



## รายงานการวิจัย

เรื่อง

การใช้ฟิล์มเคลือบบริโภคนได้จากไคโตซานเพื่อยืดอายุการเก็บของ  
ผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป

Edible Chitosan Film Coating for Shelf life Extension of a Processed  
Food Product

โดย

รศ.ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทรารวรรณ

รศ.ดร. สุวิมลลา พงษ์อำไพ

รศ.ดร. สุภาภรณ์ ดักกลาส

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน  
ประจำปีงบประมาณ 2552

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ทุนงบประมาณแผ่นดิน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปีงบประมาณ 2552 ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราวัฒน์ ทัดติยกุล ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาโครงการ ผู้ช่วยวิจัย คุณสุภารัตน์ น้อยมา และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ฟิล์มเคลือบบริโคได้จากโคโตซานในการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปพร้อมบริโค โดยแบ่งงานวิจัยเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก เป็นการศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์และภาวะการบรรจุที่เหมาะสมในการเก็บรักษา broiled boneless pork (BBP) โดยใช้บรรจุภัณฑ์ polypropylene ภายใต้บรรยากาศปกติ (OPP) และในบรรจุภัณฑ์ polyamide ภายใต้บรรยากาศปกติ (PA) และภายใต้ภาวะสุญญากาศ (PA-V) ติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่าสี, ความแน่นเนื้อ, ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value, POV) และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ในระหว่างการเก็บรักษาที่  $2 \pm 1$  °C ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาใน PA-V เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าสี, ความแน่นเนื้อ, pH, ค่า POV และคุณภาพทางประสาทสัมผัสน้อยที่สุด จึงเลือกใช้บรรจุภัณฑ์และภาวะการบรรจุดังกล่าวในการทดลองขั้นต่อไป

ขั้นตอนที่สองเป็นการศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มเคลือบบริโคได้จากโคโตซาน โดยศึกษาชนิดของสารละลายกรดที่ใช้เป็นตัวทำละลาย ได้แก่ lactic acid 1 % (w/v) และ acetic acid 1 % (w/v) และศึกษาผลของการใช้ plasticizer ที่ปริมาณต่างๆ กัน คือ 0, 10, 20 และ 30 % โดยน้ำหนักของโคโตซาน ติดตามผลโดยการวัดความหนา, tensile strength (TS), elongation at break (% EAB) และ water vapor transmission rate (WVTR) ของฟิล์มที่เตรียมได้ จากผลการทดลองพบว่าฟิล์มที่ใช้ acetic acid มีค่า TS มากกว่าฟิล์มที่ใช้ lactic acid ส่วนความหนา ค่า % EAB และ WVTR ของฟิล์มที่ได้จากตัวทำละลายทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกัน จึงเลือกใช้ acetic acid เป็นตัวทำละลาย และใช้ plasticizer ที่ 20% เนื่องจากฟิล์มมีค่า % EAB สูงขึ้น ในขณะที่ค่า TS และค่า WVTR ไม่แตกต่างจากฟิล์มที่ไม่เติม plasticizer

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการศึกษาถึงผลของการใช้ฟิล์มเคลือบบริโคได้จากโคโตซานต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ BBP โดยเคลือบผลิตภัณฑ์ด้วยสารละลายโคโตซานที่ความเข้มข้น 2.0 % (Coat-A) และ 2.5 % (Coat-B) และใช้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการเคลือบเป็นตัวควบคุม แล้วบรรจุใน PA-V และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $2 \pm 1$  °C พบว่าผลิตภัณฑ์ BBP ที่เคลือบด้วยโคโตซานมีการเปลี่ยนแปลงของค่าสี, ค่า POV, ค่าเนื้อสัมผัส และ pH น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยโคโตซานอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ส่วนการเคลือบด้วย Coat-A และ Coat-B ให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) การเคลือบผลิตภัณฑ์ด้วยโคโตซานช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ และยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ และพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการเคลือบมีอายุการเก็บน้อยกว่า 21 วัน ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเคลือบด้วยโคโตซานมีอายุการเก็บรักษานาน 28 วัน

## Abstract

The objective of this research was to use chitosan coating for shelf life extension of refrigerated ready-to-eat food product. The research was separated into 3 sections. Firstly, the optimum packaging material and condition for packaging of broiled boneless pork (BBP) was determined by using polypropylene bag under atmospheric air (OPP) and polyamide bag under atmospheric air (PA) and vacuum condition (PA-V) and stored at  $2 \pm 1$  °C. The results suggested that PA-V could maintain qualities including color, texture, pH, peroxide values (POV) and organoleptic qualities of BBP better than PA and OPP. Therefore, PA-V was used for further experiment.

Secondly, the optimum method for preparation of chitosan coating was determined by using different solvents including lactic acid 1% (w/v) and acetic acid 1% (w/v) and different concentrations of plasticizer including 0, 10, 20 and 30 % w/w of chitosan. It was found that using acetic acid, the chitosan film had higher tensile strength (TS), while thickness, elongation at break (% EAB) and water vapor transmission rate (WVTR) were not different from those using lactic acid. It was also found that 20 % plasticizer was optimum to be used for preparing chitosan film because the film had higher % EAB, while maintaining thickness, TS, and WVTR.

Lastly, the effect of using chitosan coating on qualities and shelf life of BBP was determined by coating the BBP with chitosan concentrations of 2.0 % w/v (Coat-A) and 2.5 % w/v (Coat-B). BBP without chitosan coating was used as Control. All samples were then packaged in PA-V and stored at  $2 \pm 1$  °C. It was found that BBP coated with chitosan could maintain color, texture, pH, POV and organoleptic qualities better than Control. The results suggested that chitosan coating could inhibit microbial growth and lipid oxidation of the product and thus extending the shelf life of the BBP. Control samples had had shelf life of less than 21 days, while BBP coated with chitosan had shelf life of up to 28 days.

## สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ii
บทคัดย่อไทย	iii
บทคัดย่ออังกฤษ	iv
สารบัญ	v
สารบัญตาราง	vi
สารบัญรูป	vii
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย	ix
1. บทนำ	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. วารสารปริทัศน์	3
3. วิธีดำเนินการวิจัย	7
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	11
5. สรุปผลการทดลอง	34
6. ข้อเสนอแนะและการประยุกต์ใช้ประโยชน์ของผลการวิจัย	36
เอกสารอ้างอิง	37
ภาคผนวก ก. แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	39
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดลอง	40
ภาคผนวก ค. การเผยแพร่ผลงานวิจัย	44
ประวัติคณະนักวิจัย	45

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ความหนา WVTR และ OTR ของบรรจุภัณฑ์	11
ตารางที่ 4.2 สมบัติของฟิล์มเคลือบบริเวณใต้จากไคโตซาน	25
ตารางที่ 4.3 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Log CFU/g) ในผลิตภัณฑ์ BBP ที่ไม่ผ่านและผ่าน การเคลือบด้วยไคโตซาน	32

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของโคตินและโคโตซาน	4
รูปที่ 4.1 ค่าสี Lab และ $\Delta E$ ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ polypropylene ภายใต้บรรยากาศปกติ (OPP) ในบรรจุภัณฑ์ polyamide ภายใต้บรรยากาศปกติ (PA) และ ภายใต้ภาวะสุญญากาศ (PA-V)	13
รูปที่ 4.2 ค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ polypropylene ภายใต้บรรยากาศปกติ (OPP) ในบรรจุภัณฑ์ polyamide ภายใต้บรรยากาศปกติ (PA) และ ภายใต้ภาวะสุญญากาศ (PA-V)	14
รูปที่ 4.3 ค่า POV ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ polypropylene ภายใต้บรรยากาศปกติ (OPP) ในบรรจุภัณฑ์ polyamide ภายใต้บรรยากาศปกติ (PA) และ ภายใต้ภาวะสุญญากาศ (PA-V)	15
รูปที่ 4.4 ค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ polypropylene ภายใต้บรรยากาศปกติ (OPP) ในบรรจุภัณฑ์ polyamide ภายใต้บรรยากาศปกติ (PA) และ ภายใต้ภาวะสุญญากาศ (PA-V)	16
รูปที่ 4.5 คะแนนประสาทสัมผัสด้านสี (color) กลิ่น (odor) และกายารยอมรับโดยรวม (overall acceptance) ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ polypropylene ภายใต้บรรยากาศปกติ (OPP) ในบรรจุภัณฑ์ polyamide ภายใต้บรรยากาศปกติ (PA) และ ภายใต้ภาวะสุญญากาศ (PA-V)	18
รูปที่ 4.6 ความหนาของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากโคโตซานเมื่อใช้ตัวทำละลายต่างกัน	20
รูปที่ 4.7 Tensile strength ของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากโคโตซานเมื่อใช้ตัวทำละลายต่างกัน	20
รูปที่ 4.8 Elongation at break ของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากโคโตซานเมื่อใช้ตัวทำละลายต่างกัน	21
รูปที่ 4.9 WVTR ของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากโคโตซานเมื่อใช้ตัวทำละลายต่างกัน	21
รูปที่ 4.10 ผลของปริมาณ plasticizer ต่อความหนาของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากโคโตซาน	23
รูปที่ 4.11 ผลของปริมาณ plasticizer ต่อ tensile strength ของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากโคโตซาน	23
รูปที่ 4.12 ผลของปริมาณ plasticizer ต่อ elongation at break ของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากโคโตซาน	24
รูปที่ 4.13 ผลของปริมาณ plasticizer ต่อค่า WVTR ของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากโคโตซาน	24
รูปที่ 4.14 FTIR Spectrum ของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากโคโตซาน	26

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

PP	ถุง polypropylene และบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ
PA	ถุง polyamide และบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ
PA-V	ถุง polyamide และบรรจุภายใต้ภาวะสุญญากาศ
WVTR	อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ
OTR	อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน
TS	ค่า tensile strength
% EAB	ค่า elongation at break (%)
FTIR	Fourier transform infrared spectroscopy
$\Delta E$	ค่าความแตกต่างของสี
BBP	broiled boneless pork
Coat-A	เคลือบด้วยโคโตซานที่มีความเข้มข้น 2.0 % (w/v)
Coat-B	เคลือบด้วยโคโตซานที่มีความเข้มข้น 2.5 % (w/v)



## 1. บทนำ

อุตสาหกรรมอาหารเป็นอุตสาหกรรมหลักที่เป็นรากฐานทางเศรษฐกิจของประเทศไทยในการนำรายได้เข้าประเทศ ในการเพิ่มศักยภาพของอุตสาหกรรมอาหารเพื่อการส่งออก จำเป็นต้องอาศัยความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนากรรมวิธีการแปรรูปอาหาร และการพัฒนาปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ ซึ่งการพัฒนาเทคโนโลยีสนับสนุนการผลิตที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร คือ การพัฒนาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์

ปัจจุบันตลาดของอาหารแปรรูปพร้อมอุ่นหรือพร้อมบริโภค กำลังเป็นที่นิยมเนื่องจากวิถีชีวิตของผู้บริโภคในปัจจุบันที่ต้องการความสะดวกรวดเร็วในการบริโภค ผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปพร้อมอุ่นหรือพร้อมบริโภค มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว เพื่อรองรับกับสภาพของสังคมที่รีบเร่งและแข่งขันกันมากขึ้น ผลิตภัณฑ์อาหารไทยแปรรูปพร้อมบริโภคได้รับความนิยมน้อยมากทั้งในและต่างประเทศ เนื่องจากมีรสชาติที่โดดเด่น อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของผลิตภัณฑ์อาหารดังกล่าวคือ มีอายุการเก็บสั้น มีการสูญเสียคุณภาพที่ดีในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งมักมีสาเหตุมาจากการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่เหมาะสม (Siripatrawan et al., 2006) ดังนั้นหากสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารให้มีความปลอดภัย ใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถรักษาคุณภาพและรสชาติที่ดีของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งสามารถยืดอายุการเก็บของอาหารให้ยาวนานขึ้นได้ จะช่วยเพิ่มมูลค่าและยกระดับผลิตภัณฑ์อาหารของประเทศไทยให้มีมาตรฐานเป็นที่ยอมรับ ทำให้สามารถขยายโอกาสทางการค้าของสินค้าไทยในต่างประเทศ ซึ่งเป็นการสนับสนุนยุทธศาสตร์ด้านอาหารของประเทศไทยในการเป็นครัวของโลก (อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ และคณะ 2005)

ในแต่ละปีประเทศไทยมีการส่งออกอาหารทะเลแช่แข็งเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะกุ้ง ปู และปลาหมึก อัตราการส่งออกนี้เป็นดัชนีแสดงถึงของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต อาทิ เปลือกหัวกุ้ง กระดองปูและแกนปลาหมึกของเหลือจากทะเลเหล่านี้ สามารถเพิ่มมูลค่าได้โดยนำมาแปรรูปเป็นโคตินและโคโตซาน โคโตซาน ( $C_6H_{11}NO_4$ ) ได้จากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่เอซิดิลของโคตินซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต มีชื่อทางเคมีว่า Poly-B(1-4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose (Han et al., 2004) ที่ผ่านมามีการนำโคโตซานไปใช้ในรูปแบบของผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และได้รับการยอมรับจาก United States Food and Drug Administration (USFDA) ให้เติมในอาหารสัตว์ได้ เนื่องจากการศึกษาทางพิษวิทยาบ่งชี้ว่าไม่เป็นอันตราย (Kester and Fennema, 1986)

โคโตซานเป็นสารจากธรรมชาติที่ปัจจุบันมีการพัฒนานำมาใช้ผลิตเป็นฟิล์มหรือเป็นส่วนประกอบของฟิล์มบริโภคได้สำหรับบรรจุอาหาร โคโตซานมีคุณสมบัติในการยับยั้งหรือชะลอการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราบางชนิด แม้ว่าที่ผ่านมามีการใช้โคโตซานในการยืดอายุการเก็บผลไม้ แต่ยังไม่มีการใช้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้กับผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปพร้อมบริโภคของประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายหลักเพื่อศึกษาการยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปพร้อมบริโภคจากเนื้อสัตว์ โดยการเคลือบด้วยฟิล์มที่บริโภคได้ (edible film/coating) จากโคโตซาน ร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์และภาวะการบรรจุที่เหมาะสม นอกจากนี้โคโตซานยังเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเลของประเทศไทย มีราคาถูก และเป็นวัสดุธรรมชาติที่ย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางธรรมชาติ (biodegradable material) ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ ความสำเร็จของโครงการสามารถใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาฟิล์มบริโภคได้จากโคโตซาน และการยืดอายุการเก็บอาหารพร้อมบริโภคซึ่งสามารถประยุกต์ใช้เพื่อขยายระดับการผลิตสู่ภาคอุตสาหกรรมต่อไป

### วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษานิตของบรรจุภัณฑ์และภาวะในการบรรจุที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปพร้อมบริโภค
2. เพื่อศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากไคโตซานสำหรับยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปพร้อมบริโภค
3. เพื่อศึกษาผลของการใช้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากไคโตซานในการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปพร้อมบริโภค

### ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. นำไคโตซานซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเลของประเทศมาใช้ให้เกิดประโยชน์
2. ศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มเคลือบบริโภคได้ (edible coating) จากไคโตซาน
3. ศึกษาผลของการใช้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากไคโตซาน ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปพร้อมบริโภคจากเนื้อสัตว์
4. ศึกษาผลของภาวะการบรรจุที่เหมาะสมในการรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากเนื้อสัตว์

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการนำผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเลมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และเป็นการเพิ่มมูลค่าผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเลของประเทศไทย
2. สามารถรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารให้คงคุณภาพที่ดีและปลอดภัย ลดการใช้วัตถุกันเสียหรือสารสังเคราะห์ในการยืดอายุการเก็บของอาหาร ซึ่งส่งผลให้เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการส่งออกได้
3. เป็นเอกสารทางวิชาการที่ใช้เป็นแนวทาง ในการศึกษาค้นคว้าสำหรับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดย่อม (SME) ต่อไป
4. เป็นเอกสารทางวิชาการ โดยเผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ โดยได้นำเสนอในหัวข้อเรื่อง Shelf life Extension of Broiled Boneless Pork Using Chitosan Coating ในงานประชุมวิชาการ International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering (ISMAB2010) ระหว่าง April 5-7, 2010 ณ เมือง Fukuoka, ประเทศญี่ปุ่น โดยได้แนบบทความวิจัยไว้ในภาคผนวก ข

## 2. วารสารปริทัศน์

### 2.1 ฟิล์มที่บริโภคได้ (Edible film/ coating)

ฟิล์มที่บริโภคได้ เป็น บรรจุภัณฑ์ที่ใช้เคลือบหรือห่อหุ้มอาหารมักมีการสัมผัสผิวกับอาหารโดยตรงอาจอยู่ในรูปฟิล์มเคลือบ (coating) หรือแผ่นฟิล์ม (film) และสามารถรับประทานได้ นอกจากจะทำหน้าที่เป็นภาชนะบรรจุอาหาร ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำจากสิ่งแวดล้อม หรือป้องกันแรงทางกล ที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของอาหารแล้ว ยังทำหน้าที่ในการชะลอการเสื่อมเสียของอาหารจากปฏิกิริยาต่างๆ เช่น จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือ การหายใจ เป็นต้น (Siripatrawan et al., 2006)

การใช้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้อาจเป็นการเคลือบฟิล์มบนผิวของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยซบหรือจุ่มลงในฟิล์มเคลือบ ส่วนใหญ่ใช้วิธีนี้กับผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นผิวไม่สม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์อาหารที่นิยมเคลือบด้วยวิธีนี้ได้แก่ ผักผลไม้ และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (Brody et al., 2008)

ฟิล์มเคลือบบริโภคได้สามารถป้องกันการเน่าเสียของอาหาร โดยช่วยลดการสูญเสียน้ำในอาหาร, ยับยั้งการหายใจ, ปรับปรุงคุณภาพของเนื้อสัมผัส, ช่วยรักษาสารให้กลิ่นรสของอาหาร และลดการเจริญของจุลินทรีย์ ที่ผ่านมาการใช้ edible coating มักใช้กับผักและผลไม้เท่านั้น เช่น การเคลือบด้วย wax, xanthan gum หรือ เจลาติน โดยทั่วไปประสิทธิภาพของ edible coating ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ซึ่งเป็นตัวช่วยในการลดการสูญเสียน้ำหนักของผักและผลไม้ และควบคุมการแลกเปลี่ยนของก๊าซในบรรจุภัณฑ์อาหาร (Kester and Fennema, 1986)

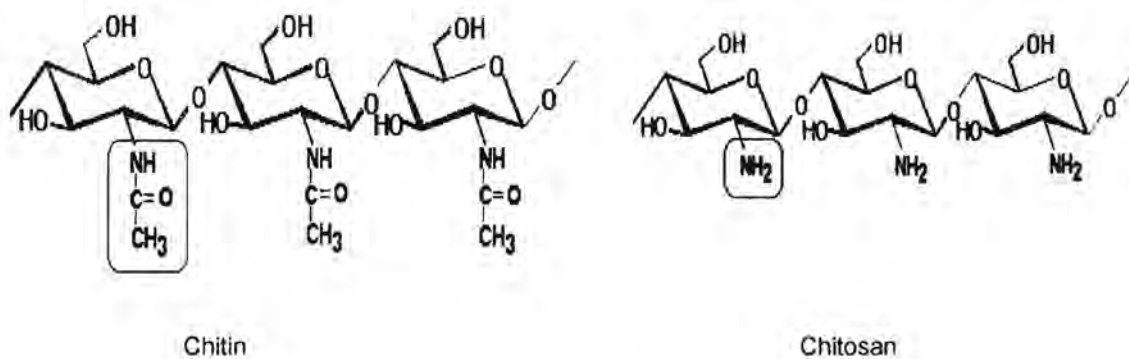
### 2.2 ไคตินและไคโตซาน (Chitin and chitosan)

2.2.1 ไคติน ( $C_8H_{13}NO_5$ )<sub>n</sub> เป็นโพลีเมอร์ชีวภาพในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต มีชื่อทางเคมีว่า poly-β(1-4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucose หรือ poly(N-acetylglucosamine) โครงสร้างทางเคมีของไคตินมีความคล้ายคลึงกับเซลลูโลส ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ต่างกันเพียงว่า หน่วยย่อยของเซลลูโลสเป็น D-glucose ส่วนหน่วยย่อยของไคตินซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกลูโคส คือ N-acetyl-D-glucosamine (2-acetamido-2-deoxy-D-glucose) (Nishiyama, 1991) กล่าวคือหมู่ไฮดรอกซิล(-OH) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของกลูโคสถูกแทนที่ด้วยหมู่ acetamide (-NHCONH<sub>2</sub>) และแต่ละหน่วยย่อยของไคตินก็เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β(1-4) เหมือนกับเซลลูโลส สำหรับสายโซ่พอลิเมอร์มีลักษณะเป็นเส้นตรงไม่มีการแตกแขนง(unbranched polysaccharide) และเมื่อพิจารณาจากสูตรโครงสร้างพบว่า ไคตินเป็นสารโมเลกุลยาวที่ไม่มีประจุ (non electrolytic polymer) ประกอบด้วยคาร์บอน 47.29 % ไฮโดรเจน 6.89% และออกซิเจน 39.37% ไคตินทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง ป้องกันและสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิตโดยจะพบไคตินในโครงสร้างเปลือกนอกของสัตว์จำพวกกุ้ง ปู และแกนหมึก นอกจากนี้ยังพบในผนังเซลล์ของเห็ดราและสาหร่ายบางสายพันธุ์ (Portes et al., 2009)

2.2.2 ไคโตซาน ( $C_8H_{11}NO_4$ )<sub>n</sub> มีชื่อทางเคมีว่า Poly-β(1-4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose หรือเรียกว่าพอลิเมอร์ของ D-glucosamine ไคโตซาน (รูปที่ 2.1) เกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซีทิล (deacetylation) ของไคตินด้วยด่างเข้มข้นทำให้โครงสร้างทางเคมีของไคตินเปลี่ยนไปโดยหมู่อะซีตามิโด (-NHCOCH<sub>3</sub>) เปลี่ยนเป็นหมู่อะมิโน (-

$\text{NH}_2$ ) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ดังนั้นไคโตซานคือ โพลีเมอร์ของ D-glucosamine-(2-amino-2-deoxy-D-glucose) การเกิดไคโตซานขึ้นอยู่กับปริมาณการเกิด deacetylation ซึ่งวัดได้จากค่า degree of deacetylation คิดเป็นหน่วยร้อยละ หรือ percent of deacetylation (%DD) กล่าวคือ การลดหมู่ acetyl ( $-\text{COCH}_3$ ) ในไคตินลง ผลที่ได้คือการเพิ่มหมู่ amine ( $-\text{NH}_2$ ) ซึ่งเป็นการเพิ่มสมบัติการเป็น polycationic activity (Han et al., 2004)

โดยทั่วไปไคโตซานจะได้รับการกำจัดหมู่แอสติลออกจากไคตินประมาณ 50% และถ้ามีปริมาณการกำจัดหมู่แอสติลประมาณ 90-100% จะเรียกว่าการกำจัดหมู่แอสติลอย่างสมบูรณ์ (fully deacetylated chitosan) ปัจจุบันไคโตซานที่เตรียมในทางการค้า มีปริมาณการกำจัดหมู่แอสติล 75-95% (หรือปริมาณ glucosamine 75-95%) ส่วนที่เหลือ 5-25% เป็น N-acetylglucosamine การเตรียมไคโตซานที่มีปริมาณการกำจัดหมู่แอสติลอย่างสมบูรณ์ ทำได้ยากเพราะจะเกิดการแตกขาดของสายพอลิเมอร์เสียก่อน (Coffey and Bell, 1995)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน (Nishiyama, 1991)

ไคโตซานเป็นโพลีเมอร์สายตรงที่มีมวลโมเลกุลสูง มีลักษณะที่เป็นของแข็งมีรูปร่างไม่แน่นอน ไคโตซานมีคุณสมบัติเป็นประจุบวก (cationic properties) เป็นโพลีอิเล็กโทรไลต์เชิงเส้น (linear polyelectrolyte) มีความหนาแน่นทางประจุสูง เป็นตัวสมานตะกอน (flocculant) ที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถยึดจับกับประจุลบด้วยประจุบวกที่ผิวได้ดี และสามารถจับโลหะหนักได้เป็นอย่างดี

ไคโตซาน ได้รับการยอมรับจาก United States Food and Drug Administration (USFDA) ให้เติมในอาหารสัตว์ได้ เนื่องจากการศึกษาทางพิษวิทยาบ่งชี้ว่าไม่เป็นอันตราย และยังสามารถยับยั้งเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรค ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวอีกด้วย ปัจจุบันไคโตซาน สามารถพบได้ทั่วไปในรูปแบบของผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (Kester and Fennema, 1986) ปกติไคโตซานที่อยู่ในรูป free amine จะไม่ละลายน้ำ ตัวทำละลายที่มีฤทธิ์เป็นกลางและต่าง แต่ละลายได้ในกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดเมื่อสารละลายมี  $\text{pH} < 6$  กรดอินทรีย์เจือจางบางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก กรดไฮโดรเจนฟอสเฟต ที่  $\text{pH}$  เป็นกรด free amine group จะถูก protonated ได้ เป็น cationic amine group (Koide, 1998)

ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของสารละลายไคโตซานมีหลายประการ ได้แก่ ปริมาณการกำจัดหมู่แอสติล น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้นของสารละลาย ความเป็นกรดต่าง ชนิดของกรด ชนิดของต่าง และอุณหภูมิ โดยทั่วไป

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่สารละลายไคโตซาน ความหนืดของสารละลายลดลงและความหนืดกลับสู่สภาพเดิมเมื่อปล่อยให้เย็น ถ้าใช้อุณหภูมิสูงๆ เป็นเวลานานอาจเกิดการไฮโดรลิซิสของสายโซ่ไคโตซานได้ ซึ่งทำให้ความหนืดไม่กลับสู่สภาพเดิม แม้ปล่อยให้เย็น สารละลายไคโตซานมีสมบัติการไหลสม้าเสมอในช่วงอุณหภูมิกว้างโดยไม่เกิดเจล หรือตกตะกอน (Li et al., 1992)

ที่ผ่านมาการประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ไคตินและไคโตซาน เป็นการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียเป็นส่วนใหญ่ อีกทั้งไคโตซานเป็นสารธรรมชาติที่ปลอดภัยและย่อยสลายในธรรมชาติได้ ทำให้สามารถใช้ในการตกตะกอนของพวกโปรตีนที่มีประจุต่างๆในกระบวนการผลิตอาหารและเครื่องดื่ม ปัจจุบันมีการใช้ไคติน-ไคโตซานเป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสำอางและเภสัชกรรม นำมาใช้ในงานในส่วนของวัสดุทางการแพทย์ เช่น ใช้เป็นตัวยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ช่วยป้องกันการติดเชื้อ นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้เป็นอาหารเสริม (nutritional additives) ในอาหารสำหรับการควบคุมน้ำหนัก (diet food) เนื่องจากไคโตซาน ไม่ให้พลังงานและไม่มี การดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย มีการใช้ในรูปแบบของวัตถุเจือปนในอาหารและเครื่องดื่มเพื่อช่วยจับไขมันและคอเลสเตอรอลให้ร่างกายได้รับน้อยลง

นอกจากนี้ในปัจจุบันไคโตซานได้รับการยอมรับให้ใช้ในการผสมอาหารและยาในประเทศญี่ปุ่น ไคโตซานเป็น polysaccharide ที่มีประจุบวกและมีโมเลกุลใหญ่ ไม่มีรสชาติ สามารถนำมาผลิตเป็นฟิล์มหรือสารเคลือบบริโภคได้เนื่องจากสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์ม และคุณสมบัติทางชีวเคมีของไคโตซาน (Coffey and Bell, 1995)

### 2.3 การใช้ประโยชน์ของฟิล์มไคโตซานในการยืดอายุการเก็บของอาหาร (Chitosan film for food shelflife extension)

มีการศึกษาการใช้ไคโตซาน เป็น natural antimicrobial agent ในรูปของ food preservative (Shahidi et al., 1999) และใช้เป็นฟิล์มกนอมอาหารอย่างกว้างขวางไคโตซานสามารถยับยั้งไม่เพียงแต่แบคทีเรีย Gram+ และ Gram- เท่านั้น แต่ยังสามารถยับยั้งยีสต์และราได้ด้วย (Ouattara et al., 2000; Pranoto et al., 2005) ส่วนกลไกของการต่อต้านเชื้อของไคโตซานยังไม่เป็นที่แน่ชัด แต่มีผู้วิจัยได้อธิบายว่าขั้วบวกของ  $NH_3^+$  ซึ่งอยู่ใน glucosamine monomer ที่ pH < 6.3 จะทำปฏิกิริยากับขั้วลบของเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อ ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อสูญเสียการทำงาน (Helander et al., 2001)

Han et al. (2004) ศึกษาการใช้ไคโตซานในการเคลือบ strawberries สด, strawberries แช่แข็ง และ raspberries เพื่อปรับปรุงคุณภาพและเก็บรักษา และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ พบว่าการเคลือบด้วยไคโตซานสามารถยืดอายุการเก็บรักษาและลดการสูญเสียน้ำหนักได้ นอกจากนี้ยังช่วยยืดเวลาในการเปลี่ยนสี และค่า pH ของ strawberries และ raspberries ให้ช้าลงในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และพบว่าการเคลือบด้วยไคโตซานจะช่วยป้องกันการสูญเสีย น้ำ และช่วยรักษาลักษณะเนื้อสัมผัส ของ strawberries แช่แข็ง

นวรรตน์ พัฒนศิริ (2544) ศึกษาผลของการใช้สารเคลือบผิวที่รับประทานได้ต่ออายุการเก็บรักษาและคุณภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส พบว่า ผลมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยไคโตซานที่เข้มข้น 0.5 1.0 และ 1.5 โดยปริมาตร สามารถชะลอการสุกและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วง การเคลือบผิวผลมะม่วงด้วยไคโตซานที่มีความเข้มข้นร้อยละโดยปริมาตรเท่ากับ 1.0 และ 1.5 สามารถลดการสูญเสีย น้ำหนัก ความ

แน่นเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะม่วงได้ดี และสามารถเก็บรักษาได้นานถึง 40 วัน ในขณะที่มะม่วงซึ่งเคลือบผิวด้วยไคโตซานที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และชุดควบคุม มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 8 และ 12 วัน

Liu et al. (2004) ศึกษาการใช้สารละลาย chitosan acetate ในการยับยั้ง *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ติดตามผลโดยการนับจำนวนของจุลินทรีย์ในสารละลาย 1% chitosan acetate และบ่มที่เวลาต่างๆ กัน รวมทั้งศึกษา morphologies ของแบคทีเรียในสารละลาย chitosan acetate วัดความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์ และวัดการซึมผ่านของ outer membrane และ inner membrane จากการศึกษาพบว่า interaction ระหว่าง chitosan acetate และ phospholipids membranes ทำให้ค่าการซึมผ่านของ outer membrane และ inner membrane เพิ่มขึ้นและส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียถูกทำลายซึ่งเป็นผลเนื่องมาจาก electrostatic interaction ระหว่าง  $\text{NH}_3^+$  group ของ chitosan acetate และ phosphoryl groups ของ phospholipids ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์

### 3. วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือ (1) การศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์และภาวะการบรรจุที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปแช่เย็นพร้อมบริโภค (2) การศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโคโตะซาน (3) การศึกษาการใช้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโคโตะซานในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ การทดลองในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.1 การศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์และภาวะการบรรจุที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ BBP

##### 3.1.1 ศึกษาคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองเป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่มีจำหน่ายทางการค้าและมักใช้เพื่อบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปแช่เย็นพร้อมบริโภค ได้แก่ polypropylene และ polyamide หรือในลอน โดยทำให้เป็นถุงขนาด  $10 \times 12$  (cm) วัดความหนาของบรรจุภัณฑ์โดยใช้ digital micrometer (Mitutoyo Absolute, Tester Sangyo Co., Ltd., Tokyo, Japan) วัดค่าการกันซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนตามวิธีมาตรฐาน ASTM standard test method (ASTM, 2003)

##### 3.1.2 การเตรียมผลิตภัณฑ์อาหาร

วัตถุดิบที่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปพร้อมบริโภค คือ broiled boneless pork (BBP)  $5 \times 8$  cm<sup>2</sup> แล้วบรรจุในบรรจุภัณฑ์และภาวะในการบรรจุที่แตกต่างกัน คือ ใน polypropylene ภายใต้บรรยากาศปกติ (OPP) ใน polyamide ภายใต้บรรยากาศปกติ (PA) และใน polyamide ภายใต้ภาวะสุญญากาศ (PA-V) จากนั้นปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกภายใต้บรรยากาศปกติและภาวะสุญญากาศ (Multivac, Sepp Haggemiller GmbH & Co. KG, Welfertschwenden, Germany) แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $2 \pm 1$  องศาเซลเซียส

##### 3.1.3 การติดตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา

ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่

##### ค่าสี

วัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ BBP ด้วยเครื่องวัดสี (Model CR-300, Minolta, Japan) โดยวัดค่า L a และ b ในระบบ hunter color ใช้เส้นส้นขนาด 10 มิลลิเมตร และทำการเปรียบเทียบเครื่องวัดโดยใช้แผ่นเปรียบเทียบ C/2 (L = 97.76 a = -0.06 และ b = -0.31) ส่วนค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) คำนวณโดยใช้สมการที่ 1

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L_1)^2 + (a_0 - a_1)^2 + (b_0 - b_1)^2} \quad (1)$$

กำหนดให้ subscript 0 คือ ค่าสีที่วัดตอนเริ่มต้น subscript 1 คือ ค่าสีที่วัดได้ในระหว่างการเก็บรักษา

### ค่าเปอร์ออกไซด์

วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์โดยวิธีการไทเทรตตามมาตรฐาน AOAC (1995) โดยชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ลงใน Erlenmeyer flask เติมน้ำสารละลายกรดอะซิติก-คลอโรฟอร์ม 30 ml แล้วเขย่าให้เข้ากัน เติมน้ำสารละลายอิ่มตัวของโปแตสเซียมไอโอไดด์ ปริมาตร 0.5 ml เติมน้ำปริมาตร 30 ml ไตเตรตสารละลายด้วยโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น 0.01 N จนได้สีเหลืองจาง จากนั้นเติมน้ำสารละลายแป้ง 1 % ปริมาตร 0.5 ml แล้วไตเตรตจนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี แสดงผลในหน่วยของ (milliequivalents of peroxidises/ kg of sample)

### ค่าความเป็นกรด-ด่าง

นำผลิตภัณฑ์ BBP ไปผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 แล้วบั่นให้เข้ากันด้วยเครื่องบั่นไฟฟ้า แล้ววัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ micro pH meter (F-21, Horiba, Ltd., Tokyo, Japan)

### ความแน่นเนื้อ

วัดค่าความแน่นเนื้อ โดยใช้เครื่อง Texture analyzer (TA-XT2, Sunny, UK) ใช้หัวกดขนาด P/2 เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 มิลลิเมตร กดลึกลงไปในผลิตภัณฑ์ ด้วยความเร็วในการกด 3 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะห่างระหว่างหัวกดกับแท่นรองผลิตภัณฑ์เป็น 70 มิลลิเมตร บันทึกค่าที่ได้ในหน่วยนิวตัน

### การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

ประเมินลักษณะทางด้านสี กลิ่น และการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภค โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 20 คน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยใช้แบบสอบถามในลักษณะ 5-point scale โดยกำหนดคะแนนในช่วง 1-5 คะแนน ซึ่งมีความหมายดังต่อไปนี้คือ สี (5 = no discoloration; 1 = extremely discoloration), กลิ่น (5 = extremely desirable; 1 = extremely unacceptable/ off-odors), และการยอมรับโดยรวม (5 = extremely desirable; 1 = extremely unacceptable) และกำหนดให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียเมื่อมีคะแนน  $\leq 2.5$

## 3.2 ศึกษาวิธีที่เหมาะสมการเตรียมฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโคโตซาน

### 3.2.1 ศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการเตรียมสารละลายฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโคโตซาน

โคโตซานที่ใช้ในการทดลองเตรียมจากห้องปฏิบัติการ ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า (ธนบุรี) ละลายโคโตซาน ที่มีค่า DD 87% ให้เป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ตัวทำละลาย สองชนิดคือ สารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) และกรดแลคติกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) คนให้ละลายด้วยเครื่อง water bath shaking incubator ที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วกรองก่อนนำไปใช้ในรูปแบบของฟิล์มเคลือบ เนื่องจากก่อนนำฟิล์มเคลือบไปใช้งานได้จำเป็นต้องควบคุมสมบัติด้านต่างๆ ของฟิล์มเคลือบก่อน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำสารละลายฟิล์มมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มก่อน โดยแล้วเทสารละลายโคโตซาน ปริมาตร 100 ml ลงบนถาดเซรามิกขนาด 12 x 29 cm ปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) นำแผ่นฟิล์มที่ได้จากการขึ้นรูปไปเก็บไว้ในที่มีความชื้นสัมพัทธ์ (RH) 50 % เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มต่อไป โดยวัดสมบัติของแผ่นฟิล์ม ได้แก่



## ความหนา

วัดความหนาของแผ่นฟิล์มจากบริเวณที่แตกต่างกันหกจุด โดยใช้ digital micrometer (Mitutoyo Absolute, Tester Sangyo Co., Ltd., Tokyo, Japan)

Tensile strength (TS) และ elongation at break (% EAB)

ตัดฟิล์มให้มีขนาด 15 x 2.5 cm วัดด้วยเครื่อง Instron Universal Testing machine (Instron Corporation, Canton, MA, USA) ตามวิธีของ ASTM Standard Test Method D 882-91 (ASTM, 2003) แล้วคำนวณค่า TS และค่า % EAB โดยใช้ สมการที่ 2 และ สมการที่ 3 ตามลำดับ ทำการทดลอง 9 ซ้ำ

$$TS = \frac{F_{max}}{\Phi} \quad (2)$$

$$\%E = \frac{\Delta l}{l_0} 100 \quad (3)$$

ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR)

การวัดค่า WVTR ดัดแปลงจากวิธี ASTM (2003) โดยตัดฟิล์มแล้วหุ้มบริเวณปากขวดแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm และมี silica gel บรรจุอยู่ภายใน เก็บขวดตัวอย่างในตู้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 75% ที่ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักขวดตัวอย่างเป็นระยะ จนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ ( $\pm 0.0001$  g) จากนั้นคำนวณหาค่า WVTR ( $\text{g}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ ) ของแผ่นฟิล์ม (สมการที่ 4) โดยคำนวณจากค่า slope ของกราฟระหว่างน้ำหนัก (g) ของตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น ( $\Delta w$ ) ต่อพื้นที่ของแผ่นฟิล์ม (A) และเวลา ( $\Delta t$ ) (Siripatrawan and Jantawat, 2008)

$$WVTR = \frac{\Delta w}{A\Delta t} \quad (4)$$

### 3.2.2 ศึกษาปริมาณ plasticizer ที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มเคลือบบริโกลด์จากโคโตซาน

ในการเตรียมฟิล์มบริโกลด์จากโคโตซาน เนื่องจากฟิล์มที่เตรียมได้มักมีความเปราะและยืดหยุ่นต่ำ ลักษณะดังกล่าวสามารถปรับปรุงได้โดยการใช้ plasticizer (plasticizer) เพื่อช่วยให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากขึ้น อย่างไรก็ตาม plasticizer มักส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น tensile strength ค่า elongation at break และสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ จึงต้องศึกษาปริมาณของ plasticizer ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ฟิล์มเคลือบที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาการใช้ปริมาณของ plasticizer ที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มเคลือบบริโกลด์จากโคโตซานโดยใช้ กลีเซอรอล (glycerol) (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA) เป็น plasticizer เตรียมฟิล์มโคโตซานโดยโดยใช้สารละลายโคโตซานที่ความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ และใช้สารละลายกรดที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.2.1 การศึกษาปริมาณ plasticizer ที่เหมาะสม ทำโดยแปรปริมาณของ plasticizer เป็น 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักโคโตซาน วัดคุณสมบัติของฟิล์มเคลือบซึ่งเกี่ยวข้องกับการนำฟิล์มไปใช้ ได้แก่ ความหนา, water vapor transmission rate, tensile strength และ elongation at break เช่นเดียวกับในการทดลองที่ 3.2.1

### 3.2.3 วัดคุณสมบัติของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากโคโตซาน

#### การวัดสมบัติทางกายภาพ

เตรียมฟิล์มเคลือบบริโกลด์จากโคโตซานโดยใช้ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.2.1 และ 3.2.2 วัดสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนา water vapor transmission rate, tensile strength และ elongation at break

#### FTIR analysis

การวิเคราะห์โครงสร้างของฟิล์มโคโตซานทำโดยใช้ Fourier Transform Infrared (FTIR) spectrometer (PerkinElmer 1760X, PerkinElmer Life And Analytical Sciences, Inc., Wallham, Massachusetts USA) สแกนใช้ wave number ในช่วง  $700\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$

### 3.3 การศึกษาการใช้ฟิล์มเคลือบบริโกลด์จากโคโตซานในการหีบอัดอาหารเก็บรักษามลิตภัณฑ์

#### 3.3.1 การเตรียมฟิล์มเคลือบบริโกลด์จากโคโตซาน

ฟิล์มเคลือบบริโกลด์จากโคโตซานเตรียมโดยใช้ตัวทำละลาย ปริมาณ plasticizer และวิธีที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนที่ 3.2 ในการทดลองนี้ในเบื้องต้นยังได้ทดลองแปรความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานเป็น 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า สารละลายโคโตซานที่ความเข้มข้น 0.5 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะการละลายเป็นที่ดี แต่เมื่อนำมาเคลือบผลิตภัณฑ์ BBP พบว่ามีลักษณะการเคลือบของสารละลายโคโตซานได้ไม่เป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากสารละลายจะมีความข้นหนืดต่ำ ทำให้เคลือบได้ไม่ทั่วถึง ส่วนสารละลายโคโตซานที่ความเข้มข้น 3.0 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะการละลายที่ไม่ดี เนื่องจากมีปริมาณโคโตซานสูงเกินไป ดังนั้นจึงไม่ทำการทดลองที่ความเข้มข้นดังกล่าว ส่วนผลิตภัณฑ์ BBP ที่ทำการเคลือบด้วย สารละลายโคโตซาน 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ นั้น ให้ลักษณะการละลายที่ดีและ ให้ลักษณะการเคลือบที่ดี จึงนำมาใช้ในการทดลองต่อไป

#### 3.3.2 การเตรียมผลิตภัณฑ์อาหารเคลือบด้วยโคโตซาน

เตรียมผลิตภัณฑ์ BBP เช่นเดียวกับการทดลองขั้นต้น นำผลิตภัณฑ์ BBP มาจุ่มลงในสารละลายโคโตซานที่ความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ (Coat-A) และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ (Coat-B) โดยให้สารละลายโคโตซานเคลือบผลิตภัณฑ์ BBP โดยรอบทั่วผลิตภัณฑ์ ปล่อยให้แห้ง ใช้ BBP ที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยโคโตซานในเป็นตัวอย่างควบคุม (Control) แล้วบรรจุในบรรจุภัณฑ์และภาวะการบรรจุที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองขั้นตอนที่ 3.1 ปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึก แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $2 \pm 1$  องศาเซลเซียส

#### 3.3.3 การติดตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์ BBP ในระหว่างการเก็บรักษา

ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสี ความแน่นเนื้อ ความเป็นกรด-ด่าง วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ และการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับการทดลองในขั้น 3.1.3 รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์

### 3.4 แผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ และทางเคมี ออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ส่วนการประเมินผลทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ Randomized Completed Block Design (RCBD) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test (Montgomery, 2001) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistic Package for the Social Science (SPSS Version 11.5, USA)

#### 4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

##### 4.1 การศึกษาหาชนิดของบรรจุภัณฑ์และภาวะการบรรจุที่เหมาะสมในการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป

###### 4.1.1 คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์ที่เลือกมาใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ polypropylene และ polyamide ผลการวัดความหนา อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR) และก๊าซออกซิเจน (oxygen transmission rate, OTR) ของบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 พบว่าถุง polypropylene มีการกันซึมผ่านของไอน้ำ ดีกว่า PA เพียงเล็กน้อย แต่ polyamide สามารถกันก๊าซออกซิเจนได้ดีกว่า polypropylene ส่วนคุณสมบัติในการนำมาใช้บรรจุอาหารของบรรจุภัณฑ์ทั้งสองชนิดมีดังนี้

polypropylene มีความใส และเหนียว สามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดี แต่กันออกซิเจน ได้ไม่ดี ปิดผนึกด้วยความร้อนได้ดี นิยมนำมาทำถุงใสอาหารร้อน ขวด และกล่องบรรจุอาหารที่สามารถนำเข้าเตาไมโครเวฟได้ (Siripatrawan, Burgess and Harte, 2002)

polyamide เป็นบรรจุภัณฑ์แบบผสมระหว่างฟิล์มไนลอนและประกบด้วยฟิล์ม low density polyethylene เพื่อให้ปิดผนึกด้วยความร้อนได้ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากคุณสมบัติด้านความเหนียว ทนทานต่อความร้อนสูง ไนลอนสามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ กลิ่น และไขมันได้ดี แม้ว่าไนลอนจะดูดซับความชื้นได้ง่าย และทำให้ประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ลดลง แต่เมื่อนำไปทำแห้งก็จะกลับมามีคุณสมบัติเหมือนเดิม นิยมใช้ทำถุงสำหรับบรรจุอาหารภายใต้ภาวะสุญญากาศ (Hernandez, Selke and Culter, 2000) มักใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารพวก ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ แยม แคนคอน กาแฟ เครื่องดื่มชนิดผงสำเร็จรูป ผลไม้แห้ง เป็นต้น

ตารางที่ 4.1 ความหนา WVTR และ OTR ของบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์	ความหนา (mm)	WVTR* (g. 100in <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )	OTR** (cc. 100in <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )
polypropylene	0.074 ± 0.011	0.339 ± 0.083	97.895 ± 2.425
polyamide	0.058 ± 0.002	0.606 ± 0.125	0.981 ± 0.103

\* @ 30 °C, 75 % RH; \*\* @ 23 °C, 0% RH

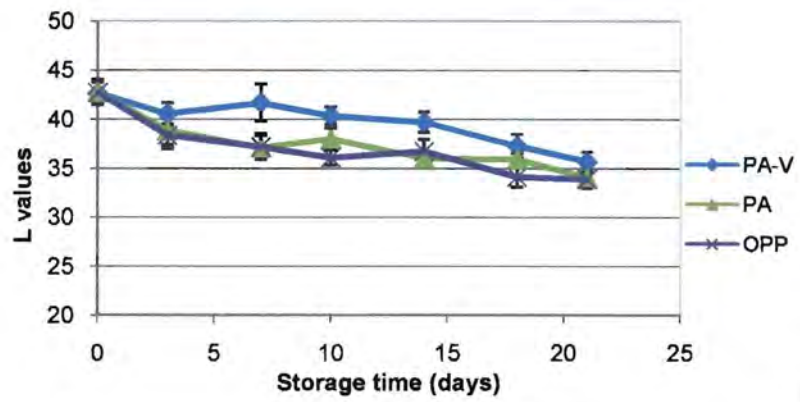
#### 4.1.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

##### ค่าสี

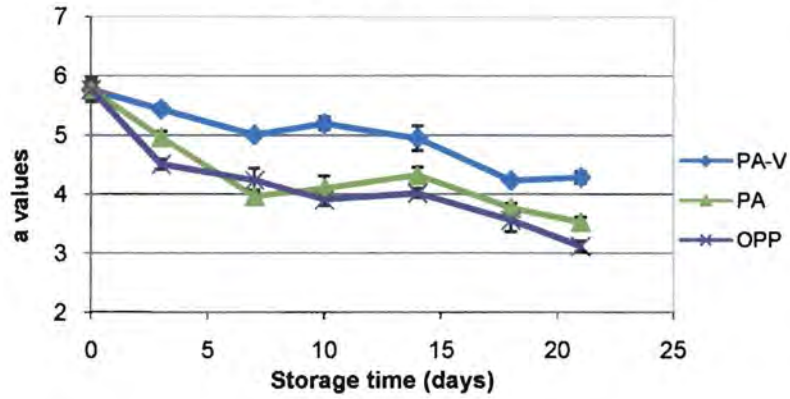
ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ BBP แสดงผลในรูปของ ค่า L (ค่า L คือ ค่าแสดงความเข้มสว่างของสี ซึ่งค่า L มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ถ้าค่า L มาก แสดงว่าสีสว่างมาก โดยที่ระดับค่า L เท่ากับ 0 จะเป็นสีดำ) a (ค่า a คือ ค่าแสดงระดับสีเขียว-แดง เมื่อ a มีค่าเป็นบวกจะแสดงลักษณะสีแดง ถ้ามีค่าเป็นลบจะแสดงลักษณะสีเขียว เมื่อห่างจากจุด 0 มาก แสดงถึงค่าสีแดงหรือสีเขียวมากขึ้น) และ b (ค่า b คือ ค่าแสดงระดับสีน้ำเงิน-เหลือง เมื่อ b มีค่าเป็นบวก จะแสดงลักษณะสีเหลือง ถ้ามีค่าเป็นลบจะแสดงลักษณะสีน้ำเงิน เมื่อห่างจากจุด 0 มาก แสดงถึงค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงินมากขึ้น) รวมทั้งแสดงค่า  $\Delta E$  ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ BBP ในระหว่างการเก็บรักษา

รูปที่ 4.1 (a-d) แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสี L a b และ  $\Delta E$  ตามลำดับ ของผลิตภัณฑ์ BBP ในระหว่างการเก็บรักษา จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ BBP มีแนวโน้มการลดลงของค่า L a b ส่วนค่า  $\Delta E$  มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ BBP มีสีเข้มขึ้น เปลี่ยนเป็นสีเขียวและน้ำเงินมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์อาจเกิดขึ้นจากปฏิกิริยา lipid peroxidation ของไขมันที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ (Love and Pearson, 1971; Ramirez and Cava, 2005)

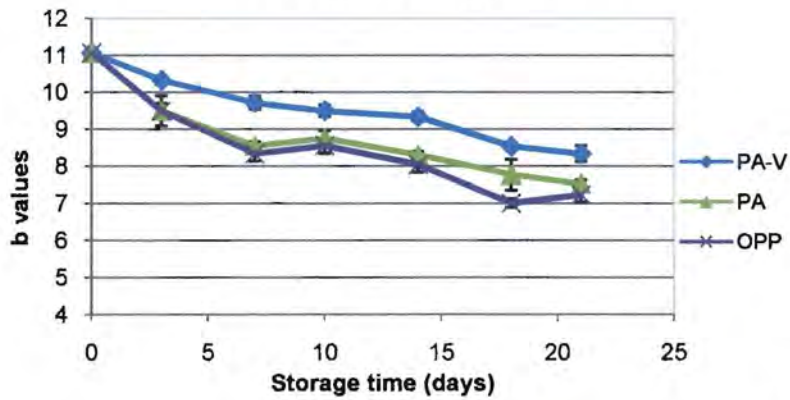
เมื่อพิจารณาภาวะในการบรรจุแบบเดียวกัน ผลิตภัณฑ์ BBP ที่บรรจุใน PA มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า L a b และ  $\Delta E$  น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุใน OPP แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ทั้งๆ ที่ polyamide มีอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนน้อยกว่า polypropylene ทั้งนี้เนื่องจากเป็นการบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ ออกซิเจนที่อยู่ในช่องว่างเหนืออาหารภายในบรรจุภัณฑ์จึงสามารถทำปฏิกิริยา lipid peroxidation กับตัวอย่างได้ ส่วนผลิตภัณฑ์ BBP ที่บรรจุภายใต้ภาวะสุญญากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีทั้ง L a b และ  $\Delta E$  น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุภายใต้ภาวะบรรยากาศปกติ เนื่องจากการบรรจุภายใต้ภาวะสุญญากาศจะมีการดึงอากาศภายในบรรจุภัณฑ์ออกไป ทำให้ก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ลดลง ส่งผลให้ lipid peroxidation เกิดได้น้อยกว่าการบรรจุภายใต้ภาวะบรรยากาศปกติ



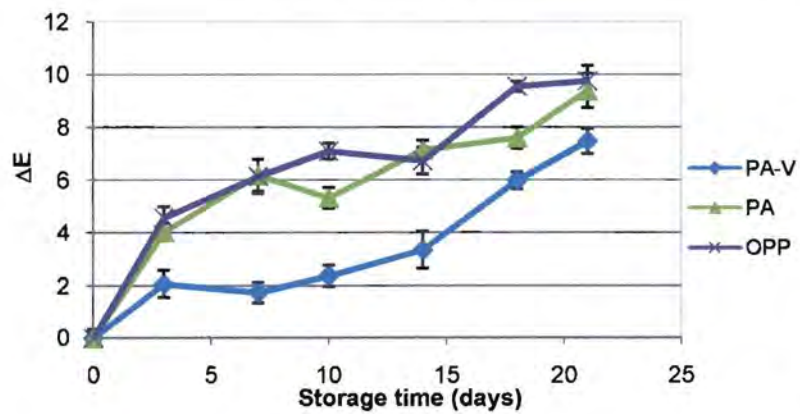
(a)



(b)



(c)

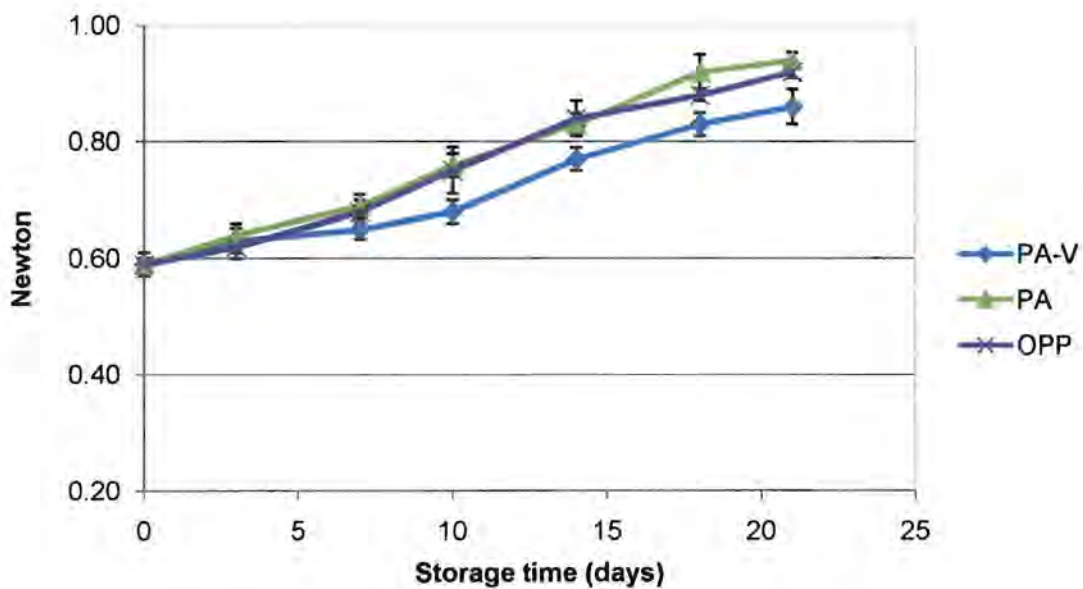


(d)

รูปที่ 4.1 ค่าสี L a b และ  $\Delta E$  ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ polypropylene ภายใต้บรรยากาศปกติ (OPP) ในบรรจุภัณฑ์ polyamide ภายใต้บรรยากาศปกติ (PA) และ ภายใต้ภาวะสุญญากาศ (PA-V)

### ค่าความแน่นเนื้อ

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ BBP ระหว่างการเก็บรักษา แสดงผลในหน่วยนิวตัน (N) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความแข็ง (hardness) ซึ่งเป็นแรงสูงสุด (peak force) ที่ใช้ในการกดผลิตภัณฑ์ครั้งแรก ค่าความแน่นเนื้อนี้จะบ่งบอกถึงความนุ่มของผลิตภัณฑ์ BBP ถ้าค่าความแน่นเนื้อมีค่ามากขึ้น แสดงว่าผลิตภัณฑ์ BBP มีความแข็งมากขึ้นหรือความนุ่มลดลง รูปที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ BBP ในระหว่างการเก็บรักษา จากการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ BBP มีแนวโน้มของความแน่นเนื้อมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป ผลิตภัณฑ์ BBP ที่บรรจุภายใต้ภาวะสุญญากาศจะมีการเพิ่มขึ้นของความแน่นเนื้อน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ BBP ที่บรรจุภายใต้ภาวะบรรยากาศปกติ ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บรักษาในภาวะสุญญากาศบรรจุภัณฑ์แนบอยู่กับผลิตภัณฑ์และสัมผัสอากาศน้อยกว่าการบรรจุภายใต้ภาวะปกติ จึงมีการสูญเสียความชื้นได้น้อยกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อใช้ภาวะในการบรรจุภายใต้ภาวะบรรยากาศปกติ ผลิตภัณฑ์ BBP ในบรรจุภัณฑ์ OPP และ PA จะมีการเพิ่มขึ้นของความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ polyamide และ polypropylene มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำไม่แตกต่างกันมากนัก (ตารางที่ 4.1) ดังนั้นจึงมีการสูญเสียความชื้นจากผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกัน



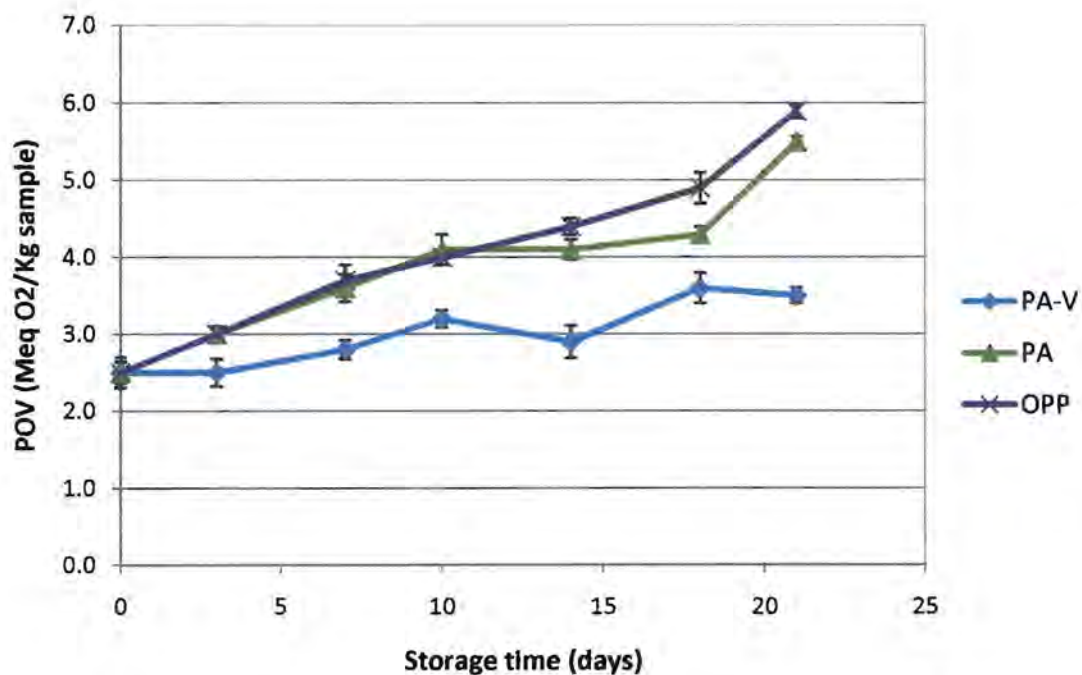
รูปที่ 4.2 ค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ polypropylene ภายใต้บรรยากาศปกติ (OPP) ในบรรจุภัณฑ์ polyamide ภายใต้บรรยากาศปกติ (PA) และ ภายใต้ภาวะสุญญากาศ (PA-V)

#### 4.1.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

##### ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value, POV)

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ของผลิตภัณฑ์ BBP ระหว่างการเก็บรักษาด้วยวิธีการไทเทรต ซึ่งค่าเปอร์ออกไซด์จะแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ถ้าค่าเปอร์ออกไซด์มีค่ามากแสดงว่ามีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมาก รูปที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ของผลิตภัณฑ์ BBP ระหว่างการเก็บรักษา จากผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ BBP ในทุกภาวะการบรรจุมีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา

ผลิตภัณฑ์ BBP ที่บรรจุใน polyamide ภายใต้ภาวะสุญญากาศ (PA-V) จะมีการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ BBP ที่บรรจุภายใต้ภาวะบรรยากาศปกติ เนื่องจากบรรจุภายใต้ภาวะสุญญากาศมีการดึงก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ออก จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยกว่าการบรรจุภายใต้ภาวะบรรยากาศปกติ เมื่อพิจารณาภาวะการบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติแบบเดียวกันผลิตภัณฑ์ที่บรรจุใน PA มีการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ OPP อย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ในช่วง 10 วันแรกของการเก็บรักษา เนื่องจากออกซิเจนที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ทำปฏิกิริยากับไขมัน แต่เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาใน PA มีค่าต่ำกว่าที่บรรจุใน OPP อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ polyamide มีค่ากันการซึมผ่านของออกซิเจนน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ polypropylene ออกซิเจนจากสิ่งแวดล้อมจึงซึมผ่านบรรจุภัณฑ์เข้ามาทำปฏิกิริยากับอาหารได้น้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ polypropylene

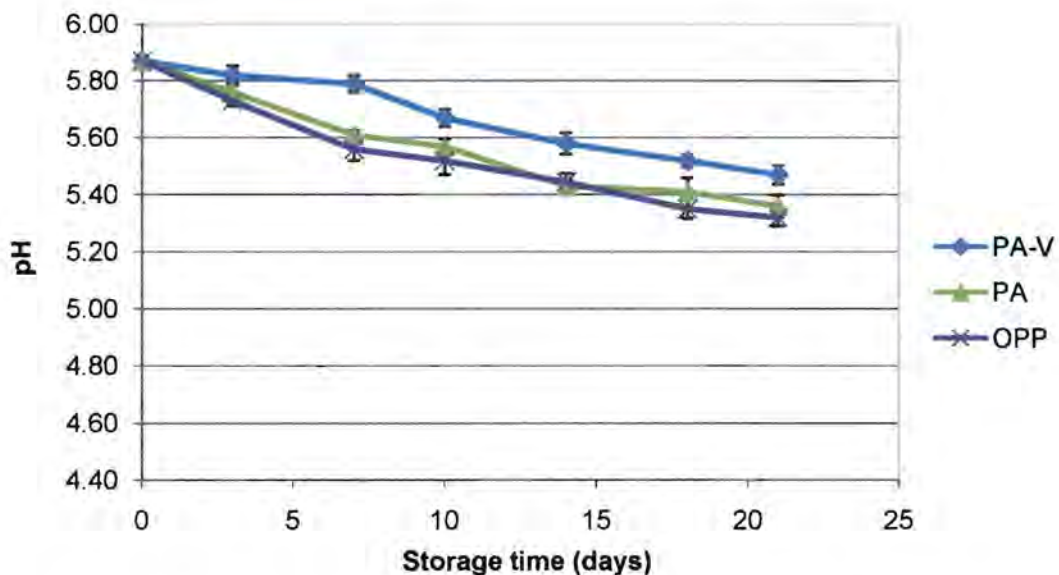


รูปที่ 4.3 ค่า POV ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ polypropylene ภายใต้บรรยากาศปกติ (OPP) ในบรรจุภัณฑ์ polyamide ภายใต้บรรยากาศปกติ (PA) และ ภายใต้ภาวะสุญญากาศ (PA-V)



## ค่า pH

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของผลิตภัณฑ์ BBP ระหว่างการเก็บรักษา (รูปที่ 4.4) แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ของผลิตภัณฑ์ BBP ระหว่างการเก็บรักษา จากผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ BBP ในทุกภาวะการบรรจุมีค่า pH ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษา อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการเจริญของแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถสร้างกรดได้มีจำนวนเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ BBP ที่บรรจุใน polyamide ภายใต้ภาวะสุญญากาศ (PA-V) มีการลดลงของ pH น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ BBP ที่บรรจุภายใต้ภาวะบรรยากาศปกติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากการบรรจุภายใต้ภาวะสุญญากาศมีการดึงก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ออก จึงช่วยชะลอการเจริญของแบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจนในการเจริญ เมื่อพิจารณาภาวะการบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติแบบเดียวกันผลิตภัณฑ์ที่บรรจุใน PA มีการเพิ่มขึ้นของค่า เปอร์ออกไซด์ไม่แตกต่างจาก ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุใน OPP อย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )



รูปที่ 4.4 ค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ polypropylene ภายใต้บรรยากาศปกติ (OPP) ในบรรจุภัณฑ์ polyamide ภายใต้บรรยากาศปกติ (PA) และ ภายใต้ภาวะสุญญากาศ (PA-V)

### 4.1.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นการประเมินลักษณะทางด้านสี กลิ่น และการยอมรับโดยรวม ของผลิตภัณฑ์ BBP โดยใช้ 5-point scale กำหนดคะแนนในช่วง 1-5 คะแนน ซึ่งมีความหมายดังต่อไปนี้คือ สี (5 = no discoloration; 1 = extremely discoloration), กลิ่น (5 = extremely desirable; 1 = extremely unacceptable/ off-odors), และการยอมรับโดยรวม (5 = extremely desirable; 1 = extremely unacceptable) ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ BBP ในระหว่างการเก็บรักษา แสดงไว้ในรูปที่ 4.5

### คะแนนด้านสี

จากผลการประเมินคุณภาพทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ BBP ระหว่างการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าคะแนนด้านสีของทุกตัวอย่างลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป ผลิตภัณฑ์ BBP ที่บรรจุภายใต้ภาวะสุญญากาศในบรรจุภัณฑ์ (PA-V) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) จากตัวอย่างผลิตภัณฑ์ BBP ที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ คือ PA และ OPP ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการประเมินทางด้านสีกับการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดสี ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า  $L a b$  และ  $\Delta E$  มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษาให้นานขึ้นเช่นเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงของสีอาจเกิดได้เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีการสูญเสียความชื้นจากผิวหน้าของอาหาร การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Ramirez and Cava, 2005)

### คะแนนด้านกลิ่น

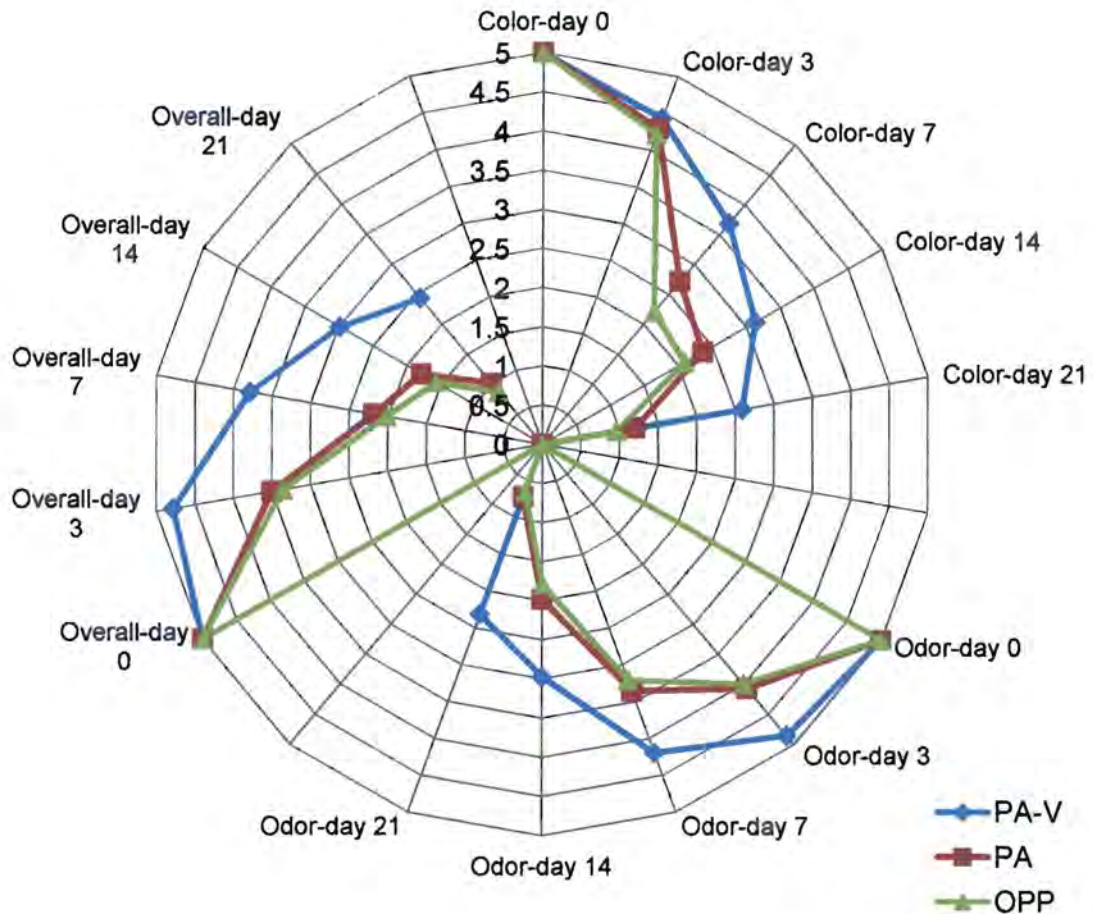
จากผลการประเมินคุณภาพทางด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ BBP ระหว่างการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าระดับคะแนนทางด้านกลิ่นลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป ผลิตภัณฑ์ BBP ที่บรรจุภายใต้ภาวะสุญญากาศมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) จากตัวอย่างผลิตภัณฑ์ BBP ที่บรรจุภายใต้ภาวะบรรยากาศปกติ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการประเมินทางด้านกลิ่นกับการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ในรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป ค่าเปอร์ออกไซด์จะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกลิ่นยังอาจเกิดได้จากการเสื่อมเสียเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์

### คะแนนการยอมรับโดยรวม

จากผลการประเมินคุณภาพทางด้านการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ BBP ระหว่างการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าระดับคะแนนการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป ผลิตภัณฑ์ BBP ที่บรรจุภายใต้ภาวะสุญญากาศ PA-V มีคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) กับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ BBP ที่เก็บรักษาภายใต้ภาวะบรรยากาศปกติ คือ PA และ OPP ตามลำดับ

การเก็บรักษาภายใต้ภาวะสุญญากาศสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติ เนื่องจากภาวะสุญญากาศช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ รวมทั้งช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียซึ่งใช้ออกซิเจนในการเจริญ ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุปรานี เกิดาวาจา (2544) ที่ศึกษาการเก็บรักษาปลาอินทรีเค็ม โดยบรรจุในภาวะบรรยากาศปกติและภาวะสุญญากาศ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าการบรรจุในภาวะสุญญากาศช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้นาน 42 วัน และการเก็บภายใต้ภาวะบรรยากาศปกติมีอายุการเก็บนาน 21 วัน

จึงสรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาใน PA-V สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ดีที่สุด จึงเลือกใช้บรรจุภัณฑ์และภาวะการบรรจุดังกล่าวร่วมในการทดลองขั้นต่อไป ซึ่งเป็นการศึกษาบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมร่วมกับการใช้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 4.5 คะแนนประสาทสัมผัสด้านสี (color) กลิ่น (odor) และการยอมรับโดยรวม (overall acceptance) ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ polypropylene ภายใต้บรรยากาศปกติ (OPP) ในบรรจุภัณฑ์ polyamide ภายใต้บรรยากาศปกติ (PA) และ ภายใต้ภาวะสุญญากาศ (PA-V)

#### 4.2 การศึกษาวิธีที่เหมาะสมการเตรียมฟิล์มเคลือบบริเวณได้จากโคโคซาน

##### 4.2.1 ศึกษาชนิดของสารละลายกรดที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มเคลือบบริเวณได้จากโคโคซาน

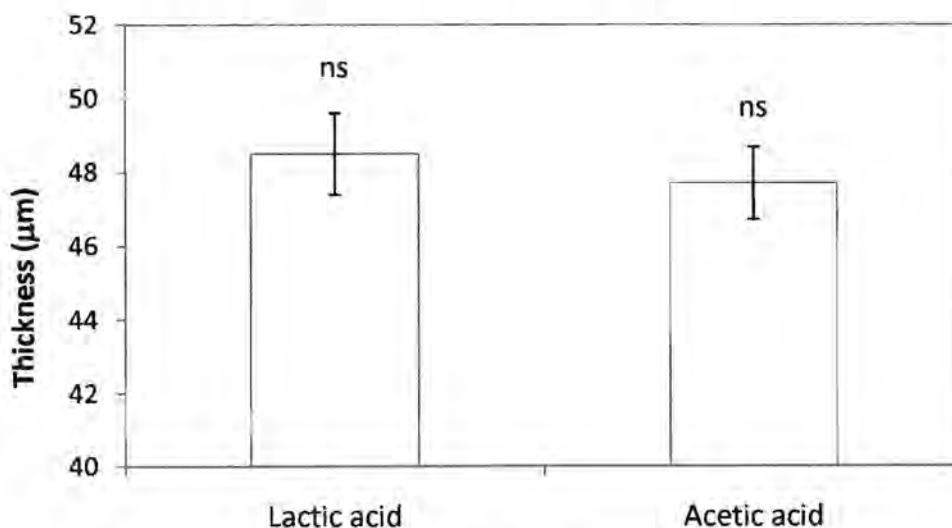
ผสมโคโคซานให้เป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้สารละลาย acetic acid 1 % (v/v) และ lactic acid 1 % (v/v) เป็นตัวทำละลาย จากนั้นวัดคุณสมบัติของฟิล์ม ได้แก่ ความหนา, TS, % EAB และ WVTR โดยแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปแบบที่ 4.6-4.9 ตามลำดับ

ฟิล์มโคโคซานที่เตรียมได้จากสารละลาย acetic acid และ lactic acid ให้ลักษณะปรากฏของฟิล์มที่คล้ายคลึงกัน อย่างไรก็ตามฟิล์มที่เตรียมจาก lactic acid ลอกออกจากภาชนะที่ใช้ในการขึ้นรูปได้ง่ายกว่า จากผลการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ของความหนา, % EAB และ WVTR ในขณะที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ของค่า TS ของฟิล์มที่เตรียมจากสารละลาย acetic acid และ lactic acid

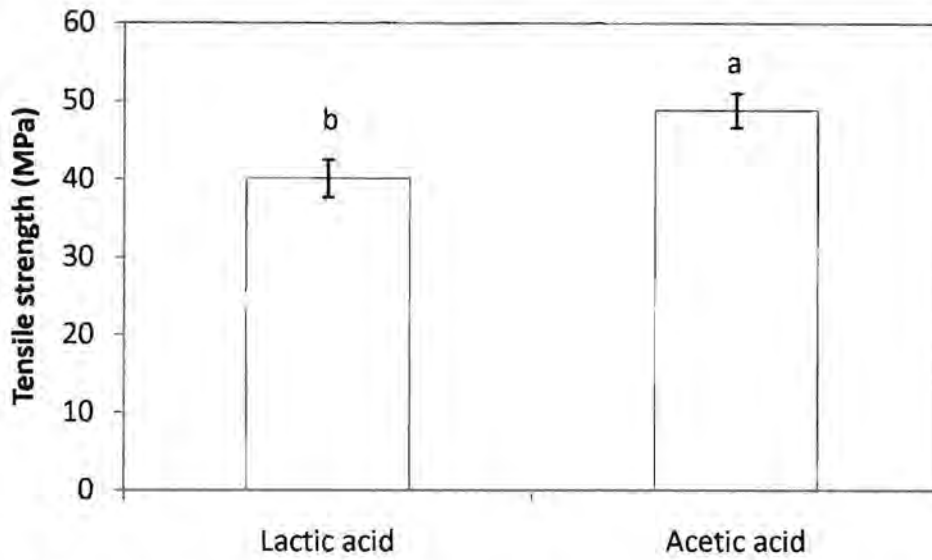
จากผลการวัดความหนาของแผ่นฟิล์มในรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบการใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน คือ ใช้ acetic acid 1 % และ lactic acid 1 % โดยให้ความเข้มข้นของโคโคซานคงที่ พบว่าฟิล์มที่มีความหนาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความสามารถในการละลายของโคโคซานสามารถละลายในกรดทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้จากผลการทดลองเบื้องต้น (preliminary test)

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.7 ค่า TS ของแผ่นฟิล์มที่ใช้ acetic acid เป็นตัวทำละลายจะมีค่ามากกว่าฟิล์มที่ใช้ lactic acid เป็นตัวทำละลายอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) อาจเนื่องจากโมเลกุลของ acetic acid เล็กกว่า lactic acid จึงทำให้ acetyl group สามารถเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างโครงสร้างของโคโคซานพอลิเมอร์ โดยไม่รบกวนการเกิด crystallinity ของฟิล์ม ซึ่งความแข็งแรงของฟิล์มขึ้นอยู่กับกรเกิด crystallinity ในโครงสร้างของฟิล์ม (Hernandez, Selke and Culler, 2000) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Park, Jun and Marsh (2001) ที่ศึกษาผลของการใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ ได้แก่ acetic acid, citric acid, lactic acid และ malic acid ต่อคุณสมบัติของฟิล์มแบบผสมระหว่าง polyvinyl alcohol กับโคโคซาน และพบว่าชนิดของกรดส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น WVTR tensile strength สารละลายกรดทำให้เกิด molecular interaction ในพอลิเมอร์ ฟิล์มที่ใช้สารละลาย acetic acid ให้ฟิล์มที่มีค่า TS และ WVTR ต่ำกว่าการใช้กรดชนิดอื่นๆ เนื่องจากการใช้ acetic acid เกิดพันธะไฮโดรเจนอยู่ในโครงสร้างของโคโคซานได้ดี

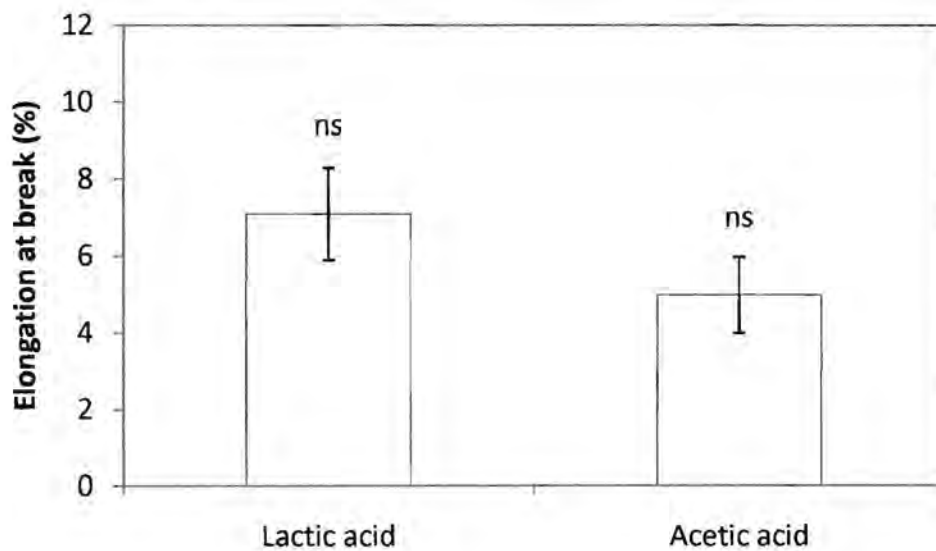
ผลการทดลองในรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า ค่า % EAB ของฟิล์มที่ได้จากตัวทำละลาย acetic acid มีค่าต่ำกว่าฟิล์มที่ผลิตได้จากตัวทำละลาย lactic acid แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ซึ่งผลของค่า % EAB มักมีทิศทางตรงข้ามกับค่า TS เนื่องจากเมื่อค่า TS สูงฟิล์มจะมีความแข็งแรง แต่ความยืดหยุ่นลดลง เมื่อพิจารณาค่า WVTR ของฟิล์มที่เตรียมจากตัวทำละลายต่างชนิดกัน (รูปที่ 4.9) พบว่า ฟิล์มที่เตรียมโดยใช้ acetic acid มีค่า WVTR ต่ำกว่าฟิล์มที่เตรียมโดยใช้ lactic acid แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) จึงสรุปได้ว่าการใช้ acetic acid เป็นตัวทำละลายให้ฟิล์มที่มี ความหนา % EAB และ WVTR ไม่แตกต่างจากการใช้ lactic acid แต่ให้ค่า TS สูงกว่า จึงเลือกใช้ acetic acid เป็นตัวทำละลายในการทดลองขั้นต่อไป



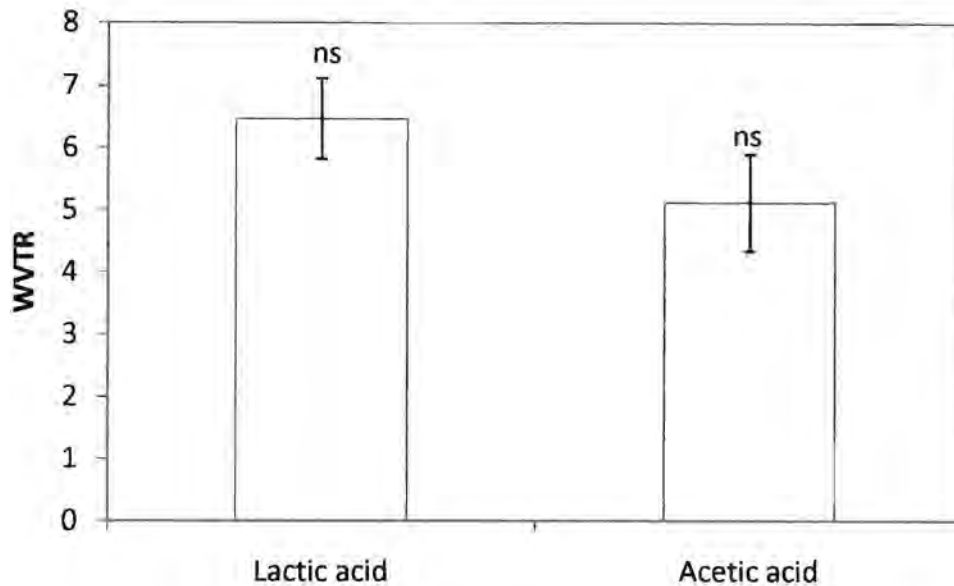
รูปที่ 4.6 ความหนาของฟิล์มเคลือบบริโอดได้จากโคโคซานเมื่อใช้ตัวทำละลายต่างกัน ns แสดงค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )



รูปที่ 4.7 Tensile strength ของฟิล์มเคลือบบริโคได้จากโคโตซานเมื่อใช้ตัวทำละลายต่างกัน  
a, b,... แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )



รูปที่ 4.8 Elongation at break ของฟิล์มเคลือบบริโคได้จากโคโตซานเมื่อใช้ตัวทำละลายต่างกัน  
ns แสดงค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )



รูปที่ 4.9 WVTR ของฟิล์มเคลือบบริโคได้จากโคโคซานเมื่อใช้ตัวทำละลายต่างกัน

ns แสดงค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

#### 4.2.2 ศึกษาปริมาณ plasticizer ที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มเคลือบบริโคได้

ในการเตรียมฟิล์มเคลือบบริโคได้จากโคโคซาน ฟิล์มที่เตรียมได้มักมีความยืดหยุ่นต่ำเปราะและแตกได้ การใช้ plasticizer สามารถช่วยให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากขึ้น เนื่องจาก plasticizer จะช่วยลดแรงยึดจับภายในโมเลกุลระหว่างสายโพลิเมอร์และช่วยให้สายโพลิเมอร์มีการเคลื่อนที่ได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม plasticizer มักส่งผลให้คุณสมบัติเชิงกลและสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ จึงต้องศึกษาปริมาณของ plasticizer ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ฟิล์มเคลือบบริโคได้ที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด การศึกษาปริมาณ plasticizer ที่เหมาะสมในการทดลองนี้ ทำโดยแปรปริมาณของกลีเซอรอลเป็น 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักโคโคซาน แล้ววัดความหนา ค่า TS, % EAB และ WVTR ของฟิล์มเคลือบบริโคได้จากโคโคซาน ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.10 ถึง 4.13 ตามลำดับ

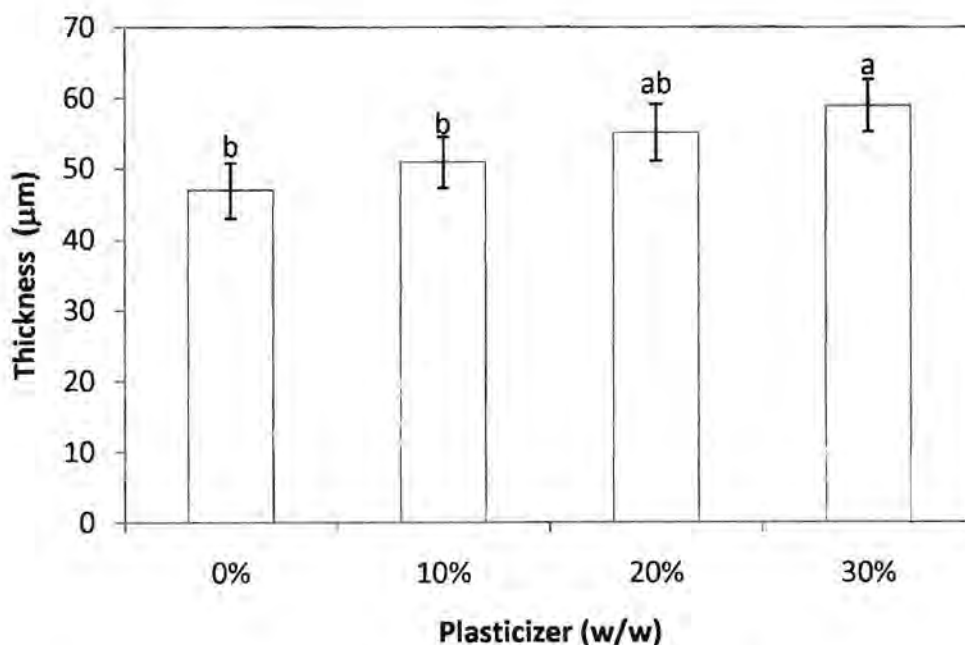
ผลการทดลองในรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณของ plasticizer ส่งผลให้ความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น ส่วนค่า tensile strength มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้ปริมาณ plasticizer เพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 20 % w/w (รูปที่ 4.11) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ plasticizer เป็น 30% เป็น ฟิล์มมีค่า tensile strength ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) และพบว่า การเพิ่มปริมาณของ plasticizer ส่งผลให้ค่า elongation at break เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 14.63 เป็น 57.70 (รูปที่ 4.12)

โดยทั่วไปค่า tensile strength และ elongation at break มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกัน โดยเมื่อเติม plasticizer ทำให้ค่า tensile strength ลดลง ส่วนค่า elongation at break เพิ่มขึ้น เนื่องจาก glycerol เป็น plasticizer ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเล็กและมีคุณสมบัติเป็น hydrophilic จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนแทรกอยู่ภายในโครงสร้างของโคโคซาน ทำให้ลดการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ของโคโคซานโพลิเมอร์ ฟิล์มจึงมีความยืดหยุ่น

สูงขึ้น แต่ความแข็งแรงลดลง การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของฟิล์มเนื่องจากการเติม hydrophilic plasticizer สอดคล้องกับผลการทดลองของฟิล์ม hydrocolloid-based films ชนิดอื่นๆ (Caner et al., 1998; Srinivasa et al., 2007)

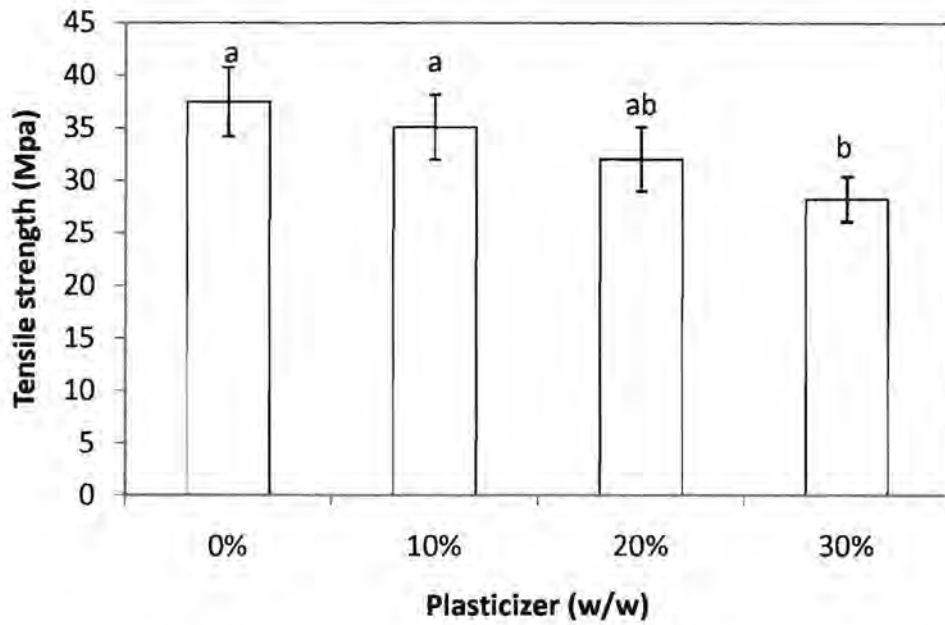
จากการศึกษาผลของการเติม plasticizer ต่อค่า WVTR ของฟิล์ม (รูปที่ 4.13) พบว่า ค่า WVTR ของฟิล์มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) การใช้กลีเซอรอลเพิ่มจาก 0 เป็น 20 % w/w ไม่ส่งผลต่อค่า water vapor transmission rate อย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ plasticizer จาก 20 เป็น 30 % w/w ค่า WVTR ของฟิล์มเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโคโตะซานเนื่องจากการใช้ plasticizer ซึ่งส่งผลให้ free volume ในโครงสร้างของโพลิเมอร์เพิ่มขึ้น ความหนาแน่นลดลง ก๊าซและไอน้ำจึงเกิดการซึมผ่านได้ง่ายขึ้น (Ashley, 1985) ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Srinivasa et al. (2007) ซึ่งพบว่าการใช้ hydrophilic plasticizers ทำให้ค่า water vapor permeability ของ hydrocolloid-based films ลดลง

เมื่อพิจารณาค่า TS, % EAB และ WVTR พบว่าการใช้ plasticizer ที่ 20% เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากฟิล์มมีค่า % EAB สูงขึ้น โดยไม่ส่งผลต่อค่า TS และค่า WVTR อย่างมีนัยสำคัญ ฟิล์มที่ได้จึงมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นในขณะที่ความแข็งแรงและคุณสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำไม่เปลี่ยนแปลง

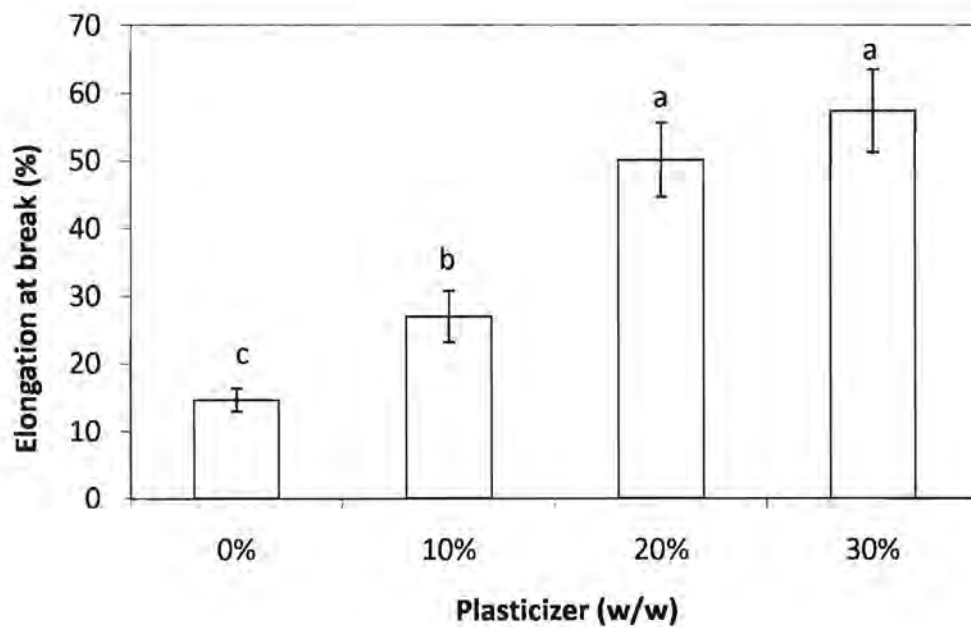


รูปที่ 4.10 ผลของปริมาณ plasticizer ต่อความหนาของฟิล์มเคลือบบริโคได้จากโคโตะซาน

a, b,... แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

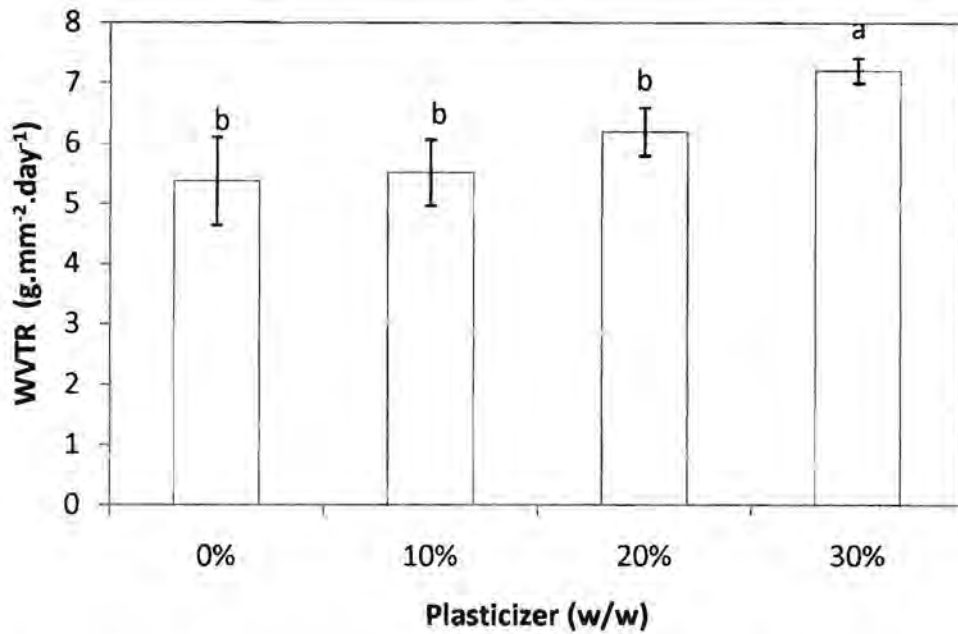


รูปที่ 4.11 ผลของปริมาณ plasticizer ต่อ tensile strength ของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากโคโตซาน  
a, b,...แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )



รูปที่ 4.12 ผลของปริมาณ plasticizer ต่อ elongation at break ของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากโคโตซาน  
a, b,...แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )





รูปที่ 4.13 ผลของปริมาณ plasticizer ต่อค่า WVTR ของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากโคโคซาน  
a, b,...แสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.2.3 ศึกษาสมบัติของฟิล์มเคลือบบริโกลด์

##### สมบัติทางกายภาพของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากโคโคซาน

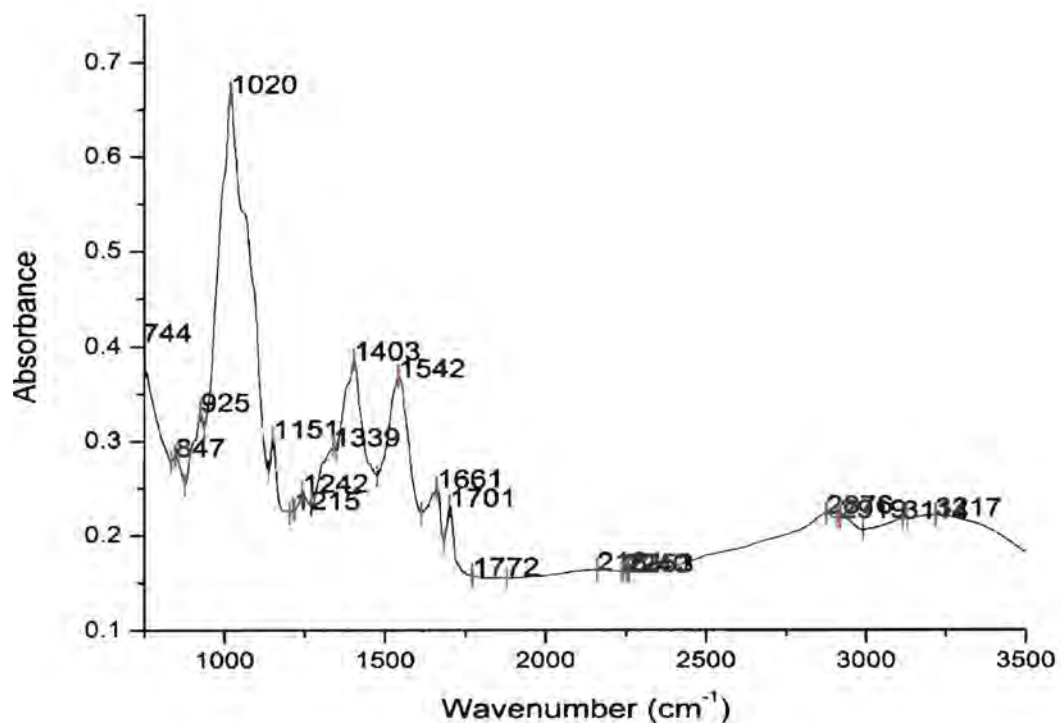
เตรียมฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากโคโคซานโดยใช้ภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้น แล้ววัดสมบัติของฟิล์ม ได้แก่ ความหนา, TS, % EAB และ ค่า WVTR ได้ผลการทดลองดังแสดงสรุปไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สมบัติของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากโคโคซาน

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้
ความหนา (mm)	$0.055 \pm 0.004$
Tensile strength (MPa)	$32.05 \pm 3.03$
Elongation at break (%)	$50.18 \pm 5.46$
WVTR (g.mm <sup>2</sup> .day <sup>-1</sup> )	$6.21 \pm 0.40$

## FTIR

การวัดคุณสมบัติของฟิล์มด้วย FTIR spectroscopy ทำโดยวัดค่า absorbent ของฟิล์มไคโตซาน ในช่วง wavenumber ระหว่าง  $700\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$  รูปที่ 4.14 แสดง FTIR spectrum ของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากไคโตซาน โดยพบพีคในช่วง  $3000\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งแสดงถึง stretching vibration ของ free hydroxyl และ asymmetric และ symmetric stretching ของ N-H bonds ของหมู่ amino group นอกจากนี้ยังพบพีคที่  $1403$  และ  $1542\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นผลมาจาก หมู่ OH in-plane bending และพบ C=O stretching bands ซึ่งมีค่า absorption ที่  $1661$  และ  $1701\text{ cm}^{-1}$  แสดงให้เห็นว่าฟิล์มไคโตซานที่เตรียมในการทดลองนี้ มีค่าการแสดงให้เห็นถึง hydroxyl group และ amino group ในโครงสร้างของ chitosan matrix ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang & Kosaraju (2007) ซึ่งพบ amine functional groups ในไคโตซาน ซึ่งอิเล็กตรอนเดี่ยวอยู่ที่อะตอมไนโตรเจนในหมู่อะมิโน  $\text{NH}_2$  ในโครงสร้างของไคโตซาน ทำให้ไคโตซานสามารถจับออกซิเจน จึงสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยังสามารถแตกตัวให้ประจุบวก ซึ่งสามารถเกิดพันธะกับประจุลบที่ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ ซึ่งมีส่วนสำคัญในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Sakanaka et al., 2000; Wu et al., 2007)



รูปที่ 4.14 FTIR spectrum ของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากไคโตซาน

### 4.3 การใช้ฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากไคโตซานในการหีดอายุการเก็บรักษามล็ดภัณฑ์ BBP

การเตรียมฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากไคโตซาน ทำโดยใช้วิธีที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.2 โดยละลายไคโตซานในสารละลายกรดอะซิติก 1% และเติม plasticizer 20% ของปริมาณไคโตซาน ในการทดลองนี้

เตรียมสารละลายฟิล์มโดยแปรปริมาณของโคโตะซานเป็น 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ แต่จากการทดลองพบว่า สารละลายโคโตะซานที่ความเข้มข้น 0.5 1.0 และ 1.5 ให้ลักษณะการเคลือบไม่เป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากสารละลายจะมีความข้นหนืดต่ำ ทำให้เคลือบได้ไม่ทั่วถึง ส่วนสารละลายโคโตะซานที่ความเข้มข้น 3.0 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะการละลายที่ไม่ดี เนื่องจากมีปริมาณโคโตะซานสูงเกินไป ดังนั้นจึงใช้สารละลายโคโตะซาน 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ในการเคลือบผลิตภัณฑ์เนื่องจาก สารละลายสามารถเคลือบติดได้ทั่วผลิตภัณฑ์

การศึกษาถึงผลของฟิล์มเคลือบบริโกลด์ที่มีต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ BBP โดยใช้สารละลายโคโตะซานที่ความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ (Coat-A) และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ (Coat-B) เคลือบผิวของผลิตภัณฑ์ BBP ปล่อยให้แห้ง แล้วบรรจุในบรรจุภัณฑ์ polyamide ภายใต้ภาวะสุญญากาศ (เป็นภาวะในการบรรจุและบรรจุภัณฑ์ที่ดีที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์ BBP ที่ได้มาจากการทดลอง 4.1) ผลิตภัณฑ์ BBP ที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยโคโตะซานและบรรจุในบรรจุภัณฑ์และภายใต้ภาวะการบรรจุแบบเดียวกันใช้เป็นตัวอย่างควบคุม (Control) เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ BBP ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส และวัดคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สี และความแน่นเนื้อ วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value, POV) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) คุณภาพทางชีวภาพ และประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ของตัวอย่างในระหว่างการเก็บรักษา ได้ผลการทดลองดังนี้

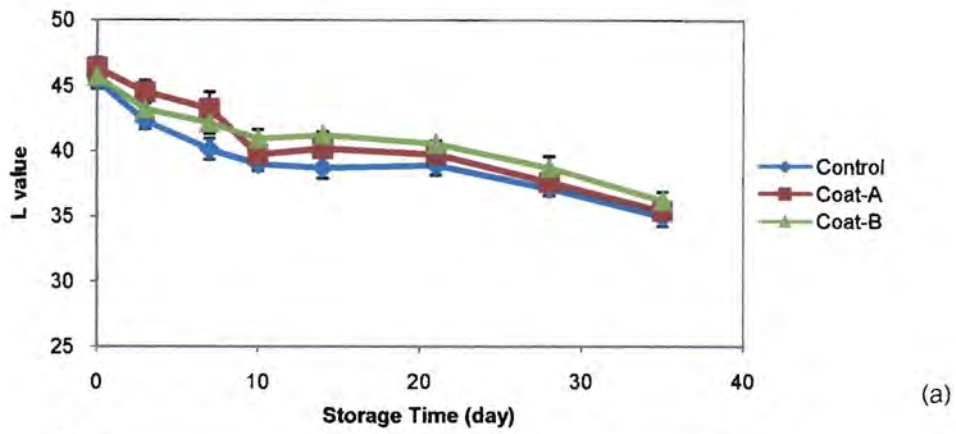
#### 4.3.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

##### ค่าสี

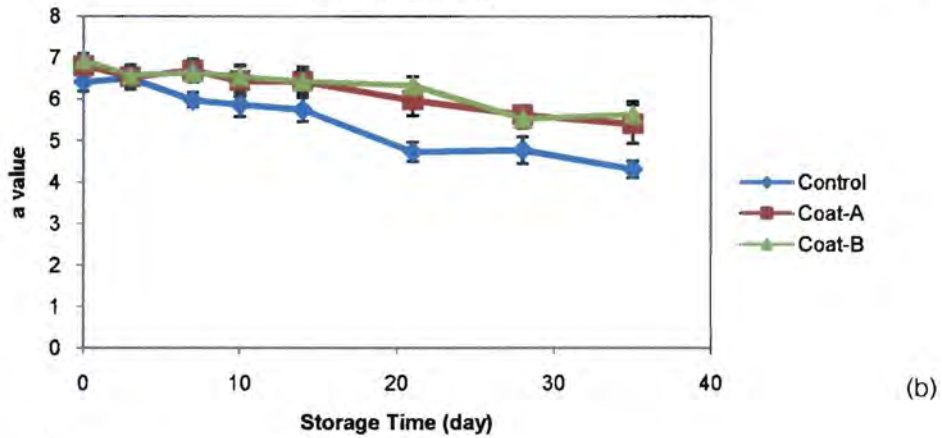
ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสี  $L a b$  และ  $\Delta E$  ของผลิตภัณฑ์ BBP ที่ไม่ผ่านการเคลือบ และที่เคลือบด้วยโคโตะซานที่ความเข้มข้น 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างการเก็บรักษา แสดงในรูปที่ 4.15 (a-d) ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ BBP มีแนวโน้มการลดลงของ  $L a$  และ  $b$  เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป ผลิตภัณฑ์ BBP ที่เคลือบด้วย Coat-A และ Coat-B มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) แต่มีค่าสีแตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยโคโตะซาน (Control) อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยผลิตภัณฑ์ BBP ที่ไม่ผ่านการเคลือบมีสีเข้มขึ้น เปลี่ยนเป็นสีเขียวและน้ำเงินมากขึ้น ฟิล์มเคลือบโคโตะซานสามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ BBP ได้ ทำให้ลดการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ BBP (Love and Pearson, 1971; Ramirez and Cava, 2005)

##### ค่าเนื้อสัมผัส

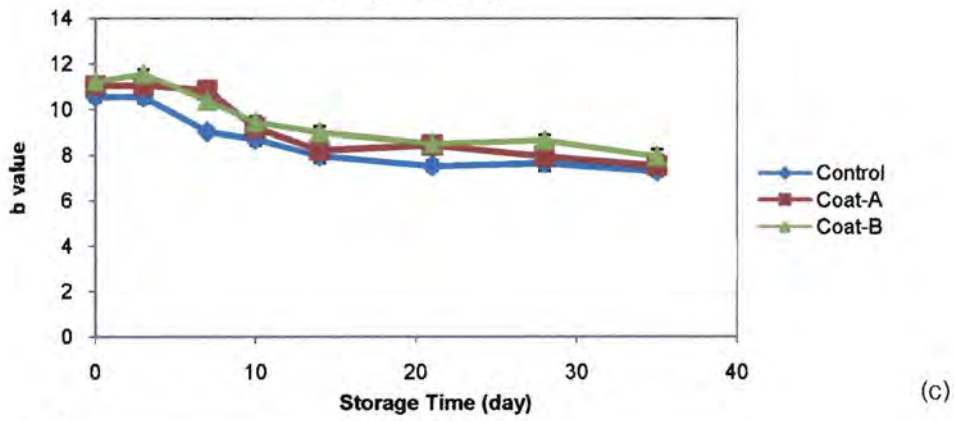
ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ BBP ที่ไม่ผ่านการเคลือบ และที่เคลือบด้วยโคโตะซานที่ความเข้มข้น 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างการเก็บรักษา แสดงในรูปที่ 4.16 จากผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ BBP ทั้ง Control, Coat-A และ Coat-B มีแนวโน้มของความแน่นเนื้อมากขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป การเพิ่มขึ้นของความแน่นเนื้ออาจเกิดจากการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ BBP ผลิตภัณฑ์ BBP ที่ไม่ผ่านการเคลือบ และที่ผ่านการเคลือบด้วยโคโตะซาน มีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) เนื่องจากฟิล์มเคลือบบริโกลด์ได้จากโคโตะซานมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี ซึ่งเป็นคุณสมบัติทั่วไปของฟิล์มบริโกลด์ได้จากคาร์โบไฮเดรต (Kester and Fennema, 1986)



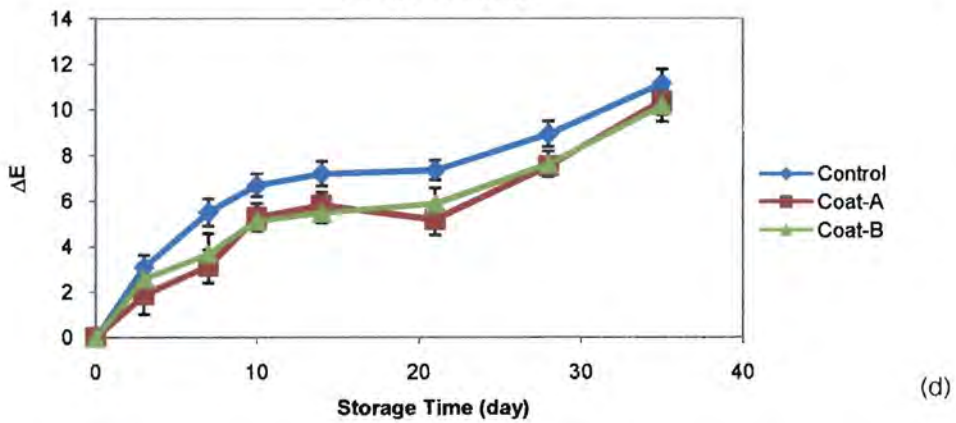
(a)



(b)

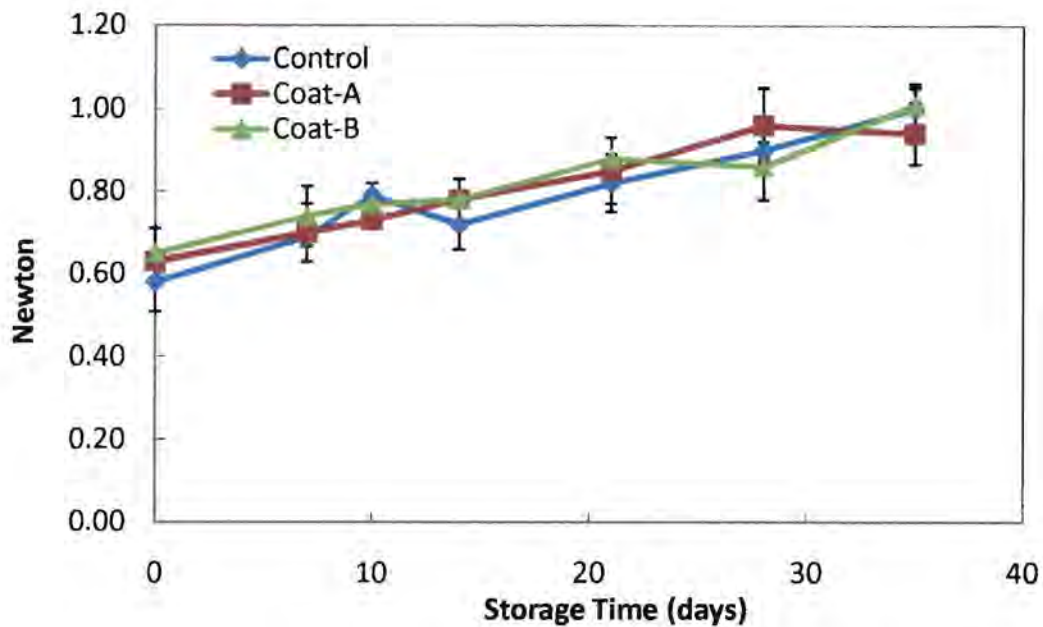


(c)



(d)

รูปที่ 4.15 ค่าความเข้ม-สว่าง (L) ค่าสีเขียว-แดง (a) ค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b) และ  $\Delta E$  ของผลิตภัณฑ์ BBP ระหว่างการเก็บรักษา



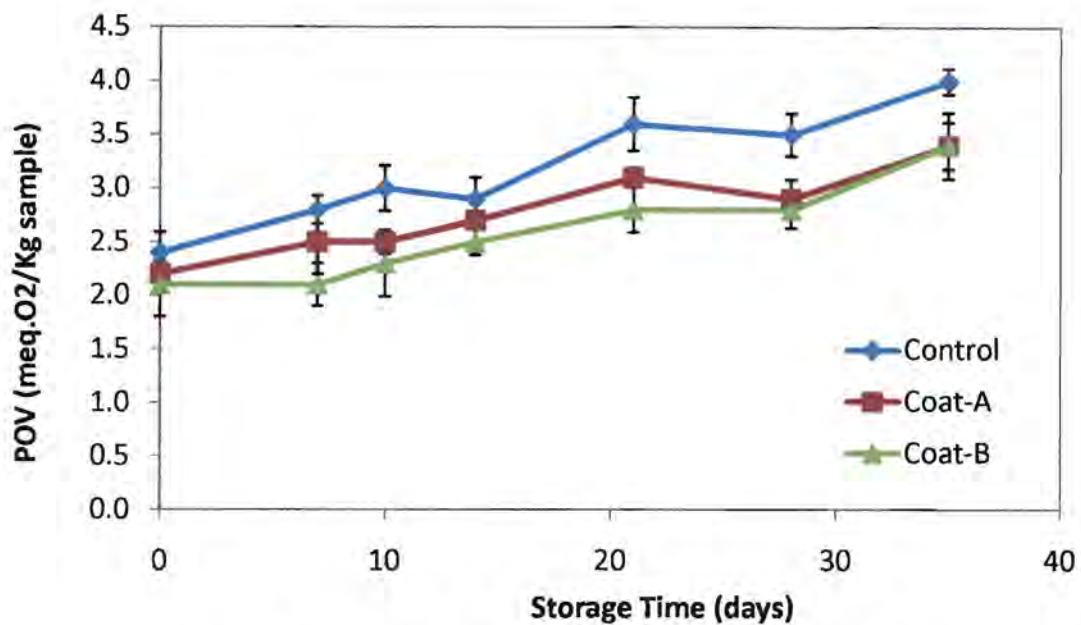
รูปที่ 4.16 ค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ BBP ระหว่างการเก็บรักษา

#### 4.3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

##### ค่าเปอร์ออกไซด์

ค่าเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้นจะเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมัน โดยถ้ามีก๊าซออกซิเจนอยู่มากจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดี แม้ว่าในการทดลองผลิตภัณฑ์บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ ภายใต้ภาวะสุญญากาศก็ตาม ภาวะดังกล่าวอาจมีออกซิเจนหลงเหลืออยู่ในช่วงการปิดผนึก หรืออาจจะอยู่ในชั้นอาหารเอง และยังคงอาจเนื่องมาจากการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนผ่านฟิล์มบรรจุภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา

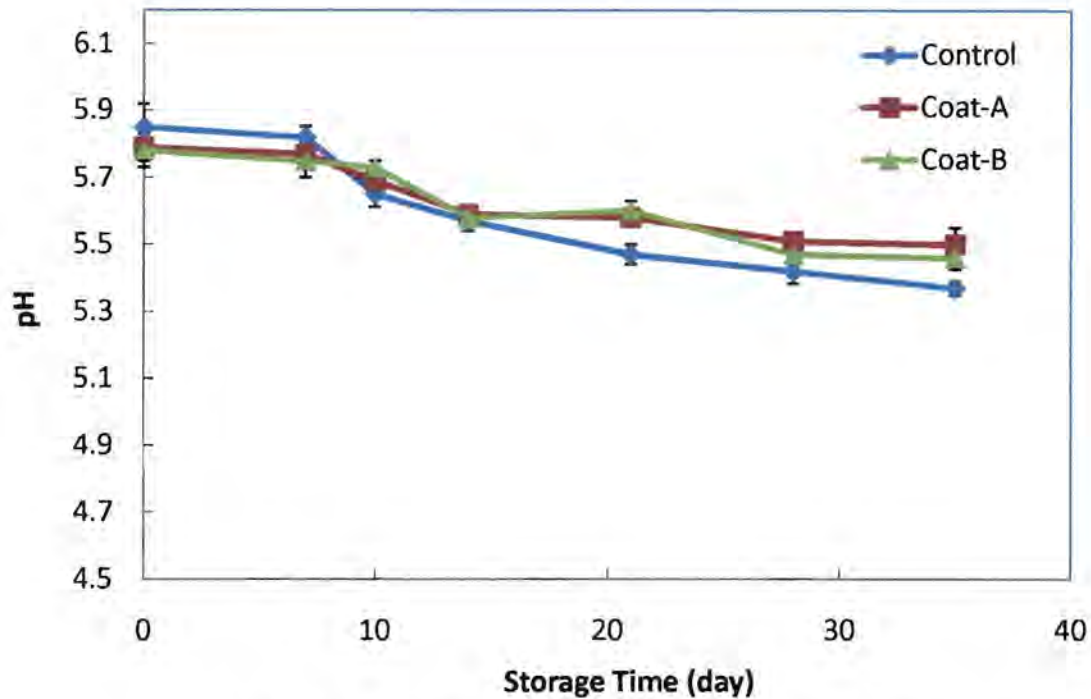
ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ของผลิตภัณฑ์ BBP ที่ไม่ผ่านการเคลือบ และที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้น 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างการเก็บรักษา แสดงในรูปที่ 4.17 จากผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ BBP มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป ผลิตภัณฑ์ BBP ที่เคลือบด้วยไคโตซาน Coat-B จะมีการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ BBP ที่ทำการเคลือบด้วยไคโตซาน Coat-A เพียงเล็กน้อยและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ในขณะที่ BBP ที่ผ่านการเคลือบด้วยไคโตซาน มีค่าค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านเคลือบด้วยไคโตซาน อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้ก็เนื่องจากการเคลือบด้วยไคโตซานนี้สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ BBP ได้ดี นอกจากนี้ในโครงสร้างของไคโตซาน มีอิเล็กตรอนเดี่ยวอยู่ที่อะตอมไนโตรเจนในหมู่อะมิโน  $NH_3^+$  (รูปที่ 4.14) ดังนั้นจึงสามารถจับออกซิเจน (Wu et al., 2007) จึงช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้



รูปที่ 4.17 ค่าเปอร์ออกไซด์ของผลิตภัณฑ์ BBP ระหว่างการเก็บรักษา

#### ค่า pH

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของผลิตภัณฑ์ BBP ที่ไม่ผ่านการเคลือบ และที่เคลือบด้วยโคโตซานที่ความเข้มข้น 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างการเก็บรักษา แสดงในรูปที่ 4.18 จากผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ BBP มีแนวโน้มการลดลงของค่า pH เมื่อระยะเวลาผ่านไป ผลิตภัณฑ์ BBP ที่เคลือบด้วย Coat-A และ Coat-B มีค่า pH ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) นอกจากนี้ยังพบว่า BBP ที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยโคโตซาน (Control) มีค่า pH เปลี่ยนแปลงมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านเคลือบโคโตซานอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษา อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการเจริญของแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถสร้างกรดได้มีจำนวนเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเคลือบผลิตภัณฑ์ BBP ด้วยโคโตซานจึงสามารถช่วยชะลอการเจริญของแบคทีเรียดังกล่าว ทำให้ค่า pH ลดลงน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ BBP ที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยโคโตซาน



รูปที่ 4.18 ค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ BBP ระหว่างการเก็บรักษา

#### 4.3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพ

ผลการศึกษากาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ BBP ที่ไม่ผ่านการเคลือบ และที่ผ่านการเคลือบด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้น 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างการเก็บรักษา แสดงในตารางที่ 4.3 จะเห็นว่า ปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจพบในผลิตภัณฑ์ BBP ที่เคลือบด้วยไคโตซาน Coat-B มีน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ BBP ที่เคลือบด้วยไคโตซาน Coat-A เพียงเล็กน้อยและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) การเคลือบผลิตภัณฑ์ด้วยไคโตซานช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ อาจเนื่องจาก  $\text{NH}_3^+$  ในโครงสร้างของไคโตซาน สามารถแตกตัวให้ประจุบวก ซึ่งสามารถเกิดพันธะกับประจุลบที่ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Wu et al., 2007)

ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu et al. (2004) ที่พบว่ากาที่ไคโตซานสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้เนื่องจาก เกิด interaction ระหว่าง chitosan acetate กับ phospholipids membranes ทำให้ค่าการซึมผ่านของ outer membrane และ inner membrane เพิ่มขึ้นส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียถูกทำลาย ซึ่งเป็นผลมาจาก electrostatic interaction ระหว่าง  $\text{NH}_3^+$  groups ของ chitosan acetate กับ phosphoryl groups ของ phospholipids ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์

ตารางที่ 4.3 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Log CFU/g) ในผลิตภัณฑ์ BBP ที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยโคโตซาน

Treatments	Storage Time (day)				
	0	7	14	21	28
Control	nd	2.48 ± 0.22	3.95 ± 0.17	5.60 ± 0.09	6.40 ± 0.12
Coat-A	nd	1.60 ± 0.11	2.70 ± 0.20	3.30 ± 0.14	4.86 ± 0.12
Coat-B	nd	1.60 ± 0.09	2.48 ± 0.16	2.95 ± 0.14	4.73 ± 0.13

nd = not detected

#### 4.3.4 การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ลักษณะด้านสี กลิ่น และการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภค ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.19

##### คะแนนด้านสี

จากผลการประเมินคุณภาพทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ BBP ระหว่างการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าระดับความชอบทางด้านสีของผู้บริโภคลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป ผลิตภัณฑ์ BBP ที่เคลือบโคโตซาน ทั้ง 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ผลิตภัณฑ์ BBP ที่เคลือบด้วยโคโตซาน มีคะแนนด้านสีต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยโคโตซานอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประเมินคุณภาพทางด้านสีกับการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดสี ดังรูปที่ 4.15 จะให้ผลสอดคล้องกัน กล่าวคือผลิตภัณฑ์ BBP จะมีสีเข้ม มีสีเขียวและสีน้ำเงินมากขึ้น เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้นานขึ้น ผลิตภัณฑ์ BBP ที่ไม่ผ่านการเคลือบมีคุณภาพด้านสีไม่เป็นที่ยอมรับเมื่อเก็บรักษาไว้นาน 21 วัน ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเคลือบด้วยโคโตซาน ทั้ง Coat-A และ Coat-B มีคุณภาพทางด้านสีเป็นที่ยอมรับแม้ภายหลังเก็บรักษาไว้นาน 28 วัน

##### คะแนนด้านกลิ่น

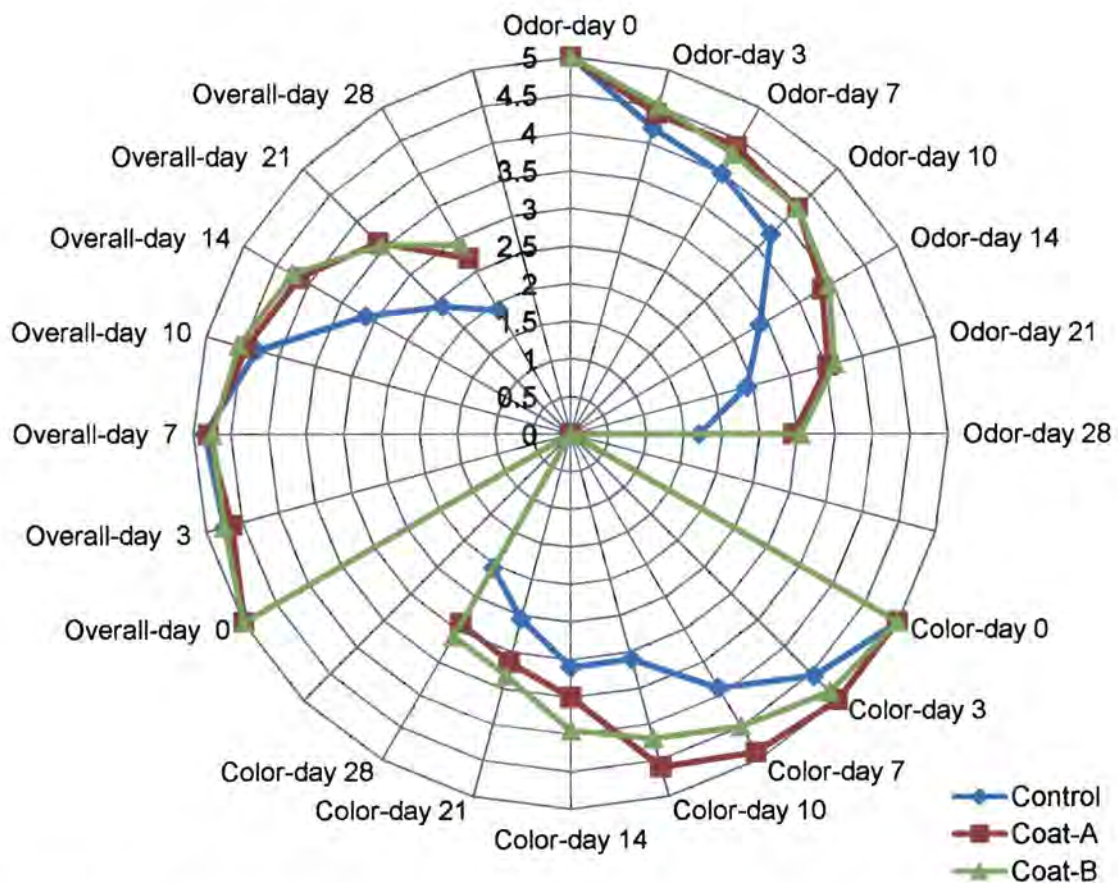
จากผลการประเมินคุณภาพทางด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ BBP ระหว่างการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าระดับความชอบทางด้านกลิ่นของผู้บริโภคลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป ผลิตภัณฑ์ BBP ที่เคลือบด้วย Coat-A และ Coat-B ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) แต่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ BBP ที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยโคโตซานอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการประเมินทางด้านกลิ่นกับการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ในรูปที่ 4.17 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป ค่าเปอร์ออกไซด์จะเพิ่มมากขึ้น จึงสามารถสรุปได้ว่าคะแนนด้านกลิ่นของลดลง เมื่อค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงกลิ่นของผลิตภัณฑ์ยังอาจเกิดจากการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียได้อีกด้วย



### คะแนนการยอมรับโดยรวม

จากผลการประเมินคุณภาพทางด้านการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ BBP ระหว่างการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าระดับการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป ผลิตภัณฑ์ BBP ที่เคลือบด้วย Coat-A และ Coat-B ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) แต่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ BBP ที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยโคโคซานอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) คะแนนการยอมรับโดยรวมของ Control ไม่เป็นที่ยอมรับ (คะแนน  $\leq 2.5$ ) เมื่อเก็บรักษาไว้ได้น้อยกว่า 21 วัน ส่วนผลิตภัณฑ์ทั้ง Coat-A และ Coat-B ยังคงมีคะแนนเป็นที่ยอมรับเมื่อเก็บรักษาไว้นานถึง 28 วัน

จากการศึกษาคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ BBP เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป พบว่า คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ BBP จะมีระดับคะแนนลดลง และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ BBP ที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยโคโคซาน พบว่าคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ BBP ที่เคลือบด้วยโคโคซานดีกว่าผลิตภัณฑ์ BBP ที่ไม่เคลือบโคโคซาน ส่วนคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ BBP ที่เคลือบด้วย Coat-A และ Coat-B ไม่แตกต่างกัน เมื่อใช้คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เป็นเกณฑ์ในการกำหนดอายุการเก็บ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการเคลือบมีอายุการเก็บน้อยกว่า 21 วัน ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเคลือบด้วยโคโคซานมีอายุการเก็บรักษานาน 28 วัน



รูปที่ 4.19 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส (color, odor และ overall acceptance) ของผลิตภัณฑ์ BBP แบบ Control, Coat-A Coat-B ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

## 5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโคโตซานเพื่อยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปแช่เย็นพร้อมบริโภค โดยตั้งสมมติฐานว่าฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโคโตซานสามารถรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้เนื่องจากโคโตซานมีสมบัติชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน โดยแบ่งงานวิจัยเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์และภาวะการบรรจุที่เหมาะสมในการเก็บรักษา broiled boneless pork (BBP) การศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโคโตซาน และการศึกษาผลของการใช้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโคโตซานต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ BBP

การศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์และภาวะการบรรจุที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ BBP ทำโดยใช้บรรจุภัณฑ์ polypropylene ภายใต้บรรยากาศปกติ (OPP) และใน polyamide ภายใต้บรรยากาศปกติ (PA) และภายใต้ภาวะสุญญากาศ (PA-V) แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $2 \pm 1$  องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าทางสี คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น การบรรจุภายใต้ภาวะสุญญากาศช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพได้ดีกว่าการบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาใน PA-V เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด จากผลการประเมินด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่าผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ทั้งสามชนิดมีคุณภาพด้านประสาทสัมผัสลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ซึ่งผลการประเมินด้านประสาทสัมผัสสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ทางด้านเคมีและกายภาพ โดยผลิตภัณฑ์ใน PA สามารถรักษาคุณภาพได้ดีกว่า OPP เล็กน้อย ส่วนผลิตภัณฑ์ใน PA-V สามารถรักษาคุณภาพด้านประสาทสัมผัสไว้ได้ดีที่สุด เนื่องจากการบรรจุภายใต้ภาวะสุญญากาศจึงมีออกซิเจนต่ำกว่าการบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ ส่งผลให้ชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการเจริญและทำให้อาหารเน่าเสีย จึงเลือกใช้ PA-V เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในการทดลองขั้นต่อไป

การศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโคโตซาน โดยศึกษาชนิดของสารละลายกรดซึ่งใช้เป็นตัวทำละลาย ได้แก่ lactic acid 1 % และ acetic acid 1 % และศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของ plasticizer พบว่าแผ่นฟิล์มที่ใช้ acetic acid เป็นตัวทำละลายมีค่า TS มากกว่าฟิล์มที่ใช้ lactic acid ส่วน ความหนา ค่า % EAB และ WVTR ของฟิล์มที่ได้จากตัวทำละลายทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกัน จึงเลือกใช้ acetic acid เป็นตัวทำละลาย เนื่องจากฟิล์มมีค่า TS สูงกว่าจึงมีความแข็งแรงมากกว่า จากการศึกษาผลของการเติม plasticizer ในปริมาณต่างๆ ต่อความหนา TS, % EAB และ WVTR ของฟิล์ม พบว่าการใช้ plasticizer ที่ 20% เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากฟิล์มมีค่า % EAB สูงขึ้น ในขณะที่ค่า TS และค่า WVTR ไม่แตกต่างจากฟิล์มที่ไม่เติม plasticizer ฟิล์มที่ได้จึงมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นในขณะที่ความแข็งแรงและคุณสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำไม่เปลี่ยนแปลง

การศึกษาถึงผลของฟิล์มเคลือบบริโภคได้ที่มีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ BBP โดยใช้สารละลายโคโตซานที่ความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ (Coat-A) และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ (Coat-B) เคลือบที่ผิวของผลิตภัณฑ์ BBP แล้วบรรจุใน PA-V เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ BBP ที่อุณหภูมิ  $2 \pm 1$  องศาเซลเซียส พบว่าผลิตภัณฑ์ BBP ที่เคลือบด้วยโคโตซานมีการเปลี่ยนแปลงของค่าสี ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าเนื้อสัมผัส และค่าความเป็นกรด-ด่าง น้อยกว่าผลิตภัณฑ์

ที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยโคโตซาน อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ BBP ที่ไม่ผ่านการเคลือบ และที่ผ่านการเคลือบด้วยโคโตซาน มีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกัน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความแน่นเนื้ออาจเกิดจากการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์ โคโตซานมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี จึงไม่สามารถป้องกันการสูญเสียความชื้นจากผลิตภัณฑ์ได้ การเคลือบผลิตภัณฑ์ด้วยโคโตซานช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจากผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR spectroscopy พบ  $\text{NH}_3^+$  groups ในโครงสร้างของฟิล์มโคโตซานซึ่ง  $\text{NH}_3^+$  สามารถเกิด interaction กับ เยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียถูกทำลาย นอกจากนี้โคโตซานยังมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากในโครงสร้างของโคโตซานมีอิเล็กตรอนเดี่ยวอยู่ที่อะตอมไนโตรเจนในหมู่อะมิโน  $\text{NH}_2$  ซึ่งสามารถจับออกซิเจน จึงสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ จากการศึกษาคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ BBP เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป พบว่า คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยโคโตซานมีค่าลดลงช้ากว่าผลิตภัณฑ์ BBP ที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยโคโตซาน เมื่อใช้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เป็นเกณฑ์ในการกำหนดอายุการเก็บ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการเคลือบมีอายุการเก็บน้อยกว่า 21 วัน ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเคลือบด้วยโคโตซานมีอายุการเก็บรักษานาน 28 วัน

## 6. ข้อเสนอแนะและการประยุกต์ใช้ประโยชน์ของผลการวิจัย

6.1 ในงานวิจัยนี้ศึกษาการใช้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโคโคซานในการยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากเนื้อสัตว์ ซึ่งพบว่าฟิล์มที่ผลิตขึ้นสามารถชะลอการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารชนิดดังกล่าวได้ เนื่องจากฟิล์มโคโคซานมีคุณสมบัติในการชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการหืนของไขมัน และยังสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ จึงไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงน่าจะมีการศึกษาการใช้ประโยชน์ของฟิล์มดังกล่าวในการยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่นๆ เพิ่มเติมต่อไป เช่น ปลาหรืออาหารทะเลชนิดต่างๆ ผลิตภัณฑ์นม และ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เป็นต้น

6.2 ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโคโคซานที่ผลิตขึ้นมีสมบัติชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ติดตามการเจริญของ total aerobic bacteria เท่านั้น จึงน่าจะมีการศึกษาผลของการใช้ฟิล์มที่ผลิตขึ้นในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ทั้งที่ทำให้อาหารเน่าเสีย และที่ทำให้เกิดโรค เพื่อขยายขอบเขตการนำไปใช้งานได้กว้างขวางยิ่งขึ้น

6.3 เนื่องจากฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโคโคซานมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ค่อนข้างต่ำ อาจปรับปรุงคุณสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้โดยทำเป็นฟิล์มแบบผสมกับวัสดุชนิดอื่นๆ ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี เพื่อให้สามารถนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลายขึ้น

6.4 ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโคโคซานมีคุณสมบัติในการชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการหืนของไขมัน ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล และค่า degree of deacetylation ของโคโคซาน อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ยังไม่มีการศึกษาผลของค่าดังกล่าวต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่ได้ ดังนั้นในการประยุกต์ใช้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้จากโคโคซานในอนาคต อาจมีการศึกษาผลของน้ำหนักโมเลกุล และค่า degree of deacetylation ของโคโคซานต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่ได้ เพื่อให้เลือกชนิดของโคโคซานเพื่อนำมาผลิตเป็นฟิล์มเคลือบบริโภคได้ที่เหมาะสมกับการใช้งานจริงได้

## เอกสารอ้างอิง

- ทศพล นพคุณวงศ์. 2541. ผลของการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของมังคุดด้วยสารเคลือบผิวและฟิล์มพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- นวรรตน์ พัฒนศิริ. 2544. ศึกษาผลของการใช้สารเคลือบผิวที่รับประทานได้ต่ออายุการเก็บรักษาและคุณภาพของ มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- สุปราณี เกิดวาจา. 2544. การผลิตและการเก็บรักษาปลาอินทรีเค็ม. เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ผลิตภัณฑ์ประมง) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ, เกวียน บัวตุ้ม, รมณี สงวนดีกุล, พรชัย ราชตนพันธ์ และ มาโนชัย ศรินางแย้ม 2005. รายงานการดูงาน โครงการ "ก้าวสู่การเป็นครัวของโลกด้วยเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์" โครงการสนับสนุนยุทธศาสตร์ด้านอาหารของประเทศในการเป็นครัวของโลก โดย สำนักงาน ก.พ.
- A.O.A.C. 1995. "Official Methods of Analysis of AOAC International," 16<sup>th</sup>ed. Association of Official Analytical Chemists., Arington, Virginia.
- Ashley, R. J. 1985. Permeability and plastics packaging. In J. Comyn (ed.), Polymer Permeability. pp. 269-309. London: Elsevier Applied Science Publishing.
- ASTM. 2003. Annual Book of ASTM Standards. American Society of Testing and Materials. Philadelphia, PA.
- Brody, A. L. Bugusu, B., Han, J.H., Sand, C.K. and McHugh, T.H. 2008. Innovative food packaging solutions. *Journal of Food Science*. 73 (8): 107-116.
- Caner, C., Vergano, P. J., and Wiles, J. L. 1998. Chitosan film mechanical and permeation properties as affected by acid, plasticizer, and storage. *Journal of Food Science*. 63: 1049-1053.
- Coffey, P. G. and Bell, D. A. 1995. Cellulose and Cellulose Derivatives In M. A. Stephen, M. A. (ed.) *Food Polysaccharide and Their Application*. pp. 123-138. New York : Marcell Dekker.
- Han, C., Zhao, Y., Leonard, S.W. and Traber, M.G. 2004. Edible coating to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria x ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*). *Postharvest Biology and Technology*. 33 (1): 67-78.
- Helander, I. M., Nurmiaho-Lassila, E. L., Ahvenainen, R., Rhoades, J., and Roller, S. 2001. Chitosan disrupts the barrier properties of the outer membrane of Gram-negative bacteria. *International Journal of Food Microbiology*. 71: 235-244.
- Hernandez, R. J., Selke, S.E.M. and Culter, J. D. 2000. *Plastic Packaging*. Hanser Publishers, Munich.
- Kester, J.J. and Fennema, O.R., 1986. Edible films and coating: a review. *Food Technology*. 40: 47-59.
- Koide, S.S. 1998. Chitin-chitosan: properties, benefits and risks. *Nutrition Research*. 18 : 1091-1101.

- Li, Q., Dunn, E. T., Grandnais E.W. and Goosen, M. F. A. 1992. Application and Properties of Chitosan. *Journal of Bioactive and Compatibility Polymer*. 7: 370-397.
- Liu, H., Du, Y., Wang, X. and Suna, L. 2004. Chitosan kills bacteria through cell membrane damage. *International Journal of Food Microbiology*. 95: 147-155.
- Love, J.D. and Pearson, A.M. 1971. Lipid oxidation in meat and meat products—A review, *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 48(10): 547-549.
- Nishiyama, M. 1991. Biodegradable plastics from cellulose-chitosan. *Now and Future*. 7: 13-17.
- Ouattara, B., Simard, R. E., Piette, G., Bégin, A., and Holley, R. A. 2000. Inhibition of surface spoilage bacteria in processed meats by application of antimicrobial films prepared with chitosan. *International Journal of Food Microbiology*. 62: 139-148.
- Portes, E., Gardrat, C., Castellan, A. and Coma, V. 2009. Environmentally friendly films based on chitosan and tetrahydrocuruminoid derivatives exhibiting antibacterial and antioxidative properties. *Carbohydrate Polymer*. 76: 578-584.
- Pranoto, Y., Rakshit, S. K., and Salokhe, V. M. 2005. Enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oil, potassium sorbate and nisin. *LWT*. 38: 859-865.
- Ramírez, M. R. and Cava, R. 2005. Changes in colour, lipid oxidation and fatty acid composition of pork loin chops as affected by the type of culinary frying fat. *LWT - Food Science and Technology*. 38 (7): 726-734.
- Shahidi, F., Arachchi, J. K., and Jeon, Y. J. 1999. Food application of chitin and chitosan. *Trends in Food Science and Technology*. 10: 37-51.
- Siripatrawan, U. and Jantawat, P. 2008. A novel method for shelf life prediction of a packaged moisture sensitive snack using multilayer perceptron neural network. *Expert Systems with Applications*. 34(2) 1562-1567.
- Siripatrawan, U., Burgess, G. and Harte, B.R. 2002. The effect of repeated microwave heating on the impact resistance of a polypropylene bottle. *Packaging Technology and Science*. 12: 1-6.
- Siripatrawan, U., Sanguandeeikul, R., Luangsa-ard, N. and Suppakul, P. 2006. Food Packaging Improvement: An Effective Means to Promote International Trade. The 15<sup>th</sup> IAPRI World Conference on Packaging, Tokyo, Japan.
- Srinivasa, P. C., Ramesh, M. N., and Tharanathan, R. N. 2007. Effect of plasticizers and fatty acid on mechanical and permeability characteristics of chitosan films. *Food Hydrocolloids*. 21: 1114-1122.

ภาคผนวก ก

แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

ระยะเวลาทำการวิจัยรวม 1 ปี โดยแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ ก 1

ตารางที่ ก 1 แผนการดำเนินงานตลอดระยะเวลา

กิจกรรมหลัก	ปีที่ 1 เดือนที่											
	1-3			4-6			7-9			10-12		
1. ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูล ออกแบบการทดลองและคัดเลือกวัตถุดิบ	←→											
2. การศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์และภาวะในการบรรจุที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร	←→											
3. ศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มเคลือบบริโคได้จากไคโตซาน	←→											
4. ศึกษาผลของการใช้ฟิล์มเคลือบบริโคได้จากไคโตซานต่อคุณภาพอาหาร							←→					
5. ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบบริโคได้จากไคโตซาน							←→					
6. วิเคราะห์ข้อมูลและประเมินผล										←→		
7. สรุปผลและเขียนรายงานความก้าวหน้า												←→

## ภาคผนวก ข

### ข้อมูลการทดลอง

#### การศึกษาวิธีที่เหมาะสมการเตรียมฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากโคโคซาน

ตารางที่ ค.1 ความหนาของฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากโคโคซานเมื่อใช้ตัวทำละลายต่างกัน

Acid type	Thickness (micrometer)	Standard deviation
Lactic acid	48.5	1.108
Acetic acid	47.7	0.98

ตารางที่ ค.2 Tensile strength ของฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากโคโคซานเมื่อใช้ตัวทำละลายต่างกัน

Acid type	Tensile strength (N)	Standard deviation
Lactic acid	40.069	2.4
Acetic acid	48.84	2.19

ตารางที่ ค.3 Elongation at break ของฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากโคโคซานเมื่อใช้ตัวทำละลายต่างกัน

Acid type	Elongation at break (%)	Standard deviation
Lactic acid	7.09	1.207
Acetic acid	4.98	0.987

ตารางที่ ค.4 WVTR ของฟิล์มเคลือบบริโกลได้จากโคโคซานเมื่อใช้ตัวทำละลายต่างกัน

Acid type	WVTR (g/ mm <sup>2</sup> /day)	Standard deviation
Lactic acid	6.47	0.65
Acetic acid	5.12	0.78



### การศึกษาปริมาณ plasticizer ที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มเคลือบบริเวณใต้

ตารางที่ ค.5 ผลของปริมาณ plasticizer ต่อความหนาของฟิล์มเคลือบบริเวณใต้จากโคโคซาน

ปริมาณ plasticizer	Thickness (micrometer)	Standard deviation
0%	46.92	3.88
10%	50.9	3.59
20%	55.1	4.01
30%	58.93	3.72

ตารางที่ ค.6 ผลของปริมาณ plasticizer ต่อ tensile strength ของฟิล์มเคลือบบริเวณใต้จากโคโคซาน

ปริมาณ plasticizer	Tensile strength (N)	Standard deviation
0%	37.49	3.27
10%	35.1	3.1
20%	32.05	3.03
30%	28.26	2.14

ตารางที่ ค.7 ผลของปริมาณ plasticizer ต่อ elongation at break ของฟิล์มเคลือบบริเวณใต้จากโคโคซาน

ปริมาณ plasticizer	Elongation at break (%)	Standard deviation
0%	14.63	1.69
10%	27.04	3.82
20%	50.18	5.46
30%	57.42	6.11

ตารางที่ ค.8 ผลของปริมาณ plasticizer ต่อค่า WVTR ของฟิล์มเคลือบบริเวณได้จากไคโตซาน

ปริมาณ plasticizer	slope	WVTR (g/mm <sup>2</sup> /day)	Standard deviation
0%	0.0038	5.37	0.73
10%	0.0039	5.51	0.55
20%	0.0052	6.21	0.40
30%	0.0051	7.21	0.20

ตารางที่ ค.9 สมบัติของฟิล์มเคลือบบริเวณได้จากไคโตซาน

Properties	values
Thickness (mm)	0.055 ± 0.004
Tensile strength (MPa)	32.05 ± 3.03
Elongation at break (%)	50.18 ± 5.46
WVTR (g.mm <sup>2</sup> .day <sup>-1</sup> )	6.21 ± 0.40

ตารางที่ ค.10 FTIR Spectrum integration of chitosan coating at wave number 650-4000 cm<sup>-1</sup>

Beginning X (cm <sup>-1</sup> )	Ending X (cm <sup>-1</sup> )	X of Peak (cm <sup>-1</sup> )	Y of Peak (absorbance)	Height (from baseline)	X of Centroid	Area
741	833	744	0.406	0.128	784.016	30.410
833	877	847	0.284	0.030	854.620	12.069
877	937	925	0.332	0.019	908.268	17.924
937	1137	1020	0.668	0.330	1034.502	95.264
1137	1203	1151	0.304	0.080	1168.132	16.627
1203	1219	1215	0.228	0.000	1211.030	3.624
1219	1270	1242	0.247	0.015	1244.578	12.066
1270	1349	1339	0.295	0.006	1311.158	21.443
1349	1476	1403	0.387	0.124	1409.953	40.809
1476	1614	1542	0.369	0.146	1542.998	41.495
1614	1684	1661	0.251	0.058	1648.685	16.178
1684	1769	1701	0.231	0.074	1723.608	15.521
1769	1879	1772	0.158	0.003	1823.847	17.117

ตารางที่ 4.14 FTIR Spectrum integration of chitosan coating at wave number 650-4000  $\text{cm}^{-1}$  (continue)

Beginning X ( $\text{cm}^{-1}$ )	Ending X ( $\text{cm}^{-1}$ )	X of Peak ( $\text{cm}^{-1}$ )	Y of Peak (absorbance)	Height (from baseline)	X of Centroid	Area
1879	2237	2161	0.164	0.002	2059.853	57.207
2237	2242	2240	0.162	0.000	2239.500	0.809
2242	2259	2253	0.162	0.000	2250.500	2.753
2259	2908	2876	0.224	0.006	2601.709	121.378
2908	2991	2919	0.219	0.013	2948.968	17.749
2991	3129	3114	0.218	0.001	3060.768	29.240
3129	3606	3217	0.221	0.059	3354.905	96.308
3606	3621	3610	0.163	0.002	3613.481	2.429
3621	3690	3628	0.161	0.005	3655.310	10.902
3690	3702	3694	0.156	0.001	3695.997	1.870
3702	3719	3711	0.157	0.001	3710.504	2.657
3719	3734	3727	0.158	0.001	3726.511	2.357
3734	3760	3749	0.159	0.003	3746.986	4.098
3760	3780	3768	0.156	0.001	3769.987	3.115
3780	3810	3806	0.156	0.000	3795.009	4.660
3810	3827	3823	0.156	0.000	3818.505	2.648
3827	3843	3835	0.156	0.000	3835.001	2.496
3843	3858	3854	0.156	0.000	3850.503	2.344
3858	3880	3866	0.156	0.001	3868.994	3.436
3880	3896	3889	0.156	0.000	3888.003	2.499
3896	3910	3902	0.157	0.001	3902.994	2.187
3910	3926	3918	0.156	0.000	3917.999	2.492
3926	3942	3932	0.156	0.000	3933.999	2.490
3942	3954	3947	0.156	0.000	3948.000	1.867
3954	3967	3960	0.155	0.000	3960.499	2.021
3967	3986	3975	0.155	0.000	3976.498	2.951
3986	4000	3991	0.155	0.000	3992.999	2.172

## ภาคผนวก ค

### การเผยแพร่ผลงานวิจัย

เผยแพร่โดยนำเสนอผลงานในที่ประชุม และในเอกสารการประชุม (Proceedings) ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering (ISMAB2010) ระหว่าง 5-7 เมษายน 2553 ณ เมือง Fukuoka ประเทศญี่ปุ่น



**Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Symposium on Machinery and Mechatronics  
for Agriculture and Biosystems Engineering  
(ISMAB)  
5-7 April 2010, Fukuoka, Japan**

**SHELF LIFE EXTENSION OF BROILED BONELESS PORK USING  
CHITOSAN COATING**

**Ubonrat Siripatrawan<sup>1\*</sup>, Suparat Noipha<sup>1</sup>, Suwassa Pongamphai<sup>2</sup> Supaporn Douglas<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

<sup>2</sup>Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut University of Technology at Thonburi, Bangkok, Thailand

\*Corresponding Author, Tel 662-2185536, Email: [ubonratana.s@chula.ac.th](mailto:ubonratana.s@chula.ac.th)

**Abstract:** This research was aimed to prolong shelf life of broiled boneless pork (BBP) using edible chitosan coating. Chitosan, a linear polysaccharide of randomly distributed  $\beta$ -(1-4)-linked D-glucosamine and N-acetyl-D-glucosamine, is a deacetylated product of chitin and is considered a biobased environmentally friendly material. In this study, chitosan, as a by-product from seafood industry, was used to prepare different concentrations of chitosan coating solution. The BBP was dipped into different concentration of chitosan coating solution (Coat-A and Coat-B), allowed to dry and packaged in a PVDC pouch under vacuum condition. BBP without chitosan coating was used as control samples. Changes in pH, texture, microbial growth and sensory characteristics were determined throughout the storage period. It was found that samples with chitosan coating had the better qualities and longer shelf life when compared to control samples.

**Key Words:** Shelf life, Pork, Chitosan film, Coating

## ประวัติคณะผู้วิจัย

### อุบลรัตน์ สิริภัทรารวรรณ

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Ubonrat Siripatrawan

#### หน่วยงานที่สังกัด และที่อยู่ติดต่อ

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

โทร 02-218-5515-6 โทรสาร 02-254-4314 Email: [Ubonratana.s@chula.ac.th](mailto:Ubonratana.s@chula.ac.th)

#### ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	สาขาวิชา	สถานศึกษา
Ph.D.	Packaging	Michigan State University
M.S.	Packaging	Michigan State University
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	เทคโนโลยีทางอาหาร	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วิทยาศาสตรบัณฑิต	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สาขาที่มีความชำนาญ Shelf life prediction, Electronic sensors, Active packaging

#### ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

1. ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย :-
2. หัวหน้าโครงการวิจัย :

ชื่อโครงการ Packaging technology to support Thailand processed foods for export

แหล่งทุน Asia Research Center, Korea Foundation for Advanced Study, Chulalongkorn University

ชื่อโครงการ การผลิตกระดาษจากใบสับปะรดที่มีด่านกัมมันต์เพื่อยืดอายุการเก็บแตงหอม

แหล่งทุน โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชื่อโครงการ บรรจุภัณฑ์แบบดัดแปรบรรยากาศและเมทิลจัสโมเนตเพื่อลดอาการสะท้อนหนาวและยืดอายุ

การเก็บมะเขือเทศ *Lycopersicon esculentum* Mill.

แหล่งทุน โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชื่อโครงการ การยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ผลไม้ไทยอบกรอบโดยใช้เทคโนโลยีการบรรจุ

แหล่งทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม ในโครงการทุน IPUS

3. งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : การเผยแพร่

Siripatrawan, U. and P. Jantawat. 2008. A novel method for shelf life prediction of a packaged moisture sensitive snack using multilayer perceptron neural network. *Expert Systems with Applications*. 62: 1562-1568.

Phimoliripol, Y., U. Siripatrawan, V. Tulyathan, D. J. Cleland. 2008. Effects of freezing and temperature fluctuations during frozen storage on frozen dough and bread quality. *Journal of Food Engineering* 84: 48-56.

Siripatrawan, U. and Pantipa Jantawat. 2006. Determination of Moisture Sorption Isotherms of Jasmine Rice Crackers Using BET and GAB Models. *Food Science and Technology International*. 12 (6): 459-465.

## รศ.ดร. สุวิัสสา พงษ์อำไพ

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Suwassa Pongamphai, Mrs.  
(formerly, Wilai Luewisutthichat)

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ ระดับ 9

หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ (e-mail)

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทรศัพท์ : 0-2470-9221-30 ต่อ 208 โทรสาร : 0-2428-3534 e-mail : [suwassa.pon@kmutt.ac.th](mailto:suwassa.pon@kmutt.ac.th)

### ประวัติการศึกษา

1993-1996	D. Eng. (Chemical System Engineering) The University of Tokyo, Japan
1991-1993	M. Eng. (Chemical Energy Engineering) The University of Tokyo, Japan
1985-1989	B. Sc. (Food Science and Technology) Kasetsart University, Thailand

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

- Fluidization
- Adsorption
- Extraction

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการ หรือผู้ร่วมงานวิจัย

1. ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย ไม่มี
2. หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

2.1 โครงการวิจัย	การสกัดสารเซซามินจากกากงา
แหล่งทุน	ทุนอุดหนุนวิจัยจากสภาวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2550
2.2 โครงการวิจัย	การสกัด [6]- Gingerol จากขิงพันธุ์ไทย ( <i>Zingiber officinale</i> ) ด้วยตัวทำละลาย
แหล่งทุน	ทุนอุดหนุนวิจัยจากสภาวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2549
2.3 โครงการวิจัย	การสกัดสารเคเทชินจากชาเขียวโดยใช้ คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด
แหล่งทุน	ทุนอุดหนุนวิจัยจากสภาวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2548
2.4 โครงการวิจัย	การสกัดสารนิมบินจากเมล็ดสะเดาโดยใช้โมดิไฟด์ คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต
แหล่งทุน	ทุนอุดหนุนวิจัยจากสภาวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2547
2.5 โครงการวิจัย	อุทกพลศาสตร์เชิงโกลานในฟลูอิดไดซ์เบตสามัญภาค
แหล่งทุน	ทุนอุดหนุนวิจัยจากสภาวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2541

- 2.6 โครงการวิจัย การศึกษาการถ่ายเทความร้อนและพัฒนาโปรแกรม  
เพื่อทำนายการทำงานเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มที่มีใบกวน  
แหล่งทุน ทุนอุดหนุนวิจัยจากสภาวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2540
- 2.7 โครงการวิจัย การประยุกต์ใช้ทฤษฎีโกลาสนในการศึกษาพลศาสตร์  
ของฟองอากาศในหอฟองอากาศ  
แหล่งทุน ทุนอุดหนุนวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ประจำปีงบประมาณ 2539

3. งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน

Imsanguan, P., Roaysubtawee, A., Borirak, R., Pongamphai, S., Douglas, S., and Peter L. Douglas, 2007, "Extraction of  $\alpha$ -tocopherol and  $\alpha$ -oryzanol from rice bran", *LWT - Food Science and Technology*, (available online).

Bunjongla-iad, T., P. Jitputti, S. Douglas, S. Pongamphai, P. Silveston, P.L. Douglas and W. Teppaitoon, 2006, "Adsorption of Chromium (VI) Using Thai Coconut Shell Activated Carbon," *Asia Journal of Energy & Environment*, 6(), .

Douglas, S., S. Pongamphai, S. Lerdtrailuck, S. Ponin, S. Polchai, A. Kaewchana and B. Osataworanun, 2006, " Adsorption of Copper (II) Ion from Aqueous Solution Using Soybean Hulls," The 2<sup>nd</sup> Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment, November 21-23, Bangkok, Thailand.

Winitson, A., S. Douglas, S. Pongamphai, and W. Teppaitoon, 2006, "Modelling of Solid-Liquid Extraction from Plants," International Conference on Modeling in Chemical and Biological Engineering Sciences, Oct. 25-27, Bangkok, Thailand.

Ajcharyapaporn, A., S. Douglas, P.L. Douglas and S. Pongamphai, 2006, "Simulation of SFE Process using Aspen Plus: Economic Evaluation," 1<sup>st</sup> International Conference on Natural Resources Engineering and Technology, July. 24-25, Malaysia.

Ajcharyapaporn, A., S. Douglas, P.L. Douglas and S. Pongamphai, 2005, "Simulation of Nimbin Extraction Process using Aspen Plus," International Agricultural Engineering Conference, Dec. 6-9, Bangkok, Thailand.

Banjongla-iad, T., S. Pongamphai, S. Douglas, W. Teppaitoon and P. L. Douglas, 2005, "Adsorption of Metallic Ions from A Metal Plating Process on Activated Carbon," The 55<sup>th</sup> Canadian Chemical Engineering Conference, Oct 16-19 , Toronto, Ontario, Canada.

Tonthubthimthong, P. , P. L. Douglas, S. Douglas and S. Pongamphai, 2005, "Extraction of Nimbin from Neem Seeds Using Supercritical Carbon Dioxide with Modifier," The 55<sup>th</sup> Canadian Chemical Engineering Conference, Oct 16-19 , Toronto, Ontario, Canada.

## รศ.ดร.สุภาภรณ์ ดักกลาส

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Supapom Douglas

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ ระดับ 9

หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

โทรศัพท์ : 0-24709221-30 โทรสาร : 0-24283534 e-mail : [supapom.dou@kmutt.ac.th](mailto:supapom.dou@kmutt.ac.th)

### ประวัติการศึกษา

1995 University of New South Wales, Sydney, Australia

Degree: Ph.D, Food Engineering,

1985 Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand

Degree: MSc., Food Engineering

1981 Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

Degree: B.Sc., Food Technology

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

- Food Processing
- Bioprocess Engineering
- Physical and Engineering Properties of Food and Biological Material
- Process Systems Engineering (modeling, simulation, control and optimisation)

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัยหรือผู้ร่วมวิจัย ในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

1. ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

ไม่มี

2. หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

2.1 โครงการวิจัย การสกัดสารแอนติออกซิแดนซ์จากผลิตภัณฑ์พลอยได้จากข้าว

แหล่งทุน ทุนอุดหนุนวิจัยจากสภาวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2550

2.2 โครงการวิจัย การสกัดวิตามินอีจากใบปาล์มน้ำมัน

แหล่งทุน ทุนอุดหนุนวิจัยจากสภาวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2548

2.3 โครงการวิจัย การแปรรูปและการศึกษาคุณสมบัติของน้ำส้มเข้มข้น

แหล่งทุน ทุนอุดหนุนวิจัยจากสภาวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2547

2.4 โครงการวิจัย การศึกษาเชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อประหยัดพลังงานของ

กระบวนการสกัดนํ้ามันจากสะเดา

แหล่งทุน สำนักงานพลังงานแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2546

2.5 โครงการวิจัย การสกัดสารนํ้ามันจากสะเดา

แหล่งทุน ทุนอุดหนุนวิจัยจากสภาวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2543

2.6 โครงการวิจัย การผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งเพื่อใช้ใน

การดูดซับโลหะโครเมียมจากน้ำเสียอุตสาหกรรม



- แหล่งทุนทุนอุดหนุนวิจัยจากสภาวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2543
- 2.7 โครงการวิจัย การสกัดสารที่มีประโยชน์ทางการแพทย์จากเมล็ดสะเดา โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด
- แหล่งทุนทุนอุดหนุนวิจัยจากสภาวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2542
- 2.8 โครงการวิจัย การศึกษาการสกัดสารแกมมาไลโนเลนิกจากสาหร่ายเกลียวทองด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด
- แหล่งทุน ทุนอุดหนุนวิจัยจากสภาวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2540

3. งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่

Imsanguan, P., Roaysubtawee, A., Borirak, R., Pongamphai, S., Douglas, S., and Peter L. Douglas, 2007, "Extraction of tocopherol and oryzanol from rice bran", *LWT - Food Science and Technology*, (available online).

Bunjongla-iad, T., P. Jitputti, S. Douglas, S. Pongamphai, P. Silveston, P.L. Douglas and W. Teppaitoon, 2006, "Adsorption of Chromium (VI) Using Thai Coconut Shell Activated Carbon," *Asia Journal of Energy & Environment*, 6(), .

Douglas, S., S. Pongamphai, S. Lerdtrailuck, S. Ponin, S. Polchai, A. Kaewchana and B. Osataworanun, 2006, " Adsorption of Copper (II) Ion from Aqueous Solution Using Soybean Hulls," The 2<sup>nd</sup> Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment, November 21-23, Bangkok, Thailand.

Winitson, A., S. Douglas, S. Pongamphai, and W. Teppaitoon, 2006, "Modelling of Solid-Liquid Extraction from Plants," *International Conference on Modeling in Chemical and Biological Engineering Sciences*, Oct. 25-27, Bangkok, Thailand.

Ajcharyapaporn, A., S. Douglas, P.L. Douglas and S. Pongamphai, 2006, "Simulation of SFE Process using Aspen Plus: Economic Evaluation," 1<sup>st</sup> International Conference on Natural Resources Engineering and Technology, July. 24-25, Malaysia.

Ajcharyapaporn, A., S. Douglas, P.L. Douglas and S. Pongamphai, 2005, "Simulation of Nimbin Extraction Process using Aspen Plus," *International Agricultural Engineering Conference*, Dec. 6-9, Bangkok, Thailand.

Banjongla-iad, T., S. Pongamphai, S. Douglas, W. Teppaitoon and P. L. Douglas, 2005, "Adsorption of Metallic Ions from A Metal Plating Process on Activated Carbon," *The 55<sup>th</sup> Canadian Chemical Engineering Conference*, Oct 16-19 , Toronto, Ontario, Canada.

Tonthubthimthong, P. , P. L. Douglas, S. Douglas and S. Pongamphai, 2005, "Extraction of Nimbin from Neem Seeds Using Supercritical Carbon Dioxide with Modifier," *The 55<sup>th</sup> Canadian Chemical Engineering Conference*, Oct 16-19 , Toronto, Ontario, Canada