

การใช้ประโยชน์จากเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน เพื่อพัฒนา  
บรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้

Use of Shrimp Shell, Chitin and Chitosan for Development of  
Biodegradable Packaging



สมเกียรติ ดิษฐแก้ว

Somkiat Dithkaew

๑

เลขที่	TP374 ส48 2544 น.2
Doc Key	211919
	11 ก.ค. 2544

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Food Technology

Prince of Songkla University

2544





เซลล์โลสร้อยละ 10 (น้ำหนัก/น้ำหนักแห้ง) ก่อนการขึ้นรูป พบว่ากรดจากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งสาคามีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเปลือกกุ้ง ไคติน หรือไคโตแซนเพิ่มขึ้น ( $P < 0.05$ ) และกรดที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้งแสดงสมบัติดีกว่ากรดที่มีส่วนผสมของไคติน และไคโตแซน กรดจากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งสาคามีส่วนผสมของเปลือกกุ้งร้อยละ 8 มีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมที่สุด

การประยุกต์ใช้กรดบรจูนท์ย่อยสลายได้จากการคัดเลือกที่เหมาะสมที่สุด ในการบรจูนขึ้นแคนตาลูปตัดแต่ง และเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับการใช้กรดโฟม พบว่าเมื่อเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้นกรดย่อยสลายได้ที่ใช้ทดลองมีการดูดซับความชื้นจากขึ้นแคนตาลูปไว้ ทำให้กรดมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ขณะที่ขึ้นแคนตาลูปมีน้ำหนักลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าขึ้นแคนตาลูปที่บรจูนในกรดที่มีแผ่นเคลือบจากแป้งทั้งสองชนิดและในกรดโฟม ได้รับการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสดีกว่าขึ้นแคนตาลูปที่บรจูนในกรดที่ใช้วัสดุผสมในแป้งพื้นฐานทั้งสองชนิด ( $P < 0.05$ ) โดยขึ้นแคนตาลูปในกรดจากแป้งสาคามีแผ่นเคลือบไคตินร้อยละ 6 ได้รับการยอมรับคุณภาพสูงสุดซึ่งใกล้เคียงกับชุดควบคุม

Thesis Title            Use of Shrimp Shell, Chitin and Chitosan for Development of  
                                 Biodegradable Packaging  
Author                    Mr. Somkiat Dithkaew  
Major Program         Food Technology  
Academic Year         2000

### Abstract

Biodegradable packaging trays consisting of shrimp shell, chitin and chitosan were developed by 2 different forms i.e. sealant trays and composite trays. Some factors affecting the properties of those packaging trays, such as type of basic starch (tapioca and sago starch), concentration of binder (CMC), concentration of materials (shrimp shell, chitin and chitosan) were studied. The basic starch formulation mixed with CMC at 3, 4 and 5% (w/w starch) were prepared using tray moulding apparatus and tested for water adsorption, compression strength, bending strength and bursting strength. The results showed that the basic starch trays from both tapioca and sago starch mixed with 3% CMC were the most suitable formula.

Sealant trays were produced from the most suitable basic starch formula from both tapioca and sago starch and sealed with the sealants preparing from various amounts (4, 6, 8, 10 and 12% w/w 3% alginate solution) of shrimp shell, chitin and chitosan. Physical properties of the trays were tested and found that the tapioca starch trays sealed with chitin and chitosan sealant gave better properties than trays sealed with shrimp shell ( $P < 0.05$ ). The sago starch trays sealed with various sealants at the increasing concentrations resulted in the increased compression, bending and bursting strengths. The most suitable tray for both cases were tapioca starch tray with 10% chitin sealant and sago starch tray with 6% chitin sealant.

In case of composite trays, the basic starch formula (tapioca and sago starch) were separately mixed with shrimp shell, chitin and chitosan at the concentration of 6, 8 and 10% (w/w starch) and 10% CMC (w/w starch) before moulding. The trays were tested for some physical properties. The strengths of trays from both tapioca and sago starch were increased when concentration of materials increased ( $P < 0.05$ ) and the trays showed better properties when mixed with shrimp shell than chitin and chitosan. Therefore, the most suitable composite trays were tapioca and sago trays both mixed with 8% shrimp shell.

The most suitable selected trays and control were used to pack fresh cut cantaloupe and kept at 10 °C for 5 days. It was shown that the weight of all biodegradable trays were increased while those of cantaloupe were decreased. Sensory evaluation showed that the quality of cantaloupe packed in sealant tray and control had higher quality than those packed in composite trays ( $p < 0.05$ ). The quality of cantaloupe packed in sago starch tray with 6% chitin sealant was comparable to those packed in polystyrene tray .

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ไพรัตน์ โสภโณดร ประธานกรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาลิก และอาจารย์ สุรสิทธิ์ ประสารปราน กรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำในการค้นคว้าวิจัย และการเขียนวิทยานิพนธ์ ตลอดจนตรวจตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทนต์วัฒน์ เบญจกุล กรรมการผู้แทนคณะอุตสาหกรรมเกษตร รองศาสตราจารย์ ดร. นงพร ไตว์ธนะ กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณสมศักดิ์ สุดจันทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการศึกษาทดลอง ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนเงินทุนในการวิจัย ขอขอบคุณเพื่อนๆ และนักศึกษาปริญญาโททุกท่านที่ให้กำลังใจและให้ความร่วมมือช่วยเหลือมาตลอด

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ด้วยความเคารพเพียงที่ให้การสนับสนุนทุนทรัพย์ และให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา

สมเกียรติ ดิษฐแก้ว

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการตารางภาคผนวก	(10)
รายการภาพ	(12)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
ตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์	27
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	28
3. ผลและวิจารณ์	39
4. สรุป	69
เอกสารอ้างอิง	71
ภาคผนวก	84
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ทางเคมี	84
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ	88
ภาคผนวก ค การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	92
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ	93
ประวัติผู้เขียน	117



## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ผลของความเข้มข้นกรด และระยะเวลาในการกำจัดแร่ธาตุต่อความหนืดของไคโตแซน	11
2. องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน	40
3. ความหนาและน้ำหนักของถาดจากสูตรแป้งพื้นฐานที่ใช้ CMC ความเข้มข้นต่างกัน	42
4. สมบัติทางกายภาพของถาดสูตรแป้งพื้นฐานที่ใช้ CMC ที่ความเข้มข้นต่างกัน	43
5. ความหนาและค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นเคลือบจากวัสดุชนิดและความเข้มข้นต่างกัน	46
6. ความหนาและน้ำหนักของถาดจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคุที่มีแผ่นเคลือบชนิด และความเข้มข้นต่างกัน	50
7. ความหนา และน้ำหนักของถาดจากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งสาคุ ที่ใช้เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนเป็นส่วนผสมในแป้งพื้นฐาน	57
8. คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแคนตาลูป ที่บรรจุในถาดบรรจุภัณฑ์แตกต่างกันระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	67

## รายการตารางภาคผนวก

ตารางผนวกที่	หน้า
ง1. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความหนา และน้ำหนักของถาดจากแป้งมันสำปะหลังพื้นฐาน	93
ง2. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความหนา และน้ำหนักของถาดจากแป้งสาคูพื้นฐาน	94
ง3. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางกายภาพของถาดจากแป้งมันสำปะหลังพื้นฐาน	95
ง4. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางกายภาพของถาดจากแป้งสาคูพื้นฐาน	96
ง5. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความหนา และค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นเคลือบจากวัสดุชนิดและความเข้มข้นต่างกัน	97
ง6. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความหนา และน้ำหนักของถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีแผ่นเคลือบชนิดและความเข้มข้นต่างกัน	98
ง7. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความหนา และน้ำหนักของถาดจากแป้งสาคูที่มีแผ่นเคลือบชนิดและความเข้มข้นต่างกัน	99
ง8. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางกายภาพของถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีแผ่นเคลือบต่างชนิดและความเข้มข้นต่างกัน	100
ง9. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางกายภาพของถาดจากแป้งสาคูที่มีแผ่นเคลือบต่างชนิดและความเข้มข้นต่างกัน	102
ง10. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความหนา และน้ำหนักของถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่ใช้เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนเป็นส่วนผสมในแป้งพื้นฐาน	104
ง11. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความหนา และน้ำหนักของถาดจากแป้งสาคูที่ใช้เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนเป็นส่วนผสมในแป้งพื้นฐาน	105
ง12. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางกายภาพของถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีส่วนผสมของวัสดุต่างชนิดและความเข้มข้นต่างกัน	106

ง13. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางกายภาพของถาดจาก แป้งสาคุที่มีส่วนผสมของวัสดุต่างชนิดและความเข้มข้นต่างกัน	108
ง14. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่นรส ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ของแคนตาลูป ตัดแต่งที่บรรจุในถาดชนิดต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส	110
ง15. สมบัติทางกายภาพของถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีแผ่นเคลือบ จากเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างกัน	113
ง16. สมบัติทางกายภาพของถาดจากแป้งสาคุที่มีแผ่นเคลือบจาก เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างกัน	114
ง17. สมบัติทางกายภาพของถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีส่วนผสมของ เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างกัน	115
ง18. สมบัติทางกายภาพของถาดจากแป้งสาคุที่มีส่วนผสมของ เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างกัน	116

## รายการภาพ

ภาพที่	หน้า
1. โครงสร้างทางเคมีของไคติน และไคโตแซน	5
2. โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน	21
3. รูปร่างลักษณะเม็ดแป้งของแป้งมันสำปะหลัง	22
4. โครงสร้างทางเคมีของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	25
5. โครงสร้างทางเคมีของอัลจินตอยู่ในรูปพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันที่มี mannuronic (ก) และ guluronic (ข)	26
6. TLC Plate Coater พร้อมแผ่นกระจก	29
7. เครื่องวัดความหนา (Dial micrometer)	29
8. เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ LLOYD รุ่น LR 30K	30
9. เครื่องขึ้นรูปภาคบรรจุภัณฑ์	30
10. ขั้นตอนการผลิตภาคสูตรแป้งพื้นฐาน	33
11. ขั้นตอนการผลิตภาคที่ใช้เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนเป็นแผ่นเคลือบ	35
12. ขั้นตอนการผลิตภาคที่ใช้เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนเป็นส่วนผสมในแป้งพื้นฐาน	37
13. ภาคจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาकुพื้นฐานที่มี CMC	42
14. แผ่นเคลือบจากเปลือกกุ้ง (ก) ไคติน (ข) และไคโตแซน (ค)	45
15. ภาคจากแป้งมันสำปะหลังที่มีแผ่นเคลือบจากเปลือกกุ้ง (ก) ไคติน (ข) และไคโตแซน (ค)	48
16. ภาคจากแป้งสาकुที่มีแผ่นเคลือบจากเปลือกกุ้ง (ก) ไคติน (ข) และไคโตแซน (ค)	49
17. ค่าการดูดซึมน้ำของภาคจากแป้งมันสำปะหลัง (ก) และแป้งสาकु (ข) ที่มีแผ่นเคลือบต่างชนิดกัน	51
18. ค่าการต้านแรงกดของภาคจากแป้งมันสำปะหลัง (ก) และแป้งสาकु (ข) ที่มีแผ่นเคลือบต่างชนิดกัน	52

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
19. ค่าการต้านแรงดัดโค้งของถาดจากแป้งมันสำปะหลัง (ก) และแป้งสาคู (ข) ที่มีแผ่นเคลือบต่างชนิดกัน	52
20. ค่าการต้านแรงดันทะลุของถาดจากแป้งมันสำปะหลัง (ก) และแป้งสาคู (ข) ที่มีแผ่นเคลือบต่างชนิดกัน	53
21. ถาดจากแป้งมันสำปะหลังสูตรพื้นฐานที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้ง (ก) ไคติน (ข) และไคโตแซน (ค)	55
22. ถาดจากแป้งสาคูสูตรพื้นฐานที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้ง (ก) ไคติน (ข) และไคโตแซน (ค)	56
23. ค่าการดูดซึมน้ำของถาดจากแป้งมันสำปะหลัง (ก) และแป้งสาคู (ข) ที่มีส่วนผสมของวัสดุต่างชนิดกัน	58
24. ค่าการต้านแรงกดของถาดจากแป้งมันสำปะหลัง (ก) และแป้งสาคู (ข) ที่มีส่วนผสมของวัสดุต่างชนิดกัน	59
25. ค่าการต้านแรงดัดโค้งของถาดจากแป้งมันสำปะหลัง (ก) และแป้งสาคู (ข) ที่มีส่วนผสมของวัสดุต่างชนิดกัน	59
26. ค่าการต้านแรงดันทะลุของถาดจากแป้งมันสำปะหลัง (ก) และแป้งสาคู (ข) ที่มีส่วนผสมของวัสดุต่างชนิดกัน	60
27. ลักษณะปรากฏของแคนตาลูปและถาดระหว่างการเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส (ก) ถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีแผ่นเคลือบไคตินร้อยละ 10 (ข) ถาดจากแป้งสาคูที่มีแผ่นเคลือบไคตินร้อยละ 6 (ค) ถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้งร้อยละ 8 (ง) ถาดจากแป้งสาคูที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้งร้อยละ 8 (จ) ถาดโฝม	63
28. น้ำหนักแคนตาลูปที่ลดลง (โดยน้ำหนักเริ่มต้น) เมื่อเก็บไว้ที่ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน	65

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
29. น้ำหนักภาคที่เพิ่มขึ้น (โดยน้ำหนักเริ่มต้น) เมื่อเก็บไว้ที่ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน	65

## บทที่ 1

### บทนำ

#### บทนำต้นเรื่อง

การใช้บรรจุภัณฑ์เพื่อบรรจุอาหารได้รับการพัฒนาขึ้นจากวัสดุหลายชนิด ทั้งจาก วัสดุธรรมชาติ และสังเคราะห์ โฟมและพลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์ที่คุ้นเคยกันเป็นอย่างดีในชีวิตประจำวัน เพราะมีความแข็งแรง สวยงาม และสะดวกต่อการขนย้าย แต่เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดปัญหากับสิ่งแวดล้อมตามมา เนื่องจากเป็นวัสดุที่ยากต่อการทำลาย และต้องใช้เวลา นาน หากปล่อยให้โฟมสลายตัวไปตามธรรมชาติ ต้องใช้เวลานานกว่า 80 - 100 ปี (อำนาจพร ฤทธิจันทร์, 2537)

โฟมเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกพอลิสไตรีน ที่ผ่านการเป่าให้ขยายตัวด้วยสารซีเอฟซี (Chlorofluorocarbons, CFCs) (ธเรศ ศรีสถิตย์, 2533) ที่ประกอบด้วย อะตอมธาตุดคลอรีน ฟลูออรีน และคาร์บอน มีน้ำหนักเบา ภายในเนื้อหิวอากาศ ลักษณะทั่วไปคล้ายกับฟองน้ำ ไม่สลายตัวในธรรมชาติ จึงก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัด เมื่อเกิดการแตกหักหรือถูกเผา ทำลาย จะปล่อยสารซีเอฟซี ออกมาทำลายโอโซนในบรรยากาศ ซึ่งโอโซนมีหน้าที่ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ ไม่ให้หลุดรอดลงมาทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตเบื้องล่าง เมื่อบรรยากาศชั้นโอโซนถูกทำลาย อาจมีผลให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น สภาพภูมิอากาศแปรปรวน และประชาชนมีโอกาสเป็นโรค มะเร็งผิวหนังเพิ่มขึ้น (สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค, 2534) ในการแก้ปัญหา จึงต้องมีการรณรงค์ให้เลิกใช้โฟมเป็นภาชนะบรรจุ หรือนำไปใช้ในกิจกรรมอื่นๆ เพื่อลด ปริมาณการก่อสารซีเอฟซีในโลก นอกจากนี้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม โฟมหรือพลาสติกสังเคราะห์บางชนิดที่ใช้ห่อหุ้มอาหารอาจไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค โดยเฉพาะบริเวณที่มีการสัมผัสโดยตรงกับผลิตภัณฑ์ อาจเกิดการซึมผ่านของสารต่างๆ จากพลาสติกสู่อาหาร ในระหว่างการบรรจุ หรือการเก็บรักษาอาหารก่อนถึงมือผู้บริโภค

เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน เป็นวัสดุที่น่าสนใจในการนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ เพื่อลดปัญหาของบรรจุภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ เนื่องจากการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับ

บรรจุภัณฑ์จากเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนยังมีไม่มากนัก งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงปัจจัยต่างๆในการผลิตที่มีผลต่อสมบัติของบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน และศึกษาแนวทางเพื่อการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากบรรจุภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งนอกจากการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ชนิดใหม่ที่จะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังเป็นการนำวัสดุเศษเหลือมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเศษเหลือทางการประมงด้วย



## ตรวจเอกสาร

### 1. อุตสาหกรรมแปรรูปกุ้ง

กุ้งกุลาดำ หรือ Black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) จัดเป็นสัตว์น้ำที่มีมูลค่าสูงทางเศรษฐกิจ และมีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศของหลายประเทศทั่วโลก กุ้งที่ใช้ในการแปรรูปส่วนใหญ่ได้จากการเพาะเลี้ยง เนื่องจากปริมาณกุ้งที่จับได้จากธรรมชาติลดลง ประเทศไทยนับเป็นประเทศหนึ่งที่มีศักยภาพในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกุ้งทะเล เนื่องจากมีพื้นที่ชายฝั่งทะเลเป็นแนวยาว มีอากาศอบอุ่นตลอดปี ซึ่งเหมาะต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง ประกอบกับวัตถุดิบที่ใช้ผลิตอาหารกุ้งมีปริมาณเพียงพอ และมีราคาถูก แรงงานหาง่าย และเมื่อนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยพัฒนาทางด้านการเพาะเลี้ยงกุ้งแล้ว ไทยจึงเป็นประเทศที่ผลิตกุ้งได้มากที่สุดประเทศหนึ่ง ด้วยต้นทุนที่ต่ำกว่าประเทศอื่นๆ ทำให้สามารถเป็นสินค้าส่งออกของไทยที่สำคัญในตลาดโลก พื้นที่การเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทยมีประมาณ 500,000 ไร่ ซึ่งร้อยละ 60 ของนากุ้งอยู่ทางภาคใต้ ร้อยละ 35 อยู่ทางภาคตะวันออก และอีกร้อยละ 5 อยู่ทางภาคกลาง (คะเน กิตติโกวิท, 2537) การส่งออกกุ้งของไทยส่วนใหญ่อยู่ในรูปของการแช่เยือกแข็ง และการบรรจุกระป๋อง ซึ่งภาวะการส่งออกของกุ้งแช่เยือกแข็งในช่วงเดือนมกราคม - กันยายนของปี พ.ศ. 2543 มีมูลค่าการส่งออกรวม 42,025.64 ล้านบาท ส่วนกุ้งบรรจุกระป๋องมีมูลค่าการส่งออกรวม 5,325.81 ล้านบาท (นุชจรินทร์ เกตุนิล, 2544)

อุตสาหกรรมแปรรูปกุ้งที่สำคัญคือการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง ในรูปของกุ้งทั้งตัว กุ้งหักหัว กุ้งหักหัวปอกเปลือก ตลอดจนผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม เช่น กุ้งชุบแป้งขนมปัง ซึ่งในกระบวนการผลิตดังกล่าวมีวัสดุเศษเหลือเกิดขึ้นโดยประมาณร้อยละ 38 สำหรับผลิตภัณฑ์กุ้งหักหัว ส่วนกุ้งหักหัวปอกเปลือกไว้หางทั้งต้มสุกและไม่ต้มสุกมีวัสดุเศษเหลือร้อยละ 60 และ 45 ตามลำดับ (อุดมชัย จินะดิษฐ์, 2535) สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเศษเหลือเหล่านี้ ประกอบด้วยสารประกอบหลักคือ ไคติน (ร้อยละ 15-30) โปรตีน (ร้อยละ 15-40) และแร่ธาตุ (ร้อยละ 30-50) นอกจากนี้ยังพบสารประกอบรองลงไป ได้แก่ ไขมัน (ร้อยละ 0-5) และรงควัตถุต่างๆ อัตราส่วนขององค์ประกอบเหล่านี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์และชนิดของกุ้ง ขั้นตอนการผลิต หรือวิธีการแปรรูปที่ต่างกัน (Johnson and Peniston, 1978; Narkviroj, 1987)

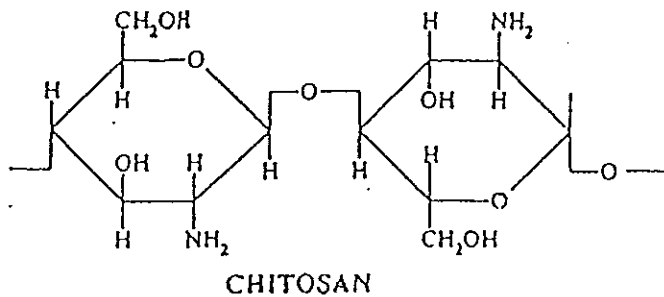
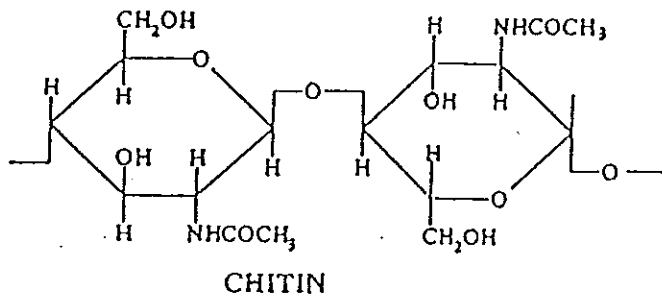
๔๒๖

## 2. โครงสร้างของไคติน และ ไคโตแซน

ไคติน (chitin) เป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของโมโนแซ็กคาไรด์ พวกไนโตรเจน-อะซิติลกลูโคซามีน (N-acetylglucosamine) และบางส่วนของกลูโคซามีน (glucosamine) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก ชนิดเบต้า 1,4 ( $\beta$ -1,4 glucosidic bond) ไคติน ไม่มีพิษ ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยโครงสร้างมีลักษณะคล้ายเซลลูโลส ต่างกันที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ในไคตินจะเป็นหมู่อะซีตาไมด์ (acetamide group) แต่ในเซลลูโลสเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (OH group) (Simpson *et al.*, 1994) สามารถพบไคตินได้ทั่วไปในธรรมชาติ โดยเฉพาะในสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลัง แมลง รา และ ยีสต์ (Ockerman, 1992)

ไคตินมีโครงสร้างของผลึก (crystal structure) ที่แข็งแรง และมีระดับความเป็นผลึก (degree of crystallinity) สูง Muzzarelli (1977) ได้เสนอรูปแบบของไคตินเป็น 3 ชนิด ตามความแตกต่างในการจัดเรียงตัวของสายโมเลกุล ชนิดแรกคือ แอลฟา-ไคติน ( $\alpha$ -chitin) เป็นไคตินที่มีความแข็งแรง การเรียงตัวของสายโมเลกุลมีลักษณะสวนทางกัน (anti-parallel) พบในไคตินของเปลือกกุ้งและปู ไคตินชนิดที่สองคือ เบต้า-ไคติน ( $\beta$ -chitin) สายโมเลกุลจะเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกัน (parallel) พบส่วนใหญ่ในแกนปลาหมึก ชนิดที่สามคือ แกมมา-ไคติน ( $\gamma$ -chitin) เป็นไคตินที่มีการเรียงตัวของสายโมเลกุล 2 แบบแรกผสมกัน โดยธรรมชาติจะพบแอลฟา- และเบต้า- มากกว่า แกมมา-ไคติน ทั้งนี้เพราะมีการเกิดพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในและระหว่างสายโซ่ของโมเลกุล (intramolecular and intermolecular chain) มากกว่า จึงทำให้มีเสถียรภาพทางเคมีมากกว่าแบบอื่น เบต้า-ไคตินมีเสถียรภาพทางเคมีรองลงมาจากแอลฟา-ไคติน ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณของพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่า การมีเสถียรภาพที่น้อยทำให้มีโอกาสเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโครงสร้างจากเบต้าเป็นแอลฟาในสารละลายกรดแก่

ไคโตแซน (chitosan) เป็นสารพอลิอะมิโนแซ็กคาไรด์ (polyaminosaccharide) ซึ่งได้จากไคตินที่ผ่านการกำจัดหมู่อะซิติลโดยประกอบด้วยหน่วยย่อยของ D-glucosamine ไคโตแซนเป็นสารชีวโมเลกุลที่มีสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ และย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Singh and Ray, 1994; Qurashi *et al.*, 1992) ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตแซน ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของไคติน และไคโตแซน

ที่มา : Bough และคณะ (1978)

finish

### 3. สมบัติของไคติน และไคโตแซน

#### 1. การละลาย (Solubility)

ไคติน ไม่สามารถละลายได้ในสารละลายโดยทั่วไป เนื่องจากเป็นสารโมเลกุลยาวที่ไร้ประจุ (Conrad, 1965) แต่สามารถละลายได้ในกรดแก่ ฟลูออโรอัลกอฮอล์ (fluoroalcohol) และสารละลายของเกลือไฮโดรโทรปิก (hydrotropic salt) แต่ส่งผลกระทบต่อการทำลายโครงสร้างของไคติน และไม่สะดวกในการใช้ มีรายงานว่าสารละลายที่ไม่ทำลายไคติน ประกอบด้วย ไดเมทิลอะซิตาไมด์ (dimethylacetamide) ซึ่งมีลิเทียมคลอไรด์ (lithium chloride) ร้อยละ 5 (Austin *et al.*, 1981) นอกจากนี้พบว่าไคตินสามารถดัดแปลงสมบัติให้ละลายน้ำได้โดยอยู่ในรูปของเอทิลีนไกลคอลไคติน (ethyleneglycol chitin) และคาร์บอกซีเมทิลไคติน (carboxymethyl chitin) ซึ่งพบว่า คาร์บอกซีเมทิลไคติน มีสมบัติเป็นสารจับโลหะ และเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ เมื่อนำมาละลายน้ำจะให้ความหนืด เป็นสารไม่มีพิษ และมีสมบัติคล้ายคลึงกับ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose, CMC) (Tokura *et al.*, 1983)

ไคโตแซน มีโครงสร้างที่เป็นผลึกอยู่มาก จึงไม่สามารถละลายได้ในสารอินทรีย์ทั่วไป กรด และ ด่าง แต่สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์ที่เป็นกรดอ่อน ในช่วงระดับความเข้มข้นกว้างที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากการฟอร์มตัวของเกลียว การที่ไคโตแซนมีน้ำหนักโมเลกุลสูง (ประมาณ  $1 \times 10^7$  g/mol.) จึงสามารถเกิดเป็นสารละลายที่ข้นหนืดได้เมื่อละลายในกรดอินทรีย์ที่เป็นกรดอ่อน (Qurashi *et al.*, 1992) นอกจากนี้ไคตินและไคโตแซนยังมีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic properties) และมีความชอบน้ำแตกต่างกันไปตามชนิดของไคติน และไคโตแซน ความสามารถในการอุ้มน้ำของไคติน และไคโตแซนเท่ากับร้อยละ 230-440 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) โดยพบว่า ไคโตแซนมีค่าการอุ้มน้ำสูงกว่าไคติน

## 2. ความหนืด (viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตแซนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ พีเอช น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น และระดับการกำจัดหมู่อะซิติก (degree of deacetylation) โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายไคโตแซนจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายไคโตแซนจะให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน โดยสารละลายไคโตแซนในกรดอะซิติกมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีพีเอชลดลง สารละลายของไคโตแซนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง หรือมีความเข้มข้นของไคโตแซนสูง มีผลให้ความหนืดสูงขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าไคโตแซนที่มีการกำจัดหมู่อะซิติกมาก มีผลให้ความหนืดลดลง (Muzzarelli, 1977)

## 3. การตกตะกอน (coagulating properties)

ไคโตแซนเป็นตัวตกตะกอน (coagulating agent) ที่ดี เนื่องจากการมีหมู่เอมิโน (amino group) จำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวก และจับกับสารที่มีประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อม และพอลิเมอร์อื่น ไคโตแซนสามารถจับกับโลหะหนักได้ โดยไนโตรเจนในหมู่เอมิโนของไคโตแซนจะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ทำให้ไอออนของโลหะสามารถจับกับหมู่เอมิโนได้ นอกจากนี้ยังพบว่าหมู่เอมิโนในไคโตแซนมีประสิทธิภาพในการจับกับไอออนของโลหะได้ดีกว่าหมู่อะซิติกในไคติน (Li *et al.*, 1992)

## 4. การทำปฏิกิริยาระหว่างเฟส (interphasic properties)

สมบัติการทำปฏิกิริยาระหว่างเฟส เช่น ความสามารถในการจับกับไขมัน (fat binding capacity) และความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (emulsion capacity) จากการศึกษาความสามารถในการจับกับไขมันของไคติน ผลึกไคตินขนาดเล็ก และไคโตแซนเปรียบ

เทียบกับผลึกเซลลูโลสขนาดเล็ก พบว่าความสามารถในการจับกับไขมันของไคตินมีค่าสูงสุด และไคโตแซนมีค่าต่ำสุด (ไคติน > ผลึกไคตินขนาดเล็ก > ไคโตแซน) (Knorr, 1982)

#### 5. การทำปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุล (intermolecular properties)

สมบัติการทำปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุล เช่น การเกิดฟิล์ม เป็นสมบัติที่เกิดจากพันธะระหว่างโมเลกุลหรืออนุภาค หรือการเกิดการสานตัวกันระหว่างโมเลกุล หรืออนุภาค ไคโตแซน ได้สารละลายชั้นหนืดของไคโตแซน ซึ่งสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์ม หรือเมมเบรนได้ Hosokawa และคณะ (1991) ได้ศึกษาฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากไคโตแซน และโฮโมจีไนซ์เซลลูโลส (homogenize cellulose) พบว่าการฟอร์มตัวของฟิล์มเริ่มจากการเกิดชิฟฟ์เบส (schiff base) ซึ่งเกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) ของเซลลูโลส และหมู่อะมิโนของไคโตแซน

#### 6. สมบัติด้านประสาทสัมผัส (sensory properties)

การสลายไคตินด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ทำให้ได้สารประกอบที่มีกลิ่นรสจำนวนมาก (Knorr, 1984) สารประกอบที่ได้จากการสลายตัวด้วยความร้อน เช่น ไพริดีน (pyridine) พิคอลีน (picoline) ฟีนอล (phenol) ครีซอล (cresol) กรดฟอร์มิก (formic acid) กรดอะซีติก และ ไพราซีน (pyrazine) เป็นต้น สารประกอบที่สำคัญคือ ไพราซีน ซึ่งจะให้กลิ่นรสของอาหารปิ้ง หรือย่าง

#### 7. การย่อยสลาย (degradation properties)

เมื่อไคติน และไคโตแซนย่อยสลายเกิดเป็นสายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงของโอลิโกเมอร์ (oligomer) หรือโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) และเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดที่เรียกว่า โมโนเมอร์ (monomer) หรือโมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide)

โอลิโกเมอร์ / โอลิโกแซคคาไรด์ของไคตินและไคโตแซน คือ N - acetyl - chitooligosaccharide และ chitooligosaccharide ตามลำดับ ส่วนโมโนเมอร์ / โมโนแซคคาไรด์ของไคตินและไคโตแซนคือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ตามลำดับ วิธีการต่างๆที่สามารถย่อยสลายไคติน และไคโตแซนได้ มีดังนี้ (Lim *et al.*, 1999)

##### 7.1 การย่อยสลายโดยกรด (Acid hydrolysis)

การย่อยสลายของสายโซ่โมเลกุลของไคโตแซนเนื่องจากกรด เป็นแบบสุ่ม (random) คือ โอลิโกเมอร์ขนาดต่างๆและโมโนเมอร์ ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ เช่น ชนิดของกรด

เวลา อุณหภูมิ ชนิดของพันธะของสายโซ่โมเลกุล ชนิดของพอลิเมอร์ โดยไคตินสามารถต้านทานต่อการย่อยสลายโดยกรดได้ดีกว่าไคโตแซน

#### 7.2 การย่อยสลายโดยด่าง (Alkaline degradation)

การย่อยสลายของสายโซ่โมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์ในด่างจะเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โมเลกุล การย่อยสลายแบบนี้เรียกอีกอย่างว่า peeling reaction

#### 7.3 การย่อยสลายโดยการสั่นด้วยคลื่นเสียง (Degradation by sonication)

การย่อยสลายโดยการสั่นด้วยคลื่นเสียงควบคู่กับการใช้กรด มีผลให้ได้โพลิเมอร์ที่มีขนาดใกล้เคียงกันมากกว่าการย่อยสลายโดยใช้กรดเพียงอย่างเดียว

#### 7.4 การย่อยสลายโดยเอนไซม์ (Enzymic degradation)

การย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์มีข้อดีกว่าการใช้สารเคมีคือ มีความจำเพาะเจาะจงมากกว่าการใช้สารเคมี เอนไซม์ที่ใช้ย่อยสลายไคติน ไคโตแซน ได้แก่

- ไคตินเนส (chitinase) EC 3.2.1.14 สามารถย่อยสลายไคตินแบบสุ่มตรงตำแหน่งพันธะ  $\beta$ -1,4-linkage ได้เป็น N-acetyl-chitooligosaccharide

- ไคโตแซนเนส (chitosanase) EC 3.2.1.132 สามารถย่อยสลายไคโตแซนแบบสุ่มตรงตำแหน่งพันธะ  $\beta$ -1,4-linkage ได้เป็น chitooligosaccharide

- ไลโซไซม์ (lysozyme) EC 3.2.1.17 เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่คล้ายกับไคตินเนส

#### 7.5 การย่อยสลายโดยความร้อน (Thermal degradation)

ความร้อนมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของไคโตแซน โดยความร้อนจากเตาอบซึ่งเป็นความร้อนแบบแห้ง (dry heat) ที่อุณหภูมิน้อยกว่าหรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส มีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลมีความยืดหยุ่นมากขึ้น Glass transition temperature (Tg) ลดลงความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น ส่วนความร้อนแบบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ทำให้ไคโตแซนมีความสามารถในการละลายลดลง (Lim *et al.*, 1999)

### 8. สมบัติด้านอื่นๆ

8.1 การเข้ากันได้กับสิ่งมีชีวิต (biocompatible) ไคโตแซนสามารถเข้ากันได้กับสิ่งมีชีวิต และมีพิษต่ำในร่างกายสัตว์ (Arai *et al.*, 1968 อ้างโดย Hirano and Akiyama, 1995)



รูปโซเดียมโปรตีนเนต (sodium proteinate) ซึ่ง Bough และคณะ (1978) ได้กำจัดโปรตีนในเปลือกกุ้งแห้งบดโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 3 (น้ำหนัก/ปริมาตร) อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง และได้มีการศึกษาสภาวะการกำจัดโปรตีนในเปลือกกุ้งกุลาดำพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายต่างเพิ่มขึ้น มีผลให้ปริมาณไนโตรเจนในเปลือกกุ้งลดลง ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมคือ การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนเปลือกกุ้งต่อสารละลายต่าง 1:6 (น้ำหนัก/ปริมาตร) (Benjakul and Sophanodora, 1993)

### 3. การกำจัดแร่ธาตุ (Demineralization)

เปลือกของสัตว์จำพวกกุ้ง โดยทั่วไปมีแร่ธาตุร้อยละ 30-50 โดยองค์ประกอบหลักของสารอนินทรีย์ในเปลือกกุ้ง คือ แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) แต่อาจมีแคลเซียมฟอสเฟต (calcium phosphate) ในปริมาณร้อยละ 8-10 ของปริมาณสารอนินทรีย์ในเปลือก (Johnson and Peniston, 1982) การกำจัดส่วนใหญ่นิยมใช้กรดเจือจาง เช่น กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) และกรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) ซึ่งจะละลายแคลเซียมคาร์บอเนตให้อยู่ในรูปแคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) และเหลือไคตินซึ่งไม่ละลาย

ความเข้มข้นของกรด และสภาวะต่างๆในการกำจัดแร่ธาตุ ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ แต่การกำจัดแร่ธาตุที่ดีควรใช้กรดที่มีความเข้มข้นต่ำ พร้อมกับมีการคนอย่างสม่ำเสมอ ซึ่ง Madhavan และ Ramachandranair (1974) พบว่า การใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นมากกว่า 1.25 นอร์มอล มีผลทำให้ความหนืดของไคโตแซนลดลง (ตารางที่ 1)



ตารางที่ 1 ผลของความเข้มข้นกรด และระยะเวลาในการกำจัดแร่ธาตุต่อความหนืดของ  
ไคโตแซน

ความเข้มข้นกรด (นอร์มอล)	ระยะเวลาการกำจัดแร่ธาตุ (นาที)	ความหนืด (เซนติ พอยส์)*
0.75	30	14.63
1.00	30	32.03
1.25	30	106.85
1.50	30	49.28
2.00	30	37.66

\* ละลายไคโตแซนเข้มข้นร้อยละ 1.0 ในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 1.0

ที่มา : ดัดแปลงจาก Madhavan และ Ramachandrannair (1974)

#### 4. การฟอกสี

เนื่องจากในเปลือกกุ้งมีรงควัตถุพวกคาโรทีนอยด์ เช่น astacene, astaxanthin, canthaxanthin, lutein และ beta-carotene (Simpson,1978) รงควัตถุเหล่านี้อาจจับกับหมู่อะมิโนของไคตินด้วยพันธะของหมู่คาร์บอนิล ทำให้ผลิตภัณฑ์สีแตกต่างกันออกไป เพื่อเพิ่มการยอมรับในผลิตภัณฑ์ จึงควรฟอกสีไคตินโดยใช้สารเคมีที่มีสมบัติฟอกสี เช่น อะซิโตน (acetone) ไฮโปคลอไรท์ (hypochlorite) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogenperoxide) และเอธิลอะซิเตท (ethylacetate) (Kamasastri and Prablue, 1961 อ้างโดย เถวียน บั้ว ตุ่ม, 2541; Madhavan and Ramachandrannair,1974; Brine and Austin, 1981; Brzeski and Prudden,1987) นอกจากนี้ Moorjani และคณะ (1975) พบว่าการฟอกสีมีผลให้ความหนืดของไคโตแซนลดลง

#### 5. การกำจัดหมู่อะซิติดิล (Deacetylation)

ใช้สารละลายต่างที่เข้มข้นและอุณหภูมิสูง เนื่องจากโครงสร้างของไคตินค่อนข้างแข็งแรง ความเข้มข้นของด่างที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิติดิลจากสารไคติน โดยทั่วไปอยู่ในช่วงร้อยละ 40-55 (Green and Kramer,1979; Katsuyama,1979) ความเข้มข้นต่าง และ

ระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติดีลมีผลต่อคุณภาพของโคโตแซน เมื่อระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติดีลเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลทำให้คุณภาพของโคโตแซนลดลง และเมื่อความเข้มข้นของด่างเพิ่มขึ้น ทำให้โคโตแซนมีความหนืดลดลง (Wu and Bough, 1978)

สุทธวัฒน์ เมญจกุล และไพรัตน์ โสภณดร (2533) พบว่า การกำจัดหมู่อะซิติดีลในสภาวะที่มีออกซิเจน จะได้โคโตแซนที่มีความหนืดน้อยกว่าในสภาวะสุญญากาศ หรือในสภาวะที่มีไนโตรเจน เช่นเดียวกับการทดลองของ Bough และ คณะ (1978) ที่พบว่า การผลิตโคโตแซนในสภาวะที่มีออกซิเจน จะได้โคโตแซนที่มีความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าในสภาวะที่ใช้ไนโตรเจน

สรุป

##### 5. การใช้ประโยชน์โคติน และโคโตแซน

เนื่องจากโคตินและโคโตแซนมีสมบัติด้านดีหลายประการด้วยกัน เช่น เป็นชีวโมเลกุลที่มีสีขาว ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และมีพิษต่ำเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดอื่นๆ (Singh and Ray, 1994; Qurashi *et al.*, 1992) จึงมีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศญี่ปุ่น มีการใช้ประโยชน์ของโคโตแซนค่อนข้างสูง โดยพบว่าในปี ค.ศ. 1986 มีการผลิตโคโตแซนถึง 700 ตัน โดย 500 ตัน ใช้เป็นสารตกตะกอน ขณะที่ 100 ตัน ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อาหารสัตว์ และอุตสาหกรรมอาหาร และที่เหลือใช้ทางเทคโนโลยีชีวภาพ (Hirano, 1989) การใช้ประโยชน์ของโคโตแซนมีหลายด้านด้วยกัน ตัวอย่าง เช่น

##### ด้านการเกษตร

มีการใช้โคโตแซนเคลือบเมล็ดข้าวสาลีเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อราทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 20 ส่วนการใช้โคตินในการเตรียมดินสำหรับการเพาะปลูก สามารถลดโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในดินได้ (Brzeski and Prudden, 1987) ซึ่งโคโตแซนมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือสามารถยับยั้งเชื้อรา และสนับสนุนการเกิดโคตินเนสจากจุลินทรีย์ ทำให้สามารถป้องกันการเข้าทำลายของราต่อพืช การใช้โคตินในรูปแบบเล็กขนาดเล็กร้อยละ 2 ผสมกับหางนมร้อยละ 20 ในอาหารเลี้ยงไก่ พบว่าหลังจาก 46 วัน ไก่ที่กินอาหารผสมที่มีทั้งโคติน และ

หางนมมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเทียบกับไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารปกติ และอาหารที่มีการเติมหางนมหรือโคตินเพียงอย่างเดียว (Austin *et al.*, 1981)

### ด้านการแพทย์และเภสัชวิทยา

การใช้ประโยชน์จากโคติน และโคโตแซนทางด้านการแพทย์และเภสัชวิทยาเป็นไปอย่างกว้างขวางและได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่นการใช้เป็นวัสดุเชื่อมหรือจัดกระดูก ใช้เป็นเลนส์สายตาเนื่องจากมีสมบัติยอมให้ออกซิเจนผ่านเข้าออกได้ และไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ ใช้เป็นแคปซูลบรรจุยา ใช้ผลิตเป็นหนังไตเทียม และใช้เป็นวัสดุทันตกรรมสำหรับเชื่อมหรืออุดฟัน (Brzeski and Prudden, 1978; Anonymous, 1989) ต่อมาได้มีการศึกษาการใช้โคโตแซนในการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในกระแสเลือด โดยทำการศึกษาในผู้ชายที่มีร่างกายแข็งแรงปกติ พบว่าเมื่อมีการบริโภคโคโตแซน 3-6 กรัม/วัน โดยผสมในขนมปังแครกเกอร์ สามารถลดคอเลสเตอรอลได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับคนที่ไม่ได้บริโภคโคโตแซน โดยได้อธิบายว่า โคโตแซนสามารถจับไขมัน และคอเลสเตอรอลในร่างกาย ทำให้ลดการดูดซึมของไขมัน และคอเลสเตอรอลเข้าสู่กระแสเลือดได้ (Maezaki *et al.*, 1993) นอกจากนี้พบว่า โคโตแซนสามารถจับกับน้ำดี ซึ่งเป็นตัวทำให้ไขมันเกิดการดูดซึมส่งผลให้ระดับไขมันและคอเลสเตอรอลในเลือดต่ำ จากสมบัติการจับไขมันที่ไม่จำเพาะของโคโตแซน อาจเกิดผลเสียแก่ร่างกายได้ เนื่องจากกรดไขมันที่จำเป็น หรือวิตามินที่ละลายในไขมันอาจไม่มีการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย (Hirano and Akiyama, 1995)

มีรายงานว่าโคโตแซนมีฤทธิ์ในการลดกรด ป้องกันการเกิดแผลหรือการระคายเคืองของกระเพาะอาหารจากการได้รับยา และสามารถละลายหรือพองตัวในของเหลวที่เป็นกรดในกระเพาะอาหารได้ จากสมบัติดังกล่าวจึงใช้โคโตแซนเป็นแคปซูลควบคุมการปลดปล่อยยาให้เกิดขึ้นอย่างช้าๆได้ (Muzzarelli *et al.*, 1999) นอกจากนี้ โคตินและโคโตแซนที่อยู่ในรูปซัลเฟต มีสมบัติต้านการแข็งตัวของลิ่มเลือดที่จับอยู่ตามส่วนต่างๆของร่างกายได้ โดยสามารถต้านการแข็งตัวของลิ่มเลือดได้ประมาณสองเท่าของปกติ (Hirano, 1999)

## ด้านอุตสาหกรรมอาหาร

เนื่องจากไคโตแซนเป็นสารที่สกัดจากธรรมชาติ สามารถย่อยสลายได้ และเป็นสารที่ไม่มีพิษเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์สังเคราะห์อื่นๆ ได้มีการนำมาใช้ประโยชน์กันหลากหลายในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น

### - การทำให้น้ำผลไม้ใส

การผลิตน้ำผลไม้ส่วนใหญ่มักพบกับปัญหาความขุ่น และสีของผลิตภัณฑ์ มีงานวิจัยหลายชิ้นที่มีการใช้ไคโตแซนเป็นสารตกตะกอนในการผลิตน้ำผลไม้ พบว่าไคโตแซนไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของน้ำแครอท และน้ำแอปเปิ้ล แต่พบว่าน้ำผลไม้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดลดลง (Imeris and Knorr, 1988) แสดงให้เห็นว่า ไคโตแซนมีศักยภาพในการควบคุมปริมาณกรดในอาหารอื่นๆ ได้ มีการใช้ไคโตแซนเป็นส่วนผสมในการผลิตน้ำส้มในประเทศญี่ปุ่นเพื่อป้องกันการเกิดตะกอนระหว่างการเก็บรักษา และมีรายงานว่าไคโตแซนสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผักดองได้ด้วย (Muzzarelli, 1983; Hirano, 1989) นอกจากนี้ การใช้ไคโตแซนในการปรับปรุงความใสของ น้ำมะนาว น้ำมะขาม น้ำองุ่น และน้ำตาลโตนด ที่ระดับความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร เปรียบเทียบกับการใช้เบนโตไนท์ (bentonite) 10 มิลลิกรัม/ลิตร และเจลาติน (gelatin) 290 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าไคโตแซนสามารถปรับปรุงความใสได้ดีกว่า (ศิริพงษ์ เกื้อมิตร, 2536) ส่วนการศึกษาผลของไคโตแซนต่อความใสของน้ำแอปเปิ้ล โดยใช้ไคโตแซนทั้งชนิดที่ละลายในน้ำ และละลายในกรด เปรียบเทียบกับการใช้ อะกาโรส (agarose) เจลาติน และเบนโตไนท์ร่วมกัน พบว่าไคโตแซนทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของน้ำแอปเปิ้ลเหมือนกับการใช้สารตกตะกอนทั้ง 3 ตัวร่วมกัน (Soto-Peralta *et al.*, 1989)

### - การเคลือบผิวผลไม้

ไคโตแซนสามารถเกิดแผ่นฟิล์มที่มีสมบัติป้องกันน้ำและอากาศ เมื่อละลายในกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดอะซิติก หรือกรดฟอร์มิก คุณภาพแผ่นฟิล์มในการป้องกันน้ำ และอากาศขึ้นอยู่กับกระบวนการเตรียมไคโตแซน ชนิดของวัตถุดิบ และขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิติก แผ่นฟิล์มไคโตแซนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเคลือบผิวผลไม้ได้ดี การหุ้มผลไม้ด้วยฟิล์มของไคโตแซนสามารถยืดการสุก และอายุการเก็บรักษาได้ (Davies *et al.*, 1989)

การทดลองเคลือบผลสตรอเบอร์รี่ด้วยสารละลายไคโตแซน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 1.5 (น้ำหนัก/ปริมาตร) สามารถรักษาความสดของสตรอเบอร์รี่ได้ ถึงแม้จะเก็บ

รักษาที่อุณหภูมิสูง (13 องศาเซลเซียส) ทั้งนี้เนื่องจากสโตรบเบอร์ที่เคลือบผิวจะมีสภาพดัดแปลงบรรยากาศในชั้นที่ถูกเคลือบ (El Ghaouth *et al.*, 1991) นอกจากนี้พบว่า การเคลือบผิวผลไม้ดังกล่าว สามารถเพิ่มศักยภาพในการยับยั้งเชื้อรา และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ การศึกษาผลของการเคลือบผิวมะนาวด้วยไคโตแซนในการยืดอายุการเก็บรักษา โดยใช้ไคโตแซนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $10 \pm 2$  องศาเซลเซียส พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้นานถึง 8 สัปดาห์ (ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.25 น้ำหนัก/ปริมาตร) (ไพรัตน์ ไสภโณดร และคณะ, 2536)

สำหรับการเคลือบผิวมะเขือเทศด้วยไคโตแซนชนิดที่ละลายน้ำ ที่ความเข้มข้นต่างกัน (ร้อยละ 0.5, 0.75 และ 1.0) สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศได้ยาวนานกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการเคลือบด้วยไคโตแซน โดยชุดควบคุมและเคลือบผิวด้วยไคโตแซนเข้มข้นร้อยละ 0.5, 0.75 และ 1.0 จะมีอายุการเก็บรักษาได้ 18, 21, 26 และ 28 วัน ตามลำดับที่อุณหภูมิห้อง และสามารถเก็บรักษาได้มากกว่า 30 วัน ที่อุณหภูมิต่ำที่ทุกระดับความเข้มข้น (สนั่น แสงแจง, 2537)

#### - การเป็นสารตกตะกอน

การใช้ไคโตแซนจากเปลือกกุ้งกุลาดำ ในการตกตะกอนสารอินทรีย์จากน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ 3 ชนิด คือ น้ำนึ่งปลาหูน่า น้ำต้มกุ้ง และน้ำล้างปลาหมึก โดยใช้ปริมาณไคโตแซน 200 , 150 และ 150 มิลลิกรัม/ลิตรของน้ำทิ้งแต่ละชนิด ตามลำดับ และมีการใช้ร่วมกับสารช่วยตกตะกอน ซึ่งสามารถลดความขุ่นของน้ำทิ้งได้ดีกว่าการใช้ไคโตแซนเพียงอย่างเดียว โดยพบว่า การใช้เฟอร์ริกซัลเฟต (ferric sulfate) ร่วมกับไคโตแซนสามารถลดความขุ่นของน้ำนึ่งปลาหูน่า และน้ำต้มกุ้งได้ร้อยละ 95.91 และ 96.15 ตามลำดับ การใช้สารส้มร่วมกับไคโตแซนในการตกตะกอน สามารถลดความขุ่นได้ร้อยละ 97.01 (ธรรมรัตน์ ธรรมเดชศักดิ์ และแกมกาญจน์ รักษาพรหมณ์, 2535) การใช้ไคโตแซนในการเก็บเกี่ยวของแข็งพวกโปรตีนจากน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเต้าหู้ พบว่าสามารถลดความขุ่นได้ถึงร้อยละ 97 เมื่อมีการใช้ไคโตแซน 300 มิลลิกรัม/ลิตร ที่พีเอชของน้ำทิ้ง 5.8 เมื่อเทียบกับการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง 1 ชั่วโมง ซึ่งสามารถลดความขุ่นได้ร้อยละ 30 (Jun *et al.*, 1994) ต่อมา Holland และ Shahbas (1995) ได้ใช้ไคโตแซนในการเก็บเกี่ยวโปรตีนจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมผลิตหอยแมลงภู่ โดยทำการทดลองแบบกะ พบว่าสามารถนำ

โปรตีนกลับมาใช้ใหม่ได้ถึงร้อยละ 80 โดยความเข้มข้นของโคโคแชนที่ใช้ 40 มิลลิกรัม/ลิตร พีเอช 6.0-7.0

การศึกษาการใช้พอลิเมอร์โคโคติน และโคโคแชนจากเปลือกกุ้งกุลาดำในการจับโลหะโครเมียม (chromium) และตะกั่ว (lead) พบว่า เมื่อพีเอช ความเข้มข้นของสารละลายโลหะ และเวลาเพิ่มขึ้น ความสามารถในการจับโลหะของโคโคติน และโคโคแชนมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ขนาดอนุภาคและอัตราส่วนของสารละลายโลหะต่อโคโคตินและโคโคแชนเพิ่มขึ้น ความสามารถในการจับโลหะทั้งสองของโคโคตินและโคโคแชนลดลง นอกจากนี้โคโคแชนที่มีหมู่อะซิติกที่สูงขึ้น มีความสามารถในการจับโลหะได้สูงขึ้นเช่นกัน (เถวียน บัวตุ้ม, 2540)

#### ด้านวัสดุภัณฑ์

โคโคตินมีศักยภาพมากที่สุดในการผลิตกระดาษ เพราะการเพิ่มโคโคตินเพียงร้อยละ 1 โดยน้ำหนักลงในเยื่อกระดาษ จะเพิ่มความทนทานของกระดาษ และเร่งอัตราเร็วในการแยกน้ำออกจากเยื่อกระดาษ และเพิ่มปริมาณเส้นใยที่เหลือเมื่อทำเป็นแผ่นกระดาษแล้ว ทำให้สามารถผลิตเยื่อกระดาษที่ต้นทุนต่ำกว่า พร้อมทั้งประหยัดพลังงานที่ใช้ตีเยื่อกระดาษได้มากถึงร้อยละ 90 กระดาษที่ผสมโคโคตินมีความแข็งแรงขณะเปียกดีขึ้นอย่างมาก ซึ่งเป็นข้อดีสำหรับทำผ้าอ้อมแบบใช้แล้วทิ้ง ถุงช้อปปิ้ง และกระดาษเช็ดมือ (ธีระพล ประมวลกิจจา, 2534)

การศึกษาการผลิตฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากโคโคแชนร่วมกับไฮโมจีโนซีเซลลูโลส พบว่าฟิล์มที่ได้มีความสามารถในการยอมให้ออกซิเจนผ่านได้สูง ค่าการต้านแรงต่างๆของฟิล์มเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของโคโคแชน ฟิล์มชนิดนี้สามารถย่อยสลายได้โดยเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) และแบคทีเรียที่ย่อยสลายโคโคแชนได้ซึ่งคัดแยกมาจากดินในประเทศญี่ปุ่น (Hosokawa *et al.*, 1990) ต่อมา ได้มีการศึกษาปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากโคโคแชน และส่วนผสมของโคโคแชนกับอนุพันธ์เซลลูโลส พบว่าเมื่อความเข้มข้นของโคโคแชนเพิ่มขึ้น ฟิล์มโคโคแชนที่ผลิตได้มีความหนา ความหนาแน่นผิวหน้า และค่าการต้านแรงดึงเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของโคโคแชนเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 1 และเมื่อความเข้มข้นของ โคโคแชนเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 1 ค่าการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และจากการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลกับฟิล์มสังเคราะห์พีวีซี พบว่า ฟิล์มจากโคโคแชนที่ผลิตได้มีค่าการต้าน

แรงดึง และค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงกว่า แต่ค่าการยืดตัวเมื่อขาดต่ำกว่าฟิล์มพีวีซี (นพรัตน์ มะเห, 2541) *inish*

## 6. บรรจุภัณฑ์อาหาร (Food Packaging)

บรรจุภัณฑ์ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพอาหาร การคุ้มครอง หรือรักษาผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ไม่ให้เน่าเสีย หรือเสื่อมคุณภาพก่อนเวลากำหนด และไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค โดยเฉพาะระหว่างเก็บรักษาเพื่อรอการจำหน่าย จึงจำเป็นต้องใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้น บรรจุภัณฑ์ที่มีความสำคัญทั้งรูปแบบ และวัสดุที่ใช้ผลิต ผู้ผลิตจึงต้องให้ความสำคัญ และติดตามเรื่องของมาตรฐาน ข้อกำหนด และกฎระเบียบต่างๆที่เกี่ยวข้องกับบรรจุภัณฑ์ (ชื่นจิต อาทร, 2537)

## 7. หน้าที่ของบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป เพื่อทำหน้าที่ 2 ด้านที่สำคัญ คือ ด้านเทคนิค และด้านการตลาด โดยมีรายละเอียดดังนี้ (ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2541)

### 1. ด้านเทคนิค

- การทำหน้าที่บรรจุใส่ ได้แก่ ใส-ห่อสินค้า ด้วยการชั่ง ตวง วัด นับ
- การทำหน้าที่ปกป้อง คุ้มครอง ได้แก่ ป้องกันไม่ให้สินค้าเสียรูป แตกหัก
- การทำหน้าที่รักษาคุณภาพอาหาร ได้แก่ ป้องกันการซึมผ่านของอากาศ ความชื้น และแสง
- การทำหน้าที่ขนส่ง ได้แก่ กล่องลูกฟูก ลังพลาสติก ซึ่งบรรจุสินค้าหลายห่อหรือหน่วย เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย และขนส่งสินค้าไปยังแหล่งผลิตหรือแหล่งขาย
- การวางจำหน่าย การนำบรรจุภัณฑ์ที่มีสินค้าอาหารแปรรูปอยู่ภายในวางจำหน่ายได้

### 2. ด้านการตลาด

- หน้าที่ส่งเสริมการขาย เพราะบรรจุภัณฑ์ที่ออกแบบสวยงาม สามารถใช้เป็นสื่อโฆษณาได้ด้วยตัวเอง รวมถึงการออกแบบบรรจุภัณฑ์เพื่อใช้เฉพาะกาล
- ทำหน้าที่เป็นฉลากแสดงข้อมูลของอาหารแปรรูป ได้แก่ ข้อมูลทางด้านโภชนาการ ส่วนประกอบของอาหาร วันที่ผลิต วันที่หมดอายุ และคำแนะนำต่างๆ

- ทำให้ตั้งราคาขายได้สูงขึ้น เนื่องจากบรรจุก๊าซที่สวอยงามจะสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่สินค้า สร้างความนิยมในสินค้า จากตราและเครื่องหมายการค้าทำให้เกิดความเชื่อถือ (Loyalty) ในตัวสินค้า ส่งผลให้ขายราคาที่สูงขึ้นได้
- ให้ความถูกต้องรวดเร็วในการขาย โดยการพิมพ์บาร์โค้ดบนบรรจุก๊าซทำให้การซื้อขาย รวดเร็ว และถูกต้องขึ้น

#### 8. บรรจุก๊าซที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ปัจจุบันบรรจุก๊าซที่ทำจากพลาสติก เช่น โฟม กำลังเป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวาง เพราะมีน้ำหนักเบา แข็งแรง ไม่ดูดซับน้ำ และน้ำมัน ผิวเรียบ สีขาว ดูสะอาด และสวอยงาม แต่โฟมกลับเป็นบรรจุก๊าซที่ก่อปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากต้องใช้เวลาในการย่อยสลาย นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตยังมีการใช้สารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน ซึ่งเป็นสารที่ทำลายบรรยากาศชั้นโอโซน ส่งผลให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น เกิดการรณรงค์ให้เลิกใช้โฟม หันมาใช้บรรจุก๊าซที่ทำจากวัสดุธรรมชาติแทน จึงได้มีการค้นคว้าทดลองผลิตบรรจุก๊าซแบบย่อยสลายได้ง่ายตามธรรมชาติ (biodegradable package) เช่น

การผลิตบรรจุก๊าซที่ย่อยสลายได้จากแป้ง (มันฝรั่ง สาลี หรือข้าวโพด) ร่วมกับวัตถุเจือปนอื่นๆ ทำให้เกิดความคงตัวเพิ่มขึ้น โดยนำมาผสมกับน้ำแล้วขึ้นรูปในแม่พิมพ์ด้วยความร้อน บรรจุก๊าซที่ผลิตได้ ทนต่อความชื้น ความร้อน น้ำหนักเบา ใช้บรรจุก๊าซในเครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในบ้าน (Sacharow, 1991) ต่อมาได้มีการผลิตถาดบรรจุก๊าซที่ย่อยสลายได้จากแผ่นวัสดุจำนวน 1 หรือ 2 แผ่นประกบกัน แล้วขึ้นรูปบนแม่พิมพ์ที่ให้ความร้อน 143-176 องศาเซลเซียส (290-350 องศาฟาเรนไฮต์) การผลิตแผ่นวัสดุ ใช้เทคนิคเดียวกับการผลิตกระดาษ ประกอบด้วยเส้นใยที่ยังไม่ใช้งานร้อยละ 60-80 โดยน้ำหนักแห้ง เส้นใยสังเคราะห์ เช่น พอลิเอทิลีน (polyethylene) และพอลิโพรไพลีน (polypropylene) ร้อยละ 20-40 โดยน้ำหนักแห้ง ดินขาว (china clay) ร้อยละ 10-15 โดยน้ำหนักเส้นใย และชั้นสนที่มีประจุบวก (cationic dispersed resin) ร้อยละ 1-2 โดยน้ำหนักเส้นใย อาจมีการใส่สีลงไปด้วย ในการขึ้นรูปด้วยความร้อนทำให้เกิดการละลายของเส้นใยสังเคราะห์ ชั้นสนสามารถเข้าไปเคลือบเส้นใย และดินขาวที่จับกับเส้นใยนั้นด้วย ซึ่งอุณหภูมิและความดันที่ใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดเส้นใยสังเคราะห์ ถาดที่ผลิตได้สามารถป้องกันการซึมของของเหลว และป้องกันน้ำมันได้ดี สีที่ใสไม่ปนเปื้อนติดอาหาร ใช้ใส่อาหารที่ให้ความร้อนด้วย



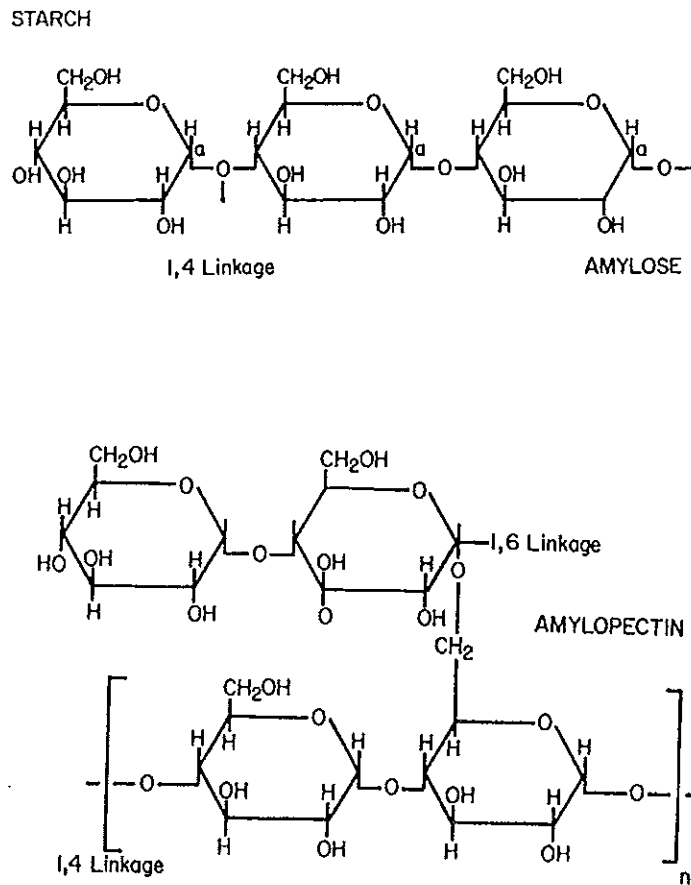
ตู้อบไมโครเวฟได้ดี (Cessna, 1992) การผลิตถาดบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ โดยใช้แป้งสาาลีเป็นวัตถุดิบพื้นฐาน พบว่า ถาดนี้มีค่าการต้านแรงดึง (tensile strength) สูงสุดเมื่อถูกกระทำด้วยแรงที่สูงกว่า 69 MPa ในการเก็บรักษาถาดที่อุณหภูมิห้อง หรือ -20 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าการต้านแรงดึงและค่าการต้านแรงดัดโค้งลดลง เมื่อศึกษาการใช้งานโดยทดสอบการบรรจุตัวอย่างขนมอบที่มีน้ำมันมาก พบว่าถาดมีค่าการต้านแรงดึงและค่าการต้านแรงดัดโค้งลดลง และมีรอยพองเกิดขึ้น (Gregory and Julie, 1997)

การศึกษาการผลิตถาดบรรจุภัณฑ์จากเปลือกโกโก้ โดยการนำเส้นใยที่ได้มาผสมกับแป้ง น้ำ และสารยึดเหนี่ยวบางชนิดในอัตราส่วนต่างๆกัน จากนั้นนำไปขึ้นรูปเป็นถาดบรรจุภัณฑ์โดยแม่พิมพ์ที่มีอุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียส ให้ความดัน 8,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 5 นาที ได้ถาดบรรจุภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายโฟม (นพรัตน์ อุทัยพันธ์, 2540) ขณะที่การศึกษาการผลิตถาดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยใบสับปะรด โดยผสมกับแป้งมันสำปะหลังดัดแปร สารยึดเหนี่ยวโลคัสบีนกัน (locust bean gum) พบว่าถาดที่ได้มีผิวเรียบแวววาว สีเหลืองอ่อน ให้ค่าการต้านทานแรงดัดโค้ง และการต้านทานแรงกดมากกว่าถาดที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง และสารยึดเหนี่ยวชนิดอื่นๆ และให้ค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่าถาดที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง (แสงสุรีย์ โรจน์สกุลวงศ์, 2540) ต่อมาได้มีการศึกษาการผลิตถาดที่ย่อยสลายได้เสริมเส้นใยที่สกัดจากเปลือกโกโก้ ใบสับปะรด และเปลือกลูกตาล โดยการผสมเส้นใย แป้งมันสำปะหลังดัดแปร คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) พบว่าถาดที่เสริมเส้นใยโกโก้มีความแข็งแรงต่ำกว่าถาดเสริมเส้นใยลูกตาล และเส้นใยสับปะรด แต่มีค่าการดูดซึมน้ำสูง ในขณะที่ถาดเสริมเส้นใยลูกตาลมีความแข็งแรงมากที่สุด เมื่อนำถาดที่ผลิตได้ทั้งสามชนิดไปเคลือบผิวด้วยสารละลาย PARATEX - NS 6 จำนวน 1, 2 และ 3 ครั้ง ถาดที่ผลิตได้มีผิวเรียบ สีเหลือง เมื่อนำไปวัดค่าการต้านแรงดัดโค้ง การต้านแรงกด การต้านแรงดันทะลุ และการดูดซึมน้ำ พบว่าถาดที่ผลิตจากเส้นใยเปลือกลูกตาล และผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลาย PARATEX - NS 6 จำนวน 3 ครั้งเป็นถาดที่มีความแข็งแรงมากที่สุด และมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด (ประนอม ตั้งมันคง, 2542) และเมื่อเร็วๆนี้ได้มีการใช้แป้งสาาลีในการผลิตฟิล์มย่อยสลายได้ โดยฟิล์มมีองค์ประกอบของ LLDPE (linear low density polyethylene) (ร้อยละ 88 น้ำหนัก/น้ำหนัก) แป้งสาาลี (ร้อยละ 6) สารเสริมความยืดหยุ่น ชนิด ENR-50 (ร้อยละ 6) และ Manganese stearate (600 ppm) ศึกษาการย่อย

สลายโดยปมที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ เพื่อให้เกิดการออกซิเดชัน พบว่า Manganese stearate ซึ่งเป็นอนุมูลของโลหะ เป็นตัวเร่งการเกิดออกซิเดชันของ ENR-50 ซึ่งเป็นสารเสริมความยืดหยุ่นที่ไม่อิมิตัว และมีผลในการเร่งให้เกิดการย่อยสลายของฟิล์มผสมจากแป้งสาคุและ LLDPE (Sharma *et al.*, 2001)

## 9. วัสดุสำคัญในการผลิตบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

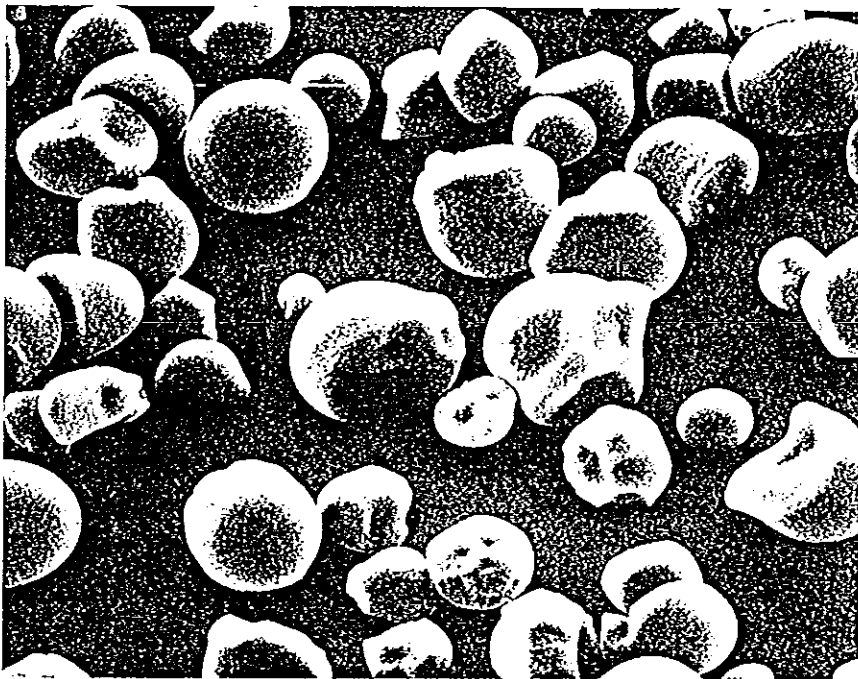
1. แป้ง (starch) เป็นคาร์โบไฮเดรต ที่มีพอลิเมอร์ของ  $\alpha$ -D-glucose ประกอบด้วยอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพคติน (amylopectin) (ภาพที่ 2) โดยแป้งแต่ละชนิดมีส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินแตกต่างกันไป ซึ่งแป้งโดยทั่วไปมีปริมาณอะไมโลเพคตินสูงกว่าอะไมโลส เม็ดแป้งในธรรมชาติมีความหนาแน่นสูง ภายในเม็ดแป้งมีโมเลกุลของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินจำนวนมากที่จับยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน แป้งไม่ละลายในน้ำเย็น แต่สามารถดูดซึมน้ำและเกิดการพองตัวได้ ในภาวะปกติแป้งมีความชื้นประมาณร้อยละ 12 - 14 แต่เมื่อเติมน้ำลงไป น้ำจะซึมผ่านเข้าไปในเม็ดแป้ง ซึ่งปริมาณน้ำที่รับได้สูงสุดประมาณร้อยละ 30 การพองตัวของเม็ดแป้งนี้ไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล จนกระทั่งของผสมนั้นได้รับความร้อนสูงพอที่จะทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล ซึ่งความร้อนทำให้โมเลกุลของแป้งเริ่มคลายความหนาแน่น พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างแยกจากกัน เม็ดแป้งจึงดูดน้ำและพองตัวได้เพิ่มขึ้น โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินเป็นอิสระ กระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง เกิดสภาพละลายได้ มีความใส และความหนืดเพิ่มขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดเจลาตินไนซ์ (gelatinization) เมื่อให้อุณหภูมิแก่น้ำแป้งสูงขึ้นอีก หรือกวนอย่างรุนแรงจนเม็ดแป้งแตกออก จะทำให้เกิดการละลายมากขึ้น (Zobel, 1984)



ภาพที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน  
ที่มา : Heckman (1977)

แป้งมันสำปะหลัง (Tapioca starch) ผลิตจากหัวมันสำปะหลัง มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยอะไมโลส ร้อยละ 17 เม็ดแป้งมีลักษณะกลม และมีรอยตัดที่ด้านใดด้านหนึ่ง ทำให้มีรูปร่างเหมือนกลองหน้าเดียวกันกลม (ภาพที่ 3) เม็ดแป้งมีขนาดประมาณ  $20\ \mu\text{m}$  ( $5 - 35\ \mu\text{m}$ ) (Heckman, 1977) เคยมีการนำแป้งมันสำปะหลังไปใช้ในการผลิตถาดบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ทางธรรมชาติร่วมกับสารยึดเหนี่ยว เส้นใยจากใบสับปะรด และน้ำ แล้วขึ้นรูปเป็นถาด พบว่ามีสมบัติทางกายภาพด้านต่างๆระดับหนึ่ง แต่ต่ำกว่าถาดจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ผลิตในสภาวะเดียวกัน โดยถาดจากแป้งมันสำปะหลังมีค่าการต้านแรงกด การต้านแรงดัดโค้งต่ำกว่า และมีการดูดซึมน้ำมากกว่า (แสงสุรีย์ วจนัสกุลวงศ์, 2540)

แป้งมันสำปะหลังมีความหนืดไม่คงทนต่ออุณหภูมิสูงๆ และการผสมที่รุนแรงในกระบวนการผลิต กล่าวคือ เมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อน เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็วและแตกง่ายเมื่อกวน ทำให้สูญเสียความหนืด สมบัติแป้งเปลี่ยนไป ทำให้มีขอบเขตการใช้ที่จำกัด (Heckman, 1977)



ภาพที่ 3 รูปร่างลักษณะเม็ดแป้งของแป้งมันสำปะหลัง  
ที่มา : Larry และ Eileen (1984)

แป้งสาคุ (Sago starch) เป็นแหล่งของแป้งที่สำคัญชนิดหนึ่ง ซึ่งมีราคาถูก ผลิตจากต้นสาคุที่พบมากในเขตลุ่มน้ำทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยโครงสร้างประกอบด้วยโมเลกุลของอะไมโลส (ร้อยละ 24-31) และอะไมโลเพคติน (ร้อยละ 73) ลักษณะของเม็ดแป้งเป็นแบบกลมรีหรือรูปไข่ เม็ดแป้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 30  $\mu\text{m}$  มีองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ คือ มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 10.6-20.0 มีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.06-0.43 ปริมาณไขมันทั้งหมดอยู่ระหว่างร้อยละ 0.10-0.13 ปริมาณเยื่อใยอยู่

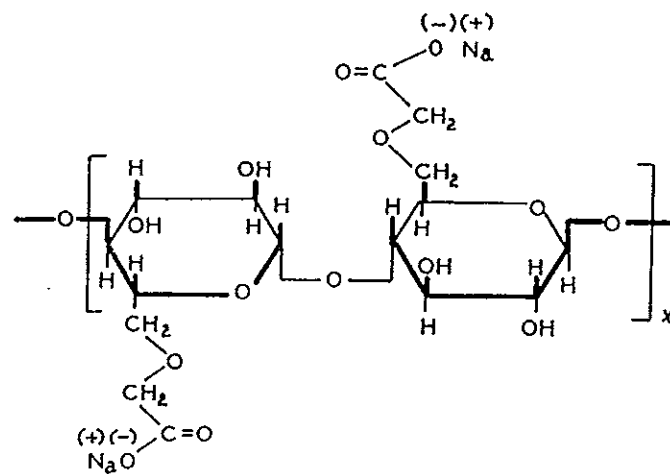
ระหว่าง ร้อยละ 0.26 - 0.32 ปริมาณโปรตีนทั้งหมดอยู่ระหว่าง ร้อยละ 0.19 - 0.25 (ไพรัตน์ นาควิโรจน์ และไพศาล วุฒิจำนงค์, 2524; Fasihuddin *et al.*, 1999)

สมบัติทางกายภาพของแป้งสาคุ พบว่าค่าความหนืดที่แท้จริงของอะไมโลส อยู่ระหว่าง 310 - 460 ml/g ขณะที่ค่าความหนืดที่แท้จริงของอะไมโลเพคตินอยู่ระหว่าง 220 - 250 ml/g น้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลส อยู่ในช่วง  $1.41 \times 10^6$  -  $2.23 \times 10^6$  g/mol ขณะที่น้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลเพคตินอยู่ในช่วง  $6.70 \times 10^6$  -  $9.23 \times 10^6$  g/mol อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตไนซ์ อยู่ระหว่าง 69.4 - 70.1 องศาเซลเซียส สำหรับสมบัติในด้านการพองตัว (Swelling power) ของเม็ดแป้งสาคุ พบว่าการพองตัวจะเริ่มแสดงค่าที่อุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส แป้งที่สกัดได้จากห้องปฏิบัติการจะมี Swelling power ได้ถึง 100 เมื่ออุณหภูมิ ใกล้เคียง 100 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับแป้งที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมจะมีค่า Swelling power ใกล้เคียง 100 ที่ 80 องศาเซลเซียส เมื่อแป้งสาคุเกิดเจลลิตไนซ์ด้วยความร้อน เม็ดแป้งที่พองตัวจะมีลักษณะคล้ายถุงเรียบ แป้งสาคุไม่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น เนื่องจากเม็ดแป้งที่ประกอบกันอยู่มีขนาดเล็กมาก และอยู่กันอย่างหนาแน่น จึงทำให้โมเลกุลของน้ำไม่สามารถแทรกเข้าไปได้ง่าย แต่เมื่อทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลของน้ำสามารถซึมผ่านผนังของเม็ดแป้งเข้าไปภายใน ทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัว แป้งที่ได้มีลักษณะเหนียวข้นหนืด และมีความแข็งแรงดีมาก ซึ่งในด้านของความหนืดถือได้ว่าเป็นสมบัติที่สำคัญที่สุดของแป้งสาคุ ซึ่งสมบัติอันนี้ทำให้ผู้ใช้และผู้บริโภครู้จักแป้งสาคุ เนื่องจากแป้งสาคุมีเม็ดที่ใหญ่ จึงมีกำลังการพองตัวที่สูง มีความหนืดสูง ซึ่งจากการตรวจสอบแป้งที่สกัดจากสาคุหลายๆพันธุ์ พบว่ามีความหนืดประมาณ 700 Brabender Unit (Haska, 1994; Fasihuddin *et al.*, 1999; Sriroth *et al.*, 1999)

การใช้ประโยชน์ของแป้งสาคุ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษบรรจุภัณฑ์ และอุตสาหกรรมทอผ้า นอกจากนี้ได้มีการใช้แป้งสาคุเป็นส่วนผสมในการผลิตฟิล์มชนิด LLDPE ซึ่งพบว่าค่าการต้านแรงดึงและค่าการยืดตัวเมื่อขาด (elongation at break) ของแผ่นฟิล์มลดลงเมื่อความเข้มข้นของแป้งสาคุเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าโมดูลัส (modulus) และค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อฟิล์มมีปริมาณแป้งสาคุเพิ่มขึ้น (Danjaji *et al.*, 2001)

2. สารยึดเหนี่ยว สารยึดเหนี่ยวที่ใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ อาจเป็นสารสังเคราะห์ หรือสารอินทรีย์ (Libermann, 1994) สารสังเคราะห์ส่วนมากเป็น สารผสมระหว่างพอลิเมอร์ เรซิน พลาสติกไซเซออร์ และไซ สำหรับสารอินทรีย์ ส่วนมากเป็น สารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ชนิดชอบน้ำ ได้แก่สารพอลิแซ็กคาไรด์ที่สามารถ กระจายตัว หรือละลายในน้ำให้ความหนืดที่เป็นสมบัติสำคัญ และอาจเกิดลักษณะเจลที่มีความ แข็งแรงหรืออ่อน ตัวอย่างของสารไฮโดรคอลลอยด์ เช่น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) และอัลจีเนต (alginate) ซึ่งมีสมบัติต่างๆดังนี้

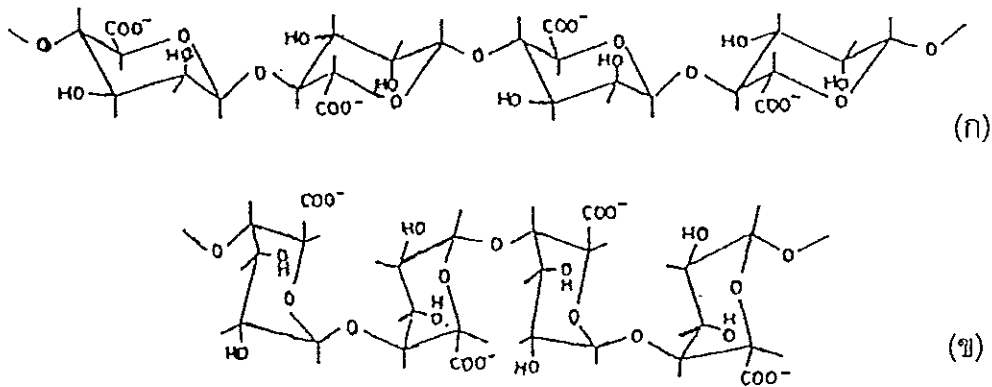
- คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นเซลลูโลสอีเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่าง ไซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตต (sodium monochloroacetate) กับอัลคาไลน์เซลลูโลส (alkali cellulose) ได้อนุพันธ์ของเซลลูโลสที่อยู่ในรูป คาร์บอกซีเมทิลอีเทอร์ (carboxymethyl ether) (ภาพที่ 4) CMC เป็นสารที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นอันตราย สมบัติอื่นๆ คือ ดูด ความชื้น คงตัวในช่วงความเป็นกรดต่าง 5-11 สำหรับอัตราการพองตัวขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความเข้มข้น และขนาดอนุภาค (ยิ่งขนาดอนุภาคใหญ่ การพองตัวยิ่งช้า) น้ำหนักโมเลกุล ประมาณ 2,100-500,000 ดาลตัน เมื่อละลายน้ำจะได้สารแขวนลอย มีลักษณะขุ่นหนืด มีความเป็นกาวสูง ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ สามารถละลายในตัวทำละลายผสม ระหว่างน้ำกับตัวทำละลายอินทรีย์ที่ละลายน้ำ เช่น เอทานอล หรือ อะซิโตน CMC เป็นสารที่ ปลอดภัยมาก ไม่พบรายงานเกี่ยวกับพิษภัยของสารนี้ทั้งต่อสิ่งมีชีวิตและสภาพแวดล้อม CMC เป็นสารที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆเนื่องจากละลายน้ำได้ มีความเป็นกลาง ถูก ย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ จึงไม่สะสมในแหล่งน้ำ มีค่า BOD (Biological Oxygen Demand) ต่ำ จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำและพืชน้ำ นอกจากนี้ CMC สามารถผสมกันได้ดีกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเนื่องจากองค์ประกอบเป็น เซลลูโลสเช่นกัน มีการนำ CMC ไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมกระดาษแข็งเพื่อเพิ่มความ เรียบและความแข็งแรง ส่วนในอุตสาหกรรมอาหารใช้เพื่อเพิ่มความคงตัว เพิ่มความหนืด และให้เนื้อสัมผัสแก่อาหาร (ยูกันท์ มิลเลอร์, 2540; Britt, 1970 อ้างโดย แสงสุรีย์ ไรจน์สกุล วงศ์)



ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

ที่มา : Heckman (1977)

- อัลจินต เป็นสารโพลีไดรคอลลอยด์ชนิดหนึ่ง ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยอยู่ในรูปเกลือของกรดอัลจินิก ซึ่งสามารถสกัดกรดอัลจินิกได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล เช่น *Laminaria hyberborea*, *L. digitata*, *L. japonica*, *Ascophyllum nodosum* และ *Macropyrifera* กรดอัลจินิกจัดเป็นสารพอลิแซคคาไรด์ที่มีประจุเป็นลบ ประกอบด้วย พอลิเมอร์เส้นตรงของ 1,4-linked  $\beta$ -D mannuronic และ  $\alpha$ -L guluronic acid พอลิเมอร์เหล่านี้อาจอยู่ในรูปที่มีพอลิเมอร์ชนิดเดียว (homopolymeric block) (ภาพที่ 5) หรือในรูปที่มีพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน (heteropolymeric block) ลักษณะทั้งสองนี้มีความสำคัญในการจำแนกความสามารถในการทำหน้าที่ของอัลจินตในทางการค้า เนื่องจากลักษณะนี้สัมพันธ์กับความสามารถในการจับยึดกับแคลเซียม อัลจินตเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ขึ้นอยู่กับระดับการพอลิเมอร์ไรซ์ (polymerized) หากระดับการพอลิเมอร์ไรซ์อยู่ในช่วง 100 – 300 จะมีน้ำหนักโมเลกุล ประมาณ 20,000 – 600,000 ดาลตัน สารละลายอัลจินตสามารถทำให้เกิดฟิล์มที่คงตัวโดยการเชื่อมไข้วกับแคลเซียมไอออน ภายใต้สภาวะที่ควบคุม เกิดเป็นโครงสร้างที่มีการเชื่อมไข้วกัน 3 มิติ (Wong et al., 1996)



ภาพที่ 5 โครงสร้างทางเคมีของอัลจิเนต อยู่ในรูปพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันที่มี mannuronic (ก) และ guluronic (ข)

ที่มา : Pomeranz และคณะ (1977)

ความสามารถในการละลายของอัลจิเนตขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือ เกลือแคลเซียม (calcium salt) ของกรดอัลจิินิกสามารถละลายน้ำได้น้อยมาก ส่วนเกลือโซเดียม (sodium salt) เกลือโพแทสเซียม (potassium salt) เกลือแอมโมเนียม (ammonium salt) และโพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol) ของกรดอัลจิินิก สามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ความหนืดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้น และน้ำหนักโมเลกุล (Whistler and Bemiller, 1973)



## วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ ที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน
2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน
3. ศึกษาแนวทางการใช้ประโยชน์บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ที่ผลิตขึ้น

## บทที่ 2

### วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

#### วัสดุ

##### 1. วัสดุดิบ

- เปลือกกุ้งกุลาดำ จากบริษัท ห้างเย็นโชติวัฒน์ จำกัด
- แป้ง ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังตราแมวแดงดาวเทียมลูกโลก ของห้างหุ้นส่วนจำกัด เกรียงไกรค้าแป้ง กรุงเทพฯ และแป้งสาคุ จากเกษตรกรรมหมู่ที่ 1 ต.ปะกาหาระวัง อ.เมือง จ.ปัตตานี
- แคนตาลูป พันธุ์ชั้นเลิศ
- फिल्मยืดพีวีซี
- ถาดโฟม

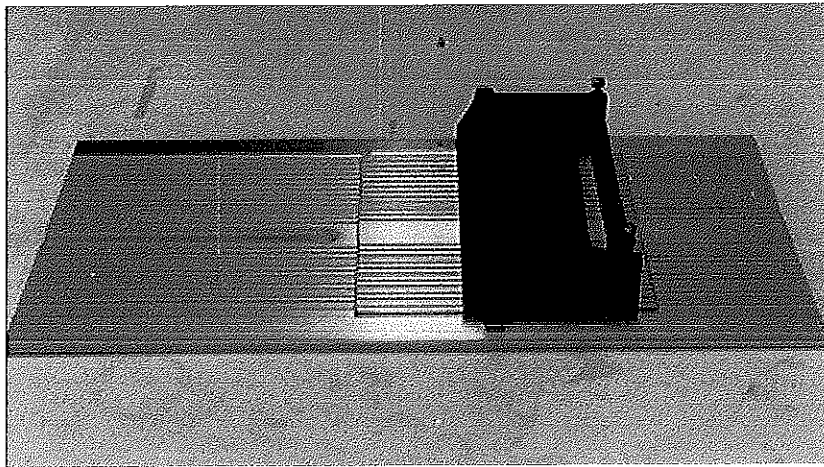
##### 2. สารเคมี

- สารเคมีที่ใช้ในการฟอกสีเปลือกกุ้ง ได้แก่ โซเดียมไฮโปคลอไรท์
- สารเคมีที่ใช้ในการสกัดโคติน และโคโตแซน ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดไฮโดรคลอริก
- สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบของเปลือกกุ้ง โคติน และโคโตแซน
- สารยัดเหนียว ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) และอัลจินต จากบริษัท Fluka จำกัด ประเทศสวีตเซอร์แลนด์

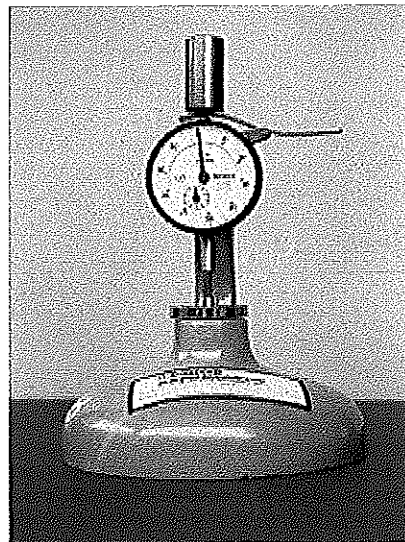
#### อุปกรณ์

- ตู้อบลมร้อนแบบถาด
- ตู้อบไฟฟ้ายี่ห้อ Memmert รุ่น ULM 50
- TLC Plate Coater พร้อมแผ่นกระจก (ภาพที่ 6)
- อุปกรณ์ และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น เถ้า และไนโตรเจน
- เครื่องวัดความหนา (Dial micrometer) ยี่ห้อ GOTECH รุ่น GT-313-A (ภาพที่ 7)
- เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ ยี่ห้อ LLOYD รุ่น LR 30 K (ภาพที่ 8)

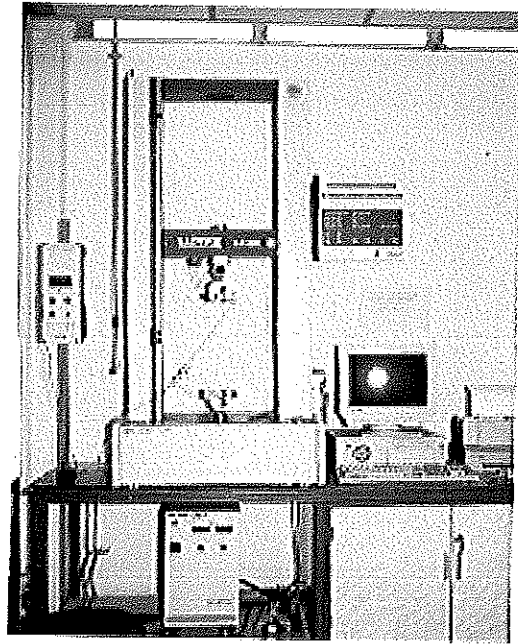
- อุปกรณ์วัดสมบัติการดูดซึมน้ำ ดัดแปลงจากมาตรฐาน ISO 535 (1991)
- เครื่องขึ้นรูปถาดบรรจุภัณฑ์ ประกอบด้วย แม่พิมพ์ตัวผู้ และแม่พิมพ์ตัวเมีย ตัวเครื่องประกอบด้วย ฐานทำด้วยเหล็กปลอดสนิมมีฮีตเตอร์ฝังอยู่ภายใน ส่วนแม่พิมพ์ทำด้วยเหล็กปลอดสนิมเป็นรูปถาดขนาด (กว้างxยาวxสูง) 12.5x12.5x1.5 เซนติเมตร ใช้ร่วมกับเครื่องอัดไฮดรอลิก และเครื่องควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ (ภาพที่ 9)



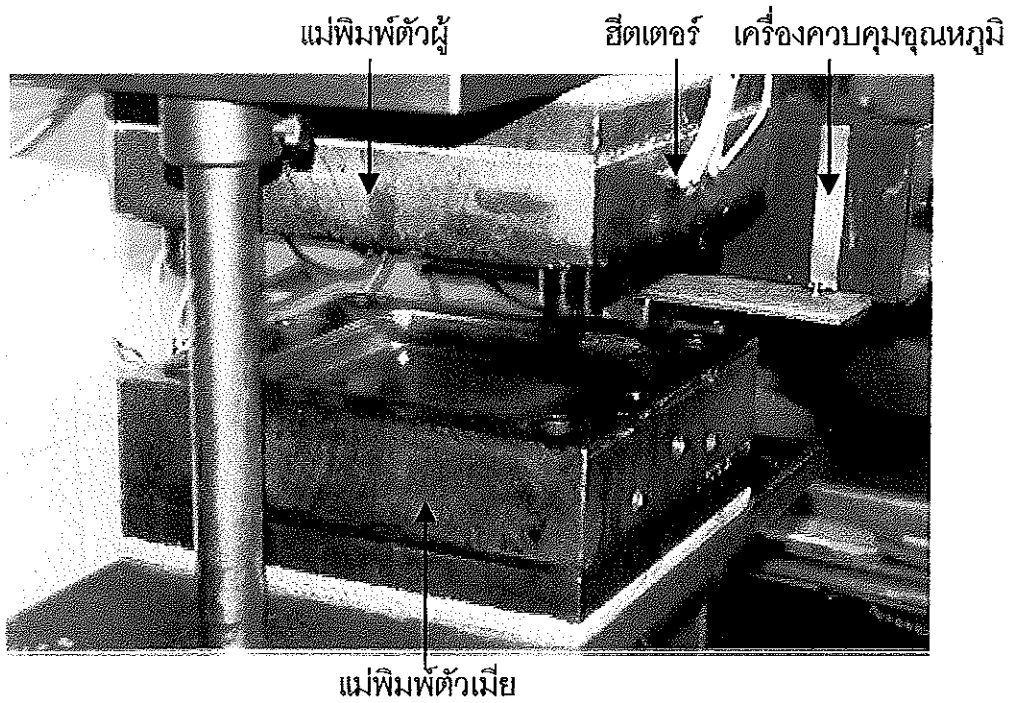
ภาพที่ 6 TLC Plate Coater พร้อมแผ่นกระจก



ภาพที่ 7 เครื่องวัดความหนา (Dial micrometer)



ภาพที่ 8 เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ LLOYD รุ่น LR 30K



ภาพที่ 9 เครื่องขึ้นรูปลาดบรจุภัณฑ์

## วิธีการ

### 1. การผลิตและวิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน

นำเปลือกกุ้งกุลาดำมาผลิตเปลือกกุ้งอบแห้ง ไคติน และไคโตแซน โดยดัดแปลงวิธีการของ Benjakul และ Sophanodora (1993) ดังนี้

#### - การเตรียมเปลือกกุ้งอบแห้ง

นำเปลือกกุ้งกุลาดำสดมาล้างด้วยน้ำให้สะอาด อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดด้วยเครื่องบดให้มีขนาดอนุภาคประมาณ 4-5 มิลลิเมตร ทำการฟอกสีด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้นร้อยละ 4 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนของเปลือกกุ้ง : สารละลาย เท่ากับ 1:5 ล้างด้วยน้ำกรองจนกระทั่งหมดกลิ่นของสารฟอกสี แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทำการฟอกสีและอบแห้งซ้ำอีกครั้งด้วยสภาวะเดิม

#### - การเตรียมไคติน

นำเปลือกกุ้งอบแห้งมาทำการกำจัดโปรตีน โดยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนของเปลือกกุ้ง:สารละลาย เท่ากับ 1:6 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ล้างจนกระทั่งเป็นกลางด้วยน้ำกรอง จากนั้นทำการกำจัดแร่ธาตุด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.75 นอร์มอล ที่อุณหภูมิห้องโดยมีการกวนร่วมด้วย ทิ้งไว้ค้างคืน ใช้อัตราส่วนของเปลือกกุ้ง : สารละลาย เท่ากับ 1:12 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ล้างจนกระทั่งเป็นกลางด้วยน้ำกรอง แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

#### - การเตรียมไคโตแซน

นำไคตินมาทำการกำจัดหมู่อะซิติก โดยการทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น ร้อยละ 50 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะสูญญากาศ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยอัตราส่วน ไคติน:สารละลายต่าง เท่ากับ 1:30 (น้ำหนักแห้ง/ปริมาตร) ล้างจนกระทั่งเป็นกลางด้วยน้ำกรอง กำจัดหมู่อะซิติกซ้ำอีก 1 ครั้ง โดยใช้เวลา 30 นาที ด้วยอัตราส่วนไคติน:สารละลายต่างเท่ากับ1:5 (น้ำหนักเปียก/ปริมาตร)

นำโคโตแซนที่ได้มาล้างจนกระทั่งเป็นกลางด้วยน้ำกรอง แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

นำเปลือกกุ้งอบแห้ง โคติน และโคโตแซนที่ผลิตได้มาบดให้มีขนาดอนุภาคประมาณ 0.4 - 1.0 มิลลิเมตร เก็บรักษาโดยการบรรจุในขวดพลาสติกที่อุณหภูมิห้อง สุ่มตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ ดังนี้ คือ

- ปริมาณความชื้น เถ้า และไนโตรเจน (A.O.A.C., 1999)
- ระดับหมู่อะซิติก โดยใช้เทคนิค cross - polarization magic angle spinning NMR (CP - MAS - NMR) ด้วยเครื่อง AVANCE 300 Mhz Digital NMR Spectrophotometer รุ่น DPX-300 ของ Bruker Switzerland ทำการวิเคราะห์ โดยงานบริการทางเทคนิค ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ กรุงเทพฯ

## 2. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้

### 2.1 ภาตบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เปลือกกุ้ง โคติน และโคโตแซน เป็นส่วนผสมในแผ่นเคลือบ

#### 2.1.1 ภาตสูตรแป้งพื้นฐาน

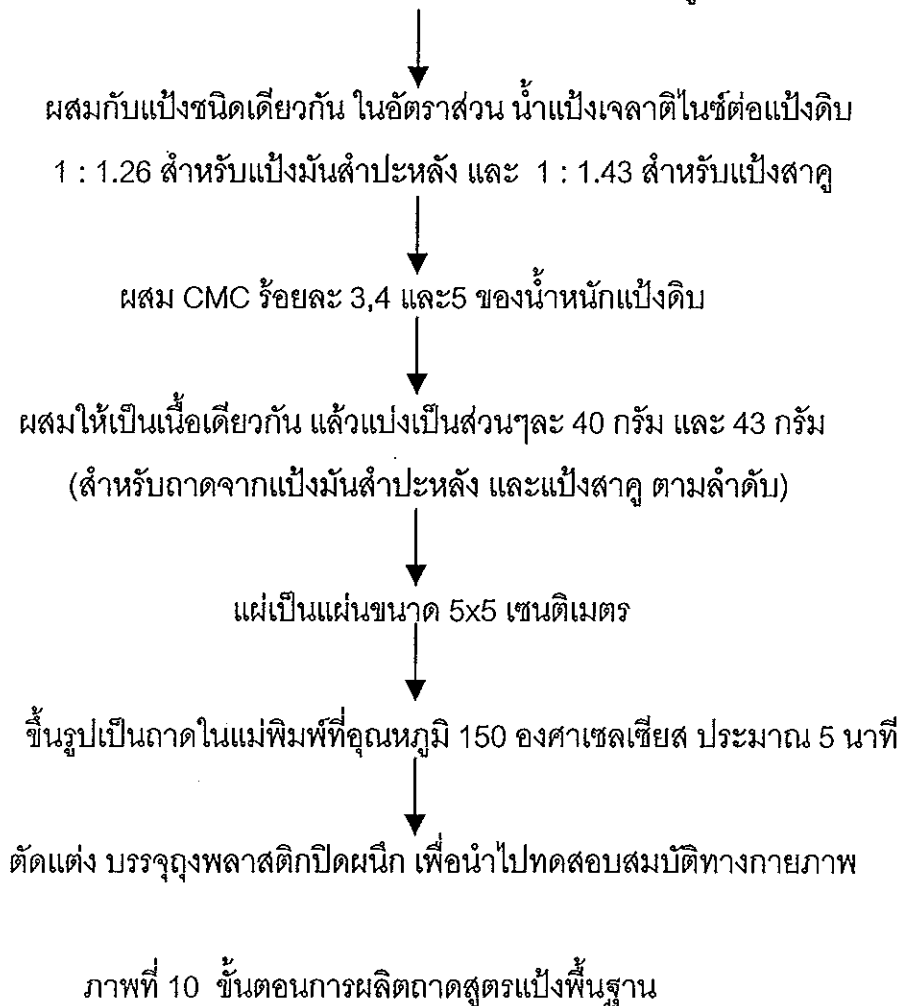
ขั้นตอนการผลิตภาตสูตรแป้งพื้นฐาน ประกอบด้วย การเตรียมน้ำแป้งเจลาตินไนซ์ จากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งสาคุ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.75 แล้วนำมาผสมกับแป้งดิบ ในอัตราส่วน น้ำแป้งเจลาตินไนซ์ต่อแป้งดิบเท่ากับ 1 : 1.26 สำหรับแป้งมันสำปะหลัง และ 1 : 1.43 สำหรับแป้งสาคุ (โดยน้ำหนักเปียก) จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ มาผสมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ร้อยละ 3, 4 และ 5 ของน้ำหนักแป้งดิบ แบ่งส่วนผสมมา 40 กรัม (สำหรับภาตจากแป้งมันสำปะหลัง) และ 43 กรัม (สำหรับภาตจากแป้งสาคุ) ผ่าเป็นแผ่นขนาด 5x5 เซนติเมตร แล้ววางบนแม่พิมพ์ที่มีอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส อัดแม่พิมพ์ให้ประกบติดกันนานประมาณ 5 นาที แล้วปลดแม่พิมพ์ออก นำตัวอย่างภาตออกจากแม่พิมพ์ ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิของภาตลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง ตัดแต่งแล้วชั่งน้ำหนัก (ภาพที่ 10) เก็บใส่ในถุงพลาสติก ปิดผนึก เพื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่

- การต้านทานแรงกด ตามวิธีของศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย (2539)
- การต้านแรงดัดโค้ง ตามวิธีของศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย (2539)

- การต้านแรงดันทะลุ โดยดัดแปลงวิธีตามมาตรฐานของ ASTM D 774 (1999)
- การดูดซึมน้ำ โดยดัดแปลงวิธีตามมาตรฐานของ ISO 535 (1991)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยมีปัจจัยที่ศึกษาคือ ปริมาณความเข้มข้นของ CMC 3 ระดับ ที่ใช้ร่วมกับส่วนผสมในการผลิต ถาดจากแป้งแต่ละชนิด ดังนั้น การทดลองประกอบด้วย 3 ชุดการทดลองจากแป้งแต่ละชนิด ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์ความแปรปรวน ( Analysis of Variance) และความแตกต่างของชุดการทดลองโดยใช้ Duncan's multiple range test (Duncan, 1955) ทำการคัดเลือกชุดการทดลองของถาดจากแป้งแต่ละชนิดที่มีสมบัติ การต้านแรงกด การต้านแรงดัดโค้ง การต้านแรงดัดทะลุ และการดูดซึมน้ำดีที่สุด เพื่อใช้เป็นสูตรแป้งพื้นฐานในการศึกษาต่อไป

น้ำแป้งเจลาตินไนซ์จากแป้งแต่ละชนิด(แป้งมันสำปะหลัง/แป้งสาคุ) ความเข้มข้นร้อยละ 0.75



### 2.1.2 การผลิตแผ่นเคลือบ

การผลิตแผ่นเคลือบ (ภาพที่ 11 ) โดยใช้วัสดุ 3 ชนิด คือ เปลือกกุ้งอบแห้ง ไคติน และไคโตแซน ซึ่งควบคุมให้มีขนาดอนุภาคในช่วง 0.4-1.0 มิลลิเมตร ผสมกับสารละลายอัลจิเนตที่เข้มข้นร้อยละ 3 โดยใช้ปริมาณเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน ร้อยละ 4, 6, 8, 10 และ 12 โดยน้ำหนักของสารละลายอัลจิเนต จากนั้นเทส่วนผสมลงใน TLC Plate Coater ดันแผ่นกระจกผ่าน TLC Plate Coater แล้วนำแผ่นกระจกที่มีแผ่นเคลือบจุ่มลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 5 ดึงแผ่นเคลือบออก นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ตัดเป็นแผ่นขนาด 12x12 เซนติเมตร เพื่อใช้ในการผลิตถาดที่มีแผ่นเคลือบ และสุ่มตัวอย่างแผ่นเคลือบไปวัดค่าความหนา และสมบัติการดูดซึมน้ำ โดยดัดแปลงวิธีมาตรฐานของ ISO 535 (1991)

### 2.1.3 การผลิตถาดที่มีแผ่นเคลือบ (Sealant Tray)

ขั้นตอนการผลิตถาดที่มีแผ่นเคลือบ (ภาพที่ 11) นำส่วนผสมในการผลิตถาดจากแป้งสุตรพื้นฐานที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 2.1.1 น้ำหนัก 40 และ 43 กรัม สำหรับส่วนผสมแป้งมันสำปะหลัง และแป้งสาคุ ตามลำดับ มาแผ่เป็นแผ่นขนาด 5x5 เซนติเมตร วางบนแผ่นแม่พิมพ์ แล้วนำแผ่นเคลือบแต่ละชนิดจากข้อ 2.1.2 วางทับด้านบนของแผ่นแป้ง แล้วขึ้นรูปเป็นถาดในแม่พิมพ์ นำตัวอย่างออกจากแม่พิมพ์ ตั้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง ตัดแต่งแล้วชั่งน้ำหนัก เก็บใส่ในถุงพลาสติก ปิดผนึกเพื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ เช่นเดียวกับข้อ 2.1.1

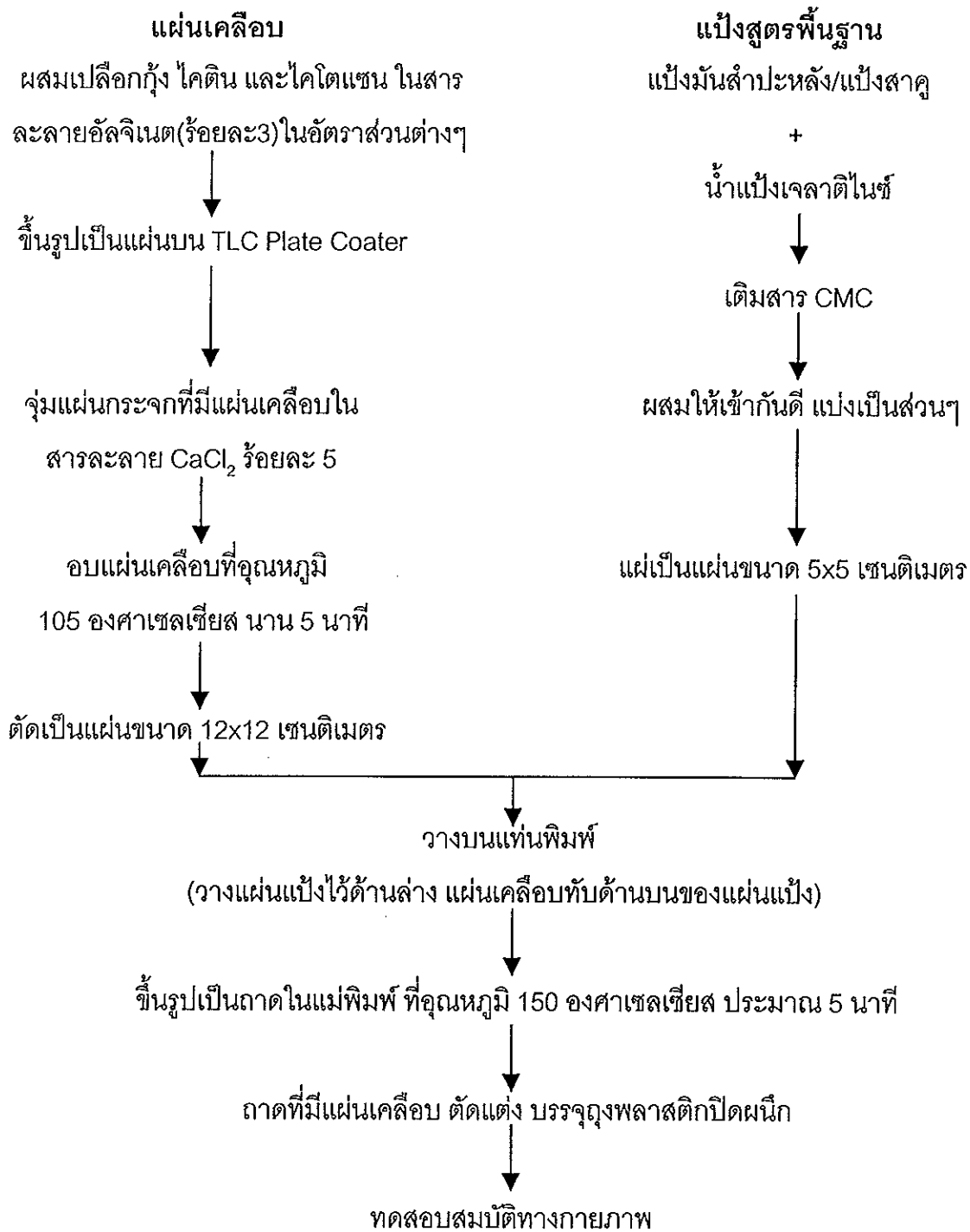
วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จัดชุดการทดลองของถาดที่ใช้แป้งแต่ละชนิดแบบแฟคตอเรียล โดยมีปัจจัยที่ศึกษา คือ

- (1) ชนิดของวัสดุที่ใช้ผลิตแผ่นเคลือบ มี 3 ชนิด คือ เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน
- (2) ปริมาณของวัสดุที่ใช้ผสมกับสารละลายอัลจิเนต (ร้อยละ 3) มี 5 ระดับ คือ ร้อยละ 4, 6, 8, 10 และ 12 โดยน้ำหนักของสารละลายอัลจิเนต

ดังนั้นการทดลองประกอบด้วย ชุดการทดลองของถาดที่ใช้แป้งแต่ละชนิดทั้งหมด  $3 \times 5 = 15$  ชุดการทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และความแตกต่างของชุดการทดลองโดยใช้ Duncan's multiple range test (Duncan, 1955) คัดเลือกชุดการทดลองของถาดที่ใช้แป้งแต่ละชนิดที่



มีสมบัติการต้านแรงกด การต้านแรงดัดโค้ง การต้านแรงดัดทะลุ และการดูดซึมน้ำที่ดีที่สุด เพื่อนำไปใช้ทดสอบการประยุกต์ใช้ภาคบรรจุภัณฑ์ต่อไป



ภาพที่ 11 ขั้นตอนการผลิตภาคที่ใช้เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนเป็นแผ่นเคลือบ

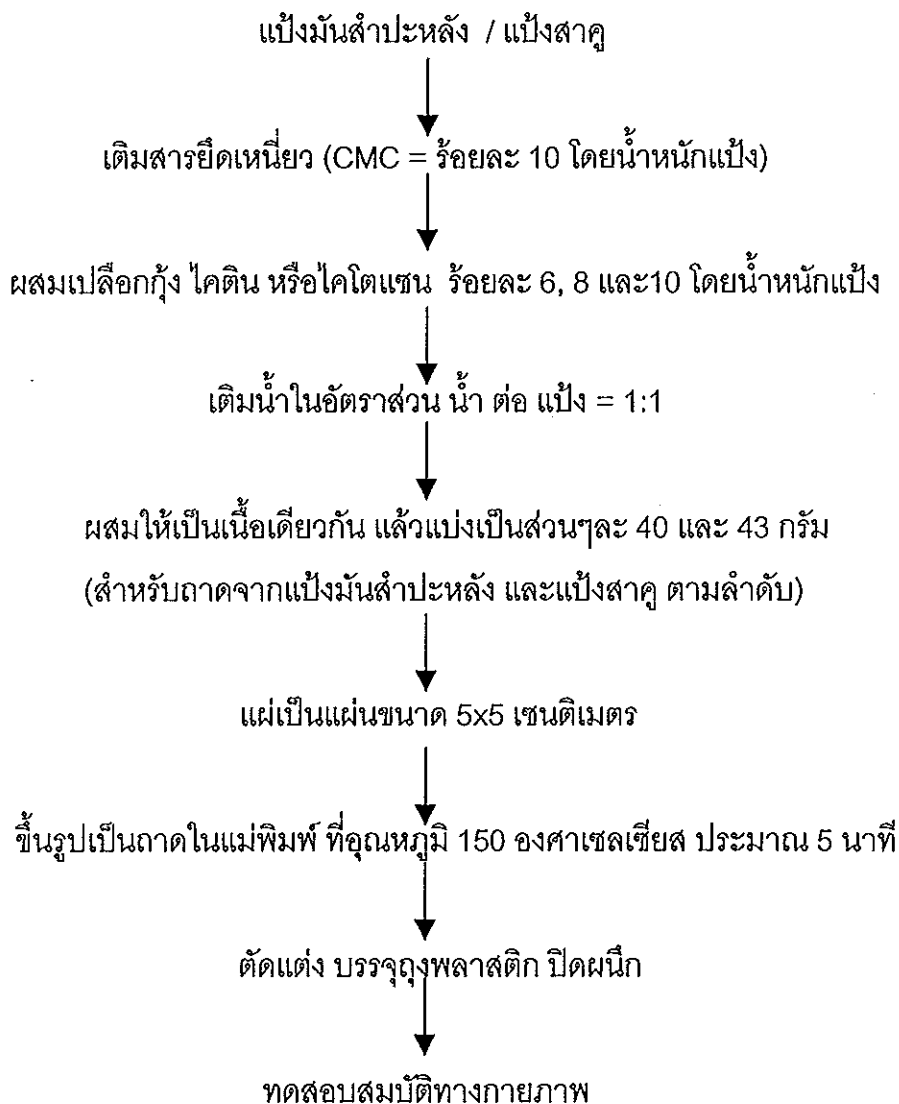
## 2.2 การผลิตถาดที่ใช้เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนเป็นส่วนผสมในแป้งพื้นฐาน (Composite Tray)

ขั้นตอนการผลิตถาดที่มีเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนเป็นส่วนผสมในแป้งพื้นฐาน ดังแสดงในภาพที่ 12 คือ นำเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน ในปริมาณร้อยละ 6, 8 และ 10 โดยน้ำหนักแป้ง มาผสมกับแป้งพื้นฐาน 2 ชนิด คือ แป้งมันสำปะหลัง หรือแป้งสาคุ แล้วเติมน้ำในอัตราส่วน 1:1 ของน้ำหนักแป้ง จากนั้นเติมสารยึดเหนี่ยว CMC ในปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักแป้ง ผสมให้เข้ากันในเครื่องผสม แบ่งส่วนผสมมาส่วนละ 40 กรัม (สำหรับถาดจากแป้งมันสำปะหลัง) และ 43 กรัม (สำหรับถาดจากแป้งสาคุ) นำมาแผ่เป็นแผ่นขนาด 5x5 เซนติเมตร แล้วขึ้นรูปในแม่พิมพ์ นำตัวอย่างออกจากแม่พิมพ์ ตั้งให้อุณหภูมิลดลงเท่ากับ อุณหภูมิห้อง ตัดแต่งแล้วชั่งน้ำหนัก เก็บใส่ในถุงพลาสติก ปิดผนึก เพื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพเช่นเดียวกับข้อ 2.1.1

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จัดชุด การทดลองของถาดจากแป้งแต่ละชนิดแบบแฟคตอเรียล โดยมีปัจจัยที่ศึกษา คือ

- (1) ชนิดของวัสดุที่ใช้ผสมในแป้งพื้นฐานแต่ละชนิด ได้แก่ เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน
- (2) ปริมาณของวัสดุที่ใช้ผสมในแป้งพื้นฐาน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 6, 8 และ 10 โดยน้ำหนัก แป้ง

ดังนั้นการทดลองประกอบด้วย ชุดการทดลองของถาดที่ใช้แป้งแต่ละชนิดทั้งหมด  $3 \times 3 = 9$  ชุดการทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และความแตกต่างของชุดการทดลองโดยใช้ Duncan's multiple range test (Duncan, 1955) คัดเลือกชุดการทดลองของถาดที่ใช้แป้งแต่ละชนิดที่มีสมบัติ การต้านแรงกด การต้านแรงดัดโค้ง การต้านแรงดัดทะลุ และการดูดซึมน้ำที่ดีที่สุด เพื่อนำไป ใช้ทดสอบการประยุกต์ใช้ถาดบรรจุภัณฑ์ต่อไป



ภาพที่ 12 ขั้นตอนการผลิตถาดที่ใช้เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนเป็นส่วนผสมในแป้งพื้นฐาน

### 3. การประยุกต์ใช้ถาดบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตขึ้น

คัดเลือกถาดบรรจุภัณฑ์จากแป้งแต่ละชนิดซึ่งมีสมบัติเหมาะสมที่สุด จากข้อ 2.1 และ 2.2 มาทำการทดสอบการประยุกต์ใช้ในการบรรจุผลไม้ตัดแต่ง โดยมีวิธีการดังนี้

ซึ่งเนื้อแคนตาลูปตัดแต่งหนัก 120 กรัม บรรจุในถาดบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตขึ้น และถาดโฟมที่มีขนาดเท่ากัน (ชุดควบคุม) หุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทุก 1 วัน เป็นเวลา 5 วัน ดังต่อไปนี้

3.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของชิ้นแคนตาลูป และภาคบรรจุภัณฑ์โดยการชั่งน้ำหนัก

3.2 การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสของชิ้นแคนตาลูป ด้านสี กลิ่นรส ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 10 คน โดยให้คะแนนแบบ Hedonic scale ประกอบด้วย 9 ระดับคะแนน กำหนดให้คะแนน 1 หมายถึงไม่ชอบมากที่สุด คะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด (Lawless and Heymann, 1999) วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จัดชุดการทดลองแบบแฟคตอเรียล มีชุดการทดลองทั้งหมด 5 ชุดการทดลอง นำคะแนนที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) เปรียบเทียบความแตกต่างของชุดการทดลองและอายุการเก็บรักษาโดยใช้ Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)

### บทที่ 3

#### ผลและวิจารณ์

#### 1. องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน

องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน ที่เตรียมได้จากเปลือกกุ้ง กูลาดำในการทดลองครั้งนี้ (ตารางที่ 2) พบว่าเปลือกกุ้งมีปริมาณความชื้นสูงคือ ร้อยละ 6.70 ไคตินมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดและต่ำกว่าไคโตแซน อาจเนื่องจากสภาวะในการอบแห้งที่แตกต่างกัน และเนื่องจากไคโตแซนมีสมบัติการจับน้ำได้สูงกว่าไคติน (Knorr, 1982) ปริมาณเถ้าซึ่งบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่ามีมากที่สุดเปลือกกุ้ง (ร้อยละ 20.59) ส่วนในไคตินและไคโตแซนมีอยู่ปริมาณน้อย (ร้อยละ 1.45 และ 0.75 ตามลำดับ) เนื่องจากแร่ธาตุต่างๆในเปลือกกุ้งได้สูญเสียไปในระหว่างขั้นตอนของการกำจัดแร่ธาตุเพื่อผลิตเป็นไคติน และไคโตแซน นอกจากนี้ มีรายงานว่า การกำจัดแร่ธาตุที่ใช้กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นมากกว่า 1.25 นอร์มอล มีผลให้ความหนืดของไคโตแซน ลดลง (Madhavan and Ramachandrannair, 1974)

สำหรับปริมาณไนโตรเจน พบว่าเปลือกกุ้งมีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุด (ร้อยละ 8.98) ส่วนปริมาณไนโตรเจนในไคตินที่ได้จากการทดลองครั้งนี้มีค่าเท่ากับร้อยละ 6.69 ซึ่งต่ำกว่าค่าทางทฤษฎีเพียงเล็กน้อยสำหรับไคตินบริสุทธิ์ (ร้อยละ 6.9) (No et al., 1989) สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ อาจเนื่องจากการสูญเสียหมู่เอมีน และการปนเปื้อนจากองค์ประกอบอื่น เช่น เถ้า ซึ่งเหลืออยู่ภายหลังจากกำจัดแร่ธาตุที่ไม่เหมาะสม (Rutherford and Austin, 1978) ระดับการกำจัดหมู่อะซิติกของไคโตแซนมีค่าเท่ากับร้อยละ 74.2 บ่งชี้ว่า ไคโตแซนจากการทดลองนี้มีความสามารถในการละลายในสารละลายกรดได้ เพราะโดยส่วนใหญ่เมื่อหมู่อะซิติกถูกกำจัดออกไปมากกว่าร้อยละ 60 ขึ้นไป ไคโตแซนที่ได้สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดอะซิติก กรดแลคติก กรดบิวทีริก ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า การกำจัดหมู่อะซิติกทำให้มีการเพิ่มขึ้นของหมู่เอมีนอิสระ ส่งผลให้ไคโตแซนมีสมบัติการเป็นสารที่มีประจุบวกเพิ่มขึ้น จึงมีความสามารถในการละลายได้เพิ่มขึ้น (Robert, 1997)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน

ชนิดของ วัสดุ	องค์ประกอบทางเคมี			
	ความชื้น* (ร้อยละ)	เถ้า* (ร้อยละนน.แห้ง)	ไนโตรเจน* (ร้อยละนน.แห้ง)	ระดับการกำจัดหมู่อะซิติก (ร้อยละ)
เปลือกกุ้ง	6.70±0.04	20.59±0.57	8.98±0.06	-
ไคติน	5.15±0.05	1.45±0.05	6.69±0.06	-
ไคโตแซน	5.55±0.04	0.75±0.17	7.41±0.11	74.2

\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

## 2. การพัฒนาทัศนภาพของผลิตภัณฑ์ย่อยสลายได้

### 2.1 ทัศนภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนเป็นส่วนผสมในแผ่นเคลือบ

#### 2.1.1 ทัศนภาพเบื้องต้น

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อนำส่วนผสมของแป้งพื้นฐานมาขึ้นรูปเป็นถาดในแม่พิมพ์โดยใช้ความร้อนร่วมกับแรงดัน พบว่าความร้อนสามารถทำลายพันธะไฮโดรเจนของแป้ง ทำให้น้ำสามารถแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างโมเลกุลของแป้ง อะไมโลสภายในเม็ดแป้งเกิดการละลายและดูดน้ำไว้ ทำให้น้ำเม็ดแป้งเกิดการพองตัวจนเม็ดแป้งแตก บางส่วนของอะไมโลสเคลื่อนที่ออกมา ได้สารละลายที่มีลักษณะเหนียวข้น และเกิดการจับยึดกันแน่นระหว่างโมเลกุลของแป้ง (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรณี เดชกำแหง, 2530; Waniska and Gomez, 1992) นอกจากนี้สารยึดเหนี่ยว CMC ที่มีความเป็นกาวสูง และมีโมเลกุลบางส่วนเป็นเซลลูโลส สามารถจับกับแป้งได้เป็นอย่างดี (Britt, 1970) ในขณะเดียวกันแรงดันช่วยให้ส่วนผสมกระจายไปทั่วแม่พิมพ์ พร้อมทั้งควบคุมส่วนผสมให้มีรูปร่างตามแบบ และช่วยให้ผิวหน้าถาดเรียบสม่ำเสมอ ความดันภายในแม่พิมพ์ซึ่งมากกว่าภายนอกจึงดันน้ำส่วนที่กลายเป็นไอให้ระเหยออกมาอย่างรวดเร็ว ทำให้ถาดเกิดการพองตัว และยังคงให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ต่ออีกจนกระทั่งน้ำภายในระเหยออกหมด ได้ถาดที่มีความคงตัว

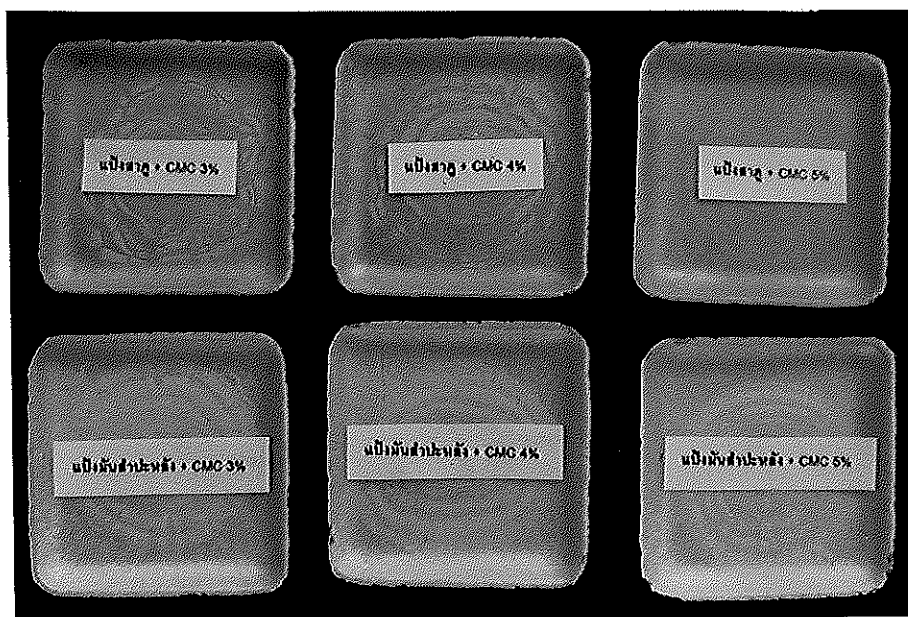
จากการทดลองขึ้นรูปจากสูตรแป้งพื้นฐาน พบว่าสภาพที่ผลิตทั้งจากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งสาคู มีความกว้าง และความยาวของปากถาดวัดภายใน (top in) เท่ากัน ประมาณ 12 เซนติเมตร ความกว้างและความยาวของกันถาดเท่ากันประมาณ 10 เซนติเมตร มีความลึกด้านเอียง (slant depth) ประมาณ 1.5 เซนติเมตร ซึ่งค่าเหล่านี้มีค่าใกล้เคียงกับถาดเสริมเส้นใยที่ได้จากการทดลองของ ประพนอม ตั้งมั่นคง (2542) ถาดจากแป้งทั้งสองชนิดมีความหนาอยู่ในช่วง 4.92-5.08 เซนติเมตร ถาดจากแป้งมันสำปะหลังมีน้ำหนักประมาณ 17.57-18.21 กรัม ขณะที่ถาดจากแป้งสาคูมีน้ำหนักมากกว่า คือ 19.21-19.97 กรัม ซึ่งค่าความหนาและน้ำหนักของถาดจากแป้งแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นของ CMC ต่างกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P>0.05$ ) (ตารางที่ 3) ลักษณะของถาดจากแป้งทั้งสองชนิดมีผิวเรียบ แน่นทึบ ถาดจากแป้งมันสำปะหลังมีสีขาว ขณะที่ถาดจากแป้งสาคูเป็นสีน้ำตาล (ภาพที่ 13) อาจเป็นเพราะแป้งมันสำปะหลังผ่านกระบวนการฟอกสีที่ดีกว่า และมีเม็ดสีน้อยกว่าแป้งสาคู ถาดจากแป้งสาคูมีน้ำหนักมากกว่าถาดจากแป้งมันสำปะหลังทั้งที่มีความหนาใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เป็นเพราะถาดที่ผลิตจากแป้งสาคูใช้ปริมาณแป้งมากกว่าถาดจากแป้งมันสำปะหลัง หากใช้แป้งปริมาณเท่ากันไม่สามารถขึ้นรูปถาดจากแป้งสาคูได้อย่างสมบูรณ์ โดยมีการกระจายตัวไม่เต็มแม่พิมพ์ในขณะขึ้นรูป จึงต้องเพิ่มปริมาณแป้ง เพื่อให้มีการกระจายตัวเต็มแม่พิมพ์ และเพิ่มความหนาเพิ่มขึ้น Sriroth และคณะ (1999) รายงานว่า แป้งสาคูต้องการพลังงานในการเปลี่ยนรูปมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง ขณะที่ Wurzburg (1986) รายงานว่า แป้งมันสำปะหลังมีการพองตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อสัมผัสกับน้ำและความร้อน ดังนั้นที่ระดับอุณหภูมิในการขึ้นรูป และปริมาณแป้งที่ใช้เท่ากัน แป้งสาคูจึงมีการเปลี่ยนรูปและกระจายตัวได้น้อยกว่าแป้งมันสำปะหลัง จึงต้องใช้แป้งสาคูในปริมาณสูงขึ้น

ตารางที่ 3 ความหนาและน้ำหนักของถาดสูตรแป้งพื้นฐานที่ใช้ CMC ความเข้มข้นต่างกัน

ชนิดของถาด	ความหนา (มิลลิเมตร) *	น้ำหนัก (กรัม)*
แป้งมันสำปะหลัง + CMC 3%	5.00±0.27 <sup>a#</sup>	17.57±0.61 <sup>a</sup>
แป้งมันสำปะหลัง + CMC 4%	4.92±0.23 <sup>a</sup>	18.14±0.75 <sup>a</sup>
แป้งมันสำปะหลัง + CMC 5%	5.08±0.24 <sup>a</sup>	18.21±1.10 <sup>a</sup>
แป้งสาคุ + CMC 3%	5.01±0.29 <sup>a</sup>	19.21±1.04 <sup>a</sup>
แป้งสาคุ + CMC 4%	5.06±0.30 <sup>a</sup>	19.58±0.91 <sup>a</sup>
แป้งสาคุ + CMC 5%	4.98±0.20 <sup>a</sup>	19.97±0.81 <sup>a</sup>

\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 12 ซ้ำ

# ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ของถาดจากแป้งแต่ละชนิด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)



ภาพที่ 13 ถาดจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคุพื้นฐานที่มี CMC



เมื่อนำภาคตัวอย่างไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ (ตารางที่ 4) พบว่า ภาคจาก แป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคุ ที่ความเข้มข้นของ CMC เพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าการต้านแรงกด การต้านแรงดัดโค้ง และการต้านแรงดันทะลุเพิ่มขึ้น แต่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ( $P>0.05$ ) (ตารางที่ 4) ส่วนค่าการดูดซึมน้ำของภาคจากแป้งทั้งสองชนิดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 3 และ 4) เมื่อความเข้มข้นของ CMC เพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่า CMC จะเป็นสารยึดเหนี่ยวที่สำคัญในการทำให้ภาคมีความแข็งแรง แต่ CMC มีสมบัติทำให้เกิด การอ้วนน้ำได้ (Whistler and BeMiller, 1973) จึงทำให้ภาคที่มีความเข้มข้นของ CMC สูงขึ้น ดูดซึมน้ำได้เร็วขึ้น จากสมบัติต่างๆสามารถสรุปได้ว่า ภาคจากสูตรแป้งพื้นฐานที่มีสมบัติ การดูดซึมน้ำน้อย มีความแข็งแรงสูง ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ เหมาะสมที่จะนำไปใช้ผลิตภาคที่มี แผ่นเคลือบต่อไปคือ สูตรที่มีการใช้ CMC ร้อยละ 3 สำหรับแป้งทั้งสองชนิด ซึ่งการที่ต้อง ใช้ CMC ในการผลิตภาค เนื่องจากการขึ้นรูปภาคที่ใช้เฉพาะส่วนผสมของแป้งกับน้ำโดยไม่มี สารยึดเหนี่ยว ได้ภาคที่มีรอยร้าว เปราะ แตกหักง่าย อาจเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง โมเลกุลของแป้งมีน้อย (นพรัตน์ อุทัยพันธ์, 2540)

ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพของภาคสูตรแป้งพื้นฐานที่ใช้ CMC ความเข้มข้นต่างกัน

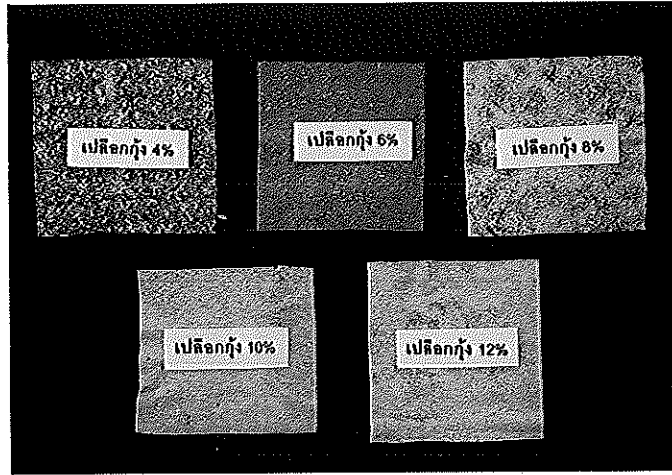
ชนิดของภาค	ค่าการ* ดูดซึมน้ำ (g/cm <sup>2</sup> )	ค่าการต้าน* แรงกด (N/cm <sup>2</sup> )	ค่าการต้าน* แรงดัดโค้ง (N/cm <sup>2</sup> )	ค่าการต้าน* แรงดันทะลุ (N/cm <sup>2</sup> )
แป้งมันสำปะหลัง + CMC 3%	0.039±0.005 <sup>ab</sup>	2.940±0.18 <sup>a</sup>	2.217±0.19 <sup>a</sup>	10.143±0.42 <sup>a</sup>
แป้งมันสำปะหลัง + CMC 4%	0.040±0.003 <sup>a</sup>	3.056±0.12 <sup>a</sup>	2.377±0.21 <sup>a</sup>	10.509±0.63 <sup>a</sup>
แป้งมันสำปะหลัง + CMC 5%	0.048±0.002 <sup>b</sup>	3.312±0.20 <sup>a</sup>	2.566±0.16 <sup>a</sup>	11.000±0.14 <sup>a</sup>
แป้งสาคุ + CMC 3%	0.031±0.002 <sup>a</sup>	3.080±0.08 <sup>a</sup>	2.348±0.11 <sup>a</sup>	11.020±0.29 <sup>a</sup>
แป้งสาคุ + CMC 4%	0.031±0.001 <sup>a</sup>	3.234±0.11 <sup>a</sup>	2.578±0.15 <sup>a</sup>	11.236±0.32 <sup>a</sup>
แป้งสาคุ + CMC 5%	0.035±0.001 <sup>b</sup>	3.458±0.22 <sup>a</sup>	2.749±0.28 <sup>a</sup>	11.737±0.12 <sup>a</sup>

\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

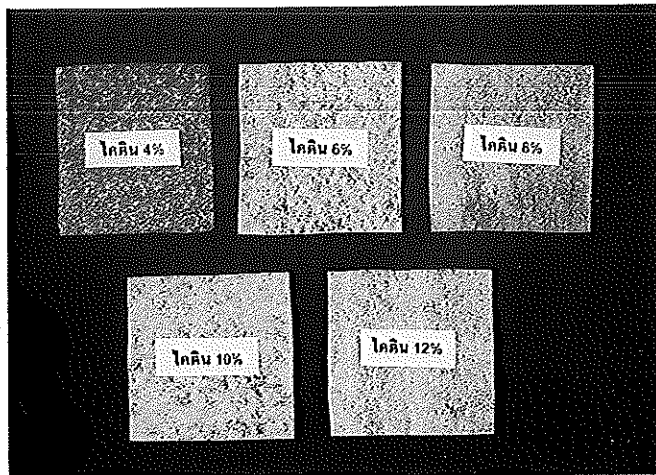
# ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ของภาคจากแป้งแต่ละชนิด ไม่มีความแตกต่างอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ )

### 2.1.2 แผ่นเคลือบ

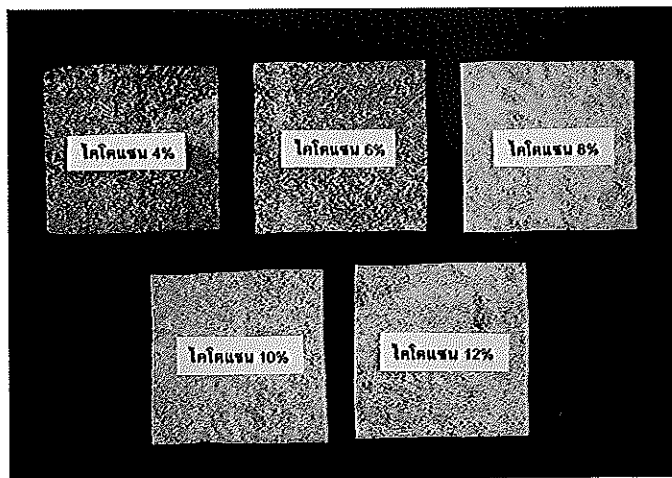
แผ่นเคลือบที่ผลิตได้จากวัสดุต่างชนิด (เปลือกกุ้ง ไคติน หรือไคโตแซน) ที่ความเข้มข้นต่างกัน (ร้อยละ 4, 6, 8, 10 และ 12 โดยน้ำหนักของสารละลายอัลจินต ร้อยละ 3) มีลักษณะที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 14) โดยแผ่นเคลือบที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง มีสีที่เข้มและผิวหยาบกว่าแผ่นเคลือบที่ผลิตจากไคติน และไคโตแซน ส่วนความหนาและค่าสมบัติการดูดซึมน้ำของแผ่นเคลือบ (ตารางที่ 5) พบว่าความหนาของแผ่นเคลือบจากวัสดุแต่ละชนิดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของวัสดุแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น ( $P < 0.05$ ) ส่วนค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นเคลือบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของวัสดุแต่ละชนิดเพิ่มขึ้นเช่นกัน ( $P < 0.05$ ) โดยแผ่นเคลือบที่ผลิตจากเปลือกกุ้งมีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด ขณะที่แผ่นเคลือบจากไคโตแซนมีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าแผ่นเคลือบจากไคติน ทั้งนี้เป็นเพราะไคโตแซนมีสมบัติจับกับน้ำได้สูงกว่าไคติน (Knorr, 1982)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 14 แผ่นเคลือบจากเปลือกกุ้ง (ก) ไคติน (ข) และไคโตแซน (ค)

ความเข้มข้น

น้ำ (g/cm<sup>2</sup>)

±0.002<sup>cd</sup>

±0.002<sup>cd</sup>

±0.001<sup>cd</sup>

±0.003<sup>d</sup>

±0.002<sup>d</sup>

±0.001<sup>a</sup>

±0.000<sup>a</sup>

±0.001<sup>ab</sup>

±0.000<sup>ab</sup>

±0.002<sup>bc</sup>

±0.001<sup>b</sup>

±0.002<sup>b</sup>

±0.002<sup>bc</sup>

±0.003<sup>c</sup>

±0.000<sup>c</sup>

สถิติ (P>0)

ไขมันสำหรับ

ยามีแผ่นเคลือบ

ลักษณะแตกต่าง

ตารางที่ 5 ความหนาและค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นเคลือบจากวัสดุชนิดและความเข้มข้นต่างกัน

ชนิดของแผ่นเคลือบ	ความหนา (มิลลิเมตร)*	การดูดซึมน้ำ (g/cm <sup>2</sup> )*
เปลือกกุ้ง 4%	0.87 ± 0.03 <sup>d#</sup>	0.045 ± 0.002 <sup>cd</sup>
เปลือกกุ้ง 6%	0.98 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.045 ± 0.002 <sup>cd</sup>
เปลือกกุ้ง 8%	1.05 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.046 ± 0.001 <sup>cd</sup>
เปลือกกุ้ง 10%	1.07 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.048 ± 0.003 <sup>d</sup>
เปลือกกุ้ง 12%	1.12 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.049 ± 0.002 <sup>d</sup>
ไคติน 4%	0.88 ± 0.03 <sup>d</sup>	0.031 ± 0.001 <sup>a</sup>
ไคติน 6%	0.93 ± 0.01 <sup>cd</sup>	0.032 ± 0.000 <sup>a</sup>
ไคติน 8%	0.95 ± 0.01 <sup>bc</sup>	0.034 ± 0.001 <sup>ab</sup>
ไคติน 10%	1.08 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.034 ± 0.000 <sup>ab</sup>
ไคติน 12%	1.10 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.036 ± 0.002 <sup>bc</sup>
ไคโตแซน 4%	0.88 ± 0.02 <sup>d</sup>	0.035 ± 0.001 <sup>b</sup>
ไคโตแซน 6%	0.91 ± 0.02 <sup>cd</sup>	0.035 ± 0.002 <sup>b</sup>
ไคโตแซน 8%	0.95 ± 0.02 <sup>bc</sup>	0.036 ± 0.002 <sup>bc</sup>
ไคโตแซน 10%	1.01 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.038 ± 0.003 <sup>c</sup>
ไคโตแซน 12%	1.07 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.040 ± 0.000 <sup>c</sup>

\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

# ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

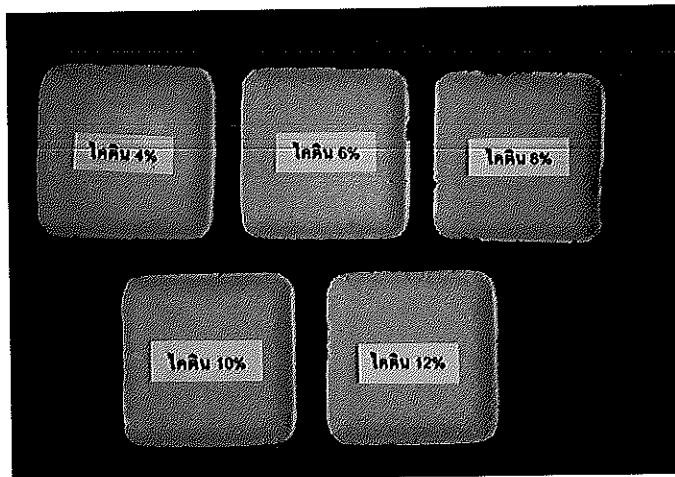
### 2.1.3 ถาดบรรจุภัณฑ์เคลือบด้วยแผ่นเคลือบ (Sealant Tray)

การผลิตถาดที่มีแผ่นเคลือบ โดยใช้แป้งสูตรพื้นฐานสองชนิด คือ แป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคูที่ผ่านการคัดเลือกจาก 2.1.1 มาทำการขึ้นรูปในแม่พิมพ์โดยมีแผ่นเคลือบแต่ละชนิดวางทับด้านบนของแผ่นแป้ง เมื่อขึ้นรูปเสร็จแล้วได้เป็นถาดที่มีลักษณะแตกต่าง

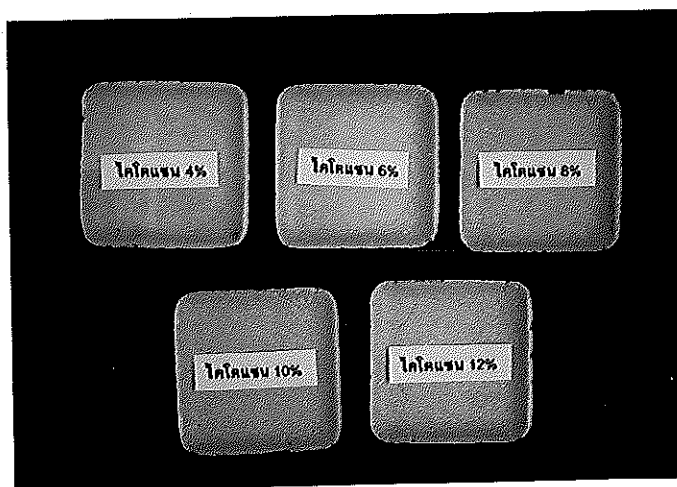
กันเล็กน้อย คือ ถาดจากแป้งทั้งสองชนิดที่มีแผ่นเคลือบจากเปลือกกุ้งมีสีเหลืองเข้ม ผิวหยาบเล็กน้อย ส่วนถาดจากแป้งทั้งสองชนิดที่มีแผ่นเคลือบจากไคติน และจากไคโตแซน มีสีเหลืองอ่อน ผิวเรียบ แน่นทึบ (ภาพที่ 15 และภาพที่ 16) ถาดที่มีแผ่นเคลือบแต่ละชนิดมีความหนา และน้ำหนักเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของวัสดุแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ตารางที่ 6) โดยถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่เคลือบด้วยแผ่นเคลือบชนิดและความเข้มข้นต่างๆ มีความหนาอยู่ในช่วง 5.26-5.59 มิลลิเมตร และมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 20.64-21.81 กรัม ส่วนถาดจากแป้งสาकुที่เคลือบด้วยแผ่นเคลือบต่างๆ มีความหนาในช่วง 5.23-5.70 มิลลิเมตร และมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 22.76-24.08 กรัม อย่างไรก็ตาม น้ำหนักของถาดที่มีแผ่นเคลือบชนิดต่างๆ ที่ได้จากการศึกษานี้ มีน้ำหนักเบาว่าถาดเสริมเส้นใยที่ผ่านการเคลือบด้วยสารกันน้ำ PARATEX-NS6 1 ครั้ง (32.08-32.85 กรัม) ค่อนข้างมาก (ประนอม ตั้งมั่นคง, 2542)



(ก)

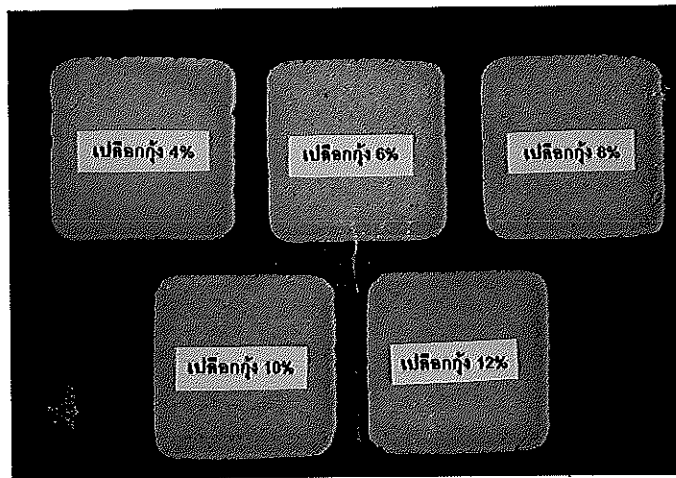


(ข)

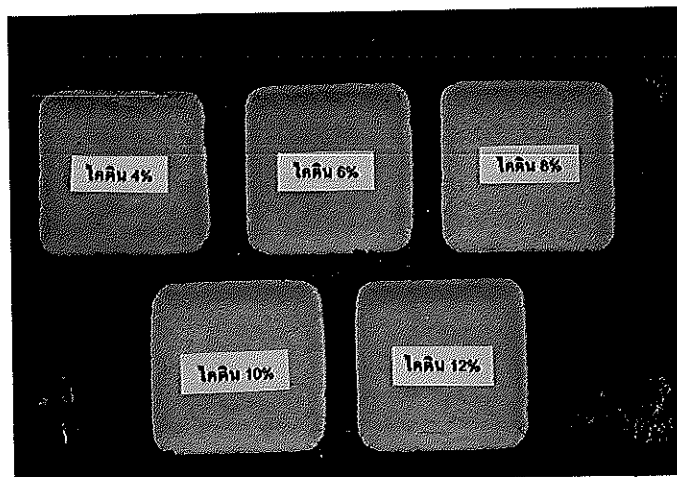


(ค)

ภาพที่ 15 ถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีแผ่นเคลือบจากเปลือกกุ้ง (ก) โคดีน (ข) และ โคดีแซน (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 16 ถาดจากแป้งสาคุที่มีแผ่นเคลือบจากเปลือกกุ่ม (ก) โคติน (ข) และ  
โคตินเข้ม (ค)

ตารางที่ 6 ความหนาและน้ำหนักของถาดจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคุที่มีแผ่นเคลือบชนิด และความเข้มข้นต่างกัน

ชนิดของสารเคลือบ	ถาดจากแป้งมันสำปะหลัง		ถาดจากแป้งสาคุ	
	ความหนา (มิลลิเมตร)*	น้ำหนัก (กรัม)*	ความหนา (มิลลิเมตร)*	น้ำหนัก (กรัม)*
เปลือกกุ้ง 4%	5.29±0.62 <sup>ab</sup>	20.64±0.95 <sup>a</sup>	5.26±0.57 <sup>a</sup>	22.76±1.03 <sup>a</sup>
เปลือกกุ้ง 6%	5.32±0.45 <sup>a</sup>	20.95±1.04 <sup>a</sup>	5.28±0.62 <sup>a</sup>	23.03±1.17 <sup>a</sup>
เปลือกกุ้ง 8%	5.36±0.38 <sup>a</sup>	1.05±0.73 <sup>a</sup>	5.46±0.26 <sup>a</sup>	23.62±1.05 <sup>a</sup>
เปลือกกุ้ง 10%	5.48±0.48 <sup>a</sup>	21.28±0.82 <sup>a</sup>	5.54±0.66 <sup>a</sup>	23.64±0.62 <sup>a</sup>
เปลือกกุ้ง 12%	5.56±0.78 <sup>a</sup>	21.73±0.69 <sup>a</sup>	5.70±0.42 <sup>a</sup>	23.74±0.97 <sup>a</sup>
ไคติน 4%	5.26±0.56 <sup>a</sup>	20.93±1.25 <sup>a</sup>	5.24±0.75 <sup>a</sup>	23.18±0.91 <sup>a</sup>
ไคติน 6%	5.31±0.73 <sup>a</sup>	21.07±1.22 <sup>a</sup>	5.27±0.80 <sup>a</sup>	23.35±1.45 <sup>a</sup>
ไคติน 8%	5.35±0.96 <sup>a</sup>	21.29±0.98 <sup>a</sup>	5.49±0.91 <sup>a</sup>	23.46±1.03 <sup>a</sup>
ไคติน 10%	5.52±0.85 <sup>a</sup>	21.45±1.08 <sup>a</sup>	5.58±0.91 <sup>a</sup>	23.84±1.19 <sup>a</sup>
ไคติน 12%	5.59±0.76 <sup>a</sup>	21.79±1.27 <sup>a</sup>	5.69±0.98 <sup>a</sup>	24.08±1.26 <sup>a</sup>
ไคโตแซน 4%	5.27±0.53 <sup>a</sup>	20.88±1.02 <sup>a</sup>	5.23±0.71 <sup>a</sup>	22.87±1.30 <sup>a</sup>
ไคโตแซน 6%	5.29±0.47 <sup>a</sup>	21.10±0.96 <sup>a</sup>	5.48±0.93 <sup>a</sup>	23.31±0.76 <sup>a</sup>
ไคโตแซน 8%	5.34±0.88 <sup>a</sup>	21.32±1.23 <sup>a</sup>	5.58±0.75 <sup>a</sup>	23.82±0.78 <sup>a</sup>
ไคโตแซน 10%	5.53±0.64 <sup>a</sup>	21.54±0.78 <sup>a</sup>	5.58±0.69 <sup>a</sup>	23.92±0.92 <sup>a</sup>
ไคโตแซน 12%	5.55±0.98 <sup>a</sup>	21.81±0.96 <sup>a</sup>	5.65±0.76 <sup>a</sup>	24.07±1.08 <sup>a</sup>

\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 12 ซ้ำ

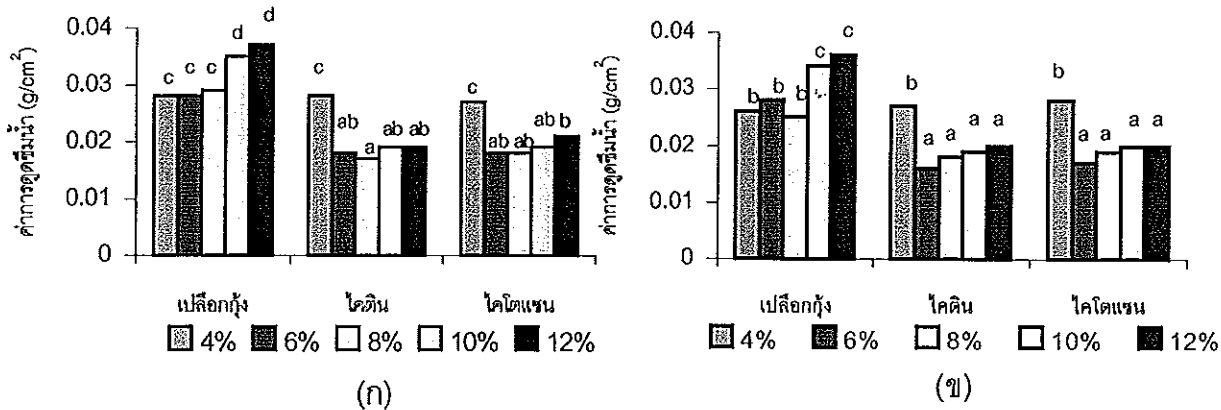
# ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพของถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีแผ่นเคลือบชนิดและความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ถาดที่เคลือบด้วยแผ่นเคลือบจากเปลือกกุ้ง เมื่อมีความเข้มข้นของเปลือกกุ้งเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) (ภาพที่ 17 ก) ส่วนถาดที่เคลือบด้วยแผ่นเคลือบจากไคติน และไคโตแซน มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าถาด



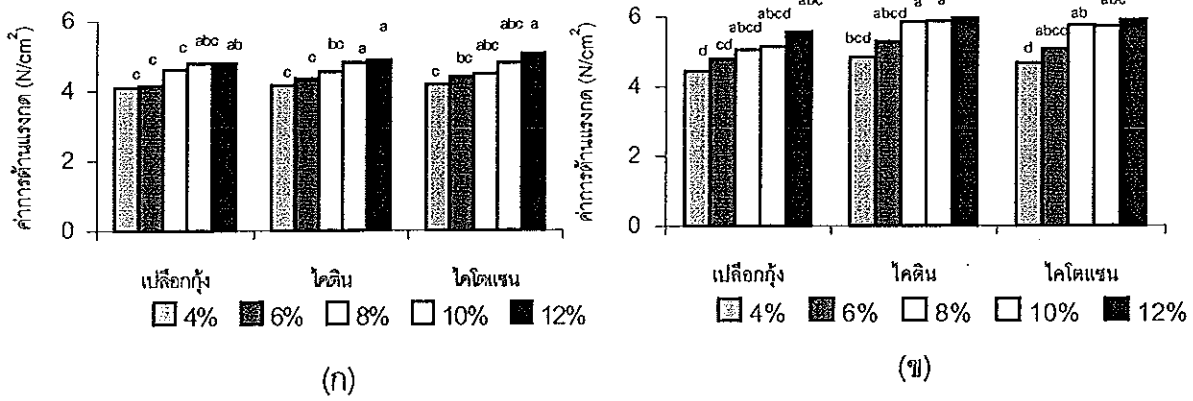
ที่เคลือบด้วยแผ่นเคลือบจากเปลือกกุ้งอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ ๖8) ยกเว้นถาดที่มีแผ่นเคลือบจากไคติน และไคโตแซนร้อยละ 4 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการผลิตแผ่นเคลือบที่ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งแผ่นเคลือบที่มีวัสดุร้อยละ 4 ผลิตได้ยาก ความหนาแน่นของวัสดุมีน้อย อาจส่งผลให้แผ่นเคลือบมีรอยร้าว และเมื่อนำไปขึ้นรูปเป็นถาดและวัดค่าการดูดซึมน้ำ ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปสัมผัสกับตัวถาดได้ง่าย ส่วนค่าการต้านแรงกด การต้านแรงดัดโค้ง และการต้านแรงดันทะลุของถาดที่มีแผ่นเคลือบแต่ละชนิด มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของวัสดุแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 18ก, 19ก และ 20ก) (ตารางผนวกที่ ๖8) ซึ่งถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีแผ่นเคลือบทุกชนิดและทุกความเข้มข้นในการทดลองนี้ มีค่าสมบัติทางกายภาพในด้านต่างๆดีกว่าถาดจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรเสริมเส้นใยไบโอสปีรูล (แสงสุรีย์ โรจน์สกุลวงศ์, 2540) อยู่เล็กน้อย

เมื่อพิจารณาสมบัติด้านต่างๆของถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีแผ่นเคลือบทุกชุด การทดลอง ได้คัดเลือกชุดการทดลองที่มีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม และมีต้นทุนต่ำสุดคือ ถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีแผ่นเคลือบจากไคตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 เพื่อนำไปศึกษาต่อไป



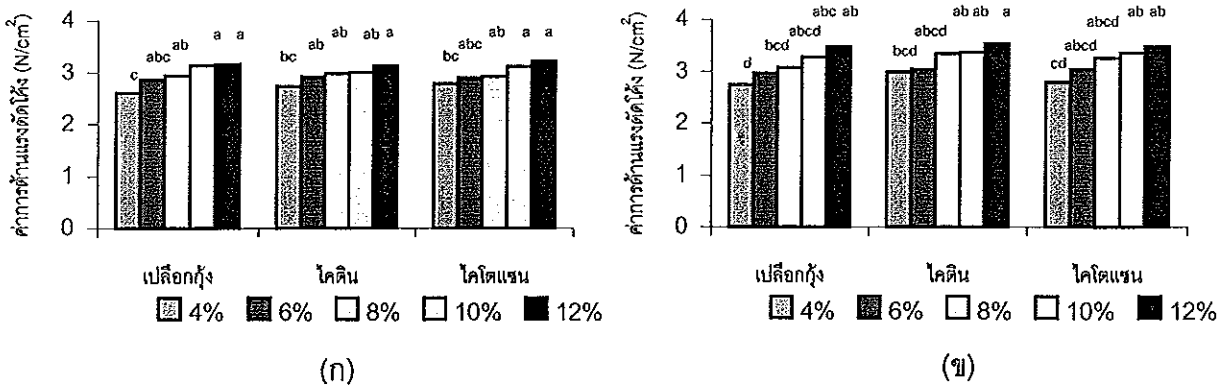
ภาพที่ 17 ค่าการดูดซึมน้ำของถาดจากแป้งมันสำปะหลัง (ก) และ แป้งสาคุ (ข) ที่มีแผ่นเคลือบต่างชนิดกัน

\* ตัวอักษรที่เหมือนกันในถาดจากแป้งชนิดเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )



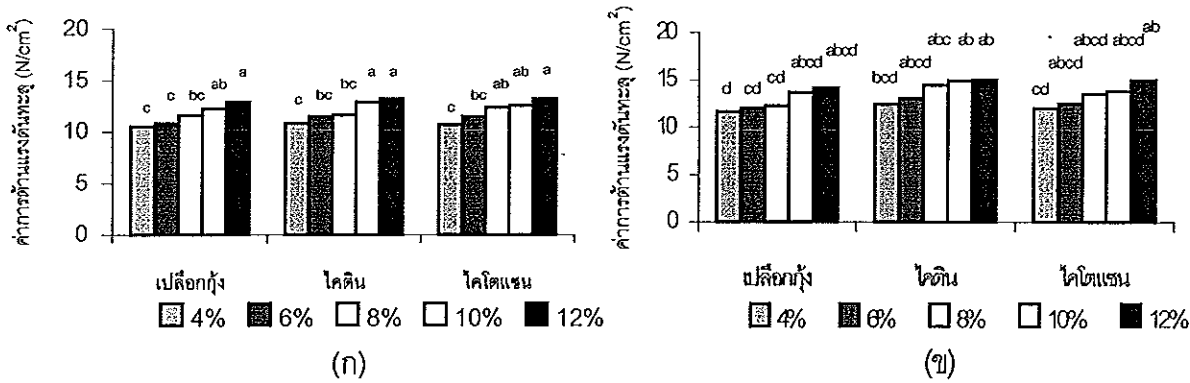
ภาพที่ 18 ค่าการต้านแรงกดของถาดจากแป้งมันสำปะหลัง (ก) และ แป้งสาคุ (ข) ที่มีแผ่นเคลือบต่างชนิดกัน

\* ตัวอักษรที่เหมือนกันในถาดจากแป้งชนิดเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ )



ภาพที่ 19 ค่าการต้านแรงดัดโค้งของถาดจากแป้งมันสำปะหลัง (ก) และ แป้งสาคุ (ข) ที่มีแผ่นเคลือบต่างชนิดกัน

\* ตัวอักษรที่เหมือนกันในถาดจากแป้งชนิดเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ )



ภาพที่ 20 ค่าการต้านแรงดันทะลุของธาตุจากแป้งมันสำปะหลัง (ก) และ แป้งสาकु (ข) ที่มีแผ่นเคลือบต่างชนิดกัน

\* ตัวอักษรที่เหมือนกันในธาตุจากแป้งชนิดเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

สำหรับการทดสอบสมบัติทางกายภาพของธาตุจากแป้งสาकुที่มีแผ่นเคลือบชนิดและความเข้มข้นต่างกัน พบว่า สมบัติทางกายภาพด้านต่างๆมีแนวโน้มใกล้เคียงกับธาตุจากแป้งมันสำปะหลังที่มีแผ่นเคลือบ โดยค่าการดูดซึมน้ำของธาตุที่มีแผ่นเคลือบจากโคตินและโคโตแซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 6, 8, 10 และ 12 มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าธาตุที่มีแผ่นเคลือบจากเปลือกกุ้งที่ทุกระดับความเข้มข้น รวมทั้งธาตุที่มีแผ่นเคลือบจากโคตินและโคโตแซนร้อยละ 4 อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 17ข) เมื่อความเข้มข้นของวัสดุแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น ธาตุที่มีแผ่นเคลือบชนิดต่างๆมีค่าการต้านแรงกด การต้านแรงดัดโค้ง และการต้านแรงดันทะลุสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ( $P < 0.05$ ) (ภาพที่ 18ข, 19ข และ 20ข) (ตารางผนวกที่ 9) โดยธาตุที่มีแผ่นเคลือบจากโคติน และโคโตแซน มีค่าสูงกว่าธาตุที่มีแผ่นเคลือบจากเปลือกกุ้งที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน (ตารางผนวกที่ 9) และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการต้านแรงกด การต้านแรงดัดโค้ง และการต้านแรงดันทะลุของธาตุจากแป้งสาकु กับธาตุจากแป้งมันสำปะหลังที่มีแผ่นเคลือบชนิดและความเข้มข้นเดียวกัน (ตารางผนวกที่ 9 และ 10) พบว่า ธาตุจากแป้งสาकुมีค่าสูงกว่า เพราะแป้งสาकुมีขนาดเม็ดแป้งที่ใหญ่กว่า (แป้งสาकुมีขนาดประมาณ 35  $\mu\text{m}$  และแป้งมันสำปะหลังมีขนาดประมาณ 20-25  $\mu\text{m}$ ) จึงมี

ความเหน็ด และความหนาแน่นสูง (Sriroth *et al.*, 1999) เมื่อขึ้นรูปเป็นถาดจึงมีผลให้ถาดนั้นมีความแข็งแรงสูงกว่า

เมื่อพิจารณาสมบัติด้านต่างๆของถาดจากแป้งสาคุที่มีแผ่นเคลือบทุกชุดการทดลอง ได้คัดเลือกชุดการทดลองที่มีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม และมีต้นทุนต่ำสุด คือ ถาดจากแป้งสาคุที่มีแผ่นเคลือบจากไคตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 เพื่อนำไปศึกษาต่อไป

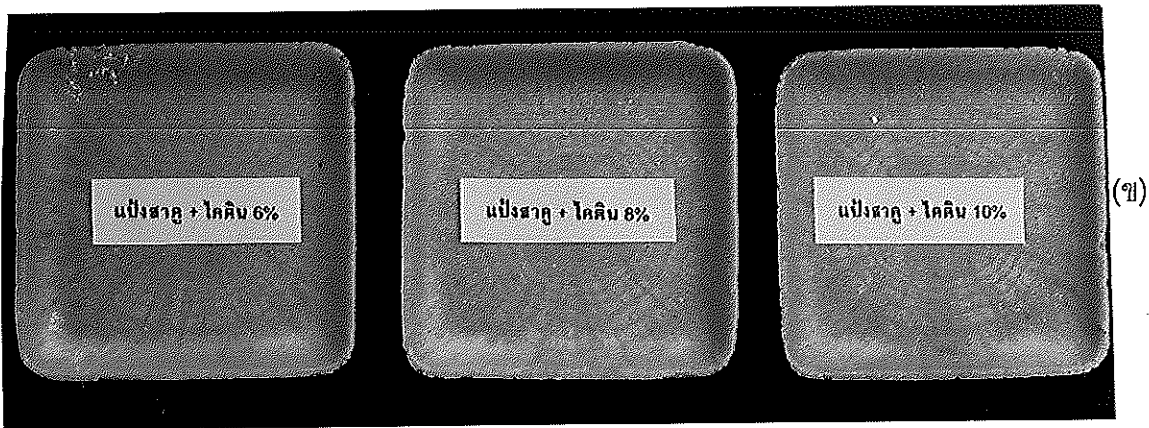
## 2.2 ถาดบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซน เป็นส่วนผสมในแป้งพื้นฐาน (Composite Tray)

การผลิตถาดโดยใช้เปลือกกุ้ง ไคติน หรือไคโตแซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 6, 8 และ 10 โดยน้ำหนักแป้ง เป็นส่วนผสมในแป้งพื้นฐานสองชนิด คือแป้งมันสำปะหลัง และแป้งสาคุพบว่า ถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีส่วนผสมของวัสดุแต่ละชนิดที่ผลิตได้ (ภาพที่ 21) มีสีเหลืองอ่อน ผิวเรียบ และมีการกระจายตัวของวัสดุต่างๆที่เป็นส่วนผสมอยู่โดยทั่วอย่างสม่ำเสมอ ส่วนถาดจากแป้งสาคุที่มีส่วนผสมของวัสดุแต่ละชนิด (ภาพที่ 22) มีสีเข้มกว่าถาดจากแป้งมันสำปะหลัง

ถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีส่วนผสมของวัสดุชนิด และความเข้มข้นต่างกัน มีความหนาอยู่ในช่วง 4.88-5.16 มิลลิเมตร และมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 17.77-20.07 กรัม ส่วนถาดจากแป้งสาคุมีความหนาอยู่ในช่วง 4.72-5.00 มิลลิเมตร และมีน้ำหนักมากกว่าถาดจากแป้งมันสำปะหลังคือ มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 20.24-21.06 กรัม เนื่องจากโมเลกุลแป้งในถาดจากแป้งสาคุมีความหนาแน่นมากกว่าถาดจากแป้งมันสำปะหลัง (ตารางที่ 7 )



ภาพที่ 21 ถาดจากแป้งมันสำปะหลังสูตรพื้นฐานที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้ง (ก) ไคติน (ข) และ ไคโตเจน (ค)



ภาพที่ 22 ถาดจากแป้งสาธสูตรพื้นฐานที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้ง (ก) ไคติน (ข) และ ไคโตแซน (ค)

ตารางที่ 7 ความหนาและน้ำหนักของถาดจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคู ที่ใช้เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนเป็นส่วนผสมในแป้งพื้นฐาน

ชนิดของถาด	ความหนา (มิลลิเมตร)*	น้ำหนัก (กรัม)*
แป้งมันสำปะหลัง+เปลือกกุ้ง 6%	5.10±0.13 <sup>a#</sup>	18.07±0.86 <sup>b</sup>
แป้งมันสำปะหลัง+เปลือกกุ้ง 8%	5.11±0.27 <sup>a</sup>	17.77±0.70 <sup>b</sup>
แป้งมันสำปะหลัง+เปลือกกุ้ง 10%	4.89±0.31 <sup>a</sup>	18.19±0.94 <sup>b</sup>
แป้งมันสำปะหลัง+ไคติน 6%	5.11±0.35 <sup>a</sup>	18.31±0.50 <sup>ab</sup>
แป้งมันสำปะหลัง+ไคติน 8%	5.16±0.34 <sup>a</sup>	18.96±1.01 <sup>ab</sup>
แป้งมันสำปะหลัง+ไคติน 10%	4.95±0.31 <sup>a</sup>	19.89±0.98 <sup>a</sup>
แป้งมันสำปะหลัง+ไคโตแซน 6%	4.88±0.39 <sup>a</sup>	19.11±0.96 <sup>ab</sup>
แป้งมันสำปะหลัง+ไคโตแซน 8%	4.86±0.28 <sup>a</sup>	18.92±0.75 <sup>ab</sup>
แป้งมันสำปะหลัง+ไคโตแซน 10%	4.98±0.38 <sup>a</sup>	20.07±0.93 <sup>a</sup>
แป้งสาคู+เปลือกกุ้ง 6%	4.72±0.14 <sup>a</sup>	20.79±0.63 <sup>a</sup>
แป้งสาคู+เปลือกกุ้ง 8%	4.72±0.17 <sup>a</sup>	20.63±0.73 <sup>a</sup>
แป้งสาคู+เปลือกกุ้ง 10%	4.79±0.16 <sup>a</sup>	20.95±0.74 <sup>a</sup>
แป้งสาคู+ไคติน 6%	5.00±0.27 <sup>a</sup>	20.70±0.87 <sup>a</sup>
แป้งสาคู+ไคติน 8%	4.75±0.30 <sup>a</sup>	20.32±0.82 <sup>a</sup>
แป้งสาคู+ไคติน 10%	4.84±0.33 <sup>a</sup>	21.06±0.95 <sup>a</sup>
แป้งสาคู+ไคโตแซน 6%	4.86±0.35 <sup>a</sup>	21.05±0.84 <sup>a</sup>
แป้งสาคู+ไคโตแซน 8%	4.83±0.36 <sup>a</sup>	20.24±0.97 <sup>a</sup>
แป้งสาคู+ไคโตแซน 10%	4.78±0.27 <sup>a</sup>	20.98±0.86 <sup>a</sup>

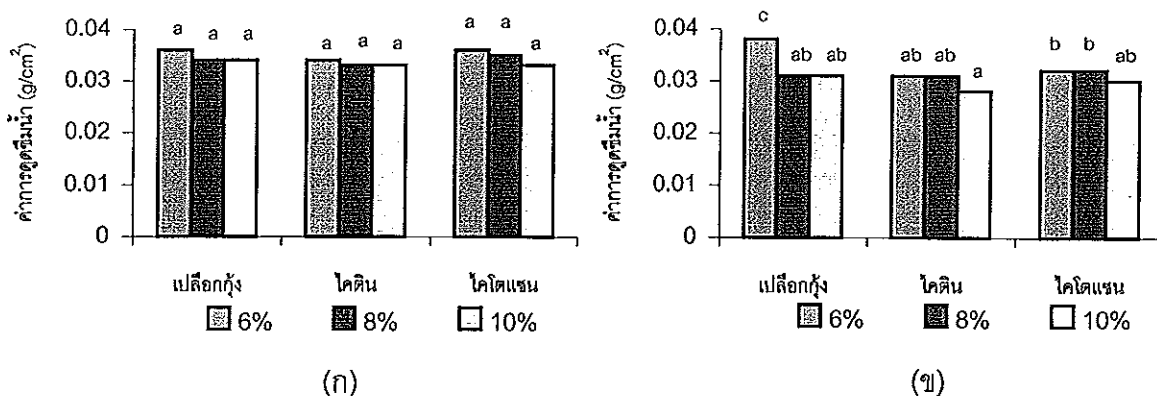
\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 12 ซ้ำ

# ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

สมบัติทางกายภาพของถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีเปลือกกุ้ง ไคติน หรือไคโตแซนเป็นส่วนผสมในแป้งพื้นฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า เมื่อความเข้มข้นของ

วัสดุเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำของภาคที่ใช้วัสดุแต่ละชนิดเป็นส่วนผสมมีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 23ก) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P>0.05$ ) อาจเนื่องจากเมื่อความเข้มข้นเปลือก กุ้ง ไคติน หรือไคโตแซนเพิ่มขึ้น ทำให้พื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำกับแป้งลดลง วัสดุดังกล่าว สามารถแทรกเข้าไปอุดรู หรือโพรงอากาศภายใน ทำให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำของ ภาคน้อยลง (ประนอม ตั้งมันคง, 2542) ส่วนค่าการต้านแรงกดของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติเช่นกัน ( $P>0.05$ ) (ตารางผนวกที่ ง12) ค่าการต้านแรงกด การต้านแรงดัดโค้ง และการต้านแรงดันทะลุ ของภาคที่ใช้วัสดุแต่ละชนิด เมื่อความเข้มข้นของวัสดุ เพิ่มขึ้น สมบัติดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน (ภาพที่ 24ก, 25ก และ 26ก) โดยภาคที่ใช้เปลือก กุ้งร้อยละ 6 มีค่าต่ำที่สุด มีรายงานว่าภาคที่มีการเติมเส้นใยหรือวัสดุในปริมาณมาก เส้นใย หรือวัสดุนั้นสามารถยึดเกาะกับโครงสร้างของภาคได้มาก ทั้งยังเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว และให้ความแข็งแรงแก่ภาคด้วย (ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2541)

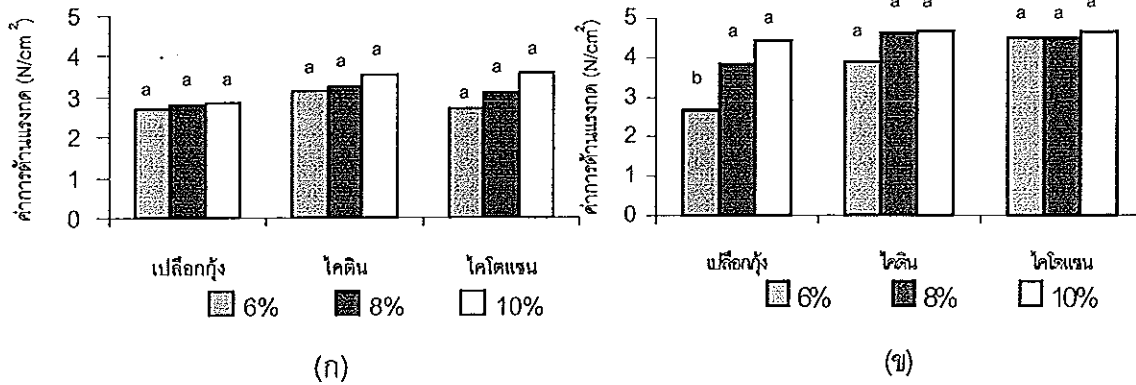
เมื่อพิจารณาสมบัติด้านต่างๆของภาคจากแป้งมันสำปะหลังที่มีส่วนผสมของ เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนทุกชุดการทดลอง ได้คัดเลือกชุดการทดลองที่มีสมบัติทาง กายภาพที่เหมาะสม และมีต้นทุนต่ำสุด คือ ภาคจากแป้งมันสำปะหลังที่มีส่วนผสมของ เปลือกกุ้งร้อยละ 8 เพื่อนำไปศึกษาต่อไป



ภาพที่ 23 ค่าการดูดซึมน้ำของภาคจากแป้งมันสำปะหลัง (ก) และแป้งสาคุ (ข) ที่มีส่วนผสมของวัสดุต่างชนิดกัน

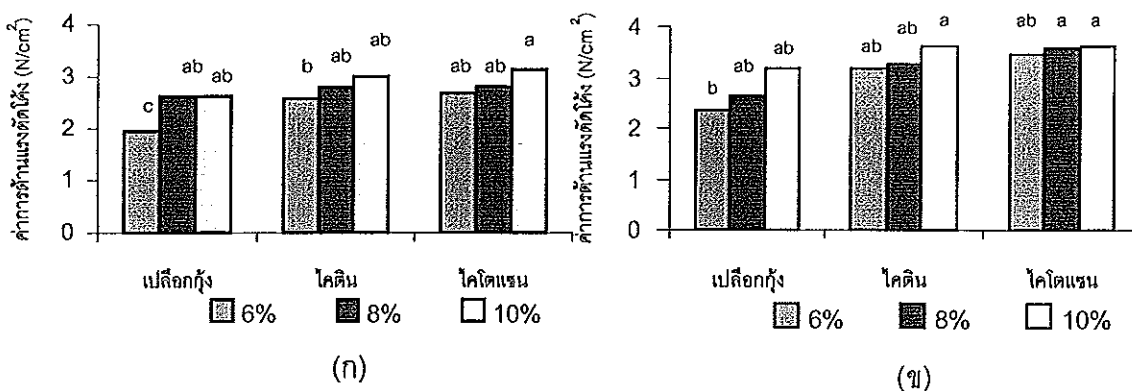
\*ตัวอักษรที่เหมือนกันในภาคจากแป้งชนิดเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ )





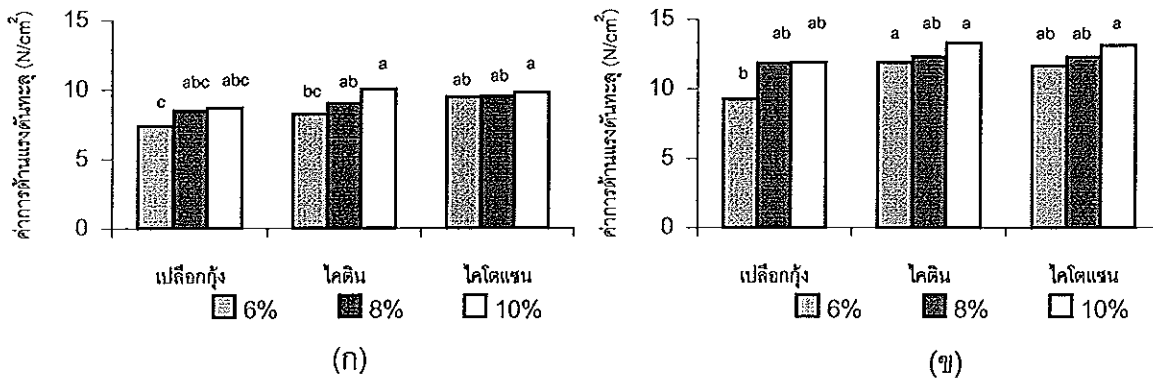
ภาพที่ 24 ค่าการต้านแรงกดของธาตุจากแป้งมันสำปะหลัง (ก) และแป้งสาคุ (ข) ที่มีส่วนผสมของวัสดุต่างชนิดกัน

\* ตัวอักษรที่เหมือนกันในธาตุจากแป้งชนิดเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )



ภาพที่ 25 ค่าการต้านแรงดัดโค้งของธาตุจากแป้งมันสำปะหลัง (ก) และแป้งสาคุ (ข) ที่มีส่วนผสมของวัสดุต่างชนิดกัน

\* ตัวอักษรที่เหมือนกันในธาตุจากแป้งชนิดเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )



ภาพที่ 26 ค่าการต้านแรงดันทะลุของยางจากแป้งมันสำปะหลัง (ก) และแป้งสาธุ (ข) ที่มี ส่วนผสมของวัสดุต่างชนิดกัน

\* ตัวอักษรที่เหมือนกันในยางจากแป้งชนิดเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

สมบัติทางกายภาพของยางจากแป้งสาธุที่มีส่วนผสมของวัสดุต่างชนิดกัน (ภาพที่ 23ข, 24ข, 25ข และ 26ข) มีแนวโน้มใกล้เคียงกับยางจากแป้งมันสำปะหลัง เมื่อความเข้มข้นของวัสดุแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำของยางลดลง และมีค่าการต้านแรงกด การต้านแรงดัดโค้ง และการต้านแรงดันทะลุสูงขึ้น ยางที่มีโคตินร้อยละ 10 มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด ซึ่งดีกว่ายางที่มีเปลือกกุ้งร้อยละ 6 อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) แต่ไม่แตกต่างจากยางที่มีเปลือกกุ้งร้อยละ 8 และร้อยละ 10 ( $P > 0.05$ ) ยางที่มีเปลือกกุ้งร้อยละ 6 มีค่าการต้านแรงกดต่ำกว่าชุดอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ ง13) โดยทั่วไปยางที่มีโคติน และโคโตแซนเป็นส่วนผสม มีค่าการต้านแรงกด การต้านแรงดัดโค้ง และการต้านแรงดันทะลุสูงกว่ายางที่มีเปลือกกุ้งเป็นส่วนผสม เนื่องจากยางที่มีโคตินและโคโตแซนมีการเชื่อมไขว้กันได้ระหว่างโมเลกุลของ CMC ซึ่งเป็นสารพวกลูไลต์ กับโมเลกุลของโคติน และโคโตแซน โดยเกิดการเชื่อมไขว้ระหว่างหมู่คาร์บอนิลของเซลลูโลส กับหมู่อะมิโนของโคโตแซน (Hosokawa *et al.*, 1990) อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่ายางที่มีโคติน และโคโตแซนมีสมบัติดังกล่าวสูงกว่าแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับยางที่มีเปลือกกุ้งร้อยละ 8 และร้อยละ 10 ยกเว้นยางที่มีเปลือกกุ้งร้อยละ 6 (ตารางผนวกที่ ง18)

เมื่อพิจารณาสมบัติด้านต่างๆของถาดจากแป้งสาคุที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้งไคติน และไคโตแซนทุกชุดการทดลอง ได้คัดเลือกชุดการทดลองที่มีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมและมีต้นทุนต่ำสุด คือ ถาดจากแป้งสาคุที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้งร้อยละ 8 เพื่อนำไปศึกษาต่อไป

### 3. การประยุกต์ใช้ถาดบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตขึ้น

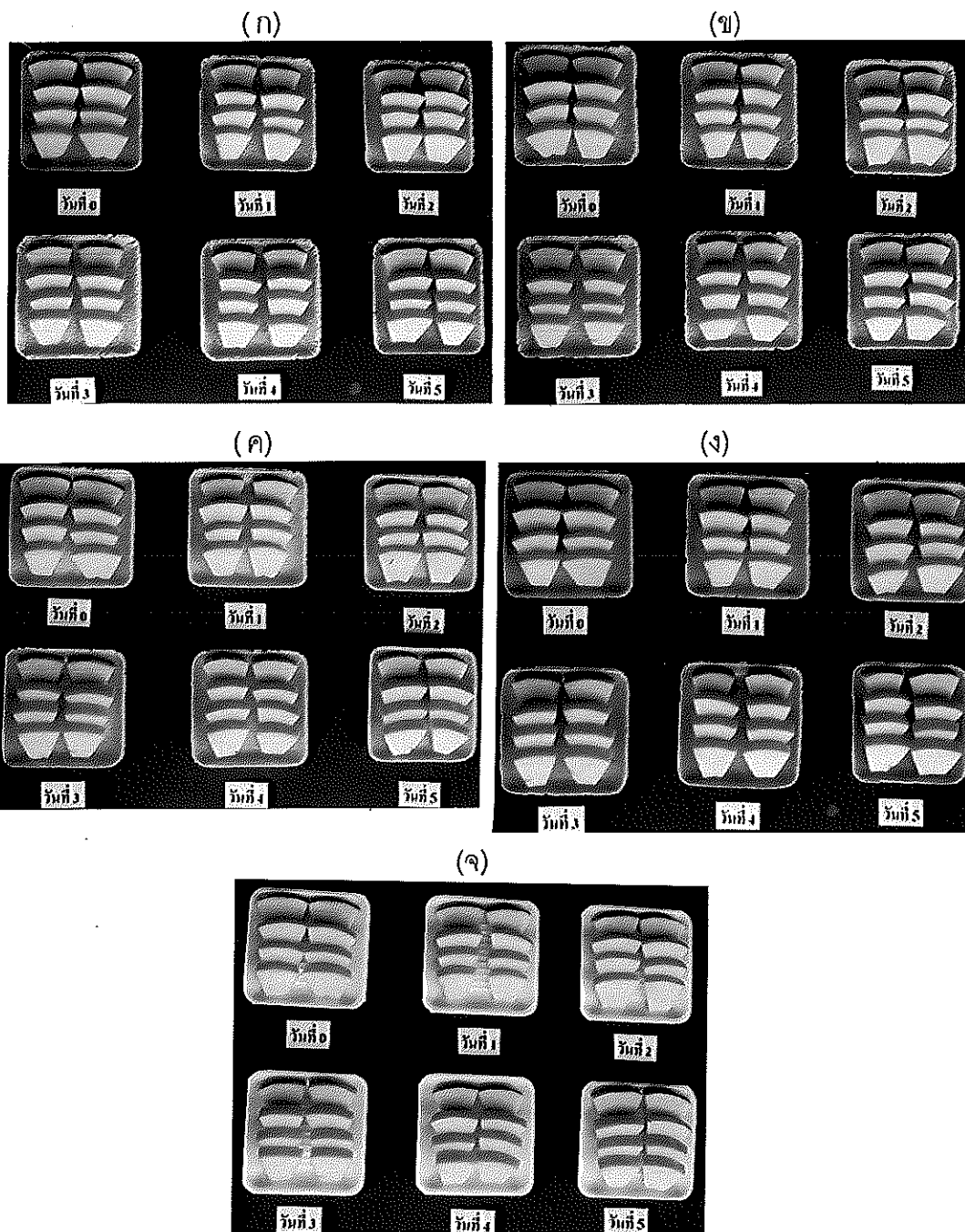
จากข้อมูลข้างต้นทั้งหมดได้คัดเลือกถาดที่มีสมบัติเหมาะสม เพื่อนำไปทดสอบการประยุกต์ใช้ประกอบด้วย 4 ชุดการทดลองได้แก่ ถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีแผ่นเคลือบไคตินร้อยละ 10 ถาดจากแป้งสาคุที่มีแผ่นเคลือบไคตินร้อยละ 6 ถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้งร้อยละ 8 และถาดจากแป้งสาคุที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้งร้อยละ 8 โดยเลือกใช้ถาดโฟม (พอลิสไตรีน) เป็นชุดควบคุม บรรจุแคนตาลูปตัดแต่งหนัก 120 กรัม และหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซี เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พร้อมกับทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของแคนตาลูปและถาดทุกวัน ได้ผลดังนี้

#### ด้านลักษณะปรากฏของแคนตาลูปและถาด

เมื่ออายุการเก็บนานขึ้น แคนตาลูปและถาดมีลักษณะปรากฏที่เปลี่ยนแปลง คือ ผิวของแคนตาลูปมีลักษณะแห้ง และมีสีน้ำตาลเกิดขึ้นเล็กน้อยตรงบริเวณที่ตัดแต่ง (ภาพที่ 27 ) อาจเนื่องจากเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสในเนื้อผลไม้ดึงออกซิเจนเข้ามาทำปฏิกิริยากับสารพอลิฟีนอล ทำให้เกิดสารควิโนที่มีสีน้ำตาล (McEvily *et al.*, 1992) แต่สีน้ำตาลเกิดขึ้นน้อยมาก เนื่องจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ รวมทั้งมีฟิล์มห่อหุ้มอยู่จึงทำให้ลักษณะผิวแห้งและสีน้ำตาลเกิดขึ้นช้าลง (दनัย บุญยเกียรติ และนิธิยา รัตนานนท์, 2535) โดยอุณหภูมิลดลงทุกๆ 10 องศาเซลเซียส ช่วยชะลออัตราการหายใจ การคายน้ำ และปฏิกิริยาต่างๆลง 2-4 เท่า (Kader, 1985) แคนตาลูปที่บรรจุในถาดโฟม มีลักษณะผิวแห้งเกิดขึ้นช้ากว่าถาดจากชุดการทดลองอื่นๆ เนื่องจากมีการสูญเสียไอน้ำน้อยกว่า

ส่วนลักษณะปรากฏของถาด สังเกตพบว่า ถาดโฟมไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนถาดจากแป้งมันสำปะหลัง และถาดจากแป้งสาคุที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้งร้อยละ 8 เริ่มนิ่มในบริเวณที่สัมผัสกับแคนตาลูปโดยตรงตั้งแต่วันที่ 2 ของการเก็บรักษา เพราะถาดสามารถดูดซึมน้ำจากแคนตาลูปได้ง่าย และเมื่อเก็บรักษาผ่านไปจนถึงวันที่ 3, 4 และ 5 บริเวณตรงกลางและขอบของถาดนิ่มมากจนถาดเริ่มเสียรูปทรง แต่ผิวถาดไม่เปื่อยยุ่ย ส่วนถาดจาก

แบ่งทั้งสองชนิดที่มีแผ่นเคลือบ เริ่มนับบริเวณตรงกลางถาดในวันที่ 3-4 และเมื่อสิ้นสุดการ  
เก็บรักษา ถาดเสียรูปทรงเพียงเล็กน้อยโดยผิวถาดไม่เป็นเมือกและไม่เปื่อยยุ่ย



ภาพที่ 27 ลักษณะปรากฏของแคตตาลูปและถาดระหว่างการเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส

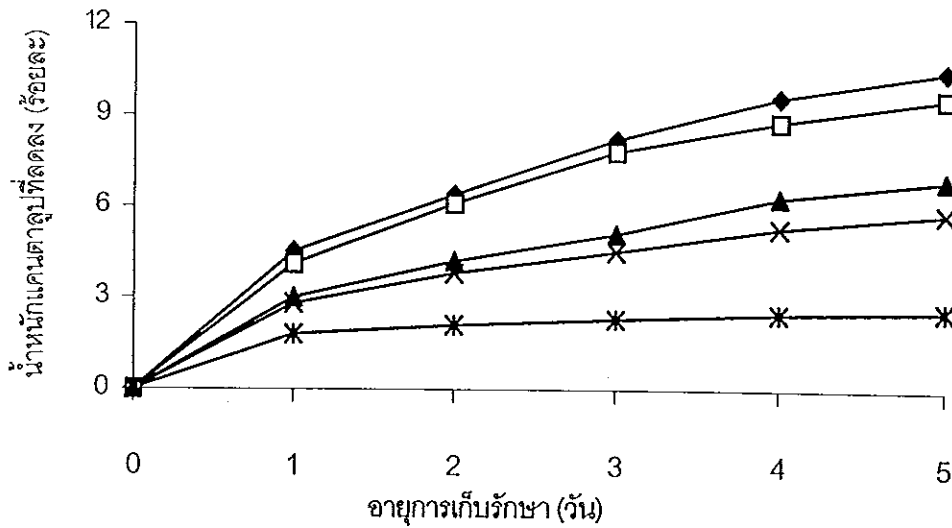
- (ก) ถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีแผ่นเคลือบโคตินร้อยละ 10
- (ข) ถาดจากแป้งสาคุที่มีแผ่นเคลือบโคตินร้อยละ 6
- (ค) ถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้งร้อยละ 8
- (ง) ถาดจากแป้งสาคุที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้งร้อยละ 8
- (จ) ถาดโฟม

### การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของแคนตาลูปและถาด

น้ำหนักของแคนตาลูปมีค่าลดลงจากน้ำหนักเริ่มต้น และลดลงเรื่อยๆตามอายุการเก็บรักษา (ภาพที่ 28) เนื่องจากแคนตาลูปมีความชื้นสูงกว่าความชื้นในบรรยากาศของห้องเก็บ จึงมีการถ่ายเทความชื้นออกมา ถึงแม้ว่าถาดที่บรรจุแคนตาลูปมีการหุ้มด้วยฟิล์มยืดพีวีซีก็ตาม แต่ฟิล์มยืดพีวีซีที่มีสมบัติยอมให้อุณหภูมิผ่านได้ค่อนข้างสูง (30-40 กรัม ต่อไมครอน ต่อตารางเมตร ต่อวัน) ความชื้นจากแคนตาลูปจึงซึมผ่านฟิล์มได้ ซึ่งมีผลให้น้ำหนักแคนตาลูปลดลง นอกจากนี้การปกปิดเปลือกและตัดแต่งผลไม้ ยังเป็นการเร่งอัตราการสูญเสียน้ำ เพราะเซลล์ภายในถูกเปิดออก ทำให้น้ำระเหยออกไปได้ง่าย (Mitchell, 1985; Zagory and Kader, 1988; King and Bolin, 1989) นอกจากนี้ยังพบว่าถาดที่ผลิตขึ้นจากวัสดุย่อยสลายได้ สามารถดูดซึมน้ำจากชั้นแคนตาลูป ทำให้น้ำหนักของแคนตาลูปลดลงเรื่อยๆ และมีการสูญเสียน้ำหนักเร็วและมากกว่าแคนตาลูปที่บรรจุในถาดโฟม โดยแคนตาลูปที่บรรจุในถาดจากแป้งมันสำปะหลัง และถาดจากแป้งสาคุที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้งร้อยละ 8 ในสูตรแป้งพื้นฐาน มีการสูญเสียน้ำหนักเร็วและมากกว่าแคนตาลูปที่บรรจุในถาดที่มีแผ่นเคลือบ โดยน้ำหนักของแคนตาลูปจะลดลงอย่างมากในช่วงสามวันแรกและค่อยๆช้าลง เนื่องจากช่วงแรกถาดจากแป้งทั้งสองชนิดที่มีการผสมเปลือกกุ้งร้อยละ 8 มีรูโพรงอากาศกระจายอยู่เมื่อสัมผัสกับแคนตาลูปโดยตรงสามารถรับความชื้นและดูดซึมน้ำเข้าไว้ตามรูโพรงเหล่านั้น ในช่วงวันหลังๆน้ำได้แทรกเข้าไปอยู่จนถาดค่อนข้างอึดตัวด้วยน้ำ จึงสามารถดูดซึมน้ำจากแคนตาลูปได้ลดลง ทำให้น้ำหนักของแคนตาลูปลดลงอย่างช้าๆ ส่วนถาดที่มีแผ่นเคลือบสามารถดูดซึมน้ำได้น้อยเพราะน้ำผ่านเข้าไปสัมผัสกับแป้งได้ยากกว่า

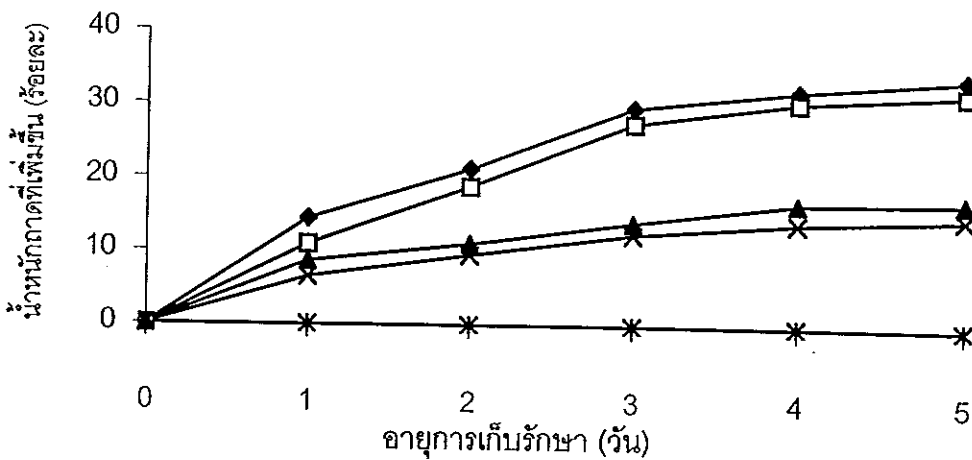
ส่วนการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของถาด พบว่าน้ำหนักของถาดทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 29) ยกเว้นถาดโฟมที่มีน้ำหนักค่อนข้างคงที่เพราะไม่มีการดูดซึมน้ำจากผลไม้ นอกจากนี้ ยังพบว่าน้ำหนักของถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้งร้อยละ 8 มีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุด เพราะความชื้นจากแคนตาลูปสามารถสัมผัสกับแป้งได้โดยตรง โดยถาดจากแป้งมันสำปะหลังมีโพรงอากาศมาก และมีความหนาแน่นน้อยกว่า จึงดูดซึมน้ำได้มากกว่าถาดจากแป้งสาคุ ส่วนถาดจากแป้งสาคุที่มีแผ่นเคลือบไคตินร้อยละ 6 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด เพราะไคตินดูดซึมน้ำได้น้อย และน้ำซึมผ่านไปสัมผัสกับแป้งได้ยาก ทำให้การคายความชื้นจากแคนตาลูปเพื่อ

พยายามปรับความชื้นให้สมดุลกับสิ่งแวดล้อมในห้องเย็นเป็นไปอย่างช้าๆ แคนตาอูบที่บรรจุบนภาตชนิดนี้จึงมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด และภาคมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด



ภาพที่ 28 น้ำหนักแคนตาอูบที่ลดลง (โดยน้ำหนักเริ่มต้น) เมื่อเก็บไว้ที่ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

- ◆ แฉ่งมันสำปะหลัง + เปลือกกุ้ง 8%
- ▲ แฉ่งมันสำปะหลัง + แผ่นเคลือบไคติน 10%
- \* ภาคใหม่
- แฉ่งสาธุ + เปลือกกุ้ง 8%
- × แฉ่งสาธุ + แผ่นเคลือบไคติน 6%



ภาพที่ 29 น้ำหนักภาคที่เพิ่มขึ้น (โดยน้ำหนักเริ่มต้น) เมื่อเก็บไว้ที่ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

- ◆ แฉ่งมันสำปะหลัง + เปลือกกุ้ง 8%
- ▲ แฉ่งมันสำปะหลัง + แผ่นเคลือบไคติน 10%
- \* ภาคใหม่
- แฉ่งสาธุ + เปลือกกุ้ง 8%
- × แฉ่งสาธุ + แผ่นเคลือบไคติน 6%

### การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างแคนตาลูปที่บรรจุในภาชนะผลิตขึ้น และภาชนะโฟม (ชุดควบคุม) พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผู้บริโภคให้คะแนนค่าสี กลิ่นรส ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของทั้ง 5 ชุดการทดลองลดลง (ตารางที่ 8 และตารางผนวกที่ 14) โดยการเปลี่ยนแปลงสีของแคนตาลูปพบว่า สีของตัวอย่างแคนตาลูป ทุกชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในช่วงวันที่ 0 ถึงวันที่ 2 ของการเก็บรักษา ( $P > 0.05$ ) แต่เมื่อทำการเก็บรักษาครบ 5 วัน พบว่าทุกชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงสีแตกต่างจากวันแรกอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) และเมื่อเปรียบเทียบสีของทุกชุดการทดลองที่อายุการเก็บรักษาเท่ากันพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ส่วนการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นรส พบว่า ชุดควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสน้อยที่สุดในช่วงวันที่ 0 ถึงวันที่ 3 ทุกชุดการทดลองที่มีอายุการเก็บรักษาเท่ากัน มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) แต่ในวันที่ 4 และ 5 แคนตาลูปที่บรรจุในภาชนะจากแป้งมันสำปะหลัง และภาชนะจากแป้งสาคุที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้งร้อยละ 8 มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ทั้งนี้เพราะภาชนะที่ไม่มีแผ่นเคลือบจากแป้งทั้งสองชนิดมีการสัมผัสกันระหว่างแคนตาลูปกับแป้งโดยตรงเป็นเวลานาน ทำให้แคนตาลูปมีกลิ่นแป้งติดอยู่

ในด้านการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัส พบว่าทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกัน คือในช่วง วันที่ 0 ถึงวันที่ 2 ลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสของแคนตาลูปมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ( $P > 0.05$ ) หลังจากนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน โดยชุดควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบทุกชุดการทดลองที่มีอายุการเก็บรักษาเท่ากัน พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ส่วนในด้านการยอมรับรวม พบว่า ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา การยอมรับรวมของทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) แต่ในวันที่ 1 ถึงวันที่ 5 แต่ละชุดการทดลองมีคะแนนการยอมรับรวมแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยแคนตาลูปที่บรรจุในภาชนะโฟม และภาชนะที่มีแผ่นเคลือบจากแป้งทั้งสองชนิดมีคะแนนการยอมรับสูงกว่าภาชนะที่ไม่มีแผ่นเคลือบ ( $P < 0.05$ ) ซึ่งแคนตาลูปที่บรรจุในภาชนะจากแป้งสาคุที่มีแผ่นเคลือบไคติน ร้อยละ 6 มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับชุดควบคุมมากที่สุด



ตารางที่ 8 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแคนตาลูป ที่บรรจุในภาตบรรจุภัณฑ์แตกต่างกันระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

คุณลักษณะ/ อายุการเก็บ (วัน)	ชุดการทดลอง (แคนตาลูปที่บรรจุในภาตชนิดต่างๆ)				
	ภาตโฟม (ชุดควบคุม)	แป้งมันสำปะหลัง+ เปลือกกุ้ง8%	แป้งสาคุ+ เปลือกกุ้ง8%	แป้งมันสำปะหลัง+ แผ่นเคลือบไคติน10%	แป้งสาคุ+ แผ่นเคลือบไคติน6%
สี					
0	8.10 <sup>aA'</sup>	8.00 <sup>aA</sup>	7.90 <sup>aA</sup>	7.90 <sup>aA</sup>	8.00 <sup>aA</sup>
1	7.90 <sup>abA</sup>	7.70 <sup>aA</sup>	7.60 <sup>aA</sup>	7.70 <sup>abA</sup>	7.80 <sup>aA</sup>
2	7.50 <sup>abcA</sup>	7.30 <sup>abA</sup>	7.30 <sup>aA</sup>	7.40 <sup>abA</sup>	7.40 <sup>abA</sup>
3	7.10 <sup>bcA</sup>	6.80 <sup>bcA</sup>	7.00 <sup>abA</sup>	6.90 <sup>bcA</sup>	7.10 <sup>abcA</sup>
4	6.90 <sup>cA</sup>	6.10 <sup>cdA</sup>	6.20 <sup>bcA</sup>	6.50 <sup>cA</sup>	6.80 <sup>bcA</sup>
5	6.60 <sup>cA</sup>	5.80 <sup>dA</sup>	5.90 <sup>cA</sup>	6.10 <sup>cA</sup>	6.40 <sup>cA</sup>
กลิ่นรส					
0	8.00 <sup>aA</sup>	8.00 <sup>aA</sup>	8.10 <sup>aA</sup>	8.00 <sup>aA</sup>	7.90 <sup>aA</sup>
1	7.90 <sup>aA</sup>	7.80 <sup>aA</sup>	7.90 <sup>aA</sup>	7.80 <sup>aA</sup>	7.80 <sup>abA</sup>
2	7.60 <sup>aA</sup>	7.20 <sup>abA</sup>	7.30 <sup>abA</sup>	7.30 <sup>abA</sup>	7.40 <sup>abA</sup>
3	7.20 <sup>abA</sup>	6.80 <sup>bA</sup>	6.90 <sup>bA</sup>	6.90 <sup>bcA</sup>	7.00 <sup>bcA</sup>
4	6.50 <sup>bcA</sup>	5.90 <sup>cB</sup>	6.00 <sup>cB</sup>	6.20 <sup>cAB</sup>	6.40 <sup>cA</sup>
5	5.90 <sup>cA</sup>	4.60 <sup>dC</sup>	4.90 <sup>dB</sup>	5.30 <sup>dAB</sup>	5.60 <sup>dA</sup>
ลักษณะปรากฏ					
0	8.00 <sup>aA</sup>	7.90 <sup>aA</sup>	7.90 <sup>aA</sup>	7.80 <sup>aA</sup>	7.90 <sup>aA</sup>
1	7.90 <sup>aA</sup>	7.60 <sup>aA</sup>	7.70 <sup>aA</sup>	7.70 <sup>aA</sup>	7.80 <sup>aA</sup>
2	7.70 <sup>aA</sup>	7.30 <sup>abA</sup>	7.40 <sup>abA</sup>	7.40 <sup>aA</sup>	7.50 <sup>aA</sup>
3	7.20 <sup>abA</sup>	6.60 <sup>bcA</sup>	6.80 <sup>bcA</sup>	6.90 <sup>abA</sup>	7.00 <sup>abA</sup>
4	6.70 <sup>bcA</sup>	6.00 <sup>cA</sup>	6.10 <sup>cA</sup>	6.30 <sup>bA</sup>	6.50 <sup>bcA</sup>
5	5.90 <sup>cA</sup>	5.10 <sup>dA</sup>	5.20 <sup>dA</sup>	5.40 <sup>cA</sup>	5.70 <sup>cA</sup>

ตารางที่ 8 (ต่อ)

คุณลักษณะ/ อายุการเก็บ (วัน)	ชุดการทดลอง (แคนตาอูบที่บรรจุในภาชนะชนิดต่างๆ)				
	ถาดโฟม (ชุดควบคุม)	แป้งมันสำปะหลัง+ เปลือกกุ้ง8%	แป้งสาकु+ เปลือกกุ้ง8%	แป้งมันสำปะหลัง+ แผ่นเคลือบไคติน10%	แป้งสาकु+ แผ่นเคลือบไคติน6%
เนื้อส้มฝัสด					
0	7.90 <sup>aA</sup>	7.90 <sup>aA</sup>	7.80 <sup>aA</sup>	7.90 <sup>aA</sup>	7.80 <sup>aA</sup>
1	7.80 <sup>abA</sup>	7.70 <sup>aA</sup>	7.60 <sup>aA</sup>	7.80 <sup>aA</sup>	7.70 <sup>abA</sup>
2	7.50 <sup>abA</sup>	7.20 <sup>abA</sup>	7.30 <sup>abA</sup>	7.40 <sup>abA</sup>	7.40 <sup>abA</sup>
3	6.90 <sup>bA</sup>	6.50 <sup>bcA</sup>	6.60 <sup>bcA</sup>	6.70 <sup>bcA</sup>	6.80 <sup>bcA</sup>
4	6.00 <sup>cA</sup>	5.80 <sup>cdA</sup>	5.90 <sup>cdA</sup>	5.90 <sup>cdA</sup>	6.00 <sup>cdA</sup>
5	5.70 <sup>cA</sup>	5.30 <sup>dA</sup>	5.50 <sup>dA</sup>	5.50 <sup>dA</sup>	5.60 <sup>dA</sup>
การยอมรับรวม					
0	8.10 <sup>aA</sup>	7.80 <sup>aA</sup>	7.90 <sup>aA</sup>	7.90 <sup>aA</sup>	8.00 <sup>aA</sup>
1	7.90 <sup>abA</sup>	7.30 <sup>abB</sup>	7.50 <sup>abAB</sup>	7.60 <sup>abA</sup>	7.80 <sup>abA</sup>
2	7.40 <sup>bcA</sup>	6.80 <sup>bcB</sup>	6.90 <sup>bcAB</sup>	7.00 <sup>bcAB</sup>	7.20 <sup>bcA</sup>
3	6.90 <sup>cdA</sup>	6.20 <sup>cdC</sup>	6.40 <sup>cdB</sup>	6.70 <sup>cdA</sup>	6.80 <sup>cdA</sup>
4	6.60 <sup>dA</sup>	5.80 <sup>dB</sup>	5.90 <sup>deB</sup>	6.50 <sup>cdA</sup>	6.60 <sup>cdA</sup>
5	6.20 <sup>dA</sup>	5.50 <sup>dB</sup>	5.60 <sup>eB</sup>	6.00 <sup>dAB</sup>	6.20 <sup>dA</sup>

\* อักษรตัวพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ )  
 อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแต่ละแถว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ )  
 ค่าเฉลี่ยคะแนนจากผู้ทดสอบชิม 10 คน เมื่อคะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และคะแนน 9 =  
 ชอบมากที่สุด

## บทที่ 4

### สรุป

เปลือกกุ้งที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถาดย่อยสลายได้ มีปริมาณความชื้น เถ้า และไนโตรเจน สูงกว่าไคติน และไคโตแซน โดยที่ไคตินและไคโตแซนมีองค์ประกอบเหล่านี้ใกล้เคียงกัน ถาดจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาकुพื้นฐานที่มีความเข้มข้นของ CMC สูงขึ้น ทำให้ถาดมีค่าการต้านแรงกด การต้านแรงดัดโค้ง และการต้านแรงดันทะลุสูงขึ้น ( $P > 0.05$ ) และทำให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นด้วย ( $P < 0.05$ ) ถาดจากแป้งพื้นฐานทั้งสองชนิดที่มี CMC ความเข้มข้นร้อยละ 3 มีสมบัติเหมาะสมที่สุด และเมื่อนำถาดจากแป้งพื้นฐานที่เหมาะสมไปผลิตเป็นถาดที่มีแผ่นเคลือบจากเปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ถาดที่มีแผ่นเคลือบจากเปลือกกุ้ง มีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ( $P < 0.05$ ) เมื่อความเข้มข้นของเปลือกกุ้งสูงขึ้น ส่วนค่าการต้านแรงกด การต้านแรงดัดโค้ง และการต้านแรงดันทะลุของถาด มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของวัสดุที่ใช้ผลิตแผ่นเคลือบสูงขึ้น ถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีแผ่นเคลือบไคตินร้อยละ 10 และถาดจากแป้งสาकुที่มีแผ่นเคลือบไคตินร้อยละ 6 มีสมบัติเหมาะสมที่สุด

ถาดที่ผลิตโดยใช้เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างๆเป็นส่วนผสมในแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาकुพื้นฐาน พบว่าถาดมีสมบัติทางกายภาพด้านต่างๆดีขึ้นเมื่อความเข้มข้นของวัสดุแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น ถาดจากแป้งทั้งสองชนิดที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้งร้อยละ 8 มีสมบัติเหมาะสมที่สุด

การประยุกต์ใช้ถาดบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ดังกล่าว ในการบรรจุขึ้นแคนตาอูปลัด แต่งเปรียบเทียบกับถาดโฟม (ชุดควบคุม) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ถาดทุกชุดการทดลองมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และแคนตาอูปลัดมีน้ำหนักลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น แคนตาอูปลัดที่บรรจุในถาดทุกชุดการทดลองมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสต่ำกว่าชุดควบคุม โดยแคนตาอูปลัดที่บรรจุในถาดจากแป้งสาकुที่มีแผ่นเคลือบไคตินร้อยละ 6 มีคุณภาพใกล้เคียงกับชุดควบคุมที่สุด

## ข้อเสนอแนะ

1. ในการผลิตถาดแต่ละใบ ต้องใช้เวลานานและทำได้ยาก ควรมีการปรับปรุงระบบการทำงานของชุดแม่พิมพ์และอุปกรณ์ประกอบให้เป็นระบบอัตโนมัติ มีการนำระบบไฮดรอลิกเข้ามาช่วย เพื่อให้ทำงานได้ง่ายขึ้น ประหยัดเวลา และผลิตได้ต่อเนื่อง

2. ควรจะมีอุปกรณ์เฉพาะที่ใช้ในผลิตแผ่นเคลือบ โดยมีการออกแบบเพื่อช่วยให้ผลิตแผ่นเคลือบได้เร็ว ต่อเนื่อง และมีขนาดความหนาที่สม่ำเสมอ เพราะการใช้ TLC Plate Coater ในการผลิตนั้น ทำได้ช้า และยุ่งยาก

3. เนื่องจากถาดที่ผลิตได้จากการศึกษาครั้งนี้ ไม่เหมาะที่จะใช้บรรจุอาหารที่มีความชื้นสูง เพราะถาดมีการดูดซับน้ำ ทำให้โครงสร้างถาดอ่อนตัว จึงแนะนำให้ใช้บรรจุอาหารแห้งแทน เพื่อการใช้ประโยชน์ได้สูงสุดและยาวนาน

4. ควรมีการพัฒนา หรือศึกษาคิดค้น หาวิธีการผลิต หรือวัสดุจากธรรมชาติอื่นๆ ในการผลิตบรรจุภัณฑ์ เพื่อเพิ่มความหลากหลาย

## เอกสารอ้างอิง

- คะเน กิตติโกวิท. 2537. เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับกุ่มกุลาดำ. ว.แลได้. 14 : 22 - 25.
- ชื่นจิต อาทร. 2537. มาตรฐานและข้อกำหนดเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์. ว.กรมวิทยาศาสตร์  
บริการ. 42 (136) : 15 - 16.
- दनัย บุญยเกียรติ และนิธิยา รัตนานนท์. 2535. การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผักและ  
ผลไม้. สำนักพิมพ์ไอดีเอ็นเอสโตร์. กรุงเทพฯ.
- เดวียน บัวตุ้ม. 2541. ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการจับโลหะของไคตินและไคโตแซน.  
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ธรงค์ ศรีสถิตย์. 2533. มลภาวะของพลาสติกและโฟม. จุลสารสภาวะแวดล้อม. 9 : 8 - 13.
- ธีระพล ประมวลกิจจา. 2534. อุตสาหกรรมการผลิตไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้ง. ว.  
อุตสาหกรรมสาร. 12 : 3 - 7.
- / ธรรมรัตน์ ธรรมเดชศักดิ์ และแกมกาญจน์ รักษาพรหมณ์. 2535. การตกตะกอนสาร  
อินทรีย์จากน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำด้วยไคโตแซน. ปัญหาพิเศษ ภาควิชา  
อุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นพรัตน์ มะเห. 2541. फिल्मที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากไคโตแซน : ปัจจัยการผลิตที่มีผล  
ต่อคุณสมบัติของฟิล์มและการใช้ประโยชน์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นพรัตน์ อุทัยพันธ์. 2540. การผลิตถาดจากเส้นใยโกโก้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหา  
บัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- นุชจรินทร์ เกตุนิล. 2544. ภาวะการส่งออกอาหารของไทยในช่วง 9 เดือนแรก ปี 2543. ว.สถาบันอาหาร. 3 (15) : 47 - 51.
- ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ. 2541. บรรจุภัณฑ์อาหาร. บริษัท แพคเมทส์ จำกัด. กรุงเทพฯ.
- ประนอม ตั้งมั่นคง. 2542. การผลิตถาดที่ย่อยสลายได้เสริมเส้นใย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ไพรัตน์ นาควิโรจน์ และไพศาล วุฒิจำนงค์. 2524. การศึกษากรรมวิธีผลิตแป้งจากต้นสาकु. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- /ไพรัตน์ ไสภโกธร สุทธวัฒน์ เบญจกุล และวิคนตร พระพุทธ. 2536. การใช้ไคโตแซนเป็นสารเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว ว.สงขลานครินทร์. 15 (3) : 259 - 265.
- ยุภัณฑ์ มิลเลอร์. 2540. โซเดียมคาร์บอกซีเมททิลเซลลูโลส. ว. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 45 (143) : 15 - 16.
- ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง. 2530. เคมีอาหารเบื้องต้น. สำนักพิมพ์โอเดียน สโตร์. กรุงเทพฯ.
- ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย. 2539. หลักการทดสอบวัสดุและภาชนะบรรจุ. สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

- ศิริพงษ์ เกื้อมิตร. 2536. การปรับปรุงความใสของน้ำผลไม้ด้วยไคโตแซน. ปัญหาพิเศษ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุทธวัฒน์ เบญจกุล และไพรัตน์ ไสภโณดร. 2533. การผลิตไคโตแซนจากเปลือกกุ้งแช่บ๊วย. ว. สงขลานครินทร์. 12 (4) : 439 - 443.
- แสงสุรีย์ โรจน์สกุลวงศ์. 2540. การผลิตถาดจากเส้นใยใบสับปะรด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สนั่น แซ่แจง. 2537. การยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้โดยการเคลือบผิวด้วยไคโตแซนชนิดละลายน้ำ. ปัญหาพิเศษภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค. 2534. มหันตภัยจากกล่องโฟม. สคบ.สาร. 13 : 3, 8.
- อุดมชัย จินะดิษฐ์. 2535. ผลิตภัณฑ์จากเปลือกกุ้งกับการพัฒนาเทคโนโลยี. ว. สสท. ฉบับเทคโนโลยี. 19 (104) : 50 - 54.
- อำนาจพร ฤทธิจันทร์. 2537. บรรจุภัณฑ์. ว.กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 42 (143) : 21 - 25.
- ✓ Anomymous. 1989. Chitosan makes the grade. Manufacture Chemist. 60 (10) : 31 - 35.
- AOAC. 1999. Official Methods of Analysis of the Associate of AOAC International. Vol II. 16<sup>th</sup> ed. Gaithersburg, Maryland, USA.

ASTM. 1999. Selected ASTM Standards on Packaging. 5<sup>th</sup> ed. ASTM. West  
Conshoken.

✓ Austin, P.R., Brine, C.J., Castle, J.E. and Zitratist, J.P. 1981. Chitin : New facets of  
research. Science. p. 212 - 749.

Benjakul, S. and Sophanodora, P. 1993. Chitosan production from carapace and  
shell of Black Tiger Shrimp (*Penaeus monodon*). J. ASEAN Food. 8 : 145 -  
148.

✓ Bough, W.A., Salter, W.L., Wu, A.C.M. and Pertrins, B.E. 1978. Influence of  
manufacturing variables on the characteristic and effectiveness of  
chitosan production I. Chemical composition, viscosity and molecular-  
weight distribution of chitosan production. Biotechnol. Bioen. 20 : 1931 -  
1943.

Brine, C.J. and Austin, P.R. 1981. Chitin isolate : species variation in residual amino  
acid. Comp. Biochem Physiol . 70b : 173. Cited by Narkviroj, P. 1987. The  
Utilization of Prawn Processing Waste. Ph.D. Thesis. Univ. New South  
Wales.

Britt, K.W. 1970. Pulp and Paper Technology. 2<sup>nd</sup> ed. Van Nostrand Rein Hold  
Company. New York.

✓ Brzeski, L.L. and Prudden, J.F. 1987. Chitin and chitosan-putting waste to good  
use. INFOFISH Int. 5 : 31 - 36.



- Cessna, F.L. 1992. Biodegradable Food Trays. U.S.Patent 5 154 982. Oct.13, 1992.
- Conrad, J. 1965. Chitin *In* Encyclopedia of Polymer Science and Technology : Plastic Rubber Fiber. Vol.III. (Mark, H.F., Gaylord, N.G. and Bikales, N.M.,eds.). John Willey Sons Inc. USA.
- Danjaji, I.D., Nawang, R., Ishiaku, U.S., Ishak, H. and Mohd, Z.A. 2001. Sago starch- filled linear low-density polyethylene (LLDPE) film : their mechanical properties and water absorption. *J.Appl. Polym. Sci.* 79 (1) : 29 - 37.
- / Davies, D.H., Elson, C.M. and Hayes, E.R. 1989. Carboxymethylchitosan, A New Water Soluble Chitin Derivatives, *In* Chitin and Chitosan, Source, Chemistry, Biochemistry, Physical Properties and Applications. ( Skjak-Braek, G., Anthosen, T. and Sanford, P., eds.). p. 467 - 475. Elsevier Applied Science. London and New York.
- Duncan, D.B. 1955. Multiple range and multiple F test. *Biometrics.* 11 : 1 - 42.
- / El Ghaouth, A., Arul, J., Ponnampalam, R. and Boulet, M. 1991. Chitosan coating effect on storability and quality of fresh strawberries. *J. Food Sci.* 56 : 1618 - 1620.
- Fasihuddin, B.A., Peter, A.W., Jean-louis, D., Sylvie, D. and Alain, B. 1999. Physico-chemical characterisation of sago starch. *Carbohydrate Polym.* 38 : 361 - 370.

- Green, J.H. and Kramer, A. 1979. Food Processing Waste Management. AVI Publishing Inc. Westport, USA.
- Gregory, M.G. and Julie, H. 1997. Compression - formed starch - based plastic. *J.Ind.Crops and Product.* 7 : 37 - 44.
- Haska, N. 1994. Some Properties of Starches of Several Sago Palm Species in West Seram-Maluku. *In The Fifth International Sago Symposium.* (Subhadrabandhu.,ed.) Songkhla, Thailand. 27-29 January 1994. p 249-259
- Heckman, E. 1977. Starch and its Modifications for the Food Industry. *In Food Colloids.* (Graham, H.D., ed.). p. 464-499. AVI Publishing Inc. Westport, USA.
- / Hirano, S. 1989. Production and Application of Chitin and Chitosan in Japan. *In Chitin and Chitosan Source, Chemistry, Biochemical, Physical Properties and Applications.* (Skjak-Break, G., Anthosen, T. and Sandford, P., eds.) p. 37 - 44. Elsevier Applied Science. London and New York.
- / Hirano, S. and Akiyama, Y. 1995. Absence of a hypocholesterolaemic action of chitosan in high-serum-cholesterol rabbit. *J. Sci. Food Agric.* 69 : 91 - 94.
- / Hirano, S. 1999. Chitin and chitosan as novel biotechnological materials. *Polym.Int.* 48 : 732.

- Holland, C.R. and Shabaz, M.I.A. 1995. The utilisation of chitosan in mussel protein recovery. *Irish J. Food Sci. Technol.* 9 : 107 - 114.
- Hosokawa, J., Nishiyama, M., Yoshihara, K. and Kubo, T. 1990. Biodegradable film derived from chitosan and homogenized cellulose. *Ind. Eng. Chem. Res.* 29 : 800 - 805.
- Hosokawa, J., Nishiyama, M., Yoshihara, K., Kubo, T. and Terabe, A. 1991. Reaction between chitosan and cellulose on biodegradable composite film formation. *Ind. Eng. Chem. Res.* 30 : 788 - 792.
- / Imeri, A.G. and Knorr, D. 1988. Effects of chitosan on yield and composition data of carrot and apple juice. *J. Food Sci.* 53 (6) : 1707 - 1709.
- ISO. 1991. Paper and Board - Determination of Water Absorptiveness - Cobb Method (ISO : 535). American National Standard Institute. New York, USA.
- Johnson, E.L. and Peniston, Q.P. 1982. Utilization of Shellfish Waste from Chitin and Chitosan Production. *In Chemistry and Biochemistry of Marine Food Products.* (Martin, R.E. ed.). p.415 - 422. AVI Publishing Inc. Westport, USA.
- Jun, H.K., Kim, J.H., No, H.K. and Meyers, S.P. 1994. Chitosan as a coagulant for recovery of proteinaceous solids from tofu waste water. *J. Agri. Food Chem.* 42 : 1834 - 1838.

- Kader, A.A. 1985. Postharvest Biology and Technology : An overview. *In* Postharvest Technology of Horticultural Crops. Division of Agriculture and Natural Resources. The Regents of University of California. USA. p.3 - 7.
- Katsuyawa, A.M. 1979. A Guide for Waste Management in the Food Processing Industry. The Food Process Institute. Washington, D.C., USA .
- King, A.D. and Bolin, H.R. 1989. Physiological and microbiological storage stability of minimally processed fruits and vegetables. *Food Technol.* 43 (2) : 132 - 135, 139.
- Knorr, D. 1982. Functional properties of chitin and chitosan. *J. Food Sci.* 47 : 593 - 595.
- Knorr, D. 1984. Use of chitinous polymers in food. *Food Technol.* 38 : 85 - 97.
- Larry, E.F. and Eileen, M.S. 1984. Photomicrographs of Starch. *In* Starch - Chemistry and Technology. (Whistler, R.L., BeMiller, J.N. and Paschall, E.F., eds.). p. 675 - 689. Academic Press Inc. London.
- Lawless, H.T. and Heymann, H. 1999. Sensory Evaluation of Food : Principle and Practices. Aspen Publishing Inc. Gaithersburg, Maryland. USA.
- Li, Q., Dunn, E.T., Grandmaison, E.W. and Goosen, M.F.A. 1992. Applications and properties of chitosan. *J. Bioactive and Compatible Polym.* 7 : 370 - 395.

- Lieberman, B.E. 1994. Biodegradable Construction Material and Manufacturing Method. U.S.Patent 5,354,621.
- Lim, L.Y., Knor, E. and Ling, C.E. 1999. Effects of dry heat and saturated steam on the physical properties of chitosan. *J. Biomedical Material Res.* 48 (2) : 111 - 116.
- / Maezaki, Y., Tsuji, K., Nagawa, Y., Kawai, Y., Akimoto, M., Tsugita, T., Takekawa, W., Terada, A., Hara, H. and Mitsuoka, T. 1993. Hypocholesterolemic effect of chitosan in adult males. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 57 : 1439 - 1444.
- Madhavan, P. and Ramachandrannair, K.Q. 1974. Utilization of prawn waste- isolation of chitin and its conversion to chitin. *Fish. Technol.* 11 : 50 - 53.
- McEvily, A.J., Lyengar, R. and Otwell, W.S. 1992. Inhibition of enzymatic browning in food and beverages. *Crit. Rev. Food Sci. Nutri.* 32 : 252 - 273.
- Mitchell, F.G. 1985. Cooling Horticultural Commodities. *In* Postharvest Technology of Horticultural Crops. Division of Agriculture and Natural Resources. The Regents of University of California. USA. p.35 - 43.
- Moorjani, M.N., Achutha, V. and Khasim, D.I. 1975. Parameters affecting the viscosity of chitosan from prawn waste. *J. Food Sci. Technol.* 12 : 187 - 189.
- Muzzarelli, R.A.A. 1977. Chitin. Pergamon Press. New York.

Muzzarelli, R.A.A. 1983. Chitin and its derivatives : New trends of applied research.

Carbohydrate Polym. 3 : 53 - 73.

Muzzarelli, R.A.A., Mattioli - Belmonte, M., Pugnali, A. and Biagini, G. 1999.

Biochemistry History and Clinical Uses of Chitin and Chitosan in Wound Healing. *In* Chitin and Chitinases. (Jolles, P. and Muzzarelli, R.A.A., eds.) Birkhauser. Basel.

Narkviroj, P. 1987. The Utilization of Prawn Processing Wastes. Ph.D. Thesis, The Univ. of New South Wales.

No, H.K. Meyer, S.P. and Lee, K.S. 1989. Isolation and characterization of chitin from crawfish shell waste. *J. Agri. Food Chem.* 37 : 575 - 579.

Ockerman, H.W. 1992. Fishery By-products. *In* Fish Processing Technology (Hall G.M., ed.). p. 155 - 192. VCH Publishing Inc. New York.

Pomeranz, Y., Shogren, M.D., Finney, K.F. and Bechtel, D.B. 1977. Fiber in breadmaking effect on functional properties. *Cereal Chem.* 54 (1) : 25 - 41.

Qurashi, M.T., Blair, H.S. and Allen. 1992. Studies on modification chitosan membrane.II. Dialysis of low molecular weight metabolites. *J. Appl. Polym. Sci.* 46 : 263 - 269.

- Robert, G.A.F. 1997. Chitosan Production Routes and Their Role in Determining The Structure and Properties of The Product. *In* Advance in Chitin Science. (Domard, A., Robert, G.A.F. and Vrum, K.M., eds.). p. 22 - 31. Jacques Andre Publishing. France.
- Rutherford, F.A. and Austin, P.R. 1978. Marine Chitin Properties and Solvents. *In* Proceeding of the First International Conference on Chitin/Chitosan (Muzzarelli, R.A.A. and Pariser, E.R., eds.). 11 - 13 April 1978. Boston, Massachusetts, USA. p. 182 - 192.
- Sacharow, S. 1991. Austrain film's biopolymer offers environmental option, Paper Film Foil Conv. 65 : 58 - 59.
- Sharma, N., Chang, L.P., Chu, Y.L., Ismail, H., Ishiaku, U.S. and Mohd Ishak, Z.A. 2001. A study on the effect of pro-oxidant on the thermo-oxidative degradation behaviour of sago starch filled polyethylene. *J.Polym. Degradation and Stability*. 71 (3) : 381 - 393.
- Simpson, K. 1978. The Recovery of Protein and Pigments from Shrimp and Crab Meal and Their Use in Salmonoil Pigmentation. *In* Proceeding of the First International Conference on Chitin / Chitosan. (Muzzarelli, R.A.A. and Pariser, E.R., eds.). MIT Sea Grant Program. Cambridge,MA. p. 253 - 262.
- ✓ Simpson, B.K., Gagne, N. and Simpson, M.V. 1994. Bioprocessing of Chitin and Chitosan. *In* Fisheries Processing : Biotechnological Application (Martin, A.M. ed.). p. 155 - 173. Chapman & Hall. London.

- ✓ Singh, D.K. and Ray, A.R. 1994. Graft copolymerization of 2 - hydroxyethylenethacrylate onto chitosan film and their blood compatibility. J. Appl. Polym.Sci. 53 : 1115 - 1121.
- / Soto-Peralta, N.V., Muller, H. and Knorr, D. 1989. A research note : Effect of chitosan treatment on the clarity and color of apple juice. J. Food Sci. 54 : 459 - 496.
- Sriroth, K., Piyachomkwan, K., Chollakup, R., Chotineerarat, S., Hatairaktham, S., Chanyavilas, S., Thongpheuk, T., Bualamyai, S., Patiyuth, C., Oates, C.G. and Hicks, A. 1999. Properties and Utilization of Sago Palm (*Metroxylon* spp.) in Thailand. Text & Journal Publication. Bangkok.
- Tokura, S., Nishi, N., Tsotsumi, A. and Somorin, O. 1983. Studies on chitin : Some properties of water soluble chitin derivative. J. Polym. 15 : 485 - 489.
- Waniska, R.D. and Gomez, M.H. 1982. Dispersion behavior of starch. Food Technol. 46 (6) : 112 - 123.
- Whistler, R.L. and BeMiller, J.N. 1973. Industrial Gums: Polysaccharides and Their Derivative. Academic Press Inc. USA.
- Wong, D.W.S., Gregorski, K.S., Hudson, J.S. and Pavlath, A.E. 1996. Calcium alginate films : Thermal processing and permeability to sorbate and ascorbate. J. Food Sci. 61 : 337 - 341.



- Wu, A.C.M. and Bough, W.A. 1978. A Study of Variations in the Chitosan Manufacturing Process in Relation to Molecular Weight Distribution Chemical Characteristics and Waste Treatment Effectiveness. *In* Proceeding of the First International Conference on Chitin/Chitosan. (Muzzarelli, R.A.A. and Pariser, E.R., eds.). MIT. Sea Grant Program. Cambridge, MA. p. 88 - 102.
- Wurzburg, O.B. 1986. Cross-Linked Starches. Chap.3. *In* Modified Starches : Properties and Uses. CRC. Press Boca Ratom. Florida.
- Zagory, D. and Kader, A.A. 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. *Food Technol.* 42 (9) : 70 - 77.
- Zobel, F. 1984. Gelatinization of Starch and Mechanical Properties of Starch Pastes. *In* Starch : Chemistry and Technology (Whistler, R.L., BeMiller, J.N. and Paschall, F., eds.). p. 285 - 305. Academic Press Inc. London.

## ภาคผนวก

### ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ทางเคมี

#### 1. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 1999)

##### วัสดุอุปกรณ์

1. ตู้อบไฟฟ้า
2. เดซิเคเตอร์
3. ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
4. เครื่องชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

##### วิธีการวิเคราะห์

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในเดซิเคเตอร์ จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

2. กระทำข้อ 1 ซ้ำ จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1 - 3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-3 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นซึ่งทราบน้ำหนัก นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง

4. นำออกจากตู้อบใส่ในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง จากนั้นนำกลับไปเข้าตู้อบและกระทำเช่นเดิม จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1 - 3 มิลลิกรัม

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

## 2. การวิเคราะห์หาปริมาณเต้า (A.O.A.C., 1999)

### วัสดุอุปกรณ์

1. เต้าเผา
2. ถ้วยกระเบื้อง
3. เดซิเคเตอร์
4. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

### วิธีการวิเคราะห์

1. เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเต้าเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง นำออกจากเต้าเผาใส่ในเดซิเคเตอร์ ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก
2. กระทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบซึ่งทราบน้ำหนัก นำไปเผาในเต้าเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นานประมาณ 5-6 ชั่วโมง จนกระทั่งตัวอย่างกลายเป็นเถ้าสีขาว หรือสีเทาอ่อน
4. นำออกจากเต้าเผาใส่ในเดซิเคเตอร์ ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักแล้วนำกลับไปเผาอีกประมาณ 30 นาที กระทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

$$\text{ปริมาณเต้า (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา}}$$

## 3. การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน (A.O.A.C., 1999)

### วัสดุอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ย่อยไนโตรเจน ประกอบด้วย เต้าเผา และเครื่องดักจับไอกรด
2. อุปกรณ์กลั่นไนโตรเจน
3. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิเมตร
4. ปีเปตขนาด 5 และ 10 มิลลิเมตร

5. บิวเรตต์ขนาด 25 มิลลิเมตร
6. ลูกแก้ว
7. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

#### สารเคมี

1. สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) และ โพแทสเซียมซัลเฟต ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) อัตราส่วน 1:10
2. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 60
4. กรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4
5. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.02 นอร์มอล
6. อินดิเคเตอร์ เป็นสารผสมระหว่าง เมทิลเรด เมทิลีนบลู และโบรโมครีซอลกรีน

#### วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรอง ให้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 0.5-1.0 กรัม ห่อให้มิดชิด ใส่ลงในขวดย่อยโปรตีน (ตัวอย่างของเหลวใช้ปริมาตร 10-15 มิลลิลิตร)
2. ใส่สารผสมของ  $\text{CuSO}_4$  และ  $\text{K}_2\text{SO}_4$  ปริมาณ 5 กรัม
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น ปริมาตร 20 มิลลิลิตร
4. ใส่ลูกแก้ว
5. จัดอุปกรณ์สำหรับย่อย นำตัวอย่างไปย่อยบนเตาย่อย โดยตั้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นปรับอุณหภูมิเป็น 350 องศาเซลเซียส ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส
6. ปลดยthingให้เย็น
7. นำมาถ่ายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และใช้น้ำกลั่นล้างหลอดย่อยให้หมดสารละลายตัวอย่าง แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร เก็บไว้กั่นต่อไป
8. จัดอุปกรณ์สำหรับกลั่น รวมทั้งเปิดสวิตช์ไฟ และเปิดน้ำหล่อเย็นควบแน่น
9. นำขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์ แล้วนำไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรดนี้

10. เติมสารละลายตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในช่องใส่ตัวอย่าง แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น ร้อยละ 60 ลงไป 20 มิลลิลิตร

11. กั่นประมาณ 10 นาที ล้างปลายอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในขวดรองรับ

12. ไตเตรตสารละลายที่กั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.02 นอร์มอล สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง

13. ทำ blank ตามข้อ 1-12 โดยไม่ใส่ตัวอย่าง

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)} = \frac{(A - B) \times N \times 14 \times 100}{W}$$

A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรตกับ blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

## ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

### 1. การดูดซึมน้ำของถาด (ดัดแปลงวิธีตามมาตรฐาน ISO, 1991: 535)

การดูดซึมน้ำของถาด หมายถึง ปริมาณน้ำที่ถาดดูดซึมไว้ในระยะเวลาที่กำหนด

#### อุปกรณ์

1. กระดาษ 200 ปอนด์ ขนาด 12.5x12.5 เซนติเมตร
2. ลูกตุ้มหนัก 10 กิโลกรัม
3. กระบอกตวงขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. แผ่นไม้ขนาด 10.5x10.5x1 เซนติเมตร
5. นาฬิกาจับเวลา
6. เครื่องชั่งน้ำหนัก

#### สารเคมี

น้ำกลั่น

#### วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของถาด ( $W_1$ )
2. เทน้ำกลั่น 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในถาด จับเวลา 4 นาที 45 วินาที แล้วรีบเทน้ำ

ออกจากถาด

3. นำกระดาษ และแผ่นไม้วางลงบนถาด กดทับด้วยลูกตุ้มน้ำหนัก 10 กิโลกรัม เป็นเวลา 15 วินาที ยกลูกตุ้มน้ำหนัก แผ่นไม้ และกระดาษออก
4. นำถาดที่ผ่านการทดสอบไปชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ )

#### การคำนวณ

$$\text{ค่าการดูดซึมน้ำ} = (W_2 - W_1) / A$$

โดยที่  $W_1$  = น้ำหนักเริ่มต้นของถาด (กรัม)  
 $W_2$  = น้ำหนักของถาดหลังใส่น้ำ (กรัม)  
 $A$  = พื้นที่ของถาดที่สัมผัสน้ำ (ตารางเซนติเมตร)

หมายเหตุ การใช้กระดาษ แผ่นไม้ และลูกตุ้มน้ำหนัก 10 กิโลกรัม กดทับบนภาคนอกจากนี้ เพื่อไม่ให้กระดาษดูดซึมน้ำส่วนเกินที่กระดาษไม่ดูดซึมออกไป โดยมีแผ่นไม้รองรับลูกตุ้มไม่ให้โดนขอบภาคน

## 2. การต้านแรงกด (ศูนย์บรรจุหีบห่อไทย, 2539)

การต้านแรงกด หมายถึง ความสามารถของภาชนะบรรจุในการต้านแรงกดที่กระทำบนภาชนะบรรจุด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนภาชนะเสียรูป

### อุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ LLOYD รุ่น LR 30 K
2. แท่งเหล็กกลมรัศมี 7.5 เซนติเมตร
3. เครื่องคอมพิวเตอร์

### วิธีการ

1. ติดตั้งแท่งเหล็กกลมเข้ากับเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุที่ต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ ตั้ง load cell เท่ากับ 2.5 กิโลนิวตัน อัตราเร็ว 25 มิลลิเมตรต่อวินาที
2. นำภาคนไปวางบนเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ โดยคว่ำภาคนบนแท่งรองรับ แล้วสั่งให้เครื่องทำงานซึ่งควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ แท่งเหล็กกลมจะค่อยๆเลื่อนลงไปกดภาคนจนภาคนแตกหรือเสียรูปทรง ซึ่งแรงที่กดลงไปนั้นจะถูกบันทึกเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ และแสดงค่าแรงสูงสุดที่ภาคนทนได้หนึ่งค่า ( $F_m$ )

### การคำนวณ

$$\text{ค่าการต้านแรงกด} = F_m / A$$

โดยที่

$$F_m = \text{ค่าแรงสูงสุดที่ภาคนทนได้ (นิวตัน)}$$

$$A = \text{พื้นที่ผิวภาคนที่สัมผัสกับแท่งเหล็กกลม (ตารางเซนติเมตร)}$$

## 3. การต้านแรงดัดโค้ง (ศูนย์บรรจุหีบห่อไทย, 2539)

การต้านแรงดัดโค้ง หมายถึง ความสามารถของภาชนะบรรจุในการต้านแรงดัดโค้งที่กระทำบนภาชนะบรรจุด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนภาชนะเสียรูป

### อุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ LLOYD รุ่น LR 30 K
2. แท่งเหล็กกล้ามี 0.51 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร
3. แท่นวางถาดซึ่งมีช่องว่างอยู่ตรงกลาง
4. เครื่องคอมพิวเตอร์

### วิธีการ

1. ติดตั้งแท่งเหล็กกลมเข้ากับเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุที่ต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ ตั้ง load cell เท่ากับ 2.5 กิโลนิวตัน อัตราเร็ว 25 มิลลิเมตรต่อนาที
2. นำถาดซึ่งตัดให้มีขนาดความกว้าง 5 เซนติเมตรไปวางบนเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ โดยวางถาดบนแท่นรองรับที่มีช่องว่างอยู่ตรงกลาง แล้วสั่งให้เครื่องทำงานซึ่งควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ แท่งเหล็กกลมจะค่อยๆ เลื่อนลงไปกดถาดจนถาดแตกหรือเสียรูปทรง ซึ่งแรงที่กดลงไปนั้นจะถูกบันทึกเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ และแสดงค่าแรงสูงสุดที่ถาดทนได้หนึ่งค่า ( $F_m$ )

### การคำนวณ

$$\text{ค่าการต้านแรงดัดโค้ง} = F_m / A$$

โดยที่

$$F_m = \text{ค่าแรงสูงสุดที่ถาดทนได้ (นิวตัน)}$$

$$A = \text{พื้นที่ผิวถาดที่สัมผัสกับแท่งเหล็ก}$$

(ตารางเซนติเมตร)

### 3. การต้านแรงดันทะลุ (ดัดแปลงวิธีตามมาตรฐาน ASTM D 774, 1999)

การต้านแรงดันทะลุ หมายถึง ความสามารถของภาชนะบรรจุในการต้านแรงดันทะลุที่กระทำบนภาชนะบรรจุด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนภาชนะเสียรูป

### อุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ LLOYD รุ่น LR 30 K
2. แท่งเหล็กกลมรัศมี 1.25 เซนติเมตร
3. แท่นวางถาดซึ่งมีช่องว่างอยู่ตรงกลาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10x10 เซนติเมตร
4. เครื่องคอมพิวเตอร์



### วิธีการ

1. ติดตั้งแท่งเหล็กกลมเข้ากับเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุที่ต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ ตั้ง load cell เท่ากับ 2.5 กิโลนิวตัน อัตราเร็ว 25 มิลลิเมตรต่อนาที
2. นำภาคไปวางบนเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ โดยหงายภาคขึ้นบนแท่นรองรับที่มีช่องว่างอยู่ตรงกลาง แล้วสั่งให้เครื่องทำงานซึ่งควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ แท่งเหล็กกลมจะค่อยๆ เลื่อนลงไปกดภาคจนภาคแตกหรือเสียรูปทรง ซึ่งแรงที่กดลงไปนั้นจะถูกบันทึกเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ และแสดงค่าแรงสูงสุดที่ภาคทนได้หนึ่งค่า ( $F_m$ )

### การคำนวณ

$$\text{ค่าการต้านแรงดันทะลุ} = F_m / A$$

โดยที่  $F_m$  = ค่าแรงสูงสุดที่ภาคทนได้ (นิวตัน)  
 $A$  = พื้นที่ผิวภาคที่สัมผัสกับแท่งเหล็กกลม รัศมี 1.25 เซนติเมตร คิดเป็นพื้นที่ 5 ตารางเซนติเมตร

## ภาคผนวก ค การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

## แบบทดสอบให้คะแนนความชอบ (Hedonic Scale)

ชื่อผู้ทดสอบ..... เพศ.....

วัน เดือน ปี..... เวลา.....

กรุณาทดสอบตัวอย่างแคนตาลูป ซึ่งบรรจุในภาชนะบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ เพื่อทดสอบการยอมรับด้านสี กลิ่นรส ลักษณะปรากฏ และการยอมรับรวม โดยให้ระดับคะแนนตามความหมายต่อไปนี้

ระดับคะแนน	ความหมาย
9	ชอบมากที่สุด
8	ชอบมาก
7	ชอบปานกลาง
6	ชอบเล็กน้อย
5	เฉยๆ
4	ไม่ชอบเล็กน้อย
3	ไม่ชอบปานกลาง
2	ไม่ชอบมาก
1	ไม่ชอบที่สุด

ลักษณะ	รหัสตัวอย่าง				
คุณภาพ					
สี	.....	.....	.....	.....	.....
กลิ่นรส	.....	.....	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....	.....	.....
การยอมรับรวม	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ.....

## ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ง1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความหนา และน้ำหนักของถาด  
จากแป้งมันสำปะหลังพื้นฐาน

SV	DF	SS	MS	F
<b>ความหนา</b>				
Treatment	2	0.0384	0.0407	<1
Error	33	0.3668	0.0611	
Total	35	0.4052		
<b>น้ำหนัก</b>				
Treatment	2	0.7394	0.3697	<1
Error	33	4.2892	0.7148	
Total	35	5.0286		

ตารางผนวกที่ ง2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความหนา และน้ำหนักของถาด  
จากแป้งสาคุพื้นฐาน

SV	DF	SS	MS	F
<b>ความหนา</b>				
Treatment	2	0.0098	0.0049	<1
Error	33	0.4282	0.0 714	
Total	35	0.4380		
<b>น้ำหนัก</b>				
Treatment	2	0.8666	0.4333	<1
Error	33	5.1316	0.8552	
Total	35	5.9982		

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางกายภาพของถาดจาก  
แป้งมันสำปะหลังพื้นฐาน

SV	DF	SS	MS	F
<b>ค่าการดูดซึมน้ำ</b>				
Treatment	2	0.0002	0.0001	5.62 *
Error	6	0.0003	0.0001	
Total	8	0.0005		
<b>ค่าการต้านแรงกด</b>				
Treatment	2	0.2171	0.1086	1.21 ns
Error	6	0.5367	0.0894	
Total	8	0.7538		
<b>ค่าการต้านแรงดัดโค้ง</b>				
Treatment	2	0.1831	0.0916	1.49 ns
Error	6	0.3682	0.0613	
Total	8	0.5513		
<b>ค่าการต้านแรงด้นทะลุ</b>				
Treatment	2	2.7611	1.3806	4.25 ns
Error	6	1.9509	0.3251	
Total	8	4.7119		

\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางกายภาพของถาดจาก  
แป้งสาคุพื้นฐาน

SV	DF	SS	MS	F
<b>ค่าการดูดซึมน้ำ</b>				
Treatment	2	0.000 1	0.0001	6.86 *
Error	6	0.000 1	0.0001	
Total	8	0.000 1		
<b>ค่าการต้านแรงกด</b>				
Treatment	2	0.2171	0.1086	1.66 ns
Error	6	0.3929	0.0655	
Total	8	0.6100		
<b>ค่าการต้านแรงดัดโค้ง</b>				
Treatment	2	0.2425	0.1213	1.60 ns
Error	6	0.4555	0.0759	
Total	8	0.6980		
<b>ค่าการต้านแรงด้นทะลุ</b>				
Treatment	2	1.8770	0.9385	3.46 ns
Error	6	1.6265	0.2711	
Total	8	3.5036		

\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความหนา และค่าการดูดซึมน้ำของ  
แผ่นเคลือบจากวัสดุชนิดและความเข้มข้นต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
<b>ความหนา</b>				
Treatment	14	0.3174	0.0226	29.57**
Error	30	0.0230	0.0007	
Total	44	0.3404		
<b>ค่าการดูดซึมน้ำ</b>				
Treatment	14	0.0016	0.0001	36.12**
Error	30	0.0001	0.0001	
Total	44	0.0016		

\*\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ )

ตารางผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความหนา และน้ำหนักของภาคจาก  
แป้งมันสำปะหลังที่มีแผ่นเคลือบชนิดและความเข้มข้นต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
<b>ความหนา</b>				
Treatment	14	0.6143	0.0438	<1
Error	165	14.5690	0.4856	
Total	179	15.1833		
<b>น้ำหนัก</b>				
Treatment	14	5.2889	0.3777	<1
Error	165	30.9220	1.0307	
Total	179	36.2109		



ตารางผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความหนา และน้ำหนักของถาดจาก  
 แบ่งสาขาคู่ที่มีแผ่นเคลือบชนิดและความเข้มข้นต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
<b>ความหนา</b>				
Treatment	14	1.2331	0.0880	<1
Error	165	1 6.4296	0.5476	
Total	179	1 7.6627		
<b>น้ำหนัก</b>				
Treatment	14	7.4810	0.5344	<1
Error	165	33.6524	1.1217	
Total	179	41.1334		

ตารางผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางกายภาพของถาดจากแป้ง  
มันสำปะหลังที่มีแผ่นเคลือบต่างชนิดและความเข้มข้นต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
<b>ค่าการดูดซึมน้ำ</b>				
Treatment	14	0.0018	0.0001	73.89 **
Concentration (C)	4	0.0003	0.0001	39.21 **
Material (M)	2	0.0012	0.0006	332.47 **
C x M	8	0.0004	0.0001	26.58 **
Error	30	0.0001	0.0001	
Total	44	0.0018		
<b>ค่าการต้านแรงกด</b>				
Treatment	14	4.6423	0.3316	5.39 **
Concentration (C)	4	4.4414	1.1103	19.85 **
Material (M)	2	0.0075	0.0037	<1
C x M	8	0.1934	0.0242	<1
Error	30	1.6782	0.0559	
Total	44	6.3205		
<b>ค่าการต้านแรงดัดโค้ง</b>				
Treatment	14	1.1749	0.0839	3.77 **
Concentration (C)	4	1.0392	0.2598	11.68 **
Material (M)	2	0.0137	0.0068	<1
C x M	8	0.1220	0.0153	<1
Error	30	0.6675	0.0223	
Total	44	1.8424		

## ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

SV	DF	SS	MS	F
<b>ค่าการต้านแรงดันทะเล</b>				
Treatment	14	36.4369	2.6026	6.27 **
Concentration (C)	4	33.6529	8.4132	20.25 **
Material (M)	2	1.6713	0.8356	2.01 ns
C x M	8	1.1128	0.1390	<1
Error	30	12.4611	0.4154	
Total	44	48.8980		

\*\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ )

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางกายภาพของถาดจาก  
แป้งสาคูที่มีแผ่นเคลือบต่างชนิดและความเข้มข้นต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
<b>ค่าการดูดซึมน้ำ</b>				
Treatment	14	0.0015	0.0001	22.72 **
Concentration (C)	4	0.0003	0.0001	15.34 **
Material (M)	2	0.0008	0.0004	88.36 **
C x M	8	0.0004	0.0001	10.00 **
Error	30	0.0001	0.0001	
Total	44	0.0017		
<b>ค่าการต้านแรงกด</b>				
Treatment	14	10.9840	0.7845	3.35 **
Concentration (C)	4	7.7452	1.9363	8.27 **
Material (M)	2	2.8102	1.4051	6.00 **
C x M	8	0.4285	0.0535	<1
Error	30	7.0239	0.2341	
Total	44	18.0079		
<b>ค่าการต้านแรงตัดโค้ง</b>				
Treatment	14	2.7489	0.1963	2.06 *
Concentration (C)	4	2.5060	0.6265	6.57 **
Material (M)	2	0.0668	0.0334	<1
C x M	8	0.1759	0.0219	<1
Error	30	2.8607	0.0953	
Total	44	5.6097		

## ตารางผนวกที่ 9 (ต่อ)

SV	DF	SS	MS	F
ค่าการต้านแรงดันทะเล				
Treatment	14	57.9567	4.1397	2.37 *
Concentration (C)	4	43.9708	10.9927	6.29 **
Material (M)	2	11.1919	5.5959	3.20 ns
C x M	8	2.7939	0.3492	<1
Error	30	52.4293	1.7476	
Total	44	110.3860		

\*\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ )

\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความหนา และน้ำหนักของถาดจาก  
 แป้งมันสำปะหลังที่ใช้เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนเป็นส่วนผสมใน  
 แป้งพื้นฐาน

SV	DF	SS	MS	F
<b>ความหนา</b>				
Treatment	8	0.3258	0.0407	<1
Error	99	1.7900	0.0994	
Total	107	2.1158		
<b>น้ำหนัก</b>				
Treatment	8	15.4266	1.9283	2.59*
Error	99	13.3854	0.7436	
Total	107	28.812		

\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

ตารางผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความหนา และน้ำหนักของถาดจาก  
 แป้งสาคุที่ใช้เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนเป็นส่วนผสมในแป้งพื้นฐาน

SV	DF	SS	MS	F
<b>ความหนา</b>				
Treatment	8	0.1830	0.0228	<1
Error	99	1.3418	0.0745	
Total	107	1.5248		
<b>น้ำหนัก</b>				
Treatment	8	2.2272	0.2784	<1
Error	99	12.3906	0.6884	
Total	107	14.6178		

ตารางผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางกายภาพของถาดจากแป้งมัน  
สำปะหลังที่มีส่วนผสมของวัสดุต่างชนิดและความเข้มข้นต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
<b>ค่าการดูดซึมน้ำ</b>				
Treatment	8	0.0001	0.0001	<1
Concentration (C)	2	0.0001	0.0001	<1
Material (M)	2	0.0001	0.0001	1.32ns
C x M	4	0.0001	0.0001	<1
Error	18	0.0002	0.0001	
Total	26	0.0001		
<b>ค่าการต้านแรงกด</b>				
Treatment	8	2.7177	0.3397	<1
Concentration (C)	2	1.0235	0.5117	<1
Material (M)	2	0.9525	0.4762	<1
C x M	4	0.7418	0.1854	<1
Error	18	10.2206	0.5678	
Total	26	12.9384		
<b>ค่าการต้านแรงดัดโค้ง</b>				
Treatment	8	3.1735	0.3966	5.44 **
Concentration (C)	2	1.4129	0.7064	9.69 **
Material (M)	2	1.5833	0.7916	10.86 **
C x M	4	0.1772	0.0443	<1
Error	18	1.3124	0.0729	
Total	26	4.4858		



## ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ)

SV	DF	SS	MS	F
<b>ค่าการต้านแรงดันทะเล</b>				
Treatment	8	16.8604	2.1075	3.29 *
Concentration (C)	2	5.7516	2.8758	4.49 *
Material (M)	2	9.0183	4.5091	7.04 **
C x M	4	2.0905	0.5226	<1
Error	18	11.5223	0.6401	
Total	26	28.3827		

\*\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ )

\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติทางกายภาพของถาดจาก  
แป้งสาคูที่มีส่วนผสมของวัสดุต่างชนิด และความเข้มข้นต่างกัน

SV	DF	SS	MS	F
<b>ค่าการดูดซึมน้ำ</b>				
Treatment	8	0.0002	0.0001	5.19 **
Concentration (C)	2	0.0001	0.0001	2.26 ns
Material (M)	2	0.0001	0.0001	10.71 **
C x M	4	0.0001	0.0001	3.91 *
Error	18	0.0001	0.0001	
Total	26	0.0003		
<b>ค่าการต้านแรงกด</b>				
Treatment	8	10.1682	1.2710	3.38 *
Concentration (C)	2	3.8463	1.9231	5.12 *
Material (M)	2	4.1713	2.0856	5.55 *
C x M	4	2.1506	0.5377	1.43 ns
Error	18	6.7609	0.3756	
Total	26	16.9292		
<b>ค่าการต้านแรงตัดโค้ง</b>				
Treatment	8	4.6303	0.5787	1.55 ns
Concentration (C)	2	0.9641	0.4821	1.29 ns
Material (M)	2	3.3046	1.6523	4.43 *
C x M	4	0.3615	0.0904	<1
Error	18	6.7157	0.3731	
Total	26	11.3461		

## ตารางผนวกที่ 13 (ต่อ)

SV	DF	SS	MS	F
<b>ค่าการต้านแรงดันทะเล</b>				
Treatment	8	33.7215	4.2152	9.99 **
Concentration (C)	2	16.3429	8.1714	19.36 **
Material (M)	2	13.7629	6.8815	16.30 **
C x M	4	3.6156	0.9039	2.14 ns
Error	18	7.5971	0.4221	
Total	26	41.3186		

\*\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ )

\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลการทดสอบทางประสาธน์สัมพัทธ์ด้าน  
 สีส กลิ่นรส ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ของแคนตาลูป  
 ตัดแต่งที่บรรจุในภาชนะชนิดต่างๆระหว่างการเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส

SV	DF	SS	MS	F
<b>สี</b>				
Replication	9	8.2700	0.9188	1.03 ns
Treatment	29	137.1367	4.7289	5.30 **
Treatment (T)	4	7.1200	1.7800	1.99 ns
Day (D)	5	125.8567	25.1713	28.19 **
T x D	20	4.1600	0.2080	<1
Error	261	233.0300	0.8928	
Total	299	378.4367		
<b>กลิ่นรส</b>				
Replication	9	13.8300	1.5367	2.02 *
Treatment	29	289.6967	9.9896	13.15 **
Treatment (T)	4	7.4133	1.8533	2.44 *
Day (D)	5	274.0167	54.8033	72.14 **
T x D	20	8.2667	0.4133	<1
Error	261	198.2700	0.7597	
Total	299	501.7967		

## ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ)

SV	DF	SS	MS	F
<b>ลักษณะปรากฏ</b>				
Replication	9	19.9633	2.2181	2.40 *
Treatment	29	231.6967	7.9895	8.65 **
Treatment (T)	4	8.6467	2.1617	2.34 ns
Day (D)	5	220.2567	44.0513	47.72 **
T x D	20	2.7933	0.1397	<1
Error	261	240.9367	0.9231	
Total	299	492.5967		
<b>เนื้อสัมผัส</b>				
Replication	9	8.3467	0.9274	<1
Treatment	29	237.7467	8.1982	8.46 **
Treatment (T)	4	1.9800	0.4950	<1
Day (D)	5	234.6667	46.9333	48.45 **
T x D	20	1.1000	0.0550	<1
Error	261	252.8533	0.9688	
Total	299	498.9467		

## ตารางผนวกที่ 14 (ต่อ)

SV	DF	SS	MS	F
<b>การยอมรับรวม</b>				
Replication	9	8.4300	0.9367	1.37 ns
Treatment	29	176.9667	6.0929	8.88 **
Treatment (T)	4	17.0133	4.2533	6.20 **
Day (D)	5	157.0967	31.4193	45.79 **
T x D	20	2.5867	0.1293	<1
Error	261	179.0700	0.6861	
Total	299	364.1967		

\*\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ )

\* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 15 สมบัติทางกายภาพของถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีแผ่นเคลือบจาก เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างกัน

ชนิด ของ สารเคลือบ	ค่าการ* ดูดซึมน้ำ (g/cm <sup>2</sup> )	ค่าการต้าน* แรงกด (N/cm <sup>2</sup> )	ค่าการต้าน* แรงดัดโค้ง (N/cm <sup>2</sup> )	ค่าการต้าน* แรงดันทะลุ (N/cm <sup>2</sup> )
เปลือกกุ้ง 4%	0.028 ± 0.000 <sup>ch</sup>	4.091 ± 0.19 <sup>c</sup>	2.597 ± 0.16 <sup>c</sup>	10.485 ± 0.65 <sup>c</sup>
เปลือกกุ้ง 6%	0.028 ± 0.000 <sup>c</sup>	4.155 ± 0.04 <sup>c</sup>	2.858 ± 0.03 <sup>abc</sup>	10.823 ± 0.89 <sup>c</sup>
เปลือกกุ้ง 8%	0.029 ± 0.000 <sup>c</sup>	4.611 ± 0.22 <sup>c</sup>	2.936 ± 0.16 <sup>ab</sup>	11.583 ± 0.62 <sup>bc</sup>
เปลือกกุ้ง 10%	0.035 ± 0.002 <sup>d</sup>	4.773 ± 0.04 <sup>abc</sup>	3.131 ± 0.10 <sup>a</sup>	12.220 ± 0.65 <sup>ab</sup>
เปลือกกุ้ง 12%	0.037 ± 0.004 <sup>d</sup>	4.781 ± 0.10 <sup>ab</sup>	3.151 ± 0.08 <sup>a</sup>	12.863 ± 0.54 <sup>a</sup>
ไคติน 4%	0.028 ± 0.001 <sup>c</sup>	4.154 ± 0.05 <sup>c</sup>	2.760 ± 0.03 <sup>bc</sup>	10.805 ± 0.40 <sup>c</sup>
ไคติน 6%	0.018 ± 0.000 <sup>ab</sup>	4.342 ± 0.16 <sup>c</sup>	2.905 ± 0.16 <sup>ab</sup>	11.470 ± 0.28 <sup>bc</sup>
ไคติน 8%	0.017 ± 0.001 <sup>a</sup>	4.535 ± 0.08 <sup>bc</sup>	2.974 ± 0.04 <sup>ab</sup>	11.617 ± 0.62 <sup>bc</sup>
ไคติน 10%	0.019 ± 0.000 <sup>ab</sup>	4.794 ± 0.10 <sup>a</sup>	2.988 ± 0.15 <sup>ab</sup>	12.853 ± 0.63 <sup>a</sup>
ไคติน 12%	0.019 ± 0.001 <sup>ab</sup>	4.872 ± 0.39 <sup>a</sup>	3.114 ± 0.12 <sup>a</sup>	13.178 ± 0.57 <sup>a</sup>
ไคโตแซน 4%	0.027 ± 0.002 <sup>c</sup>	4.166 ± 0.02 <sup>c</sup>	2.777 ± 0.17 <sup>bc</sup>	10.669 ± 0.81 <sup>c</sup>
ไคโตแซน 6%	0.018 ± 0.001 <sup>ab</sup>	4.379 ± 0.04 <sup>bc</sup>	2.887 ± 0.13 <sup>bc</sup>	11.443 ± 0.71 <sup>bc</sup>
ไคโตแซน 8%	0.018 ± 0.000 <sup>ab</sup>	4.478 ± 0.11 <sup>abc</sup>	2.908 ± 0.17 <sup>ab</sup>	12.317 ± 0.52 <sup>ab</sup>
ไคโตแซน 10%	0.019 ± 0.000 <sup>ab</sup>	4.778 ± 0.05 <sup>abc</sup>	3.102 ± 0.09 <sup>a</sup>	12.508 ± 0.60 <sup>ab</sup>
ไคโตแซน 12%	0.021 ± 0.001 <sup>b</sup>	5.042 ± 0.21 <sup>a</sup>	3.197 ± 0.13 <sup>a</sup>	13.163 ± 0.26 <sup>a</sup>

\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

# ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางผนวกที่ 16 สมบัติทางกายภาพของถาดจากแป้งสาหร่ายที่มีแผ่นเคลือบจากเปลือกกุ้ง  
ไคติน และไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างกัน

ชนิด ของ สารเคลือบ	ค่าการ* ดูดซึมน้ำ (g/cm <sup>2</sup> )	ค่าการต้าน* แรงกด (N/cm <sup>2</sup> )	ค่าการต้าน* แรงดัดโค้ง (N/cm <sup>2</sup> )	ค่าการต้าน* แรงดันทะลุ (N/cm <sup>2</sup> )
เปลือกกุ้ง 4%	0.026 ± 0.002 <sup>b</sup>	4.431 ± 0.08 <sup>d</sup>	2.741 ± 0.13 <sup>d</sup>	11.624 ± 0.97 <sup>d</sup>
เปลือกกุ้ง 6%	0.028 ± 0.001 <sup>b</sup>	4.786 ± 0.5 <sup>cd</sup>	2.960 ± 0.04 <sup>bcd</sup>	12.040 ± 1.09 <sup>cd</sup>
เปลือกกุ้ง 8%	0.025 ± 0.001 <sup>b</sup>	5.055 ± 0.24 <sup>abcd</sup>	3.065 ± 0.13 <sup>abcd</sup>	12.256 ± 0.78 <sup>cd</sup>
เปลือกกุ้ง 10%	0.034 ± 0.003 <sup>c</sup>	5.123 ± 0.16 <sup>abcd</sup>	3.279 ± 0.08 <sup>abc</sup>	13.640 ± 0.85 <sup>abcd</sup>
เปลือกกุ้ง 12%	0.036 ± 0.002 <sup>c</sup>	5.553 ± 0.06 <sup>abc</sup>	3.473 ± 0.02 <sup>ab</sup>	14.123 ± 0.47 <sup>abcd</sup>
ไคติน 4%	0.027 ± 0.004 <sup>b</sup>	4.836 ± 0.18 <sup>bcd</sup>	2.978 ± 0.07 <sup>bcd</sup>	12.408 ± 0.42 <sup>bcd</sup>
ไคติน 6%	0.016 ± 0.003 <sup>a</sup>	5.267 ± 0.12 <sup>abcd</sup>	3.031 ± 0.25 <sup>abcd</sup>	13.069 ± 0.85 <sup>abcd</sup>
ไคติน 8%	0.018 ± 0.001 <sup>a</sup>	5.839 ± 0.18 <sup>a</sup>	3.333 ± 0.11 <sup>ab</sup>	14.417 ± 1.16 <sup>abc</sup>
ไคติน 10%	0.019 ± 0.001 <sup>a</sup>	5.859 ± 0.17 <sup>a</sup>	3.366 ± 0.24 <sup>ab</sup>	14.916 ± 1.14 <sup>ab</sup>
ไคติน 12%	0.020 ± 0.002 <sup>a</sup>	5.947 ± 0.07 <sup>a</sup>	3.535 ± 0.21 <sup>a</sup>	14.974 ± 0.65 <sup>ab</sup>
ไคโตแซน 4%	0.028 ± 0.003 <sup>b</sup>	4.671 ± 0.11 <sup>d</sup>	2.789 ± 0.11 <sup>cd</sup>	12.031 ± 0.79 <sup>cd</sup>
ไคโตแซน 6%	0.017 ± 0.002 <sup>a</sup>	5.075 ± 0.12 <sup>abcd</sup>	3.029 ± 0.10 <sup>abcd</sup>	12.528 ± 1.09 <sup>abcd</sup>
ไคโตแซน 8%	0.019 ± 0.001 <sup>a</sup>	5.732 ± 0.09 <sup>ab</sup>	3.248 ± 0.12 <sup>abcd</sup>	13.551 ± 0.60 <sup>abcd</sup>
ไคโตแซน 10%	0.020 ± 0.001 <sup>a</sup>	5.728 ± 0.17 <sup>abc</sup>	3.349 ± 0.03 <sup>ab</sup>	13.847 ± 0.79 <sup>abcd</sup>
ไคโตแซน 12%	0.020 ± 0.002 <sup>a</sup>	5.880 ± 0.29 <sup>a</sup>	3.475 ± 0.23 <sup>ab</sup>	15.035 ± 0.92 <sup>ab</sup>

\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

# ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)



ตารางผนวกที่ 17 สมบัติทางกายภาพของถาดจากแป้งมันสำปะหลังที่มีส่วนผสมของ เปลือกกุ้ง ไคติน และไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างกัน

ชนิด ของ วัสดุ	ค่าการ* ดูดซึมน้ำ (g/cm <sup>2</sup> )	ค่าการต้าน* แรงกด (N/cm <sup>2</sup> )	ค่าการต้าน* แรงดัดโค้ง (N/cm <sup>2</sup> )	ค่าการต้าน* แรงดันทะลุ (N/cm <sup>2</sup> )
เปลือกกุ้ง 6%	0.038±0.002 <sup>ab</sup>	2.678±0.06 <sup>a</sup>	1.948 ±0.28 <sup>c</sup>	7.376 ±0.33 <sup>c</sup>
เปลือกกุ้ง 8%	0.034±0.002 <sup>a</sup>	2.793±0.19 <sup>a</sup>	2.618 ±0.11 <sup>ab</sup>	8.501 ±0.74 <sup>abc</sup>
เปลือกกุ้ง 10%	0.037±0.008 <sup>a</sup>	2.829±0.05 <sup>a</sup>	2.616±0.23 <sup>ab</sup>	8.653 ±0.71 <sup>abc</sup>
ไคติน 6%	0.034±0.002 <sup>a</sup>	3.157±0.39 <sup>a</sup>	2.574 ±0.23 <sup>b</sup>	8.207 ±0.98 <sup>bc</sup>
ไคติน 8%	0.036 ±0.002 <sup>a</sup>	3.259±0.29 <sup>a</sup>	2.783 ±0.32 <sup>ab</sup>	8.979 ±0.85 <sup>ab</sup>
ไคติน 10%	0.033±0.002 <sup>a</sup>	3.513±0.21 <sup>a</sup>	3.000±0.06 <sup>ab</sup>	9.979±0.45 <sup>a</sup>
ไคโตแซน 6%	0.036±0.001 <sup>a</sup>	2.679±0.17 <sup>a</sup>	2.679 ±0.26 <sup>ab</sup>	9.451 ±0.63 <sup>ab</sup>
ไคโตแซน 8%	0.035±0.005 <sup>a</sup>	3.069±0.20 <sup>a</sup>	2.800±0.20 <sup>ab</sup>	9.501 ±0.31 <sup>ab</sup>
ไคโตแซน 10%	0.033±0.001 <sup>a</sup>	3.594±0.23 <sup>a</sup>	3.127 ±0.31 <sup>a</sup>	9.780 ±0.50 <sup>a</sup>

\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

# ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางผนวกที่ 18 สมบัติทางกายภาพของถาดจากแป้งสาคุที่มีส่วนผสมของเปลือกกุ้ง  
ไคติน และไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างกัน

ชนิด ของ วัสดุ	ค่าการ* ดูดซึมน้ำ (g/cm <sup>2</sup> )	ค่าการต้าน* แรงกด (N/cm <sup>2</sup> )	ค่าการต้าน* แรงดัดโค้ง (N/cm <sup>2</sup> )	ค่าการต้าน* แรงดันทะลุ (N/cm <sup>2</sup> )
เปลือกกุ้ง 6%	0.038 ± 0.001 <sup>c#</sup>	2.667 ± 0.12 <sup>b</sup>	2.366 ± 0.11 <sup>b</sup>	9.251 ± 0.52 <sup>c</sup>
เปลือกกุ้ง 8%	0.031 ± 0.003 <sup>ab</sup>	3.840 ± 0.17 <sup>a</sup>	2.639 ± 0.32 <sup>ab</sup>	11.843 ± 0.87 <sup>b</sup>
เปลือกกุ้ง 10%	0.031 ± 0.002 <sup>ab</sup>	4.418 ± 0.31 <sup>a</sup>	3.161 ± 0.37 <sup>ab</sup>	11.903 ± 0.51 <sup>b</sup>
ไคติน 6%	0.031 ± 0.001 <sup>ab</sup>	3.878 ± 0.08 <sup>a</sup>	3.165 ± 0.18 <sup>ab</sup>	11.879 ± 0.13 <sup>b</sup>
ไคติน 8%	0.032 ± 0.001 <sup>b</sup>	4.625 ± 0.24 <sup>a</sup>	3.259 ± 0.32 <sup>ab</sup>	12.272 ± 0.14 <sup>ab</sup>
ไคติน 10%	0.028 ± 0.001 <sup>a</sup>	4.659 ± 0.28 <sup>a</sup>	3.596 ± 0.29 <sup>a</sup>	13.281 ± 0.30 <sup>a</sup>
ไคโตแซน 6%	0.032 ± 0.004 <sup>b</sup>	4.489 ± 0.24 <sup>a</sup>	3.456 ± 0.34 <sup>ab</sup>	11.667 ± 0.20 <sup>b</sup>
ไคโตแซน 8%	0.032 ± 0.003 <sup>b</sup>	4.492 ± 0.29 <sup>a</sup>	3.583 ± 0.35 <sup>a</sup>	12.295 ± 0.56 <sup>ab</sup>
ไคโตแซน 10%	0.030 ± 0.002 <sup>ab</sup>	4.654 ± 0.32 <sup>a</sup>	3.599 ± 0.31 <sup>a</sup>	13.126 ± 0.63 <sup>b</sup>

\* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

# ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย สมเกียรติ ดิษฐแก้ว	
วัน เดือน ปีเกิด	19 ตุลาคม 2518	
วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วุฒิ	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล	2541
วิทยาศาสตร์บัณฑิต	คณะเกษตรศาสตร์ นครศรีธรรมราช	
(วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยีการอาหาร)		