

แผ่นโคโตนซาน/ผ้าฝ้ายก๊อซที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในไซโคลเด็กซ์ทรีน



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHITOSAN/COTTON GAUZE PAD CONTAINING CITRONELLA OIL LOADED CYCLODEXTRIN

Miss Atikarn Sumretfuangfoo



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile

Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

แผ่นโคโตะซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในไซ  
โคลเด็กซ์ทรีน

โดย

นางสาวอดิگانต์ สำเร็จเฟื่องฟู

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.กาวี ศรีกุลกิจ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวงนิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.กาวี ศรีกุลกิจ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริรัตน์ จารุจินดา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร)

อดิกันต์ สำเร็จเพื่องฟู : แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในไซโคล  
 เด็กซ์ทริน (CHITOSAN/COTTON GAUZE PAD CONTAINING CITRONELLA OIL  
 LOADED CYCLODEXTRIN) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.กาวี ศรีภูถกิจ, 86 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุใน  
 ไซโคลเด็กซ์ทรินโดยวิธีการหล่อ เริ่มจากละลายไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร ใน  
 สารละลายกรดแอสติกเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร เพื่อเพิ่มสมบัติการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย  
 ใส่น้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยมวลต่อน้ำหนัก  
 ไคโตซานในสารละลายไคโตซาน จากนั้นนำสารละลายไคโตซานที่เตรียมได้เทลงบนผ้าฝ้ายก๊อช แล้ว  
 ปล่อยให้แห้งจนแห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2-3 วัน ได้แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอม  
 บรรจุในไซโคลเด็กซ์ทริน ศึกษาสมบัติของแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุใน  
 ไซโคลเด็กซ์ทรินที่เตรียมขึ้น พบว่า ผ้าก๊อชช่วยปรับปรุงเสถียรภาพทางรูปร่างของฟิล์มไคโตซาน แต่  
 อย่างไรก็ตามแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชมีความทนแรงดึงน้อยกว่าฟิล์มไคโตซาน เนื่องจากผ้าก๊อชไป  
 ขัดขวางความต่อเนื่องของเมทริกซ์ไคโตซาน การดูดซึมน้ำของแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชสูงกว่าผ้า  
 ก๊อชและฟิล์มไคโตซาน และพบว่าไคโตซานช่วยเพิ่มสมบัติการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย  
*Staphylococcus aureus* เปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายก๊อช เมื่อใส่น้ำมันตะไคร้หอมบรรจุใน  
 ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5 โดยมวลความทนแรงดึงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากน้ำมันตะไคร้หอม  
 บรรจุในไซโคลเด็กซ์ทรินเข้ากันได้กับไคโตซานและกระจายตัวดีจึงทำหน้าที่เสริมแรงให้กับฟิล์ม  
 ไคโตซาน และเมื่อเติมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 10 และ 15 ความทน  
 แรงดึงมีค่าลดลง เนื่องจากการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุใน  
 ไซโคลเด็กซ์ทรินในเมทริกซ์ไคโตซาน และพบว่าน้ำมันตะไคร้หอมที่บรรจุในไซโคลเด็กซ์ทรินช่วยเพิ่ม  
 สมบัติการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันตะไคร้  
 หอมบรรจุในไซโคลเด็กซ์ทรินเปรียบเทียบกับแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ปลายมือเขียนิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และ ปลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

เทคโนโลยีสิ่งทอ

ปีการศึกษา 2559

# # 5772202323 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORDS: WOUND DRESSING / CHITOSAN / COTTON GAUZE / CITRONELLA OIL /  
 Æ Æ,Æ°BETA-CYCLODEXTRIN

ATIKARN SUMRETFUANGFOO: CHITOSAN/COTTON GAUZE PAD CONTAINING  
 CITRONELLA OIL LOADED CYCLODEXTRIN. ADVISOR: ASSOC. PROF. KAWEE  
 SRIKULKIT, Ph.D., 86 pp.

Chitosan/cotton gauze pads containing citronella oil loaded cyclodextrin using a solvent-casting method were prepared. Firstly, chitosan powder 1% (w/v) in 1% (v/v) acetic acid solution was dissolved. To enhance antimicrobial activity, citronella oil loaded cyclodextrin was loaded into chitosan solution at various percent loadings of 5, 10, 15 (%wt based on chitosan). Then, the chitosan solution was poured on cotton gauze and allowed to completely dry at room temperature for a couple of days. The pads were then tested for their properties. The result indicated that cotton gauze notably improved dimension stability of chitosan film. However, tensile strength of chitosan/cotton gauze pad were lower than chitosan film due to the imbedded cotton gauze discontinued chitosan film matrix. The water absorption of chitosan/cotton gauze pad was much higher than cotton gauze as well as chitosan film. For antibacterial testing, chitosan/cotton gauze pad exhibited an improvement in antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* when compared to cotton gauze. When considering chitosan/cotton gauze pad loaded with 5 %wt citronella oil loaded cyclodextrin, the tensile strength was found to be higher which could be attributed to the reinforcement effect of citronella oil loaded cyclodextrin arising from the good dispersion. However, above 5 wt% citronella oil loaded cyclodextrin, tensile strength values were dropped due to the aggregation problem of citronella oil loaded cyclodextrin. For antimicrobial testing, pads containing citronella oil loaded cyclodextrin exhibited an improvement in antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus* when compared to chitosan/cotton gauze fabric pad.

Department: Materials Science Student's Signature .....

Field of Study: Applied Polymer Science Advisor's Signature .....  
 and Textile Technology

Academic Year: 2016

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำทางวิชาการ ตลอดจนความเอื้อเฟื้อในด้านเครื่องมือ วัสดุ และสถานที่ในการทำงานวิจัย จากท่านผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่าน ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณคณาจารย์ บุคคล และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องดังรายนามต่อไปนี้

1. รองศาสตราจารย์ ดร.กาวี ศรีกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ในการทำวิจัยอย่างดียิ่งตลอดการทำงานวิจัยนี้ และแนะแนวทางในการดำเนินงาน รวมถึงการแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดข้อผิดพลาด ในการทำวิจัยได้อย่างถูกต้อง รวมถึงการแนะนำ แนวทางในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

2. รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช ที่สละเวลามาเป็นประธานกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์

3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริรัตน์ จารุจินดา ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์

4. รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

5. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุน และเอื้อเฟื้อเพื่อด้านวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือทดสอบต่างๆ รวมไปถึงสถานที่ในการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา และเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือต่างๆ ในระหว่างการทำงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วย ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จ

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูปภาพ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 วารสารปริทรรศน์.....	3
2.1 ไคติน และไคโตซาน (Chitin and Chitosan).....	3
2.1.1 โครงสร้าง และลักษณะโดยทั่วไปของไคตินและไคโตซาน .....	3
2.1.2 กระบวนการสกัดไคติน และไคโตซาน.....	4
2.1.3 สมบัติของไคโตซาน .....	5
2.1.3.1 ความแข็งแรงของไคโตซาน .....	5
2.1.3.2 สมบัติการละลายของไคโตซาน.....	6
2.1.3.3 ความหนืด .....	6
2.1.3.4 การสลายตัว .....	6
2.1.3.5 ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา .....	7
2.1.3.6 สมบัติยับยั้งแบคทีเรีย.....	7
2.1.4 ประโยชน์ของไคโตซาน.....	8

2.2	วัสดุปิดแผล (Wound dressing).....	8
2.2.1	ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับวัสดุปิดแผล .....	8
2.2.2	ตัวอย่างวัสดุปิดแผลที่ใช้ในปัจจุบัน .....	9
2.3	การกักเก็บ (Encapsulation).....	10
2.4	ไซโคลเด็กซ์ทริน (Cyclodextrins).....	11
2.4.1	ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไซโคลเด็กซ์ทริน .....	11
2.4.2	สมบัติของไซโคลเด็กซ์ทริน .....	13
2.4.3	ประโยชน์ของไซโคลเด็กซ์ทริน.....	16
2.5	น้ำมันหอมระเหย (Essential oil).....	16
2.5.1	พืชที่นำมาสกัดเป็นน้ำมันหอมระเหย .....	16
2.5.2	องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย.....	17
2.5.3	สมบัติของน้ำมันหอมระเหย.....	18
2.5.4	การสกัดแยกน้ำมันหอมระเหยจากพืช .....	19
2.5.4	การใช้ประโยชน์จากน้ำมันหอมระเหย .....	21
2.6	น้ำมันตะไคร้หอม (Citronella oil).....	22
2.6.1	ข้อมูลพื้นฐานของตะไคร้หอม.....	22
2.6.2	องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันตะไคร้หอม .....	23
2.6.3	ประโยชน์ของน้ำมันตะไคร้หอม .....	24
2.6.4	ประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลชีพของน้ำมันตะไคร้หอม.....	25
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3	วิธีการทดลอง .....	28
3.1	แผนการดำเนินงานวิจัย .....	28
3.2	วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	29



3.3. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในทดลอง.....	29
3.4. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	30
3.5. วิธีการทดลอง.....	31
3.5.1 การทดสอบความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งแบคทีเรีย (Minimal inhibitory concentration (MIC)).....	31
3.5.2 การบรรจุน้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอมในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีน .....	31
3.5.3 การเตรียมแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีน .....	33
3.5.4 การทดสอบสมบัติของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีน.....	34
3.5.4.1 การหาปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมทั้งหมด (Total oil extraction) .....	34
3.5.4.2 การหาปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมที่ผิวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีน (Surface oil extraction).....	34
3.5.4.3 การคำนวณหาประสิทธิภาพการกักเก็บ (Encapsulation efficiency, EE) น้ำมันตะไคร้หอม .....	35
3.5.4.4 การคำนวณหาความสามารถในการกักเก็บ (Encapsulation capacity, EC) น้ำมันตะไคร้หอม .....	36
3.5.4.5 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA).....	36
3.5.5 การทดสอบสมบัติของแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนที่เตรียมได้.....	37
3.5.5.1 การทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM).....	37
3.5.5.2 การทดสอบสมบัติความทนแรงดึง (Tensile properties).....	37
3.5.5.3 การทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย Staphylococcus aureus.....	39

3.5.5.4 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption).....	39
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง .....	40
4.1 การทดสอบความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งแบคทีเรีย (Minimal inhibitory concentration (MIC)).....	40
4.2 การทดสอบสมบัติของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน .....	42
4.2.1 ลักษณะปรากฏของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน .	43
4.2.2 การทดสอบสมบัติการกักเก็บของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน .....	43
4.2.3 สมบัติการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อน .....	45
4.3 การทดสอบสมบัติของแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่เตรียมได้.....	47
4.3.1 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่เตรียมได้ .....	47
4.3.2 การทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) .....	48
4.3.3 การทดสอบสมบัติความทนแรงดึง (Tensile properties) .....	51
4.3.4 การทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> .....	55
4.3.5 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption).....	57
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....	60
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	60
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	62
รายการอ้างอิง .....	63
ภาคผนวก ก.....	69
ภาคผนวก ข.....	71

ภาคผนวก ค.....	74
ภาคผนวก ง.....	76
ภาคผนวก จ.....	79
ภาคผนวก ฉ.....	83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	86



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 สมบัติโดยทั่วไปของไซโคลเด็กซ์ทริน .....	14
ตารางที่ 2.2 ความสามารถในการละลายของไซโคลเด็กซ์ทรินในน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ .....	15
ตารางที่ 2.3 ส่วนต่างๆของพืชที่นำมาสกัดน้ำมันหอมระเหย .....	17
ตารางที่ 2.4 น้ำมันหอมระเหยจากพืชชนิดต่างๆองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ และการนำไปใช้ประโยชน์ .....	22
ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอม .....	23
ตารางที่ 3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง .....	29
ตารางที่ 4.1 ค่าความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้หอมที่ใช้ในการทดสอบ และเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> ที่ความเข้มข้นต่างๆต่อสารละลาย DMSO .....	41
ตารางที่ 4.2 ค่าความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้หอมที่ใช้ในการทดสอบ และเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> ที่ความเข้มข้นต่างๆต่อสารละลาย tween 20.....	42
ตารางที่ 4.3 สมบัติของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่มีอัตราส่วนของน้ำมันตะไคร้หอมต่อเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินต่างกัน.....	45

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1	โครงสร้างเคมีของไคติน .....	3
รูปที่ 2.2	โครงสร้างเคมีของไคโตซาน.....	4
รูปที่ 2.3	ขั้นตอนสำคัญที่นิยมใช้ในการสกัดไคติน และผลิตไคโตซาน .....	5
รูปที่ 2.4	โครงสร้างของการกักเก็บ .....	10
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่มีการจัดเรียงตัวของน้ำตาลกลูโคส.....	11
รูปที่ 2.6	โครงสร้างสามมิติของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่มีรูปร่างลักษณะคล้ายถ้วย .....	11
รูปที่ 2.7	การเกิดปรากฏการณ์อินคลูชัน.....	12
รูปที่ 2.8	องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันตะไคร้หอม เจอรานีออล (1) ซิโตรเนลลอล (2).....	24
รูปที่ 3.1	แผนการดำเนินงานวิจัย .....	28
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนการบรรจุน้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอมในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน .....	32
รูปที่ 3.3	ขั้นตอนการเตรียมแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน .....	33
รูปที่ 3.4	ขั้นตอนการหาปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมทั้งหมด .....	34
รูปที่ 3.5	ขั้นตอนการหาปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมที่ผิวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน .....	35
รูปที่ 3.6	เครื่อง SEM ของ JEOL รุ่น JSM-6400 .....	38
รูปที่ 3.7	เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (universal testing machine) ของบริษัท LLOYD รุ่น LLOYD 500.....	38
รูปที่ 4.1	ลักษณะปรากฏของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (1) และน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินในอัตราส่วนต่างๆกัน 30:70 (2), 40:60 (3) และ 50:50 (4) ตามลำดับ.....	43
รูปที่ 4.2	TGA เทอร์โมแกรมของน้ำมันตะไคร้หอม และน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินในอัตราส่วน 50:50 เมื่อได้รับความร้อนภายใต้บรรยากาศที่อุณหภูมิที่ใช้คงที่ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที.....	46

- รูปที่ 4.3** ลักษณะปรากฏของฟิล์มไคโตซาน (1), แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช (2) และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5 (3), 10 (4) และ 15 (5) ของน้ำหนักไคโตซาน.....47
- รูปที่ 4.4** สันฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวของฟิล์มไคโตซานกำลังขยาย 500x(1), 5000x(2), ผ้าฝ้ายก๊อชที่กำลังขยาย 500x (3), 5000x(4), แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชกำลังขยาย 500x(5), 5000x(6), แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักไคโตซานกำลังขยาย 500x(7), 5000x(8), แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักไคโตซานกำลังขยาย 500x(9), 5000x(10) และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 15 ของน้ำหนักไคโตซานกำลังขยาย 500x(11), 5000x(12) .....49
- รูปที่ 4.5** สันฐานวิทยาบริเวณที่กำลังขยาย 5000x ของพื้นผิวรอยแตกหักฟิล์มไคโตซาน (1), แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช (2) และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5 (3), 10 (4) และ 15 (5) ของน้ำหนักไคโตซาน.....51
- รูปที่ 4.6** ความทนแรงดึงของฟิล์มไคโตซาน, ผ้าฝ้ายก๊อช, แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ โดยทดสอบตามแนวด้ายยืน .....52
- รูปที่ 4.7** ความทนแรงดึงของฟิล์มไคโตซาน, ผ้าฝ้ายก๊อช, แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ โดยทดสอบตามแนวด้ายพุ่ง.....52
- รูปที่ 4.8** ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มไคโตซาน, ผ้าฝ้ายก๊อช, แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ โดยทดสอบตามแนวด้ายยืน .....54
- รูปที่ 4.9** ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มไคโตซาน, ผ้าฝ้ายก๊อช, แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ โดยทดสอบตามแนวด้ายพุ่ง.....54
- รูปที่ 4.10** บริเวณสีกที่เกิดที่ผ้าฝ้ายก๊อช (1), ฟิล์มไคโตซาน (2), แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช (3) และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5 (4) 10 (5) และ 15 (6) ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ .....56

- รูปที่ 4.11** ร้อยละการดูดซึมน้ำที่เวลาต่างๆของผ้าฝ้ายก๊อซ, फिल्मไคโตซาน, แผ่นไคโตซาน/ผ้าก๊อซ และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อซที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ .....58
- รูปที่ 4.12** ลักษณะปรากฏของผ้าฝ้ายก๊อซ (1), फिल्मไคโตซาน (2), แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อซ (3) และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อซที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5 (4) 10 (5) และ 15 (6) ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ .....59



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

บาดแผลเกิดจากการที่ผิวหนังและเนื้อเยื่อต่างๆ ได้รับความเจ็บ ซึ่งทำให้เกิดการปริแยก หรือฉีกขาดของผิวหนัง และเนื้อเยื่อปกติ [1] ซึ่งพบว่าการเกิดบาดแผล นับเป็นปัญหาทางเวชปฏิบัติที่สำคัญ เนื่องจากอุบัติภัยต่างๆ พบได้บ่อยมากเป็นอันดับต้นๆ ในปัญหาทางสาธารณสุข และในเหตุการณ์นั้นๆ ย่อมเกิดบาดแผลร่วมด้วยเสมอ นอกจากนี้ในชีวิตประจำวันอุบัติเหตุต่างๆ ก็ทำให้เกิดบาดแผลได้ ดังนั้นเมื่อผิวหนังเกิดบาดแผลจากอุบัติเหตุ, โรคผิวหนัง และโรคแผลพุพอง วิธีการปกป้องบาดแผลขั้นพื้นฐานในปัจจุบันมีหลากหลายชนิดไม่ว่าจะเป็น ผ้าก๊อซ, แผ่นปิดแผล, แผ่นพลาสติก หรือผ้าพันแผล เป็นต้น ขึ้นอยู่กับชนิดบาดแผล ซึ่งทำหน้าที่เพียงปกคลุมบาดแผลไว้เพียงเท่านั้น ผ้าก๊อซที่ทำจากฝ้ายเป็นวัสดุปกป้องบาดแผลที่พบโดยทั่วไปในปัจจุบัน ซึ่งสมบัติทั่วไปของผ้าก๊อซที่ทำจากฝ้ายก็คือสมบัติที่ได้จากฝ้าย แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันวัสดุปกป้องบาดแผลต้องการสมบัติอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย [2] ซึ่งในปัจจุบันวัสดุที่ได้รับการสนใจเป็นอย่างยิ่งจากนักอุตสาหกรรม และนักวิชาการ คือ ไคโตซาน เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เนื่องจากไคโตซานสามารถขึ้นรูปง่าย มีสมบัติพิเศษหลายอย่าง เช่น สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ, มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ, ไม่เป็นพิษ และมีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย [3] นอกจากนี้ยังมีสมบัติในการนำมาใช้เป็นแผ่นปิดแผลที่สามารถกักเก็บสารอโรมา หรือครีมบำรุงผิว แล้วค่อยๆ ปลดปล่อยออกมาเมื่อสัมผัสกับผิวหนัง [4, 5] แต่ปัญหาของฟิล์มพลาสติกจากวัสดุชีวภาพคือมีความแข็งแรงทนทานต่ำ, มีรูปร่างไม่คงรูป และบิดเบี้ยวทำให้ไม่สะดวกในการนำไปใช้งานจริง จึงต้องใช้ร่วมกับผ้าพันแผลพันรอบทับอีกชั้นหนึ่ง จากความยุ่งยากในการใช้งานดังกล่าว จึงทำให้เกิดแนวคิดในการรวมเอาผ้าพันแผล และแผ่นปิดแผลไว้ในวัสดุเดียวกัน ในรูปของฟิล์มไคโตซานโดยใช้ผ้าก๊อซเป็นวัสดุฐานรองช่วยให้ฟิล์มไคโตซานคงรูป และยังมีสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรีย ซึ่งคาดว่าทำให้ได้ผ้าพันแผลที่มีสมบัติเป็นแผ่นปิดแผลในตัวเดียวกัน ก่อให้เกิดความสะดวกในการนำไปใช้งาน และมีประสิทธิภาพในการปกป้องบาดแผลได้เทียบเท่ากับแผ่นปิดแผลในปัจจุบัน และเมื่อเร็วๆ นี้มีงานวิจัยจำนวนมากที่มุ่งเน้นการพัฒนาสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียโดยใช้น้ำมันหอมระเหยที่ได้จากสมุนไพรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย [6-8] ตะไคร้หอมจัดเป็นพืชตระกูลเดียวกับตะไคร้บ้าน มีกลิ่นหอม ซึ่งมีการปลูกแพร่กระจายทั่วทุกภาคของประเทศ ไม่นิยมนำมาประกอบอาหารรับประทานเหมือนกับตะไคร้ แต่นิยมนำมาสกัดน้ำมันหอมระเหย ซึ่งใช้สำหรับไล่ยุงได้ นอกจากนี้ น้ำมันตะไคร้หอมมีการนำไปใช้เป็นส่วนผสมเครื่องสำอาง และใช้ในสปา



เนื่องจากมีสรรพคุณน่าสนใจ เช่น มีสมบัติในการยับยั้งจุลชีพ, ช่วยป้องกันการระบาดของเชื้อโรค และช่วยกระตุ้นการทำงานของระบบต่างๆในร่างกาย เป็นต้น [9, 10] โครงการวิจัยนี้ทำการเตรียมแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบหล่อ โดยการเทสารละลายโคโตซานลงบนผ้าก๊อชชนิดที่ทำจากเส้นใยฝ้าย เมื่อสารละลายโคโตซานแห้งได้เป็นแผ่นฟิล์มโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีความคงตัวทางรูปร่าง และเพิ่มสมบัติยับยั้งแบคทีเรียโดยใส่น้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ และการกระจายตัวของน้ำมันตะไคร้หอมในฟิล์มโคโตซาน ซึ่งคาดว่าจะทำให้เกิดทางเลือกใหม่ในการใช้ผ้าพันแผล และแผ่นปิดแผลที่ทำจากวัสดุท้องถิ่นที่มีความปลอดภัย และมีประสิทธิภาพสูง ทดแทนการใช้แผ่นปิดแผลจากวัสดุสังเคราะห์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เตรียมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ และการกระจายตัวของน้ำมันตะไคร้หอมในฟิล์มโคโตซาน

1.2.2 พัฒนาผ้าพันแผล และแผ่นปิดแผลไว้ด้วยกัน โดยการเตรียมแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

1.2.3 ศึกษาสมบัติของแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่เตรียมได้

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ผ้าพันแผล และแผ่นปิดแผลรวมไว้ในวัสดุเดียวกันที่เตรียมได้จากแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่มีความคงตัว และมีสมบัติการยับยั้งแบคทีเรีย

## บทที่ 2

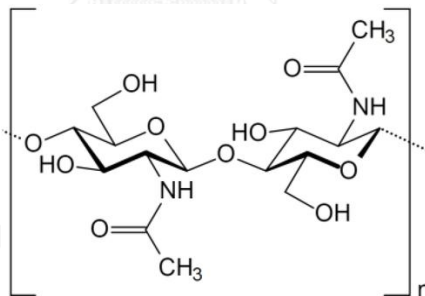
### วารสารปริทรรศน์

#### 2.1 ไคติน และไคโตซาน (Chitin and Chitosan)

##### 2.1.1 โครงสร้าง และลักษณะโดยทั่วไปของไคตินและไคโตซาน

ไคติน และไคโตซาน (chitin and chitosan) เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส (cellulose) จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตผสม ประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีธาตุไนโตรเจนอยู่ในโครงสร้างทำให้มีสมบัติที่โดดเด่น และหลากหลายย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

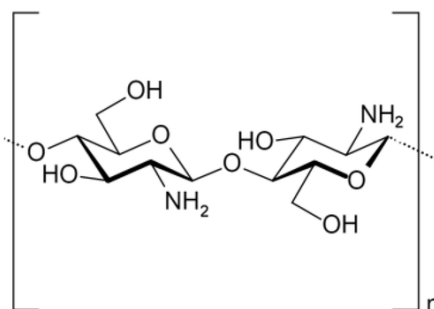
ไคตินมีชื่อทางเคมีว่า poly (1, 4-2-acetamido-2-deoxy- $\beta$ -D-glucosamine) มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายคลึงกับเซลลูโลส โดยมีสายพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีกลูโคสเป็นองค์ประกอบหลักต่างกันตรงที่การแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองด้วยหมู่อะเซตามิโด (acetamido group) โครงสร้างทางเคมีของไคตินแสดงในรูป 2.1 ซึ่งมีหน่วยย่อยซึ่งมีชื่อสามัญว่า 2-acetamido-2-deoxy- $\beta$ -D-glucopyranose และแต่ละหน่วยย่อยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า-1,4-ไกลโคซิดิก



รูปที่ 2.1 โครงสร้างเคมีของไคติน [11]

ไคโตซานมีชื่อทางเคมีว่า poly (1, 4-2-amino-2-deoxy- $\beta$ -D-glucosamine) สามารถเตรียมได้จากกระบวนการดึงหมู่อะซิติล (deacetylation) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วหมู่อะเซตามิโด (-NHC=OCH<sub>3</sub>) บางส่วนถูกเปลี่ยนเป็นหมู่อะมิโน (amino group (-NH<sub>2</sub>)) ซึ่งมีหน่วยย่อยซึ่งมีชื่อสามัญว่า 2-amino-2-deoxy- $\beta$ -D-glucopyranose และแต่ละหน่วยย่อยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า-1,4-ไกลโคซิดิก โครงสร้างทางเคมีของไคโตซานแสดงในรูป 2.2 ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์สายยาว มีประจุบวก เนื่องจากเกิดการโปรตอนตหมู่อะมิโน (-NH<sub>3</sub><sup>+</sup>) ในธรรมชาติไคโตซานนั้นอยู่ในรูปของโคพอลิเมอร์ มีการกระจายตัวแบบสุ่ม เนื่องจากในกระบวนการดึงหมู่อะซิติล ถ้าทำในสภาวะที่รุนแรงเกินไปสามารถทำลายพันธะเบต้า-1,4-ไกลโคซิดิกได้ ทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง

เพราะฉะนั้นจึงไม่สามารถเตรียมไคโตซานในรูปโพลิเมอร์ ได้จากกระบวนการตั้งหมู่อะซิติลของไคติน ซึ่งไคโตซานในรูปโพลิเมอร์พบน้อยมากในธรรมชาติ โดยไคตินสร้างมาจากเชื้อราบางชนิด (*Mucorrouxii*) และผลิตไคโตซานจากกระบวนการตั้งหมู่อะซิติลด้วยเอนไซม์ของไคติน [12-15]



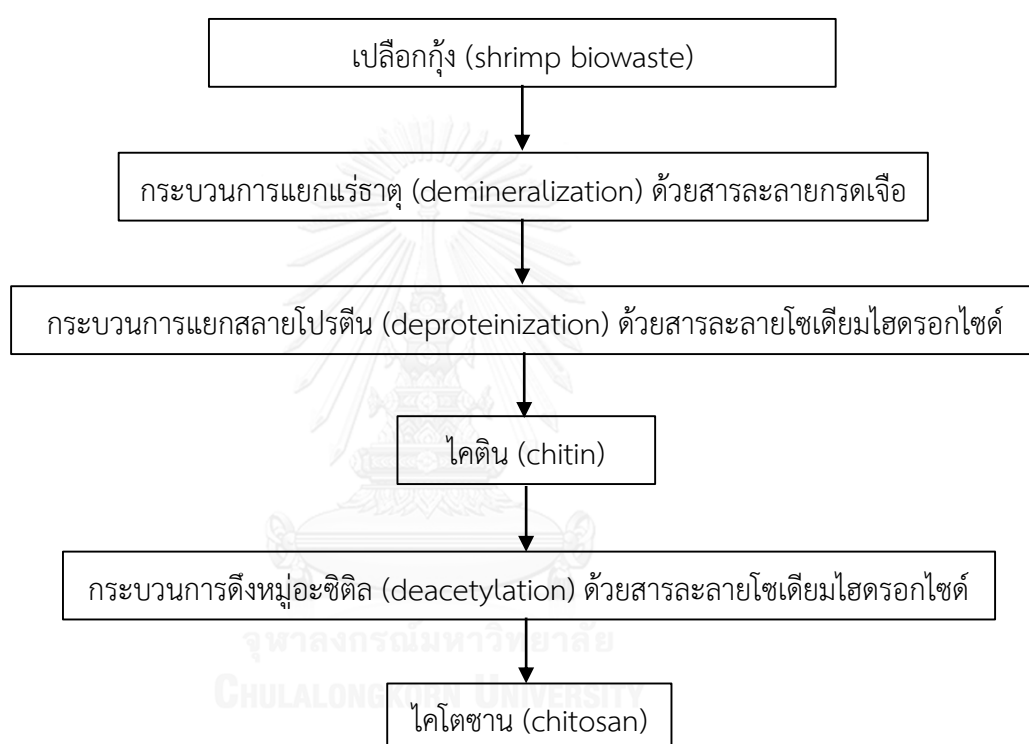
รูปที่ 2.2 โครงสร้างเคมีของไคโตซาน [11]

ในการผลิตไคโตซานมักมีไคตินเหลืออยู่ในสัดส่วนต่างๆกัน ปัจจัยในการแบ่งประเภทว่าเป็นไคติน หรือไคโตซาน คือค่า degree of N-acetylation (DA) หรือ degree of deacetylation (DD) ซึ่งบ่งบอกถึงอัตราส่วนของอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสเอ็น-อะซิติลกลูโคซามีน (N-acetylglucosamine) ต่ออนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสกลูโคซามีน (glucosamine) ในโครงสร้างของไคติน/ไคโตซานโพลิเมอร์ ซึ่งเมื่อพิจารณาในด้านโมเลกุลไคตินเป็นโพลิเมอร์ที่มีสายยาวมีองค์ประกอบของหน่วยย่อยเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสเอ็น-อะซิติลกลูโคซามีน ส่วนไคโตซานเป็นโพลิเมอร์ที่มีองค์ประกอบของหน่วยย่อยเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคซามีน และมีปริมาณกลูโคซามีนมากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป [16]

### 2.1.2 กระบวนการสกัดไคติน และไคโตซาน

การสกัดไคตินสามารถสกัดได้จากเปลือกของสัตว์ตระกูลครัสเตเชีย เช่น ปู และกุ้ง ซึ่งโดยทั่วไปไคตินอยู่ร่วมกับโปรตีน, ไขมัน, เม็ดสี และแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกของปู และกุ้ง ซึ่งการสกัดไคตินโดยทั่วไปมีขั้นตอนคือ การสกัดเอาแร่ธาตุออก(demineralization) ด้วยกรดไฮโดรคลอริก และกำจัดโปรตีน (deproteinization) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่การใช้เบสอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนไคตินเป็นไคโตซานได้บางส่วน อยู่ในรูปโพลิเมอร์ และสมบัติส่วนใหญ่มีแนวโน้มไปยังไคตินอยู่ ในบางกรณีมีการใช้เอนไซม์ในการย่อยโปรตีนออกไป ซึ่งเหมาะสำหรับการสกัดเพื่อแยกเอาไคตินออกมาเพียงอย่างเดียว ในเปลือกสัตว์ครัสเตเชียนี้ยังมีสารจำพวกคาร์โบไฮเดรตอยู่ด้วย ซึ่งไม่สามารถกำจัดออกไปกับโปรตีน และแร่ธาตุพร้อมกันในกระบวนการข้างต้นได้ จึงต้องมีกระบวนการกำจัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์จำพวกแอลกอฮอล์ หรือแอสिटอน นอกจากนี้วิธีนี้ยังสามารถกำจัดสีออกด้วยการฟอกขาวด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [17]

ในกระบวนการสกัดไคโตซานนั้นทำได้โดยการกระบวนการกำจัดหมู่อะซิติกออกจากไคติน โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น โดยกำหนดความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 40% โดยมวล อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไคโตซาน ค่า DD ร้อยละ 70 และถ้ายืดเวลาออกไปเป็น 2 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์ไม่ถึงร้อยละ 100 แต่มีข้อเสียคือ ตรงพันธะไกลโคซิดิกนั้นถูกทำลายด้วย ทำให้ไม่ได้ไคโตซานร้อยละ 100 อยู่ในรูปโพลีเมอร์เช่นกัน และสมบัติส่วนใหญ่แนวโน้มไปทางไคโตซาน การสกัดไคติน และไคโตซานแสดงขั้นตอนไว้ในรูป 2.3 [13, 14]



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนสำคัญที่นิยมใช้ในการสกัดไคติน และผลิตไคโตซาน

### 2.1.3 สมบัติของไคโตซาน

#### 2.1.3.1 ความแข็งแรงของไคโตซาน

ไคโตซานสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ทั้งแบบภายในสายโซ่ (intramolecular hydrogen bonding) และระหว่างสายโซ่ (intermolecular hydrogen bonding) โดยพันธะไฮโดรเจนแบบภายในสายโซ่เดียวกันเกิดขึ้นที่ระหว่างหมู่ไฮโดรเจนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 กับออกซิเจนอะตอม และระหว่างหมู่อะมิโนกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ส่วนพันธะไฮโดรเจนแบบระหว่างสายโซ่ เกิดที่หมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ซึ่งกันและกัน จึงส่งผลให้ไคติน และไคโตซานมีโครงสร้างที่แข็งแรง [14]

### 2.1.3.2 สมบัติการละลายของโคโตซาน

ค่า degree of deacetylation มีผลต่อสมบัติการละลายของโคติน หรือโคโตซานอย่างมาก หากปริมาณของกลูโคซามีนน้อยกว่าร้อยละ 40 ลงมา สามารถละลายได้ใน Dimethylacetamide/Lithium Chloride (DMAc-LiCl) และกรดเกลือ เป็นต้น เนื่องจากหมู่อะเซตามิโดไม่มีขั้ว และจัดเรียงตัวกันเป็นระเบียบมีความเป็นผลึกสูง และปริมาณของกลูโคซามีนมากกว่า 60% การกระจายของโคโตซานเพิ่มขึ้น โดยหมู่อะมิโนของกลูโคซามีนทำให้มีความสามารถในการรับโปรตอนจากสารละลายได้เพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยในการละลายดีขึ้น เนื่องจากมีสมบัติของประจุบวกเพิ่มขึ้นทำให้สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์ได้ เช่น กรดแอสติค และกรดฟอร์มิก เป็นต้น ซึ่งทั้งกรดแอสติค และกรดฟอร์มิกมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากไม่ทำลายโครงสร้างของโคโตซาน ง่าย ราคาถูก เหมาะสำหรับการเตรียมโคโตซานเป็นชิ้นงานอื่นเช่นในรูปแผ่น, เยื่อบางๆ, เจล, เม็ด, เกล็ด, เส้นใย, สารเคลือบ และคอลลอยด์ สารละลายโคโตซานที่ได้มีความใส และเหนียว นอกจากนี้ยังละลายได้ในกรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก, กรดไฮโดรคลอริก และกรดเปอร์คลอริก ภายใต้การคนที่อุณหภูมิสูงปานกลางแต่อาจเกิดตะกอนขาวคล้ายเจล เนื่องมาจากการละลายที่ไม่สมบูรณ์ และโดยธรรมชาติแล้วโคโตซานไม่ละลายน้ำ แต่หากปริมาณของ Glucosamine ร้อยละ 50 พอลิเมอร์นั้นจะสามารถละลายน้ำได้ แต่เตรียมค่อนข้างยากเนื่องจากควบคุมสภาวะในกระบวนการสกัดยาก [16, 18]

### 2.1.3.3 ความหนืด

ความหนืดของสารละลายโคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ค่า degree of deacetylation, น้ำหนักโมเลกุล, ความเข้มข้น, ความเป็นกรด-ด่าง, อุณหภูมิที่ใช้ในการละลาย, ชนิดของกรดที่ใช้ในการละลาย และการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายพอลิเมอร์มีผลทำให้ความหนืดที่ได้แตกต่างกัน [17]

### 2.1.3.4 การสลายตัว

โคโตซานสามารถเกิดการสลายตัวได้ ซึ่งทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์ หรือโอลิโกแซ็กคาไรด์ และเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดที่เรียกว่า มอนอเมอร์ ซึ่งสามารถสลายตัวได้ดังนี้

1. การสลายตัวด้วยกรด (acid hydrolysis) การสลายตัวของโคโตซานด้วยกรดนั้นเกิดการสลายตัวแบบสุ่ม ซึ่งอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของกรดที่ใช้, เวลา, อุณหภูมิ, ชนิดของพันธะของสายโซ่โมเลกุล และชนิดของพอลิเมอร์ โดยโคตินสามารถทนต่อการสลายตัวด้วยกรดได้ดีกว่าโคโตซาน

2. การสลายตัวด้วยด่าง (alkaline degradation) การสลายตัวด้วยด่างนั้นเริ่มสลายตัวที่ปลายของสายโซ่โมเลกุลของโคโตซานก่อน เรียกการปฏิกิริยาแบบนี้ว่า peeling reaction

3. การสลายตัวโดยการสั่นด้วยคลื่นเสียง (degradation by sonication) การสลายตัวโดยการสั่นด้วยคลื่นเสียงนั้นต้องมีการใช้กรดควบคุมกันไปด้วย ซึ่งทำให้ได้โอลิโกแซ็กคาไรด์ ที่มีขนาดใกล้เคียงกันมากกว่าการสลายตัวด้วยกรด และการสลายตัวโดยการสั่นด้วยคลื่นเสียงนั้นทำให้มวลโมเลกุลของโคโตซานลดลง ขณะที่ค่า degree of deacetylation ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

4. การสลายตัวด้วยเอนไซม์ (Enzymatic degradation) การสลายตัวด้วยเอนไซม์นั้นดีกว่าการสลายตัวด้วยสารเคมี คือ การใช้เอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงในการสลายตัว ทำให้ได้โอลิโกแซ็กคาไรด์ที่เป็นระเบียบ ประกอบกับภาวะที่ใช้ก็ไม่รุนแรง เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายโคตินและโคโตซาน คือ เอนไซม์ไคติเนส (chitinase) เป็นเอนไซม์ที่สามารถสลายสายโซ่โมเลกุลของโคตินแบบสุ่มตรงตำแหน่งพันธะเบต้า-1,4-ไกลโคซิดิก

5. การสลายตัวด้วยความร้อน (thermal degradation) โคติน และโคโตซานสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 275-300 และ 280-330 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งทำให้โครงสร้างโคติน และโคโตซานเสียโดยถาวร [19, 20]

### 2.1.3.5 ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา

โคโตซานมีส่วนของโมเลกุลที่ว่องไว และพร้อมทำปฏิกิริยาอยู่หลายหมู่ หมู่ที่เด่นคือ หมู่อะมิโน ( $-NH_2$ ) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 หมู่ไพรมารีแอลกอฮอล์ (primary alcohol:  $-CH_2OH$ ) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 และหมู่เซคันดารีแอลกอฮอล์ (secondary alcohol:  $CHOH$ ) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 เมื่อโคโตซานถูกละลายในสารละลายกรดอินทรีย์ เช่น กรดแอสติก หมู่อะมิโนกลายเป็นอะมิโนที่แสดงประจุบวก ( $-NH_3^+$ ) หรือพร้อมเป็นหมู่เกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม (quaternary ammonium salt) [16]

### 2.1.3.6 สมบัติยับยั้งแบคทีเรีย

โคโตซานสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ โดยมีกลไกการยับยั้งแบคทีเรียของโคโตซาน และอนุพันธ์ ซึ่งจำแนกได้เป็น 2 กลไก คือ

1. เนื่องจากประสิทธิภาพที่มีประจุบวกของโคโตซานจะไปจับกับกับผนังเซลล์ของแบคทีเรียซึ่งมีประจุลบเป็นส่วนใหญ่ เช่น เอ็น-อะซิติล (N-acetyl), กรดมิวเรมิก (muramic acid), กรดเซียลิก (sialic acid) และกรดนิวรามินิก (neuraminic acid) ทำให้การส่งผ่านสารอาหาร และเกลือแร่ต่างๆเปลี่ยนแปลงไปทำให้สมดุลเคมีของเซลล์แบคทีเรียเสียไป

2. โคโตซานไปจับกับสารโลหะทรานซิชัน ซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาภายในเซลล์ ทำให้การสังเคราะห์สารต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญของแบคทีเรียหยุดลง และป้องกันการเจริญของเซลล์โดยเข้าไปป้องกันการเปลี่ยนจาก DNA ไปเป็น RNA [12, 15]

### 2.1.4 ประโยชน์ของไคโตซาน

ไคโตซานสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ตัวอย่างเช่น

1. ด้านอาหาร ไคโตซานใช้เป็นสารรักษากลิ่นรส, สารกันบูด, สารเคลือบรักษาความสด, สารให้ความข้น, फिल्मบรรจุอาหารที่สามารถรับประทานได้ และบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ
2. ด้านอาหารเสริม ไคโตซานใช้เป็นตัวช่วยในการลดคอเลสเตอรอล โดยไคโตซานสามารถจับคอเลสเตอรอลได้
3. ด้านการเกษตร ไคโตซานใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพเนื่องจากไคติน และไคโตซานมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ไนโตรเจนถูกปลดปล่อยออกจากโมเลกุลอย่างช้าๆ รวมทั้งช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศและดิน
4. ด้านการบำบัดน้ำเสีย ไคโตซานใช้บำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากไคโตซานมีประจุบวกจึงสามารถจับกับโปรตีน และไขมันได้ดี นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถดูดซับไอออนของโลหะหนัก และจับกับสารกัมมันตรังสีอย่างพลูโตเนียม และยูเรเนียมได้ด้วย
5. ด้านความสวยความงาม ไคโตซานใช้ทำผลิตภัณฑ์บำรุงผิว, ผลิตภัณฑ์ดูแลเส้นผม, ยาสีฟัน, เครื่องสำอาง และสารเพิ่มความข้นเหนียวในครีม
6. ด้านทางการแพทย์ ไคโตซานเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อและเซลล์ของร่างกาย สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ไคโตซานจึงนำมาทำเป็นวัสดุต่างๆ เช่น ผ้าพันแผล, วัสดุทดแทนกระดูก และตัวนำส่งยา เป็นต้น
7. ด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอ และกระดาษ ไคโตซานใช้เคลือบเส้นใย เช่น เส้นใยอะคริลิก และเส้นใยพอลิยูรีเทน เพื่อให้มีสมบัติในการควบคุมความชื้น, ซับเหงื่อได้ดี, ทำให้สวมใส่สบาย, คงทนต่อการซัก, สามารถยับยั้งกลิ่นได้ทนนาน, ไม่หดตัว มีสมบัติที่สามารถป้องกันเชื้อรา และแบคทีเรียหรือเพื่อลดกลิ่นต่าง ๆ เช่น กลิ่นเหงื่อ และกลิ่นอับชื้น นอกจากนี้เส้นใยสังเคราะห์แล้วไคโตซานยังถูกนำมาใช้กับเส้นใยธรรมชาติฝ้ายเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ เช่น ยับยั้งจุลชีพ และยับยั้งการเติบโตของเชื้อรา ไคโตซานใช้เป็นสารช่วยยึดติดให้กับหมึกพิมพ์ สีย้อมเพื่อให้สียึดติดดีแห้งเร็วทนต่อน้ำ และยังใช้เป็น फिल्मเคลือบกระดาษเพื่อยืดอายุการเก็บเอกสารสำคัญได้ [12-15]

## 2.2 วัสดุปิดแผล (Wound dressing)

### 2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับวัสดุปิดแผล

ปัจจุบันได้มีการผลิตวัสดุในการดูแลบาดแผลออกมามากมายหลายชนิด โดยวัสดุปิดแผลต่างๆมีการพัฒนา และเจริญก้าวหน้าขึ้นอย่างมาก ในปัจจุบันมีการผสมผสานด้วยอนุพันธ์แร่ธาตุเงิน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการฆ่าแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาวัสดุปิดแผลเพื่อให้เกิดคุณลักษณะในการสมานแผล หรือเร่งบาดแผลให้หายเร็วขึ้นด้วย โดยวัสดุเหล่านี้มีทั้งประเภทที่

สำหรับใช้ปิดบาดแผลชั่วคราวโดยเร่งให้บาดแผลหายเร็ว หรืออาจมีประเภทที่ปิดบาดแผลแบบถาวร เสริมสร้างการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ในกรณีนี้ ได้แก่ วัสดุทดแทนกระดูกต่างๆ ทำให้เราสามารถที่ดูแล บาดแผลให้กับผู้ป่วยได้ในทุกๆ บาดแผล โดยวัสดุปิดแผลที่ดีควรมีลักษณะดังต่อไปนี้ [21, 22]

1. สามารถดูดซึม และเก็บกักสารคัดหลั่ง (exudate) ที่ออกมาจากแผลได้
2. ไม่มีสารตกค้างอยู่ภายในแผล
3. น้ำสามารถซึมผ่านออกมาได้
4. เป็นฉนวนกันความร้อน
5. ไม่ทำให้เกิดการบาดเจ็บเมื่อทำการเปลี่ยนวัสดุทำแผล
6. ไม่ต้องเปลี่ยนวัสดุเปลี่ยนแผลบ่อย
7. ลดความเจ็บปวดให้ผู้ป่วย
8. ผู้ป่วยรู้สึกสบาย
9. ไม่ระคายเคืองผิวหนัง
10. กระตุ้นการหายของบาดแผล
11. ไม่แพง

### 2.2.2 ตัวอย่างวัสดุปิดแผลที่ใช้ในปัจจุบัน

ตัวอย่างวัสดุปิดแผลที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น

1. ผ้าก๊อซเป็นอุปกรณ์ทำแผลที่ใช้มาอย่างยาวนาน และใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วไป เนื่องจากมีราคาถูก ขั้นตอนการทำแผลง่าย ผู้ป่วยสามารถทำแผลได้ด้วยตนเอง และมีขายทั่วไป ซึ่งผ้าก๊อซที่ทำจากฝ้ายเป็นวัสดุปกป้องบาดแผลที่พบโดยทั่วไปในปัจจุบัน ซึ่งสมบัติทั่วไปของผ้าก๊อซที่ทำจากฝ้ายก็คือสมบัติที่ได้จากฝ้าย

2. ผ้าตาข่ายได้เกิดจากการพัฒนามาจากผ้าก๊อซ ซึ่งสามารถลดความเจ็บปวดเวลาทำแผล เนื่องจากวัสดุทำแผลกลุ่มนี้ทำให้ติดแผลลดลง และยังสามารถให้สารคัดหลั่งซึมผ่านได้ด้วยโดยได้ทำการเคลือบสารต่างๆ ไปยังแผ่นตาข่าย ได้แก่ พาราฟิน (parafin), วาสลีน (vasaline) และปิโตรเลียม (petroleum) วัสดุทำแผลกลุ่มนี้ที่ผิวมีความมันส์ เวลาปิดแผลแล้วลอกออกมักทำให้ไม่ติดแผล บางชนิดมีการผสมยาฆ่าเชื้อ (antiseptics) ต่างๆ

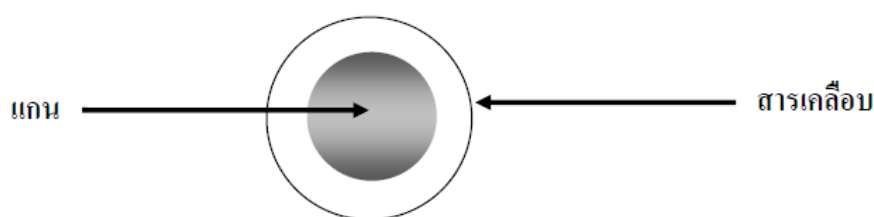
3. ฟิล์มเป็นอุปกรณ์ทำแผลที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางๆใส มักมีสารช่วยยึดติดที่สามารถติดกับผิวหนังรอบๆ แผลได้ อากาศ และไอน้ำสามารถซึมผ่านได้ ป้องกันการปนเปื้อนของสิ่งแปลกปลอม และเชื้อโรค เนื่องจากตัวฟิล์มมีลักษณะเป็นแผ่นใสทำให้สามารถสังเกตดูแผลได้โดยไม่ต้องทำการเปิดแผล หรืออาจใช้ปิดแผลร่วมกับอุปกรณ์ทำแผลชนิดอื่นๆ ส่วนใหญ่ใช้ปิดแผลบริเวณข้อต่อ และมือ เพราะมีคุณสมบัติในการยึดหยุ่นได้



นอกจากที่กล่าวมาแล้ว ยังมีวัสดุปิดแผลอีกหลายชนิดเช่น โฟม (foam), ไฮโดรเจล (hydrogel), ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid), อัลจิเนต (alginates) และไฮโดรไฟเบอร์ (hydrofiber) เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันยังคงได้มีการศึกษาค้นคว้าในเรื่องของการดูแลบาดแผลอย่างต่อเนื่อง มีการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างก้าวหน้า และรวดเร็ว เพื่อให้ทุกคนสามารถเข้าถึงการรักษา และได้รับการดูแลบาดแผลที่เหมาะสมที่สุดต่อไป [23]

### 2.3 การกักเก็บ (Encapsulation)

การกักเก็บ คือ การบรรจุสารที่อาจเป็นของแข็ง, ของเหลว หรือก๊าซ ในรูปบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิท และสามารถปลดปล่อยสารที่บรรจุอยู่ภายในโครงสร้างออกมาได้เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่กำหนด การกักเก็บ ประกอบด้วย สารที่ทำหน้าที่คล้ายบรรจุภัณฑ์ หรือสารที่ใช้ห่อหุ้ม เรียกว่าสารเคลือบ และสารที่ถูกเคลือบ หรือถูกยึดจับไว้ ส่วนใหญ่เป็นของเหลว แต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาคของแข็ง หรือก๊าซ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นทรงกลม โดยมีช่วงของความหนา และจำนวนชั้นของการกักเก็บแตกต่างกันไป



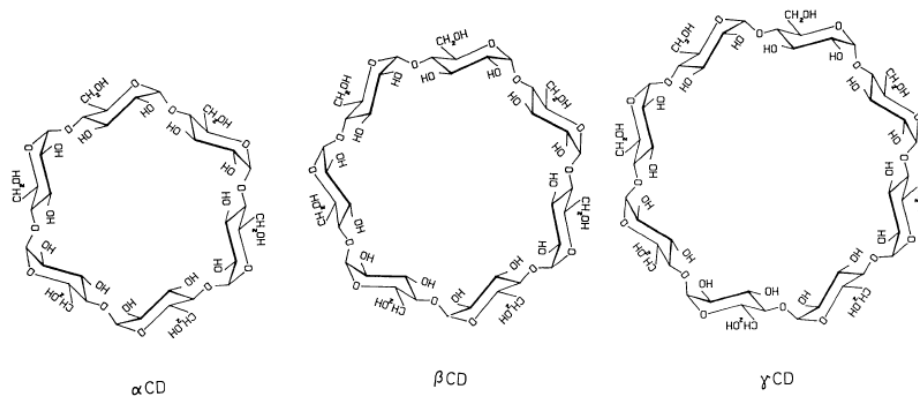
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของการกักเก็บ

สารเคลือบช่วยป้องกันสารที่ถูกกักเก็บ เช่น วิตามิน, สารให้กลิ่นรส และน้ำมันหอมระเหย จากภาวะแวดล้อมภายนอก และควบคุมการปลดปล่อยสารที่ถูกกักเก็บออกมาจากภายในขึ้นอยู่กับสมบัติของสารเคลือบ สารที่นิยมนำมาใช้เป็นสารเคลือบ ตัวอย่างเช่น มอลโตเด็คซ์ทรีน (maltodextrin), สตาร์ช (starch), ไซโคลเด็คซ์ทรีน (cyclodextrin), ซูโครส (sucrose), เจลาติน (gelatin), แวกซ์ (wax), ไขมัน (lipid) และโปรตีน (protein) เป็นต้น โดยทั่วไปการกักเก็บสารให้กลิ่นรส ประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการทำให้เกิดอิมัลชันของสารแกนกลาง และสารเคลือบ ขั้นตอนต่อมาเป็นขั้นตอนการอบแห้ง หรือทำให้อิมัลชันเย็นตัวลง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารให้กลิ่นรสที่ผ่านการกักเก็บ คือ สมบัติทางเคมีของสารให้กลิ่นรส ได้แก่ โครงสร้างทางเคมี (chemical structure), ความมีขั้ว (polarity) และความสามารถในการระเหย (volatility) เป็นต้น [24-26]

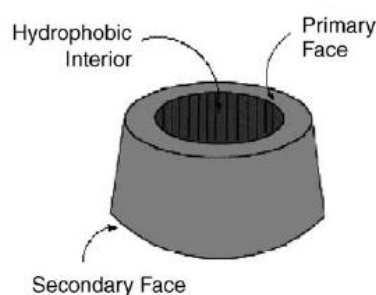
## 2.4 ไซโคลเด็กซ์ทริน (Cyclodextrins)

### 2.4.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไซโคลเด็กซ์ทริน

ไซโคลเด็กซ์ทรินมีลักษณะเป็นวงโอลิโกแซ็กคาไรด์ (cyclic oligosaccharides) ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคไพราโนส (D-glucopyranose) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,4-ไกลโคซิดิก ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เตรียมได้จากการนำสตาร์ชมาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ไซโคลเด็กซ์ทริน กลูโคซิลทรานส์เฟอเรส (cyclodextrin glucosyltransferase, CGTase) เรียกว่าปฏิกิริยา Transglycosylation ซึ่งไซโคลเด็กซ์ทรินที่พบในธรรมชาติ ประกอบด้วยหน่วยของกลูโคไพราโนส 6, 7 หรือ 8 หน่วย ซึ่งเรียกว่าแอลฟา-ไซโคลเด็กซ์ทริน ( $\alpha$ -cyclodextrin), เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ( $\beta$ -cyclodextrin) หรือแกมมา-ไซโคลเด็กซ์ทริน ( $\gamma$ -cyclodextrin) ตามลำดับ จากรูปที่ 2.6 โครงสร้างสามมิติ พบว่าโครงสร้างของไซโคลเด็กซ์ทรินมีรูปร่างลักษณะคล้ายถ้วย เนื่องมาจากการจัดเรียงตัวของน้ำตาลกลูโคส (glucose unit) ซึ่งมีส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) อยู่ด้านนอก และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) อยู่ภายใน ทำให้สามารถกักเก็บโมเลกุลของสารให้กลั่นรสบางส่วน หรือทั้งหมดไว้ในช่องว่างของโครงสร้างได้

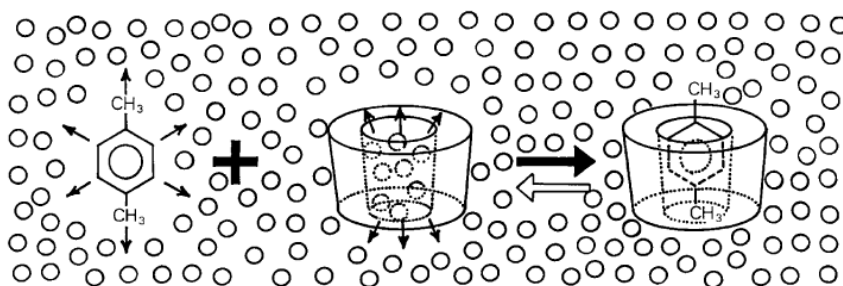


รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่มีการจัดเรียงตัวของน้ำตาลกลูโคส [27]



รูปที่ 2.6 โครงสร้างสามมิติของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่มีรูปร่างลักษณะคล้ายถ้วย [28]

ไซโคลเด็กซ์ทรินเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนแบบโมเลกุลเดี่ยว (monomolecular inclusion complex) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยเกิดจากการรวมโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว หรือส่วนที่ไม่มีขั้วของโมเลกุลหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า เกสต์ (guest) เข้าไปในช่องว่างที่ไม่มีขั้วของอีกโมเลกุล หรือกลุ่มโมเลกุล ซึ่งเรียกว่าโฮสต์ (host) เมื่อโมเลกุลเกสต์เข้าไปในโมเลกุลโฮสต์ การสัมผัสระหว่างน้ำ และส่วนที่ไม่มีขั้วของทั้งเกสต์ และโฮสต์ลดลง ดังนั้นปรากฏการณ์อินคลูชัน (inclusion) นี้เป็นผลมาจากแรงผลักดันที่ทำให้เกิดไมเซลล์ (micellization), การยึดเกาะกันเอง (self-association) และการซ้อนทับ (stacking) นั่นคือการบีบเค้นส่วนที่ไม่มีขั้วออกจากน้ำ สารประกอบที่เกิดขึ้นละลายได้น้อย และตกตะกอนแยกตัวออกมาจากสารละลาย เทคนิคนี้ใช้ในการกักเก็บสารให้กลิ่นรสที่ไม่เสถียร



รูปที่ 2.7 การเกิดปรากฏการณ์อินคลูชัน [27]

ลักษณะโครงสร้างที่สำคัญที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน คือความพอดีของเกสต์ที่เข้าไปในช่องว่างของโฮสต์ โดยทั่วไปไซโคลเด็กซ์ทรินละลายน้ำได้ค่อนข้างดี และมีช่องว่างขนาดใหญ่เพียงพอสำหรับส่วนที่ไม่มีขั้วของโมเลกุลของเกสต์ โดยที่ขนาดของช่องว่างในโมเลกุลของแอลฟา-ไซโคลเด็กซ์ทริน, เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน และแกมมา-ไซโคลเด็กซ์ทริน เป็นปัจจัยหลักในการกำหนดว่าตัวถูกละลายซึ่งเป็นเกสต์ตัวใดที่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้ โดยทั่วไปหมู่อัลคิลมีความพอดีกับช่องว่างในโมเลกุลของแอลฟา-ไซโคลเด็กซ์ทริน เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเหมาะสมที่สุดสำหรับจับวงแหวนอะโรมาติกวงเดี่ยว ส่วนแกมมา-ไซโคลเด็กซ์ทรินมีช่องว่างในโมเลกุลใหญ่พอสำหรับไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ขึ้น เช่น ไพรีน เป็นต้น นอกจากนี้เป็นไปได้ที่ว่าส่วนของโมเลกุลมากกว่าหนึ่งส่วนเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไซโคลเด็กซ์ทริน นอกจากนี้สามารถใช้ไซโคลเด็กซ์ทรินหลายแบบผสมกันเพื่อจับกับหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกันในสารละลายชนิดหนึ่งโดยที่ตัวถูกละลายสามารถละลายได้มากขึ้นด้วย ซึ่งการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโมเลกุลของไซโคลเด็กซ์ทรินขึ้นกับคุณสมบัติหลายประการ ได้แก่ โมเลกุลของตัวถูกละลายต้องมีส่วนที่ไม่มีขั้วที่ถูกบีบไล่ออกจากน้ำให้เข้าไปอยู่ในช่องว่างของโมเลกุลไซโคลเด็กซ์ทริน และเนื่องจากรูปร่างภายในของไซโคลเด็กซ์ทรินคงที่ ส่วนของโมเลกุล หรือทั้งโมเลกุลต้องพอดีกับภายในโมเลกุลของไซโคลเด็กซ์ทริน ทั้งนี้เมื่อเกสต์เข้าไปอยู่ในช่องว่างภายในโมเลกุลแล้ว แรงยึดระหว่างโมเลกุลทั้งสองเป็นตัวกำหนดความแข็งแรงของ

สารประกอบเชิงซ้อน การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนจึงสามารถลดการสูญเสียของสารที่ต้องการจากการระเหย และการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจน หรือแสงได้ เนื่องจากสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นค่อนข้างมีความคงตัว ซึ่งเมื่อมีการตรวจสอบปริมาณสารที่ระเหยได้ภายในสารประกอบเชิงซ้อนหลังจากมีการให้ความร้อน พบว่าปริมาณสารไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากเดิม [27-31]

#### 2.4.2 สมบัติของไซโคลเด็กซ์ทริน

หมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของไซโคลเด็กซ์ทรินประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิลของกลูโคส โดยหมู่ไฮดรอกซิลนั้นอยู่ที่ตำแหน่งคาร์บอนที่ 2, 3 และ 6 อยู่ด้านนอกวงแหวน มีเพียงไฮโดรเจน และออกซิเจนอะตอม ซึ่งเชื่อมระหว่างโมเลกุลของกลูโคสอยู่ด้านในวงแหวนทำให้สภาพภายนอกโพรงช่องว่างของไซโคลเด็กซ์ทริน มีสมบัติชอบน้ำ ในขณะที่สภาพภายในโพรงช่องว่างของวงแหวนมีสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ เนื่องจากโมเลกุลของไซโคลเด็กซ์ทรินมีสูตรโครงสร้างเป็นวงแหวน จำนวนโมเลกุลของกลูโคสในโมเลกุลทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องว่างมีค่าไม่เท่ากันแต่ละชนิด โดยขนาดของช่องว่างนี้ มีความสำคัญในการกำหนดความสามารถของการรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของไซโคลเด็กซ์ทริน ลักษณะพิเศษของไซโคลเด็กซ์ทริน คือ สามารถจับโมเลกุลของสารแปลกปลอมที่มีความเป็นขั้วต่ำกว่าน้ำ หรือไม่มีขั้วได้ โดยเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นไซโคลเด็กซ์ทรินที่นิยมนำไปใช้งานมากที่สุด เนื่องจากมีราคาถูก และมีขนาดของช่องว่างที่พอเหมาะ สมบัติหลักๆของไซโคลเด็กซ์ทรินประเภทต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

สมบัติทางความร้อนของไซโคลเด็กซ์ทริน ค่อนข้างเสถียรต่อความร้อน และมีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature) ที่สูง โดยเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินละลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2.1 สมบัติโดยทั่วไปของไซโคลเด็กซ์ทริน [29]

สมบัติ	แอลฟา- ไซโคลเด็กซ์ทริน	เบต้า- ไซโคลเด็กซ์ทริน	แกมมา- ไซโคลเด็กซ์ทริน
สูตรเคมี	$C_{36}H_{60}O_{30}$	$C_{42}H_{70}O_{35} \cdot H_2O$	$C_{48}H_{80}O_{40} \cdot H_2O$
จำนวนหน่วยของกลูโคส	6	7	8
น้ำหนักโมเลกุล	972	1135	1297
จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	>278	290 -300	$\geq 300$
ความสามารถในการละลายน้ำ (กรัม/100มิลลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส)	14.5	18.5	23.2
เส้นผ่านศูนย์กลางโพรง (Å)	4.7-5.3	6.0-6.5	7.5-8.3
ความลึกของโพรง (Å)	$7.9 \pm 0.1$	$7.9 \pm 0.1$	$7.9 \pm 0.1$
ปริมาตรของโพรง (Å)	174	262	427

สมบัติการละลายของ เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ในตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ไม่ละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำมากๆ แต่ละลายเฉพาะบางตัวทำละลายเท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ความสามารถในการละลายของไซโคลเด็กซ์ทรินในน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ สังเกตได้ว่าค่าการละลายของไซโคลเด็กซ์ทรินมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่วนการละลายของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน มีค่าการละลายต่ำสุด และแกมมา-ไซโคลเด็กซ์ทริน มีค่าการละลายสูงสุด ส่วนแอลฟา-ไซโคลเด็กซ์ทรินมีค่าการละลายน้อยกว่าของแกมมา-ไซโคลเด็กซ์ทรินแต่มากกว่าเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับความเครียดในวงแหวนที่เป็นเหตุให้หมู่ไฮดรอกซิล เกิดพันธะไฮโดรเจน ที่ตำแหน่ง 2- และ 3-ไฮดรอกซิลของโมเลกุลกลูโคสของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่อยู่ใกล้กัน ทำให้มีการจัดเรียงตัวที่ดีกว่าสามารถเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินได้มากกว่าชนิดอื่น ผลที่ตามมาคือ เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเกิดแรงดึงดูดกับโมเลกุลของน้ำลดลง ดังนั้นค่าการละลายของ เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินในน้ำจึงมีค่าน้อยที่สุดทำให้มีความสามารถในการจับกับสารแปลกปลอมที่มีสภาพความเป็นขั้วต่ำ เช่น คอลเลสเตอรอลได้ดีกว่า

ตารางที่ 2.2 ความสามารถในการละลายของไซโคลเด็กซ์ทรินในน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ [29]

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความสามารถในการละลายของไซโคลเด็กซ์ทริน (มิลลิกรัม) / น้ำ (กรัม)		
	แอลฟา- ไซโคลเด็กซ์ทริน	เบต้า- ไซโคลเด็กซ์ทริน	แกมมา- ไซโคลเด็กซ์ทริน
20	90	16.4	185
25	127	18.8	256
30	165	22.8	320
35	204	28.3	390
40	242	34.9	460
45	285	44.0	585
50	347	52.6	-
55	-	60.5	-
60	-	74.9	-
65	-	101.8	-
70	-	120.3	-
75	-	148.0	-
80	-	196.6	-

เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นผลึกสีขาวมีความชื้นประมาณร้อยละ 10-14 มีความคงทนต่อสภาวะที่เป็นด่างได้เหมือนกับเซลล์ูโลส และทนต่อสภาวะความเป็นกรดสูง พบว่าในสารละลายกรดอินทรีย์ เช่น ซัลฟูริก และไฮโดรคลอริก สามารถเกิดการไฮโดรไลซิสเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินได้เพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสตาร์ช ส่วนในสารละลายกรดเจือจางโดยเฉพาะกลุ่มกรดอินทรีย์ พบว่าเกิดการไฮโดรไลซิสน้อยมากจนถึงไม่สามารถเกิดการไฮโดรไลซิสได้ นอกจากนี้ ยังพบว่าเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินมีความคงทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดีกว่าสตาร์ช [27-31]

### 2.4.3 ประโยชน์ของไซโคลเด็กซ์ทริน

ไซโคลเด็กซ์ทรินสามารถดูดซับโมเลกุลต่างๆ ของสารประกอบบางประเภท และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งมีสมบัติทางเคมี และทางกายภาพเปลี่ยนไป เช่น การละลาย, การระเหย และความเสถียรทางเคมี เป็นต้น ทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ ดังนี้ [27]

1. ด้านอุตสาหกรรมอาหาร ไซโคลเด็กซ์ทรินมีสมบัติในการกักเก็บรักษาสี, กลิ่น และรสชาติของเครื่องปรุง เครื่องเทศต่างๆ ให้คงอยู่ในอาหาร หรือการกำจัดสมบัติบางอย่างที่ไม่ต้องการ เช่น การกำจัดกลิ่นเหม็นหืนของข้าวที่เก็บไว้นานๆ การกำจัดสารที่ให้รสขมของน้ำผลไม้ เช่น น้ำมะนาว, น้ำส้ม และน้ำองุ่น นอกจากนี้ยังมีการนำไซโคลเด็กซ์ทรินมาใช้ในการกำจัดคาเฟอีนจากใบชา และกาแฟอีกด้วย หรือกำจัดคอเลสเทอรอล ซึ่งมีการเสนอทฤษฎีที่เป็นไปได้ของการใช้ไซโคลเด็กซ์ทรินในการกำจัดรสชาติที่ไม่พึงประสงค์อยู่ 2 ทฤษฎี คือไซโคลเด็กซ์ทรินไปเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโมเลกุลที่ทำให้เกิดรสชาติที่ไม่ดี ซึ่งขัดขวางไม่ให้เกิดปฏิกิริยากับต่อมรับรส และไซโคลเด็กซ์ทรินทำปฏิกิริยากับโปรตีนของต่อมรับรส แล้วทำให้ต่อมรับรสหยุดชะงักการรับรสได้ [28]

2. ด้านอุตสาหกรรมยา และเครื่องสำอาง ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารที่ใช้ถนอมรักษากลิ่นของเครื่องสำอางต่างๆ และยังใช้เป็นสารลดการระคายเคืองของผิว คล้ายตัวยานในเครื่องสำอางบำรุงผิวต่างๆ ด้านอุตสาหกรรมยา ไซโคลเด็กซ์ทรินช่วยในการปลดปล่อยปริมาณยาเพื่อให้ออกฤทธิ์อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การเกิดโมเลกุลเชิงซ้อนของยาช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของยา ทำให้ยาไม่เกิดออกซิเดชันด้วยอากาศ และช่วยเพิ่มความเสถียร หรือบดบังรสชาติ และกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ของยาพร้อมทั้งช่วยป้องกันการระเหยง่ายขององค์ประกอบของยา [28]

3. ด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอ กระบวนการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ (textile finishing) ใช้ไซโคลเด็กซ์ทรินเพื่อกำจัดสารลดแรงตึงผิว (surfactants) จากกระบวนการซักล้างเส้นใย นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยต่างๆ จำนวนมากที่ได้ทดลองเกี่ยวกับการใช้ไซโคลเด็กซ์ทรินเพื่อใช้ในการปลดปล่อยกลิ่นอะโรมา หรือสารต้านแบคทีเรีย, จุลินทรีย์ และสารกันแดด เป็นต้น [32]

## 2.5 น้ำมันหอมระเหย (Essential oil)

### 2.5.1 พืชที่นำมาสกัดเป็นน้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหยเป็นผลิตผลจากการสกัดพืชสมุนไพร และเครื่องเทศนานาชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งเป็นสารประกอบทุติยภูมิที่มีอยู่ในส่วนต่างๆ ของพืช ได้แก่ ดอก, ใบ, ผล, เปลือกผล, กลีบเกลี้ยง, เมล็ด, ราก, เหง้า, เปลือกต้น หรือเนื้อไม้ มีลักษณะทั่วไปเป็นของเหลวที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่สลับซับซ้อนแตกต่างกันทำให้มีสมบัติ และกลิ่นแตกต่างกัน [10, 33, 34]

ตารางที่ 2.3 ส่วนต่างๆของพืชที่นำมาสกัดน้ำมันหอมระเหย [34]

ส่วนของพืช	ชนิดของพืช
ดอก	ลาเวนเดอร์ กุหลาบ เนโรลี คาโมไมล์ เจอเรเนียม กระดังงา มะลิ จำปี จำปา ลั่นทม ซ่อนกลิ่น แคลร์รี่ เซจ กานพลู แก้วกุหลาบ
ผล	ส้ม มะกรูด พริกไทยดำ เมล็ดแครอท เลมอน มะกรูด มะนาว ลูกจันทน์เทศ เกรฟฟรุต จูนิเปอร์เบอร์รี่
ใบ	โหระพา กระเพรา อบเชย มะกรูด ตะไคร้หอม ยูคาลิปตัส ไซเพรส จูนิเปอร์ ตะไคร้ เมลิสซา เปปเปอร์มินท์ ทีทรี แมงลัก
เปลือกและลำต้น	ซีดาร์ อบเชย เพตติเกรน ไม้จันทน์หอม จันทน์ขาว
ราก	เวลเรียน แฝกหอม สไปนาร์ด
เมล็ด	พริกไทย ผักชี จันทน์เทศ
ยางไม้	กฤษณา กายาน เมอร์ แพรงคินเซนส์

### 2.5.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยค่อนข้างซับซ้อนแตกต่างกันในแต่ละชนิดพืช และแปรผันตามปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระยะเวลาในการปลูก, ฤดูกาล, ช่วงเวลาที่เก็บเกี่ยวพืชที่นำมาใช้, ชนิดของดิน, ภูมิอากาศ และภูมิประเทศ เป็นต้น จัดจำแนกกลุ่มของสารที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยเป็น 7 กลุ่ม ซึ่งแต่ละกลุ่มออกฤทธิ์แตกต่างกัน ดังนี้

1. กลุ่มแอลกอฮอล์ (alcohols) สารในกลุ่มแอลกอฮอล์ไม่มีความเป็นพิษ และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย, ไวรัส และเชื้อรา ได้อย่างกว้างขวาง โดยมีผลทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีน ส่งผลให้เชื้อหุ้มเซลล์จุลินทรีย์สูญเสียสภาพปะกติในการควบคุมสารผ่านเข้าออกเซลล์ สำหรับน้ำมันหอมระเหยที่มีสารจำพวกนี้เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น จีรานีโอล (geraniol) ในดอกกุหลาบ และลินาลอล (linalol) ในลาเวนเดอร์ เป็นต้น

2. กลุ่มอัลดีไฮด์ (aldehydes) สารในกลุ่มนี้มีฤทธิ์ในการระงับประสาท, ยกระดับจิตใจ, ลดการอักเสบ, ลดความอ่อนชวยายหลอดเลือด มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรค และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย, ไวรัส และเชื้อราได้ดีโดยเฉพาะกับแบคทีเรีย ตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยที่มีสารกลุ่มนี้เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ซิทรอล (citral) หรือ เจอราเนียล (geranial) ในน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ และซินนามาลดีไฮด์ (cinnamaldehyde) ในน้ำมันหอมระเหยอบเชย เป็นต้น



3. กลุ่มเอสเทอร์ (esters) สารในกลุ่มนี้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราได้ดี, มีสมบัติระงับประสาท, สงบอารมณ์, ลดอาการเกร็งของกล้ามเนื้อ และลดการอักเสบ ตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยที่มีสารกลุ่มนี้เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น เมทิลซาลิไซเลท (methyl salicylate) ในน้ำมันระงับ เป็นต้น

4. กลุ่มคีโตน (ketones) สารคีโตนมีคุณสมบัติช่วยขยายหลอดลม, ละลายเสมหะ, เสริมสร้างเนื้อเยื่อ และลดการอักเสบ ตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยที่มีสารกลุ่มนี้เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น คาร์วอน (Carvone) ในน้ำมันกระเทียมตากบ เป็นต้น

5. กลุ่มออกไซด์ (oxides) สารกลุ่มนี้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียได้ดี นอกนั้นก็พบสารที่มีสมบัติในการกระตุ้นระบบประสาท, ขับเสมหะ และละลายเสมหะ ตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยที่มีสารกลุ่มนี้เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ยูคาลิปตอล (eucalyptol) ในน้ำมันยูคาลิปตัส และในน้ำมันเสม็ดขาว เป็นต้น

6. กลุ่มฟีนอล (phenols) สารในกลุ่มนี้มีความสำคัญเนื่องจากเป็นสารที่ให้สี และกลิ่นในพืช มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย, ไวรัส และเชื้อราได้ดี กว้างขวาง โดยเฉพาะกับแบคทีเรียกระตุ้นระบบประสาท และภูมิคุ้มกันของร่างกาย ตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยที่มีสารกลุ่มนี้เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ยูจีนอล (eugenol) และคาร์วาครอล (carvacrol) ในน้ำมันโอบเชย เป็นต้น

7. กลุ่มเทอร์พีน (terpenes) สารในกลุ่มนี้มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อ และลดการอักเสบ ตัวอย่างน้ำมันหอมระเหยที่มีสารกลุ่มนี้เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ไมร์ซีน (myrcene) ในน้ำมันหอมระเหยจากราก และเหง้าของกระชาย และลิโมนีน (limonene) ในน้ำมันกระวาน เป็นต้น [35-37]

### 2.5.3 สมบัติของน้ำมันหอมระเหย

โดยส่วนใหญ่ น้ำมันหอมระเหยมีสมบัติ ดังต่อไปนี้

1. น้ำมันหอมระเหยสถานะเป็นของเหลว (ยกเว้นน้ำมันหอมระเหยจากกุหลาบเป็นของแข็งกึ่งเหลว และน้ำมันหอมระเหยออริสเป็นของแข็ง)
2. เป็นของเหลวใสไม่มีสี หรือมีสีเหลืองอ่อน ๆ (ยกเว้นคาโมไมล์มีสีน้ำเงินคราม, เจอราเนียมมีสีมะกอก และออริกาโนมีสีน้ำตาลอมแดง เป็นต้น)
3. สามารถระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง
4. มีกลิ่นเฉพาะตัวเป็นเอกลักษณ์
5. ความหนืดค่อนข้างต่ำ (ยกเว้น sandalwood)
6. ความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ (ยกเว้น กานพลู, อบเชย และแฝกหอม)
7. ดัชนีหักเหแสง (refractive index) ค่อนข้างสูง
8. เบี่ยงเบนแสงโพลาไรซ์ (optical rotation)
9. ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อีเทอร์, แอลกอฮอล์ และไขมัน

10. มีจุดเดือดอยู่ในช่วง 150-300 องศาเซลเซียส [37]

#### 2.5.4 การสกัดแยกน้ำมันหอมระเหยจากพืช

การสกัดแยกน้ำมันหอมระเหยทำได้หลายวิธี ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิดพืช, ส่วนของพืชที่นำมาสกัด และสมบัติของน้ำมันหอมระเหย เป็นต้น

1. การกลั่นแยกน้ำมันหอมระเหย (Distillation) โดยทั่วไปการกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่ใช้กันอยู่มี 3 วิธี ได้แก่

(1) การกลั่นด้วยน้ำร้อน (water distillation) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการกลั่นน้ำมันหอมระเหย วิธีนี้นิยมใช้กับพืชที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่ไม่สลายตัวเมื่อได้รับความร้อน เนื่องจากตัวอย่างต้องอยู่ในน้ำเดือดหรือลอยอยู่บางส่วน แล้วแต่ความถ่วงจำเพาะของพืชนั้น ตัวอย่างที่อยู่ในน้ำสัมผัสกับความร้อนโดยตรง ทำให้น้ำมันหอมระเหยสามารถแพร่ออกจากเนื้อเยื่อได้ง่าย เมื่อน้ำที่มีตัวอย่างอยู่เดือดระเหยพาเอาน้ำมันหอมระเหยขึ้นไปพร้อมกับไอน้ำ เมื่อถูกความเย็น ควบแน่นกลับมาเป็นหยดน้ำ และน้ำมันหอมระเหยตกลงสู่ภาชนะรองรับ การกลั่นแบบนี้ใช้น้ำเป็นไปอย่างช้าๆ น้ำมันสัมผัสกับน้ำเดือดค่อนข้างนานซึ่งอาจทำให้องค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ไม่พึงปรารถนา ตัวอย่างพืชที่ใช้วิธีนี้ เช่น การกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกซินนามอน

(2) การกลั่นด้วยน้ำ และไอน้ำ (water and steam distillation) การกลั่นโดยวิธีนี้ใช้ตะแกรงรองตัวอย่างของที่กลั่นให้อยู่เหนือระดับน้ำในหม้อกลั่น ต้มให้เดือด ทำให้ตัวอย่างไม่สัมผัสกับน้ำโดยตรง เมื่อน้ำเดือดกลายเป็นไอน้ำอิ่มตัว (saturated steam) เรียกว่าไอน้ำเปียก ซึ่งไม่ร้อนจัดลอยตัวขึ้นสัมผัสกับพืชตัวอย่าง และพาเอาน้ำมันหอมระเหยขึ้นไปพร้อมกับไอน้ำ เมื่อถูกความเย็น ควบแน่นกลับมาเป็นหยดน้ำ และน้ำมันหอมระเหยตกลงสู่ภาชนะรองรับ เป็นการกลั่นที่สะดวกที่สุด วิธีนี้ไม่เกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากการไหม้ของตัวอย่าง คุณภาพของน้ำมันออกมาดีกว่าวิธีแรก การกลั่นแบบนี้ใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตน้ำมันหอมระเหยทางการค้า นิยมใช้กับพืชที่มีองค์ประกอบทางเคมีสลายตัวเมื่อถูกความร้อนโดยตรง ตัวอย่างพืชที่ใช้วิธีนี้ เช่น ยูคาลิปตัส, กานพลู และลาเวนเดอร์ เป็นต้น

(3) การกลั่นด้วยไอน้ำ (direct steam distillation) วิธีนี้ส่งผ่านไอน้ำจากหม้อต้ม (boiler) ซึ่งเป็นไอร้อนเข้าไปในหม้อกลั่นซึ่งบรรจุพืชตัวอย่าง โดยไอน้ำภายนอกที่อาจเป็นไอน้ำเปียกหรือไอร้อนจัด แต่ความดันสูงกว่าบรรยากาศนี้ถูกส่งผ่านทางท่อเข้าสู่ส่วนล่างของตะแกรงให้ไอน้ำขึ้นไปยังตัวอย่าง จากนั้นไอน้ำเป็นตัวพาเอาน้ำมันหอมระเหยออกจากพืช เมื่อถูกความเย็น ควบแน่นกลับมาเป็นหยดน้ำ และน้ำมันหอมระเหยตกลงสู่ภาชนะรองรับ ไอน้ำต้องมีปริมาณเพียงพอที่ช่วยให้ น้ำมันแพร่ระเหยออกมาจากตัวอย่าง ตัวอย่างบางชนิดอาจใช้ไอร้อนแต่บางชนิดก็ใช้ไอน้ำน้ำมันจึง

ถูกปล่อยออกมา วิธีนี้ต้องควบคุมอุณหภูมิ และความดันที่เหมาะสม ตัวอย่างพืชที่ใช้วิธีนี้ได้แก่ อบเชย, ตะไคร้ และจันทร์เทศน์ เป็นต้น

2. การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) หลักการของการสกัดสารโดยใช้ตัวทำละลาย คือ นำตัวอย่างใส่ลงในภาชนะที่ใช้สกัดแล้วเติมตัวทำละลายที่เหมาะสมลงไปให้ทั่วทุกส่วนของตัวอย่าง และทำการสกัดที่อุณหภูมิห้อง วิธีนี้ได้ น้ำมันหอมระเหยที่มีความเข้มข้นสูงแต่คุณภาพไม่ดีเท่ากับการกลั่นเพราะหลังจากสกัด ได้สารอื่นปนออกมาด้วย หลังจากการสกัดต้องทำการระเหยตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวสกัดออกให้หมดด้วยอุณหภูมิต่ำภายใต้ความดัน การสกัดแบบนี้จะได้ น้ำมันหอมระเหยที่เรียกว่า น้ำมันบริสุทธิ์ (absolute oil) ตัวทำละลายอินทรีย์ที่นิยมให้เป็นตัวสกัด คือ แอลกอฮอล์

3. การสกัดด้วยไขมัน (enfleurage extraction) การสกัดด้วยไขมันมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี ได้แก่

(1) การสกัดด้วยไขมันเย็นเป็นวิธีที่ใช้แยกน้ำมันหอมระเหยจากพืชที่มีน้ำมันหอมระเหยน้อย และมีสารหอมไม่ทนต่อความร้อน โดยใช้หลักที่ว่าไขมันมีสมบัติในการดูดกลืนได้สูงมาก จึงนำไขมันมาดูดกลืนหอมของดอกไม้ที่ส่งกลิ่นหอมมาก และให้กลิ่นหอมหลายวันติดต่อกันหลังการเก็บเกี่ยว เช่น มะลิ และช่อนกลิ่น เป็นต้น วิธีการคือ เคลือบไขมันไว้บนกระจกหรือเฟรม จากนั้นเก็บดอกไม้สดเมื่อถึงเวลาที่ส่งกลิ่นหอมมากก็นำไปวางบนแผ่นเคลือบไขมัน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง แผ่นเคลือบไขมันทำหน้าที่ดูดซับสารหอมที่ระเหยออกจากดอกไม้ จนกว่าไขมันอิ่มตัวด้วยกลิ่นหอมของดอกไม้ แล้วนำดอกเก่าไปสกัดน้ำมันโดยวิธีอื่นๆ ส่วนดอกสดใหม่ก็นำมาวางอีก ทำเช่นนี้หลายๆครั้งจนสิ้นฤดูดอกไม้ ต่อจากนั้นนำไปสกัดต่อด้วยแอลกอฮอล์ และแยกแอลกอฮอล์ออกด้วยอุณหภูมิต่ำภายใต้ความดันจนได้สารหอม

(2) การสกัดด้วยไขมันร้อน การสกัดด้วยไขมันร้อนสามารถสกัดได้น้ำมันหอมระเหยมาก และกลิ่นหอมกว่าสกัดด้วยไขมันเย็น วิธีการเตรียมไขมันทำได้เช่นเดียวกับการสกัดด้วยไขมันเย็น แต่อุ่นไขมันให้ร้อนประมาณ 80 องศาเซลเซียส แخذดอกไม้ลงไปประมาณครึ่งชั่วโมงแล้วทำให้เย็นสุดท้ายอุ่นให้ร้อนอีกครั้งเพื่อหลอม และกรองดอกไม้ออกล้างไขมันที่ติดมาด้วยน้ำอุ่นหรือวางบนผ้ากรอง บีบพร้อมกับรดน้ำร้อน ชั้นของน้ำ และไขมันแยกกันง่าย ใช้ไขมันเติมเปลี่ยนดอกไม้สดหลายครั้งจนอิ่มตัวไขมันร้อนมีกลิ่นน้ำมันหอมระเหยออกทำให้บริสุทธิ์อีกครั้งหนึ่ง ทำให้ได้น้ำมันหอมระเหยอย่างดี

4. การสกัดโดยการบีบ หรือคั้น (mechanical expression) เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับพืชที่มีน้ำมันอยู่ในเปลือกซึ่งมีองค์ประกอบที่สลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน เช่น น้ำมันหอมระเหยจากพืชตระกูลส้ม ได้แก่ น้ำมันผิวส้ม, น้ำมันผิวมะนาว และน้ำมันผิวมะกรูด เป็นต้น การบีบทำให้เซลล์น้ำมันพืชแตกออก และปล่อยน้ำมันออกมา ซึ่งวิธีการบีบมีหลายรูปแบบ ที่นิยมคือ วิธีแอกคิวเอล (ecuelle method) โดยเอาผลไปบีบบนรางที่มีเข็มแหลมๆอยู่ และเข็มายาวแทงผ่านผนังชั้นนอก (epidermis)

เพื่อให้ต่อมน้ำมันแตกออก จากนั้นน้ำมันหยดลงไปในรางซึ่งเก็บน้ำมันได้ น้ำมันที่ได้เรียกว่า น้ำมันดิบ (Crude oil)

5. การสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือสถานะวิกฤติ (supercritical carbon dioxide extraction) เป็นกระบวนการสกัดโดยอาศัยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide) ในสถานะเหนือวิกฤติ (critical point) ซึ่งเรียกกสถานะนี้ว่า ของไหลเหนือวิกฤติ (supercritical fluid) ในสถานะนี้ก๊าซจะมีลักษณะเป็นของไหลที่ความดันสูง ผ่านชิ้นส่วนของพืชจึงทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายที่ดี ทำให้มีสมบัติที่สามารถสกัดน้ำมันหอมระเหยได้ดี เมื่อสกัดเสร็จแล้วสามารถแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกได้ที่อุณหภูมิห้องข้อดีคือ ไม่ใช้ความร้อน ดังนั้นสารหอมต่างๆ ไม่สลายตัว น้ำมันหอมระเหยที่ได้มีคุณภาพดี และคงสภาพเหมือนในสภาวะธรรมชาติ ซึ่งเป็นวิธีที่ปัจจุบันนิยมใช้กันมาก เพราะได้น้ำมันหอมระเหยที่มีกลิ่นดี มีความบริสุทธิ์ ข้อเสียคือ เครื่องมือราคาแพงทำให้มีต้นทุนการผลิตสูง [9, 37]

#### 2.5.4 การใช้ประโยชน์จากน้ำมันหอมระเหย

ฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำมันหอมระเหยแตกต่างกันขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิด และแปรผันตามชนิดของพืช เช่น น้ำมันหอมระเหยของพืชบางชนิดมีฤทธิ์ในการไล่ไล่ และฆ่าแมลง, มีฤทธิ์ทางชีวภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ น้ำมันหอมระเหยจากพืชจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในหลายๆด้านขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติเฉพาะตัวของน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิด [10, 37] ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 น้ำมันหอมระเหยจากพืชชนิดต่างๆองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ และการนำไปใช้ประโยชน์ [37]

น้ำมันหอมระเหย	องค์ประกอบทางเคมี	การนำไปใช้ประโยชน์
ไพล	แอลฟา-ไพนีน ซาบิโนน แอลฟา-เทอร์ไพนีน แกมมา-เพอร์ไพนีน เทอร์ไพนีน-4-อล	ช่วยแก้อาการฟกช้ำ ปวดเมื่อยเคล็ดขัดยอก
ดอกกานพลู	ยูจีนอล	ช่วยบรรเทาอาการคัน ลดการอักเสบ
ตะไคร้	ซิทรัล	ช่วยในการขับลม แก้อาการเสียด ลดการตีงเครียดของระบบประสาท เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร และเครื่องดื่ม
ตะไคร้หอม	เจอราโนล ซิโทรเนลลาล	ใช้ในการแต่งกลิ่นรสอาหาร เป็นส่วนประกอบเครื่องสำอาง ใช้ไล่แมลง
ผิวมะกรูด	เบต้า-ไพนีน ลิโมนีน-ซาบิโนน ซิโทรเนลลาล	ใช้ในการแต่งกลิ่นรสอาหาร ใช้ในการบำบัดแบบสวดคนธบำบัด ช่วยให้คลายกังวล ทำให้สดชื่น
ใบมะกรูด	ซิโทรเนลลาล	ช่วยในการแต่งกลิ่นรสอาหาร เป็นส่วนประกอบทางยา และเครื่องสำอาง
โหระพา	เมทิลชาวิคอล ไลนาโลอล	ช่วยในการแต่งกลิ่นรส ในอุตสาหกรรมอาหาร

## 2.6 น้ำมันตะไคร้หอม (Citronella oil)

### 2.6.1 ข้อมูลพื้นฐานของตะไคร้หอม

ตะไคร้หอมมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cymbopogon nardus* (Linn.) Rendle เป็นพืชล้มลุกใบเลี้ยงเดี่ยวจำพวกหญ้าอายุหลายปี เกิดจากหัว หรือเหง้าที่อยู่ใต้ดิน ลำต้นตั้งตรง เจริญเติบโตด้วยการ

แตกหน่อเป็นกอ มีใบเดี่ยว รูปร่างเรียวยาว ขอบใบเรียบคม ดอกเป็นช่อยาวใหญ่โน้มเอียงลง มักออกดอกในหน้าหนาว สีของช่อดอกเป็นสีน้ำตาลแดงคล้ำ ผลเป็นผลชนิดแห้งไม่แตก มีลักษณะคล้ายกับตะไคร้ ต่างกันตรงที่ใบของตะไคร้หอมนั้นยาว กว้าง และบางกว่าใบของตะไคร้ ส่วนลำต้นของตะไคร้หอมมักมีขนาดใหญ่กว่าตะไคร้ ตะไคร้หอมบางพันธุ์นั้นมีลักษณะลำต้น และใบออกสีม่วงปนแดง ตะไคร้หอมนั้นมีลำต้น และใบที่มีกลิ่นเฉพาะตัวที่แตกต่างจากกลิ่นของตะไคร้ ตะไคร้หอมสามารถขยายพันธุ์ด้วยการแยกหน่อ หรือใช้เหง้าปลูกก็ได้ ซึ่งมีอยู่ 2 พันธุ์ คือ ตะไคร้หอมพันธุ์ชวา (*Cymbopogon winterianus* Jowitt (*Andropogon nardus* Java de Jong)) ปลูกกันมากในบริเวณเกาะชวามีชื่อพื้นเมืองว่า Mahapengiri และตะไคร้หอมพันธุ์ชิลอนชื่อพื้นเมืองว่า Lenabatu (*Cymbopogon nardus* Rendle (*Andropogon nardus* Ceylon de Jong)) ชนิดนี้พบมากในประเทศไทย มีชื่อไทยหลายชื่อ เช่น ตะไคร้มะขูด (เหนือ) หรือตะไคร้แดง (นครศรีธรรมราช) ตะไคร้หอมชอบขึ้นในที่ร้อนชื้น ตามเนินเขาสูง ดังนั้น ในประเทศไทยเกาะต่างๆที่มีภูมิประเทศเป็นภูเขาสูงๆ ตะไคร้หอมจึงเจริญเติบโตได้ดี [9, 38]

#### 2.6.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันตะไคร้หอม

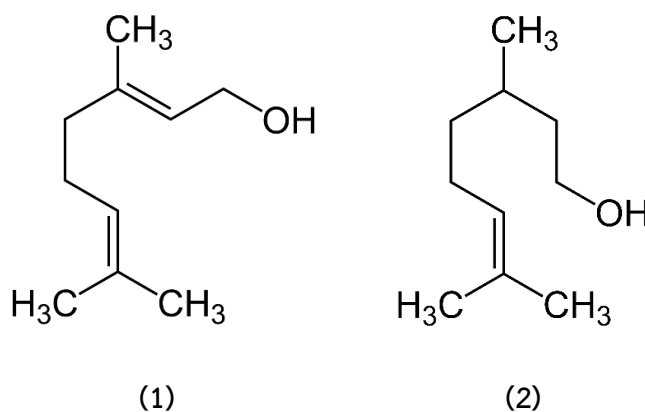
น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมได้จากกระบวนการกลั่นด้วยไอน้ำ ประกอบด้วยองค์ประกอบมากกว่า 22 ชนิด เช่น เจอรานีโอล (geraniol), ทรานส์-ซิทรัล (trans-citral), ซิส-ซิทรัล (cis-citral), เจอรานิล อะซิเตต (geranyl acetate), ซิโตรเนลลาล (citronellal) และซิโตรเนลลอล (citronello) เป็นองค์ประกอบหลัก ดังแสดงในตารางที่ 2.5 สำหรับน้ำมันหอมระเหยจากพันธุ์ชวา ซึ่งมีปริมาณของซิโตรเนลลาลมาก นำไปแยกเอา ซิโตรเนลลาล และถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นสารเคมีอื่นๆที่มีประโยชน์ เช่น ซิโตรเนลลอล, ซิโตรเนลลาลเอสเทอร์, ไฮดรอกซีซิโตรเนลลาล หรือเปลี่ยนเป็นเมนทอลโดยการสังเคราะห์ขึ้นมาจากซิโตรเนลลาล ส่วนน้ำมันที่มีเจอรานีโอลสูง และมีซิโตรเนลลาลต่ำ มีการแยกเอาเจอรานีโอลเอสเทอร์ [9]

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอม [39]

องค์ประกอบ	ร้อยละของน้ำหนักทั้งหมด
ไลนาโลอล (Linalool)	1.3
ซิโทรเนลลาล (citronellal)	5.8
ซิโทรเนลลอล (citronellol)	4.6
ซิส-ซิทรัล (cis-citral)	14.2
เจอร์รานีอล (geraniol)	35.7
ทรานส์-ซิทรัล (trans-citral)	22.7
เจอร์รานิล อะซิเตต (geranyl acetate)	9.7
เบตา-คาลิโอฟิลลีน ( $\beta$ -Caryophyllene)	0.8

### 2.6.3 ประโยชน์ของน้ำมันตะไคร้หอม

น้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอม มีกลิ่นหอม ใช้แต่งกลิ่นสบู่, ผงซักฟอก และผสมในน้ำหอมซึ่งราคาค่อนข้างถูก [40] มีสมบัติใช้ในการบำบัดโรค เช่น ช่วยลดไข้, ขับถ่ายพยาธิ, กระตุ้นการย่อยอาหาร, บรรเทาอาการปวดประจำเดือน, บรรเทาอาการแน่นท้อง, บรรเทาอาการปวดเมื่อย, บรรเทาอาการของโรคที่เกี่ยวข้องกับเส้นดิ่ง, ไข้จับสั่น, บรรเทาความอ่อนเพลีย, บรรเทาอาการปวดศีรษะ และอาการปวดไมเกรน ในประเทศจีนใช้ตะไคร้หอมในการบำบัดข้ออักเสบ นอกจากนี้ น้ำมันตะไคร้หอมมีสมบัติในการขับไล่ยุง และแมลง ใช้ทำยากันยุง ใช้เป็นสารเริ่มต้นสำหรับเตรียมเครื่องหอมประเภทซิโทรเนลลอล, ซิโทรเนลลาล, ไฮดรอกซีซิโทรเนลลาล, เจอรานีอลเอสเทอร์ และเมนทอลสังเคราะห์ และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลชีพ [9]



รูปที่ 2.8 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันตะไคร้หอม เจอรานีอล (1) ซิโทรเนลลอล (2)

## 2.6.4 ประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลชีพของน้ำมันตะไคร้หอม

จากการศึกษาของ Bárbara และคณะ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย โดยศึกษาจากน้ำมันหอมระเหย 17 ชนิด เพื่อยับยั้งแบคทีเรียซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารเน่าเสีย 7 ชนิด ได้แก่ *Brochothrix-thermosphacta*, *Escherichia coli*, *Listeria innocua*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonus-putida*, *salmonella typhimurium* และ *Shewanella putrefaciens* พบว่าน้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอมสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ถึง 5 ชนิด จาก 7 ชนิดที่ทำการทดสอบ คือ *Brochothrix-thermosphacta*, *Escherichia coli*, *Listeria innocua*, *Listeria monocytogenes* และ *Shewanella-putrefaciens* [10]

จากการศึกษาของ Lertsatitthanakorn และคณะทำการศึกษาน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ในผลิตภัณฑ์น้ำหอมกลิ่นอโรมา 7 ชนิดมีพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม สามารถยับยั้งแบคทีเรีย *P. acnes* โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งแบคทีเรีย และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าแบคทีเรียอยู่ในช่วง 0.005–0.3 และ 0.6–1.2 ไมโครลิตรต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ [41]

นอกจากนี้ Nakahara และคณะได้ทำการศึกษาร่วมกับประกอบทางเคมีของน้ำมันตะไคร้หอม และสมบัติในการยับยั้งเชื้อรา พบว่า น้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอมที่ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus*, *Penicillium* และ *Eurotium* ได้ ส่วนเมื่อใช้พฤษเคมีที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอม พบว่าซิโตรเนลลัลมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราได้ดี โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อราอยู่ในช่วง 14-56 มิลลิกรัมต่อลิตร [39]

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาของ Rupesh และคณะได้ศึกษาสมบัติต่างของผ้าฝ้าย และผ้าพอลิเอสเตอร์/ฝ้ายที่เคลือบด้วยไคโตซาน และไคโตซาน/DMDHEU ซึ่งศึกษาพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยไคโตซาน และไม่ผ่านการเคลือบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่าที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานนั้นพื้นผิวเส้นใยมีความเรียบขึ้นซึ่งไคโตซานนั้นลดความขรุขระของพื้นผิวเส้นใยได้ และศึกษาสมบัติการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ของผ้าฝ้ายและผ้าพอลิเอสเตอร์/ฝ้ายที่เคลือบด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าผ้าฝ้าย และผ้าพอลิเอสเตอร์/ฝ้ายเคลือบด้วยไคโตซานมีสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับผ้าฝ้าย และผ้าพอลิเอสเตอร์/ฝ้ายที่ไม่ได้เคลือบ ความเข้มข้นของไคโตซานมีผลต่อการยับยั้งแบคทีเรียทั้งสอง เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ พบว่าผ้าฝ้าย และผ้าพอลิเอสเตอร์/ฝ้ายเคลือบด้วยไคโตซานมีสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* มากกว่าแบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* [3]



จากการศึกษาของ Mina และคณะได้ศึกษาการนำผ้าฝ้ายมาปรับปรุงด้วยไคโตซาน/Ag/ZnO เป็นวัสดุนาโนคอมพอสิต เพื่อให้ได้สมบัติการตกแต่งแผลที่ทันสมัย โดยนำตัวอย่างผ้าก๊อชฝ้ายชุบด้วย นาโนคอมพอสิตไคโตซาน/Ag/ZnO ด้วยวิธีการจุ่ม ทำให้แห้ง และทำให้เกิดการเชื่อมขวาง ทดสอบ สมบัติต่างๆ พบว่าผลการยับยั้งแบคทีเรียของผ้าก๊อชที่ทำจากฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานมี ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ร้อยละ 50 และประสิทธิภาพในการ ยับยั้งแบคทีเรีย *Escherichia coli* ร้อยละ 30 นอกจากนี้พบว่าเมื่อผ้าฝ้ายมาปรับปรุงด้วยไคโตซาน/ Ag/ZnO มีสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียเพิ่มขึ้น โดยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ร้อยละ 99 และประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย *Escherichia coli* ร้อยละ 96 และพบว่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของผ้าก๊อชจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 38 เมื่อปรับปรุงด้วย ไคโตซาน/Ag/ZnO [2]

จากการศึกษาของ Bhandari, D'Arcy และ Bich ได้ศึกษาการทำไมโครแคปซูลของน้ำมัน มะนาว โดยใช้วิธีการตกตะกอนที่อัตราส่วนของน้ำมันมะนาวต่ออัตราส่วนของไซโคลเด็กซ์ทรีน เท่ากับร้อยละ 3:97, 6:94, 9:91, 12:88 และ 15:85 โดยมวล โดยมีวิธีการดังนี้ นำเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ ทรีน ปริมาณ 5 กรัม มากระจายตัวในสารละลายเอทานอลผสมน้ำ (อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร) 500 มิลลิลิตร ซึ่งมีอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นำน้ำมันมะนาวปรับปริมาตรด้วยเอทานอล จนมีปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติลงในสารละลายเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีน จากนั้นหยุดให้ความร้อน ทำการคนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส รอให้ตกตะกอน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 นำส่วนที่กรองได้ไปทำให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ไมโครแคปซูลของน้ำมันมะนาว เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำมันมะนาวต่อ เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนต่อประสิทธิภาพการรวมตัวของไซโคลเด็กซ์ทรีนในการกักเก็บน้ำมันหอมระเหย และความสามารถในการรวมตัวของไซโคลเด็กซ์ทรีนในการกักเก็บน้ำมันหอมระเหย พบว่าการเก็บ รักษา น้ำมันหอมระเหยจากน้ำมันมะนาวได้สูงสุดที่อัตราส่วนน้ำมันมะนาวต่ออัตราส่วนของ ไซโคลเด็กซ์ทรีนร้อยละ 6:94 โดยมวล อย่างไรก็ตามความสามารถในการรวมสูงสุดของ ไซโคลเด็กซ์ทรีนอยู่ที่อัตราส่วนระหว่างร้อยละ 12:88 โดยมวล ซึ่งส่วนผสมของสารประกอบเชิงซ้อน ไซโคลเด็กซ์ทรีนมีน้ำมันมะนาวร้อยละ 9.68 โดยมวล [42]

จากการศึกษาของ Xiuxiu และคณะได้ศึกษาฟิล์มไคโตซานที่ผสมด้วยสารประกอบในน้ำมัน หอมระเหย 3 ชนิด คือ คาร์วาครอล (carvacrol), ทรานส์-ซินนามาลดีไฮด์ (trans-cinnamaldehyde) และยูจีนอล (eugenol) ที่ถูกกักเก็บในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีน ความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งถูกเตรียมโดยวิธีตกตะกอน และตรวจสอบสมบัติทางความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย สมบัติ เชิงกล และสมบัติทางกายภาพ พบว่าการศึกษาสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียที่ปนเปื้อนกับผลิตภัณฑ์ อาหารเป็นหลักสี่สายพันธุ์ ซึ่งการรวมตัวกันของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีน และสารประกอบในน้ำมัน

หอมระเหย คาร์วาครอล (carvacrol), ทรานส์-ซินนามาลดีไฮด์ (trans-cinnamaldehyde) และ ยูจีนอล (eugenol) ความเข้มข้นต่างๆ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของฟิล์มไคโตซานที่มีต่อแบคทีเรีย *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* และ *Listeria monocytogenes* นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มไคโตซานมีค่าความต้านทานแรงดึง (tensile strength) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อผสมกับไมโครแคปซูลเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนกักเก็บสารประกอบในน้ำมันหอมระเหย 3 ชนิดที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจนถึง 0.75% ความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (elongation at break) ลดลงเมื่อความเข้มข้นของไมโครแคปซูลเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนกักเก็บสารประกอบในน้ำมันหอมระเหย 3 ชนิดเพิ่มขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของไมโครแคปซูลเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนกักเก็บสารประกอบในน้ำมันหอมระเหย 3 ชนิดเป็นร้อยละ 0.25 ลดการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มไคโตซาน [43]

จากการศึกษาของ อัจฉรัตน์ สุวรรณภักดี, รังสิมา สายศรทิพย์ และศุภารัตน์ สุทธิมุสิก ได้ทำการศึกษากการสกัด และทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ และตะไคร้หอมต่อการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคเต้านมอักเสบในโคนม 3 ชนิด คือ *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae* และ *Escherichia coli* พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมสามารถยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ดีที่สุด รองลงมาคือแบคทีเรีย *Streptococcus agalactiae* และ *Escherichia coli* ตามลำดับ โดยมีค่าค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งแบคทีเรีย (MIC) เท่ากับ 1.5625, 3.125 และ 6.25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าแบคทีเรีย (MBC) เท่ากับ 6.25, 6.25 และ 25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และจากการทดลองพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้หอมมีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้ ดีกว่าน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ [6]

### บทที่ 3 วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ และการกระจายตัวของน้ำมันตะไคร้หอมในฟิล์มโคโตซาน พัฒนาผ้าพันแผล และแผ่นปิดแผลไว้ด้วยกัน โดยการเตรียมแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน และศึกษาสมบัติของแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ที่เตรียมได้ ซึ่งการทดลองแบ่งเป็น 5 ส่วน คือ ส่วนแรกคือการศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันตะไคร้หอม ส่วนที่สองคือการเตรียมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินด้วยวิธีตกตะกอน ส่วนที่สามคือการศึกษาวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ส่วนที่สี่คือการเตรียมแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบหล่อ และส่วนสุดท้ายคือการศึกษาวิเคราะห์สมบัติของแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

#### 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินการวิจัย แสดงไว้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

### 3.2. วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุและสารเคมี	เกรดและบริษัทที่ผลิต
ไคโตซาน (chitosan)	เกรดอุตสาหกรรม น้ำหนักโมเลกุลสูง ค่า degree of deacetylation ร้อยละ 90-95 จากบริษัท Aquatic Nutrition Lab จำกัด
ผ้าก๊อซที่ทำจากฝ้าย (cotton gauze fabric)	MESH 24 x 20 ขนาด 3" x 3" x 8 PLY แบบที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ จากบริษัท ยูไนเต็คเมดิคอลอินสตรูเมนต์ จำกัด
กรดแอซีติก (acetic acid, CH <sub>3</sub> COOH)	เกรด AR จากบริษัท QRèC ประเทศนิวซีแลนด์
เฮกเซน (n-hexane, CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH <sub>3</sub> ) ความเข้มข้นร้อยละ 99	เกรด AR จากบริษัท อาร์ซีไอ แล็บสแกน จำกัด
เอทานอล (ethanol, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O) ความเข้มข้นร้อยละ 99.9	เกรด AR จากบริษัท QRèC ประเทศนิวซีแลนด์
เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (β-cyclodextrin)	เกรดอุตสาหกรรม จากบริษัท ชิโกมา อัลตราซ (ประเทศไทย) จำกัด
น้ำกรอง (purified water)	เครื่องกรองน้ำ Pure
น้ำมันตะไคร้หอม (citronella Oil)	จากบริษัท ฮงฮวด จำกัด

### 3.3. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในทดลอง

1. แท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic bar)
2. เครื่องกวนสารให้ความร้อนแบบแท่งแม่เหล็ก (hot plate and magnetic stirrer) พร้อมเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (temperature controller) ของบริษัท IKA รุ่น UNB 400
3. กระบอกตวง (graduated cylinder) ขนาด 100 มิลลิลิตร

4. ปีกเกอร์ (beaker) ขนาด 50 100 500 และ 1000 มิลลิลิตร
5. หลอดหยดสาร (dropper)
6. ปิเปต (pipette) ขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร
7. ตู้อบ (hot air oven)
8. แม่แบบขึ้นรูปพลาสติก (ถาดพลาสติก 28 x 21 x 5 เซนติเมตร)
9. เครื่องชั่งสารทศนิยมสี่ตำแหน่ง (analytical balance)
10. เครื่องกรองน้ำ (water purifier)
11. กรวยกรองบุชเนอร์เซรามิก (buchner funnel)
12. ขวดกรองสาร (buchner flask)
13. กระดาษกรอง (filter papers)
14. สายยางซิลิโคน (silicone tube)
15. แหวนรองกรวย (ring support)
16. ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump)

### 3.4. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. ชุดอุปกรณ์ และเครื่องมือในการทดสอบความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งแบคทีเรีย
2. ชุดอุปกรณ์ และเครื่องมือในการทดสอบสมบัติของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน
3. เครื่องศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analysis: TGA) ของบริษัท Mettler Toledo รุ่น TGA/1STERe ประเทศสหรัฐอเมริกา
4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) ของ JEOL รุ่น JSM-6400
5. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine) ของบริษัท LLOYD รุ่น LLOYD 500
6. ชุดอุปกรณ์ และเครื่องมือในการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย
7. ชุดอุปกรณ์ และเครื่องมือในการทดสอบการดูดซึมน้ำ

### 3.5. วิธีการทดลอง

#### 3.5.1 การทดสอบความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งแบคทีเรีย (Minimal inhibitory concentration (MIC))

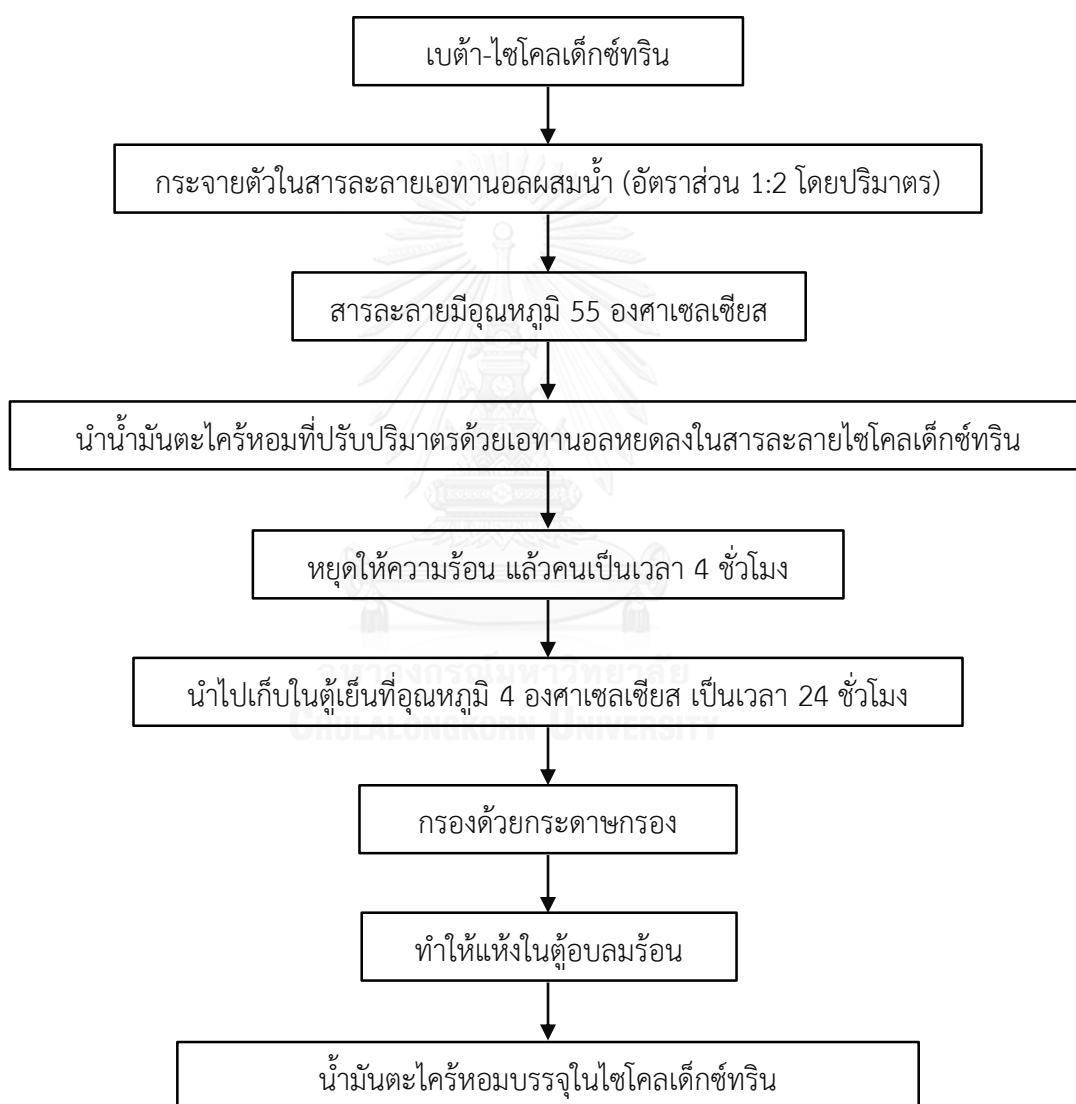
ทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ด้วยน้ำมันตะไคร้หอมความเข้มข้นต่างๆ โดยหาค่า MIC ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้หอมที่น้อยที่สุดที่สามารถยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ ซึ่งได้ทำการทดสอบสองแบบ แบบแรกทดสอบโดยแปรผันความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้หอม 7 ความเข้มข้น ซึ่งทำการเจือจาง 6 ระดับความเจือจางด้วยสารละลาย DMSO ความเข้มข้นร้อยละ 1:64 หรือ 1:52 โดยปริมาตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ในอัตราส่วนน้ำมันตะไคร้หอมต่อสารละลาย DMSO ดังนี้ 1:1, 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32 และ 1:64 จากนั้นหยดตัวอย่าง 100 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว แล้วนำไปทดสอบยับยั้งแบคทีเรียต่อไป และแบบที่สองโดยแปรผันความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้หอม 7 ความเข้มข้น ซึ่งทำการเจือจาง 6 ระดับความเจือจางด้วยสารละลาย tween 20 ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ในอัตราส่วนน้ำมันตะไคร้หอมต่อสารละลาย tween 20 ดังนี้ 1:1, 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32 และ 1:64 นำแผ่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ไปจุ่มในน้ำมันตะไคร้หอมทดสอบความเข้มข้นต่างๆ แล้วนำไปทดสอบยับยั้งแบคทีเรียต่อไป ซึ่งการทดสอบยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* โดยใช้วิธีทดสอบแบบ Disk diffusion นำแผ่นตัวอย่างวางบนจานเลี้ยงเชื้อที่มีแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* (เชื้อมีความเข้มข้น 0.5 Mcfarland) กระจายบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง TSA นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและดูการเกิดวงใสรอบตัวอย่างที่ทดสอบ วัดขนาดของบริเวณใสที่ไม่มีแบคทีเรียขึ้นรอบตัวอย่าง (inhibitory zone) โดยวัดเป็นมิลลิเมตร

#### 3.5.2 การบรรจุน้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอมในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

การบรรจุน้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอมในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน โดยใช้วิธีตกตะกอน (precipitation method) ซึ่งดัดแปลงมาจากการงานวิจัยของ Bhandari, D'Arcy และ Bich (1998) โดยมีวิธีการดังนี้ นำเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ปริมาณ 4.5 กรัม มากระจายตัวในสารละลายเอทานอลผสมน้ำ (อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร) 50 มิลลิลิตร ซึ่งประกอบด้วยเอทานอล ปริมาตร 16.7 มิลลิลิตร และน้ำปริมาตร 33.3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันบนเตาไฟฟ้า โดยให้สารละลายมีอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นำน้ำมันตะไคร้หอมที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย ปริมาณ 4.5 กรัม ปรับปริมาตรด้วยเอทานอล จนมีปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติลงในสารละลายเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน จากนั้นหยุดให้ความร้อน ทำการคนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 นำส่วนที่กรองได้ไปทำให้แห้งในตู้อบลมร้อน ที่

อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้น้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน อัตราส่วน 50:50 แล้วนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้อง [42] ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวแสดงในรูป 3.2

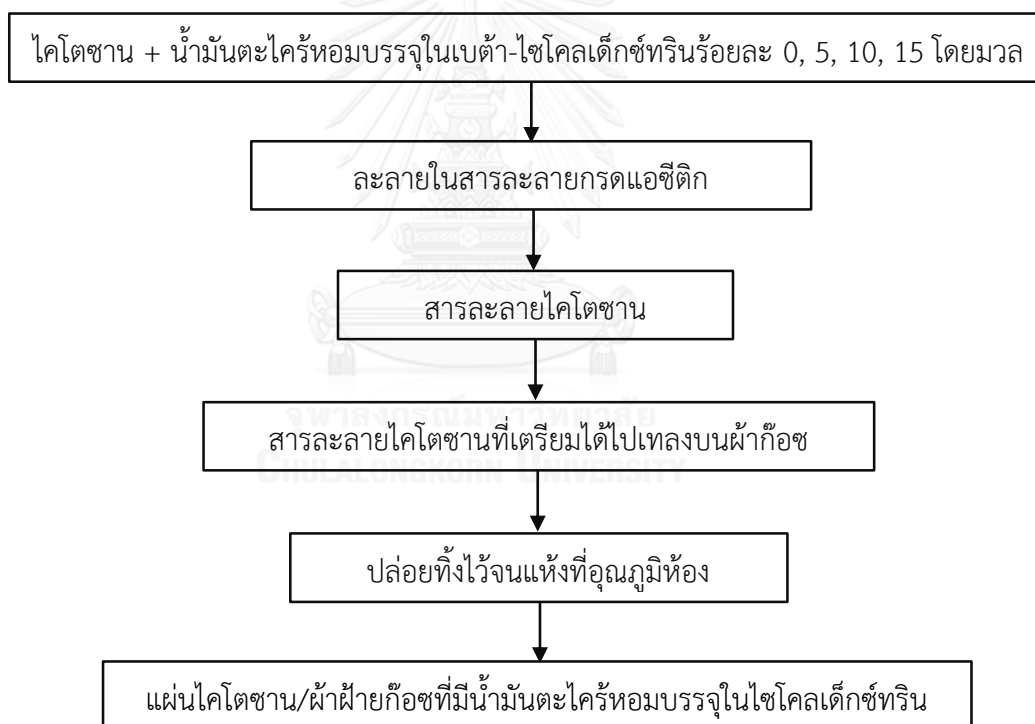
สำหรับน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน อัตราส่วน 30:70 และ 40:60 เตรียมได้โดยวิธีเดียวกันแต่ใช้ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอม ปริมาณ 2 และ 3 กรัม ต่อเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณ 4.5 กรัม ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการบรรจุน้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอมในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

### 3.5.3 การเตรียมแผ่นโคโตะซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีน

เตรียมแผ่นโคโตะซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีน โดยวิธีการหล่อ ดังนี้ เตรียมสารละลายโคโตะซานโดยละลายโคโตะซานเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตรในสารละลายกรดแอสีติกความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร และในการเพิ่มสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียใช้น้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนที่เตรียมได้จากข้อ 3.5.2 ใส่ลงในสารละลายโคโตะซานในปริมาณร้อยละ 5 10 15 โดยมวลเทียบกับน้ำหนักของโคโตะซาน จากนั้นนำสารละลายโคโตะซานที่เตรียมได้ไปเทลงบนผ้าก๊อช แล้วปล่อยให้แห้งในที่อุณหภูมิห้องได้แผ่นโคโตะซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีน ลอกแผ่นโคโตะซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนแล้วนำไปทดสอบสมบัติต่อไป ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวแสดงในรูป 3.3



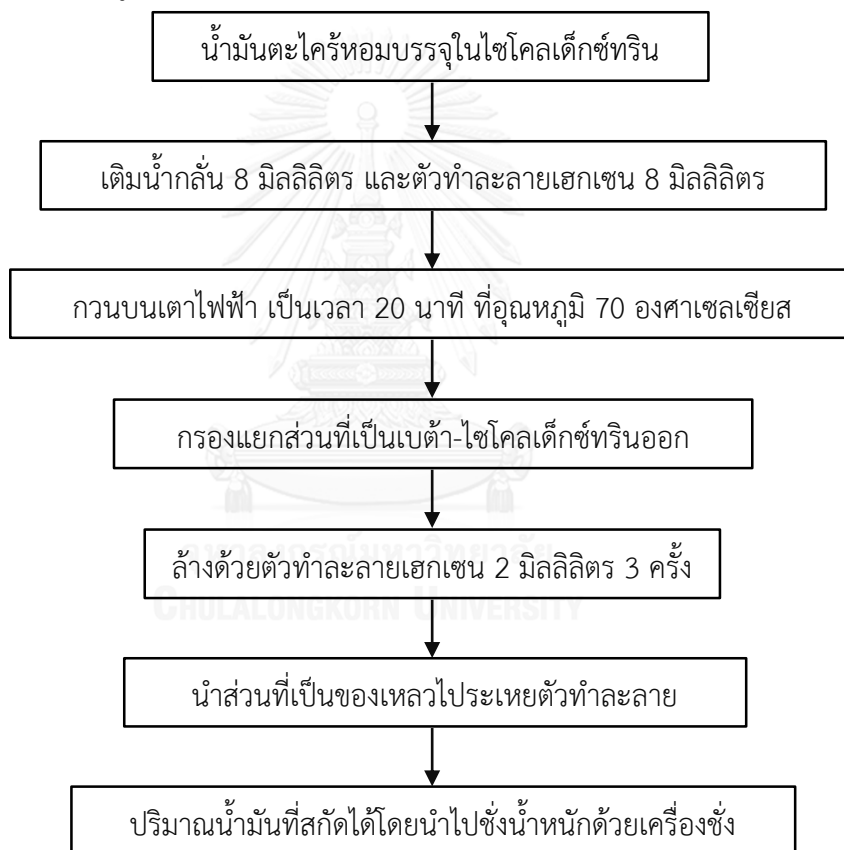
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นโคโตะซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีน



### 3.5.4 การทดสอบสมบัติของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

#### 3.5.4.1 การหาปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมทั้งหมด (Total oil extraction)

การหาปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมทั้งหมด โดยนำน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ปริมาณ 0.5 กรัม เติมน้ำกลั่น 8 มิลลิลิตร และตัวทำละลายเฮกเซน 8 มิลลิลิตร ทำการกวนบนเตาไฟฟ้า และเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ  $70 \pm 2$  องศาเซลเซียส จากนั้นกรองแยกส่วนที่เป็นเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินออก ทำการล้างด้วยตัวทำละลายเฮกเซน 2 มิลลิลิตร 3 ครั้ง จากนั้นนำส่วนที่เป็นของเหลวไประเหยตัวทำละลาย จนกระทั่งตัวทำละลายระเหยหมด แล้วหาปริมาณน้ำมันที่สกัดได้โดยนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง [42] ขั้นตอนดังกล่าวแสดงในรูป 3.4



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการหาปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมทั้งหมด

#### 3.5.4.2 การหาปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมที่ผิวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (Surface oil extraction)

การหาปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมที่ผิวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน โดยใช้วิธีการล้างด้วยเฮกเซน แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 ตาม โดยนำน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ปริมาณ 0.5 กรัม มาเติมตัวทำละลายเฮกเซน 20 มิลลิลิตร ทำการกวนบนเตาไฟฟ้า

และเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นเวลา 20 นาที แล้วกรองแยกส่วนเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินออก ทำการล้างส่วนที่ยังหลงเหลืออยู่ด้วยเฮกเซน ปริมาตร 2 มิลลิลิตร 3 ครั้ง แล้วนำส่วนที่เป็นของเหลวไประเหยตัวทำละลาย จนกระทั่งตัวทำละลายระเหยหมดแล้วหาปริมาณน้ำมันที่สกัดได้โดยนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง [42] ขั้นตอนดังกล่าวแสดงในรูป 3.5



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการหาปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมที่ผิวเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน

### 3.5.4.3 การคำนวณหาประสิทธิภาพการกักเก็บ (Encapsulation efficiency, EE) น้ำมันตะไคร้หอม

ประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำมันตะไคร้หอม (encapsulation efficiency, EE) คือ ร้อยละของน้ำมันตะไคร้หอมที่ถูกบรรจุไว้ในเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินเทียบกับปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมทั้งหมด โดยการนำปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมทั้งหมด และปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมที่ผิวเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน ที่สกัดได้จากข้อ 2.2 และ 2.3 มาชั่งน้ำหนักผลต่างของน้ำหนักคือปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมที่ถูกบรรจุในเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน คำนวณได้ดังสมการ 2.1 [44]

$$EE \text{ (ร้อยละ)} = \frac{(W_t - W_s)}{W_t} \times 100 \quad \text{สมการที่ (2.1)}$$

เมื่อ  $W_t$  = ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมทั้งหมด (กรัม)

$W_s$  = ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมที่ผิวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (กรัม)

#### 3.5.4.4 การคำนวณหาความสามารถในการกักเก็บ (Encapsulation capacity, EC) น้ำมันตะไคร้หอม

ความสามารถในการกักเก็บน้ำมันตะไคร้หอม(encapsulation capacity, EC) คือ ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมมากที่สุดที่บรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินได้ คำนวณได้ดังสมการ 2.2 [45]

$$EC \text{ (ร้อยละ)} = \frac{(W_t - W_s)}{(W_i - W_t)} \times 100 \quad \text{สมการที่ (2.2)}$$

เมื่อ  $W_t$  = ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมทั้งหมด (กรัม)

$W_s$  = ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมที่ผิวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (กรัม)

$W_i$  = ปริมาณตัวอย่างที่ใช้เริ่มต้น (กรัม)

#### 3.5.4.5 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA)

เทคนิคการวัดการเปลี่ยนแปลงมวลเนื่องจากความร้อน Thermogravimetric analysis (TGA) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน โดยวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของน้ำมันตะไคร้หอมและน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน เมื่อได้รับความร้อนภายใต้บรรยากาศที่สามารถควบคุมได้ ข้อมูลที่ได้จะแสดงในรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของสารตัวอย่างกับอุณหภูมิหรือเวลา เรียกกราฟนี้ว่า thermogravimetric curve, TGA curve โดยใช้ภาวะการทดลองดังนี้ อุณหภูมิที่ใช้คงที่ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

### 3.5.5 การทดสอบสมบัติของแผ่นโคโตะซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนที่เตรียมได้

#### 3.5.5.1 การทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

การทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นโคโตะซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ JEOL รุ่น JSM-6400LV จากเมืองโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เพื่อตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและความเข้ากันได้ของโคโตะซาน ฝ้ายก๊อช และน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนโดยตัดชิ้นงานแผ่นโคโตะซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีน ขนาด  $0.5 \times 0.5$  เซนติเมตร ไปติดกับแผ่นติดตัวอย่าง SEM เพื่อตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวชิ้นงาน และตัดชิ้นงานแผ่นโคโตะซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนที่ผ่านการทดสอบความทนแรงดึงโดยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ขนาด  $0.5 \times 0.5$  เซนติเมตร ไปติดกับแผ่นติดตัวอย่าง SEM เพื่อตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรอยแตกหักของชิ้นงาน และนำชิ้นงานที่เตรียมไว้ไปทำการฉาบผิวด้วยทองคำ ก่อนทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ใช้ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ และมีกำลังขยาย 35, 500, 5000 เท่า สำหรับการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวชิ้นงานแผ่นโคโตะซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีน และกำลังขยาย 500, 2500, 5000 เท่า สำหรับการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรอยแตกหักของชิ้นงานแผ่นโคโตะซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีน

#### 3.5.5.2 การทดสอบสมบัติความทนแรงดึง (Tensile properties)

การทดสอบสมบัติความทนแรงดึง ได้แก่ ความทนแรงดึง (tensile strength) และความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (elongation at break) ตามมาตรฐาน ASTM D882-83 แบบ E (constant rate of extension) ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (universal testing machine) ของบริษัท LLOYD รุ่น LLOYD 500 ดังแสดงในรูป 3.7 โดยการนำชิ้นทดสอบตัวอย่างแผ่นโคโตะซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนซึ่งมีขนาดความกว้าง 25 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร และความหนาอยู่ในช่วง 0.20-0.60 มิลลิเมตร ที่ภาวะในการทดสอบดึงนี้ แรงดึงสูงสุด (maximum load) 100 นิวตัน ใช้อัตราเร็วในการดึงชิ้นงาน 50 มิลลิเมตรต่อนาที และระยะห่างระหว่างตัวจับชิ้นงาน 100 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.6 เครื่อง SEM ของ JEOL รุ่น JSM-6400



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบแรงดึง (universal testing machine) ของบริษัท LLOYD รุ่น LLOYD 500

### 3.5.5.3 การทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus*

#### *aureus*

การทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* โดยวิธี Disc Diffusion นำเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ATCC 6538P ที่ใช้ในการทดสอบจาก stock เชื้อ มาเลี้ยงในอาหารเหลวชนิด tryptic soy broth (TSB) ทำให้เชื้อกระจายในอาหารโดยใช้ vortex mixer นำไปบ่มเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบมาปรับความขุ่นให้ได้ 0.1 OD 600 นาโนเมตร เทียบกับสารละลาย McFarland no. 0.5 โดยใช้สารละลายนอร์มัลซาลีน (sodium chloride 0.85% solution) ใช้สำลีพันปลายไม้ ที่ปราศจากเชื้อชุบแบคทีเรียนำไปเลี้ยงบน muller hinton agar (MHA) ใช้ตัวอย่างแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนที่ต้องการ ตัดเป็น สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5 มิลลิเมตร × 5 มิลลิเมตร วางในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ นำจานเพาะเชื้อนี้ไปเลี้ยงที่ 35-37 องศาเซลเซียส เมื่อครบ 18-24 ชั่วโมง วัดขนาดของบริเวณใส ที่ไม่มีแบคทีเรียขึ้นรอบตัวอย่างที่ทดสอบ (inhibitory zone) โดยวัดเป็นมิลลิเมตร

### 3.5.5.4 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption)

การดูดซึมน้ำของผ้าก๊อช พิล์มโคโตซาน แผ่นโคโตซาน/ผ้าก๊อช และแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักโคโตซาน ตามลำดับ วิเคราะห์โดยการตัดตัวอย่างให้มีขนาด 25 × 75 มิลลิเมตร ไปฟิล์มไปอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ (desiccator) นำแผ่นฟิล์มไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล แล้วนำแผ่นฟิล์มแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลานำแผ่นฟิล์มตัวอย่างซับน้ำพอหมาดแล้ว ทำการชั่งน้ำหนัก นำผลไปคำนวณหาค่า ร้อยละการดูดซึมน้ำ แสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักน้ำที่ดูดซึมกับน้ำหนักชิ้นทดสอบ แห่ง จำนวนร้อยละการดูดซึมน้ำได้ดังสมการ 2.3 :

$$\text{การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)} = \frac{(W_w - W_d)}{W_d} \times 100 \quad \text{สมการที่ (2.3)}$$

เมื่อ  $W_w$  = น้ำหนักชิ้นทดสอบเปียก (กรัม)

$W_d$  = น้ำหนักชิ้นทดสอบแห้ง (กรัม)

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองในงานวิจัยนี้ได้ทำการการศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันตะไคร้หอม แล้วเตรียมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินด้วยวิธีตกตะกอน เพื่อเพิ่มสมบัติยับยั้งแบคทีเรีย เพิ่มความเข้ากันได้ และการกระจายตัวของน้ำมันตะไคร้หอมในแผ่นโคโตซาน จากนั้นเตรียมแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบหล่อ โดยการเทสารละลายโคโตซานลงบนผ้าก๊อชชนิดที่ทำจากเส้นใยฝ้าย เพื่อเป็นแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ซึ่งทำให้มีความคงตัว มีเสถียรภาพทางรูปร่าง และมีสมบัติยับยั้งแบคทีเรีย และศึกษาสมบัติของแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่เตรียมได้ ซึ่งผลการศึกษาเป็นดังนี้

#### 4.1 การทดสอบความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งแบคทีเรีย (Minimal inhibitory concentration (MIC))

จากการทดสอบความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันตะไคร้หอมที่สามารถยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* โดยแปรผันความเข้มข้นของสารทดสอบ 7 ความเข้มข้น ในอัตราส่วนน้ำมันตะไคร้หอมต่อสารละลาย DMSO ดังนี้ 1:1, 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32 และ 1:64 แล้วทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ซึ่งพบว่าที่อัตราส่วนความเข้มข้นน้ำมันตะไคร้หอมต่อสารละลาย DMSO 1:1, 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32 และ 1:64 ตามลำดับ มีเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งแบคทีเรีย ขนาด 19, 13.8, 12, 9, 7, 6.5 และ 6.3 มิลลิเมตร ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาพบว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งแบคทีเรียนั้นแปรผันตรงกับ ความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้หอม เนื่องจากสารที่ใช้ในการเจือจางนั้นไม่สามารถละลายน้ำมันตะไคร้หอมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้มีลักษณะเป็นหยดน้ำมัน หากบริเวณใดมีหยดน้ำมันอยู่มาก มีความสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้มาก ทำให้ค่าความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียที่ได้ในความเข้มข้นต่างๆของน้ำมันตะไคร้หอมนั้นมีความแปรปรวนไม่คงที่

**ตารางที่ 4.1** ค่าความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้หอมที่ใช้ในการทดสอบ และเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ที่ความเข้มข้นต่างๆต่อสารละลาย DMSO

ความเข้มข้นน้ำมันตะไคร้หอม:สารละลาย	เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง (มิลลิเมตร)
DMSO	
1:1	19.0 ± 0.00
1:2	13.8 ± 0.25
1:4	12.0 ± 0.00
1:8	9.0 ± 0.00
1:16	7.0 ± 0.00
1:32	6.5 ± 0.00
1:64	6.3 ± 0.00

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

จากการทดสอบความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันตะไคร้หอมที่สามารถยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* โดยแปรผันความเข้มข้นของสารทดสอบ 7 ความเข้มข้น ในอัตราส่วนสารต่อสารละลาย tween 20 ดังนี้ 1:1, 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32 และ 1:64 แล้วทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ซึ่งพบว่าที่อัตราส่วนความเข้มข้นน้ำมันตะไคร้หอมต่อสารละลาย tween 20 1:1, 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32 และ 1:64 ตามลำดับ มีเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ขนาด 22, 22, 22, 22, 2, 1 มิลลิเมตร และไม่มียบริเวณใส ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 ค่าความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียที่ได้ความเข้มข้นต่างๆของน้ำมันตะไคร้หอมนั้นมีความคงที่มากกว่าการใช้สารละลาย DMSO ในการเจือจางเป็นผลมาจากสารละลายที่ใช้ในการเจือจางนั้นสามารถละลายน้ำมันตะไคร้หอม และเข้ากันได้ดีเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำมันตะไคร้หอมได้ และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งแบคทีเรีย พบว่าอัตราส่วนความเข้มข้นน้ำมันตะไคร้หอมต่อสารละลาย tween 20 ที่ต่ำที่สุดที่สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้คือ 1:32 จากผลของค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* แสดงให้เห็นว่า น้ำมันตะไคร้หอมมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ที่ใช้ทดสอบได้ โดยผลที่ได้คล้ายกับรายงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันตะไคร้หอม [6, 40] ซึ่งกลไกของการสลายเซลล์แบคทีเรียของน้ำมันตะไคร้หอมนั้นเกิดจากการที่สารประกอบในน้ำมันตะไคร้หอมนั้นมีสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ ซึ่งทำให้สามารถแพร่เข้าไป และไปรวมกลุ่มกันในส่วนที่เป็นไขมันในผนังเซลล์ และไมโทคอนเดรียของแบคทีเรียได้ ซึ่งทำลายฟอสโฟลิปิดบนผนังเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์เสียรูปร่าง และทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของไซโทพลาซึมถูกทำลาย จึงเกิดการรั่วของสิ่งที่อยู่



ภายในเซลล์ ทำให้น้ำซึมผ่านเข้าไปได้มาก ทำให้เกิดการแข็งตัวของไซโทพลาซึม และทำให้สารในไซโทพลาซึมตกตะกอน และทำให้ลดแรงขับเคลื่อนของโปรตอนซึ่งมีประโยชน์ในการสังเคราะห์ ATP ของเซลล์ และทำให้แบคทีเรียตาย [46]

**ตารางที่ 4.2** ค่าความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้หอมที่ใช้ในการทดสอบและเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ที่ความเข้มข้นต่างๆต่อสารละลาย tween 20

ความเข้มข้นน้ำมันตะไคร้หอม:สารละลาย tween 20	เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง (มิลลิเมตร)
1:1	22.0±0.00
1:2	22.0±0.00
1:4	22.0±0.00
1:8	22.0±0.00
1:16	2.0±0.00
1:32	1.0±0.00
1:64	-

หมายเหตุ เครื่องหมาย - = ไม่มีการเกิด Clear zone

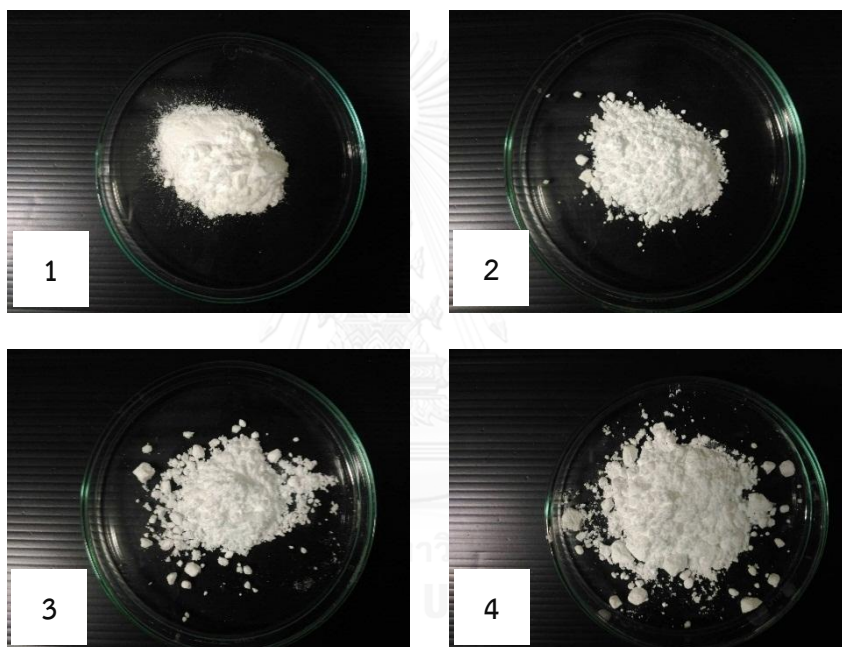
ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

#### 4.2 การทดสอบสมบัติของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

การเพิ่มสมบัติยับยั้งแบคทีเรียโดยใส่น้ำมันตะไคร้หอมในแผ่นโคโตซานนั้นหากทำการเติมน้ำมันตะไคร้หอมลงไปโดยตรงในสารละลายโคโตซานการกระจายตัวของน้ำมันตะไคร้หอม และความเข้ากันได้ของสารละลายดังกล่าวไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากสมบัติความไม่ชอบน้ำของน้ำมันตะไคร้หอมทำให้น้ำมันตะไคร้หอมที่ใส่ลงไปในสารละลายกลายเป็นหยดที่ลอยอยู่บนเนื้อสารละลายโคโตซานไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นในการเพิ่มความเข้ากันเป็นเนื้อเดียวของสารละลาย และการกระจายตัวของน้ำมันตะไคร้หอม ในงานวิจัยนี้จึงนำน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในไซโคลเด็กซ์ทริน ซึ่งใช้วิธีตกตะกอนในการบรรจุน้ำมันตะไคร้ในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ซึ่งเห็นได้จากการทดลองว่าน้ำมันตะไคร้หอมที่บรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินสามารถกระจายตัวในสารละลายโคโตซานได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันตะไคร้หอม แสดงให้เห็นว่าไซโคลเด็กซ์ทรินนั้นช่วยเพิ่มความเข้ากันเป็นเนื้อเดียวของสารละลาย และการกระจายตัวของน้ำมันตะไคร้หอม

#### 4.2.1 ลักษณะปรากฏของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

จากการบรรจุน้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอมด้วยเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินในอัตราส่วน 30:70, 40:60 และ 50:50 เมื่อมองด้วยตาเปล่า ดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่าสีของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินมีความแตกต่างจากเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินบริสุทธิ์ โดยเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินบริสุทธิ์มีสีขาว แต่น้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินมีสีเหลืองนวลเล็กน้อย เนื่องจากน้ำมันตะไคร้หอมมีสีเหลือง และน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินมีการเกาะกลุ่มรวมกันเป็นก้อน



รูปที่ 4.1 ลักษณะปรากฏของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (1) และน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินในอัตราส่วนต่างๆกัน 30:70 (2), 40:60 (3) และ 50:50 (4) ตามลำดับ

#### 4.2.2 การทดสอบสมบัติการกักเก็บของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

เนื่องจากน้ำมันตะไคร้หอมมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ซึ่งจากผลการทดสอบความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งแบคทีเรียในหัวข้อที่ 4.1 จึงนำน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน โดยกำหนดอัตราส่วนเริ่มต้นของน้ำมันตะไคร้หอมต่อเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ดังนี้ 30:70, 40:60 และ 50:50 หลังจากนั้นนำน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่เตรียมได้ มาสกัดหาปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมทั้งหมด และน้ำมันตะไคร้หอมที่ผิวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน พบว่าเมื่ออัตราส่วนของน้ำมันตะไคร้หอมต่อเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมทั้งหมด น้ำมันตะไคร้หอมที่ผิวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน และ น้ำมันตะไคร้หอมที่ถูกบรรจุเพิ่มขึ้น รวมทั้งความสามารถในการกักเก็บน้ำมันตะไคร้หอมเพิ่มขึ้น ดัง แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 จากการทดลองพบว่า ความสามารถในการกักเก็บน้ำมันหอมตะไคร้หอมอยู่ ระหว่างช่วงร้อยละ 24.26-37.79 โดยความจุของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อัตราส่วนของ ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมสูงขึ้น เมื่อคำนวณประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำมันตะไคร้หอม พบว่าน้ำมัน ตะไคร้หอมต่อเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน อัตราส่วน 30:70, 40:60 และ 50:50 มีค่าไม่แตกต่างกันคือ 89.95, 91.00 และ 91.66 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมเริ่มต้นที่เติมลงในแต่ละ อัตราส่วนเพิ่มขึ้น ทำให้มีปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมทั้งหมด รวมทั้งปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมที่ผิว เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินมีมากขึ้น โอกาสที่น้ำมันตะไคร้หอมถูกบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินมีมาก จึง มีประสิทธิภาพในการกักเก็บไม่แตกต่างกัน โดยผลที่ได้คล้ายกับรายงานวิจัยที่ศึกษาการบรรจุน้ำมัน มะนาวในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน อัตราส่วนต่างๆ พบว่าน้ำมันมะนาวบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินมี ประสิทธิภาพการกักเก็บเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของน้ำมันมะนาว แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วน ของน้ำมันมะนาวเป็น 12.88 เป็นประสิทธิภาพการกักเก็บลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำมันมะนาวที่เกาะ ที่ผิวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากผิวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังอาจเกิดจากการเติมน้ำมันมะนาวปริมาณมากขึ้น ทำให้เกิดการจับตัว กันเอง และไม่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ประสิทธิภาพการกักเก็บมีแนวโน้ม ลดลง เมื่ออัตราส่วนของน้ำมันมะนาวเริ่มต้นที่ลดลง เนื่องจากมีปริมาณน้ำมันมะนาวทั้งหมดน้อย ทำให้โอกาสที่น้ำมันมะนาวถูกบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินมีน้อย เมื่อคำนวณหาประสิทธิภาพการ กักเก็บจึงให้ค่าต่ำ [42]

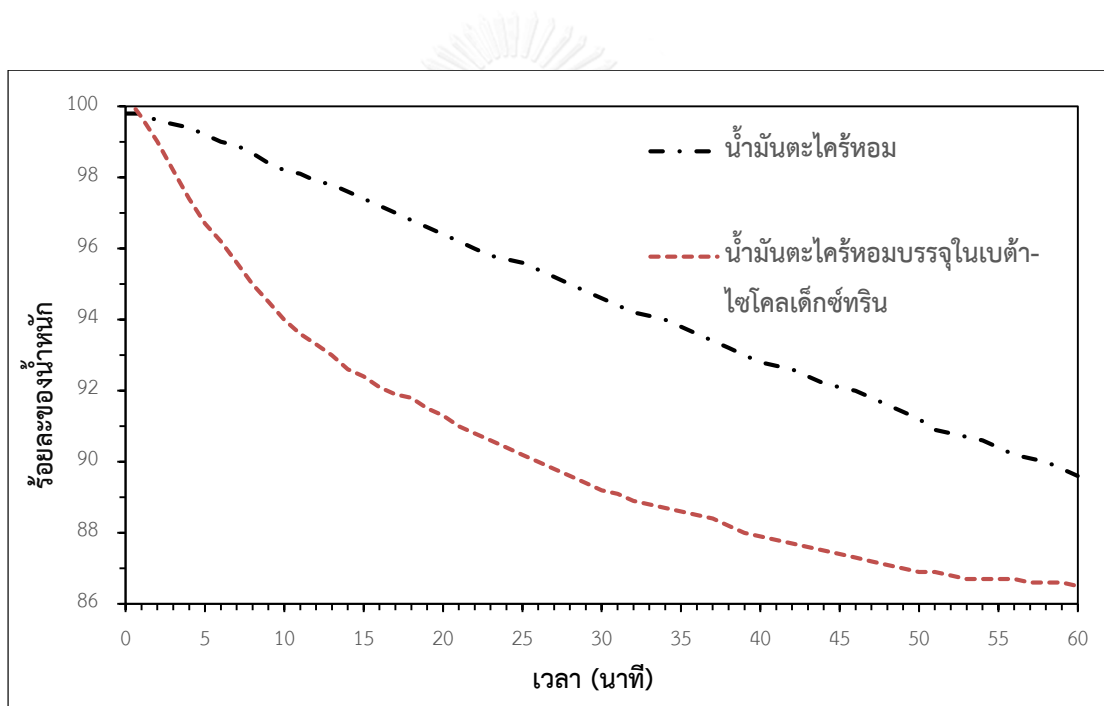
**ตารางที่ 4.3** สมบัติของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่มีอัตราส่วนของน้ำมันตะไคร้หอมต่อเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินต่างกัน

สมบัติ	อัตราส่วนของน้ำมันตะไคร้หอมต่อเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน		
	30:70	40:60	50:50
ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง)	106.52±1.85	134.42±2.25	145.96±1.57
ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมที่ผิวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง)	10.70±0.98	12.10±1.14	12.18±1.30
ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมที่ถูกกักเก็บ (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง)	95.82±2.31	122.32±1.15	133.78±1.26
ประสิทธิภาพการกักเก็บ, EE (ร้อยละ)	89.95±1.00	91.00±0.81	91.66±0.84
ความสามารถในการกักเก็บ, EC (ร้อยละ)	24.26±0.69	33.46±0.77	37.79±0.48

#### 4.2.3 สมบัติการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อน

ผลการวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของน้ำมันตะไคร้หอม และน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเมื่อได้รับความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) โดยเริ่มให้ความร้อนจนถึงที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสแล้วคงที่ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันตะไคร้หอมมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอย่างช้าๆค่อยๆลดลงในอัตราคงที่ ในขณะที่น้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอย่างรวดเร็ว ดังเห็นได้จากความชันของกราฟ ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าน้ำมันตะไคร้หอมนั้นโมเลกุลของมันอยู่รวมกันเป็นจำนวนมากจึงมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลด้วยตัวเองทำให้เมื่อได้รับความร้อนจึงค่อยๆระเหย ขณะที่น้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินนั้นน้ำมันตะไคร้หอมอยู่ในรูปโมเลกุลเดี่ยวๆในโมเลกุลของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินแต่ละโมเลกุล เมื่อได้รับความร้อนน้ำมันตะไคร้หอมในแต่ละโมเลกุลของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินจึงระเหยออกมา ทำให้กราฟน้ำหนักของน้ำมันตะไคร้

หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินน้ำหนักลดลงอย่างรวดเร็วกว่าหยดน้ำมัน แสดงว่าโมเลกุลน้ำมันตะไคร้หอม และโมเลกุลของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทั้งสองไม่ดีเมื่อได้รับความร้อนก็ระเหยออกมาได้ง่าย และจากกราฟของน้ำหนักน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเห็นว่าเมื่อคงที่อุณหภูมิไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที น้ำหนักของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเริ่มคงที่ และไซโคลเด็กซ์ทรินมีอุณหภูมิที่เริ่มสลายตัว และสลายตัวหมดอยู่ที่ประมาณ 343 องศาเซลเซียส [47] แสดงให้เห็นว่าในช่วงที่คงที่อุณหภูมิไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาทีนั้นเป็นการระเหยของน้ำมันตะไคร้หอม แสดงให้เห็นว่ารูปร่างของโมเลกุลที่ถูกบรรจุ และแรงยึดระหว่างโมเลกุลทั้งสองเป็นตัวกำหนดความแข็งแรงของการบรรจุได้



รูปที่ 4.2 TGA เทอร์โมแกรมของน้ำมันตะไคร้หอม และน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินในอัตราส่วน 50:50 เมื่อได้รับความร้อนภายใต้บรรยากาศที่อุณหภูมิที่ใช้คงที่ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

#### 4.3 การทดสอบสมบัติของแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนที่เตรียมได้

##### 4.3.1 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนที่เตรียมได้

รูปที่ 4.3 (1) แสดงลักษณะของฟิล์มไคโตซานที่เตรียมจากสารละลายไคโตซานร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก รูปที่ 4.3 (2) แสดงลักษณะของแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช และรูปที่ 4.3 (3), (4) และ (5) แสดงลักษณะของแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีน ปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซานตามลำดับ ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ ที่อุณหภูมิห้อง

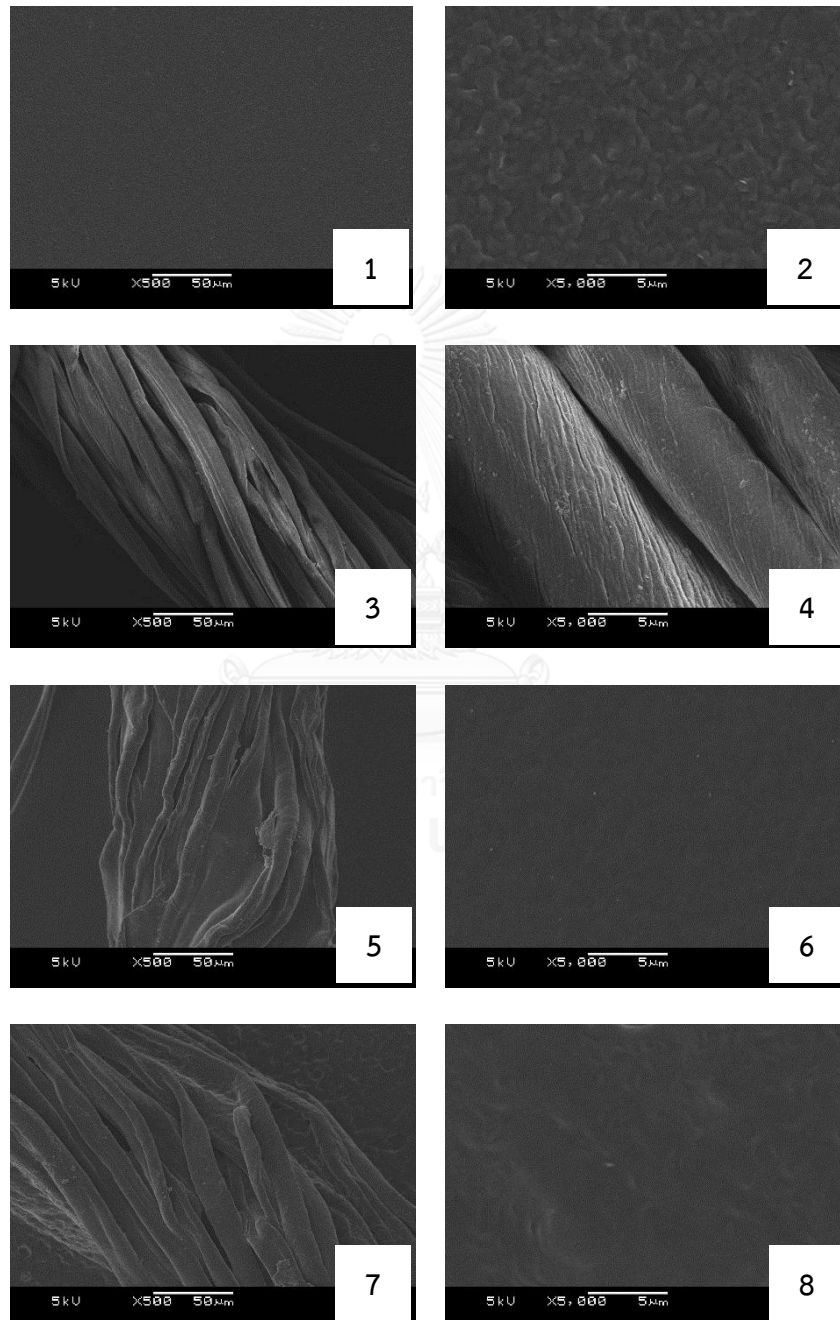


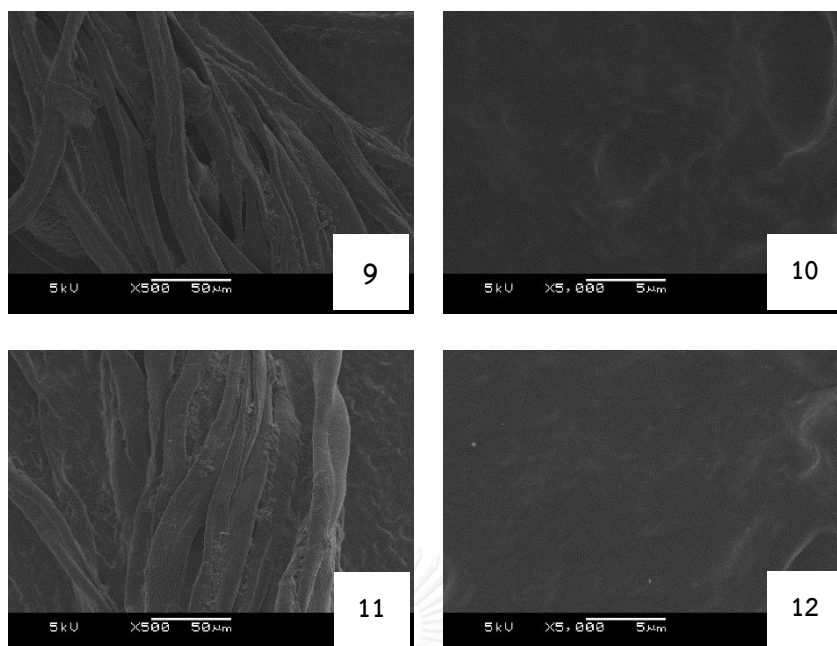
**รูปที่ 4.3** ลักษณะปรากฏของฟิล์มไคโตซาน (1), แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช (2) และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนปริมาณร้อยละ 5 (3), 10 (4) และ 15 (5) ของน้ำหนักไคโตซาน

จากรูป 4.3 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มไคโตซานมีลักษณะหดรัดตัวงอตัวไม่เป็นแผ่น เนื่องจากเกิดการหดตัวงอตัวในระหว่างกระบวนการทำให้แห้ง ส่วนแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช มีลักษณะคงรูปเป็นแผ่นมากขึ้น มีลักษณะงอเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าผ้าก๊อชช่วยปรับปรุงความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และป้องกันการหดตัว และงอตัวของฟิล์มไคโตซานระหว่างกระบวนการทำให้แห้ง ซึ่งตรงกันข้ามกับฟิล์มไคโตซานที่ฟิล์มหดตัว และงอตัวเนื่องจากการระเหยออกของน้ำ และแผ่นไคโตซาน/ผ้า

ฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินในปริมาณต่างๆ มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าไซโคลเด็กซ์ทรินมีความเข้ากันได้เป็นอย่างดีกับไคโตซาน

#### 4.3.2 การทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)





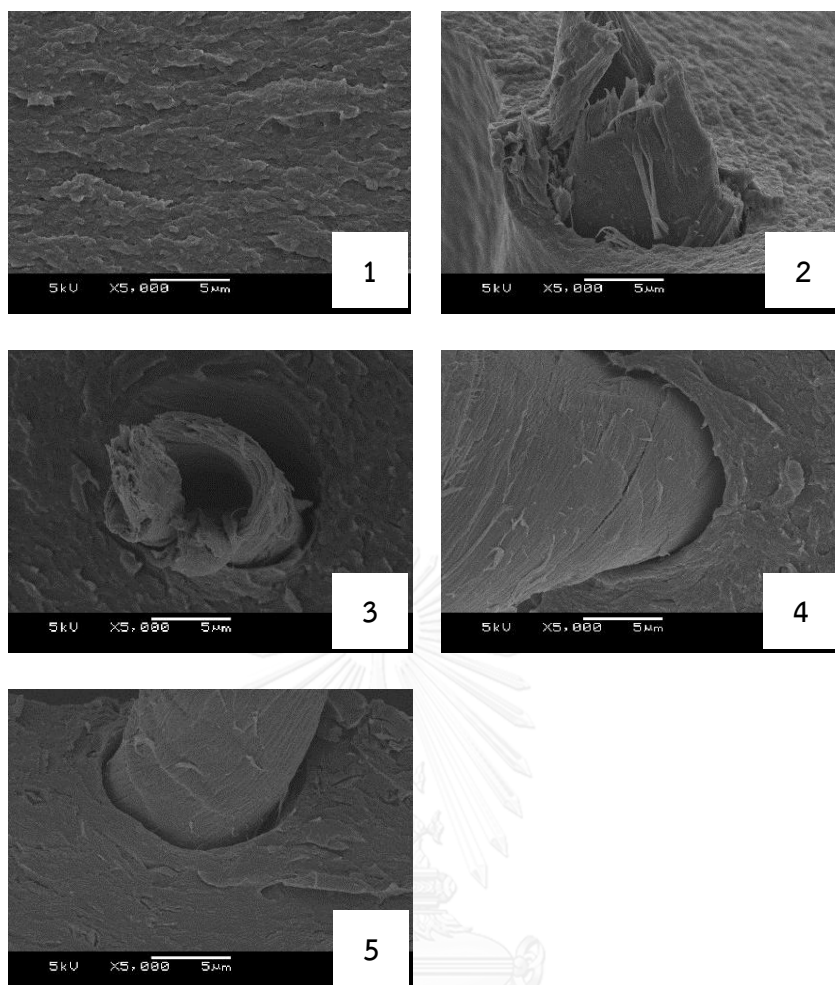
**รูปที่ 4.4** สัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวของฟิล์มไคโตซานกำลังขยาย 500x(1), 5000x(2), ผ้าฝ้ายก๊อซที่กำลังขยาย 500x (3), 5000x(4), แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อซกำลังขยาย 500x(5), 5000x(6), แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อซที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรีนปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักไคโตซานกำลังขยาย 500x(7), 5000x(8), แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อซที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรีนปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักไคโตซานกำลังขยาย 500x(9), 5000x(10) และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อซที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรีนปริมาณร้อยละ 15 ของน้ำหนักไคโตซานกำลังขยาย 500x(11), 5000x(12)

จากผลการทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่พื้นผิวของฟิล์มไคโตซาน, แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อซ และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อซที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรีนในปริมาณร้อยละต่างๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500x และ 5000x ดังแสดงในรูป 4.4 พบว่าบริเวณพื้นผิวของฟิล์มไคโตซานมีลักษณะเรียบ และพื้นผิวของผ้าก๊อซมีช่องว่างระหว่างเส้นใยแต่ละเส้น เมื่อนำผ้าก๊อซมาเป็นวัสดุฐานรองพบว่าเส้นใยฝ้ายถูกเคลือบด้วยเมทริกซ์ไคโตซาน เมื่อเติมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรีนในปริมาณร้อยละต่างๆ พบว่า น้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรีนมีการกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับเนื้อฟิล์มไคโตซาน แต่เมื่อพิจารณาลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่บริเวณพื้นผิวของเส้นใยฝ้าย พบว่าที่ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรีนร้อยละ 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซาน อนุภาคน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรีนปรากฏให้เห็นบนพื้นผิวของเส้นใยฝ้าย แสดงให้เห็น



ว่าน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ มีพฤติกรรมการรวมตัวเกาะกลุ่มก้อน อันเนื่องมาจากการเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน จึงเกิดการเกาะกลุ่มรวมกันระหว่างน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน ได้ง่ายกว่าแต่กระจายตัวได้ยากกว่าในเมทริกซ์ไคโตซาน

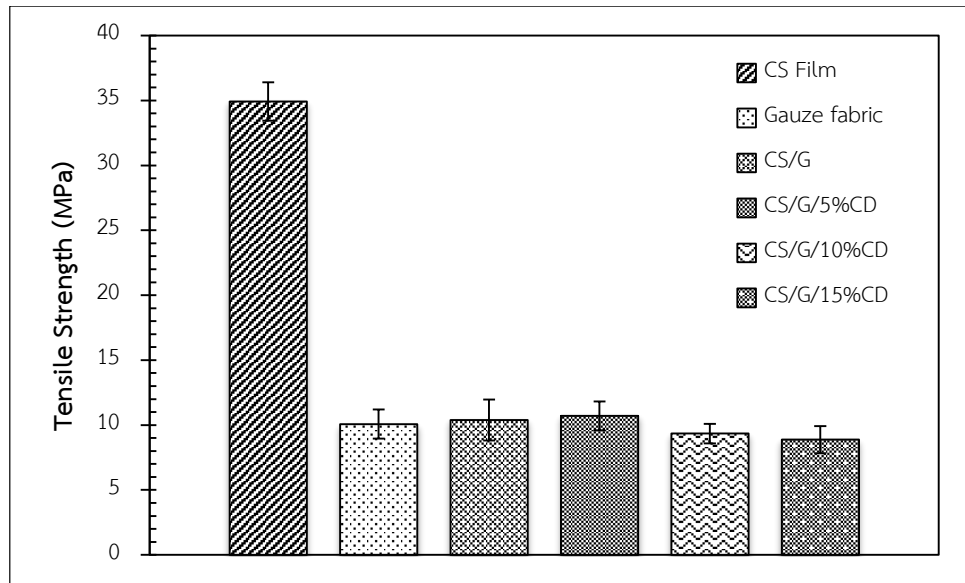
จากผลการทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่รอยแตกหักของฟิล์มไคโตซาน, แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินในปริมาณร้อยละต่างๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 5000x ดังแสดงในรูป 4.5 พบว่าฟิล์มไคโตซาน และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่บริเวณพื้นผิวรอยแตกหักมีลักษณะค่อนข้างเรียบ และเห็นได้ชัดว่าเส้นใยฝ้ายของผ้าก๊อชไปขัดขวางการต่อเนื่องของเมทริกซ์ไคโตซาน เมื่อเติมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินในปริมาณร้อยละต่างๆ พบว่าน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินมีการกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับเนื้อฟิล์มไคโตซานสอดคล้องกับในรูปที่ 4.4 นอกจากนี้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่รอยแตกหักของแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินในปริมาณร้อยละต่างๆ พบว่ามีช่องว่างเกิดขึ้นระหว่างไคโตซานเมทริกซ์ และเส้นใยฝ้าย แสดงให้เห็นว่ามีการยึดเกาะกันที่ไม่ดีระหว่างไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย ซึ่งลักษณะดังกล่าวที่กล่าวไว้ข้างต้นอาจส่งผลกระทบต่อสมบัติด้านอื่นๆของวัสดุ อันเนื่องมาจากการกระจายตัวของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน และการยึดเกาะกันของไคโตซาน และเส้นใยฝ้าย



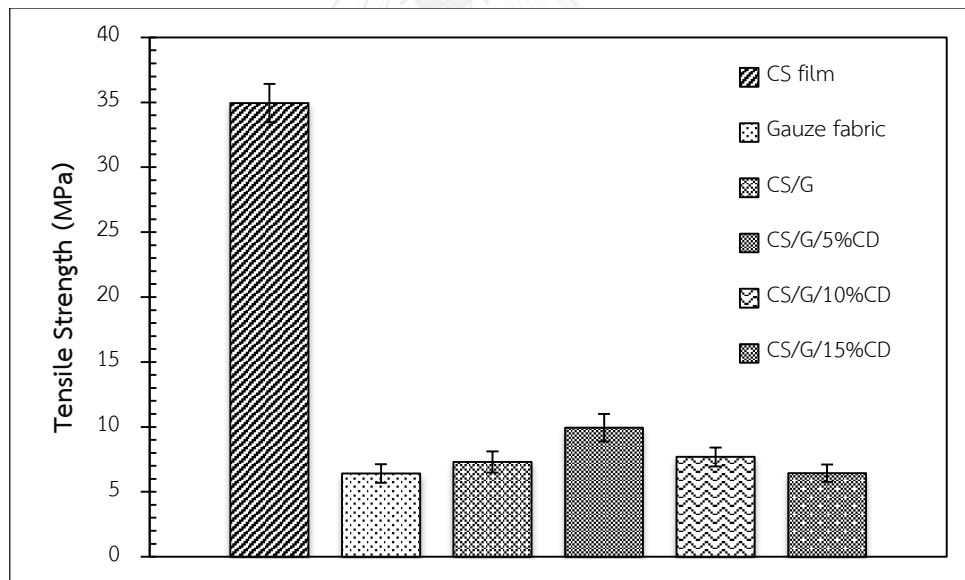
**รูปที่ 4.5** สัณฐานวิทยาบริเวณที่กำลังขยาย 5000x ของพื้นผิวรอยแตกหักฟิล์มไคโตซาน (1), แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช (2) และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5 (3), 10 (4) และ 15 (5) ของน้ำหนักไคโตซาน

#### 4.3.3 การทดสอบสมบัติความทนแรงดึง (Tensile properties)

ผลการวิเคราะห์ความทนแรงดึงของฟิล์มไคโตซาน, ผ้าฝ้ายก๊อช, แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละต่างๆ โดยทดสอบตามแนวด้ายยืน และแนวด้ายพุ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 ความทนแรงดึงของฟิล์มไคโตซาน, ผ้าฝ้ายก๊อช, แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ โดยทดสอบตามแนวด้ายยืน

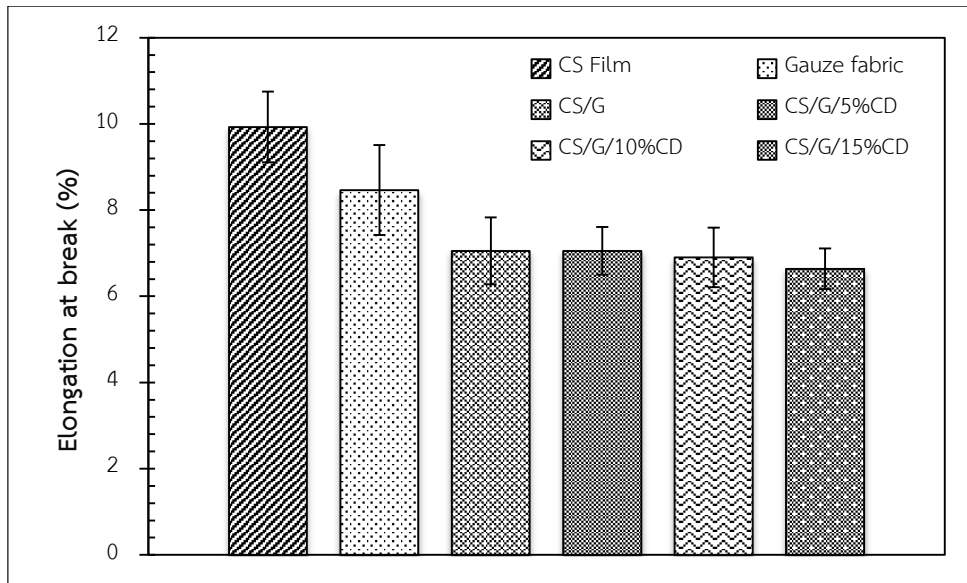


รูปที่ 4.7 ความทนแรงดึงของฟิล์มไคโตซาน, ผ้าฝ้ายก๊อช, แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ โดยทดสอบตามแนวด้ายพุ่ง

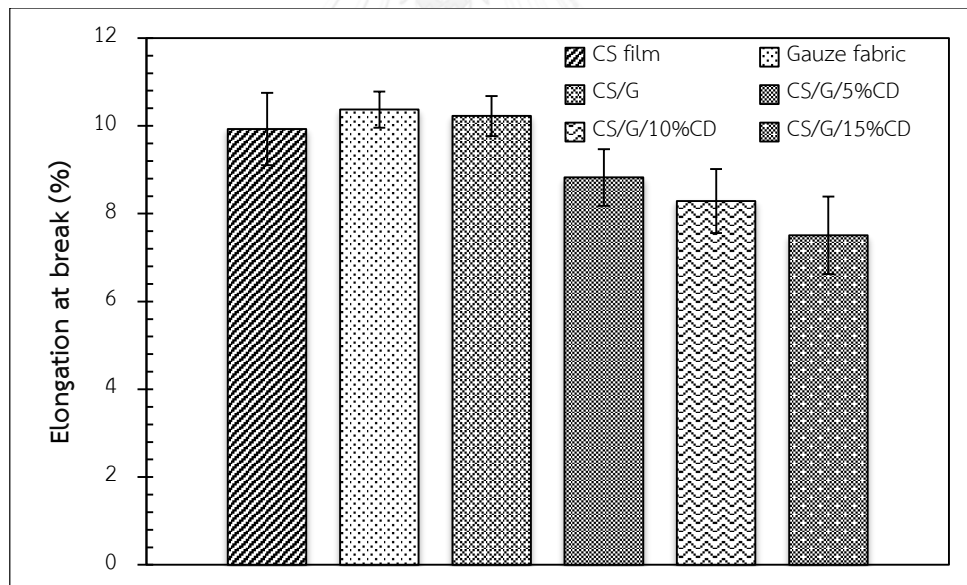
ผลการวิเคราะห์พบว่า แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชมีความทนแรงดึงลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับฟิล์มไคโตซาน ขณะเดียวกันก็มีความทนแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผ้าฝ้ายก๊อช ทั้งในทิศทางตามแนวด้ายยืน และแนวด้ายพุ่ง ซึ่งเป็นผลมาจากผ้าฝ้ายก๊อชมีความทนแรงดึงต่ำกว่าฟิล์มไคโตซาน และเมื่อนำผ้าฝ้ายก๊อชมาเป็นวัสดุฐานรองของฟิล์มไคโตซาน จึงทำให้เส้นใยฝ้ายไปขัดขวางการกระจายแรงของเมทริกซ์ไคโตซาน ประกอบกับเส้นใยฝ้าย และไคโตซานมีแรงยึดเหนี่ยวกันที่ไม่ดี ดังแสดงในรูป 4.5 จึงทำให้แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช มีความทนแรงดึงลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มไคโตซาน อย่างไรก็ตามไคโตซานที่มีความทนแรงดึงสูงกว่าจึงช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับผ้าฝ้ายก๊อชได้

เมื่อเติมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินลงไปแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสมบัติความทนแรงดึง กล่าวคือ เมื่อเติมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักไคโตซาน ความทนแรงดึงมีค่าสูงขึ้นทั้งในทิศทางตามแนวด้ายยืน และแนวด้ายพุ่ง ขณะที่เมื่อเติมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นเป็นปริมาณร้อยละ 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซาน ความทนแรงดึงมีค่าลดลง ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิดพันธะไฮโดรเจน ระหว่าง  $\text{NH}_3^+$  ของสายไซโคลโตซาน กับ  $\text{OH}^-$  ของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่บรรจุน้ำมันตะไคร้หอม ซึ่งทำให้เพิ่มการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุล ทำให้ลดการเคลื่อนไหวของโมเลกุล และปริมาตรช่องว่างของไคโตซานที่ทำให้โมเลกุลเคลื่อนไหวได้ อย่างไรก็ตามเมื่อเติมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินลงไปมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ค่าความทนแรงดึงลดลง เนื่องจากการที่ใส่น้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินลงไปมากเกินไปทำให้เกิดการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน ทำให้เกิดลักษณะเป็นข้อบกพร่องของชิ้นงานทำให้อนุภาคน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายไซโคลโตซาน ส่งผลให้วัสดุไม่สามารถกระจายแรงไปตามสายไซโคลโตซานได้เต็มที่เท่าที่ควร โดยผลที่ได้คล้ายกับรายงานวิจัยที่ศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มไคโตซานที่มีไซโคลเด็กซ์ทรินที่บรรจุน้ำมันหอมระเหยในปริมาณต่างๆที่มีค่าความทนแรงดึงลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของไซโคลเด็กซ์ทรินที่บรรจุน้ำมันหอมระเหย [43]

ผลการวิเคราะห์ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มไคโตซาน ผ้าฝ้ายก๊อช แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินในปริมาณร้อยละต่างๆ โดยทดสอบตามแนวด้ายยืน และแนวด้ายพุ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มไคโตซาน, ผ้าฝ้ายก๊อช, แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช และ แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ โดยทดสอบตามแนวตั้งยยืน



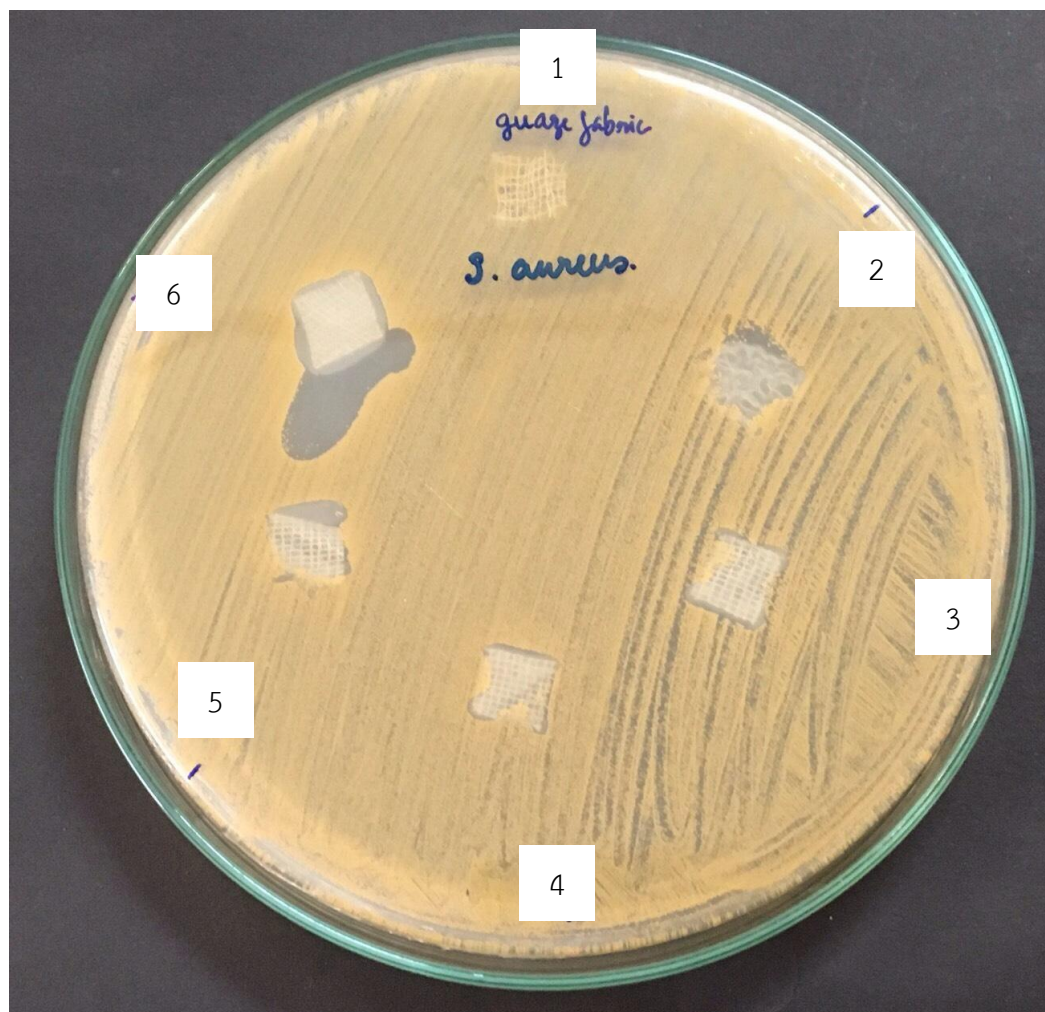
รูปที่ 4.9 ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มไคโตซาน, ผ้าฝ้ายก๊อช, แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช และ แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ โดยทดสอบตามแนวตั้งยพุ่ง

จากการทดลองพบว่า แผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชมีค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดลดลง เนื่องจากเส้นใยฝ้ายกับโคโตซานมีการยึดเหนี่ยวกันที่ไม่ดี เมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอกเส้นใยฝ้าย จึงไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลของโคโตซาน ส่งผลให้วัสดุไม่สามารถกระจายแรงไปตามสายโซ่ได้ดีเท่าที่ควร ทำให้ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดมีค่าลดลง และเมื่อเติมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินลงไป ทำให้ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการเติมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินลงไปในโคโตซานนั้น ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวที่แข็งแรงระหว่างฟิลเลอร์ และเมทริกซ์ ซึ่งจะปลดความยืดหยุ่น ทำให้ความยืดสูงสุด ณ จุดขาดลดลง เนื่องจากแรงดังกล่าวไปต้านทานการเคลื่อนไหวของเมทริกซ์ ประกอบกับการรวมกลุ่มกันของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่มีการเติมลงไปปริมาณมากเกินไป ทำให้ไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุล ส่งผลให้วัสดุไม่สามารถกระจายแรงไปตามสายโซ่ได้ดีเท่าที่ควร

#### 4.3.4 การทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus*

จากผลการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ในรูปที่ 4.10 พบว่าในงานเลี้ยงเชื้อผ้าฝ้ายก๊อชมีแบคทีเรียเจริญบนตัวอย่าง และอาหารเลี้ยงเชื้อ แสดงให้เห็นว่าผ้าฝ้ายก๊อชนั้นไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ขณะที่โคโตซานมีแบคทีเรียเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ แต่ไม่เจริญบนแผ่นฟิล์ม และไม่พบบริเวณใสที่ไม่มีแบคทีเรียขึ้นรอบตัวอย่างที่ทดสอบ (inhibitory zone) โดยผลที่ได้คล้ายกับรายงานวิจัยที่ศึกษาการยับยั้งเชื้อราโดยแผ่นฟิล์มโคโตซาน [48] ในส่วนของแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชมีแบคทีเรียเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ แต่ไม่เจริญบนแผ่นฟิล์ม และไม่พบบริเวณใสที่ไม่มีแบคทีเรียขึ้นรอบตัวอย่างที่ทดสอบ ขณะที่แผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินในปริมาณร้อยละต่าง ๆ นั้น พบว่าเมื่อเติมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักโคโตซานมีแบคทีเรียเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ แต่ไม่เจริญบนแผ่นฟิล์ม และพบบริเวณใสที่ไม่มีแบคทีเรียขึ้นรอบตัวอย่างที่ทดสอบขนาดเล็กมากไม่แตกต่างกับแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช เนื่องจากปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินนั้นปริมาณไม่มากพอที่สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ และเมื่อเติมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 10 และ 15 ของน้ำหนักโคโตซานเพิ่มขึ้นตามลำดับ พบว่ามีแบคทีเรียเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ แต่ไม่พบบนแผ่นฟิล์ม และพบ

บริเวณใสที่ไม่มีแบคทีเรียขึ้นรอบแผ่นตัวอย่างที่ทดสอบขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน



รูปที่ 4.10 บริเวณใสที่เกิดที่ผ้าฝ้ายก๊อช (1), พลาสติกโพลีเอทิลีน (2), แผ่นโพลีเอทิลีน/ผ้าฝ้ายก๊อช (3) และแผ่นโพลีเอทิลีน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5 (4) 10 (5) และ 15 (6) ของน้ำหนักโพลีเอทิลีน ตามลำดับ

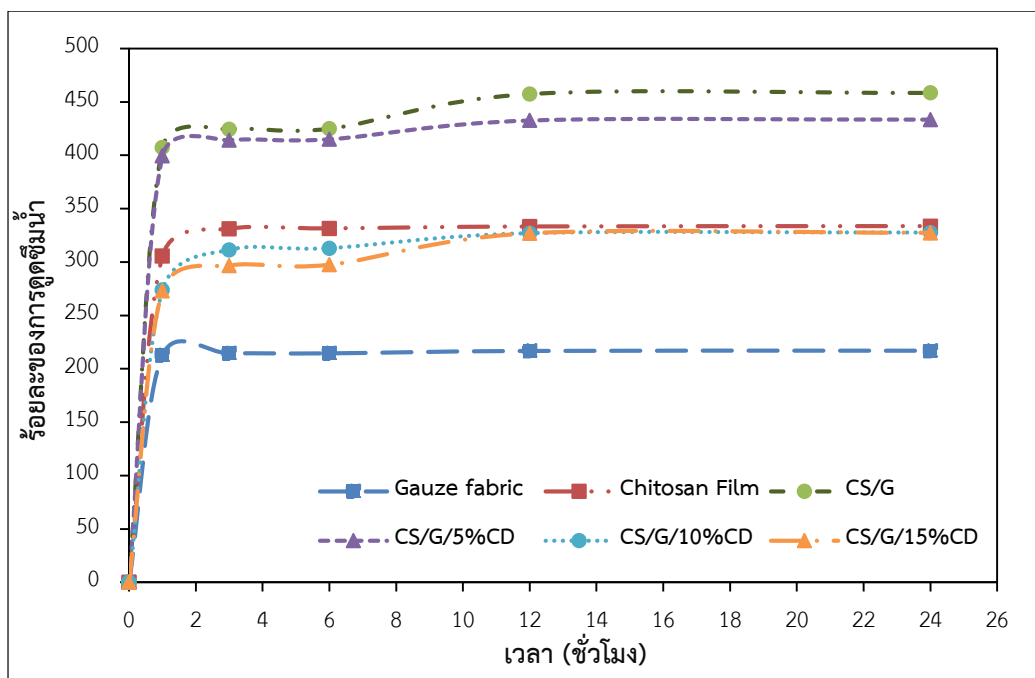
ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มโพลีเอทิลีนสามารถยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น กล่าวคือ เมื่อวางแผ่นโพลีเอทิลีนลงบนจานเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียไม่เข้าใกล้บริเวณดังกล่าว และโมเลกุลโพลีเอทิลีนก็ไม่สามารถที่เคลื่อนที่ไปเพื่อยับยั้งแบคทีเรียได้ ซึ่งการยับยั้งแบคทีเรียของโพลีเอทิลีนนั้นไม่ได้เกิดโดยตรงแต่เกิดจากแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตระหว่างประจุบวกของโพลีเอทิลีน และ

ประจุลบที่ผิวเซลล์แบคทีเรีย เช่น N-acetyl, muramic acid, sialic acid และ neuraminic acid ซึ่งทำให้การส่งผ่านสารอาหาร และเกลือแร่ต่างๆเปลี่ยนแปลง สมดุลเคมีของแบคทีเรียเสียไป โมเลกุลของโคโตซานไปจับกับโลหะทรานซิชันซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาในเซลล์แบคทีเรีย ทำให้การสังเคราะห์สารต่างๆที่จำเป็นต่อการเจริญของแบคทีเรียหยุดลง [49] ในกรณีแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินในปริมาณร้อยละต่างๆนั้น จากผลการทดลองก่อนหน้านี้ในหัวข้อ 4.1 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันตะไคร้หอมสามารถยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ซึ่งสอดคล้องกับในรูปที่ 4.10 (4), (5) และ (6) ที่มีแบคทีเรียเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ แต่ไม่พบบนแผ่นฟิล์ม และพบบริเวณใสที่ไม่มีแบคทีเรียขึ้นรอบแผ่นตัวอย่างที่ทดสอบที่มีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน จากรูปดังกล่าวคาดว่าน้ำมันตะไคร้หอมที่ถูกบรรจุอยู่ในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินนั้นค่อยๆปลดปล่อยออกมาอย่างช้าๆ เพื่อยับยั้งแบคทีเรียในบริเวณใกล้เคียงของแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน โดยที่ปริมาณร้อยละของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่แตกต่างกันนั้น ส่งผลต่อขนาดของบริเวณใสที่ไม่มีแบคทีเรีย กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณร้อยละของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของโคโตซาน ขนาดของบริเวณใสที่ไม่มีแบคทีเรียเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มสมบัติยับยั้งแบคทีเรียได้โดยเติมน้ำมันตะไคร้หอมลงไปในแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช ซึ่งจากรูปที่ 4.10 เห็นได้ชัดว่าแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 15 ของน้ำหนักโคโตซาน สามารถยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ดีที่สุด

#### 4.3.5 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption)

จากการศึกษาการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้ายก๊อช, ฟิล์มโคโตซาน, แผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช และแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักโคโตซาน ตามลำดับ โดยการนำตัวอย่างแช่น้ำแล้วเก็บตัวอย่างเมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา 1, 3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง นำไปชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณหาค่าร้อยละการดูดซึม ดังแสดงในรูป 4.11



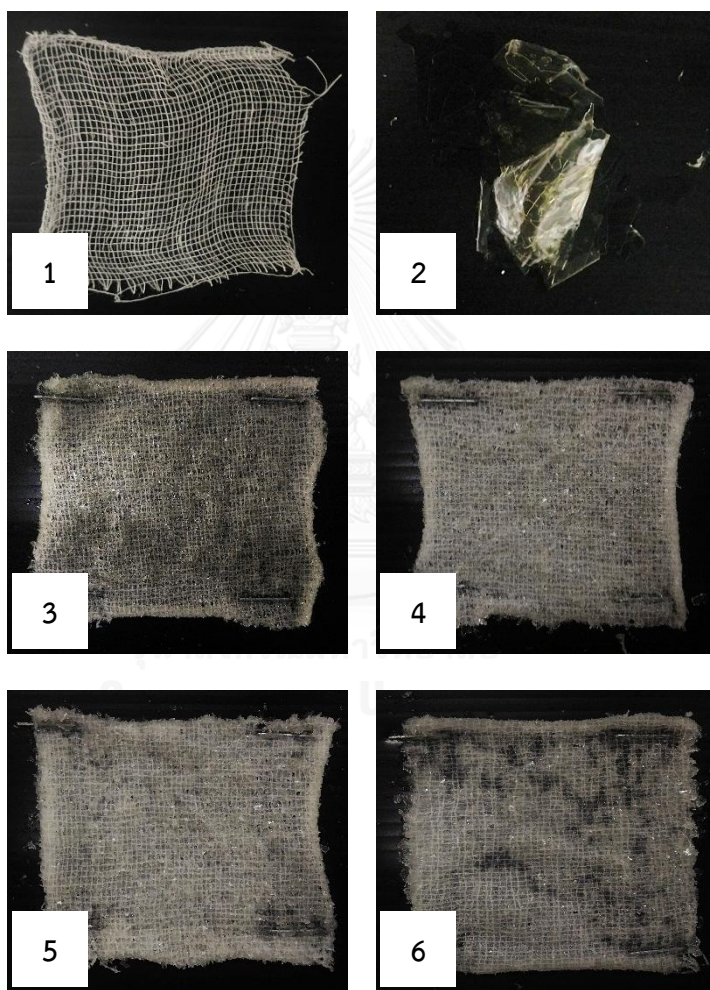


รูปที่ 4.11 ร้อยละการดูดซึมน้ำที่เวลาต่างๆของผ้าฝ้ายก๊อช, फिल्मไคโตซาน, แผ่นไคโตซาน/ผ้าก๊อช และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ

พบว่า การดูดซึมในช่วงแรกของทั้งผ้าฝ้ายก๊อช, फिल्मไคโตซาน, แผ่นไคโตซาน/ผ้าก๊อช และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และในช่วงหลังเพิ่มขึ้นอย่างเล็กน้อย และเริ่มคงที่ โดยฟิล์มไคโตซานสามารถดูดซึมน้ำได้มากกว่าผ้าฝ้ายก๊อช เนื่องจากไคโตซานมีพื้นผิวในการดูดซึมน้ำมากกว่าผ้าฝ้ายก๊อช ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกตัวเข้าไปได้มากกว่า ประกอบกับบริเวณพื้นผิวของทั้งสองมีสมบัติที่ชอบน้ำ ทำให้สามารถดูดซึมน้ำได้และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชสามารถดูดซึมน้ำได้มากกว่าทั้งฟิล์มไคโตซาน และผ้าฝ้ายก๊อช เนื่องจากการที่เส้นใยฝ้ายของผ้าก๊อชแทรกตัวอยู่ในโมเลกุลของไคโตซานทำให้โมเลกุลของน้ำแทรกตัวเข้าไปที่พื้นผิวของไคโตซาน และเส้นใยฝ้ายได้ง่าย และมากยิ่งขึ้น เมื่อดูดซึมน้ำพบว่าแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชมีลักษณะเป็นเจลใส ดังแสดงในรูป 4.12 ขณะที่ฟิล์มไคโตซานไม่คงรูปมีการฉีกขาด ดังนั้นเมื่อนำผ้าก๊อชมาเป็นวัสดุฐานรองช่วยทำให้ไคโตซานคงรูปได้

ในกรณีแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินในปริมาณร้อยละต่าง ๆ นั้น เมื่อเพิ่มปริมาณร้อยละน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

พบว่าร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องมาจากการเกิดพันธะไฮโดรเจน ระหว่าง  $\text{NH}_3^+$  ของสายโพลีไคโตซาน กับ  $\text{OH}^-$  ของเบต้า-ไซโคลเด็คซ์ทรินที่บรรจุน้ำมันตะไคร้หอม ซึ่งทำให้เพิ่มการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุล ทำให้ลดปริมาตรช่องว่างของไคโตซาน จึงทำให้เกิดการขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำ ทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าสู่ฟิล์มเพิ่มขึ้น และในการเชื่อมขวางนี้ส่งผลให้หมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำของไคโตซานจำนวนลดลงเมื่อเกิดการเชื่อมขวาง ดังนั้นความชอบน้ำจึงลดลง เมื่อเติมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็คซ์ทรินในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้การดูดซึมน้ำลดลงไปด้วย [50, 51]



รูปที่ 4.12 ลักษณะปรากฏของผ้าฝ้ายก๊อช (1), ฟิล์มไคโตซาน (2), แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช (3) และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็คซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5 (4) 10 (5) และ 15 (6) ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการการศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันตะไคร้หอม แล้วเตรียมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินด้วยวิธีตกตะกอน เพื่อเพิ่มสมบัตียับยั้งแบคทีเรีย เพิ่มความเข้ากันได้ และการกระจายตัวของน้ำมันตะไคร้หอมในแผ่นโคโตซาน จากนั้นเตรียมแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบหล่อ โดยการเทสารละลายโคโตซานลงบนผ้าก๊อชชนิดที่ทำจากเส้นใยฝ้าย เพื่อเป็นแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน ซึ่งทำให้มีความคงตัว มีเสถียรภาพทางรูปร่าง และมีสมบัตียับยั้งแบคทีเรีย และศึกษาสมบัติของแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินที่เตรียมได้ ซึ่งผลการศึกษสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 จากผลการทดสอบความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันตะไคร้หอม พบว่าน้ำมันตะไคร้หอมสามารถยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ซึ่งเกิดจากการที่สารประกอบในน้ำมันตะไคร้หอมนั้นมีสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ ซึ่งทำให้สามารถแพร่เข้าไป และไปรวมกลุ่มกันในส่วนที่เป็นไขมันในผนังเซลล์และไมโทคอนเดรียของแบคทีเรียได้ ซึ่งทำลายฟอสโฟลิปิดบนผนังเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์เสียรูปร่าง และทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของไซโทพลาซึมถูกทำลาย จึงเกิดการรั่วของสิ่งที่อยู่ภายในเซลล์ ทำให้น้ำซึมผ่านเข้าไปได้มาก ทำให้เกิดการแข็งตัวของไซโทพลาซึม ทำให้สารในไซโทพลาซึมตกตะกอน และทำให้ลดแรงขับเคลื่อนของโปรตอนซึ่งมีประโยชน์ในการสร้างสาร ATP ของเซลล์ และทำให้แบคทีเรียตาย

5.1.2 เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินสามารถบรรจุน้ำมันตะไคร้หอมได้ โดยโดยใช้วิธีตกตะกอน ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนของน้ำมันตะไคร้หอมต่อเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินที่เหมาะสมคือ 50: 50 ซึ่งมีค่าความสามารถในการกักเก็บร้อยละ 37.79 และประสิทธิภาพในการกักเก็บร้อยละ 91.66

5.1.3 จากการทดลองเปรียบเทียบผลของฟิล์มโคโตซาน ผ้าฝ้ายก๊อช และแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช พบว่า ฟิล์มโคโตซานมีลักษณะหดรัดตัวไม่เป็นแผ่นเรียบ ส่วนแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชมีลักษณะคงรูปเป็นแผ่นเรียบมากขึ้น มีลักษณะงอเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าผ้าฝ้ายก๊อชช่วยปรับปรุง

ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และป้องกันการหดตัว และงอตัวของฟิล์มไคโตซานได้ แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชมีความทนแรงดึงลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับฟิล์มไคโตซาน ซึ่งเป็นผลมาจากผ้าก๊อชมีความทนแรงดึงต่ำกว่าไคโตซาน และเมื่อนำผ้าก๊อชมาเป็นวัสดุฐานรองของฟิล์มไคโตซาน จึงทำให้เส้นใยฝ้ายไปขัดขวางการกระจายแรงของเมทริกซ์ไคโตซาน ประกอบกับเส้นใยฝ้าย และไคโตซานมีแรงยึดเหนี่ยวกันที่ไม่ดีซึ่งสังเกตได้จากลักษณะทางสัณฐานวิทยา อย่างไรก็ตามแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชมีความทนแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผ้าก๊อช ทั้งในทิศทางตามแนวด้ายยืน และแนวด้ายพุ่ง และพบว่าแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชมีสมบัติในการยับยั้งเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผ้าฝ้ายก๊อช เมื่อวางแผ่นไคโตซานลงบนจานเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียไม่เข้าใกล้บริเวณดังกล่าว และโมเลกุลไคโตซานก็ไม่สามารถที่เคลื่อนที่ไปเพื่อยับยั้งแบคทีเรียได้ ซึ่งการยับยั้งแบคทีเรียของไคโตซานนั้นไม่ได้เกิดโดยตรงแต่เกิดจากแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตระหว่างประจุบวกของไคโตซาน และประจุลบที่ผิวเซลล์แบคทีเรีย ซึ่งทำให้การส่งผ่านสารอาหาร และเกลือแร่ต่างๆเปลี่ยนแปลง สมดุลเคมีของแบคทีเรียเสียไป โมเลกุลของไคโตซานไปจับกับโลหะทรานซิชันซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาในเซลล์แบคทีเรีย ทำให้การสังเคราะห์สารต่างๆที่จำเป็นต่อการเจริญของแบคทีเรียหยุดลง นอกจากนี้ยังพบว่าแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชมีสมบัติการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผ้าฝ้ายก๊อช และฟิล์มไคโตซาน

5.1.5 จากการทดลองเปรียบเทียบผลของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนในปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักไคโตซาน พบว่าเมื่อเติมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักไคโตซานลงไปแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช ความทนแรงดึงมีค่าสูงขึ้นทั้งในทิศทางตามแนวด้ายยืน และแนวด้ายพุ่ง ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิดพันธะไฮโดรเจน ระหว่าง  $\text{NH}_3^+$  ของสายโซ่ไคโตซาน กับ  $\text{OH}^-$  ของเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนที่บรรจุน้ำมันตะไคร้หอม เพิ่มความเข้ากันได้ของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนกับไคโตซาน ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะทางสัณฐานวิทยา ขณะที่เมื่อเติมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนเพิ่มขึ้นเป็นปริมาณร้อยละ 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซาน ความทนแรงดึงมีค่าลดลง ตามลำดับ เนื่องจากการเติมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนลงไปมากเกินไปทำให้เกิดการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน สังเกตได้จากลักษณะทางสัณฐานวิทยา ส่งผลให้วัสดุไม่สามารถกระจายแรงไปตามสายโซ่ได้ดีเท่าที่ควร และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณร้อยละของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนเป็นร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของไคโตซาน สมบัติในการยับยั้งแบคทีเรียเพิ่มขึ้น ซึ่งคาดว่าน้ำมันตะไคร้หอมที่ถูกบรรจุอยู่ในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนนั่นคือ

ปลดปล่อยออกมาอย่างช้าๆ เพื่อยับยั้งแบคทีเรียในบริเวณใกล้เคียงของแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน และแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 15 ของน้ำหนักโคโตซาน สามารถยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ดีที่สุด และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณร้อยละของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของโคโตซาน สมบัติการดูดซึมน้ำลดลง

5.1.6 แผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินสามารถพัฒนาไปเป็นผ้าพันแผล และแผ่นปิดแผลไว้ด้วยกันได้ โดยการเตรียมแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินด้วยวิธีการหล่อ ซึ่งผ้าฝ้ายก๊อชมีส่วนช่วยให้ฟิล์มโคโตซานคงรูป และโคโตซานก็ช่วยให้มีสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรีย อีกทั้งน้ำมันตะไคร้หอมช่วยเพิ่มสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรียอีกด้วย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาสมบัติด้านอื่นของแผ่นโคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน อาทิ สมบัติการซึมผ่านของออกซิเจน เพื่อนำไปพัฒนาเป็นผ้าพันแผล และแผ่นปิดแผลต่อไป

5.2.2 ศึกษาวิธีการบรรจุน้ำมันตะไคร้หอมในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่ทำให้ความสามารถในการกักเก็บน้ำมันตะไคร้หอมมีค่าเพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย

## รายการอ้างอิง

- [1] Dunning, H.S. Wounds and injuries. American Journal of Orthodontics and Oral Surgery 28(4) (1942): B199-B201.
- [2] Abbasipour, M., Mirjalili, M., Khajavi, R., and Majidi, M.M. Coated cotton gauze with Ag/ZnO/chitosan nanocomposite as a modern wound dressing. Journal of Engineered Fabrics & Fibers (JEFF) 9(1) (2014).
- [3] Öktem, T. Surface treatment of cotton fabrics with chitosan. Coloration Technology 119(4) (2003): 241-246.
- [4] Nawalakhe, R., et al. Novel atmospheric plasma enhanced chitosan nanofiber/ gauze composite wound dressings. Journal of Applied Polymer Science 129(2) (2013): 916-923.
- [5] Harkins, A.L., Duri, S., Kloth, L.C., and Tran, C.D. Chitosan–cellulose composite for wound dressing material. Part 2. Antimicrobial activity, blood absorption ability, and biocompatibility. Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials 102(6) (2014): 1199-1206.
- [6] อัจฉรัตน์ สุวรรณภักดี, รังสิมา สายศรทิพย์ และ ศุภารัตน์ สุทธิมุสิก. ประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้และตะไคร้หอมในการยับยั้งเชื้อก่อโรคเต้านมอักเสบในโคนม: *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae* และ *Escherichia coli*. แก่นเกษตร 40(ฉบับพิเศษ 2) (2555): 230-235.
- [7] ญัฐกานต์ วงศ์สีสม, จามจรี จินะตา, บุษบา มะโนแสน, จีร์รัชต์ กันทะขู้, สุรีพร วันควร และ สุภาวดี ศรีแย้ม. การศึกษาฤทธิ์ต้านแบคทีเรียก่อโรคในอาหารของน้ำมันหอมระเหยจากมะแขว่น. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 37(1) (2557): 3-15.
- [8] นงนุช อุดคุด. ฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์และฤทธิ์ต้านเชื้ออนุมูลอิสระของน้ำมันหอมระเหยบางชนิด. ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์ชีวผลิตภัณฑ์ สายวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2555.
- [9] กนกวรรณ ปรีชารัตน์, และ เกตุวดี ใจปัญญา. การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากต้นตะไคร้หอม และฤทธิ์ในการฆ่าลูกน้ำยุง. ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต, สาขาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครศรีธรรมราช, 2547.

- [10] Teixeira, B., et al. Chemical composition and antibacterial and antioxidant properties of commercial essential oils. Industrial Crops and Products 43 (2013): 587-595.
- [11] Younes, I. and Rinaudo, M. Chitin and chitosan preparation from marine sources. Structure, properties and applications. Marine Drugs 13(3) (2015): 1133-1174.
- [12] Shahidi, F., Arachchi, J.K.V., and Jeon, Y.-J. Food applications of chitin and chitosans. Trends in Food Science & Technology 10(2) (1999): 37-51.
- [13] Zargar, V., Asghari, M., and Dashti, A. A review on chitin and chitosan polymers: structure, chemistry, solubility, derivatives, and applications. ChemBioEng Reviews 2(3) (2015): 204-226.
- [14] Dutta, P.K., Dutta, J., and Tripathi, V. Chitin and chitosan: chemistry, properties and applications. Journal of Scientific & Industrial Research 63 (2004): 20-31.
- [15] Goy, R. C., Britto, D. d., and Assis, O. B. A review of the antimicrobial activity of chitosan. Polímeros 19(3) (2009): 241-247.
- [16] Rinaudo, M. Chitin and chitosan: properties and applications. Progress in Polymer Science 31(7) (2006): 603-632.
- [17] สุธิดา คงทอง. ไคติน-ไคโตซาน (Chitin-Chitosan). วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา 3(1) (2552): 1-7.
- [18] Pillai, C., Paul, W., and Sharma, C.P. Chitin and chitosan polymers: chemistry, solubility and fiber formation. Progress in Polymer Science 34(7) (2009): 641-678.
- [19] วิชชุดา ยั่งยืน. การปรับปรุงความสามารถการย้อมติดสีและตกแต่งสำเร็จด้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายด้วยแคตไอออนิกไฮเพอร์บรานซ์พอลิเอมีโตเอมีน-ไคโตซาน. ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.
- [20] ศราวุธ แสงอุไร. การสกัดแยกพอลิเมอร์ชีวภาพจากครัสเตเชียน การเตรียมอนุพันธ์ และการใช้ดูดซับสารเคมีบางชนิด. ปรินญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีศึกษา ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2549.
- [21] Mirastschijski, U., Jokuszies, A., and Vogt, P.M. Skin wound healing: repair biology, wound, and scar treatment. Plastic Surgery 3(1) (2013): 288-90.

- [22] Dumville, J.C., Deshpande, S., O'Meara, S., and Speak, K. Hydrocolloid dressings for healing diabetic foot ulcers. The Cochrane Library (2013).
- [23] เก่งกาจ วินัย โภศล. Advanced Wound Dressing. ศรีนครินทร์เวชสาร (Srinagarind Medical Journal) 28(4) (2013): 18-23.
- [24] F. Gibbs, S.K., Inteaz Alli, Catherine N. Mulligan, Bernard. Encapsulation in the food industry: a review. International Journal of Food Sciences and Nutrition 50(3) (1999): 213-224.
- [25] Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., and Desobry, S. Flavour encapsulation and controlled release—a review. International Journal of Food Science & Technology 41(1) (2006): 1-21.
- [26] Jyothi, S., Seethadevi, A., Prabha, K.S., Muthuprasanna, P., and Pavitra, P. Microencapsulation: a review. Int J Pharm Bio Sci 3 (2012): 509-31.
- [27] Szejtli, J. Past, present and future of cyclodextrin research. Pure and Applied Chemistry 76(10) (2004): 1825-1845.
- [28] Del Valle, E.M. Cyclodextrins and their uses: a review. Process Biochemistry 39(9) (2004): 1033-1046.
- [29] Szejtli, J. Cyclodextrin Technology. Vol. 1: Springer Science & Business Media, 2013.
- [30] Frömmling, K.-H. and Szejtli, J. Cyclodextrins in Pharmacy. Vol. 5: Springer Science & Business Media, 1993.
- [31] Astray, G., Gonzalez-Barreiro, C., Mejuto, J., Rial-Otero, R., and Simal-Gándara, J. A review on the use of cyclodextrins in foods. Food Hydrocolloids 23(7) (2009): 1631-1640.
- [32] Szejtli, J. Cyclodextrins in the textile industry. Starch-Stärke 55(5) (2003): 191-196.
- [33] Nerio, L.S., Olivero-Verbel, J., and Stashenko, E. Repellent activity of essential oils: a review. Bioresource Technology 101(1) (2010): 372-378.
- [34] อมลยา สุจิธรพันธ์พงศ์. การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากชาเล็กในการป้องกันยุงลายบ้านและยุงรำคาญกัด. ปริญญาวิทยาสตรมหาบัณฑิต, สาขาตจวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ, 2554.



- [35] Baudoux, D. Antiviral and antimicrobial properties of essential oils Positive Health Online 2005. [April 15, 2017]
- [36] สามารถ ยานวงษ์. ผลของน้ำมันหอมระเหยและสารเชื่อมขวางต่อสมบัติของฟิล์มเจลาตินกินได้จากหนังปลา. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2557.
- [37] พิษุดา ฉายแสง. การผลิตและการเสริมสร้างคุณค่าของน้ำมันหอมระเหยจากเศษเหลือไม้เทพาไร. ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552.
- [38] Wijesekera, R. The chemical composition and analysis of citronella oil. Journal of The National Science Council of Sri Lanka (1) (1973): 67-81.
- [39] Nakahara, K., Alzoreky, N.S., Yoshihashi, T., Nguyen, H.T., and Trakoontivakorn, G. Chemical composition and antifungal activity of essential oil from *Cymbopogon nardus* (citronella grass). Japan Agricultural Research Quarterly: JARO 37(4) (2013): 249-252.
- [40] Wei, L.S. and Wee, W. Chemical composition and antimicrobial activity of *Cymbopogon nardus* citronella essential oil against systemic bacteria of aquatic animals. Iranian Journal of Microbiology 5(2) (2013): 147-152.
- [41] Lertsatitthanakorn, P., Taweekaisupapong, S., Aromdee, C., and Khunkitti, W. In vitro bioactivities of essential oils used for acne control. International Journal of Aromatherapy 16(1) (2006): 43-49.
- [42] Bhandari, B.R., D'Arc, B.R., and Thi Bich, L.L. Lemon oil to  $\beta$ -cyclodextrin ratio effect on the inclusion efficiency of  $\beta$ -cyclodextrin and the retention of oil volatiles in the complex. Journal of Agricultural and Food Chemistry 46(4) (1998): 1494-1499.
- [43] Sun, X., et al. Antimicrobial and mechanical properties of  $\beta$ -cyclodextrin inclusion with essential oils in chitosan films. Journal of Agricultural and Food Chemistry 62(35) (2014): 8914-8918.
- [44] Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P., Decker, E.A., and McClements, D.J. Characterization of spray-dried tuna oil emulsified in two-layered interfacial

- membranes prepared using electrostatic layer- by- layer deposition. Food Research International 39(4) (2006): 449-457.
- [45] Padukka, I., Bhandari, B., and D'Arcy, B. Evaluation of various extraction methods of encapsulated oil from  $\beta$ -cyclodextrin-lemon oil complex powder. Journal of Food Composition and Analysis 13(1) (2000): 59-70.
- [46] Burt, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods-a review. International Journal of Food Microbiology 94(3) (2004): 223-253.
- [47] Sambasevam, K.P., Mohamad, S., Sarih, N.M., and Ismail, N.A. Synthesis and characterization of the inclusion complex of  $\beta$ -cyclodextrin and azomethine. International Journal of Molecular Sciences 14(2) (2013): 3671-3682.
- [48] สิรีรัตน์ จงฤทธิพร, พรรณทิพย์ สุวรรณสาครกุล, รัตดาวลัย บุญแต่ง และ สูดานันท์ หยองเอ๋น. การยับยั้งการเจริญของเชื้อราโดยใช้แผ่นฟิล์มไคโตซาน. การประชุมวิชาการประมง (2548): 770-775.
- [49] Habeeba, A. U., Reshmi, C., and Sujith, A. Chitosan Immobilized Cotton Fibres for Antibacterial Textile Materials. Polymers from Renewable Resources 8(2) (2017): 61.
- [50] ปิยศักดิ์ ทองมาก. การศึกษาการลดการเกิด Fouling และความคงทนของเยื่อแผ่น Polyethersulfone เคลือบด้วย Chitosan/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> และเชื่อมขวางด้วยกลูตารัลดีไฮด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2554.
- [51] อรุณวัฒน์ พรหมนิมิตร. การเตรียมและสมบัติของภาชนะบรรจุอาหาร PVA-Chitosan ที่มีการเติมเคลือบที่ผ่านการปรับปรุงด้วยอนุภาคเงิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2557.



ภาคผนวก

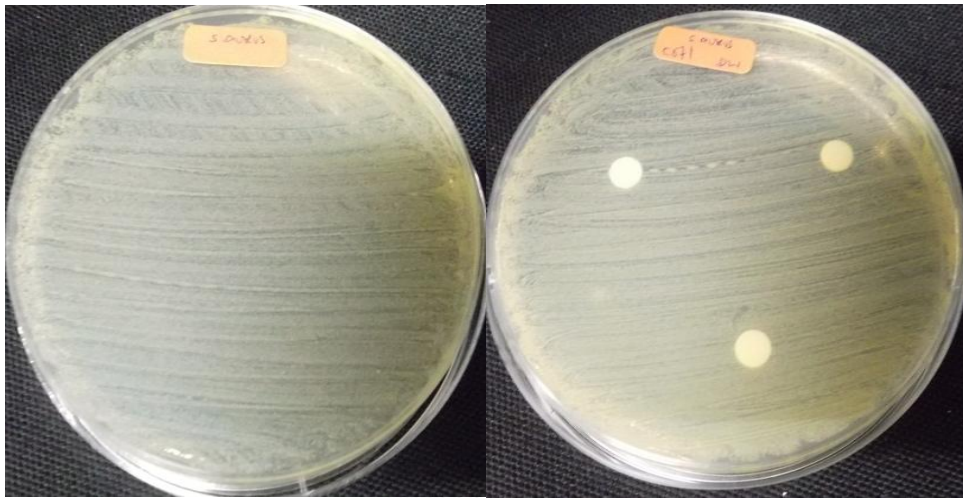
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก.

ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (Minimal inhibitory concentration)

ตารางที่ ก.1 ความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้หอม และผลการทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียที่ความเข้มข้นต่างๆต่อสารละลาย DMSO

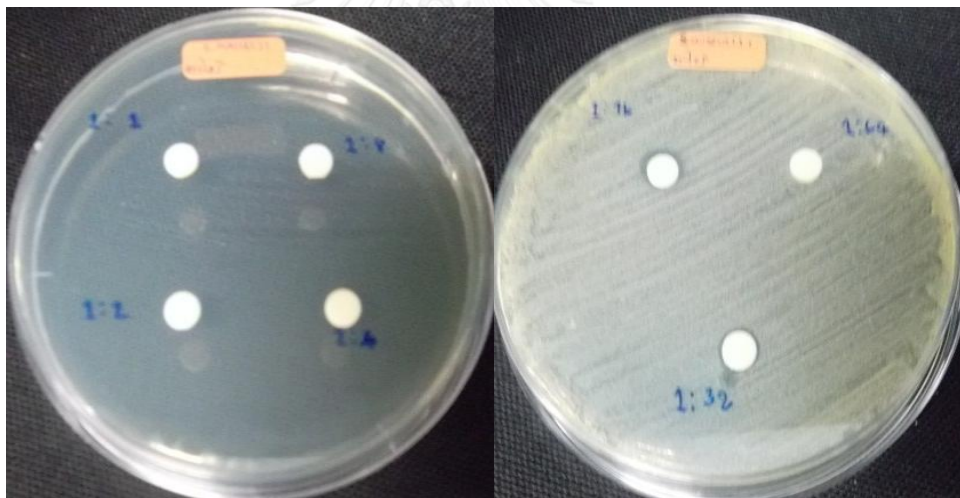
อัตราส่วนน้ำมันตะไคร้ หอมต่อสารละลาย DMSO	ปริมาณ (ไมโครลิตร)	จาน ทดสอบที่	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางแผ่น ทดสอบ (มิลลิเมตร)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางวงใส ยับยั้งแบคทีเรีย
1:1	100	1	6	19
1:1	100	2	6	19
1:2	100	1	6	13.5
1:2	100	2	6	14
1:4	100	1	6	12
1:4	100	2	6	12
1:8	100	1	6	9
1:8	100	2	6	9
1:16	100	1	6	7
1:16	100	2	6	7
1:32	100	1	6	6.5
1:32	100	2	6	6.5
1:64	100	1	6	6.25
1:64	100	2	6	6.25
ตัวควบคุม	100	1	6	0



1

2

รูปที่ ก.1 แบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* (1) และชุดควบคุมที่เป็นน้ำกลั่น (2)



รูปที่ ก.2 การยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ด้วยน้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอมความเข้มข้นต่างๆต่อสารละลาย tween 20

## ภาคผนวก ข.

## สมบัติการกักเก็บของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน

ตารางที่ ข.1 สมบัติของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่มีอัตราส่วนของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอมต่อเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (30:70)

คุณสมบัติ	อัตราส่วนของน้ำมันตะไคร้หอมต่อเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (30:70)				
	1	2	3	4	5
ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอม ทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง)	0.1054	0.1098	0.1069	0.1062	0.1043
ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมที่ผิว เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง)	0.0101	0.011	0.01	0.0099	0.0125
ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอม ที่ถูกกักเก็บ (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง)	0.0953	0.0988	0.0969	0.0963	0.0918
ความสามารถในการกักเก็บ, EC (ร้อยละ)	90.42	89.98	90.65	90.68	88.02
ประสิทธิภาพการกักเก็บ, EE (ร้อยละ)	24.15	25.32	24.65	24.45	23.20

ตารางที่ ข.2 สมบัติของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่มีอัตราส่วนของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอมต่อเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (40:60)

คุณสมบัติ	อัตราส่วนของน้ำมันตะไคร้หอมต่อเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (40:60)				
	1	2	3	4	5
ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง)	0.1349	0.1328	0.1375	0.1311	0.1358
ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมที่ผิวเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง)	0.0122	0.0132	0.0135	0.0109	0.0107
ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมที่ถูกกักเก็บ (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง)	0.1227	0.1196	0.124	0.1202	0.1251
ความสามารถในการกักเก็บ, EC (ร้อยละ)	90.96	90.06	90.18	91.69	92.12
ประสิทธิภาพการกักเก็บ, EE (ร้อยละ)	33.61	32.57	34.21	32.58	34.35

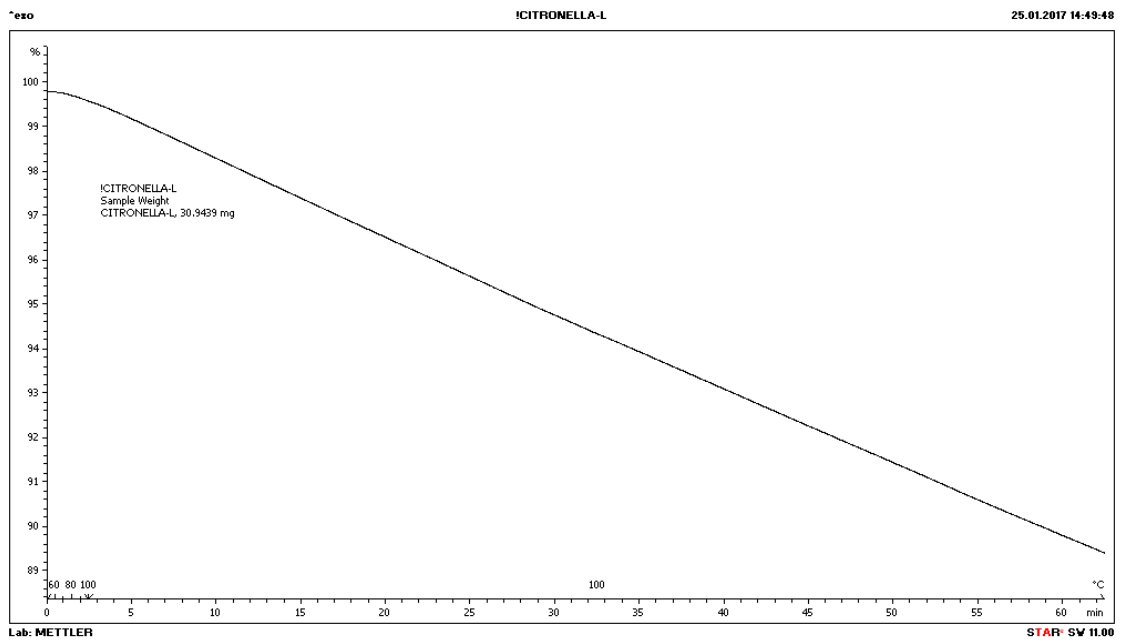
ตารางที่ ข.3 สมบัติของน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินที่มีอัตราส่วนของน้ำมันหอมระเหยตะไคร้หอมต่อเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (50:50)

คุณสมบัติ	อัตราส่วนของน้ำมันตะไคร้หอมต่อเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (50:50)				
	1	2	3	4	5
ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอม ทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง)	0.1467	0.1454	0.1433	0.148	0.1464
ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอมที่ผิว เบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทริน (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง)	0.0125	0.0138	0.0101	0.0131	0.0114
ปริมาณน้ำมันตะไคร้หอม ที่ถูกกักเก็บ (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง)	0.1342	0.1316	0.1332	0.1349	0.135
ความสามารถในการกักเก็บ, EC (ร้อยละ)	91.48	90.51	92.95	91.15	92.21
ประสิทธิภาพการกักเก็บ, EE (ร้อยละ)	37.98	37.11	37.34	38.32	38.18

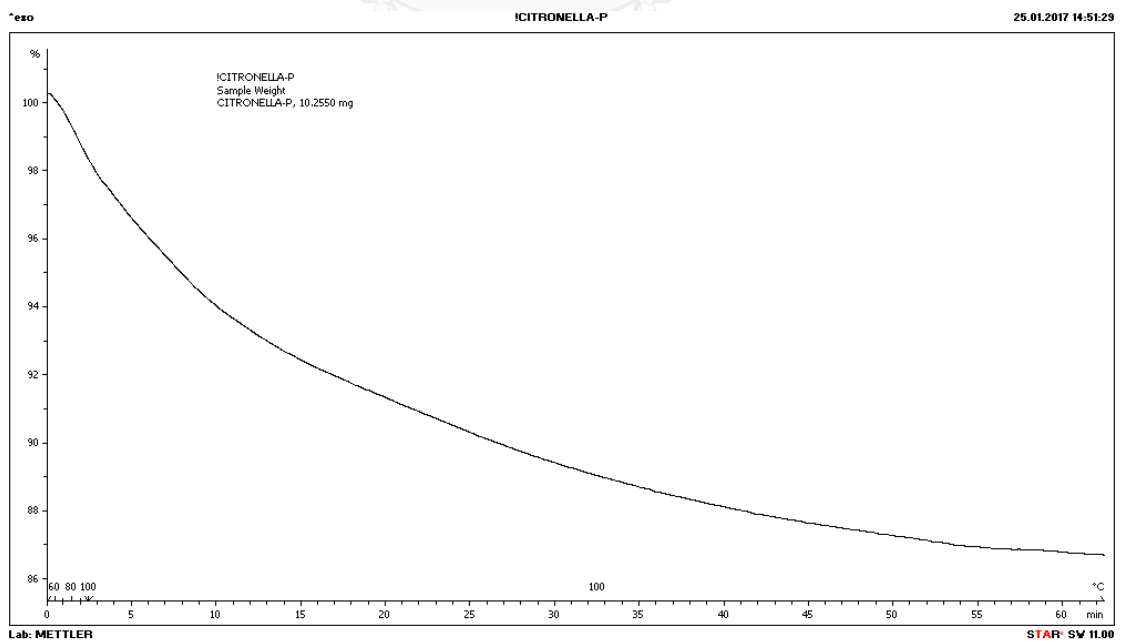


## ภาคผนวก ค.

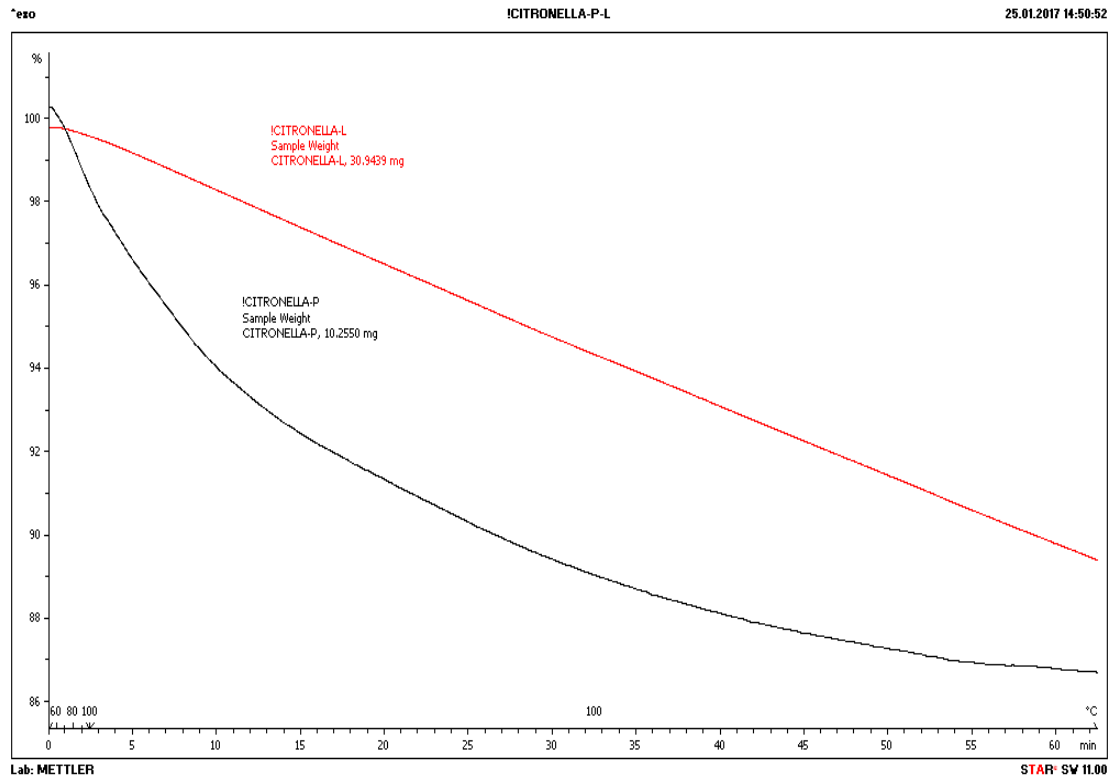
## TGA Thermogram



รูปที่ ค.1 TGA เทอร์โมแกรมของน้ำมันตะไคร้หอม เมื่อได้รับความร้อนภายใต้บรรยากาศที่อุณหภูมิที่ใช้คงที่ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที



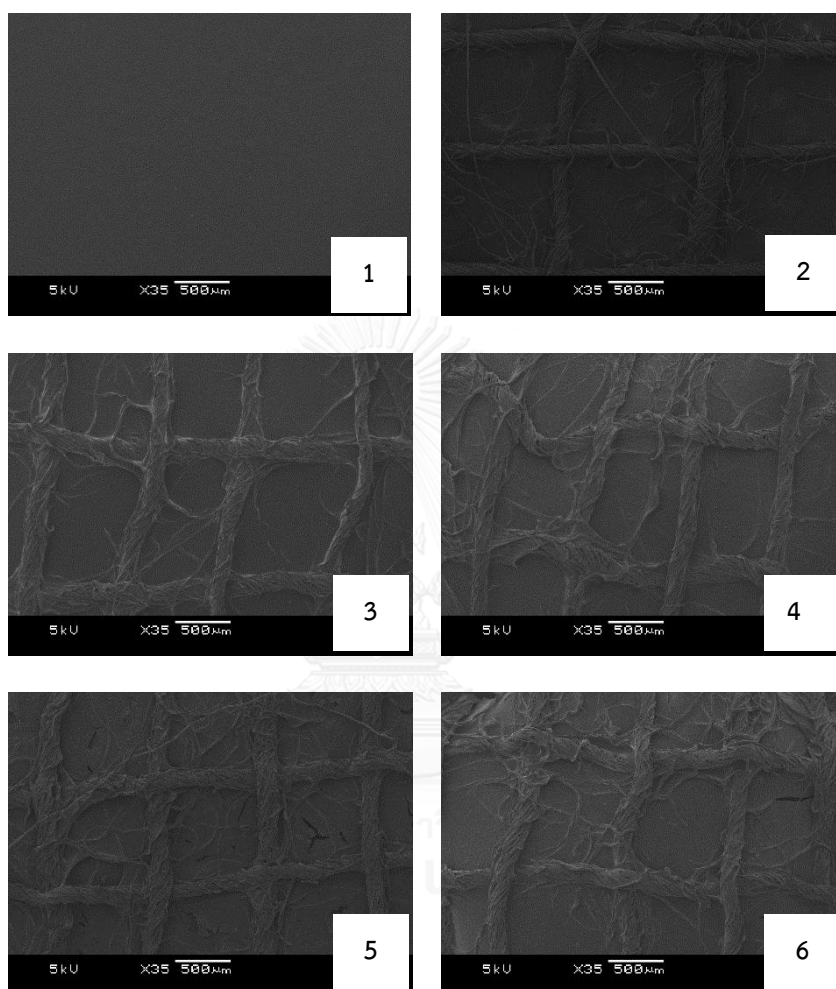
รูปที่ ค.2 TGA เทอร์โมแกรมน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินในอัตราส่วน 50:50 เมื่อได้รับความร้อนภายใต้บรรยากาศที่อุณหภูมิที่ใช้คงที่ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที



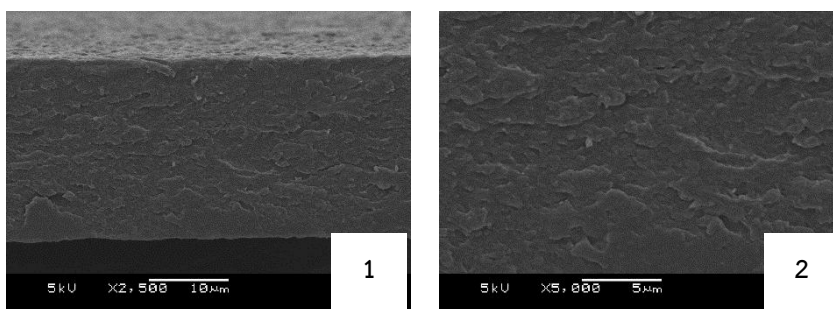
รูปที่ ค.3 TGA เทอร์โมแกรมเปรียบเทียบกันระหว่างน้ำมันตะไคร้หอมและไมโครแคปซูลของน้ำมันตะไคร้หอมที่ถูกกักเก็บด้วยเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินในอัตราส่วน 50:50 เมื่อได้รับความร้อนภายใต้บรรยากาศที่อุณหภูมิที่ใช้คงที่ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

## ภาคผนวก ง.

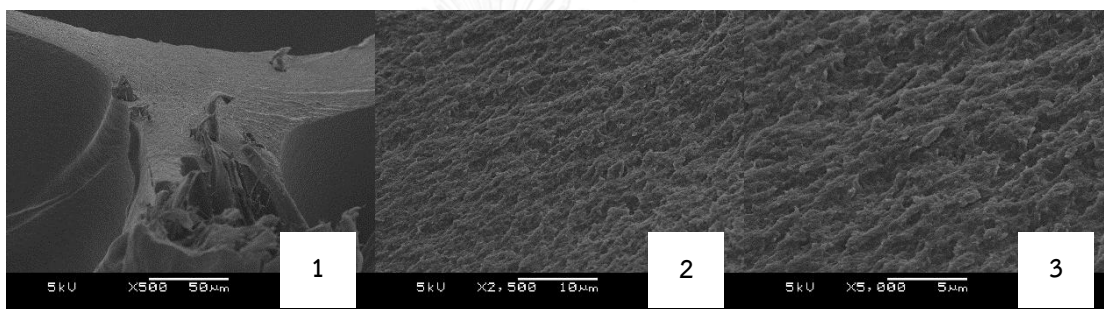
### ลักษณะทางสัณฐานวิทยา



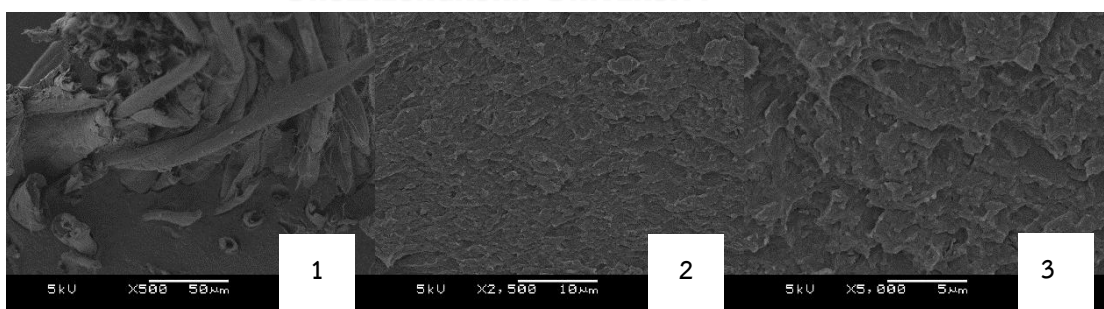
รูปที่ ง.1 ภาพสัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวที่กำลังขยาย 35x ของฟิล์มไคโตซาน (1), ผ้าฝ้ายก๊อช (2), แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช (3) และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5 (4), 10 (5) และ 15 (6) ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ



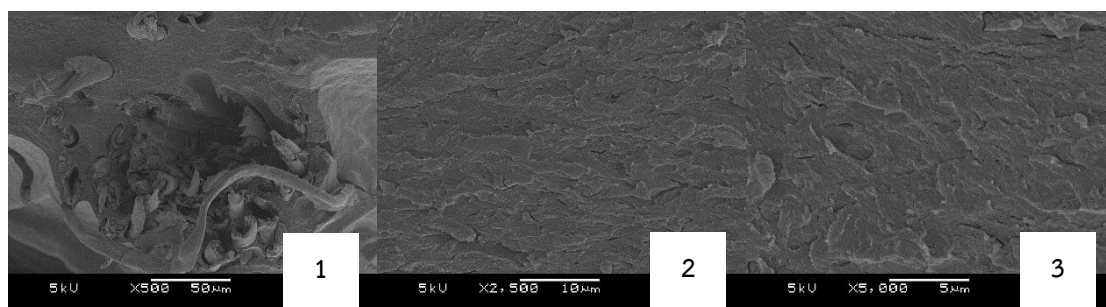
รูปที่ ง.2 ภาพสัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวรอยแตกหักของฟิล์มโพลีเอทิลีนที่กำลังขยาย 2500x (1) และ 5000x (2) ตามลำดับ



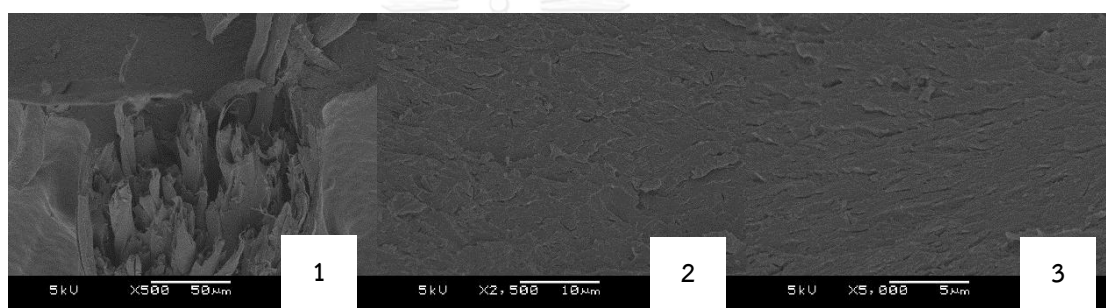
รูปที่ ง.3 ภาพสัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวรอยแตกหักของแผ่นโพลีเอทิลีน/ผ้าฝ้ายก๊อซที่กำลังขยาย 500x (1), 2500x (2) และ 5000x (3) ตามลำดับ



รูปที่ ง.4 ภาพสัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวรอยแตกหักของแผ่นโพลีเอทิลีน/ผ้าฝ้ายก๊อซที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักโพลีเอทิลีนที่กำลังขยาย 500x (1), 2500x (2) และ 5000x (3) ตามลำดับ



**รูปที่ ๖.5** ภาพสัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวรอยแตกหักของแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรีนปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักไคโตซานที่กำลังขยาย 500x (1), 2500x (2) และ 5000x (3) ตามลำดับ



**รูปที่ ๖.6** ภาพสัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวรอยแตกหักของแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรีนปริมาณร้อยละ 15 ของน้ำหนักไคโตซานที่กำลังขยาย 500x (1), 2500x (2) และ 5000x (3) ตามลำดับ

## ภาคผนวก จ.

## สมบัติเชิงกลด้านความทนแรงดึง

ตารางที่ จ.1 สมบัติความทนแรงดึงของฟิล์มไคโตซาน, ผ้าฝ้ายก๊อซ, แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อซ และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อซที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ โดยทดสอบตามแนวเส้นด้ายยืน

ตัวอย่าง	Chitosan film	Gauze fabric	CS/G	CS/G/5 %CD	CS/G/10 %CD	CS/G/15 %CD
1	37.48	10.4	8.46	11.14	9.14	7.54
2	37.06	9.93	9.57	11.30	9.87	9.87
3	34.21	11.61	11.37	11.39	10.16	8.18
4	34.37	8.24	9.64	8.86	9.99	8.16
5	33.82	10.73	10.53	9.03	9.05	9.12
6	36.25	10.61	13.69	11.01	8.21	8.90
7	33.44	8.51	10.64	12.22	8.65	9.33
8	33.36	11.32	11.82	11.18	10.47	8.90
9	34.51	10.30	9.15	9.70	9.28	10.99
10	34.81	9.11	9.04	11.15	8.61	7.73
ค่าเฉลี่ย	34.93	10.08	10.39	10.70	9.34	8.87
SD	1.48	1.13	1.57	1.11	0.75	1.04

ตารางที่ จ.2 สมบัติความทนแรงดึงของฟิล์มไคโตซาน, ผ้าฝ้ายก๊อซ, แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อซ และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อซที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรีนปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ โดยทดสอบตามแนวเส้นด้ายพุ่ง

ตัวอย่าง	Chitosan film	Gauze fabric	CS/G	CS/G/5 %CD	CS/G/10 %CD	CS/G/15 %CD
1	37.48	6.66	7.30	11.37	6.96	7.06
2	37.06	6.40	6.23	10.06	7.02	6.23
3	34.21	6.12	7.62	9.87	8.71	7.00
4	34.37	6.89	7.81	9.36	7.50	5.09
5	33.82	7.53	8.18	9.52	7.36	6.59
6	36.25	6.83	7.80	12.06	7.42	7.03
7	33.44	5.31	6.01	9.16	8.03	6.95
8	33.36	6.20	7.89	9.00	8.02	5.75
9	34.51	6.95	6.24	8.71	8.96	5.97
10	34.81	5.29	7.95	10.19	6.89	6.78
ค่าเฉลี่ย	34.93	6.42	7.30	9.93	7.69	6.44
SD	1.48	0.72	0.82	1.06	0.73	0.67

**ตารางที่ จ.3** สมบัติความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มไคโตซาน, ผ้าฝ้ายก๊อช, แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ โดยทดสอบตามแนวเส้นด้ายยืน

ตัวอย่าง	Chitosan film	Gauze fabric	CS/G	CS/G/5 %CD	CS/G/10 %CD	CS/G/15 %CD
1	10.76	7.94	6.26	7.01	7.44	6.29
2	10.20	8.46	6.14	5.69	6.87	6.52
3	9.95	9.69	8.09	7.48	6.41	6.87
4	9.16	8.62	7.40	6.71	7.40	6.56
5	9.08	9.36	7.48	7.32	6.18	6.26
6	9.98	9.23	6.94	7.17	7.23	7.02
7	11.67	9.77	6.49	7.48	6.56	6.03
8	9.87	7.10	6.26	7.63	6.41	6.64
9	9.61	7.40	7.17	6.94	6.18	6.49
10	9.00	7.10	8.32	7.10	8.32	7.71
ค่าเฉลี่ย	9.93	8.47	7.05	7.05	6.90	6.64
SD	0.82	1.04	0.78	0.56	0.69	0.47



**ตารางที่ จ.4** สมบัติความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของฟิล์มไคโตซาน, ผ้าฝ้ายก๊อช, แผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อช และแผ่นไคโตซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรินปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ โดยทดสอบตามแนวเส้นด้ายพุ่ง

ตัวอย่าง	Chitosan film	Gauze fabric	CS/G	CS/G/5 %CD	CS/G/10 %CD	CS/G/15 %CD
1	10.76	10.91	9.84	7.78	7.52	6.33
2	10.20	10.54	10.53	8.82	8.66	7.63
3	9.95	9.92	10.00	7.86	8.55	7.71
4	9.16	10.83	10.13	8.73	8.32	8.62
5	9.08	10.15	9.77	9.00	7.78	6.71
6	9.98	10.45	10.85	8.95	8.01	6.26
7	11.67	9.88	9.64	9.08	8.55	8.24
8	9.87	9.92	10.00	9.92	10.00	8.39
9	9.61	10.22	10.68	9.46	7.94	8.24
10	9.00	10.88	10.83	8.62	7.55	6.94
ค่าเฉลี่ย	9.93	10.37	10.23	8.82	8.29	7.51
SD	0.82	0.41	0.46	0.65	0.73	0.88

## ภาคผนวก ฉ.

## การดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

ตารางที่ ฉ.1 ร้อยละการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้ายก๊อชที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการดูดซึมน้ำ						ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	240.55	227.55	163.90	233.12	198.43	212.71	28.28	
3	241.53	228.59	165.77	235.01	201.54	214.49	27.90	
6	241.55	228.59	165.78	235.10	201.55	214.51	27.92	
12	243.97	229.86	167.43	237.71	205.00	216.79	28.01	
24	244.24	230.84	167.67	237.63	204.59	216.99	28.09	

ตารางที่ ฉ.2 ร้อยละการดูดซึมน้ำของฟิล์มไคโตซานที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการดูดซึมน้ำ					ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5		
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	330.12	300.14	269.24	298.47	330.69	305.73	22.95
3	369.55	320.65	280.13	315.78	369.35	331.10	34.30
6	369.67	320.78	280.57	315.79	370.99	331.56	34.56
12	371.26	322.09	282.99	318.53	371.86	333.34	34.07
24	371.67	322.19	283.28	318.67	372.53	333.67	34.21

ตารางที่ ๓.3 ร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นโคโตนซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการดูดซึมน้ำ						ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	406.20	396.21	413.30	421.51	399.20	407.29	9.25	
3	424.15	408.97	436.85	442.75	409.26	424.40	13.85	
6	425.26	409.43	437.46	442.96	409.97	425.02	13.76	
12	456.34	429.21	467.13	506.98	427.74	457.48	29.08	
24	458.57	429.94	468.94	507.25	428.02	458.54	29.09	

ตารางที่ ๓.4 ร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นโคโตนซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักโคโตนซานที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการดูดซึมน้ำ						ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	407.25	392.47	400.47	411.53	385.36	399.41	9.54	
3	458.36	457.13	370.96	381.12	403.25	414.16	37.08	
6	459.24	458.29	371.52	381.43	404.64	415.03	37.30	
12	470.57	470.15	394.60	399.97	427.98	432.66	32.81	
24	471.91	470.62	395.74	401.02	428.07	433.47	32.75	

ตารางที่ ๑.5 ร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นโคโตะซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักโคโตะซานที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการดูดซึมน้ำ						ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	305.35	316.26	254.45	242.54	250.46	273.81	30.64	
3	343.55	360.25	296.24	273.95	282.85	311.37	34.25	
6	346.23	362.36	298.25	274.25	283.57	312.93	35.00	
12	360.13	384.39	312.94	282.11	295.15	326.94	39.04	
24	360.34	385.65	313.40	282.25	295.98	327.52	39.24	

ตารางที่ ๑.6 ร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นโคโตะซาน/ผ้าฝ้ายก๊อชที่มีน้ำมันตะไคร้หอมบรรจุในเบต้า-ไซโคลเด็กซ์ทรีนปริมาณร้อยละ 15 ของน้ำหนักโคโตะซานที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการดูดซึมน้ำ						ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3	4	5			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	273.25	242.25	302.27	243.25	304.25	273.05	27.07	
3	300.21	259.90	329.35	262.35	331.96	296.76	31.16	
6	300.26	260.25	330.26	263.36	333.25	297.47	31.34	
12	326.97	285.12	366.05	290.58	365.69	326.88	34.93	
24	327.26	285.51	366.73	291.09	366.25	327.37	35.01	

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว อติกานต์ สำเร็จเฟื่องฟู เกิดเมื่อวันที่ 22 มีนาคม พ.ศ. 2535 สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร สำเร็จการศึกษาในภาคปลาย ปีการศึกษา 2556 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2557

ประสบการณ์การทำงาน ฝึกงานที่บริษัท กังวาลโพลีเอสเตอร์ จำกัด ในปี พ.ศ. 2555

ประสบการณ์การนำเสนอผลงาน

นำเสนอผลงานวิจัยแบบโปสเตอร์ในหัวข้อ Antimicrobial Properties of Chitosan / Cotton Gauze Fabric Wound Dressing Film Loaded with Citronella-Cyclodextrin ในการประชุมวิชาการนานาชาติ Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON 2017) ณ โรงแรมเซ็นทาราศูนย์ราชการและคอนเวนชันเซ็นเตอร์ (อาคารศูนย์ประชุมวายุภักษ์ ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษาฯ) ถนนแจ้งวัฒนะ กรุงเทพมหานคร ในวันที่ 2-3 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560