ลดการนำเข้าสินค้าและเทคโนโลยีที่มีราคาแพง

## 7. วิธีดำเนินการ :

### - อุปกรณ์

1. เปลือกมังคุดจากตลาดไท
2. สมุนไพรเปลือกมังคุด (ผง) บริษัท ฮงฮวด จำกัด
3. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol, commercial grade: Hydrolysis 88.6 Mol%, Viscosity 30.4 MPa.S, บ.รวมเคมี 1986 จำกัด)
4. เอทานอล (Ethanol, Laboratory reagent grade, Fisher Scientific)
5. เมทานอล (Meyhanol, Laboratory reagent grade, Fisher Scientific)
6. กลีเซอรอล (Glycerol, AR Grade, Fisher Scientific)
7. สารมาตรฐานแอลฟาแมงโกสติน (Alpha-Mangostin Standard, 98%, HPLC Grade, Sigma-Aldric)
8. เชื้อ *staphylococcus aureus* ATCC 6538
9. เพลทอะคริลิก
10. โถดูดความชื้น

11. ไมโครปิเปต
12. ตู้บลมร้อน KOTTERMANN 2736
13. ตู้อบแห้งระบบหมุนเวียนอากาศ Cabinet Tray drier บริษัท ยูซีคอร์ป จำกัด
14. เครื่องหั่นย่อยขนาดใบมีดตัดเบอร์ 3 Robot coupe: รุ่น CL60 บริษัท C.L. Foods
15. เครื่องบดขนาดของช่องตะแกรง 0.25 มิลลิเมตร, Armfield, Retsch Muhle
16. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง Mettler Toledo ME204
17. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง Mettler RM480 DeltaRange
18. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Magnetic Multistirrer, SBS A-08 Series B
19. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง พีเอช Meter UB-10, Denver Instrument
20. เครื่องวัดสี Konica Minolta Chroma meter: Model: CR-400
21. เครื่องวัดความหนา Dial Thickness Gauge, MOORE & WEIRHT
22. เครื่องวัดความชื้น Sartorius, ME model
23. เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ Novasina: รุ่น TH 200
24. เครื่องตัดฟิล์มสำหรับทดสอบ PTA
25. เครื่องทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติก Universal Testing, Instron: รุ่น 3340
26. เครื่อง Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), Thermo Scientific: รุ่น Nicolet iS5 (iD5 ATR)
27. เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer, Shinadzu: รุ่น UV-2600

- วิธีการ

- 1) เตรียมสารสกัดจากเปลือกมังคุด โดยตัดแปลงวิธีของนิภาดาและคณะ (2554) ประสงค์และคณะ (2552) และ Kusmayadi *et al.* (2018) ดังนี้

นำเปลือกมังคุดมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า หั่นเป็นชิ้นบางๆ และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำไปบดจนเป็นผงละเอียด จากนั้นนำเปลือกมังคุดอบแห้งแบบชิ้นบาง เปลือกมังคุดอบแห้งแบบผง และเปลือกมังคุดผงทางการค้า มาสกัดด้วยเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยแช่ในอัตราส่วนผงเปลือกมังคุด 1 กรัม ต่อเอทานอล 6 มิลลิลิตร เป็นเวลา 48 ชั่วโมง กรองด้วยชุดกรองสุญญากาศ นำส่วนของผงเปลือกมังคุดไปสกัดซ้ำอีกครั้ง จากนั้นนำส่วนของของเหลวที่ได้มารวมกันแล้วนำไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส คำนวณปริมาณสารสกัดหยาบที่ได้

- 2) วิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัดหยาบที่ได้ ได้แก่

- วิเคราะห์โครงสร้างของสารสกัดด้วยเครื่อง FTIR โดยวัด %Transmittance ของสารในช่วงความยาวคลื่น 4000 ถึง 400  $\text{cm}^{-1}$  เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานแอลฟา-แมนโกสทิน

- วิเคราะห์ ปริมาณ สารแซนโทน ทั้งหมดใน สารสกัด หยาบ ด้วย เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ตาม วิธี ของ Aisha *et al.* (2013) และ Pothitirat, W. and Gritsanapan, W. (2008) โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานแอลฟา-แมงโกสตินในเมทานอลความเข้มข้น 2 4 6 8 10 12 16 และ 20 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มแสง 243 nm. แล้วทำกราฟมาตรฐาน จากนั้นเตรียมสารละลายตัวอย่างเข้มข้น 50 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มแสง 243 nm. คำนวณปริมาณสารแซนโทน ทั้งหมดโดยใช้สมการจากกราฟมาตรฐานแอลฟา-แมงโกสติน

3) ทดสอบประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของสารสกัด โดยวิธี agar disc diffusion โดยดัดแปลงวิธีของ พัชรินทร์และสุวิชญา (2561) ดังนี้

เพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย *staphylococcus aureus* ATCC 6538 ในอาหาร Mueller Hinton broth (MHB) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง นำเชื้อที่ได้มาปรับความขุ่นให้มีปริมาณเชื้อเท่ากับ  $1.5 \times 10^8$  cfu/ml โดยเทียบกับ McFarland standard No. 0.5 จากนั้นนำเชื้อปริมาตร 100 ไมโครลิตร มา spread plate บนอาหาร Muller Hinton agar จากนั้นนำ paper disc ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร จุ่มลงในสารละลายของสารสกัด ซึ่งละลายด้วยเมทานอลแล้วผึ่งให้แห้ง นำมาวางลงบนผิวหน้าอาหารที่เกลี่ยเชื้อไว้แล้ว เทียบกับน้ำกลั่นและเมทานอลทำการทดสอบ 4 ซ้ำ จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง บันทึกผลโดยสังเกตบริเวณต้านเชื้อแบคทีเรียแล้ววัดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง

4) เตรียมฟิล์มต้านจุลินทรีย์ โดยนำสารสกัดจากเปลือกมังคุดชนิดที่ให้ปริมาณสารสกัดหยาบและปริมาณสารสำคัญมากที่สุด และมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ดีที่สุด จากข้อ 1) – 3) มาเติมในฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ดังนี้

- เตรียมสารละลาย PVA เข้มข้น 4% น้ำหนัก/ปริมาตร ปริมาณ 300 มิลลิลิตร กวนให้ละลายด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า พร้อมทั้งให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เติมกลีเซอรอลปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก PVA เพื่อเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น (Pu-you *et al.*, 2014 และ Fong *et al.*, 2018) กวนให้เข้ากัน แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
- เติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดลงในสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (ดัดแปลงวิธีของสุพัฒน์และคณะ, 2554) โดยปรับให้มีปริมาณสารสกัดจากเปลือกมังคุดในเนื้อฟิล์มตามกรรมวิธี ดังนี้วางแผนการทดลองแบบ RCB 3 ซ้ำ 5 กรรมวิธี ได้แก่

- กรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุม คือ ฟิล์มไม่เติมสารสกัดจากเปลือกมังคุด
- กรรมวิธีที่ 2 ฟิล์มเติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดเข้มข้น 10,000 ppm
- กรรมวิธีที่ 3 ฟิล์มเติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดเข้มข้น 30,000 ppm
- กรรมวิธีที่ 4 ฟิล์มเติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดเข้มข้น 50,000 ppm
- กรรมวิธีที่ 5 ฟิล์มเติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดเข้มข้น 70,000 ppm

กวนให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

- นำสารละลายพอลิเมอร์มาเทลงในเพลทอะคลิลิกขนาด 30×30 ตารางเซนติเมตร ทิ้งไว้ให้ฟิล์มเซตตัวที่อุณหภูมิห้อง แล้วอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5) ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มต้านจุลินทรีย์ และ**บันทึกข้อมูล** ดังนี้

- โครงสร้างของฟิล์มเติมสารสกัด วิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR โดยวัด %Transmittance ของฟิล์มในช่วงความยาวคลื่น 4000 ถึง 400  $\text{cm}^{-1}$  เปรียบเทียบกับฟิล์มไม่เติมสารสกัดและสารสกัดจากเปลือกมังคุด (Bonilla *et al.*, 2014)
- ความหนา (Thickness) วัดด้วยเครื่องวัดความหนา
- ค่าสี (Color) วัดด้วยเครื่องวัดสี
- ปริมาณความชื้น (Moisture Content) วัดด้วยเครื่องวัดความชื้น
- ปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) วัดด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ
- การละลายน้ำ (Water solubility) ตามวิธีของ Su *et al.* (2010) และ Tongdeesoontorn *et al.* (2011) ดังนี้

ตัดแผ่นฟิล์มขนาด 5×5 ตารางเซนติเมตร อบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ซึ่งน้ำหนักก่อนการละลาย ( $W_0$ ) ใส่ในปิกรเกอร์ที่มีน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิดปากปิกรเกอร์ด้วยพาราฟิล์ม วางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 (ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง) นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ซึ่งน้ำหนักหลังการละลาย ( $W_1$ ) นำไปคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำ ดังนี้

$$\% \text{ Solubility} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100$$

- ความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัว: ทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing ตามมาตรฐาน ASTM D 882-10 Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting

6) ทดสอบประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์ม โดยวิธี agar disc diffusion โดยดัดแปลงวิธีของพัชรินทร์และสุวิชญา (2561) ดังนี้

เพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย *staphylococcus aureus* ATCC 6538 ในอาหาร Mueller Hinton broth (MHB) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง นำเชื้อที่ได้มาปรับความขุ่นให้มีปริมาณเชื้อเท่ากับ  $1.5 \times 10^8$  cfu/ml โดยเทียบกับ McFarland standard No. 0.5 จากนั้นนำเชื้อปริมาตร 100 ไมโครลิตร มา spread plate บนอาหาร Muller Hinton agar แล้วนำฟิล์มที่เตรียมได้จากข้อ 3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร มาวางลงบนผิวหน้าอาหารที่เกลี่ยเชื้อไว้แล้ว การทดสอบ 4 ซ้ำ แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง บันทึกผลโดยสังเกตบริเวณด้านเชื้อแบคทีเรียแล้ววัดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง



## 7) วิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

- เวลาและสถานที่

- เริ่มต้น ตุลาคม 2559 สิ้นสุดการทดลอง กันยายน 2562

สถานที่ทำการทดลอง: กลุ่มวิจัยและพัฒนาการแปรรูปผลิตผล  
เกษตร กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป  
ผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

## 8. ผลการทดลองและวิจารณ์

### 1) การเตรียมสารสกัดจากเปลือกมังคุด

เปลือกมังคุดที่นำมาสกัดสารสำคัญมาจาก 2 แหล่ง คือ เปลือกมังคุดจากผลมังคุดสด และเปลือกมังคุดผงทางการค้า โดยพบว่ามังคุดสดประกอบด้วยเปลือก 52.17% โดยเมื่ออบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะได้เปลือกมังคุดแห้งปริมาณ 33.67% โดยน้ำหนักเปลือกสด มีความชื้นประมาณ 4.36% มีลักษณะดัง Figure 4(a) จากนั้นนำไปบดให้เป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบด Armfield ขนาดช่องตะแกรง 0.25 มิลลิเมตร พบว่าเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงที่ได้มีสีน้ำตาล มีความชื้นประมาณ 4.82% ดัง Figure 4(b) เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกมังคุดผงทางการค้า พบว่าเปลือกมังคุดผงทางการค้า มีสีเข้มและผงมีความเหนียวละเอียดมากกว่า ดัง Figure 4(c)

เมื่อนำเปลือกมังคุดอบแห้งแบบชิ้นบาง เปลือกมังคุดอบแห้งแบบผง และเปลือกมังคุดผงทางการค้า ไปสกัดด้วยสารละลายเอทานอล 95% เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าได้สารสกัดชั้นน้ำตาล ดัง Figure 5 โดยปริมาณของสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดรวม 2 ครั้ง จากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบชิ้นบาง เปลือกมังคุดอบแห้งแบบผง และเปลือกมังคุดผงทางการค้า เท่ากับ 21.82 24.04 และ 12.49% ตามลำดับ แสดงว่าตัวทำละลายสามารถสกัดสารสกัดจากตัวอย่างที่เป็นผงได้ดีกว่าตัวอย่างที่เป็นชิ้น เนื่องจากมีพื้นที่สัมผัสมากกว่า ส่วนเปลือกมังคุดผงทางการค้ามีปริมาณสารสกัดน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าอาจมีการใส่สารตัวเติมอื่นๆ ลงตัวอย่าง เพื่อเพิ่มเนื้อสารหรือเพิ่มปริมาณสาร ทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลงและจำหน่ายได้ในราคาถูก

### 2) วิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัดหยาบที่ได้

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของสารสกัดเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานแอลฟา-แมงโกสตินซึ่งเป็นอนุพันธ์หนึ่งของแซนโทนและเป็นองค์ประกอบหลักของสารสกัด ด้วยเครื่อง FTIR พบว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดทั้ง 3 ชนิด มีแอลฟา-แมงโกสตินเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากมีสเปกตรัมหลักหรือมีโครงสร้างหลักเหมือนกับสารมาตรฐานแอลฟา-แมงโกสติน ดัง Figure 6

โดยเมื่อวิเคราะห์ตำแหน่งของสเปกตรัม (Figure 7) พบว่า สารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงและสารสกัดจากเปลือกมังคุดผงทางการค้ามีสเปกตรัมหลักในตำแหน่งและความเข้มของสเปกตรัมเหมือนกับสารมาตรฐานแอลฟา-แมงโกสตินมากกว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบชิ้นบาง โดยผลการวิเคราะห์สเปกตรัมพบว่าสอดคล้องกับโครงสร้างของแซนโทนและอนุพันธ์ ดังนี้ ช่วง 3600-3000

$\text{cm}^{-1}$  เป็นตำแหน่งของ -OH stretching ของกลุ่มไฮดรอกซิลของแซนโทน (-OH) (Aisha *et al.*, 2015) ช่วง  $2970-2860 \text{ cm}^{-1}$  เป็นตำแหน่งของ C-H<sub>n</sub> stretching และ C-H vibration ของกลุ่มเมทิลในโครงสร้างของแอลฟา-แมงโกสติน ที่  $1716 \text{ cm}^{-1}$  เป็นตำแหน่งของ C=O stretching ของวงอะโรมาติก ที่  $1607-1604 \text{ cm}^{-1}$  เป็นตำแหน่งของ C=C stretching ของวงอะโรมาติก ที่  $1080-1046 \text{ cm}^{-1}$  เป็น C-O-C stretching vibration ที่  $700-900 \text{ cm}^{-1}$  เป็นตำแหน่งของ C-H ของ aromatic hydrogen (Machmudah *et al.*, 2015) และที่  $2359-2340 \text{ cm}^{-1}$  เป็นตำแหน่งของ C-O stretching ของแซนโทน (Netata *et al.*, 2014)

จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณสารแอลฟา-แมงโกสตินในสารสกัดหยาบที่ได้จากเปลือกมังคุดทั้ง 3 ตัวอย่าง ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 243 nm พบว่าสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงและเปลือกมังคุดผงทางการค้า มีปริมาณสารแอลฟา-แมงโกสตินใกล้เคียงกับคือ 55.74 และ 55.70% ส่วนสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบชิ้นบางมีปริมาณสารแอลฟา-แมงโกสติน 47.39% แสดงให้เห็นว่าแม้จะสกัดได้สารสกัดหยาบปริมาณมากแต่สารสกัดที่ได้อาจมีสารสำคัญที่ต้องการในปริมาณน้อย มีสารชนิดอื่นถูกสกัดออกมามากกว่า สอดคล้องกับสเปกตรัมของสารสกัดที่ตำแหน่ง  $3298 \text{ cm}^{-1}$  และ  $1046 \text{ cm}^{-1}$  ที่มีความเข้มและความกว้างของสเปกตรัมมากกว่า ซึ่งอาจเป็นโครงสร้างของสารชนิดอื่น ทั้งนี้สาเหตุอาจเนื่องมาจากตัวอย่างแบบชิ้นบางมีพื้นที่ให้ตัวทำละลายเข้าไปสกัดเอาสารสำคัญออกมาได้น้อย

### 3) ทดสอบประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของสารสกัด

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ของสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบชิ้นบาง เปลือกมังคุดอบแห้งแบบผง และเปลือกมังคุดผงทางการค้า พบว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดทั้ง 3 ชนิด สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ สอดคล้องกับรายงานของอุดมลักษณ์ และคณะ (2549) แต่มีประสิทธิภาพแตกต่างกัน ดัง Figure 8 โดยสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อได้ดีที่สุด มีเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ย เท่ากับ 12.25 มิลลิเมตร สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณสารแอลฟา-แมงโกสติน คือ มีปริมาณสารแอลฟา-แมงโกสตินสูงสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ดี เนื่องจากมีปริมาณสารออกฤทธิ์ไปทำลายเชื้อได้มากกว่า ส่วนสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบชิ้นบาง และสารสกัดจากเปลือกมังคุดผงทางการค้า มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ย เท่ากับ 8.56 และ 8.38 มิลลิเมตร

โดยการยับยั้งเกิดจากกลไกการทำงานของสารแซนโทนและสารอื่นๆ ที่อยู่ในสารสกัดจากเปลือกมังคุด ยับยั้งการเกิดกิจกรรมต่างๆ ในผนังเซลล์ ยับยั้งการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ในการสังเคราะห์โปรตีน การเปลี่ยนแปลงโมเลกุลโปรตีน และการยับยั้งเอนไซม์ โดยสารแซนโทนจะไปยับยั้งการแบ่งเซลล์ของเชื้อ สารซาโปนินจะไปเพิ่มแรงตึงผิวให้ผนังเซลล์ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลาย ไลโปฟิลิคและเทอพินอยด์จะไปทำลายเมมเบรนของเซลล์ และสารพอลิฟีนอลจะทำให้โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียเสื่อมสภาพ เป็นต้น (Sitti R H S. *et al.*, 2018)

ดังนั้นจึงเลือกสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงไปเตรียมฟิล์มต้านจุลินทรีย์ เนื่องจากให้ปริมาณสารสกัดหยาดมากกว่า มีปริมาณสาระสำคัญแอลฟา-แมงโกสตินมากกว่า และสามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ซึ่งเป็นเชื้อก่อโรคในอาหารและทำให้อาหารเน่าเสียได้

#### 4) เตรียมฟิล์มต้านจุลินทรีย์และทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม

ผลการเตรียมฟิล์มโดยวิธีการแต่งเติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงลงในฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 4% โดยให้มีปริมาณของสารสกัด 0 10,000 30,000 50,000 และ 70,000 ppm และใช้กลีเซอรอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น พบว่าฟิล์มที่ได้มีลักษณะโปร่งแสง มีสีเหลืองเข้มขึ้นตามปริมาณสารสกัด มีลักษณะเรียบ ยืดหยุ่นได้ดี ดัง Figure 9 โดยจากการวัดค่าสีของฟิล์ม พบว่า ฟิล์มมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ลดลง เท่ากับ 92.4 89.0 86.7 80.8 และ 86.6 ตามลำดับ และมีค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) เพิ่มขึ้น เท่ากับ 4.1 16.4 29.3 47.6 และ 56.3 ตามลำดับ ดัง Table 1

เมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างของฟิล์มด้วยเครื่อง FTIR พบว่าสเปกตรัมของฟิล์มที่เติมสารสกัดในช่วง  $2500-2000\text{ cm}^{-1}$  มีความเข้มของสเปกตรัมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของสารสกัดเพิ่มขึ้น และไม่มีสเปกตรัมในช่วง  $1714-1713\text{ cm}^{-1}$  ในสเปกตรัมของสารสกัดแต่มีในสเปกตรัมของฟิล์ม ดัง Figure 10

เมื่อทำการวิเคราะห์ตำแหน่งของสเปกตรัมเปรียบเทียบกันพบว่า ฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่เติมสารสกัดและเติมสารสกัด (Figure 11(a) และ 11(b) มีสเปกตรัมที่ตำแหน่ง  $3286$  และ  $3266\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นตำแหน่งของ -OH stretching ของ PVA ซึ่งจะอยู่ในช่วง  $3550-3200$  (Mansur *et al.*, 2008) ซึ่งไม่ปรากฏในสเปกตรัมของสารสกัด ส่วนสเปกตรัมของสารสกัด (Figure 11(c) ที่ตำแหน่ง  $3298\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งครอบคลุมพื้นที่เดียวกันนั้นเป็นตำแหน่งของ -OH stretching ของกลุ่มไฮดรอกซิลของแซนโทน (-OH) (Aisha *et al.*, 2015) ส่วนช่วง  $3000-2840\text{ cm}^{-1}$  เป็นตำแหน่งของ C-H<sub>n</sub> stretching และ C-H vibration ของกลุ่มเมทิลในโครงสร้างของแอลฟา-แมงโกสติน และกลุ่มอัลคิลของ PVA (Machmudah *et al.*, 2015 และ Mansur *et al.*, 2008) ที่ตำแหน่ง  $2359-2342$  เป็นตำแหน่งของ C-O stretching (Netata *et al.*, 2014) ของแซนโทนในสารสกัด ซึ่งไม่ปรากฏในสเปกตรัมของฟิล์มที่ไม่เติมสารสกัด และความเข้มหรือความสูงของสเปกตรัมที่ตำแหน่งนี้เพิ่มขึ้นในฟิล์มที่เติมสารสกัดปริมาณมากขึ้น และที่ตำแหน่ง  $1714\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งพบในฟิล์มทั้งที่เติมและไม่เติมสารสกัดแต่ไม่พบในสารสกัดเกิดจากการ stretching vibration ของ C=O ของกลุ่มคาร์บอนิลของพอลิไวนิลอะซิเตตที่หลงเหลือจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลอะซิเตตเพื่อเตรียม PVA (Korbag *et al.*, 2016) เช่นเดียวกับที่สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี:IR12 (2553) ได้อธิบายไว้ว่าพอลิเมอร์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสบางสวณยังคงมีหมู่อะซิเตตเหลืออยู่

จากสเปกตรัมจึงแสดงให้เห็นว่าสารสกัดกับ PVA เกิดแรงกระทำระหว่างกัน ทำให้เกิดสเปกตรัมในตำแหน่งของทั้งสารสกัดและ PVA ในฟิล์มทุกกรรมวิธี และฟิล์มแสดงสเปกตรัมที่เข้มข้น/สูงขึ้นในตำแหน่งของสารสกัดเมื่อปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้น

เมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม พบว่าคุณสมบัติของฟิล์มแตกต่างกันตามปริมาณสารสกัดที่เติม ดัง Table 1 โดยฟิล์มทุกกรรมวิธีมีความหนาใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.11-0.13 มิลลิเมตร มีความชื้นลดลงเมื่อปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้นเป็นไปในทิศทางเดียวกับการละลายน้ำที่ลดลงเมื่อปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อ PVA เกิดแรงกระทำกับสารสกัดทำให้หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในฟิล์มลดลง จึงเกิดแรงกระทำกับโมเลกุลของของน้ำได้น้อยลง ดังนั้นจึงดูความชื้นได้น้อยลงและละลายน้ำลดลง โดยความชื้นของฟิล์มทุกกรรมวิธีอยู่ในช่วง 7.71-10.05% ส่วนการละลายน้ำของฟิล์มที่เติมสารสกัด 30,000-70,000 ppm มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) อยู่ในช่วง 93.21-94.28% ส่วนฟิล์มที่ไม่เติมสารสกัดและเติมสารสกัด 10,000 ppm มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) คือ 96.58 และ 96.15% ผลจากการละลายน้ำของฟิล์มแสดงให้เห็นว่าฟิล์มเหมาะกับการบรรจุอาหารแห้งหรืออาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากฟิล์มยังคงคุณสมบัติของ PVA ไว้ คือ ละลายได้ดีในน้ำ มีความต้านทานต่อน้ำมัน ไขมัน และสารละลายต่างๆ ได้ดี และจากคุณสมบัติการละลายน้ำได้ดีจึงทำให้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี:IR12, 2553)

ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity;  $a_w$ ) เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณน้ำต่ำสุดในฟิล์มที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้ โดยแบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่า  $a_w$  ต่ำกว่า 0.9 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่า  $a_w$  ต่ำกว่า 0.7 (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2546) ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าฟิล์มที่เติมสารสกัดทุกกรรมวิธีมีค่า  $a_w$  ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) คือ อยู่ในช่วง 4.09-4.19 ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติกับฟิล์มที่ไม่เติมสารสกัดที่มีค่า  $a_w$  0.367 แสดงให้เห็นว่าเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตบนฟิล์มได้

คุณสมบัติเชิงกล เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของของฟิล์มซึ่งหากมีค่าสูงก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ได้ดี โดยความแข็งแรงของฟิล์มเกิดขึ้นจากแรงกระทำทั้งภายในและภายนอกโมเลกุลผ่านพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของโมเลกุลพอลิเมอร์กลีเซอรอล และสารสกัด ซึ่งในการทดลองได้ทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงขาดและความสามารถในการยืดตัว ซึ่งผลการทดลองพบว่าฟิล์มที่เติมสารสกัด 30,000 50,000 และ 70,000 ppm มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ดัง Table 1 ดังนี้

ความต้านทานแรงดึงขาด (Tensile Strength; TS) ของฟิล์มมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารสกัดมีสารในกลุ่มแซนโทนซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถเกิดแรงกระทำกับหมู่ไฮดรอกซิลของ PVA ได้ และเมื่อมีปริมาณสารสกัดเพิ่มขึ้นแรงกระทำก็เพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยฟิล์มที่เติมสารสกัด 30,000 50,000 และ 70,000 ppm มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เท่ากับ 304.59 322.76 และ 329.69 kgf/cm<sup>2</sup> ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสารสกัดช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้ฟิล์มได้

นอกจาก PVA จะมีคุณสมบัติต้านทานแรงดึงขาดดีแล้ว ยังมีคุณสมบัติดึงยืดหรือยืดตัว (Elongation; E) ได้ดีด้วย โดยฟิล์มที่ไม่เติมสารสกัดสามารถดึงยืดได้สูงถึง 316% ของฟิล์ม สอดคล้องกับ รายงานของสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี: IR12 (2553) และ ความสามารถในการยืดตัวลดลงเมื่อเติมสารเติมแต่ง 10,000 ppm เท่ากับ 219.98% แต่ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) อาจเนื่องมาจากสารสกัดเข้าไปขัดขวางการเกิดแรงกระทำกันในสาย โഴ่พอลิเมอร์ และการเกิดแรงกระทำกันระหว่างพอลิเมอร์กับกลีเซอรอลซึ่งเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น และ สารสกัดมีปริมาณน้อยเกินไปที่จะช่วยเสริมแรงให้กับพอลิเมอร์ แต่เมื่อเติมสารสกัดมากขึ้นเป็น 30,000 ppm พบว่าทำให้ฟิล์มสามารถดึงยืดได้สูงถึง 424% แสดงว่าสารสกัดที่เพิ่มขึ้นสามารถเกิดแรงกระทำกับ PVA ได้ดีขึ้น เป็นสารช่วยเสริมแรงให้พอลิเมอร์ได้ โดยเมื่อเติมสารสกัด 50,000 และ 70,000 ppm พบว่าความสามารถในการดึงยืดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) กับฟิล์มที่เติมสาร สกัด 30,000 ppm ดัง Table 1

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มเติมสารสกัด พบว่าสามารถนำฟิล์มไปประยุกต์ใช้เป็นฟิล์ม ยืดได้เทียบเท่ากับฟิล์มพอลิเอทิลีน เนื่องจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “ฟิล์มยืดหุ้มห่ออาหาร” (มอก.1136-2536) ได้ระบุไว้ว่าฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีน จะต้องมีความต้านทานแรงดึงขาดได้อย่างน้อย 30 MPa หรือประมาณ 306 kgf/cm<sup>2</sup> และสามารถดึงยืดได้อย่างน้อย 120% ซึ่งฟิล์มที่เตรียมได้มีค่าสูงกว่า มาตรฐานที่กำหนด ทั้งนี้จะต้องทำการทดสอบเพิ่มเติมด้านความปลอดภัยเมื่อนำไปใช้บรรจุอาหาร

#### 5) ทดสอบประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์ม

ผลการนำฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดมาทดสอบการต้านเชื้อ แบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* พบว่าไม่เกิด clear zone บริเวณรอบๆ ฟิล์ม เนื่องจากสารสกัด จากเปลือกมังคุดไม่ได้แพร่ออกมาจากฟิล์ม อีกทั้ง PVA ละลายน้ำได้ดี เมื่อวางบนอาหารทำให้ฟิล์ม ละลายออก โดยฟิล์มที่ไม่เติมสารสกัดและเติมสารสกัด 10,000 ppm ไม่สามารถต้านการเจริญเติบโต ของเชื้อได้ เนื่องจากเชื้อเจริญเติบโตได้ดีในงานเพาะเชื้อจนมองไม่เห็นฟิล์ม ส่วนฟิล์มเติมสารสกัด 30,000 และ 50,000 ppm สามารถต้านการเจริญเติบโตของเชื้อได้เล็กน้อย เนื่องจากยังพบการ เจริญเติบโตของเชื้อบนผิวหน้าของฟิล์ม ส่วนฟิล์มที่เติมสารสกัด 70,000 ppm สามารถต้านการ เจริญเติบโตของเชื้อได้ดี เนื่องจากไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อบนผิวหน้าของแผ่นฟิล์ม โดยมีขนาดของ เส้นผ่านศูนย์กลางของวงใสเฉลี่ยเท่ากับ 13.25 มิลลิเมตร ดัง Figure 12

ดังนั้นจึงสามารถนำฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดปริมาณ 70,000 ppm ไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ได้

#### 6) วิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิตเป็นต้นทุนจากการสกัดสารจากเปลือกมังคุด ประมาณ 12 บาท/กรัม พอลิไวนิล แอลกอฮอล์เกรดทางการค้า 230 บาท/กิโลกรัม กลีเซอรอล 1 บาท/มิลลิลิตร ดังนั้นในการเตรียมฟิล์ม

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดปริมาณ 70,000 ppm มีต้นทุนจากสารเคมีทั้งหมดเท่ากับ 17 บาท/ตารางฟุต หรือประมาณ 0.60 บาท/ตารางเซนติเมตร

#### 9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ :

การเตรียมฟิล์มต้านจุลินทรีย์โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 4% w/v เติมกลีเซอรอล 30% w/w เป็นสารก่อฟิล์ม และใช้สารสกัดจากเปลือกมังคุดอบแห้งแบบผงเป็นสารต้านจุลินทรีย์พบว่าฟิล์ม PVA เติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดปริมาณ 70,000 ppm มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียก่อโรคในอาหารและทำให้อาหารเน่าเสียได้ดีที่สุด โดยฟิล์มมีความหนา 0.13 มิลลิเมตร มีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) 76.6 ค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) 56.3 มีความชื้น 7.71% มีปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) 0.412 สามารถนำไปใช้เป็นฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหารได้ เนื่องจากมีความต้านทานแรงดึงขาด 329.69 kgf/cm<sup>2</sup> และดึงยืดได้ 387.10% สูงกว่ามาตรฐานฟิล์มยืดชนิดพอลิเอทิลีน ตามมาตรฐาน มอก.1136-2536 “ฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหาร” นอกจากนี้ยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมีความสามารถในการละลายน้ำ 94.28% มีต้นทุนการผลิตเฉพาะต้นทุนจากสารเคมีประมาณ 17 บาท/ตารางฟุต

ข้อเสนอแนะสำหรับการทดลองต่อไป คือ นำฟิล์มไปประยุกต์ใช้เป็นฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหารที่เน่าเสียจากจุลินทรีย์ได้ง่าย เช่น ขนมอบัง ผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ เป็นต้น แต่เนื่องจากฟิล์มมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี จึงอาจมีข้อจำกัดในการใช้งานกับบางผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ต้องทดสอบเพิ่มเติมด้านความปลอดภัยเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดต่างๆ เช่น ข้อกำหนดเรื่องวัสดุสัมผัสอาหาร เป็นต้น

#### 10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- ส่งเสริมให้เกษตรกรหรือผู้ประกอบการแปรรูปมังคุด สกัดเอาสารสำคัญจากเปลือกมังคุดมาใช้ประโยชน์
- ถ่ายทอดความรู้เรื่องบรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ให้แก่ผู้ประกอบการหรือเกษตรกรผู้ผลิตอาหารที่เน่าเสียจากจุลินทรีย์ได้ง่าย
- เผยแพร่ข้อมูลผ่านการประชุม สัมมนา การตีพิมพ์วารสาร เพื่อให้ นักวิชาการและผู้สนใจนำไปเป็นข้อมูลอ้างอิงในการพัฒนาต่อไป

#### 11. เอกสารอ้างอิง :

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2536. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหาร (มอก. 1136-2536). 17 หน้า. (ออนไลน์). สืบค้นจาก:

[https://www.tisi.go.th/data/standard/pdf/a1136\\_25xx\\_2.pdf](https://www.tisi.go.th/data/standard/pdf/a1136_25xx_2.pdf). [10 มกราคม 2563].

บุษกร ทองใบ ญัฐกานต์ ไหวดี และกัณฑ์พัฒน์ อุตราช. 2554. ประสิทธิภาพของฟิล์มเคลือบสารสกัดเปลือกมังคุดในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนขึ้นปลา. ว.วิทย์.กษ. 42:1(พิเศษ). 599-602.

- ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ วิไลวรรณ อางนันทน์ และนิธิยา รัตนานนท์. 2552. การพัฒนาสารสกัดจากเปลือกมังคุดเพื่อใช้ในการยืดอายุผลิตภัณฑ์อาหาร. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 69 หน้า.
- พงศธร ล้อสุวรรณ, จิตศิริ ราชตะนะพันธ์ และศศิธร จันทนวางกูร. 2551. สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และการต้านจุลินทรีย์ของเปลือกผลไม้. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46:สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. หน้า 554-561.
- พัชรินทร์ มีทรัพย์ และสุวิชญา บัวชาติ. 2561. ประสิทธิภาพของสารสกัดสมุนไพรต่อการยับยั้งเชื้อ Staphylococcus aureus และ Escherichia coli. ว.วิทย.กษ. 49(2)(พิเศษ). 485-488.
- สุพัฒน์ คำไทย กิตติกุล อุงคนตวิวัต และวีรบูรณ์ คิดเก่ง. 2554. การเติมสารสกัดจากผงเปลือกมังคุดในฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเพื่อควบคุมเชื้อสาเหตุโรคแอนแทรกโนส. ว.วิทย.กษ. 42:1 (พิเศษ): 583-583.
- สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2553. ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้: พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ. 32 หน้า. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR12.pdf>. [21 มิถุนายน 2560].
- สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2553. ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้: แบคทีเรียในอาหาร. 29 หน้า. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR19.pdf>. [21 มิถุนายน 2560].
- สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2555. ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้: การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์. 23 หน้า. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR31.pdf>. [21 มิถุนายน 2560].
- อุดมลักษณ์ สุขอัคร อูไรวรรณ ดิลกคุณานันท์ ประภัสสร รักถาวร สิริพร ศิริวรรณ และพจมาน พิศเพียงจันทร์. 2569. การสกัดและการออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเปลือกมังคุด. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 : สาขาวิทยาศาสตร์. 700 หน้า. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://www.lib.ku.ac.th/KUCONF/kc4405071.pdf>. [20 ธันวาคม 2554].
- Aisha, A. F. A., Abu-salah, K. M., Isamail, Z. and Majid, A. M. S. A. 2013. Determanation of total xanthones in Garcinia Mangostana fruit rind extracts by ultraviolet (UV) spectrophotometry. Journal of Medicinal Plants Research. Vol.7(1). 29-35.
- Aisha, A. F. A., Majid, A. M. S. A., Ismail, Z., Alrokayan, S. A. and Abu-Salah K. M. 2015. Development of Polymeric Nanoparticles of Garcinis mangistana Xanthones in

- Eudragit RL100/RS100 for Anti-Colon Cancer Delivery. *Journal of Nanomaterials*. Vol.2015. 12p.
- Bonilla, J., Fortunati, E., Atares, L., Chiralt, A. and Kenny, J. M. 2014. Physical, structural and antimicrobial properties of poly vinyl alcohol-chitosan biodegradable films. *Food Hydrocolloids*. 35. 463-470.
- Fong, R. J., Robertson, A., Mallon, P. E. and Thompson, R. L. 2018. The Impact of Plasticizer and Degree of Hydrolysis on Free Volume of Poly(vinyl alcohol) Films. *Polymer*. 10. 1036. 15p.
- Korbag, I. and Saleh, S. M. 2016. Studies on the formation of intermolecular interactions and structural characterization of polyvinyl alcohol/lignin film. *International of Environment Studies*. Available: <http://dx.doi.org/10.1080/00207233.2016.1143700>. [10 January 2020]. 9p.
- Kusmayadi, A., Adriani, L., Abun, A., Muchtaridi, M. and Tanuwiria U. H. 2018. The effect of solvents and extraction time on total xanthone and antioxidant yields of mangosteen peel (*Garcinia Mangostana* L.) extract. *Drug Invention Today*. 10:12. 2572-2576.
- Machmudah, S., Shiddiqi, Q. Y. A., Kharisma, A. D., Widiyastuti, Wahyudiono, Kanda, H., Winardi, S. and Goto, M. 2014. Subcritical Water Extraction of Xanthone from Mangosteen (*Garcinia Mangostana* Linn) Pericarp. *J Adv Chem Eng*. 5:1. 6p.
- Masur, H. S., Sadahira, C. M., Souza, A. N. and Mansur, A. A. P. 2008. FTIR spectroscopy characterization of poly (vinyl alcohol) hydrogel with different hydrolysis degree and chemically crosslinked with glutaraldehyde. *Material Science and Engineering C*. 28. 539-548.
- Musetti, A., Paderni, K., Fabbri, P., Pulvirenti, A., Al-Moghazy, M. and Fava, P. 2014. Poly(vinyl alcohol)-Based Film Potentially Suitable for Antimicrobial Packaging Applications. *Journal of Food Science*. Vol.00. Nr.0. 6p.
- Narasimhan, S., Maheshwaran, S. and Abu-Yousef, I. A. 2017. Anti-Bacterial and Anti-Fungal Activity of Xanthenes Obtained via Semi-Synthetic Modification of  $\alpha$ -Mangostin from *Garcinia mangostana*. *Molecules*. 22. 275. 13p.
- Netala, V.R., Kotakadi, V. S., Nagam, V., Bobbu, P., Ghosh, S. B. and Tarte, V. 2014. First report of biomimetic synthesis of silver nanoparticles using aqueous callus extract of *Centella asiatica* and their antimicrobial activity. Available: [www.researchgate.net/publication/268222793](http://www.researchgate.net/publication/268222793). [10 January 2020]. 7p.



- Palakawong, C., Sophanodora, P., Pisuchpen, S. and Phongpaichit, S. 2010. Antioxidant and antimicrobial activities of crude extracts from mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) parts and some essential oils. International Food Research Journal. 17. 583-589.
- Pothitirat, W. and Gritsanapan, W. 2008. Quantitative analysis of total mangostins in *Garcinia Mangostana* Fruit Rind. J Health Res. 22(4). 161-166.
- Pu-you, J., Cai-ying, B., Li-hong, H. and Young-hong, Z. 2014. Properties of Poly(vinyl alcohol) Plasticized by Glycerin. JOURNAL OF FOREST PRODUCTS & INDUSTRIES. 3(3). 151-153.
- Satong-aun, W., Assawarachan, R. and Noomhorm, A. 2011. The Influence of Drying Temperature and Extraction Methods on  $\alpha$ -Mangostin in Mangosteen Pericarp. Journal of Food Science and Engineering 1. 85-92.
- Sitti R H S., Sugita, P., Ambarsari, L. and Rahayu, D. U. C. 2018. Antibacterial Mangosteen (*Garcinia mangosteen* Linn.) peel extract encapsulated in Chitosan. IOP Conf. Series: Journal of Physics: conf. Series 1116. 7 p.
- Su, J.F., Huang, Z., Yuan, X.Y., Wang, X.Y. and Li, M. 2010. Structure and properties of carboxymethyl cellulose/soy protein isolate blend edible films crosslinked by Maillard reactions. Carbohydrate Polymers. 79:145-153.
- Tongdeesoontorn, W., Mauer, L.J., Wongruong, S., Sriburi, P. and Rachtanapun, P. 2011. Effect of carboxymethyl cellulose concentration on physical properties of biodegradable cassava starch-based films. Chemistry Central Journal. 5:6. 8p.
- Tripathi, R. M., Pudake, R. N., Shrivastav, B. R. and Shrivastav, A. 2018. Antibacterial activity of poly (vinyl alcohol)-biogenic silver nanocomposite film for food packaging material. Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol. 9. 5p.

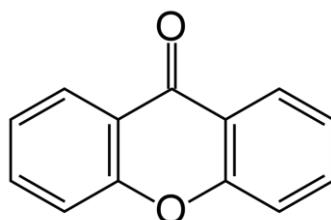
## 12. ภาคผนวก

:

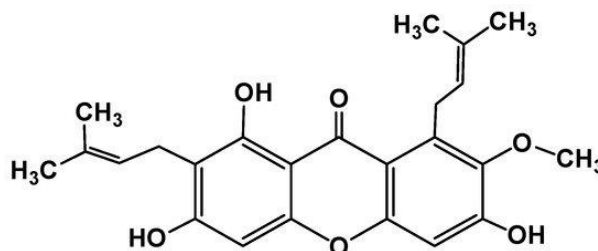
**Table 1** Properties of PVA films incorporated with mangosteen peel extract.

Extract Content (ppm)	Thickness (mm)	Film Properties							
		Moisture Content (%)	Water Solubility (%)	$a_w$	Tensile Strength (kF/cm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Color Score		
							L*	a*	b*
0	0.11	10.05a	96.58a	0.367b	292.40bc	316.00c	92.4	-0.1	4.1
10,000	0.12	9.89a	96.15a	0.410a	279.49c	291.98c	89.0	0.3	16.4
30,000	0.12	9.59ab	93.21b	0.409a	304.59abc	424.00a	86.7	1.9	29.3
50,000	0.12	9.07ab	93.69b	0.419a	322.76ab	379.58b	80.8	6.6	47.6
70,000	0.13	7.71b	94.28b	0.412a	329.69a	387.10ab	76.6	10.4	56.3

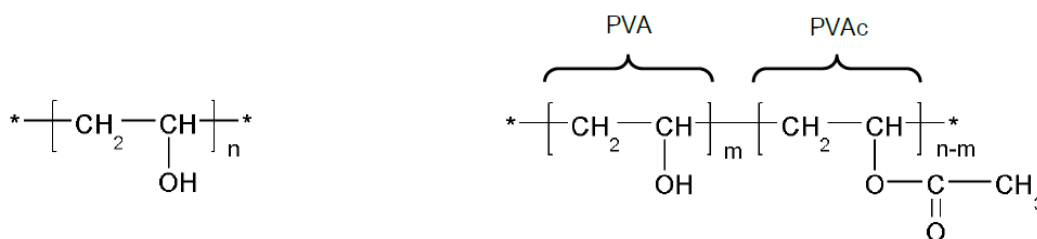
Means within the same column followed by different letter are significantly different (P<0.05)



**Figure 1** Xanthone Structure (source: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Xanthone\\_structure.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Xanthone_structure.png))



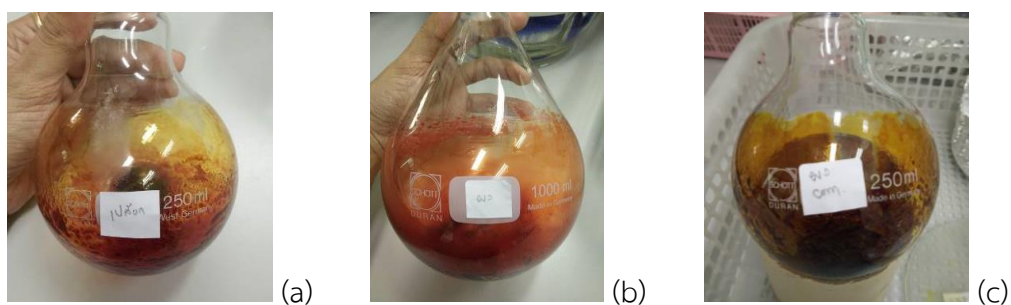
**Figure 2**  $\alpha$ -mangostin structure



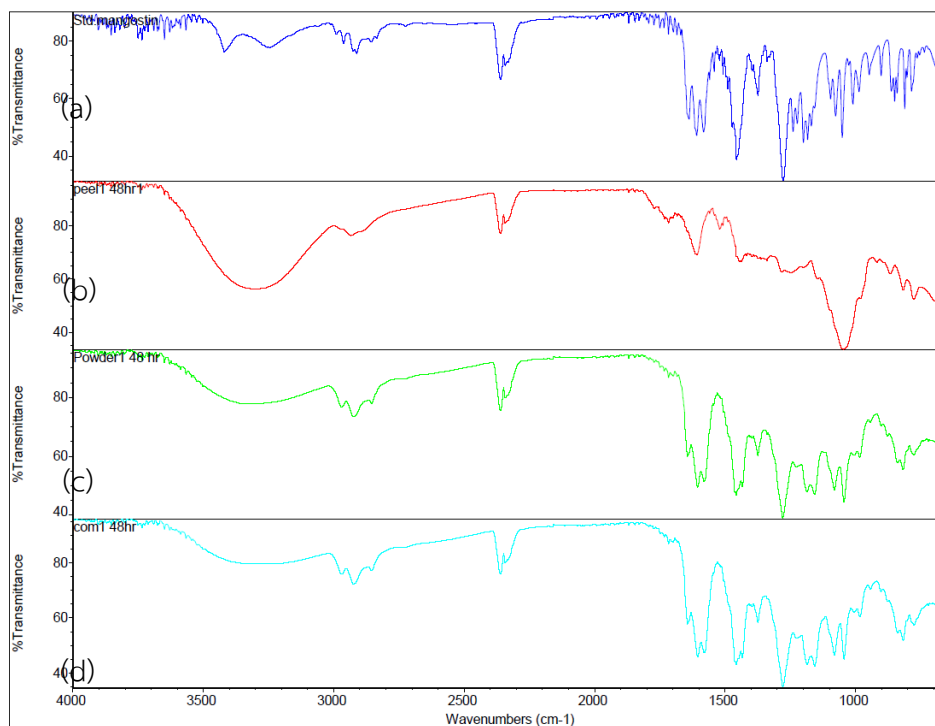
**Figure 3** Structure of completely hydrolyzed (left) and partially hydrolyzed (right) polyvinyl alcohol.



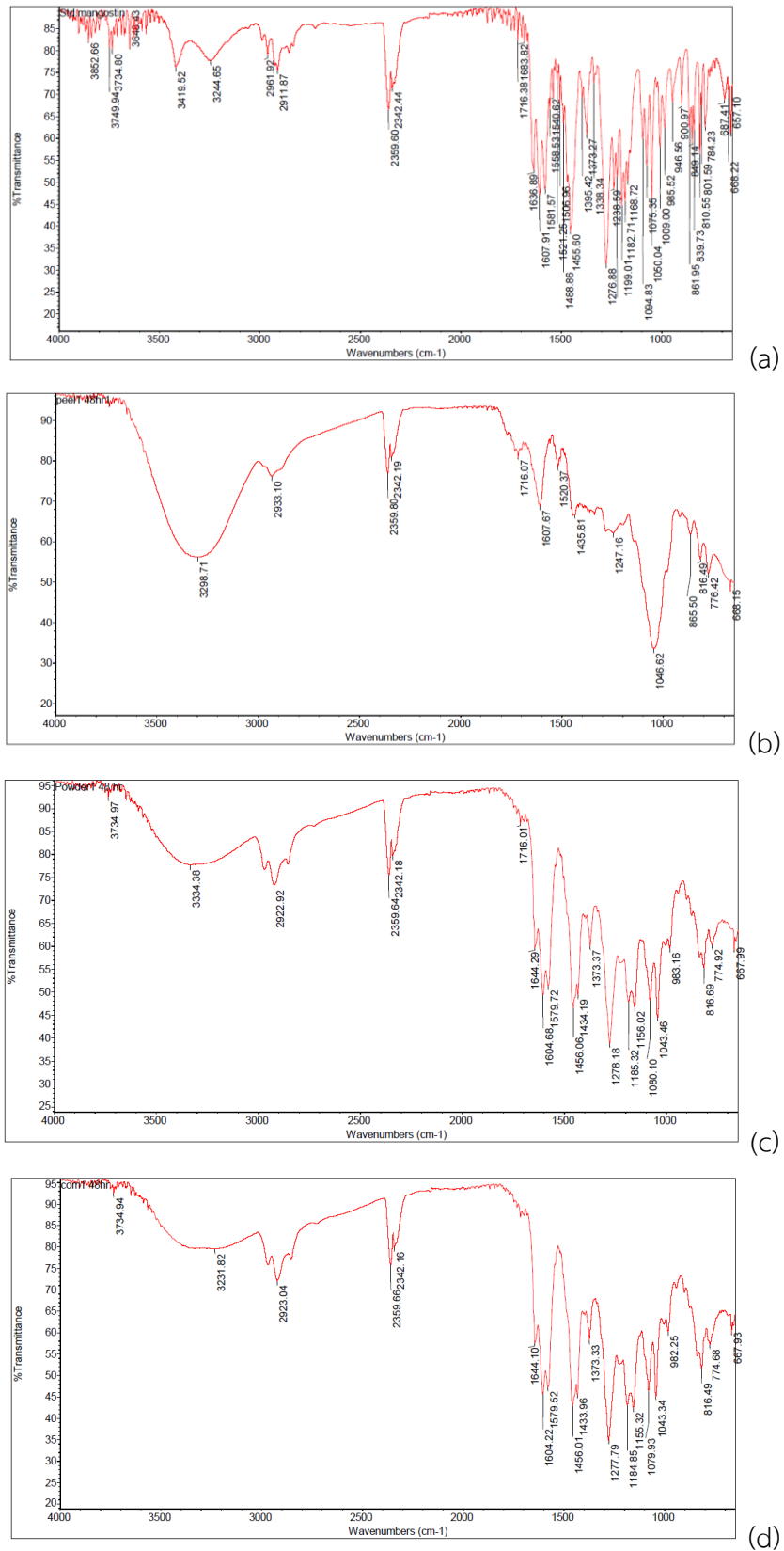
**Figure 4** Appearance of slices of dried mangosteen peel (a) dried mangosteen peel powder (b) and commercial mangosteen peel powder (c).



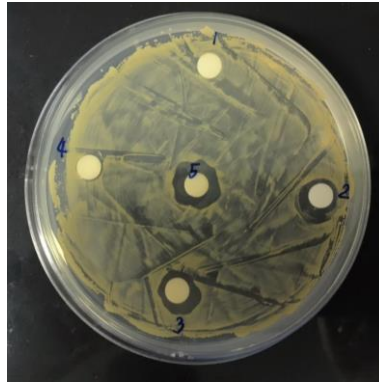
**Figure 5** Appearance of crude extract from slices of dried mangosteen peel (a) dried mangosteen peel powder (b) and commercial mangosteen peel powder (c).



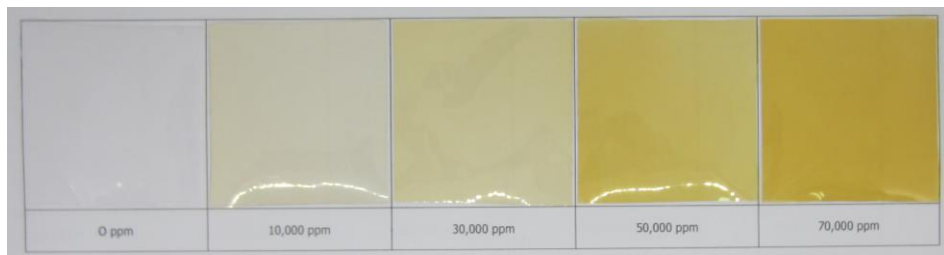
**Figure 6** FTIR spectra of  $\alpha$ -mangostin standard (a) crude extract from slices of dried mangosteen peel (b) crude extract from dried mangosteen peel powder (c) and crude extract from commercial mangosteen peel powder (d).



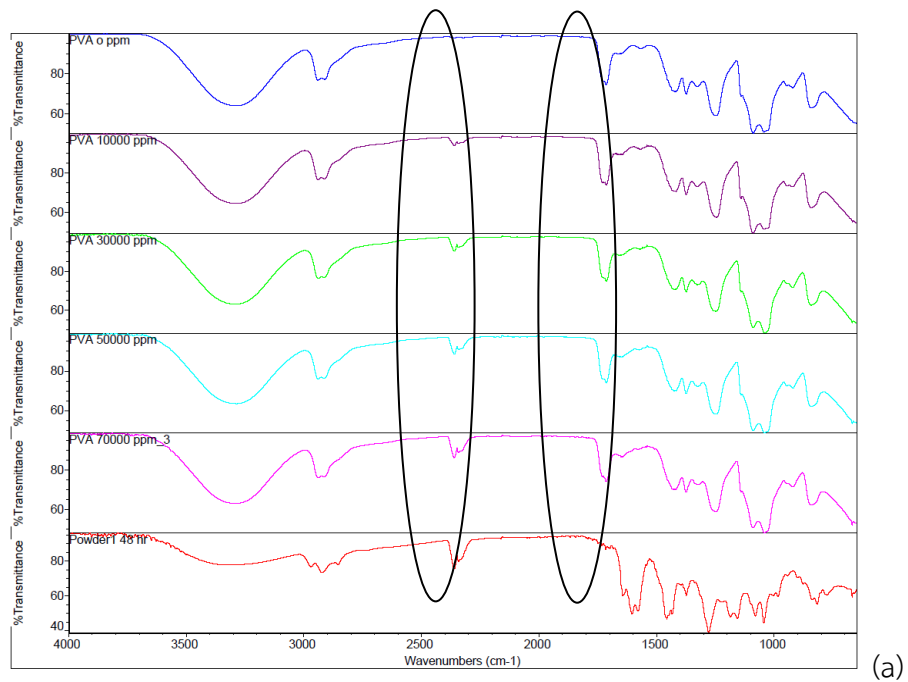
**Figure 7** Wave number of FTIR spectra of  $\alpha$ -mangostin standard (a) crude extract from slices of dried mangosteen peel (b) crude extract from dried mangosteen peel powder (c) and crude extract from commercial mangosteen peel powder (d).



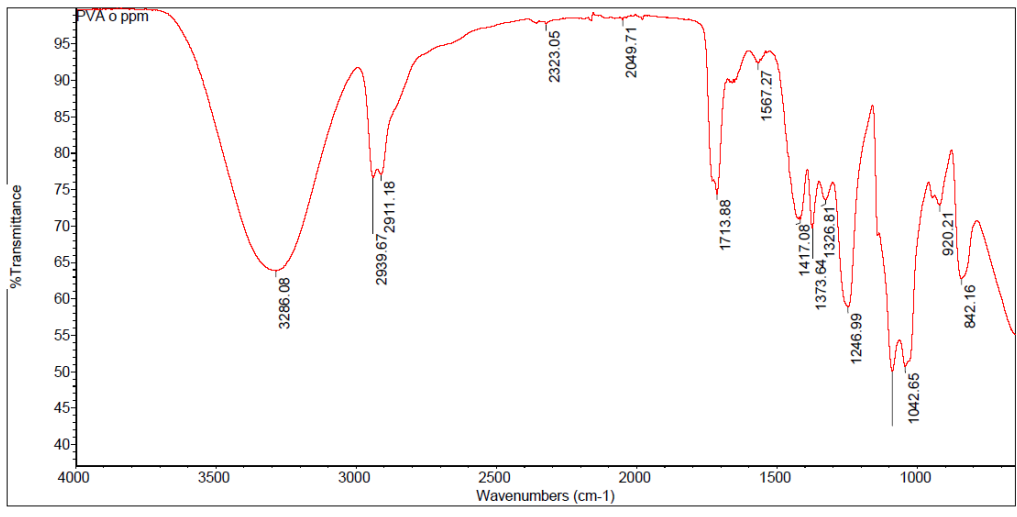
**Figure 8** Inhibitory effect of water (1) methanol (2) extract from commercial mangosteen peel powder (3) extract from slices of dried mangosteen peel (4) and extract from dried mangosteen peel powder (5) against *Staphylococcus aureus*.



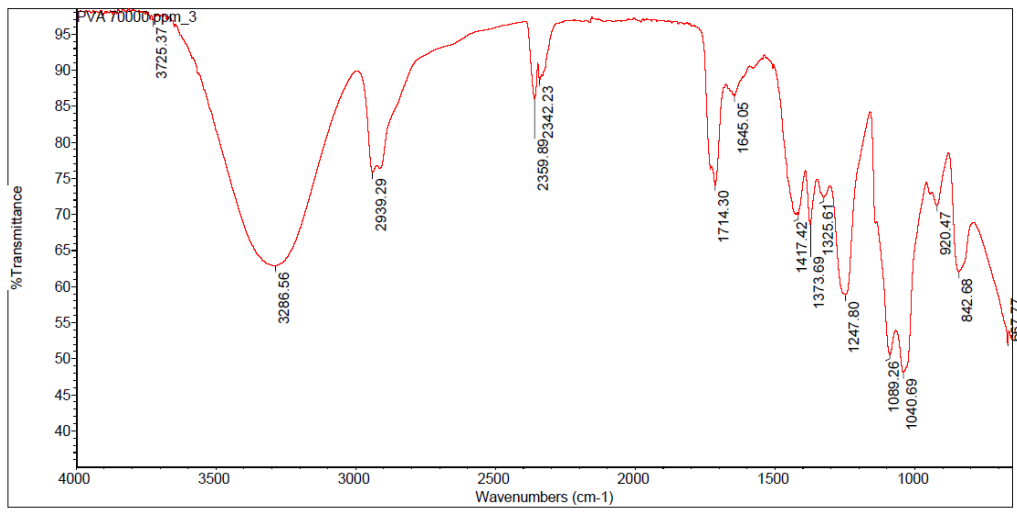
**Figure 9** PVA films appearance at various mangosteen peel extract various content: 0, 10,000, 30,000, 50,000 and 70,000 ppm (left to right).



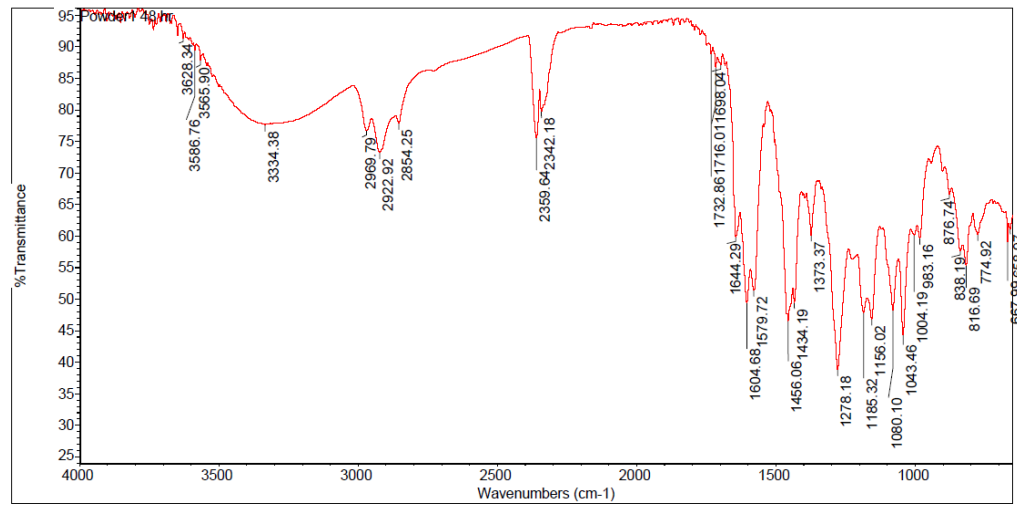
**Figure 10** FTIR spectra of PVA film incorporated with dried mangosteen peel powder extract 0, 10000, 30,000, 50,000 70,000 ppm and mangosteen peel extract.



(a)

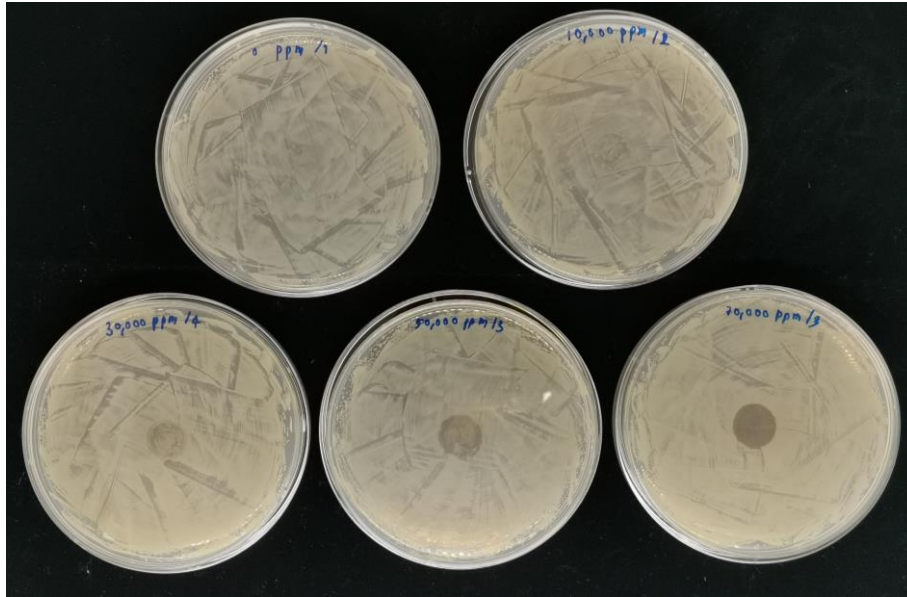


(b)



(c)

**Figure 11** Wave number of FTIR spectra of PVA film (a) PVA film incorporated with dried mangosteen peel powder extract 70,000 ppm (b) and extract of dried mangosteen peel powder.



**Figure 12** Inhibition zone of PVA films incorporated with various content of dried mangosteen peel powder extract: 0 10,000 30,000 50,000 and 70,000 ppm against *Staphylococcus aureus* (left to right and top to down).