



โครงการ  
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การปรับปรุงสมบัติบรรจุภัณฑ์กระดาษด้วยกระบวนการเคลือบสารไขจากใบกล้วย  
และไคโตซาน

Improving properties of paper packaging by coating with banana leaf  
wax and chitosan

ชื่อนิสิต	นายชนดิรัตน์	บูรณพันธ์พงศ์	เลขประจำตัว	6033216423
	นายชลันธร	ภัทรเดชากุล	เลขประจำตัว	6033219323

ภาควิชา วัสดุศาสตร์

ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

### เรื่อง

การปรับปรุงสมบัติบรรจุภัณฑ์กระดาษด้วยกระบวนการเคลือบสารไขจากใบกล้วยและไคโตซาน  
Improving properties of paper packaging by coating with banana leaf wax and chitosan

### เสนอ

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ตามระเบียบการศึกษาชั้นปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต

### จัดทำโดย

นายชนดิรัตน์	บูรณพันธ์พงศ์	6033216423
นายชลันธร	ภัทรเดชากุล	6033219323

### อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัญญพร บุญมหิทธิสุทธิ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภโชค ตันพิชัย

### อนุมัติโดย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัญญพร บุญมหิทธิสุทธิ์)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภโชค ตันพิชัย)



### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ การเตรียมสารเคลือบผสมระหว่างสารไซจากใบกล้วยและไคโตซาน โดยสารไซเตรียมได้จากการสกัดใบกล้วยน้ำว่าด้วยเฮกเซนและเอทานอล จากนั้นนำไปผสมกับสารละลายไคโตซานในน้ำส้มสายชูที่มีความเข้มข้นของกรดอะซิติกร้อยละ 5 ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ของสารไซและไคโตซานที่ 1/9, 3/7, 5/5 และ 7/3 ตามลำดับ หลังจากนั้นนำสารเคลือบผสมที่เตรียมได้ถูกนำไปเคลือบลงบนกระดาษเกรตอาหารด้วยแท่งเคลือบ และนำไปทดสอบการวัดสี ความทนแรงดึงก่อนและหลังแช่น้ำ การดูดซึมน้ำ และมุมสัมผัสของน้ำ จากผลการทดสอบ พบว่า การเคลือบสารเคลือบผสมระหว่างสารไซจากใบกล้วยและไคโตซาน ทำให้กระดาษมีค่าดัชนีความเหลืองมากขึ้น และดัชนีความขาวลดลง เนื่องจากความเหลืองของสารเคลือบผสม นอกจากนี้พบว่ากระดาษที่ทำการเคลือบด้วยสารเคลือบผสมมีสมบัติในการต้านทานการดูดซึมน้ำ มุมสัมผัสของน้ำ และความทนแรงดึงหลังแช่น้ำสูงกว่ากระดาษที่ไม่ทำการเคลือบ เนื่องจากความไม่ชอบน้ำ และการเกิดฟิล์มของไคโตซานและสารไซที่ไปปกปิดรูของกระดาษทำให้น้ำซึมผ่านได้ลดลง โดยการเคลือบที่อัตราส่วน 7/3 เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดซึ่งสามารถต้านทานการดูดซึมน้ำสูงกว่า 2.81 เท่า และมีผลต่างมุมสัมผัสของน้ำต่ำกว่า 5.03 เท่า ขณะที่การเคลือบที่อัตราส่วน 5/5 เป็นอัตราส่วนที่มีความทนแรงดึงหลังแช่น้ำดีที่สุด โดยมีค่าสูงกว่า 1.97 เท่า เมื่อเทียบกับกระดาษที่ไม่ทำการเคลือบ

### Abstract

The purpose of this research was to prepare a mixed coating from extracted banana leaf wax and chitosan. The wax was prepared via extraction of banana leaves with hexane and ethanol. Then, the extracted banana leaf wax was mixed with a solution of chitosan in vinegar with a concentration of 5% acetic acid in various ratios of wax and chitosan (1/9, 3/7, 5/5 and 7/3). The prepared mixed solution was coated on food grade paper with a coating rod. The color measurement, tensile strength before and after immersion, water absorption, and water contact angle of the coated paper were investigated. The results indicated that the mixed banana leaf wax and chitosan coating increased the yellowness of coated paper while the whiteness of coated paper decreased due to the yellowness of the mixed suspension. In addition, the coated paper had better properties than the uncoated paper including water absorption, water contact angle, and tensile strength after immersion due to hydrophobicity caused by film formation of chitosan with banana leaf wax on paper. The 7/3 ratio coating was the optimum ratio which provided the coated paper with 2.81 times lower water absorption and 5.03 times higher water contact angle in comparison with those of uncoated paper while the 5/5 ratio coating had the maximum tensile strength after immersion with 1.97 times higher than that of uncoated paper.

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นเพราะได้รับความร่วมมือจากบุคคลหลายท่าน ทั้งคำแนะนำทางวิชาการ ความเอื้อเฟื้อในด้านเครื่องมือ วัสดุดิบ และสถานที่ทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความสนับสนุน ช่วยเหลือ แนะนำในการทำงานวิจัยจากผู้ทรงคุณวุฒิด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบคุณบุคคล และหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัญญาพร บุญมหิทธิสุทธิ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุกโขตต์ ต้นพิชัย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้โอกาสผู้วิจัยในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และคอยสนับสนุนในการจัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนการดูแลเอาใจใส่

2. นายกษิตศ ทองดอนสนธิ นายชุตติเดช ทองดีเลิศ และ นางสาวอัญชลิกา คงแสงแก้ว นิสิตปริญญาโท และ นางสาวธมนวรรณ จันทรมณี นิสิตปริญญาเอก ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยแนะนำระหว่างการทำวิจัยและสอนการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์และทดสอบต่าง ๆ

3. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ และ ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี และห้องทดลองในงานวิจัยนี้

4. รุ่นพี่ เพื่อน และบุคลากรภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษาจนงานวิจัยนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และเพื่อนที่คอยให้การสนับสนุน ให้กำลังใจในการทำงานวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า จนสามารถเขียนและสร้างสรรค์งานวิจัยเล่มนี้ได้

## คำนำ

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้างประสบการณ์ในระดับปริญญาตรี เป็นโครงการที่มีประโยชน์ ต่ออนิสิตเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นการส่งเสริมให้สามารถนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้กับการปฏิบัติงานจริง และเพื่อให้มีการพัฒนาความคิดเชิงสร้างสรรค์ในการทำงานวิจัย และได้เรียนรู้การทำงานร่วมกับผู้อื่นตลอดจน เรียนรู้ถึงกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์เฉพาะทางมากขึ้น

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว โดยทำการปรับปรุงสมบัติของบรรจุภัณฑ์กระดาษ โดยการเคลือบด้วยสารไขจากใบกล้วยและโคโคซาน เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สมบัติ ในรายงานฉบับนี้จะ กล่าวถึงความเป็นมาในการทำวิจัย วัตถุประสงค์ ทฤษฎี ความรู้ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิธีปฏิบัติงาน ผลการ ทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

ทางคณะผู้จัดทำมีความยินดีเป็นอย่างยิ่ง ถ้าหากมีผู้นำรายงานฉบับนี้ไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาทาง วิชาการและยังเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านและผู้สนใจที่จะทำวิจัยต่อไป หากมีข้อผิดพลาดประการใดทางผู้จัดทำ ขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
คำนำ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 บรรจุกัณฑ์	3
2.2 วัตถุประสงค์ของบรรจุกัณฑ์	3
2.3 ประเภทของบรรจุกัณฑ์	3
2.3.1 พอลิเมอร์ฐานปิโตรเลียม	3
2.3.2 พอลิเมอร์ฐานชีวภาพ	4
2.3.2.1 พอลิเมอร์จากฐานธรรมชาติ	5
2.3.2.2 พอลิเมอร์จากฐานชีวภาพ	5
2.3.2.3 พอลิเมอร์จากสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม	5
2.4 องค์ประกอบของเยื่อไม้	6
2.5 การเคลือบผิว	7
2.6 ไคโตซาน	7
2.6.1 การละลายไคโตซาน	8
2.6.2 สมบัติการต้านทานจุลินทรีย์	8
2.7 สารไซ	9
2.7.1 สารไซจากธรรมชาติ	9
2.7.1.1 สารไซจากพืช	9
2.7.1.2 สารไซจากสัตว์	9
2.7.1.3 สารไซจากปิโตรเลียม	10
2.7.2 สารไซสังเคราะห์	10

	หน้า
2.7.2.1 สารโซลิวอลิเอทิลีน	10
2.7.2.2 พอลิเทระฟลูออโรเอทิลีน	10
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
<b>บทที่ 3 วิธีการทดลอง</b>	<b>14</b>
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี	14
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	14
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชิ้นทดสอบ	14
3.2.2 เครื่องมือวิเคราะห์และทดสอบสมบัติ	15
3.3 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง	16
3.4 ขั้นตอนการทดลอง	17
3.4.1 การสกัดสารโซจากใบกล้วย	17
3.4.2 การเตรียมสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารโซจากใบกล้วย และการเตรียมสารละลายไคโตซาน	17
3.4.3 การเตรียมฟิล์มของสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซาน และสารโซจากใบกล้วย และ สารละลายไคโตซาน	18
3.4.4 การเคลือบกระดาษด้วยสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซาน และสารโซจากใบกล้วย และสารละลายไคโตซานบนกระดาษ	18
3.5. การวิเคราะห์ฟิล์มไคโตซาน	18
3.5.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของฟิล์มไคโตซาน	18
3.5.2 การทดสอบสมบัติในการต้านแบคทีเรีย	19
3.6 การวิเคราะห์สารโซจากใบกล้วย	19
3.6.1 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของสารโซจากใบกล้วย	19
3.6.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารโซจากใบกล้วย	19
3.7 การวิเคราะห์สารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารโซจากใบกล้วย	20
3.7.1 การทดสอบการตกตะกอนของสารเคลือบผสมระหว่าง ไคโตซานและสารโซจากใบกล้วย และสารละลายไคโตซาน	20
3.7.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของฟิล์มสารเคลือบผสมระหว่าง ไคโตซานและสารโซจากใบกล้วย	20
3.8 การทดสอบสมบัติของกระดาษเคลือบด้วยสารเคลือบผสมระหว่าง ไคโตซานและสารโซจากใบกล้วย	20
3.8.1 การวัดความชื้นสัมพัทธ์ ดัชนีความเหลือง และดัชนีความขาว	20

	หน้า
3.8.2 การทดสอบสมบัติความทนแรงดึง	20
3.8.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำของกระดาษเคลือบ	21
3.8.4 มุมสัมผัสของน้ำ	21
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง</b>	<b>23</b>
4.1 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มไคโตซาน	23
4.1.1 ลักษณะของแผ่นฟิล์มไคโตซาน	23
4.1.2 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ด้วยเทคนิค FT-IR	23
4.1.3 สมบัติการต้านแบคทีเรียของไคโตซาน	24
4.2 ผลการวิเคราะห์สารไซ	26
4.2.1 ลักษณะของสารไซจากใบกล้วยน้ำกล้วยน้ำว่า	26
4.2.2 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ด้วยเทคนิค FT-IR	27
4.2.3 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค	28
4.3 ผลการวิเคราะห์สารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย	29
4.3.1 ลักษณะของสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย	29
4.3.2 การทดสอบการตกตะกอนของสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย	29
4.3.3 ลักษณะของแผ่นฟิล์มของสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย	30
4.3.4 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ด้วยเทคนิค FT-IR	31
4.4 ผลการทดสอบสมบัติของกระดาษเคลือบด้วยสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย	32
4.4.1 การวิเคราะห์ความเข้มสี ดัชนีความเหลือง และดัชนีความขาว	32
4.4.2 สมบัติความทนแรงดึง	34
4.4.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำของเหลว	36
4.4.4 วิเคราะห์ค่ามุมสัมผัสของน้ำ	37
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	<b>39</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	39
5.1.1 การวิเคราะห์ฟิล์มไคโตซาน	39
5.1.2 การวิเคราะห์สารไซ	39
5.1.3 ผลการวิเคราะห์สารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย	39
5.1.4 ผลการทดสอบสมบัติของกระดาษเคลือบด้วยสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย	40

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก	43
ภาคผนวก ก	43
ภาคผนวก ข	44
ภาคผนวก ค	46
ภาคผนวก ง	47
ภาคผนวก จ	48



สารบัญรูปรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 สัดส่วนลักษณะการใช้งานลักษณะต่าง ๆ ของพลาสติก	4
รูปที่ 2.2 แผนผังการจำแนกพอลิเมอร์ฐานชีวภาพประเภทต่าง ๆ	5
รูปที่ 2.3 สัดส่วนการใช้งานบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ	6
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของโคโตซาน	7
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสารไซ	9
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง	16
รูปที่ 3.2 แท่งเคลือบผิวควบคุมความหนา	18
รูปที่ 3.3 เครื่องฟูเรียร์แทรนสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์	18
รูปที่ 3.4 เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค	19
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดสี	20
รูปที่ 3.6 เครื่องยูนิเวอร์แซล	21
รูปที่ 3.7 เครื่องวัดมุมสัมผัส	22
รูปที่ 4.1 ลักษณะแผ่นฟิล์มโคโตซาน	23
รูปที่ 4.2 โครงสร้างของโคโตซาน	23
รูปที่ 4.3 FT-IR สเปกตรัมของสารโคโตซาน	24
รูปที่ 4.4 จำนวนแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> บนแผ่นฟิล์มโคโตซาน ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง $10^{-3}$ (A) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง $10^0$ (B)	25
รูปที่ 4.5 จำนวนแบคทีเรีย <i>Escherichia coli</i> บนแผ่นฟิล์มโคโตซาน ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง $10^{-3}$ (A) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง $10^0$ (B)	25
รูปที่ 4.6 จำนวนเชื้อรา <i>Aspergillus niger</i> บนแผ่นฟิล์มโคโตซาน ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง $10^{-3}$ (A) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง $10^0$ (B)	26
รูปที่ 4.7 สารไซก่อนการสกัดสี	26
รูปที่ 4.8 สารไซหลังการสกัดสี	26
รูปที่ 4.9 โครงสร้างทางเคมีของสารไซจากใบกล้วยน้ำว้า	27
รูปที่ 4.10 FT-IR สเปกตรัมของสารไซได้จากใบกล้วยน้ำว้า	27
รูปที่ 4.11 ขนาดอนุภาคของสารไซที่กระจายตัวในน้ำส้มสายชูด้วยวิธีปั่นกวนกับความร้อน	28
รูปที่ 4.12 ขนาดอนุภาคของสารไซที่กระจายตัวในน้ำกลั่นด้วยวิธีใช้เครื่องล้างความถี่สูง	28
รูปที่ 4.13 สารเคลือบผสมระหว่างโคโตซานและสารไซจากใบกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ	29
รูปที่ 4.14 ลักษณะการตกตะกอนของสารเคลือบผสมระหว่างโคโตซานและสารไซกล้วย ในวันที่ 1 (A) วันที่ 2 (B) วันที่ 3 (C) วันที่ 7 (D) และวันที่ 14 (E)	29

รูปที่ 4.15 ลักษณะแผ่นฟิล์มสารเคลือบผสมระหว่างโคโตซานและสารไซจากใบกล้วย ที่อัตราส่วนต่าง ๆ	31
รูปที่ 4.16 FT-IR สเปกตรัมของสารเคลือบผสมระหว่างโคโตซานและสารไซจากใบกล้วย	32
รูปที่ 4.17 กระจกเคลือบ 1 ด้าน (แก้วบน) และ 2 ด้าน (แก้วล่าง) ที่อัตราส่วนต่าง ๆ	32
รูปที่ 4.18 แรงแสงสูงสุดต่อความกว้างของกระจกและกระจกที่เคลือบ หนึ่งด้านและสองด้านในสภาวะแห้ง	35
รูปที่ 4.19 แรงแสงสูงสุดต่อความกว้างของกระจกและกระจกที่เคลือบ หนึ่งด้านและสองด้านในสภาวะเปียก	35
รูปที่ 4.20 ร้อยละการดูดซึมน้ำของกระจกและกระจกที่เคลือบหนึ่งด้านและสองด้าน	36

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของเยื่อไม้	6
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนสารเคลือบผสมระหว่างโคโตซานและสารไซจากใบกล้วย	17
ตารางที่ 4.1 การต้านแบคทีเรียแกรมบวกของโคโตซาน	24
ตารางที่ 4.2 การต้านแบคทีเรียแกรมลบของโคโตซาน	24
ตารางที่ 4.3 การต้านเชื้อราของโคโตซาน	25
ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้น ดัชนีความเหลือง และดัชนีความขาว และ องค์ประกอบของสี ของกระดาษและกระดาษที่เคลือบหนึ่งด้าน	33
ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้น ดัชนีความเหลือง และดัชนีความขาว และ องค์ประกอบของสี ของกระดาษและกระดาษที่เคลือบสองด้าน	33
ตารางที่ 4.6 แแรงสูงสุดต่อความกว้างของกระดาษและกระดาษที่เคลือบ หนึ่งด้านและสองด้านในสถานะแห้ง	34
ตารางที่ 4.7 แแรงสูงสุดต่อความกว้างของกระดาษและกระดาษที่เคลือบ หนึ่งด้านและสองด้านในสถานะเปียกน้ำ	34
ตารางที่ 4.8 ร้อยละการดูดซึมน้ำของกระดาษและกระดาษที่เคลือบหนึ่งด้านและสองด้าน	36
ตารางที่ 4.9 รูปและค่ามุมสัมผัสของน้ำที่ 0 นาทีและ 2 นาที	37

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

วัสดุจากธรรมชาติ เช่น ใบตอง ใบบัว กะลามะพร้าว ถูกนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารอย่างมากมาย ไม่ว่าจะเป็นภาชนะรองอาหาร ภาชนะใส่อาหาร หรือ ภาชนะห่ออาหาร เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์ แต่ด้วยข้อจำกัดในการใช้งานและวิวัฒนาการทางเทคโนโลยี จึงทำให้มีการนำพลาสติกจากฐานปิโตรเลียมมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ แม้พลาสติกจากฐานปิโตรเลียมจะมีข้อดีในเรื่องของสมบัติเชิงกล และความคงทนเมื่อเทียบกับวัสดุจากธรรมชาติ แต่บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากพลาสติกจากฐานปิโตรเลียมนั้นก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลังการใช้งาน เนื่องจากพลาสติกจากฐานปิโตรเลียมนั้นใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายทางชีวภาพที่นาน ปัจจุบันจึงมีแนวโน้มในการกลับมาใช้วัสดุจากธรรมชาติควบคู่กับการใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น บรรจุภัณฑ์กระดาษที่ผลิตจากเซลลูโลสซึ่งเป็นหนึ่งในวัสดุจากธรรมชาติที่ได้รับความนิยม เนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถเกิดทดแทนได้ (renewable resources) และสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้เป็นอย่างดีหลังการใช้งาน หากแต่การนำกระดาษมาใช้งานในลักษณะของบรรจุภัณฑ์ยังพบปัญหาที่เป็นข้อเสียเมื่อเทียบกับบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกจากฐานปิโตรเลียม คือ มีการซึมผ่านของของเหลวได้ง่าย ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและระยะเวลาในการใช้งานที่ลดลง งานวิจัยนี้จึงสนใจในการเพิ่มสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านของของเหลวโดยใช้วัสดุที่มาจากธรรมชาติโดยเลือกใช้สาร 2 ชนิด คือ ไคโตซาน (chitosan) ที่เป็นอนุพันธ์ที่ไม่ละลายน้ำของไคติน (chitin) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ สามารถหาได้ง่ายโดยการสกัดจากเปลือกของกุ้งหรือปู และสารไข (wax) ซึ่งเป็นสารประกอบเอสเทอร์สายโซ่ยาว (long-chain ester compound) ที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ สามารถสกัดได้จากเปลือกของผลไม้หรือใบของพืชหลายชนิด ซึ่งสารดังกล่าวล้วนเป็นวัสดุเชิงชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และมีความปลอดภัยในการใช้กับมนุษย์ สัตว์และสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้การเพิ่มสมบัติของบรรจุภัณฑ์จากกระดาษด้วยสารทั้งสอง ยังให้ความสามารถในการป้องกันหรือลดอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารเกิดการเน่าเสียได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงสมบัติให้กับกระดาษด้วยสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไขจากใบกล้วย โดยเปรียบเทียบอัตราการสวนของสารไขต่อไคโตซาน ได้แก่ 1:9, 3:7, 5:5 และ 7:3 โดยน้ำหนัก ต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และ สมบัติการต้านทานเชื้อราและแบคทีเรียของกระดาษเพื่อเตรียมเป็นบรรจุภัณฑ์กระดาษที่มีสมบัติที่เหมาะสมแก่การใช้งานต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. สกัดสารไซจากใบกล้วยเพื่อใช้เป็นสารเคลือบบนกระดาษ
2. เปรียบกระดาษเคลือบด้วยสารเคลือบผสมระหว่างโคโตนซานและสารไซจากใบกล้วยในอัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยกระบวนการเคลือบ
3. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติการต้านทานเชื้อราและแบคทีเรียของกระดาษที่ทำ การเคลือบด้วยสารเคลือบผสมระหว่างโคโตนซานและสารไซจากใบกล้วย

## 1.3 ขอบเขตการทดลอง

ทำการเคลือบกระดาษด้วยสารเคลือบผสมระหว่างโคโตนซานและสารไซจากใบกล้วย ในอัตราส่วนต่าง ๆ หลังจากนั้นนำกระดาษเคลือบที่เตรียมได้มาทดสอบสมบัติต่าง ๆ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บรรจุกัณฑ์

บรรจุกัณฑ์ หมายถึง สิ่งที่ทำหุ้มหรือปกป้องผลิตภัณฑ์ในลักษณะต่าง ๆ เช่น ถุง กระเป่า กล่อง ถ้วย ถาด กระป๋อง ท่อ ขวด หรือภาชนะอื่น ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการใช้งานในลักษณะของการบรรจุ การป้องกัน การรักษาสภาพ การสื่อสาร และการอำนวยความสะดวก เป็นต้น [1] นอกจากนี้ยังหมายถึง ศาสตร์ ศิลปะ และเทคโนโลยีในการเตรียมสินค้าเพื่อการขนส่งและการจำหน่าย หรือการให้ความปลอดภัยต่อสินค้าก่อนส่งไปยังผู้บริโภค โดยสูญเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด [2]

#### 2.2 วัตถุประสงค์ของบรรจุกัณฑ์

บรรจุกัณฑ์โดยทั่วไปถูกผลิตขึ้นมาเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

- 1) การบรรจุผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์จากแหล่งหนึ่งไปยังอีกแหล่ง [1]
- 2) การป้องกันผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายในบรรจุกัณฑ์จากสิ่งปนเปื้อนภายนอก เช่น น้ำ ไอน้ำ แก๊ส กลิ่น จุลินทรีย์ ฝุ่น การกระแทก การสั่น การกดอัด เป็นต้น [1]
- 3) การรักษาสภาพ ก่อนการเลือกใช้บรรจุกัณฑ์เราต้องทราบถึงธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ที่จะบรรจุ เช่น วัสดุ น้ำหนัก ขนาด และรูปทรงของผลิตภัณฑ์ รวมถึงปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ในขณะใช้งานผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เพื่อให้สามารถประเมินหาวัสดุและรูปแบบบรรจุกัณฑ์ที่เหมาะสมในการรักษาสภาพของผลิตภัณฑ์ [2]
- 4) การสื่อสารผ่านบรรจุกัณฑ์ที่มีรูปร่างโดดเด่นโดยจะส่งผลให้ผู้บริโภคสามารถจดจำผลิตภัณฑ์ได้ดี เพิ่มความสะดวกในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ [1]
- 5) การอำนวยความสะดวกในการใช้งาน เช่น การเตรียมอาหารในเวลาอันสั้น ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อความต้องการของผู้บริโภค และเป็นการช่วยกระตุ้นการขายให้กับผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตนั้น ๆ [1]

#### 2.3 ประเภทของบรรจุกัณฑ์

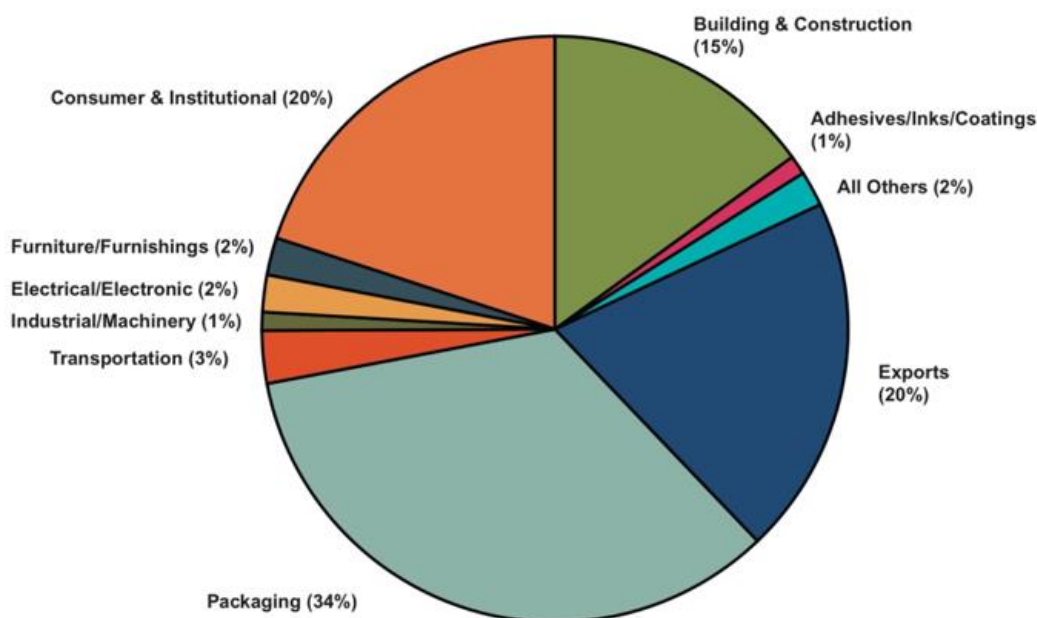
การแบ่งชนิดของบรรจุกัณฑ์สามารถแบ่งได้หลายแนวทางโดยในงานวิจัยนี้จะแบ่งชนิดของบรรจุกัณฑ์ตามแหล่งที่มาของวัตถุดิบ ดังนี้

##### 2.3.1 พอลิเมอร์ฐานปิโตรเลียม [3]

พอลิเมอร์ฐานปิโตรเลียมเตรียมจากปิโตรเลียมที่เป็นสารโมเลกุลเดี่ยวที่นำไปผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชันได้เป็นพลาสติกออกมา (พลาสติกทำจากโมโนเมอร์ที่มีอะตอมหลายประเภท การจัดเรียง

โครงสร้าง และจำนวนโมเลกุลโดยอะตอมเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดลักษณะของพลาสติกแต่ละชนิด) และจำนวนโมเลกุล โดยอะตอมเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดลักษณะของพลาสติกแต่ละชนิด)

พลาสติกถูกแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ เทอร์โมเซตพลาสติก และ เทอร์โมพลาสติก โดยพลาสติกถูกใช้ในลักษณะบรรจุภัณฑ์มากเป็นลำดับที่หนึ่ง แสดงดังรูปที่ 2.1

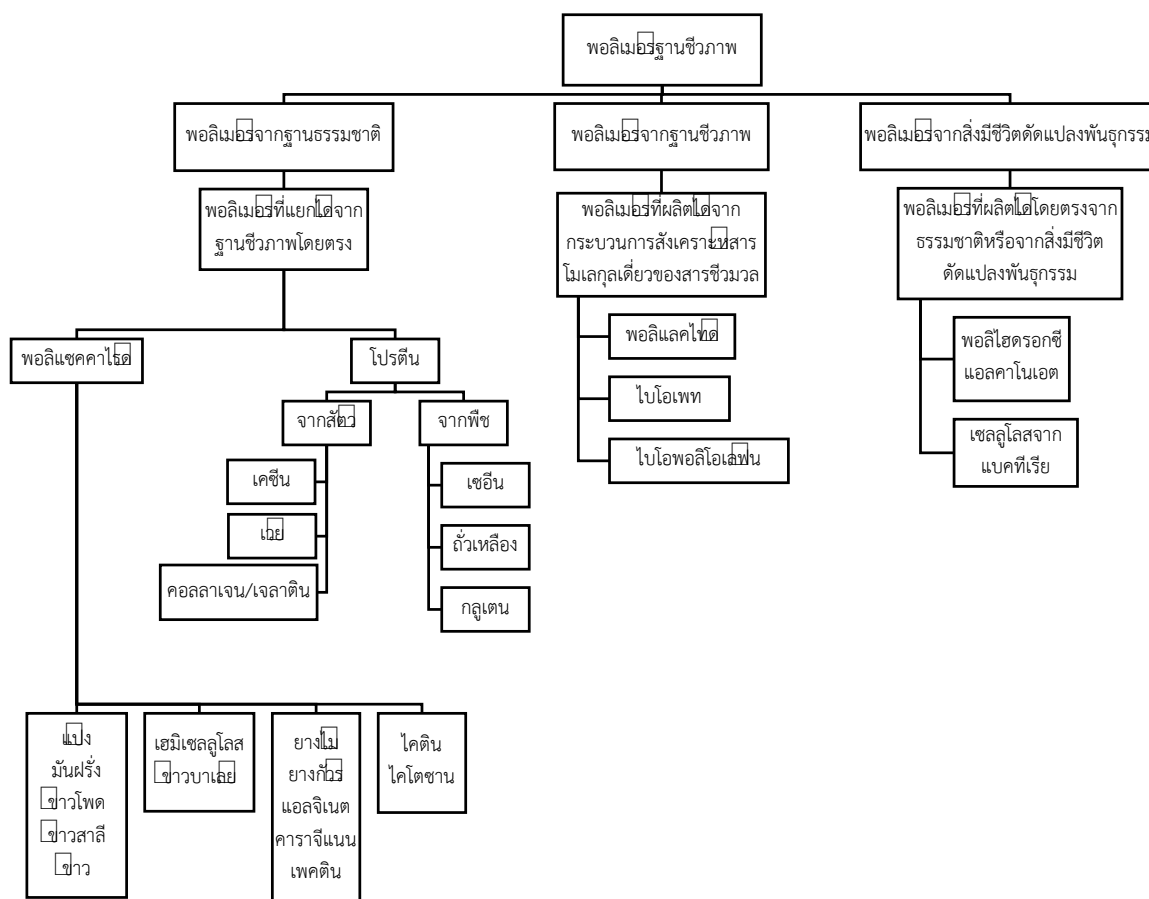


รูปที่ 2.1 สัดส่วนลักษณะการใช้งานลักษณะต่าง ๆ ของพลาสติก [3]

พลาสติกที่ใช้สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารมีทั้งพลาสติกแบบแข็งและพลาสติกแบบยืดหยุ่น บรรจุภัณฑ์พลาสติกแข็งมีส่วนแบ่งการตลาดที่มากกว่าบรรจุภัณฑ์พลาสติกยืดหยุ่นประมาณร้อยละ 20 ตามรายงานการวิจัยในปี 2008 โดยองค์กรบรรจุภัณฑ์โลก และพอลิเมอร์ที่ถูกใช้งานในลักษณะของบรรจุภัณฑ์อาหารมีประสิทธิภาพดีในด้านของการทนสารเคมีและการทนความร้อน การซึมผ่านของก๊าซในระดับปานกลางและสูง มีความต้านทานการกัดกร่อน และพฤติกรรมทางความร้อนและพฤติกรรมเชิงกล

### 2.3.2 พอลิเมอร์ฐานชีวภาพ [1]

ด้วยปัญหาที่เกิดขึ้นหลังจากการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติก คือ การกำจัดที่ใช้เวลาในการย่อยสลายนาน ดังนั้นการเลือกใช้พอลิเมอร์ฐานชีวภาพจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์เนื่องจากมีแหล่งวัตถุดิบที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ทดแทนได้ (renewable resource) และสามารถเกิดการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable) ซึ่งเป็นการช่วยลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจากบรรจุภัณฑ์ พอลิเมอร์ฐานชีวภาพเกิดจากสารตั้งต้นที่มาจากธรรมชาติเป็นวัสดุที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ทดแทนวัสดุเดิมที่ได้ โดยสามารถจำแนกประเภทได้จากแหล่งที่มาและจากกระบวนการผลิต แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนผังการจำแนกพอลิเมอร์ฐานชีวภาพประเภทต่าง ๆ [1]

### 2.3.2.1 พอลิเมอร์จากฐานธรรมชาติ

พอลิเมอร์ที่แยกได้จากฐานชีวภาพโดยตรง ทั้งจากสิ่งมีชีวิตในทะเล และจากผลผลิตทางการเกษตร เช่น พอลิแซ็กคาไรด์ ที่ได้จากเซลลูโลส แป้ง และไคติน หรือโปรตีน ที่ได้จากคอลลาเจน และถั่วเหลือง เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถพบได้มากที่สุด

### 2.3.2.2 พอลิเมอร์จากฐานชีวภาพ

พอลิเมอร์ที่ผลิตได้จากกระบวนการสังเคราะห์สารโมเลกุลเดี่ยวของสารชีวมวล เช่น polylactic acid (PLA) และ biopolyethylene (bioPE)

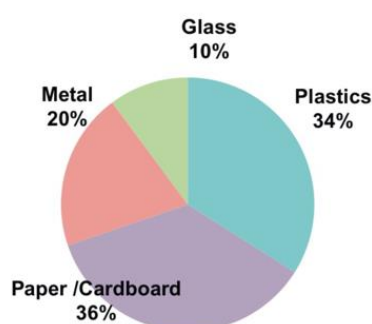
### 2.3.2.3 พอลิเมอร์จากสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม

พอลิเมอร์ที่ผลิตได้โดยตรงจากธรรมชาติหรือจากสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม โดยสิ่งมีชีวิตที่ดัดแปลงพันธุกรรม เช่น แบคทีเรีย จะบริโภคน้ำตาลและเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลภายในตัวแบคทีเรีย ให้กลายเป็นพอลิเมอร์ชนิดนี้ เช่น polyhydroxyalkanoates (PHA)



## 2.4 องค์ประกอบของเยื่อไม้ [3]

พอลิเมอร์ฐานชีวภาพที่ผู้วิจัยสนใจที่จะนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ คือ พอลิเมอร์จากฐานธรรมชาติ โดยเลือกเป็นกระดาษที่ผลิตขึ้นจากเซลลูโลส เนื่องจากกระดาษถือเป็นวัสดุหลักที่ถูกนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์มาอย่างยาวนานโดยมีสัดส่วนการใช้งานในภาคอุตสาหกรรม แสดงดังรูปที่ 2.3 นอกจากการใช้งานในลักษณะของการเขียนหรือการพิมพ์แล้ว กระดาษยังถูกใช้งานในลักษณะของบรรจุภัณฑ์ เช่น กระดาษห่ออาหาร ถุงกระดาษ ซองใส่พัสตุ เป็นต้น โดยกระดาษถูกผลิตจากเยื่อไม้เป็นวัสดุหลัก โดยองค์ประกอบของเยื่อไม้ แสดงไว้ในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.3 สัดส่วนการใช้งานบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ [3]

## ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของเยื่อไม้ [3]

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
เส้นใย	45
เซลลูโลส	
เมทริกซ์	
ลิกนิน	20
เฮมิเซลลูโลส	20
น้ำ	10
สารประกอบอื่น ๆ	5

จากตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ของเยื่อไม้ที่ใช้ในการผลิตกระดาษ โดยเส้นใยที่ได้จากเนื้อไม้สามารถสร้างกระดาษที่มีความแข็งแรงกว่าเส้นใยที่ได้จากส่วนอื่นของพืช และด้วยราคาที่ไม่สูงทำให้กระดาษถือเป็นวัสดุหลักในบรรจุภัณฑ์ของอุตสาหกรรมหลายประเภท นอกจากขั้นตอนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน บรรจุภัณฑ์จากกระดาษสามารถเก็บรักษาได้ง่าย สามารถนำกลับมาใช้งานซ้ำได้ มีน้ำหนักที่เบาสามารถย่อยสลายทางธรรมชาติได้ มีความแข็งแรง และความยืดหยุ่นที่จำเป็นสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ

อย่างไรก็ตาม กระจกตายังมีข้อด้อยบางประการที่ทำให้ไม่ถูกนำมาใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์อย่างแพร่หลาย เนื่องจากของเหลวและก๊าซสามารถเกิดการแพร่ผ่านได้ง่าย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับปรุงสมบัติให้กับกระจกตา โดยผู้วิจัยสนใจการเคลือบกระจกตาด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่าง ๆ เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อน

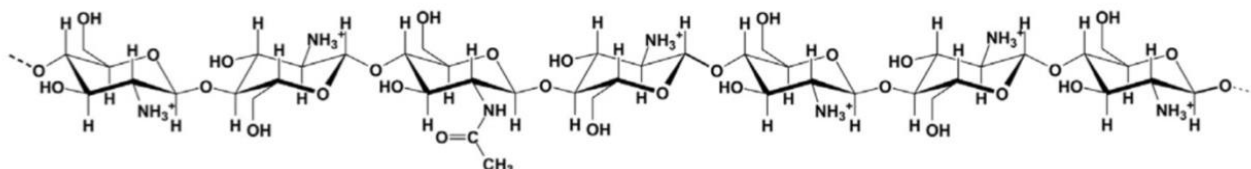
## 2.5 การเคลือบผิว [4]

กระจกตาสามารถเพิ่มความแข็งแรงและความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของของเหลวและก๊าซได้โดยการนำไปรวมกับวัสดุอื่น ๆ เช่น น้ำมัน สารไข พอลิเมอร์ (พลาสติก) และโลหะด้วยวิธีการเคลือบหรือการทำเป็นชั้น ๆ เช่น บรรจุภัณฑ์ multilayer ที่พบในอุตสาหกรรมอาหารหลายประเภท

การเคลือบพื้นผิว คือ กรรมวิธีหนึ่งในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยการผสมวัสดุที่สร้างฟิล์มรวมถึงเม็ดสี ตัวทำละลาย และสารเติมแต่งอื่น ๆ เมื่อนำไปใช้กับพื้นผิวจะเกิดการแห้งและให้ฟิล์มบาง เพื่อป้องกันพื้นผิวจากสิ่งแวดล้อม โดยมักใช้ในการตกแต่ง สารเคลือบผิวมีมากมายหลายประเภทโดยสารเคลือบผิวที่ผู้วิจัยสนใจที่จะนำมาปรับปรุงสมบัติของบรรจุภัณฑ์กระจกตา คือ สารเคลือบผิวที่มาจากธรรมชาติ ได้แก่ ไคโตซาน (chitosan) และสารไข (wax)

## 2.6 ไคโตซาน [5]

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากการดึงหมู่อะซิติล (acetyl group) ของไคตินออกไปโดยปฏิกิริยา deacetylation ทำให้โครงสร้างของไคตินที่เป็น N-acetyl glucosamine กลายเป็น glucosamine ซึ่งเป็นโครงสร้างที่พร้อมจะทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว ในอุตสาหกรรมจะสกัดจากเปลือกกุ้ง ปู หมึก โดยไคโตซานที่ได้มีส่วนผสมของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine และ glucosamine อยู่ในสายพอลิเมอร์เดียวกัน แสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งระดับการกำจัดหมู่ acetyl หรือร้อยละการเกิด deacetylation (%DD) นี้มีผลต่อสมบัติและการทำงานของไคโตซาน นอกจากนี้ น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน ยังมีผลต่อความหนืด เช่น ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีสายโซ่ยาว และสารละลายมีความหนืดมากกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นต้น ดังนั้นการนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์ จะต้องพิจารณาทั้งร้อยละการเกิด deacetylation และน้ำหนักโมเลกุลไคโตซาน



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของไคโตซาน [6]

### 2.6.1 การละลายไคโตซาน [5]

ไคโตซานสามารถละลายในตัวละลายหลายชนิด ได้แก่ สารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดอะซิติก กรดโพธิโอนิก กรดแลคติก กรดฟูวริก กรดมาลิก กรดทาทาริก กรดซิทริก เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถละลายในสารละลายกรดไนตริก กรดไฮโปคลอริก กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง (ความเข้มข้นร้อยละ 1 หรือน้อยกว่า) และละลายได้เล็กน้อยในกรดฟอสฟอริก (ความเข้มข้นร้อยละ 0.5) แต่ไม่ละลายในกรดซัลฟูริก ไคโตซานไม่ละลายน้ำแต่จะละลายในรูปของเกลือของกรดหลายชนิดยกเว้นเกลือซัลเฟตและเกลือซัลไฟด์ นอกจากนี้ไคโตซานไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่ว ๆ ไป แต่จะละลายในสารละลายพอลิแอลกอฮอล์ที่มีสภาพเป็นกรด เช่น ในสารผสมของกลีเซอรอลและน้ำ (3:1) ที่มีกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 1 สารละลายที่ได้จะใส และสามารถละลายได้ในเอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) โดยพบว่าการละลายในสารละลายอินทรีย์พวกพอลิแอลกอฮอล์จะมีความหนืดของไคโตซานเล็กน้อย ถ้ามีกลีเซอรอลอยู่ในสารละลายส่งผลให้ไคโตซานมีลักษณะเป็นเจล

นอกจากนี้ไคโตซานยังมีสมบัติการชอบน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำแตกต่างกันไปซึ่งขึ้นกับปริมาณผลึก ปริมาณโปรตีน รวมทั้งหมู่ที่สามารถเกิดเกลือกับตัวทำละลายของไคโตซาน

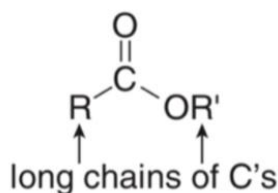
### 2.6.2 สมบัติการต้านทานจุลินทรีย์

ไคโตซานถูกค้นพบเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการต่อต้านจุลินทรีย์จำพวกสาหร่ายเซลล์เดียว แบคทีเรีย ยีสต์ และฟังไจ โดยการนำจุลินทรีย์มาทดสอบกับไคโตซานในรูปแบบต่าง ๆ (สารละลาย ฟิล์ม และ สารประกอบ) [7] โดยเมื่อค่า pH ต่ำกว่า pKa ของไคโตซาน ( $\text{pH} < 6.3$ ) หมู่อะมิโนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของวงแหวน pyranose ของไคโตซานจะเกิดโปรตอนเนชัน ไคโตซานจึงละลายน้ำได้มากขึ้น ทำให้มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียที่มากกว่าไคติน เมื่อไคโตซานเกิดโปรตอนเนชันกลายเป็น polycationic chitosan จะมีฤทธิ์ต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เนื่องจากประจุบวกในสายโซ่ไคโตซานจะเกิดอันตรกิริยากับผนังเซลล์จุลินทรีย์ซึ่งมีประจุลบ และหากความหนาแน่นของประจุบวกมากขึ้นจะทำให้อันตรกิริยาระหว่างไคโตซานกับผนังเซลล์ของจุลินทรีย์รุนแรงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้ความหนาแน่นประจุไคโตซานนั้นแปรผันตรงกับ %DD หรือปริมาณหมู่อะมิโนในสายโซ่ไคโตซานซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดโปรตอนเนชัน จากรายงานผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* ที่ pH 5.5 ด้วยไคโตซานที่มี %DD ต่างกัน พบว่าไคโตซานที่มี %DD เท่ากับ 97.5 สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดีกว่าไคโตซานที่มี %DD เท่ากับ 83.7 สามารถสรุปหลักการยับยั้งจุลินทรีย์ [8] ดังนี้

- 1) การเกิดแรงไฟฟ้าระหว่าง polycationic chitosan กับผนังเซลล์จุลินทรีย์
- 2) ไคโตซานกลายเป็นฟิล์มบางปกคลุมบนผนังเซลล์จุลินทรีย์
- 3) การแทรกซึมของไคโตซานโอลิโกเมอร์เข้าไปยังภายในเซลล์จุลินทรีย์
- 4) การเกิดดีเลตระหว่างโมเลกุลไคโตซานกับไอออนของโลหะ
- 5) กลไกการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบของไคโตซาน

## 2.7 สารไข [9]

สารไขเป็นสารที่มีความยืดหยุ่นพบได้ในสัตว์ พืช แร่ธาตุ หรือสารสังเคราะห์ มีความแตกต่างจากสารไขมันที่มีความเหนียวเล็กน้อย แข็ง และเปราะ ประกอบด้วยโมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โครงสร้างสารไขแสดงดังรูปที่ 2.5 สำหรับสารไขที่ใช้เตรียมอาจจะได้จากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสารไข [10]

### 2.7.1 สารไขจากธรรมชาติ

เป็นสารไขที่สามารถพบได้จากธรรมชาติทั้งจากสิ่งมีชีวิต เช่น พืช หรือสัตว์ และสิ่งไม่มีชีวิต เช่น ปิโตรเลียม

#### 2.7.1.1 สารไขจากพืช

สกัดได้จากผิวของทุกส่วนของพืช โดยพืชที่นิยมใช้เป็นประกอบของสารเคลือบผิวคือ ต้นคาร์นูบาเป็นสารไขที่สกัดได้จากผิวของ brazilian palm (*Copernicia cerifera*) มีคุณภาพดีที่สุดในแง่ความแข็งแรงที่สุดมีความเงามันสูง มีกลิ่นหอม ไม่มีพิษต่อการบริโภค สารไขชนิดนี้จะมีราคาแพงกว่าสารไขสังเคราะห์ มีจุดหลอมเหลวสูงสุดที่ 84 - 96 องศาเซลเซียส ส่วน candelilla เป็นสารไขที่แยกได้จากต้นของพืช *Pedilanthus pavonis* มีความแข็งแรงและความเงามันรองจากต้นคาร์นูบา มีความเปราะและมีกลิ่นหอม เมื่อรวมตัวกับกรดโอเลอิกจะเกิดผลึกน้อยลงและมีความอ่อนนุ่มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีสารไขที่แยกได้จากใบของกล้วยที่มีสกุล *Musa*. ทุกชนิด [11] โดยจุดหลอมเหลวประมาณ 78 - 82 องศาเซลเซียส มีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายกับสารไขจากคาร์นูบา เป็นกรดสารไขมันที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอนตั้งแต่ 14 ถึง 30 อะตอม ซึ่งมีทั้งกรดสารไขมันที่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว โดยส่วนใหญ่จะพบกรดสารไขมันที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอน 22 อะตอม [15] เรียกกรดสารไขมันชนิดว่า กรดเบเฮนิก (behenic acid) แต่เมื่อเทียบปริมาณสารไขบนพื้นผิวใบกล้วยที่มีพื้นที่มากกว่าใบอ่อนของต้นคาร์นูบาจะพบว่าใบกล้วยมีปริมาณสารไขที่น้อยกว่าสารไขที่พบบนใบอ่อนของต้นคาร์นูบา [12]

#### 2.7.1.2 สารไขจากสัตว์ [11]

มีแตกต่างกันหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันเป็นองค์ประกอบของสารเคลือบผิวผลไม้คือ shellac ได้จากมูลของครั่ง มีความเงามันสูง มีจุดหลอมเหลวที่ 72 - 80 องศาเซลเซียส spermaceti ได้จากวาฬ wool wax ได้จากขนแกะ และ beewax ได้จากผึ้ง

### 2.7.1.3 สารไขจากปิโตรเลียม [11]

เป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม มีลักษณะแตกต่างกัน 4 ชนิด โดยชนิดที่ใช้เตรียมสารเคลือบผิวได้บ้างคือ paraffin wax มีลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว อ่อนนุ่ม ลื่น ไม่มีกลิ่น เมื่อรวมตัวกับตัวทำละลายจะเหนียว microcrystalline wax เป็นผลึกขนาดเล็ก เหนียว และอ่อนนุ่ม มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีแรงดึงและจุดหลอมเหลวสูงกว่า paraffin มีความมันเงาน้อย ลื่นมือ สามารถรวมกับสารไขจากพืชและเรซิน ซึ่งมีผลให้จุดหลอมเหลวและความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

### 2.7.2 สารไขสังเคราะห์

ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นโดยกระบวนการทางเคมี ส่วนมากสังเคราะห์ได้ [11] จากก๊าซธรรมชาติ หรือเอทิลีน [13] อาจมีการผสมสีหรือสารกันราเข้าด้วยกัน ซึ่งมีผลต่อการเก็บรักษา ป้องกันเชื้อรา และเพื่อความสวยงาม โดยสมบัติเฉพาะที่พบในสารไขคือ มีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลวมากกว่า 40 องศาเซลเซียส มีความหนืดต่ำลงเล็กน้อยที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลว มีความโปร่งแสงถึงทึบแสง สารไขจากธรรมชาติมักมีจำนวนคาร์บอน 16 - 36 อะตอม ในขณะที่สารไขสังเคราะห์บางชนิดมีน้ำหนักโมเลกุลสูงถึง 700 - 10,000 [14]

#### 2.7.2.1 สารไขพอลิเอทิลีน [13]

ผลิตจากเอทิลีนที่ได้จากก๊าซธรรมชาติหรือได้จากการแตกตัวของแนฟทา โดยเอทิลีนจะถูกพอลิเมอไรซ์เพื่อผลิตเป็นสารไขในหลายช่วงจุดหลอมเหลว ความแข็ง และความหนาแน่น พอลิเอทิลีนมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 500 - 3000 กรัม/โมล พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง (HDPE) มีความเป็นผลึกสูง และมีการจัดเรียงตัวกันอย่างแน่นหนา มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 85 - 141 องศาเซลเซียส มักใช้งานในลักษณะของสี สิ่งทอ สารเคลือบผิว และสารเคลือบเงา

#### 2.7.2.2 พอลิเทระฟลูออโรเอทิลีน [1]

เนื่องจากพันธะ C - C และพันธะ C - F มีความแข็งแรงมากส่งผลให้ PTFE มีเสถียรภาพทางความร้อนสูง แม้ว่าจะได้รับความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวที่ 327 องศาเซลเซียส มีความเฉื่อยทางเคมี ไม่มีลักษณะของการยึดติด ทนความร้อนได้ดี และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ ทำให้มักพบในลักษณะการใช้งานเฉพาะ เช่น กระทะ nonstick แต่ข้อเสียที่พบคือมีราคาสูง ไม่เหมาะกับการผลิตร่วมกับพลาสติก ทนการขีดขูดและสมบัติเชิงกลต่ำ

สารเคลือบผิวที่ผู้วิจัยสนใจมาเคลือบผิวกระดาษเพื่อทำบรรจุภัณฑ์ คือ สารเคลือบผิวจากธรรมชาติเนื่องจากผู้วิจัยพึงเห็นถึงความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และความปลอดภัย โดยสารเคลือบผิวจากธรรมชาติที่ผู้วิจัยนำมาใช้เป็นสารเคลือบผิวจากไบโกลีวเนื่องจากเป็นที่รู้จักกันว่ากลีวเป็นพืชส่งออกที่ปลูกในพื้นที่ส่วนใหญ่ของเขตร้อน หลังจากเก็บเกี่ยวใบจะกลายเป็นของเสียและถูกทิ้งหรือถูกเผา เกิดเป็นสิ่งตกค้าง

จากการเกษตรที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ จึงเกิดการแก้ปัญหาดังกล่าวการใช้ประโยชน์จากของเสียทางการเกษตรให้เป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [15] รวมทั้งมีสมบัติคล้ายกับสารไขจากต้นคาร์นุบาหลายประการอีก ทั้งยังมีราคาที่ถูกกว่าและสามารถหาได้ง่าย และเมื่อนำมาผสมกับโคโตซาน ที่มาจากอนุพันธ์ของโคตินซึ่งผ่านการสกัดจากเปลือกของกุ่มที่มีสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียและต้านน้ำได้ดี ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำสารทั้งสองมาผสมกันเป็นสารเคลือบผสม เพื่อที่จะนำไปปรับปรุงสมบัติให้กับกระดาษเป็นลำดับถัดไป

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Shimizu และ คณะ [15] ได้ศึกษาวิธีการสกัดสารไขออกจากใบของกล้วย 3 สายพันธุ์ คือ *Musa liukuensis*, *Musa acuminata* และ *Musa chiliocarpa* ด้วยวิธีการรีฟลักซ์ (reflux method) โดยใช้เฮกเซน (hexane) เป็นตัวทำละลาย พบว่าใบของกล้วยสายพันธุ์ *Musa chiliocarpa* ให้ปริมาณสารไขมากที่สุด คือ 1.41 % ต่อน้ำหนักแห้ง ขณะที่ *Musa acuminata* และ *Musa liukuensis* ให้ปริมาณสารไขเท่ากับ 0.58 % และ 1.05 % ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากการทดสอบด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิทรี (Differential scanning calorimetry, DSC) เพื่อหาสมบัติทางความร้อนของสารไขจากใบกล้วยทั้ง 3 ชนิด พบว่า จุดหลอมเหลวของสารไขจากใบกล้วยอยู่ในช่วงระหว่าง 78 - 82 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าน้อยกว่าสารไขจากคาร์นุบา (carnauba wax) คือ 82 - 83 องศาเซลเซียส และการทดสอบด้วยเทคนิค Thin layer chromatography ของสารไขจากใบกล้วยทั้ง 3 ชนิด พบว่า สารไขจากใบของกล้วยที่มีสมบัติใกล้เคียงกับสารไขคาร์นุบา คือ ใบกล้วยพันธุ์ *Musa chiliocarpa* เนื่องจากมีค่าอัตราการไหล (rate of flow, Rf) ในช่วง 0 - 0.3 ทั้งตัวทำละลายทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบ I ตัวทำละลายผสมของ hexane:ether:acetic acid ในอัตราส่วน 90:15: โดยปริมาตร และระบบ II ตัวทำละลายผสมของ hexane:ether:acetic acid ในอัตราส่วน 50:50:1 โดยต่อปริมาตร นอกจากนี้พบว่าสมบัติทางความร้อน และการละลายของสารไขจากใบกล้วยพันธุ์ *Musa chiliocarpa* มีค่าใกล้เคียงกับสมบัติต่าง ๆ ของสารไขคาร์นุบา จึงสามารถนำมาทดแทนสารไขจากคาร์นุบาได้ เนื่องจากสารไขจากคาร์นุบา มีราคาที่สูง อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดปริมาณของเสียจากใบกล้วยอีกด้วย

Charumanee และ คณะ [16] ได้ศึกษาสมบัติเชิงกล และองค์ประกอบทางเคมี ของสารไขที่สกัดออกจากใบของกล้วยน้ำว้า 4 จังหวัดในทางภาคเหนือ คือ เชียงใหม่ พิษณุโลก ลำปาง และ ตาก ด้วยการใช้เครื่อง Soxhlet และใช้ เฮกเซน (hexane) เป็นตัวทำละลาย โดยทำการฟอกสีสารไขด้วย ผงถ่าน (activated charcoal) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เพื่อเปรียบเทียบกับสมบัติกับสารไขอื่น ๆ เช่น สารไขคาร์นุบา สารไขจากผึ้ง (beeswax) และ สารไขพาราฟิน (paraffin wax) เป็นต้น พบว่ากล้วยน้ำว้าจากจังหวัดเชียงใหม่ ลำปาง พิษณุโลก และ ตาก ให้ปริมาณสารไข 273.8, 212.6, 167.4 และ 129.1 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อนำไปหาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค Thin layer chromatography พบว่า สารไขจากใบของกล้วยน้ำว้าและสารไขคาร์นุบา มีค่า Rf ใกล้เคียงกัน ทั้งก่อนฟอกสีและไม่ฟอกสีของสารไขจากใบของกล้วยน้ำว้า และกรดไขมันส่วนใหญ่ที่พบในสารไขจากใบของกล้วยน้ำว้าและสารไขคาร์นุ

บา คือ Behenic acid ( $C_{21}H_{43}COOH$ ) นอกจากนี้จากผลของสมบัติเชิงกลด้านความแข็ง (hardness) พบว่า สารไขจากไบของกล้วยน้ำว่าจากจังหวัดลำปางมีความแข็งไม่ต่างกับกับสารไขคาร์นูบา และ สีของสารไขของ ไบของกล้วยน้ำว่ามีความขาวมากกว่าสารไขคาร์นูบา ซึ่งจากสมบัติและองค์ประกอบต่าง ๆ ดังกล่าว ทำให้สาร ไขของไบจากกล้วยน้ำว่าสามารถนำมาใช้งานแทนสารไขคาร์นูบาได้

Despond และ คณะ [17] ได้ศึกษาสมบัติ การซึมผ่านของแก๊ส (gas permeation) คาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน ของกระดาษที่เคลือบด้วยสารละลายโคโตซานที่มีมวลโมเลกุลเฉลี่ยโดย น้ำหนักและความเข้มข้นที่ต่างกัน พบว่าความเข้มข้นของสารโคโตซาน ความถี่หรือจำนวนรอบในการเคลือบ และปริมาณของสารเคลือบโคโตซานบนกระดาษ ( $M_{chit}$ ) ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซ ออกซิเจนซึมผ่านได้ยากมากขึ้น ส่งผลให้สามารถป้องกันการซึมผ่านของแก๊สได้ดี

Sivalselvi และ Pijush [18] ได้ศึกษาสมบัติการซึมผ่านของน้ำของฟิล์ม 3 ชนิด คือ ฟิล์มบางจาก โคโตซานบริสุทธิ์ ฟิล์มบางจากโคโตซานที่ทำการเติม hydroxyapatite และฟิล์มบางจากโคโตซานที่ทำการ เชื่อมขวางด้วย glutaraldehyde พบว่าฟิล์มโคโตซานที่มีการเติม hydroxyapatite มีมุมสัมผัสต่ำกว่าฟิล์ม โคโตซานบริสุทธิ์ และฟิล์มโคโตซานที่ทำการเชื่อมขวางด้วย glutaraldehyde โดยฟิล์มโคโตซานที่มีการเติม hydroxyapatite จะดูดซับน้ำได้มากกว่าและหยดน้ำจะไม่เกิดการแพร่กระจายไปยังพื้นผิวบริเวณอื่น เมื่อ สังกเกตพื้นผิวของฟิล์มผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าโครงสร้างพื้นผิวของฟิล์มโคโตซาน บริสุทธิ์มีความเรียบและอนุภาคโคโตซานมีขนาดเล็กมาก ขณะที่ฟิล์มโคโตซานที่ทำการเชื่อมขวางด้วย glutaraldehyde จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับฟิล์มโคโตซานบริสุทธิ์ในด้านขนาดของอนุภาคโคโตซาน แต่จะมี โครงสร้างพื้นผิวฟิล์มที่มีความเรียบน้อยกว่าเล็กน้อยต่างจากฟิล์มโคโตซานที่มีการเติม hydroxyapatite จะมี รูพรุนและอนุภาคโคโตซานมีขนาดใหญ่กว่าฟิล์มโคโตซานบริสุทธิ์อย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นสมบัติการดูดซับน้ำ และการกระจายตัวของหยดน้ำไปยังพื้นผิวบริเวณอื่นของฟิล์มโคโตซานแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับขนาดรูพรุนและ ขนาดอนุภาคโคโตซานของฟิล์มโคโตซานแต่ละชนิด

Sarani และ คณะ [19] ได้ศึกษาสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของกระดาษเคลือบโคโตซาน โดยใช้ แบคทีเรียแกรมบวก (*Lactobacillus sp.*) และแบคทีเรียแกรมลบ (*E.coli*) โดยใช้วิธีการทดลองที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ วิธีการหยดสารละลายโคโตซานลงบนกระดาษเปรียบเทียบกับกระดาษที่หยดด้วยสารละลายกรด อะซิติก และวิธีการเคลือบกระดาษด้วยสารละลายโคโตซานเปรียบเทียบกับกระดาษที่เคลือบด้วยสารละลาย กรดอะซิติก ทดลองในจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า โคโตซานมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยมีประสิทธิภาพต่อแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*) มากกว่าแบคทีเรียแกรมบวก (*Lactobacillus sp.*) และไม่พบแบคทีเรียในบริเวณของกระดาษที่มี สารโคโตซานทั้งจากวิธีการหยดสารละลายโคโตซานลงบนกระดาษ และการเคลือบผิวกระดาษด้วยสารละลาย โคโตซาน

Douglas และ คณะ [20] ได้ศึกษามุมสัมผัสของน้ำ (contact angle) ของการเคลือบสารไขพาราฟิน (paraffin wax) และสารไขสังเคราะห์พอลิเทตระฟลูออโรเอทีลีน (polytetrafluoroethylene wax) บนวัสดุประเภทกระจก โดยทำการหยดน้ำกลั่นลงไปบนพื้นผิวที่ปริมาณต่าง ๆ พบว่า ค่ามุมสัมผัสของน้ำแบบฮีสเทอรีซิส (hysteresis contact angle) ของสารไขพอลิเทตระฟลูออโรเอทีลีน มีค่าน้อยกว่าค่ามุมสัมผัสของน้ำแบบฮีสเทอรีซิสของสารไขพาราฟิน โดยค่ามุมสัมผัสของน้ำแบบฮีสเทอรีซิสเกิดจากผลต่างมุมของน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเพิ่มขึ้น เรียกว่า มุมข้างหน้า (advancing angle) และมุมของน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรลดลง เรียกว่า มุมถอย (receding angle) ดังนั้นที่ค่ามุมสัมผัสของน้ำแบบฮีสเทอรีซิสต่ำจะมีความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) สูงจึงทำให้มุมสัมผัสของน้ำมีค่าสูง สารไขสังเคราะห์พอลิเทตระฟลูออโรเอทีลีนจึงมีสมบัติที่ใช้ในการต้านการซึมผ่านของของน้ำได้ดีกว่าสารไขพาราฟิน



## บทที่ 3

### วิธีการทดลอง

#### 3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1. ใบกล้วย (banana leaf) ชนิดกล้วยน้ำว้า (*Musa sapientum* L.) จากจังหวัดกรุงเทพมหานคร
2. ผงไคโตซาน (chitosan powder) จากบริษัท ทองกวาว อีวามิค โปรแตสเซียมอีวเมท พูลวิค จำกัด
3. กระดาษเกรดอาหาร (food grade paper) จาก บริษัท ที.เอส. เปเปอร์ทิวบ์ จำกัด
4. น้ำส้มสายชู (vinegar) ยี่ห้อ คิวพี (สารละลายกรดอะซิติก 5%w/v)
5. น้ำกลั่น (distilled water) จากบริษัท เอ็นที เคมีคอล จำกัด
6. เอทานอล (ethanol) จากบริษัท เอ็นที เคมีคอล จำกัด
7. แบคทีเรีย *Staphylococcus aureus*
8. แบคทีเรีย *Escherichia coli*

#### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชิ้นทดสอบ

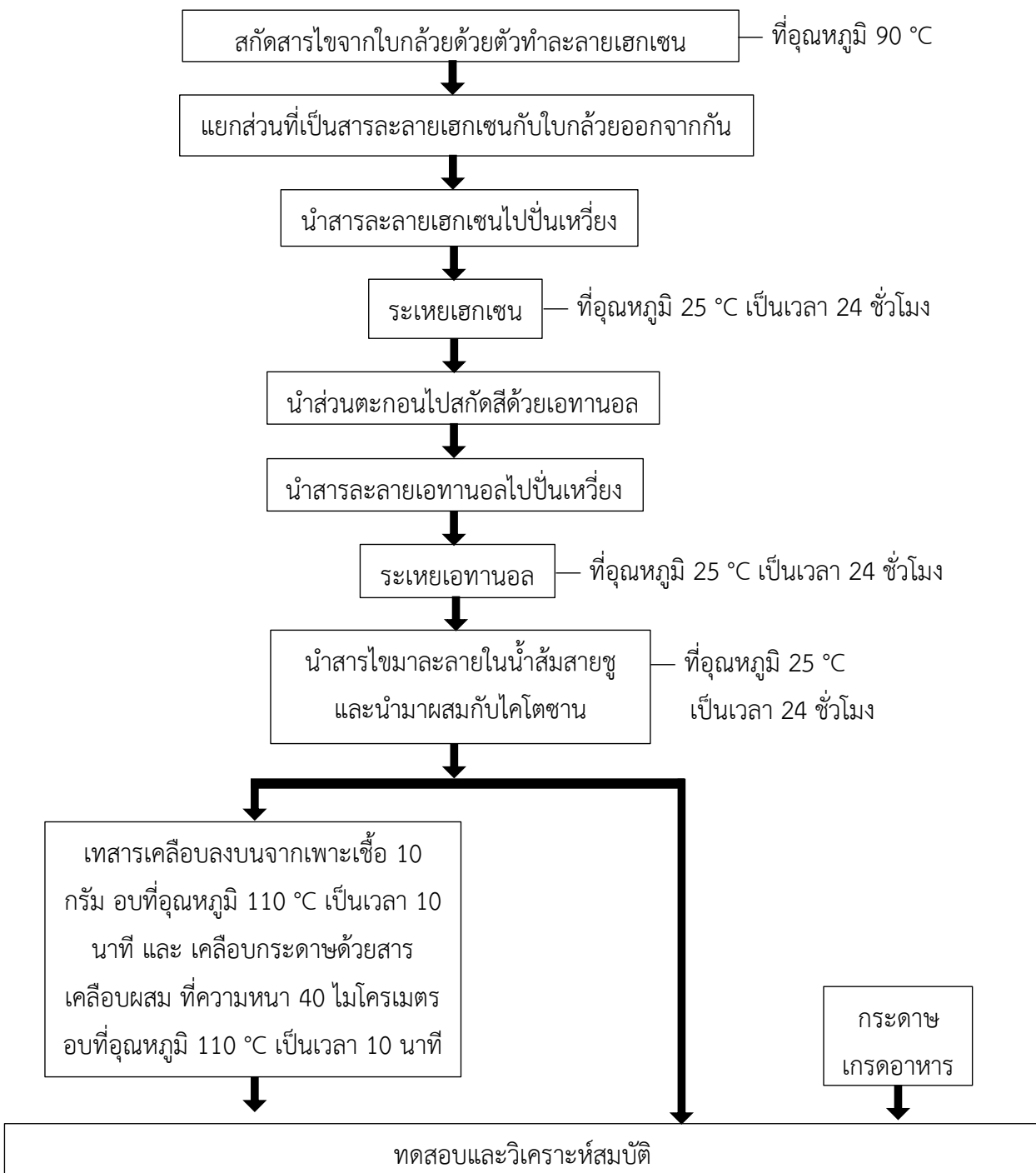
1. แท่งเคลือบผิวควบคุมความหนา เบอร์ 16 (controlled thickness coating rod machine)
2. เครื่องให้ความร้อนและกวนสารแบบควบคุมด้วยระบบดิจิทัล (stirring/temperature controlled digital hot plate)
3. แท่งกวนแม่เหล็ก (magnetic bar)
4. เครื่องล้างความถี่สูง (high intensity sonicator) ตู้อบความร้อน (drying oven)
5. จานเพาะเชื้อ (petri dish)
6. ปีกเกอร์ (beaker)
7. แท่งแก้วคน (stirring rod)
8. ขวดแก้วใสสารเคมี (duran laboratory glass bottom)
9. เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)
10. กระจกนาฬิกา (watch glass)
11. หลอดเซนตริฟิวจ์ (centrifuge tube)
12. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง (analytical balance)
13. เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge)
14. ช้อนตักสาร (spatula)

### 3.2.2 เครื่องมือวิเคราะห์และทดสอบสมบัติ

1. เครื่องวัดขนาดอนุภาค (particle size distribution analyzer) ของ Malvern รุ่น Mastersizer 2000 จากบริษัท Malvern panalytical จำกัด ประเทศอังกฤษ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FT-IR) ของ NICOLET รุ่น iS50 จากบริษัท Thermo Fisher Scientific จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. เครื่องวัดมุมสัมผัส (contact angle meter) ของ KYOWA รุ่น DM-CE1 จากบริษัท Kyowa Interface จำกัด ประเทศญี่ปุ่น ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
4. เครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล (universal testing machine) ของ Tinius olsen รุ่น 5ST จากบริษัท Tinius Olsen TMC จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. เครื่องวัดสี (spectrophotometer) ของ Macbeth รุ่น COLOR-EYE 7000 จากบริษัท X-rite จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.3 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง

แผนภาพขั้นตอนการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง

### 3.4 ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.4.1 การสกัดสารไซจากใบกล้วย

นำใบของกล้วยน้ำว้ามาทำความสะอาดและตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำใบของกล้วยที่ตัดแล้วจำนวน 100 กรัม และใช้เฮกเซนปริมาณ 600 มิลลิลิตรเป็นตัวทำละลายพร้อมให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำของผสมหลังสกัดระหว่างสารละลายเฮกเซนและใบของกล้วย มาแยกสารละลายเฮกเซนกับใบของกล้วยออก จากนั้นนำส่วนสารละลายเฮกเซนที่ได้ ตั้งทิ้งไว้จนถึงอุณหภูมิห้องและนำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จำนวน 1 ครั้ง เพื่อแยกชั้นตะกอนกับชั้นเฮกเซนออก จากนั้นนำชั้นตะกอนไประเหยเฮกเซนข้ามคั้น และนำตะกอนที่ได้ผสมกับเอทานอลปริมาณ 200 มิลลิลิตรด้วยการใช้แท่งแม่เหล็กกวนเพื่อทำการกำจัดสีของตะกอนออก จนได้เป็นสารแขวนลอยในเอทานอล นำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงอีกครั้ง เพื่อแยกชั้นตะกอนกับชั้นเอทานอลออก และนำชั้นตะกอนไประเหยเอทานอลข้ามคั้น

#### 3.4.2 การเตรียมสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วยและการเตรียมสารละลายไคโตซาน

เตรียมสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วยที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.1 โดยนำสารไซจากใบกล้วยที่สกัดได้จากข้อ 3.4.1 มาผสมกับน้ำส้มสายชู (ความเข้มข้นของกรดอะซิติกร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ซึ่งในกระบวนการเตรียมสารเคลือบมีการศึกษาการกวน 2 แบบ คือ ปั่นกวนจนสารไซแตกตัวละเอียดในอ่างน้ำร้อน 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เพียงอย่างเดียว และอีกวิธี คือ ปั่นกวนจนสารไซแตกตัวละเอียดในอ่างน้ำร้อน 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปกระจายอนุภาคสารไซด้วยเครื่องล้างความถี่ 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส แล้วเลือกวิธีที่กระจายไซได้ดีที่สุด นำมาผสมกับไคโตซานในขวดดูแรนด้วยแท่งแม่เหล็กกวนที่ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจนกระทั่งสารผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักนั้นเตรียมโดยการนำไคโตซาน จำนวน 1 กรัม มาผสมกับน้ำส้มสายชู และปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กกวนที่ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนได้สารละลายไคโตซานละลายใส

#### ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย

สูตรสารเคลือบผสม	น้ำหนักไคโตซาน (กรัม)	น้ำหนักสารไซจากใบกล้วย (กรัม)	ปริมาณน้ำส้มสายชู (กรัม)
1W:9C	0.3	2.7	300
3W:7C	0.9	2.1	300
5W:5C	1.5	1.5	300
7W:3C	2.1	0.9	300
9W:1C	2.7	0.3	300

### 3.4.3 การเตรียมฟิล์มของสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไขจากใบกล้วย และสารละลายไคโตซาน

นำสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไขจากใบกล้วย ที่อัตราส่วนต่าง ๆ จำนวน 10 กรัม เทลงจานเพาะเชื้อพลาสติก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร นำเข้าตู้อบที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำออกมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องข้ามคืนจนกระทั่งได้เป็นฟิล์มแห้ง ลอกฟิล์มออกจากจานเพาะเชื้อแล้วเก็บในเดซิเคเตอร์จนกว่าจะนำไปใช้งานต่อไป

### 3.4.4 การเคลือบกระดาษด้วยสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไขจากใบกล้วย และสารละลายไคโตซานบนกระดาษ

นำสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไขจากใบกล้วย ที่อัตราส่วนต่าง ๆ มาเคลือบกระดาษด้วยแท่งเคลือบควบคุมความหนา ดังรูปที่ 3.2 โดยใช้แท่งเคลือบเบอร์ 16 เคลือบโดยทำการเคลือบแบบ 1 ด้าน และ 2 ด้าน โดยทำการเคลือบซ้ำ 2 ครั้ง สำหรับทุกรอบที่เคลือบ จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และเก็บในเดซิเคเตอร์



รูปที่ 3.2 แท่งเคลือบผิวควบคุมความหนา

## 3.5. การวิเคราะห์ฟิล์มไคโตซาน

### 3.5.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของฟิล์มไคโตซาน

วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของฟิล์มไคโตซานด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์โหมด attenuated total reflectance (ATR-FTIR) ดังรูปที่ 3.3 ในช่วงเลขคลื่น (wavenumber)  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$



รูปที่ 3.3 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์

### 3.5.2 การทดสอบสมบัติในการต้านแบคทีเรีย (antibacterial activity)

การทดสอบสมบัติการต้านแบคทีเรียของฟิล์มสารละลายโคโตซาน โดยการวัดร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งแบคทีเรียที่นำมาทดสอบคือชนิด *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* และเชื้อราที่นำมาทดสอบ คือ *Aspergillus niger* ทำโดยอาศัยเทคนิคการนับจำนวนโคโลนีของเชื้อบนวุ้นอาหาร โดยใช้มาตรฐาน AATCC100 สามารถคำนวณร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย สามารถคำนวณได้ตามสมการ 3.1

$$R = \frac{(B-A)}{B} \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ R คือ ร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย

A คือ Log CFU per milliter ของแบคทีเรียหลังการทดสอบ

B คือ Log CFU per milliter ของแบคทีเรียก่อนการทดสอบ

### 3.6 การวิเคราะห์สารไซจากใบกล้วย

#### 3.6.1 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของสารไซจากใบกล้วย

วิเคราะห์ขนาดอนุภาคของสารแขวนลอยสารไซจากใบกล้วยในน้ำส้มสายชูที่เตรียมด้วยวิธีปั่นกวนกับความร้อนและวิธีการใช้เครื่องล้างความถี่สูง ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

#### 3.6.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารไซจากใบกล้วย

วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารไซจากใบกล้วยที่ผ่านการสกัดด้วยกระบวนการทางเคมีด้วยเครื่องฟูเรียร์ แทรนสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ โดยการนำสารตัวอย่างไปอบให้แห้งแล้วมาบดผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) ก่อนนำไปอัดให้เป็นแผ่นและทำการทดสอบในช่วงความยาวคลื่น  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$  และสแกน 64 รอบ

### 3.7 การวิเคราะห์สารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย

#### 3.7.1 การทดสอบการตกตะกอนของสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย และสารละลายไคโตซาน

นำสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย ที่อัตราส่วนต่าง ๆ บรรจุลงขวดตัวอย่าง เพื่อดูการตกตะกอนของสารเคลือบผสม โดยตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1, 2, 3, 7, 14 วัน ตามลำดับที่ อุณหภูมิห้อง

#### 3.7.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของฟิล์มสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย

วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของฟิล์มสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ โหมด attenuated total reflectance (ATR-FTIR) ดังรูปที่ 3.4 ในช่วงเลขคลื่น (wavenumber)  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$

### 3.8 การทดสอบสมบัติของกระดาษเคลือบด้วยสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย

#### 3.8.1 การวัดความเข้มสี ดัชนีความเหลือง และดัชนีความขาว (colorant measurement)

ทำการวัดความเข้มสี ดัชนีความเหลือง และดัชนีความขาวของกระดาษและกระดาษเคลือบด้วยสารละลายไคโตซาน และกระดาษที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเครื่องวัดสี Macbeth รุ่น COLOR-EYE 7000 ดังรูปที่ 3.5 โดยการใช้ตัวแปรของ CIELAB color difference ในการบอกความเข้มสี ดัชนีความเหลือง ดัชนีความขาว ความสว่าง และองค์ประกอบของสีของชิ้นทดสอบ



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดสี

#### 3.8.2 การทดสอบสมบัติความทนแรงดึง

การทดสอบสมบัติความทนแรงดึงของกระดาษและกระดาษเคลือบด้วยสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเครื่องยูนิเวอร์แซล ดังรูปที่ 3.6 โดยนำกระดาษเตรียมเป็นชิ้นทดสอบที่มีขนาด  $10 \times 50$  ตารางมิลลิเมตร วัดความหนา 3 ตำแหน่ง จากนั้นนำเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์

เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนการทำการทดสอบ โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 แบบคือแบบเปียกและแบบแห้ง โดยแบบเปียกจะทำการแช่ด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทดสอบเพื่อหาสมบัติความทนแรงดึง โดยมีระยะดึง (gauge length) เท่ากับ 25 มิลลิเมตร Load cell ขนาด 500 นิวตัน และดึงด้วยอัตราเร็ว (crosshead speed) เท่ากับ 15 มิลลิเมตรนาที



รูปที่ 3.6 เครื่องยูนิเวอร์แซล

### 3.8.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำของกระดาษเคลือบ

ทดสอบความสามารถในการดูดซึมของเหลวของกระดาษและกระดาษเคลือบด้วยสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไขจากใบกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ โดยการนำชิ้นทดสอบไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นทำการบันทึกน้ำหนักและนำไปแช่ในน้ำกลั่นอุณหภูมิห้อง ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยความสามารถในการดูดซึมน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.2

$$\text{ความสามารถในการดูดซึมของของเหลว} = \frac{(w_1 - w_0)}{w_0} \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ  $w_0$  คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนการแช่ในของน้ำ

$w_1$  คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังการแช่ในของน้ำ

### 3.8.4 มุมสัมผัสของน้ำ

ศึกษาสภาพสมบัติการสะท้อนน้ำของกระดาษและกระดาษเคลือบด้วยสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไขจากใบกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ ซึ่งใช้แสดงการยึดเกาะของหยดน้ำบนพื้นผิว โดยอธิบายผ่านหลักการความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะพื้นผิวของวัสดุและการทำมุมของหยดน้ำ (contact angle) ทำการวัดค่ามุมสัมผัสทุก 5 วินาที ตั้งแต่เวลาทดสอบที่ 0 ถึง 2 นาที ผ่านเครื่องวัดมุมสัมผัส ดังรูปที่ 3.7 โดยทำการวัดค่ามุมสัมผัส 2 จุด บน 1 ชิ้นงาน และทำซ้ำ 3 ชิ้น เพื่อหาค่าเฉลี่ย





รูปที่ 3.7 เครื่องวัดมุมสัมผัส

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มไคโตซาน

##### 4.1.1 ลักษณะของแผ่นฟิล์มไคโตซาน

รูปที่ 4.1 แสดงแผ่นฟิล์มไคโตซานที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

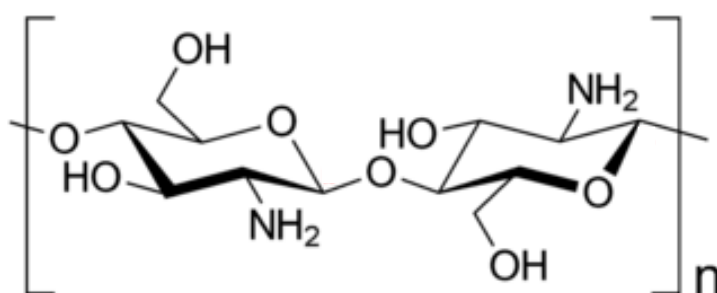


รูปที่ 4.1 ลักษณะแผ่นฟิล์มไคโตซาน

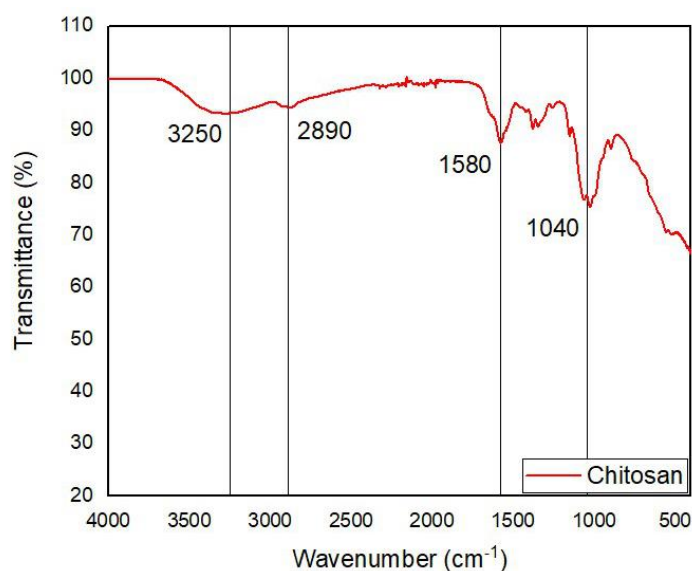
จากรูปที่ 4.1 แผ่นฟิล์มไคโตซานที่ได้จากการขึ้นแผ่นฟิล์มด้วยสารละลายไคโตซานร้อยละ 1 โดยน้ำหนักในน้ำส้มสายชู เมื่อทิ้งให้แห้งสนิทจะมีลักษณะเป็นแผ่นบางใสไม่มีสี เนื่องจากฟิล์มที่ได้ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบจึงทำให้ฟิล์มที่ได้ไม่ขึ้นเหลือง

##### 4.1.2 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ด้วยเทคนิค FT-IR

รูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงโครงสร้างของไคโตซาน และ สเปกตรัมของฟิล์มไคโตซาน ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 โครงสร้างของไคโตซาน



รูปที่ 4.3 FT-IR สเปกตรัมของสารไคโตซาน

จากรูปที่ 4.4 พบว่าเส้นสเปกตรัมของไคโตซานแสดงตำแหน่งฟังก์ชันของไคโตซานโดยปรากฏพันธะ O-H ที่เลขคลื่น  $3250\text{ cm}^{-1}$  พันธะ C-H ที่เลขคลื่น  $2890\text{ cm}^{-1}$  พันธะ N-H ที่เลขคลื่น  $1580\text{ cm}^{-1}$  พันธะ C-O ที่เลขคลื่น  $1040\text{ cm}^{-1}$

#### 4.1.3 สมบัติการต้านแบคทีเรียของไคโตซาน

ตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 แสดงตารางการต้านแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* แบคทีเรีย *Escherichia coli* และเชื้อรา *Aspergillus niger* ของฟิล์มไคโตซานตามลำดับ และ รูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 แสดงจำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* แบคทีเรีย *Escherichia coli* และเชื้อรา *Aspergillus niger* ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 การต้านแบคทีเรียแกรมบวกของไคโตซาน

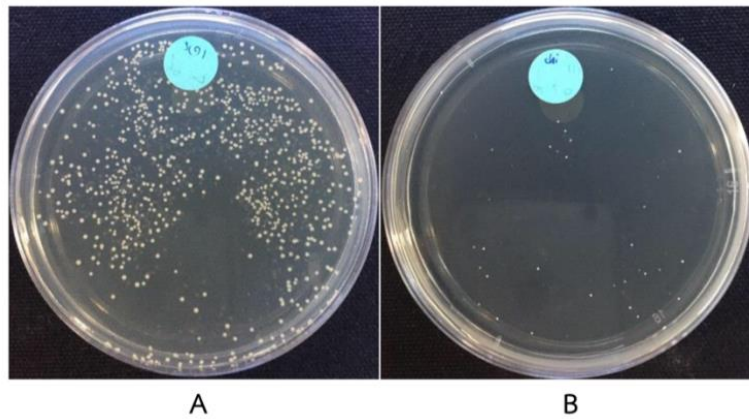
Sample	<i>Staphylococcus aureus</i>					
	CFU/ml		% Reduction	Log CFU/ml		% Reduction
	0 hr	24 hr		0 hr	24 hr	
แผ่นไคโตซาน	$6.88 \times 10^6 \pm 5.77 \times 10^5$	$3.03 \times 10^2 \pm 2.52 \times 10^1$	99.99	$6.84 \pm 0.04$	$2.50 \pm 0.02$	63.36

ตารางที่ 4.2 การต้านแบคทีเรียแกรมลบของไคโตซาน

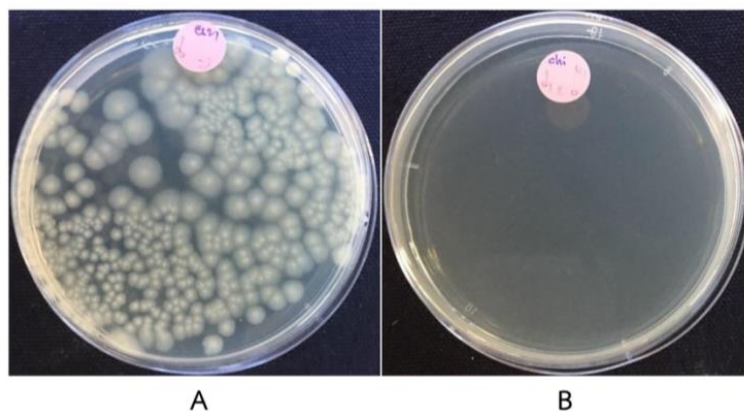
Sample	<i>Escherichia coli</i>					
	CFU/ml		% Reduction	Log CFU/ml		% Reduction
	0 hr	24 hr		0 hr	24 hr	
แผ่นไคโตซาน	$3.84 \times 10^6 \pm 4.61 \times 10^5$	$0.00 \pm 0.00$	100	$6.58 \pm 0.05$	$0.00 \pm 0.00$	100

ตารางที่ 4.3 การต้านเชื้อราของไคโตซาน

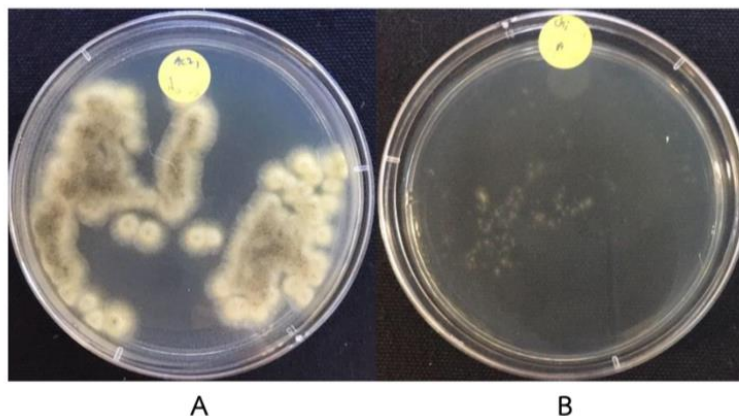
Sample	<i>Aspergillus niger</i>					
	CFU/ml		% Reduction	Log CFU/ml		% Reduction
	0 hr	24 hr		0 hr	24 hr	
แผ่นไคโตซาน	$1.88 \times 10^6 \pm 1.69 \times 10^5$	$9.40 \times 10^5 \pm 5.29 \times 10^4$	50.09	$6.27 \pm 0.04$	$5.97 \pm 0.02$	4.80



รูปที่ 4.4 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนแผ่นฟิล์มไคโตซาน ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง  $10^{-3}$  (A) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง  $10^0$  (B)



รูปที่ 4.5 จำนวนแบคทีเรีย *Escherichia coli* บนแผ่นฟิล์มไคโตซาน ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง  $10^{-3}$  (A) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง  $10^0$  (B)



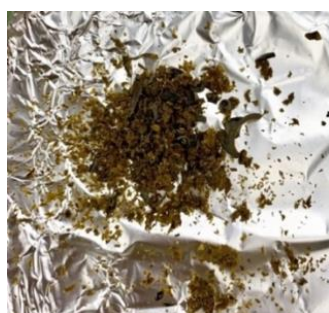
รูปที่ 4.6 จำนวนเชื้อรา *Aspergillus niger* บนแผ่นฟิล์มไคโตซาน ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง  $10^{-3}$  (A) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง  $10^0$  (B)

การต้านแบคทีเรียของฟิล์มไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักมีฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรียแกรมบวก แบคทีเรียแกรมลบ และเชื้อรา แสดงดังตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 พบว่ามีร้อยละการลดลงเท่ากับ 63.36%, 100% และ 4.80% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าไคโตซานสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวก และแบคทีเรียแกรมลบ โดยไคโตซานสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมบวก เนื่องจาก ไคโตซานในสถานะที่ค่าความเป็นกรดเบสต่ำจะเกิดแรงระหว่างหมู่อะมิโนของไคโตซานที่เกิดโปรตอนชั้นกลายเป็น  $-NH_3^+$  ทำให้เกิดสภาพประจุบวกบนสายโซ่ จึงทำอันตรกิริยากับผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบ [8] ทำให้ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบถูกทำลาย ส่งผลให้ของเหลวภายในเซลล์ถูกทำลาย แต่ในส่วนของเชื้อราไคโตซานสามารถยับยั้งเชื้อราได้เพียงเล็กน้อย เนื่องจากเชื้อราชนิดนี้สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลส [21] ส่งผลให้โครงสร้างของไคโตซานถูกทำลาย [22] ทำให้ความสามารถในการยับยั้งเชื้อราเกิดขึ้นได้เพียงเล็กน้อย

## 4.2 ผลการวิเคราะห์สารไซ

### 4.2.1 ลักษณะของสารไซจากใบกล้วยน้ำว้ากล้วยน้ำว้า

รูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงลักษณะของสารไซที่เตรียมได้จากการสกัดใบกล้วยน้ำว้าก่อนและหลังสกัดด้วยเอทานอลตามลำดับ



รูปที่ 4.7 สารไซก่อนการสกัดสี

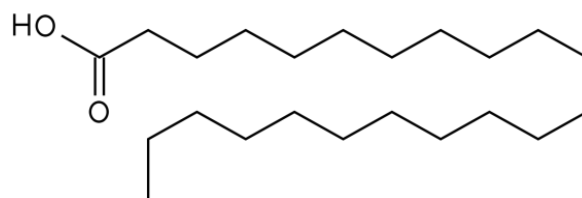


รูปที่ 4.8 สารไซหลังการสกัดสี

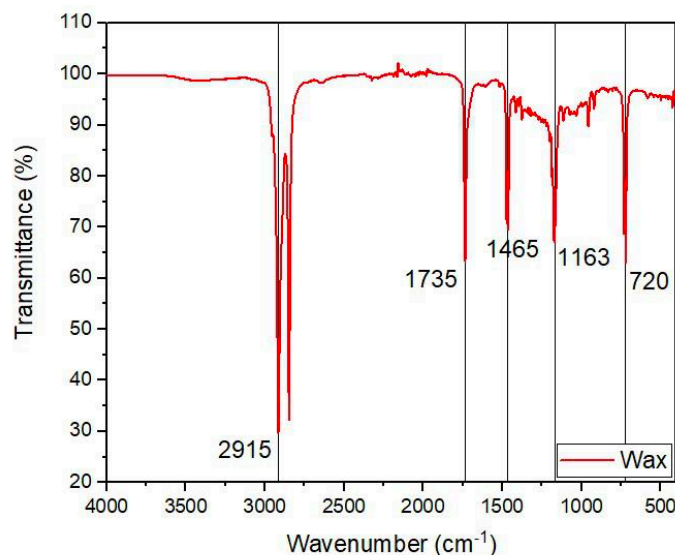
จากรูปที่ 4.7 พบว่าสารไซมีลักษณะเป็นผงหยาบสีเขียวมเหลือง และเมื่อนำไปสกัดสีออกด้วยเอทานอลจะมีลักษณะเป็นผงหยาบสีขาวอมเหลือง ดังรูปที่ 4.8 โดยมีร้อยละผลได้เฉลี่ยของสารไซที่เตรียมได้เท่ากับ 0.4984 ซึ่งเมื่อเทียบร้อยละผลได้กับงานวิจัยของ Shimizu และ คณะ ที่ทำการสังเคราะห์สารไซจากใบกล้วยสายพันธุ์ *Musa liukuensis* *Musa acuminata* และ *Musa chilicarpa* พบว่ามีค่าร้อยละผลได้เท่ากับ 0.58 1.05 และ 1.41 ตามลำดับ สาเหตุที่ผู้วิจัยได้ร้อยละผลได้น้อยกว่า เนื่องจากในงานวิจัยใช้ปริมาณของใบกล้วยที่ใช้ในการสังเคราะห์สารไซมากกว่า จึงทำให้ได้ร้อยละผลได้มากกว่า และ ผู้วิจัยระยะเวลาและอุปกรณ์ในการสกัดที่แตกต่างจากในงานวิจัย จึงทำให้สารไซจากใบกล้วยมีการสูญเสียไประหว่างการสกัด

#### 4.2.2 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ด้วยเทคนิค FT-IR

รูปที่ 4.9 และ 4.10 แสดงโครงสร้างทางเคมีของสารไซจากใบกล้วยน้ำว้า และ สเปกตรัมของสารไซจากใบกล้วย ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 โครงสร้างทางเคมีของสารไซจากใบกล้วยน้ำว้า



รูปที่ 4.10 FT-IR สเปกตรัมของสารไซได้จากใบกล้วยน้ำว้า

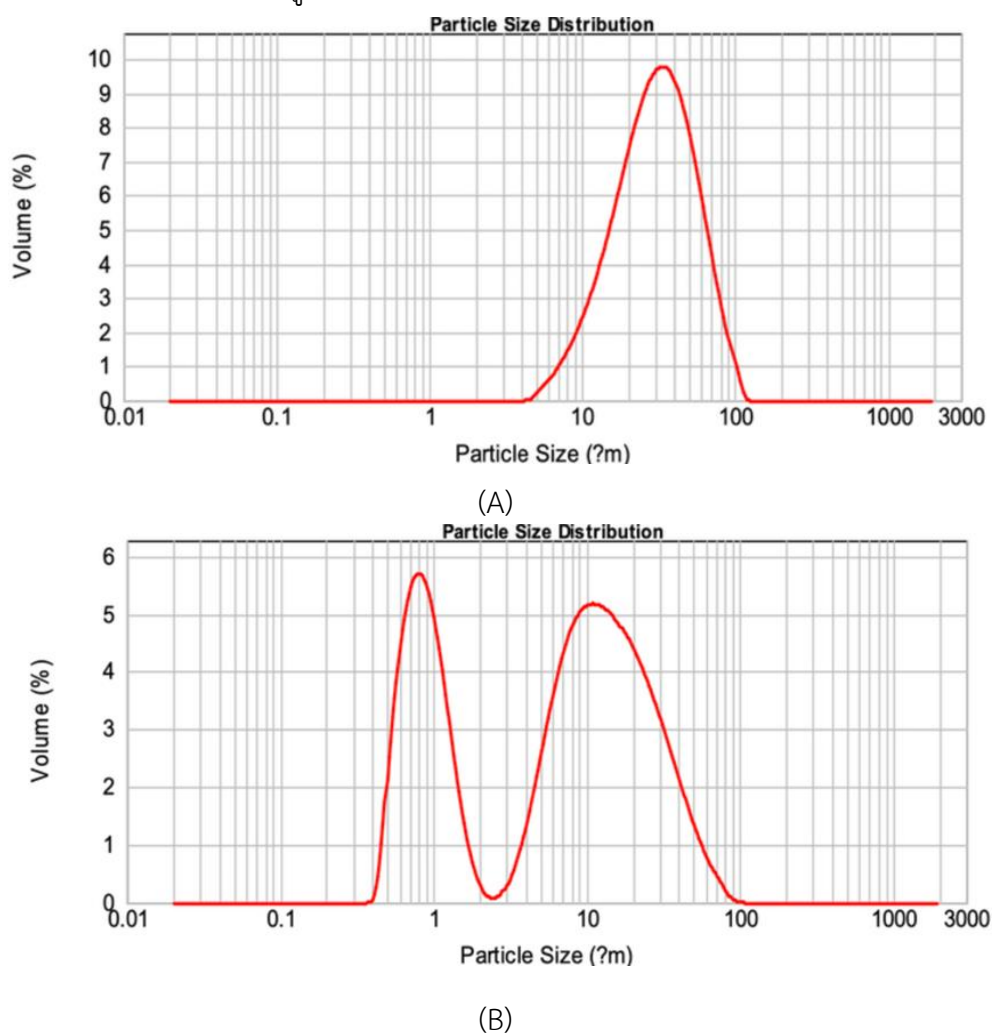
จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าเส้นสเปกตรัมของสารไซจากใบกล้วยซึ่งแสดงตำแหน่งฟังก์ชันของสารไซโดยปรากฏพันธะ C=O ที่เลขคลื่น 1735  $\text{cm}^{-1}$  พันธะ C-O ที่เลขคลื่น 1163  $\text{cm}^{-1}$  เป็นพันธะของ



หมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ พันธะ C-H ที่เลขคลื่น 720, 1465 และ 2915  $\text{cm}^{-1}$  เป็นพันธะของหมู่เมทิลีนและหมู่เมทิลของสารไซสายโซ่ยาว ซึ่งเป็นการยืนยันว่าสามารถทำการสกัดสารไซจากใบกล้วยน้ำว่าได้

#### 4.2.3 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

รูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงขนาดอนุภาคของสารไซที่กระจายตัวในน้ำส้มสายชูด้วยวิธีปั่นกวนกับความร้อนและวิธีใช้เครื่องล้างความถี่สูง



รูปที่ 4.12 ขนาดอนุภาคของสารไซที่กระจายตัวในน้ำกลั่นด้วยวิธีปั่นกวนกับความร้อน (A) และ วิธีใช้เครื่องล้างความถี่สูง (B)

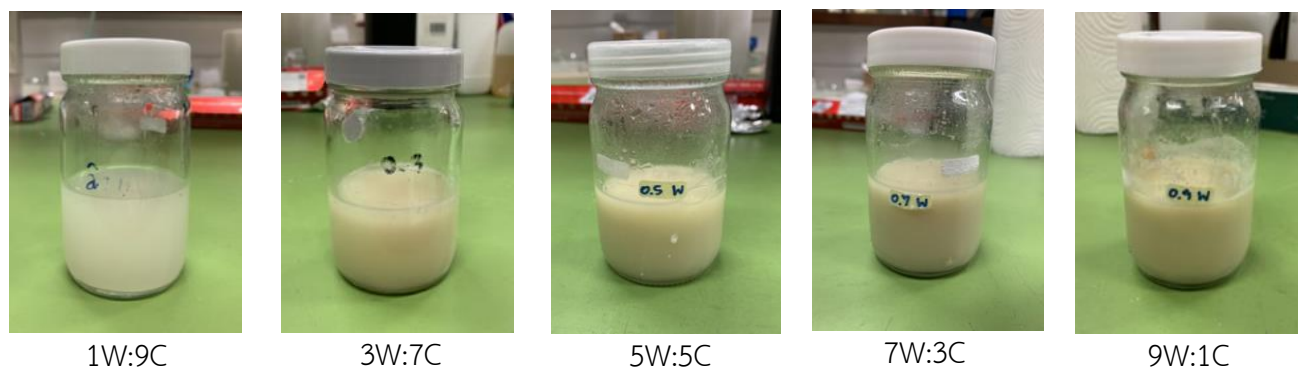
จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 พบว่าสารไซที่นำไปกระจายตัวในน้ำส้มสายชูด้วยวิธีปั่นกวนกับความร้อนมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 30.235 ไมโครเมตร ขณะที่สารไซที่นำไปกระจายตัวในน้ำส้มสายชูด้วยการใช้เครื่องล้างความถี่สูง (sonication) มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 2 ค่า คือ 0.894 ไมโครเมตร และ 12.333 ไมโครเมตร แสดงให้เห็นว่าการเตรียมสารแขวนลอยสารไซด้วยวิธีใช้เครื่องล้างความถี่สูงส่งผลให้สารไซมีการกระจายตัวในน้ำส้มสายชูได้ดีกว่า เนื่องจากเครื่องล้างความถี่สูงทำให้สารไซที่อยู่บริเวณผิวแตกตัวออกจากขนาดอนุภาค

ใหญ่เป็นอนุภาคขนาดเล็ก แต่ระยะเวลาในการใช้เครื่องล้างความถี่สูงไม่เพียงพอ ส่งผลให้อนุภาคของสารไซเกิดการกระจายตัวไม่สมบูรณ์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการเตรียมสารแขวนลอยสารไซในน้ำส้มสายชูด้วยวิธีใช้เครื่องล้างความถี่สูง เพื่อนำไปเตรียมเป็นสารเคลือบผสมกับไคโตซานต่อไป

#### 4.3 ผลการวิเคราะห์สารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย

##### 4.3.1 ลักษณะของสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย

รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะของสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วยที่เตรียมได้ในอัตราส่วนต่าง ๆ

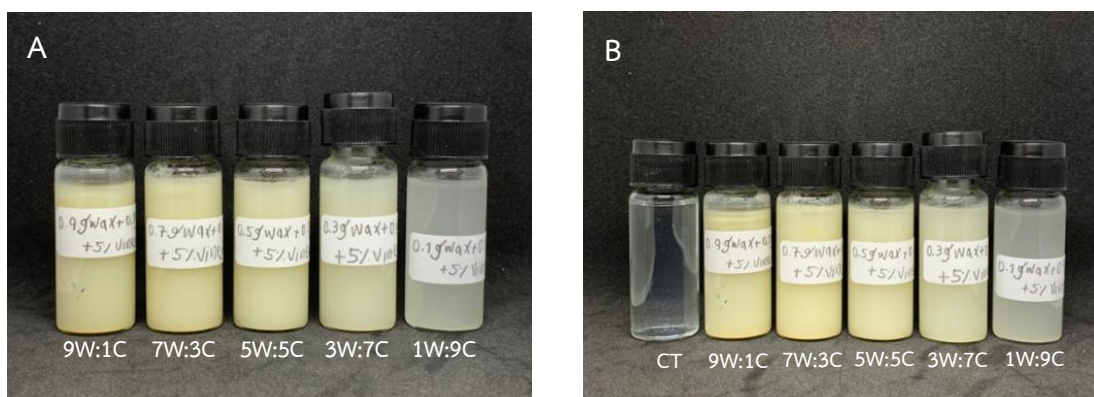


รูปที่ 4.13 สารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ

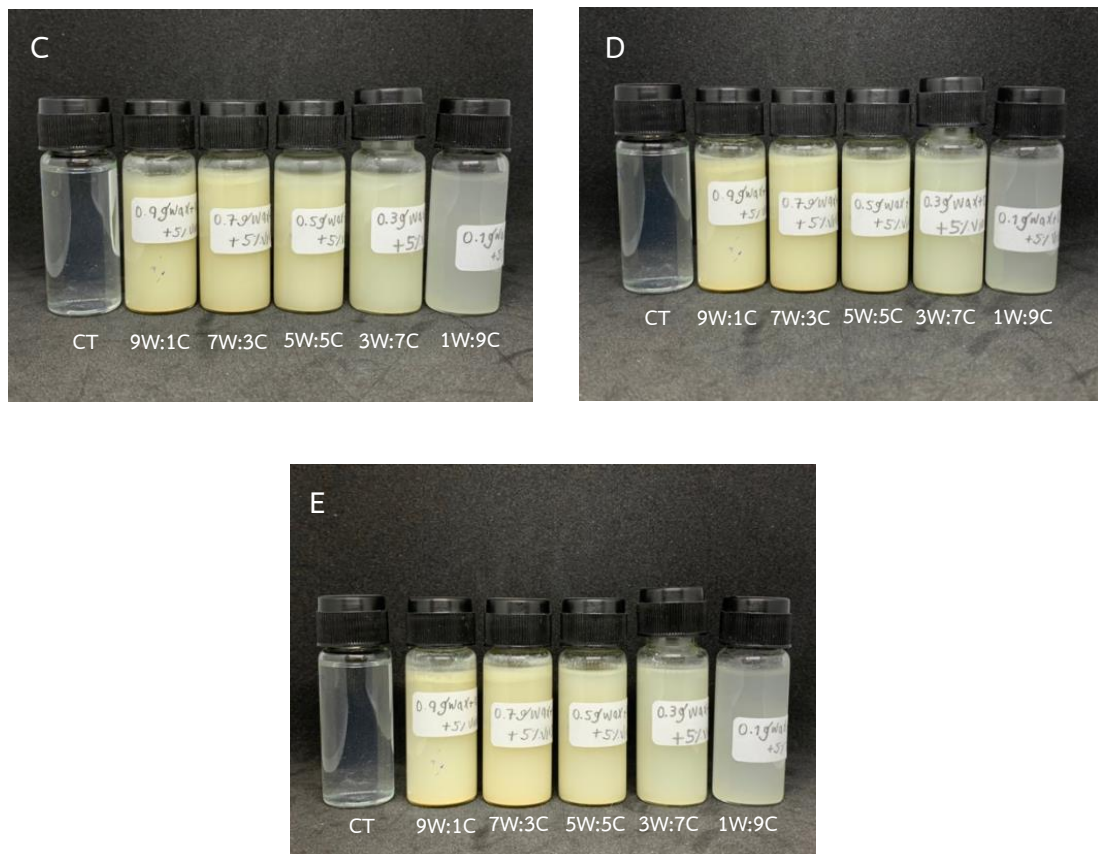
จากรูปที่ 4.13 สารเคลือบผสมเตรียมได้ในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าสารเคลือบมีสีขุ่นเหลืองมากที่สุดที่อัตราส่วน 9W:1C เนื่องจากสารไซมีลักษณะสีเหลืองอมขาว ดังนั้นการเพิ่มปริมาณสารไซที่มากขึ้น ส่งผลให้สีของสารเคลือบผสมมีสีขุ่นเหลืองมากขึ้น

##### 4.3.2 การทดสอบการตกตะกอนของสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย

รูปที่ 4.14 แสดงการทดสอบการตกตะกอนของสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย โดยตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1, 2, 3, 7 และ 14 วัน





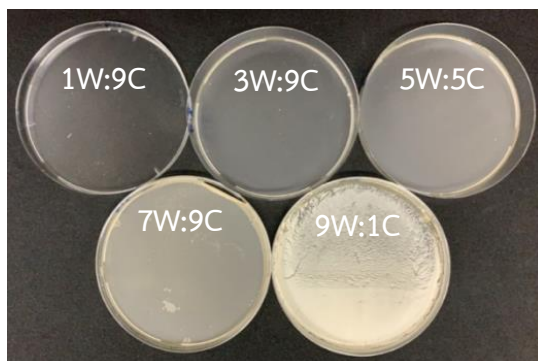


รูปที่ 4.14 ลักษณะการตกตะกอนของสารเคลือบผสมระหว่างโคโตซานและสารไขกล้วยในวันที่ 1 (A) วันที่ 2 (B) วันที่ 3 (C) วันที่ 7 (D) และวันที่ 14 (E)

จากรูปที่ 4.14 พบว่าสารเคลือบผสมที่อัตราส่วน 9W:1C เกิดการตกตะกอนที่ขอบด้านบนชัดเจนเมื่อตั้งทิ้งไว้ 2 วัน เนื่องจากปริมาณโคโตซานที่น้อยส่งผลให้สารเคลือบผสมมีความหนืดน้อยจึงทำให้สารไขเกิดการกระจายตัวได้น้อย ขณะที่อัตราส่วนอื่น ๆ เริ่มมีการตกตะกอนของสารไขในวันที่ 3 เช่นเดียวกันแต่เห็นไม่ชัดเจน และตกตะกอนในปริมาณที่น้อยกว่า เนื่องจากโคโตซานทำหน้าที่เป็นสารคงตัว (stabilizer) ส่งผลให้สารไขจากไขกล้วยสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำส้มสายชูที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบได้ โดยส่วนที่เป็น heterocyclic ของโคโตซานเป็นส่วนที่ไม่มีขั้วจะทำการสร้างแรงระหว่างโมเลกุลกับสารไข และ ส่วนที่เป็นหมู่ hydroxy และหมู่ amino จะทำการสร้างแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลกับน้ำส้มสายชู ซึ่งปริมาณโคโตซานที่มากส่งผลให้สารไขสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ โดยไม่เกิดการตกตะกอนและการแยกชั้นของสารเคลือบ ดังนั้นผู้ทดลองจึงเลือกที่จะทำการทดลองในอัตราส่วนของสารเคลือบผสมระหว่างโคโตซานและสารไขจากไขกล้วยที่อัตราส่วน 1W:9C, 3W:7C, 5W:5C และ 7W:3C มาทำการศึกษาต่อไป

### 4.3.3 ลักษณะของแผ่นฟิล์มของสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไขจากใบกล้วย

รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะแผ่นฟิล์มของสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไขจากใบกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ

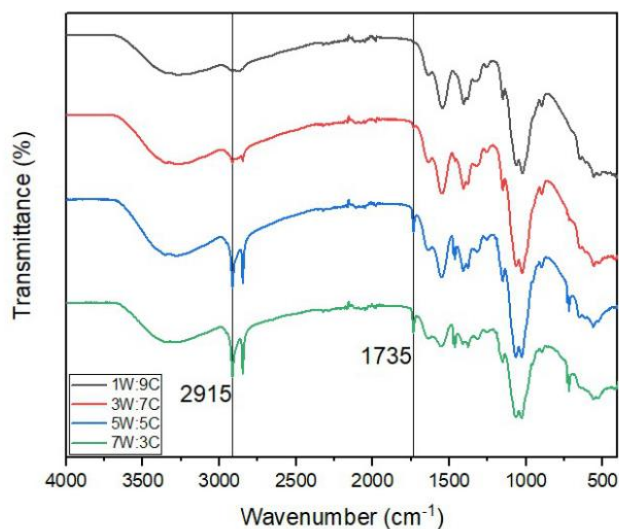


รูปที่ 4.15 ลักษณะแผ่นฟิล์มสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไขจากใบกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.15 แผ่นฟิล์มสารผสมระหว่างไคโตซานและสารไขจากใบกล้วย ที่ได้จากการขึ้นแผ่นฟิล์มด้วยสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไขจากใบกล้วยร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก 10 กรัม เมื่อทิ้งให้แห้งสนิทจะมีลักษณะเป็นแผ่นบาง มีสีขุ่นเหลืองมากขึ้นตามปริมาณสารไขที่มากขึ้น และจะมีสีขุ่นเหลืองมากที่สุดที่อัตราส่วนสารไข 9W:1C กรัม และเกิดลักษณะการกระจายตัวของสารไขในสารละลายไคโตซานที่ไม่ดี เนื่องจากปริมาณของไคโตซานที่น้อยเกินไป การทำหน้าที่เป็นสารคงตัวของไคโตซานเกิดขึ้นได้ไม่ดี ทำให้สารเคลือบที่อัตราส่วนนี้ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบการตกตะกอนของสารเคลือบผสม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกอัตราส่วนสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไขจากใบกล้วยที่อัตราส่วน 1:9, 7:3, 5:5 และ 3:7 มาทำการเคลือบบนกระดาษเป็นลำดับต่อไป

### 4.3.4 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ด้วยเทคนิค FT-IR

รูปที่ 4.16 แสดงสเปกตรัมของสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไขจากใบกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.16 FT-IR สเปกตรัมของสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย

เอกลักษณ์ของสารไซจากใบกล้วยและสารไคโตซาน เมื่ออัตราส่วนของสารไซจากใบกล้วยในสารเคลือบผสมเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของพันธะ C-H ที่เลขคลื่น  $2915\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่เมทิลีนและหมู่เมทิลจากสารไซและไคโตซาน และ พันธะ C=O ที่เลขคลื่น  $1735\text{ cm}^{-1}$  จากหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ ซึ่งแสดงการมีอยู่ของทั้งไคโตซานและสารไซจากใบกล้วยในสารเคลือบผสม

#### 4.4 ผลการทดสอบสมบัติของกระดาษเคลือบด้วยสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วย

##### 4.4.1 การวิเคราะห์ความชื้นสี ดัชนีความเหลือง และดัชนีความขาว

รูปที่ 4.17 แสดงถึงรูปกระดาษและกระดาษเคลือบที่อัตราส่วนต่าง ๆ ภายใต้แสงมาตรฐาน D65 และ ตารางที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงค่าความชื้นสี ดัชนีความเหลือง ดัชนีความขาว และ องค์ประกอบของสี ของกระดาษ และ กระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบระหว่างไคโตซานและสารไซจากใบกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ ของการเคลือบหนึ่งด้าน และ สองด้าน ตามลำดับ



รูปที่ 4.17 กระดาษเคลือบ 1 ด้าน (แถวบน) และ 2 ด้าน (แถวล่าง) ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

**ตารางที่ 4.4** ความเข้มสี ดัชนีความเหลือง และดัชนีความขาว และ องค์ประกอบของสีของกระดาษและกระดาษที่เคลือบหนึ่งด้าน

Sample	Whiteness (CIE 10/D65)	Yellowness (ASTM E313)	L*	a*	b*	$\Delta E$	K/S (360 nm)
None	74.99	2.63	92.51	-0.33	1.48	0.00	0.09
Chitosan	72.92	3.39	92.49	-0.45	1.91	0.47	0.10
1W:9C	69.04	4.86	92.45	-0.58	2.72	1.28	0.15
3W:7C	69.16	4.73	92.36	-0.58	2.66	1.21	0.14
5W:5C	68.88	4.70	92.18	-0.53	2.62	1.21	0.14
7W:3C	70.35	4.71	92.59	-0.50	2.37	0.91	0.13

**ตารางที่ 4.5** ความเข้มสี ดัชนีความเหลือง และดัชนีความขาว และ องค์ประกอบของสีของกระดาษและกระดาษที่เคลือบสองด้าน

Sample	Whiteness (CIE 10/D65)	Yellowness (ASTM E313)	L*	a*	b*	$\Delta E$	K/S (360 nm)
None	74.99	2.63	92.51	-0.33	1.48	0.00	0.09
Chitosan	71.35	3.89	92.24	-0.54	2.24	0.77	0.12
1W:9C	69.38	4.93	92.19	-0.68	2.76	1.35	0.17
3W:7C	68.59	4.98	92.41	-0.64	2.79	1.34	0.16
5W:5C	70.22	5.10	92.34	-0.59	2.75	1.38	0.14
7W:3C	70.04	5.30	92.24	-0.59	2.96	1.54	0.15

รูปภาพที่ 4.17 แสดงลักษณะทางกายภาพของกระดาษเคลือบและกระดาษที่ไม่เคลือบ และเมื่อทำการวัดด้วยเครื่องวัดสีพบว่าได้ค่าความเหลืองและความขาวของกระดาษเคลือบ ดังตารางที่ 4.4 และ 4.5 ซึ่งพบว่าเมื่อทำการเคลือบด้วยสารเคลือบต่าง ๆ ส่งผลให้กระดาษมีความเหลืองขึ้นประมาณ 2 เท่า และความขาวลดลงประมาณ 1 เท่า เมื่อเทียบกับกระดาษไม่เคลือบ เนื่องจาก สารเคลือบผสมมีลักษณะทางกายภาพเป็นสีเหลืองอมขาวและเมื่อนำไปอบทำให้โคโธซานที่อยู่ในสารเคลือบเกิดสีขึ้นเหลืองขึ้น ทำให้กระดาษที่เคลือบมีสีที่ต่างจากกระดาษไม่เคลือบ

#### 4.4.2 สมบัติความทนแรงดึง

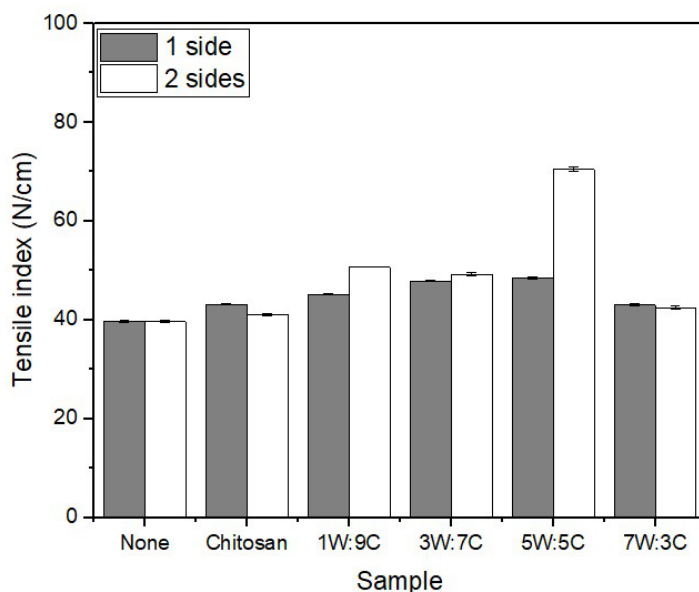
ตารางที่ 4.6 และ 4.7 และ รูปที่ 4.18 และ 4.19 แสดงแรงสูงสุดต่อความกว้างที่ใช้ในการทดสอบ สมบัติความทนแรงดึงของกระดาษ กระดาษที่เคลือบด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ ทั้งหนึ่งด้านและสองด้าน ในสภาวะแห้งและเปียกน้ำตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 แรงสูงสุดต่อความกว้างของกระดาษและกระดาษที่เคลือบหนึ่งด้านและสองด้านในสภาวะแห้ง

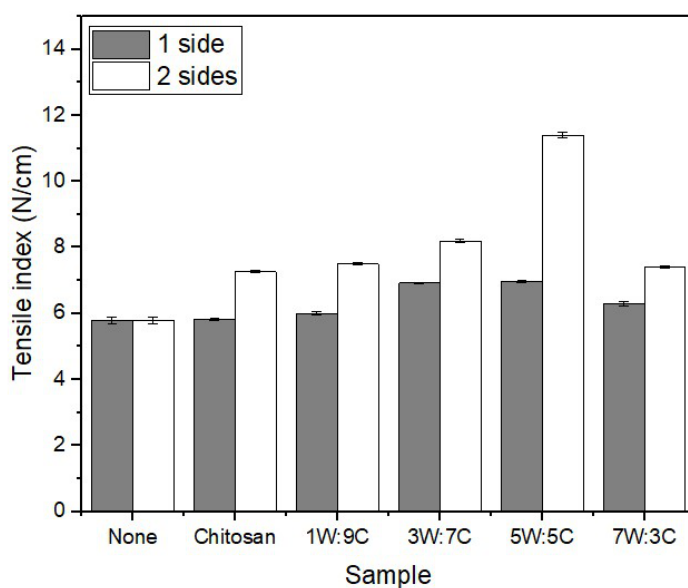
Sample	Tensile index 1 side (N/cm)	Tensile index 2 sides (N/cm)
None	3.964 ± 0.194	3.964 ± 0.194
Chitosan	4.314 ± 0.194	4.112 ± 0.238
1W:9C	4.518 ± 0.154	5.069 ± 0.070
3W:7C	4.788 ± 0.140	4.920 ± 0.324
5W:5C	4.845 ± 0.1612	7.045 ± 0.410
7W:3C	4.299 ± 0.2451	4.247 ± 0.374

ตารางที่ 4.7 แรงสูงสุดต่อความกว้างของกระดาษและกระดาษที่เคลือบหนึ่งด้านและสองด้านในสภาวะเปียกน้ำ

Sample	Tensile index 1 side (N/cm)	Tensile index 2 sides (N/cm)
None	0.578 ± 0.114	0.5784 ± 0.1135
Chitosan	0.581 ± 0.0291	0.7260 ± 0.0318
1W:9C	0.600 ± 0.0453	0.7501 ± 0.0357
3W:7C	0.692 ± 0.0291	0.8195 ± 0.0505
5W:5C	0.696 ± 0.0219	1.1402 ± 0.0880
7W:3C	0.629 ± 0.0594	0.7404 ± 0.0281



รูปที่ 4.18 แรงสูงสุดต่อความกว้างของกระดาษและกระดาษที่เคลือบหนึ่งด้านและสองด้านในสภาวะแห้ง



รูปที่ 4.19 แรงสูงสุดต่อความกว้างของกระดาษและกระดาษที่เคลือบหนึ่งด้านและสองด้านในสภาวะเปียก

จากรูปที่ 4.18 และ รูปที่ 4.19 พบว่าเมื่อทำการเคลือบด้วยสารเคลือบบนกระดาษในสภาวะแห้ง ส่งผลให้กระดาษมีความทนแรงดึงสูงมากขึ้น เนื่องจากสารเคลือบเข้าไปแทรกตัวอยู่ตามรูพรุนของกระดาษ อีกทั้งสารเคลือบบางส่วนยังก่อตัวเป็นฟิล์มเคลือบผิวกระดาษ ทำให้เส้นใยของกระดาษมีการยึดติดกันระหว่างเส้นใย ความทนแรงดึงของกระดาษเคลือบ จึงมีค่า 1.1 เท่าของกระดาษที่ไม่เคลือบทั้งหนึ่งด้านและสองด้าน และเมื่อทดสอบในสภาวะเปียกพบว่าความทนแรงดึงของกระดาษที่เคลือบมากกว่ากระดาษที่ไม่เคลือบ มีค่าเท่ากับ 1.1 เท่าและ 1.3 เท่า ของกระดาษที่ไม่เคลือบสำหรับการเคลือบหนึ่งด้านและสองด้านตามลำดับ เนื่องจากโครงสร้างของสารเคลือบที่เข้าไปแทรกตามรูพรุนมีส่วนที่ไม่ชอบน้ำจากสารไซ ทำให้น้ำซึมผ่านเข้าไปทำลายแรงระหว่างสายโซ่ของเส้นใยกระดาษได้ยากขึ้น เพื่อเป็นการยืนยันว่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้น เกิดจาก

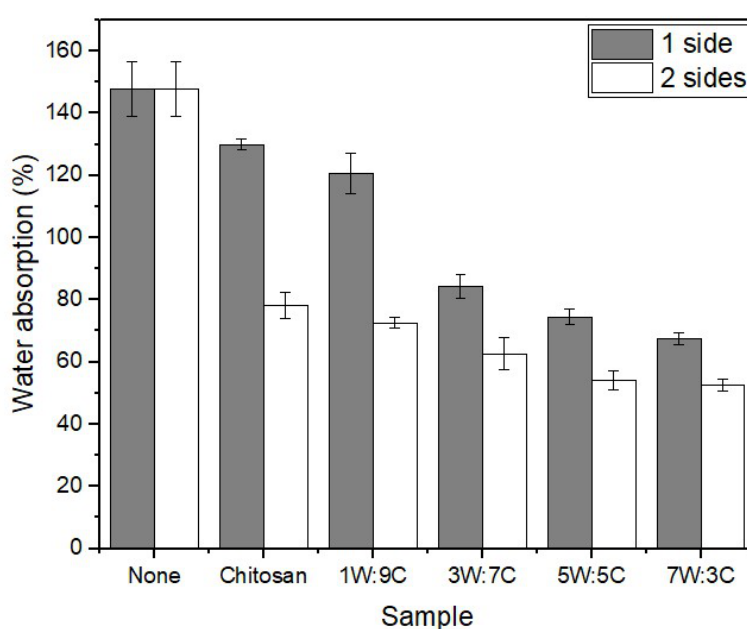
การที่น้ำซึมผ่านเข้าไปในกระดาศได้น้อยลง จึงทำกระดาศเคลือบที่อัตราส่วนต่าง ๆ ไปทำการทดสอบการดูดซึมของเหลวเป็นลำดับถัดไป

#### 4.4.3 การทดสอบการดูดซึมของเหลว

ตารางที่ 4.8 และ รูปที่ 4.20 แสดงถึงปริมาณการดูดซึมน้ำของกระดาศ กระดาศที่เคลือบด้วยไคโตซาน และกระดาศเคลือบด้วยสารเคลือบผสมระหว่างไคโตซานและสารไขจากใบกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ

ตารางที่ 4.8 ร้อยละการดูดซึมน้ำของกระดาศและกระดาศที่เคลือบหนึ่งด้านและสองด้าน

Sample	% Water absorption 1 side	% Water absorption 2 sides
None	147.88 ± 8.78	147.88 ± 8.78
Chitosan	129.97 ± 1.84	78.22 ± 4.25
1W:9C	120.71 ± 6.48	72.65 ± 1.84
3W:7C	84.32 ± 3.98	62.61 ± 5.24
5W:5C	74.45 ± 2.51	54.17 ± 3.05
7W:3C	67.53 ± 2.00	52.59 ± 1.86



รูปที่ 4.20 ร้อยละการดูดซึมน้ำของกระดาศและกระดาศที่เคลือบหนึ่งด้านและสองด้าน

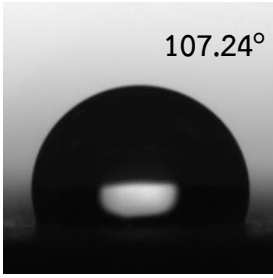
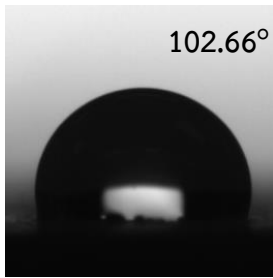
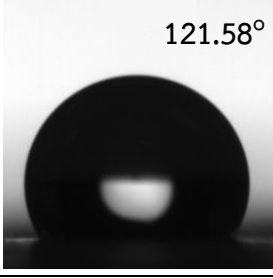
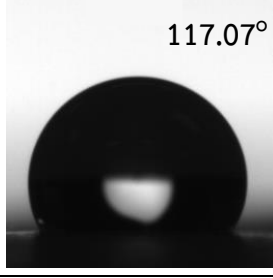
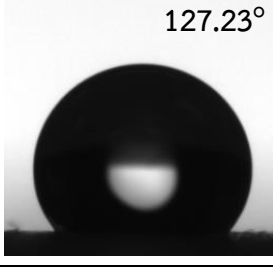
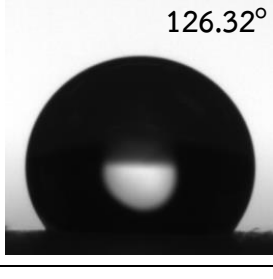
จากรูปที่ 4.20 พบว่ากระดาศที่ไม่เคลือบมีร้อยละของการดูดซึมน้ำมากกว่ากระดาศที่ทำการเคลือบด้วยสารเคลือบผสม และเมื่อทำการเคลือบสารเคลือบผสมที่มีอัตราส่วนของสารไขจากใบกล้วยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณการดูดซึมน้ำลดลง 2.2 เท่าสำหรับหนึ่งด้าน และลดลง 2.8 เท่าสำหรับสองด้าน เมื่อเทียบกระดาศที่ไม่เคลือบ เนื่องจากสมบัติที่ไม่ชอบน้ำของสารไขจากใบกล้วย และการเกิดฟิล์มของไคโตซานที่ปิดรูพรุนของ

กระดาษ ทำให้การซึมผ่านของน้ำเข้าสู่กระดาษลดลง และเมื่อเทียบจำนวนด้านในการเคลือบพบว่า การเคลือบสองด้านจะมีร้อยละการดูดซึมของน้ำน้อยกว่าการเคลือบเพียงด้านเดียว เนื่องจากสารเคลือบที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำและการเกิดฟิล์มของโคโตะซาน ทำให้การเคลือบสองด้านด้วยสารเคลือบมีพื้นที่ผิวที่น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบการทนแรงดึงที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปทำลายแรงระหว่างสายโซ่ของเส้นใยกระดาษได้จึงส่งผลต่อความแข็งแรงของกระดาษลดลง ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเลือกอัตราส่วนที่มีร้อยละการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด คือ 7W:3C ไปทำการวิเคราะห์หาค่ามุมสัมผัสของน้ำเป็นลำดับถัดไป

#### 4.4.4 วิเคราะห์ค่ามุมสัมผัสของน้ำ

ตารางที่ 4.9 แสดงรูปและค่ามุมสัมผัสของน้ำที่ 0 นาที และ 2 นาที ของกระดาษที่ไม่เคลือบ และกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผสมอัตราส่วน 7W:3C ทั้งหนึ่งด้าน และสองด้าน

ตารางที่ 4.9 รูปและค่ามุมสัมผัสของน้ำที่ 0 นาทีและ 2 นาที

ตัวอย่าง	รูปและค่ามุมสัมผัสที่ 0 นาที	รูปและค่ามุมสัมผัสที่ 2 นาที
None	 107.24°	 102.66°
7W:3C (1 side)	 121.58°	 117.07°
7W:3C (2 sides)	 127.23°	 126.32°

จากตารางที่ 4.9 พบว่ากระดาษที่เคลือบหนึ่งด้านด้วยสารเคลือบผสม 7W:3C ให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำเมื่อเทียบกับกระดาษที่ไม่เคลือบเพิ่มขึ้นจาก 107.24° เป็น 121.58° ที่ 0 นาที และเมื่อเวลาผ่านไป 2 นาที มุมสัมผัสของน้ำมีค่าลดลง จาก 121.58° เป็น 117.07° แต่เมื่อเทียบในอัตราส่วนเดียวกัน การเคลือบสองด้าน



จะให้ค่ามุมสัมผัสที่สูงกว่าการเคลือบด้านเดียว โดยค่ามุมสัมผัสจะเพิ่มขึ้นจาก  $121.58^\circ$  เป็น  $127.23^\circ$  เมื่อเวลาผ่านไป 2 นาที มุมสัมผัสของน้ำมีค่าลดลง โดยการเคลือบสองด้านนั้นมีการลดลงของมุมสัมผัสเล็กน้อย ( $0.9^\circ$ ) เมื่อเทียบกับการเคลือบหนึ่งด้านจะมีการลดลงของมุมสัมผัสมากกว่า ( $4.51^\circ$ ) เนื่องจากการเคลือบจะทำให้เกิดฟิล์มของโคโคซานและสมบัติที่ไม่ชอบน้ำของสารไซทำให้ น้ำซึมลงไปได้น้อยกว่า ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับร้อยละการซึมผ่านของน้ำที่อัตราส่วนเดียวกัน

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา การปรับปรุงสมบัติบรรจุภัณฑ์กระดาษด้วยกระบวนการเคลือบสารเคลือบผสมระหว่างสารไซจากใบกล้วยและโคโตซานที่อัตราส่วน 1:9, 3:7, 5:5, 7:3, และ 9:1 ซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้ดังนี้

##### 5.1.1 การวิเคราะห์ฟิล์มโคโตซาน

ฟิล์มโคโตซานที่ได้จากการเตรียมสารละลายโคโตซาน ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก พบว่ามีลักษณะเป็นแผ่นใส จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR พบว่า มีฟังก์ชันลักษณะของโคโตซาน และการทดสอบสมบัติการต้านแบคทีเรียพบว่าฟิล์มโคโตซานมีความสามารถในการยับยั้งได้ทั้ง *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* แต่สามารถยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus niger* ได้เพียงเล็กน้อย

##### 5.1.2 การวิเคราะห์สารไซ

สารไซที่ได้จากการสกัดใบกล้วยน้ำว่า 100 กรัมด้วยเฮกเซน และเอทานอลจะมีลักษณะเป็นผงหยาบสีขาวอมเหลือง มีร้อยละการสกัดเท่ากับ 0.4984 และจากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FT-IR พบว่าสามารถทำการสกัดสารไซจากใบกล้วยน้ำว่าได้ มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 30.235 ไมโครเมตรเมื่อใช้วิธีปั่นกวนกับความถี่ 12.333 ไมโครเมตร

##### 5.1.3 ผลการวิเคราะห์สารเคลือบผสมระหว่างโคโตซานและสารไซจากใบกล้วย

สารเคลือบผสมระหว่างโคโตซานและสารไซจากใบกล้วยที่เตรียมได้ มีสีขุ่นเหลืองมากที่สุดที่สูตร 9W:1C และจากการตั้งสารเคลือบผสมระหว่างโคโตซานและสารไซจากใบกล้วยไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 14 วัน พบว่า ตั้งแต่วันที่ 2 เป็นต้นไป สารเคลือบที่สูตร 9W:1C เริ่มเกิดการแยกชั้น ในขณะที่สารเคลือบที่สูตรอื่น ๆ เริ่มเกิดการแยกชั้นในวันที่ 3 และเมื่อนำสารเคลือบผสมระหว่างโคโตซานและสารไซจากใบกล้วยมาขึ้นเป็นแผ่นฟิล์มพบว่า สูตร 9W:1C มีการกระจายตัวของสารไซในสารละลายโคโตซานที่ไม่ดี ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกอัตราส่วนระหว่างสารไซจากใบกล้วยและโคโตซานที่ 1:9, 3:7, 5:5 และ 7:3 ไปทำการศึกษาต่อไป

##### 5.1.4 ผลการทดสอบสมบัติของกระดาษเคลือบด้วยสารเคลือบผสมระหว่างโคโตซานและสารไซจากใบกล้วย

กระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อนำมาทำการวิเคราะห์สมบัติความเข้มสี ดัชนีความเหลือง และ ดัชนีความขาว พบว่า กระดาษที่เคลือบมีความเหลืองเพิ่มขึ้นและมีความขาวลดลงเพียงเล็กน้อย และเมื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติความทนแรงดึงและการดูดซึมน้ำ พบว่ากระดาษเคลือบมีความทนแรงดึงมากขึ้น เนื่องจากการดูดซึมน้ำลดลง อีกทั้งการวิเคราะห์หุ้มน้ำของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการยืนยันว่า ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำลดลง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

การเคลือบกระดาษด้วยสารเคลือบผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ จะทำการเคลือบเพียงด้านละสองครั้ง จากการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำและการวัดหุ้มน้ำของน้ำของกระดาษที่อัตราส่วนสารไซจากไบกลัยและโคโตะซานที่ 7W:3C ที่มีค่าหุ้มน้ำมากที่สุดและมีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ทั้งนี้ผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางการเตรียมกระดาษเคลือบที่อัตราส่วนดังกล่าว โดยการเพิ่มจำนวนครั้งในการเคลือบและนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ตามจำนวนรอบที่เคลือบ เพื่อหาจำนวนรอบที่เหมาะสมในการเพิ่มสมบัติการต้านน้ำและนำไปพัฒนาให้กระดาษมีสมบัติที่ไม่ชอบน้ำยิ่งยวดต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Gordon, L.R., (2012). Introduction to Food Packaging. *Food Packaging Principles and Practice*, **3**, 1-9.
- [2] สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ความหมายของบรรจุภัณฑ์. สืบค้นจาก [http://cuir.car.chula.ac.th/bitstream/123456789/11257/5/Nataya\\_Eu\\_ch2.pdf](http://cuir.car.chula.ac.th/bitstream/123456789/11257/5/Nataya_Eu_ch2.pdf) [25 มีนาคม 2563]
- [3] Young, T.K., Byungjin, M., and Kyung, W.K., (2014). General Characteristics of Packaging Materials for Food System. *Department of Sustainable Biomaterial, Packaging System & Design*, **2**, 13-19.
- [4] Gordon, P.B. (2016). Surface coating. สืบค้นจาก <https://www.britannica.com/technology/surface-coating> [25 มีนาคม 2563]
- [5] สุธิดา คงทอง. (2552). ไคติน-ไคโตซาน (Chitin-Chitosan). วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา, **1**, 3-5.
- [6] Jaime, L.M., Waldo, M.A.M., and Francisco, M.G.V., (2016). Chitosan: Definition and Sources. *Chitosan in the Preservation of Agriculture Commodities*, **1**, 2-3.
- [7] Rejane, C.G., Douglas de, B., and Odilio, B.G.A., (2009). A Review of the Antimicrobial of Chitosan. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, **19(3)**, 241-247.
- [8] บุญภาพ ไชยศรีขวัญ, ณัฐธิดา รักกะเปา, อติพล พัฒนิยะ, จรัสลักษณ์ เพชรวัง และอุไรวรรณ วีระพันธ์. (2017).ฤทธิ์และกลไกการยับยั้งจุลินทรีย์ของไคโตซาน. วารสารวิทยาศาสตร์ มศว, **33(1)**, 299-301.
- [9] The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2017). Wax substance สืบค้นจาก <https://www.britannica.com/technology/wax> [25 มีนาคม 2563]
- [10] Janice, G.S., (2008) Waxes. *Organic Chemistry*, **1**, 1121-1122.
- [11] ธรรมรักษ์ พูลภักดี. (2546). การคายนํ้าของผลส้ม (โครงการงานวิศวกรรมอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์). **1**, 20-21.
- [12] Howes, F.N., (1936). Sources of Vegetable Wax. *Bulletin of Miscellaneous Information (Royal Botanic Gardens, Kew)*, **1936(10)**, 503-526.
- [13] Hase Petroleum Wax Co. (2020). About Waxes. สืบค้นจาก <https://www.hpwx.com/wax.htm> [25 มีนาคม 2563]
- [14] SpecialChem The material selection platform. (2020). Wax Emulsions for Coatings. สืบค้นจาก <https://coatings.specialchem.com/selection-guide/wax-emulsions-for-coatings/wax-types-and-properties#> [25 มีนาคม 2563]

- [15] Takashi, Y., Naoto, S., and Toshinori, K. (2003). Properties of Wax Extracted from Banana Leaves. *An ASAE Meeting Presentstion*, **1**, 1-8.
- [16] Suporn, C., Songwut, Y., Panee, S., and Kaitisak, P. (2010). Characterization and chemical composition of epicuticular wax from banana leaves grown in Northern Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, **39(4)**, 1-9.
- [17] Despond, S., Espuche, E., Cartier, N., and Domard, A. (2004). Barrier Properties of Paper-Chitosan and Paper-Chitosan-Carnauba Wax Films. *Wiley UnterScience*, **98**, 704-710.
- [18] Sivaselvi, K., and Pijush, G., (2017). Characterization of modified Chitosan thin film. *Materials Today: Proceedings*, **4**, 442-451.
- [19] Sarani, Z., Chin, H.C., Wan, H.W.A., Hatika, K., Soon, W.C., and Chi, H.C. (2015). Mechanical and Antibacterial Properties of Paper Coated with Chitosan. *Sains Malaysiana*, **44(16)**, 905-911.
- [20] Douglas, J.C.G., Nara, C.D.S., and Josmary, R.S. (2013). Using a monocular optical microscope to assemble a wetting contact angle analyser. *Measurement*, **46**, 3623-3627.
- [21] พิมพ์ชนา วงศ์พิศาล, พรศิลป์ สีเผือก, ชัยสิทธิ์ ปรีชา และวุฒิชัย สีเผือก. (2559). การคัดเลือกเชื้อราที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสและไซแลนเนส จากซากใบปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.). *แก่นเกษตร*, **44**, 948-952.
- [22] Wenshui, X., Ping, L., and Jing, L. (2007). Advance in chitosan hydrolysis by non-specific cellulases. *Bioresouretechnology*, **99**, 6751-6762.

## ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก การวิเคราะห์สารไซ



1W:9C



3W:7C



5W:5C



7W:3C



9W:1C

รูปที่ 1 สารแขวนลอยสารไซลงในน้ำส้มสายชูกลั่น 5 % ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

## ภาคผนวก ข การทดสอบความทนแรงดึง

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั้งหมดของการทดสอบความทนแรงดึงของกระดาษเคลือบหนึ่งด้านสถานะแห้ง

Maximum force of 1 sided coated papers (dry) (N/cm)						
Sample	None coating	Chitosan	1 W:9C	3W:7C	5W:5C	7W:3C
1	38.5320	42.9860	45.7940	48.7040	50.1090	41.5770
2	38.9750	41.7740	44.5870	46.1310	49.2150	41.8630
3	39.5150	44.0260	42.3280	46.6000	47.9920	46.7030
4	38.5680	46.6310	45.7570	48.2280	46.7790	39.8790
5	42.6500	42.8260	46.4990	48.1210	47.3580	41.5330
6	37.3370	41.7880	43.6070	46.3370	47.9770	43.0020
7	38.9720	44.6530	46.1230	48.8850	51.2900	42.7580
8	42.5990	40.4410	46.7060	50.0450	46.9130	46.6140
Average 1 side	39.6435	43.1406	45.1751	47.8814	48.4541	42.9911
Standard D.	1.9420	1.9406	1.5412	1.3956	1.6117	2.4507

ตารางที่ 2 ข้อมูลทั้งหมดของการทดสอบความทนแรงดึงของกระดาษเคลือบหนึ่งด้านสถานะแห้ง

Maximum force of 2 sided coated papers (dry) (N/cm)						
Sample	None coating	Chitosan	1 W:9C	3W:7C	5W:5C	7W:3C
1	38.5320	39.8480	50.4400	51.1360	76.2970	48.0270
2	38.9750	43.8080	50.2710	43.8290	66.7590	41.6220
3	39.5150	39.9920	50.5820	48.6740	64.9060	46.5310
4	38.5680	39.7740	50.7760	50.2920	72.3400	39.1420
5	42.6500	45.6330	51.3610	52.6700	73.0870	43.1940
6	37.3370	38.6820	51.5880	48.3630	69.5970	44.7970
7	38.9720	39.9690	49.3780	42.8270	71.3080	39.4980
8	42.5990	41.2240	51.1300	50.4970	65.2200	39.6110
9				49.8590	74.5590	36.1010
10				49.9520		41.9820
11				53.0980		46.6320
Average 2 side	39.6435	41.1163	50.6908	49.1997	70.4526	42.4670
Standard D.	1.9420	2.3777	0.6999	3.2450	4.1045	3.7448

ตารางที่ 3 ข้อมูลทั้งหมดของการทดสอบความทนแรงดึงของกระดาษเคลือบหนึ่งด้านสภาวะเปียก

Maximum force of 1 sided coated papers (wet) (N/cm)						
Sample	None coating	Chitosan	1 W:9C	3W:7C	5W:5C	7W:3C
1	4.5930	6.3340	5.4370	7.3130	7.0730	6.0460
2	7.0860	5.9790	6.4490	6.8770	7.1040	6.3640
3	5.6970	5.5120	6.3830	6.8310	6.6460	6.3180
4	7.8350	5.8150	6.0860	6.5840	7.1580	7.1090
5	6.4980	5.4940	6.4670	6.4800	7.2350	5.9750
6	6.1750	5.6890	5.2660	7.1190	6.6800	7.0260
7	4.8350	5.8260	6.0290	7.2090	6.9300	5.2450
8	4.4090		5.9120	6.9300	6.8550	6.2430
9	4.8850					
10	5.8300					
Average 1 side	5.7843	5.8070	6.0036	6.9179	6.9601	6.2908
Standard D.	1.1349	0.2906	0.4532	0.2913	0.2195	0.5942

ตารางที่ 4 ข้อมูลทั้งหมดของการทดสอบความทนแรงดึงของกระดาษเคลือบสองด้านสภาวะเปียก

Maximum force of 2 sided coated papers (wet) (N/cm)						
Sample	None coating	Chitosan	1 W:9C	3W:7C	5W:5C	7W:3C
1	4.5930	7.0690	7.2280	8.4870	9.9640	7.7520
2	7.0860	7.4670	7.7200	8.2850	12.1440	7.0700
3	5.6970	7.5710	7.2030	7.6560	11.3740	7.4660
4	7.8350	7.3050	7.7000	7.7080	11.4380	7.5620
5	6.4980	6.7390	7.8670	8.4990	12.0920	7.1720
6	6.1750	6.9500	7.2740	8.9810		
7	4.8350	7.6600	7.9850	7.7460		
8	4.4090	7.3150	7.0320			
9	4.8850					
10	5.8300					
Average 2 side	5.7843	7.2595	7.5011	8.1946	11.4024	7.4044
Standard D.	1.1349	0.3182	0.3567	0.5054	0.8799	0.2808



## ภาคผนวก ค การทดสอบการดูดซึมน้ำ

## ตารางที่ 1 ข้อมูลน้ำหนักกระดาษที่เคลือบหนึ่งด้านก่อนแช่น้ำ

น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (grams)					
ตัวอย่าง	น้ำหนักครั้งที่ 1	น้ำหนักครั้งที่ 2	น้ำหนักครั้งที่ 3	Average	Standard D.
None coating	0.3113	0.3165	0.3096	0.3125	0.0036
Chitosan	0.3007	0.3021	0.3139	0.3056	0.0073
1W:9C	0.3078	0.2969	0.2983	0.3010	0.0059
3W:7C	0.3116	0.3162	0.3171	0.3150	0.0030
5W:5C	0.3150	0.3038	0.3125	0.3104	0.0059
7W:3C	0.3044	0.3100	0.3120	0.3088	0.0039

## ตารางที่ 2 ข้อมูลน้ำหนักกระดาษที่เคลือบสองด้านก่อนแช่น้ำ

น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (grams)					
ตัวอย่าง	น้ำหนักครั้งที่ 1	น้ำหนักครั้งที่ 2	น้ำหนักครั้งที่ 3	Average	Standard D.
None coating	0.3113	0.3165	0.3096	0.3125	0.0036
Chitosan	0.3056	0.3188	0.3168	0.3137	0.0071
1W:9C	0.3135	0.3163	0.3148	0.3149	0.0014
3W:7C	0.3188	0.3120	0.3083	0.3130	0.0053
5W:5C	0.3220	0.3165	0.3181	0.3189	0.0028
7W:3C	0.2966	0.3071	0.3111	0.3049	0.0075

## ตารางที่ 3 ข้อมูลน้ำหนักกระดาษที่เคลือบหนึ่งด้านหลังแช่น้ำ

น้ำหนักหลังแช่น้ำ (grams)					
ตัวอย่าง	น้ำหนักครั้งที่ 1	น้ำหนักครั้งที่ 2	น้ำหนักครั้งที่ 3	Average	Standard D.
None coating	0.7438	0.7856	0.7941	0.7745	0.0269
Chitosan	0.6978	0.7036	0.7128	0.7047	0.0412
1W:9C	0.6625	0.6503	0.6797	0.6642	0.0148
3W:7C	0.5684	0.5744	0.5990	0.5806	0.0162
5W:5C	0.5461	0.5387	0.5396	0.5415	0.0687
7W:3C	0.5145	0.5218	0.5156	0.5173	0.0155

ตารางที่ 4 ข้อมูลน้ำหนักกระดาษที่เคลือบสองด้านหลังแห้งน้ำ

น้ำหนักหลังแห้งน้ำ (grams)					
ตัวอย่าง	น้ำหนักครั้งที่ 1	น้ำหนักครั้งที่ 2	น้ำหนักครั้งที่ 3	Average	Standard D.
None coating	0.7438	0.7856	0.7941	0.7745	0.0269
Chitosan	0.5577	0.5680	0.5512	0.5590	0.0152
1W:9C	0.5418	0.5400	0.5490	0.5436	0.0367
3W:7C	0.5035	0.5042	0.5188	0.5088	0.0086
5W:5C	0.4904	0.4991	0.4852	0.4916	0.0193
7W:3C	0.4585	0.4676	0.4695	0.4652	0.0171

#### ภาคผนวก ง การทดสอบการวัดสี

ตารางที่ 1 ข้อมูลค่าดัชนีความขาวของกระดาษที่เคลือบหนึ่งด้าน

Sample	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	Average	Standard D.
None coating	74.83	74.80	75.34	74.99	0.30
Chitosan	72.86	73.26	72.65	72.92	0.31
1W:9C	66.75	66.03	66.84	66.54	0.44
3W:7C	68.72	68.90	69.85	69.16	0.61
5W:5C	68.02	67.16	67.09	67.42	0.52
7W:3C	69.08	68.56	68.86	68.83	0.26

ตารางที่ 2 ข้อมูลค่าดัชนีความขาวของกระดาษที่เคลือบสองด้าน

Sample	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	Average	Standard D.
None coating	74.83	74.80	75.34	74.99	0.30
Chitosan	71.33	71.25	71.48	71.35	0.12
1W:9C	63.59	63.67	64.03	63.76	0.23
3W:7C	68.62	68.50	68.64	68.59	0.08
5W:5C	70.27	70.27	70.11	70.22	0.09
7W:3C	68.27	67.55	68.66	68.16	0.56

ตารางที่ 3 ข้อมูลค่าดัชนีความเหลืองของกระดาษที่เคลือบหนึ่งด้าน

Sample	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	Average	Standard D.
None coating	2.56	2.73	2.61	2.63	0.09
Chitosan	3.40	3.34	3.43	3.39	0.05
1W:9C	5.87	5.84	5.44	5.72	0.24
3W:7C	4.69	4.95	4.54	4.73	0.21
5W:5C	5.28	5.29	5.27	5.28	0.01
7W:3C	5.15	5.22	5.09	5.15	0.07

ตารางที่ 4 ข้อมูลค่าดัชนีความเหลืองของกระดาษที่เคลือบสองด้าน

Sample	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	Average	Standard D.
None coating	2.56	2.73	2.61	2.63	0.09
Chitosan	3.88	3.80	4.00	3.89	0.10
1W:9C	6.85	6.47	6.45	6.59	0.23
3W:7C	4.98	5.01	4.95	4.98	0.03
5W:5C	5.18	5.04	5.07	5.10	0.07
7W:3C	4.96	5.07	4.92	4.98	0.08

ภาคผนวก การวิเคราะห์ค่ามูมสัมพัทธ์

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั้งหมดของค่ามูมสัมพัทธ์ที่ 0 และ 2 นาที ของกระดาษไม่เคลือบ

Sample	มูมที่ 0 นาที	มูมที่ 2 นาที
1	108.93	105.19
2	105.67	101.05
3	106.89	103.23
4	112.79	107.93
5	101.65	98.03
6	107.54	100.53
Average	107.24	102.66
Standard D.	3.67	3.55

ตารางที่ 2 ข้อมูลทั้งหมดของค่ามุมสัมพัทธ์ที่ 0 และ 2 นาฬิกา ของกระดาษที่เคลือบด้วยอัตราส่วน 7W:3C หนึ่งด้าน

Sample	มุมที่ 0 นาฬิกา	มุมที่ 2 นาฬิกา
1	117.35	117.24
2	122.69	118.00
3	126.89	123.06
4	116.70	113.00
5	118.31	113.20
6	127.54	117.90
Average	121.58	117.07
Standard D.	4.85	3.72

ตารางที่ 3 ข้อมูลทั้งหมดของค่ามุมสัมพัทธ์ที่ 0 และ 2 นาฬิกา ของกระดาษที่เคลือบด้วยอัตราส่วน 7W:3C สองด้าน

Sample	มุมที่ 0 นาฬิกา	มุมที่ 2 นาฬิกา
1	127.70	126.04
2	133.06	131.28
3	125.65	125.00
4	128.02	124.40
5	129.13	130.53
6	119.80	120.69
Average	127.23	126.32
Standard D.	4.39	3.99