

การเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ไฮโดรเจล
สำหรับการประยุกต์ตกแต่งแผลที่มีสมบัติต้านแบคทีเรีย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF CARBOXYMETHYL CELLULOSE/POLYVINYL ALCOHOL/TiO₂
HYDROGEL FOR ANTIBACTERIAL WOUND DRESSING APPLICATIONS



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

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/ นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ไฮโดรเจลสำหรับการประยุกต์ ตกแต่งแผ่นที่มีสมบัติด้านแบคทีเรีย
โดย	นายวัชรพล ขำช้าง
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ภาวี ศรีกุลกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณา ศิริเลิศมกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว อัจจงค์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภาวี ศรีกุลกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณา ศิริเลิศมกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะพร คามภีรภาพันธุ์)

วัชรพล ข้าช้าง : การเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/นาโนไททาเนียม ไดออกไซด์ไฮโดรเจลสำหรับการประยุกต์ตกแต่งแผลที่มีสมบัติต้านแบคทีเรีย. (

PREPARATION OF CARBOXYMETHYL CELLULOSE/POLYVINYL ALCOHOL/TiO₂ HYDROGEL FOR ANTIBACTERIAL WOUND DRESSING APPLICATIONS) อ.ที่ปรึกษา

หลัก : รศ. ดร.กาวี ศรีกุลกิจ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร.กฤษณา ศิริเลิศมกุล

งานวิจัยนี้ทำการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ไฮโดรเจลฟิล์มโดยใช้กรดซิดริกเป็นสารเชื่อมขวางสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นวัสดุตกแต่งแผล จากนั้นทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ดังนี้คือ การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค ATR-FTIR การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาที่พื้นผิวโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง การวิเคราะห์พฤติกรรมในการบวมตัว สัดส่วนการเกิดเจล ความสามารถในการกักเก็บยา ร้อยละการกักเก็บยา พฤติกรรมในการปลดปล่อยยา การต้านแบคทีเรียโดยวิเคราะห์จากร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย โดยจากการพิสูจน์เอกลักษณ์พบว่า การเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในฟิล์มทำให้ได้ฟิล์มที่มีสัดส่วนในการเกิดเจลที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ปริมาณกรดซิดริกเท่ากันในทางตรงกันข้ามพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณองค์ประกอบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในฟิล์มทำให้ค่าสัดส่วนการบวมตัวของฟิล์มมีค่าที่น้อยลงเพราะว่าการเพิ่มปริมาณองค์ประกอบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในฟิล์มทำให้เพิ่มระดับการเชื่อมขวางของฟิล์มจึงทำให้มีสัดส่วนการเกิดเจลที่เพิ่มขึ้นต่อมาจากเทคนิค ATR-FTIR ได้ยืนยันการเกิดการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยพันธะเอสเทอร์ และสำหรับทดสอบการทนต่อแรงดึงพบว่าค่าความคงทนต่อแรงดึง ค่าความเหนียว ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด ของฟิล์มมีค่าลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในการทดสอบฟิล์มแห่งต่อมาสำหรับการศึกษาพฤติกรรมในการกักเก็บยาของฟิล์มพบว่าฟิล์มทุกสูตรมีพฤติกรรมในการกักเก็บยาที่คล้ายคลึงกันและการศึกษาพฤติกรรมในการปลดปล่อยยาพบว่าฟิล์มทั้งหมดสามารถช่วยชะลอการปลดปล่อยยาเทรทาไซคลินให้ช้าลงได้สุดท้ายจากการทดสอบความสามารถในการต้านแบคทีเรียจากฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% พบว่าฟิล์มมีสมบัติต้านแบคทีเรียทั้งแกรมบวก (*S. aureus*) และ แกรมลบ (*E. coli*) โดยให้ค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 100 เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน JIS Z 2801 โดยสรุปจากข้อมูลผลการทดลองทั้งหมดทำให้สรุปได้ว่าไฮโดรเจลฟิล์มมีประสิทธิภาพที่เพียงพอในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุตกแต่งแผล

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์ ลายมือชื่อนิสิต

และเทคโนโลยีสิ่งทอ

ปีการศึกษา 2562 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6072098023 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORD: Sodium carboxymethylcellulose, Polyvinyl alcohol, Citric acid,
Nanotitanium dioxide, Hydrogel, Antibacterial activity

Watcharaphon Khamchang : PREPARATION OF CARBOXYMETHYL
CELLULOSE/ POLYVINYL ALCOHOL/ TiO₂ HYDROGEL FOR ANTIBACTERIAL
WOUND DRESSING APPLICATIONS. Advisor: Assoc. Prof. KAWEE SRIKULKIT, Ph.D.
Co-advisor: Asst. Prof. Krisana Siralermukul, Ph.D.

In this work, carboxymethylcellulose (CMC) - polyvinyl alcohol (PVA) - nano titanium dioxide hydrogel films were prepared using citric acid as a crosslinking agent for the wound dressing application. The films were characterized by ATR-FTIR, SEM, tensile testing and evaluated for swelling behavior, gel fraction, drug loading capacity, drug release profile and percentage reduction for antibacterial activity. The results were found that an increase in the amount of PVA caused an increase in the gel fraction when fixed the amount of citric acid. In the other hand, an increase in the amount of PVA caused a decrease in the swelling ratio because the increasing degree of crosslinking as the amount of gel fraction increased. The ATR-FTIR confirmed ester crosslinking formation between CMC and PVA. The results of tensile testing were found that the tensile strength, toughness and elongation at break were decreased as added polyvinyl alcohol content. Next, the drug loading profile was founded that all films had similarly loading drug profile. The release profile founded that the hydrogel films could retard tetracycline drug releasing. Finally, the result of antibacterial activity was found that films formula CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% could give percentage reduction in both gram-positive (*S.aureus*) and gram-negative (*E.coli*) to 100% according to JIS Z 2801 standard. From the overall results, hydrogel films had sufficient ability for wound dressing applications.

Field of Study: Applied Polymer Science
and Textile Technology

Student's Signature

Academic Year: 2019

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์อันเนื่องมาจากการได้รับความร่วมมือจากบุคคลและหน่วยงานต่างๆทั้งในด้านการให้คำแนะนำทางด้านวิชาการและด้านเทคนิคที่ถูกต้องในการทำการวิจัยอีกทั้งทางด้านเครื่องมืออุปกรณ์ งบประมาณเงินทุนในการวิจัย และ สถานที่ลงมือทำการวิจัย ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบคุณบุคคลต่างๆและหน่วยงานต่างๆดังต่อไปนี้ที่ให้ความร่วมมือสนับสนุนการวิจัยของข้าพเจ้าดังต่อไปนี้

1. รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีกุลกิจ ที่ได้ให้คำปรึกษาและชี้แนะเกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์นี้จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤษณา ศิริเลิศมุกุล ที่ได้ให้คำปรึกษาและชี้แนะเกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์นี้จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์
- 3.สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ให้การสนับสนุนเครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์นี้
4. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้การสนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์นี้
- 5.ครอบครัวและเพื่อนๆที่ได้ให้คำแนะนำและกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์นี้

2.1.3.1.3 วัสดุตกแต่งแผลแบบอินเทอร์แอคทีฟ (Interactive dressing) เป็นวัสดุตกแต่งแผลที่ทำหน้าที่ทั้งรักษาความชุ่มชื้นให้แก่บาดแผลและยังออกฤทธิ์ต่อองค์ประกอบต่างๆบริเวณตัวแผล	6
2.2 ไฮโดรเจล (Hydrogel).....	11
2.2.1 การจัดประเภทของไฮโดรเจล.....	12
แบ่งตามองค์ประกอบมอนอเมอร์ของไฮโดรเจล (Based on polymeric composition).....	12
2.2.2 คุณสมบัติที่สำคัญของไฮโดรเจล.....	14
2.2.3 สมบัติการตอบสนองต่อสิ่งเร้าจากสิ่งแวดล้อมที่มากระตุ้นพฤติกรรมการบวมตัวและหดตัวของวัสดุไฮโดรเจล	14
2.2.4 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆของวัสดุไฮโดรเจล [[11.....	15
2.3 โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodium carboxymethylcellulose) [[12	16
2.4 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol) [[3.....	17
2.5 กรดซิตริก (Citric acid) [[14.....	19
2.6 นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (Nano titanium dioxide) [[15	20
2.6 ยาเทตราไซคลิน (Tetracycline drug)	22
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	28
3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	28
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	28
3.3 แผนภูมิขั้นตอนการทดลอง	30
3.4 วิธีการทดลอง	31
3.4.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มระหว่างโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	31

3.4.2 การเตรียมนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มระหว่างโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกับ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเจือปนด้วยอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์.....	32
3.5 การพิสูจน์เอกลักษณ์และการทดสอบสมบัติ (Characterization and Experimental testing).....	33
3.5.1 การวิเคราะห์ร้อยละการบวมตัวของฟิล์มในสารละลายเกลือฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Swelling ratio percentage analysis).....	33
3.5.2 การวิเคราะห์ค่าร้อยละการเกิดเจล (Gel fraction percentage analysis).....	33
3.5.3 การทดสอบสมบัติการดูดซับยาและการปลดปล่อยยา (Drug loading and releasing experimental).....	34
3.5.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลโดยวัดความทนทานต่อแรงดึง (Mechanical tensile tesing)	36
3.5.5 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาที่พื้นผิว (Surface morphology analysis).....	37
3.5.6 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแอมพเทนนูเอตโททอลรีแฟรคแทรนฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปคโตรสโคปี (Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared spectroscopy analysis).....	38
3.5.7 การทดสอบสมบัติต้านทานแบคทีเรีย (Antibacterial activity testing).....	39
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	40
4.1 ผลการเตรียมพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มสัดส่วน CMC/PVA สัดส่วนต่างๆ โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง.....	40
4.2 การวิเคราะห์ร้อยละการเกิดเจลของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มและนาโนคอมโพสิตไฮโดร เจลฟิล์ม.....	41
4.2.1 ผลของปริมาณการใส่สารเชื่อมขวาง	41
4.2.2 ผลของปริมาณการใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	41
4.2.3 ผลของปริมาณการใส่อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์.....	42
4.3 การวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางทางเคมี	42

4.4 การวิเคราะห์ร้อยละความสามารถในการบวมตัวของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มและนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มในสารละลายเกลือฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส 48	
4.4.1 ผลของปริมาณสารเชื่อมขวางต่อค่าร้อยละการบวมตัวของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์ม	48
4.4.2 ผลของปริมาณการใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อค่าร้อยละการบวมตัวของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์ม	48
4.4.3 ผลของปริมาณการใส่อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์	49
4.5 ผลการเตรียมนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20/TiO ₂ 2% โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง	49
4.6 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตรต่างๆกับนาโนคอมโพสิตฟิล์ม CMC 80/PVA 20/TiO ₂ 2% โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง	50
4.7 การศึกษาสมบัติในการกักเก็บและปลดปล่อยยาเทรฮาไซคลินของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มกับนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์ม โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง	52
4.7.1 การวิเคราะห์ร้อยละประสิทธิภาพในการกักเก็บยา	52
4.7.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการกักเก็บยา	53
4.7.3 การศึกษาพฤติกรรมในการปลดปล่อยยา	54
4.8 การศึกษาสมบัติการต้านทานแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มและนาโนคอมโพสิตฟิล์มแบบฟิล์มแห้ง โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง	55
4.8.1 การวิเคราะห์ค่าความคงทนต่อแรงดึงของฟิล์มแห้ง	55
4.8.2 การวิเคราะห์ค่าความเหนียวของฟิล์มแห้ง	57
4.8.3 การวิเคราะห์ค่าร้อยละการยึดตัวที่จุดขาดของฟิล์มแห้ง	59
4.9 การทดลองสมบัติการต้านทานแบคทีเรียของนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์ม โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง	60
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	64
5.1 สรุปผลการทดลอง	64
5.2 ข้อเสนอแนะ	66

ภาคผนวก.....	72
บรรณานุกรม.....	91
ประวัติผู้เขียน.....	92



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 การยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบของผลิตภัณฑ์.....	61
ตารางที่ 2 การยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกของผลิตภัณฑ์.....	61
ตารางที่ 3 การยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบของตัวอย่าง CMC/PVA/TiO ₂ 2%, citric acid 20%.....	62



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปภาพที่ 2.1 แสดงแผนภาพหน้าที่ชื่อของวัสดุตกแต่งแผลในการช่วยสมานบาดแผล [8]	5
รูปภาพที่ 2.2 แสดงวัสดุตกแต่งแผลแบบแผ่นไฮโดรเจล [23]	7
รูปภาพที่ 2.3 แสดงภาพของวัสดุตกแต่งแผลแบบแผ่นฟิล์มโปร่งใส [24]	8
รูปภาพที่ 2.4 แสดงวัสดุตกแต่งแผลไฮโดรคอลลอยด์ [25]	9
รูปภาพที่ 2.5 แสดงภาพของวัสดุตกแต่งแผลแบบโฟมกึ่งให้ซึมผ่าน [26]	9
รูปภาพที่ 2.6 แสดงภาพวัสดุตกแต่งแผลแคลเซียมอัลจิเนต [27]	10
รูปภาพที่ 2.7 แสดงภาพวัสดุตกแต่งแผลแบบโฟม [28]	11
รูปภาพที่ 2.8 แสดงโครงสร้างสามมิติของไฮโดรเจล [29]	12
รูปภาพที่ 2.9 แสดงแผนภาพการจัดประเภทของไฮโดรเจล [10]	14
รูปภาพที่ 2.10 แสดงแผนภาพของสิ่งเร้าจากสิ่งแวดล้อมที่มากระตุ้นให้เกิดการบวมตัว	15
รูปภาพที่ 2.11 แสดงแผนภาพกระบวนการคาร์บอกซิเมทิลเลชันเพื่อเปลี่ยนเซลลูโลสเป็น	16
รูปภาพที่ 2.12 แสดงกระบวนการสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [3]	17
รูปภาพที่ 2.13 แสดงโครงสร้างทางเคมีของกรดซิตริก [25]	19
รูปภาพที่ 2.14 แสดงแผนภาพกลไกการเร่งด้วยแสงของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ [16]	21
รูปภาพที่ 2.15 แสดงภาพกลไกการต้านแบคทีเรียของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ [17]	22
รูปภาพที่ 2.16 แสดงโครงสร้างของโมเลกุลเททราไฮคลิน [30]	23
รูปภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงภาพรวมงานวิจัย	30
รูปภาพที่ 3.2 เครื่องวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ยี่ห้อ Lab Tech	36
รูปภาพที่ 3.3 เครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล ยี่ห้อ Tinius Olsen	37
รูปภาพที่ 3.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-IT500HR	38
รูปภาพที่ 3.5 เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Thermo Scientific	39

รูปภาพที่ 4.1 สูตร CMC 100/PVA 0 (a), CMC 90/PVA 10 (b), CMC 80/PVA 20 (c), CMC 70/PVA 30 (d) & CMC 50/PVA 50 (e) แสดงภาพลักษณะของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์ม 40

รูปภาพที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการเกิดเจลพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์ม สัดส่วนต่างๆกับปริมาณร้อยละกรดซิตริกที่ใส่..... 41

รูปภาพที่ 4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการเกิดเจลของไฮโดรเจลฟิล์มสัดส่วน..... 42

รูปภาพที่ 4.4 แสดงกราฟสเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ของพอลิเมอร์ผสมฟิล์ม สูตร CMC 100/PVA 0, CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ..... 43

รูปภาพที่ 4.5 แสดงกราฟสเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ของพอลิเมอร์ผสมฟิล์ม สูตร CMC 100/PVA 0, CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 ตามลำดับ โดยมีกรดซิตริก 15% เป็นสารเชื่อมขวาง..... 44

รูปภาพที่ 4.6 แสดงกราฟสเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ของพอลิเมอร์ผสมฟิล์ม 45

รูปภาพที่ 4.7 แสดงกราฟสเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ของพอลิเมอร์ผสมฟิล์ม สูตร CMC 100/PVA 0, CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 ตามลำดับ โดยมีกรดซิตริก 25% เป็นสารเชื่อมขวาง..... 47

รูปภาพที่ 4.8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการบวมตัวของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มที่สัดส่วนต่างๆกับปริมาณร้อยละของกรดซิตริกที่ใส่..... 48

รูปภาพที่ 4.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการบวมตัวของไฮโดรเจลฟิล์มที่สัดส่วน .. 49

รูปภาพที่ 4.10 CMC 80/PVA 20 (a) และ CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% (b) แสดงภาพของไฮโดรเจลฟิล์มระหว่างสูตร CMC 80/PVA 20 กับ สูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง..... 50

รูปภาพที่ 4.11 CMC 100/PVA 0 (a), CMC 90/PVA 10 (b), CMC 80/PVA 20 (c), CMC 70/PVA 30 (d) และ CMC 50/PVA 50 (e) โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง โดยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า..... 51

รูปภาพที่ 4.12 แสดงภาพลักษณะสัณฐานวิทยาที่พื้นผิวของนาโนคอมโพสิตฟิล์ม CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง โดยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า 52

รูปภาพที่ 4.13 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละประสิทธิภาพในการกักเก็บยาเททราไซคลิน	53
รูปภาพที่ 4.14 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการกักเก็บยาเททราไซคลินที่ สัดส่วน CMC/PVA 50/50, 70/30 และ 80/20 ที่ใส่อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์สัดส่วนต่างๆ โดย มีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง.....	54
รูปภาพที่ 4.15 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการปลดปล่อยยาเททราไซคลินของพอลิเมอร์ ผสมไฮโดรเจลฟิล์มสัดส่วนต่างๆกับเวลาในหน่วยชั่วโมง โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง .	55
รูปภาพที่ 4.16 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคงทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มแห้ง CMC/PVA สัดส่วนต่างๆ โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง	56
รูปภาพที่ 4.17 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคงทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มแห้ง CMC 80/PVA 20 กับ นาโนคอมโพสิตฟิล์ม CMC 80/PVA 20/TiO ₂ 2% โดยมีกรดซิตริก 20% เป็น สารเชื่อมขวาง	57
รูปภาพที่ 4.18 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนียวของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มแห้ง CMC/PVA สัดส่วนต่างๆ โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง	58
รูปภาพที่ 4.19 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนียวของฟิล์มแห้งของพอลิเมอร์ผสมฟิล์ม CMC 80/PVA 20 กับ นาโนคอมโพสิตฟิล์ม CMC 80/PVA 20/TiO ₂ 2% โดยมีกรดซิตริก 20% เป็น สารเชื่อมขวาง	58
รูปภาพที่ 4.20 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการยึดตัวที่ตำแหน่งขาดของพอลิเมอร์ ผสมฟิล์มแห้ง CMC/PVA สัดส่วนต่างๆ โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง	59
รูปภาพที่ 4.21 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการยึดตัวที่ตำแหน่งขาดของฟิล์ม CMC 80/PVA 20 กับ CMC 80/PVA 20/TiO ₂ 2% โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง	60
รูปภาพที่ 4.22 จำนวนแบคทีเรีย <i>Escherichia coli</i> บนผลิตภัณฑ์ CMC/PVA/TiO ₂ 2%, citric acid 20% ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10 ⁻³ (A) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10 ⁰	62
รูปภาพที่ 4.23 จำนวนแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> บนผลิตภัณฑ์ CMC/PVA/TiO ₂ 2%, citric acid 20% ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10 ⁻³ (A) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10 ⁰ (B) ...	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 มูลเหตุจูงใจ และที่มาของโครงการวิจัย

ในปัจจุบันวัสดุตกแต่งบาดแผลมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในทางการแพทย์และศัลยกรรมตกแต่ง โดยวัสดุตกแต่งบาดแผลแบบไฮโดรเจลฟิล์มเป็นอีกวัสดุทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ วัสดุตกแต่งบาดแผลที่มีลักษณะดังนี้ แผลที่ไม่ลึกมาก แผลที่แห้งและแผลที่มีปริมาณสารคัดหลั่งออกมาน้อย โดยสมบัติที่สำคัญที่ช่วยรักษาบาดแผลของไฮโดรเจลฟิล์มคือ ช่วยรักษาความชุ่มชื้นให้แก่บาดแผลโดยการค่อยๆปลดปล่อยน้ำไปที่บาดแผลช่วยกระตุ้นให้เนื้อเยื่อไฟโบรบลาสต์มาเจริญเติบโตเพื่อสมานบาดแผลจนหายเป็นปกติและต่อมาได้มีการใส่สารต้านแบคทีเรียเข้าไปในส่วนผสมของไฮโดรเจลฟิล์มเพื่อป้องกันไม่ให้เชื้อแบคทีเรียเข้ามาทำให้เนื้อเยื่อบาดแผลเกิดการติดเชื้อทำให้แผลหายยากหรืออาจเน่าได้ โดยวัสดุที่น่าสนใจใช้สังเคราะห์เป็นไฮโดรเจลฟิล์มมีหลากหลายชนิด เช่น เจลาติน โซเดียมอัลจิเนต ไคโตซานและโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นต้น โดยโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นสารพอลิเมอร์ตัดแปรจากเซลลูโลสซึ่งเป็นสารที่สกัดจากธรรมชาติคือพบเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในผนังเซลล์พืชทำให้สามารถหาได้ง่าย ราคาไม่สูงและสามารถเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อของร่างกายมนุษย์ เป็นต้น โดยสมบัติที่น่าสนใจของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ทำให้เหมาะสมที่จะนำมาใช้สังเคราะห์เป็นไฮโดรเจลฟิล์มคือ ความสามารถในการดูดซับน้ำได้สูงและความเป็นพิษต่อเซลล์ที่ต่ำ ซึ่งปัจจุบันกระบวนการสังเคราะห์โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นไฮโดรเจลฟิล์มที่ใช้กันแพร่หลายคือการสังเคราะห์แบบเคมีกล่าวคือการนำโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมาผ่านการทำปฏิกิริยาเคมีกับสารเชื่อมขวางที่เป็นพิษต่อเซลล์ร่างกายต่ำซึ่งหนึ่งในนั้นคือกรดซิตริกซึ่งเป็นสารที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาการหมักของน้ำตาลกลูโคสที่พบในสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำ แต่ด้วยข้อจำกัดอย่างหนึ่งของไฮโดรเจลฟิล์มชนิดที่กล่าวมาข้างต้นคือมีปริมาณความเป็นเจลต่ำจึงทำให้สมบัติเชิงกลตอนเป็นเจลต่ำ [1] และมีความสามารถในการยึดติดกับเนื้อเยื่อร่างกายมนุษย์ไม่สูงนักทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนสูตรในการสังเคราะห์โดยการนำพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่ช่วยให้การสังเคราะห์ได้ไฮโดรเจลฟิล์มที่มีปริมาณความเป็นเจลที่สูงขึ้น ยึดติดกับเนื้อเยื่อร่างกายมนุษย์ได้ดีขึ้น และมีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อร่างกายมนุษย์ เป็นต้น ซึ่งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติตามที่กล่าวมาข้างต้น

การสังเคราะห์ไฮโดรเจลฟิล์มจากโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปัจจุบันโดยการสังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยาเคมีโดยใช้กรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวางนั้นให้ไฮโดรเจลฟิล์มที่มีค่าปริมาณ

ความเป็นเจลที่ต่ำเมื่อใช้โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีระดับการแทนที่สูงเพราะสายโซ่พอลิเมอร์ของโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสนั้นมีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นประจุลบจำนวนมากในสายโซ่ทำให้เกิดแรงผลักกันระหว่างสายโซ่ใกล้เคียงกันทำให้สายโซ่พอลิเมอร์มีระยะห่างระหว่างกันที่สูงทำให้ยากต่อการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางทางเคมีระหว่างสายโซ่โดยใช้กรดซิตริก [2] พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติที่โดดเด่นคือ สามารถเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อร่างกายมนุษย์ ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ความเป็นพิษต่อเซลล์ต่ำและราคาไม่สูงนักทำให้มีการนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุต่างๆ เช่น วัสดุชีวการแพทย์ วัสดุนำส่งยาและบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากในสายโซ่ทำให้เหมาะที่จะนำมาสังเคราะห์เป็นวัสดุไฮโดรเจลทั้งผ่านการเชื่อมขวางทางกายภาพและการเชื่อมขวางทางเคมี [3] กรดซิตริกเป็นกรดอินทรีย์ที่สามารถทำให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลในหน่วยซ้ำได้โดยเมื่อให้อุณหภูมิที่สูงเพียงพอรระดับหนึ่งกรดซิตริกจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอกซิลในโมเลกุลตัวเองแล้วเกิดการสูญเสียน้ำสุดท้ายเกิดเป็นซิทริกแอนไฮไดรด์ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิเมอร์เกิดเป็นพันธะเอสเทอร์ซึ่งเป็นสะพานเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ [4] เทตราไฮคลินเป็นยาปฏิชีวนะที่ใช้กันแพร่หลายในการรักษาอาการติดเชื้อในผิวหนัง กระจกและเนื้อเยื่ออ่อน โดยนิยมใช้รักษาการติดเชื้อแบคทีเรียทางบริเวณผิวหนังเป็นอย่างมาก [5] นาโนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารอนูภาคระดับนาโนที่นิยมใช้เป็นสารต้านแบคทีเรียในวัสดุหลากหลาย เช่น วัสดุทางการแพทย์ บรรจุภัณฑ์อาหารและของเล่นเด็ก เป็นต้น โดยความสามารถที่โดดเด่นในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียโดยผ่านปฏิกิริยาการเร่งด้วยแสงยูวีทำให้เกิดเป็นโมเลกุลที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยา เช่น ไฮดรอกซิลแรดดิคัล ซูเปอร์ออกซิเจนออกไซด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น โดยโมเลกุลเหล่านี้จะเข้าไปทำลายผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียทำให้เกิดการรั่วไหลของของเหลวภายในเซลล์ทำให้เซลล์แบคทีเรียตายในที่สุดจึงทำให้ออกฤทธิ์ต้านทั้งแบคทีเรียชนิดแกรมบวกและแกรมลบ [6] ดังนั้นผู้เขียนจึงได้ทำการศึกษาวิธีการสังเคราะห์ไฮโดรเจลฟิล์มโดยการนำโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยสังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวางรวมถึงมีการเจือปนด้วยอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์พร้อมทั้งทำการทดสอบสมบัติการกักเก็บยาเทตราไฮคลินของนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มซึ่งคาดว่าจะทำให้ได้นาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มที่มีปริมาณความเป็นเจลที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้พอลิเมอร์เพียงชนิดเดียวคือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในการสังเคราะห์ทำให้นาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น และต้านทานการละลายน้ำมากขึ้นทำให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นและยังสามารถต้านทานแบคทีเรียได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มโดยใช้พอลิเมอร์คือ โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นสารเชื่อมขวางและศึกษาการเตรียมนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มโดยใช้พอลิเมอร์คือ โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นสารเชื่อมขวางและเจือปนด้วยอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์
2. ศึกษาคุณสมบัติเชิงเคมีกายภาพ เช่น สมบัติการบวมตัวของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มและนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มในสารละลายเกลือฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีค่าพีเอช 7.4 สมบัติปริมาณความเป็นเจลที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมขวางทางเคมี สมบัติเชิงกลตอนฟิล์มแห้งและยืนยันการเกิดการเชื่อมขวางทางเคมีซึ่งคือการเกิดพันธะเอสเทอร์
3. ศึกษาสมบัติการกักเก็บยาเทรธาไซคลิน การปลดปล่อยยาเทรธาไซคลินของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์ม
4. ศึกษาสมบัติการต้านทานแบคทีเรียแกรมบวกคือ *S. aureus* และ แกรมลบคือ *E. Coli* ของนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์ม



บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

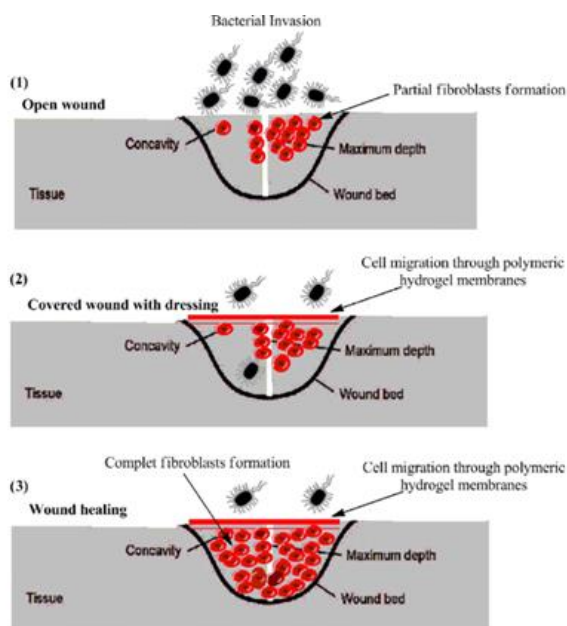
2.1 วัสดุตกแต่งแผล (Wound dressing materials)

2.1.1 คำจำกัดความของวัสดุตกแต่งแผล

วัสดุตกแต่งแผล [7] คือวัสดุที่สัมผัสกับแผลซึ่งทำหน้าที่สร้างสภาพที่เหมาะสมในการซ่อมแซมบาดแผลของเนื้อเยื่อร่างกายโดยมีความสามารถที่จะป้องกันไม่ให้แผลเกิดการลุกลามและยังสามารถป้องกันไม่ให้เชื้อโรคจากภายนอกเข้าสู่บาดแผล

2.1.2 หน้าที่ของวัสดุตกแต่งแผล [7]

- สร้างสภาพที่เหมาะสมในการซ่อมแซมเนื้อเยื่อของบาดแผลโดยการรักษาความชุ่มชื้น อุณหภูมิบริเวณบาดแผลทำให้เกิดการซ่อมแซมเนื้อเยื่อบริเวณบาดแผลได้ดี
- ปกคลุมบริเวณบาดแผลเพื่อป้องกันการกระทบกระเทือนจากภายนอกซึ่งจะทำให้บาดแผลเกิดการอักเสบเพิ่มขึ้นไปอีก
- ป้องกันเชื้อโรคจากภายนอกที่จะเข้ามาทำให้แผลเกิดการติดเชื้อ
- บางชนิดสามารถนำส่งสารออกฤทธิ์ที่ฆ่าเชื้อโรคบริเวณบาดแผลทำให้แผลหายได้เร็วยิ่งขึ้น
- สามารถดูดซับของเหลวคั่งหลังจากบาดแผล เช่น เลือด น้ำเหลือง เป็นต้น ทำให้แผลไม่เปียกเกินไป
- ป้องกันกลิ่นอันไม่พึงประสงค์จากบาดแผลไม่ให้แพร่สู่ภายนอก
- ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดแผลเป็น
- ช่วยเร่งให้แผลหายเร็วขึ้น
- ช่วยทำให้เกิดเมแทบอลิซึมของไฮดรอนไลอะบริเวณแผล



รูปภาพที่ 2.1 แสดงแผนภาพหน้าที่ของวัสดุตกแต่งแผลในการช่วยสมานบาดแผล [8]

2.1.3 ประเภทของวัสดุตกแต่งแผล [7]

2.1.3.1 วัสดุตกแต่งบาดแผลแบบดั้งเดิม

วัสดุตกแต่งบาดแผลแบบดั้งเดิมโดยทั่วไปมีดังนี้

- วัสดุโครงร่างตาข่าย (Gauze) ทำจากผ้าทอ (Woven) และนอนวูฟเวน (Non woven) ซึ่งวัสดุเหล่านี้ทำมาจากเส้นใยฝ้าย เรยอน พอลิเอสเตอร์ เป็นต้น โดยบางชนิดของวัสดุชนิดนี้สามารถป้องกันการติดเชื้อได้ซึ่งข้อดีของวัสดุนี้คือมีราคาที่เหมาะสมแต่มีข้อเสียคือ เนื่องจากวัสดุทำจากเส้นใยทำให้สามารถดูดซับของเหลวจากแผลได้ดีทำให้เวลาจะดึงออกทำให้เกิดการยึดติดกับผิวหนังบริเวณแผลทำให้เกิดอาการเจ็บปวดต่อผู้ใช้งานอีกทั้งจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนบ่อยครั้งเพื่อป้องกันการเปื่อยยุ่ยของเนื้อเยื่อระหว่างการสมานบาดแผล

- ผ้าพันแผล (Bandage) ทำจากเส้นใยธรรมชาติ เช่น ฝ้าย ขนสัตว์ เป็นต้น และจากเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยพอลิเอไมด์ โดยผ้าพันแผลที่ทำจากเส้นใยฝ้ายมีข้อดีคือเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาทำให้มีสัมผัสที่เบาสบายและอ่อนนุ่มต่อผู้ใช้งาน ส่วนผ้าพันแผลที่ทำจากเส้นใยพอลิเอไมด์นั้นมีความสมบัติในการทนทานต่อการกัดกร่อนทำให้ช่วยป้องกันแรงดันจากภายนอกที่จะทำให้แผลเกิดการเสียหายและสร้างความเจ็บปวดให้กับผู้ใช้งานแต่มีข้อเสียคือสามารถยึดตัวได้น้อย

2.1.3.2 วัสดุตกแต่งแผลยุคใหม่ (Modern wound dressing)

วัสดุตกแต่งแผลยุคใหม่ถูกออกแบบมาเพื่อชดเชยสิ่งที่ขาดหายของวัสดุตกแต่งดั้งเดิมคือการช่วยรักษาความชุ่มชื้นแก่บาดแผลซึ่งจะช่วยกระตุ้นให้เนื้อเยื่อบริเวณบาดแผลเกิดการรวมตัวกันและ

สมานบาดแผลทำให้บาดแผลหายเร็วขึ้นโดยส่วนใหญ่วัสดุตกแต่งแผลยุคใหม่จะทำมาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์

วัสดุตกแต่งแผลยุคใหม่แบ่งออกได้ 3 ประเภทหลัก

2.1.3.2.1 วัสดุตกแต่งแผลแบบพาสซีฟ (Passive dressing) เป็นวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นชั้นที่ปกป้องบาดแผลธรรมดา

2.1.3.1.2 วัสดุตกแต่งแผลแบบแอคทีฟ (Active dressing) เป็นวัสดุที่ทำหน้าที่ช่วยรักษาความชุ่มชื้นให้แก่บาดแผลทำให้บาดแผลหายเร็วยิ่งขึ้น

2.1.3.1.3 วัสดุตกแต่งแผลแบบอินเทอร์แอคทีฟ (Interactive dressing) เป็นวัสดุตกแต่งแผลที่ทำหน้าที่ทั้งรักษาความชุ่มชื้นให้แก่บาดแผลและยังออกฤทธิ์ต่อองค์ประกอบต่างๆบริเวณตัวแผล

กลไกในการสมานบาดแผลที่สำคัญของวัสดุตกแต่งแผลแบบอินเทอร์แอคทีฟมีดังนี้

- รักษาความชุ่มชื้นให้แก่บาดแผล
- ช่วยลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบริเวณแผล
- ช่วยลดปริมาณของเหลวที่เป็นสารคัดหลั่งที่ออกจากแผล
- ช่วยอำนวยความสะดวกในการสร้างเนื้อเยื่อคอลลาเจนบริเวณบาดแผล
- ช่วยกำจัดเนื้อเยื่อที่ตายแล้วบริเวณบาดแผลออกไป
- ช่วยปกป้องให้เนื้อเยื่ออีพิเทลิเยล (Epithelial tissue) เกิดการเจริญเติบโต

วัสดุตกแต่งแผลแบบอินเทอร์แอคทีฟแบ่งตามประเภทหลักได้ดังนี้

วัสดุตกแต่งแผลแบบต้านเชื้อจุลินทรีย์ (Antibacterial wound dressing) เช่น วัสดุตกแต่งแผลที่ประกอบด้วยซิลเวอร์ (Silver dressing) วัสดุตกแต่งแผลที่ประกอบด้วยพอลิเฮกซะเมทิลีนไบกัวไนด์ (PHMB wound dressing) วัสดุตกแต่งแผลที่ประกอบด้วยคาร์เดม็อกเซอร์ไอโอดีน (Cadomoxer iodine wound dressing) เป็นต้น

วัสดุตกแต่งแผลแบบไฮโดรเจล (Hydrogel wound dressing)

เป็นวัสดุประเภทอสัณฐานเจลที่ประกอบด้วยน้ำหรือกลีเซอรินประมาณ 80 – 90 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักทั้งหมดของวัสดุซึ่งวัสดุชนิดนี้มีจุดเด่นที่สำคัญคือช่วยรักษาความชุ่มชื้นให้แก่บริเวณแผลไม่ติดแผล ยอมให้ไอน้ำ แก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ผ่านได้

ลักษณะการใช้งาน ใช้งานกับบาดแผลที่แห้งและอยู่ระยะที่เกือบหายเป็นปกติแล้ว



รูปภาพที่ 2.2 แสดงวัสดุตกแต่งแผลแบบแผ่นไฮโดรเจล [23]

ข้อดี

- ช่วยรักษาความชุ่มชื้นให้แก่บาดแผล
- ไม่ติดกับแผลทำให้เวลาดึงออกไม่ทำให้เกิดการเจ็บปวด
- ช่วยเร่งกระบวนการสลายตัวของเนื้อเยื่อบริเวณที่แผลที่ตายแล้วทำให้แผลหายเร็วขึ้น

ข้อเสีย

- ไม่เหมาะกับบาดแผลที่มีการติดเชื้อ
- อาจจำเป็นต้องติดกับวัสดุรองรับด้วย

วัสดุตกแต่งแผลแบบแผ่นฟิล์มโปร่งใส (Transparent film wound dressing)

เป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบเป็นพอลิยูรีเทนที่ช่วยกั้นน้ำไม่ให้เข้าสู่บาดแผลเป็นชั้นหนึ่งโดยติดกับชั้นที่สัมผัสกับบาดแผล โดยมีลักษณะการใช้งานคือใช้กับบาดแผลที่ค่อนข้างแห้ง บาดแผลที่มีความหนาไม่มาก บาดแผลที่โดนไหม้เล็กน้อย เป็นต้น

ข้อดี

- ช่วยให้มองเห็นแผลได้ทำให้รู้ถึงระยะในการสมานบาดแผล
- สามารถให้อากาศ แก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ผ่านได้แต่ไม่ยอมให้น้ำและแบคทีเรียซึมผ่าน
- ราคาถูก
- ช่วยลดการเสียดสีของบาดแผล

ข้อเสีย

- อาจทำให้เกิดการบาดเจ็บที่แผลซ้ำเวลาดึงแผ่นวัสดุออกจากแผล
- ไม่สามารถใช้กับแผลติดเชื้อได้



รูปภาพที่ 2.3 แสดงภาพของวัสดุตกแต่งแผลแบบแผ่นฟิล์มโปร่งใส [24]

วัสดุตกแต่งแผลแบบไฮโดรคอลลอยด์

เป็นวัสดุตกแต่งแผลที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่สามารถดูดซับของเหลวจากแผลได้อย่างช้าๆ โดยมีลักษณะการใช้งานคือใช้กับแผลที่มีความหนาบางส่วนและมีความหนา

ข้อดี

- สามารถใช้กับแผลที่มีความลึกต่างๆได้โดยใช้ในรูปแบบ พาสต์ แกรนูล ผง
- สามารถปรับให้เหมาะสมกับรูปร่าง
- สามารถป้องกันน้ำและแบคทีเรียที่จะเข้ามาสู่บาดแผล
- เป็นฉนวนความร้อน
- ช่วยรักษาความชุ่มชื้นให้แก่แผล
- ช่วยเร่งการสลายเนื้อเยื่อที่ตายแล้วบริเวณแผลทำให้บาดแผลหายเร็วขึ้น

ข้อเสีย

- เวลาเอาออกจากบาดแผลอาจทำให้เกิดการเสียหายของบาดแผลซ้ำ
- ไม่สามารถใช้กับแผลติดเชื้อได้
- ดึงองค์ประกอบที่อยู่บริเวณตัวแผลออกไปด้วยเวลาเอาออก



รูปภาพที่ 2.4 แสดงวัสดุตกแต่งแผลไฮโดรคอลลอยด์ [25]

วัสดุตกแต่งแผลแบบโฟมกึ่งให้ซึมผ่าน (Semipermeable foam)

เป็นวัสดุตกแต่งแผลที่ทำจากพอลิยูรีเทนโฟมที่ประกอบด้วย 2 ชั้นคือ ชั้นที่ติดกับส่วนบาดแผลจะเป็นส่วนที่ซอบน้ำแต่ส่วนที่อยู่ชั้นนอกจะเป็นส่วนที่ไม่ซอบน้ำ โดยการใช้งานจะใช้กับแผลที่มีปริมาณของเหลวคั่งหลังปริมาณปานกลางถึงสูงสุด แผลที่โดนไหม้ แผลกดทับ เป็นต้น

ข้อดี

- รักษาความชุ่มชื้นให้แก่บาดแผล
- เร่งกระบวนการสลายตัวของเนื้อเยื่อที่ตายแล้วบริเวณบาดแผล
- เป็นฉนวนกันความร้อน

ข้อเสีย

- ไม่สามารถใช้กับแผลที่ติดเชื้อได้ไม่ว่าจะเปลี่ยนทุกวันก็ตาม
- ทำให้เกิดความเจ็บปวดเวลาดึงออก
- อาจทำให้แผลเกิดการงอเพราะแรงเสียดทานได้



รูปภาพที่ 2.5 แสดงภาพของวัสดุตกแต่งแผลแบบโฟมกึ่งให้ซึมผ่าน [26]

วัสดุตกแต่งแผลแบบแคลเซียมอัลจีเจต (Calcium alginate wound dressing)

วัสดุตกแต่งแผลชนิดนี้ทำมาจากอนุพันธ์พอลิแซคคาร์ไรด์ที่เป็นผลลัพธ์จากการนำสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลมาผ่านกระบวนการทำให้สามารถเข้ากันได้กับเซลล์ร่างกายได้เป็นอย่างดีโดยวัสดุนี้จะไม่ติดกับบริเวณบาดแผลทำให้ต้องมีวัสดุรองรับที่ช่วยให้แผ่นโซเดียมอัลจีเนตติดกับบาดแผล

โดยมีลักษณะการใช้งานคือใช้ติดกับวัสดุรองรับแล้วนำมาติดกับบริเวณที่มีบาดแผลโดยสามารถช่วยลดซับของเหลวคั่งหลังจากบาดแผลได้เป็นอย่างดีเพราะทำจากอนุพันธ์ของพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีความชอบน้ำสูงอีกทั้งยังสามารถป้องกันการติดเชื้อได้อีกด้วย

ข้อดี

- ใช้ได้ทั้งกับแผลที่ติดเชื้อและไม่ติดเชื้อ
- สามารถดูดซับของเหลวคั่งหลังจากแผลได้สูง
- สามารถเข้ากันได้กับเซลล์ร่างกาย
- ช่วยเร่งกระบวนการสลายตัวของเนื้อเยื่อที่บริเวณบาดแผลที่ตายแล้ว

ข้อเสีย

- จำเป็นต้องใช้วัสดุรองรับด้วย
- ไม่สามารถใช้กับแผลบริเวณเส้นเอ็นหรือกระดูกได้



รูปภาพที่ 2.6 แสดงภาพวัสดุตกแต่งแผลแคลเซียมอัลจิเนต [27]

วัสดุตกแต่งแผลแบบโฟม (Foam wound dressing)

เป็นวัสดุตกแต่งแผลที่ทำมาจากพอลิยูรีเทนโดยการใช้งานสามารถใช้งานในรูปแบบให้มีคุณสมบัติยึดติดกับแผลได้โดยตรงหรือไม่ยึดติดกับแผลโดยจำเป็นต้องใช้วัสดุรองรับช่วยมีสมบัติช่วยลดซับของเหลวคั่งหลังจากแผลได้ดี ช่วยกักเก็บความชื้นและปล่อยให้ไอน้ำ แก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์แพร่ผ่านได้ดี

ข้อดี

- สามารถดูดซับของเหลวคั่งหลังจากแผลได้ดี
- ยอมให้เกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สบริเวณแผลทำให้แผลหายเร็ว
- เป็นฉนวนความร้อน

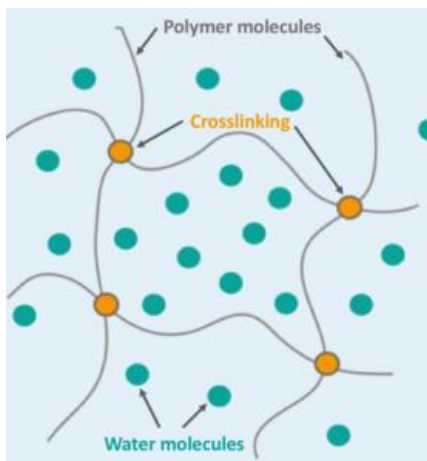
- สามารถกักเก็บความชื้นและส่งไอน้ำไปยังแผลได้
 - สามารถปรับรูปร่างตามสัดส่วนของร่างกายได้
- ข้อเสีย
- ต้องเปลี่ยนออกทุกวันในกรณีใช้กับบาดแผลที่มีการติดเชื้อ



รูปภาพที่ 2.7 แสดงภาพวัสดุตกแต่งแผลแบบโฟม [28]

2.2 ไฮโดรเจล (Hydrogel)

ไฮโดรเจล [9] คือระบบพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างสามมิติที่สามารถบวมตัวได้เมื่ออยู่ในน้ำโดยไฮโดรเจลเกิดจากการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์เกิดเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่สามมิติโดยไฮโดรเจลอาจประกอบด้วยพอลิเมอร์เพียงชนิดเดียวหรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปแต่พอลิเมอร์จะต้องมีคุณสมบัติที่มีความชอบน้ำซึ่งทำให้วัสดุนี้สามารถดูดซับน้ำได้ในปริมาณมากเข้าไปในโครงสร้างที่บริเวณช่องว่างระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์ที่เกิดการเชื่อมขวางกันซึ่งมีเกณฑ์โดยสังเขปว่าระบบพอลิเมอร์ที่มีการเชื่อมขวางสามมิติจะเป็นไฮโดรเจลจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้คือจะต้องมีสัดส่วนของปริมาณน้ำโดยน้ำหนักในโครงสร้างมากกว่าน้ำหนักแห้ง



รูปภาพที่ 2.8 แสดงโครงสร้างสามมิติของไฮโดรเจล [29]

2.2.1 การจัดประเภทของไฮโดรเจล

แบ่งตามแหล่งวัตถุดิบที่ใช้ทำไฮโดรเจล (source)

ไฮโดรเจลจากธรรมชาติ (Natural hydrogel)

ไฮโดรเจลสังเคราะห์ (Synthetic hydrogel)

แบ่งตามองค์ประกอบมอนอเมอร์ของไฮโดรเจล (Based on polymeric composition)

- โพลิเมอร์ (Homopolymeric)

เป็นโครงสร้างสามมิติที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์เพียงชนิดเดียวที่เกิดการเชื่อมขวางซึ่งกันและกันโดยมอนอเมอร์จะต้องมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ

- โพลิเมอร์ร่วม (Copolymeric)

เป็นโครงสร้างสามมิติที่ประกอบด้วยโมเลกุลโพลิเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่เกิดเป็นโมเลกุลโพลิเมอร์โดยมีการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลโพลิเมอร์โดยต้องมีมอนอเมอร์อย่างน้อยหนึ่งชนิดที่มีความสามารถในการดูดน้ำได้ดีโดยโพลิเมอร์สามารถจัดเรียงตัวได้แบบต่างๆ ดังนี้ แบบสุ่ม แบบอัลเทอร์เนต และแบบบล็อก เป็นต้น

- โครงข่ายอินเทอร์พินิเทรตโพลิเมอร์ (Interpenetrating polymer network)

เป็นระบบโพลิเมอร์ที่มีโครงสร้างสามมิติที่เกิดจากการเชื่อมขวางอย่างอิสระของโพลิเมอร์แต่ละชนิดโดยโพลิเมอร์อาจเป็นโพลิเมอร์จากธรรมชาติหรือโพลิเมอร์สังเคราะห์ที่เกิดการเชื่อมขวางโดยอิสระต่อกันโดยถ้าในระบบโครงข่ายสามมิติเกิดจากโพลิเมอร์ที่เกิดจากโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่เกิดการเชื่อมขวางส่วนโพลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งไม่เกิดการเชื่อมขวางจะเรียกระบบนี้ว่าโครงข่ายกึ่งอินเทอร์พินิเทรตโพลิเมอร์ไฮโดรเจล (Semi interpenetrating network hydrogel)

แบ่งตามคอนฟิกูเรชัน (Based on configuration)

แบบอสัณฐาน (Amorphous)

แบบกึ่งผลึก (Semicrystalline)

แบบผลึก (Crystalline)

แบ่งตามประเภทการเชื่อมขวาง (Based on type of crosslinking)

- ไฮโดรเจลที่มีการเชื่อมขวางทางกายภาพ (Physical crosslinking hydrogel)

บริเวณตำแหน่งที่เกิดการเชื่อมขวางจะเป็นการเกิดแบบชั่วคราวโดยสามารถเกิดจากอันตรกิริยาต่อไปนี้ เช่น การพัวพันระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ การเกิดแรงดึงดูดไอออนิกระหว่างประจุต่างชนิดกัน การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่และการเกิดแรงดึงดูดแบบไฮโดรโฟบิก เป็นต้น

- ไฮโดรเจลที่มีการเชื่อมขวางทางเคมี (Chemical crosslinking hydrogel)

บริเวณตำแหน่งที่เกิดการเชื่อมขวางเกิดจากการเกิดพันธะเคมีระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์โดยสามารถเกิดจากการใส่สารเคมีที่มีหมู่ฟังก์ชันตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไปมาทำปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในสายโซ่หลักของพอลิเมอร์ การกระตุ้นให้เกิดเรดิคัลบริเวณตำแหน่งสายโซ่หลักแล้วเกิดการเชื่อมขวาง การกระตุ้นโดยการฉายรังสีประจุไปที่สายโซ่หลักและการนำอนุมูลมาทำให้เกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชันจนได้เป็นไฮโดรเจล เป็นต้น

แบ่งตามลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ (Based on physical appearance) แบ่งตามลักษณะทางกายภาพที่สังเกตเห็นจากภายนอก เช่น เมทริกซ์ ฟิล์ม ไมโครสเฟียร์ เป็นต้น

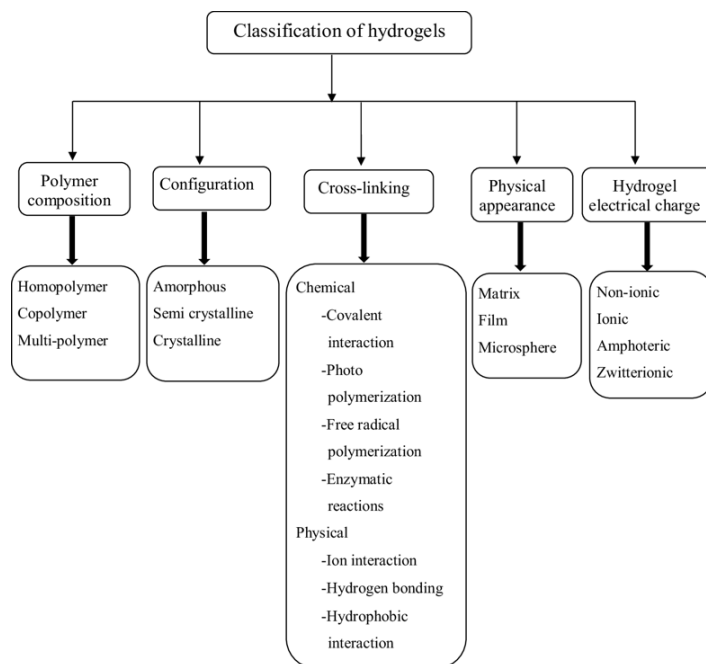
แบ่งตามประจุไฟฟ้าที่อยู่บนโมเลกุลพอลิเมอร์ที่เกิดการเชื่อมขวางกัน (Based on Electrical charge)

- ไม่มีประจุ (Neutral)

- มีประจุบวกหรือลบ (Ionic)

- มีหมู่กรดและหมู่เบส (Amphoteric)

- มีประจุบวกและลบอยู่ในแต่ละหน่วยซ้ำ (Zwitterion)



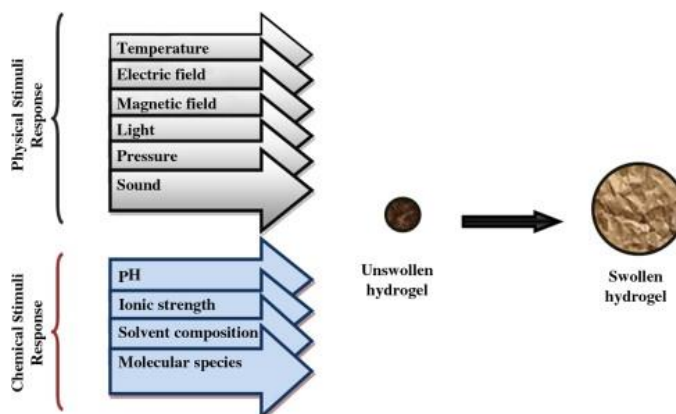
รูปภาพที่ 2.9 แสดงแผนภาพการจัดประเภทของไฮโดรเจล [10]

2.2.2 คุณสมบัติที่สำคัญของไฮโดรเจล

- สามารถดูดซับของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักได้ในปริมาณมาก
- ไม่เกิดการละลายในของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก
- ให้ค่าพีเอชที่เป็นกลางเวลาเกิดการบวมตัวในน้ำ
- มีเสถียรภาพต่อแสง
- สามารถเกิดการบวมตัวซ้ำได้เมื่อนำไปแช่ในของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักแล้วเกิดการแห้งแล้วนำมาแช่ของเหลวซ้ำอีกในบางการใช้งาน เช่น การใช้งานทางการแพทย์
- พื้นผิวมีลักษณะที่ลื่นและเหนียว

2.2.3 สมบัติการตอบสนองต่อสิ่งเร้าจากสิ่งแวดล้อมที่มากกระตุ้นพฤติกรรมกรรมการบวมตัวและหดตัวของวัสดุไฮโดรเจล

- สิ่งเร้าทางกายภาพที่มากกระตุ้นให้ไฮโดรเจลมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของโครงสร้าง เช่น อุณหภูมิ สนามแม่เหล็ก กระแสไฟฟ้า ความดัน คลื่นเสียง เป็นต้น
- สิ่งเร้าทางเคมีที่มากกระตุ้นให้ไฮโดรเจลเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของโครงสร้าง เช่น ค่าพีเอช ค่าความแรงไอออนิก องค์ประกอบตัวทำละลายที่ไฮโดรเจลดูดซับอยู่ เป็นต้น



รูปภาพที่ 2.10 แสดงแผนภาพของสิ่งเร้าจากสิ่งแวดล้อมที่มากกระตุ้นให้เกิดการบวมตัว และหดตัวของไฮโดรเจล [10]

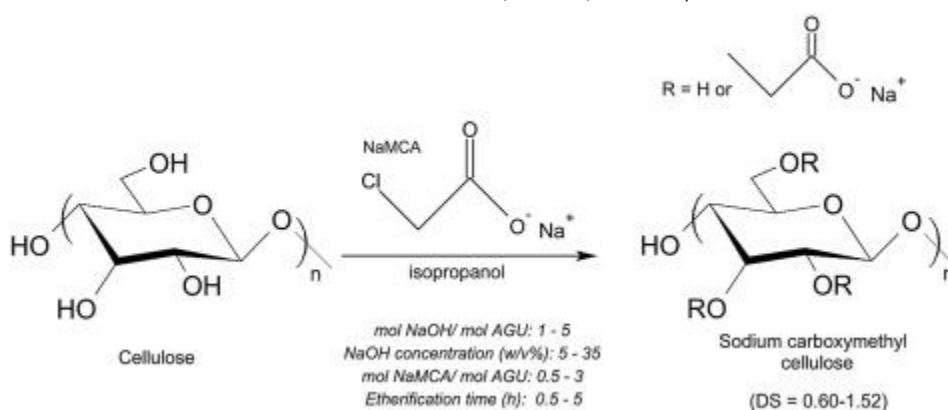
2.2.4 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆของวัสดุไฮโดรเจล [[11

- การประยุกต์ใช้งานเป็นเม็ดเก็บรักษาความชื้นให้แก่พืช เช่น พอลิอะคริเลต เป็นต้น
- การประยุกต์การใช้นำมาทำเป็นเลนส์สัมผัส (Contact lens) เช่น ซิลิโคน เป็นต้น
- การประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมเนื้อเยื่อ (Tissue engineering) เช่น เจลาตินใช้ทำเป็นวัสดุเพื่อให้เซลล์กระดูกมาเกิดการเติบโตข้างในในบริเวณที่เกิดการแตกหักของกระดูก (Scaffold)
- การประยุกต์ใช้งานเป็นระบบนำส่งยา เช่น ไคโทซาน โขเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส พอลิเอทิลีนไกลคอล เป็นต้น
- การประยุกต์ใช้งานเป็นวัสดุชีวการแพทย์ เช่น วัสดุตกแต่งแผลเช่น โขเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นต้น
- การประยุกต์ใช้งานเป็นระบบตรวจวัดทางชีวภาพ (Biosensor system) เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิเอทิลีนไกลคอล เป็นต้น
- การประยุกต์ใช้ในการบำบัดด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ไคโทซานใช้บำบัดสีย้อมเมทิลีนบลู พอลิแซคคาร์ไรต์กราฟพอลิอะคริลาไมด์ใช้จับโลหะหนักให้ตกตะกอน เป็นต้น

2.3 โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodium carboxymethylcellulose) [12]

โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์สายโซ่ยาวเส้นตรงที่สามารถละลายในน้ำได้ โดยเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่มีประจุลบเมื่อละลายน้ำโดยมีลักษณะเป็นผงสีขาวออกเหลืองสามารถสังเคราะห์ได้จากการนำเซลลูโลสที่สกัดจากพืชต่างๆ เช่น เปลือกทุเรียน เปลือกมะละกอ ใยฝ้าย เยื่อหัวปืบ เป็นต้น โดยนำเซลลูโลสมาผ่านกระบวนการคาร์บอกซีเมทิลเลชัน (Carboxymethylation) จนได้เป็นโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสขึ้นมา

กระบวนการคาร์บอกซีเมทิลเลชัน (Carboxymethylation process)



รูปภาพที่ 2.11 แสดงแผนภาพกระบวนการคาร์บอกซีเมทิลเลชันเพื่อเปลี่ยนเซลลูโลสเป็นโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส [13]

โดยปฏิกิริยาคาร์บอกซีเมทิลเลชันเกิดขึ้นโดยการที่หมู่ไฮดรอกซิลของหน่วยซ้ำของเซลลูโลสเกิดการแทนที่โดยโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 โดยคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 จะเป็นตำแหน่งที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยามากที่สุดทำให้เกิดการแทนที่ตรงตำแหน่งนี้มากที่สุดซึ่งจากลักษณะการทำปฏิกิริยานี้เองทำให้เกิดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้บอกถึงความสมบูรณ์ในการทำปฏิกิริยาคาร์บอกซีเมทิลเลชันโดยเรียกค่านี้ว่า ค่าระดับการแทนที่ (Degree of substitution) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลที่ถูกแทนที่ได้ต่อหน่วยซ้ำซึ่งในทางทฤษฎีมีค่าสูงสุดที่ 3 แต่ในทางปฏิบัติสามารถให้ค่าสูงสุดได้ที่ประมาณ 1.4 โดยค่าระดับการแทนที่นี้มีผลอย่างมากต่อการละลายน้ำเพราะถ้าค่านี้มากแสดงถึงประจุลบภายในสายโซ่พอลิเมอร์มีจำนวนมากทำให้เกิดแรงผลักรวมกันจำนวนมากระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันทำให้พอลิเมอร์สามารถเกิดการบวมตัวและสุดท้ายเกิดการละลายน้ำได้ง่าย

คุณสมบัติที่สำคัญของโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส [22]

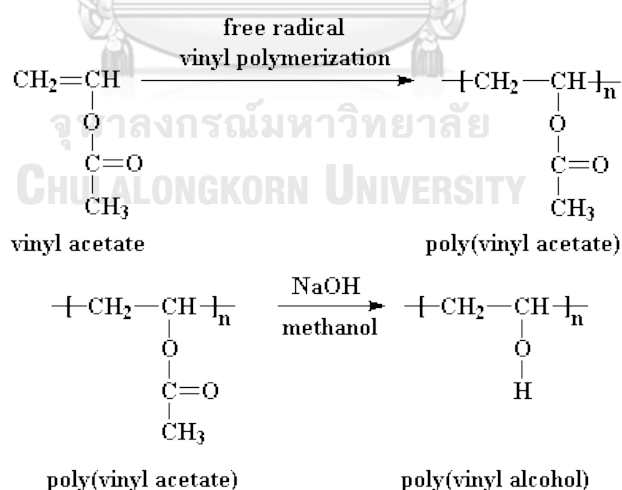
- ละลายน้ำให้สารละลายคอลลอยด์ขึ้นแต่ไม่ละลายในเอทานอล
- มีลักษณะเป็นผงแบบแกรนูลสีขาวออกเหลืองเล็กน้อยโดยไม่มีกลิ่น ไม่มีรสชาติ

- เมื่อละลายน้ำเป็นสารละลายคอลลอยด์ที่ความเข้มข้น 1% จะให้ค่าพีเอชตั้งแต่ 5 ถึง 8.5 การใช้ประโยชน์จากโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส [22]
- ใช้เป็นสารเติมแต่งในอาหาร เช่น อิมัลซิไฟเออร์ สารให้ความข้น สารให้ความคงตัว เป็นต้น
- ใช้ใสในอาหาร เช่น สารปรับแต่งผิว สารปรับแต่งเนื้อสัมผัส เป็นต้น
- ใช้ในทางเภสัชกรรมและวัสดุชีวการแพทย์ เช่น ระบบนำส่งยา ไฮโดรเจลตกแต่งแผล เป็นต้น

2.4 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol) [3]

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นโคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากการนำไวนิลแอกซิเตทมอนอเมอร์มาทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจนเกิดเป็นพอลิไวนิลแอกซิเตทจากนั้นจึงทำการไฮโดรไลซิสพอลิไวนิลแอกซิเตทบริเวณตำแหน่งหมู่แอกซิเตทให้กลายเป็นหมู่ไฮดรอกซิลแต่ไม่สามารถจะไฮโดรไลซิสได้ทั้งหมดจึงเกิดเป็นโคพอลิเมอร์โดยระดับการไฮโดรไลซิสจะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพที่สำคัญคือการละลายน้ำหากมีระดับการไฮโดรไลซิสที่สูงจะทำให้ละลายน้ำยากขึ้นเพราะเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่จึงเกิดการบวมตัวและละลายยากอีกทั้งยังมีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คือถ้าระดับการไฮโดรไลซิสสูงจะทำให้เม็ดพลาสติกมีความเหนียวขึ้น

กระบวนการสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์



รูปภาพที่ 2.12 แสดงกระบวนการสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [3]

คุณสมบัติที่สำคัญของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

- เป็นผงแกรนูลสีขาวลักษณะทึบแสง ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น
 - ละลายในน้ำได้บางส่วนที่อุณหภูมิห้องแต่ละลายได้ดีที่อุณหภูมิตั้งแต่ 80 องศาเซลเซียส เป็นต้นไป ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์
 - เป็นสารก่อฟิล์มที่ดี
 - มีคุณสมบัติในการยึดติดที่ดี
 - สามารถสกัดกันออกซิเจนได้ดี
 - เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดี
 - เมื่อขึ้นรูปเป็นฟิล์มมีความคงทนต่อแรงดึงที่ดีแต่สมบัตินี้จะแย่งเมื่อความชื้นของสิ่งแวดล้อมสูงขึ้นแต่ค่าร้อยละการยึดตัวและความทนต่อแรงฉีกขาดจะเพิ่มขึ้น
 - สมบัติการละลายน้ำขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น น้ำหนักโมเลกุล ขนาดอนุภาค ปริมาณผลึก ระดับของการไฮโดรไลซิส เป็นต้น
- การประยุกต์ใช้งาน

ใช้ในทางเภสัชกรรมเป็นตัวนำส่งยา เช่น ระบบนำส่งยาซาลิไซลิกแอซิด (Salicylic acid drug delivery) ระบบนำส่งยาอินซูลิน (Insulin hormone drug delivery) ใช้ในทางวัสดุชีวการแพทย์ เช่น อวัยวะเทียม เช่น ผิวหนัง ตับอ่อน เป็นต้น เซนเซอร์ วัสดุตกแต่งแผล เป็นต้น

การสังเคราะห์วัสดุไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

การสังเคราะห์ไฮโดรเจลสามารถสังเคราะห์ได้จาก 3 เทคนิคหลักดังนี้

กระบวนการเก็บในอุณหภูมิร้อนเย็นสลับกัน (Freeze thaw process)

โดยกระบวนการนี้จะทำให้เกิดการเชื่อมขวางทางกายภาพโดยสายโซ่พอลิเมอร์จะเข้ามาจัดเรียงตัวเป็นผลึกโดยอาศัยการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ทำให้จุดที่เกิดผลึกกลายเป็นตำแหน่งเชื่อมขวางเป็นกระบวนการที่ทำให้ได้วัสดุที่ปลอดภัยแต่ใช้เวลานานมากทำให้ต้นทุนการผลิตสูง

กระบวนการฉายรังสี (Irradiation process)

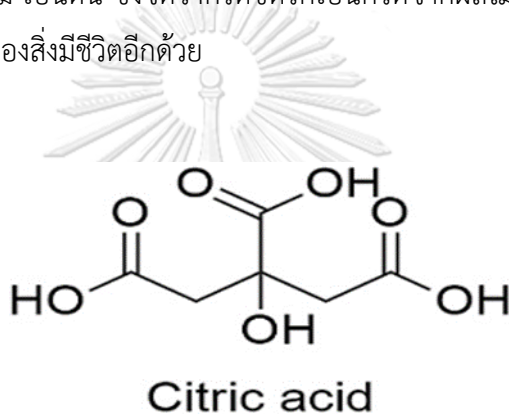
ทำโดยนำพอลิเมอร์มาฉายรังสี เช่น แกมมา ไอออน เข้าไปจะทำให้สายโซ่เกิดตำแหน่งที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีแล้วเกิดการเชื่อมขวางโดยการสร้างพันธะเคมีระหว่างสายโซ่เป็นการเชื่อมขวางทางเคมีมีข้อเสียคืออาจมีรังสีตกค้างในวัสดุ

กระบวนการให้เกิดปฏิกิริยาเคมีโดยใส่สารเชื่อมขวาง (Chemical crosslinker adding process)

ทำโดยนำสารเคมี เช่น กลูตารอลดีไฮด์ อีพิกโลโรไฮดริน เป็นต้นมาทำปฏิกิริยากับสายโซ่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ตรงตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิลแล้วเกิดพันธะเคมีเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ เป็นกระบวนการที่ต้นทุนไม่สูงแต่มีความอันตรายจากสารเคมีตกค้าง

2.5 กรดซิตริก (Citric acid) [14]

กรดซิตริก [14] คือกรดอ่อนอินทรีย์ชนิดไตรคาร์บอกซิลิกที่พบในผลไม้ตระกูลส้ม เช่น เลมอน บิท มะเขือเทศและส้ม เป็นต้น ซึ่งจัดว่ากรดซิตริกเป็นกรดจากผลไม้ อีกทั้งกรดซิตริกยังสามารถเกิดจากกระบวนการหมักของสิ่งมีชีวิตอีกด้วย



รูปภาพที่ 2.13 แสดงโครงสร้างทางเคมีของกรดซิตริก [25]

กระบวนการในการผลิตกรดซิตริกที่นิยมกันมี 3 วิธี

- การผลิตโดยการสกัดจากพืชตระกูลส้ม (Extraction of citrus fruits)

ตัวอย่างเช่น นำผลเลมอนมาล้างและปอกเปลือกจากนั้นนำมาเข้าเครื่องคั้นออกมากลายเป็นน้ำผลไม้แล้วทำการกรองจะได้น้ำผลไม้ที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบทั้งสิ้น 3 - 4 % จากนั้นนำไปทำให้ตกตะกอนกลายเป็นแคลเซียมซิเตรตแล้วจึงนำไปละลายในกรดซัลฟิวริกจนได้สารละลายกรด จากนั้นกรดซิตริกจะเกิดการตกตะกอนแล้วทำการกรองตะกอนออกมา

- การผลิตโดยกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical synthesis)

ทำโดยนำไฮโดรเจนไซยาไนด์มาทำปฏิกิริยากับไดคลอโรอะซิโตนในเอทานอลจากนั้นจึงเติมโซเดียมไซยาไนด์ลงไปแล้วปั่นก้อนให้เข้ากันต่อมาใส่กรดไฮโดรคลอริกที่มีอุณหภูมิประมาณ 0 °C แล้วทำการรีฟลักซ์เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจึงนำไปผ่านกระบวนการระเหยกรดไฮโดรคลอริกออกแล้วเติมน้ำลงไปสุดท้ายใส่ไอเทอร์เข้าเพื่อแยกผลิตภัณฑ์ออกมาจะได้กรดซิตริก

- การผลิตโดยกระบวนการหมัก (Fermentation process)

ผลิตโดยการนำเชื้อรา *Aspergillus niger* เป็นสารตั้งต้นแล้วนำมาหมักโดยใส่น้ำตาลเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อสุดท้ายจะได้กรดซิตริกออกมาโดยพารามิเตอร์ที่เป็นตัวควบคุมคุณภาพและร้อยละผลที่ได้คือ ค่าพีเอช อุณหภูมิ ความเข้มข้นน้ำตาลที่ใส่ ความเข้มข้นแอมโมเนียมไนเตรตและโพแทสเซียมเพอร์โรไซยาไนด์ เป็นต้นโดยวิธีการนี้เป็นวิธีการที่เป็นที่นิยมมากที่สุดในการผลิตเพราะต้นทุนในการผลิตไม่สูง ร้อยละผลผลิตสูง การปนปนเปื้อนต่ำ

การประยุกต์ใช้งานกรดซิตริก

- ใช้ใสในอาหารเพื่อเป็นสารเติมแต่งรสชาติ สารถนอมอาหาร สารปรับพีเอชในการผลิตอาหารเช่น ลูกอม บิสกิต คุกกี้ เป็นต้น
- ใช้เป็นสารควบคุมความเป็นกรดในเครื่องดื่ม เช่น เบียร์ น้ำอัดลม เป็นต้น
- ใช้เป็นสารแอนติออกซิแดนซ์และสารควบคุมพีเอชในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เช่น อาหารไก่ เป็นต้น
- ใช้เป็นสารทำความสะอาดและสารปรับแรงตึงผิวในอุตสาหกรรมต่างๆ
- ใช้เป็นสารกำจัดสนิมจากพื้นผิวของเหล็กและทองแดง
- ใช้เป็นสารปรับสภาพกรดในผลิตภัณฑ์ครีม เจล และของเหลวต่างๆ
- ใช้ใสในไอศกรีมโดยเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ป้องกันไขมันในไอศกรีมเกิดการแยกตัวออกจากกัน
- ใช้เป็นสารต่อต้านไวรัสในการสร้างเนื้อเยื่อที่ต้านทานไวรัส
- ใช้เป็นสารปรับแต่งสีอาหารเพื่อรักษาสมดุลพีเอชของสีย้อมเบสิก

2.6 นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (Nano titanium dioxide) [15]

นาโนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงซึ่งสามารถนำไปใช้งานเป็นองค์ประกอบวัสดุต่างๆ เช่น สารบำบัดสารอินทรีย์ อุปกรณ์ทำความสะอาดตัวเอง สารบำบัดอากาศและน้ำเสีย สารต้านเชื้อโรค เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส เป็นต้น และระบบเซนเซอร์ เป็นต้น

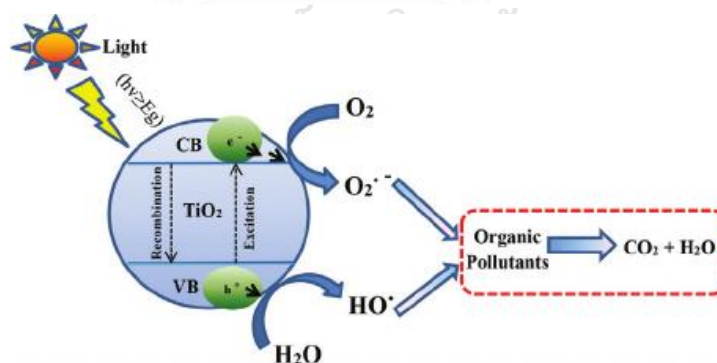
นาโนไททาเนียมไดออกไซด์สามารถแบ่งออกตามวิภาคของผลึกได้ 3 วิภาคดังนี้

ชนิดอะนาเทส (Anatase) เป็นชนิดที่มีค่าแถบพลังงานระหว่างแถบวาเลนซ์ (Valence band) กับแถบนำไฟฟ้า (Conductive band) อยู่ที่ประมาณ 3.2 อิเล็กตรอนโวลต์โดยสามารถถูกกระตุ้นได้โดยแสงช่วงความยาวคลื่นยูวีที่ความยาวคลื่น 385 นาโนเมตร โดยอนุภาคของไททาเนียมไดออกไซด์วิภาคนี้จะมีพื้นที่ผิวที่สูงสุด ชนิดรูไทล์ (Rutile) เป็นชนิดที่มีพื้นที่ผิวน้อยกว่าแบบอะนาเทสโดยมีค่า

แถบพลังงานระหว่างแถบวาเลนซ์ (Valence band) กับแถบนำไฟฟ้า (Conductive band) อยู่ที่ประมาณ 3 อิเล็กตรอนโวลต์ซึ่งต่ำกว่าทำให้สามารถถูกกระตุ้นด้วยแสงที่สามารถมองเห็นได้ที่ความยาวประมาณ 410 นาโนเมตรชนิดบรูคไคท์ (Brookite) เป็นชนิดที่พบได้ยาก โดยจากทั้งหมด 3 วัฏภาคข้างต้นวัฏภาคที่เป็นที่นิยมนำมาใช้งานด้านการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงคือ แบบอะนาเทสเพราะมีพื้นที่ผิวสูงสุดทำให้เกิดปฏิกิริยาเร่งโดยแสงได้ว่องไวที่สุด

กลไกการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

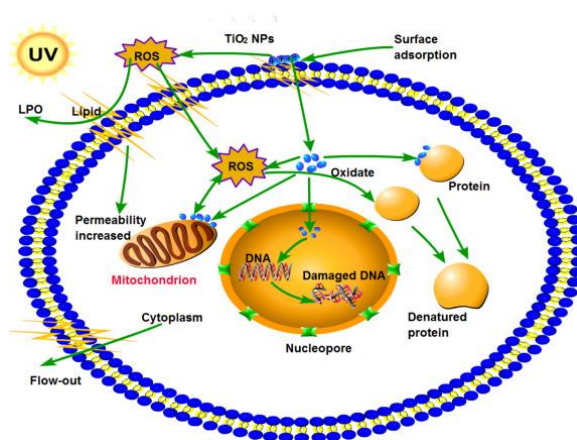
กลไกคือเนื่องจากอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำทำให้มีแถบพลังงานระหว่างแถบวาเลนซ์ (Valence band) กับ แถบนำไฟฟ้า (Conductive band) ที่พอเหมาะกับค่าพลังงานแสงในช่วงคลื่นยูวีและแสงที่มองเห็นได้บางค่าความยาวคลื่นเมื่อแสงความยาวคลื่นนี้กระทบกับผิวของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์จะเกิดการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ไปสู่แถบนำไฟฟ้าทำให้เกิดอะตอมที่มีโพรงอิเล็กตรอน (Electron hole) ซึ่งด้วยระยะห่างระหว่างแถบวาเลนซ์กับแถบนำไฟฟ้าทำให้อิเล็กตรอนที่ขึ้นไปยังแถบนำไฟฟ้ามีเวลาพอที่จะเข้าไปปฏิกิริยากับโมเลกุลออกซิเจนจนเกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนและสามารถทำปฏิกิริยาเคมีต่อจนได้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสารที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่างๆโดยสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์แล้วให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำอีกทั้งส่วนโพรงอิเล็กตรอนจะเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัลซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงเช่นเดียวกันซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์แล้วให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ



รูปภาพที่ 2.14 แสดงแผนภาพกลไกการเร่งด้วยแสงของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ [16]

กลไกการต้านทานแบคทีเรียของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

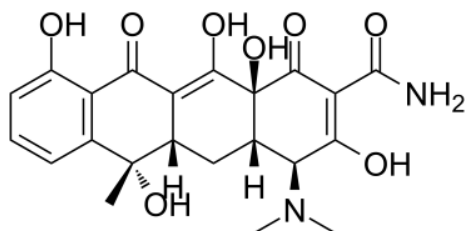
กลไกการต้านทานแบคทีเรียของสารนี้คือมีกลไกเดียวกับกลไกการสลายสารอินทรีย์ข้างต้นโดยโมเลกุลที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง เช่น ซูเปอร์ออกซิเจนออกไซด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไฮดรอกซิลแรดิคัล จะเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียทำให้ออร์แกนัลส่วนนี้แตกทำให้เกิดการรั่วไหลของของเหลวในไซโทพลาสซึมทำให้เซลล์แบคทีเรียขาดอาหารแล้วตายในที่สุดอีกทั้งยังสามารถเข้าไปทำลายโครงสร้างทางพันธุกรรมคือ DNA (Deoxyribonucleic acid) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรียจึงทำให้แบ่งเซลล์ต่อไม่ได้จึงตายเช่นเดียวกัน



รูปภาพที่ 2.15 แสดงภาพกลไกการต้านแบคทีเรียของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ [17]

2.6 ยาเตตราไซคลิน (Tetracycline drug)

เตตราไซคลินเป็นโมเลกุลพอลิคีไทด์ที่เป็นสารต้านแบคทีเรียโดยมีกลไกการออกฤทธิ์คือเข้าไปจับยึดกับหน่วยย่อยไรโบโซมอล 30 s ของไรโบโซมทำให้ที่อาร์เอ็นเอไม่สามารถจับกับอะมิโนเอซิลที่อาร์เอ็นเอทำให้เซลล์แบคทีเรียไม่สามารถสังเคราะห์โปรตีนได้และยังทำให้ผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์แบคทีเรียเกิดการแตกออกทำให้ของเหลวภายในเซลล์เกิดการรั่วออกมาจนทำให้เซลล์แบคทีเรียตายในที่สุด

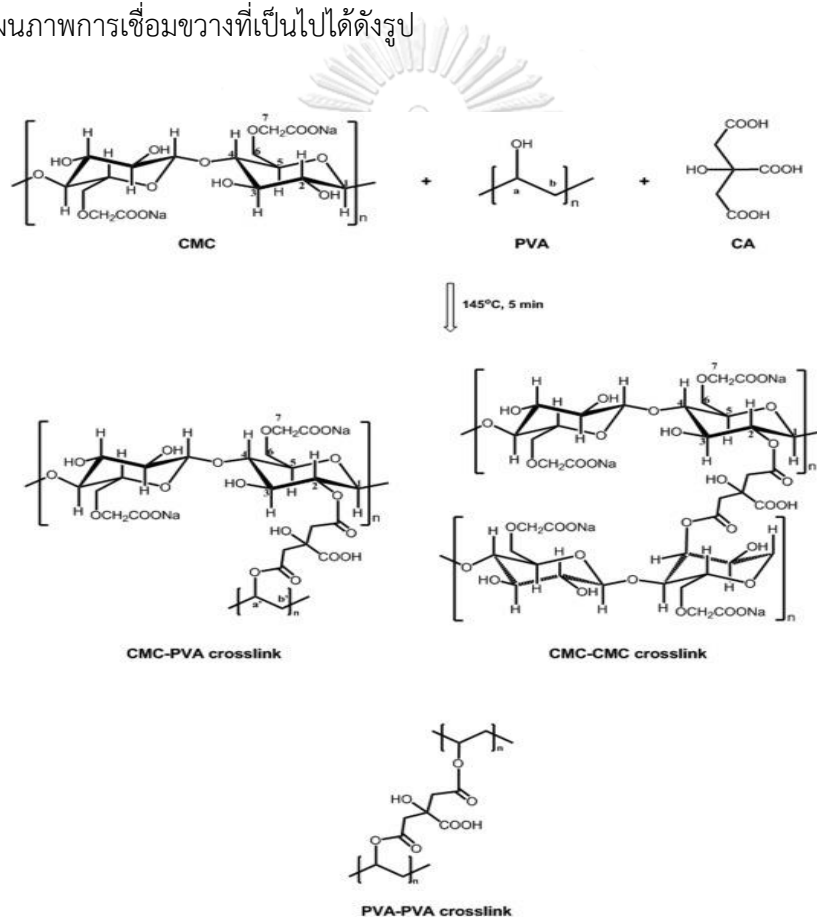


รูปภาพที่ 2.16 แสดงโครงสร้างของโมเลกุลเททราไซคลิน [30]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Capanema และ คณะ [1] ทำการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสไฮโดรเจลฟิล์มที่มีระดับการแทนที่ 0.77 และ 1.22 โดยมีการใช้กรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวางปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักพอลิเมอร์ ดังนี้ ร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับแล้วทำการวิเคราะห์หาค่าร้อยละการบวมตัวในน้ำ กลั่นพบว่าสูตรการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสไฮโดรเจลฟิล์มที่มีระดับการแทนที่ 0.77 มีร้อยละการบวมตัวที่ต่ำกว่าสูตรการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสไฮโดรเจลฟิล์มที่มีระดับการแทนที่ 1.22 เมื่อใส่กรดซิตริกร้อยละ 20 และ 25 ในปริมาณที่เท่ากันอีกทั้งสูตรการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสไฮโดรเจลฟิล์มที่มีระดับการแทนที่ 1.22 จะเกิดการละลายน้ำโดยสมบูรณ์เมื่อใส่กรดซิตริก ร้อยละ 10 และ 15 ซึ่งจากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นทางคณะวิจัยกล่าวว่าเมื่อเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสไฮโดรเจลฟิล์มที่ใส่สารเชื่อมขวางคือกรดซิตริกปริมาณเท่ากันแล้วใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีระดับการแทนที่สูงขึ้นจะทำให้ประจุลบบนสายโซ่คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้นส่งผลให้สายโซ่คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเกิดการผลักกันระหว่างสายโซ่ที่เพิ่มขึ้นทำให้ระยะห่างระหว่างสายโซ่ที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเชื่อมขวางทางเคมีได้ยากขึ้นจากนั้นคณะผู้ทำการทดลองได้ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมฟิล์มระหว่างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ระดับการแทนที่ 0.77 และ 1.22 กับพอลิเอทิลีนไกลคอลโดยกำหนดสัดส่วนดังนี้ 100/0 90/10 และ 80/20 โดยใช้กรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวางร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 พบว่าค่าร้อยละการบวมตัวของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มที่มีระดับการแทนที่เท่ากันและใส่สารเชื่อมขวางปริมาณเท่ากันมีแนวโน้มที่ลดลงโดยคณะผู้วิจัยกล่าวว่าพอลิเอทิลีนไกลคอลไปช่วยเพิ่มความหนาแน่นในการเชื่อมขวางของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มโดยให้ผลเหมือนการเติมกรดซิตริกที่เพิ่มขึ้น

Ghorpade และ คณะ [22] ได้ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มระหว่างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ดังนี้คือกำหนดคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจำนวนคงที่แล้วใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงไปร้อยละ 5, 10, 20 และ 25 ตามลำดับโดยใส่กรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวางในปริมาณที่เท่ากันคือร้อยละ 20 โดยน้ำหนักพอลิเมอร์โดยทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °c ระยะเวลา 24 ชั่วโมงจากนั้นนำฟิล์มแห้งมาผ่านกระบวนการเชื่อมขวางโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 5 นาที โดยพบว่าร้อยละการบวมตัวที่สมดุลของไฮโดรเจลฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยผู้ทำการวิจัยกล่าวว่าเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลที่เพิ่มขึ้นจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่เกิดการเชื่อมขวางเป็นพันธะเอสเทอร์ซึ่งมีความชอบน้ำทำให้อุดซับน้ำได้ดีขึ้นโดยแสดงแผนภาพการเชื่อมขวางที่เป็นไปได้ดังรูป



รูปภาพที่ 2.17 แสดงแผนภาพการเชื่อมขวางที่เป็นไปได้ทั้งหมดระหว่างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยใช้กรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวาง

Hashem และ คณะ [18] ทำการเตรียมวัสดุคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มโดยเจือปนด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยแบ่งการเตรียมเป็นสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสไฮโดรเจลฟิล์มโดยใช้สารเชื่อมขวางจากกรดอินทรีย์ 3 ชนิดคือ กรดมาเลอิก กรดซัคซินิก และกรดซิตริก ตามลำดับโดยกำหนดความเข้มข้นของสารเชื่อมขวางเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละโดยน้ำหนัก 0.5, 1 และ 3 ตามลำดับและอุณหภูมิในการเชื่อมขวางคือ 120, 130 และ 140 องศาเซลเซียสตามลำดับและสุดท้ายเวลาที่ใช้ในการเชื่อมขวาง 1, 3 และ 5 นาทีตามลำดับ พบว่าสภาวะที่ทำให้ไฮโดรเจลฟิล์มมีความสามารถในการบวมตัวสูงที่สุดคือ ใช้กรดซัคซินิกเป็นสารเชื่อมขวางที่ความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนัก 0.5 อุณหภูมิในการเชื่อมขวาง 120 องศาเซลเซียสและเวลาในการเชื่อมขวาง 3 นาที ต่อจากนั้นนำสภาวะในการเตรียมนี้ไปใช้เตรียมวัสดุคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มที่เจือปนด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยทำการละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสและค่อยๆหยดกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนัก 0.5 จากนั้นทำการค่อยๆหยดสารละลายอิมัลชันในเตรตจนได้สารละลายสีขาวขุ่นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และ ใช้เวลา 3 นาที จากนั้นนำวัสดุนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มไปวิเคราะห์สมบัติที่สำคัญต่างๆ เช่น ตรวจวัดการเจือปนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในวัสดุนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มโดยส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านพบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในวัสดุนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มและนำไปทดสอบการต่อต้านจุลินทรีย์โดยเทคนิคการวัดบริเวณยับยั้งจุลินทรีย์พบว่าวัสดุนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มสามารถที่จะยับยั้งจุลินทรีย์ได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Namazi และ คณะ [5] ได้เตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มเจือปนด้วยอนุภาคมีโซพอร์สซิลิกาเจล (MCM-41) เพื่อใช้งานเป็นวัสดุตกแต่งแผ่นที่มีประสิทธิภาพโดยกำหนดสภาวะในการเตรียมดังนี้ นำคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมา 2 กรัม แล้วใช้สารเชื่อมขวางเป็นกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนัก 2, 5, 10, 15 และ 20 โดยปรับอุณหภูมิและเวลาในการเชื่อมขวางดังนี้ 40 - 150 องศาเซลเซียส และเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง พบว่าสภาวะที่ให้ค่าความสามารถในการบวมตัวสูงที่สุดคือใช้ความเข้มข้นกรดซิตริกร้อยละโดยน้ำหนัก 10 อุณหภูมิการเชื่อมขวาง 60 องศาเซลเซียสและเวลาการเชื่อมขวาง 24 ชั่วโมงและที่ความเข้มข้นกรดซิตริกร้อยละโดยน้ำหนักต่ำกว่าร้อยละโดยน้ำหนัก 10 คือร้อยละโดยน้ำหนัก 2 และ 5 พบว่าฟิล์มละลายในสารละลายเกลือฟอสเฟตบัฟเฟอร์ซึ่งแสดงถึงว่าไม่เกิดการเชื่อมขวางที่มากพอจนทำให้ได้ฟิล์มที่สามารถบวมตัวได้ต่อนั้นนำสภาวะที่ให้ค่าความสามารถในการบวมตัวสูงที่สุดของไฮโดรเจลฟิล์มไปเตรียมนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มโดยเจือปนด้วยอนุภาค MCM-41 ที่ความเข้มข้นร้อยละโดย

หน้า 5, 10 และ 15 ตามลำดับแล้วศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติของนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มพบว่าค่าความสามารถในการบวมตัวของนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์ม ค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำและแก๊สออกซิเจนและความสามารถในการปลดปล่อยยาเทตราไซคลิน (Tetracycline) เพิ่มขึ้นตามปริมาณการเจือปนของ MCM-41 ลงไปในองค์ประกอบนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มแต่ค่าความสามารถในการกักเก็บยาเทตราไซคลินมีค่าที่ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของ MCM-41 ที่เจือปนลงไปในองค์ประกอบนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มหลังจากนั้นนำนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มไปศึกษาความสามารถในการต้านทานจุลินทรีย์ผ่านการวัดบริเวณยับยั้งจุลินทรีย์พบว่าบริเวณยับยั้งจุลินทรีย์ลดลงตามปริมาณการเจือปน MCM-41 ลงไป

Rasul และคณะ [19] ได้ทำการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มเจือปนด้วยอนุภาคมีโซพอร์สซิลิกาที่มีการฝังตัวในรูพรุนด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ซึ่งเป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากงานวิจัยของคุณ Namazi และคณะโดยการฝังตัวอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ลงไปในรูพรุนของ MCM-41 โดยทำการสังเคราะห์อนุภาค ZnO-MCM-41 ขึ้นแล้วทำการศึกษาและวิเคราะห์สมบัติของอนุภาคนาโน ZnO-MCM-41 พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาคนาโน ZnO-MCM-41 มีค่าเป็นบวกซึ่งเดิมอนุภาคนาโน MCM-41 มีค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวเป็นลบซึ่งแสดงว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถปรับค่าประจุที่ผิวของอนุภาคนาโน MCM-41 จากลบเป็นบวกได้ จากนั้นได้ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพในการกักเก็บยาและปลดปล่อยของนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มที่เตรียมได้จากงานวิจัยของคุณ Namazi และคณะโดยทำการเจือปนอนุภาคนาโน ZnO-MCM-41 ลงไปในองค์ประกอบนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มที่ให้ค่าความสามารถในการบวมตัวสูงที่สุดจากสถานะการเตรียมของคุณ Namazi และคณะแล้วทำการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติของนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มนี้พบว่าค่าความสามารถในการกักเก็บยาเทตราไซคลิน (Tetracycline) มีค่าเพิ่มขึ้นเพราะยาเทตราไซคลินมีสภาพประจุที่พื้นผิวเป็นลบ ส่วนนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มซึ่งมีอนุภาคนาโนคอมโพสิต ZnO-MCM-41 มีประจุที่พื้นผิวเป็นบวกทำให้เกิดอันตรกิริยาแบบดึงดูดกันระหว่างตัวยาเทตราไซคลินกับอนุภาคนาโน ZnO-MCM-41 ซึ่งช่วยเพิ่มการดูดซับยาเข้าสู่นาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มอีกทั้งค่าอัตราในการปลดปล่อยยาเทตราไซคลินมีความเสถียรมากขึ้นและยังพบว่าสมบัติเชิงกลของนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นดังนี้ ค่าความทนต่อแรงดึงและค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับแต่อย่างไรก็ตามพบว่าค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำและแก๊สออกซิเจนมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มที่เตรียมได้จากงานวิจัยก่อนหน้าของคุณ Namazi และคณะ ส่วนความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ของนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มผ่านการศึกษาบริเวณยับยั้งจุลินทรีย์แบบที่เรียบพบว่านาโนคอมโพสิตไฮโดรเจล

ฟิล์มสูตรใหม่ให้ค่าบริเวณยับยั้งแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มสูตรเดิมที่เตรียมจากงานวิจัยก่อนหน้านี้

Berck และคณะ [20] ได้ศึกษาการเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ฟิล์มโดยใช้เทคนิค solvent casting แบบไม่ใส่สารเชื่อมขวางและใช้กรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวางโดยกำหนดสภาวะในการเตรียมฟิล์มดังนี้ 1. เตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ฟิล์มแบบไม่ใส่กรดซิตริกเลย 2. เตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ฟิล์มโดยใส่กรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวางที่ความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนัก 10 และ 40 ตามลำดับอนุกรมในการเชื่อมขวาง 130 องศาเซลเซียสและเวลาในการเชื่อมขวาง 40 และ 360 นาทีแล้วนำฟิล์มที่เตรียมได้จาก 2 วิธีการนี้ไปทดสอบและวิเคราะห์สมบัติเชิงกลด้วยการทดสอบด้วยแรงดึงด้วยเครื่อง Universal testing machine พบว่าฟิล์มที่เตรียมได้โดยไม่ใส่กรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวางมีความยืดหยุ่นสูงและมีความเหนียวไม่สูงนักแต่ฟิล์มที่เตรียมได้โดยใส่กรดซิตริกมีความยืดหยุ่นที่ต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่ใส่สารเชื่อมขวางแต่มีความเหนียวที่สูงกว่าฟิล์มที่ไม่ใส่กรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวางโดยความแข็งแรงของฟิล์มที่ใส่กรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวางแปรผันโดยตรงกับปริมาณกรดซิตริกที่ใส่และระยะเวลาในการเกิดการเชื่อมขวางแต่ความยืดหยุ่นของฟิล์มที่ใส่กรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวางมีค่าแปรผกผันกับปริมาณกรดซิตริกที่ใส่และระยะเวลาในการเชื่อมขวาง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodium carboxymethylcellulose; DS 1.21, MW 250,000) จากบริษัท Sigma Aldrich
2. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol; Degree of hydrolysis 87%-89%, MW 85000) จากบริษัท JAPAN VAM & POVAL.CO.,Ltd.
3. ซิตริกแอซิดมอโนไฮเดรต (Citric acid monohydrate, 99.5%-102%) จากบริษัท Lobachemi
4. นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (Nano titanium dioxide, Degussa P 25, Rutile: Anatase / 85:15, 99.9%, 20 nm) จากบริษัท Nanoshel company
5. เทตราไซคลิน (Tetracycline) จากบริษัท Sigma aldrich
6. น้ำปลอดประจุ (Deionize water)

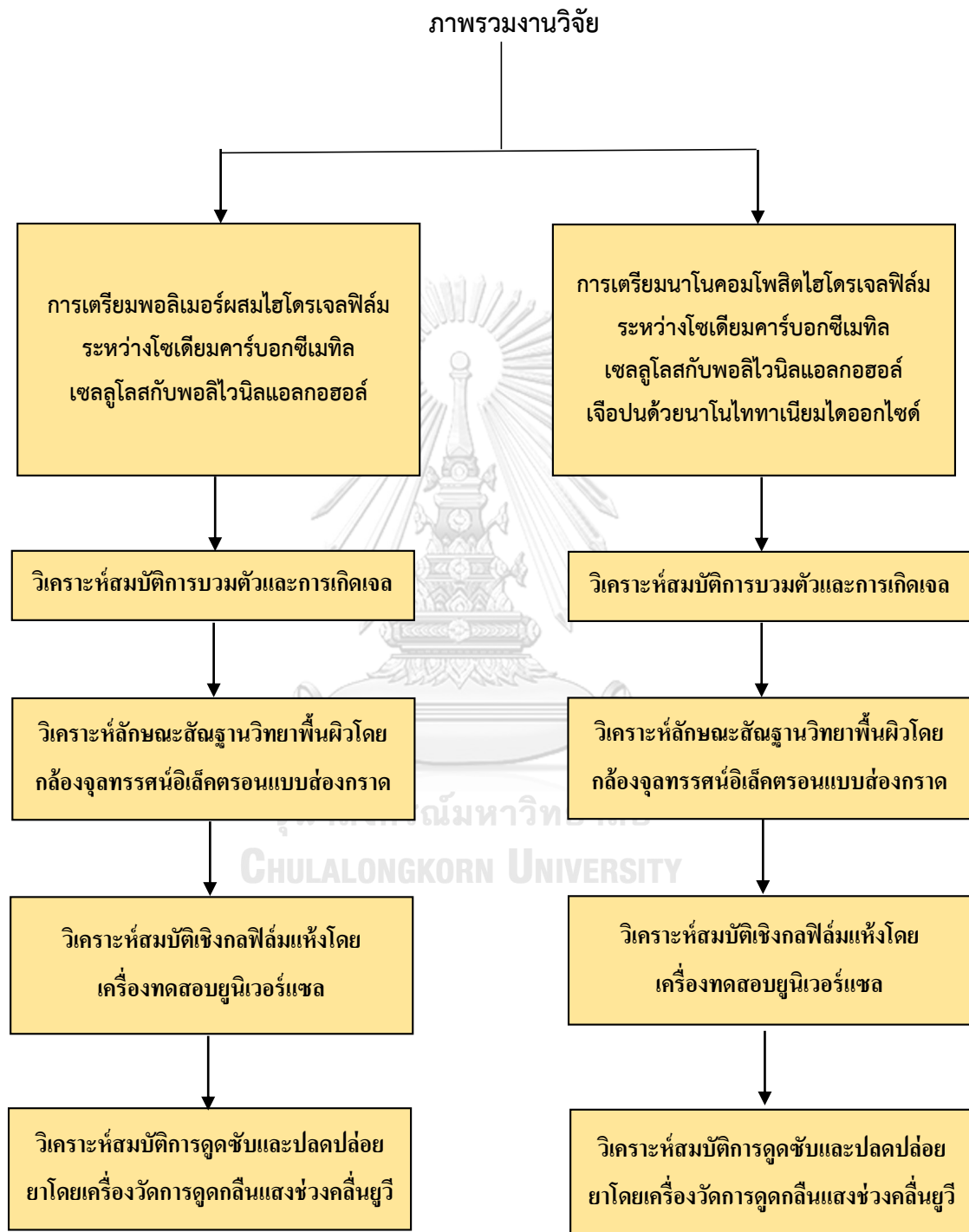
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) รุ่น JSM-IT500HR ของบริษัท JEOL
2. เครื่องวัดการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นยูวี (UV spectrophotometer) จากบริษัท Lab Tech
3. ตู้อบให้ความร้อน (Oven)
4. เครื่องสั่นด้วยความถี่สูง (Ultrasonic bath)
5. แท่นให้ความร้อนพร้อมอุปกรณ์หมุนด้วยสนามแม่เหล็ก (Hot plate stirrer)
6. ตู้ควบคุมความชื้น (Dry cabinet)
7. หม้อดูดสุญญากาศ (Suction vaccum pump)
8. เครื่องยูนีเวอร์แซลเทสตั้ง (Universal testing machine) ยี่ห้อ Tinius olsen
9. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier transform spectrophotometer) ยี่ห้อ Thermo Scientific
10. ปีกเกอร์ขนาด 250 ml (Beaker 250 ml)
11. ปีกเกอร์ขนาด 50 ml (Beaker 50 ml)
12. กระบอกตวงขนาด 100 ml (Cylinder 100 ml)
13. ปิเปตขนาด 20 ml (Pipett 20 ml)

14. ปิเปตขนาด 10 ml (Pipett 10 ml)
15. ไมโครปิเปตขนาด 1000 ไมโครลิตร (Micropipett 1000 microlitre)
16. ขวดปรับปริมาตรขนาด 25 ml (Volumetric flask 25 ml)
17. แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)
18. คิวเวต (Cuvette)
19. แม่แบบกล่องพลาสติกโพลิโพรพิลีนชนิดทนความร้อนสูง



3.3 แผนภูมิขั้นตอนการทดลอง



รูปภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงภาพรวมงานวิจัย

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มระหว่างโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

1. กำหนดน้ำหนักรวมของพอลิเมอร์เท่ากับ 3 กรัม
ซึ่งน้ำหนักพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดตามสัดส่วนดังนี้ 100/0, 90/10, 80/20, 70/30 และ 50/50 ตามลำดับ เทพอลิเมอร์ทั้งสองที่ชั่งได้ลงในบีกเกอร์
2. เทน้ำปลอดประจุจากกระบอกตวงปริมาณ 130 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ นำบีกเกอร์ไปวางบนเครื่องแทนความร้อนพร้อมสนามแม่เหล็กแล้วปั่นกวนโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนได้สารละลายขึ้นเนื้อเดียวกัน
3. กำหนดสัดส่วนปริมาณกรดซิตริก (สารเชื่อมขวาง) โดยร้อยละโดยน้ำหนักต่อพอลิเมอร์รวมดังนี้คือ ร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ ซึ่งน้ำหนักกรดซิตริกตามสัดส่วนที่กำหนดแล้วนำไปใส่บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตรแล้วเทน้ำปลอดประจุปริมาตร 20 มิลลิลิตรลงไปแล้วใช้แท่งแก้วคนจนได้สารละลายใส แล้วนำสารละลายกรดซิตริกเทลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลายพอลิเมอร์ขึ้นทำการปั่นกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็กเป็นระยะเวลา 10 นาที
4. นำบีกเกอร์สารละลายพอลิเมอร์ขึ้นที่ผสมกับกรดซิตริกจนเข้ากันแล้วไปเข้าหม้ออบสุญญากาศที่ต่อกับปั๊มสุญญากาศเพื่อไล่ฟองอากาศเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง
5. นำสารละลายที่ผ่านการไล่ฟองอากาศแล้วเทลงบนแม่แบบ
6. นำแม่แบบไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 20 ชั่วโมงเพื่อระเหยน้ำออกจากพอลิเมอร์
7. นำแม่แบบไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาทีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในการเชื่อมขวาง
8. ดึงฟิล์มออกจากแม่แบบใส่ถุงซิปลาสติกแล้วนำไปเข้าตู้ควบคุมความชื้นเพื่อรอทดสอบสมบัติต่างๆต่อไป
9. เมื่อทดสอบสมบัติต่างๆแล้วเลือกสูตรฟิล์มที่มีค่าร้อยละการบวมตัวสูงที่สุดและการเกิดเจลที่เหมาะสมเพื่อนำไปเจือปนด้วยอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เพื่อเตรียมเป็นนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มต่อไป

3.4.2 การเตรียมนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มระหว่างโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเจือปนด้วยอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

1. กำหนดน้ำหนักรวมของพอลิเมอร์เท่ากับ 3 กรัม
ชั่งน้ำหนักพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดตามสัดส่วน CMC 80/PVA 20 เทพอลิเมอร์ทั้งสองที่ชั่งได้ลงในปิกเกอร์ กำหนดอัตราส่วนของปริมาณอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นร้อยละโดยน้ำหนักต่อพอลิเมอร์รวมดังนี้ ร้อยละ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ [6],[21]
2. ชั่งน้ำหนักอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ตามที่กำหนดแล้วใส่ในปิกเกอร์ที่มีพอลิเมอร์อยู่แล้ว เทน้ำปลอดประจุจากกระบอกตวงปริมาณ 130 มิลลิลิตรลงในปิกเกอร์ นำปิกเกอร์ไปวางบนเครื่องแทนความร้อนพร้อมสนามแม่เหล็กแล้วปั่นกวนโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนได้สารละลายชั้นเนื้อเดียวกัน กำหนดสัดส่วนปริมาณกรดซิตริก (สารเชื่อมขวาง) โดยร้อยละโดยน้ำหนักต่อพอลิเมอร์รวมดังนี้คือร้อยละ 20 ตามลำดับ
3. ชั่งน้ำหนักกรดซิตริกตามสัดส่วนที่กำหนดแล้วนำไปใส่ปิกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตรแล้วเทน้ำปลอดประจุปริมาตร 20 มิลลิลิตรลงไปแล้วใช้แท่งแก้วคนจนได้สารละลายใส
4. นำสารละลายกรดซิตริกเทลงในปิกเกอร์ที่มีสารละลายพอลิเมอร์ชั้น
5. ทำการปั่นกวนโดยใช้แท่นแม่เหล็กเป็นระยะเวลา 10 นาที
6. นำปิกเกอร์สารละลายพอลิเมอร์ชั้นที่ผสมกับกรดซิตริกจนเข้ากันแล้วไปเข้าหม้ออบสุญญากาศที่ต่อกับปั๊มสุญญากาศเพื่อไล่ฟองอากาศเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง
7. นำสารละลายที่ผ่านการไล่ฟองอากาศแล้วเทลงบนแม่แบบ
8. นำแม่แบบไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 20 ชั่วโมง
9. นำแม่แบบไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาทีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในการเชื่อมขวาง
10. ดึงฟิล์มออกจากแม่แบบใส่ถุงซิปลาสติกแล้วนำไปเข้าตู้ควบคุมความชื้นเพื่อรอทดสอบสมบัติต่างๆต่อไป

3.5 การพิสูจน์เอกลักษณ์และการทดสอบสมบัติ (Characterization and Experimental testing)

3.5.1 การวิเคราะห์ร้อยละการบวมตัวของฟิล์มในสารละลายเกลือฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Swelling ratio percentage analysis)

1. เตรียมสารละลายเกลือฟอสเฟตบัฟเฟอร์โดยนำของสูตรสำเร็จที่มีผงเกลือฟอสเฟตอยู่ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ที่มีน้ำปลอดประจุอยู่ประมาณ 500 มิลลิลิตรแล้วใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากันจนได้สารละลายใสแล้วเทลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตรแล้วปรับปริมาตรโดยการใส่น้ำกลั่นให้มีปริมาตรเท่ากับ 1 ลิตร
2. ตัดแผ่นฟิล์มให้ได้น้ำหนักประมาณ 0.2 กรัมแล้วนำไปใส่ในจานเพาะเชื้อให้ครบทุกสูตรฟิล์ม
3. เปิดสารละลายเกลือฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปริมาตร 15 มิลลิลิตรลงในจานเพาะเชื้อที่มีแผ่นฟิล์มอยู่นำจานเพาะเชื้อไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง [22]
4. นำจานเพาะเชื้อออกจากตู้อบแล้วนำฟิล์มออกมาใช้กระดาษทิชชูเนื้อละเอียดซับน้ำที่ผิวไฮโดรเจลฟิล์มออกให้หมด
5. นำไฮโดรเจลฟิล์มไปชั่งน้ำหนักแล้วบันทึก
6. คำนวณค่าร้อยละการบวมตัว (Swelling ratio percentage) ตามสูตรนี้

$$\text{ร้อยละการบวมตัว (Swelling ratio percentage)} = \frac{W_s}{W_d} \times 100\% \quad [5]$$

เมื่อ W_s คือ น้ำหนักไฮโดรเจลฟิล์มที่เกิดการบวมตัว

W_d คือ น้ำหนักฟิล์มแห้งเริ่มต้น

3.5.2 การวิเคราะห์ค่าร้อยละการเกิดเจล (Gel fraction percentage analysis)

1. เทสารละลายเกลือฟอสเฟตบัฟเฟอร์ออกจากจานเพาะเชื้อให้หมด
2. เปิดน้ำปลอดประจุลงในจานเพาะเชื้อปริมาตร 20 มิลลิลิตรเพื่อสกัดส่วนของพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดการเชื่อมขวางให้ละลายออกไปแช่ฟิล์มทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง
3. เทน้ำออกจากจานเพาะเชื้อ
4. นำไฮโดรเจลฟิล์มที่เปียกไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง
6. นำฟิล์มแห้งมาชั่งน้ำหนัก
7. คำนวณค่าร้อยละการเกิดเจลโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละการเกิดเจล (Gel fraction percentage)} = \frac{W_f}{W_i} \times 100\% \quad [23]$$

เมื่อ W_f คือน้ำหนักแห้งของฟิล์มหลังสกัดด้วยน้ำปลอดประจุ

W_i คือน้ำหนักตั้งต้นของฟิล์ม

3.5.3 การทดสอบสมบัติการดูดซับยาและการปลดปล่อยยา (Drug loading and releasing experimental)

ทำการหามาตรฐานของสารละลายยาเทรธาไซคลินในน้ำปลดประจุ

1. ชั่งน้ำหนักยาเทรธาไซคลินมา 0.1 กรัม
2. ใส่ยาลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตรแล้วนำไปปั่นจนพร้อมทั้งให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนได้สารละลายสีเหลืองใสเนื้อเดียวกันความเข้มข้น 100 ppm
3. ทำการเจือจางสารละลายยาให้มีความเข้มข้นดังนี้ 25, 20, 15, 10 และ 5 ppm ตามลำดับโดยใช้ไมโครปิเปตขนาด 1000 ไมโครลิตรแล้วใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 ml
4. นำสารละลายที่ได้ใส่หลอดพลาสติกที่มีฝาปิด
5. นำสารละลายจากหลอดพลาสติกใส่ในคิวเวต
6. นำคิวเวตไปใส่ในช่องที่มีแสงยูวีส่องผ่านภายในเครื่องวัดการดูดกลืนแสงยูวีของบริษัท Lab Tech จะได้ค่าพีคของการดูดกลืนโดยเลือกพีคการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นประมาณ 363 nm [24] นำค่าการดูดกลืนมาสร้างสมการมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นในหน่วย ppm กับ ค่าการดูดกลืน (Absorbance) จะได้กราฟมาตรฐานแล้วใช้โปรแกรม Microsoft Excel หาค่าสมการการถดถอยและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการ

ทำการทดสอบการดูดซับยา

1. ชั่งน้ำหนักยาเทรธาไซคลินมา 0.025 กรัม
 2. ใส่ยาลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำปลดประจุแล้วนำไปปั่นจนพร้อมทั้งให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนยาละลายหมด
 3. ชั่งน้ำหนักพอลิเมอร์ผสมฟิล์มและนาโนคอมโพสิตฟิล์มให้มีน้ำหนักประมาณ 0.1 กรัม นำฟิล์มที่ชั่งได้ไปใส่ในงานเพาะเชื้อ
 4. ปิเปตสารละลายยาเทรธาไซคลินที่มีความเข้มข้น 25 ppm ลงในงานเพาะเชื้อที่มีฟิล์มอยู่แล้วแช่ฟิล์มทิ้งไว้ในงานเพาะเชื้อเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง
 5. ปิเปตสารละลายจากงานเพาะเชื้อที่มียาเหลืออยู่ใส่หลอดพลาสติก
 6. นำสารละลายจากหลอดพลาสติกเทลงในคิวเวต
 7. นำคิวเวตใส่ในช่องของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงยูวี จะได้พีคการดูดกลืนแสงยูวีเลือกค่าการดูดกลืนสูงสุดมาคำนวณหาปริมาณยาเทรธาไซคลินที่เหลืออยู่
- คำนวณปริมาณยาที่เหลืออยู่โดยนำค่าการดูดกลืนที่วัดได้ไปคำนวณในสมการมาตรฐานสุดท้ายจะได้ความเข้มข้นของยาที่เหลืออยู่
- คำนวณค่าร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับยาและความสามารถในการดูดซับยาดังนี้

$$\text{ค่าร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับยา (Loading efficiency)} = \frac{\text{ปริมาณยาที่ถูกบรรจุ}}{\text{ปริมาณยาที่อยู่ในสารละลายยา}} \times 100\%$$

$$\text{ค่าความสามารถในการดูดซับยา (Loading capacity)} = \frac{\text{ปริมาณยาที่ถูกบรรจุ}}{\text{น้ำหนักฟิล์ม}}$$

โดยทุกสูตรฟิล์มทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การทดสอบการปลดปล่อยยา

1. ปิดเปิดน้ำปลอดประจุปริมาณ 15 มิลลิลิตรลงในจานเพาะเชื้อ
2. นำฟิล์มมาใส่ในจานเพาะเชื้อเพื่อทดสอบการปลดปล่อยยาใช้ปิเปตขนาด 1 ไมโครลิตรดูดสารละลายที่มียาที่ถูกปลดปล่อยออกมาครั้งละ 1 มิลลิลิตรทั้งสิ้น 3 ครั้งลงในคิวเวตรวมปริมาตร 3 มิลลิลิตรแล้วนำคิวเวตไปใส่ในช่องตรวจวัดการดูดกลืนแสงของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงยูวีจะได้พีคของการดูดกลืนแสงยูวีนำค่าการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งพีคมาแทนค่าลงในสมการเพื่อหาความเข้มข้นของยาที่ถูกปลดปล่อยออกมา
3. ปิดเปิดน้ำกลั่นใส่เข้าไปแทนที่สารละลายยาที่ถูกดูดออกมาเพื่อรักษาความเข้มข้นโดยทำเช่นนี้ตามเวลานับตั้งแต่เริ่มใส่ฟิล์มลงในจานเพาะเชื้อดังนี้ 1, 3, 4, 6, 20 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ โดยทุกสูตรฟิล์มที่นำมาทดสอบทำการทดลอง 3 ซ้ำ

คำนวณร้อยละการปลดปล่อยยาดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละการปลดปล่อยยา (\% Releasing drug)} = \frac{\text{ปริมาณยาที่ถูกปลดปล่อย}}{\text{ปริมาณยาที่อยู่ในฟิล์ม}} \times 100\%$$

แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปภาพที่ 3.2 เครื่องวัดการดัดกลืนรังสีอินฟราเรด ยี่ห้อ Lab Tech

3.5.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลโดยวัดความทนทานต่อแรงดึง (Mechanical tensile testing)

1. นำฟิล์มไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น
2. ทำการทดสอบฟิล์มตามมาตรฐาน ASTM D-2802 (มาตรฐานในการวัดฟิล์มบาง) เริ่มแรกตัดฟิล์มเป็นแผ่นสทริปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดความกว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 10.16 เซนติเมตรแล้วนำไปวัดความหนาในหน่วยมิลลิเมตรโดยเครื่องวัดความหนาโดยวัดทั้งหมด 5 จุดบนแผ่นสทริปแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ความหนา
3. ทำการตั้งระยะเกจของเครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล โดยทดสอบในโหมดแรงดึงใช้ขนาด Load cell 500 N โดยตั้งระยะเกจเท่ากับ 7.62 เซนติเมตร
4. นำฟิล์มเข้าไปหนีบกับตัวยึดของเครื่อง
5. ตั้งค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรมซอฟต์แวร์ในการประมวลผลการทดสอบแรงดึงให้ครบโดยตั้งค่าให้พรีโหลดก่อน 1 N ความเร็วเริ่มต้นในการดึง 10 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วในการดึง 12.5 มิลลิเมตรต่อวินาที จะได้กราฟระหว่างความเค้น (Stress) กับ ความเครียด (Strain) และกราฟระหว่างแรงที่ใช้

ดิ่งกับระยะยืดของฟิล์มรวมถึงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญเช่น ค่าความเหนียว (Toughness) ค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) เป็นต้น

6. นำค่าที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแล้วทำการพลอตกราฟระหว่างค่าพารามิเตอร์ที่ได้เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติที่แตกต่างกันของแต่ละสูตรฟิล์ม



รูปภาพที่ 3.3 เครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล ยี่ห้อ Tinius Olsen

3.5.5 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาที่พื้นผิว (Surface morphology analysis)

1. นำพอลิเมอร์ผสมฟิล์ม CMC/PVA ทุกสัดส่วนและนาโนคอมโพสิตฟิล์ม CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% ที่มีปริมาณกรดซัลฟิวริก 20% ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-IT500HR) โดยส่องที่กำลังขยาย 10,000 และ 30,000 เท่าตามลำดับสุดท้ายจะได้ภาพสัณฐานวิทยาที่พื้นผิวฟิล์ม



รูปภาพที่ 3.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-IT500HR

3.5.6 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแอทเทนนูเอตโททอลรีแฟรคแทรนฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared spectroscopy analysis)

1. นำฟิล์มทุกสูตรไปวิเคราะห์พันธะเคมีที่มีในฟิล์มโดยนำไปทดสอบกับเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี ยี่ห้อ Thermo Scientific โดยใช้ค่ากำลังการแยก (Resolution) เท่ากับ 16
2. จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการซึมผ่าน (% Transmittance) กับ ค่าเลขคลื่น (Wavenumber) ออกมาได้กราฟเป็นพีคจากการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของพันธะเคมีแล้วเกิดการเคลื่อนไหวของพันธะเคมีในโมเลกุลสุดท้ายนำกราฟที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของฟิล์มต่อไป



รูปภาพที่ 3.5 เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Thermo Scientific

3.5.7 การทดสอบสมบัติต้านทานแบคทีเรีย (Antibacterial activity testing)

1. นำนาโนคอมโพสิตฟิล์มที่มีการเจือปนด้วยอนุภาคนาโนไททานเนียมไดออกไซด์ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักพอลิเมอร์ไปวัดการต้านทานเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบคือ *Strephylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ตามลำดับโดยส่งทดสอบที่หน่วยบริการทดสอบทางจุลชีววิทยา ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ JIS Z 2801 โดยเป็นการหาลักษณะการลดลงของจำนวนแบคทีเรียโดยก่อนการทดสอบจะมีการฉายแสงยูวีเอไปที่ฟิล์มนาโนคอมโพสิตเพื่อทำการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาการเร่งด้วยแสงเพื่อให้ได้อนุภาคออกซิเจนที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
2. นำผลการทดลองที่ได้ไปสรุปและอภิปรายผลการทดลอง

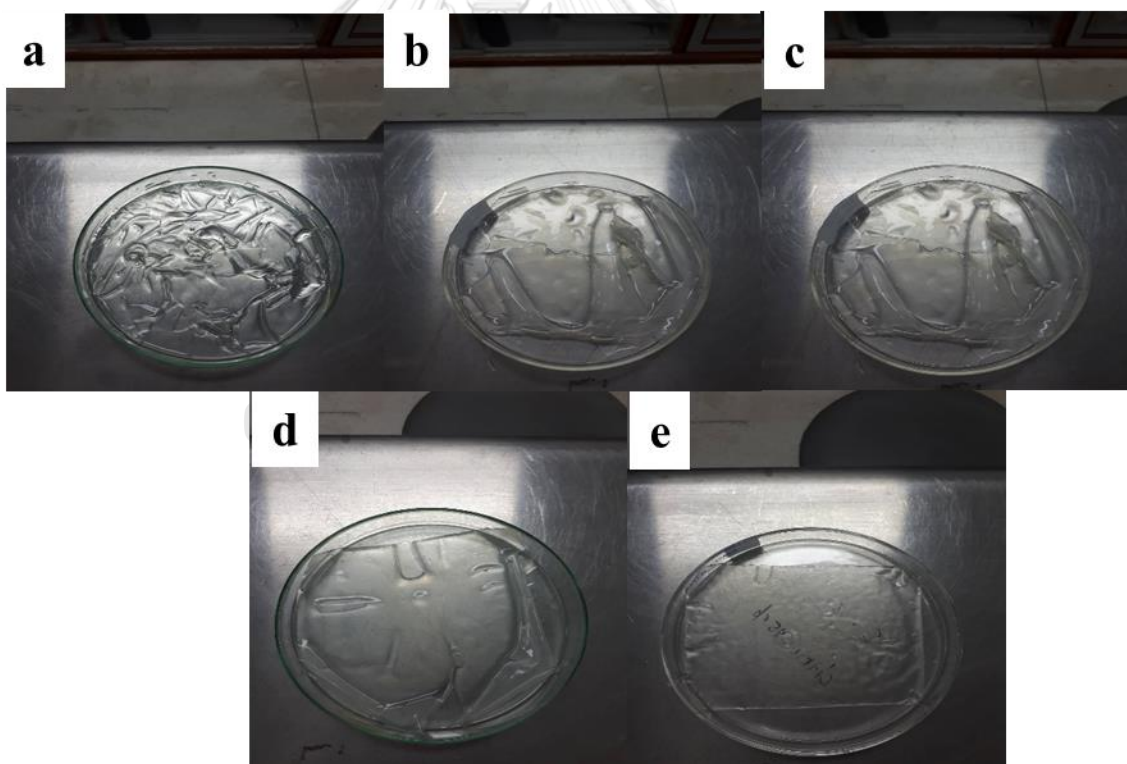
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการเตรียมพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มสัดส่วน CMC/PVA สัดส่วนต่างๆ

โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

จากรูปภาพที่ 4.1 แสดงภาพผลการเตรียมพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มระหว่างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์พบว่าพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มสูตรที่มีคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 100 มีลักษณะเป็นฟิล์มที่มีลักษณะเป็นเจลใสมิ่นผิวที่ลื่นและหนืดเล็กน้อยแต่เมื่อมีการเพิ่มองค์ประกอบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มเข้าไปในสูตรฟิล์มร้อยละ 10, 20, 30 และ 50 ตามลำดับพบว่าพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มมีลักษณะที่มีสีขาวขุ่นอันเนื่องมาจากผลึกของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ส่วนที่ไม่ได้เชื่อมขวาง



รูปภาพที่ 4.1 สูตร CMC 100/PVA 0 (a), CMC 90/PVA 10 (b), CMC 80/PVA 20 (c), CMC 70/PVA 30 (d) & CMC 50/PVA 50 (e) แสดงภาพลักษณะของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มระหว่าง CMC/PVA สัดส่วนต่างๆ โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

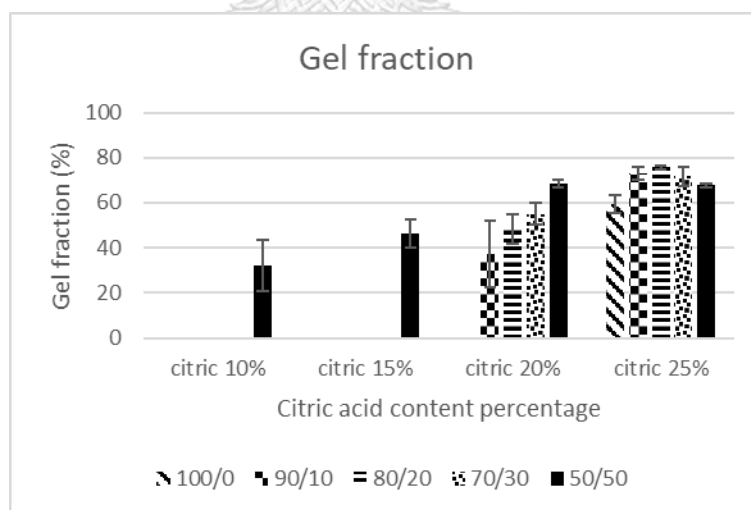
4.2 การวิเคราะห์ร้อยละการเกิดเจลของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มและนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์ม

4.2.1 ผลของปริมาณการใส่สารเชื่อมขวาง

จากรูปภาพที่ 4.2 พบว่าเมื่อทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มที่มีสัดส่วน CMC/PVA ที่เท่ากันโดยใส่ปริมาณกรดซิตริกเพิ่มขึ้นจะพบว่าค่าร้อยละการเกิดเจลมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใส่กรดซิตริกอันเนื่องมาจากเกิดการเชื่อมขวางที่เพิ่มขึ้นในพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มเมื่อเติมสารเชื่อมขวางเพิ่มขึ้น

4.2.2 ผลของปริมาณการใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

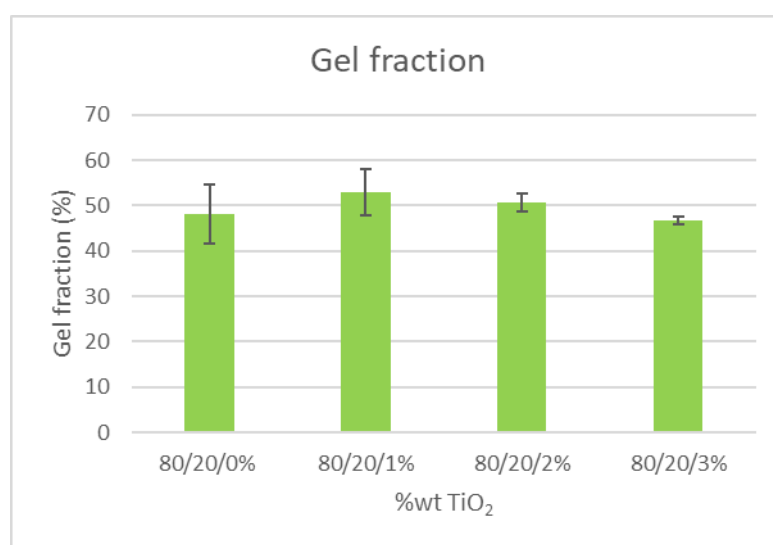
จากรูปภาพที่ 4.2 พบว่าเมื่อทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มที่ใส่กรดซิตริกปริมาณเท่ากันแล้วใส่ปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าร้อยละการเกิดเจลมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากเกิดการเชื่อมขวางโดยรวมที่เพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มโดยเฟสเชื่อมขวางที่เพิ่มขึ้นมาจะเป็นเฟส CMC-PVA และ PVA-PVA เพราะการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่ CMC กับ PVA และ PVA กับ PVA เกิดขึ้นได้ง่ายกว่าสายโซ่ CMC กับ CMC เนื่องจากมีระยะห่างระหว่างสายโซ่ที่ต่ำกว่าเพราะไม่มีแรงผลักรันระหว่างประจุลบของหมู่คาร์บอกซีเลตบนสายโซ่ที่ทำให้สายโซ่เกิดระยะห่างระหว่างกันซึ่งทำให้ยากต่อการเชื่อมขวาง



รูปภาพที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการเกิดเจลพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์ม สัดส่วนต่างๆกับปริมาณร้อยละกรดซิตริกที่ใส่

4.2.3 ผลของปริมาณการใส่อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

จากรูปภาพที่ 4.3 แสดงผลร้อยละการเกิดเจลของไฮโดรเจลฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20 และสูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 1%, CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% และ CMC 80/PVA 20/TiO₂ 3% พบว่าทุกสูตรที่เจือปนด้วยอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์มีค่าร้อยละการเกิดเจลที่ระดับใกล้เคียงกันที่ประมาณร้อยละ 50 กับสูตร CMC 80/PVA 20 อันเนื่องมาจากอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ไม่ได้เข้าไปช่วยเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันในการเชื่อมขวางในสภาวะการทดลองนี้

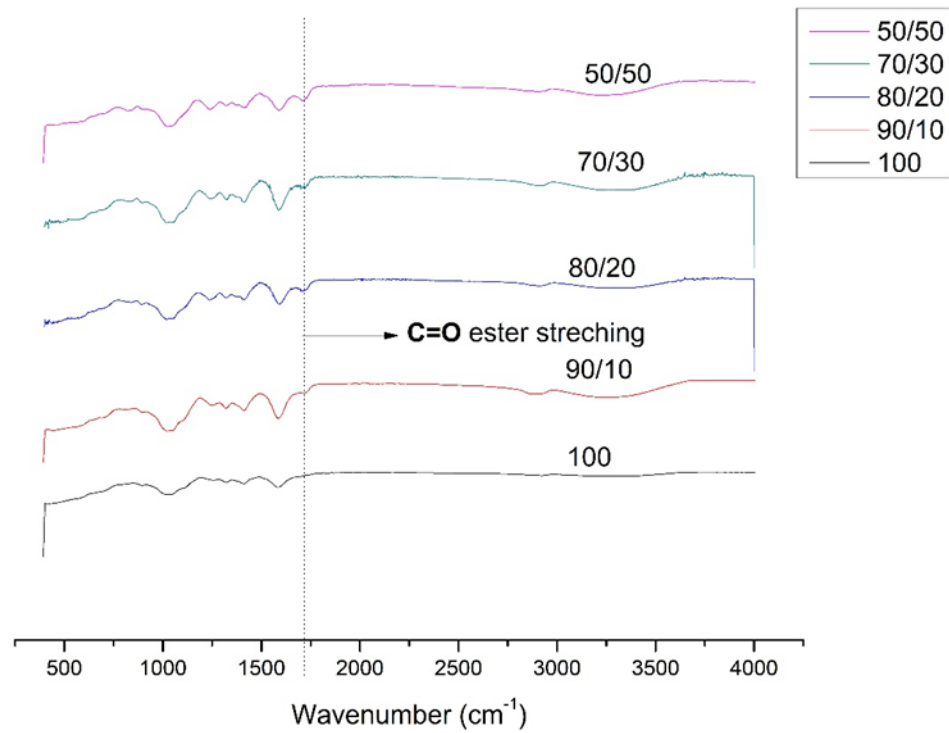


รูปภาพที่ 4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการเกิดเจลของไฮโดรเจลฟิล์มสัดส่วน CMC 80/PVA 20 โดยมีปริมาณ TiO₂ 0%, 1%, 2% และ 3% ตามลำดับ โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

4.3 การวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางทางเคมี

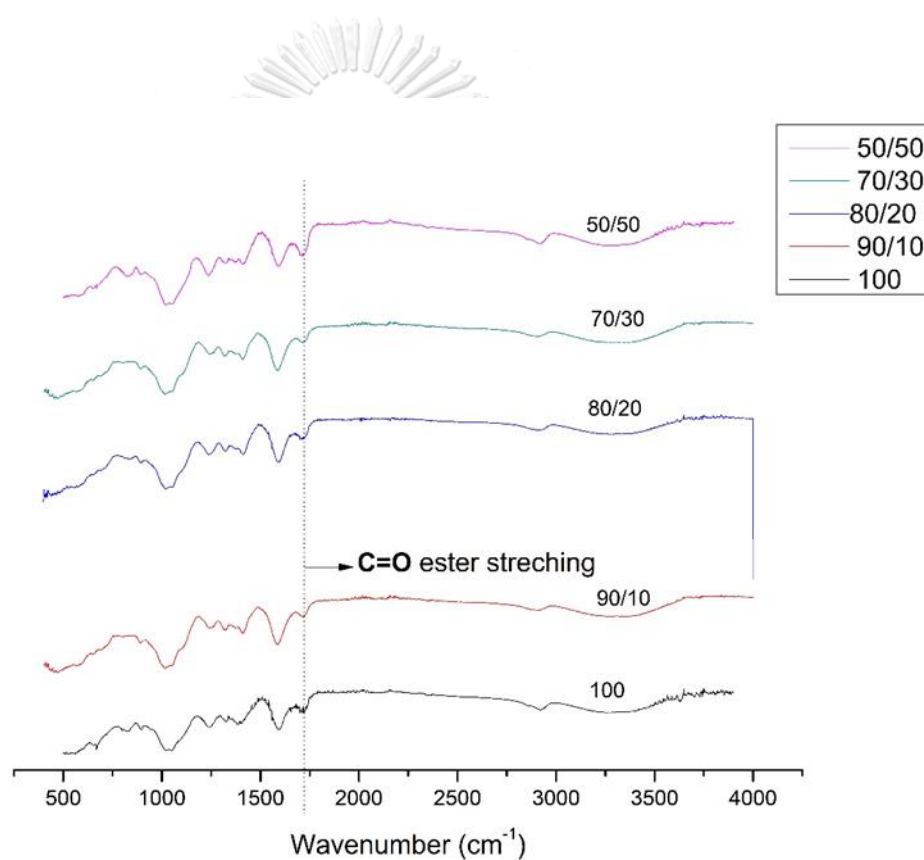
จากรูปภาพที่ 4.3 ซึ่งเป็นกราฟสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตร CMC 100/PVA 0, CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 ตามลำดับ โดยใส่ปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 10 โดยน้ำหนักพอลิเมอร์พบว่าพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตร CMC 100/PVA 0 และ CMC 90/PVA 10 ไม่พบพีคการดูดกลืนของเอสเทอร์คาร์บอนิลที่ตำแหน่งประมาณ 1730 cm⁻¹ อันเนื่องมาจากสูตรนี้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันในการเชื่อมขวางที่ไม่สมบูรณ์แต่สำหรับสูตร CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 พบ

พีคการดูดกลืนของเอสเทอร์คาร์บอนิลที่ตำแหน่งประมาณ 1730 cm^{-1} อันเนื่องมาจากสูตรเหล่านี้มี
การเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางที่สูงกว่าสูตร CMC 100/PVA 0 และ CMC 90/PVA 10



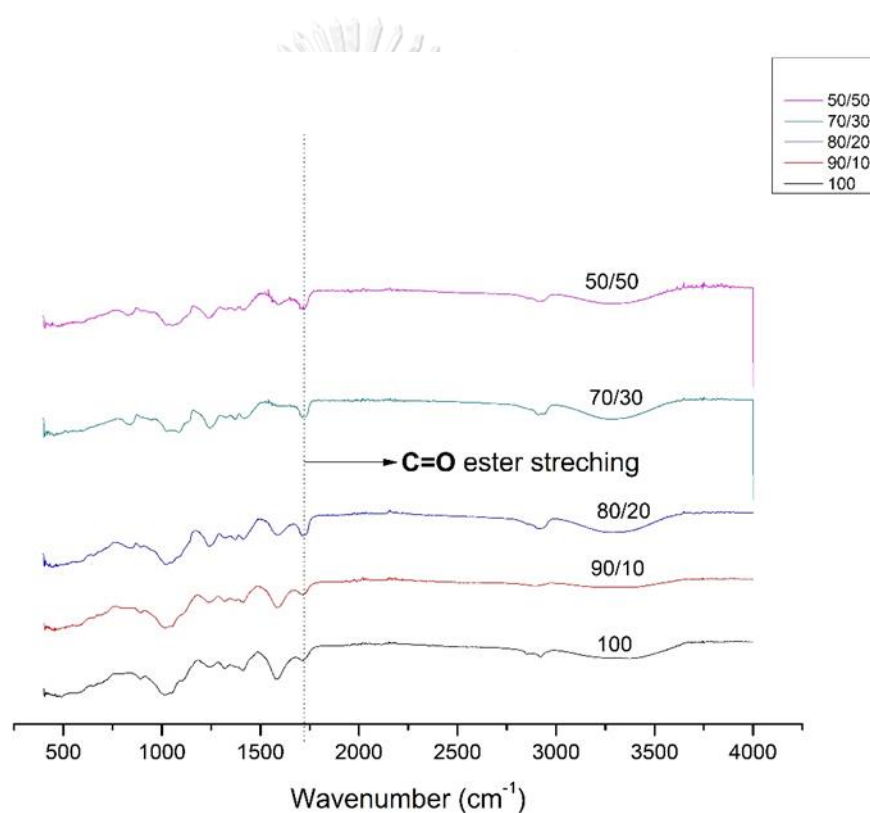
รูปภาพที่ 4.4 แสดงกราฟสเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ของพอลิเมอร์ผสมฟิล์ม
สูตร CMC 100/PVA 0, CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ
CMC 50/PVA 50 ตามลำดับ โดยมีกรดซิตริก 10% เป็นสารเชื่อมขวาง

จากรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นกราฟสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตร CMC 100/PVA 0, CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 ตามลำดับ โดยใส่ปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 15 โดยน้ำหนักพอลิเมอร์พบว่าพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตร CMC 100/PVA 0, CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 พบเกิดการดูดกลืนของเอสเทอร์คาร์บอนิลที่ตำแหน่งประมาณ 1730 cm^{-1} ที่มีความเข้มต่ำอันเนื่องมาจากสูตรเหล่านี้มีการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางที่ต่ำแต่สำหรับสูตร CMC 50/PVA 50 พบเกิดการดูดกลืนของเอสเทอร์คาร์บอนิลที่มีความเข้มสูงกว่าที่ประมาณ 1730 cm^{-1} อันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่สูงกว่าสูตรที่ CMC 100/PVA 0, CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20 และ CMC 70/PVA 30



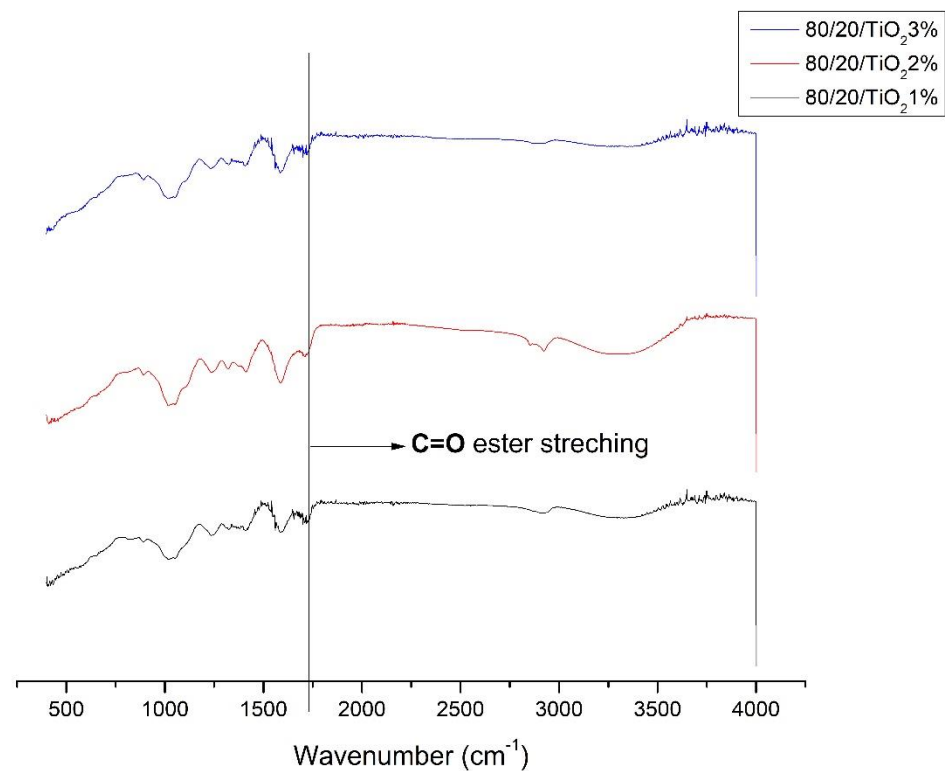
รูปภาพที่ 4.5 แสดงกราฟสเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตร CMC 100/PVA 0, CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 ตามลำดับ โดยมีกรดซิตริก 15% เป็นสารเชื่อมขวาง

จากรูปภาพที่ 4.5 ซึ่งเป็นกราฟสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตร CMC 100/PVA 0, CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 โดยใส่ปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 20 พบว่าพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตร CMC 100/PVA 0 พบพีคการดูดกลืนของเอสเทอร์คาร์บอนิลที่มีความเข้มต่ำที่ตำแหน่งประมาณ 1730 cm^{-1} อันเนื่องมาจากสูตรนี้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันในการเชื่อมขวางที่ต่ำและสำหรับสูตร CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 พบพีคการดูดกลืนของเอสเทอร์คาร์บอนิลที่มีความเข้มสูงกว่าของสูตร CMC 100/PVA 0 ที่ตำแหน่งประมาณ 1730 cm^{-1} อันเนื่องมาจากสูตรเหล่านี้มีการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางที่สูงกว่าสูตร CMC 100/PVA 0



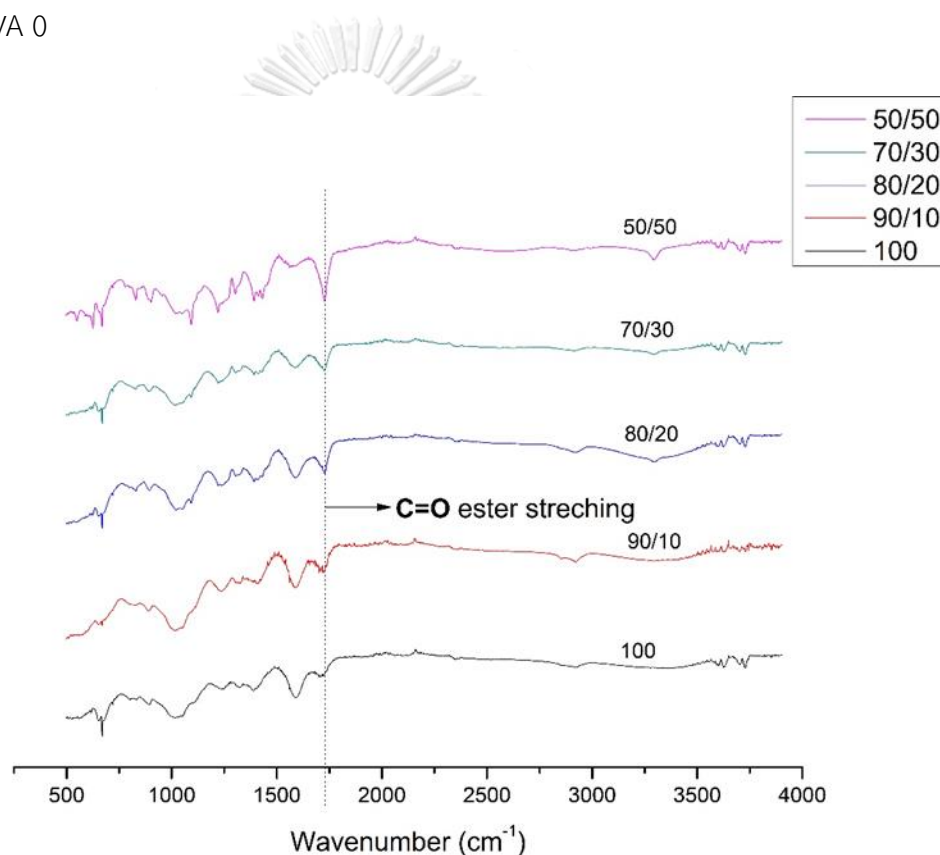
รูปภาพที่ 4.6 แสดงกราฟสเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตร CMC 100/PVA 0, CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

จากรูปภาพที่ 4.6 ซึ่งเป็นกราฟแสดงสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ของนาโนคอมโพสิตฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 1%, CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% และ CMC 80/PVA 20/TiO₂ 3% โดยใส่ปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 20 เท่ากันทุกสูตรพบพีคเอสเทอร์คาร์บอนิลที่ตำแหน่งประมาณ 1730 cm⁻¹ โดยมีความเข้มพีคของเอสเทอร์คาร์บอนิลใกล้เคียงกันแสดงถึงจำนวนการเกิดพันธะเอสเทอร์ในการเชื่อมขวางทางเคมีที่ใกล้เคียงกันเพราะอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในสถานะการทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันนี้ไม่ได้ช่วยเร่งปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน



รูปภาพที่ 4.6 แสดงกราฟสเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ของนาโนคอมโพสิตฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 1%, 2%, 3% โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

จากรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นกราฟสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตร CMC 100/PVA 0, CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 โดยใส่ปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 25 โดยน้ำหนักพอลิเมอร์พบว่าพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตร CMC 100/PVA 0 พบพีคการดูดกลืนของเอสเทอร์คาร์บอนิลที่ตำแหน่งประมาณ 1730 cm^{-1} ที่มีความเข้มของพีคต่ำอันเนื่องมาจากสูตรนี้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันในการเชื่อมขวางที่ต่ำแต่สำหรับสูตร CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 พบพีคการดูดกลืนของเอสเทอร์คาร์บอนิลที่ตำแหน่งประมาณ 1730 cm^{-1} ที่มีความเข้มของพีคที่สูงกว่าสูตร CMC 100/PVA 0 อันเนื่องมาจากสูตรเหล่านี้มีการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางที่สูงกว่าสูตร CMC 100/PVA 0



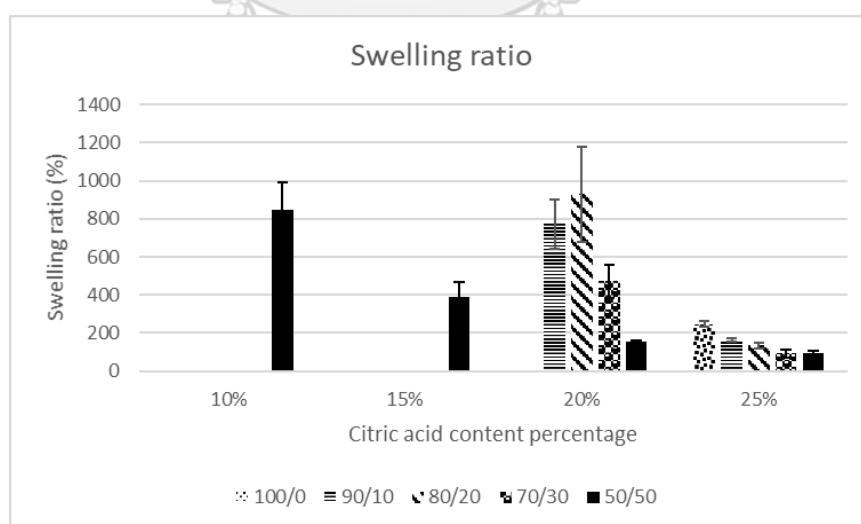
รูปภาพที่ 4.7 แสดงกราฟสเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตร CMC 100/PVA 0, CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 ตามลำดับ โดยมีกรดซิตริก 25% เป็นสารเชื่อมขวาง

4.4 การวิเคราะห์ร้อยละความสามารถในการบวมตัวของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มและนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มในสารละลายเกลือฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส

4.4.1 ผลของปริมาณสารเชื่อมขวางต่อค่าร้อยละการบวมตัวของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์ม จากรูปภาพที่ 4.8 พบว่าค่าร้อยละการบวมตัวของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มที่มีสัดส่วน CMC/PVA ที่เหมือนกันเมื่อใส่กรดซิตริกเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าร้อยละการบวมตัวของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มมีค่าลดลงอันเนื่องมาจากการเพิ่มสารเชื่อมขวางจะทำให้พอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มมีความแข็งตัวของโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นทำให้โมเลกุลขยายตัวได้ยากขึ้น

4.4.2 ผลของปริมาณการใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อค่าร้อยละการบวมตัวของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์ม

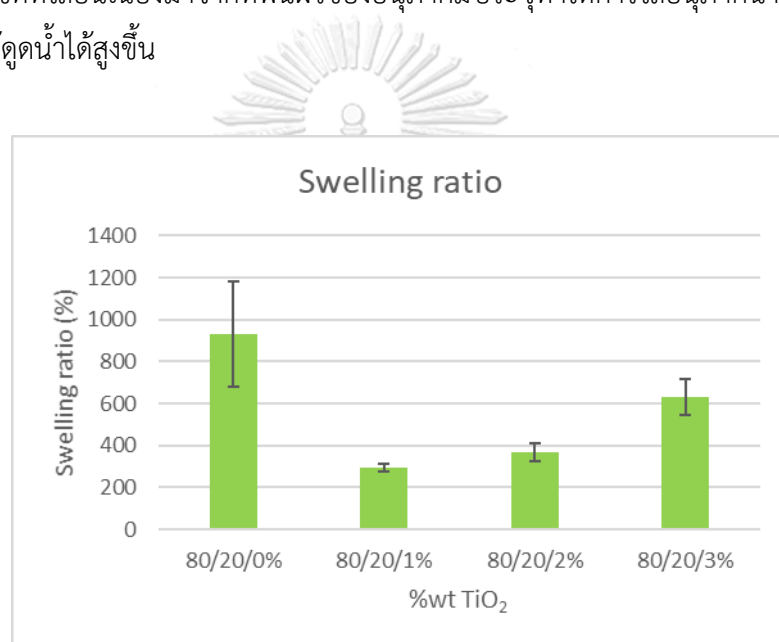
จากรูปภาพที่ 4.8 พบว่าค่าร้อยละการบวมตัวของพอลิเมอร์สูตรที่ใส่ปริมาณกรดซิตริกเท่ากัน โดยใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10, 20, 30 และ 50 พบว่าค่าร้อยละการบวมตัวของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มมีค่าที่ลดลงอันเนื่องมาจากการเกิดการเชื่อมขวางโดยรวมที่เพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มโดยเฟสที่ทำให้การเชื่อมขวางโดยรวมเพิ่มขึ้นมาจะเป็นเฟส CMC-PVA และ PVA-PVA เพราะการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่ CMC กับ PVA และ PVA กับ PVA เกิดขึ้นได้ง่ายกว่าสายโซ่ CMC กับ CMC เนื่องจากมีระยะห่างระหว่างสายโซ่ที่ต่ำกว่าเพราะไม่มีแรงผลักกันระหว่างประจุลบของหมู่คาร์บอกซีเลตบนสายโซ่ที่ทำให้สายโซ่เกิดระยะห่างระหว่างกันซึ่งทำให้ยากต่อการเกิดการเชื่อมขวาง [1]



รูปภาพที่ 4.8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการบวมตัวของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มที่สัดส่วนต่างๆกับปริมาณร้อยละของกรดซิตริกที่ใส่

4.4.3 ผลของปริมาณการใส่อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

จากรูปภาพที่ 4.9 พบว่าการใส่อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เข้าไปทำให้นาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มมีค่าร้อยละการบวมตัวที่ลดลงเมื่อเทียบกับไม่ได้ใส่อันเนื่องมาจากอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่กระจายตัวทั่วโครงสร้างไฮโดรเจลไปขัดขวางการเข้ามาของโมเลกุลน้ำ แต่เมื่อพิจารณาที่สูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 1%, CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% และ CMC 80/PVA 20/TiO₂ 3% ตามลำดับจะพบว่าค่าร้อยละการบวมตัวมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใส่อันเนื่องมาจากที่พื้นผิวของอนุภาคมีประจุทำให้การใส่อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ทำให้ดูดน้ำได้สูงขึ้น

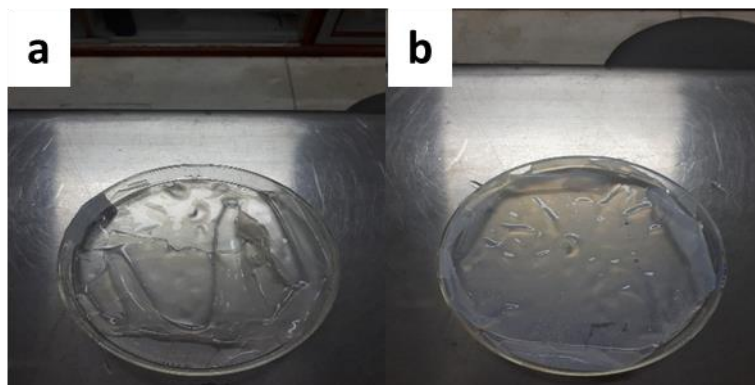


รูปภาพที่ 4.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการบวมตัวของไฮโดรเจลฟิล์มที่สัดส่วน CMC 80/PVA 20 โดยมีปริมาณ TiO₂ 0%, 1%, 2% และ 3% ตามลำดับ โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

4.5 ผลการเตรียมนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

จากรูปภาพที่ 4.10 แสดงผลการเตรียมพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์ม CMC 80/PVA 20 กับนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์ม CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% พบว่าสูตร CMC 80/PVA 20 เป็นเจลสีขาวขุ่นมีผิวที่ลื่นแต่สูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% โดยน้ำหนักพอลิเมอร์มีลักษณะเป็นเจลสีขาว

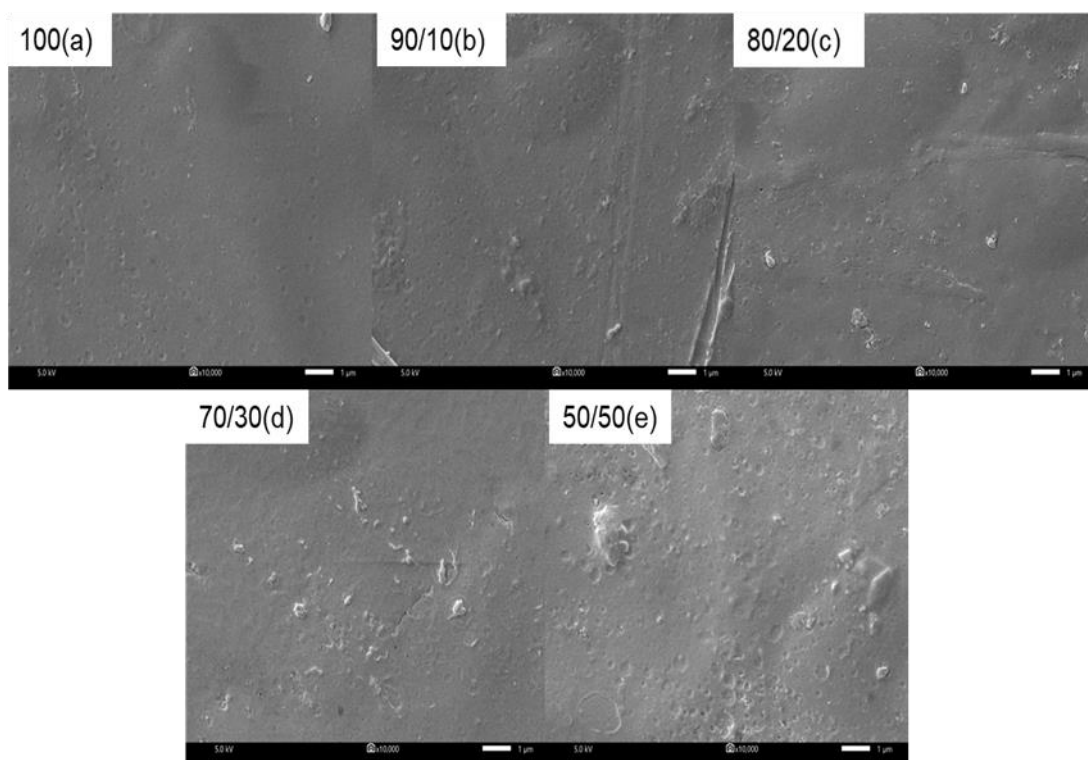
ขุ่นขึ้นเมื่อเทียบกับสูตร CMC 80/PVA 20 และมีกลุ่มก้อนอนุภาคนาโนไททานเนียมไดออกไซด์
กระจายตัวอยู่บนผิวฟิล์ม



รูปภาพที่ 4.10 CMC 80/PVA 20 (a) และ CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% (b) แสดงภาพของไฮโดรเจลฟิล์มระหว่างสูตร CMC 80/PVA 20 กับ สูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

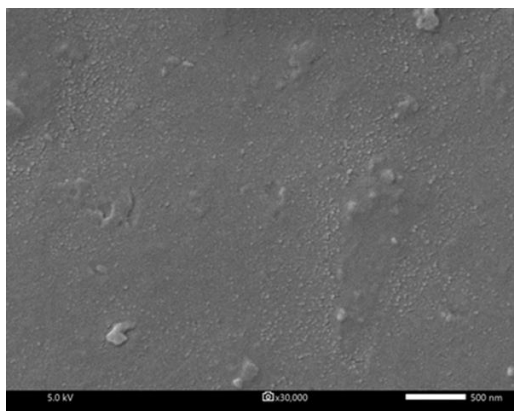
4.6 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตรต่างๆกับนาโนคอมโพสิตฟิล์ม CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

จากรูปภาพที่ 4.11 ซึ่งแสดงถึงลักษณะสัณฐานวิทยาที่พื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตรซึ่งวิเคราะห์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยใส่ปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 20 พบว่าพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตร CMC 100/PVA 0 มีพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบต่อมาเมื่อมีการเพิ่มปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์พบว่าลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มมีลักษณะที่ไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์อันเนื่องมาจากเกิดการเชื่อมขวางเป็นเฟส CMC-PVA กับ PVA-PVA เพิ่มขึ้นตามปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ใส่เข้าไป



รูปภาพที่ 4.11 CMC 100/PVA 0 (a), CMC 90/PVA 10 (b), CMC 80/PVA 20 (c), CMC 70/PVA 30 (d) และ CMC 50/PVA 50 (e) โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง โดยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

จากรูปภาพที่ 4.12 เป็นภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงถึงลักษณะสัณฐานวิทยาที่พื้นผิวของนาโนคอมโพสิตฟิล์ม CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% พบว่าลักษณะพื้นผิวมีความไม่สม่ำเสมอเนื่องจากการเมื่อมีการเพิ่มปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะทำให้เกิดการเชื่อมขวางเป็นเฟส CMC-PVA กับ PVA-PVA ขึ้นมารวมถึงยังพบจุดสีขาวซึ่งคืออนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีการกระจายแบบรวมกลุ่มกันทั่วพื้นผิวฟิล์ม

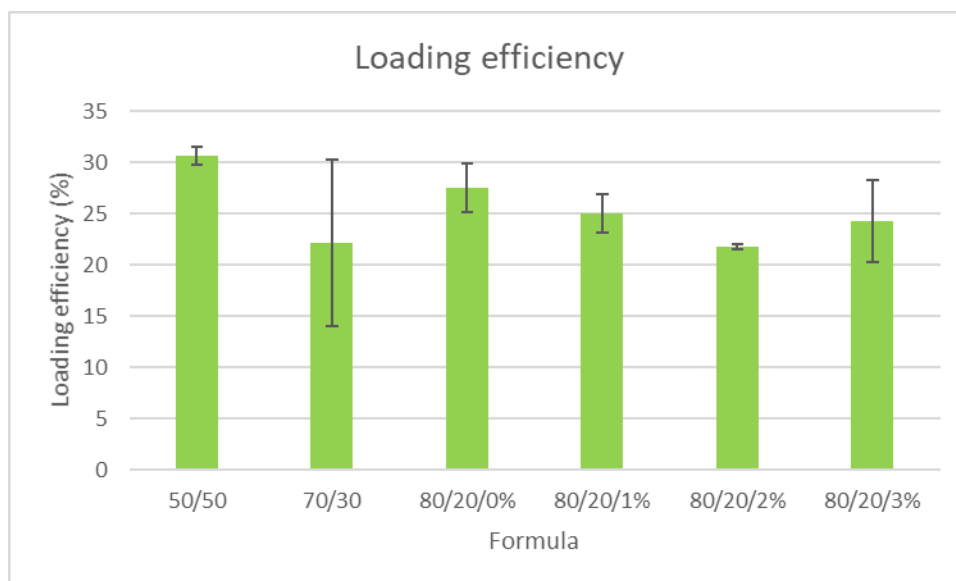


รูปภาพที่ 4.12 แสดงภาพลักษณะสัณฐานวิทยาที่พื้นผิวของนาโนคอมโพสิตฟิล์ม CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง โดยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า

4.7 การศึกษาสมบัติในการกักเก็บและปลดปล่อยยาเทตราไซคลินของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มกับนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์ม โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

4.7.1 การวิเคราะห์ร้อยละประสิทธิภาพในการกักเก็บยา

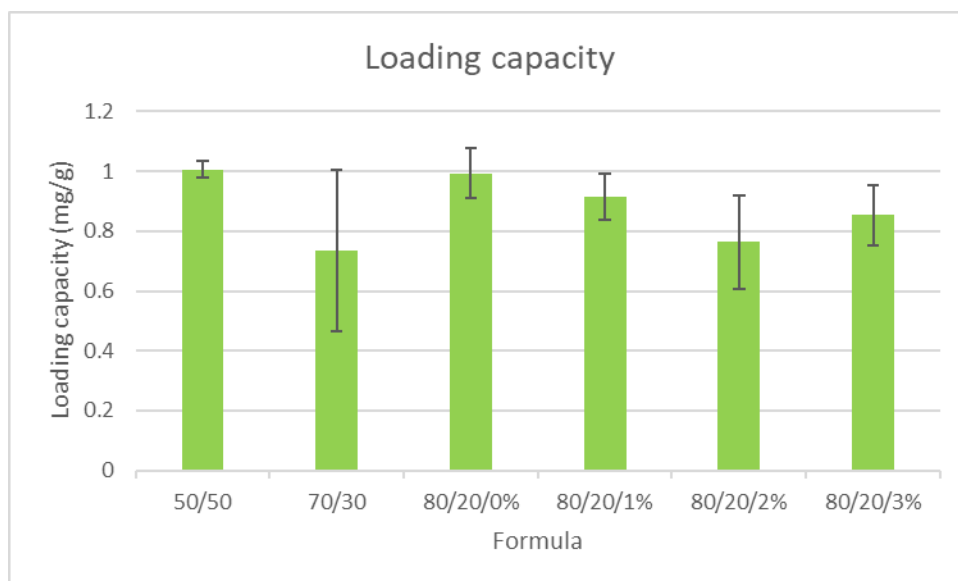
จากรูปภาพที่ 4.13 แสดงร้อยละประสิทธิภาพในการกักเก็บยาเทตราไซคลินของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มและนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มสูตรต่างๆที่ใส่กรดซิตริกร้อยละ 20 โดยน้ำหนักพอลิเมอร์เท่ากัน สำหรับสูตรที่มีสัดส่วน CMC 80/PVA 20, CMC 80/PVA 20/TiO₂ 1%, CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% และ CMC 80/PVA 20/TiO₂ 3% พบว่าร้อยละประสิทธิภาพในการกักเก็บยามีค่าเท่ากับ 27.56 , 25.05, 21.77 และ 24.27 จะพบว่าสูตรที่เจือปนด้วยอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เข้าไปมีร้อยละความสามารถในการกักเก็บยาที่ต่ำกว่าสูตรที่ไม่มีการเจือปนด้วยอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์อันเนื่องมาจากอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่อยู่ในโครงสร้างไฮโดรเจลไปขัดขวางการเคลื่อนที่เข้ามาของโมเลกุลยา ส่วนเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพอลิเมอร์ผสมสูตร CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 นั้นพบว่าค่าร้อยละการกักเก็บยามีค่าเท่ากับ 27.556, 22.116 และ 30.678 ตามลำดับ โดยสูตร CMC 80/PVA 20 กับสูตร CMC 50/PVA 50 มีค่าใกล้เคียงกันแต่สูตร CMC 70/PVA 30 มีค่าที่ต่ำกว่าเล็กน้อย



รูปภาพที่ 4.13 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละประสิทธิภาพในการกักเก็บยาเทตราไซคลินของไฮโดรเจลฟิล์มที่สัดส่วน CMC/PVA 50/50, 70/30 และ 80/20 ที่ใส่อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์สัดส่วนต่างๆ โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

4.7.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการกักเก็บยา

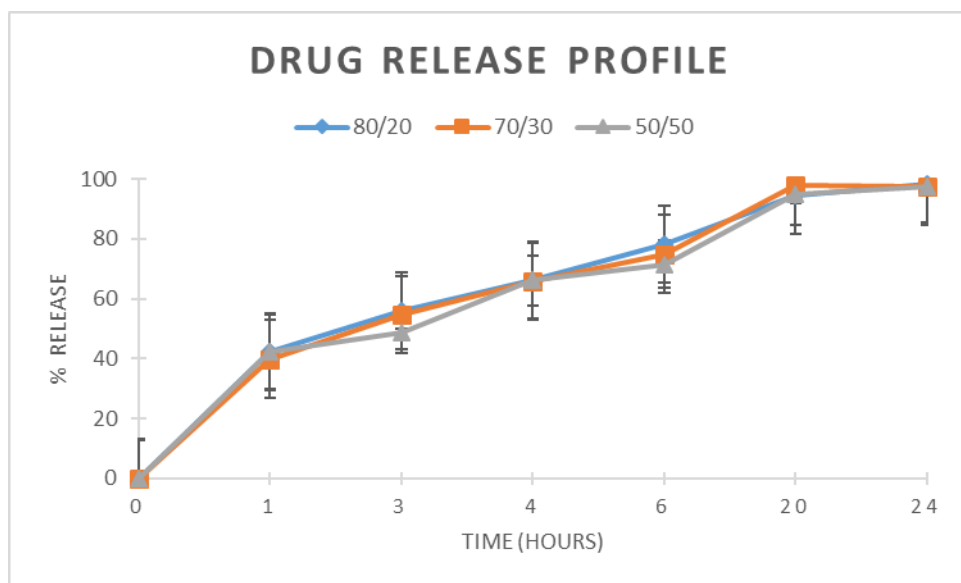
จากรูปภาพที่ 4.14 แสดงความสามารถในการกักเก็บยาเทตราไซคลินของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มและนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มที่ใส่ปริมาณกรดซิตริกเป็นร้อยละ 20 โดยน้ำหนักพอลิเมอร์โดยสำหรับสูตรที่มีสัดส่วน CMC 80/PVA 20, CMC 80/PVA 20/TiO₂ 1%, CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% และ CMC 80/PVA 20/TiO₂ 3% พบว่ามีความสามารถในการกักเก็บยาเทตราไซคลินอยู่ที่ 0.99, 0.92, 0.76 และ 0.85 หน่วย mg/g จะเห็นว่าสูตรที่มีการเจือปนด้วยอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์จะมีความสามารถในการกักเก็บยาที่ต่ำกว่าสูตรที่ไม่เจือปนด้วยอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์อันเนื่องมาจากสาเหตุเดียวกันกับค่าร้อยละประสิทธิภาพการกักเก็บยา ต่อมาสำหรับสูตร CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 ตามลำดับพบว่ามีความสามารถในการกักเก็บยาเทตราไซคลินอยู่ที่ 0.99, 0.73 และ 1.01 หน่วย mg/g โดยสูตร CMC 80/PVA 20 และ CMC 50/PVA 50 มีค่าความสามารถในการกักเก็บยาใกล้เคียงกันแต่สูตร CMC 70/PVA 30 มีค่าความสามารถในการกักเก็บยาที่ต่ำกว่าเล็กน้อย



รูปภาพที่ 4.14 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการกักเก็บยาเททราไซคลินที่สัดส่วน CMC/PVA 50/50, 70/30 และ 80/20 ที่ใส่อนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์สัดส่วนต่างๆ โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

4.7.3 การศึกษาพฤติกรรมในการปลดปล่อยยา

จากรูปภาพที่ 4.15 แสดงรูปแบบพฤติกรรมในการปลดปล่อยยาเททราไซคลินของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มที่ใส่กรดซิตริกร้อยละ 20 โดยน้ำหนักพอลิเมอร์ สูตร CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 ตามลำดับพบว่าทั้งสามสูตรสามารถที่จะช่วยชะลอการปลดปล่อยยาเททราไซคลินได้โดยมีพฤติกรรมในการปลดปล่อยยาเททราไซคลินที่มีลักษณะแบบเดียวกันโดยเมื่อสิ้นสุดเวลา 24 ชั่วโมงนั้นพบว่าพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มทุกสูตรมีร้อยละการปลดปล่อยยาที่ประมาณ 100

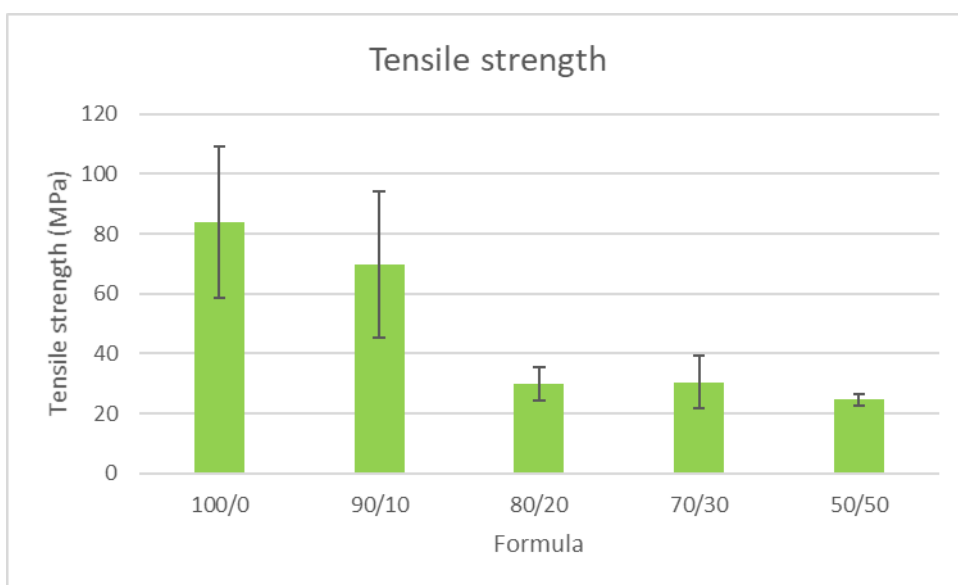


รูปภาพที่ 4.15 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการปลดปล่อยยาเทตราไซคลินของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มสัดส่วนต่างๆกับเวลาในหน่วยชั่วโมง โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

4.8 การศึกษาสมบัติการต้านทานแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มและนาโนคอมโพสิตฟิล์มแบบฟิล์มแห้ง โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

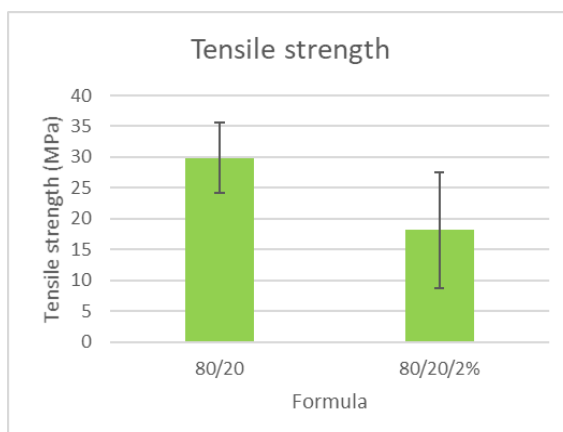
4.8.1 การวิเคราะห์ค่าความคงทนต่อแรงดึงของฟิล์มแห้ง

จากรูปภาพที่ 4.16 แสดงค่าความคงทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มโดยสูตรฟิล์มที่นำมาใช้ในการทดสอบใส่กรดซิตริกร้อยละ 20 โดยน้ำหนักพอลิเมอร์โดยมีสัดส่วน CMC 100/PVA 0, CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 ตามลำดับจากผลการทดลองพบว่าสูตร CMC 100/PVA 0 มีค่าความคงทนต่อแรงดึงสูงสุดอยู่ที่ 83.75 MPa และสูตร CMC 90/PVA 10 มีค่าความคงทนต่อแรงดึงลดลงมาที่ 69.56 MPa ต่อมาสำหรับสูตร CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 มีค่าความคงทนต่อแรงดึงลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับสูตร CMC 100/PVA 0 และ CMC 90/PVA 10 มาอยู่ที่ค่า 29.90, 30.40 และ 24.58 ตามลำดับอันเนื่องมาจากการใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทำให้เกิดการเชื่อมขวางทั้งหมด 3 เฟสด้วยกันคือ CMC-CMC, CMC-PVA และ PVA-PVA ทำให้เกิดรอยแยกระหว่างเฟสจึงเกิดเป็นตำหนิในชิ้นงาน ในสูตร CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 จึงทำให้ค่าความคงทนต่อแรงดึงมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับสูตร CMC 100/PVA 0 และ CMC 90/PVA 10 จากการใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปริมาณร้อยละ 20 เป็นต้นไปจะเกิดทำให้เกิดการเชื่อมขวางทั้งหมด 3 เฟสด้วยกันคือ CMC-CMC, CMC-PVA และ PVA-PVA ที่เพิ่มขึ้น



รูปภาพที่ 4.16 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคงทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มแห้ง CMC/PVA สัดส่วนต่างๆ โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

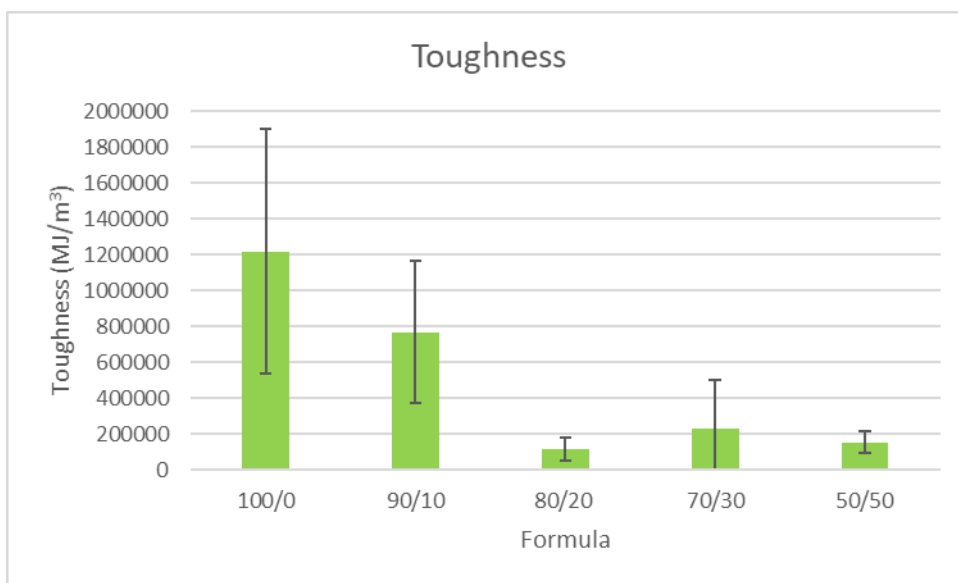
จากรูปภาพที่ 4.17 แสดงค่าความคงทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมฟิล์ม CMC 80/PVA 20 กับ นาโนคอมโพสิตฟิล์ม CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% โดยทั้งพอลิเมอร์ผสมฟิล์มและนาโนคอมโพสิตฟิล์มใส่กรดซิตริกร้อยละ 20 เท่ากัน พบว่าค่าความคงทนต่อแรงดึงของสูตร CMC 80/PVA 20 กับ CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% อยู่ที่ 29.90 และ 18.17 MPa ตามลำดับซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจน อันเนื่องมาจากอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใส่เข้าไปเกิดการเกาะกลุ่มกันบางส่วนทำให้เกิดเป็นตำหนิในชิ้นงาน



รูปภาพที่ 4.17 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคงทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มแห้ง CMC 80/PVA 20 กับ นาโนคอมโพสิตฟิล์ม CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

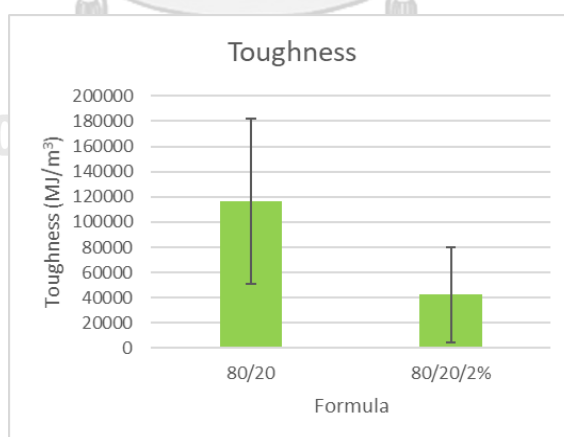
4.8.2 การวิเคราะห์ค่าความเหนียวของฟิล์มแห้ง

จากรูปภาพที่ 4.18 แสดงค่าความเหนียวของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มที่ใส่กรดซิตริกร้อยละ 20 โดยน้ำหนักพอลิเมอร์โดยมีสัดส่วน CMC 100/PVA 0, CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 ตามลำดับจากผลการทดลองพบว่าพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตร CMC 100/PVA 0 มีค่าความเหนียวสูงที่สุดอยู่ที่ 1217824.84 MJ/m³ และสูตร CMC 90/PVA 10 มีความเหนียวลดลงมาที่ 768809.59 MJ/m³ และสูตร CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 มีค่าความเหนียวอยู่ในระดับใกล้เคียงกันโดยทั้งสามสูตรมีค่าความเหนียวลดลงมาอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับสูตร CMC 100/PVA 0 และ CMC 90/PVA 10 อันเนื่องมาจากเหตุผลเดียวกันกับค่าความคงทนต่อแรงดึง



รูปภาพที่ 4.18 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนียวของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มแห้ง CMC/PVA สัดส่วนต่างๆ โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

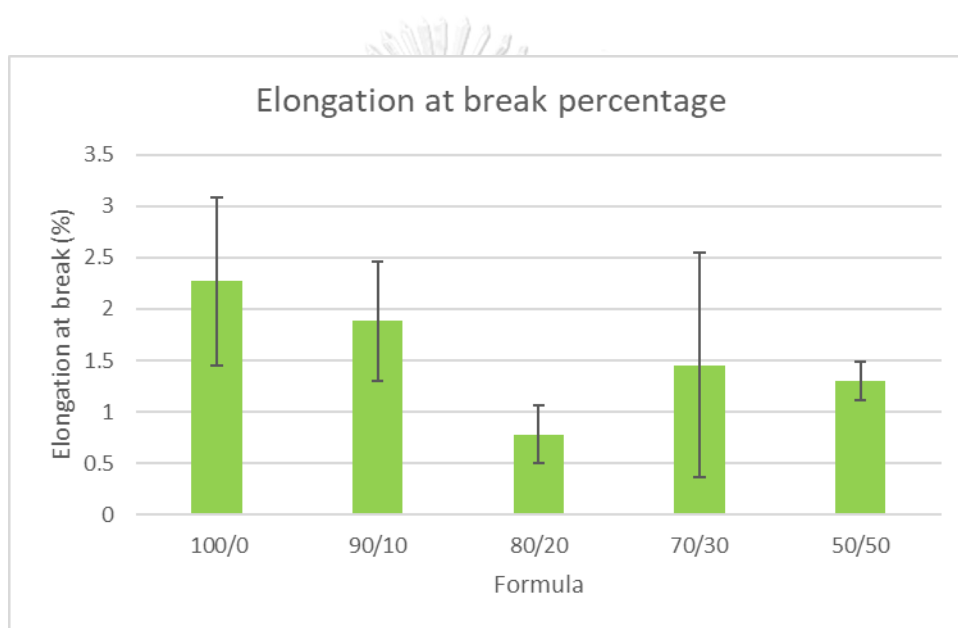
จากรูปภาพที่ 4.19 แสดงค่าความเหนียวของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20 กับ นาโนคอมโพสิตฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% พบว่า สูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% มีค่าความเหนียวลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสูตร CMC 80/PVA 20 อันเนื่องมาจากเหตุผลเดียวกันกับค่าความคงทนต่อแรงดึง



รูปภาพที่ 4.19 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนียวของฟิล์มแห้งของพอลิเมอร์ผสมฟิล์ม CMC 80/PVA 20 กับ นาโนคอมโพสิตฟิล์ม CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

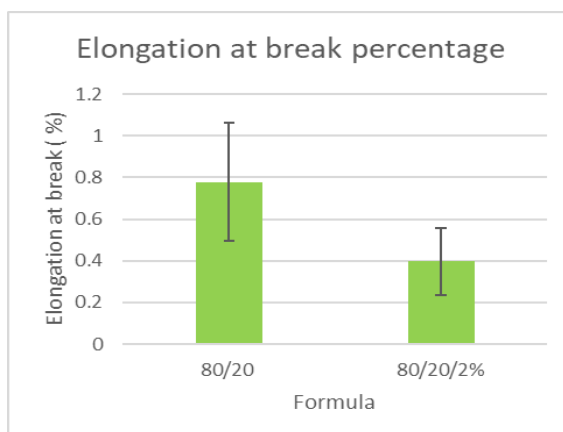
4.8.3 การวิเคราะห์ค่าร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของฟิล์มแห้ง

จากรูปภาพที่ 4.20 แสดงค่าร้อยละการยืดตัวที่ตำแหน่งจุดขาดของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตร CMC 100/PVA 0, CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 ตามลำดับโดยทุกสูตรใส่กรดซิตริกอยู่ที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักพอลิเมอร์พบว่าค่าร้อยละการยืดตัวที่ตำแหน่งขาดของสูตร CMC 100/PVA 0 และ CMC 90/PVA 10 มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ที่ร้อยละ 2.27 และ 1.884 ตามลำดับแต่สูตร CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 พบว่าค่าร้อยละการยืดตัวที่ตำแหน่งขาดลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสูตร CMC 100/PVA 0 และ CMC 90/PVA 10 อันเนื่องมาจากสาเหตุเดียวกันกับค่าความคงทนต่อแรงดึง



รูปภาพที่ 4.20 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการยืดตัวที่ตำแหน่งขาดของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มแห้ง CMC/PVA สัดส่วนต่างๆ โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

จากรูปที่ 4.21 แสดงค่าร้อยละการยืดตัวที่ตำแหน่งขาดของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20 กับนาโนคอมโพสิตฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% พบว่าการเติมอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงไปปริมาณร้อยละ 2 ทำให้ค่าร้อยละการยืดของนาโนคอมโพสิตฟิล์มมีค่าลดลงอย่างชัดเจนอันเนื่องมาจากสาเหตุเดียวกันกับค่าความคงทนต่อแรงดึง



รูปภาพที่ 4.21 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการยืดตัวที่ตำแหน่งขาดของฟิล์ม CMC 80/PVA 20 กับ CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

4.9 การทดลองสมบัติการต้านทานแบคทีเรียของนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มโดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

จากรูปภาพที่ 4.22 และ 4.23 แสดงตารางแสดงผลการยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบ (*E.coli*) และแกรมบวก (*S.aureus*) ตามลำดับสำหรับเหตุผลที่นาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ทั้งแกรมลบและบวกอันเนื่องมาจากการที่ในช่วงที่ทำการฉายแสงยูวีเอเป็นระยะเวลาสองชั่วโมงก่อนการทดสอบนั้นแสงยูวีเอเข้าไปทำให้เกิดปฏิกิริยาการเร่งด้วยแสงที่ผิวของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ทำให้เกิดโมเลกุลที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจน เช่น ไฮดรอกซิลเรดิคัล ซูเปอร์ออกไซด์ออกซิเจน และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้นซึ่งโมเลกุลเหล่านี้จะเข้าไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ เยื่อหุ้มไมโทคอนเดรียของแบคทีเรียทั้งแกรมลบและบวกทำให้ผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์แตกทำให้เกิดการรั่วไหลของของเหลวภายในเซลล์รวมถึงสามารถเข้าไปทำลายดีเอ็นเอของแบคทีเรียได้อีกด้วยทำให้เซลล์ไม่สามารถแบ่งเซลล์ได้โดยปฏิกิริยาการเร่งด้วยแสงจะเกิดแบบต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ไปเรื่อยๆและเมื่อนานาโนคอมโพสิตฟิล์มไปวางบนสภาพเพาะเชื้อฟิล์มเกิดจะฆ่าเชื้อแบคทีเรียตามปฏิกิริยาลูกโซ่ที่ทำให้เกิดโมเลกุลที่มีความสามารถในการเกิดออกซิเดชันกับออร์แกนอลส่วนต่างๆของแบคทีเรียทำให้เกิดการรั่วไหลของของเหลวภายในเซลล์แบคทีเรียและหยุดการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรียจนสุดท้ายแบคทีเรียเกิดการตายในที่สุด

ตารางที่ 1 การยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	<i>Escherichia coli</i>					วิธีการทดสอบ
CMC/PVA/TiO ₂	CFU/ml		Log CFU/ml		%	JIS Z 2801
2%, citric acid	0h	24h	0h	24h	Reduction	
20%	2.41×10 ⁶ ±2.15×10 ⁵	0.00±0.00	6.38±0.04	0.00±0.00	100	

หมายเหตุ คำนวณ % Reduction ของแบคทีเรียได้จากสูตร $R = ((B-A)*100)/B$

เมื่อ $R = \% \text{ Reduction}$

A = Log CFU per milliliter ของแบคทีเรียหลังการทดสอบ (ชั่วโมงที่ 0)

B = Log CFU per milliliter ของแบคทีเรียก่อนการทดสอบ (ชั่วโมงที่ 24)

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอย่างผ่านการ UV 2 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ

ตารางที่ 2 การยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	<i>Staphylococcus aureus</i>					วิธีการทดสอบ
CMC/PVA/TiO ₂	CFU/ml		Log CFU/ml		%	JIS Z 2801
2%, citric acid	0h	24h	0h	24h	Reduction	
20%	1.63×10 ⁶ ±1.91×10 ⁵	0.00±0.00	6.21±0.05	0.00±0.00	100	

หมายเหตุ คำนวณ % Reduction ของแบคทีเรียได้จากสูตร $R = ((B-A)*100)/B$

เมื่อ $R = \% \text{ Reduction}$

A = Log CFU per milliliter ของแบคทีเรียหลังการทดสอบ (ชั่วโมงที่ 0)

B = Log CFU per milliliter ของแบคทีเรียก่อนการทดสอบ (ชั่วโมงที่ 24)

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอย่างผ่านการ UV 2 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ

ตารางที่ 3 การยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบของตัวอย่าง CMC/PVA/TiO₂ 2%, citric acid 20%

แบคทีเรีย	Blank (Ut) (t = 24h)	Sample (At) (t = 24h)	R
	Log CFU/ml	Log CFU/ml	
<i>Escherichia coli</i>	6.55±0.01	0.00±0.00	6.55
<i>Staphylococcus aureus</i>	5.98±0.07	0.00±0.00	5.98

หมายเหตุ คำนวณค่า antibacterial activity ของแบคทีเรียได้จากสูตร $R = Ut - At$

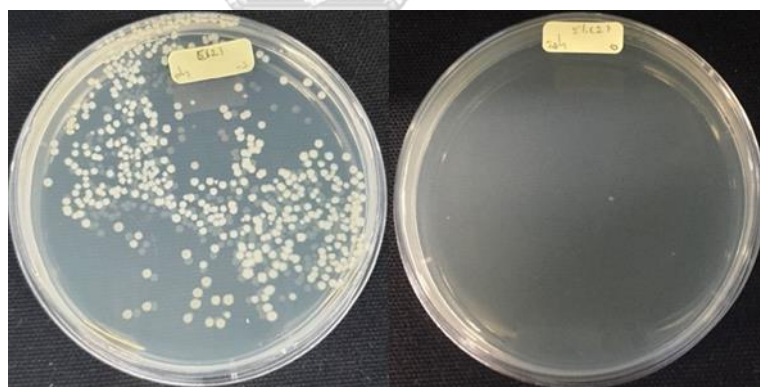
เมื่อ R = Antibacterial activity

A = Average of Log CFU per milliliter ของชุดควบคุมหลังการทดสอบ 24 ชั่วโมง

B = Average of Log CFU per milliliter ของตัวอย่างทดสอบหลังการทดสอบ 24 ชั่วโมง

*หมายเหตุ ค่า Antibacterial activity (R) ต้องมีค่า ≥ 2 จึงจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์

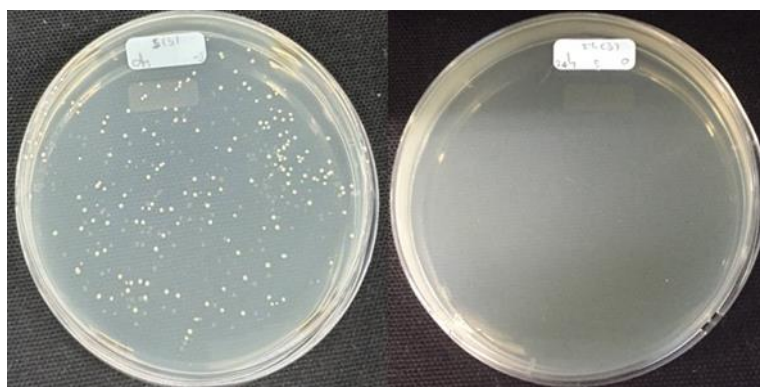
จากรูปที่ 4.19 (A) 4.19 (B) แสดงภาพถ่ายแสดงผลการยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบ



A

B

รูปภาพที่ 4.22 จำนวนแบคทีเรีย *Escherichia coli* บนผลิตภัณฑ์ CMC/PVA/TiO₂ 2%, citric acid 20% ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10⁻³ (A) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10⁰



A

B

รูปภาพที่ 4.23 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนผลิตภัณฑ์ CMC/PVA/TiO₂ 2%, citric acid 20% ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10⁻³ (A) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10⁰ (B)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากการเตรียมพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตร CMC 100/PVA 0, CMC 90/PVA 10, CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 โดยใส่กรดซิตริกร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนักพอลิเมอร์

พบว่าสูตร CMC/PVA ที่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุตกแต่งแผ่นมากที่สุดคือสูตร CMC 80/PVA 20 โดยใส่กรดซิตริกร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยมีค่าร้อยละความสามารถในการบวมตัวในสารละลายเกลือฟอสเฟตบัพเฟอร์เท่ากับ 928.99 ซึ่งมีค่าสูงที่สุดทำให้เมื่อนำไปตกแต่งแผ่นจะช่วยดูดซับของเหลวคัดหลังจากบาดแผลได้ดีที่สุดและยังสามารถดูดซับน้ำที่ถูกบรรจุเข้าไปในสูตรไฮโดรเจลฟิล์มที่ทำหน้าที่เพิ่มความชุ่มชื้นให้แก่บาดแผลได้สูงสุดจากทั้งสองข้อดีนี้จะทำให้ช่วยเร่งการสมานบาดแผลได้เร็วที่สุดและค่าร้อยละการเกิดเจลเท่ากับ 48.16 ซึ่งมีค่าระดับในการเชื่อมขวางปานกลาง โดยจะทำให้สมบัติความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มมีค่าที่พอเหมาะจึงทำให้ผู้วิจัยได้เลือกสูตรพอลิเมอร์ผสมนี้ไปทำการเจือปนด้วยอนุภาคนาโนไททานเนียมไดออกไซด์เพื่อสังเคราะห์เป็นนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มที่มีสมบัติด้านแบคทีเรีย

2. การวิเคราะห์ค่าร้อยละการเกิดเจลของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มและนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์ม

พบว่าค่าร้อยละในการเกิดเจลของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มสูตรที่มีสัดส่วน CMC/PVA เท่ากันแต่ใส่กรดซิตริกปริมาณแตกต่างกันที่ร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 พบว่าค่าร้อยละการเกิดเจลมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดซิตริกที่เพิ่มขึ้น ต่อมาเพื่อพิจารณาถึงค่าร้อยละการเกิดเจลของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มที่มีสัดส่วน CMC/PVA แตกต่างกันแต่ใส่ปริมาณกรดซิตริกเท่ากัน พบว่าค่าร้อยละการเกิดเจลมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้น สุดท้ายสำหรับนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 1%, CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% และ CMC 80/PVA 20/TiO₂ 3% ที่มีปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 20 พบว่าค่าร้อยละการเกิดเจลมีค่าไม่แตกต่างกันกับสูตรพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์ม CMC 80/PVA 20

3. การวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางทางเคมี

พบว่าเกิดการเชื่อมขวางทางเคมีคือเกิดพันธะเอสเทอร์โดยยืนยันจากการพบพีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของ ester carbonyl stretching ที่ตำแหน่งประมาณ 1730 cm⁻¹

4. การวิเคราะห์ความสามารถในการบวมตัวของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มและนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์ม

พบว่าค่าความสามารถในการบวมตัวของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มสูตรที่มีสัดส่วน CMC/PVA เท่ากันแต่ใส่กรดซิตริกปริมาณแตกต่างกันที่ร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 มีค่าความสามารถในการบวมตัวลดลงตามปริมาณกรดซิตริกที่เพิ่มขึ้น ต่อมาเพื่อพิจารณาถึงค่าความสามารถในการบวมตัวของพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มที่ใส่ปริมาณกรดซิตริกเท่ากันแต่สัดส่วน CMC/PVA ต่างกัน พบว่าค่าความสามารถในการบวมตัวมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ใส่เพิ่มขึ้น สุดท้ายสำหรับนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 1%, CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% และ CMC 80/PVA 20/TiO₂ 3% ที่ใส่ปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 20 เท่ากัน พบว่าค่าร้อยละความสามารถในการบวมตัวมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใส่โดยนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ ทั้งสามสูตรที่กล่าวมาข้างต้นมีค่าร้อยละความสามารถในการบวมตัวที่ต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20

5. จากการเตรียมนาโนคอมโพสิตฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 1%, CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% และ CMC 80/PVA 20/TiO₂ 3% โดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง

พบว่าค่าความสามารถในการบวมตัวของนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มในสารละลายเกลือฟอสเฟตบัฟเฟอร์นั้นมีค่าความสามารถในการบวมตัวในสารละลายเกลือฟอสเฟตบัฟเฟอร์น้อยลงจากพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20 ในทุกสูตรแต่มีค่าร้อยละการเกิดเจลที่ใกล้เคียงกันกับสูตร CMC 80/PVA 20 โดยในสามสูตรนี้สูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 3% มีค่าร้อยละการบวมตัวในสารละลายเกลือฟอสเฟตบัฟเฟอร์สูงที่สุดอยู่ที่ 630.07 แต่สูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 1% มีค่าร้อยละการบวมตัวในสารละลายเกลือฟอสเฟตบัฟเฟอร์ต่ำที่สุดอยู่ที่ 295.80

6. การวิเคราะห์ลักษณะสัญญาณวิทยาที่พื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มกับนาโนคอมโพสิตฟิล์ม

พบว่าพื้นผิวจะมีความไม่สม่ำเสมอเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เมื่อเทียบกับฟิล์มสูตร CMC 100/PVA 0 เมื่อใส่กรดซิตริกร้อยละ 20 เท่ากันเนื่องมาจากเกิดการเชื่อมขวางของเฟส CMC-PVA กับ PVA-PVA ที่เพิ่มขึ้นสำหรับนาโนคอมโพสิตฟิล์มจะมีจุดสีขาวของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์กระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์พอลิเมอร์

7. การวิเคราะห์การกักเก็บยาและการปลดปล่อยยาเทพร้าไซคลิน

พบว่าพอลิเมอร์ผสมไฮโดรเจลฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30 และ CMC 50/PVA 50 ที่ใส่กรดซิตริกร้อยละ 20 เท่ากัน มีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการกักเก็บยาที่ใกล้เคียงกันสำหรับสูตร CMC 80/PVA 20 และ CMC 50/PVA 50 โดยสูตร CMC 70/PVA 30 มีค่าร้อยละประสิทธิภาพการกักเก็บยาลดลงมาเล็กน้อยเมื่อเทียบกับอีก 2 สูตรที่กล่าวมาข้างต้น สำหรับค่าความสามารถในการกักเก็บยาของทั้งสามสูตรมีค่าที่ไม่แตกต่างกันโดยมีค่าความสามารถในการกัก

เก็บยาอยู่ที่ประมาณ 1 mg/g สุดท้ายสำหรับรูปแบบในการปลดปล่อยยานั้นพบว่าทั้งสามสูตรมีรูปแบบในการปลดปล่อยยาที่เหมือนกัน ต่อมาในส่วนนาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 1%, CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% และ CMC 80/PVA 20/TiO₂ 3% โดยใส่กรดซิตริกร้อยละ 20 กับสูตร CMC 80/PVA 20 โดยใส่กรดซิตริกร้อยละ 20 พบว่าสูตรที่มีการใส่อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เข้าไปมีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการกักเก็บยาที่ลดลงเมื่อเทียบกับสูตร CMC 80/PVA 20 ส่วนค่าความสามารถในการกักเก็บยานั้นพบว่ามีค่าลดลงเช่นเดียวกันเมื่อเทียบกับสูตร CMC 80/PVA 20

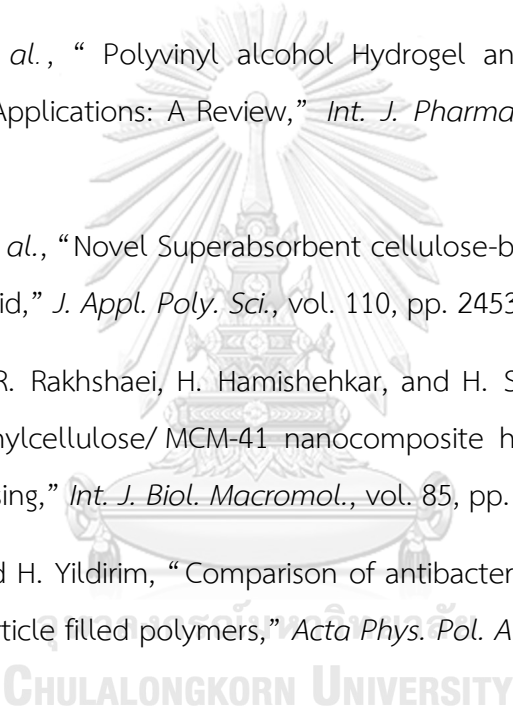
8. การวิเคราะห์สมบัติการต้านทานแรงดึงของฟิล์มแห้งโดยมีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวาง พบว่าค่าความต้านทานแรงดึง ค่าความเหนียว และค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มแห้งสัดส่วนต่างๆมีค่าลดลงตามปริมาณการใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้นโดยที่ปริมาณการใส่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 20 เป็นสัดส่วนที่เริ่มมีการลดลงของค่าทั้งสามอย่างมาก สุดท้ายสำหรับพอลิเมอร์ผสมฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20 กับนาโนคอมโพสิตฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% พบว่าค่าทั้งสามที่กล่าวมาข้างต้นมีค่าลดลงสำหรับสูตรกับ CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% เมื่อเปรียบเทียบกับสูตร CMC 80/PVA 20

9. การทดสอบสมบัติการต้านทานแบคทีเรีย พบว่านาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2% โดยที่มีกรดซิตริก 20% เป็นสารเชื่อมขวางสามารถยับยั้งแบคทีเรียทั้งแกรมบวก (*Staphylococcus aureus*) และ แกรมลบ (*Escherichia coli*) ได้ 100 %

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีค่าระดับการแทนที่ที่ต่ำลงจะช่วยให้นาโนคอมโพสิตไฮโดรเจลฟิล์มมีระดับการเชื่อมขวางที่สูงขึ้นซึ่งจะทำให้ค่าร้อยละการเกิดเจลมีค่าเพิ่มขึ้นเพราะเป็นการลดแรงผลักระหว่างประจุลบที่อยู่ในสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากยิ่งขึ้นและเกิดการเชื่อมขวางโดยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันได้ง่ายขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] N. S. V. Capanema, A. A. P. Mansur, A. C. de Jesus, S. M. Carvalho, L. C. de Oliveira, and H. S. Mansur, “ Superabsorbent crosslinked carboxymethyl cellulose-PEG hydrogels for potential wound dressing applications,” *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 106, pp. 1218–1234, 2018.
- [2] K. K. Mali, S. C. Dhawale, R. J. Dias, N. S. Dhane, and V. S. Ghorpade, “Citric acid crosslinked carboxymethyl cellulose-based composite hydrogel films for drug delivery,” *Indian J. Pharm. Sci.*, vol. 80, no. 04, pp. 657–667, 2018.
- [3] B. Gajra *et al.*, “ Polyvinyl alcohol Hydrogel and its Pharmaceutical and Biomedical Applications: A Review,” *Int. J. Pharma. Res.*, vol. 04, pp. 20–26, 2012. .
- [4] C. Demitri *et al.*, “Novel Superabsorbent cellulose-based hydrogels crosslinked with citric acid,” *J. Appl. Poly. Sci.*, vol. 110, pp. 2453–2460, 2008.
- [5] H. Namazi, R. Rakhshaei, H. Hamishehkar, and H. S. Kafil, “ Antibiotic loaded carboxymethylcellulose/ MCM-41 nanocomposite hydrogel films as potential wound dressing,” *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 85, pp. 327–334, 2016.
- [6] M. Altan and H. Yildirim, “Comparison of antibacterial properties of nano TiO₂ and ZnO particle filled polymers,” *Acta Phys. Pol. A*, vol. 125, no. 02, pp. 645–647, 2014. 
- [7] S. Dhivya, V. Vijaya, and E. Santhini, “ Review article Wound dressings – a review,” *J. BioMedicine*, vol. 05, no. 04, pp. 24–28, 2015.
- [8] E. A. Kamoun, E. S. Kenawy, and X. Chen, “ A review on polymeric hydrogel membranes for wound dressing applications: PVA-based hydrogel dressings,” *J. Adv. Res.*, vol. 08, no. 03, pp. 217–233, 2017.
- [9] E. M. Ahmed, “ Hydrogel: Preparation , characterization , and applications: A review,” *J. Adv. Res.*, vol. 06, no. 02, pp. 105–121, 2015.
- [10] S. Abdul, M. Zulfiqar, and A. Raza, “ Poly (lactic acid) based hydrogels:

- formation , characteristics and biomedical applications,” *J. Porous Mater.*, vol. 26, no. 03, pp. 881–901, 2019.
- [11] N. Chirani *et al.*, “History and Applications of Hydrogels,” *J. Biomed. Sci.*, vol. 04, no. 02, pp. 1–23, 2015.
- [12] S. A. Asl, M. Mousavi, and M. Labbafi, “ Synthesis and Characterization of Carboxymethyl Cellulose from Sugarcane,” *J. Food Process Technol*, vol. 08, no. 08, 2017.
- [13] A. Casaburi, Ú. Montoya, P. Cerrutti, V. Analía, and M. Laura, “ Food Hydrocolloids Carboxymethyl cellulose with tailored degree of substitution obtained from bacterial cellulose,” *J. Food Hydrocolloids*, vol. 75, pp. 147–156, 2018.
- [14] N. Kanse *et al.*, “A review on citric acid production and its applications,” *Int. J. Current Adv. Res.*, vol. 06, no. 09, pp 5880-5883, 2017.
- [15] H. Hosseini, S. M. Hosseini, and L. Mirmoghtadaie, “Nanoantimicrobials in Food Industry,” *Nanotechnol Appl. Food*, pp. 223–243, 2017.
- [16] E.M.Samsudin *et al.*, “Evaluation on the Photocatalytic Degradation Activity of Reactive Blue 4 using Evaluation on the Photocatalytic Degradation Activity of Reactive,” *J. Sains Malaysiana*, vol. 44 , no. 07, pp. 1011–1019, 2015.
- [17] J. Hou *et al.* , “ Toxicity and mechanisms of action of titanium dioxide nanoparticles in living organisms,” *J. Environ. Sci.*, vol. 75, pp. 40–53, 2018.
- [18] M. Hashem, S. Sharaf, M. M. Abd El-Hady, and A. Hebeish, “ Synthesis and characterization of novel carboxymethylcellulose hydrogels and carboxymethylcellulose-hydrogel-ZnO-nanocomposites,” *Carbohydr. Polym.* , vol. 95, no. 01, pp. 421–427, 2013.
- [19] R. Rakhshaei and H. Namazi, “ A potential bioactive wound dressing based on carboxymethyl cellulose/ ZnO impregnated MCM-41 nanocomposite hydrogel,” *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 73, pp. 456–464, 2017.

- [20] C. Birck, S. Degoutin, N. Tabary, V. Miri, and M. Bacquet, “New crosslinked cast films based on poly(vinyl alcohol) : Preparation and physico-chemical properties,” *Express Polym. Lett.*, vol. 08, no. 12, pp. 941–952, 2014.
- [21] R. Nassiri, and A. M. Nafchi, “Antimicrobial and Barrier Properties of Bovine Gelatin Films Reinforced by Nano TiO₂” *J. Chemical Health Risks*, vol. 03, no. 03, pp. 21–28, 2013.
- [22] V. S. Ghorpade, R. J. Dias, K. K. Mali, and S. I. Mulla, “Citric acid crosslinked carboxymethylcellulose-polyvinyl alcohol hydrogel films for extended release of water soluble basic drugs,” *J. Drug Deliv. Sci. Technol*, vol. 52, pp. 421–430, 2019.
- [23] A. J. C. Brant, D. R. Giannini, J. O. C. P. Pessoa, and A. B. Andrade, “Influence of dissolution processing of PVA blends on the characteristics of their hydrogels synthesized by radiation — Part I: Gel fraction , swelling , and mechanical properties,” *J. Radiation Physics Chemistry*, vol. 81, pp. 1465–1470, 2012.
- [24] F. Ali and R. A. Kamoon, “Spectrophotometric Determination of Tetracycline Hydrochloride in Pharmaceutical Preparations Using Rhodium (II) As a Mediator Metal,” *Int. J. Res. Pharmacy Chemistry*, vol. 06, no. 02, pp. 249–261, 2016.
- [25] Kendall Healthcare, Dermacea Aquaflo Hydrogel Wound Dressing Disk 3 [Online]. Available form: <https://www.amazon.com/Dermacea-Hydrogel-Dressing-Kendall-Healthcare/dp/B015RYIWR6>
- [26] 3M, M Tegaderm Transparent Film Dressing with Border [Online]. Available from: <https://www.healthproductsforyou.com/p-3m-tegaderm-transparent-film-dressing-with-border.html>
- [27] Miller Medical, Miller Medical Hydrocolloid Dressing - 5cm x 5cm [Online]. Available from: <https://www.amazon.co.uk/Hydrocolloid-Dressing-5cm-x5/dp/B072MROTVL>
- [28] Wellness Solutions Inc., Restore Adhesive Foam Dressing with TRIACT™ Technology [Online]. Available from:

http://wellnesssolutionsinc.com/wound_album_health_thru_isg/pages/hol0005restore_adhesive_foam_triact_png.htm

[29] Independence Medical, AlgiSite M Calcium Alginate Dressing [Online].

Available from: <https://www.rehabmart.com/product/algisite-m-calcium-alginate-dressing-20646.html>

[30] CONVATEC, ConvaTec Aquacel Non-Adhesive Gelling Foam Dressing [Online].

Available from: <https://www.healthproductsforyou.com/p-convatec-aquacel-non-adhesive-gelling-foam-dressing.html>

[31] Anirvan Guha, *Electric Eel Inspires New Power Source* BIOELECTRICITY, REIMAGINED [Online]. 2018. Available from: <https://funsizephysics.com/bioelectricity-reimagined/>

[32] MedChemExpress, Tetracycline [Online]. Available from: <https://www.medchemexpress.com/Tetracycline.html>





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ค่าร้อยละความสามารถในการบวมตัว

ตารางที่ ก-ปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 10

formula	swelling ratio
CMC 100/PVA 0	0
CMC 100/PVA 0	0
CMC 100/PVA 0	0
Average	0
SD	0
CMC 90/PVA 10	0
CMC 90/PVA 10	0
CMC 90/PVA 10	0
Average	0
SD	0
CMC 80/PVA 20	0
CMC 80/PVA 20	0
CMC 80/PVA 20	0
Average	0
SD	0
CMC 70/PVA 30	0
CMC 70/PVA 30	0
CMC 70/PVA 30	0
Average	0
SD	0
CMC 50/PVA 50	946.76
CMC 50/PVA 50	741.36
CMC 50/PVA 50	0
Average	844.06
SD	145.23

ตารางที่ ก ปริมาณกรดซิติริกร้อยละ 15

formula	swelling ratio
CMC 100/PVA 0	0
CMC 100/PVA 0	0
CMC 100/PVA 0	0
Average	0
SD	0
CMC 90/PVA 10	0
CMC 90/PVA 10	0
CMC 90/PVA 10	0
Average	0
SD	0
CMC 80/PVA 20	0
CMC 80/PVA 20	0
CMC 80/PVA 20	0
Average	0
SD	0
CMC 70/PVA 30	0
CMC 70/PVA 30	0
CMC 70/PVA 30	0
Average	0
SD	0
CMC 50/PVA 50	462.01
CMC 50/PVA 50	401.34
CMC 50/PVA 50	310.94
Average	391.43
SD	76.02

ตารางที่ ก ปริมาณกรดซิติริกร้อยละ 20

formula	swelling ratio
CMC 100/PVA 0	0
CMC 100/PVA 0	0
CMC 100/PVA 0	0
Average	0
SD	0
CMC 90/PVA 10	725.36
CMC 90/PVA 10	920.16
CMC 90/PVA 10	676.12
Average	773.88
SD	129.05
CMC 80/PVA 20	673.93
CMC 80/PVA 20	1174.68
CMC 80/PVA 20	938.36
Average	928.99
SD	250.51
CMC 70/PVA 30	370.24
CMC 70/PVA 30	516.97
CMC 70/PVA 30	527.07
Average	471.43
SD	87.77
CMC 50/PVA 50	155.23
CMC 50/PVA 50	162.14
CMC 50/PVA 50	145.02
Average	154.13
SD	8.61

ตารางที่ ก ปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 25

formula	swelling ratio
CMC 100/PVA 0	258.48
CMC 100/PVA 0	232.93
CMC 100/PVA 0	250.48
Average	247.30
SD	13.07
CMC 90/PVA 10	154.21
CMC 90/PVA 10	159.16
CMC 90/PVA 10	176.14
Average	163.17
SD	11.50
CMC 80/PVA 20	144.16
CMC 80/PVA 20	114.93
CMC 80/PVA 20	141.23
Average	133.44
SD	16.10
CMC 70/PVA 30	113.45
CMC 70/PVA 30	71.58
CMC 70/PVA 30	96.33
Average	93.79
SD	21.05
CMC 50/PVA 50	101.68
CMC 50/PVA 50	100.39
CMC 50/PVA 50	86.47
Average	96.18
SD	8.43

ตารางที่ ก-สูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 1%, citric acid 20%

formula	mass _i	mass _f	swelling ratio
1.TiO ₂ 1%	0.1274	0.5063	297.4097
2.TiO ₂ 1%	0.1194	0.4947	314.3216
3.TiO ₂ 1%	0.1401	0.5263	275.6602
Average	295.80		
SD	19.38		

ตารางที่ ก-สูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2%, citric acid 20%

formula	mass _i	mass _f	swelling ratio
1.TiO ₂ 2%	0.129	0.547	324.031
2.TiO ₂ 2%	0.1241	0.5864	372.5222
3.TiO ₂ 2%	0.1121	0.5718	410.0803
Average	368.88		
SD	43.14		

ตารางที่ ก-สูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 3%, citric acid 20%

formula	mass _i	mass _f	swelling ratio %
1.TiO ₂ 3%	0.2094	1.5263	628.8921
2. TiO ₂ 3%	0.2073	1.6891	714.8095
3. TiO ₂ 3%	0.2169	1.4023	546.5191
Average	630.07		
SD	84.15		

ภาคผนวก ข ค่าร้อยละการเกิดเจล

ตาราง ข-ปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 10

Formula	Gel fraction
CMC 100/PVA 0	0
CMC 100/PVA 0	0
CMC 100/PVA 0	0
Average	0
SD	0
CMC 90/PVA 10	0
CMC 90/PVA 10	0
CMC 90/PVA 10	0
Average	0
SD	0
CMC 80/PVA 20	0
CMC 80/PVA 20	0
CMC 80/PVA 20	0
Average	0
SD	0
CMC 70/PVA 30	0
CMC 70/PVA 30	0
CMC 70/PVA 30	0
Average	0
SD	0
CMC 50/PVA 50	24.07
CMC 50/PVA 50	40.35
CMC 50/PVA 50	0
Average	32.21
SD	11.51

ตาราง ข-ปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 15

formula	gel fraction
CMC 100/PVA 0	0
CMC 100/PVA 0	0
CMC 100/PVA 0	0
Average	0
SD	0
CMC 90/PVA 10	0
CMC 90/PVA 10	0
CMC 90/PVA 10	0
Average	0
SD	0
CMC 80/PVA 20	0
CMC 80/PVA 20	0
CMC 80/PVA 20	0
Average	0
SD	0
CMC 70/PVA 30	0
CMC 70/PVA 30	0
CMC 70/PVA 30	0
Average	0
SD	0
CMC 50/PVA 50	45.53
CMC 50/PVA 50	40.72
CMC 50/PVA 50	53.06
Average	46.44
SD	6.21

ตาราง ข-ปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 20

formula	gel fraction
CMC 100/PVA 0	0
CMC 100/PVA 0	0
CMC 100/PVA 0	0
Average	0
SD	0
CMC 90/PVA 10	29.71
CMC 90/PVA 10	53.97
CMC 90/PVA 10	27.34
Average	37.01
SD	14.73
CMC 80/PVA 20	55.31
CMC 80/PVA 20	46.32
CMC 80/PVA 20	42.85
Average	48.16
SD	6.43
CMC 70/PVA 30	53.8
CMC 70/PVA 30	60.26
CMC 70/PVA 30	51.05
Average	55.04
SD	4.72
CMC 50/PVA 50	69.72
CMC 50/PVA 50	66.69
CMC 50/PVA 50	69.29
Average	68.57
SD	1.63

ตาราง ข-ปริมาณกรดซิตริกร้อยละ 25

formula	gel fraction
CMC 100/PVA 0	55.08
CMC 100/PVA 0	61.06
CMC 100/PVA 0	62.25
Average	59.46
SD	3.84
CMC 90/PVA 10	74.46
CMC 90/PVA 10	74.33
CMC 90/PVA 10	69.54
Average	72.78
SD	2.80
CMC 80/PVA 20	74.71
CMC 80/PVA 20	76.43
CMC 80/PVA 20	76.03
Average	75.72
SD	0.90
CMC 70/PVA 30	71.73
CMC 70/PVA 30	67.39
CMC 70/PVA 30	75.77
Average	71.63
SD	4.19
CMC 50/PVA 50	68.34
CMC 50/PVA 50	66.86
CMC 50/PVA 50	68.01
Average	67.74
SD	0.77

ตาราง ข-สูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 1%, citric acid 20%

formula	mass _i	mass _f	gel fraction %
1. TiO ₂ 1%	0.1264	0.0596	47.1519
2. TiO ₂ 1%	0.1194	0.0665	55.69514
3. TiO ₂ 1%	0.1401	0.0784	55.96003
Average	52.94		
SD	5.01		

ตาราง ข-สูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 2%, citric acid 20%

formula	mass _i	mass _f	gel fraction %
1. TiO ₂ 2%	0.129	0.0676	52.4031
2. TiO ₂ 2%	0.1241	0.0636	51.24899
3. TiO ₂ 2%	0.1121	0.0542	48.34969
Average	50.67		
SD	2.08		

ตาราง ข-สูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂ 3%, citric acid 20%

formula	mass _i	mass _f	gel fraction %
1. TiO ₂ 3%	0.2094	0.0979	46.75263
2. TiO ₂ 3%	0.2073	0.0985	47.51568
3. TiO ₂ 3%	0.2169	0.0996	45.91978
Average		0.098667	46.73
SD		0.000862	0.79

ภาคผนวก ค สมบัติการต้านทานต่อแรงดึงของฟิล์มแห้งที่มีกรดซิตริกร้อยละ 20

ตาราง ค-ค่าความคงทนต่อแรงดึงของฟิล์มแห้ง

Formula CMC/PVA	100/0	90/10	80/20	70/30	50/50	80/20/TiO ₂ 2%
Tensile strength (MPa)	86.101	94.126	34.171	31.881	24.827	12.863
	97.636	29.713	25.232	40.379	25.721	16.954
	116.115	65.658	30.321	29.982	25.597	33.23
	66.636	79.159	36.539	16.476	25.786	19.383
	52.268	79.132	23.223	33.264	20.979	8.414
Average	83.75	69.55	29.89	30.39	24.58	18.16
SD	25.14	24.44	5.67	8.71	2.05	9.39

ตาราง ค-ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของฟิล์มแห้ง

Formula CMC/PVA	100/0	90/10	80/20	70/30	50/50	80/20/TiO ₂ 2%
Elongation at break (%)	2.842	2.12	0.986	0.757	1.156	0.257
	2.306	0.955	0.98	0.889	1.528	0.423
	2.921	1.718	0.322	0.453	1.297	0.625
	2.395	2.442	0.915	2.104	1.433	0.452
	0.875	2.185	0.689	3.05	1.091	0.23
Average	2.27	1.88	0.78	1.45	1.30	0.40
SD	0.82	0.58	0.28	1.09	0.18	0.16

ตาราง ค-ค่าความเหนียวของฟิล์มแห้ง

Formula	100/0	90/10	80/20	70/30	50/50	80/20/TiO ₂ 2%
Toughness (MJ/m ³)	1651604	1048878	176378.1	125105	149589.2	15684.8
	1280383	147609.3	126263.7	187402.1	207870.7	36223.81
	2005825	606048	21805.02	32445.44	171408.9	105245.6
	909811.1	1092405	175008.3	102107	194184.4	45129.92
	241500.3	949107.5	82086.15	704368.3	52597.91	9812.779
Average	1217825	768809.6	116308.3	230285.6	155130.2	42419.38
SD	682111.6	396245.1	65679.55	270752.1	61472.27	37982.86

ภาคผนวก ง สมบัติในการกักเก็บและปลดปล่อยยาเทตราไซคลินของฟิล์มที่มีกรดซิตริกร้อยละ 20
ตาราง ง-ค่าความสามารถในการกักเก็บยาเทตราไซคลินของฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂

mass (g)	No. samp	Absorbance (ppm)	c	c ₀ -c	Loading capacity (mg/g)		
0.0971	1.TiO ₂ 1%	0.80205	18.931	6.069005	0.937539	Average	SD
0.1072	2. TiO ₂ 1%	0.80791	19.06357	5.936425	0.830657	0.92	0.07
0.1037	3. TiO ₂ 1%	0.77049	18.21697	6.783032	0.981152		
0.1211	1. TiO ₂ 2%	0.83275	19.62557	5.374434	0.665702		
0.1212	2. TiO ₂ 2%	0.82685	19.49208	5.507919	0.681673	0.76	0.15
0.0864	3. TiO ₂ 2%	0.82976	19.55792	5.442081	0.944806		
0.1026	1.TiO ₂ 3%	0.83343	19.64095	5.35905	0.783487		
0.1099	2.TiO ₂ 3%	0.77073	18.2224	6.777602	0.925059	0.85	0.10
0.0902	3.TiO ₂ 3%	0.55578	13.35928	11.64072	1.935819		

ตาราง ค่าความสามารถในการกักเก็บยาเทรธาไซคลินของฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20, CMC 70/PVA 30, CMC 50/PVA 50

No. samp	Absorbance	conc. (ppm)	c_0-c	Loading capacity (mg/g)	Average	SD
CMC 80/PVA 20	0.77086	18.225	6.775	0.977163	0.99	0.08
CMC 80/PVA 20	0.73777	17.477	7.523	1.085048		
CMC 80/PVA 20	0.78879	18.631	6.369	0.918606		
CMC 70/PVA 30	0.92946	21.814	3.186	0.42292	0.73	0.26
CMC 70/PVA 30	0.77285	18.27	6.73	0.893363		
CMC 70/PVA 30	0.77542	18.329	6.671	0.885531		
CMC 50/PVA 50	0.72057	17.088	7.912	1.03832	1.01	0.02
CMC 50/PVA 50	0.73795	17.481	7.519	0.986745		
CMC 50/PVA 50	0.73535	17.422	7.578	0.994488		

ตาราง ง-ค่าร้อยละประสิทธิภาพในการกักเก็บยาเททราไซคลินของฟิล์มสูตร CMC/PVA

formula	c_0-c	% Loading efficiency	Average	SD
CMC 80/PVA 20	6.775	27.1	27.56	2.34
CMC 80/PVA 20	7.523	30.092		
CMC 80/PVA 20	6.369	25.476		
CMC 70/PVA 30	3.186	12.744	22.12	8.11
CMC 70/PVA 30	6.73	26.92		
CMC 70/PVA 30	6.671	26.684		
CMC 50/PVA 50	7.912	31.648	30.68	0.84
CMC 50/PVA 50	7.519	30.076		
CMC 50/PVA 50	7.578	30.312		

ตาราง ง-ค่าร้อยละประสิทธิภาพในการกักเก็บยาเททราไซคลินของฟิล์มสูตร CMC 80/PVA 20/TiO₂

formula	absorb	c	c_0-c	% Loading efficiency	Average	SD
1.TiO ₂ 1%	0.80205	18.931	6.069005	24.27602	25.05	1.82
2.TiO ₂ 1%	0.80791	19.06357	5.936425	23.7457		
3.TiO ₂ 1%	0.77049	18.21697	6.783032	27.13213		
1.TiO ₂ 2%	0.83275	19.62557	5.374434	21.49774	21.77	0.26
2.TiO ₂ 2%	0.82685	19.49208	5.507919	22.03167		
3.TiO ₂ 2%	0.82976	19.55792	5.442081	21.76833		
1.TiO ₂ 3%	0.83343	19.64095	5.35905	21.4362	24.27	4.01
2.TiO ₂ 3%	0.77073	18.2224	6.777602	27.11041		
3.TiO ₂ 3%	0.55578	13.35928	11.64072	46.5629		

ตาราง ง-ค่าร้อยละการปลดปล่อยยาเททราไซคลินของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มที่มีกรดซิตริกร้อยละ 20 ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง

Formula	absorbance	C release	C loading	% release	Average	SD
CMC80/PVA20	0.07735	2.535068	6.775	37.41798	42.38	4.43
CMC80/PVA20	0.11092	3.29457	7.523	43.7933		
CMC80/PVA20	0.09464	2.926244	6.369	45.94511		
CMC70/PVA30	0.06657	2.291176	3.186	71.91389	50.57	18.48
CMC70/PVA30	0.08391	2.683484	6.73	39.87346		
CMC70/PVA30	0.08305	2.664027	6.671	39.93445		
CMC50/PVA50	0.07728	2.533484	7.912	32.02078	42.42	12.34
CMC50/PVA50	0.09555	2.946833	7.519	39.19182		
CMC50/PVA50	0.15308	4.248416	7.578	56.0625		

ตาราง ง-ค่าร้อยละการปลดปล่อยยาเททราไซคลินของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มที่มีกรดซิตริกร้อยละ 20 ที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง

Formula	absorbance	c release	c loading	% releasing	Average	SD
CMC80/PVA20	0.12645	3.645928	6.775	53.81443	56.12	8.72
CMC80/PVA20	0.127538	3.670543	7.523	48.79095		
CMC80/PVA20	0.15044	4.188688	6.369	65.7668		
CMC70/PVA30	0.10586	3.180173	3.186	99.81710	54.67	0.96
CMC70/PVA30	0.12593	3.634163	6.73	53.99945		
CMC70/PVA30	0.12853	3.692986	6.671	55.35881		
CMC50/PVA50	0.13014	3.729412	7.912	47.13614	48.69	1.35
CMC50/PVA50	0.13014	3.729412	7.519	49.59984		
CMC50/PVA50	0.13061	3.740045	7.578	49.35399		

ตาราง งบค่าร้อยละการปลดปล่อยยาเททราไซคลินของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มที่มีกรดซิตริกร้อยละ 20 ที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง

Formula	absorbance	c release	c loading	% release	Average	SD
CMC80/PVA20	0.18084	4.876471	6.775	71.97743	66.09	7.61
CMC80/PVA20	0.15646	4.324887	7.523	57.48886		
CMC80/PVA20	0.15902	4.382805	6.369	68.81466		
CMC70/PVA30	0.10612	3.186	3.186	100.0000	65.82	1.38
CMC70/PVA30	0.1582	4.364253	6.73	64.84775		
CMC70/PVA30	0.16228	4.456561	6.671	66.80499		
CMC50/PVA50	0.2289	5.963801	7.912	75.37665	66.15	8.29
CMC50/PVA50	0.16233	4.457692	7.519	59.28571		
CMC50/PVA50	0.179	4.834842	7.578	63.80102		

ตาราง งบค่าร้อยละการปลดปล่อยยาเททราไซคลินของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มที่มีกรดซิตริกร้อยละ 20 ที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง

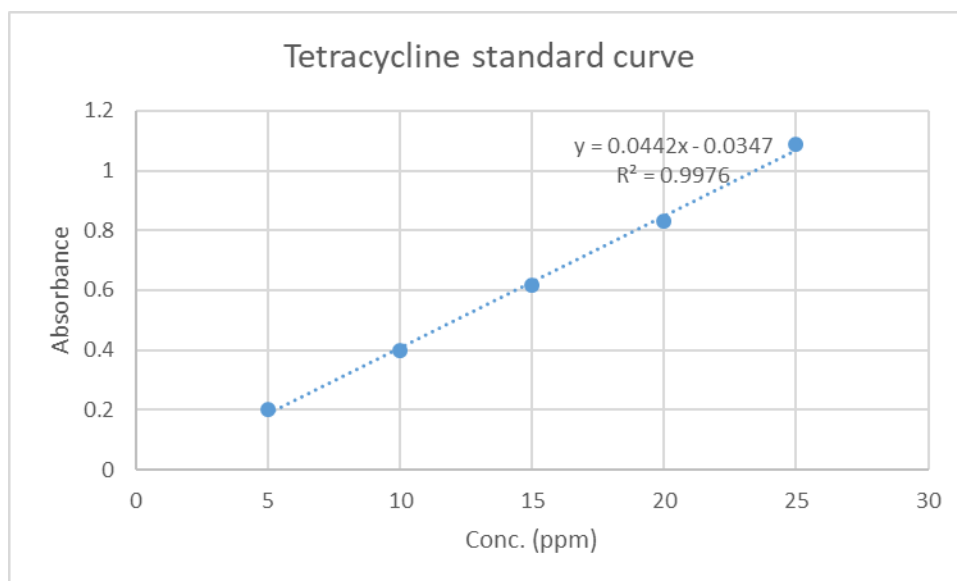
Formula	absorbance	c release	c loading	% release	Average	SD
CMC80/PVA20	0.24	6.214932	6.775	91.73332	78.03	12.25
CMC80/PVA20	0.19172	5.122624	7.523	68.09284		
CMC80/PVA20	0.1744	4.730769	6.369	74.27805		
CMC70/PVA30	0.10612	3.186	3.186	100.0000	74.83	2.15
CMC70/PVA30	0.18339	4.934163	6.73	73.31594		
CMC70/PVA30	0.19045	5.093891	6.671	76.35874		
CMC50/PVA50	0.24777	6.390724	7.912	80.77255	71.50	8.04
CMC50/PVA50	0.18938	5.069683	7.519	67.42497		
CMC50/PVA50	0.18745	5.026018	7.578	66.32381		

ตาราง ง-ค่าร้อยละการปลดปล่อยยาเททราไซคลินของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มที่มีกรดซิตริกร้อยละ 20 ที่
ระยะเวลา 20 ชั่วโมง

formula	absorbance	c release	c loading	% release	Average	SD
CMC80/PVA20	0.25891	6.64276	6.775	98.04812	94.60	5.58
CMC80/PVA20	0.25845	6.632353	7.523	88.16101		
CMC80/PVA20	0.2401	6.217195	6.369	97.6165		
CMC70/PVA30	0.10612	3.186	3.186	100.0000	97.72	0.08
CMC70/PVA30	0.25617	6.580769	6.73	97.7826		
CMC70/PVA30	0.25326	6.514932	6.671	97.6605		
CMC50/PVA50	0.28544	7.242986	7.912	91.54432	94.88	2.91
CMC50/PVA50	0.28491	7.230995	7.519	96.16964		
CMC50/PVA50	0.29001	7.34638	7.578	96.94352		

ตาราง ง-ค่าร้อยละการปลดปล่อยยาเททราไซคลินของพอลิเมอร์ผสมฟิล์มที่มีกรดซิตริกร้อยละ 20 ที่
ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

formula	absorbance	C release	C loading	%release	Average	SD
CMC80/PVA20	0.25883	6.64095	6.775	97.50791	98.37	1.12
CMC80/PVA20	0.28953	7.33552	7.523	99.65195		
CMC80/PVA20	0.24583	6.346833	6.369	97.97422		
CMC70/PVA30	0.10612	3.186	3.186	100.0000	97.49	1.89
CMC70/PVA30	0.25674	6.593665	6.73	98.83734		
CMC70/PVA30	0.25673	6.593439	6.671	96.15957		
CMC50/PVA50	0.30158	7.608145	7.912	97.75236	97.47	0.24
CMC50/PVA50	0.29017	7.35	7.519	97.33463		
CMC50/PVA50	0.29132	7.376018	7.578	97.33463		



รูป-กราฟมาตรฐานการดูดกลืนแสงของยาเททราไซคลิน



บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	วัชรพล ขำช้าง
วัน เดือน ปี เกิด	19 กันยายน 2536
สถานที่เกิด	พิษณุโลก
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	ตำบลท้อแท้ อำเภอวัดโบสถ์ จังหวัดพิษณุโลก 6510



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY