

การเตรียมโคโดซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจล



นางสาวพริม ภัคดีธรรม

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
สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF CHITOSAN/POLYVINYL ALCOHOL HYDROGEL

Miss Prim Phakdeetham



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

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมโคโคซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจล
โดย	นางสาวพริม ภัคดีธรรม
สาขาวิชา	ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.กาวิ ศรีกุลกิจ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวงษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.กาวิ ศรีกุลกิจ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ นพคุณติลกรัตน์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร)

พริม ภัคดีธรรม : การเตรียมโคโตซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจล (PREPARATION OF CHITOSAN/POLYVINYL ALCOHOL HYDROGEL) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.ภาวี ศรีกุลกิจ, 67 หน้า.

โคโตซาน (CS) เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพซึ่งมีการตอบสนองที่ดีต่อระบบภูมิคุ้มกันร่างกายและมีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ การใช้โคโตซานเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นปิดแผลยังมีข้อจำกัดบางประการเนื่องจากความอ่อนแอของแผ่นฟิล์ม นอกจากนั้นแผ่นโคโตซานยังมีความยืดหยุ่นไม่มากพอและแตกหักได้ง่าย ดังนั้นจึงได้เตรียมแผ่นโคโตซานบนผ้าเพื่อเป็นวัสดุฐานรอง การเตรียมไฮโดรเจลผสมโดยใช้โคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทั้งหมด 2% (w/v) ในสารละลายกรดอะซิติก 1% (v/v) ที่อัตราส่วน 0.75 โคโตซาน ต่อ 0.25 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นอัตราส่วนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของไฮโดรเจลผสมที่สามารถกักเก็บน้ำได้ 89.12% ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมโดยนำสารละลายไฮโดรเจลโคโตซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสม เทลงบนผ้าและอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง อัตราส่วนของส่วนผสมโคโต-ซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในการทดสอบคือตั้งแต่ 2:0 ถึง 0:2 เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ จึงเติมน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ (*Cymbopogon citratus*) เข้าไปปริมาณ 3.125% (v/v) ในขณะขึ้นรูปไฮโดรเจล จากการทดสอบแผ่นไฮโดรเจลผสมโคโตซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยวิธีทดสอบ AATCC 100 (Antibacterial Finishes on Textile Materials: Assessment of) ผลจากการทดลองน้ำมันตะไคร้หอมระเหย สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อของไฮโดรเจลผสมโคโต-ซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์บนฐานรองซึ่งสามารถยับยั้ง *S.aureus* ได้จาก $6.16 \pm 0.02 \log \text{CFU/ml}$ เหลือ 0.00 หรือ 99.99% ใน 24 ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา ปีโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2560

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5872403223 : MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEYWORDS: CHITOSAN, ESSENTIAL OIL, WATER RETENTION, HYDROGEL BLENDING, FABRIC SUPPORT

PRIM PHAKDEETHAM: PREPARATION OF CHITOSAN/POLYVINYL ALCOHOL HYDROGEL. ADVISOR: ASST. PROF.KAWEE SRIKULKIT, Ph.D., 67 pp.

Chitosan (CS) is a biocompatible polymer which has good host response and antimicrobial activity. Its use in the wound dressing film is limited because of the film weakness. Moreover, chitosan film is not flexible and broken easily. Therefore, chitosan film on support fabric was prepared. CS/PVA blended hydrogel were prepared by dissolving 2% (w/v) CS/PVA blend in 1% (v/v) acetic acid solution. The 0.75 CS/ 0.25 PVA was the most effective ratio of the blended hydrogel which was able to retain 89.12% of water. The CS/PVA solution was poured on fabric and dried at 40 °C for 72 h. The ratio of CS/PVA blends were varied from 2:0 to 0:2 in order to find optimum water retention. To enhance antimicrobial activity, the lemongrass essential oil (*Cymbopogon citratus*) was added into the CS/PVA solution at 3.125% (v/v). The reduction of microbial reactivity of the CS/PVA hydrogel fabric was tested according to AATCC Test Method 100 (Antibacterial Finishes on Textile Materials: Assessment of). The results of experiments indicated that lemongrass essential oil helped improving antimicrobial activity of hydrogel fabric against *S.aureus* from 6.16 ± 0.02 Log CFU/ml down to 0.00 or 99.99 % reduction in 24 hours.

Field of Study: Petrochemistry and
Polymer Science

Student's Signature

Advisor's Signature

Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากการได้รับความอนุเคราะห์จาก ผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆ เป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะอาจารย์ บุคคลากร หน่วยงาน และ บริษัทที่เกี่ยวข้องซึ่งมีรายนามดังที่จะกล่าวในลำดับถัดไป ไว้เป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ตรวจสอบ และให้ความช่วยเหลือแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัยอย่างดียิ่ง มาโดยตลอด

รองศาสตราจารย์ ดร. ประณัฐ โพธิยะราช ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ นพคุณดิษฐ์กรัตน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ เสาวรจณ์ ช่วยจุลจิตร กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ร่วมตรวจสอบ แก้ไข และให้คำแนะนำแก่งานวิจัยนี้

หลักสูตร ภาควิชา และ เจ้าหน้าที่ ในหลักสูตรปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ และภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการทดสอบ ข้อมูลงานวิจัย และเอกสารต่างๆ

บริษัท ชัยบูรณ์ บราเดอร์ส กรุ๊ป จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ สถานที่วิจัย อุปกรณ์ เครื่องมือ และสนับสนุนการศึกษาแก่ผู้วิจัย รวมถึงคณะผู้บริหาร ผู้จัดการส่วนวิจัยและพัฒนา สินค้า และเพื่อนร่วมงานในส่วนวิจัยและพัฒนาสินค้าทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุน ผู้วิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณพ่อ พี่ น้อง และเพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือ และร่วมแก้ไข ปัญหาต่างๆ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

พริม ภัคดีธรรม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	3
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	3
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ไฮโดรเจล.....	6
2.1.1 การแบ่งประเภทของไฮโดรเจล	6
2.1.1.1 แบ่งตามโครงสร้างทางกายภาพ.....	7
2.1.1.3 แบ่งตามวัสดุในการสังเคราะห์.....	8
2.1.1.4 แบ่งตามขนาด.....	8
2.1.1.5 แบ่งตามการเชื่อมขวาง.....	9
2.1.2 สมบัติของไฮโดรเจล.....	12
2.2 ไคโตซาน.....	15
2.2.1 ลักษณะทั่วไปของไคโตซาน.....	15
2.2.2 สมบัติของไคโตซาน.....	17
2.3 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	18
2.3.1 ลักษณะทางกายภาพของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	18

2.4 ผ่านอนุพเวณ (วัสดุฐานรอง).....	19
2.4.1 จำแนกตามประเภทของเส้นใย.....	19
2.4.2 จำแนกตามประเภทของการปั่นด้าย.....	19
2.4.3 จำแนกตามประเภทของการขึ้นรูปผ้า.....	20
2.4.3.1 ผ้าทอ (woven fabrics).....	20
2.4.3.2 ผ้าถัก (knitted fabrics).....	20
2.4.3.3 ผ้าไม่ถักไม่ทอ (nonwovens).....	20
2.4.4 ขั้นตอนการผลิตไลโอเซลล์ (lyocell).....	22
2.4.5 สมบัติไลโอเซลล์.....	23
2.5 น้ำมันตะไคร้หอมระเหย.....	24
2.5.1 อนุกรมวิธานของตะไคร้.....	24
2.5.2 ลักษณะทั่วไปของตะไคร้.....	24
2.5.3 ข้อมูลทางพฤกษเคมีของตะไคร้.....	25
2.5.4 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา.....	25
2.5.4.1 ฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย.....	25
2.5.4.2 ฤทธิ์ต้านเชื้อรา.....	26
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
บทที่ 3 สารเคมีและอุปกรณ์.....	28
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	28
3.1.1 สารเคมีและอุปกรณ์สำหรับการเตรียมไฮโดรเจล.....	28
3.1.2 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง.....	28
3.1.3 สารเคมีและอุปกรณ์สำหรับการทดสอบด้วย disk diffusion technique, ASTM E2419 และAATC TM 100.....	29

3.2. การทดสอบ.....	30
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมไฮโดรเจล	30
3.2.2 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำ.....	31
3.2.3 ขั้นตอนการศึกษาฤทธิ์ของน้ำมันตะไคร้หอมระเหยในการยับยั้งการเจริญของ <i>S.aureus</i> โดยทดสอบด้วย Disk diffusion Technique.....	32
3.2.4 ขั้นตอนการศึกษาฤทธิ์ของน้ำมันตะไคร้หอมระเหยในการยับยั้งการเจริญของ <i>S.aureus</i> โดยทดสอบด้วย ASTM E2149-10 (Standard Test Method for Determining the Antimicrobial Activity of Immobilized Antimicrobial Agents Under Dynamic Contact Conditions)	34
3.2.5 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุและแผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้ โดย ทดสอบด้วย AATCC Test Method 100 (Antimicrobial Test Method For Textile /Fabric).....	35
3.2.6 ขั้นตอนการศึกษาความเป็นพิษพิษของแผ่นปิดแผลที่มีต่อเซลล์ไลน์ชนิด L929 โดย ทดสอบด้วย MTT assay.....	37
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	39
4.1 ประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำและลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลที่เตรียมได้	39
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลที่เตรียมได้.....	39
4.1.2 ค่าความชื้นเหลือของไฮโดรเจลที่เตรียมได้	42
4.1.3 ผลการทดสอบการกักเก็บน้ำของไฮโดรเจลที่เตรียมได้ค่าความชื้นเหลือของไฮโดร เจลที่เตรียมได้.....	43
4.2 ผลการทดสอบฤทธิ์ของน้ำมันตะไคร้หอมระเหยในการยับยั้งการเจริญของ <i>S.aureus</i> โดย ทดสอบด้วย ASTM E2149-10 Textile /Fabric).....	45
4.3 ผลการทดสอบฤทธิ์เชิงปริมาณของน้ำมันตะไคร้หอมระเหยในการยับยั้งการเจริญของ <i>S.aureus</i> โดยทดสอบด้วย Disk diffusion Technique	47
4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุและแผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้ โดยทดสอบด้วย AATCC Test Method.....	48

4.5 ผลการทดสอบความเป็นพิษของแผ่นปิดแผลต่อที่มีต่อเซลล์ไลน์ชนิด L929 โดยทดสอบด้วย MTT assay.....	52
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	53
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	55
รายการอ้างอิง.....	56
ภาคผนวก ก.....	60
ภาคผนวก ข.....	64
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	67



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การเชื่อมโยงทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างพอลิเมอร์.....9	
ตารางที่ 2.2 ความสามารถในการละลายของโคโตะซานในสารละลายกรดชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นของกรดต่างๆกัน	17
ตารางที่ 2.3 ชนิดและสมบัติของพอลิเมอร์ธรรมชาติ	10
ตารางที่ 2.4 อนุกรมวิธานของตะไคร้.....	24
ตารางที่ 2.5 สารอินทรีย์หลักภายในน้ำมันหอมระเหยตะไคร้.....	25
ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนการเตรียมไฮโดรเจล โคโตะซานต่อ PVA.....	30
ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของสารละลายไฮโดรเจล. Error! Bookmark not defined.	
ตารางที่ 4.3 ความชื้นเหลือ วัดที่อุณหภูมิ 25 °C ด้วยเครื่อง Brook F.....	42
ตารางที่ 4.4 percentage of water retention in CS/PVA blended hydrogel.....	43
ตารางที่ 4.5 การยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกของผลิตภัณฑ์.....	47
ตารางที่ 4.6 การยับยั้งแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> ด้วยสารทดสอบความเข้มข้นต่างๆ	45
ตารางที่ 4.7 การยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกของผลิตภัณฑ์วิธีการทดสอบ AATCC100.....	48
ตารางที่ 4.8 Cell proliferation โดยวิธี MTT assay.....	52

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 การจัดจำแนกไฮโดรเจล.....	6
รูปที่ 2.2 โครงสร้างเคมีของไคโตซาน.....	16
รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตไฮไลโอเซลล์.....	22
รูปที่ 4.1 จำนวนแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> บนความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ : สารละลาย tween 20 ความเข้มข้น 5% 1:32	47
รูปที่ 4.2 จำนวนแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> บนความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ : สารละลาย tween 20 ความเข้มข้น 5% 1:64	48
รูปที่ 4.3 แบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> (A) และชุดควบคุมที่เป็นน้ำกลั่น (B).....	45
รูปที่ 4.4 การยับยั้งแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> ด้วยน้ำมันหอมระเหยความเข้มข้นต่างๆ	46
รูปที่ 4.5 จำนวนแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> บนชุด Control PVA+Chitosan.....	49
รูปที่ 4.6 จำนวนแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> บนชุด Control PVA+Chitosan.....	50
รูปที่ 4.7 จำนวนแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> บนแผ่นปิดแผล	50
รูปที่ 4.8 จำนวนแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> บนแผ่นปิดแผล	50

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไฮโดรเจลจัดเป็นพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (hydrophilic polymer) เกิดจากการเชื่อมต่อกันแบบโครงร่างตาข่าย 3 มิติ (3 dimension cross-linking network) มีสมบัติพิเศษที่สามารถบวมน้ำ และกักเก็บน้ำหรือของเหลวทางชีวภาพไว้ภายในโครงสร้าง และไม่ละลายน้ำเมื่อเป็นแผ่นไฮโดรเจลแล้ว ไฮโดรเจลถูกพัฒนามาโดยตลอดอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานทางด้านต่างๆ เช่น ชีว-การแพทย์, อุตสาหกรรมอาหาร เวชภัณฑ์เครื่องสำอาง วิศวกรรมเวชภัณฑ์ การเกษตร ชีวเคมีบำบัด เป็นต้น จึงเกิดไฮโดรเจลที่มีสมบัติและลักษณะแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องด้วยปัจจัยหลัก 2 ประการคือ วิธีการเตรียม และวัสดุ ทำให้ไฮโดรเจลที่ได้มีสมบัติเด่นที่แตกต่างกันออกไปเช่น การบวมน้ำ ขนส่งสารชีวภาพ ดูดซับโมเลกุลเป้าหมาย ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ด้วยสมบัติของไฮโดรเจลต่างๆ เหล่านี้ทำให้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการใช้งานทางการแพทย์เพื่อรักษาบาดแผล แต่เนื่องจากกระบวนการใช้งานที่ต้องสัมผัสกับบาดแผลของผู้ป่วย จึงต้องคำนึงถึงความปลอดภัย และประสิทธิภาพในการใช้งานเป็นหลักซึ่งการเตรียมไฮโดรเจลนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักๆคือ 1.การเชื่อมขวางด้วยวิธีทางกายภาพได้แก่ การแช่เย็น, การระเหยแห้ง, complex coacervation, ionic gelation, H-bonding เป็นต้น 2. การเชื่อมขวางด้วยวิธีทางเคมีได้แก่ Radiation crosslinking, interfacial polymerization, Chemical cross-linkers, Grafting thermal, photo หรือ radiation, initiated free radical polymerization การเชื่อมขวางทางกายภาพและเคมีนั้นยังมีข้อเสียอยู่บ้าง โดยทางกายภาพโครงสร้างไม่สามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ และความแข็งแรงหรือสมบัติเชิงกลของไฮโดรเจลยังไม่เพียงพอ สำหรับในทางเคมีการใช้สารเชื่อมต่องจะลดประสิทธิภาพความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต และมีความเป็นพิษตกค้าง ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงวิธีการที่เหมาะสมในการนำไปใช้ทางการแพทย์จะเห็นได้ว่าวิธีการเตรียมด้วยการเชื่อมขวางทางกายภาพมีปลอดภัยในการใช้งานมากกว่าแต่ยังคงต้องมีการปรับปรุงลักษณะอื่นๆ เพิ่มเติม (DAS, 2013) โดยในเบื้องต้นลักษณะดังกล่าวสามารถปรับปรุงได้โดยการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมซึ่งโดยทั่วไปวัสดุที่นิยมใช้ในทางการแพทย์เพื่อรักษาบาดแผลมักเป็น วัสดุธรรมชาติเช่น ไคโตซาน แป้ง แอลจินेट และ เซลลูโลส เป็นต้น

ไคโตซานเป็นวัสดุหนึ่งที่น่าสนใจใช้ทำไฮโดรเจล เนื่องจากไคโตซานเป็นอนุพันธ์อะมิโนพอลิ-แซ็กคาไรด์จัดเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีหน่วยย่อยของกลูโคซามีน มากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป ไม่สามารถละลายในน้ำแต่สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์เช่น กรดแอสติค และกรดแลคติก ไคโตซานมาจากไคตินที่ผ่านปฏิกิริยาดีอะซิทีเลชัน (deacetylation) ของไคตินเป็นการลดลงของหมู่อะซิetyl

และเพิ่มหมู่อะมิโน ของกลูโคซามีน ทำให้มีสมบัติของประจุบวกเพิ่มขึ้น สามารถรับโปรตอนจาก สารละลายเพิ่มขึ้น เกิดการเชื่อมต่อเป็นโครงสร้างที่แข็งแรง อีกทั้งยังมีความสามารถในการยับยั้ง เชื้อจุลินทรีย์ และมีสมบัติส่งเสริมการทำงานของแมคโครฟาจซึ่งทำให้รักษาแผลได้เร็วขึ้น (E. A. Kamoun, Kenawy, & Chen, 2017) อย่างไรก็ตามการไฮโดรเจลจะมีประสิทธิภาพในการใช้งานได้ สูงเมื่อผสมกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นหนึ่งในพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ไม่ก่ ชนิดเท่านั้นที่สามารถละลายน้ำได้

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์พอลิไวนิลอะซีเตตด้วย กรดหรือด่าง โดยทั่วไปจะมีร้อยละการไฮโดรไลซ์เท่ากับ 86-88 และ 99.9 โดยเรียกว่า partial hydrolysis และ completely hydrolysis ตามลำดับ ทั้งนี้การสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่สามารถทำได้โดยตรงจากการใช้ไวนิลแอลกอฮอล์มอนอเมอร์เนื่องจากความไม่เสถียรของตัวมอนอ- เมอร์เองที่สามารถเปลี่ยนรูปกลายเป็นแอลดีไฮด์ได้ มีลักษณะ วาว โปร่งใส และสมบัติเด่นของพอลิ- ไวนิลแอลกอฮอล์ คือ มีสามารถในการขึ้นรูปฟิล์มได้ดี ซอบน้ำ ละลายน้ำได้ ต้านทานสารเคมี และ สมบัติอื่นๆคือ ต้านทานเชิงกล ปลอดภัยพิษที่ไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษหรือ ทำลายเซลล์เนื้อเยื่อของ ร่างกาย มีราคาถูก เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต และมีความสามารถในการขนส่งยาหรือสารอื่น ๆ ได้ (Atta, Brostow, Hagg Lobland, Hasan, & Perez, 2013) อีกทั้งยังสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีโครงสร้าง โมเลกุลเป็นแบบเส้นตรง และจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล หรือ % ไฮโดรไลซ์ยังมีผลต่อการละลายน้ำได้ดี แตกต่างกัน โดยที่ 88 % ไฮดรอกซิลสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าเพราะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน ระหว่างโมเลกุลได้มากกว่าเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำและราคาถูก มีต้นทุนในการผลิตต่ำ (E. A. Kamoun et al., 2017) (Jayakumar, Prabakaran, Sudheesh Kumar, Nair, & Tamura, 2011) ด้วยเหตุผลต่าง ๆ เหล่านี้จึงทำให้มีการใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอุตสาหกรรมกาว สิ่งทอ การแพทย์ และการเกษตร อีกทั้งมีการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อย่าง ต่อเนื่องจากคณะผู้วิจัย ต่าง ๆ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นไฮโดรโฟบิกเจล (hydrophobic gel) ซึ่งเกิด ไฮโดรเจลนั้นเกิดจากการเชื่อมขวางด้วยพันธะเคมีหรือแรงยึดเหนี่ยวทางกายภาพที่มีความแข็งแรงพอ ของหมู่ฟังก์ชันที่ซอบน้ำซึ่งต่ออยู่กับสายโซ่หลักของพอลิเมอร์เช่น พันธะโคเวเลนต์ พันธะไอออนิก พันธะไฮโดรเจนหรือแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (Hacker MC, 2011) โดยสามารถแบ่งไฮโดรเจลตามลักษณะ เชื่อมขวางได้เป็น 2 ประเภท คือการเชื่อมขวางทางกายภาพ และการเชื่อมขวางทางเคมี ดังนั้นพอลิ- ไวนิลแอลกอฮอล์จึงเป็นวัสดุที่ถูกนำไปผสมกับโคโคซานเพื่อให้ไฮโดรเจลที่ได้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น และมีความสามารถในการกักเก็บน้ำได้ดี

ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล ความคงรูป และความสามารถในการปลดปล่อยสารยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทางผู้วิจัยสนใจในการเตรียมโคโคซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ไฮโดรเจล ด้วยวิธีการเชื่อมขวางทางกายภาพ โดยอาศัยผ่านอนุพหุเวเนเป็นฐานรองเพื่อเสริมแรง และเติมน้ำมันหอมระเหยตะไคร้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

1.2 วัตถุประสงค์

1. ขึ้นรูปโคโคซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลโดยอาศัยผ่านอนุพหุเวเนเป็นวัสดุฐานรอง
2. ศึกษาความสามารถในการกักเก็บและการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยจากไฮโดรเจลที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาผลจากการเตรียมไฮโดรเจลที่มีส่วนผสมโคโคซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยอาศัยผ่านอนุพหุเวเนเป็นฐานรองเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล ความคงรูป และความสามารถในการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหย

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมแผ่นไฮโดรเจลที่สามารถกักเก็บของเหลวไว้ภายในโครงสร้างได้มากที่สุดซึ่งยังสามารถคงรูป และสมบัติเชิงกลไว้ได้อีกด้วย

ทราบถึงความสามารถในการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยภายในโครงสร้างของแผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้

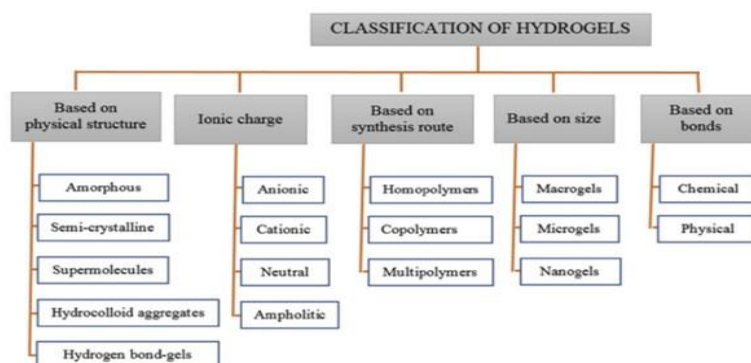
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไฮโดรเจล

ไฮโดรเจลเป็นพอลิเมอร์ชอบน้ำที่มีโครงร่างตาข่ายสามมิติซึ่งสามารถดูดซับน้ำและของเหลวทางชีวภาพไว้ภายในโครงร่างตาข่ายโดยที่แผ่นไฮโดรเจลไม่ละลาย ทั้งนี้เนื่องจากไฮโดรเจลมีโครงสร้างที่เชื่อมต่อกันภายในซึ่งเกิดจากการเชื่อมต่อกันด้วยวิธีการทางกายภาพ หรือทางเคมี และเกิดจากชนิดของวัสดุที่ใช้ในการเตรียม ทำให้ไฮโดรเจลที่ได้มีสมบัติแตกต่างกันออกไปเช่น ความยืดหยุ่น การกักเก็บน้ำ การบวมน้ำ การยับยั้งแบคทีเรีย ความสามารถในการขนส่งยา ความเข้ากันได้กับสิ่งมีชีวิต สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ เป็นต้น (Akhtar, Hanif, & Ranjha, 2016) จากสมบัติของไฮโดรเจลที่มีหลากหลายด้านนั้นส่งผลให้ไฮโดรเจลถูกนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ เช่น ตัวดูดซับโลหะหนัก คอนแทคเลนส์ แผ่นปิดแผล ผ้าอ้อมเด็ก ผ้าอนามัย ตัวบรรจุและขนส่งยา และสารเคลือบเมล็ดพันธุ์ เป็นต้น (Ahmed, 2015) อีกทั้งยังคงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ประยุกต์ใช้กับงานในด้านต่างๆได้มากขึ้นเช่น ทางด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ อุตสาหกรรมอาหาร เวชภัณฑ์เครื่องสำอางและยา วิศวกรรมเวชภัณฑ์ อุตสาหกรรมการเกษตร อุตสาหกรรมชีวเคมีบำบัด โดยเฉพาะทางการแพทย์ซึ่งมีประโยชน์เป็นอย่างมากยิ่งต่อการรักษาในปัจจุบัน เนื่องจากไฮโดรเจลหลายชนิดสามารถเข้ากันได้กับสิ่งมีชีวิตและไม่ส่งผลเสียต่อการใช้งานในมนุษย์ ทั้งนี้การใช้งานและสมบัติของไฮโดรเจลส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับวิธีการเตรียมและวัสดุที่ใช้ในการเตรียม (DAS, 2013) ซึ่งสามารถจัดจำแนกออกเป็นประเภทต่างๆได้หลายวิธี

2.1.1 การแบ่งประเภทของไฮโดรเจล

การจำแนกประเภทของไฮโดรเจลสามารถจัดจำแนกได้หลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับลักษณะที่ใช้ในการจัดแบ่งโดยทั่วไปนั้นสามารถจัดได้ตาม รูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การจัดจำแนกไฮโดรเจล

ที่มา: (Ullah, Othman, Javed, Ahmad, & Md Akil, 2015)

2.1.1.1 แบ่งตามโครงสร้างทางกายภาพ

1) ออสัญฐาน (amorphous)

โครงสร้างทางกายภาพแบบอสัญฐานมีการเรียงตัวของอนุภาคไม่สม่ำเสมอไม่เป็นระเบียบ และมีความเป็นผลึกน้อย ไม่มีรูปทรงเรขาคณิตที่แน่นอน ผิวหน้าไม่เรียบ มีมุมแตกต่างกันภายในโครงสร้าง สายโซ่ของพอลิเมอร์เกี่ยวพันกันไปมา (chain entanglement) ทำให้มีความโปร่งใสสูงมากกว่าโครงสร้างแบบสัจฐาน เมื่อได้รับความร้อนจะค่อยๆละลายกลายเป็นของเหลวหรือและไหลได้เรียกว่า อุณหภูมิหลอมไหล (melt flow temperature, T_f) ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะไม่มีจุดหลอมเหลวที่แน่นอน ดังนั้นโครงสร้างอสัญฐานจึงมีเฉพาะค่า T_g และไม่มี T_m อุณหภูมิที่ amorphous polymer

2) กึ่งผลึก (semi-crystalline)

โครงสร้างทางกายภาพแบบกึ่งผลึกมีการเรียงตัวของอนุภาคเป็นระเบียบส่วนหนึ่ง (crystalline region) และไม่เป็นระเบียบส่วนหนึ่ง (amorphous region) เมื่อได้รับความร้อนจนมีพลังงานมากพอที่จะทำลายพันธะโควาเลนต์ ทำให้พอลิเมอร์เกิดการสลายตัว ที่อุณหภูมินี้เรียกว่า อุณหภูมิสลายตัว (degradation temperature, T_d)

3) ซูพราโมเลคิว (Supermolecules)

ซูพราโมเลคิว เกิดจากแรงระหว่างโมเลกุลภายใน (Inter molecular bond) จับกันจนเป็นโครงสร้าง นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางการตรวจจับเกสต์โมเลกุล การตรวจจับสารโลหะ และกระตุ้นการทำงานบางอย่างภายในระบบของร่างกายได้

4) กลุ่มอนุภาคไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid aggregates)

กลุ่มอนุภาคไฮโดรคอลลอยด์ เป็นกลุ่ม พอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัว เพิ่มความหนืด หรือทำให้เกิดเจล มักนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

5) พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond-gel)

พันธะไฮโดรเจนเป็นแรงดึงดูดระหว่างอะตอมไฮโดรเจนของโมเลกุลที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงกว่ากับอะตอมไฮโดรเจนในโมเลกุลเดียวกันหรือโมเลกุลค่าเคียง

2.1.1.2 แบ่งตามประจุไอออนิก

1) สภาพประจุลบ (Anionic)

พอลิเมอร์ที่มีสภาพประจุลบ (anionic polyelectrolyte polymer) ภายในโครงสร้างของพอลิเมอร์นั้นจะมีหมู่ฟังก์ชันที่มีค่าความเป็นกรด-ต่างต่ำ คือ หมู่คาร์บอกซิล ($-COOH$) เมื่อพอลิเมอร์อยู่ในสารละลายต่างจะแตกตัวและจับกับน้ำทำให้พอลิเมอร์บวมขึ้น ซึ่งเมื่อนำไปใช้ในการขนส่งยา เมื่อเจอสภาวะที่เป็นด่าง จะบวมและปลดปล่อยยาออกมา แต่เมื่ออยู่ใน

สภาวะที่เป็นกรดเนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดในโครงสร้างและยังมีโปรตอนเหลืออยู่ทำให้ไม่แตกตัวเป็นไอออนในสภาวะกรด จึงไม่มีการบวมหรือพองตัวเกิดขึ้น

2) สภาวะประจุบวก (Cationic)

พอลิเมอร์ที่แสดงประจุบวก (cationic polyelectrolyte polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงในโครงสร้างเช่น เอมีน ($-NH_2$) เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุบวก (NH_3^+) พอลิเมอร์ที่ความชอบน้ำมากขึ้น จึงจับกับน้ำทำให้พอลิเมอร์บวมน้ำ ซึ่งเมื่อนำไปใช้ในการขนส่งยา พอลิเมอร์เจอสภาวะที่เป็นกรดจะบวมและปลดปล่อยยาออกมา แต่เมื่ออยู่ในสภาวะต่างจะไม่มีการแตกตัวของไอออน จึงไม่มีการบวมหรือตัวเกิดขึ้น

3) สภาวะประจุเป็นกลาง (Neutral)

พอลิเมอร์ที่แสดงประจุบวกแลประจุลบเท่ากันจับกันได้อย่างสมบูรณ์ทำให้ไฮโดรเจลที่ได้มีสภาพเป็นกลางทางประจุ

4) สภาวะที่มีทั้ง 2 ประจุ (ampholytic hydrogels)

เป็นไฮโดรเจลที่มีทั้ง 2 ประจุ และมีทั้งส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในอยู่ภายในโครงสร้างที่เชื่อมโยงต่อกัน

2.1.1.3 แบ่งตามวัสดุในการสังเคราะห์

1) โฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) โครงสร้างพอลิเมอร์ที่ได้นั้นเกิดจากโมโนเมอร์เพียงชนิดเดียว พอลิเมอร์ธรรมชาติที่เชื่อมโยงกันด้วยมอนอเมอร์เพียงชนิดเดียวเช่น แป้ง ไกลโคเจน เซลลูโลส ประกอบด้วยมอนอเมอร์ที่เป็นกลูโคสทั้งหมด พอลิเมอร์สังเคราะห์ที่เป็นโฮโมพอลิเมอร์เช่น พอลิเอทิลีน (PE) ประกอบด้วยมอนอเมอร์คือ เอทิลีน ($CH_2=CH_2$), พอลิโพรพิลีน (PP) ประกอบด้วยโมโนเมอร์คือ โพรพิลีน ($CH_2=CH-CH_3$)

2) โค-พอลิเมอร์ (Copolymer) ในสายโซ่ของพอลิเมอร์ประเภทนี้ประกอบด้วยมอนอเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โค-พอลิเมอร์ที่พบในธรรมชาติเช่น โค-พอลิเมอร์ โปรตีน เกิดจากการเชื่อมต่อกันของกรดอะมิโนชนิดต่างๆ และโค-พอลิเมอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์เช่น พอลิเมอร์ที่มีชื่อสามัญว่า ไนลอน 6,6 เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเฮกซะเมทิลีนไดเอมีน กับกรดอะดิปิก

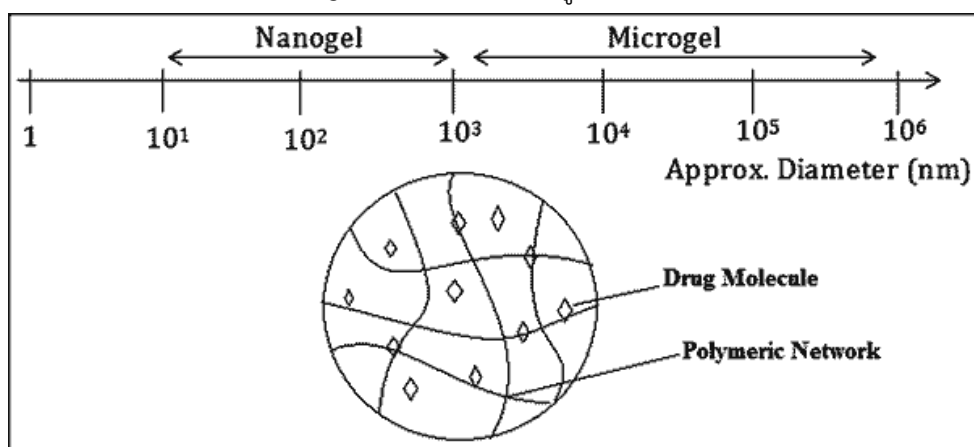
3) พอลิเมอร์หลายชนิด (Multipolymers) โครงสร้างของไฮโดรเจลที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์หลายชนิด

2.1.1.4 แบ่งตามขนาด

1) Macro gels มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $10^{-1}-10^{-3}$

2) Micro gels มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $10^{-3}-10^{-6}$

3) Nanogels มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10^{-6} - 10^{-9}



รูปที่ 2.2 ขนาดของโมเลกุลในการจำแนกไฮโดรเจล

ที่มา: (Chintan Dalwadi, 2015)

2.1.1.5 แบ่งตามการเชื่อมขวาง

1) วิธีทางกายภาพ (Physical cross-linking) เช่น การใช้ความร้อนกับสารละลายพอลิเมอร์, การแช่แข็งสารละลายพอลิเมอร์ แร่งไอออนิก การรวมกลุ่มที่เกิดจากความร้อน เป็นต้น

2) วิธีทางเคมี (Chemical cross-linking) เช่น การใช้ตัวเชื่อมโยงแบบ cross-linker เพื่อเชื่อมต่อกันระหว่างสองกลุ่มพอลิเมอร์ การเชื่อมโยงทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างพอลิเมอร์ ดังตารางที่ 2.1 (Syed K. H. Gulrez, 2011)

ตารางที่ 2.1 การเชื่อมโยงทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างพอลิเมอร์

Physical cross-linking	Chemical cross-linking
Hydrophobic interaction	Chemical cross-linkers
Complex coacervation	Radiation cross-linking
Hydrogen bonded	Chemical grafting
Ionic interaction	Radiation grafting
Freeze-thawing	

การเชื่อมโยงทางเคมีเป็นวิธีการเชื่อมขวางภายในโครงสร้างของไฮโดรเจลที่มีความแข็งแรงทางกลที่ดี มีการเชื่อมต่อที่ค่อนข้างแข็งแรง แต่อาจจะมีการตกค้างของสารเคมีหลงเหลืออยู่

ดังนั้นการใช้ไฮโดรเจลที่ได้จากการเชื่อมขวางทางเคมี ควรสกัดสารเคมีออกหรือทำให้เป็นกลางก่อนการนำไฮโดรเจลไปใช้งานเนื่องจากความเป็นพิษของสารนั้นๆอาจมีผลต่อระบบการทำงานของร่างกายได้ ดังนั้นจึงนิยมเลือกใช้การเชื่อมขวางด้วยวิธีทางกายภาพมากกว่า ด้วยเหตุผลด้านความปลอดภัย ความเป็นพิษ ความเข้ากันได้กับสิ่งมีชีวิต และด้วยปัญหาการย่อยสลายของพอลิเมอร์ต่างๆ ในปัจจุบันทำให้ผู้วิจัยส่วนใหญ่สนใจพอลิเมอร์ที่สามารถการย่อยสลายด้วยวิธีชีวภาพได้ ซึ่งนิยมเลือกใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติเป็นวัสดุในการเตรียมไฮโดรเจล พอลิเมอร์ธรรมชาตินั้นมีด้วยกันหลายชนิดที่สามารถนำมาเตรียมเป็นไฮโดรเจลได้โดยจากผลการวิจัยของ Elbadawy A. Kamoun และคณะ (2015) ได้รวบรวมข้อมูลสมบัติของพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบทำไฮโดรเจลไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ชนิดและสมบัติของพอลิเมอร์ที่ทำไฮโดรเจล

ชนิดของพอลิเมอร์	สมบัติ
Alginate	<ul style="list-style-type: none"> -ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ -เข้ากันได้กับสิ่งมีชีวิต -ละลายน้ำได้ -สมบัติเชิงกลไม่ดี -ลำบากในการขนย้าย -การเก็บรักษาในสารละลายและฆ่าเชื้อ
Chitosan	<ul style="list-style-type: none"> -เข้ากันได้กับสิ่งมีชีวิตอย่างดี -มีความเป็นไฮสแตติกดี -ย่อยสลายทางชีวภาพได้โดย lysozyme -ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ -เซลล์สามารถยึดเกาะได้ง่าย -ละลายได้เฉพาะในกรดอินทรีย์ -มีความหนืดสูง -สมบัติเชิงกลค่อนข้างอ่อนแอ

ตารางที่ 2.2 ชนิดและสมบัติของพอลิเมอร์ที่ทำไฮโดรเจล (ต่อ)

Strach	<ul style="list-style-type: none"> -ละลายน้ำได้(ขึ้นกับค่าDS) -สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์อะไมเลส -เข้ากับสิ่งมีชีวิตได้ดี -ราคาถูก -เกิดการเชื่อมต่อภายในโครงสร้างเองได้ยาก -ปรับปรุงสมบัติด้วยพอลิเมอร์ชนิดอื่นได้ง่าย
Dextran	<ul style="list-style-type: none"> -ละลายน้ำได้ -สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์อะไมเลส -เข้ากับสิ่งมีชีวิตได้ดี -มีราคาแพง -สมบัติเชิงกลค่อนข้างอ่อนแอ -เซลล์ยึดเกาะได้ไม่ดี
Glucan	<ul style="list-style-type: none"> -ละลายน้ำได้แต่กลูแคนจากยีสต์ไม่ละลายน้ำ -ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ -เข้ากับสิ่งมีชีวิตได้ -ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้เป็นอย่างดี -ช่วยรักษาบาดแผลได้ดี -ผสมกับgelatinเพื่อทำเป็นผิวหนังเทียมได้ -สมบัติเชิงกลค่อนข้างอ่อนแอ
Gelatin	<ul style="list-style-type: none"> -ละลายน้ำได้ -สามารถขึ้นรูปฟิล์ม และไฮโดรเจลได้ง่าย -มีความหนืดสูง -สามารถเสถียรที่อุณหภูมิสูงได้ดี -ย่อยสลายทางชีวภาพ -ทนต่อความร้อนสูงได้ดี

ตารางที่ 2.2 ชนิดและสมบัติของพอลิเมอร์ที่ทำไฮโดรเจล (ต่อ)

Poly(vinylpyrrolidone), PVP	<ul style="list-style-type: none"> -ละลายน้ำได้ -สามารถบวมน้ำได้อย่างรวดเร็ว -สามารถขึ้นรูปฟิล์มเป็นอย่างดี -เครือข่ายPVPไม่เป็นพิษ -เข้ากับสิ่งมีชีวิตได้ -ใช้งานด้านทางโลหิตและพลาสติกได้หลากหลาย -เชิงกลอ่อนแอ -ทนทานต่ออนุมูลมีต่ำได้ดี
Polymer-composite Montmorillonite (MMT) clay	<ul style="list-style-type: none"> -มีลักษณะเป็น hydrophilic -ต้องทำปฏิกิริยาก่อนนำมาใช้ -มีคุณสมบัติเชิงกล -สามารถทนความร้อน -นำมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์อย่างกว้างขวาง
ZnO nanoparticles	<ul style="list-style-type: none"> -เป็นอนุภาคนาโน อนินทรีย์ -ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้เป็นอย่างดี แต่เป็นสภาวะที่ความเข้มข้นต่ำ -ไม่ละลายน้ำสำหรับใช้ทางการแพทย์ -มีความเป็นพิษบ้างในสภาวะความเป็นต่างสูง -ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ -ฟิล์ม ZnO ช่วยกระตุ้นการงอกของผิวหนัง

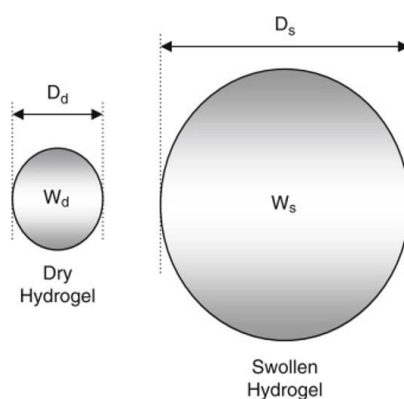
ที่มา: (Elbadawy A. Kamoun, Chen, Mohy Eldin, & Kenawy, 2015) (Adhav, 2017)

2.1.2 สมบัติของไฮโดรเจล

1) การบวมน้ำ (Swelling) ของไฮโดรเจลในสารละลาย เป็นสมบัติที่เกิดจากการที่ไฮโดรเจลมีหมู่ที่ชอบน้ำเช่น -OH, -CONH-, -CONH₂- และ -SO₃H เป็นต้น อยู่ภายในโครงสร้าง (Adhav, 2017) ดังนั้นไฮโดรเจลจึงถูกนำมาประยุกต์ในงานด้านต่างๆ โดยเฉพาะทางการแพทย์ซึ่งนิยมนำมาเป็นแผ่นปิดแผลหรือเจลสมานบาดแผล เนื่องจากไฮโดรเจลสามารถดูดซับของเหลวทางชีวภาพ

เช่น เลือด น้ำหนอง และของเสียอื่นๆจากบริเวณแผลของผู้ป่วยทำให้ไม่เกิดการหมักหมม และติดเชื้อเพิ่ม อีกทั้งยังช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้สำหรับในไฮโดรเจลบางชนิด รวมถึงการรักษาความชุ่มชื้นและมีการถ่ายเทของอากาศได้ดี บาดแผลประเภทแผลเปิด หรือแผลจากการถูกไฟไหม้ซึ่งเป็นแผลในวงกว้าง หากมีความชุ่มชื้นไม่เพียงพอจะทำแผลแห้งติดกับวัสดุปิดแผลก่อให้เกิดความลำบากสะดวกในการทำทำความสะอาดแผล และอาจมีการติดเชื้อแทรกซ้อนได้ง่ายขึ้น

คุณสมบัติการบวมน้ำสามารถวัดได้จากความจุ (capacity) ของการดูดซับน้ำหรือสารละลายซึ่ง ทั้งนี้ความสามารถในการดูดซับสามารถหาได้โดยการการนำไฮโดรเจลแห้งมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำเจลไปแช่ในน้ำกลั่นตามสภาวะแวดล้อมที่กำหนดและชั่งน้ำหนักของเจลหลังการบวมน้ำ แล้วนำน้ำหนักของเจลโดยลักษณะของไฮโดรเจลก่อนและหลังแช่จะมีการบวมน้ำขึ้นดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การบวมน้ำของไฮโดรเจล

ที่มา: (Ottenbrite, Park, & Okano, 2010)

หลังการบวมน้ำและน้ำหนักแห้งของเจลที่ได้มาคำนวณหาค่า equilibrium fluid content (%) ได้ดังสมการที่ 2.1

$$\text{Equilibrium fluid content (\%)} \text{ คือ } = \frac{W_d - W_s}{W_d} \times 100 \quad (2.1)$$

โดยค่า W_s และค่า W_d คือค่าน้ำหนักของเจลหลังการบวมน้ำ และน้ำหนักของเจลแห้งตามลำดับ ค่าจากการทดสอบการบวมน้ำของไฮโดรเจล (Water swelling test) ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยประกอบด้วย ประเภทและหมู่ฟังก์ชันของมอนอเมอร์ ความหนาแน่นของพันธะ และปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความแข็งแรงของพันธะไอออน เป็นต้น (วรินดา, 2010)

2) ความแข็งแรง (strength)

ความแข็งแรงของแผ่นไฮโดรเจลเกิดจากการเชื่อมต่อของโครงร่างตาข่ายและความหนาแน่นของพันธะภายในโครงสร้าง การเชื่อมต่อกันของพันธะทำให้เกิดเป็นช่องว่างภายในโครงสร้าง หากมีการเชื่อมต่อกันเหมาะสมจะทำให้แผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้มีความแข็งแรงที่ดี ส่งผลให้เจลสามารถดูดซับน้ำได้ในปริมาณมาก แต่หากความหนาแน่นของพันธะร่างแหน้อย โครงร่างของไฮโดรเจลจะไม่แข็งแรงและในทางกลับกันหากมีการเชื่อมต่อกันสูงมากเกินไป แผ่นไฮโดรเจลจะสามารถกักเก็บของเหลวไว้ภายในโครงสร้างได้ลดลงเนื่องจากมีพื้นที่ในการกักเก็บน้ำลดลง นอกจากนี้ความแข็งแรงที่เกิดขึ้นของไฮโดรเจลยังสัมพันธ์กับสมบัติอื่นๆ เช่น ความยืดหยุ่นของไฮโดรเจล การบวม น้ำ การถ่ายเทของอากาศ เป็นต้น การทดสอบความแข็งแรงของไฮโดรเจลินิยมทดสอบโดยการวัดค่าความต้านทานแรงดึง (tensile force) ด้วยเครื่อง Universal testing machine วิธีการทดสอบทำได้โดยวางปลายชิ้นงานทดสอบหรือแผ่นไฮโดรเจลตามตำแหน่งที่จับของเครื่องด้วยระยะคงที่ตามมาตรฐานกำหนด จากนั้นเครื่องจะออกแรงดึงชิ้นงานทดสอบด้วยอัตราเร่งคงที่ ผลจากการทดสอบคือค่าแรงที่ทดสอบกับระยะยืดของชิ้นงานทดสอบจนกระทั่งถึงจุดขาดเรียกว่า tensile strength break (จตุพร, 2014; วรินดา, 2010)

3) ความเข้ากันได้กับสิ่งมีชีวิต (Biocompatibility)

ไฮโดรเจลมีความสามารถในการกักเก็บน้ำได้ดี มีความอ่อนนุ่ม ความยืดหยุ่น โค้งงอตามพื้นที่ผิวได้ คล้ายคลึงกับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต สามารถยึดเกาะกับเนื้อเยื่อได้ง่าย เนื่องจากพื้นผิวของไฮโดรเจลมีความเป็นไฮโดรฟิลิกสูง และพบว่าในไฮโดรเจลบางชนิดเช่น ในกลุ่มที่ผลิตจากคาร์โบไฮเดรต ไม่มีความเป็นพิษ จึงสามารถเข้ากันได้ดีเยี่ยมกับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตเช่น ในโคโตซานพบว่าโคโตซานมีการตอบสนองต่อโฮสต์ได้ดี ยึดติดกับเนื้อเยื่อ กระตุ้นให้เกิดการเจริญของเนื้อเยื่อได้ และยังสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพด้วย lysozyme และ เอนไซม์อื่น (M. El Salmawi, 2007) (Hoare and Kohane, 2008)

4) การย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biodegradation)

ไฮโดรเจลที่ได้จากการเตรียมด้วยพอลิเมอร์ธรรมชาติจะย่อยสลายได้ง่ายเพราะมีความเปราะบางและมีการเปลี่ยนแปลงรูปไปมาได้ด้วยสารทางชีวภาพ ไฮโดรเจลสามารถย่อยสลายตัวมันเองได้อย่างช้าๆ และสลายตัวได้ในร่างกาย ทำให้มีการนำมาประยุกต์ใช้ทางด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อเช่น ใช้ในระบบนำส่งยา (drug delivery) ระบบนำส่งยีน (gene delivery), ซอฟต์แอกทูเอเตอร์ (soft actuator), อุปกรณ์การปลูกถ่ายอวัยวะ (Implant devices), วัสดุค้ำจุนสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (Tissue scaffolds) และ ไหมละลาย (Sutures) เป็นต้น กระบวนการย่อยสลายของไฮโดรเจลนี้สามารถย่อยสลายด้วยการ hydrolysis อย่างง่ายหรือการใช้ enzyme เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดการ hydrolysis พอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เป็นสารจำพวกพอลิ-

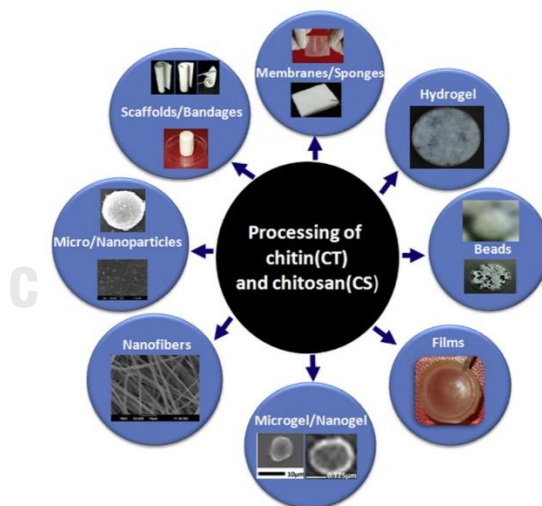
แซคคาร์ไรต์เช่น ไคโตซาน อัลจินเต พอลิแลกติกแอซิด โคลไกลโคลิกเอซิด เป็นต้น (Sood, Granick, & Tomaselli, 2014)

5) ความยืดหยุ่น (Elasticity)

ความยืดหยุ่นของวัสดุพอลิเมอร์นั้นสามารถส่งผลต่อเจลได้ โดยกลไกของแรงดึงซึ่งอาจจะทำให้เจลเปลี่ยนรูป หรือขยายตัวมากเกินไป โดยส่วนใหญ่แล้วค่าสัมประสิทธิ์ของวัสดุจะเป็นอัตราส่วนต่อแรงกด ซึ่งจะส่งผลต่อการขยายตัวของเจล ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ของการยืดหยุ่นนั้นจะส่งผลต่อการคืนตัวของเจล ซึ่งสมบัติการบวมตัวของไฮโดรเจลจะมีความสำคัญต่อความยืดหยุ่นของเจลและจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุลด้วย

2.2 ไคโตซาน

ไคติน (Chitin) หรือมิวโคพอลิแซคคาไรด์ (mucopolysaccharide) เป็นพอลิเมอร์ ของเอ็น-แอสีทิล-ดี-กลูโคซามีน (N-acetyl-D-glycosamine) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิด บีตา-1,4 ไคตินสามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ เป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ราคาถูก และมีการนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ในงานด้านต่างๆดังรูปที่ 2.3



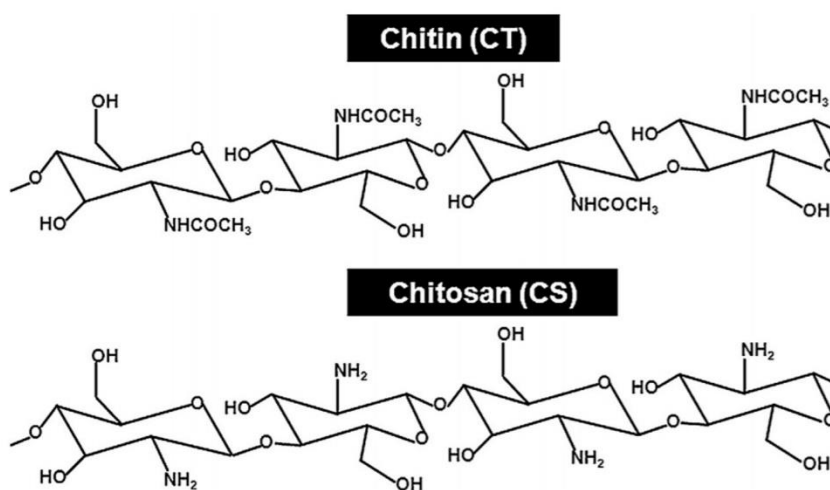
รูปที่ 2.3 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไคตินและไคโตซาน

ที่มา (Ottensmeyer et al., 2010)

2.2.1 ลักษณะทั่วไปของไคโตซาน

ไคโตซานจัดเป็นพอลิแซคคาไรด์และเป็นอนุพันธ์ของไคติน ทั้งไคตินและไคโตซานสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ยับยั้งแบคทีเรียและมีสารต้านอนุมูลอิสระ

ไคตินสามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติโดยมากจะพบในสัตว์น้ำที่ไม่มีกระดูกสันหลัง ซึ่งส่วนใหญ่มักถูกจัดอยู่ในไฟลัมอาร์โทรพอดา เช่น กุ้ง กั้ง ปู เนื่องจากอาร์โทรพอดเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดใหญ่มากที่สุดและมีจำนวนมากที่สุดในอาณาจักรสัตว์ ทำให้ไคตินถูกจัดเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีมากเป็นอันดับ 2 ในธรรมชาติรองจากเซลลูโลส และแมลงในไฟลัมอาร์โทรพอดนี้ก็เป็นสิ่งมีชีวิตที่พบไคตินเป็นส่วนประกอบเช่นกันโดยแมลงที่พบนั้นจะเป็นแมลงที่มีปีกเช่น ตั๊กแตน ค้างคาว นอกจากนี้ยังมีการพบว่าในจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น เห็ด รา และ ยีสต์ มีไคตินเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ ทั้งนี้ไคตินเป็นพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงเนื่องจากความเป็นผลึกที่อยู่ภายในเส้นใยซึ่งเมื่อไคตินเกิดจากการสูญเสียหมู่อะเซทิล (deacetylation) ของไคติน ทำให้โครงสร้างของไคโตซานเป็นพอลิแซ็กคาไรด์แบบเส้นตรงที่ประกอบไปด้วย β -(1,4)-linked D-glucosamine (หน่วย deacetylated) และ N-acetyl-D-glucosamine (หน่วย acetylated) โดยเรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ว่า ปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซีทิล (Deacetylation) ซึ่งสามารถทำได้โดยต่างเข้มข้น ทำให้โครงสร้างของไคตินบางส่วนเปลี่ยนแปลงไป โดยมีการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันที่มีหมู่ อะเซตามิโด (-NHCOCH₃) เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของหมู่เอมิโน (-NH₂) ที่ตำแหน่งคาร์บอนตัวที่ 2 ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างเคมีของไคโตซาน

ที่มา: (Anitha et al., 2014)

2.2.2 สมบัติของโคโตซาน

1) สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโคโตซานเป็นโพลีเมอร์สายยาว มีประจุบวก เนื่องจากเกิดโปรโตเนตหมู่อะมิโน (ในรูป -NH_3^+) โคโตซานละลายได้ดีในกรดอินทรีย์เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพาโนอิก กรดแลคติก เป็นต้น pK_a ของโคโตซานขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของโพลีเมอร์ ปริมาณประจุที่เหลืออยู่ เปอร์เซ็นต์การกำจัดหมู่อะซิติก (%DD) ของโคโตซาน ซึ่งการสะเทินประจุของโคโตซานนั้นเพื่อให้เป็นกลางควรมีค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายมากกว่า 6.2 สารละลายโคโตซานที่ได้มีความเหนียวใส และเป็นแบบนอน-นิวตันเนียน (non-newtonian) เมื่อมีปริมาณของโคโตซานในสารละลายเพิ่มมากขึ้นจะทำให้สารละลายมีสีเหลืองเล็กน้อย

2) สมบัติการละลาย (Solubility) โคโตซานจะไม่ละลายน้ำที่มีค่าความเป็นกรดต่ำกว่า 6.5 และตัวทำละลายที่เป็นต่าง สำหรับในกลุ่ม Mineral Acid เช่น กรดซัลฟูริก โคโตซานสามารถละลายได้ และในสารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง ได้แก่ สารละลายกรดอะซิติก, สารละลายกรดซिटริก และสารละลายกรดฟอร์มิกที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.2-100 โดยปริมาตร โคโตซานก็สามารถละลายได้เช่นกัน ซึ่งสถานะที่เป็นกรดนี้หมู่เอมีนอิสระ (NH_3) จะถูกโปรโตเนตไปอยู่ในรูปของหมู่ Cationic Amino (-NH_3^+) นอกจากนี้โคโตซานยังสามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์เจือจาง ได้แก่ สารละลายไฮโดรคลอริก, สารละลายกรดไนตริก และละลายได้เล็กน้อยในสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร ความสามารถในการละลายของโคโตซานในสารละลายกรดชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความสามารถในการละลายของโคโตซานในสารละลายกรดชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นของกรดต่างๆกัน

ชนิดของกรด	ความเข้มข้นของสารละลายกรด (v/v)				
	1%	5%	10%	50%	>50%
Acetic	+	+	+	+	
Adipic	+				
Formic	+	+	+	+	+
Lactic	+	+	+		
Melic	+	+	+		
Hydrochloric	+	-	-		
Nitric	+	-	-		

หมายเหตุ + แสดงว่าไคโตแซนสามารถละลายได้

- แสดงว่าไคโตแซนไม่สามารถละลายได้

*แสดงว่าไคโตแซนไม่สามารถละลายได้ในกรดซัลฟูริกและกรดฟอสฟอริก แต่ สามารถละลายได้ในกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นกรดน้อยกว่า 0.5%

3) ความหนืด (Viscosity) ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับภาวะที่ใช้ การกำจัดหมู่แอสเตทิล (Deacetylation) ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นมากและเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอสเตทิล ซึ่งพบว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น มาและเป็นเวลานาน จะทำให้ความหนืดของสารละลายลดลง เนื่องจากภาวะที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอสเตทิลรุนแรง โดยจะมีผลทำให้เกิดการแตกขาดของสายโซ่โมเลกุล เวลาในการกำจัดหมู่แอสเตทิลทำให้ ความหนืดของสารละลายไคโตซานเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งพบว่าทำให้มีปัญหาในการผลิตไคโตซานที่มีมวลโมเลกุลสูง

ความหนืดของสารละลายไคโตซานยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตัวทำละลายเช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้น เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานเกิดการแตกขาด

2.3 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol: PVA) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่สามารถละลายน้ำได้ และจัดเป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทพอลิโอเลฟิน ความสามารถในการละลายน้ำได้ เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นจำนวนมากในโครงสร้างของ PVA มีความเป็นไฮโดรฟิลิกสูงนอกจากนี้ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ยังสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีสมบัติการกักฟิล์ม สมบัติยึดติด มีความยืดหยุ่น ทนต่อแรงดึง ทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดี ด้านทานการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ และเป็นสารเพิ่มความคงตัวของระบบแขวนลอย ไม่มีพิษ ไม่มีกลิ่น สามารถดูดซึมของเหลวทางชีวภาพ หรือของเหลวที่มีน้ำเป็นตัวกลางได้ดี กักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างได้ปริมาณมาก (Hoffman, 2012; Elbadawy A. Kamoun & Kenawy, 2015)

2.3.1 ลักษณะทางกายภาพของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีลักษณะทางกายภาพเป็นผงหรือเม็ดสีขาวขุ่น เตรียมได้โดยการสังเคราะห์ขึ้นจากสารตั้งต้นที่ได้จากปฏิกิริยาการตัดแปรโมเลกุลของพอลิไวนิลอะซิเตต (Polyvinyl acetate: PVAc) หรือเรียกว่า ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส นำพอลิไวนิลอะซิเตตที่ละลายอยู่ใน

สารละลายเมธานอล ทำปฏิกิริยากับน้ำโซเดียมทั้งนี้สามารถทำปฏิกิริยาได้กับทั้งที่เป็นกรด หรือต่าง แต่นิยมใช้ต่างกันอย่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 40% ขึ้นไป เนื่องจากมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เร็วกว่า สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยานี้จะเกิดจากการตกตะกอน ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันถือได้ว่า พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดแรกๆ ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับสิ่งมีชีวิตเนื่องจากความเข้ากันได้ทางชีวภาพที่ดี และนำมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์หลายอย่างเช่น ผ้าปิดบาดแผล การรักษาบาดแผล ระบบการขนส่งยา ส่วนประกอบในอวัยวะเทียม คอนแทคเลนส์ เป็นต้น ทั้งนี้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ยังมีข้อจำกัดบางประการเช่น ความแข็งแรงในการยืดหยุ่น ลักษณะการชอบน้ำและละลายน้ำได้ดี การกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้าง ทำให้การใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นวัสดุเพียงอย่างเดียวในการทำเป็นไฮโดรเจลนั้นยังไม่ดีเท่าที่ควร จึงมีการพัฒนาโดยนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น ซึ่งพอลิเมอร์ที่ได้รับความสนใจโดยส่วนมากแล้วเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ เนื่องจากความปลอดภัย และความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Coviello & Matricardi, 2007; Kenawy, Kamoun, Mohy Eldin, & El-Meligy, 2014)

2.4 ผ่านอนุพเวณ (วัสดุฐานรอง)

สังเคราะห์ขึ้นได้เองด้วยวิธีการสาน ถัก ทอ หรือประสานจนเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องจักรหรือมือ ผ่านนับว่าเป็นสิ่งทอชนิดหนึ่งที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ในปัจจุบันจึงเกิดอุตสาหกรรมสิ่งทอขึ้นมากมายและมีบทบาทในระบบเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก

การจัดแบ่งประเภทของผ้า สามารถจัดได้หลากหลายรูปแบบโดยทั่วไปมักนิยมใช้ประเภทของเส้นใย หรือวิธีการขึ้นรูปในการจัดจำแนกซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

2.4.1 จำแนกตามประเภทของเส้นใย

1) เส้นใยธรรมชาติ ได้แก่

เส้นใยเซลลูโลส:	ผ้าฝ้าย, ผ้าลินิน, ปอ, ราบ
เส้นใยโปรตีน:	ผ้าขนสัตว์, ผ้าไหม, ผ้าขนแกะ
แร่ใยหิน:	ใยหิน, ไฟเบอร์กลาส

2) เส้นใยสังเคราะห์ ได้แก่

เส้นใยที่ทำขึ้นมาใหม่:	เส้นใยเรยอน, เส้นใยอะซิเตด
เส้นใยสังเคราะห์:	เส้นใยไนลอน, เส้นใยอะคริลิก, เส้นใยอะคริลิก

2.4.2 จำแนกตามประเภทของการปั่นด้าย

1) เส้นด้ายฝ้าย แบ่งเป็นเส้นด้ายสำหรับทอผ้าและเส้นด้ายสำหรับเย็บผ้า

2) เส้นด้ายใยสังเคราะห์ ได้แก่ เส้นด้ายโพลีเอสเตอร์ เส้นด้ายไนลอน เส้นด้ายอะครีลิก และ เส้นด้ายเรยอน

2.4.3 จำแนกตามประเภทของการขึ้นรูปผ้า

สามารถแบ่งออกเป็น ผ้าทอ (woven fabrics) ผ้าถัก (knitted fabrics) และ ผ้าไม่ถักไม่ทอ (nonwovens)

2.4.3.1 ผ้าทอ (woven fabrics)

เป็นผ้าที่เกิดจากกระบวนการทอด้วยมือหรือเครื่องทอ (weaving loom) โดยมีเส้นยืน (warp yarn) และเส้นพุ่ง (filling or weft yarn) ที่ทอขัดกันในแนวตั้งฉาก และจุดที่เส้นทั้งสองสอดประสานกัน (interlacing) จะเป็นจุดที่เส้นด้ายเปลี่ยนตำแหน่งจากด้านหนึ่งของผ้าไปด้านตรงข้าม การทอในปัจจุบันมีการพัฒนา จากการทอด้วยมือ (hand looms) ไปเป็นการใช้เครื่องจักรในการทอ โดยใช้เทคนิคหลากหลายรูปแบบ แตกต่างกันไปเช่น Air-jet loom, Rapier loom, Water-jet loom, Projectile loom และ Double-width loom เป็นต้น ผ้าทอแบ่งเป็นหลายประเภท ขึ้นกับลักษณะการทอเช่น Plain, Basket, Twill, Satin, Crepe, Dobby, Jacquard, Doublecloth, Pile, Slack-tension, Leno, และ Swivel

2.4.3.2 ผ้าถัก (knitted fabrics)

ผ้าถักเป็นผ้าที่เกิดจากการใช้เข็ม (needles) ถักเพื่อให้เกิดเป็นห่วงของด้ายที่มีการสอดขัดกัน (interlocking loops) โดยจะมีเส้นที่อยู่แนวตั้ง (Wales) และเส้นที่อยู่แนวนอน (courses) ผ้าถักแบ่งเป็นหลายประเภท ได้แก่ Filling-Knit fabrics เช่น Jersey, Rib structure, Interlock structure, Purl knits Warp knit fabrics, Raschel warp knit, Tricot warp knit, Simplex และ Milanese เป็นต้น

2.4.3.3 ผ้าไม่ถักไม่ทอ (nonwovens)

เป็นผ้าที่เกิดจากการสานกันไปมาของเส้นใย (fibrous web) มีการยึดกันด้วยการที่เส้นใยพันกันไปมา (mechanical entanglement) โดยใช้ความร้อน เรซิน หรือด้วยสารเคมี ในการทำให้เกิดการยึดกันระหว่างเส้นใย ผ่านอนุพวพวนสามารถผลิตได้หลายวิธี โดยมีขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ การขึ้นรูปแผ่น (Web formation) การยึดเส้นใยในแผ่น (Bonding process) และการตกแต่งสำเร็จ (Finishing process) ดังนี้

1) การขึ้นรูปแผ่น (Web formation) เป็นขั้นตอนการกระจายและโรยเส้นใยลงบนวัสดุรองรับเพื่อทำให้เป็นแผ่น (web) โดยเส้นใยที่ใช้อาจอยู่ในรูปเส้นใยโดยตรง dry-laid, wet-laid หรือขึ้นรูปเส้นใยจากเม็ดพลาสติกแล้วจึงโรยขึ้นรูปเป็นแผ่น (melt spinning)

2) การยึดเส้นใยในแผ่น (Bonding process) เป็นขั้นตอนการยึดตรึงเส้นใยในแผ่นไว้ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะและความแข็งแรงของแผ่นนอนวูฟเวนที่ได้ สามารถทำได้โดยวิธีต่างๆ

- วิธีการเชื่อมยึดความร้อน (Thermal bonding) เช่น ใช้ลูกกลิ้งร้อน (hot calendars) และลมร้อน (hot air) เพื่อให้บางส่วนของเส้นใย (หรือเม็ดกาวพลาสติก) มีการหลอมและยึดติดกันภายหลังทำให้เย็นตัวลง การใช้ลูกกลิ้งร้อนจะทำให้แผ่นนอนวูฟเวนที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นแบนที่มีความแข็งแรงแตกต่างกัน ซึ่งจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับพื้นที่สัมผัสของลูกกลิ้งร้อนบนแผ่นนอนวูฟเวน

- วิธีการเชื่อมยึดด้วยเคมี (Chemical bonding) เป็นการยึดเส้นใยด้วยกาวประเภทต่างๆ โดยกาวที่อยู่ในรูปของสารละลายจะทำให้มีผ้ามีลักษณะแห้งแข็ง เป็นแผ่นเรียบแบน แต่ถ้าใช้กาวประเภทโพลีเมอร์หรือสเปรย์กาวจะทำให้ได้ผ้าที่มีความหนาฟู มีความนุ่ม และคืนตัวได้ดี

- วิธีการเชื่อมยึดด้วยกระบวนการทางกล (Mechanical bonding) เช่น การปักด้วยเข็มปัก (needle punching) และการใช้น้ำแรงดันสูงฉีดผ่านโครงสร้างที่สานไปมาของเส้นใย เป็นต้น

3) การตกแต่งสำเร็จ (Finishing process) เป็นการเพิ่มลักษณะพิเศษให้กับผ้าเช่น สี กลิ่น ผิวนุ่ม การทวงไฟ และ ไฟฟ้าสถิต เป็นต้น ซึ่งสามารถทำได้โดยวิธีทางกายภาพและทางเคมี

ประเภทของผ้าไม่ถักไม่ทอ (nonwovens)

- Dry-laid: โดยการใช้ลมพ่นเส้นใยลงบนสายพานที่กำลังเคลื่อนตัวไป โดยการเรียงตัวของเส้นใยจะไม่มีทิศทางทำให้มีความแข็งแรงเท่ากันในทุกทิศทาง ตัวอย่างผ้าที่ได้จากการผลิตโดยกระบวนการนี้คือ ผ้าเช็ดอเนกประสงค์ กระดาษแยกช่องแบตเตอรี่ และ ใยกรอง เป็นต้น

- Wet-laid: โดยการกระจายเส้นใยลงในน้ำ แล้วทำการกรองผ่านเพื่อแยกน้ำออกจากเส้นใย ที่มีการเรียงตัวในทุกทิศทาง ตัวอย่างผ้าที่ได้จากการผลิตโดยกระบวนการนี้คือ ใยกรอง ใยฉนวน ผ้าเช็ดอเนกประสงค์และ กระดาษแยกช่องแบตเตอรี่

- Spun-bonded: เป็นการเตรียมผ้าโดยตรงจากเส้นใยที่ถูกฉีดออกมาจากหัวฉีดเส้นใย (spinnerets) เส้นใยต่อเนื่อง (continuous filament) ที่กำลังร้อนก็จะถูกฉีดสานไปมาบนสายพานที่กำลังหมุนอยู่ เส้นใย ที่เย็นตัวลงจะมีการเชื่อมติดตรงจุดที่มีการพาดผ่านระหว่างเส้นใยด้วยกัน การเชื่อมติดอาจทำเพิ่มเติม โดยการใช้ความร้อนและแรงกด นอนวูฟเวนที่ได้จากการผลิตโดยวิธีนี้จะมีค่าการทนต่อแรงดึงและแรงฉีกได้ดีตัวอย่างเช่น พ้นพรม ผ้าที่ใช้ในงานธรณี เสื้อผ้าป้องกันและ ใยกรอง เป็นต้น

- Hydroentangled หรือ spunlace: เป็นกระบวนการผลิตคล้ายกับการผลิตแผ่นนอนวูฟเวนแบบ spun-bonded ที่แตกต่างคือมีการใช้น้ำแรงดันสูงฉีดผ่านโครงสร้างที่สาน

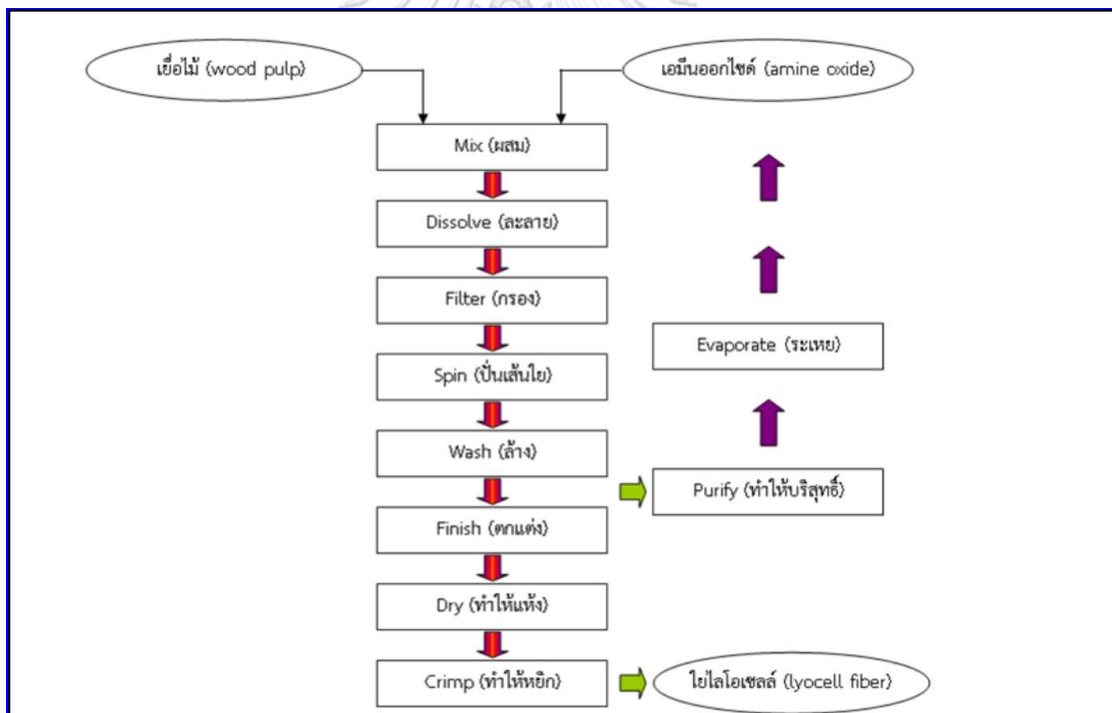
ไปมาของเส้นใย ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายผ้าทอ ผ้าที่ได้จะมีความยืดหยุ่นและโค้งงอได้มากกว่า spun bonded

- Melt-blown: เป็นการฉีดเส้นใยผ่านหัวฉีดไปยังบริเวณที่มีอากาศร้อนด้วยความเร็วสูง ทำให้เส้นใยขาด เป็นเส้นใยสั้นๆ และถูกเก็บลงบนสายพานที่เคลื่อนที่ การยึดติดเกิดจากการสานกันไปมาของเส้นใย และการใช้ความร้อน เนื่องจากเส้นใยไม่ได้ผ่านการดัดยัดก่อน ผ้าที่ได้จะมีความแข็งแรงน้อยกว่าชนิดอื่น เส้นใยที่นิยมใช้เทคนิคการผลิตนี้คือ เส้นใยโพลีเอทิลีนและโพลีเอสเตอร์ ซึ่งนิยมนำไปใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทางการแพทย์

- Needle punching: เป็นการเตรียมแผ่นนอนวูฟเวนโดยเทคนิค dry-laid แล้วนำมาผ่านเครื่องปักเข็ม (needle loom) เพื่อช่วยเพิ่มการยึดเกาะและความแข็งแรงของแผ่นนอนวูฟเวนให้มากขึ้น

2.4.4 ขั้นตอนการผลิตไลโอเซลล์ (lyocell)

กระบวนการผลิตไลโอเซลล์มีขั้นตอนการผลิต ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิตไลโอเซลล์

ที่มา: (ศศิประภา, 2018)

1) การผสม: นำเยื่อไม้ที่มีขนาดเล็กมาละลายในสารละลายที่มีความเข้มข้นโดยประมาณ 76-78% N-methylmorpholine-N-oxide (NMMO) โดยการเลือกใช้เยื่อไม้ควร

เลือกใช้เยื่อไม้ที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับเยื่อไม้ที่ใช้ผลิตวิสโคสเรยอน และมี degree of polymerization, DP ประมาณ 500-550 เพื่อให้ได้ไลโอเซลล์ที่มีคุณภาพ

2) การละลาย: นำของผสมจากขั้นตอนการผสมมาละลายที่อุณหภูมิเริ่มต้น 70-90 องศาเซลเซียส ภายใต้ระบบสุญญากาศ สารละลายจะมีความหนืดสูงขึ้นเรื่อยๆ และความร้อนจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึง 120 องศาเซลเซียส จนกลายเป็นเนื้อเดียวกัน และขจัดน้ำส่วนเกินออกด้วยความร้อนและความดัน เนื่องจากการใช้ความร้อนและความดันภายใต้สภาวะสุญญากาศทำให้เกิดฟองอากาศน้อยมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตลดลง

3) การกรอง: ตัวทำละลายที่ผ่านการกรองจะถูกกรองเพื่อขจัดส่วนประกอบที่มีขนาดใหญ่ออก

4) การปั่นหมุนเวียน: เส้นใยจะถูกอัดออกมาจากช่องอากาศเข้าไปในอ่างปั่น ที่มีสารละลาย NMMO อยู่ทำให้เส้นใยแข็งตัว แต่ถ้าเป็นเส้นใยเรยอนเหนียวต้องใช้กระบวนการปั่นเปียกในอ่างอาบน้ำที่เป็นกรด

5) การซัก: เส้นใยไลโอเซลล์ถูกล้างด้วยน้ำร้อนและนำ NMMO ส่วนที่เหลือไปทำให้บริสุทธิ์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ สามารถใช้ใหม่ได้มากกว่าร้อยละ 99.5

6) การตกแต่ง: ได้แก่ การฟอกขาวการตกแต่งใส่สารต้านทานการเกิดไฟฟ้าสถิต การทำเส้นใยให้นุ่มเพื่อเข้าสู่กระบวนการต่อไป และการอบแห้ง (Fink et al. 2001; Rosenau et al. 2001; Biganska and Navard 2005; Bredereck and Hermanutz 2005; Hauru et al. 2014)

2.4.5 สมบัติไลโอเซลล์

- 1) แข็งแรงกว่าเส้นใยเซลลูโลสอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปียก
- 2) ง่ายต่อการทำให้เป็นเส้นด้ายและผ้าผืนเดี่ยวหรือผสม
- 3) ง่ายต่อการผสมผสาน (นำเสนอสเส้นใยที่ไม่ซ้ำกัน)
- 4) ง่ายต่อการหมุนเพื่อปรับเส้นด้ายนับ
- 5) มีความเสถียรในการซักและอบแห้ง
- 6) มีความสามารถในการทนความร้อน
- 7) ง่ายต่อการย้อมสี

2.5 น้ำมันตะไคร้หอมระเหย

ตะไคร้เป็นพืชในจีนัส (Genus) *Cymbopogon* ซึ่งเป็นพืชที่มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว อยู่ในวงศ์ *Poaceae* (Gramineae) และประกอบด้วยสายพันธุ์ย่อยอีกประมาณ 180 ชนิดที่กระจายอยู่ในเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนทั่วโลก (Akhila, 2010) มีการนำมาใช้ในครัวเรือน การปรุงอาหาร เครื่องสำอาง อุตสาหกรรมน้ำหอม และยา เนื่องจากตะไคร้มีสรรพคุณ ในการรักษาระบบประสาทและระบบทางเดินอาหารและมีฤทธิ์ต้านอาการอักเสบ ขับลม ยาแก้ปวด แก้ปัสสาวะ ยาขับปัสสาวะ ยาระงับประสาท ต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์และเชื้อรา

2.5.1 อนุกรมวิธานของตะไคร้

อนุกรมวิธานของตะไคร้ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 อนุกรมวิธานของตะไคร้

Kingdom	Plantae
Plants Subkingdom	Tracheobionta (Vascular plants)
Superdivision	Spermatophyta (Seed plants)
Division	Magnoliophyta (Flowering plants)
Class	Liliopsida (Monocotyledons)
Subclass	Commelinidae
Order	Cyperales
Family	Poaceae
Genus	<i>Cymbopogon Sprengel</i>
Species	<i>Cymbopogon citratus</i> (D. C.) Stapf

ที่มา:(NEGRELLE, 2007)

2.5.2 ลักษณะทั่วไปของตะไคร้

ตะไคร้เป็นพืชล้มลุกอายุหลายปีขึ้นรวมกันเป็นกอหนาแน่น มีความสูงถึง 3 มม. ชอบดินร่วนซุย เหง้าใต้ดินสั้นมีกลิ่นเฉพาะ ลำต้นรูปทรงกระบอก เกลี้ยง แข็ง ใบเกลี้ยง ตั้งตรง ยาวประมาณ 1 ม. กว้าง 5-15 มม. รูปขอบขนานแคบ คมและสาก สีใบด้านบน ขาวกว่าด้านล่าง โคนใบสอบเรียว ลิ้นใบมีขอบหยابและบางครั้งเยื่อหรือแห้งสากยาว 4-5 มม. สีขาวนวลหรือขาวปนม่วง มีเกล็ดบางๆยาว 2 มม. ที่รอยต่อระหว่างกาบใบและตัวใบ ดอกออกยาก เป็นช่อกระจาย ช่อดอกย่อย

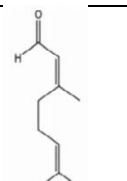
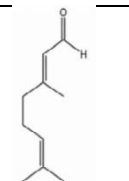
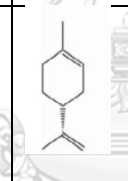
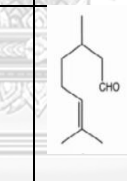
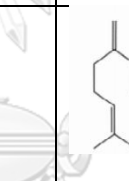
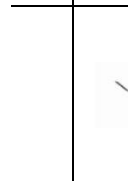
มีก้านออกเป็นคู่ๆ ดอกหนึ่งมีก้าน อีกดอกไม่มีก้าน ดอกย่อยประกอบด้วย ดอกเล็กๆ 2 ดอก ดอกกลางลดรูปเป็นกลีบเดียวโปร่งแสง ดอกบนสมบูรณ์เพศ และมีใบประดับ 2 ใบ (Khonsung, 2012)

2.5.3 ข้อมูลทางพฤกษเคมีของตะไคร้

ตะไคร้สดประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่โดยมีน้ำอยู่ภายในประมาณ 70-80% น้ำมันระเหยประมาณ 0.2- 3% ขึ้นอยู่กับวิธีสกัด ส่วนที่เหลือนั้นจะเป็นกากใยหรือโครงสร้างของพืช และสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตเช่น แคลเซียม โพแทสเซียม

น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้นั้นโดยส่วนมากจะมีสารประกอบเชิงซ้อนหลายชนิดเป็นส่วนประกอบซึ่งสารอินทรีย์เหล่านั้นได้แก่ monoterpene hydrocarbons, oxygenated monoterpenes, sesquiterpene hydrocarbons และ oxygenated sesquiterpenes สารประกอบเชิงซ้อนในน้ำมันหอมระเหยในกลุ่มของสารอินทรีย์นั้นแสดงไว้ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สารอินทรีย์หลักภายในน้ำมันหอมระเหยตะไคร้

neral	geranial	limonene	citronelal	myrcene	geraniol
					

ที่มา: (Khonsung, 2012; สวรรยา, 2010)

2.5.4 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา

ตะไคร้เป็นพืชที่ถูกนำมาใช้เป็นยาสมุนไพรกันอย่างกว้างขวาง มีการศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสารสกัดตะไคร้ รวมถึงสาระสำคัญต่างๆ ทั้งในหลอดทดลอง ในสัตว์ทดลอง และในคน

2.5.4.1 ฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย

เมื่อนำน้ำมันตะไคร้หอมระเหยที่สกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้น 20 มก.ต่อ มล.ต่อ disc มาทดสอบด้วยวิธี disc-diffusion พบว่ามีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของ *Streptococcus aureus* และ *Escherichia coli* น้ำมันหอมระเหยมีฤทธิ์ต้าน แบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าแกรมลบ โดยสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Streptococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus pneumoniae*, *S. pyogenes*, *Salmonella paratyphi A*, *Salmonella typhi*

H 901, *Salmonella typhi* S 32, *Bacillus subtilis* var. niger, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas fluorescens* และเมื่อทดสอบความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้ 5% โดยน้ำหนักด้วยวิธี disc diffusion พบว่าสามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* และ *S. typhimurium* ได้ดีที่สุด

2.5.4.2 ฤทธิ์ต้านเชื้อรา

น้ำมันตะไคร้หอมระเหยความเข้มข้น 6 – 8 % v/v สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Colletotrichum graminicola*, *Fusarium moniliforme* และ *Phoma sorghina* ในข้าวฟ่าง ได้ประมาณ 40-76% เมื่อเทียบกับยามาตรฐาน Dithane M-45 ซึ่งยับยั้งได้ 76.2% และที่ความเข้มข้น 6% ได้ผลในการควบคุมการติดเชื้อราและการแพร่ระบาดของเชื้อราเป็นอย่างดี

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าส่วนประกอบในน้ำมันตะไคร้หอมระเหยมีฤทธิ์ในการต้านทั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา จึงมีความน่าสนใจในการนำมาพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ต่อไป

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Duan, Chen, Jiang, and Hua Li (2008) ศึกษาการเตรียมไฮโดรเจลโดยการตอกกิ่งโคพอลิเมอร์ poly (rosin-(2-acryloyloxy) ethyl ester) (RAEE) ลงบนไคโตซาน (Cts) โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่ม และใช้รังสีไมโครเวฟเป็นแหล่งพลังงานกระตุ้น เพื่อให้ได้กราฟต์โคพอลิเมอร์ Cts-graft-PRAEE ทดสอบประสิทธิภาพในการปลดปล่อยพีนีโพรเฟนแคลเซียมภายใต้ น้ำย่อยของลำไส้เล็กเทียม พบว่า โคพอลิเมอร์สามารถควบคุมให้เกิดการปลดปล่อยช้าลงได้เป็นอย่างดี และดีกว่าการให้ไคโตซานเพียงอย่างเดียว

Jayakumar et al. (2011) ศึกษาไคตินและไคโตซานบนวัสดุชนิดต่าง ๆ ทั้งไฮโดรเจล เมมเบรน โครนลิ่งเซลล์ และฟองน้ำ เพื่อใช้ในการรักษาบาดแผล ซึ่งพบว่าวัสดุที่มีไคตินและไคโตซานเป็นส่วนประกอบนั้นมีความทนทาน เข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อ มีความเป็นพิษต่ำ และยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียไปในทิศทางเดียวกันแต่มีสมบัติบางอย่างแตกต่างทั้งนี้เนื่องมาจากวัสดุที่ใช้เช่น อุณหภูมิ การดูดซึมของเหลวจากบาดแผล การซึมผ่านของออกซิเจน และการย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ทั้งนี้ทางผู้วิจัยได้เสนอแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยการเลือกให้พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ประเภทต่าง ๆ เช่น แอลจีเนต พอลิเอทิลีนไกลคอลไดอะคริเลต พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต เป็นต้น

Kenawy และคณะ (2014) ศึกษาไฮโดรเจลที่เตรียมจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และ hydroxyethyl starch (HES) โดยเติม ampicillin ด้วยวิธีการแช่แข็งและละลาย 3 ครั้ง พบว่าสมบัติเชิงกลและเชิงเคมีของแผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้นั้นสามารถยืดหยุ่นด้านแรงดึงได้ดี และสามารถดูดซับโปรตีน ซึ่งเป็นผลมาจากการกระจายตัวของ HES ภายใน PVA และความเป็นผลึกของ PVA ซึ่ง

จากการทดสอบพบว่าอัตราการปลดปล่อยยา ของไฮโดรเจลที่มีสัดส่วนโดยน้ำหนัก HES : PVA เป็น 1 : 7.5 สามารถปลดปล่อย ampicillin ออกมาได้มากถึง 60% ภายในเวลา 1 ชั่วโมงและยังคงมีอัตราการปลดปล่อยคงที่ต่อเนื่อง (Kenawy et al., 2014)

Sung และคณะ (2010) ศึกษาการเตรียมไฮโดรเจลผสมจาก PVA และ CS ด้วยวิธีการแช่แข็งและละลาย โดยเติม minocycline ซึ่งเป็นยาปฏิชีวนะชนิดหนึ่ง เมื่อประเมินการทำงานของแผ่นไฮโดรเจลนี้กับบาดแผลที่ผิวหนังของหนู พบว่าบาดแผลที่เกิดขึ้นสามารถสมานได้เร็วขึ้น โดยแผลที่ปิดด้วยแผลปิดแผลไฮโดรเจลที่มี minocycline มีความยาวของแผลเปิด (Lengths of desquamated epithelial regions) เหลือเพียง 0.49 mm จากค่าความยาวของแผลเริ่มต้นที่ 10 mm และพบว่าแผ่นไฮโดรเจลที่ไม่ได้เติม minocycline มีความสามารถน้อยกว่าแผ่นไฮโดรเจลที่เติมอย่างมีนัยยะสำคัญ (Sung et al., 2010)

Natta and Orapin (2008) และคณะ (2008) ศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียด้วยวิธี agar diffusion ของน้ำมันหอมระเหยจากพืชตระกูล *Zingiberaceae species* ทั้งหมด 5 ชนิด พบว่า น้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากข่าโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ถึง 6 มิลลิเมตร (Natta, Orapin, & Krittik, 2008)

Ali-Riza Beden และคณะ (2014) ศึกษาการใช้เส้นใยและการใช้เส้นใยผสมกับไคโตซาน ในอัตราส่วนผสมต่างกัน ทดสอบตามมาตรฐานด้วยวิธี AATCC test method 100-2004 พบว่า ผ้าฝ้าย ไลโอเซลล์ และ ไคโตซาน สามารถลดจำนวนแบคทีเรียได้ 0, 92.38 และ 99.99 ตามลำดับ เนื่องจากทั้งไลโอเซลล์และไคโตซานมีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเส้นใย จึงทดลองนำเส้นใยไลโอเซลล์ผสมกับไคโตซานในอัตราส่วนดังนี้คือ ไลโอเซลล์ : ไคโตซาน เป็น 85 : 15 และ 95 : 5 ซึ่งสามารถลดจุลินทรีย์ได้ 99.99% ทั้ง 2 อัตราส่วน ดังนั้นการใช้ไลโอเซลล์ผสมไคโตซานในการผลิตเส้นด้ายและผ้าจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถลดปริมาณเชื้อแบคทีเรีย สะอาด และถูกสุขลักษณะมากขึ้น (Ali-Riza, 2014)

บทที่ 3 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมีและอุปกรณ์สำหรับการเตรียมไฮโดรเจล

สารเคมี

- ไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุล 52,000, 92.38% ดรีกรี ดีอะซิทิลเลชั่น จากบริษัท A.N. LAS (Aquatic Nutrition Lab) Ltd.
- พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 94% hydrolysis จากบริษัท Japan VAM& POVAL
- ผ่านอนุพเวเน DuPont™ Sontara® SL จากบริษัท DuPont U.S.A.
- น้ำปราศจากไอออน (Distilled Water)
- สารละลายกรดอะซิติก (CH_3COOH) AR-grade

อุปกรณ์

- เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- ปีกเกอร์ขนาด 100 200 600 และ 1,000 มิลลิลิตร
- แท่งแก้วคนสาร
- เครื่องกวนแบบแม่เหล็ก
- กล้องขึ้นรูปไฮโดรเจล

3.1.2 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง

สารเคมี

- 0.1 M โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 0.1 M ไฮโดรคลอริก (HCl)
- น้ำปราศจากไอออน (Distilled Water)

อุปกรณ์

- เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- ปีกเกอร์ขนาด 100 20, 600 และ 1,000 มิลลิลิตร
- แท่งแก้วคนสาร
- หลอดหยด

3.1.3 สารเคมีและอุปกรณ์สำหรับการทดสอบด้วย disk diffusion technique, ASTM E2419 และ AATC TM 100

สารเคมี

- น้ำมันตะไคร้หอมระเหย
- Tween 20 หรือ Polysorbate 20 [CAS No: 9005-64-5] จากบริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด
- แอลกอฮอล์ (70% v/v)

อุปกรณ์

- Filter paper disc ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว
- หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ
- ตู้อบฆ่าเชื้อ
- ตู้บ่มฆ่าเชื้อ
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- จานเพาะเชื้อ
- แท่งแก้วคนสาร
- แท่งแก้วสามเหลี่ยม (spreader)
- เข็มเขี่ยเชื้อปลายกลม (loop)
- เข็มเขี่ยเชื้อปลายแหลม (needle)
- กระจกตวงขนาด 500 มิลลิลิตร
- ตะเกียงแอลกอฮอล์
- Water bath
- เทอร์โมมิเตอร์
- ขาดังพร้อมที่จับเทอร์โมมิเตอร์
- ปิเปต ขนาด 1, 5 และ 10 มิลลิลิตร
- ไมโครปิเปต ขนาด 20, 200, 500 และ 1,000 ไมโครลิตร
- จุกยางสามทางสำหรับดูดสาร
- ขวดฝาเกลียว Scottch Duran ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร
- หลอดทดลองฝาเกลียว ขนาด 16 ม.ล. x 100 ม.ล.
- Autoclave Sterilization Tape

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดสอบ

- *Staphylococcus aureus* ATCC#6538

อาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์

- Tryptic soy agar (TSA)
- Tryptic soy broth (TSB)

3.2. การทดสอบ

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมไฮโดรเจล

- 1) ชั่งไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ตามอัตราส่วนต่างๆ ดังตาราง โดยตาราง อัตราส่วนผสมทั้งหมดแบ่งเป็น 1% และ 2% ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนการเตรียมไฮโดรเจล ไคโตซานต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

No.	PVA : Chitosan (รวม 1%)	1% acetic acid (ml)	น้ำหนักรวม (g)
1	0.0 : 1.0	99	100
2	0.1 : 0.9	99	100
3	0.2 : 0.8	99	100
4	0.3 : 0.7	99	100
5	0.4 : 0.6	99	100
6	0.5 : 0.5	99	100
7	0.6 : 0.4	99	100
8	0.7 : 0.3	99	100
9	0.8 : 0.2	99	100
10	0.9 : 0.1	99	100
11	1.0 : 0.0	99	100

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนการเตรียมไฮโดรเจล ไคโตซานต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์(ต่อ)

No.	PVA : Chitosan (รวม 2%)	1% acetic acid (ml)	น้ำหนักรวม (g)
12	2.00 : 0.00	98	100
13	1.75 : 0.25	98	100
14	1.50 : 0.50	98	100
15	1.25 : 0.75	98	100
16	1.00 : 1.00	98	100
17	0.75 : 1.25	98	100
18	0.50 : 1.50	98	100
19	0.25 : 1.75	98	100
20	0.00 : 2.00	98	100

- 2) เตรียมสารละลาย 1 % v/v กรดแอซีติก ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
- 3) นำของผสมสูตรต่างๆ ตามตาราง 3.1 มาละลายในสารละลายกรดแอซีติก กวนด้วยแท่งแก้วคน แล้วนำไปตั้งไว้บนเครื่องกวนแบบแม่เหล็กจนละลายเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์

3.2.2 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำ

- 1) ชั่งน้ำหนักกล่องขึ้นรูปไฮโดรเจล หรือแม่แบบและจดบันทึกน้ำหนักของแต่ละกล่องไว้
- 2) เทสารละลายผสมแต่ละอัตราส่วนลงในกล่องแม่แบบ กล่องละ 10 กรัม ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ บันทึกน้ำหนักของแต่ละกล่อง
- 3) วางตัวอย่างทดสอบไว้ในตู้อบที่มีอุณหภูมิประมาณ $30^{\circ}\text{C} \pm 2$ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50% เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อให้สารผสมเป็นแผ่น
- 4) หลังจากนั้นนำไปวางบนผ้าซับน้ำเบาๆ เพื่อซับน้ำส่วนเกินที่อยู่บริเวณผิวของแผ่นไฮโดรเจลออก

- 5) ชั่งน้ำหนักแผ่นไฮโดรเจล และจดบันทึก ก่อนนำไปปรับค่า pH ของแผ่นไฮโดรเจล ให้เป็นกลาง
- 6) ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของแผ่นไฮโดรเจลด้วย 0.1 M โซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7 แล้วแช่ในน้ำกลั่นเพื่อล้างเกลือส่วนเกิน ออกให้สะอาด
- 7) หลังจากนั้นนำไปวางบนผ้าซับน้ำเบาๆ เพื่อซับน้ำส่วนเกินที่อยู่บริเวณผิวของแผ่นไฮโดรเจลออก
- 8) นำแผ่นไฮโดรเจลไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่งซึ่งน้ำหนักก่อนและหลังปรับค่าความเป็นกรดต่างควรมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.02 กรัมโดยน้ำหนัก
- 9) จดบันทึกน้ำหนักแผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้ นำไปหาค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนนั้นๆ และคำนวณผลการกักเก็บน้ำของแผ่นไฮโดรเจลในอัตราส่วนต่างๆ ตามสมการที่ 3.2.1

$$\text{ร้อยละการกักเก็บน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \quad (3.2.1)$$

3.2.3 ขั้นตอนการศึกษาฤทธิ์ของน้ำมันตะไคร้หอมระเหยในการยับยั้งการเจริญของ *S.aureus* โดยทดสอบด้วย Disk diffusion Technique

การทดสอบด้วย Disk diffusion techniques เป็นการทดสอบเชิงคุณภาพ ซึ่งนิยมใช้กันเนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่าย รวดเร็ว ขั้นตอนไม่ซับซ้อน และผลมีความแม่นยำ แต่การรายงานผลจะเป็นผลโดยกว้างเฉพาะค่าความเข้มข้นที่ทดสอบเท่านั้น โดยอาศัยหลักการการแพร่ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ความเจือจางต่างๆ และเติมลงบน Filter paper disc ซึ่งวางอยู่บนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีเชื้อกระจายอยู่แล้ว หลังจากนั้นนำไปเข้าตู้บ่มตามอุณหภูมิ และเวลา ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการทดสอบ สำหรับผลการทดสอบความเจือจางของสารออกฤทธิ์ที่มีความเข้มข้นสูงจะสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าที่มีความเข้มข้นต่ำและสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้เป็นวงกว้างกว่า ซึ่งบริเวณที่มีการยับยั้งนั้นได้ก็จะไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์รอบ filter paper disc และเห็นเป็นวงใสๆแทน เรียกบริเวณที่ไม่มีการเจริญของจุลินทรีย์รอบ filter paper disc ว่า “inhibition zone” ซึ่งค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดของสารออกฤทธิ์ที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้นั้นเรียกว่า “Minimal Inhibitory Concentration” หรือ “MIC” ซึ่งดูได้จากความเจือจางสุดท้ายที่ยังมีการเกิด inhibition zone อยู่

ขั้นตอนการทดสอบ

1) เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

ในการทดสอบนี้ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic soy broth (TSB) สำหรับการเพิ่มจำนวนเชื้อเพื่อนำไปทดสอบ และใช้ Tryptic soy agar (TSA) สำหรับการทดสอบสารออกฤทธิ์ที่มีต่อการเจริญของจุลินทรีย์

2) เตรียมเชื้อที่ต้องการทดสอบให้มีความเจือจางที่เหมาะสม และมีปริมาณเพียงพอต่อการทดสอบ

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดสอบนี้คือ *S.aureus* ดังนั้น ก่อนจะทดสอบจะต้องเพิ่มจำนวนเชื้อให้เชื้ออยู่ในช่วงการเจริญ และมีจำนวนเชื้อที่มีชีวิตเหมาะสมกับการทดสอบ โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ TSB และบ่มที่ $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 18 - 24 ชั่วโมง แล้วไม่ควรใช้เชื้อที่มีอายุมากกว่า 24 ชั่วโมง นำไป streak บน TSA slant บ่มที่ $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 18 - 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเช็ดโคลนเดี่ยวของ *S.aureus* ที่เพาะเลี้ยงไว้ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มี อายุไม่เกิน 24 ชั่วโมง มาประมาณ 2-3 โคลน ใส่ลงไปในการอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB และนำไปปรับความเจือจางให้เทียบเท่ากับ 0.5 McFarland และทำการเจือจางจนได้ความเข้มข้นที่ 10^7 CFU/mL นำสารละลายเชื้อที่ได้ไปกระจายบนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยใช้ปริมาณ 100 μL เกลี่ยให้เชื้อกระจายจนทั่วอาหารอย่างสม่ำเสมอ

3) ทดสอบสารออกฤทธิ์

ใช้ปากคีบ (forceps) ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วคีบ filter paper disc ขนาด 6 มิลลิเมตร วางตามตำแหน่งที่กำหนดไว้แล้ว บนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีเชื้อกระจายอยู่แล้ว จากนั้นหยดสารออกฤทธิ์ ที่ความเจือจางต่างๆ ปริมาณ 10 μL ลงบน filter paper disc ความเจือจางละ 1 disc ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

4) อ่านค่า แปรผล และบันทึกผลการทดสอบ

หลังจากครบเวลาบ่มแล้ว นำตัวอย่างจานเพาะเชื้อมาอ่านผลการยับยั้งหรือ inhibition zone โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณที่ไม่มีการเจริญของ *S.aureus* ซึ่งค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดของสารออกฤทธิ์ที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้นั้น คือความเจือจางสุดท้ายที่ยังมีการเกิด inhibition zone อยู่ บันทึกผลการทดสอบทั้งนี้ผลที่ได้จะนำไปใช้ในการทดสอบลำดับถัดไป

3.2.4 ขั้นตอนการศึกษาฤทธิ์ของน้ำมันตะไคร้หอมระเหยในการยับยั้งการเจริญของ *S.aureus* โดยทดสอบด้วย ASTM E2149-10 (Standard Test Method for Determining the Antimicrobial Activity of Immobilized Antimicrobial Agents Under Dynamic Contact Conditions)

การทดสอบด้วย ASTM E2149-10 เป็นการทดสอบทางปริมาณซึ่งใช้วัดความสามารถของสารออกฤทธิ์หรือ น้ำมันหอมระเหยที่ความเจือจางต่างๆ ในการยับยั้งการเจริญหรือการลดจำนวนลงของเซลล์จุลินทรีย์ที่มีชีวิต โดยการเติบน้ำมันตะไคร้หอมระเหยที่ความเจือจางต่างๆลงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีเซลล์ที่มีชีวิตของจุลินทรีย์ที่ต้องการทดสอบอยู่ แล้วนำไปบ่มจนครบตามเวลาที่กำหนด แล้วจึงถ่ายตัวอย่างลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อนำไปตรวจนับปริมาณเชื้อโดยใช้วิธีการตรวจวิเคราะห์ด้วยการนับเชื้อ

ขั้นตอนการทดสอบ

1) เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

ในการทดสอบนี้ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic soy broth (TSB) สำหรับการเพิ่มจำนวนเชื้อเพื่อนำไปทดสอบ และใช้ Tryptic soy agar (TSA) สำหรับการทดสอบสารออกฤทธิ์ที่มีต่อการเจริญของจุลินทรีย์

2) เตรียมเชื้อที่ต้องการทดสอบให้มีความเจือจางที่เหมาะสม และมีปริมาณเพียงพอต่อการทดสอบ

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดสอบนี้คือ *S.aureus* ดังนั้น ก่อนจะทดสอบจะต้องเพิ่มจำนวนเชื้อให้เชื้ออยู่ในช่วงการเจริญ และมีจำนวนเชื้อที่มีชีวิตเหมาะสมกับการทดสอบ โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ TSB และบ่มที่ $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 18 - 24 ชั่วโมง แล้วไม่ควรใช้เชื้อที่มีอายุมากกว่า 24 ชั่วโมง นำไป streak บน TSA slant บ่มที่ $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 18 - 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเชื้อโคโลนีเดี่ยวของ *S.aureus* ที่เพาะเลี้ยงไว้ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มี อายุไม่เกิน 24 ชั่วโมง มาประมาณ 2-3 โคโลนี ใส่ลงไปในการอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB และนำไปปรับความเจือจาง

3) ทดสอบสารออกฤทธิ์

นำสารออกฤทธิ์หรือน้ำมันตะไคร้หอมระเหยเจือจางด้วย 0.05% Tween20 จะได้ความเจือจางของน้ำมันตะไคร้หอมระเหยต่างๆดังนี้ 1:1, 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32 และ 1:64 ตามลำดับ หลังจากนั้นเตรียมหลอดแอฟเพนดอร์ฟ (ependrof tube) จำนวน 8 หลอดโดยระบุหลอดตามความเจือจางของน้ำมันหอมระเหยที่ต้องการทดสอบ แล้วเติมสารละลายจุลินทรีย์ 10^8 CFU/ml ที่เตรียมได้ลงในหลอดแอฟเพนดอร์ฟ (ependrof tube) ปริมาณ 100 μl จำนวน 6 หลอด แล้วนำสารละลาย

น้ำมันตะไคร้หอมระเหยที่ความเจือจางต่างๆเติมลงไปให้หลอดเอนเพนดอร์ฟหลอดละ 100 μl นำไปบ่มที่อุณหภูมิ $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 18 - 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปspread โดยถ่ายเชื้อจากหลอดแอฟเพนดอร์ฟ ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA ปริมาณ 100 μl แล้วเกลี่ยเชื้อให้กระจายทั่วผิวน้ำของอาหารเลี้ยงด้วยแท่งแก้วสามเหลี่ยมที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วจนสารละลายซึมผ่านอาหารเลี้ยง สังเกตว่าไม่มีสารละลายกองอยู่บนผิวน้ำอาหารเลี้ยงเชื้อแล้วจึงนำไปเข้าตู้บ่มที่ $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำซ้ำโดยระดับความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ

4) อ่านค่า แปรผลการตรวจวิเคราะห์ด้วยการนับเชื้อ และบันทึกผลการทดสอบ

ลักษณะโคโลนีของ *S. aureus* ที่พบจะมีโคโลนีกลม เรียบ โค้งนูน มีความเงา ไม่แห้ง มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-3 มิลลิเมตร การอ่านค่าที่ได้ด้วยวิธีการตรวจนับจำนวนโคโลนีของ *S. aureus* หลังจากการบ่ม 0 และ 24 ชั่วโมง ควรเลือกนับจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนการเจริญของโคโลนีประมาณ 30-300 โคโลนีต่อจานเพาะ บันทึกผลจำนวนโคโลนีที่นับได้ นำไปคำนวณปริมาณเชื้อในหน่วย CFU/ml แล้วนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของ *S.aureus* ตามสมการที่ 3.2.2 และ Log_{10} การลดลงของ *S.aureus* ตามสมการที่ 3.2.3

$$\text{เปอร์เซ็นต์การลดลงของ } S.aureus \text{ (CFU/mL)} = (B - A)/B \times 100 \quad (3.2.2)$$

$$\text{Log}_{10} \text{ การลดลงของ } S.aureus \text{ (CFU/mL)} = \text{Log}_{10} (B) - \text{Log}_{10} (A) \quad (3.2.3)$$

A คือ ค่าจำนวนเชื้อที่ 0 ชั่วโมงบ่ม

B คือ ค่าจำนวนเชื้อที่ 24 ชั่วโมงบ่ม

3.2.5 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุและแผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้ โดยทดสอบด้วย AATCC Test Method 100 (Antimicrobial Test Method For Textile /Fabric)

วิธีการทดสอบนี้เป็นการทดสอบเชิงปริมาณสำหรับประเมินระดับความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียโดยอาศัยวัสดุสิ่งทอในการเก็บกักสารออกฤทธิ์หรือความสามารถในการยับยั้งของตัววัสดุสิ่งทอเองเมื่อสัมผัสกับเชื้อจุลินทรีย์โดยตรง ซึ่งพิจารณาจากระดับความเจือจางของสารออกฤทธิ์หรือน้ำมันหอมระเหยที่บรรจุอยู่ภายในวัสดุสิ่งทอนั้น ชนิดของสิ่งทอที่ใช้ในการทดสอบ และเวลาใน

การสัมผัส โดยการทดสอบนั้นจะถ่ายเชื้อลงไปทั่วสตุลิ่งทอโดยตรงและบ่มเป็นเวลา 0 ชั่วโมง (คิดเป็น ปริมาณเชื้อตั้งต้น) และบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเมื่อครบตามกำหนดเวลาจึงนำไปสกัดเชื้อออกมา เพื่อนำไปตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่โดยใช้วิธีการตรวจวิเคราะห์ด้วยการนับเชื้อ ผลการ ทดสอบที่ใดจะแสดงค่าเป็นการลดลงของจุลินทรีย์ (% Reduction) เมื่อสัมผัสไปแล้วเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ขั้นตอนการทดสอบ

1) เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

ในการทดสอบนี้ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic soy broth (TSB) สำหรับการเพิ่ม จำนวนเชื้อเพื่อนำไปทดสอบ และใช้ Tryptic soy agar (TSA) สำหรับการทดสอบ สารออกฤทธิ์ที่มีต่อการเจริญของจุลินทรีย์

2) เตรียมเชื้อที่ต้องการทดสอบให้มีความเจือจางที่เหมาะสม และมีปริมาณเพียงพอต่อการ ทดสอบ

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดสอบนี้คือ *S.aureus* ดังนั้น ก่อนจะทดสอบจะต้องเพิ่ม จำนวนเชื้อให้เชื้ออยู่ในช่วงการเจริญ และมีจำนวนเชื้อที่มีชีวิตเหมาะสมกับการ ทดสอบ โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ TSB และบ่มที่ $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 18 - 24 ชั่วโมง แล้วไม่ควรใช้เชื้อที่มีอายุมากกว่า 24 ชั่วโมง นำไป streak บน TSA slant บ่มที่ $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 18 - 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเชื้อโคโลนีเดี่ยวของ *S.aureus* ที่เพาะเลี้ยงไว้ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มี อายุไม่เกิน 24 ชั่วโมง มา ประมาณ 2-3 โคโลนี ใส่ลงไปนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB และนำไปปรับความเจือจาง

3) ทดสอบประสิทธิภาพ

จัดเตรียมตัวอย่างที่ต้องการทดสอบไว้ในจานเพาะเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ซึ่งตัวอย่างที่ทดสอบมีดังนี้ 1. แผ่นผ้า (วัสดุฐานรอง) 2. ไคโตซาน/พอลิไวนิลแอล กอฮออล ไฮโดรเจล 3. ไคโตซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮออลไฮโดรเจลบนวัสดุฐานรอง 4. ไคโตซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮออลไฮโดรเจลบนวัสดุฐานรองที่มีการเติมน้ำมัน ตะไคร้หอมระเหยตามค่า MIC จากการทดสอบข้อ 3.2 ลงไปแล้ว ถ่ายเชื้อ 1 ml จากเชื้อที่เตรียมได้ลงด้านบนตัวอย่างทดสอบอย่างซ้ำๆ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 0 และ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นสกัดโดยการเติม 9 mL of neutralizing broth และเขย่าให้เข้ากันประมาณ 1 นาทีด้วยเครื่อง Votex หลังจากนั้นนำอาหารเลี้ยงเชื้อที่สกัดได้ไป spread โดยถ่ายเชื้อจากอาหารเลี้ยงเชื้อที่สกัดได้ ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง TSA ปริมาณ 100 μl แล้วเกลี่ยเชื้อให้กระจายทั่วผิวหน้า ของอาหารเลี้ยงด้วยแท่งแก้วสามเหลี่ยมที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วจนสารละลายซึมผ่าน

อาหารเลี้ยง สังกเกตว่าไม่มีสารละลายกองอยู่บนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแล้วจึงนำไป
เข้าตูบ่มที่ $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำซ้ำโดยระดับความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ

4) อ่านค่า แปรผลการตรวจวิเคราะห์ด้วยการนับเชื้อ และบันทึกผลการทดสอบ

ลักษณะโคโลนีของ *S. aureus* ที่พบจะมีโคโลนีกลม เรียบ โค้งนูน มีความเงา ไม่
แห้ง มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-3 มิลลิเมตร การอ่านค่าที่ได้ด้วยวิธีการตรวจ
นับจำนวนโคโลนีของ *S. aureus* หลังจากการบ่ม 0 และ 24 ชั่วโมง ควรเลือกนับ
จานเพาะเชื้อที่มีจำนวนการเจริญของโคโลนีประมาณ 30-300 โคโลนีต่อจานเพาะ
บันทึกผลจำนวนโคโลนีที่นับได้ นำไปคำนวณปริมาณเชื้อในหน่วย CFU/ml แล้ว
นำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของ *S.aureus* ตามสมการที่ 3.2.2 และ Log_{10}
การลดลงของ *S.aureus* ตามสมการที่ 3.2.3

$$\text{เปอร์เซ็นต์การลดลงของ } S.aureus \text{ (CFU/mL)} = (B - A)/B \times 100 \quad (3.2.2)$$

$$\text{Log}_{10} \text{ การลดลงของ } S.aureus \text{ (CFU/mL)} = \text{Log}_{10} (B) - \text{Log}_{10} (A) \quad (3.2.3)$$

A คือ ค่าจำนวนเชื้อที่ 0 ชั่วโมงบ่ม

B คือ ค่าจำนวนเชื้อที่ 24 ชั่วโมงบ่ม

3.2.6 ขั้นตอนการศึกษาความเป็นพิษพิษของแผ่นปิดแผลที่มีต่อเซลล์ลอนชนิด L929 โดยทดสอบ ด้วย MTT assay

วิธีการทดสอบนี้วัดการตอบสนองของเซลล์ที่มีชีวิตจากการทำงานของเอนไซม์ภายในไมโท-
คอนเดรีย และผลจากการดูดกลืนแสงของสีสังเคราะห์ ซึ่งไมโทคอนเดรียที่อยู่ภายในเซลล์ที่มีชีวิต
จะสามารถรีดิวซ์สาร 3-[4, 5-dimethylthiazol-2-yl]-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT)
เป็นสารละลายใสไม่มีสี ด้วยเอนไซม์ dehydrogenase และ cofactor ในไมโทคอนเดรียให้กลายเป็น
ผลึก formazan ที่มีสีม่วง สำหรับเซลล์ที่ตายแล้วจะไม่มีการทำงานของไมโทคอนเดรีย และไม่มีกร
รีดิวซ์ ดังนั้นสารละลายจะยังคงใสไม่มีสีเหมือนเดิม หลังจากนั้นทำการละลาย formazan ด้วย
สารละลายเช่น DMSO:SDS หรือ IPA:HCl ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ทำให้เซลล์แตก และนำไปวัดค่าการ
ดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 nm นำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์
การมีชีวิตรอดของเซลล์ การแสดงผลนั้นนิยมตรวจวัดจากความเข้มข้นของตัวอย่างทดสอบที่เป็นพิษ
ต่อเซลล์ที่ทดสอบร้อยละ 50 หรือที่ทำให้เซลล์ตาย ร้อยละ 50 (50% cytotoxic concentration =
CC50)

ขั้นตอนการทดสอบ

1) เพาะเลี้ยงเซลล์

เพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ L929 ซึ่งเป็นเซลล์ mouse connective tissue fibroblast เพาะเลี้ยงใน 48 microtiter plate ด้วยอาหารเลี้ยงเซลล์ชนิด DMEM (Dulbecco's Modified Eagle Medium) โดยใช้เซลล์เริ่มต้น 1.5×10^4 CFU/ml และมีปริมาณสุทธิเท่ากับ 200 μ l/well

2) การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์

เติมตัวอย่างลงในหลุมที่มีเซลล์เจริญอยู่ (200 μ l/well) และนำไปบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากนั้นย่อยเซลล์ที่เลี้ยงไวด้วย 0.25 % trypsin-EDTA แล้วนำเซลล์ที่ได้จำนวน 5×10^4 CFU/ml มาเลี้ยงใน 96-well culture plate

3) ตรวจสอบความเป็นพิษต่อเซลล์

- เติมสารละลาย MTT ที่ความเข้มข้น 5 mg/ml จำนวน 20 ไมโครลิตรต่อหลุม แล้วนำไปบ่มในตูบมเพาะเลี้ยงเซลล์ภายใต้สภาวะที่มี 5 % CO_2 ที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งจะช่วยให้เซลล์เรียงตัวเป็น monolayer

- ผสมสารละลายไอโซโพรพานอล (IPA) กับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) อย่างละ 100 μ l แล้วเติมสารละลายผสมจำนวน 200 μ l/well เพื่อละลายผลึก formazan ที่เกิดขึ้นแล้วนำไปเขย่าเป็นเวลา 10 นาที

- วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย micro-plate reader ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่อ่านได้ไปคำนวณ

จำนวนเซลล์รอดชีวิต (%) =
$$\frac{(\text{ตัวอย่าง} + \text{อาหารเลี้ยงเซลล์} + \text{เซลล์} - \text{อาหารเลี้ยงเซลล์} + \text{ตัวอย่าง}) \times 100}{(\text{อาหารเลี้ยงเซลล์} + \text{เซลล์}) - (\text{อาหารเลี้ยงเซลล์} + \text{ตัวอย่าง})}$$

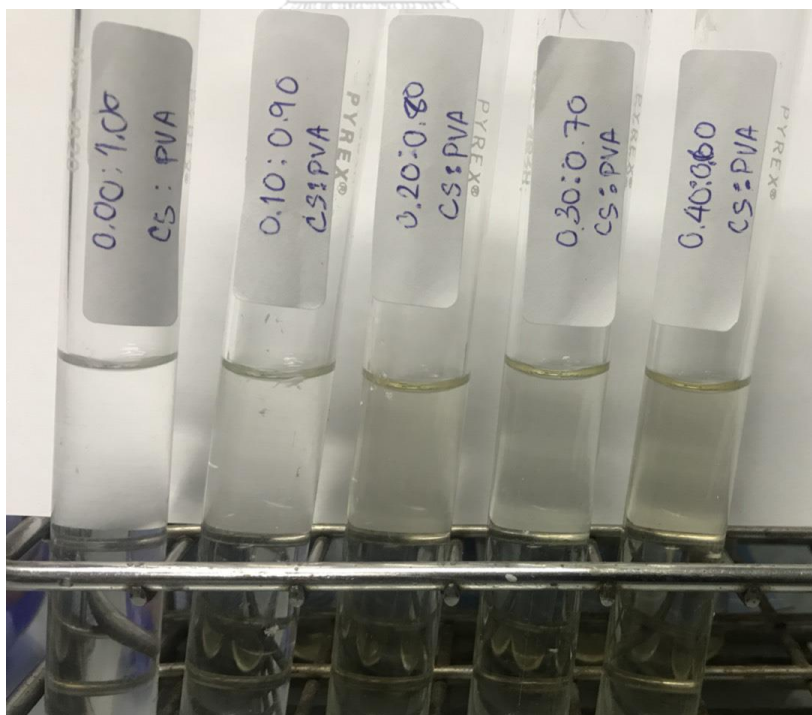
บทที่ 4 ผลการวิจัย

ในการวิจัยนี้แบ่งผลการวิจัยเป็น 3 ส่วนคือ 1. ประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำของแผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้ และลักษณะเชิงกล 2. การหาค่าความเข้มข้นที่น้อยที่สุดในการยับยั้งการเจริญของ *S.aureus* ด้วยวิธีเชิงคุณภาพ และ วิธีเชิงปริมาณ 3. การทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญ *S.aureus* ของแผ่นปิดแผลที่เตรียมได้ ซึ่งผลการทดสอบเป็นดังนี้

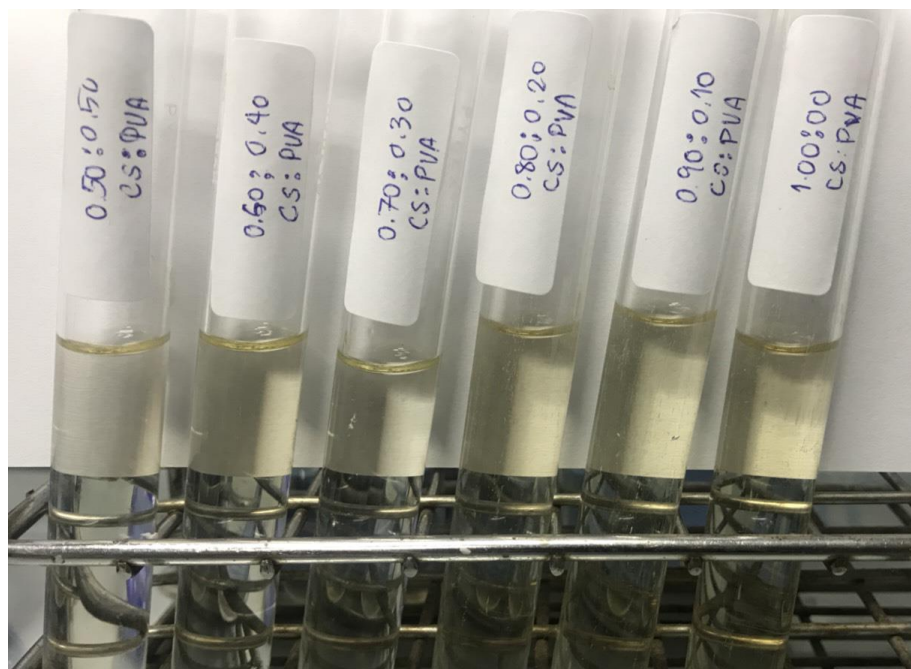
4.1 ประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำและลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลที่เตรียมได้

เตรียมไฮโดรเจลจากการผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทั้งหมด 1 กรัม และ 2 กรัม โดยผสมให้เข้ากันก่อนแล้วเติม 1% กรดอะซิติกลงไปปริมาณ จนครบ 100 กรัม คนให้เข้ากัน เมื่อตั้งทิ้งไว้จะพบว่าพอลิเมอร์บางส่วนจะลอยขึ้นมาด้านบนของภาชนะ โดยเฉพาะตัวอย่างที่มีไคโตซานปริมาณมาก และเมื่อตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พอลิเมอร์จะกลายเป็นสารละลายเนื้อเดียวกันโดยมีลักษณะทางกายภาพตามตารางที่ 4.1 และเมื่อนำไปวัดค่าความชื้นเหลวพบว่ามีความเพิ่มขึ้นตามตารางที่ 4.2

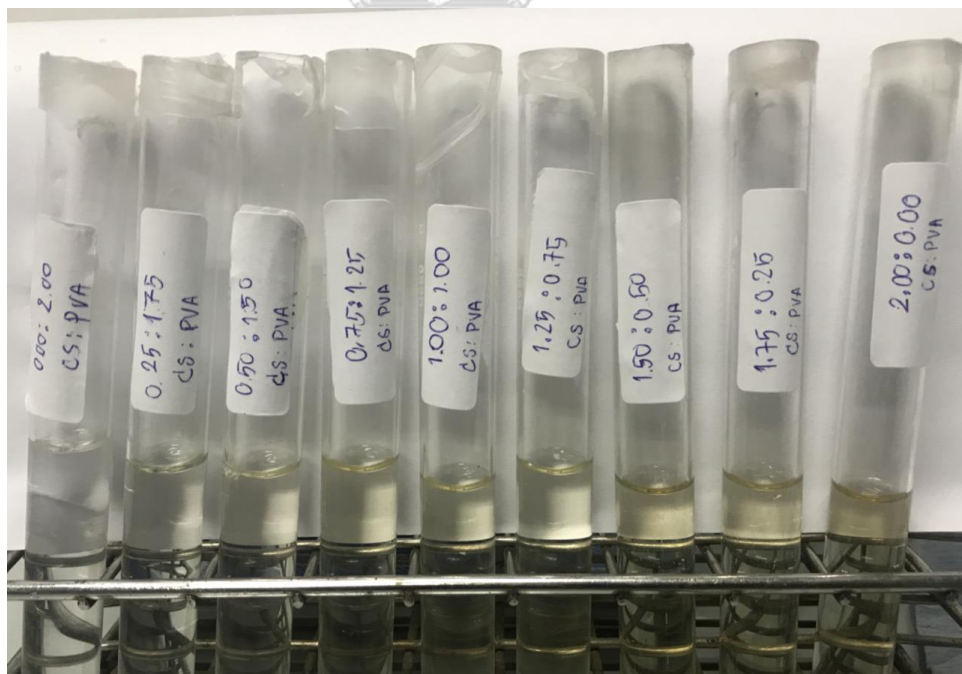
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลที่เตรียมได้



รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของสารละลายไฮโดรเจลที่เตรียมได้ตัวอย่างที่ 1-5



รูปที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของสารละลายไฮโดรเจลที่เตรียมได้ด้วยอย่างที 6-11



รูปที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของสารละลายไฮโดรเจลที่เตรียมได้ด้วยอย่างที 12-20

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของสารละลายไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากน้ำหนัก 1 กรัม ของพอลิเมอร์ผสม

CS:	0.00 :	0.10 :	0.20 :	0.30 :	0.40 :	0.50 :	0.60 :	0.30 :	0.20 :	0.10 :	0.00 :
PVA (g)	1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.70	0.80	0.90	1.00
สี	ขาวใส	ขาว เหลือง เล็กน้อย ใส	ขาว เหลือง อ่อน ใส	ขาว เหลือง อ่อน ใส	ขาว เหลือง ใส	เหลือง เล็กน้อย ใส	เหลือง อ่อน ใส	เหลือง อ่อน ใส	เหลือง ใส	เหลือง ใส	เหลือง ใส

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของสารละลายไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากน้ำหนัก 2 กรัม ของพอลิเมอร์ผสม

CS:	0.00 :	0.25 :	0.50 :	0.75 :	1.00 :	1.25 :	1.50 :	1.75 :	2.00 :
PVA (g)	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00
สี	ขาวใส	ขาว เหลือง เล็กน้อย ใส	ขาว เหลือง เล็กน้อย ใส	ขาว เหลือง อ่อน ใส	ขาว เหลือง ใส	เหลือง เล็กน้อย ใส	เหลือง อ่อน ใส	เหลือง ใส	เหลือง ขุ่น เล็กน้อย

ตัวอย่างสารละลายไฮโดรเจลที่เตรียมได้ทั้ง 19 ตัวอย่าง พบตัวอย่างที่มีสัดส่วนของไคโตซานเพิ่มขึ้น จะมีความขุ่นและมีสีค่อนข้างเหลืองเพิ่มมากขึ้น

4.1.2 ค่าความข้นเหลวของไฮโดรเจลที่เตรียมได้

เมื่อนำตัวอย่างที่ได้ทั้ง 19 ตัวอย่างไปศึกษาความข้นเหลว วัดที่อุณหภูมิ 25 °C ด้วยเครื่องวัดความข้นเหลวได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 ค่าความข้นเหลวของสารละลายไฮโดรเจลที่ 25 °C

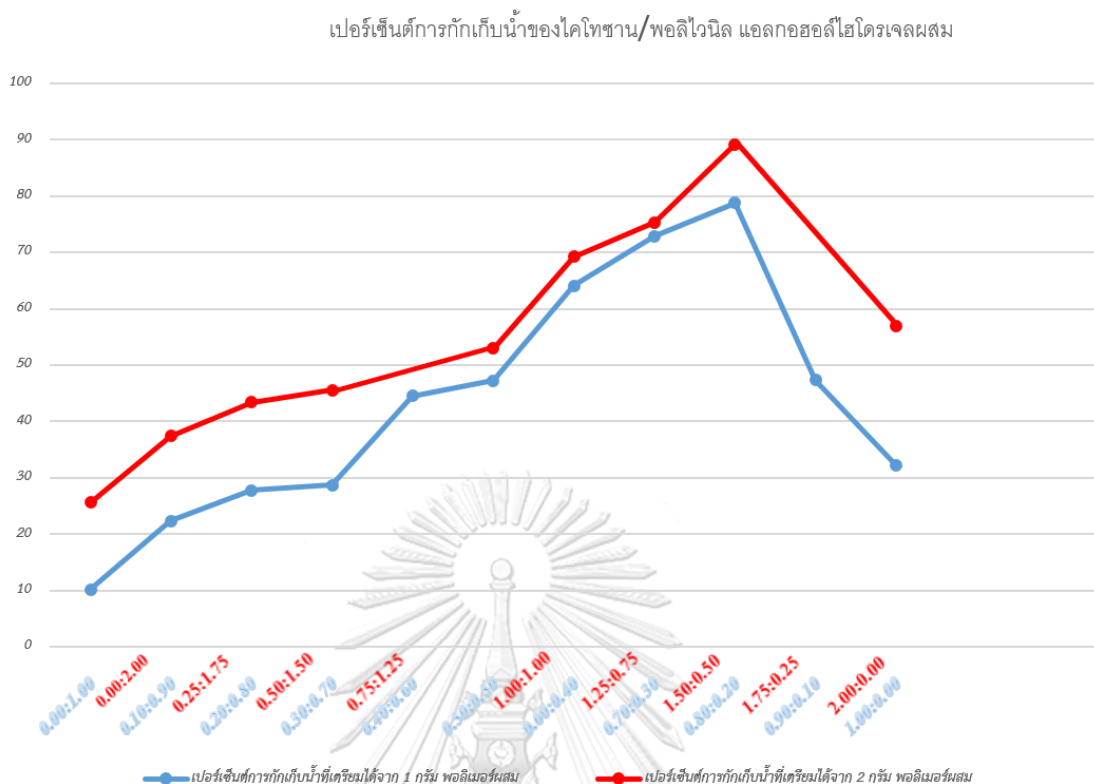
ลำดับ	Chitosan: PVA (รวม 1%)	ค่าความข้นเหลว (Poise) Pin No.,100rpm
1	0.0 : 1.0	18.45
2	0.1 : 0.9	22.60
3	0.2 : 0.8	25.64
4	0.3 : 0.7	27.34
5	0.4 : 0.6	28.11
6	0.5 : 0.5	30.87
7	0.6 : 0.4	30.30
8	0.7 : 0.3	28.48
9	0.8 : 0.2	27.80
10	0.9 : 0.1	26.13
11	1.0 : 0.0	25.03
12	2.00 : 0.00	34.98
13	1.75 : 0.25	37.81
14	1.50 : 0.50	39.13
15	1.25 : 0.75	41.77
16	1.00 : 1.00	43.31
17	0.75 : 1.25	40.21
18	0.50 : 1.50	35.78
19	0.25 : 1.75	32.12
20	0.00 : 2.00	20.39

4.1.3 ผลการทดสอบการกักเก็บน้ำของไฮโดรเจลที่เตรียมได้ค่าความชื้นเหลือของไฮโดรเจลที่เตรียมได้

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการกักเก็บของเหลือของแผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้ดังตารางที่ 4.3 พบว่าไฮโดรเจลผสมไคโตซาน / พอลิไวนิลแอลกอฮอล์บนฐานรองที่ถูกเตรียมด้วยวิธีการเชื่อมขวางทางกายภาพสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้พอลิเมอร์เพียงชนิดเดียว แผ่นไฮโดรเจลสัดส่วนพอลิเมอร์ผสมทั้งหมดที่ 1 % w/v มีความสามารถในการกักเก็บที่ดีที่สุดคือ 0.80 ไคโตซาน : 0.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ หรือคิดเป็นสัดส่วนเฉพาะพอลิเมอร์ ไคโตซาน:พอลิไวนิลแอลกอฮอล์คือ 8 : 2 w/w สามารถกักเก็บน้ำได้ 78.82 % โดยน้ำหนัก สำหรับสัดส่วนพอลิเมอร์ผสมทั้งหมดที่ 2 % w/v สัดส่วนมีความสามารถในการกักเก็บน้ำสูงที่สุดคือ 1.75 ไคโตซาน : 0.25 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือคิดเป็นสัดส่วนเฉพาะพอลิเมอร์ ไคโตซาน : พอลิไวนิลแอลกอฮอล์คือ 7 : 1 w/w สามารถกักเก็บน้ำได้ถึง 89.15 % w/w สัดส่วนที่ดีที่สุดจากพอลิเมอร์ผสมทั้ง 1% และ 2% แสดงผลเป็นไปในแนวทางเดียวกันคือ เมื่อปริมาณสัดส่วนของไคโตซานเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ไฮโดรเจลสามารถกักเก็บน้ำได้มากขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซนต์การกักเก็บน้ำของไคโตซาน/พอลิไวนิล แอลกอฮอล์ไฮโดรเจลผสม

No	CS (g)	PVA (g)	% Water retention	No	CS (g)	PVA (g)	% Water retention
1	0.00	1.00	10.12	11	1.00	0.00	32.15
2	0.10	0.90	22.36	12	2.00	0.0	56.96
3	0.20	0.80	27.79	13	1.75	0.25	89.15
4	0.30	0.70	28.72	14	1.50	0.50	75.27
5	0.40	0.60	44.49	15	1.25	0.75	69.24
6	0.50	0.50	47.22	16	1.00	1.00	52.94
7	0.60	0.40	64.07	17	0.75	1.25	45.54
8	0.70	0.30	72.87	18	0.50	1.50	43.35
9	0.80	0.20	78.81	19	0.25	1.75	37.39
10	0.90	0.10	47.30	20	0.00	2.00	25.62



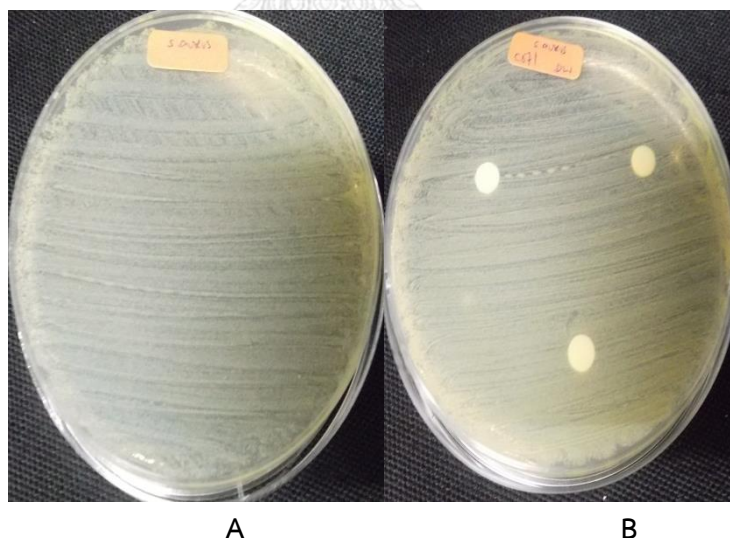
รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การกักเก็บน้ำของไคโตซาน/พอลิไวนิล แอลกอฮอล์ไฮโดรเจลผสม

จากกราฟรูปที่ 4.4 แสดงแนวโน้มความสามารถในการกักเก็บน้ำของพอลิเมอร์ผสม 1 กรัม และ 2 กรัมมีแนวโน้มแบบเดียวกัน โดยเมื่อมีปริมาณของไคโตซานเพิ่มมากขึ้นนั้นจะสามารถกักเก็บน้ำไว้ผ่านในโครงสร้างได้ดีขึ้นเนื่องจากไคโตซานมีโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ สายยาว และมีหมู่อะมิโน อยู่ภายในโมเลกุลทั้งนี้เมื่อละลายเป็นสารละลายในกรดอินทรีย์แล้ว จะมีประจุบวกเกิดขึ้นเนื่องจากเกิดการโปรตอนของหมู่อะมิโน ทำให้สามารถละลายน้ำแล้วจับกับโมเลกุลของน้ำไว้ได้ดีขึ้น ในขณะที่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นมีความสามารถในการละลายน้ำ และอุ้มน้ำได้ดีเนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิล อยู่ภายในโมเลกุล ทั้งนี้การจับกันของโมเลกุลน้ำกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นจับกันด้วยแรงไฮโดรเจน ซึ่งเป็นแรงที่ค่อนข้างอ่อน อีกทั้งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ยังมีความสามารถในการเป็นแผ่นฟิล์มได้ดี ซึ่งเป็นแผ่นฟิล์มได้เมื่อมีการระเหยของน้ำออกจากโครงสร้าง ทำให้แผ่นไฮโดรเจลที่มีสัดส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณมากนั้นแม้จะอุ้มน้ำได้ดี แต่มีเปอร์เซ็นต์การกักเก็บน้ำไม่สูง ซึ่งหากมีการนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมกับไคโตซาน จะพบว่าเปอร์เซ็นต์การกักเก็บน้ำนั้นสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามสัดส่วนของไคโตซานที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทั้ง 1 กรัมพอลิเมอร์ผสม และ 2 กรัมพอลิเมอร์ผสม นั้นมีแนวโน้มเช่นเดียวกันโดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การกักเก็บน้ำสูงสุดที่ 0.80 ไคโตซาน : 0.20 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ 1.75 ไคโตซาน : 0.25 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อปริมาณของไคโตซานสูงมากเกินไปจะพบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์การกักเก็บน้ำลดลงอย่างชัดเจนเนื่องจากการมีสัดส่วนของพอลิไวนิล

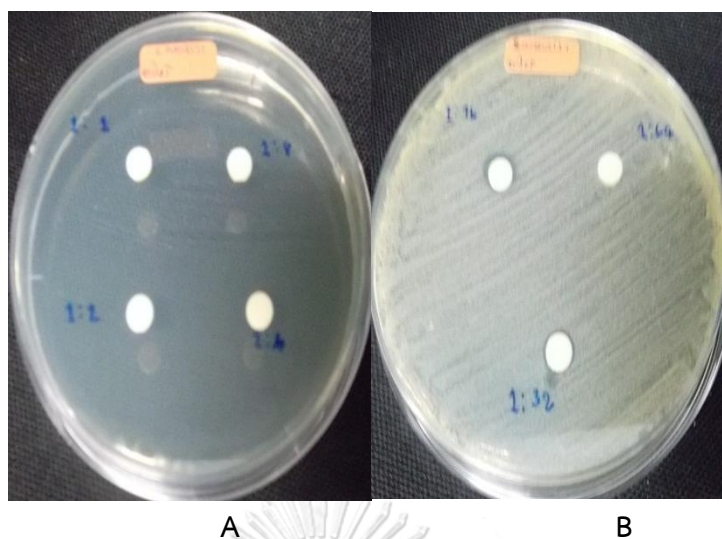
แอลกอฮอล์น้อยจนเกินไปและไม่มีส่วนที่ทำหน้าที่อุ้มน้ำไว้ภายในโครงสร้างของแผ่นไฮโดรเจลเลยทำให้เหลือเพียงโคโตะซานที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ และมีปริมาณมาก หนาแน่น จนติดกันมากเกินไปจึงกักเก็บน้ำได้เพียงบางส่วนเท่านั้น

4.2 ผลการทดสอบฤทธิ์ของน้ำมันตะไคร้หอมระเหยในการยับยั้งการเจริญของ *S.aureus* โดยทดสอบด้วย ASTM E2149-10 Textile /Fabric)

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นสารทดสอบ : สารละลาย tween 20 ความเข้มข้น 5% ในอัตราส่วน 1:64 ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ซึ่งจะเห็นเป็นเชื้อสีขาวขุ่นเจริญใต้แผ่น disc และที่ความเข้มข้นสารทดสอบ : สารละลาย tween 20 ความเข้มข้น 0.05% ในอัตราส่วน 1:32 ยังคงมีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียอยู่ เห็นได้จากบริเวณรอบแผ่น disc ที่ใสไม่มีสี ซึ่งหมายความว่าความเข้มข้นที่ 1:32 เป็นความเข้มข้นที่น้อยที่สุด (ค่า MIC) ที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 โดยบริเวณที่เกิดการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ความเจือจาง 1:32 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 มิลลิเมตรดังตารางที่ 4.4 ทั้งนี้การทดสอบแบบ disk diffusion เป็นการทดสอบเชิงคุณภาพเท่านั้นไม่ทราบสามารถทราบค่าที่แน่นอนได้ และหากต้องการทราบค่าที่แน่นอนสามารถทดสอบในเชิงปริมาณได้โดยศึกษาเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียทดสอบที่มีชีวิต



รูปที่ 4.5 แบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* (A) และชุดควบคุมที่เป็นน้ำกลั่น (B)



รูปที่ 4.6 การยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ด้วยน้ำมันตะไคร้หอมระเหยความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ 4.5 การยับยั้งแบคทีเรีย *S.aureus* ด้วยสารทดสอบความเข้มข้นต่างๆ

สารทดสอบ	บริเวณที่เกิดการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (mm)							วิธีการทดสอบ
	ความเข้มข้นสารทดสอบ : สารละลาย tween 20 ความเข้มข้น 0.05%							
	1:1	1:2	1:4	1:8	1:16	1:32	1:64	
น้ำมันตะไคร้หอมระเหย	22.00 ±0.00	22.00 ±0.00	22.00 ±0.00	22.00 ±0.00	2.00 ±0.00	1.00 ±0.00	-	Disk diffusion

หมายเหตุ เครื่องหมาย - = ไม่มีการเกิด Clear zone

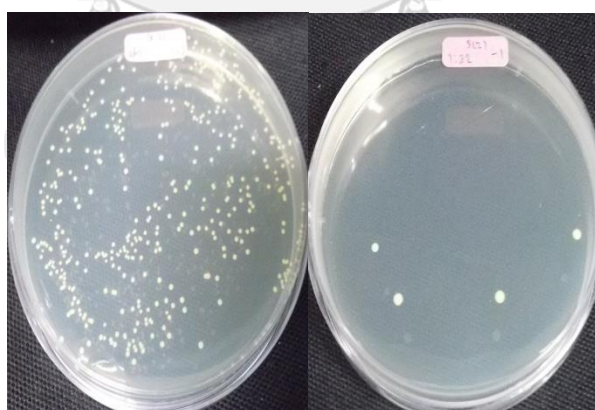
ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4.3 ผลการทดสอบฤทธิ์เชิงปริมาณของน้ำมันตะไคร้หอมระเหยในการยับยั้งการเจริญของ *S.aureus* โดยทดสอบด้วย Disk diffusion Technique

จากการทดลองพบว่าค่าการเจือจางของน้ำมันตะไคร้หอมระเหย : สารละลาย tween 20 ความเข้มข้น 5% ที่ 1: 32 เป็นค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* ได้ (ค่าMIC) โดยมีจำนวนเชื้อลดลง 58.30% ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งจำนวนแบคทีเรีย *S. aureus* บนความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ : สารละลาย tween 20 ความเข้มข้น 5% ความเจือจาง 1: 32 และ 1: 64 ที่เวลา 0 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 การยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกของผลิตภัณฑ์

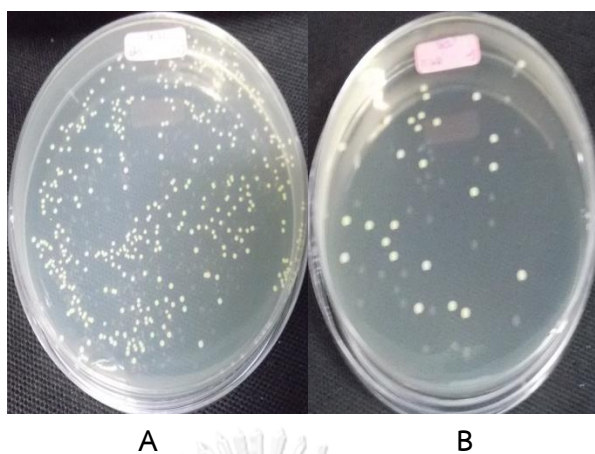
ผลิตภัณฑ์	ความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ : สารละลาย tween 20 ความเข้มข้น 0.05%	<i>Staphylococcus aureus</i>			วิธีการ ทดสอบ
		Log CFU/ml		% Reduction	
		0 h	24 h		
น้ำมันตะไคร้ หอมระเหย	1:32	6.43 ±0.02	2.68 ±0.14	58.30	ASTM
น้ำมันตะไคร้ หอมระเหย	1:64	6.43 ±0.02	5.63 ±0.04	12.46	E2149-10



A

B

รูปที่ 4.7 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ : สารละลาย tween 20 ความเข้มข้น 0.05% 1:32 ที่เวลา 0 ชั่วโมง (A) และ 24 ชั่วโมง (B)



รูปที่ 4.8 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนความเข้มข้นผลิตภัณฑ์ : สารละลาย tween 20 ความเข้มข้น 5% 1:64 ที่เวลา 0 ชั่วโมง (A) และ 24 ชั่วโมง (B)

4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุและแผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้ โดยทดสอบด้วย AATCC Test Method

ตารางที่ 4.6 การยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกของผลิตภัณฑ์วิธีการทดสอบ AATCC100

ผลิตภัณฑ์	<i>Staphylococcus aureus</i>				
	Log CFU/ml			% Reduction D1	% Reduction D3
	D0	D1	D3		
ผ้า	6.14 ±0.00	5.09 ±0.01	NA	17.24	NA
Control PVA+Chitosan ไม่มีผ้า	6.15 ±0.02	2.74 ±0.08	NA	55.46	NA
Control PVA+Chitosan มีผ้า	6.15 ±0.0	1.31 ±0.00	0.00 ±0.00	78.69	99.99
แผ่นปิดแผล	6.16 ±0.02	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	99.99	99.99

NA = ไม่ได้ทำการทดลอง

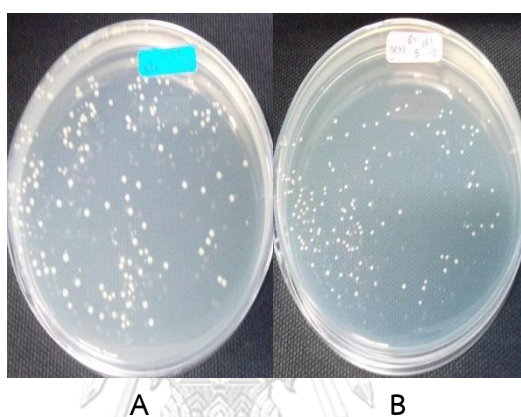
คำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียได้ดังนี้

เปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรีย (% Reduction) = $((B-A)*100)/B$

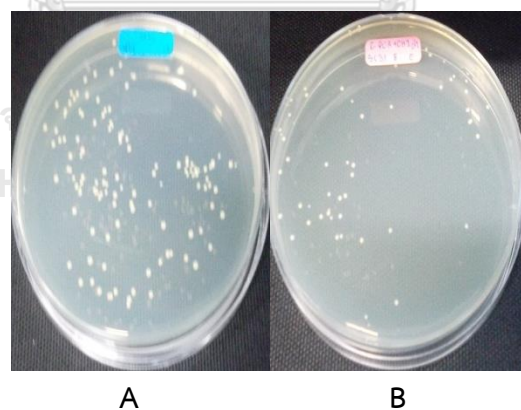
A = Log CFU ต่อ มิลลิลิตรของจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตหลังการทดสอบ

B = Log CFU ต่อ มิลลิลิตรของจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตก่อนทดสอบ

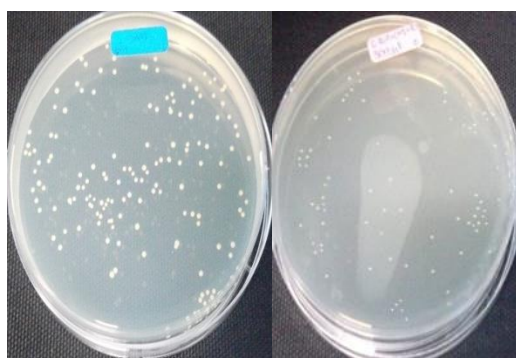
ทำการทดลอง 3 ซ้ำ



รูปที่ 4.9 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนผ้า ที่เวลา 0 วัน (A) และ 1 วัน (B)



รูปที่ 4.10 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนชุด Control PVA+Chitosan ไม่มีผ้า ที่เวลา 0 วัน (A) และ 1 วัน (B)



A

B

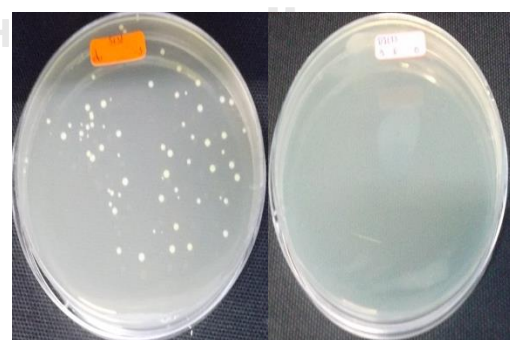
รูปที่ 4.11 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนชุด Control PVA+Chitosan มีผ้า
ที่เวลา 0 วัน (A) และ 1 วัน (B)



A

B

รูปที่ 4.12 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนแผ่นปิดแผล
ที่เวลา 0 วัน (A) และ 1 วัน (B)



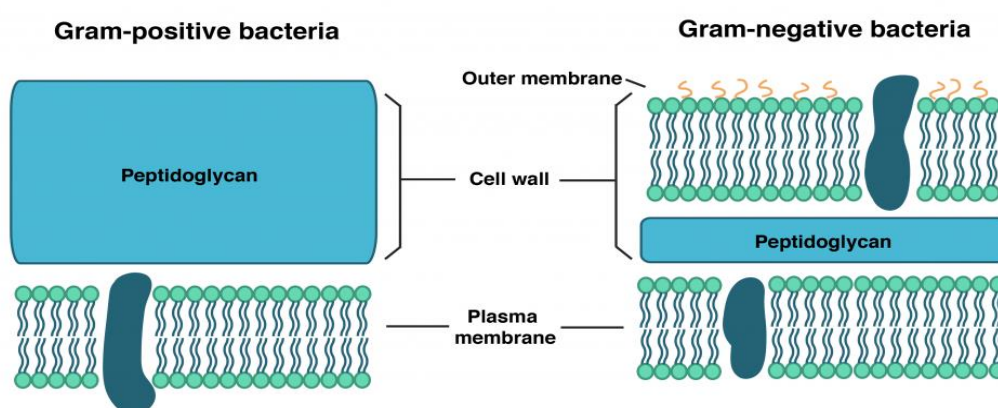
A

B

รูปที่ 4.13 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนแผ่นปิดแผล
ที่เวลา 0 วัน (A) และ 1 วัน (B)

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ของตัวอย่างทดสอบด้วยวิธีการทดสอบ AATCC100 พบว่าประสิทธิภาพการลดจำนวน *Staphylococcus aureus* ภายใน 24 ชั่วโมง ของวัสดุและแผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้ซึ่งได้แก่ 1. วัสดุฐานรองหรือฝ้านอนนูปฟเวน 2. แผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากสัดส่วน 1.75 โคโตซาน : 0.25 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 3. แผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากสัดส่วน 1.75 โคโตซาน : 0.25 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์บนวัสดุฐานรอง ทั้ง 3 ตัวอย่างมีความสอดคล้องกันโดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงเป็น 17.24% 55.46% และ 78.69% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบแผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้กับวัสดุฐานรองพบว่า เมื่อมีการใช้แผ่นไฮโดรเจลที่มีโคโตซานผสมทำให้จำนวน *S.aureus* ลดลงอย่างชัดเจนสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Trong-Ming Donc และคณะ (2006) ที่พบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญเมื่อมีการนำโคโตซานไปใช้เป็นส่วนผสมในการเตรียมไฮโดรเจล (Don, King, Chiu, & Peng, 2006) สำหรับประสิทธิภาพในการลดจำนวน *Staphylococcus aureus* ภายใน 24 ชั่วโมงของแผ่นปิดแผลที่ประกอบด้วย แผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากสัดส่วน 1.75 โคโตซาน : 0.25 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์บนวัสดุฐานรองและถูกเติมน้ำมันตะไคร้หอมระเหยตามค่า MIC ลงไปนั้น มีการลดลง 99.99% ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบข้างต้นของแผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้บนฐานรองซึ่งมีจำนวน *S.aureus* ลดลง 77.86% และเมื่อร่วมกับน้ำมันตะไคร้หอมระเหย ซึ่งมีการลดลงของ *S.aureus* 58.30% ทำให้แผ่นปิดแผลที่เตรียมได้สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ทั้งหมด

การทำงานของโคโตซานมีผลต่อแบคทีเรียโดยสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวก แบคทีเรียแกรมลบ และเชื้อรา ทั้งนี้ลักษณะของแบคทีเรียแกรมบวกที่ใช้ในการศึกษานี้คือ *Staphylococcus aureus* ซึ่งสามารถพบได้ทั้งบริเวณบาดแผล ผิวหนัง และทางเดินปัสสาวะ โดยลักษณะของ *S.aureus* นั้นมีโครงสร้างดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 โครงสร้างของแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ

ที่มา : (Karki, 2017)

โครงสร้างของผนังเซลล์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนที่ 1 เซลล์เมมเบรนซึ่งด้านนอกสุด (Cell membrane) และส่วนที่ 2 ผนังเซลล์ของแบคทีเรียซึ่งเป็นโครงสร้างที่แข็งแรง โดยในแบคทีเรียแกรมบวกนั้นมีชั้นของเพปทิโดไกลแคน (peptidoglycan) เพียงอย่างเดียว ซึ่งเพปทิโดไกลแคนนั้นเป็นพอลิเมอร์ของกรดเอ็นอะเซทิลกลูโคซาไมน์ (N-acetylglucosamine) และกรดเอ็นอะทิลมิวรามิก (N-acetylmuramic) ที่สลับโมเลกุลกันเป็นส่วนแกนและมีตัวเชื่อมกับโมเลกุลเป็นเตตระเพปไทด์ (Tetrapeptide) และเพนตาไกลซีน (Pentaglycine) ทั้งนี้หากจัดแบ่งแบคทีเรียจากโครงสร้างของผนังเซลล์ที่แตกต่างกันทำให้สามารถแบ่งแบคทีเรียออกเป็น 2 กลุ่ม โดยแบ่งตามแบคทีเรียแกรมบวก (Gram-positive bacteria) มีชั้นเพปทิโดไกลแคนเพียงชั้นเดียวมีความหนาประมาณ 15.0 – 80.0 นาโนเมตร มีกรดไทโคอิก (Trihoic acid) และกรดไทคูโรนิก (Teichuronic acid) และแบคทีเรียแกรมลบ (Gram-negative bacteria) มีโครงสร้างผนังเซลล์ที่ซับซ้อนประกอบด้วยชั้นของเพปทิโดไกลแคนอยู่ชั้นในสุด หนาประมาณ 2.0 นาโนเมตร และห่อหุ้มด้วยชั้นของลิพโพลีแซ็กคาไรด์ (Lipopolysaccharide) และ ลิโปโปรตีน (Lipoprotein) โดยที่แบคทีเรียแกรมบวกมีผนังเซลล์ที่อ่อนแอ ซึ่งเมื่อมีการเติมน้ำมันหอมระเหยลงไปจะพบได้ว่าน้ำมันสามารถละลายและเข้ากันได้กับผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกซึ่งมีชั้นเพปทิโดไกลแคนเพียงอย่างเดียวได้ทันที ทำให้แบคทีเรียแกรมบวกไม่มีผนังเซลล์ที่ช่วยในการป้องกันได้ดีอีกชั้นหนึ่งเหมือนกับแบคทีเรียแกรมลบ ทั้งนี้สารอินทรีย์ซึ่งเป็นองค์ประกอบภายในน้ำมันตะไคร้หอมระเหย สามารถจับกับเยื่อหุ้มเซลล์จนทำให้เซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกแตก สารพันธุกรรม และองค์ประกอบภายในเซลล์จะหลุดออกมา

สำหรับกลไกของไคโตซานนั้นเนื่องจากไคโตซานมีหมู่อะมิโนซึ่งเมื่อไคโตซานละลายในกรดอินทรีย์จะอยู่ในรูป-NH₃⁺ ทำให้เกิดกลไกต่างๆ ดังนี้ 1. การจับกันของประจุบวกของไคโตซานกับกรดซาลิไซลิกในฟอสเฟอริลปิด ซึ่งจะไปยังยังการเคลื่อนที่ของสารภายในเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ 2. การแพร่ของไคโตซานเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์และป้องกันการเจริญเติบโตของเซลล์โดยเข้าไปป้องกันการเปลี่ยนจาก DNA ไปเป็น RNA (Anderson, July 2017 ; Karki, 2017)

4.5 ผลการทดสอบความเป็นพิษของแผ่นปิดแผลต่อที่มีต่อเซลล์ลอนชนิด L929 โดยทดสอบด้วย MTT assay

จากการทดสอบความเป็นพิษของแผ่นปิดแผลเพื่อตรวจสอบปริมาณเซลล์ที่รอดชีวิตจากตัวอย่างแผ่นปิดแผลที่เตรียมได้นั้นพบว่ามิเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเซลล์ L929 คือ 68.43±3.11% ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 Cell proliferation โดยวิธี MTT assay

ตัวอย่าง	วันที่	จำนวนเซลล์รอดชีวิต (%)
แผ่นทดสอบ	1	68.43±3.11

จำนวนเซลล์ที่รอดชีวิตจากตัวอย่างแผ่นปิดแผลที่เตรียมได้นั้นพบว่า มีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเซลล์ L929 มากกว่า 50% เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่มีปริมาณเซลล์ที่รอดชีวิต 100% ดังนั้นที่ความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้หอมระเหย อัตราส่วนของโคโคซานต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และการใช้แผ่นอนุพเวนเป็นวัสดุฐานรองเพื่อนำมาเตรียมแผ่นไฮโดรเจลนั้นไม่แสดงค่า CC_{50} (cytotoxicity concentrations altering MTT activity by 50%) เนื่องจากมีจำนวนเซลล์รอดชีวิต 68.43±3.11% มากกว่าค่าที่จำนวนเซลล์ที่รอดชีวิต 50% ที่ต้องการตรวจวัด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Natrajan และคณะ (2015) พบว่าจำนวนเซลล์ที่รอดชีวิตจากตัวอย่าง ตัวขนส่งยาที่เตรียมได้จากโคโคซาน/แอลจีเนตและการเติมน้ำมันตะไคร้หอมระเหยลงไป 0.6 mg/ml พบว่าไม่แสดงค่า CC_{50} เนื่องจากมีจำนวนการรอดชีวิตของเซลล์ 86.9 % (Natrajan, Srinivasan, Sundar, & Ravindran, 2015)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ไฮโดรเจลผสมโคโคซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์บนฐานรองที่ถูกเตรียมด้วยวิธีการเชื่อมขวางทางกายภาพสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำไว้ภายในโครงสร้างได้ดี

ขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้พอลิเมอร์เพียงชนิดเดียว สำหรับแผ่นไฮโดรเจลสกัดส่วนพอลิเมอร์ผสมทั้งหมดที่ 1% w/v และ 2% w/v มีความสามารถในการกักเก็บที่ดีที่สุดโดยมีส่วนโคโตะซาน : พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ คือ 0.80 : 0.2 และ 1.75 : 0.25 ตามลำดับ ซึ่งสามารถกักเก็บน้ำได้ 78.82 % w/w และ 89.15% w/w ตามลำดับ โดยอัตราส่วนโคโตะซาน : พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 1.75 : 0.25 และเมื่อปริมาณสัดส่วนของโคโตะซานเพิ่มมากขึ้นทำให้ไฮโดรเจลสามารถกักเก็บน้ำได้มากขึ้น แต่เมื่อปริมาณสัดส่วนของโคโตะซานมากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพการกักเก็บลดลง

2. จากการทดสอบเชิงคุณภาพเพื่อประเมินค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดของน้ำมันตะไคร้หอมระเหย ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้นั้น (ค่า MIC) พบว่ามีค่า MIC ที่ความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้หอมระเหย : 0.05% tween 20 เป็น 1:32 ซึ่งเมื่อนำค่า MIC ที่ได้ไปทดสอบต่อในเชิงปริมาณ ผลการทดสอบค่า MIC ที่ได้นี้ควรมีประสิทธิภาพในการยับยั้ง หรือลดลงจำนวนจุลินทรีย์ทดสอบจากเริ่มต้นประมาณ 50 % ของจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นขึ้นไป และเมื่อนำไปค่า MIC ของน้ำมันตะไคร้หอมระเหย ไปทดสอบพบว่ามีความสอดคล้องกัน โดยความสามารถในการลดจำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ที่มีชีวิตของน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 1:32 คือ 58.30 % หรือจาก 6.43 ± 0.02 เหลือ 2.68 ± 0.14 CFU/ml ภายใน 24 ชั่วโมง
3. ความสามารถในการลดจำนวน *Staphylococcus aureus* ภายใน 24 ชั่วโมง ของตัวอย่างต่างๆ ดังนี้ 1. วัสดุฐานรองหรือผ้าไลโอเซลล์ 2. แผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากสัดส่วน 1.75 โคโตะซาน : 0.25 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 3. แผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากสัดส่วน 1.75 โคโตะซาน : 0.25 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์บนวัสดุฐานรอง ทั้ง 3 ตัวอย่างมีความสอดคล้องกันโดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงเป็น 17.24% 55.46% และ 78.69% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบแผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้กับวัสดุฐานรองพบว่าเมื่อมีการใช้แผ่นไฮโดรเจลที่มีโคโตะซานผสมทำให้จุลินทรีย์ลดลงอย่างชัดเจนสอดคล้องกับการศึกษาของ Trong-Ming Donc และคณะ (2006) ที่พบว่าและประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญเมื่อมีการนำโคโตะซานไปใช้ในการเตรียมไฮโดรเจล (Don et al., 2006) สำหรับความสามารถในการลดจำนวน *Staphylococcus aureus* ภายใน 24 ชั่วโมงของแผ่นปิดแผลที่ประกอบด้วย แผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้

จากสัดส่วน 1.75 ไคโตซาน : 0.25 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์บนวัสดุฐานรองและถูกเติม
น้ำมันตะไคร้หอมระเหยตามค่า MIC ลงไปนั้น มีการลดลง 99.99%

4. ปริมาณเซลล์ที่รอดชีวิตจากตัวอย่างแผ่นปิดแผลที่เตรียมได้นั้นพบว่ามีเปอร์เซ็นต์
การอยู่รอดของเซลล์ L929 คือ $68.43 \pm 3.11\%$ มากกว่าค่าที่จำนวนเซลล์ที่รอดชีวิต
50% ที่ต้องตรวจวัด ซึ่งถือได้ว่ามีความปลอดภัยต่อการใช้งาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งผิวหนังของหนู (B16-F10)
- ศึกษาฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบ *Escherichia coli* ของน้ำมันตะไคร้หอมระเหย
แผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้ และแผ่นปิดแผลที่เตรียมได้
- ศึกษาลักษณะเชิงกลของแผ่นปิดแผลที่เตรียมได้ด้วยการทดสอบต้านทานแรงดึงขาด
(tensile strength) และการยืดตัว (%Elongation)
- ศึกษาสัญญาณวิทยาของแผ่นไฮโดรเจลในอัตราส่วนต่างๆ และแผ่นปิดแผลที่เตรียมได้ด้วย
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)
- ศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างของแผ่นไฮโดรเจลในอัตราส่วนต่างๆ และแผ่นปิดแผลที่
เตรียมได้ด้วย FT-IR

รายการอ้างอิง

- Adhav, Popat B. Mohite and Sonali S. (2017). A hydrogels: Methods of preparation and applications. *International Journal Advances in Pharmaceutics*, 06(03), 7. doi:10.7439/ijap
- Ahmed, E. M. (2015). Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *J Adv Res*, 6(2), 105-121. doi:10.1016/j.jare.2013.07.006
- Akhtar, M. F., Hanif, M., & Ranjha, N. M. (2016). Methods of synthesis of hydrogels ... A review. *Saudi Pharm J*, 24(5), 554-559. doi:10.1016/j.jsps.2015.03.022
- Ali-Riza, Beden. (2014). *Application for blends of chitosan , lyocell fiber to contro; bacterial growth*. Ege University,, XIIIth International Izmir Textile and Apparel Symposium.
- Anderson, Collin J. Christensen and Kelsi L. (July 2017). Characterizing the Antibacterial Properties and Transcriptional Alterations Induced by Lemongrass oil in *Staphylococcus aureus*. *The Journal of Experimental Microbiology & Immunology*, 3, 6.
- Anitha, A., Sowmya, S., Kumar, P. T. Sudheesh, Deepthi, S., Chennazhi, K. P., Ehrlich, H., . . . Jayakumar, R. (2014). Chitin and chitosan in selected biomedical applications. *Progress in Polymer Science*, 39(9), 1644-1667. doi:10.1016/j.progpolymsci.2014.02.008
- Atta, Ayman M., Brostow, Witold, Hagg Lobland, Haley E., Hasan, Abdul-Raheim M., & Perez, Jose. (2013). Porous crosslinked copolymers of octadecyl acrylate with acrylic acid as sorbers for crude petroleum spills. *Polymer International*, 62(8), 1225-1235.
- Chintan Dalwadi, Gayatri Patel. (2015). Application of Nanohydrogels in Drug Delivery Systems: Recent Patents Review. *Recent Patents on Nanotechnology*, 9(1), 9. doi:10.2174/1872210509666150101151521
- Coviello, T., & Matricardi, P. (2007). Polysaccharide hydrogels for modified release formulations. *J Control Release*, 119(1), 5-24. doi:10.1016/j.jconrel.2007.01.004

- DAS, NILIMANKA. (2013). Preparation Methods and Properties of hydrogel : A Review. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5(3), 6.
- Don, T., King, C., Chiu, W., & Peng, C. (2006). Preparation and characterization of chitosan-g-poly(vinyl alcohol)/poly(vinyl alcohol) blends used for the evaluation of blood-contacting compatibility. *Carbohydrate Polymers*, 63(3), 331-339. doi:10.1016/j.carbpol.2005.08.023
- Duan, Wengui, Chen, Chunhong, Jiang, Linbin, & Hua Li, Guang. (2008). *Preparation and characterization of the graft copolymer of chitosan with poly[rosin-(2-acryloyloxy)ethyl ester]* (Vol. 73).
- Hacker MC, Mikos AG. . (2011). Hydrogel Classification Properties Preparation and Technical Features. *Synthetic polymers*, , 587-622.
- Hoffman, Allan S. (2012). Hydrogels for biomedical applications. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 64, 18-23. doi:10.1016/j.addr.2012.09.010
- Jayakumar, R., Prabakaran, M., Sudheesh Kumar, P. T., Nair, S. V., & Tamura, H. (2011). Biomaterials based on chitin and chitosan in wound dressing applications. *Biotechnol Adv*, 29(3), 322-337.
- Kamoun, E. A., Kenawy, E. S., & Chen, X. (2017). A review on polymeric hydrogel membranes for wound dressing applications: PVA-based hydrogel dressings. *J Adv Res*, 8(3), 217-233. doi:10.1016/j.jare.2017.01.005
- Kamoun, Elbadawy A., Chen, Xin, Mohy Eldin, Mohamed S., & Kenawy, El-Refaie S. (2015). Crosslinked poly(vinyl alcohol) hydrogels for wound dressing applications: A review of remarkably blended polymers. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(1), 1-14. doi:10.1016/j.arabjc.2014.07.005
- Kamoun, Elbadawy A., & Kenawy, El-Refaie S. (2015). Poly (vinyl alcohol)-alginate physically crosslinked hydrogel membranes for wound dressing applications: Characterization and bio-evaluation. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(1), 38-47. doi:10.1016/j.arabjc.2013.12.003
- Karki, Gaurab. (2017, July 25,2017). Bacterial Cell wall: Structure, Composition and Types.

- Kenawy, El-Refaie, Kamoun, Elbadawy A., Mohy Eldin, Mohamed S., & El-Meligy, Mahmoud A. (2014). Physically crosslinked poly(vinyl alcohol)-hydroxyethyl starch blend hydrogel membranes: Synthesis and characterization for biomedical applications. *Arabian Journal of Chemistry*, 7(3), 372-380. doi:10.1016/j.arabjc.2013.05.026
- Khonsung, Parirat. (2012). ไทยอนุกรมวิธาน. *Thai J Pharmacol*, 34(2).
- M. El Salmawji, Kariman. (2007). *Gamma Radiation -Induced Crosslinked PVA/Chitosan Blends for Wound Dressing* (Vol. Part A: Pure and Applied Chemistry).
- Natrajan, D., Srinivasan, S., Sundar, K., & Ravindran, A. (2015). Formulation of essential oil-loaded chitosan-alginate nanocapsules. *J Food Drug Anal*, 23(3), 560-568. doi:10.1016/j.jfda.2015.01.001
- Natta, L., Orapin, K., & Krittik, N.a and Pantip, B. (2008). Effect of essential oil of cymbopogon citratus on physico-chemical properties, mechanical and barrier films of Chitosan.pdf. 15(3), 10.
- Natta, L., & Orapin, K., Krittika, N. and Pantip, B. (2008). Essential oil from five Zingiberaceae for anti food-borne bacterial. *International Food*, 15(3), 10.
- NEGRELLE, R.R.B.; GOMES, E.C. (2007). Cymbopogon citratus (DC.) Stapf : chemical composition and biological activities. *The Brazilian Journal of Medicinal Plants*, 9(1), 13.
- Ottenbrite, Raphael M., Park, Kinam, & Okano, Teruo (Eds.). (2010). *Biomedical Applications of Hydrogels Handbook* (1 ed.). New York: Springer.
- Sood, A., Granick, M. S., & Tomaselli, N. L. (2014). Wound Dressings and Comparative Effectiveness Data. *Adv Wound Care (New Rochelle)*, 3(8), 511-529. doi:10.1089/wound.2012.0401
- Sung, J. H., Hwang, M. R., Kim, J. O., Lee, J. H., Kim, Y. I., Kim, J. H., . . . Choi, H. G. (2010). Gel characterisation and in vivo evaluation of minocycline-loaded wound dressing with enhanced wound healing using polyvinyl alcohol and chitosan. *Int J Pharm*, 392(1-2), 232-240. doi:10.1016/j.ijpharm.2010.03.024
- Syed K. H. Gulrez, Saphwan Al-Assaf and Glyn O Phillips. (2011). Hydrogels: Methods of Preparation, Characterisation and Applications. In *Progress in Molecular and Environmental Bioengineering - From Analysis and Modeling to Technology*

Applications (pp. 117-150). University Campus STeP Ri Slavka Krautzeka InTech.

Ullah, F., Othman, M. B., Javed, F., Ahmad, Z., & Md Akil, H. (2015). Classification, processing and application of hydrogels: A review. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*, 57, 414-433. doi:10.1016/j.msec.2015.07.053

จตุพร, ประทุมเทศ. (2014). การศึกษาความหนืดและคุณสมบัติเชิงกลของไฮโดรเจลโครงร่างตาข่าย. Paper presented at the Faculty of Pharmaceutical Sciences, Ubonratchathani University.

วรินดา, วราพันธ์. (2010). การเตรียมและศึกษาสมบัติของไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิด ไคโตซาน/อัลจินต-ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติเป็น นเจลสมานแผล. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศศิประภา, รัตติก ฦ กุเกิด. (2018). การผลิตเส้นใยไลโอเซลล์ (lyocell).

สวรรณยา, เม้งเกร็ด. (2010). ผลของสารสกัดจากตะไคร้ต่อการยับยั้งจุลินทรีย์ สเตปไฟโลค็อกคัสออเรียส.

มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง,

สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

การเตรียมอาหาร Nutrient agar (NA) สำหรับเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย

อุปกรณ์และสารเคมี

หลอดทดลองฝาเกลียว	16 x 100	มิลลิลิตร
ขวดฝาเกลียว Schott Duran	250	ml
ปีกเกอร์ Duran	1000	ml
เครื่องซั่งสาร 4 ตำแหน่ง		
หมอนึ่งความดันไอ (Autoclave)		
ผงวุ้น	15	กรัม
Peptone	5	กรัม
Beef extract powder (OXOID)	3	กรัม
น้ำปลอดประจุ	1	ลิตร

วิธีการเตรียม

1. ซั่งผงวุ้น 15 กรัม, peptone 5 กรัม และ beef exact 3 กรัม บนกระดาษซั่งสารและเติมลงในปีกเกอร์ขนาด 1,000 ml แล้วเติมน้ำปลอดประจุ 500 มิลลิลิตร ค่อยๆ คนเพื่อให้ผงวัตถุติดต่างๆละลายเข้ากับน้ำ แล้วจึงเติมน้ำส่วนที่เหลืออีก 500 ml คนให้เข้ากันนำไปต้มจนผงวุ้นละลาย
2. บรรจุใส่ลงในหลอดทดลองฝาเกลียวขนาด 16 x 100 มิลลิลิตร จำนวน 10 หลอด หลอดละ 15 ml และบรรจุใส่ขวดฝาเกลียวขนาด 250 ml ขวดละ 200 ml จำนวน 4 ขวด ปิดฝาเกลียวทั้งหลอดและขวดไม่ให้สนิทมากเกินไป หลังจากนั้นครอบหลอดทดลองและขวด ด้วยกระดาษ หรือ ติดด้วย Autoclave Sterilization Tape แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหมอนึ่งที่ความดันไอ 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
3. เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อแล้วให้นำหลอดทดลอง เอียงไว้ในแท่นใส่หลอดทดลอง (Test Tube Rack) ตั้ง ในไว้ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar Flow Clean Bench) จนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัว จะได้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเอียง (slant agar) ไว้สำหรับเก็บเชื้อด้วยวิธีการแยกเชื้อบริสุทธิ์ (streak)

4. สำหรับขวดฝาเกลียวนั้น นำอาหารเลี้ยงเชื้อที่ยังอ่อนอยู่เทลงไปในจานเพาะเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วประมาณ 15 ml ตั้งทิ้งในไว้ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar Flow Clean Bench) จนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัวและไม่มีหยดน้ำเกาะที่ฝาจานเพาะเชื้อแล้วจึงนำไปใช้ได้ ใช้สำหรับการนำจำนวนเชื้อ

การเตรียมอาหาร Nutrient broth (NB) สำหรับเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย

อุปกรณ์และสารเคมี

ขวดฝาเกลียวSchott Duran	250 ml
ปีกเกอร์ Duran	1,000 ml
เครื่องซังสาร 4 ตำแหน่ง	
หมอนึ่งความดันไอ (Autoclave)	
Peptone	5 กรัม
Beef extract powder (OXOID)	3 กรัม
น้ำปลอดประจุ	1 ลิตร

วิธีการเตรียม

1. ชั่ง peptone 5 กรัม และ beef extract 3 กรัม บนกระดาษชั่งสารและเติมลงในปีกเกอร์ขนาด 1,000 ml แล้วเติมน้ำปลอดประจุ 500 มิลลิลิตร ค่อยๆคนเพื่อให้ผงวัตถุติดต่างๆละลายเข้ากับน้ำ แล้วจึงเติมน้ำส่วนที่เหลืออีก 500 ml คนให้เข้ากัน แบ่งใส่ นำไปต้มจนผงวุ้นละลาย
2. บรรจุใส่ลงในหลอดทดลองฝาเกลียวขนาด 16 x 100 มิลลิลิตร จำนวน 10 หลอด หลอดละ 15 ml และบรรจุใส่ขวดฝาเกลียวขนาด 250 ml ขวดละ 200 ml จำนวน 4 ขวด สำหรับใช้ในครั้งต่อไป
3. ปิดฝาเกลียวทั้งหลอดและขวดไม่ให้สนิทมากเกินไป หลังจากนั้นครอบหลอดทดลองและขวด ด้วยกระดาษ หรือ ติดด้วย Autoclave Sterilization Tape แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหมอนึ่งที่ความดันไอ 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
4. เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว รอจนอาหารเลี้ยงเชื้ออ่อนจนมือสามารถสัมผัสได้โดยตรงแล้วจึงสามารถนำไปใช้งาน

การเตรียมอาหาร Tryptic soy broth (TSB) สำหรับเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย

- | | |
|-------------------|-----------------|
| - Tryptone | 5 กรัม |
| - Soybean | 5 กรัม |
| - Sodium Chlorine | 5 กรัม |
| - Distilled water | 1,000 มิลลิลิตร |

ละลายส่วนประกอบข้างต้นในน้ำปลอดประจุ ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้มีค่า 7.3 ด้วย 6N NaOH และ 6N HCl นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที

การเตรียมสารละลาย 0.85% โซเดียมคลอไรด์

- | | |
|---------------------------|----------------|
| - โซเดียมไฮคลอไรด์ (NaCl) | 85 กรัม |
| - น้ำปลอดประจุ | 1000 มิลลิลิตร |

ละลายโซเดียมไฮคลอไรด์ในน้ำปลอดประจุ 500 มิลลิลิตร ค่อยๆคนเพื่อให้โซเดียมไฮคลอไรด์ละลายเข้ากับน้ำ แล้วจึงเติมน้ำส่วนที่เหลืออีก 500 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน แบ่งใส่ Duran ขนาด 500 มิลลิลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที

การเตรียมแผ่นปิดแผลไฮโดรเจลก่อนการทดสอบ AATCC100 และประสิทธิภาพในการกักเก็บ

น้ำมันหอมระเหยไว้ในโครงสร้างของแผ่นปิดแผลที่เตรียมได้

แผ่นไฮโดรเจลที่เตรียมได้จากสัดส่วน 1.75 โคโคซาน : 0.25 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์บิวทิลอะครีเลต และเติมน้ำมันตะไคร้หอมระเหยตามค่า MIC สามารถเตรียมได้ตาม 3.2.1 และ 3.2.2 โดยมีขั้นตอนที่แตกต่างกันคือ นำแผ่นนอนวูฟเวนขนาด 5 cm x 5 cm วางลงไปด้านล่างของกล่องก่อนแล้วจึงเทสารละลาย 1.75 โคโคซาน : 0.25 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 กรัม ลงด้านบนของแผ่นนอนวูฟเวน หลังจากนั้นวางตัวอย่างทดสอบไว้ในตู้อบที่มีอุณหภูมิประมาณ 30°C ± 2 ที่ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50% เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนแผ่นเริ่มคงตัวแล้วจึงเติมน้ำมันตะไคร้หอมระเหยลงไปตามค่า MIC และตั้งไว้ที่สภาวะเดิมจนกระทั่งครบ 72 ชั่วโมง จากนั้นปรับค่าความเป็นกรด-ด่างตามขั้นตอนที่ 3.2.2 จนเสร็จแล้วจึงนำไปเก็บไว้ในกล่องขึ้นรูป ทำตัวอย่างทั้งหมด 2 ชุด โดยตัวอย่างชุดที่ 1 เปิดฝาดูตัวอย่างที่เตรียมได้ และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 สัปดาห์ และตัวอย่างชุดที่ 2 ปิดฝาให้สนิทแล้วพันด้วยแผ่นพาราฟิน ตั้งตัวอย่างที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 สัปดาห์เช่นกัน แล้วจึงนำก่อนการทดสอบ AATCC100 พบว่าตัวอย่างชุดที่ 1 ไม่มีการระเหยของน้ำมันตะไคร้หอม

ระเหย อีกเมื่อผ่านไป 2 สัปดาห์ แต่สำหรับตัวอย่างชุดที่ 2 นั้นเมื่อเปิดฝาก่อนนำไปทดสอบ AATCC100 ยังคงมีการระเหยของน้ำมันตะไคร้หอมระเหยอย่างชัดเจน ทั้งนี้แผ่นปิดแผลที่เตรียมได้นั้นมีความสามารถในการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยได้โดย 2 สัปดาห์โดยประมาณ



ภาคผนวก ข

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



ภาพภาคผนวกที่ ข1 ตู้อบ (hot air oven)



ภาพภาคผนวกที่ ข1 เครื่องวัดpH (pH meter)



ภาพภาคผนวกที่ ข1 เครื่องmicro plate reader



ภาพภาคผนวกที่ ข1 ตู้ถายเชื้อ (laminar air flow)



ภาพภาคผนวกที่ ข1 เครื่องวัดความข้นเหลว (Viscometer)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพริม ภัคดีธรรม เกิดเมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2531 สำเร็จการศึกษา ในระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา จากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรปิโตรเคมี และวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ (ภาคนอกเวลาราชการ) คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2558 ในขณะที่ศึกษาต่อนี้ได้ทำงานอยู่ที่บริษัท กุลวงส์ จำกัด ซึ่งเป็นหนึ่งในกลุ่มบริษัท ชัยบูรณ์ บราเดอร์ส โดยระหว่างศึกษานั้นอยู่ในตำแหน่ง เจ้าหน้าที่เทคนิค ส่วนวิจัยและพัฒนาสินค้า ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการ PPC Symposium on Petroleum, Petrochemicals, and Polymers ครั้งที่ 24 ในวันที่ 5 มิถุนายน 2561 ณ โรงแรมแมนดาริน กรุงเทพมหานคร

