

การเตรียมและสมบัติด้านแบคทีเรียของวัสดุตกแต่งบาดแผลจากควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคติน

นาย เอกชัย สุขไพญ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2553  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION AND ANTIBACTERIAL PROPERTY OF WOUND DRESSING FROM QUATERNARY  
AMMONIUM CHITIN

Mr. Ekkachai Sukpaiboon

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

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมและสมบัติด้านแบคทีเรียของวัสดุตกแต่งบาดแผลจากควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคติน
โดย	นายเอกชัย สุขไพบูลย์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันเพ็ญ เตชะบุญเกียรติ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุทัย ภิญญาคง

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริธันว์ เจียมศิริเลิศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันเพ็ญ เตชะบุญเกียรติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุทัย ภิญญาคง)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริรัตน์ จารุจินดา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร. รวีวรรณ มณีรัตน์โชติ)

เอกชัย สุขไพบูลย์ : การเตรียมและสมบัติด้านแบคทีเรียของวัสดุตกแต่งบาดแผล จากควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคติน. (PREPARATION AND ANTIBACTERIAL PROPERTY OF WOUND DRESSING FROM QUATERNARY AMMONIUM CHITIN). อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร. วันเพ็ญ เตชะบุญเกียรติ , อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ.ดร.อรุณทิพย์ ภิญาคง, 73 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการด้านแบคทีเรียโดยการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของไคตินด้วยหมู่แทนที่ประจุบวก ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินเตรียมได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ิฟิเคชันระหว่างไคติน และคาร์บอกซิลเมทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ในสารละลาย DMAc/5%LiCl โดยใช้ไดโซไซโคลเฮกซิลคาร์โบไดอิมายด์เป็นสารคู่ควบ จากนั้นวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วย FTIR ซึ่งจะพบพีคของพันธะเอสเทอร์ที่  $1738\text{ cm}^{-1}$  เพิ่มขึ้นมาจากนั้นนำไคตินและควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินมาเตรียมเจลเพื่อทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ ทดสอบวัดมุมสัมผัส และสมบัติด้านแบคทีเรีย พบว่าควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดีกว่าไคติน และมีความเป็นไฮโดรฟิลิกมากกว่าไคติน นอกจากนี้ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินยังมีประสิทธิภาพในการด้านแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและลบ ได้แก่ *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* โดยความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมใน 1 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพในการด้าน *Escherichia coli* ได้อย่างสมบูรณ์ในเวลา 10 นาทีและด้าน *Staphylococcus aureus* ได้ร้อยละ 78 เมื่อใช้เวลา 24 ชั่วโมง การด้าน *Staphylococcus aureus* ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของสาร ในขณะที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 10 มิลลิกรัมใน 1 มิลลิลิตร ไม่สามารถด้านแบคทีเรีย *Escherichia coli* ได้ ดังนั้นควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินสามารถกล่าวได้ว่าเป็นสารใหม่ที่เหมาะสำหรับการนำไปใช้เป็นวัสดุตกแต่งบาดแผลด้านแบคทีเรีย

ภาควิชา วัสดุศาสตร์.....ลายมือชื่อ.....  
 สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ.....ลายมือชื่อ.....ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
 ปีการศึกษา 2553.....ลายมือชื่อ.....ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

## 5072582123 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORDS : CHITIN / QUATERNARY AMMONIUM / WOUND DRESSING /  
ANTIBACTERIAL

EKKACHAI SUKPAIBOON: PREPARATION AND ANTIBACTERIAL PROPERTY OF  
WOUND DRESSING FROM QUATERNARY AMMONIUM CHITIN. THESIS ADVISOR  
: ASST.PROF. WANPEN TACHABOONYAKIAT, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR :  
ASST.PROF. ONRUTHAI PINYAKONG, Ph.D., 73 pp.

The aim of this research was to chemically modify chitin with positively charged substitution to develop antibacterial activity. Quaternary ammonium chitin was prepared by esterification of chitin with carboxymethyl trimethyl ammonium chloride in DMAc/5%LiCl solution using dicyclohexylcarbodiimide as a coupling agent. The chemical structure was elucidated by FTIR. An additional peak of ester linkage was found at  $1738\text{ cm}^{-1}$ . Chitin and quaternary ammonium chitin gels were prepared for water absorption testing, contact angle testing and antibacterial evaluation. It was found that quaternary ammonium chitin has higher ability to absorb water than chitin, that it has more hydrophilic property. Quaternary ammonium chitin exhibited antibacterial efficiency against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. At concentration of 10mg/mL, quaternary ammonium chitin completely inhibited *Escherichia coli* within 10 min, but inhibited *Staphylococcus aureus* around 78% after 24 hours. Antibacterial efficiency for *Staphylococcus aureus* is dose-dependent, whereas *Escherichia coli* exhibited no antibacterial efficiency when using quaternary ammonium chitin concentration lower than 10mg/mL. Therefore, quaternary ammonium chitin was expected as a novel substance suitable for antibacterial wound dressing approach.

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

Field of study: Applied Polymer Science and Textile technology. Advisor's signature.....

Academic year: 2010..... Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางวิชาการ ความเอื้อเฟื้อในด้านเครื่องมือ วัสดุดิบและสถานที่ทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิด้านต่างๆ เป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบคุณบุคคล และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องดังรายนามต่อไปนี้

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันเพ็ญ เตชะบุญเกียรติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุณทัย ภิญาคง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำแนะนำ ปรึกษาการแก้ไขปัญหาพร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริธันว์ เจียมศิริเลิศ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิรีรัตน์ จารุจินดา และ เกษัชกรหญิง ดร. รวิวรรณ มณีรัตนโชติ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำด้านวิชาการและช่วยตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
3. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์วิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ตลอดโครงการวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกระหว่างการดำเนินงานวิจัย
4. คุณ ธนิต สิงหนุญพงศ์ ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุน เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการทดสอบสมบัติด้านแบคทีเรีย
5. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6. ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เป็นบุคคลสำคัญยิ่งที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางวิชาการจนสามารถสร้างสรรควิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ไคทิน ไคโตซาน.....	4
2.2 บาดแผล.....	9
2.3 กระบวนการรักษาบาดแผล.....	18
2.4 วัสดุตกแต่งบาดแผล.....	19
2.5 ผงเซลลูโลสแบคทีเรีย.....	21
2.6 การดัดแปรพื้นผิวของวัสดุต้านแบคทีเรีย.....	23
3. วิธีดำเนินงานวิจัย.....	29
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	29
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	29
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	29
3.4 ขอบเขตการทดลอง.....	30
3.5 วิธีการทดลอง.....	30
3.5.1 การทำไคทินให้บริสุทธิ์.....	30
3.5.2 การดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของไคทินด้วยเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม .....	31
3.5.3 การเตรียมวัสดุตกแต่งบาดแผลไฮโดรเจลจากไคทินและอนุพันธ์ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคทิน.....	31
3.6 การวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติ.....	32
3.6.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของอนุพันธ์ไคทิน.....	32
3.6.2 ระดับการแทนที่ของหมู่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียม .....	32

3.6.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำ.....	32
3.6.4 สมบัติไฮโดรโฟบิก-ไฮโดรฟิลิกเจล.....	33
3.6.5 ความเป็นผลึก.....	33
3.6.6 สมบัติด้านแบคทีเรีย.....	33
3.6.6.1 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้านแบคทีเรีย.....	34
3.6.6.2 ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถต้านแบคทีเรีย.....	34
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	35
4.1 การดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของไคตินด้วยเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม..	35
4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของอนุพันธ์ไคติน.....	37
4.3 ระดับการแทนที่ของหมู่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียม .....	38
4.4 ความสามารถในการดูดซับน้ำ.....	38
4.5 สมบัติไฮโดรโฟบิก-ไฮโดรฟิลิก.....	39
4.6 ความเป็นผลึก.....	41
4.7 สมบัติด้านแบคทีเรีย.....	42
4.7.1 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้านแบคทีเรีย.....	42
4.7.2 ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถต้านแบคทีเรีย.....	45
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	48
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	49
รายการอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก.....	52
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	73



## สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 2.1	แหล่งวัตถุดิบสำคัญของโคทิน.....	5
ตารางที่ 4.1	ร้อยละความสามารถในการดูดซับน้ำ (percent water absorption).....	39
ตารางที่ 4.2	ค่ามุมสัมผัส (contact angle).....	40
ตารางที่ 4.3	จำนวน <i>Escherichia coli</i> ที่รอดชีวิต และ ความสามารถต้านแบคทีเรีย ณ เวลาหนึ่ง ๆ.....	44
ตารางที่ 4.4	จำนวน <i>Staphylococcus aureus</i> ที่รอดชีวิต และ ความสามารถต้านแบคทีเรีย ณ เวลาหนึ่ง ๆ .....	45
ตารางที่ 4.5	จำนวน <i>Escherichia coli</i> ที่รอดชีวิต และ ความสามารถต้านแบคทีเรีย ณ ความเข้มข้นหนึ่งๆ.....	46
ตารางที่ 4.6	จำนวน <i>Staphylococcus aureus</i> ที่รอดชีวิต และ ความสามารถต้านแบคทีเรีย ณ ความเข้มข้นหนึ่งๆ.....	47

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ		หน้า
รูปที่ 2.1	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคตินและไคโตซาน.....	6
รูปที่ 2.2	แสดงเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ บริเวณชั้นผิวหนัง.....	11
รูปที่ 2.3	โครงสร้างและองค์ประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมลบ.....	22
รูปที่ 2.4	โครงสร้างและองค์ประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวก.....	23
รูปที่ 2.5	แผนภาพการสังเคราะห์ NMA-HTCC.....	24
รูปที่ 3.1	แผนผังขอบเขตการทดลอง.....	30
รูปที่ 4.1	กลไกการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของไคตินด้วยเกลือควอเทอร์นารี แอมโมเนียม.....	36
รูปที่ 4.2	อินฟราเรดสเปกตรัม.....	37
รูปที่ 4.3	เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโทแกรม.....	42

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย

อุบัติเหตุที่ทำให้เกิดบาดแผลไหม้ นั้น เป็นอุบัติเหตุที่พบได้บ่อยทั้งในเด็กและผู้ใหญ่ ซึ่งบาดแผลไหม้เกิดจากผิวหนังถูกทำลายด้วยความร้อน สารเคมี กระแสไฟฟ้า หรือรังสี โดยอาการนั้น ถ้าเป็นเพียงเล็กน้อย จะมีอาการปวดแสบปวดร้อน และแผลค่อยๆหายไป หรือเกิดสะเก็ดแผล อันเนื่องมาจากแผลขาดความชุ่มชื้น ซึ่งการเกิดสะเก็ดแผลจะทำให้แผลหายช้า โดยทั่วไปแล้ว นิยมใช้วัสดุตกแต่งบาดแผลไฮโดรเจลในการบรรเทาอาการปวดแสบปวดร้อน และป้องกันการเกิดสะเก็ดแผล แต่ถ้าเป็นมาก (กล่าวคือ กินบริเวณกว้าง และแผลลึก) มักจะมีภาวะแทรกซ้อนอย่างอื่นตามมา เช่น การติดเชื้อจากแบคทีเรีย ดังนั้น วัสดุตกแต่งบาดแผลที่ดีควรมีสสมบัติในการดูดซึมน้ำหรือของไหลที่ออกจากบาดแผลได้ดี รวมทั้งสามารถต้านแบคทีเรียได้

วัสดุตกแต่งบาดแผลนั้นส่วนใหญ่ผลิตมาจากพอลิเมอร์ ทั้งพอลิเมอร์ธรรมชาติ และ พอลิเมอร์สังเคราะห์ ได้แก่ พอลิยูรีเทน ผ้าฝ้าย อัลจินेट คอลลาเจน เนื่องจากพอลิเมอร์เหล่านี้สามารถดูดซึมน้ำได้ดี รวมทั้งมีการใช้ไคโตซานมาผลิตเป็นวัสดุตกแต่งบาดแผลเนื่องจากมีความสามารถต้านแบคทีเรีย แต่การนำไคตินมาใช้ทางด้านวัสดุตกแต่งบาดแผลยังพบอยู่น้อย ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากไคตินมีสมบัติไฮโดรโฟบิก หรือ ไม่ชอบน้ำ และ ไม่มีหมู่ฟังก์ชันในการต้านแบคทีเรีย แต่ไคตินยังมีสมบัติที่ดีไม่แตกต่างจากไคโตซาน คือ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงสนใจเตรียมวัสดุตกแต่งบาดแผลชนิดไฮโดรเจลที่มีสมบัติบรรเทาอาการปวดแสบปวดร้อนพร้อมทั้งออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียได้ โดยเลือกใช้วัสดุทางธรรมชาติคือ ไคติน ซึ่งมีสมบัติเด่น คือ เป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่สามารถละลายตัวอย่างช้าๆ เนื่องจากมีโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ไลโซไซม์ ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีอยู่ภายในร่างกาย และถูกดูดซึม เข้าสู่ร่างกาย ทำให้ไม่ส่งผลใดๆที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ถึงแม้ว่าไคตินจะมีความสามารถละลายต่ำ ไม่สามารถละลายได้ในสารละลายทั่วไป ซึ่งแตกต่างจากไคโตซาน แต่ไคตินก็สามารถขึ้นรูปเป็นไฮโดรเจลได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับไคโตซาน จำเป็นต้องใช้สารเชื่อมขวางโควาเลนต์ในการเตรียมไฮโดรเจล ได้แก่ กลูตารัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นพิษ [1] หรือ เจนนิพิน [2] ซึ่งมีราคาแพง ปัจจุบันนิยมใช้พอลิฟอสเฟต [3] เพื่อเชื่อมขวางแบบอไอออนิก แต่ในกรณีของไคตินใช้แค่ตัวทำลายแบบอะโพรติกธรรมดา โดยการละลายไคตินด้วยไดเมทิลอะเซตาไมด์ และ 5% ลิเทียมคลอไรด์แล้วแทนที่ตัวทำลายดังกล่าวด้วยตัวทำลายที่ไม่มีขั้วทั่วไป

ได้แก่ เฮกเซน แอซีโตน เป็นต้น เนื่องจากไคทินมีความเป็นไฮโดรโฟบิกสูงจึงสามารถคงรูปร่างวัสดุได้เมื่อสัมผัสกับตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วดังกล่าวข้างต้น การหดตัวของวัสดุอาจเกิดขึ้นได้บ้างขึ้นอยู่กับความแรงของขั้วของตัวทำละลายที่เลือกใช้ แต่อย่างไรก็ตามจากที่กล่าวข้างต้นแล้วว่า โครงสร้างทางเคมีของไคทินไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่มีฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรีย รวมทั้งมีความเป็นไฮโดรโฟบิกค่อนข้างสูง ทำให้ไคทินไม่ได้รับความนิยมในงานวิจัยทางด้านไฮโดรเจลหรือวัสดุตกแต่งบาดแผล รวมทั้งสมบัติในการต้านแบคทีเรียเท่าที่ควร

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสังเกตเห็นถึงความสำคัญของความสามารถต้านแบคทีเรียของวัสดุตกแต่งบาดแผล และความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุตกแต่งบาดแผล โดยในงานวิจัยนี้มีขอบเขตตั้งแต่การนำไคทินมาทำให้บริสุทธิ์ จากนั้นนำมาดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของไคทินให้มีประจุบวกด้วยควอเทอร์นารีแอมโมเนียม เพื่อให้มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย จากนั้นจึงนำไปขึ้นรูปเป็นวัสดุตกแต่งบาดแผลชนิดไฮโดรเจลหรือโครงสร้างร่างแหพอลิเมอร์แบบสอดไขว้บางส่วน (semi-interpenetrating network) กับพอลิเมอร์สายโซ่ยาวที่มีความเป็นไฮโดรฟิลิกเพื่อปรับปรุงสมบัติความชอบน้ำให้กับไคทินเจลาเชิงกายภาพ และศึกษาลักษณะโครงสร้างทางเคมีความสามารถในการดูดซึมน้ำ ความเป็นไฮโดรโฟบิกหรือไฮโดรฟิลิก ความเป็นผลึก และความสามารถในการต้านแบคทีเรีย ของวัสดุตกแต่งบาดแผลที่ได้ ซึ่งคาดหวังว่าจะสามารถบรรเทาอาการปวดแสบปวดร้อน ป้องกันการเกิดสะเก็ดแผล และป้องกันภาวะการติดเชื้อจากแบคทีเรียได้เป็นอย่างดี

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงสมบัติต้านแบคทีเรียของไคทิน โดยดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของไคทินด้วยควอเทอร์นารีแอมโมเนียม และ วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี ความสามารถในการต่อต้านแบคทีเรียของควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคทินที่เตรียมได้
2. เพื่อปรับปรุงสมบัติการชอบน้ำของไคทินและอนุพันธ์ไคทินให้เหมาะสมในการประยุกต์ใช้ทางด้านวัสดุตกแต่งบาดแผล ไฮโดรเจลของไคทินและอนุพันธ์ไคทินจะเตรียมโดยการสอดไขว้ของพอลิเมอร์ไฮโดรฟิลิกบางส่วน(semi-interpenetrating network) รวมทั้งวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุตกแต่งบาดแผลชนิดไฮโดรเจลที่เตรียมได้

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ดัดแปรโครงสร้างของไคตินด้วยเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม โดยเลือกใช้ภาวะที่ทำให้เกิดการแทนที่ได้มากที่สุด เพื่อให้อนุพันธ์ไคตินมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด รวมทั้งวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี
2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นวัสดุตกแต่งบาดแผลชนิดไฮโดรเจลของไคตินและอนุพันธ์ไคตินควอเทอร์นารีแอมโมเนียม
3. ศึกษาความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุตกแต่งบาดแผลชนิดไฮโดรเจลที่เตรียมได้
4. ศึกษาความสามารถต้านแบคทีเรียของอนุพันธ์ไคตินที่เตรียมได้

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วัสดุตกแต่งบาดแผลชนิดไฮโดรเจลจากอนุพันธ์ไคตินที่ถูกดัดแปรโครงสร้างทางเคมีด้วยเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม ซึ่งสามารถป้องกันการติดเชื้อจากแบคทีเรีย และทำให้บาดแผลมีความชุ่มชื้น

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในความเป็นจริงอุบัติเหตุที่นั้นสามารถเกิดขึ้นได้เสมอ แล้วสิ่งที่ตามมาหลังการเกิดอุบัติเหตุคือ บาดแผล โดยถ้าเป็นมากหรืออันตรายก็ต้องได้รับการพยาบาลอย่างทันที แต่ถ้าเป็นเพียงเล็กน้อยก็อาจแค่ปฐมพยาบาลเพียงเบื้องต้นก็เพียงพอ และบาดแผลโดยมากมักนำมาสู่การเกิดเป็นสะเก็ดแผล ซึ่งสะเก็ดแผลนั้นเกิดเนื่องจากบาดแผลขาดความชุ่มชื้นหรือมีการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียต่างๆ ตรงบริเวณบาดแผล ซึ่งอาจทำให้บาดแผลเกิดการติดเชื้อ หรือเกิดภาวะแทรกซ้อนต่างๆ ตามมา ดังนั้นเพื่อที่จะป้องกันการเกิดเป็นสะเก็ดแผล และป้องกันการติดเชื้อจึงได้มีการนำวัสดุตกแต่งบาดแผลมาใช้ โดยพอลิเมอร์ที่นำมาใช้นั้นส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ

พอลิเมอร์ คือ สารโมเลกุลขนาดใหญ่ (macromolecule) โดยพอลิเมอร์นั้นจะประกอบไปด้วยหน่วยซ้ำกัน (repeating unit) ของมอนอเมอร์ (monomer) หลายๆหน่วยมาทำปฏิกิริยากันโดยมอนอเมอร์นี้จัดเป็นสารไมโครโมเลกุล (micromolecule) ชนิดหนึ่ง และพอลิเมอร์โดยทั่วไปนั้นมีทั้งที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติ และพอลิเมอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ขึ้นมา ซึ่งตัวอย่างของพอลิเมอร์ธรรมชาติ(natural polymer) ได้แก่ แป้ง เซลลูโลส โปรตีน เส้นใยธรรมชาติ กรดนิวคลีอิก และยางธรรมชาติ เป็นต้น ส่วนพอลิเมอร์สังเคราะห์(synthetic polymer) เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต เป็นต้น ในโลกแห่งการวิจัยคิดค้นและพัฒนายุคปัจจุบันนั้น พอลิเมอร์ธรรมชาตินับเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ และได้รับความนิยมนำมาใช้ในการผลิตหรือดัดแปลงเป็นวัสดุต่าง ๆ เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป

#### 2.1 ไคติน ไคโตซาน[4]

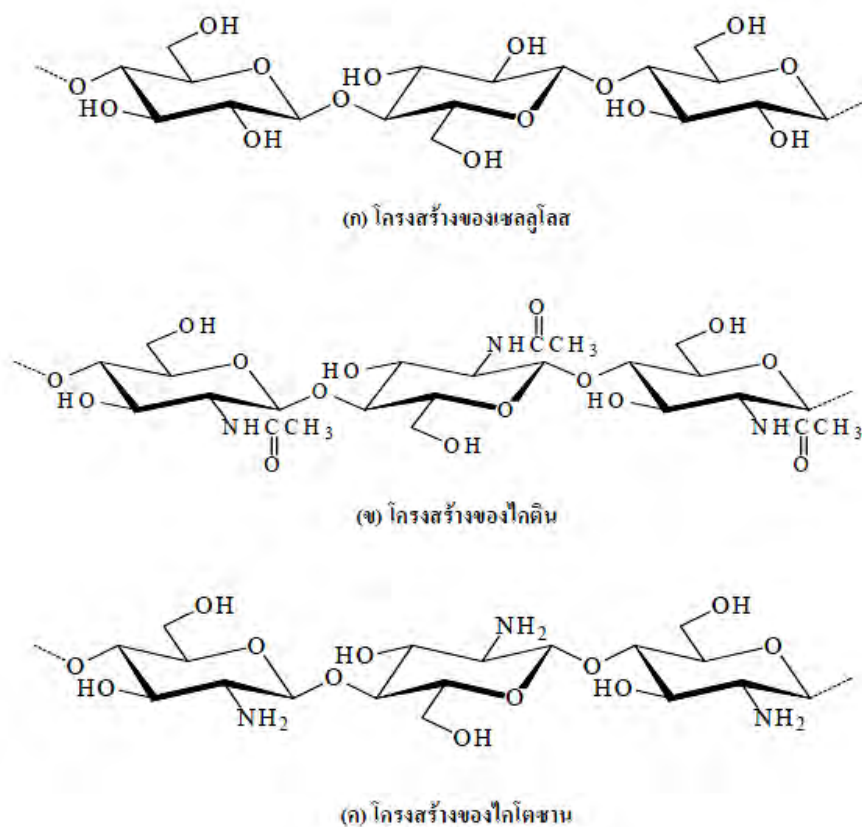
ในยุคปัจจุบันที่แนวทางการวิจัยเริ่มหันเข้าหาธรรมชาติมากขึ้น มีการพยายามค้นหาแหล่งพลังงานและแหล่งวัตถุดิบทางอุตสาหกรรมเพิ่ม เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการพัฒนามีมากขึ้น โดยในบรรดาทางเลือกใหม่เหล่านั้น พอลิเมอร์ธรรมชาติก็เป็นหนึ่งในบรรดาวัสดุทางเลือกใหม่ที่นักวิทยาศาสตร์กำลังให้ความสนใจมากเช่นกัน โดยมีเซลลูโลส (cellulose) พอลิแซ็กคาไรด์จากพืช ถือได้ว่าเป็นแหล่งพอลิเมอร์ธรรมชาติหลัก คิดเป็นประมาณ 50% ของพอลิเมอร์ธรรมชาติทั้งหมดที่ได้จากธรรมชาติ ในขณะที่ไคติน ไคโตซานซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่พบมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส โดยสามารถแยกสกัดได้จากเปลือกของสัตว์ที่มีข้อปล้องในตระกูล

crustacean จำพวก กุ้ง ปู เป็นต้น นอกจากนี้ ไคตินยังพบเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างหลักของแมลง รา และยีสต์ โดยปริมาณที่พบในสัตว์ต่าง ๆ มีปริมาณต่ำ ตั้งแต่ 0.01% จนพบในปริมาณสูงถึง 40% เมื่อเทียบกับน้ำหนักตัวแห้งของสัตว์เหล่านั้น

ตารางที่ 2.1 แหล่งวัตถุดิบสำคัญของไคติน

[ที่มา [www.material.chula.ac.th/CCB/document/rawMaterial.pdf](http://www.material.chula.ac.th/CCB/document/rawMaterial.pdf)]

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ประเภทมีข้อปล้อง (Arthropods)	แมลง (Insect)	จุลินทรีย์ (Microorganisms)
หนอนทะเล(annelida)	แมลงป่อง	สาหร่ายสีเขียว
หอย (Molluska)	แมงมุม	ยีสต์ ( $\beta$ -type)
Coelentera	Brachiopod	เชื้อรา (ผนังเซลล์)
Crustaceans	มด	ก้านเชื้อสปอร์ของ penicillium
กุ้งก้ามกราม (Lobster)	แมลงสาบ	สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำตาล
กุ้ง (shrimp)	แมลงปีกแข็ง	สปอร์
กุ้งนาง (prawn)		Chytridiaceae
Krill		Blastocladiaceae
ปู (crab)		Ascomydes



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคตินและไคโตซาน

[ที่มา <http://www.material.chula.ac.th/CCB/document/productions.pdf>]

กรรมวิธีการผลิตไคตินและไคโตซานมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งวิธีทางเคมี และทางชีวภาพซึ่งในระดับอุตสาหกรรมมักจะใช้วิธีทางเคมี และวัตถุดิบส่วนใหญ่มาจากกากของเหลือในอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง อาทิ เปลือกหอยกุ้ง กระดองปู และ แกนปลาหมึก โดยสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของไคตินและไคโตซานที่ได้มีความหลากหลาย ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ (Species) ของสัตว์เหล่านี้ รวมถึงกรรมวิธีการผลิต ดังนั้น กระบวนการผลิตที่นำเอาเทคโนโลยีชีวภาพเข้ามาผสมผสานกับกระบวนการผลิตทางเคมี จึงมีการพัฒนาขึ้นเพื่อให้ได้สมบัติของผลิตภัณฑ์ไคตินและไคโตซานตามต้องการและเหมาะสมกับการนำไปใช้

โดยการผลิตสารไคตินและไคโตซานโดยทั่วไปมีหลักการที่สำคัญดังต่อไปนี้ [5]

1. กระบวนการกำจัดโปรตีน (deproteination) โดยการทำปฏิกิริยากับด่าง ซึ่งส่วนใหญ่ใช้โซดาไฟ (NaOH) ในกระบวนการนี้โปรตีนส่วนใหญ่จะถูกขจัดออกไปจากวัตถุดิบพร้อมกันนี้ บางส่วนของไขมันและรงควัตถุบางชนิดมีโอกาสถูกขจัดออกไปด้วย การพิจารณาใช้กระบวนการนี้จะขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้



2. กระบวนการกำจัดเกลือแร่ (demineralization) โดยการนำวัตถุดิบที่ผ่าน กระบวนการกำจัดโปรตีนมาแล้ว มาทำปฏิกิริยากับกรดซึ่งส่วนมากใช้กรดเกลือ (HCl) ทำให้เกลือแร่ส่วนใหญ่ ได้แก่ หินปูน (calcium carbonate,  $\text{CaCO}_3$ ) ซึ่งจะถูกกำจัดออกไปโดยเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3. กระบวนการกำจัดหรือลดหมู่อะซีติล (deacetylation) เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ใช้ในการกำจัดหรือลดหมู่อะซีติล ( $\text{CH}_3\text{CO}-$ ) ที่มีอยู่บนโมเลกุลของไคติน เพื่อให้เกิดเป็นไคโตซาน (chitosan) ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นของหมู่อะมิโน ( $-\text{NH}_2$ ) บนโมเลกุลของไคตินและหมู่อะมิโนนี้มีความสามารถในการรับโปรตอนจากสารละลาย ซึ่งช่วยให้การละลายดีขึ้น เพราะมีสมบัติเป็นประจุบวก (Cation) ส่วนใหญ่เมื่อปริมาณของหมู่อะซีติล ถูกกำจัดไปมากกว่า 60% ขึ้นไป สารไคโตซานที่ได้สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิด การลดหมู่อะซีติลกระทำได้โดยใช้ต่างที่เข้มข้นสูงตั้งแต่ 40% ขึ้นไป ดังนั้นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการพิจารณาสารไคโตซานก็คือค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติล (degree of deacetylation , %DD)

ไคติน จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้างที่เป็นเส้นใย คล้ายคลึงกับเซลลูโลสจากพืช โดยไคตินในธรรมชาติมีโครงสร้างของผลึกที่แข็งแรง 3 ลักษณะ ได้แก่ แอลฟาไคตินสกัดจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู เบต้าไคตินสกัดจากแกนหรือกระดองหมีก และแกมมาไคติน ส่วนไคโตซานนั้นเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ได้จากการกำจัดหมู่อะซีติลของไคติน โดยไคติน-ไคโตซานจัดเป็นโคพอลิเมอร์ที่อยู่ร่วมกันในธรรมชาติ มีสมบัติพื้นฐานที่เข้ากันได้ทางชีวภาพได้ดี ย่อยสลายง่าย ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งไคติน-ไคโตซาน มีหมู่อะมิโนที่แสดงสมบัติพิเศษหลายประการที่ต่างจากเซลลูโลส[6]

ปัจจุบันมีการนำสารไคติน-ไคโตซาน มาประยุกต์ใช้จริงตัวอย่างเช่น[7]

ในด้านการเกษตร ใช้ไคโตซานเคลือบเมล็ดข้าวสารเพื่อป้องกันเชื้อรา ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 และใช้ไคตินในการเตรียมดินสำหรับเพาะปลูกทำให้ลดโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในดินได้ นอกจากนี้มีการใช้ไคตินในรูปผลึกขนาดเล็ก 2% ผสมกับหางนม 20% ในอาหารสำหรับเลี้ยงไก่ พบว่า ไก่กินอาหารผสมที่มีไคติน และหางนม จะมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเทียบกับไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารปกติ หรือเลี้ยงด้วยอาหารที่มีการเติมหางนมหรือไคตินเพียงอย่างเดียว และจากการที่ไคโตซานเป็นสารพอลิเมอร์ที่อุ้มน้ำ การนำมาห่อหุ้มต้นอ่อน จะช่วยให้มีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น

ในด้านการแพทย์และเภสัชวิทยา ใช้ไคติน และไคโตซาน ในการรักษาบาดแผล เพื่อใช้ในการรักษา แผลผ่าตัดและไฟไหม้ ซึ่งจะช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น ทำผลิตภัณฑ์แผ่นปิดตแต่งแผล

ด้วยเย็บแผล ซึ่งข้อดีของมันก็คือ จะสลายตัวอย่างช้า ๆ และถูกดูดซึมเข้าร่างกาย อย่างไม่มีปฏิกิริยาต่อต้านจากร่างกาย ใช้เป็นเลนส์สายตา เนื่องจากมีคุณสมบัติยอมให้ออกซิเจนผ่านเข้าออกได้ และไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ ใช้เป็นแคปซูลบรรจุยา ใช้เป็นสารป้องกันการตกตะกอนของเลือด ใช้เป็นตัวจับและตกตะกอนเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว ใช้ผลิตผนังเทียม เช่น ผนังไต ใช้เป็นสารลดโคเลสเตอรอล และใช้เป็นสารเชื่อมหรืออุดฟันในด้านทันตกรรม

ในด้านอุตสาหกรรม จะอาศัยคุณสมบัติของโคโตซานที่สำคัญหลายประการ เช่น การเป็นสารก่อให้เกิดอิมัลชัน การจับกับสี การเกิดแผ่นฟิล์ม การเกิดเจล และการเป็นสารลดแรงตึงผิว จึงสามารถประยุกต์ใช้โคติน-โคโตซานได้ ในอุตสาหกรรมหลายด้าน เช่น ในอุตสาหกรรมอาหารมีความเป็นไปได้ที่จะใช้โคโตซานเป็นวัสดุห่อหุ้มอาหารหรือยืดอายุของผลไม้ได้ เนื่องจากมีสมบัติในการต้านจุลินทรีย์ การทำให้น้ำผลไม้ใส ตกตะกอนไวน์ขาวและไวน์แดง เนื่องจากไม่มีผลต่อสีของไวน์ และ ลดสารที่ไม่ต้องการบางชนิดในอาหาร เช่น แทนนินได้ ตลอดจนจากการวิจัยในสัตว์หลายชนิดพบว่า การบริโภคโคโตซานสามารถลดปริมาณ โคเลสเตอรอลในเลือดได้ ในประเทศญี่ปุ่นจึงมีการผลิตขนมคุกกี้ควบคุมน้ำหนัก และบะหมี่สำเร็จรูป ซึ่งมีส่วนผสมโคโตซานออกมาจำหน่าย นอกจากนี้แล้วยังมีน้ำส้มสายชูที่มีโคโตซานผสมอยู่ออกมาจำหน่ายอีกด้วย สำหรับประเทศไทยได้มีการจำหน่ายผลิตภัณฑ์โคโตซานแคปซูล เพื่อลดโคเลสเตอรอล และควบคุมน้ำหนักซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในรูปแบบอาหารเสริม

ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง โคโตซานได้ถูกนำมาใช้เพื่อจุดประสงค์หลายอย่าง เช่น เป็นสารเพิ่มความข้นเหนียวในครีม เป็นส่วนผสมในโลชั่น เพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นและความเนียนนุ่ม เป็นส่วนผสมในแชมพูสระผม ครีมนวดผมและครีมปรับสภาพผม เนื่องจากมีคุณสมบัติ ความหนืด และการเคลือบ เพื่อช่วยเก็บความชุ่มชื้นไว้ ทำให้เส้นผมนุ่มได้ บริษัทในประเทศเยอรมนี และบริษัทญี่ปุ่นได้ใช้สารโคโตซานเป็นส่วนประกอบในแป้งแต่งหน้า เพื่อเพิ่มความชุ่มชื้น ความเรียบรวมทั้งได้มีการนำสารโคโตซานมาใช้ในโฟมล้างหน้า เพื่อการรักษาความสะอาดและลดความมันบนใบหน้า

ในอุตสาหกรรมกระดาษ โคโตซานได้ถูกใช้เพื่อเป็นสารช่วยการยึดติดโดยใช้เพียง 1% โดยน้ำหนัก กระดาษที่ได้จะมีความทนทานเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะขณะเปียก ซึ่งเหมาะสำหรับทำผ้าอ้อมแบบใช้แล้วทิ้ง หรือทำกระดาษเช็ดมือ และรวมทั้งอุตสาหกรรมทอผ้า อุตสาหกรรมแก้ว อุตสาหกรรมกระดาษแปรรูปไม้ และการถ่ายภาพ เป็นต้น

ภาพรวมการใช้ไคทิน-ไคโตซานในประเทศไทย ณ วันนี้อาจกล่าวได้ว่า ประเทศไทยได้เปรียบกว่าประเทศอื่นๆ อันเนื่องมาจากมีความพร้อมทางด้านวัตถุดิบ (เปลือกกุ้งและปู) ศักยภาพในด้านวัตถุดิบนี้ เป็นผลมาจากการที่ประเทศไทย เป็นประเทศที่ส่งออกกุ้งแช่แข็งเป็นสินค้าออกอันดับต้นๆ ของโลก ถึงแม้ว่าทางรัฐบาลได้มีนโยบายในการจำกัดพื้นที่การเพาะเลี้ยงกุ้ง แต่เปลือกกุ้งที่จะถูกป้อนให้กับโรงงาน เพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นไคทิน-ไคโตซาน นั้นได้มาจาก 2 แหล่ง คือ จากฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้งประมาณ 2 แสนตันต่อปี และจากทะเลประมาณ 3 แสนตันต่อปี ดังนั้นจึงไม่น่ามีปัญหาในด้านการขาดแคลนวัตถุดิบ เมื่อความต้องการใช้ไคทิน-ไคโตซานในท้องตลาดมีเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันนี้ก็ยังมีความพร้อมทางด้านเทคโนโลยี ทั้งนี้เพราะเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตสารไคทิน-ไคโตซาน เป็นเทคโนโลยีที่ง่ายไม่ซับซ้อน สามารถทำได้ตั้งแต่ในระดับครัวเรือน ชุมชนและขยายใหญ่ในระดับอุตสาหกรรม ปัจจุบันโรงงานที่ดำเนินการผลิต ยังมีอยู่ไม่มาก อัตราการผลิตของแต่ละโรงก็ยังไม่สูงมาก และเท่าที่ปรากฏก็ไม่ค่อยแสดงตัวมากนัก หากความต้องการของตลาดมีมากขึ้น การขยายตัวเป็นอุตสาหกรรมมีความเป็นไปได้มากและรวดเร็ว เพราะใช้เงินลงทุน เครื่องจักร-เครื่องมือ และแรงงานไม่มาก สามารถจัดการระบบการผลิตได้ไม่ยาก จากความพร้อมในหลายด้านดังกล่าว ในอนาคตเมืองไทยอาจจะเป็นประเทศที่ส่งออกไคทิน-ไคโตซานระดับต้นๆ ของโลก เช่นเดียวกับกุ้งแช่แข็งก็อาจจะเป็นไปได้ ในแง่กระบวนการผลิตมีการใช้สารเคมีร่วม ซึ่งอาจจะมีปัญหาตามมาได้ เช่น ปัญหาสารเคมีตกค้างและปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ก็สามารถจัดการแก้ไขและควบคุมได้ โดยอาจนำแนวทางการรู้ทางเทคโนโลยีสะอาดและเทคโนโลยีชีวภาพมาร่วมจัดการได้ นอกจากนี้เรายังสามารถพัฒนาการผลิตให้ครบวงจรได้ตั้งแต่ สารไคทิน สารไคโตซาน และผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากสารไคทิน-ไคโตซาน เช่น ปุ๋ย เครื่องสำอาง และอาหารเสริม ฯลฯ อันเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุอีกทางหนึ่ง[8]

## 2.2 บาดแผล

ในชีวิตคนเราตั้งแต่เด็กจนโตคงไม่มีใครที่ไม่เคยมีบาดแผล ดังนั้นเรื่องบาดแผลจึงเป็นเรื่องสำคัญ ความหมายของบาดแผล คือ การชอกช้ำฉีกขาดของผิวหนังหรือเนื้อเยื่อของร่างกาย ซึ่งเป็นผลจากการกระทำที่ทำให้บาดเจ็บ อาจจะได้เห็นได้จากภายนอก หรือเป็นอยู่ภายใน และอาจจะมีเลือดออกมาภายนอกหรือออกอยู่ภายในก็ได้

บาดแผลโดยทั่วไป แบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

ก) บาดแผลจากการผ่าตัด (Surgical or Operative wound)[9]

เป็นบาดแผลที่เกิดขึ้นจากการผ่าตัดของแพทย์เพื่อรักษาผู้ป่วย แบ่งได้ดังนี้

1. Clean wound บาดแผลสะอาด ปราศจากการปนเปื้อน มักไม่มีปัญหาในการดูแลรักษาถ้าเย็บแผลด้วยวัสดุที่เหมาะสม ทะนุถนอมบาดแผล ไม่ผูกมัดหรือดึงรั้งเนื้อเยื่อมากจนเลือดมาเลี้ยงไม่พอ พบอัตราการติดเชื้อได้ 5 % เช่น แผลผ่าตัดไส้เลื่อน

2. Clean contaminate wound บาดแผลสะอาดแต่อาจมีการปนเปื้อนได้ขณะทำการผ่าตัด พบอัตราการติดเชื้อได้ 10 % เช่น แผลผ่าตัดไส้ติ่งอักเสบ

3. Contaminated wound บาดแผลผ่าตัดที่ปนเปื้อนจากสิ่งที่ไม่สะอาด ของเหลวจากทางเดินอาหาร หรือระบบปัสสาวะ เป็นต้น ควรล้างแผลด้วยน้ำเกลือล้างแผลจำนวนมากๆ ทั้งในช่องท้องและบาดแผลเพื่อให้ เชื้อโรคและสิ่งปนเปื้อนเหลือตกค้างอยู่น้อยที่สุด (ถ้าจำนวน Bacteria มีน้อยกว่า 10,000 ต่อเนื้อเยื่อ 1 กรัม โอกาสติดเชื้อที่บาดแผลน้อยมาก) บาดแผลชนิดนี้พบอัตราการติดเชื้อได้ 15 % เช่น แผลผ่าตัดกระเพาะอาหารทะลุ

4. Dirty wound บาดแผลสกปรก ปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมมาก่อนผ่าตัด เช่น ดินทราย พบอัตราการติดเชื้อได้ 40 % เช่น บาดแผล Open fracture ที่เปื้อนดินทราย

กายวิภาคของผิวหนัง ผิวหนังเป็นอวัยวะที่มีพื้นที่มากที่สุดของร่างกาย ประกอบด้วยชั้นต่างๆ ดังนี้

1. หนังกำพร้า (epidermis) อยู่ชั้นนอกสุดเป็นด่านแรกที่ป้องกันอันตรายจากสิ่งแวดล้อม หนังกำพร้าประกอบด้วย 5 ชั้น เซลล์หนังกำพร้า ได้แก่

- สตราตัม คอร์เนียม (Stratum corneum)
- สตราตัม ลูซิเดียม (Stratum lucidum)
- สตราตัม แกรนูโลซัม (Stratum granulosum)
- สตราตัม สไปโนซัม (Stratum spinosum)
- สตราตัม เจอมีเนติวิ้ม (Stratum germinativum)

ส่วนที่สำคัญที่สุดมี 2 ชั้น คือ สตราตัม คอร์เนียม อยู่ชั้นนอกสุดมีโมโนไลปิด (monolipid) เป็นส่วนประกอบ ทำหน้าที่ในการป้องกันเชื้อโรคเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนังและป้องกันการสูญเสีย น้ำทางผิวหนัง (insensible loss) ดังนั้นถ้าผิวหนังถูกทำลายบริเวณกว้างจะทำให้สูญเสียน้ำอย่างมาก ส่วนอีกชั้นหนึ่งคือ สตราตัม เจอมีเนติวิ้ม มีหน้าที่ในการสร้างเซลล์ใหม่ทดแทนเซลล์ที่ถูกทำลาย และเป็นชั้นที่มีสีของผิวหนัง (melanin) เช่น ผิวสีน้ำตาล ดำ ขาว

ความหนาของชั้นหนังกำพร้าจะมีความแตกต่างกัน เช่น บริเวณฝ่าเท้าหนาที่สุด บริเวณตาบางที่สุด ชั้นหนังกำพร้าจะไม่มีเลือดมาเลี้ยง แต่ชั้นในสุดคือ สตราตัม เจอมีเนติวิ้ม จะมีเลือดฝอยจากชั้นหนังแท้ที่อยู่ติดกันมาเลี้ยง

2.หนังแท้ (dermis) อยู่ถัดจากหนังกำพร้าลงมา ประกอบด้วยส่วนของเนื้อเยื่อชนิดไฟบรัส (fibrous) และคอลลาเจน (collagen) หล่อเลี้ยงด้วยหลอดเลือดฝอย เส้นประสาท ระบบต่อม น้ำเหลือง และ epithelium appendage ได้แก่ ตุ่มขุมขน ต่อมเหงื่อ ต่อมไขมัน ซึ่งมีหน้าที่ในการสร้าง ซ่อมแซม (regeneration) ขึ้นผิวหนังใหม่และมีปลายประสาท (nerve ending) รับความรู้สึกเจ็บปวดอยู่ในชั้นนี้มาก เมื่อผิวหนังชั้นนี้ได้รับอันตรายจะเจ็บปวดมากกว่าชั้นอื่นๆ

หน้าที่ของผิวหนัง ผิวหนังมีหน้าที่สำคัญหลายประการ ได้แก่

1. ป้องกันเชื้อโรคและป้องกันการบาดเจ็บหรืออันตรายจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ดังนั้นถ้าผิวหนังถูกทำลายหรือมีบาดแผลเกิดขึ้น โอกาสที่เชื้อโรคเข้าสู่ร่างกายจึงสูงขึ้น

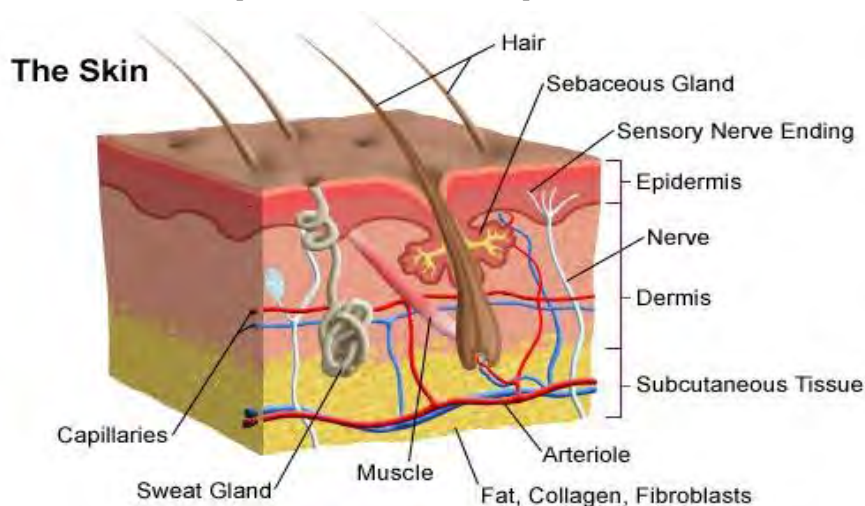
2. รักษาสมดุลของสารน้ำ และเกลือแร่ เมื่อผิวหนังถูกทำลาย เช่น ไฟไหม้ น้ำร้อนลวก จะทำให้สูญเสียน้ำและเกลือแร่ไปจากบริเวณแผล ซึ่งจะมาก-น้อย ขึ้นอยู่กับความกว้าง-ลึก ของแผล

3. ควบคุมอุณหภูมิให้สามารถปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อม โดยเนื้อเยื่อไขมัน ทำหน้าที่ในการป้องกันไม่ให้ร่างกายสูญเสียความร้อน แต่ถ้าผิวหนังถูกทำลายมากจะไม่สามารถปรับอุณหภูมิได้ต่อไป

4. คัดหลังไขมันในชั้นหนังแท้ ถ้าบาดแผลทำลายชั้นหนังแท้ ผิวหนังจะไม่สามารถทำหน้าที่คัดหลังไขมันต่อไปได้

5. เป็นอวัยวะรับความรู้สึก สัมผัส ทำให้ร่างกายมีการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อม และตอบสนองต่ออันตรายที่จะเกิดแก่ร่างกายได้ และเป็นบริเวณที่รับความรู้สึกเจ็บปวด

6. สังเคราะห์วิตามินดี เมื่อผิวหนังถูกแสงแดดทำให้ร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้ดี



รูปที่ 2.2 แสดงเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ บริเวณชั้นผิวหนัง

[ที่มา <http://www.bangkokhealth.com/index.php/2009-01-19-03-23-23/1136-2009-01-22->

ข) บาดแผลจากการบาดเจ็บ (Trauma or Injury)[10]

การบาดเจ็บทำให้เกิดบาดแผลได้ 2 ประเภท คือ

#### 1. บาดแผลภายนอก

เป็นบาดแผลที่เห็นได้ภายนอก มักเป็นบาดแผลที่ผิวหนัง มีชื่อเรียกต่างๆ กันตามลักษณะของบาดแผล ดังนี้

1.1) บาดแผลที่เกิดจากของมีคม มีขอบเขตบาดแผลที่ชัดเจน บาดแผลสะอาด

1.2) บาดแผลที่ขอบแผลกระรุ่งกระริ่ง สกปรก อาจเกิดจาก Crush injury, ระเบิด, ปืน, คมเลื่อย หรือเครื่องบดเนื้อ

1.3) บาดแผลฟกช้ำ เป็นแผลที่มีเลือดออกใต้ผิวหนัง เกิดจากอาวุธชนิดใดก็ได้ รูปร่างของบาดแผลจะบ่งบอกถึงขนาดของอาวุธที่ใช้ เช่น ท่อนไม้ ฆ้อน บังโคลนรถ หรือด้ามปืน แผลชนิดนี้ความรุนแรงไม่มากนัก

1.4) บาดแผลถลอก เป็นการถลอกหลุดไปของผิวหนังทำให้เกิดเป็นแผลขึ้น สาเหตุอาจเกิดจาก direct impact หรือ pressure หรือแรงเสียดสีก็ได้ เช่น รอยฟั้น รอยเล็บ รอยเชือกรัด รอยถลอกจากปากกระสุนปืน หรือรอยขีดข่วนจากหนามก็ได้

1.5) บาดแผลฉีกขาด เป็นการแยกหรือฉีกขาดของชั้นผิวหนังทั้งหมด มักมีรอยถลอกด้านนอกและฉ้ำในส่วนลึก ขอบแผลจะไม่เรียบ บาดแผลชนิดนี้รุนแรงกว่าแผลฟกช้ำ บาดแผลฉีกขาดเกิดจากการถูกของแข็งกระแทก

1.6) บาดแผลถูกบาด เกิดจากของมีคมบาด ลักษณะแผลมีขอบแผลเรียบ มีความยาวของบาดแผลมากกว่าความลึก อาวุธที่ทำให้เกิด เช่น มีด ขวาน เศษแก้ว ฝากระป๋อง

1.7) บาดแผลถูกแทง เป็นบาดแผลที่มีความลึกมากกว่าความกว้างและความยาว ในทางการแพทย์แบ่งแผลถูกแทงออกเป็น 2 ชนิด คือ Stab wound บาดแผลถูกแทงจากของมีคม ขอบแผลจะเรียบ เช่น มีด และ Penetrated wound เป็นบาดแผลถูกแทงด้วยวัตถุปลายแหลมไม่คม ขอบแผลจะไม่เรียบ เช่น เหล็กแหลม ไซควง เหล็กชุดซาร์ป

1.8) บาดแผลถูกตำ เป็นบาดแผลที่เกิดจากการถูกของมีคมปลายแหลมทิ่มตำ หรือแทง มักเป็นวัตถุขนาดเล็ก เช่น เข็ม ตะปู

1.9) บาดแผลถูกกัด เป็นแผลจากสิ่งมีชีวิตกัด เกิดบาดแผลจากรอยเขี้ยวหรือรอยฟัน ลักษณะและขนาดของแผลขึ้นอยู่กับสัตว์ที่กัด โดยแผลถูกกัดนี้จะรุนแรงเนื่องจากในปากหรือน้ำลายมีเชื้อโรคอยู่หลายชนิด ดังนั้นจะมีการดูแลรักษาแผลที่เฉพาะแล้วแต่ชนิดสัตว์ที่กัด

1.10) บาดแผลที่เกิดจากการกระแทกหรือการบดทับด้วยวัตถุที่หนัก

1.11) บาดแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก เป็นบาดแผลที่เกิดจากความร้อนหรือสารเคมี แผลชนิดนี้ถ้าเป็นมากจะทำให้ผู้ป่วยซึบคได้จาก การสูญเสีย น้ำซึ่งจำเป็นจะต้องรักษาในโรงพยาบาลเพื่อให้น้ำเกลือและเพื่อป้องกันภาวะแทรกซ้อนที่อาจเกิดขึ้นภายหลัง

โดยชนิดของแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก แบ่งตามสิ่งที่ทำให้เกิดบาดแผลได้ดังนี้

1.11.1) Flame burn เกิดจากการลุกไหม้ของวัตถุไวไฟและเสื้อผ้า ลักษณะขอบแผลจะไม่เรียบ

1.11.2) Flash burn เกิดจากการระเบิดของก๊าซบริเวณที่ถูกเผาไหม้ จะมีความลึกของแผลเท่ากันหมด

1.11.3) Chemical burn เกิดจากสารเคมี เช่น น้ำยากดหรือต่าง มักจะเป็น Full thickness burn การใช้น้ำจำนวนมากๆ จะช่วยลดการกระจายและการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อได้

1.11.4) Contact burn เกิดจากการที่ผิวหนังสัมผัสกับวัตถุที่ร้อนจัด มักจะลามจากผิวหนังลงไปทำให้เกิดการเน่าตายของกล้ามเนื้อ เส้นประสาท และกระดูก เช่น ฟอสฟอรัสขาว

1.11.5) Electrical burn เกิดจากการถูกไฟฟ้าช็อต บาดแผลภายนอกจะดูเล็กและบาดเจ็บไม่มากแต่จะทำให้เกิดการเน่าตายลึกลงไปถึงชั้นกล้ามเนื้อ เอ็น พังผืด เส้นประสาทและกระดูก ซึ่งอาจจะต้องทำ Debridement หรือ Amputate อวัยวะส่วนนั้น

1.11.6) Scald burn เกิดจากของเหลวที่มีความร้อนจัดลวก หรือตกไปในบ่อน้ำร้อน บาดแผลที่เกิดขึ้นจะเป็นทั้งชนิด Full thickness หรือ partial thickness ก็ได้ และถ้าเกิดจาก Super heated steam มักจะมีผลต่อระบบหายใจ ทำให้เกิดภาวะ Respiratory distress ได้

การตรวจวินิจฉัยไฟไหม้ น้ำร้อนลวก เป็นสิ่งสำคัญเพราะเป็นแนวทางในการรักษาคือต้องบอกระดับความลึกของเนื้อเยื่อผิวหนังที่ถูกทำลาย โดยแบ่งได้ 3 ระดับ (Degree) ดังนี้

- First degree burn แผลที่เกิดขึ้นตื้น มีการทำลายเฉพาะชั้นหนังกำพร้า (Epidermis) เท่านั้น ผิวหนังจะแดง เจ็บ อุ่น และ บวมเล็กน้อย สาเหตุมักเกิดจากการตากแดดจัด จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีระของร่างกาย ไม่ต้องให้น้ำเกลือทดแทน รักษาอาการปวดและใช้ครีมทาจะหายเองได้ภายใน 3-6 วัน

- Second degree burn แผลเกิดกับผิวหนังชั้นบนและบางส่วนของชั้นหนังแท้ (Dermis) แผลจะมีสีชมพูหรือแดงเป็นบางที่ ผิวหนังมักจะบวมแดง มีถุงน้ำ (Blister) แผลแบบนี้จะหายภายใน 7-14 วันถ้าไม่มีการติดเชื้อแทรกซ้อน แต่ถ้าบาดแผลลึกจะมีหนังกำพร้าที่ตายแล้วคลุมอยู่ ส่วนของหนังแท้จะซีดขาว เวลาใช้มีดกรีดจะไม่มีเลือดไหล แผลจะแห้งแต่มึน ไม่มี Pruritic sensation

แต่มี Deep pressure sensation บาดแผลจะหายได้ภายใน 3-6 สัปดาห์ แต่จะเกิดแผลเป็นมาก (scar)

- Third degree burn หรือ Full thickness burn จะมีการทำลายทุกชั้นของผิวหนังและเนื้อเยื่อที่อยู่ลึกลงไป แผลจะซีดขาว ผิวแห้งเป็นมัน (Pearly white) มีลักษณะเป็น Eschar ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนที่ตกตะกอนแข็งตัว ไม่มีความยืดหยุ่น โสจนอาจมองเห็นหลอดเลือดดำที่แข็งตัวอยู่ข้างใต้ได้ แผลนี้จะไม่ปวดและไม่หายเอง ต้องทำ Skin graft ปิดบริเวณแผล นอกจากการบอกระดับความลึกแล้วที่สำคัญอีกอย่าง คือ การบอกระดับความกว้างของผิวหนังที่เป็นแผล ซึ่งการประเมินง่ายๆโดยใช้ Rule of Nines โดยแบ่งพื้นที่ผิวหนังออกเป็น 100 % แล้วคิดพื้นที่แผลออกมาประมาณเอาว่า 1 ฝ่ามือ เท่ากับ 1 % Body surface area (BSA)

## 2. บาดแผลภายใน

บาดแผลภายใน คือ บาดแผลที่เกิดขึ้นที่อวัยวะต่างๆที่ได้รับบาดเจ็บ อาจมองไม่เห็นภายนอก การประคบอุบัติเหตุมักจะได้รับบาดเจ็บที่อวัยวะสำคัญและพบได้บ่อย ดังนี้

2.1) บาดเจ็บที่ศีรษะ (Head injury) เป็นสาเหตุการตายที่พบบ่อยที่สุดของผู้ป่วยที่ประสบอุบัติเหตุบนท้องถนน โดยการบาดเจ็บที่หนังศีรษะ (Scalp injury) นั้น จะแบ่งบริเวณหนังศีรษะ เป็น 5 ชั้นด้วยกัน คือ Skin, subcutaneous tissue, galea aponeurosis, loose areolar tissue และ pericranium โดยบริเวณหนังศีรษะจะช่วยป้องกันส่วนที่อยู่ข้างใต้ กระโหลกศีรษะที่ไม่มีหนังศีรษะหุ้ม ซึ่งเมื่อได้รับแรงกระแทก 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้วจะแตกได้ แต่ถ้ามีหนังศีรษะหุ้มต้องใช้แรงถึง 425-900 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จึงจะแตก การบาดเจ็บของหนังศีรษะส่วนใหญ่ไม่ใช่บาดแผลภายใน แต่นำมารวมไว้เพื่อให้เห็นถึงการบาดเจ็บต่างๆของศีรษะ

### 2.2) บาดเจ็บที่กระโหลกศีรษะ (Skull fracture)

การบาดเจ็บของกระโหลกศีรษะที่พบได้คือ การแตกของกระโหลกศีรษะ ซึ่งบ่งบอกว่ามี การบาดเจ็บต่อศีรษะรุนแรงพอสมควรและเมื่อกระโหลกศีรษะแตกแล้ว พลังงานที่มากจะแตกจะถูกดูดซับไปทำให้สมองได้รับอันตรายน้อยลง โดยเฉพาะ Penetrating หรือ Depressed skull fracture นั้นสมองจะเสียหายบริเวณนั้นเท่านั้น

### 2.3) บาดเจ็บที่สมอง (Brain injury) สามารถแบ่งได้ดังนี้

2.3.1) Cerebral concussion คือการที่สมองได้รับบาดเจ็บแล้วผู้ป่วยหมดสติไปชั่วคราว ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิแต่มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาโดยเกิดจาก Synapse ของ nerve cells ขาดออกจากกัน เมื่อฟื้นขึ้นมาจะมีความรู้สึกตัวปกติ อาจมีเมื่อง คลื่นไส้ อาเจียนหรือมี Retrograde amnesia โดยไม่มีพยาธิสภาพของสมอง



2.3.2) Cerebral contusion คือ ภาวะที่สมองชอกช้ำ การบาดเจ็บที่ได้รับจะรุนแรงกว่า concussion โดยจะพบพยาธิสภาพในสมอง อาจมี Petichial hemorrhage หรือ Brain softening ,Necrosis หรือ infarction ร่วมด้วย อาการส่วนใหญ่เกิดจากสมองส่วนที่ชอกช้ำเสียหน้าที่ไปและสมองบริเวณใกล้เคียง บวมขึ้น จะมี Neurological deficit เกิดขึ้นอาการจะมีตั้งแต่ Drassy ถึง Coma

2.3.3) Cerebral laceration มีการบาดเจ็บที่รุนแรงกว่า Contusion และมักพบในตำแหน่งเดียวกัน โดยจะมีการฉีกขาดของ Cortical vessels และการแตกของเนื้อสมองซึ่งเกิดจากการแกว่งของสมองไปกระทบกับแกงกระดูก เช่น frontal และ sphenoid ridge หรืออาจจะเกิดจากมีแรงมากระแทกโดยตรงเฉพาะที่ เช่น ถูกตีกระโหลกศีรษะ

2.3.4) Intracranial hematoma คือการมีเลือดออกในกระโหลกศีรษะ

2.4) การบาดเจ็บของไขสันหลัง (Spinal cord injury) ผู้ป่วยที่ได้รับอุบัติเหตุและหมดสติ ให้คิดเสมอว่าอาจจะมีการบาดเจ็บที่ไขสันหลังร่วมด้วย การตรวจร่างกายเพื่อวินิจฉัยให้ใช้การกระตุ้นด้วยความเจ็บปวดโดยการกดที่โคน เล็บหรือเขมแทง เพื่อดูการตอบสนองของแขนขา แล้วดู Deep tendon reflex และการทำงานของกล้ามเนื้อหูรูดทวารหนัก แต่ถ้าผู้ป่วยรู้สึกตัวดีควรถามถึงความเจ็บป่วยที่คอหรือตามแนวของสันหลัง ก่อน แล้วจึงตรวจร่างกายต่อไป การบาดเจ็บของไขสันหลัง แบ่งได้ 6 ชนิด คือ

2.4.1) Complete cord lesion แบ่งเป็นQuadriplegia มีการอ่อนแรงแขนขาทั้งสองข้าง และ Paraplegia มีการอ่อนแรงของขาทั้งสองข้าง

2.4.2) Posterior cord syndrome จะยังรับรู้ความรู้สึกอย่างหายาบบในส่วนของ Anterior spinothalamic tract

2.4.3) Central cord syndrome จะสูญเสียการทำงานของกล้ามเนื้อของมือและแขน โดยการทำงานของ ขายังดีอยู่

2.4.4) Anterior cord syndrome มีการทำลายไขสันหลังส่วนหน้า 2/3 จึงเหลือเฉพาะ posterior column

2.4.5) Brown-Sequard syndrome (Cord hemisection) จะมีการทำลายไขสันหลังเพียงครึ่งเดียว

2.4.6) Root syndrome เกิดพยาธิสภาพจากกระดูกสันหลังแตกหักหรือเคลื่อนไปกดทับเส้นประสาท โดยเฉพาะส่วนคอปล้องที่ 5-7

2.5) การบาดเจ็บของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ (Musculoskeletal injury)

จากความเจริญก้าวหน้าของอุตสาหกรรม การผลิตยานพาหนะที่มีความเร็วสูงซึ่งมีผลให้เกิดอุบัติเหตุที่ร้ายแรงได้บ่อย และพบมีอันตรายต่อระบบกระดูกและกล้ามเนื้อได้บ่อยและรุนแรงมากขึ้น พบได้ดังนี้

### 2.5.1) กระดูกหัก (Fracture )

Fracture หมายถึง Structural break in continuity of bone or cartilage แบ่งได้ 2 ชนิด คือ

2.5.1.1) Closed fracture หมายถึง กระดูกหักที่ไม่มีแผลถึงผิวหนังภายนอกหรือบริเวณที่กระดูกหักไม่สัมผัสกับ ภายนอก การบรรยายจะขึ้นกับตำแหน่งกระดูกที่หัก เช่น femure, pelvis, radius, ulnar, humerus ในกระดูกหักบางตำแหน่งอาจมีชื่อเรียกเฉพาะ เช่น Colle's fracture, Smith's fracture เป็นต้น

2.5.1.2) Open fracture หมายถึง การที่กระดูกหักแล้วมีทางติดต่อกับผิวหนังด้านนอกหรือมีปลายกระดูกโผล่ออกมาจากผิวหนัง

2.5.1.3) Epiphyseal plate injury เกิดในเด็ก มักมีปัญหในการวินิจฉัยและการรักษารวมทั้งเสี่ยงต่อความผิดปกติของการเจริญเติบโตเฉพาะที่และการผิดรูปของกระดูก

### 2.5.2) ข้อเคลื่อน ( Dislocation )

ข้อเคลื่อน หรือ Dislocation of joint หมายถึงการหลุดของข้อออกจากแนวปกติ ทำให้มี Structural loss of its stability Joint instability หรือความไม่มั่นคงของข้อ แบ่งได้ 3 ประเภท คือ

2.5.2.1) Extracapsular dislocation คือมี fibrous capsule ของข้อฉีกขาดแล้วมีปลายกระดูกอันหนึ่งหลุดออกมานอกcapsule

2.5.2.2) Buttonhole dislocation คือมีการฉีกขาดของ capsule เป็นช่องเล็กมาก แต่กระดูกที่ดันผ่านช่องเล็กนั้นออกมาอยู่ข้างนอกทำให้เกิด เป็นลักษณะคล้ายๆกับการกดกระดูก

2.5.2.3) Intracapsular dislocation คือการที่ข้อที่หลุดยังอยู่ใน fibrous capsule

### 2.5.3) การบาดเจ็บของเอ็นและกล้ามเนื้อ (Muscle & Tendon & Ligament)

คำว่า Tendon คือ เอ็นที่ยึดระหว่างกล้ามเนื้อกับกระดูก ส่วน Ligament คือเอ็นที่ยึดระหว่างกระดูกกับกระดูก โดยการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและเอ็นมีได้ทั้งรุนแรงมากไปถึงรุนแรงน้อย ดังนี้

2.5.3.1) Muscle contusionหรือ Strain คือการซ้ำของกล้ามเนื้อจากการถูกกระแทกผู้ป่วยจะเจ็บบริเวณนั้นมากแต่ไม่มี แผลให้เห็นเป็นแต่เพียง contusion ซึ่งอาจมีเขียวคล้ำที่ผิวหนังหรือไม่ก็ได้

2.5.3.2) Ligament tear แบ่งตามความรุนแรงได้ 2 ชนิดด้วยกัน คือ Complete tear หรือเอ็นขาด คือมีการฉีกขาดหรือตัดขาดเอ็นออกจากกัน เช่น ถูกมีดฟัน หรือขวานตกใส่เท้าทำให้เอ็นขาด และ Partial tear or Sprain หรือเอ็นชั้นหรือแพลงคือมีการฉีกขาดของเอ็นเพียงบางfiber หรือบางส่วนเท่านั้นโดยที่เอ็นไม่ขาดออกจากกัน มักเรียกชื่อตามอวัยวะที่บาดเจ็บ เช่น นิ้วข้อม หรือข้อเท้าแพลง เป็นต้น

2.5.3.3) Muscle tear คือมีการฉีกขาดของกล้ามเนื้ออาจเป็นเพียงบางส่วนหรือกล้ามเนื้อถูกตัดขาดออกจากกันก็ได้

2.6) การบาดเจ็บทรวงอก (Chest injury) ผนังทรวงอกมีหน้าที่สำคัญคือป้องกันอวัยวะภายในทรวงอกและเคลื่อนไหว ให้มีการหายใจได้อย่างเพียงพอ แรงกระแทกภายนอกที่เกิดกับทรวงอก มักจะทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อผนังทรวงอกร่วมกับอวัยวะภายในทรวงอกเสมอ แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการเกิดอันตรายคือ

2.6.1) Blunt chest injury เกิดจากมีแรงกระแทกภายนอกมากกระแทกทรวงอก แบ่งตามอวัยวะที่ได้รับอันตราย ดังนี้

2.6.1.1) การบาดเจ็บของปอด ที่เกิดจากแรงกระแทกภายนอกคือภาวะปอดช้ำ (Lung contusion) หมายถึงการมีbruiseอยู่ในเนื้อปอด (Lung parenchyma) ลักษณะของรอยโรคจะเห็นได้ค่อนข้างชัดเจนจากภาพรังสีทรวงอก 48-72 ชั่วโมงหลังการบาดเจ็บ

2.6.1.2) การบาดเจ็บของหัวใจ ส่วนใหญ่มักเกิดจากพวงมาลัยรถยนต์กระแทกบริเวณหน้าอก พบการบาดเจ็บได้ตั้งแต่หัวใจช้ำจนถึงมีการฉีกขาดของผนังและลิ้นหัวใจ

2.6.2) Penetrating thoracic injury

เป็นการบาดเจ็บของทรวงอกที่เกิดจากการแทงทะลุของวัตถุมีคมหรือวัตถุ ปลายแหลม พบได้ถึง 50 % ของการบาดเจ็บที่ทรวงอกทั้งหมด โดยการบาดเจ็บอาจเกิดกับปอด หัวใจ หรือหลอดเลือดก็ได้ ดังนี้

2.6.2.1) Tension pneumothorax คือ ภาวะที่มีลมคั่งในช่องเยื่อหุ้มปอด เกิดเมื่อลมรั่วจากปอดหรือหลอดลม ผ่านรูรั่วทางเดียว (flap valve) ที่ลมเข้าไปในช่องเยื่อหุ้มปอดได้แต่ออกมาไม่ได้ ทำให้แรงดันในช่องเยื่อหุ้มปอดสูงขึ้นให้ปอดแฟบลง และดัน mediastinum ไปฝั่งด้านตรงข้าม

2.6.2.2) Open pneumothorax คือ ภาวะที่มีลมเข้าไปในช่องเยื่อหุ้มปอดจากการมีรูรั่วขนาดใหญ่กว่า trachea ทำให้ปอดข้างที่มีแผลแฟบลง และ mediastinum เบี่ยงเบนไปใน

ด้านตรงข้าม รวมทั้งทรวงอกไม่สามารถสร้างแรงดูด (negative pressure) เพื่อช่วยในการหายใจได้

2.6.2.3) Massive hemothorax คือ การมีเลือดออกในช่องเยื่อหุ้มปอด โดยมีเลือดออกมากกว่า 1,000 มิลลิลิตรขึ้นไป ทำให้ผู้ป่วยช็อคจากการเสียเลือดและการหายใจไม่เพียงพอได้

2.6.2.4) Pericardial tamponade คือ ภาวะที่มีเลือดคั่งอยู่ในช่องเยื่อหุ้มหัวใจ มักจะพบอาการสำคัญ 3 ประการที่เรียกว่า Beck's triad คือ Distended neck veins, Muffled heart tones และ Systemic hypotension

2.7) การบาดเจ็บช่องท้อง (Abdominal injury) การบาดเจ็บช่องท้องแบ่งตามสิ่งที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บได้ 2 ประเภท คือ

2.7.1) Blunt abdominal injury คือ การบาดเจ็บของช่องท้องจากแรงกระแทกภายนอก เป็นการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุที่พบได้บ่อย ซึ่งมีสาเหตุมาจากอุบัติเหตุจากรถเป็นส่วนใหญ่ การวินิจฉัยการบาดเจ็บของอวัยวะในช่องท้องอาศัยการซักประวัติและตรวจร่างกายโดยละเอียด รวมทั้งการตรวจทางรังสีวิทยาและการทำ Diagnostic peritoneal lavage (DPL) ความรุนแรงและอันตรายจากการบาดเจ็บขึ้นอยู่กับอวัยวะที่ได้รับอันตราย โดยเฉพาะที่พบบ่อยคือ ตับและม้าม

2.7.2) Penetrating abdominal injury คือ การบาดเจ็บช่องท้องจากการแทงทะลุทางหน้าท้อง การตัดสินใจรักษาบาดแผลทะลุทางหน้าท้อง ไม่ว่าจะจากมีดแทงหรือกระสุนปืนสิ่งที่ควรทำขึ้นแรกคือการ resuscitate ผู้ป่วยและตัดสินใจว่ามีความจำเป็นที่จะต้องผ่าตัดหรือไม่ เพราะในระยะแรกไม่จำเป็นที่จะต้องทราบแน่นอนว่าอวัยวะใดที่ได้รับบาดเจ็บ

## 2.3 กระบวนการรักษาบาดแผล[11,12]

โดยปกติแล้วเมื่อเกิดบาดแผลขึ้นมา ร่างกายสามารถที่จะรักษาเยียวแผลได้ด้วยตัวเอง โดยเริ่มจากร่างกายจะพยายามล้างบริเวณบาดแผลให้สะอาดด้วยการผลิตเลือดที่ประกอบด้วย เม็ดเลือดขาวออกมาในปริมาณมาก เม็ดเลือดขาวจะทำหน้าที่ต่อสู้กับแบคทีเรีย และกินซากเซลล์ที่ตายแล้ว ในระหว่างนั้นเซลล์ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยจะแบ่งตัวและสร้างเส้นใยใหม่รวมทั้งเมทริกซ์ที่มีลักษณะคล้ายเจลขึ้นมาเชื่อมปิดปากแผล ในกรณีที่แผลไม่เกิดการติดเชื้อ จะเริ่มมีเส้นเลือดมาหล่อเลี้ยงบริเวณแผลเพื่อสร้างเนื้อเยื่อเกี่ยวพันขึ้นมาใหม่ แต่ถ้าบริเวณแผลเกิดการสูญเสีย ความชื้น จะส่งผลให้การสร้างเนื้อเยื่อใหม่ไม่ต่อเนื่องเกิดเป็นกลุ่มๆของเนื้อเยื่อ ซึ่งจะก่อให้เกิด

เป็นตุ่มเล็กๆ และเป็นสะเก็ดแผลในเวลาต่อมา ซึ่งสะเก็ดแผลที่เกิดขึ้นจะทำให้การผลัดผิวของผิวหนังนอกข้างและทำให้แผลหายช้าลง ดังนั้นการใช้วัสดุตกแต่งบาดแผลควรรักษาวัสดุตกแต่งบาดแผลที่มีความชุ่มชื้นเพียงพอเพื่อป้องกันการเกิดสะเก็ดแผล หากใช้วัสดุตกแต่งบาดแผลที่แห้งเวลาที่ดึงวัสดุตกแต่งบาดแผลออกอาจทำให้สะเก็ดแผลหลุด และทำให้แผลเปิดอีกครั้ง ส่วนในกรณีที่แผลเกิดการติดเชื้อจากแบคทีเรีย แบคทีเรียจะสร้างสารเคมีขึ้นมาทำลายเนื้อเยื่อที่ตายแล้ว ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดหนอง รวมทั้งทำลายเซลล์ที่จะสร้างเนื้อเยื่อผิวหนังขึ้นมาใหม่อีกด้วย

## 2.4 วัสดุตกแต่งบาดแผล[11]

ในการดำรงชีวิตประจำวันมนุษย์ทุกคนไม่สามารถหลีกเลี่ยง จากการเกิดอุบัติเหตุที่จู่โจมโดยไม่คาดคิดอันเนื่องมาจากความประมาทหรือความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ หรือ จากการรับการรักษา ได้แก่ อุบัติเหตุบนท้องถนน อัคคีภัย บาดแผลผ่าตัด เป็นต้น ซึ่งล้วนแล้วแต่ก่อให้เกิดบาดแผลขนาดใหญ่ที่อาจทำให้เกิดแผลเป็นต่อไปได้ถ้าไม่ได้รับการรักษาที่ถูกต้องและเหมาะสม แต่เนื่องจากวิวัฒนาการทางการแพทย์ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทั้งในด้านองค์ความรู้ใหม่เทคโนโลยีการรักษา และอุปกรณ์ในการรักษา ซึ่งได้นำพาให้เกิดการพัฒนาวัสดุตกแต่งบาดแผลที่ดูจะมีบทบาทสำคัญยิ่งในการรักษาแผลชนิดต่างๆ

วัสดุตกแต่งบาดแผลทั่วไปมีหลายชนิด ซึ่งได้แก่วัสดุตกแต่งบาดแผลแอลจีเนต วัสดุตกแต่งบาดแผลคอลลาเจน วัสดุตกแต่งบาดแผลไฮโดรคอลลอยด์ ไฮโดรเจล แผ่นฟิล์มใส และโฟม เป็นต้น ซึ่งเป็นการนำพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งๆ ที่ไม่เป็นพิษและสามารถเข้ากันได้ทางชีวภาพมาผลิตเป็นวัสดุตกแต่งบาดแผลชนิดผสมที่สามารถสลายตัวและถูกดูดซึมได้อีกด้วย ทั้งนี้ การรักษาบาดแผลโดยวัสดุตกแต่งบาดแผลนั้น แพทย์จะเป็นผู้พิจารณาวัสดุตกแต่งบาดแผลที่เหมาะสมต่อบาดแผลชนิดต่างๆ โดยใช้พอลิเมอร์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตเป็นวัสดุตกแต่งบาดแผล ร่วมกับการใช้ยาเพื่อรักษาบาดแผลอย่างมีประสิทธิภาพ

โดยตัวอย่างของวัสดุพอลิเมอร์ทางธรรมชาติที่นำมาเป็นวัสดุตกแต่งบาดแผลมีดังนี้[11,13]  
วัสดุตกแต่งบาดแผลแอลจีเนต

วัสดุตกแต่งบาดแผลแอลจีเนต คือ ผ้าแบบ nonwoven ของแคลเซียมแอลจีเนต ที่สกัดได้จากสาหร่ายสีน้ำตาลแอลจีเนตจะประกอบด้วยหน่วยย่อยซ้ำๆ ของกรดแมนนูโรนิก และกรดกลูคูโรนิก ซึ่งเมื่อสัมผัสกับของเหลวที่บริเวณที่มีส่วนประกอบของไฮเดียมไอออน จะทำให้แคลเซียมแอลจีเนต ที่ไม่ละลายน้ำเปลี่ยนไปเป็นเจลไฮเดียมแอลจีเนตบางส่วน โดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนจากกระบวนการนี้แคลเซียมไอออนที่ถูกแลกเปลี่ยนออกมาเป็นอิสระยังมีสมบัติในการห้าม

เลือด คือ ทำให้เลือดเกาะตัวกันเป็นก้อน แอลจินเนตที่มีหน่วยซ้ำของกรดแมนนูโรนิคมมาก จะสร้างเจลที่อ่อนนุ่มและยืดหยุ่น ส่วนแอลจินเนตที่มีหน่วยซ้ำของกรดกลูโคโรนิคมมากจะสร้างเจลที่แข็งมาก เจลแอลจินเนตสามารถที่ดูดซึมความชื้นได้ดี ใช้ได้กับแผลหลายรูปแบบตั้งแต่แผลที่ผิวหนังนอกจนกระทั่งแผลลักษณะหลุมลึก เหมาะกับแผลที่มีของไหลออกจากบาดแผลปริมาณปานกลางถึงมาก

#### วัสดุตกแต่งบาดแผลคอลลาเจน

คอลลาเจนเป็นโปรตีนที่มีลักษณะเป็นเส้นใยสามารถพบได้ที่ผิวหนัง กล้ามเนื้อ กระดูก เส้นเอ็น และกระดูกอ่อนเป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในร่างกาย คอลลาเจนมีหลายชนิด โดยเฉพาะคอลลาเจนชนิดหนึ่ง และคอลลาเจนชนิดสาม จะพบมากที่ผิวหนังและเอ็น

วัสดุตกแต่งบาดแผลคอลลาเจนสามารถผลิตได้ในหลายรูปแบบ เช่น แบบผง แบบเจล แบบแผ่นลอก แบบสายรัด หรือแบบแผ่นนุ่ม คอลลาเจนสามารถสกัดได้จากหนังวัวหรือหมูแล้วมาทำความสะอาด จากนั้นเชื่อมโยงให้มีโครงสร้างร่างแหด้วยสารเชื่อมขวางแล้วทำแห้งเยือกแข็ง จากนั้นตัดเป็นรูปตามต้องการจะได้แผ่น วัสดุตกแต่งบาดแผลคอลลาเจนมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ สมบัติของวัสดุตกแต่งบาดแผลคอลลาเจน คือ สามารถดูดซึมของเหลวบริเวณปากแผลได้ดีและคอลลาเจนสามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ อัตราเร็วในการย่อยสลายด้วยเอนไซม์สามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณการเชื่อมขวาง ซึ่งถ้ามีการเชื่อมขวางมากจะทำให้อัตราเร็วในการย่อยสลายช้าลง

#### วัสดุตกแต่งบาดแผลไฮโดรคอลลอยด์

ไฮโดรคอลลอยด์เป็นสารแขวนลอยของเม็ดพอลิเมอร์เล็กๆ แขวนลอยอยู่ในเมทริกซ์ของตัวยึดเกาะ เม็ดพอลิเมอร์แกรนูลส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติชอบน้ำได้แก่ เจลาติน หรือ เพคติน โดยมีเมทริกซ์เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ ได้แก่ ยางสังเคราะห์ ไฮโดรคอลลอยด์จะค่อยดูดซึมของเหลวอย่างช้าๆ และเปลี่ยนสภาพไปเป็นเจลไฮโดรคอลลอยด์เหมาะกับบาดแผลที่มีของไหลออกจากบริเวณบาดแผลเป็นปริมาณมากๆ หรือบาดแผลติดเชื้อ

#### ไฮโดรเจล

ไฮโดรเจลคือวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดี มักใช้เพื่อรักษาความชุ่มชื้นของแผล และทำให้รู้สึกเย็นส่วนใหญผลิตมาจากการเชื่อมขวางพอลิเมอร์ที่มีสมบัติชอบน้ำได้แก่ อะคริลิกพอลิไวนิลไพโรลิโดน พอลิเอทิลีนออกไซด์ คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส หรือ พอลิเมอร์ผสม การเลือกใช้ให้เหมาะสมกับบาดแผลว่าต้องการความชุ่มชื้นมากน้อยแค่ไหน ในบางครั้งจะมีการเติมสารสำคัญ หรือยาในการรักษาบาดแผลหุ้มอยู่ภายในไฮโดรเจลด้วยเพื่อช่วยในการรักษา

บาดแผลที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นเหมาะกับบาดแผลที่เนื้อเยื่อแห้งตายและใช้ได้กับบาดแผลทุกระดับความลึก

### แผ่นฟิล์มใส

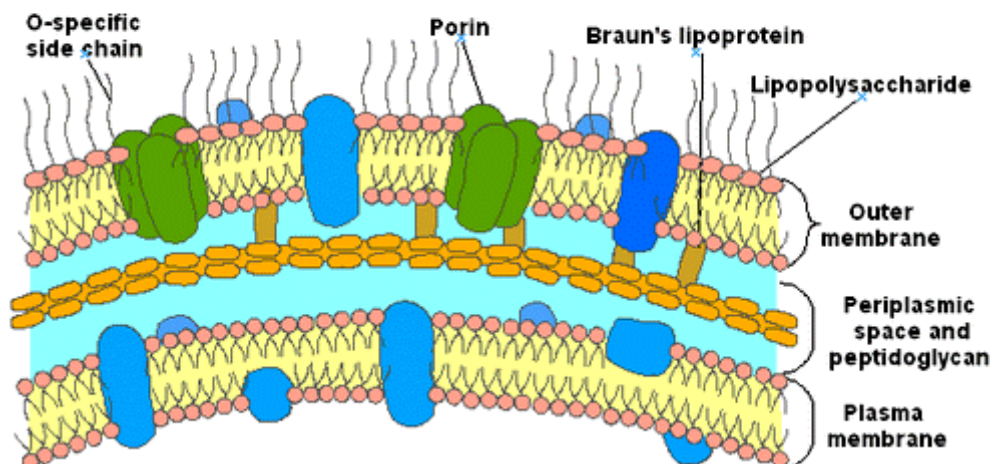
วัสดุตกแต่งบาดแผลชนิดแผ่นฟิล์มใส ทำมาจากแผ่นฟิล์มพอลิยูรีเทนเคลือบด้วยสารช่วยในการยึดเกาะ ได้แก่ พอลิอีเทอร์และพอลิอะครีเลต แผ่นฟิล์มใสจะช่วยป้องกันบาดแผลจากการถูกน้ำ แต่ยอมให้อากาศและความชื้นแพร่เข้าสู่บาดแผลได้ เนื่องจากวัสดุตกแต่งบาดแผลชนิดนี้เป็นฟิล์มที่มีความโปร่งใสจึงสามารถทำให้มองเห็นแผลได้โดยไม่ต้องนำวัสดุตกแต่งบาดแผลออกจึงช่วยลดการเสี่ยงในการติดเชื้อแบคทีเรีย เหมาะกับการปิดปากแผลที่ผิวหนังชั้นนอก หรือแผลที่ไม่มีความลึก และไม่มีของไหลออกจากบาดแผลหรือมีของไหลเพียงปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น ไม่สามารถใช้กับบาดแผลที่เกิดการติดเชื้อ นิยมใช้ควบคู่กับผ้าก๊อชโดยใช้แผ่นฟิล์มใสปิดทับบนผ้าก๊อชที่วางบนบาดแผล

เพื่อป้องกันแผลติดเชื้อ วัสดุตกแต่งบาดแผลควรมีสสมบัติต้านแบคทีเรียได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้รวบรวมเนื้อหาเกี่ยวกับผนังเซลล์ของแบคทีเรีย รวมทั้งรวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในการดัดแปรพื้นผิวของวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่สามารถต้านแบคทีเรียได้

## 2.5 ผนังเซลล์แบคทีเรีย[14]

ในส่วนกรณีของแบคทีเรียแกรมลบโครงสร้างและองค์ประกอบทาง เคมีของผนังเซลล์ นอกจากสายของ peptidoglycan ที่เรียงตัวซ้อนกันเป็นชั้นบางๆแล้ว องค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมลบ ไม่พบ teichoic acid เป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้โครงสร้างโดยภาพรวมและองค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์จะมีความแตกต่างจากแบคทีเรียแกรมบวก กล่าวคือ พบส่วนที่ปกคลุมชั้นของ peptidoglycan อยู่ด้านบน ส่วนนี้เรียกว่า outer membrane องค์ประกอบของ outer membrane ส่วนใหญ่เป็นลิพอพอลิแซ็กคาไรด์ (lipopolysaccharide) ที่เกิดจากการเชื่อมยึดกันของ lipid A และ O polysaccharide หรือเรียกอีกชื่อว่า O side chain ฟอสโฟลิพิด (phospholipid) ลิพอโปรตีน (lipoprotein) นอกจากนี้พบโปรตีนอีกหลายชนิด ที่สำคัญคือ Porin ที่มีบทบาทในการควบคุมการผ่านเข้าและออกของสารต่างๆที่มีผลต่อการเจริญของแบคทีเรีย

## Gram-Negative Envelope



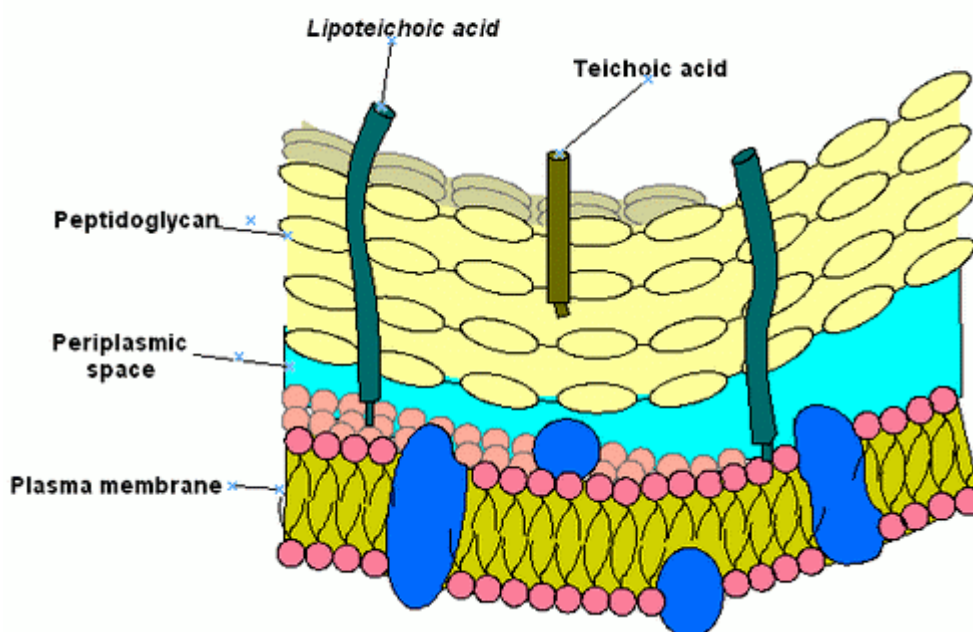
รูปที่ 2.3 โครงสร้างและองค์ประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมลบ

[ที่มา <http://variety.teenee.com/world/1848.html>]

ในกรณีของแบคทีเรียแกรมลบ โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีพบว่า ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบจะประกอบด้วยส่วนของ peptidoglycan ที่มีความหนา สาเหตุเนื่องมาจากการเรียงซ้อนกันของสาย peptidoglycan หลายๆสายเข้าด้วยกัน บริเวณผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบพบกรดอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ชื่อว่า teichoic acids ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของ ribitol phosphate หรือ glycerol phosphate กรดอินทรีย์ชนิดนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิดย่อย คือ lipoteichoic acid ที่พบฝังตัวอยู่ตลอดชั้นของผนังเซลล์เรื่อยไปถึงส่วนผิวของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) และ wall teichoic acid ที่พบบริเวณของผนังเซลล์เท่านั้น



## Gram-Positive Envelope



รูปที่ 2.4 โครงสร้างและองค์ประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวก  
[ที่มา <http://variety.teenee.com/world/1848.html>]

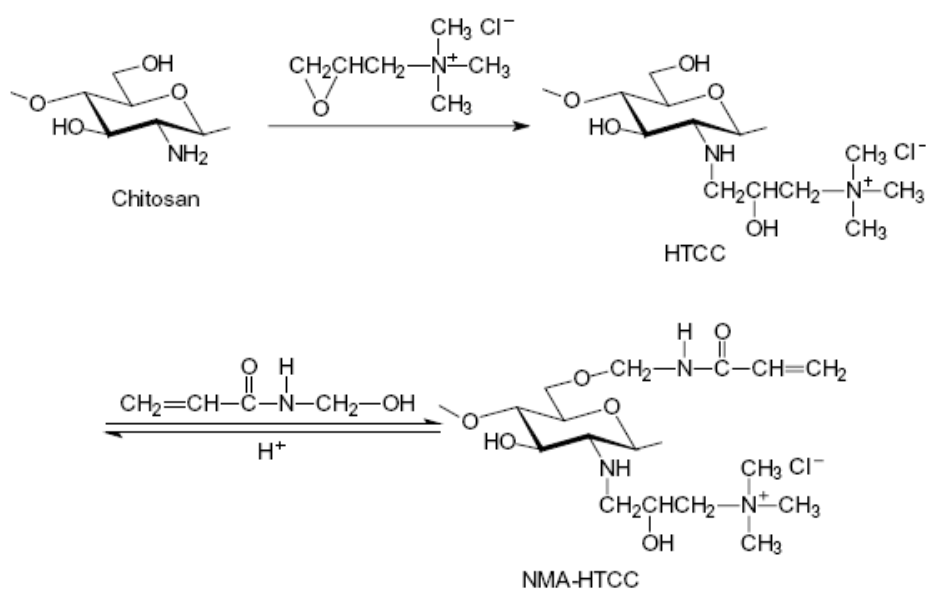
### 2.6 การตัดแปรพื้นผิวของวัสดุต้านแบคทีเรีย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัดแปรพื้นผิวของวัสดุที่เหมาะสมสำหรับต้านแบคทีเรีย

Je และคณะ (2006) [15] อธิบายกลไกการต้านแบคทีเรียของสารที่มีประจุบวกของอะมิโนเอทิลไคติน คือ ช่วงแรกจะมีการดูดซับสารประจุบวกไปยังพื้นผิวเซลล์ของแบคทีเรีย จากนั้นจะเกิดการแพร่ผ่านไปยังผนังเซลล์ และเกิดพันธะกับผนังเซลล์ จากนั้น cytoplasmic cell membrane ของแบคทีเรียจึงถูกทำให้แตกออก โดยจะมีสารประเภท nucleotide ได้แก่ DNA RNA และอื่นๆ ไหลออกมา ซึ่งการปลดปล่อยของส่วนประกอบภายในเซลล์ต่างๆ เหล่านี้เป็นผลทำให้เซลล์ตายลง โดยสามารถตรวจสอบสารประกอบ nucleotide ได้ด้วยการวิเคราะห์การถูกทำลายของผนังเซลล์ โดยวัดปริมาณสารประกอบ nucleotide ที่ไหลออกจากผนังเซลล์ด้วยยูวีสเปกโทรมิเตอร์ ซึ่ง nucleotide ต่างๆ เหล่านี้จะดูดซับ UV ในช่วง 260 นาโนเมตร ซึ่งถ้าเกิดการดูดซับแสง UV ในช่วงนี้ แสดงว่าเมมเบรนได้ถูกทำลายส่งผลให้เซลล์แบคทีเรียตาย จำนวนเซลล์ที่ตายขึ้นกับปริมาณการดูดกลืนแสง UV จากการทดสอบการต้านแบคทีเรียพบว่า อะมิโนเอทิลไคตินสามารถต้านแบคทีเรีย *E. Coli* หรือแบคทีเรียชนิดแกรมลบได้ดีกว่าชนิดแกรมบวก เมื่อวิเคราะห์ถึงความสามารถของอะมิโนเอทิลไคตินในการแพร่ผ่านเยื่อหุ้มผนังเซลล์ของ *E. Coli* ซึ่งมีเยื่อหุ้ม 2

ชั้น ชั้นแรกเป็นชั้นนอกสุดของ lipopolysaccharide ซึ่งจะรวมตัวกับโปรตีนด้วยอันตรกิริยาทางไฟฟ้ากับไดวาเลนซ์แคทไอออน ทำให้พอลิแคทไอออนสามารถเกิดพันธะกับประจุลบของออกซิเจนบน oligosaccharide (O-specific oligosaccharide) ทำให้ผนังชั้นนี้แตกออกและสูญเสียหน้าที่ของการเป็นเกราะป้องกันการไหลผ่านของอาหาร ทำให้เซลล์ตาย โดยวิเคราะห์จากการใช้โพรบฟลูออเรสเซนต์ พบว่าการแตกออกของผนังเซลล์ชั้นนอกทำให้ปริมาณของไหลออกจากเซลล์แปรผันกับปริมาณ (dose) ของอะมิโนเอทิลโคติน ชั้นที่สองถัดลงมาเป็นชั้นของ peptidoglycan เช่นเดียวกับที่มีในแบคทีเรียแกรมบวกแต่ชั้นบางกว่า ซึ่งพบว่าอะมิโนเอทิลโคตินสามารถแพร่ผ่านชั้นนี้แล้วทำให้เกิดการไหลของ cytoplasmic  $\beta$ -galactosidase ซึ่งปริมาณ cytoplasmic  $\beta$ -galactosidase ที่ไหลออกมาแปรผันกับปริมาณ (dose) ของอะมิโนเอทิลโคติน

Lim และคณะ (2004) [16] เตรียม water soluble chitosan derivative โดยชั้นแรกนำโคไตซานมาทำปฏิกิริยากับ glycidyltrimethylammonium chloride จะได้ N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium) propyl] chitosan chloride (HTCC) ซึ่งจะมีหมู่ quaternary ammonium salt เข้าไปแทนที่บนหมู่อะมิโนของโคไตซาน จากนั้นนำ HTCC มาทำปฏิกิริยากับ N-methylolacrylamide (NMA) เพื่อให้มีหมู่ฟังก์ชันที่ตรึงบนเส้นใยเซลลูโลสได้ จะได้ NMA-HTCC ดังแผนภาพการสังเคราะห์ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แผนภาพการสังเคราะห์ NMA-HTCC[11]

ก่อนที่จะนำ NMA-HTCC ตรึงบนผ้า NMA-HTCC ได้ถูกนำมาทดสอบการต้านแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* โดยนำ NMA-HTCC มาละลายใน 0.3 mM

phosphate buffer โดยพบว่าที่ความเข้มข้น 10, 50 และ 100 ppm นั้นแบคทีเรีย *S. aureus* จะตายหมดภายใน 20, 40 และ 60 นาที ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้น 200 ppm ใช้เวลาดำเนาะแบคทีเรียมากกว่า 60 นาที และจากการสังเกตพบว่าการดำเนาะแบคทีเรียเป็นสัดส่วนผกผันกับความเข้มข้นของ NMA-HTCC กล่าวคือที่ความเข้มข้นต่ำนั้นโคโตซานจะเกิดพันธะกับประจุลบบนพื้นผิวเซลล์ซึ่งเป็นการเข้าไปรบกวนผนังเซลล์เป็นเหตุให้เซลล์ตาย เนื่องจากทำให้ส่วนประกอบภายในเซลล์เกิดการรั่วไหลออกมา ขณะที่ความเข้มข้นสูงนั้น protonated chitosan จะไปปกคลุมพื้นผิวเซลล์ แล้วป้องกันการรั่วไหลของส่วนประกอบภายในเซลล์ และอีกประการหนึ่ง กรณีเซลล์แบคทีเรียมีประจุบวก สารที่มีประจุบวกและผนังเซลล์ของแบคทีเรียจะเกิดการผลักกันทำให้ป้องกันการจับกลุ่มกันของแบคทีเรีย ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นทั้ง 4 ของ NMA-HTCC มีผลในการฆ่าแบคทีเรีย *E.coli* อย่างสมบูรณ์ภายใน 20 นาที ประสิทธิภาพในการดำเนาะ *S. aureus* จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของ NMA-HTCC ลดลง แต่ประสิทธิภาพในการดำเนาะ *E.Coli* ไม่ขึ้นกับความเข้มข้น

Kim และคณะ (2007) [17] ได้ศึกษาความสามารถในการดำเนาะแบคทีเรียด้วยสาร quaternary ammonium complex ที่เตรียมโดยปฏิกิริยาระหว่าง sodium alginate (SA) และ 3-(trimethoxysilyl)propyl-octadecyldimethylammonium chloride (TSA) ในสารละลายกรด โดยมี  $\text{CaCl}_2$  เป็นสารเชื่อมขวาง ได้ quaternary ammonium TSA เชื่อมต่อกับ SA ด้วยพันธะโควาเลนต์ จากนั้นนำ SA-TSA complex มาทดสอบการดำเนาะแบคทีเรีย ซึ่งสารดังกล่าวแสดงผลการยับยั้งการเจริญเติบโตของ *S.aureus* และ *C.albicans* ได้อย่างรวดเร็วมากหลังจากสัมผัสกับ SA-TSA complex เป็นเวลา 10 นาที ด้วยความเข้มข้นเม็ดปิด 10%v/v ส่วน *P.ultimum* และ *E.coli* ต้องใช้เวลาถึง 20 นาที ในการยับยั้งการเจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์ โดยในงานนี้เปรียบเทียบความสามารถในการดำเนาะแบคทีเรีย โดยใช้ sodium alginate เป็นตัวควบคุมพบว่าถึงแม้จะยึดเวลาออกไปเป็น 60 นาที แต่ sodium alginate ก็ไม่สามารถแสดงความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียได้ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าปัจจัยสำคัญในการต่อต้านแบคทีเรีย คือ ความหนาแน่นของประจุบวก (ammonium group) และความยาวของ substituent chain ซึ่งทำให้มีปฏิสัมพันธ์กับผนังเซลล์ในจุลินทรีย์ได้ดี นั่นคือ SA-TSA complex จึงมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตได้ดีกว่า sodium alginate การที่ SA-TSA complex มีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียแถมลบได้น้อยกว่าแบคทีเรียแถมบวก ทั้งนี้เนื่องจาก ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแถมลบมีชั้นนอกอีกชั้นที่ประกอบไปด้วย phospholipids และ lipopolysaccharide ซึ่งทำให้หมู่แทนที่ TSA ที่เป็นไฮโดรโฟบิกแทรกผ่านผนังเซลล์ไปได้ยาก

Jia และคณะ (2001) [18] เตรียม quaternary ammonium salt ของไคโตซาน โดยในงานวิจัยนี้จะเป็น *N,N,N*-trimethyl chitosan, *N,N*-propyl-*N,N*-dimethyl chitosan และ *N*-furfuryl-*N,N*-dimethyl chitosan โดยปฏิกิริยาจะเกิดผ่าน amino group ของไคโตซาน กับ กลุ่ม aldehydes ผ่าน Schiff base โดยมี methyl iodide เป็นตัวช่วยในการเกิดปฏิกิริยา โดยพบว่า *N*-furfuryl-*N,N*-dimethyl chitosan นั้นมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับ quaternized chitosan ทั้ง 3 จากนั้นนำไปละลายน้ำ และศึกษาความสามารถในการต้านแบคทีเรีย *Escherichia coli* โดยจากค่า minimum inhibitory concentration (MIC) และค่า minimum bactericidal concentration (MBC) พบว่าอนุพันธ์ไคโตซานมีความสามารถในการต่อต้านแบคทีเรียที่ดี เนื่องจากอนุพันธ์ของไคโตซานเมื่อละลายน้ำก็จะมีลักษณะเป็น polyelectrolyte ซึ่งมีความหนาแน่นของประจุกระจายตัวอยู่ จากนั้นประจุบวกของอนุพันธ์ไคโตซานนั้นก็จะเข้าไปจับที่บริเวณพื้นผิวของเซลล์แบคทีเรียซึ่งมีประจุลบ ต่อจากนั้นบริเวณผนังเซลล์จะเกิดการสร้างเป็น polyelectrolyte complex ขึ้น แล้วทำให้ผนังเซลล์เกิดการเสียหายจากนั้นเซลล์แบคทีเรียก็จะตาย นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำหนักโมเลกุลของอนุพันธ์ไคโตซานมีผลต่อประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบอนุพันธ์ไคโตซานที่น้ำหนักโมเลกุล  $10^5$   $10^4$   $10^3$  พบว่าการใช้อนุพันธ์ไคโตซานที่น้ำหนักโมเลกุลสูงมีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียสูงที่สุด จากนั้นเมื่อเปรียบเทียบความยาวสายโซ่หมู่อัลคิลบนควอเทอร์นารีแอมโมเนียม พบว่าความยาวสายโซ่มีผลต่อประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย ซึ่งสายโซ่ยาวของ *N*-furfuryl จะต้านแบคทีเรีย *E. Coli* ได้ดีกว่าสายโซ่ของ *N*-propyl และ *N*-methyl ตามลำดับ

Liu และคณะ(2004) [19] ได้ศึกษาการต้านแบคทีเรีย โดยใช้สารประกอบเชิงซ้อนของไคโตซานกับอัลคิลอะมิโนโพรพิลไดเมทิลลามีนบีเทน(CS/AAPDB) ซึ่งได้เป็นสารละลายใส เตรียมโดยนำไคโตซานละลายในสารละลาย C12-C18 alkyl amido propyl dimethylamine betaine(AAPDB) และผสมเป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาอย่างน้อย 1 วัน เพื่อให้ถึงจุดสมมูลก็จะได้สารประกอบเชิงซ้อนของCS/AAPDB) ในงานวิจัยนี้จะใช้ไคโตซานซึ่งละลายในอะซิเตทบัฟเฟอร์ ได้เป็นไคโตซานอะซิเตท(CSAC) และ สารละลาย AAPDB (pH เท่ากับ 6) เป็นตัวศึกษาเปรียบเทียบ จากนั้นนำสารละลายทั้งสามชนิดมาทดสอบความสามารถในการต้านแบคทีเรียห้าชนิด ได้แก่ *S. aureus* ,*S. epidermidis*, *E. coli* ,*P. aeruginosa* และ *C. albicans*พบว่า CS/AAPDB นั้นมีความสามารถในการต้านได้ดีทั้งห้าชนิด ส่วน CSAC ไม่สามารถต้าน *C. albicans* และ AAPDB ไม่สามารถต้าน *S. epidermidis*, *E. coli* ,*P. aeruginosa* ถึงแม้ว่า  $\text{NH}_3^+$  ของ CSAC นั้นมีความเป็นไปได้ที่จะทำปฏิกิริยากับ  $\text{COO}^-$

ของAAPDB ดังนั้นการทำปฏิกิริยากันระหว่าง  $\text{NH}_3^+$  ของไคโตซาน กับส่วนประกอบที่มีประจุลบของพื้นผิวเซลล์ จึงอ่อนลง แต่อย่างไรก็ตาม CS/AAPDB นั้น มีหมู่ของควอเทอร์นารีแอมโมเนียมที่สามารถทำปฏิกิริยากับ phospholipids ของcell membrane จึงทำให้เมมเบรนของแบคทีเรียแตกออก และตายลงนอกจากนี้ยังมี สายโซ่อัลคิลC12-C18 ซึ่งทำให้มีความคล้ายคลึงกับ cell membrane แล้วก่อให้เกิดอันตรกิริยาจึงมีผลในการต้านแบคทีเรียได้ดี

พบว่าพอลิเมอร์ธรรมชาติต่าง ๆ นั้น ก็มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการต้านแบคทีเรียบ้างแล้ว แต่ก็ยังมีกลุ่มคนที่สนใจในไคตินมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุตกแต่งบาดแผลน้อยอยู่ ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่ไคตินไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่มีฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรีย นอกจากนี้ไคตินยังมีความเป็นไฮโดรโฟบิกที่สูงมาก แต่อย่างไรก็ตามไคตินก็ยังเป็นวัสดุธรรมชาติที่น่าสนใจ และมีข้อดีได้แก่ การที่มีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ การที่มีความเข้ากันได้ดีทางชีวภาพ และนอกจากนี้ยังเป็นวัสดุทางชีวภาพที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส

Tanodekaew และคณะ(2004) [20] เตรียม acrylic grafted chitin ซึ่งขั้นตอนการเตรียม นั้นจะนำไคตินผสมกับกรดอะคริลิก (AA) เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุตกแต่งบาดแผล โดยผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ได้ของผสม Chitin-AA ซึ่งมี AA เป็น active grafting site พร้อมเกิดปฏิกิริยาต่อ จากนั้น Chitin-AA จะถูกpolymerize ต่อโดยการเติม redox initiator (หรือ ตัวริเริ่ม) ในที่นี้ใช้โพแทสเซียมเปอร์ออกไซด์ซัลเฟต โดยในปฏิกิริยานั้นจะเกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่ ซึ่งผลที่ได้คือ โครงสร้าง Chitin-PAA ที่มีรูปแบบเป็นโครงสร้างร่างแห จากนั้นนำสารที่ได้ไปทดสอบการบวมน้ำซึ่งเป็นการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนไคตินกับอะคริลิก พบว่าที่อัตราส่วน 1:6 มีค่าการบวมน้ำมากกว่า อัตราส่วน 1:8 ซึ่งโดยตามหลักแล้วการบวมน้ำจะสูงขึ้นเมื่อปริมาณสัดส่วนของอะคริลิกเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อแช่น้ำไประยะนั้น ชิ้นตัวอย่างจะมีการหลุดออกเป็นเศษเล็กๆ ออกมา ส่วนในกรณีที่อัตราส่วน 1:4 นั้น ไม่พบเศษเล็กๆ หลุดออกมาแม้แต่น้อย จากนั้นนำไคตินกับอะคริลิกที่อัตราส่วน 1:4 ไปทดสอบพฤติกรรมของวัสดุที่มีต่อเซลล์ ณ ช่วงเวลาต่างๆ กัน พบว่าที่เวลา 2 วันจะลักษณะfibroblast เพิ่มขึ้นและที่เวลา 7 วัน จะเห็นว่า fibroblast มีการขยายตัวปกคลุมพื้นผิวทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า Chitin-PAA มี wettability ที่เหมาะสมต่อการยึดเกาะ และแพร่ขยายของเซลล์ L929 เมื่อเทียบกับ ไคติน และ อะคริลิกเพียงอย่างเดียว ทำให้ Chitin-PAA เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุตกแต่งบาดแผลได้

จากงานวิจัยที่ได้รวบรวมมาทั้งหมดทำให้พบว่า การดัดแปรผิวหน้าของพอลิเมอร์ด้วยประจุบวกไม่ว่าจะเป็นหมู่อะมิโน หรือ ควอเทอร์นารีแอมโมเนียม ควอเทอร์นารีได-ไตรเมทิลอัลคิล

ก็ตาม มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ แตกต่างกัน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นความสนใจในการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของไคตินด้วยควอเทอร์นารีแอมโมเนียมซึ่งแตกตัวเป็นประจุบวกได้ดี รวมทั้งศึกษาความสามารถต้านแบคทีเรียทั้งชนิดแกรมบวก และ ชนิดแกรมลบ

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ไคทิน (Sigma Aldrich Co., Ltd (Germany)) โดยมี degree of acetylation 0.62  
วิเคราะห์จาก FTIR
2. คาร์บอกซิลเมธิลไตรเมธิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (Fluka Co., Ltd (Germany))
3. ไดโซโคเฮกซิลคาร์โบไดอิมายด์ (Fluka Co., Ltd (Belgium))
4. พอลิเอทิลีนไกลคอล (Asia Pacific Specialty Chemicals Limited, Australia)  
น้ำหนักโมเลกุล 4000
5. ไดมัลดีอะเซทาไมด์ (Lab Scan Co., Ltd (Thailand))
6. ลิเทียมคลอไรด์ (Ajax Finechem Co., Ltd (New Zealand))
7. แอซีโตน (Lab Scan Co., Ltd (Thailand))
8. เชื้อแบคทีเรีย ชนิดแกรมบวก, *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538)
9. เชื้อแบคทีเรีย ชนิดแกรมลบ, *Escherichia coli* (ATCC 25923)
10. โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไดไฮเดรต (Merck Co., Ltd (Germany))
11. ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตไดเดคคาไฮเดรต (Merck Co., Ltd (Germany))

#### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องแก้ว ได้แก่ ปีกเกอร์ จานเพาะเชื้อ เดซิเคเตอร์ เป็นต้น
2. เครื่องให้ความร้อนและกวนสารละลาย
3. เครื่องปั่นเหวี่ยงเชิงกลความเร็วรอบสูง
4. เครื่องกรองสุญญากาศ
5. ตู้ทำความเย็น
6. กระจกกรอง
7. ตู้อบสาร

#### 3.3 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์

1. Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR, Thermo Scientific Nicolet 6700, USA), ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

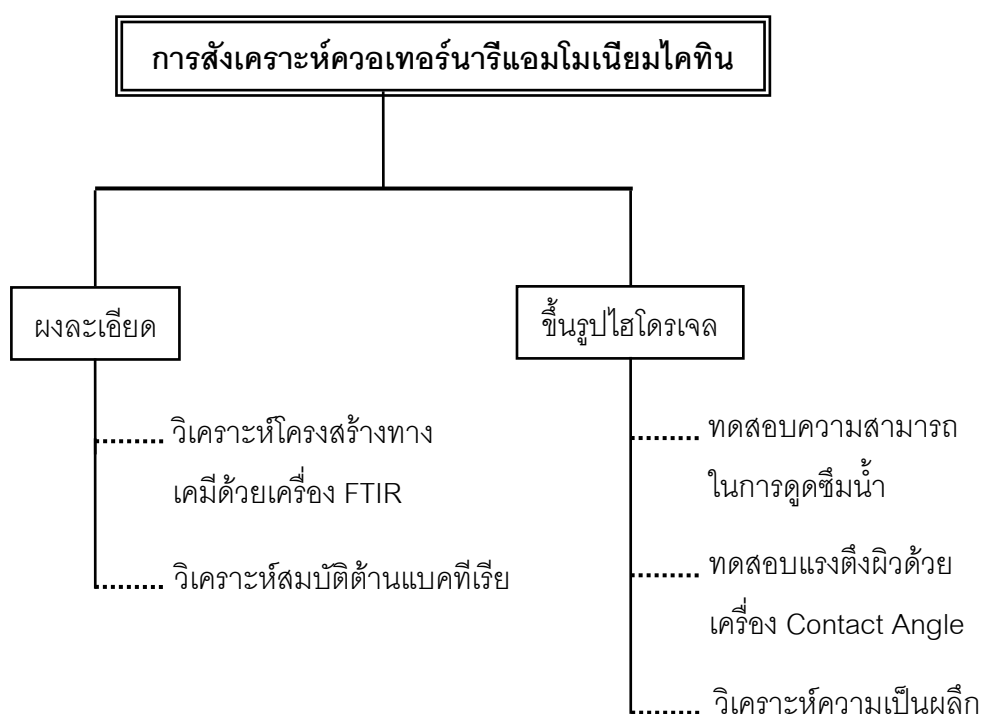
2. Contact angle meter (Tantec,USA), ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. X-ray diffractometer (XRD, Bruker AXS Model D8,Germany), ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. UV Spectrophotometer (Spectronic unicam,USA),ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.4 ขอบเขตการทดลอง

ขอบเขตการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังขอบเขตการทดลอง

### 3.5 วิธีการทดลอง

#### 3.5.1 การทำไคตินให้บริสุทธิ์

ละลายไคติน 0.5 กรัม ในตัวทำละลาย DMAc/5%LiCl 100 มิลลิลิตร ละลายเป็นเวลา 2-3 วันจนกระทั่งได้สารละลายที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน(homogeneous) จากนั้นปั่นเหวี่ยง ตกตะกอนส่วนที่ไม่ละลายออก แล้วนำส่วนสารละลายใส(supernatant)ไปตกตะกอนในน้ำกลั่น



ปริมาณมาก ๆ จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นต่ออีก 2-3 ครั้งให้สะอาด แล้วล้างครั้งสุดท้ายด้วยเอซีโตน เพื่อกำจัดน้ำออก จากนั้นกรองตะกอนแล้วทำแห้งภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง

### 3.5.2 การดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของไคตินด้วยเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม

ละลายไคติน 2 กรัม (0.01 โมล) ในตัวทำละลาย DMAc/5%LiCl 150 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ที่ 1 โดยปั่นทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง จากนั้นเติม carboxymethyl trimethyl ammonium chloride (CTA) ที่บดละเอียด 3.07 กรัม (0.02 โมล) คนต่อให้เข้ากันจนละลาย จากนั้นนำ dicyclohexyl carbodiimide (DCC) 8.24 กรัม (0.04 โมล) ละลายในตัวทำละลาย DMAc/5%LiCl 120 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ที่ 2 ขนาด 250 มิลลิลิตรจนจนละลายหมด จากนั้นเทสารละลาย DCC ลงในสารละลายผสมไคตินและ CTA ซึ่งวางอยู่ในอ่างน้ำแข็ง โดยขณะเทต้องคนของผสมตลอดเวลา ประมาณ 30 นาที เพื่อช่วยกระจายความร้อนจากปฏิกิริยาคายความร้อนที่เกิดขึ้น จากนั้นปั่นต่อที่ อุณหภูมิห้องอีกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำสารละลายผสมที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงตกตะกอนด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เพื่อกำจัดตะกอนของ *N,N'*-dicyclohexylurea (DCUrea) ซึ่งเป็นผลผลิตพลอยได้จากปฏิกิริยา จากนั้นนำส่วนของสารละลายใส (supernatant) ที่ลอยอยู่บนเหวี่ยงตะกอน DCUrea มาแช่ในตู้เย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มความสามารถในการตกตะกอน DCUrea มากขึ้น ถ้าสารละลายที่ได้มีตะกอนให้นำไปผ่านการหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอน DCUrea อีกครั้ง ต่อจากนั้นนำสารละลายที่แยกตะกอน DCUrea ออกแล้ว ไปตกตะกอนในเอซีโตนปริมาณมากๆ แล้วล้างตะกอนต่อด้วยเอซีโตนอีก 3 ครั้ง แล้วจึงนำไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศจะได้ตะกอนของอนุพันธ์ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคติน จากนั้นนำตะกอนที่ได้ไปทำแห้งโดยการระเหยเอซีโตนออกภายใต้สุญญากาศ

### 3.5.3 การเตรียมวัสดุตกแต่งบาดแผลไฮโดรเจลจากไคตินและอนุพันธ์ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคติน

นำไคติน หรือ อนุพันธ์ไคตินละลายใน DMAc/5%LiCl (ความเข้มข้น 0.5%w/v) จากนั้นนำสารละลายที่ได้ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ในภาชนะทรงลูกบาศก์ (ปริมาตร 1.5X1.5X1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร) จากนั้นสารละลายไคตินหรืออนุพันธ์ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินจะถูกทำให้คงรูปโดยการแช่ในเอซีโตนและล้างด้วยเอซีโตนหลายๆ ครั้ง ซึ่งใช้เวลาในการทำให้คงรูปด้วยการแทนที่ตัวทำละลายทั้งหมดประมาณ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไคตินเจล หรือ อนุพันธ์ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินเจลที่ได้มาทำแห้งภายใต้ภาวะสุญญากาศ

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมน้ำของไคติน และ ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคติน โดยทำเป็นโครงสร้างร่างแหกิ่งสอดไข้วด้วยพอลิเอทิลีนไกลคอล โดยการผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก (0.1%w/v) ลงในสารละลายไคติน หรือ สารละลายควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคติน (ความเข้มข้น 0.5%w/v) จากนั้นกวนผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันประมาณ 24 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ 2 มิลลิลิตรใส่ในภาชนะทรงลูกบาศก์ (ปริมาตร 1.5X1.5X1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร) จากนั้นทำให้คงรูปโดยการแช่ในแอซีโตนและล้างด้วยแอซีโตนหลายๆ ครั้ง ซึ่งใช้เวลาในการทำให้คงรูปด้วยการแทนที่ตัวทำละลายทั้งหมดประมาณ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำร่างแหกิ่งสอดไข้วไคติน หรือ ร่างแหกิ่งสอดไข้วควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินที่ได้มาทำแห้งภายใต้ภาวะสุญญากาศ

### 3.6 การวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติ

#### 3.6.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของอนุพันธ์ไคติน

ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของอนุพันธ์ไคตินที่ถูกดัดแปรโครงสร้างทางเคมีด้วยเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียมด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี โดยใช้เครื่องของ Thermo Scientific รุ่น Nicolet 6700 จากประเทศสหรัฐอเมริกา โดยนำสารตัวอย่างมาบดกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) แล้วนำไปอัดเป็นชั้นทดสอบ จากนั้นนำมาหาแถบการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ในช่วงความยาวคลื่น 4000-400  $\text{cm}^{-1}$  สแกนเป็นจำนวน 64 ครั้ง resolution 4.0  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งสามารถวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารได้

#### 3.6.2 ระดับการแทนที่ของหมู่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียม

ระดับการแทนที่ที่สามารถหาได้ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี โดยคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$DS \text{ (ester linkage)} = (A_{1735}/A_{1072})$$

ซึ่ง  $A_{1735}$  เป็นค่าของพื้นที่ใต้พีคของพันธะเอสเทอร์ ที่ความยาวคลื่น 1735  $\text{cm}^{-1}$

$A_{1072}$  เป็นค่าของพื้นที่ใต้พีคของ C-O ของวงน้ำตาล ที่ความยาวคลื่น 1072  $\text{cm}^{-1}$

#### 3.6.3 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ

โดยนำเจลไคตินและอนุพันธ์ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคติน (ตัดให้มีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 5x5x1 ลูกบาศก์มิลลิเมตร) มาชั่งน้ำหนักแห้ง ( $W_d$ ) จากนั้นนำไปแช่น้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไฮโดรเจลที่พองตัวมาเช็ดตัวอย่างรวดเร็วเพื่อเอาน้ำ

ส่วนที่เกินบนพื้นผิวออก และชั่งน้ำหนักเปียก ( $W_w$ ) ภายหลังการดูดซึมน้ำ จากนั้นคำนวณความสามารถในการดูดซึมน้ำ ดังสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ water absorption} = (W_w - W_d) / W_d \times 100$$

ซึ่ง  $W_w$  คือ น้ำหนักไฮโดรเจลเปียก

$W_d$  คือ น้ำหนักเจลแห้ง

### 3.6.4 สมบัติไฮโดรโฟบิก-ไฮโดรฟิลิก

เพื่อพิจารณาความเป็นไฮโดรโฟบิก หรือ ไฮโดรฟิลิกของเจล ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการยึดติดกับบาดแผล โดยทดสอบด้วยเครื่อง contact angle meter รุ่น CAM-PLUS Tanteq ประเทศเยอรมัน โดยวัดจากค่า contact angle ( $\theta$ ) ของฟิล์มไคติน หรือ อนุพันธ์ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคติน โดยนำสารละลายไคตินหรืออนุพันธ์ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินในตัวทำละลาย DMAc/5%LiCl มาเคลงบนกระจกสไลด์ แล้วทำให้คงตัวเป็นฟิล์ม โดยการแทนที่ตัวทำละลายด้วยแอซีโตน หรือ เฮกเซน เนื่องจากไคตินมีความเป็นไฮโดรโฟบิกสูงเพื่อป้องกันการหดตัวของฟิล์ม การคงรูปฟิล์มไคตินจะทำโดยการแช่ในเฮกเซนและล้างด้วยเฮกเซนหลายๆ ครั้ง ส่วนควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินฟิล์มจะทำให้คงรูปโดยการแช่ในแอซีโตนและล้างด้วยแอซีโตนหลายๆ ครั้ง จากนั้นนำฟิล์มที่ได้มาทำแห้งภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปวิเคราะห์

### 3.6.5 ความเป็นผลึก

โดยการวิเคราะห์โครงสร้างของไคติน, ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคติน, ไคตินผสมกับพอลิเอทิลีนไกลคอล และควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินผสมกับพอลิเอทิลีนไกลคอลด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction, XRD) ด้วยเครื่อง Bruker AXS Model D8 ภาวะที่ใช้ในการทดลอง

หลอดรังสีเอกซ์ : Cu

แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ :  $\text{CuK}_{\alpha}$  ( $\lambda = 1.54060$ )

โดยเครื่องเริ่มทำงานที่มุม  $2\theta$  ตั้งแต่ 5 - 55 องศา ด้วยอัตราเร็ว 0.02 องศาต่อวินาที

### 3.6.6 สมบัติต้านแบคทีเรีย

ในงานวิจัยนี้ใช้เชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ *Escherichia coli* ซึ่งเป็นตัวแทนของแบคทีเรียชนิดแกรมลบ และ *Staphylococcus aureus* ซึ่งเป็นตัวแทนของแบคทีเรียชนิดแกรมบวก

### 3.6.6.1 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้านแบคทีเรีย

นำแบคทีเรียแต่ละชนิดเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ LB 5 มิลลิลิตร ที่ 30 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง จากนั้นปั่นเหวี่ยงเก็บเซลล์ที่ความเร็วรอบ 7000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที ล้างเซลล์ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ และแขวนลอยเซลล์ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ให้ได้ความเข้มข้นของเซลล์เท่ากับ  $3-5 \times 10^6$  โคโลนีต่อมิลลิลิตร (CFU/mL) จากนั้นนำผงโคทิน หรือ ผงอนุพันธ์โคทินที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นเวลา 30 นาทีใส่ลงในหลอดทดลองที่มีเชื้อแบคทีเรีย โดยควบคุมความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นเขย่าที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 20 40 60 นาที หรือ 24 ชั่วโมง เพื่อทดสอบเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าแบคทีเรีย เมื่อเขย่าสารตัวอย่างกับเชื้อแบคทีเรียที่แขวนลอยในบัฟเฟอร์ตามระยะเวลาที่กำหนดแล้ว นำสารแขวนลอยแบคทีเรียมาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสม แล้วเกลี่ยบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง LB และบ่มที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่รอดชีวิต (CFU/mL) ด้วยเครื่องนับโคโลนี และคำนวณ % reduction (ภาคผนวก จ) ทำการทดลองสามซ้ำ เปรียบเทียบกับเจลโคทิน โดยใช้หลอดสารแขวนลอยแบคทีเรียที่ไม่มีการเติมสารตัวอย่างใด ๆ เป็นชุดทดลองควบคุม

### 3.6.6.2 ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถต้านแบคทีเรีย

นำแบคทีเรียแต่ละชนิดเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ LB 5 มิลลิลิตร ที่ 30 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง จากนั้นปั่นเหวี่ยงเก็บเซลล์ที่ความเร็วรอบ 7000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที ล้างเซลล์ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ และแขวนลอยเซลล์ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ให้ได้ความเข้มข้นของเซลล์เท่ากับ  $3-5 \times 10^6$  โคโลนีต่อมิลลิลิตร (CFU/mL) จากนั้นนำผงโคทิน หรือผงอนุพันธ์โคทินที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นเวลา 30 นาทีใส่ลงในหลอดทดลองที่มีเชื้อแบคทีเรีย โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ 1 , 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นเขย่าที่อุณหภูมิห้องตามเวลาที่เหมาะสมในการต้านแบคทีเรียจากข้อ 3.6.6.1 เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารตัวอย่างที่สามารถต้านแบคทีเรีย เมื่อเขย่าสารตัวอย่างกับเชื้อแบคทีเรียที่แขวนลอยในบัฟเฟอร์ตามระยะเวลาที่กำหนด นำสารแขวนลอยแบคทีเรียเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสม แล้วเกลี่ยบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง LB จากนั้นบ่มที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่รอดชีวิต (CFU/mL) และคำนวณ % reduction (ภาคผนวก จ) ทำการทดลองสามซ้ำ เปรียบเทียบกับเจลโคทิน โดยใช้หลอดสารแขวนลอยแบคทีเรียที่ไม่มีการเติมสารตัวอย่างใด ๆ เป็นชุดทดลองควบคุม

## บทที่ 4

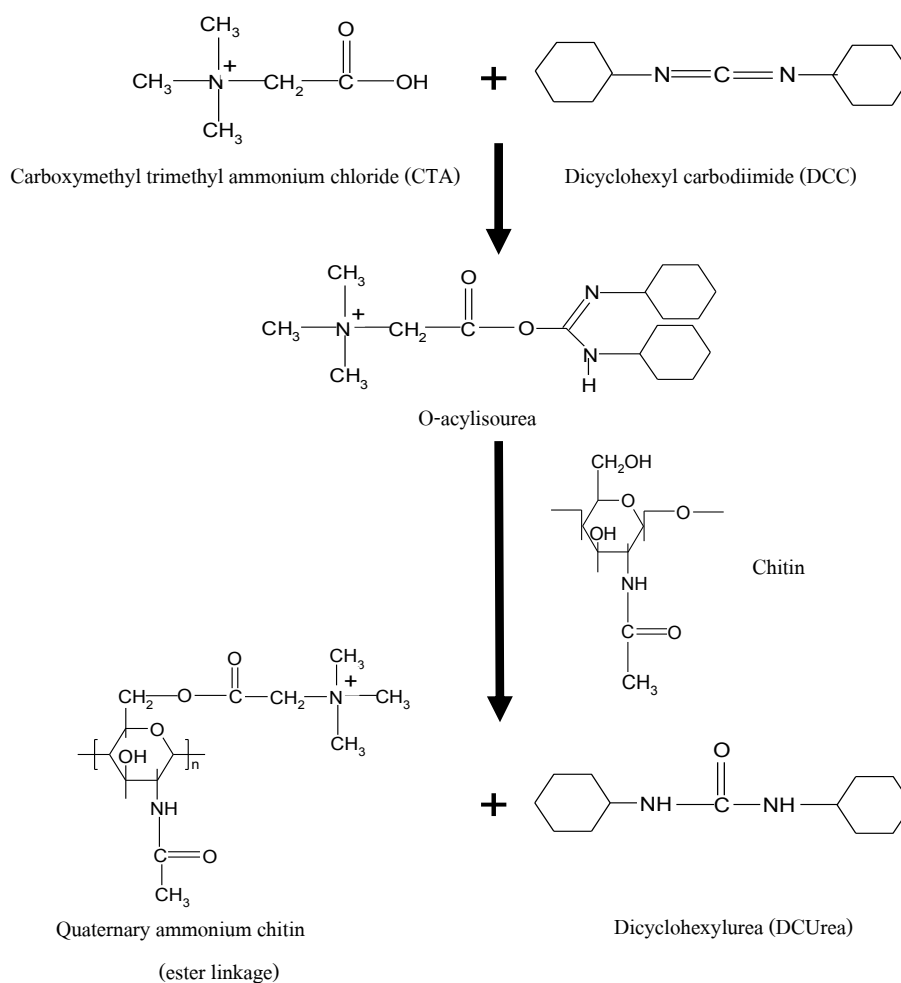
### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ไคตินเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ไลโซไซม์ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบมากในร่างกายมนุษย์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงดึงจุดเด่นของไคตินนี้มาประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประยุกต์ใช้งานทางด้านวัสดุตกแต่งบาดแผล วัสดุตกแต่งบาดแผลที่ดีควรมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดีเพื่อดูดซึมของไหลจากบาดแผล และ ควรมีสมบัติต้านแบคทีเรียเพื่อป้องกันแผลติดเชื้อ เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไคติน พบว่าไคตินไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่เหมาะสมในการต้านแบคทีเรีย แตกต่างจากไคโตซานซึ่งมีหมู่อะมิโนที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวกในภาวะกรดอ่อน ทำให้มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจตัดแปรรูปโครงสร้างทางเคมีของไคตินด้วยหมู่แทนที่ที่มีประจุบวก ได้แก่ หมู่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียม นอกจากนี้ไคตินสามารถเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มหรือเจลได้ง่ายด้วยการแทนที่ตัวทำละลาย Dimethylacetamide/LiCl ด้วยตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วหรือมีขั้วอ่อน ๆ ได้แก่ แอซีโตน แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากไคตินมีความเป็นไฮโดรโฟบิกสูง ดังนั้นเพื่อปรับปรุงความสามารถในการดูดซึมน้ำ ไคตินเจลจึงเตรียมอยู่ในรูปร่างแหพอลิเมอร์แบบกึ่งสอดไขว้ (semi-interpenetrating network) กับพอลิเมอร์สายโซ่ตรงที่มีความเป็นไฮโดรฟิลิก ได้แก่ พอลิเอทิลีนไกลคอล

#### 4.1 การตัดแปรรูปโครงสร้างทางเคมีของไคตินด้วยเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม

การตัดแปรรูปโครงสร้างทางเคมีของไคตินให้มีความเป็นประจุบวกถาวรของเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียมได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างไคตินและ carboxymethyl trimethyl ammonium chloride (CTA) หรือ betaine hydrochloride ในตัวทำละลายผสม 5% lithium chloride ใน dimethyl acetamide จากนั้นปั่นให้ละลายเข้ากันสมบูรณ์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของไคตินและหมู่คาร์บอกซิลของ CTA แต่เนื่องจากไคตินมีโครงสร้างที่แข็งแรงทำให้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเกิดขึ้นได้ยาก ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้ความร้อนเป็นตัวช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ coupling agent หรือ สารคู่ควบ เพื่อช่วยให้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิห้อง สารคู่ควบที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ dicyclohexyl carbodiimide (DCC) ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้เป็นสารคู่ควบในปฏิกิริยาการสังเคราะห์โปรตีนหรือปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน โดย DCC จะเริ่มเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลของ CTA ก่อนได้เป็น O-acylisourea เมื่อทำปฏิกิริยาต่อกับหมู่ไฮดรอกซิลของไคตินซึ่งทำ

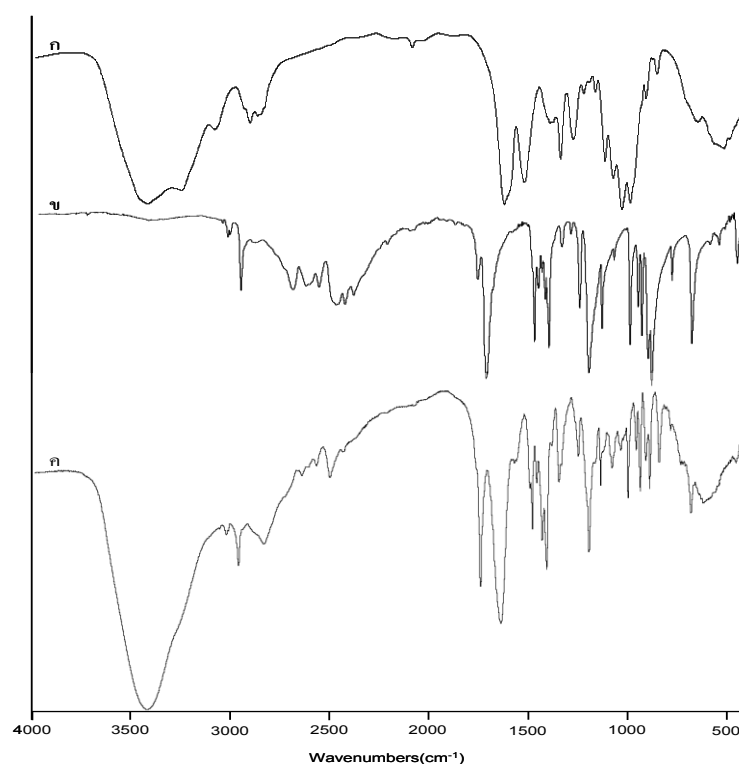
หน้าที่เป็น Nucleophile จึงจะก่อให้เกิดตะกอน DCUrea เป็นผลผลิตพลอยได้ การดำเนินไปของปฏิกิริยาสามารถสังเกตได้จากปริมาณตะกอนของ DCUrea ที่เกิดขึ้น จากนั้นปั่นเหวี่ยงแยกตะกอน เอาส่วนสารละลายไปตกตะกอนในแอลกอฮอล์ปริมาณมากและทำแห้งภายใต้สุญญากาศ ได้อนุพันธ์ควอเทอร์นารีแอมโมเนียม รูปที่ 4.1 แสดงกลไกการตัดแปรรโครงสร้างทางเคมีของไคตินด้วยเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม



รูปที่ 4.1 กลไกการตัดแปรรโครงสร้างทางเคมีของไคตินด้วยเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม

#### 4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของอนุพันธ์ไคติน

ผลการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของไคติน และควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคติน ที่ถูกดัดแปรโครงสร้างทางเคมีด้วยคาร์บอกซิลเมทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ โดยมีไดไซโคเฮกซิลคาร์โบไดอิมายด์เป็นสารคู่ควบ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยปรากฏพีคการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่ง  $3500\text{cm}^{-1}$  แสดงถึงหมู่ไฮดรอกซิล ตำแหน่ง  $2900\text{ cm}^{-1}$  แสดงถึง C-H stretching ของ  $-\text{CH}_2-$  ตำแหน่ง  $1600\text{cm}^{-1}$  แสดงถึง amide I ตำแหน่ง  $1560\text{cm}^{-1}$  แสดงถึง N-H bending ตำแหน่ง  $1070\text{ cm}^{-1}$  แสดงถึง C-O ของ pyranose ring ส่วนในกรณีของคาร์บอกซิลเมทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ปรากฏพีคการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่ง  $1726\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงพันธะเอสเทอร์ ตำแหน่ง  $1196\text{ cm}^{-1}$  แสดงถึง C-N stretching และเมื่อไคตินผ่านการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีซึ่งได้เป็นควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินแล้วนั้น ปรากฏพีคการดูดกลืนแสงของไคตินร่วมกับคาร์บอกซิลเมทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ นอกจากนี้ มีพีคการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง  $1735\text{cm}^{-1}$  เพิ่มเติมขึ้นมา แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดพันธะเอสเทอร์ขึ้น ซึ่งพีคของพันธะเอสเทอร์ของอนุพันธ์ไคตินนี้เลื่อนออกจากพีคพันธะเอสเทอร์ของคาร์บอกซิลเมทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์จาก  $1726\text{ cm}^{-1}$  ไปที่  $1735\text{ cm}^{-1}$



รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัม (ก) ไคติน (ข) คาร์บอกซิลเมทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (ค) ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคติน

#### 4.3 ระดับการแทนที่ของหมู่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียม

ระดับการแทนที่ของปฏิกิริยาสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีคการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของพันธะเอสเทอร์ ที่ความยาวคลื่น  $1735\text{ cm}^{-1}$  และพื้นที่ใต้พีคการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของ C-O ของวงน้ำตาล ที่ความยาวคลื่น  $1072\text{ cm}^{-1}$  พบว่าได้ค่าประมาณ 1.50 ซึ่งเป็นการแสดงถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ของโคทินกับคาร์บอกซิลเมทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ โดยมีไดไซโคเฮกซิลคาร์โบไดอิมายด์เป็นสารคู่ควบนั้น สามารถเกิดได้อย่างค่อนข้างสมบูรณ์

#### 4.4 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ

น้ำเจลที่ได้จากการขึ้นรูปมาทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ พบว่าจากตาราง 4.1 เจลโคทินมีค่าการดูดซึมน้ำประมาณ 163% หรือ ประมาณ 1.63 เท่าตัวของน้ำหนักเจลแห้ง ซึ่งมีค่าต่ำ ส่วนควอเทอร์นารีแอมโมเนียมโคทินเจลมีค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำประมาณ 174% หรือ 1.74 เท่าตัวของน้ำหนักเจลแห้ง เป็นการแสดงให้เห็นว่าควอเทอร์นารีแอมโมเนียมโคทินเจลมีความเป็นไฮโดรฟิลิกที่เพิ่มมากขึ้นหลังจากถูกดัดแปรโครงสร้างทางเคมี ทั้งนี้เนื่องจากหมู่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมที่มีประจุบวกสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ดีกว่าหมู่ไฮดรอกซิล แต่อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการดูดซึมน้ำสามารถพัฒนาขึ้นได้โดยการสอดไขว้พอลิเอธิลีนไกลคอลลงไปในปริมาณเล็กน้อย ( $0.1$  ร้อยละโดยน้ำหนัก) พบว่าเจลที่ได้มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดีขึ้นมาก ทั้งในร่างแหพอลิเมอร์กึ่งสอดไขว้โคทินกับพอลิเอธิลีนไกลคอลล ซึ่งมีความสามารถในการดูดซึมน้ำประมาณ 328% หรือ 3.28 เท่าตัวของน้ำหนักเจลแห้ง และ ร่างแหพอลิเมอร์กึ่งสอดไขว้ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมโคทินกับพอลิเอธิลีนไกลคอลล ซึ่งมีความสามารถในการดูดซึมน้ำประมาณ 435% หรือ 4.35 เท่าตัวของน้ำหนักเจลแห้ง ซึ่งให้เห็นว่าพอลิเอธิลีนไกลคอลลทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหแบบกึ่งสอดไขว้ (semi-interpenetrating network) กับโคทินขึ้น และทำให้เจลนั้นมีความเป็นไฮโดรฟิลิกที่สูงขึ้น จึงทำให้มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดีขึ้น



ตารางที่ 4.1 ร้อยละความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Percent water absorption)

Samples	Percent water absorption
Chitin	163±19
Quaternary ammonium chitin	174±15
Chitin /PEG	328±94
Quaternary ammonium chitin /PEG	435±23

#### 4.5 สมบัติไฮโดรโฟบิก-ไฮโดรฟิลิก

นำเจลที่ได้จากการขึ้นรูปมาทดสอบสมบัติความเป็นไฮโดรโฟบิก-ไฮโดรฟิลิก จากการวัดค่ามุมสัมผัสที่วัดได้จาก contact angle meter พบว่าจากตาราง 4.2 เจลไคตินมีค่ามุมสัมผัสประมาณ 53.6 องศา เจลควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินมีค่ามุมสัมผัสประมาณ 34.0 องศา ร้างแหไคตินแบบกึ่งสอดไขว้กับพอลิเอธิลีนไกลคอลมีค่ามุมสัมผัสประมาณ 44.4 องศา และ ร้างแหควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินแบบกึ่งสอดไขว้กับพอลิเอธิลีนไกลคอล มีค่ามุมสัมผัสประมาณ 30.0 องศา โดยค่ามุมสัมผัสนั้นเป็นการแสดงถึงความเป็นไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) หรือความเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) โดยถ้าค่ามุมสัมผัสมีค่ามากแสดงว่ามีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก และถ้าค่ามุมสัมผัสมีค่าน้อยแสดงว่ามีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก และจากค่าของการวัดมุมสัมผัสที่ได้ พบว่ามีความสอดคล้องกับความสามารถในการดูดซึมน้ำ กล่าวคือ เจลไคตินมีค่ามุมสัมผัสที่มาก นั่นคือ มีความเป็นไฮโดรฟิลิกที่ต่ำ หรือมีความไม่ชอบน้ำนั่นเอง ส่วนเจลควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินสามารถวัดค่ามุมสัมผัสได้ลดต่ำลง ซึ่งให้เห็นว่าการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของไคตินด้วยเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม พัฒนาสมบัติความเป็นไฮโดรฟิลิกที่ดีขึ้น เนื่องจากหมู่แทนที่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมมีประจุเป็นบวก สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ดีกว่าหมู่ไฮดรอกซิล และเมื่อเติมพอลิเอธิลีนไกลคอลลงไปทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหแบบกึ่งสอดไขว้ (semi-interpenetrating network) กับสายโซ่ไคตินขึ้น ซึ่งจะทำให้เจลที่ได้นั้นมีความเป็น

ไฮโดรฟิลิกที่สูงขึ้น หรือมีความชอบน้ำมากขึ้นนั่นเอง ส่งผลให้พัฒนาความสามารถในการดูดซึมน้ำของไคตินเจล และ ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินเจล

Zhang และคณะ(2002) [21]ได้ปรับปรุงความสามารถในการดูดซึมน้ำโปรตีนของฟิล์มไคโตซานโดยการผสมพอลิเอธิลีนไกลคอล โดยการละลายพอลิเอธิลีนไกลคอลลงไปตามร่วมกับสารละลายไคโตซานในกรดแอสติก ซึ่งสัดส่วนของพอลิเอธิลีนไกลคอลที่เติมลงไปจะเป็นสัดส่วนที่น้อยกว่าไคโตซานมาก จากนั้นขึ้นรูปเป็นฟิล์ม ทำให้คงตัวโดยจุ่มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และล้างต่อด้วยน้ำกลั่น ทำให้แห้ง และนำไปทดสอบ wettability โดยการวัดมุมสัมผัสกับน้ำ ซึ่งพบว่าฟิล์มที่ได้จากการผสมไคโตซานกับพอลิเอธิลีนไกลคอลนั้น มีค่ามุมสัมผัสต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับไคโตซาน กล่าวคือว่าสัดส่วนนั้นเป็น hydrophilicity ที่ดีขึ้น เนื่องจากเติมพอลิเอธิลีนไกลคอลลงไปในนั้นทำให้เกิด immobilization ของสายโซ่พอลิเอธิลีนไกลคอลบนวัสดุ โดยผ่าน physical adsorption ระหว่างการผสม หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ เกิด physical interpenetrating network บนวัสดุและจากการที่พอลิเอธิลีนไกลคอลนั้นเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีความชอบน้ำอยู่แล้วจึงทำให้สมบัติ wettability ดีขึ้น สัดส่วนของพอลิเอธิลีนไกลคอลมีผลต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติของพื้นผิว แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มสัดส่วนของพอลิเอธิลีนไกลคอลจะทำให้มีค่ามุมสัมผัสเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้สมบัติ wettability ลดลง

#### ตารางที่ 4.2 ค่ามุมสัมผัส (contact angle)

samples	Contact angle (degree)
Chitin	53.6±1.7
Quaternary ammonium chitin	34.0±2.0
Chitin /PEG	44.4±1.7
Quaternary ammonium chitin /PEG	30.0±2.0

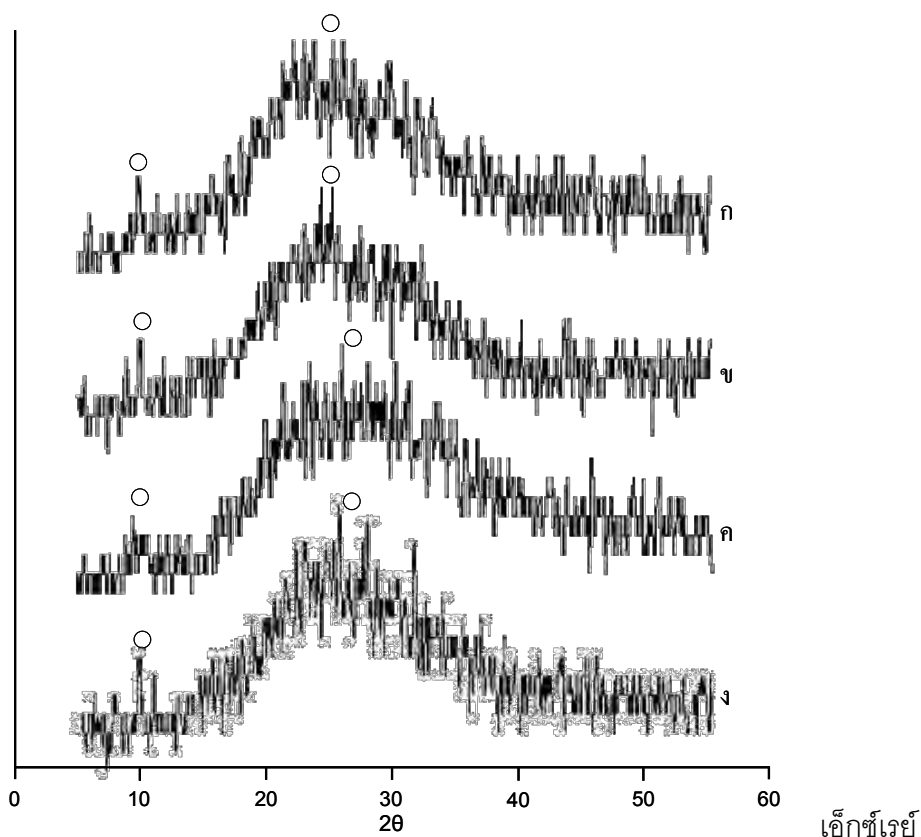
#### 4.6 ความเป็นผลึก

นำผลที่ได้จากการขึ้นรูปมาพิจารณาความเป็นผลึกด้วยเทคนิค x-ray diffraction จะเห็นดังในรูปที่ 4.3 แสดง XRD ดิฟแฟรกโทแกรม ของไคตินเจล, ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินเจล, ร่างแหไคตินกิ่งสอดไขว้กับพอลิเอทิลีนไกลคอล และ ร่างแหควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินกิ่งสอดไขว้กับพอลิเอทิลีนไกลคอล พบว่าไคตินเจล (รูปที่ 4.3 ก) แสดงค่า  $2\theta$  ที่ประมาณ 9.5 และ 24 ส่วนควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินเจล (รูปที่ 4.3 ค) แสดงค่า  $2\theta$  ที่ประมาณ 9.5 และ 28 ซึ่งจะเห็นว่าค่า  $2\theta$  เลื่อนจาก 24 เป็น 28 แสดงให้เห็นว่าช่องว่างระหว่างผลึกแคบลง นอกจากนี้ พีค  $2\theta$  ที่ 28 ยังกว้างขึ้นด้วย แสดงถึงปริมาณผลึกลดน้อยลง ดังนั้นการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของไคตินด้วยควอเทอร์นารีแอมโมเนียม ส่งผลให้ผลึกเรียงตัวกันแน่นขึ้นเล็กน้อย แต่ปริมาณผลึกลดน้อยลง

ร่างแหไคตินกิ่งสอดไขว้ (รูปที่ 4.3 ข) แสดงค่า  $2\theta$  ที่ 9.5 และ 24 เช่นเดียวกับ X-ray ดิฟแฟรกโทแกรมกับไคตินเจล (รูปที่ 4.3 ก) ซึ่งให้เห็นว่าการกิ่งสอดไขว้ด้วยพอลิเอทิลีนไกลคอลไม่ได้ส่งผลต่อช่องว่างระหว่างผลึกของไคติน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสายโซ่พอลิเอทิลีนไกลคอลมีการพันกันรอบผลึกไคติน หรือ อาจพันกันกับสายโซ่ไคตินในส่วนบริเวณอสัณฐาน

ร่างแหควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคติน (รูปที่ 4.3 ง) แสดงค่า  $2\theta$  ที่ 9.5 และ 28 เช่นเดียวกับ X-ray ดิฟแฟรกโทแกรมกับควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินเจล (รูปที่ 4.3 ค) แต่พีคแคบลง ซึ่งให้เห็นว่าการกิ่งสอดไขว้ด้วยพอลิเอทิลีนไกลคอลไม่ได้ส่งผลต่อช่องว่างระหว่างผลึกของควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคติน แต่การที่พีค  $2\theta$  ที่ 28 แคบลงแสดงถึงปริมาณผลึกเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินมีหมู่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมประจุบวกซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับออกซิเจนของพอลิเอทิลีนไกลคอลส่งผลให้ปริมาณผลึกเพิ่มมากขึ้น

ในทางกลับกัน Zhang และคณะ(2008) [22] ได้เตรียมฟิล์มไคตินผสมกับพอลิเอทิลีนไกลคอลไดอะครีเลต และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของผลึกภายหลังการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลไดอะครีเลตลงไป ด้วยเทคนิค x-ray diffraction พบว่าเมื่อเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลไดอะครีเลตลงไปเล็กน้อยนั้นลักษณะ board peak ของดิฟแฟรกโทแกรมที่ได้นั้นจะมีลักษณะกว้างขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณผลึกนั้นลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากพอลิเอทิลีนไกลคอลไดอะครีเลตเกิดปฏิกิริยา Michael addition กับหมู่อะมิโน ทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล และหมู่อะมิโนมีน้อยลงปริมาณผลึกจึงลดน้อยลงด้วย



รูปที่ 4.3

ดิฟแฟรกโทแกรมของ (ก) ควบคุม (ข) ไคติน/พอลิเอทิลีนไกลคอล (ค) ไคติน/พอลิเอทิลีนไกลคอล (ง) ไคติน/พอลิเอทิลีนไกลคอล และ (จ) ควบคุม

#### 4.7 สมบัติด้านแบคทีเรีย

เนื่องจากการทำวัสดุตกแต่งบาดแผลนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะศึกษาระยะเวลาในการต้านแบคทีเรีย เพราะวัสดุตกแต่งบาดแผลที่วางอยู่บริเวณแผลนั้นจะต้องมีระยะเวลาของการสัมผัสกับบาดแผล ณ ช่วงเวลาหนึ่ง และช่วงระยะเวลานั้นต้องยังคงออกฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรีย ดังนั้นจึงได้ศึกษาการต้านแบคทีเรียดังต่อไปนี้

##### 4.7.1 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้านแบคทีเรีย

จากตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.4 เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารตัวอย่างคงที่ที่ 10 mg/mL พบว่าไคตินไม่มีสมบัติด้านแบคทีเรียทั้งชนิดแกรมลบ (*Escherichia coli*) และแกรมบวก (*Staphylococcus aureus*) ส่วนควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินสามารถต้าน *Escherichia coli* ได้อย่างสมบูรณ์ที่ 10 นาที แต่สามารถต้าน *Staphylococcus aureus* ได้ถึงร้อยละ 78.2 เมื่อใช้ เวลา 24 ชั่วโมง จะเห็นว่าควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินใช้เวลาในการต้านแบคทีเรียชนิด

*Staphylococcus aureus* นานกว่า *Escherichia coli* มาก ๆ ทั้งนี้ เนื่องจากสารที่ฤทธิ์ต้านแบคทีเรียต้องเคลื่อนผ่านเยื่อหุ้มผนังแบคทีเรียเข้าไปเกิดอันตรกิริยากับ plasma membrane ทำให้ plasma membrane แตกออก *Staphylococcus aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดแกรมบวก มีเยื่อหุ้มผนังแบคทีเรียของ peptidoglycan ที่หนากว่า *Escherichia coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดแกรมลบ ซึ่งมีชั้นของ peptidoglycan บางกว่า และแกรมลบก็มีชั้นของ lipopolysaccharide เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งชั้นเป็นชั้นนอกสุด ซึ่งมีความเป็นไฮโดรโฟบิก เนื่องจากควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคทินมีความเป็นไฮโดรโฟบิก ทำให้เกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกกับไลปิดของ lipopolysaccharide ซึ่งทำให้อนุพันธ์ไคทินแทรกผ่านผนังชั้นนี้แล้วเคลื่อนผ่านไปยังชั้น peptidoglycan บาง ๆ ซึ่งการแทรกผ่านจะต้องอาศัยการเคลื่อนตัวของพอลิเมอร์ ดังนั้นเมื่อหมู่แทนที่มีสายโซ่อัลคิลสั้นการเคลื่อนตัวผ่านชั้นนี้ก็จะไม่ค่อยดี เมื่อเคลื่อนตัวผ่านผนังชั้นนี้แล้ว ประจุบวกของหมู่แอมโมเนียมจะแทรกเข้าไปเกิดการอันตรกิริยากับ plasma membrane แล้วทำให้ผนัง membrane เกิดการแตกออก จึงทำให้เซลล์แบคทีเรียชนิดแกรมลบตายในเวลาอันสั้น แต่อย่างไรก็ตาม แบคทีเรียชนิดแกรมบวกมีชั้นของ peptidoglycan ที่หนากว่าของแบคทีเรียแกรมลบมาก ๆ ดังนั้นควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคทินซึ่งมีความยาวของสายโซ่ -CH<sub>2</sub>- เพียงแค่หนึ่งตัว ทำให้การเคลื่อนตัวแทรกผ่าน peptidoglycan ค่อนข้างช้า ทำให้ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคทินแทรกเข้าไปเกิดอันตรกิริยากับ plasma membrane ได้ช้ากว่าแบคทีเรียชนิดแกรมลบ

ในทางกลับกัน Kim และ คณะ (2007) [17] ได้ใช้ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมที่เชื่อมต่อกับสายโซ่อัลคิลยาว octadecyl (C18) พบว่าสามารถแทรกผ่านผนัง peptidoglycan ที่หนาแบคทีเรียชนิดแกรมบวกได้ดี และสามารถต้าน *Staphylococcus aureus* ได้เร็วกว่า *Escherichia coli*

ส่วน Je และ คณะ (2006) [15] ได้ต่อเติมโครงสร้างทางเคมีของไคทินด้วยหมู่อะมิโนเอทิล ซึ่งมีสายโซ่อัลคิลสั้นของ ethyl (C2) พบว่าสามารถต้าน *Escherichia coli* ได้เร็วกว่า *Staphylococcus aureus* ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอัลคิลสายโซ่สั้น ทำให้การเคลื่อนตัวผ่าน peptidoglycan ได้ช้า จึงใช้เวลาน้อยในการแทรกผ่านผนัง peptidoglycan ที่บางของแบคทีเรียชนิดแกรมลบ แต่ใช้เวลานานในการแทรกผ่านผนัง peptidoglycan ที่หนาของแบคทีเรียชนิดแกรมบวก

ซึ่งจะเห็นว่าความยาวสายโซ่อัลคิลมีผลโดยตรงต่อการแทรกผ่านผนังของแบคทีเรีย ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเลือกต้านแบคทีเรียชนิดแกรมบวก หรือ ชนิดแกรมลบ

ตารางที่ 4.3 จำนวน *Escherichia coli* ที่รอดชีวิต และ ความสามารถต้านแบคทีเรีย ณ เวลา  
หนึ่ง ๆ

Test Microorganisms	Sample	Time(min)	The number of bacteria (CFU/mL)	% Reduction
<i>Escherichia coli</i>	Blank	10	$3.0 \times 10^6 \pm 0.0$	-
		20	$3.0 \times 10^6 \pm 0.0$	-
		60	$3.6 \times 10^6 \pm 0.1$	-
	Chitin (10 mg/mL)	10	$3.1 \times 10^6 \pm 0.1$	0
		20	$2.7 \times 10^6 \pm 0.3$	0.6
		60	$1.8 \times 10^6 \pm 1.1$	4.6
	Quaternary ammonium chitin (10 mg/mL)	10	$0 \pm 0.0$	100.0
		20	$0 \pm 0.0$	100.0
		60	$0 \pm 0.0$	100.0

ตารางที่ 4.4 จำนวน *Staphylococcus aureus* ที่รอดชีวิต และ ความสามารถต้านแบคทีเรีย ณ เวลาหนึ่ง ๆ

Test Microorganisms	Sample	Time(min)	The number of bacteria (CFU/mL)	% Reduction
<i>Staphylococcus aureus</i>	Blank	10	$4.7 \times 10^6 \pm 0.4$	-
		20	$4.7 \times 10^6 \pm 0.4$	-
		40	$4.7 \times 10^6 \pm 0.4$	-
		60	$4.7 \times 10^6 \pm 0.4$	-
		1440	$2.5 \times 10^6 \pm 0.8$	-
	Chitin (10 mg/mL)	10	$1.6 \times 10^6 \pm 0.0$	7.0
		20	$1.9 \times 10^6 \pm 0.6$	6.0
		40	$2.0 \times 10^6 \pm 0.3$	5.5
		60	$2.5 \times 10^6 \pm 0.0$	4.0
		1440	$4.9 \times 10^6 \pm 0.3$	0
	Quaternary ammonium chitin (10 mg/mL)	10	$4.5 \times 10^3 \pm 0.9$	45.2
		20	$7.0 \times 10^3 \pm 0.4$	42.3
		40	$4.3 \times 10^3 \pm 0.5$	45.5
		60	$4.1 \times 10^3 \pm 0.2$	45.8
		1440	$2.5 \times 10^1 \pm 3.5$	78.2

จากนั้นทดสอบความสามารถต้านแบคทีเรีย โดยศึกษาถึงความเข้มข้นน้อยที่สุดสำหรับต้านแบคทีเรีย ซึ่งจากผลการทดสอบข้างต้นพบว่า *Escherichia coli* มีประสิทธิภาพในการต้านได้ดีที่สุด และต้านได้อย่างสมบูรณ์ที่เวลา 10 นาที ส่วนในกรณีของ *Staphylococcus aureus* นั้นมีประสิทธิภาพในการต้านได้มากที่สุดที่เวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงทดสอบหาความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถต้านแบคทีเรียได้ดังเวลาดังกล่าว

#### 4.7.2 ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถต้านแบคทีเรีย

จากตารางที่ 4.3 พบว่าควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินสามารถต้านแบคทีเรียชนิดแกรมลบได้ดีตั้งแต่ 10 นาทีแรก ดังนั้นจึงทดสอบหาความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถต้านแบคทีเรียชนิด

แกรมลบที่เวลา 10 นาที โดยทำที่ความเข้มข้น 10 , 5 และ 1 mg/mL พบว่าเมื่อปริมาณความเข้มข้นของควอเทอร์นารีแอมโมเนียมน้อยลงทำให้ไม่มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรีย ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ทั้งนี้อาจเนื่องจากการทำลายเยื่อหุ้มผนังเซลล์ชั้นนอกสุด lipopolysaccharide ของแบคทีเรียแกรมลบเกิดจากอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกระหว่างสายโซ่โคทิน และไลปิดของ lipopolysaccharide ซึ่งจำเป็นต้องใช้สารในปริมาณมากเพื่อสามารถต้านแบคทีเรียแกรมลบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ส่วนในกรณีแบคทีเรียชนิดแกรมบวกนั้น พบว่าควอเทอร์นารีแอมโมเนียมโคทินใช้เวลาในการต้านแบคทีเรียชนิดแกรมบวกนานถึง 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงทดสอบหาความเข้มข้นน้อยสุดที่สามารถต้านแบคทีเรียได้ที่เวลา 24 ชั่วโมง โดยทำที่ความเข้มข้น 10 , 5 และ 1 mg/mL พบว่าเมื่อปริมาณความเข้มข้นน้อยลง จะทำให้ความสามารถในการต้านแบคทีเรียได้ลดน้อยลงแต่ยังสามารถต้านแบคทีเรียได้มีประสิทธิภาพสูง ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ทั้งนี้อาจเนื่องจากการต้านแบคทีเรียชนิดแกรมบวกของควอเทอร์นารีแอมโมเนียมโคทิน ต้องอาศัยการแทรกผ่านเยื่อหุ้มผนังแบคทีเรียชั้น peptidoglycan ซึ่งเมื่อความเข้มข้นของควอเทอร์นารีแอมโมเนียมน้อยลง ทำให้ปริมาณสารที่แทรกผ่านเยื่อหุ้มผนังเซลล์ไปยัง plasma membrane น้อยลง ทำให้ประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียลดลง

**ตารางที่ 4.5** จำนวน *Escherichia coli* ที่รอดชีวิต และ ความสามารถต้านแบคทีเรีย ณ ความเข้มข้นหนึ่งๆ

Test Microorganisms	Sample	Concentration (mg/mL)	The number of bacteria (CFU/mL)	% Reduction
<i>Escherichia coli</i> *	Blank	10	$3.0 \times 10^6 \pm 0.0$	-
		5	$1.9 \times 10^6 \pm 0.1$	-
		1	N/A	N/A
	Quaternary ammonium chitin	10	0±0.0	100
		5	$1.0 \times 10^6 \pm 0.1$	4.46
		1	N/A	N/A

\*10 Min



ตารางที่ 4.6 จำนวน *Staphylococcus aureus* ที่รอดชีวิต และ ความสามารถด้านแบคทีเรีย ณ ความเข้มข้นต่างๆ

Test Microorganisms	Sample	Concentration (mg/mL)	The number of bacteria (CFU/mL)	% Reduction
<i>Staphylococcus aureus</i> *	Blank	10	$2.5 \times 10^6 \pm 0.8$	-
		5	$3.1 \times 10^6 \pm 0.8$	-
		1	$5.0 \times 10^6 \pm 0.1$	-
	Quaternary ammonium chitin	10	$2.5 \times 10^1 \pm 3.5$	78.2
		5	$1.0 \times 10^1 \pm 0.0$	84.6
		1	$1.3 \times 10^2 \pm 0.1$	68.5

\*24 Hr

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยการตัดแปรรูปโครงสร้างทางเคมีของไคตินด้วยหมู่แทนทีที่มีประจุบวกด้วยคาร์บอกซิลเมทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ โดยใช้สารคู่ควบไดไซโคเฮกซิลคาร์โบไดอิมายด์ และมีการปรับปรุงโครงสร้างพอลิเมอร์ด้วยพอลิเมอร์สายโซ่ตรงพอลิเอทิลีนไกลคอลทำให้ได้พอลิเมอร์รูปร่างแหแบบกึ่งสอดไขว้ (semi-interpenetrating network) โดยผลจากงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 จากการตัดแปรรูปโครงสร้างทางเคมีของไคตินด้วยหมู่แทนทีที่มีประจุบวกด้วยคาร์บอกซิลเมทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ โดยใช้สารคู่ควบไดไซโคเฮกซิลคาร์โบไดอิมายด์ พบว่าเมื่อวิเคราะห์ด้วยอินฟราเรดสเปกตรัมจะพบพีคการดูดกลืนแสงของไคตินร่วมกับคาร์บอกซิลเมทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่ามีการเกิดพันธะเอสเทอร์ขึ้น และเมื่อคำนวณหาระดับการแทนที่ของปฏิกิริยาพบว่าได้ค่าประมาณ 1.50 ซึ่งเป็นการบอกถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันนั้น สามารถเกิดได้อย่างค่อนข้างสมบูรณ์

5.1.2 จากการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซึมน้ำ พบว่าไคตินที่ถูกตัดแปรรูปโครงสร้างทางเคมีจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมากขึ้น เนื่องจากตัวโครงสร้างทางเคมีนั้นมีหมู่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียม ซึ่งมีความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ดีกว่าหมู่ไฮดรอกซิลของไคติน นอกจากนั้นยังพบอีกว่าเมื่อทำการสอดไขว้โครงสร้างพอลิเมอร์ด้วยพอลิเอทิลีนไกลคอลลงไปปริมาณเล็กน้อยนั้นจะเพิ่มความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดียิ่งขึ้นกว่าเดิมอีก

5.1.3 จากการวิเคราะห์สมบัติความเป็นไฮโดรโฟบิก-ไฮโดรฟิลิก พบว่า เจลไคตินมีค่ามุมสัมผัสที่มาก ส่วนเจลควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินนั้นมีค่าต่ำกว่า ซึ่งเป็นการชี้ให้เห็นว่าเมื่อไคตินถูกตัดแปรรูปโครงสร้างทางเคมีนั้นสามารถลดไฮโดรโฟบิกให้น้อยลง เนื่องจากหมู่แทนทีควอเทอร์นารีแอมโมเนียมมีประจุบวกซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ดีกว่าหมู่ไฮดรอกซิล นอกจากนี้เมื่อเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลลงไปจะทำให้เกิดโครงสร้างแหแบบกึ่งสอดไขว้ จึงทำให้เจลที่ได้มีค่ามุมสัมผัสที่เพิ่มขึ้นไปอีก (หรือมีความชอบน้ำมากขึ้น) ซึ่งพบว่าสอดคล้องกับผลของความสามารถในการดูดซึมน้ำ

5.1.4 จากการวิเคราะห์ความเป็นผลึก พบว่าเมื่อไคตินถูกดัดแปรโครงสร้างทางเคมีนั้นจะทำให้ช่องว่างระหว่างผลึกของไคตินแคบลง (หรือผลึกเรียงตัวกันแน่นขึ้น) ส่วนปริมาณผลึกนั้นลดลง ส่วนในกรณีที่มีการสอดไขว้ไคตินด้วยพอลิเอทิลีนไกลคอลนั้น ไม่ส่งผลต่อช่องว่างระหว่างผลึกของไคติน แต่ในกรณีของควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินเจด เมื่อมีการสอดไขว้ด้วยพอลิเอทิลีนไกลคอลนั้นทำให้เกิดผลึกมากขึ้นทั้งนี้เนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมกับออกซิเจนอะตอมของพอลิเอทิลีนไกลคอล

5.1.5 จากการทดสอบความสามารถในการต้านแบคทีเรียพบว่าไคติน และพอลิเอทิลีนไกลคอล ไม่มีสมบัติในการต้านแบคทีเรีย *E.coli* ส่วนในกรณีของควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินต่อการต้านแบคทีเรีย *E. coli* พบว่าที่ความเข้มข้น 10 mg/mL สามารถต้านแบคทีเรีย *E. coli* ได้อย่างสมบูรณ์ และเมื่อพิจารณาที่เวลา 10 นาที โดยปรับความเข้มข้นลดลงพบว่าควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินไม่มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรีย *E. coli* ส่วนในกรณีของควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินต่อการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นความสามารถในการต้านแบคทีเรียสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาที่เวลา 24 ชั่วโมง โดยปรับความเข้มข้นลดลงพบว่าควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคตินสามารถต้านแบคทีเรียได้ลดน้อยลงแต่ยังสามารถต้านแบคทีเรียได้มีประสิทธิภาพสูงอยู่

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1.ควรมีการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของไคตินด้วยหมู่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมที่เชื่อมต่อกับอัลคิลสายโซ่ยาว เพื่อเป็นการศึกษาถึงความยาวของอัลคิลที่มีต่อลักษณะเฉพาะกับการต้านแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ ซึ่งเป็นการศึกษาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียทั้งสองชนิดให้ดีที่สุด

2.ควรมีการหาค่าความเข้มข้นน้อยสุดในการต้านแบคทีเรีย

3.ควรทดสอบวัสดุตกแต่งบาดแผลกับแบคทีเรียที่พบบริเวณบาดแผลจริง

4.ควรมานำยา antiseptic มาเป็นตัวควบคุมเพิ่มเติม

## รายการอ้างอิง

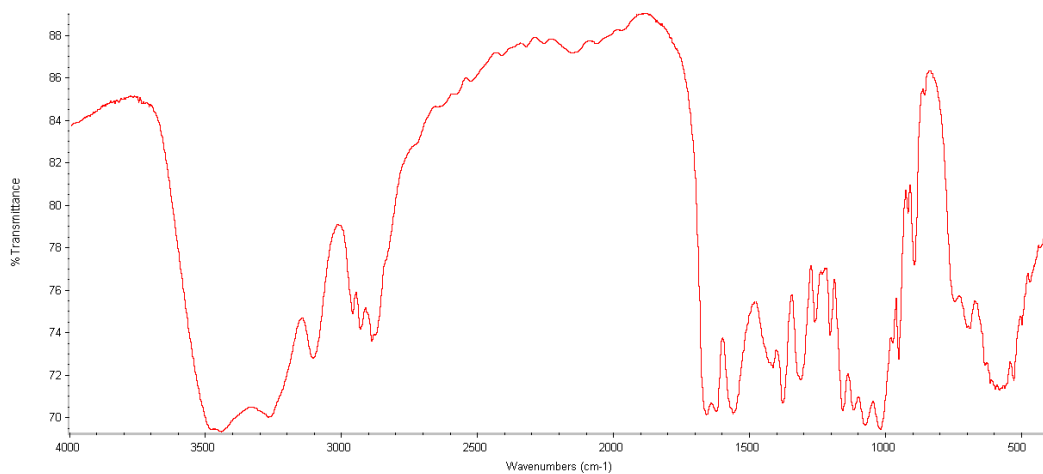
- [1] Farina A., Fievet M.H., Plassart F., Menet M.C. and Thuilliefl A.. Residual glutaraldehyde levels in fiberoptic endoscopes: measurement and implications for patient toxicity. Journal of Hospital Infection 43 (1 999) : 293-297.
- [2] Muzzarelli R.A.A.. Genipin-crosslinked chitosan hydrogels as biomedical and pharmaceutical aids. Carbohydrate Polymers 77 (2009): 1–9.
- [3] Shu X.Z. and Zhu K.J.. A novel approach to prepare tripolyphosphate/chitosan complex beads for controlled release drug delivery. International Journal of Pharmaceutics 201 (2000): 51–58.
- [4] Rinaud M..Chitin and chitosan: Properties and applications. Prog. Polym. Sci. 31 (2006): 603–632.
- [5] Kumar M.R..A review of chitin and chitosan applications. Reactive & Functional Polymers 46 (2000): 1–27.
- [6] Pillai C.K.S., Paul W. and Sharma C. P.. Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation. Progress in Polymer Science 34 (2009) : 641–678.
- [7] Department of Science Service. chitin\_chitosan. [Online]. 2008.  
Available from: [http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/ct\\_3\\_2545\\_chitin\\_chitosan.pdf](http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/ct_3_2545_chitin_chitosan.pdf) [2009, May 12]
- [8] Crystal Diagnostics Co.,Ltd. chitin\_chitosan. [Online] .2000.  
Available from: <http://www.thailabonline.com/chitin-chitosan.htm>  
[2009,May 12]
- [9] วิจิตรา กุสุมภ.การพยาบาลผู้ป่วยที่มีบาดแผล.พิมพ์ครั้งที่ 3.โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [10] ชาญวิทย์ ตันดีพิพัฒน์ และธนิต วัชรพุกก์.ตำราศัลยศาสตร์.พิมพ์ครั้งที่ 7.โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [11] วันเพ็ญ เตชะบุญเกียรติ.วัสดุตกแต่งบาดแผล.คัลเลอร์เวย์ 14 (2551) : 23-26.
- [12] Hanna J.R. and Giacopelli J.A.. A Review of Wound Healing and Wound Dressing Products. The Journal of Foot and Ankle Surgery 36 (1997) : 2-14.
- [13] Stashak T.S.,Farstvedt E. and Othic A.. Update on Wound Dressings: Indications and Best Use. Clin Tech Equine Pract 3(2004) :148-163.

- [14] Prescott L.M.,Harley J.P. and Klein D.A..Microbiology.Boston:McGraw-Hill Companies,Inc.,1999.
- [15] Je J.Y.and Kim S.K.. Antimicrobial action of novel chitin derivative. Biochimica et Biophysica Acta 1760 (2006): 104-109.
- [16] Lim Y.S. and Hudson S.M.. Synthesis and antimicrobial activity of a water-soluble chitosan derivative with a fiber-reactive group. Carbohydrate Research 339 (2004):313–319.
- [17] Kim Y.S., Kim H.W., Lee S.H., Shin K.S., Hur H.W. and Rhee Y.H.. Preparation of alginate–quaternary ammonium complex beads and evaluation of their antimicrobial activity. International Journal of Biological Macromolecules 41 (2007): 36-41.
- [18] Je Z.,Shen D. and Xu W.. Synthesis and antibacterial activities of quaternary ammonium salt of chitosan .Carbohydrate Research 333 (2001): 1-6.
- [19] Liu H.,DU Y.,Yang J. and Zhu H.. Structural characterization and antimicrobial activity of chitosan/betaine derivative complex. Carbohydrate Polymers 55 (2004) : 291–297.
- [20] Tanodekaew S., Prasitsilp M., SwasdisonS.,Thavornnyutikarn B., Pothsree T.and Pateepasen R.. Preparation of acrylic grafted chitin for wound dressing application.Biomaterials 25 (2004): 1453–1460.
- [21] Zhang M.,Li X.H.,Gong Y.D.,Zhao N.M. and Zhang X.F.. Properties and biocompatibility of chitosan films modified by blending with PEG. Biomaterials 23 (2002): 2641–2648.
- [22] Zhang X., Yang D. and Nie J.. Chitosan/polyethylene glycol diacrylate films as potential wound dressing material. International Journal of Biological Macromolecules 43 (2008): 456–462.

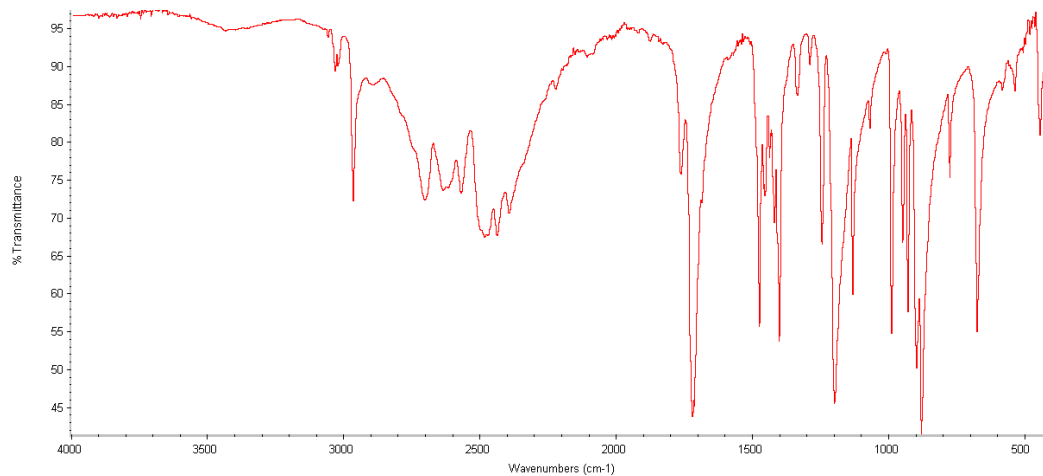
ภาคผนวก

## FTIR Spectra

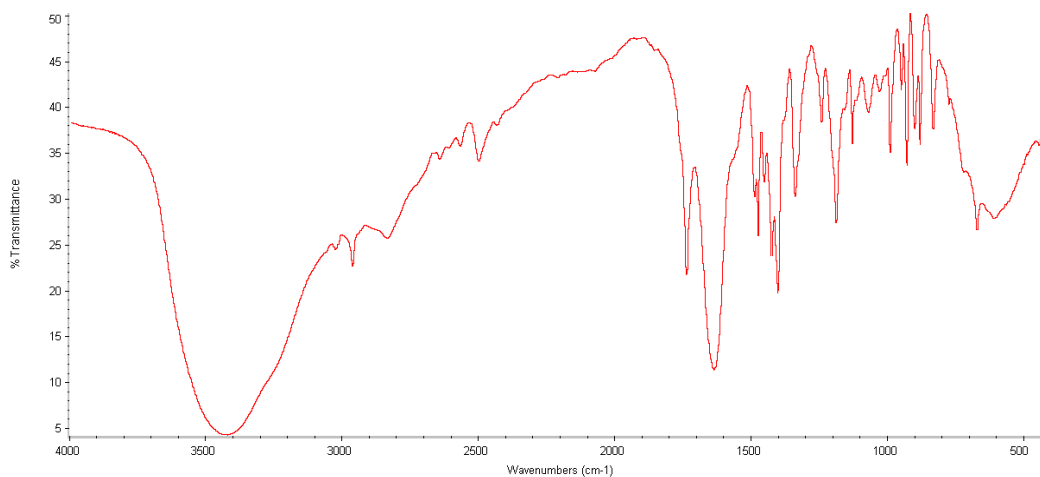
FTIR Spectra ของ chitin , carboxymethyl trimethyl ammonium chloride(CTA) และ quaternary ammonium chitin



รูป ก1 ไคติน (Chitin)



รูป ก2 คาร์บอกซิลเมทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (carboxymethyl trimethyl ammonium chloride)



รูป ก3 ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไคติน (Quaternary ammonium chitin)

### ระดับการแทนที่

วิเคราะห์ระดับการแทนที่ของหมู่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมบนโครงสร้างของไคติน ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{DS (ester linkage)} &= (A_{1735}/A_{1072}) \\ &= 17.489/11.653 \\ &= 1.500 \end{aligned}$$

ซึ่ง  $A_{1735}$  เป็นค่าของพื้นที่ใต้พีคซึ่งถูกอินทิเกรต ที่ความยาวคลื่น  $1735 \text{ cm}^{-1}$   
 $A_{1072}$  เป็นค่าของพื้นที่ใต้พีคซึ่งถูกอินทิเกรต ที่ความยาวคลื่น  $1072 \text{ cm}^{-1}$



### ความสามารถในการดูดซึมน้ำ

วิเคราะห์ความสามารถในการดูดซึมน้ำ โดยคำนวณจากเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการดูดซึมน้ำ ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Percent water absorption} = [(W_w - W_d) / W_d] \times 100$$

ซึ่ง  $W_w$  คือ น้ำหนักเจลเปียกภายหลังการดูดซึมน้ำ

$W_d$  คือ น้ำหนักเจลแห้งก่อนการดูดซึมน้ำ

ตาราง ข1 ค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการดูดซึมน้ำ

ตัวอย่าง	น้ำหนักไฮโดรเจล เปียก( $W_w$ ) : มิลลิกรัม	น้ำหนักไฮโดรเจล แห้ง( $W_d$ ) : มิลลิกรัม	% Water absorption(percent)
Chitin	42.1	14.6	188
	35.6	14.7	142
	41.5	15.7	164
	39.7	14.4	176
	37.2	15.1	146
Average	39.2	14.9	163
S.D.	±2.8	±0.5	±19
Quaternary ammonium chitin	78.9	29.8	165
	87.2	29.6	195
	84.5	29.8	184
	82.1	30.5	169
	77.4	30.2	156
Average	82.0	30.0	174
S.D.	±4.0	±0.4	±15

Chitin/PEG	4.7	1.4	235
	5.2	0.9	478
	4.4	1.1	300
	2.6	0.7	271
	5.5	1.2	358
Average	4.5	1.1	328
S.D.	±1.1	±0.3	±94
Quaternary Ammonium Chitin/PEG	9.4	1.8	422
	9.7	1.8	439
	7.0	1.3	438
	13.7	2.7	407
	15.4	2.7	471
Average	11.0	2.1	435
S.D.	±3.4	±0.6	±23

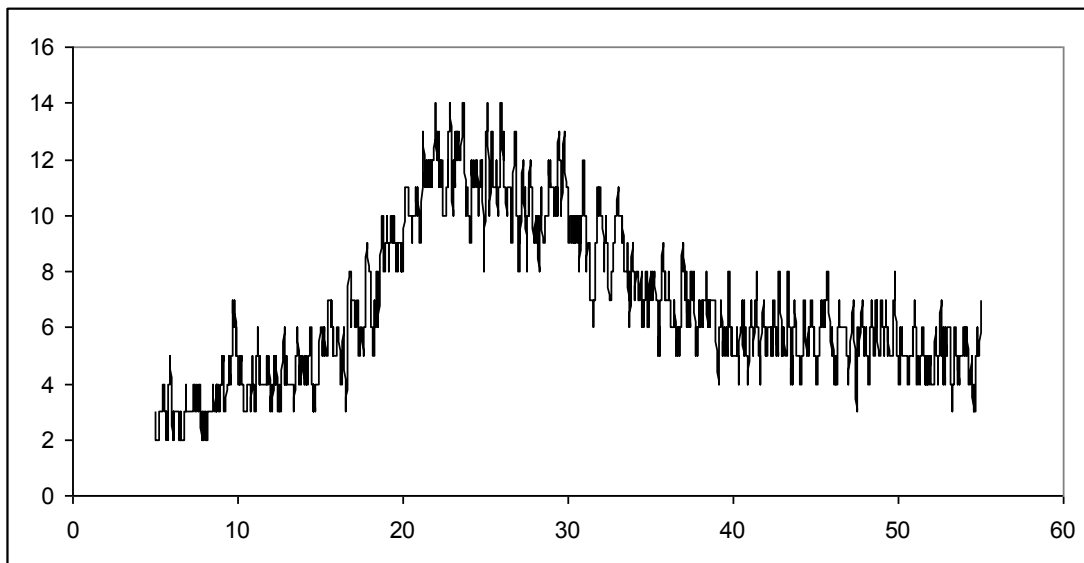
## ค่ามุมสัมผัส

ตาราง ค1 ค่ามุมสัมผัส (contact angle)

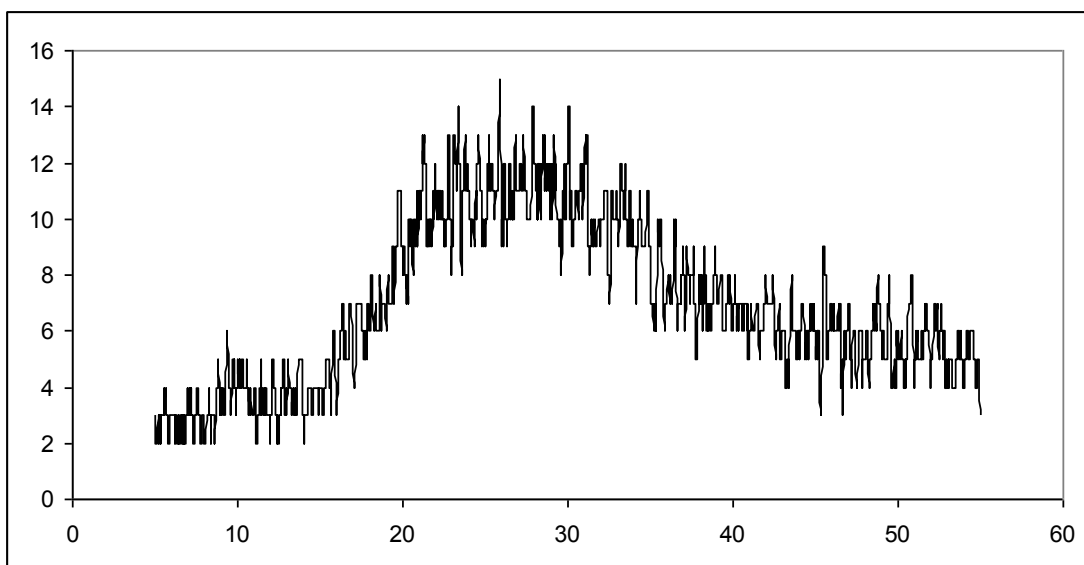
Sample	Contact angle (degree)
Chitin	52.0
	54.0
	56.0
	52.0
	54.0
	Average = 53.6
	S.D. = $\pm 1.67$
Quaternary ammonium chitin	32.0
	34.0
	36.0
	36.0
	32.0
	Average = 34.0
	S.D. = $\pm 2.00$

Chitin/PEG	42.0
	46.0
	44.0
	44.0
Quaternary ammonium chitin/PEG	46.0
	Average = 44.4
	S.D. = $\pm 1.67$
	30.0
Quaternary ammonium chitin/PEG	32.0
	28.0
	28.0
	32.0
Quaternary ammonium chitin/PEG	Average = 30.0
	S.D. = $\pm 2.00$

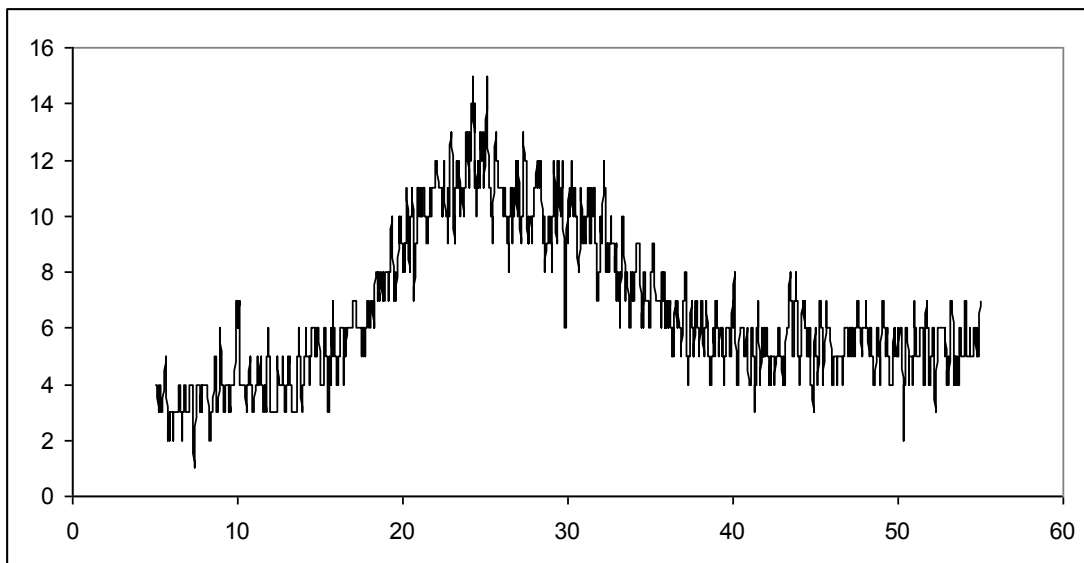
## XRD Patterns



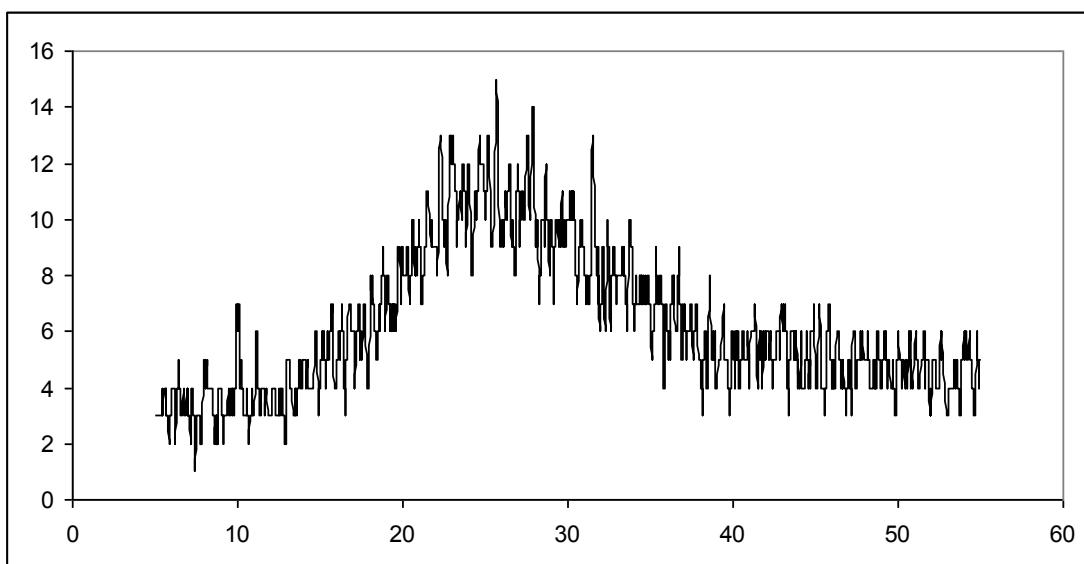
รูปง1 XRD ของไคตินเจล (Chitin gel)



รูปง2 XRD ของควอร์เทอรรนารีแอมโมเนียมไคตินเจล (Quaternary ammonium chitin gel)



รูป3 XRD ของร่างแหแบบสอดไขว้บางส่วนของไคติน/พอลิเอทิลีนไกลคอล (chitin/poly(ethylene glycol) semi-interpenetrating network)



รูป4 XRD ของร่างแหแบบสอดไขว้บางส่วนของของควอร์เทอร์นารีแอมโมเนียมไคติน/พอลิเอทิลีนไกลคอล (Quaternary ammonium chitin/poly(ethylene glycol) semi-interpenetrating network)

ความสามารถต้านแบคทีเรีย ชนิดแกรมลบ, *Escherichia coli*

Results: At "10 min." contact time

Test Microorganisms	Sample		The number of bacteria CFU/mL	% Reduction
<i>Escherichia coli</i>	Blank		$3.0 \times 10^6$	-
			$3.0 \times 10^6$	
			$3.0 \times 10^6$	
		Average	$3.0 \times 10^6$	
		S.D.	0.0	
	Chitin		$2.8 \times 10^6$	0.5
			$2.8 \times 10^6$	
			$2.7 \times 10^6$	
		Average	$2.8 \times 10^6$	
		S.D.	0.1	
	Quaternary ammonium chitin		0.0	100.0
			0.0	
			0.0	
		Average	0.0	
		S.D.	0.0	

Results: At "20 min." contact time

Test Microorganisms	Sample		The number of bacteria CFU/mL	% Reduction
<i>Escherichia coli</i>	Blank		$3.0 \times 10^6$	-
			$3.0 \times 10^6$	
			$3.0 \times 10^6$	
		Average	$3.0 \times 10^6$	
		S.D.	0.0	
	Chitin		$2.2 \times 10^6$	0.6
			$2.2 \times 10^6$	
			$3.8 \times 10^6$	
		Average	$2.7 \times 10^6$	
		S.D.	0.3	
	Quaternary ammonium chitin		0.0	100.0
			0.0	
		0.0		
	Average	0.0		
	S.D.	0.0		



Results: At "60 min." contact time

Test Microorganisms	Sample		The number of bacteria CFU/mL	% Reduction
<i>Escherichia coli</i>	Blank		$3.5 \times 10^6$	-
			$3.6 \times 10^6$	
			$3.7 \times 10^6$	
		Average	$3.6 \times 10^6$	
		S.D.	0.1	
	Chitin		$1.8 \times 10^6$	4.6
			$1.7 \times 10^6$	
			$2.0 \times 10^6$	
		Average	$1.8 \times 10^6$	
		S.D.	1.1	
	Quaternary ammonium chitin		0.0	100
			0.0	
		0.0		
	Average	0.0		
	S.D.	0.0		

ความสามารถต้านแบคทีเรีย ชนิดแกรมลบ, *Escherichia coli* : ที่เวลา 10 นาที

Test Microorganisms	Sample	Concentration (mg/mL)		The number of bacteria (CFU/mL)	% Reduction	
<i>Escherichia coli</i>	Blank	10		$3.0 \times 10^6$ $3.0 \times 10^6$ $3.0 \times 10^6$	-	
			Average	$3.0 \times 10^6$		
			S.D.	0.0		
		5		$1.9 \times 10^6$ $1.8 \times 10^6$ $1.9 \times 10^6$	-	
			Average	$1.9 \times 10^6$		
			S.D.	0.1		
	1		N/A			
		Quaternary ammonium chitin	10		0.0 0.0 0.0	100.0
				Average	0.0	
	S.D.		0.0			
	5			$1.1 \times 10^6$ $1.0 \times 10^6$ $1.0 \times 10^6$	4.3	
		Average	$1.0 \times 10^6$			
		S.D.	0.1			
	1		N/A	N/A		

ความสามารถต้านแบคทีเรีย ชนิดแกรมบวก, *Staphylococcus aureus*

Results: At "10 min." contact time

Test Microorganisms	Sample		The number of bacteria CFU/mL	% Reduction
<i>Staphylococcus aureus</i>	Blank		4.7x10 <sup>6</sup> 5.2x10 <sup>6</sup> 4.3x10 <sup>6</sup>	-
		Average	4.7 x 10 <sup>6</sup>	
		S.D.	0.4	
	Chitin		1.6 x 10 <sup>6</sup> 1.6 x 10 <sup>6</sup> 1.6 x 10 <sup>6</sup>	7.0
		Average	1.6 x 10 <sup>6</sup>	
		S.D.	0.0	
	Quaternary ammonium chitin		3.7 x 10 <sup>3</sup> 4.3 x 10 <sup>3</sup> 5.6 x 10 <sup>3</sup>	45.3
		Average	4.5 x 10 <sup>3</sup>	
		S.D.	0.9	

Results: At "20 min." contact time

Test Microorganisms	Sample		The number of bacteria CFU/mL	% Reduction	
<i>Staphylococcus aureus</i>	Blank		4.7 x 10 <sup>6</sup>	-	
			5.2 x 10 <sup>6</sup>		
			4.3 x 10 <sup>6</sup>		
		Average	4.7 x 10 <sup>6</sup>		
		S.D.	0.4		
	Chitin			1.5 x 10 <sup>6</sup>	6.0
				1.7 x 10 <sup>6</sup>	
				2.7 x 10 <sup>6</sup>	
		Average	1.9 x 10 <sup>6</sup>		
		S.D.	0.6		
	Quaternary ammonium chitin			5.0 x 10 <sup>3</sup>	73.7
				5.0 x 10 <sup>3</sup>	
			12.0 x 10 <sup>3</sup>		
	Average	7.0 x 10 <sup>3</sup>			
	S.D.	0.4			

Results: At "40 min." contact time

Test Microorganisms	Sample		The number of bacteria CFU/mL	% Reduction	
	Blank		4.7 x 10 <sup>6</sup> 5.2 x 10 <sup>6</sup> 4.3 x 10 <sup>6</sup>	-	
<i>Staphylococcus aureus</i>		Average	4.7 x 10 <sup>6</sup>		
		S.D.	0.4		
	Chitin			2.2 x 10 <sup>6</sup> 1.7 x 10 <sup>6</sup> 2.1 x 10 <sup>6</sup>	5.5
		Average		2.0 x 10 <sup>6</sup>	
		S.D.		0.3	
	Quaternary ammonium chitin			3.8 x 10 <sup>3</sup> 4.8 x 10 <sup>3</sup> 4.3 x 10 <sup>3</sup>	45.6
		Average		4.3 x 10 <sup>3</sup>	
		S.D.		0.5	

Results: At "60 min." contact time

Test Microorganisms	Sample		The number of bacteria CFU/mL	% Reduction
<i>Staphylococcus aureus</i>	Blank		4.7 x 10 <sup>6</sup>	-
			5.2 x 10 <sup>6</sup>	
			4.3 x 10 <sup>6</sup>	
		Average	4.7 x 10 <sup>6</sup>	
		S.D.	0.4	
	Chitin		2.5 x 10 <sup>6</sup>	0
			2.5 x 10 <sup>6</sup>	
			2.5 x 10 <sup>6</sup>	
		Average	2.5 x 10 <sup>6</sup>	
		S.D.	0.0	
	Quaternary ammonium chitin		4.0 x 10 <sup>3</sup>	100.0
			4.0 x 10 <sup>3</sup>	
		4.3 x 10 <sup>3</sup>		
	Average	4.1 x 10 <sup>3</sup>		
	S.D.	0.2		

Results: At "24 h." contact time

Test Microorganisms	Sample		The number of bacteria CFU/mL	% Reduction	
<i>Staphylococcus aureus</i>	Blank		$1.8 \times 10^6$	-	
			$2.4 \times 10^6$		
			$3.5 \times 10^6$		
		Average	$2.5 \times 10^6$		
		S.D.	0.8		
	Chitin			$5.2 \times 10^6$	0
				$4.8 \times 10^6$	
				$4.7 \times 10^6$	
			Average	$4.9 \times 10^6$	
		S.D.	0.3		
	Quaternary ammonium chitin			$0.0 \times 10^1$	78.2
				$5.0 \times 10^1$	
			-		
		Average	$2.5 \times 10^1$		
	S.D.	3.5			

ความสามารถต้านแบคทีเรีย ชนิดแกรมบวก, *Staphylococcus aureus* : ที่เวลา 24 ชั่วโมง

Test Microorganisms	Sample	Concentration (mg/mL)		The number of bacteria (CFU/mL)	% Reduction
<i>Staphylococcus aureus</i>	Blank	10		1.8 x 10 <sup>6</sup> 2.4 x 10 <sup>6</sup> 3.5 x 10 <sup>6</sup>	-
			Average	2.5 x 10 <sup>6</sup>	
			S.D.	0.8	
		5		2.6 x 10 <sup>6</sup> 2.9 x 10 <sup>6</sup> 3.8 x 10 <sup>6</sup>	-
			Average	3.1 x 10 <sup>6</sup>	
			S.D.	0.6	
		1		5.1 x 10 <sup>6</sup> 5.0 x 10 <sup>6</sup> 5.0 x 10 <sup>6</sup>	-
			Average	5.0 x 10 <sup>6</sup>	
			S.D.	0.1	
	Quaternary ammonium chitin	10		0.0 x 10 <sup>1</sup> 5.0 x 10 <sup>1</sup> -	100.0
			Average	2.5 x 10 <sup>1</sup>	
			S.D.	3.5	
		5		1.0 x 10 <sup>1</sup> 1.0 x 10 <sup>1</sup> -	84.2
			Average	1.0 x 10 <sup>1</sup>	
			S.D.	0.0	
		1		1.3 x 10 <sup>2</sup> 1.4 x 10 <sup>2</sup> 1.2 x 10 <sup>2</sup>	68.5
			Average	1.3 x 10 <sup>2</sup>	
			S.D.	0.1	



ศึกษาการเปรียบเทียบพอลิเอธิลีนไกลคอลต่อการต้านแบคทีเรีย

Results: At "60 min." contact time

Test Microorganisms	Sample		The number of bacteria CFU/mL	% Reduction
<i>Escherichia coli</i>	Blank		$3.5 \times 10^6$	-
			$3.6 \times 10^6$	
			$3.7 \times 10^6$	
		Average	$3.6 \times 10^6$	
		S.D.	0.1	
	PEG		$3.6 \times 10^6$	0.3
			$3.5 \times 10^6$	
			$3.3 \times 10^6$	
Average		$3.5 \times 10^6$		
	S.D.	0.1		

Results: At "60 min." contact time

Test Microorganisms	Sample		The number of bacteria CFU/mL	% Reduction
<i>Staphylococcus aureus</i>	Blank		$2.2 \times 10^6$	-
			$2.1 \times 10^6$	
			$2.6 \times 10^6$	
		Average	$2.3 \times 10^6$	
		S.D.	0.3	
	PEG		$2.9 \times 10^6$	0
			$4.7 \times 10^6$	
			$3.0 \times 10^6$	
Average		$3.5 \times 10^6$		
	S.D.	1.0		

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลง(%reduction)

$$\%Reduction = \frac{\log(\text{number of bacteria(CFU)})_{\text{before}} - \log(\text{number of bacteria(CFU)})_{\text{after}}}{\log(\text{number of bacteria(CFU)})_{\text{before}}} \times 100$$

*ตัวอย่างการคำนวณ*

$$\begin{aligned}\%Reduction &= [(\log(3.6 \times 10^6) - \log(3.5 \times 10^6)) / \log(3.6 \times 10^6)] \times 100 \\ &= [(6.56 - 6.54) / 6.56] \times 100 \\ &= 0.31\end{aligned}$$

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย เอกชัย สุขไพบุลย์ เกิดวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2527 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ ภาควิชาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เขตพระราชวังสนามจันทร์ ในปีการศึกษา พ.ศ. 2548 หลังจากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2550 และสำเร็จการศึกษาในภาคต้นปีการศึกษา 2553