

การพัฒนาผ้าปิดแผลฉลาดจากแบคทีเรียเซลลูโลส
และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน

DEVELOPMENT OF SMART WOUND DRESSING FROM
BACTERIAL CELLULOSE AND Fe_3O_4 NANOPARTICLES



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องยกย่องเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2565

DEVELOPMENT OF SMART WOUND DRESSING FROM BACTERIAL CELLULOSE AND Fe_3O_4 NANOPARTICLES



CHAYANIN LERSAKSAKUL

CHAYANEE KLINTHIAN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงวนไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาดให้นำไปใชประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2022

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาผ้าปิดแผลฉลาดจากแบคทีเรียเซลลูโลสและเหล็ก(II,III) ออกไซด์
อนุภาคนาโน
DEVELOPMENT OF SMART WOUND DRESSING FROM BACTERIAL
CELLULOSE AND Fe₃O₄ NANOPARTICLES

ชื่อนักศึกษา นางสาวชญานิษฐ์ เลอศักดิ์สกุล รหัสนักศึกษา 62050269
นางสาวชญานิษฐ์ กลิ่นเทียน รหัสนักศึกษา 62050270

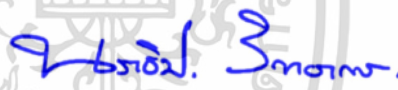
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2565

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ปานไพลิน สีหาราช

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
(เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2565

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ศ.ดร. นราธิป วิทยากร ประธานกรรมการ	
รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ กรรมการ	
รศ.ดร. ปานไพลิน สีหาราช กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาผ้าปิดแผลฉลาดจากแบคทีเรียเซลลูโลสและเหล็ก(II,III) ออกไซด์
อนุภาคนาโน

DEVELOPMENT OF SMART WOUND DRESSING FROM BACTERIAL
CELLULOSE AND Fe_3O_4 NANOPARTICLES

ชื่อนักศึกษา นางสาวชญานิษฐ์ เลอศักดิ์สกุล รหัสนักศึกษา 62050269

นางสาวชญานิษฐ์ กลิ่นเทียน รหัสนักศึกษา 62050270

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา เคมี

คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

ปีการศึกษา 2565

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ปานไพลิน สีหาราช

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการพัฒนาวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส (BC) อัลจินต (ALG) และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$) โดยมีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก (SA) และไคโตซาน (CS) เพื่อให้มีสมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำ และการต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยเตรียม BC จากวุ้นมะพร้าว จากนั้นผสม BC/ALG ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 70:30 และทำการเติม $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของ BC/ALG แห้ง จะได้ชิ้นงานวัสดุปิดแผล BC/ALG, 1% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$, 5% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$, 10% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ และ 15% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ จากนั้นทำการหดยดสารเคลือบ SA/CS โดยหดยดจำนวน 2 หดยดต่อพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร บนพื้นผิววัสดุปิดแผลทั้งสองด้าน ในการทดสอบสมบัติทางกลพบว่าวัสดุปิดแผลสามารถทนต่อการโค้งงอและการบิดได้ดี จากการศึกษสมบัติความไม่ชอบน้ำของวัสดุปิดแผลที่เคลือบ SA/CS พบว่ามีค่ามุมสัมผัสน้ำอยู่ในช่วง 151-154 องศา ซึ่งแสดงถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด จากการศึกษการดูดซึมน้ำพบว่าวัสดุปิดแผลมีอัตราการบวมตัวร้อยละ 407-693 และมีปริมาณความชื้นร้อยละ 80-87 นอกจากนี้วัสดุปิดแผลยังมีความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำอยู่ที่ 552-834 $\text{g/m}^2/\text{d}$ มีสมบัติในการบรรจุและปลดปล่อยยาที่ดี ซึ่งเหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นวัสดุปิดแผล ในการทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของวัสดุปิดแผลที่บรรจุสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียม พบว่าสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* ได้ดี ในการศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์ L929 พบว่าวัสดุปิดแผลมี

ความเป็นพิษต่อเซลล์น้อยกว่าร้อยละ 30 จึงถือได้ว่าวัสดุปิดแผลไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ ดังนั้นวัสดุปิดแผลที่ทำการพัฒนาขึ้นนี้จึงมีสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นวัสดุปิดแผลได้

คำสำคัญ : แבקทีเรียเซลลูโลส, อัลจินต, เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน, วัสดุปิดแผล และการต้านเชื้อแบคทีเรีย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	DEVELOPMENT OF SMART WOUND DRESSING FROM BACTERIAL CELLULOSE AND Fe_3O_4 NANOPARTICLES	
Students	Miss Chayanin Lersaksakul	Student ID 62050269
	Miss Chayanee Klinthian	Student ID 62050270
Degree	School of Science (Industrial chemistry)	
Department	Chemistry	
School	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2022	
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Panpailin Seeharaj	

Abstract

This special project developed wound dressings from bacterial cellulose (BC), alginate (ALG) and iron(II,III) oxide nanoparticles ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$) composites and coating with stearic acid (SA) and chitosan (CS) for hydrophilic/hydrophobic and antibacterial properties. BC was prepared from Nata de coco then BC/ALG was mixed at a ratio of 70:30 and adding $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ at 1, 5, 10 and 15 %w/w of dried BC/ALG. Five samples were prepared including BC/ALG, 1% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$, 5% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$, 10% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ and 15% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$. Then the wound dressings were dropped coating with a mixture of stearic acid and chitosan by 2 drops/ cm^2 on both sides. The prepared wound dressings showed good mechanical properties in bending and twisting tests. The wound dressings coated with SA/CS had the water contact angle in the range of 151-154 degrees, showing the hydrophobic property. All samples had swelling rate of 407-693%, moisture content of 80-87%, water vapor transmission of 552-834 $\text{g/m}^2/\text{d}$ and good drug loading and releasing properties, which were suitable for using in wound dressing applications. The antibacterial activity test of wound dressings loaded with diclofenac sodium showed good antibacterial property against *S.aureus*. The prepared wound dressings showed less than 30% cytotoxicity, which were considered as non-cytotoxicity. Therefore, the developed wound dressings have suitable properties and can be used in wound dressing applications.

Keywords : Bacterial cellulose, Alginate, Iron(II,III) oxide nanoparticles, Wound dressing and Antibacterial activity



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ปานไพลิน สีหาราช อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา คอยแนะนำแนวทางในการทำโครงงานพิเศษ ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดีทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร. นราธิป วิทยากร และ รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร ที่ให้คำแนะนำ และเสียสละเวลามาเป็นคณะกรรมการในการสอบโครงงานนี้

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีที่ให้ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์ สารเคมี และให้ความรู้ คำแนะนำในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณสมาชิกในครอบครัวทุก ๆ คนโดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณพ่อและคุณแม่ที่คอยเป็นกำลังใจ ให้การสนับสนุน รวมถึงขอขอบคุณพี่ ๆ ปริญญาโท พี่นักวิจัยหลังปริญญาเอก เพื่อน ๆ ที่คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือมาโดยตลอด

ชญาณินท์ เลอศักดิ์สกุล
ชญาณี กลิ่นเทียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ต
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 วัสดุปิดแผล.....	4
2.1.1 แบคทีเรียเซลลูโลส (Bacterial cellulose; BC).....	4
2.1.1.1 สมบัติของแบคทีเรียเซลลูโลส.....	5
2.1.1.2 การประยุกต์ใช้แบคทีเรียเซลลูโลสในทางการแพทย์.....	6
2.1.2 อัลจิเนต (Alginate; ALG).....	8
2.1.2.1 สมบัติของอัลจิเนต.....	8
2.1.2.2 การประยุกต์ใช้อัลจิเนตในทางการแพทย์.....	9
2.1.3 เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน (Iron(II,III) oxide nanoparticles; Fe ₃ O ₄ NPs).....	10
2.1.3.1 สมบัติของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน.....	10
2.1.3.2 การประยุกต์ใช้เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนในทางการแพทย์.....	11
2.2 ความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของพื้นผิววัสดุปิดแผล.....	12
2.3 สารที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำของวัสดุปิดแผล.....	14
2.3.1 กรดสเตียริก (Stearic acid; SA).....	14
2.3.2 ไคโตซาน (Chitosan; CS).....	14
2.3.2.1 การประยุกต์ใช้ไคโตซาน.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 การบรรจุและปลดปล่อยยา.....	16
2.4.1 ไดโคลฟีแนค โซเดียม (Diclofenac sodium; $C_{14}H_{10}Cl_2NNaO_2$).....	16
2.5 การเตรียมองค์ประกอบของวัสดุปิดแผล.....	16
2.5.1 การเตรียมแบคทีเรียเซลล์โลส.....	16
2.5.2 การเตรียมวัสดุผสมแบคทีเรียเซลล์โลส อัลจินต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน.....	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
2.6.1 การพัฒนาวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลล์โลสและอัลจินตเพื่อให้มีสมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำและการต้านเชื้อแบคทีเรีย.....	18
2.6.2 ผลของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนต่อเชื้อเอสเชอริเชีย โคไล ที่ดื้อต่อยาปฏิชีวนะ.....	22
2.6.3 ผลของแบคทีเรียเซลล์โลสที่มีเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนต่อคุณสมบัติโดยรวมของไฮโดรเจลอัลจินต/เคซีน เพื่อการรักษาบาดแผล.....	26
2.6.4 ผลของการเสริมกันของเซลล์โลสนาโนไฟเบอร์และสารสกัดชีวภาพ ในการขึ้นรูปฟองน้ำวัสดุผสมทางชีวภาพที่มีโซเดียมอัลจินตมีความแข็งแรงสูง และมีสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรีย.....	32
2.6.5 การเตรียมฟองน้ำวัสดุผสมจากแป้งและไคโตซาน ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกให้มีความสามารถในการเปียกแบบสมมาตรและไล่ระดับเพื่อใช้เป็นวัสดุปิดแผล.....	34
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	39
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	39
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	40
3.3 วิธีการทดลอง.....	41
3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมแบคทีเรียเซลล์โลส.....	41
3.3.2 การเตรียมวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลล์โลส อัลจินต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน.....	43
3.3.3 การปรับปรุงพื้นผิววัสดุปิดแผลให้มีสมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำ.....	45
3.4 การตรวจสอบสมบัติของวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลล์โลส อัลจินต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบให้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.1 วิเคราะห์โครงสร้างของผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer; XRD).....	47
3.4.2 วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (Field emission scanning electron microscope and energy dispersive X-ray spectrometer; FE-SEM/EDS).....	48
3.4.3 วิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer; FT-IR).....	49
3.4.4 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analysis; TGA).....	49
3.4.5 การวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible spectrophotometer).....	50
3.4.6 วิเคราะห์สมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยการวัดมุมสัมผัสน้ำ (Water contact angle; WCAs).....	51
3.4.7 ทดสอบความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission test).....	52
3.4.8 ทดสอบสมบัติการบวมตัวและปริมาณความชื้น (Swelling and moisture content test).....	53
3.4.9 ทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์สัตว์ (Cytotoxicity test).....	53
3.4.10 ทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย (Antibacterial activity).....	55
3.4.11 ทดสอบการบรรจุและการปลดปล่อยยา (Drug loading and releasing test).....	56
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	57
4.1 การเตรียมและการตรวจสอบสมบัติของวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลล์ูโลสอัลจินต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน.....	57
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุปิดแผล.....	57
4.1.2 การศึกษาโครงสร้างผลึก.....	59
4.1.3 การศึกษาโครงสร้างโมเลกุล.....	61
4.1.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาและธาตุองค์ประกอบ.....	64
4.1.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน.....	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 การทดสอบสมบัติของวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และ เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน.....	73
4.2.1 การศึกษาสมบัติทางกล.....	73
4.2.2 การศึกษาการดูดซับน้ำ.....	75
4.2.3 การศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำ.....	76
4.2.4 การศึกษาสมบัติการบวมตัวและปริมาณความชื้น.....	81
4.2.5 การศึกษาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ.....	83
4.2.6 การบรรจุและปลดปล่อยยาของวัสดุปิดแผล.....	85
4.2.7 การศึกษาสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย.....	88
4.2.8 การศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์สัตว์.....	92
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	96
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	96
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	99
เอกสารอ้างอิง.....	100
ภาคผนวก.....	109
ภาคผนวก ก การคำนวณการเตรียมองค์ประกอบในวัสดุปิดแผล.....	110
ภาคผนวก ข องค์ประกอบของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	115
ภาคผนวก ค TGA และ DTG thermogram ของวัสดุปิดแผล.....	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างและสมบัติต่าง ๆ ระหว่างเซลลูโลสที่ได้จากพืชกับเซลลูโลสที่ได้จากแบคทีเรีย.....	6
2.2 การพัฒนาแบคทีเรียเซลลูโลสโดยการเพิ่มองค์ประกอบต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในงานทางด้านชีวการแพทย์.....	7
3.1 สภาวะที่ใช้ในการเตรียมวัสดุปิดแผล	46
4.1 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุปิดแผล (a) ชิ้นงานหลังการขึ้นรูป (b) ชิ้นงานหลังผ่านการทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง (c) ชิ้นงานหลังหยดสารเคลือบ SA/CS และ (d) ความหนาชิ้นงาน (mm).....	58
4.2 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของวัสดุปิดแผลบริเวณพื้นผิว	71
4.3 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของวัสดุปิดแผลบริเวณภาพตัดขวาง.....	71
4.4 การทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุปิดแผลด้วยการโค้งงอและการบิด.....	74
4.5 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของวัสดุปิดแผล	76
4.6 ค่ามุมสัมผัสน้ำบนวัสดุปิดแผลที่หยดสารเคลือบ SA/CS.....	77
4.7 ค่ามุมสัมผัสน้ำเมื่อทดสอบการยึดติดของสารเคลือบบนวัสดุปิดแผลด้วยการขัดถูด้วยนิ้วมือและการลอกออกด้วยเทป.....	79
4.8 การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922 และ <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923) ของวัสดุปิดแผลต่าง ๆ ที่ทำการหยดสารเคลือบ SA/CS.....	89
4.9 เขตยับยั้งการต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ <i>E.coli</i> และแกรมบวก <i>S.aureus</i> ของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG (b) 1%Fe ₃ O ₄ NPs (c) 5%Fe ₃ O ₄ NPs (d) 10%Fe ₃ O ₄ NPs และ (e) 15%Fe ₃ O ₄ NPs ที่ทำการหยดสารเคลือบ SA/CS.....	90
4.10 การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922 และ <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923) ของวัสดุปิดแผลต่าง ๆ ที่ทำการแช่ในสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียม และทำการหยดสารเคลือบ SA/CS.....	91
4.11 เขตยับยั้งการต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ <i>E.coli</i> และแกรมบวก <i>S.aureus</i> ของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG (b) 1%Fe ₃ O ₄ NPs (c) 5%Fe ₃ O ₄ NPs (d) 10%Fe ₃ O ₄ NPs และ (e) 15%Fe ₃ O ₄ NPs ที่ทำการแช่ในสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียม และทำการหยดสารเคลือบ SA/CS.....	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.12 สัณฐานวิทยาของเซลล์ L929 ที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ของวัสดุปิดแผลเทียบกับสภาวะควบคุม	93
4.13 ความเป็นพิษและความมีชีวิตต่อเซลล์ L929 ของวัสดุปิดแผล	95
ข.1 วัณมะพร้าว.....	115
ข.2 เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน	115
ข.3 ไคโคลพีแนค โซเดียม	116
ข.4 ไคโตซาน	116
ข.5 อัลจิเนต.....	116



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลกลูโคสในเซลลูโลส.....	4
2.2 การสังเคราะห์ทางชีวภาพของแบคทีเรียเซลลูโลสและภาพโครงสร้างจุลภาคของแบคทีเรียเซลลูโลส.....	5
2.3 โครงสร้างของอัลจินต (ก) โครงสร้างน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบ และ (ข) ลักษณะการจัดเรียงตัวในรูปแบบต่าง ๆ	8
2.4 กลไกการเกิดเจลของแคลเซียมอัลจินต (Egg-box model).....	9
2.5 ลักษณะทางกายภาพของแมกนีไทต์	10
2.6 โครงสร้างผลึกแบบสปินเนลผกผัน (inverse spinel) ของแมกนีไทต์.....	10
2.7 กลไกการต้านเชื้อแบคทีเรียของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน	11
2.8 มุมสัมผัสบนพื้นผิวของวัสดุ	12
2.9 ลักษณะของเหลวที่หยดบนพื้นผิววัสดุแสดงค่ามุมสัมผัสที่ต่างกัน	13
2.10 โครงสร้างเคมีของกรดสเตียริก	14
2.11 การเตรียมโคโคซานจากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิetyl (deacetylation) ของโคติน	15
2.12 โครงสร้างของโคโคลิพิดแซค โหเดียม	16
2.13 วุ้นมะพร้าว	17
2.14 วิธีการเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลสแบบภายนอก (ex-situ)	17
2.15 ปฏิกริยาระหว่างแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจินต.....	18
2.16 ภาพถ่ายของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG และวัสดุปิดแผลที่หยดสารเคลือบ (b) ZnO/SA (c) ZnO/SA/CS และ (d) ZnO/SA/CS/AgNPs	19
2.17 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุปิดแผล BC/ALG (a) บริเวณพื้นผิว (b) ภาพตัดขวางบริเวณพื้นผิว (c) และ (d) ภาพตัดขวาง	20
2.18 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุปิดแผลที่หยดสารเคลือบ ZnO/SA/CS/AgNPs (a) และ (b) บริเวณพื้นผิว (c) รอยต่อบริเวณพื้นผิวที่หยดและไม่หยดสารเคลือบ (d) ภาพตัดขวางบริเวณใกล้พื้นผิว (e) และ (f) ภาพตัดขวาง	20
2.19 ค่ามุมสัมผัสน้ำของวัสดุปิดแผลที่เคลือบด้วยสารเคลือบในสภาวะต่าง ๆ	21
2.20 ร้อยละความเป็นพิษต่อเซลล์.....	22
2.21 ภาพถ่าย TEM ของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

2.22 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของเชื้อเอสเชอริเชีย โคไล ที่ดื้อต่อ (a) ยาปฏิชีวนะกานามัยซิน (b) ยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลิน ที่มีการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน (50-250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ของแถบตัวควบคุมที่ไม่มีการเติม (■); เติมน 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (■); เติมน 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (■); เติมน 150 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (■); และเติมน 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (■).....	24
2.23 ระยะพักของเชื้อเอสเชอริเชีย โคไล ที่ดื้อต่อ (a) ยาปฏิชีวนะกานามัยซิน (b) ยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลิน ที่มีการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน (50-250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ของแถบตัวควบคุมที่ไม่มีการเติม (■); เติมน 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (■); เติมน 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (■); เติมน 150 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (■); และเติมน 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (■)	25
2.24 (a) จำนวนโคโลนีของเชื้อเอสเชอริเชีย โคไล ที่ดื้อต่อยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลิน (b) โคโลนีของแบคทีเรียบนอาหารเลี้ยงเชื้อในจานเพาะเชื้อ แถบตัวควบคุมที่ไม่มีการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน (■) และที่มีการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนลงไปในการอาหารเลี้ยงเชื้อ (■).....	25
2.25 (a) ภาพถ่าย FE-SEM ของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้ (b) EDS สเปกตรัม (c) ภาพถ่าย FE-SEM ของแบคทีเรียเซลล์โลสบริสุทธิ์ (d) ภาพถ่าย FE-SEM ของแบคทีเรียเซลล์โลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน (e) EDS สเปกตรัม (f) แผนภาพการกระจายตัวของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนบนแบคทีเรียเซลล์โลสบริสุทธิ์ และ (g) กราฟ TGA ของแบคทีเรียเซลล์โลส และแบคทีเรียเซลล์โลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน.....	27
2.26 ภาพถ่าย FE-SEM ของ (a,a') ไฮโดรเจลอัลจินต และเคซีน (b,b') ไฮโดรเจลอัลจินตเคซีน และแบคทีเรียเซลล์โลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนัก (c,c') ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก และ (d,d') ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก.....	28
2.27 (a) ภาพเปรียบเทียบระหว่างไฮโดรเจลอัลจินต เคซีน และแบคทีเรียเซลล์โลสที่ผสมอนุภาคนาโนเหล็ก(II,III) ออกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันก่อนและหลังการบวมตัว และ (b) อัตราการบวมตัว.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.28 (a) FT-IR สเปกตรัม (b) รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน, แบบที่เรียเซลล์โลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน, ไฮโดรเจลอัลจินตและเคซีน, เคซีน และอัลจินต.....	30
2.29 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของไฮโดรเจล.....	31
2.30 เส้นโค้งการสร้างสนามแม่เหล็กของไฮโดรเจลอัลจินต เคซีน และแบบที่เรียเซลล์โลสผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน	31
2.31 ความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียของไฮโดรเจล.....	32
2.32 ปฏิกริยาระหว่างอัลจินตและโลหะที่อยู่ในน้ำข้าว.....	33
2.33 ลักษณะของวัสดุที่มีความสามารถในการเปียกแบบอสมมาตร.....	34
2.34 แผนผังการเตรียมฟองน้ำวัสดุผสมไคโตซานและแป้ง ที่มีความสามารถในการเปียกของพื้นผิวที่แตกต่างกัน	35
2.35 (a) มุมสัมผัสน้ำของพื้นผิวด้านบนและด้านล่างของฟองน้ำไคโตซานที่มีส่วนผสมที่ต่างกัน และ (b) ภาพถ่ายของน้ำที่ขึ้นกับเวลาในการดูดซับที่พื้นผิวด้านล่างของฟองน้ำ CS-ST0.5-S, CS-ST1-S และ CS-ST2-S.....	36
2.36 ภาพถ่ายพื้นผิวด้านบนและด้านล่างของฟองน้ำที่มีการเคลือบด้วยกรดสเดียริกโดยทำการ (a) หยดน้ำ และ (b) หยดเลือด.....	37
2.37 ภาพถ่าย SEM ของฟองน้ำ.....	38
3.1 แผนผังขั้นตอนการเตรียมแบบที่เรียเซลล์โลส	42
3.2 แผนผังการเตรียมวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบบที่เรียเซลล์โลส อัลจินต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน.....	44
3.3 แผนผังการปรับปรุงพื้นผิววัสดุปิดแผลให้มีสมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำ	46
3.4 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์.....	47
3.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ	48
3.6 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์	49
3.7 เครื่องวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิความร้อน	50
3.8 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....	51
3.9 เครื่องวัดมุมสัมผัสน้ำ.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 4.1 แบบที่เรียเซลล์โลสเปียก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG (b) 1%Fe ₃ O ₄ NPs (c) 5%Fe ₃ O ₄ NPs (d) 10%Fe ₃ O ₄ NPs และ (e) 15%Fe ₃ O ₄ NPs	60
4.3 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของวัสดุปิดแผลที่เคลือบด้วยสารเคลือบ SA/CS (a) BC/ALG+SA/CS (b) 1%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS (c) 5%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS (d) 10%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS และ (e) 15%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS.....	61
4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG (b) 1%Fe ₃ O ₄ NPs (c) 5%Fe ₃ O ₄ NPs (d) 10%Fe ₃ O ₄ NPs และ (e) 15%Fe ₃ O ₄ NPs	62
4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG+SA/CS (b) 1%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS (c) 5%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS (d) 10%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS และ (e) 15%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	63
4.6 ภาพถ่าย FE-SEM ของวัสดุปิดแผล BC/ALG บริเวณพื้นผิว (a) กำลังขยาย 5000 เท่า และ (b) กำลังขยาย 10000 เท่า.....	64
4.7 ภาพถ่าย FE-SEM ของวัสดุปิดแผล 1%Fe ₃ O ₄ NPs บริเวณพื้นผิว (a) กำลังขยาย 5000 เท่า และ (b) กำลังขยาย 10000 เท่า.....	64
4.8 ภาพถ่าย FE-SEM ของวัสดุปิดแผล 5%Fe ₃ O ₄ NPs บริเวณพื้นผิว (a) กำลังขยาย 5000 เท่า และ (b) กำลังขยาย 10000 เท่า.....	65
4.9 ภาพถ่าย FE-SEM ของวัสดุปิดแผล 10%Fe ₃ O ₄ NPs บริเวณพื้นผิว (a) กำลังขยาย 5000 เท่า และ (b) กำลังขยาย 10000 เท่า.....	65
4.10 ภาพถ่าย FE-SEM ของวัสดุปิดแผล 15%Fe ₃ O ₄ NPs บริเวณพื้นผิว (a) กำลังขยาย 5000 เท่า และ (b) กำลังขยาย 10000 เท่า.....	65
4.11 EDS สเปกตรัมและแผนภาพการกระจายตัวของวัสดุปิดแผล 10%Fe ₃ O ₄ NPs ที่บริเวณพื้นผิว.....	66
4.12 ภาพถ่าย FE-SEM ของวัสดุปิดแผล 10%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS (a) บริเวณพื้นผิวสารเคลือบที่กำลังขยาย 5000 เท่า (b) บริเวณพื้นผิวสารเคลือบที่กำลังขยาย 10000 เท่า (c) ภาพตัดขวางบริเวณรอยต่อระหว่างสารเคลือบและวัสดุปิดแผลที่กำลังขยาย 5000 เท่า และ (d) ภาพตัดขวางบริเวณรอยต่อระหว่างสารเคลือบและวัสดุปิดแผลที่กำลังขยาย 30000 เท่า.....	67
4.13 EDS สเปกตรัมและแผนภาพการกระจายตัวของวัสดุปิดแผล 10%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS บริเวณรอยต่อระหว่างสารเคลือบและวัสดุปิดแผล	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 ภาพถ่าย FE-SEM ของวัสดุปิดแผล BC/ALG บริเวณภาพตัดขวาง (a) กำลังขยาย 500 เท่า (b) กำลังขยาย 2000 เท่า.....	69
4.15 EDS สเปกตรัมและแผนภาพการกระจายตัวของวัสดุปิดแผล BC/ALG บริเวณภาพตัดขวาง ก่อนเคลือบSA/CS	69
4.16 ภาพถ่าย FE-SEM ของวัสดุปิดแผล 10%Fe ₃ O ₄ NPs บริเวณภาพตัดขวาง (a) กำลังขยาย 500 เท่า (b) กำลังขยาย 2000 เท่า.....	70
4.17 EDS สเปกตรัมและแผนภาพการกระจายตัวของวัสดุปิดแผล 10%Fe ₃ O ₄ NPs บริเวณภาพตัดขวาง	70
4.18 TGA thermogram ภายใต้บรรยากาศออกซิเจนของวัสดุปิดแผล.....	72
4.19 DTG thermogram ภายใต้บรรยากาศออกซิเจนของวัสดุปิดแผล	73
4.20 ลักษณะทางกายภาพความยืดหยุ่นของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG+SA/CS (b) 1%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS (c) 5%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS (d) 10%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS และ (e) 15%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS.....	75
4.21 ค่ามุมสัมผัสน้ำของวัสดุปิดแผลที่เคลือบด้วยสารเคลือบ SA/CS.....	77
4.22 วิธีการทดสอบการยึดติดของชั้นเคลือบ SA/CS ด้วยการขัดถูด้วยนิ้วมือของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG+SA/CS (b) 1%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS (c) 5%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS (d) 10%Fe ₃ O ₄ NPs +SA/CS และ (e) 15%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	78
4.23 วิธีการทดสอบการยึดติดของชั้นเคลือบ SA/CS ด้วยการลอกออกด้วยเทปของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG+SA/CS (b) 1%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS (c) 5%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS (d) 10%Fe ₃ O ₄ NPs +SA/CS และ (e) 15%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS.....	79
4.24 ค่ามุมสัมผัสน้ำหลังจากการทดสอบการยึดติดของสารเคลือบบนวัสดุปิดแผลด้วยการขัดถูด้วย นิ้วมือ.....	80
4.25 ค่ามุมสัมผัสน้ำหลังจากการทดสอบการยึดติดของสารเคลือบบนวัสดุปิดแผลด้วยลอกออกด้วย เทป.....	80
4.26 อัตราการบวมตัวของวัสดุปิดแผล	82
4.27 ปริมาณความชื้นของวัสดุปิดแผล	83
4.28 อัตราการแพร่ผ่านไอน้ำของวัสดุปิดแผล (a) วันที่ 1 (b) วันที่ 2 (c) วันที่ 3 (d) วันที่ 4 (e) วันที่ 5 และ (f) วันที่ 1-5	84

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.29 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียม ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	85
4.30 กราฟมาตรฐานของสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียม.....	86
4.31 ความเข้มข้นในการปลดปล่อยสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียมของวัสดุปิดแผลที่เวลาต่าง ๆ	88
4.32 ร้อยละความเป็นพิษต่อเซลล์ L929 (%cytotoxicity) ที่ทดสอบด้วยวิธี MTT assay.....	94
4.33 ร้อยละความมีชีวิตของเซลล์ L929 (%cell viability) ที่ทดสอบด้วยวิธี MTT assay.....	95
ค.1 TGA และ DTG thermogram ของวัสดุปิดแผล BC/ALG.....	117
ค.2 TGA และ DTG thermogram ของวัสดุปิดแผล 1%Fe ₃ O ₄ NPs.....	117
ค.3 TGA และ DTG thermogram ของวัสดุปิดแผล 5%Fe ₃ O ₄ NPs.....	118
ค.4 TGA และ DTG thermogram ของวัสดุปิดแผล 10%Fe ₃ O ₄ NPs	118
ค.5 TGA และ DTG thermogram ของวัสดุปิดแผล 15%Fe ₃ O ₄ NPs	119
ค.6 TGA และ DTG thermogram ของวัสดุปิดแผล 10%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	119
ค.7 เศษที่เหลือหลังจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG (b) 1%Fe ₃ O ₄ NPs (c) 5%Fe ₃ O ₄ NPs (d) 10%Fe ₃ O ₄ NPs (e) 15%Fe ₃ O ₄ NPs และ (f) 10%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS.....	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
BC	แบคทีเรียเซลลูโลส
ALG	อัลจิเนต
$\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$	เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน
SA	กรดสแตียริก
CS	ไคโตซาน
BC/ALG	วัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจิเนต
1% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$	วัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก
5% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$	วัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
10% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$	วัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
15% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$	วัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก
SA/CS	สารเคลือบกรดสแตียริก และไคโตซาน
BC/ALG+SA/CS	วัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจิเนต ที่เคลือบด้วย กรดสแตียริก และไคโตซาน
1% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ +SA/CS	วัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่เคลือบด้วยกรดสแตียริก และไคโตซาน
5% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ +SA/CS	วัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่เคลือบด้วยกรดสแตียริก และไคโตซาน
10% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ +SA/CS	วัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ที่เคลือบด้วยกรดสแตียริก และไคโตซาน
15% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ +SA/CS	วัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่เคลือบด้วยกรดสแตียริก และไคโตซาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดตบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

บาดแผลเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการและไม่อยากให้เกิดขึ้น แต่เมื่อเกิดขึ้นแล้วก็ควรที่จะรักษาให้หายเร็วที่สุด โดยปกติบาดแผลเมื่อเกิดขึ้นแล้วจะหายได้เองตามธรรมชาติ เพราะร่างกายมีกลไกในการซ่อมแซมส่วนที่เสียหายอยู่แล้ว แต่หากมีการดูแลบาดแผลที่ดีก็จะทำให้แผลหายได้เร็วขึ้น ดังนั้นวัสดุปิดแผลจึงถูกใช้ในการรักษาบาดแผลและป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นกับบาดแผล วัสดุปิดแผลโดยทั่วไปมีให้เลือกหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับการใช้งานและลักษณะแผลที่เกิดขึ้น ลักษณะของวัสดุปิดแผลที่ดีจะประกอบด้วยสมบัติดังนี้ คือ มีความสามารถในการดูดซับและกักเก็บสารคัดหลั่งที่ออกมาจากแผลได้ ซึ่งจะช่วยลดความถี่ในการเปลี่ยนวัสดุปิดแผลทำให้ไม่รบกวนกระบวนการสมานแผลและไม่ทำให้เกิดการบาดเจ็บเมื่อทำการเปลี่ยนวัสดุปิดแผล ระบายอากาศได้ดี อากาศสามารถถ่ายเทเข้าออก วัสดุปิดแผลได้เพื่อไม่ให้เกิดความชื้น ไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ สามารถป้องกันการติดเชื้อแบคทีเรียและสิ่งสกปรกจากภายนอกได้ และมีสมบัติทางกลที่ดี [1] ในปัจจุบันมีการนำแบคทีเรียเซลลูโลส (bacterial cellulose; BC) มาพัฒนาเป็นวัสดุปิดแผลมากขึ้น เนื่องจากมีความบริสุทธิ์และสามารถย่อยสลายได้เองทางชีวภาพ โดยแบคทีเรียเซลลูโลสสามารถสังเคราะห์ได้จากจุลินทรีย์ที่อยู่ในจำพวก *Komagataeibacter*, *Acetobacter*, *Rhizobium*, *Sarcina*, *Agrobacterium*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Salmonella* เป็นต้น [2] โดยโครงสร้างโมเลกุลของแบคทีเรียเซลลูโลสประกอบขึ้นจากพอลิเมอร์ขนาดเล็กที่มีหน่วยย่อยเป็นน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิดบีตา(1,4) มีสูตรโมเลกุล คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ จัดเรียงตัวคล้ายกับโครงสร้างของไฮโดรเจล มีพื้นที่ผิวมาก มีความเป็นระเบียบสูง มีความสามารถในการกักเก็บน้ำสูง มีความพรุนสูง และมีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ [3] แต่ในการพัฒนาวัสดุปิดแผลจากการใช้แบคทีเรียเซลลูโลสเป็นวัสดุหลักเพียงอย่างเดียว อาจทำให้ได้วัสดุปิดแผลที่ขาดคุณสมบัติที่เหมาะสม เช่น สมบัติทางกล การต้านเชื้อแบคทีเรีย (antibacterial property) และการส่งเสริมการสร้างเนื้อเยื่อ เป็นต้น

โครงการพิเศษนี้จึงได้ทำการพัฒนาผ้าปิดแผลจากแบคทีเรียเซลลูโลส ที่มีการผสมอัลจิเนต (alginate; ALG) เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกล และทำให้ได้วัสดุปิดแผลที่มีสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic property) มีความชุ่มชื้นสูงเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการรักษาบาดแผล จากนั้นได้ศึกษาผลของการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโน (iron(II,III) oxide nanoparticle; ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fe₃O₄NPs) ลงในวัสดุปิดแผลผสมแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจินตเพื่อเพิ่มสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบให้กับวัสดุปิดแผล และสมบัติการบรรจุและปลดปล่อยยา และศึกษาผลของการเพิ่มสมบัติความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic property) ในวัสดุปิดแผลโดยการเคลือบผิววัสดุปิดแผลในบางบริเวณด้วยกรดสเตียริก (stearic acid; SA) และไคโตซาน (chitosan; CS) เพื่อให้ได้วัสดุปิดแผลที่มีสมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำ ป้องกันเชื้อแบคทีเรียจากภายนอกเข้าสู่บาดแผลซึ่งนำไปสู่การติดเชื้อ และลดการยึดติดระหว่างบาดแผลและวัสดุปิดแผลเพื่อลดการบาดเจ็บจากการเปลี่ยนวัสดุปิดแผล

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาการเตรียมวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจินต
- 2) เพื่อศึกษาผลของการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนในวัสดุปิดแผลแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจินตที่มีต่อสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย และสมบัติของการบรรจุและปลดปล่อยสารละลายยา
- 3) เพื่อศึกษาผลของการเคลือบวัสดุปิดแผลด้วยกรดสเตียริกและไคโตซานที่มีต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1) เตรียมวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจินต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน โดยอัตราส่วนระหว่างแบคทีเรียเซลลูโลสเปียกและอัลจินตที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ 70:30 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจินตหลังทำให้แห้งแบบเยือกแข็งเพื่อเพิ่มสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย
- 2) เตรียมวัสดุปิดแผลที่หยาบเคลือบด้วยสารเคลือบกรดสเตียริกและไคโตซานเพื่อปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำ
- 3) ตรวจสอบคุณสมบัติและสมบัติด้วยเทคนิคดังต่อไปนี้

3.1) วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer; XRD)

3.2) วิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer; FT-IR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3) วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (field emission scanning electron microscope and energy dispersive X-ray spectrometer; FE-SEM/EDS)

3.4) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (thermogravimetric analysis; TGA)

3.5) วิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible spectrophotometer)

3.6) วิเคราะห์สมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยการวัดค่ามุมสัมผัสน้ำ (water contact angle; WCAs)

3.7) ทดสอบสมบัติการบวมตัวและปริมาณความชื้น (swelling and moisture content test)

3.8) ทดสอบความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission test)

3.9) ทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย (antibacterial activity test)

3.10) ทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์สัตว์ (cytotoxicity test)

3.11) ทดสอบความสามารถในการบรรจุและปลดปล่อยยา (drug loading and releasing test)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถเตรียมวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่มีสมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำ และต้านเชื้อแบคทีเรีย
- 2) สามารถพัฒนาวิธีการเตรียมวัสดุปิดแผลให้มีสมบัติต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

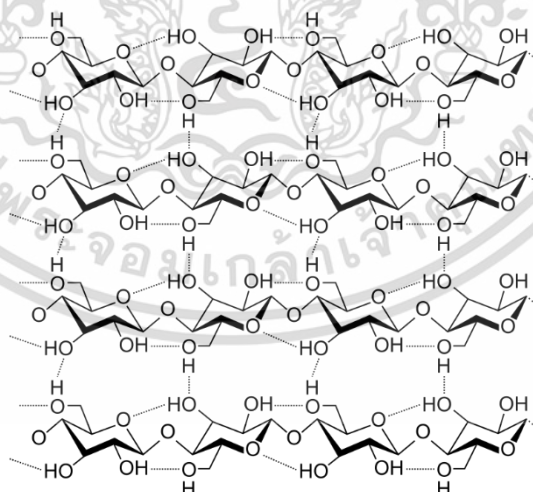
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุปิดแผล

2.1.1 แบคทีเรียเซลลูโลส (Bacterial cellulose; BC)

เซลลูโลส (cellulose) มีสูตรโมเลกุล คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เป็นสารชีวโมเลกุลประเภทคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ชนิดโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (homopolysaccharide) มีลักษณะเป็นโฮโมพอลิเมอร์ที่ไม่มีกิ่งก้าน (unbranched) ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคส (glucose) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) เป็นหมู่หลัก มาเรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ที่ตำแหน่งปีตา-1,4 ($\beta(1-4)$ glycosidic bond)) ได้เป็นสายยาวที่มีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสกว่า 2000–18000 โมเลกุล [4] ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่สามารถพบได้ในเซลล์พืชและแบคทีเรีย เซลลูโลสที่พบในแบคทีเรีย เช่น *Aerobacter*, *Achromobacter*, *Gluconacetobacter*, *Azotobacter*, *Alcaligenes* เป็นต้น สำหรับผนังเซลล์พืช (plant cell wall structure) เช่น ผัก ผลไม้ เมล็ดธัญพืช หรือเส้นใยพืช (vegetable fibers) จะประกอบด้วยโครงสร้างพอลิเมอร์ 3 ชนิด คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน [5]

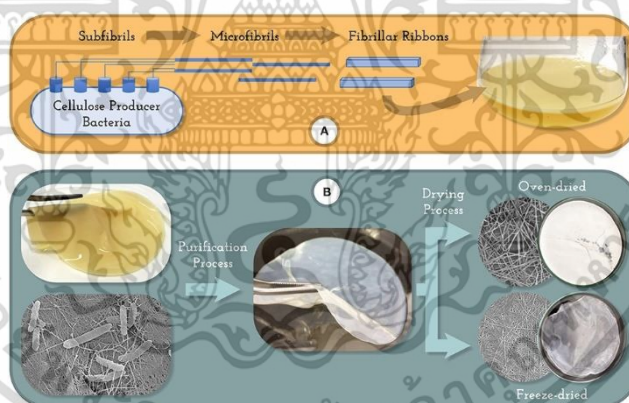


รูปที่ 2.1 ลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลกลูโคสในเซลลูโลส [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.1 สมบัติของแบคทีเรียเซลลูโลส

แบคทีเรียเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่มีความบริสุทธิ์ปราศจากลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส มีความเป็นผลึกสูง มีโครงสร้างระดับนาโน มีความต้านทานแรงดึงสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ประมาณ ร้อยละ 30-40 มีประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ ย่อยสลายทางชีวภาพได้ดี และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โครงสร้างทางพอลิเมอร์ของแบคทีเรียเซลลูโลสเชื่อมต่อกันอย่างแข็งแรง ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล เรียกว่าไมโครไฟบริล ซึ่งประกอบด้วยสายกลูแคนที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเพื่อให้เกิดเป็นผลึก โดยโครงสร้างของแบคทีเรียเซลลูโลสแตกต่างกัน ขึ้นกับการสังเคราะห์และกลไกการควบคุมของแบคทีเรียแต่ละชนิด ขนาดเส้นใยไมโครไฟบริลของแบคทีเรียเซลลูโลสจะมีขนาดเล็กมีความกว้าง 100 นาโนเมตร และความหนาประมาณ 3-8 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเส้นใยของพืชชั้นสูงและเส้นใยสังเคราะห์ประมาณ 100-1000 เท่า ตามลำดับ [4] รูปที่ 2.2 แสดงการสังเคราะห์ทางชีวภาพของแบคทีเรียเซลลูโลสและภาพโครงสร้างจุลภาคของแบคทีเรียเซลลูโลส และจากสมบัติของแบคทีเรียเซลลูโลสในด้านต่าง ๆ นี่จึงเป็นข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับเซลลูโลสที่ได้จากพืช [3] โดยการเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างและสมบัติต่าง ๆ ระหว่างเซลลูโลสที่ได้จากพืชกับเซลลูโลสที่ได้จากแบคทีเรีย แสดงดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.2 การสังเคราะห์ทางชีวภาพของแบคทีเรียเซลลูโลสและภาพโครงสร้างจุลภาคของแบคทีเรียเซลลูโลส [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างและสมบัติต่าง ๆ ระหว่างเซลลูโลสที่ได้จากพืชกับเซลลูโลสที่ได้จากแบคทีเรีย [3]

ลักษณะโครงสร้าง/ สมบัติของเส้นใย เซลลูโลส	เซลลูโลสจากพืช	เซลลูโลสจากแบคทีเรีย
1. ความบริสุทธิ์	พอลิเมอร์ประกอบไปด้วยสารอื่น ๆ หลายชนิด	พอลิเมอร์มีความบริสุทธิ์
2. ส่วนประกอบภายในพอลิเมอร์	ประกอบไปด้วยเซลลูโลสที่อยู่รวมกับเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเพคตินในสัดส่วนที่แตกต่างกันตามชนิดของพืช	ประกอบไปด้วยโมเลกุลกลูโคสเพียงชนิดเดียว
3. การจัดเรียงตัวของโครงสร้างเส้นใย	โครงสร้างมีกิ่งสาขามากไม่เป็นระเบียบ	การจัดเรียงตัวของเส้นใยอย่างเป็นระเบียบ
4. ขนาดของเส้นใยเซลลูโลส	ขนาดของเส้นใยมีขนาดใหญ่	ขนาดของเส้นใยเล็กกว่าเส้นใยจากพืช 100 เท่า
5. สีของเส้นใยเซลลูโลส	เส้นใยมีสีขาวหรือค่อนข้างขาว	เส้นใยมีลักษณะใส
6. ความแข็งแรงของเส้นใยเซลลูโลส	เส้นใยทนต่อแรงดึงต่ำ	เส้นใยมีความแข็งแรง ทนต่อแรงดึงสูง
7. ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยเซลลูโลส	ความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ (ค่า water holding capacity 10-20 เท่าของน้ำหนักเซลลูโลสแห้ง)	ความสามารถในการอุ้มน้ำสูง (ค่า water holding capacity 60-700 เท่าของน้ำหนักเซลลูโลสแห้ง)

(จุฬาลักษณ์ เมาชีวะกุล. 2016. “การผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสสายพันธุ์ *Acetobacter xylinum* และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม.” การเกษตรราชนันท์. 15(2) : 26-33. [3])

2.1.1.2 การประยุกต์ใช้แบคทีเรียเซลลูโลสในทางการแพทย์

เนื่องจากแบคทีเรียเซลลูโลสมีสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ เช่น มีความบริสุทธิ์สูง ทนต่อแรงดึงสูง มีความหนาแน่นของผลึกสูง และรูปร่างมีความคงตัว เป็นต้น ทำให้มีการนำแบคทีเรียเซลลูโลสไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ เช่น สิ่งทอ อาหาร การบำบัดน้ำเสีย กระดาษ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าและใช้ในทางการแพทย์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางการแพทย์กระบวนการสร้างเนื้อเยื่อเพื่อรักษาบาดแผลเกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีนต่าง ๆ เช่น คอลลาเจน เจลาติน และโปรทีโอไกลแคนที่อยู่ใน extracellular matrix molecules (ECM) ในชั้นของเนื้อเยื่อเพื่อกระบวนการรักษาตัวเอง โดยพบว่าความชุ่มชื้น (moist environment) ของบาดแผลส่งผลให้การรักษาบาดแผลและการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ (re-epithelialization) มีประสิทธิภาพมากขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำแบคทีเรียเซลลูโลสมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุปิดแผล ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์รักษาบาดแผลชนิดต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก เพื่อลดความถี่ในการทำแผลและคงความชุ่มชื้นโดยไม่ต้องทำแผลบ่อย เช่น ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) แผ่นปิดแผลที่เคลือบด้วยโลหะเงิน (silver coated dressing) และเซลลูโลส ซึ่งพบว่าการใช้ไฮโดรคอลลอยด์กับแผลที่ระดับสอง (superficial) และแผลไฟไหม้น้ำร้อนลวกระดับสอง ระยะเวลาเฉลี่ยในการหายของแผลเท่ากับ 8.2 และ 10.2 วัน ตามลำดับ ซึ่งได้ผลดีกว่าการทำแผลแบบเดิมที่ใช้ผ้าก๊อช การนำเซลลูโลสมาใช้เป็นแผ่นปิดแผลจะทำให้สามารถลอกแผ่นปิดแผลออกง่ายและลดอาการบาดเจ็บ ผลจากการใช้แผ่นเซลลูโลสในการรักษาแผลเรื้อรัง (non-healing venous leg ulcers) พบว่าระยะเวลาการหายของแผลและอาการปวดแผลดีกว่ากลุ่มที่ได้รับการรักษาด้วยวิธีทั่วไป และแผ่นเซลลูโลสยังช่วยลดเนื้อตาย นอกจากนี้ยังช่วยรักษาสภาพความชื้นที่เหมาะสมแก่แผล ไม่ติดผิวหนังเมื่อเปลี่ยนผ้าปิดแผล เหมาะสำหรับปิดแผลที่มีสารคัดหลั่งมาก [4] วัสดุปิดแผลที่มีการใช้แบคทีเรียเซลลูโลสอย่างเดียวยังขาดคุณสมบัติ เช่น การเสริมสร้างการสร้างเนื้อเยื่อ การต้านเชื้อแบคทีเรีย จึงมีการพัฒนาแบคทีเรียเซลลูโลสโดยการเพิ่มองค์ประกอบต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในงานทางด้านชีวการแพทย์ [8] แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การพัฒนาแบคทีเรียเซลลูโลสโดยการเพิ่มองค์ประกอบต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในงานทางด้านชีวการแพทย์ [8]

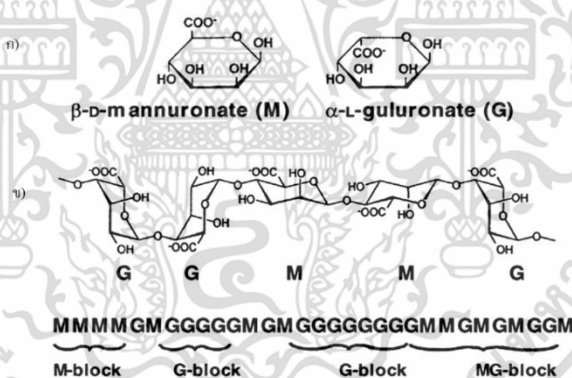
องค์ประกอบเพิ่มเติม	การประยุกต์ใช้	ผลการวิจัย
โคโคซาน	วัสดุปิดแผล	มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ สมบัติทางกลสูง บาดแผลหายเร็วขึ้นและส่งเสริมการสร้างเนื้อเยื่อที่ดีขึ้น
โพลีไวนิลแอลกอฮอล์	วัสดุปิดแผล	มีความเป็นพิษต่อเซลล์ต่ำ เพิ่มความต้านทานแรงดึงและการยึดเกาะของรอยประสาน
อนุภาคเงินนาโน	วัสดุปิดแผล หล่อลื่นเทียม	ต้านเชื้อแบคทีเรีย ส่งเสริมคุณสมบัติทางกลและความยืดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Unal, S. Gunduz, O. and Uzun, M. 2020. “Tissue Engineering Applications of Bacterial Cellulose Based Nanofibers.” Advanced Structured Materials. 126 : 319-346. [8])

2.1.2 อัลจิเนต (Alginate; ALG)

อัลจิเนตเป็นไฮโดรคอลลอยด์ ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) สกัดได้จากผนังเซลล์ของสาหร่ายสีน้ำตาล (brown algae) เช่น *Macrocystis pyrifera*, *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea* เป็นต้น ซึ่งเป็นพอลิเมอร์อนุพันธ์ของน้ำตาล ได้แก่ กรดแมนนูโรนิก (D-mannuronic acid; M) กรดกลูโรนิก (guluronic acid; G) ลักษณะโครงสร้างของอัลจิเนตเป็นเส้นตรงไม่มีการแตกแขนง ภายในโมเลกุลประกอบด้วยพันธะ 1-4 ไกลโคซิดิกระหว่างน้ำตาล D-mannuronic acid (M) และ L-guluronic acid (G) [9] อัลจิเนตประกอบด้วยบล็อกของมอนอเมอร์น้ำตาลที่มีทั้งที่เหมือนกัน คือ MMMMM เรียกว่า M-blocks และ GGGGG เรียกว่า G-blocks และมอนอเมอร์น้ำตาลสองชนิด คือ GMGMGMGM เรียกว่า MG-blocks โดยในแต่ละบล็อกจะมีโครงสร้างการเกิดในสัดส่วนที่แตกต่างกัน [10] แสดงดังรูปที่ 2.3



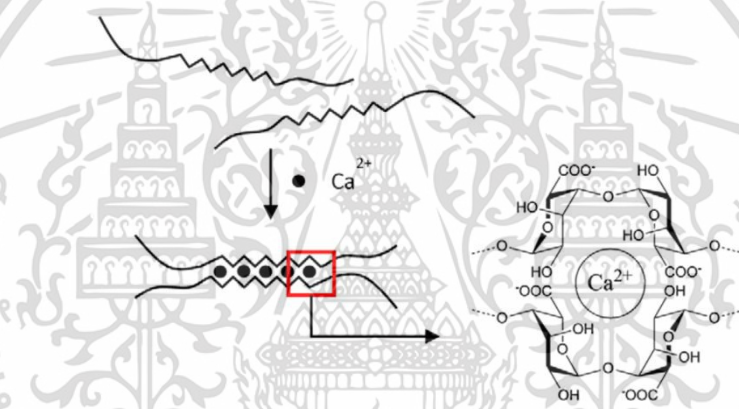
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของอัลจิเนต (ก) โครงสร้างน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบและ (ข) ลักษณะการจัดเรียงตัวในรูปแบบต่าง ๆ [11]

2.1.2.1 สมบัติของอัลจิเนต

อัลจิเนตละลายน้ำได้สามารถทำให้เกิดเจลหรือเป็นสารก่อเจล (gelling agent) เจลที่ได้จะทนต่อความร้อน (thermoirreversible gel) สัดส่วนของโคพอลิเมอร์และโครงสร้างจะเป็นตัวกำหนดสมบัติของอัลจิเนต ถ้าพอลิเมอร์มี G ในปริมาณที่สูงจะมีสมบัติเป็นเจลแข็ง แต่ถ้าพอลิเมอร์มี M ปริมาณสูงจะมีแนวโน้มที่จะเกิดเจลที่อ่อนนุ่ม และมีสภาวะในการเกิดเจลที่ง่ายกว่า อัลจิเนตที่

ผลิตจำหน่ายในทางการค้ามีหลายอนุพันธ์จึงมีสมบัติการละลายในน้ำที่แตกต่างกัน เช่น อนุพันธ์ของเกลือ Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ อนุพันธ์เหล่านี้จะละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ความหนืดของสารละลายอัลจิเนตที่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้น น้ำหนักโมเลกุล และการมีโลหะประจุบวก อัลจิเนตบางชนิดเท่านั้นที่มีคุณสมบัติเป็นเจลและจะเกิดเจลได้เมื่อทำปฏิกิริยากับ Ca^{2+} โดยโครงสร้างของเจลมีลักษณะคล้ายกล่องไข่ (egg box) โดยมี Ca^{2+} เกาะอยู่กับสายพอลิเมอร์ [9] แสดงดังรูปที่ 2.4

เนื่องจากอัลจิเนตมีความบริสุทธิ์สูง เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายจึงมีการนำอัลจิเนตมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหาร โดยนำอัลจิเนตมาเติมในอาหารกระป๋องบางชนิดเพื่อใช้เป็นสารเพิ่มหนืด สารเพิ่มความคงตัว สารทำให้เกิดเจล เช่น โซเดียมอัลจิเนต ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวให้กับไอศกรีม [10]



รูปที่ 2.4 กลไกการเกิดเจลของแคลเซียมอัลจิเนต (Egg-box model) [11]

2.1.2.2 การประยุกต์ใช้อัลจิเนตในทางการแพทย์

อัลจิเนตถูกใช้เป็นส่วนประกอบในยารักษาภาวะหรือโรคกรดไหลย้อนร่วมกับยาลดกรดอื่น ๆ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น โดยกลไกการออกฤทธิ์หลังจากรับประทานยาที่มีส่วนผสมของอัลจิเนต พบว่าจะมีการเปลี่ยนโครงสร้างเป็นเจลและปกคลุมบริเวณกระเพาะอาหาร ส่วนยาลดกรดที่ผสมร่วมกันจะทำหน้าที่ลดความเป็นกรดในน้ำย่อย [12]

นอกจากนี้วัสดุปิดแผลบางชนิดมีการนำอัลจิเนตมาใช้เป็นองค์ประกอบ โดยแผ่นเจลที่ได้จะมีหลายรูปแบบ เช่น ไฮโดรเจล ฟิล์ม โฟม เส้นใยนาโน เมมเบรนและฟองน้ำ เป็นต้น ซึ่งวัสดุปิดแผลที่มีอัลจิเนตเป็นส่วนประกอบจะช่วยดูดซับสารคัดหลั่งที่มาจากบาดแผล ทำให้สามารถลดการติดเชื้อแบคทีเรียที่บริเวณบาดแผลได้ [13] และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

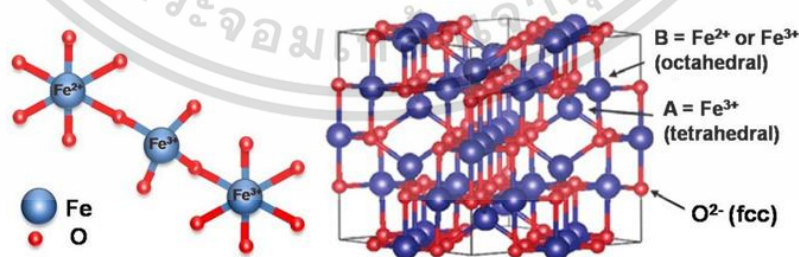
2.1.3 เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน (Iron(II,III) oxide nanoparticles; Fe₃O₄NPs)

2.1.3.1 สมบัติของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน

เหล็ก(II,III) ออกไซด์หรือแมกนีไทต์ (iron(II,III) oxide) เป็นแร่ชนิดหนึ่ง มีสูตรทางเคมี คือ Fe₃O₄ พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ มีลักษณะเป็นก้อนสีดำ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 มีโครงสร้างผลึกได้ 2 แบบ คือ แบบสปินเนล (spinel) และสปินเนลผกผัน (inverse spinel) โดยโครงสร้างผลึกแบบสปินเนล มีสูตรโมเลกุลเป็น AB₂O₄ ประกอบด้วย A 1 อะตอม ซึ่งเป็นอะตอมของโลหะมีการจัดเรียงตัวแบบทรงสี่หน้า (tetrahedral) และ B 2 อะตอม ซึ่งเป็นอะตอมของโลหะมีการจัดเรียงตัวแบบทรงแปดหน้า (octahedral) ในขณะที่โครงสร้างผลึกแบบสปินเนลผกผัน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 มีการจัดเรียงตัวที่ต่างกันเล็กน้อย คือ อะตอม A และ B อย่างละ 1 อะตอม จัดเรียงตัวแบบทรงแปดหน้า และ B 1 อะตอม จัดเรียงตัวแบบทรงสี่หน้า เมื่อแมกนีไทต์ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของ Fe²⁺ 1 อะตอม และ Fe³⁺ 2 อะตอม จะมี Fe²⁺ เป็นอะตอม A จัดเรียงตัวแบบทรงแปดหน้าเพียงอย่างเดียวในขณะที่ Fe³⁺ เป็นอะตอม B มีการจัดเรียงตัวแบบทรงแปดหน้า 1 อะตอม และอีก 1 อะตอมมีการจัดเรียงแบบทรงสี่หน้า การจัดเรียงตัวแบบนี้ของอะตอมจะทำให้อะตอมมีการเคลื่อนย้ายได้จึงเกิดสมบัติความเป็นแม่เหล็กของแมกนีไทต์ [14]



รูปที่ 2.5 ลักษณะทางกายภาพของแมกนีไทต์ [15]



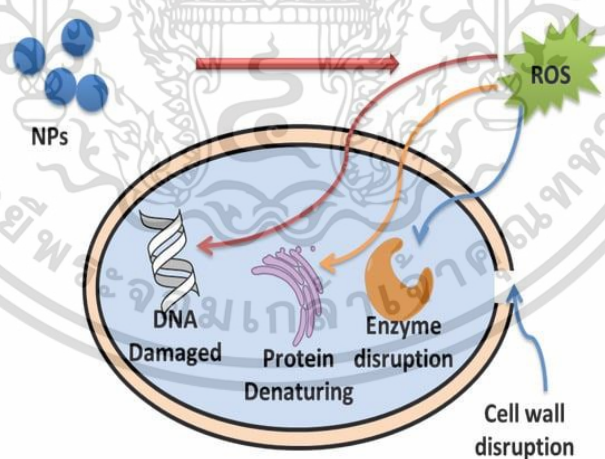
รูปที่ 2.6 โครงสร้างผลึกแบบสปินเนลผกผัน (inverse spinel) ของแมกนีไทต์ [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.2 การประยุกต์ใช้เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนในทางการแพทย์

ในทางการแพทย์มีการนำเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนมาใช้ในการรักษาผู้ป่วยโรคมะเร็งด้วยวิธีนำยาสู่เป้าหมายโดยใช้แม่เหล็ก (magnetic drug targeting) เป็นการใช้เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนนำส่งยาไปยังอวัยวะเป้าหมายในร่างกาย และลดขนาดยาที่จะถูกนำส่งเข้าสู่ร่างกาย โดยที่ปริมาณของยายังอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการรักษาอวัยวะเป้าหมายซึ่งจะช่วยลดผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นกับผู้ป่วย โดยเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนจะถูกเคลือบด้วยสารที่สามารถเข้ากับสิ่งมีชีวิตได้ [17]

นอกจากนี้ยังมีการนำเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนมาใช้ในการต้านเชื้อแบคทีเรียเนื่องจากอนุภาคของเหล็ก(II,III) ออกไซด์มีขนาดอยู่ในระดับนาโนซึ่งจะมีพื้นที่ผิวสูงจึงทำให้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายเชื้อแบคทีเรียสูงโดยจะมีการสร้างสารอนุมูลอิสระ เช่น อนุมูลอิสระออกซิเจนที่ว่องไว (reactive oxygen species; ROS) ทำให้เกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) สร้างความเสียหายแก่สารพันธุกรรมของเชื้อแบคทีเรียจึงทำให้ไม่สามารถแบ่งตัวได้ อีกทั้งยังไปทำลายโปรตีนและเอนไซม์ทำให้เกิดการเสียสภาพโดยไอออนของเหล็กจะไปจับกับกลุ่มเมอร์แคปโต (-SH), อะมิโน (-NH) และคาร์บอกซิล (-COOH) ของโปรตีนและเอนไซม์ การจับกันทำให้ผนังเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียเกิดช่องว่างส่งผลให้ของเหลวภายในมีการรั่วไหลออกมา เป็นสาเหตุให้เซลล์ตายในที่สุด [18] กลไกการต้านเชื้อแบคทีเรียของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กลไกการต้านเชื้อแบคทีเรียของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของพื้นผิววัสดุปิดแผล

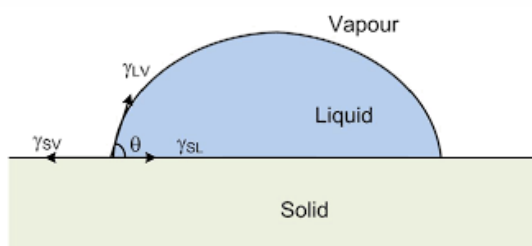
สารที่มีสมบัติละลายน้ำได้ดี เรียกว่า ไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) ซึ่งหมายถึงสารที่ชอบน้ำ และสารที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำ เรียกว่า ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) ซึ่งหมายถึงสารที่ไม่ชอบน้ำ โดยสารที่ไม่ชอบน้ำจะไม่สามารถแตกตัวให้อิออนได้หรือเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้วจึงไม่สามารถยึดติดกับโมเลกุลของน้ำได้ [19]

วัสดุที่มีคุณสมบัติเด่นด้านความไม่ชอบน้ำ จะสามารถต้านทานต่อการยึดเกาะของน้ำได้ เนื่องจากมีแรงตึงผิวที่ต่ำกว่าน้ำ (low surface tension) จึงทำให้น้ำสามารถรักษาสภาพทรงกลมในลักษณะของหยดน้ำไว้ได้ และจะไม่กระจายตัวอยู่บนพื้นผิวของวัสดุ สำหรับวัสดุที่มีคุณสมบัติเด่นด้านความชอบน้ำ จะมีค่าแรงตึงผิวที่สูงกว่าน้ำ (high surface tension) จึงทำให้น้ำสามารถกระจายตัวอยู่บนพื้นผิวของวัสดุ และทำให้อุณหภูมิอยู่ในสภาพเปียก

ภาวะการเปียก คือ ความสามารถของของเหลวในการสัมผัสกับพื้นผิวของแข็ง ซึ่งเกิดจากแรงระหว่างโมเลกุล (intermolecular force) สองชนิด คือ

- 1) แรงยึดติด (adhesive force) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลต่างชนิดกัน คือ ของเหลวและของแข็ง ซึ่งจะทำให้ของเหลวกระจายตัวไปทั่วพื้นผิว
- 2) แรงเชื่อมแน่น (cohesive force) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลชนิดเดียวกัน คือ ภายในของเหลวนั้น ซึ่งจะทำให้ของเหลวเกาะกันเป็นทรงกลม และไม่สัมผัสกับพื้นผิวของแข็ง [20]

การที่ของเหลวอยู่บนพื้นผิวใด ๆ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการของยัง (Young's equation) ซึ่งจะเห็นว่าผิวของของเหลวกับผิวของแข็งจะทำมุมกัน โดยมุมนั้นจะมีค่าที่แตกต่างกัน มุมระหว่างผิวของของเหลวกับผิวของแข็ง ณ จุดสัมผัส เรียกว่า มุมสัมผัส θ (contact angle) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0-180 องศา ของเหลวเมื่ออยู่บนพื้นผิวของแข็ง ของเหลวจะอยู่ในลักษณะที่เป็นหยด มุมสัมผัสที่มีค่าระหว่าง 0-90 องศา ของเหลวจะแผ่กระจายและเปียกพื้นผิวของแข็ง มุมสัมผัสที่มีค่าระหว่าง 90-180 องศา ของเหลวจะมีลักษณะเป็นหยดและไม่เปียกพื้นผิววัสดุ รูปที่ 2.8 แสดงมุมสัมผัสบนพื้นผิวของวัสดุ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ **รูปที่ 2.8** มุมสัมผัสบนพื้นผิวของวัสดุ [21] เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

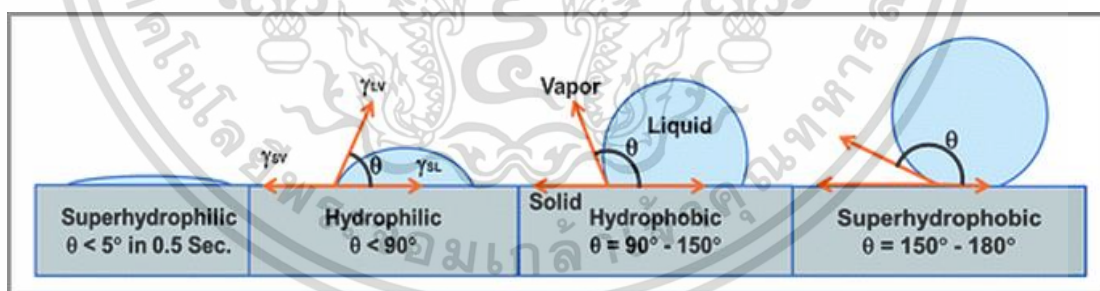
ในการศึกษาความชอบน้ำ จะศึกษาค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวของวัสดุ สามารถแบ่งได้เป็นลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

1) มุมสัมผัสเท่ากับ 0 องศา เป็นกรณีที่แรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นอย่างมาก เมื่อของเหลวถูกหยดลงบนผิวของแข็ง ของเหลวจะกระจายไปตามผิวของแข็งจนกลายเป็นชั้นของของเหลวบาง ๆ คลุมพื้นผิวของของแข็งเป็นบริเวณกว้างที่สุด แสดงถึงภาวะการเปียกอย่างสมบูรณ์ คือ มีความชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophilic)

2) มุมสัมผัสมีค่าระหว่าง 0 ถึง 90 องศา ของเหลวจะกระจายไปบนผิวได้เป็นบริเวณกว้าง แต่ยังคงเกาะกันเป็นหยดนูนขึ้นเล็กน้อยจากผิวของของแข็ง แสดงถึงภาวะที่เปียกเพียงบางส่วน คือ มีความชอบน้ำ (hydrophilic)

3) มุมสัมผัสมีค่าตั้งแต่ 90 แต่น้อยกว่า 150 องศา ของเหลวจะรวมกันเป็นหยดรูปทรงค่อนข้างกลม จะมีบริเวณเล็ก ๆ ที่ฐานของหยดของเหลวที่ยังสัมผัสกับผิวของของแข็ง แสดงถึงภาวะที่ไม่การเปียก คือ มีความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic)

4) มุมสัมผัสมีค่ามากกว่า 150 องศา เกิดขึ้นเมื่อแรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นอย่างมาก ดังนั้นของเหลวจะรวมกันเป็นหยดทรงกลม บริเวณที่ของเหลวสัมผัสกับผิวของแข็งจะอยู่ที่ฐานของทรงกลม ซึ่งเล็กมากจนแทบจะเป็นจุด แสดงถึงภาวะที่ไม่มีการเปียก คือ มีความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobic) [22,23] รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของเหลวที่หยดบนพื้นผิววัสดุ แสดงค่ามุมสัมผัสที่ต่างกัน



รูปที่ 2.9 ลักษณะของเหลวที่หยดบนพื้นผิววัสดุแสดงค่ามุมสัมผัสที่ต่างกัน [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สารที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำของวัสดุปิดแผล

2.3.1 กรดสเตียริก (Stearic acid; SA)

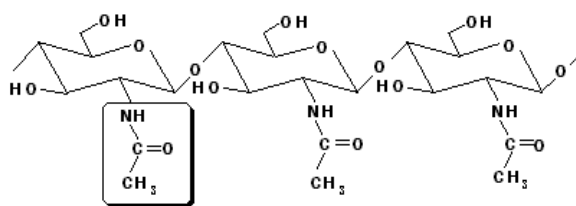
กรดสเตียริก หรือกรดออกตะเดเคนอิก (octadecanoic acid) เป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่มีสายคาร์บอน 18 อะตอม มีสูตรเคมี คือ $C_{18}H_{36}O_2$ โดยมีโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในรูปที่ 2.10 ลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในแอลกอฮอล์และอีเทอร์ได้ มีกลิ่นฉุน กรดสเตียริกเป็นหนึ่งในกรดไขมันที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติรองจากกรดปาล์มมิก โดยพบได้ในสัตว์มากกว่าในพืช เกลือและเอสเทอร์ของกรดสเตียริก เรียกว่า สเตียเรต (stearate) กรดสเตียริกสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น สารลดแรงตึงผิว สารหล่อลื่น สารให้ความคงตัว สารกันติด เป็นต้น [25]



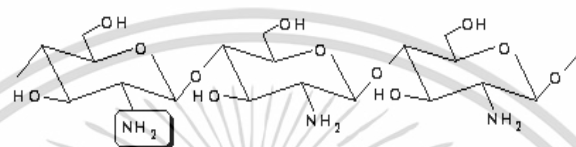
รูปที่ 2.10 โครงสร้างเคมีของกรดสเตียริก [25]

2.3.2 ไคโตซาน (Chitosan; CS)

ไคโตซานเป็นไบโอพอลิเมอร์ที่พบมากในสัตว์ทะเลที่มีเปลือกแข็งภายนอก เช่น กุ้ง ปู กุ้ง และแมลงที่มีปีก เช่น ตั๊กแตน ตัวมด รวมทั้งผนังเซลล์ของพืชบางชนิด และยังพบได้ในจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เช่น เห็ด รา และยีสต์ โดยไคโตซานจัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส สารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมไคโตซาน คือ ไคติน โดยที่ไคโตซานเป็นสารพอลิเมอร์ และเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิetyl (deacetylation) ออกจากสารไคติน ผลจากการเกิดปฏิกิริยาอะซิetylเลชันจะทำให้หมู่อะซิetylที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 2 ในวงแหวนไพราโนส (pyranose ring) ของไคตินเป็นหมู่เอมิโน รูปที่ 2.11 แสดงการเตรียมไคโตซานจากปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิetylของไคติน



โครงสร้างทางเคมีของไคติน



โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน

รูปที่ 2.11 การเตรียมไคโตซานจากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิetyl (deacetylation) ของไคติน [26]

ไคโตซานมีลักษณะเป็นพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูง และมีความหนาแน่นของประจุสูงทำให้มีคุณสมบัติหลากหลาย สามารถละลายได้ดีในกรดอินทรีย์ที่อ่อน เช่น กรดอะซิติก กรดแลกติก และ กรดซิตริก เป็นต้น ไคโตซานเป็นสารที่มีความเข้ากันทางชีวภาพ (biocompatibility) อีกทั้งยังย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (biodegradable) ดังนั้นจึงไม่เป็นอันตราย และไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม

2.3.2.1 การประยุกต์ใช้ไคโตซาน

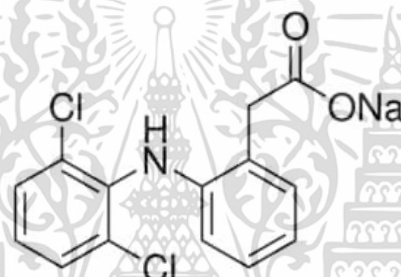
ไคโตซานมีหมู่เอมีโน ($-NH_2$) และหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อเปลี่ยนเป็นอนุพันธ์ (derivatives) ได้อย่างมากมาย การนำไคโตซานมาประยุกต์ใช้ในด้าน การแพทย์และเภสัชกรรม เช่น ใช้เป็นสารเติมเต็มในกระดูกและฟัน ไคโตซานมีประโยชน์สำคัญอย่างมากในการรักษาบาดแผล ช่วยกระตุ้นการสร้างเซลล์ใหม่ และป้องกันการติดเชื้อจึงช่วยทำให้บาดแผลหายเร็วขึ้น เส้นไหมไคโตซานสามารถนำมาถักทอเป็นแผ่น เพื่อตกแต่งบาดแผลโดยทำให้เกิดการสมานแผลและลดความเจ็บปวด นอกจากนี้ไคโตซานยังทำให้เลือดเกิดการแข็งตัว ป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของเลือด (blood anticoagulant) โดยทำหน้าที่เป็นสารห้ามเลือด (hemostatic) และสามารถผสมในซีรั่มเพื่อช่วยในการรักษาบาดแผลได้ [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การบรรจุและปลดปล่อยยา

2.4.1 ไดโคลฟีแนค โซเดียม (Diclofenac sodium; $C_{14}H_{10}Cl_2NNaO_2$)

ไดโคลฟีแนค เป็นยาในกลุ่มต้านการอักเสบที่ไม่ใช่สเตียรอยด์ (non-steroidal anti-inflammatory drugs; NSAID) ช่วยในการบรรเทาอาการปวดบวมจากการอักเสบ ปวดตามข้อ ไขข้อกระดูก โดยจะทำหน้าที่ในการยับยั้งการสร้างสารโพรสตาแกลนดิน (prostaglandins) ในร่างกายที่เป็นสารก่อให้เกิดอาการบวมและอักเสบ ซึ่งไดโคลฟีแนคจะถูกสร้างให้อยู่ในรูปของเกลือโซเดียมหรือเกลือโพแทสเซียม เพื่อช่วยให้ตัวยากเกิดการละลายได้ดี [27] โดยไดโคลฟีแนค โซเดียม เป็นอนุพันธ์ของกรดฟีนิลอะซิติก (phenylacetic) จะมีลักษณะเป็นผงผลึกสีขาวถึงขาวนวล ไม่มีกลิ่น อุ่นน้ำได้เล็กน้อย [28] โดยมีโครงสร้างแสดงดังรูป 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของไดโคลฟีแนค โซเดียม [29]

2.5 การเตรียมองค์ประกอบของวัสดุปิดแผล

2.5.1 การเตรียมแบคทีเรียเชลลูโลส

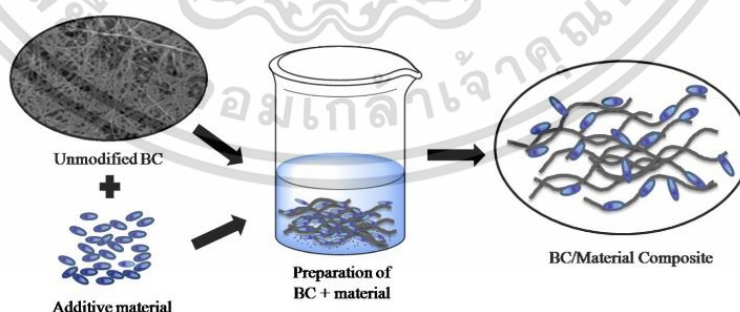
ในการเตรียมแบคทีเรียเชลลูโลสจะใช้วัฒนธรรมที่หมักที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด แสดงดังรูปที่ 2.13 ซึ่งวัฒนธรรมที่หมักเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักของแบคทีเรีย *Acetobacter xylinum* โดยใช้ น้ำมะพร้าวและน้ำตาลทรายเป็นแหล่งอาหาร และมีการปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงกรด (pH 4) [30] และเนื่องจากในวัฒนธรรมที่หมักยังมีน้ำตาลและน้ำในปริมาณมากเป็นส่วนประกอบ จึงจำเป็นต้องกำจัดน้ำตาลและน้ำส่วนเกินออกจากวัฒนธรรมที่หมักก่อนนำมาทำเป็นวัสดุปิดแผล



รูปที่ 2.13 วุ้นมะพร้าว [31]

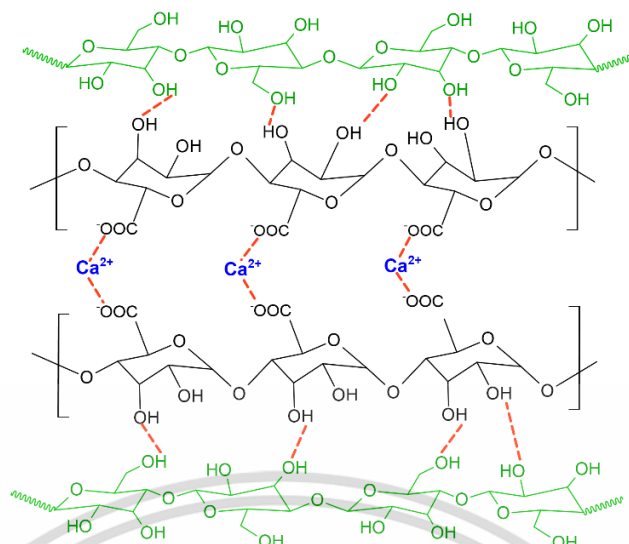
2.5.2 การเตรียมวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน

สำหรับวิธีในการเตรียมวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน ในโครงการพิเศษนี้เป็นการเตรียมด้วยวิธีแบบภายนอก (ex-situ) แสดงดังรูปที่ 2.14 โดยมีอัตราส่วนระหว่างแบคทีเรียเซลลูโลสและสารละลายอัลจิเนต คือ 70:30 โดยน้ำหนัก ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลของแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจิเนตจะเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างกัน และเมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ (Ca^{2+}) ซึ่งใช้เป็นสารเชื่อมขวางระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของอัลจิเนต จะเกิดเป็นโครงข่ายเจล แสดงดังรูปที่ 2.15 ซึ่งมีคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น มีความแข็งแรงเชิงกลสูงขึ้น มีความยืดหยุ่น และมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ เป็นต้น จากนั้นทำการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน ร้อยละ 1, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจิเนตแห้ง เพื่อให้วัสดุเกิดคุณสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรีย



รูปที่ 2.14 วิธีการเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลสแบบภายนอก (ex-situ) [32]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ปฏิกริยาระหว่างแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจิเนต [33]

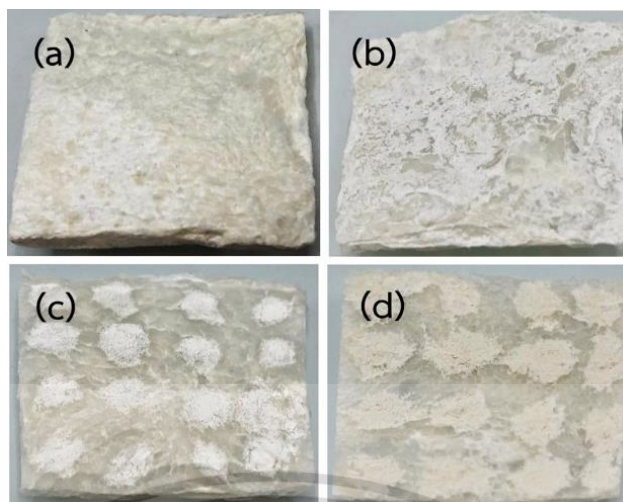
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การพัฒนาวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจิเนตเพื่อให้มีสมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำและการต้านเชื้อแบคทีเรีย (Development of wound dressing from bacterial cellulose and alginate composite with hydrophilic/hydrophobic and antibacterial properties)

งานวิจัยของปณิดา อ่อนกล้า และคณะ [34] ได้ทำการพัฒนาวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจิเนต (BC/ALG) เพื่อให้มีสมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำและการต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยเตรียมวัสดุปิดแผลจากแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้จากวัฒนธรรมที่นำมากำจัดน้ำตาลและน้ำส่วนเกินออก จากนั้นนำมาผสมกับสารละลายอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในอัตราส่วน 70:30 แล้วนำไปทำให้แห้งโดยการแช่เยือกแข็งและเพื่อให้วัสดุปิดแผลมีสมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำและการต้านเชื้อแบคทีเรีย ทำโดยหดยาสารเคลือบในสถานะต่าง ๆ ที่ประกอบไปด้วยซิงค์ออกไซด์ (ZnO) กรดสเตียริก (SA) โคโตนาน (CS) และอนุภาคนาโนเงิน (AgNPs)

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุปิดแผล แสดงดังรูปที่ 2.16 พบว่าวัสดุปิดแผล BC/ALG ที่ได้มีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส เป็นแผ่นสีขาว พื้นผิวมีความขรุขระ มีรูปแบบการหดยาสารเคลือบในสถานะต่าง ๆ เป็นแบบสลับกันระหว่างส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำทั้ง 2 ด้าน เมื่อทำการหดยาสารเคลือบ ZnO/SA ลงบนวัสดุปิดแผล พบว่าสารเคลือบมีการกระจายตัวเกือบทั่วทั้งผิวหน้า

ของวัสดุปิดแผล ส่วนสารเคลือบ ZnO/SA/CS และ ZnO/SA/CS/AgNPs พบว่ามีความหนืดสูงและไม่มีการกระจายตัวได้น้อยเนื่องจากโคโตนานมีมวลโมเลกุลสูงจึงเห็นเป็นหยดของสารเคลือบที่มีการนำไปใช้

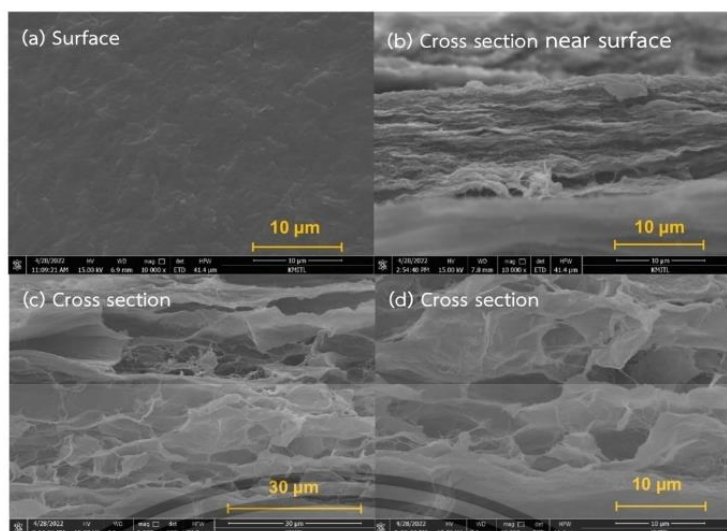


รูปที่ 2.16 ภาพถ่ายของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG และวัสดุปิดแผลที่หยุดสารเคลือบ (b) ZnO/SA (c) ZnO/SA/CS และ (d) ZnO/SA/CS/AgNPs [34]

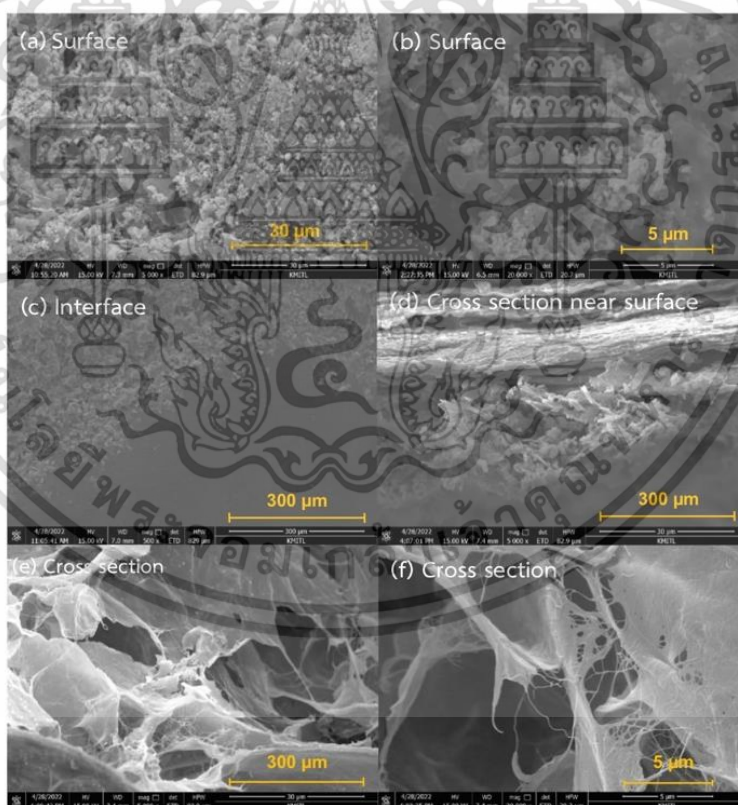
จากการศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุปิดแผลแบบที่เรียเซลล์ูโลสและอัลจินेटที่มีการหยุดสารเคลือบ ZnO/SA, ZnO/SA/CS และ ZnO/SA/CS/AgNPs ด้วยการโค้งงอและการบิด พบว่ามีสมบัติทางกลที่ดี ทนต่อการโค้งงอได้ แต่ไม่ทนต่อการบิด เนื่องจากไอออนของแคลเซียม (Ca^{2+}) ทำให้เกิดการเชื่อมขวางกันของแบคทีเรียเซลล์ูโลสกับอัลจินेटทำให้วัสดุปิดแผลมีความยืดหยุ่นและแข็งแรงขึ้นเหมาะที่จะนำมาใช้งาน

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของวัสดุปิดแผล BC/ALG พบว่าที่พื้นผิวมีลักษณะเป็นเส้นใยและบริเวณที่ถัดจากพื้นผิว พบว่ามีความเป็นรูพรุน แสดงดังรูปที่ 2.17 จากภาพถ่าย SEM วัสดุปิดแผลที่เคลือบด้วย ZnO/SA/CS/AgNPs พบว่าสารเคลือบที่หยุดลงไปเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน เห็นรอยต่อระหว่างบริเวณที่หยุดสารเคลือบและบริเวณที่ไม่ได้หยุดสารเคลือบชัดเจนแต่ไม่พบอนุภาคเงินนาโนเนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กและใส่น้อย แสดงดังรูป 2.18 และจากภาพถ่าย SEM ของวัสดุปิดแผลที่ทำการเคลือบสารเคลือบ พบว่าสารเคลือบไม่ได้แทรกซึมเข้าไปในรูพรุนของวัสดุปิดแผลแต่จะอยู่ที่บริเวณพื้นผิวหน้าเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



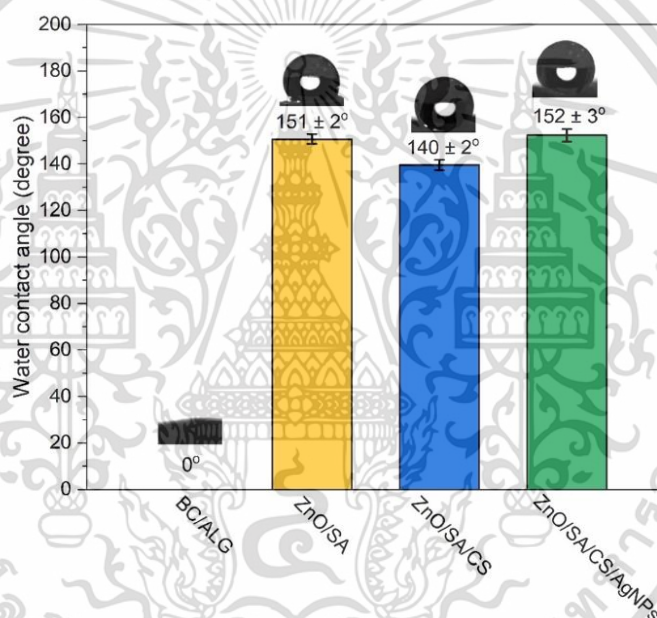
รูปที่ 2.17 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุปิดแผล BC/ALG (a) บริเวณพื้นผิว (b) ภาพตัดขวางบริเวณพื้นผิว (c) และ (d) ภาพตัดขวาง [34]



รูปที่ 2.18 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุปิดแผลที่หัดสารเคลือบ ZnO/SA/CS/AgNPs (a) และ (b) บริเวณพื้นผิว (c) รอยต่อบริเวณพื้นผิวที่หัดและไม่หัดสารเคลือบ (d) ภาพตัดขวางบริเวณใกล้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าพื้นผิว (e) และ (f) ภาพตัดขวาง [34]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำของวัสดุปิดแผล BC/ALG โดยวัดค่ามุมสัมผัสน้ำ แสดงดังรูปที่ 2.19 พบว่าค่ามุมสัมผัสน้ำของวัสดุปิดแผล BC/ALG อยู่ที่ 0 องศา แสดงถึงสมบัติความชอบน้ำอย่างยิ่งยวด วัสดุปิดแผลที่เคลือบด้วย ZnO/SA มีค่ามุมสัมผัสน้ำเพิ่มขึ้น คือ 151 ± 2 องศา เนื่องจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลบนผิวของซิงค์ออกไซด์กับหมู่คาร์บอกซิลของกรดเตียริกที่มีสายโซ่ของหมู่ไฮโดรคาร์บอนที่ยาวทำให้พื้นผิวมีสมบัติไม่ชอบน้ำ ส่วนวัสดุปิดแผลที่เคลือบด้วย ZnO/SA/CS มีค่ามุมสัมผัสน้ำลดลง คือ 140 ± 2 องศา การที่มีไคโตซานในสารเคลือบจะทำให้ค่ามุมสัมผัสน้ำลดลงเนื่องจากไคโตซานมีหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งมีสมบัติชอบน้ำและวัสดุปิดแผลที่เคลือบด้วย ZnO/SA/CS/AgNPs มีค่ามุมสัมผัสน้ำเพิ่มขึ้น คือ 152 ± 3 องศาซึ่งการเพิ่มอนุภาคนาโนเข้าไปทำให้พลังงานพื้นผิวดำรงผลให้ความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น



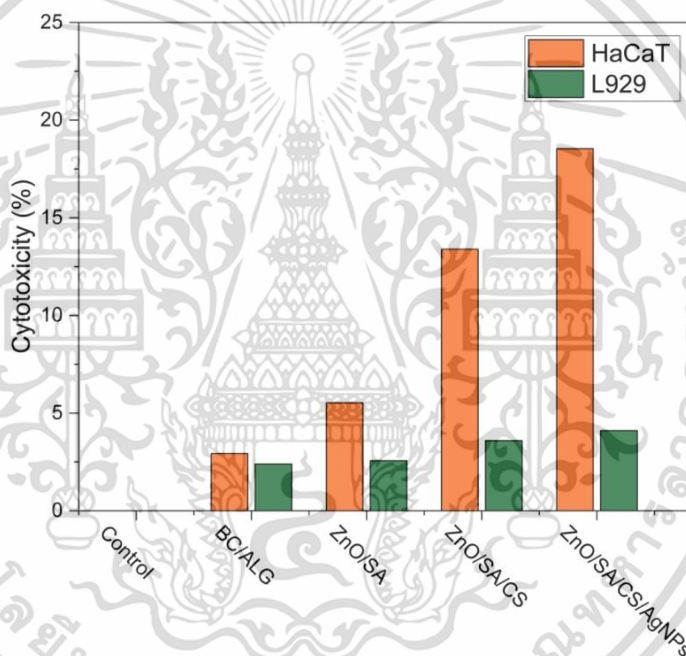
รูปที่ 2.19 ค่ามุมสัมผัสน้ำของวัสดุปิดแผลที่เคลือบด้วยสารเคลือบในสภาวะต่าง ๆ [34]

จากการศึกษาการแพร่ผ่านของไอน้ำ พบว่าวัสดุปิดแผล BC/ALG มีอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำมากที่สุดแต่เมื่อทำการหดยาสารเคลือบลงไปทำให้วัสดุปิดแผลมีอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำลดลงเล็กน้อย อาจเป็นเพราะการหดยาสารเคลือบที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำไปปกปิดรูพรุนของวัสดุปิดแผล

จากการศึกษาการต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureas* และ *E.coli* ด้วยวิธี Agar diffusion พบว่าวัสดุปิดแผล BC/ALG ไม่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดได้ ส่วนวัสดุปิดแผลที่ทำการหดยาสารเคลือบ ZnO/SA/CS พบว่าสามารถต้านเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* และ *S. aureas* ได้ดีกว่าวัสดุปิดแผลที่ทำการหดยาสารนี้ เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หดยดสารเคลือบ ZnO/SA และวัสดุปิดแผลที่ทำการหดยดสารเคลือบ ZnO/SA/CS/AgNPs สามารถต้านเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* และ *S. aureas* ได้ดีที่สุด

จากการศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์สัตว์ 2 ชนิด คือ เซลล์ผิวหนังเพาะเลี้ยง (HaCaT) และเซลล์เนื้อเยื่อไตผิวหนังของหนู (L929) ด้วยวิธี MTT assay แสดงดังรูปที่ 2.20 พบว่าวัสดุปิดแผล BC/ALG และวัสดุปิดแผล BC/ALG ที่ทำการหดยดสารเคลือบ ZnO/SA, ZnO/SA/CS และ ZnO/SA/CS/AgNPs มีค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ HaCaT ร้อยละ 2.93, 5.53, 13.39 และ 18.54 ตามลำดับ และค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ L929 ร้อยละ 2.39, 2.56, 3.59 และ 4.10 ซึ่งค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ต่อเซลล์ HaCaT ที่น้อยกว่าร้อยละ 20 และค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ L929 ที่น้อยกว่าร้อยละ 30 จะถือได้ว่าเป็นวัสดุปิดแผลที่ไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์และสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุปิดแผลได้

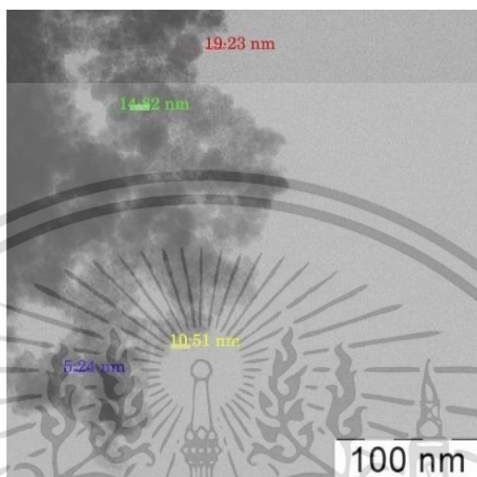


รูปที่ 2.20 ร้อยละความเป็นพิษต่อเซลล์ [34]

2.6.2 ผลของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนต่อเชื้อเอสเชอริเชีย โคไล ที่ดื้อต่อยาปฏิชีวนะ (Effects of iron oxide (Fe_3O_4) nanoparticles on *Escherichia coli* antibiotic-resistant strains)

งานวิจัยของ Lilit Gabrielyan และคณะ [35] ได้ทำการศึกษาผลของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมต่อเชื้อเอสเชอริเชีย โคไล (*E. coli dhpa-pUC18*) ที่ดื้อต่อยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลิน (ampicillin) และเชื้อเอสเชอริเชีย โคไล (*E. coli pARG-25*) ที่ดื้อต่อยาปฏิชีวนะกานามัยซิน (kanamycin) โดยกำหนดให้ยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลิน และกานามัยซิน

มัยซินเป็นตัวแปรควบคุมเชิงบวก และเชื้อแบคทีเรียที่มีการเลี้ยงแบบคราวเดียว (batch culture) ทำโดยการเลี้ยงเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีเปปโตนเป็นตัวแปรเชิงลบ จากการศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้เครื่อง TEM ของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนแสดงดังรูปที่ 2.21 พบว่าเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นทรงกลมโดยมีขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ 10 นาโนเมตร

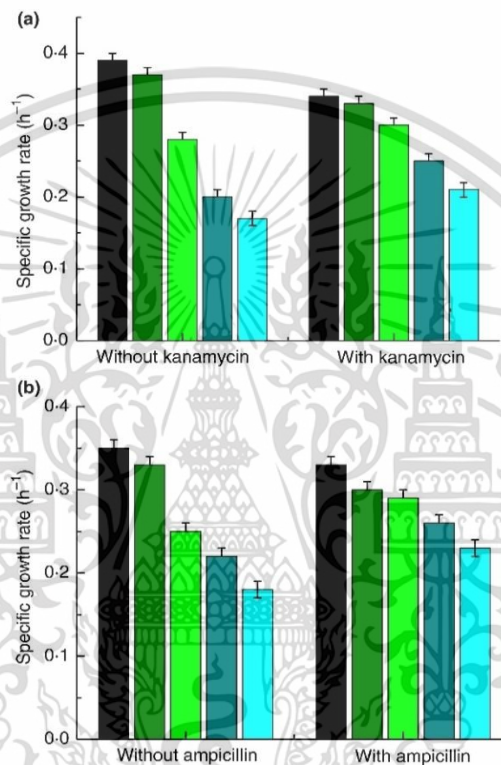


รูปที่ 2.21 ภาพถ่าย TEM ของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม [35]

จากการศึกษาผลของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่ดื้อต่อยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลิน และกานามัยซิน ที่ใช้ในการกำจัดหรือป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย พบว่าเมื่อทำการเพิ่มเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนลงไปเรื่อย ๆ ที่ความเข้มข้น 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร อัตราการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียมีค่าลดลง นอกจากนี้ในแบคทีเรียที่มีตัวแปรควบคุมเชิงบวก คือ มียาปฏิชีวนะกานามัยซินและแอมพิซิลลิน เมื่อทำการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนลงไป พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่ดื้อต่อยาปฏิชีวนะกานามัยซินและแอมพิซิลลินมีค่าลดลงน้อยกว่าตัวแปรควบคุมเชิงลบที่ไม่ได้มียาปฏิชีวนะกานามัยซินและแอมพิซิลลินแสดงดังรูปที่ 2.22(a) และ 2.22(b) ตามลำดับ เมื่อทำการเพิ่มเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนแสดงดังรูปที่ 2.23 พบว่าระยะพัก (lag phase) ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เชื้อแบคทีเรียยังไม่มี的增加จำนวน ไม่มีการแบ่งเซลล์ แต่เซลล์จะเตรียมพร้อมสำหรับการเจริญเติบโตโดยมีการสังเคราะห์โปรโทพลาสซึม (protoplasm) ใหม่ รวมทั้งเอนไซม์ ดีเอ็นเอ และอาร์เอ็นเอ เพื่อใช้ในกระบวนการทางชีวเคมี มีการสร้างโปรตีน และส่วนประกอบอื่น ๆ ที่สำคัญของเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างมาก และใน

เอกสารนี้เป็นการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าจำนวนไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคโลนีที่มีชีวิตของเชื้อ *Escherichia coli* ที่ต้องยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลินที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่มียาปฏิชีวนะแอมพิซิลลินจะลดลง 5.0–7.0 เท่าตามลำดับ แสดงผลดังรูปที่ 2.24 จากผลการทดลอง พบว่าเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน มีความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียที่ติดต่อยาปฏิชีวนะได้เนื่องจากอนุภาคนาโนมีขนาดเล็กจึงสามารถแทรกซึมเข้าไปในเซลล์ของแบคทีเรีย และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้



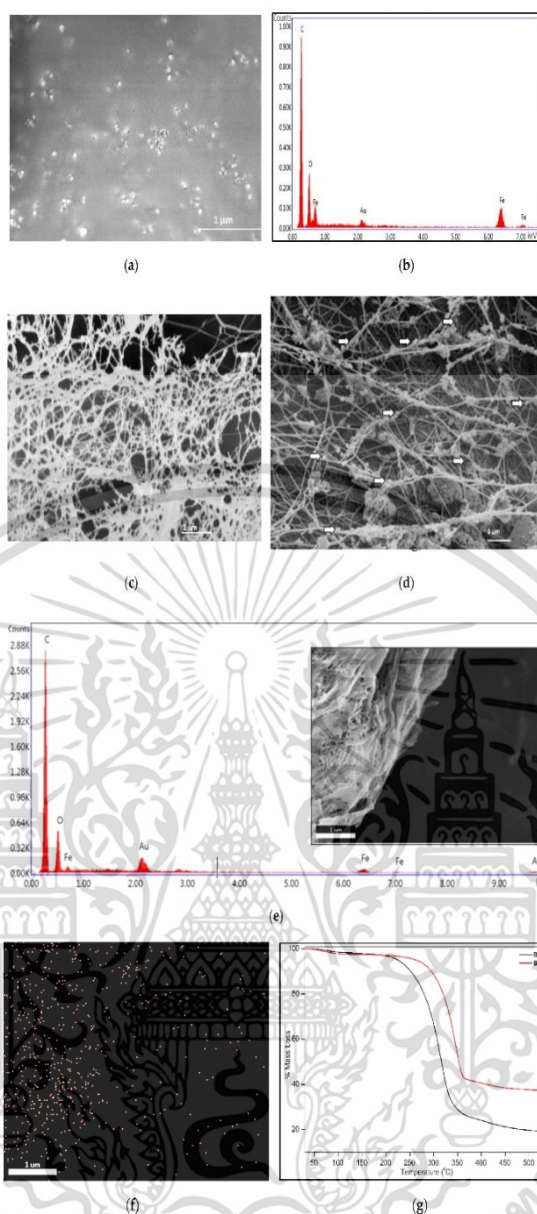
รูปที่ 2.22 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของเชื้อเอสเชอริเชีย โคไล ที่ติดต่อกับ (a) ยาปฏิชีวนะกานามัยซิน (b) ยาปฏิชีวนะแอมพิซิลลิน ที่มีการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน (50-250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ของแถบตัวควบคุมที่ไม่มีการเติม (■); เติม 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (■); เติม 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (■); เติม 150 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (■); และเติม 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (■) [35]

2.6.3 ผลของแบคทีเรียเซลลูโลสที่มีเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนต่อคุณสมบัติโดยรวมของไฮโดรเจลอัลจิเนต/เคซีน เพื่อการรักษาบาดแผล (Effect of Iron-oxide nanoparticles impregnated bacterial cellulose on overall properties of alginate/casein hydrogels: potential injectable biomaterial for wound healing applications)

งานวิจัยของ Rahul Patwa และคณะ [36] ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงไฮโดรเจลที่ประกอบไปด้วยอัลจิเนตและเคซีน ด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน (BFC) เพื่อปรับปรุงให้ไฮโดรเจลมีความแข็งแรงทางกลเพิ่มขึ้น และเพิ่มคุณสมบัติทางแม่เหล็กเพื่อใช้ในการนำส่งยา โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมนั้นนำเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้มาผสมกับแบคทีเรียเซลลูโลสแล้วจึงนำไปผสมกับไฮโดรเจลที่มีอัลจิเนตและเคซีนเป็นองค์ประกอบในอัตราส่วนต่าง ๆ

เมื่อนำไปวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (FE-SEM) ของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน แสดงดังรูปที่ 2.25(a) พบว่าเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นทรงกลม มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 47.2 ± 13.7 นาโนเมตร และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนด้วยเทคนิค EDS แสดงดังรูปที่ 2.25(b) พบองค์ประกอบของธาตุเหล็ก และออกซิเจนซึ่งเป็นธาตุองค์ประกอบของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน จากภาพถ่าย FE-SEM ของแบคทีเรียเซลลูโลสบริสุทธิ์ แสดงดังรูปที่ 2.25(c) พบว่ามีโครงข่าย 3 มิติของเส้นใยนาโน และจากภาพถ่าย FE-SEM ของแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน แสดงดังรูปที่ 2.25(d) พบว่าเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนมีการกระจายตัวอยู่บนเส้นใยนาโนของแบคทีเรียเซลลูโลส จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนด้วยเทคนิค EDS แสดงดังรูปที่ 2.25(e) พบองค์ประกอบของธาตุเหล็ก และออกซิเจนซึ่งเป็นธาตุองค์ประกอบของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน และจากแผนภาพการกระจายตัว แสดงดังรูปที่ 2.25(f) พบว่าเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนกระจายตัวบนแบคทีเรียเซลลูโลส

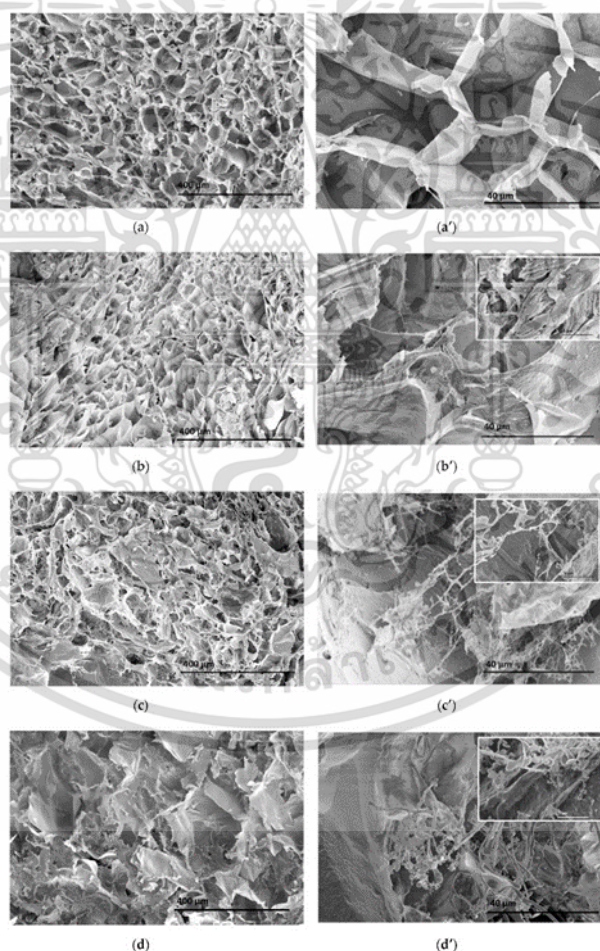
เมื่อทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของแบคทีเรียเซลลูโลส และแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (TGA) แสดงดังรูปที่ 2.25(g) พบว่าสามารถเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนลงบนแบคทีเรียเซลลูโลสได้ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และยังพบว่าแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนมีความเสถียรทางความร้อนมากกว่าแบคทีเรียเซลลูโลสบริสุทธิ์



รูปที่ 2.25 (a) ภาพถ่าย FE-SEM ของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้ (b) EDS สเปกตรัม (c) ภาพถ่าย FE-SEM ของแบคทีเรียเซลลูโลสบริสุทธิ์ (d) ภาพถ่าย FE-SEM ของแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน (e) EDS สเปกตรัม (f) แผนภาพการกระจายตัวของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนบนแบคทีเรียเซลลูโลสบริสุทธิ์ และ (g) กราฟ TGA ของแบคทีเรียเซลลูโลส และแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน [36]

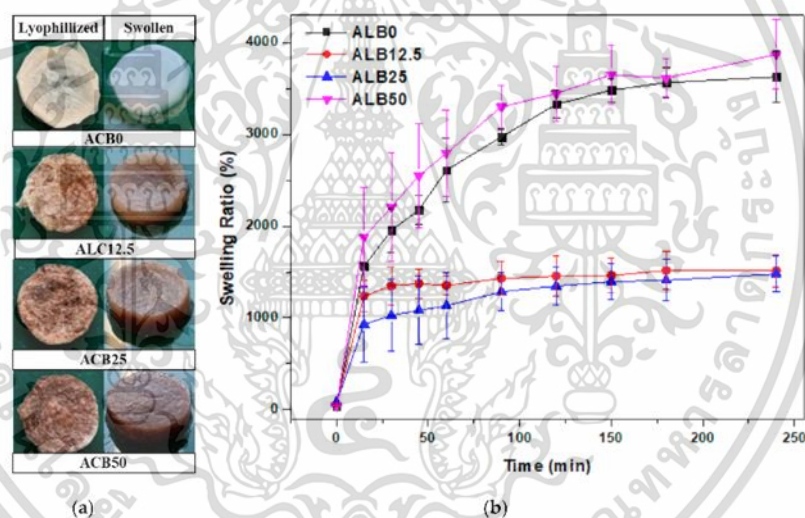
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (FE-SEM) ของไฮโดรเจลอัลจินตและเคซีน (ACB0) แสดงดังรูปที่ 2.36(a,a') พบว่ารูพรุนมีโครงสร้างแบบเปิด การเรียงตัวของรูพรุนคล้ายรังผึ้งมีความสม่ำเสมอ ภาพถ่าย FE-SEM ของไฮโดรเจลอัลจินต เคซีน และแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนัก (ACB12.5) แสดงดังรูปที่ 2.26(b,b') และร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก (ACB25) แสดงดังรูปที่ 2.26(c,c') พบว่ารูพรุนมีความหนาแน่นขึ้น แบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ใส่เข้าไปมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งไฮโดรเจล และภาพถ่าย FE-SEM ของไฮโดรเจลอัลจินต เคซีน และแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (ACB50) แสดงดังรูปที่ 2.26(d,d') พบว่ามีแนวโน้มว่าแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนจะเกิดการรวมตัวกัน ซึ่งทำให้รูพรุนมีความไม่สม่ำเสมอและรูพรุนมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น



รูปที่ 2.26 ภาพถ่าย FE-SEM ของ (a,a') ไฮโดรเจลอัลจินต และเคซีน (b,b') ไฮโดรเจลอัลจินต เคซีน และแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนัก (c,c') ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก และ (d,d') ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก [36] ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

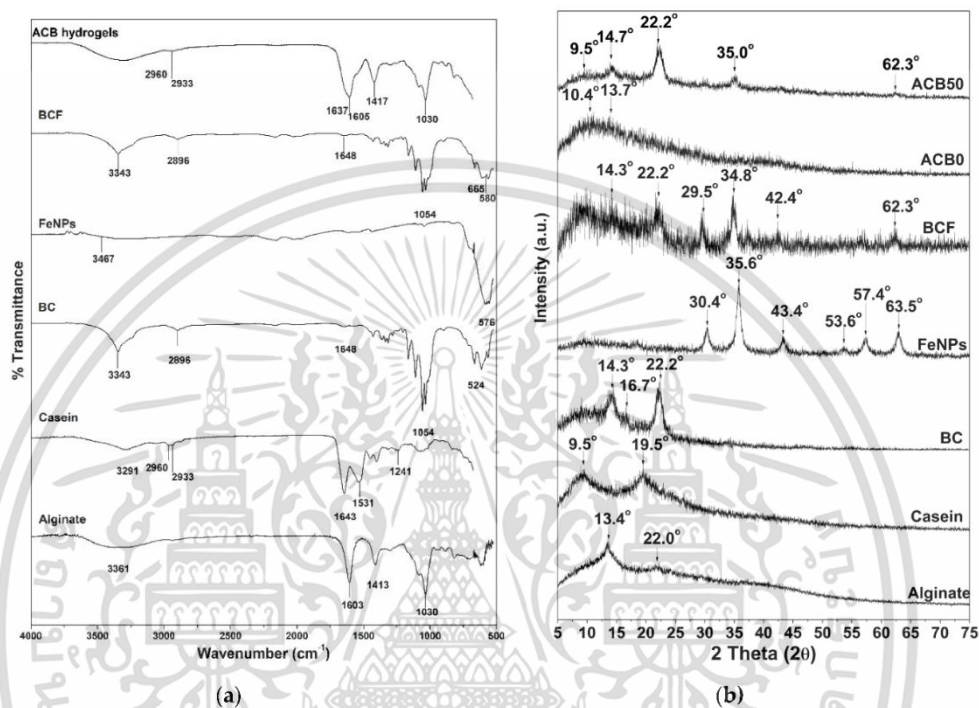
จากการศึกษาสมบัติการบวมตัวของไฮโดรเจลอัลจินต เคซีนและแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าเมื่อไฮโดรเจลบวมตัวจะมีความคงตัวมาก และสามารถรักษาโครงสร้างไว้ได้ แสดงดังรูปที่ 2.27(a) และสำหรับอัตราการบวมตัวของไฮโดรเจลอัลจินต เคซีนและแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่อัตราส่วนต่าง ๆ จะมีค่าคงที่ที่ 180 นาที โดยไฮโดรเจลอัลจินตและเคซีน (ACB0) แสดงดังรูปที่ 2.27(b) พบอัตราการบวมตัวสูงสุด $3567.6\% \pm 168.2\%$ ส่วนไฮโดรเจลอัลจินต เคซีน และแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนัก (ACB12.5) และร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก (ACB25) มีอัตราการบวมตัวที่ลดลงเท่ากับ $1517.3 \pm 203.6\%$ และ $1411.4 \pm 223.0\%$ ตามลำดับ ซึ่งอัตราการบวมตัวที่ลดลงอาจเป็นผลมาจากการที่รูพรุนของไฮโดรเจลมีความหนาแน่นมากขึ้นและเมื่อผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 50 พบว่าอัตราการบวมตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากรูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งทำให้โมเลกุลของน้ำซึมผ่านโครงสร้างได้มากขึ้น



รูปที่ 2.27 (a) ภาพเปรียบเทียบระหว่างไฮโดรเจลอัลจินต เคซีน และแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมอนุภาคนาโนเหล็ก(II,III) ออกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันก่อนและหลังการบวมตัว และ (b) อัตราการบวมตัว [36]

จากการศึกษาอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) ของไฮโดรเจลอัลจินต เคซีน และแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน ผลแสดงดังรูปที่ 2.28(a) พบว่าในไฮโดรเจลมีช่วงการดูดกลืนแสงของเอไมด์ซึ่งคล้ายกับเคซีนที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1633 และ 1417 cm^{-1} เกิดจากการสั่นแบบยืดหดของหมู่คาร์บอนิล ($\text{C}=\text{O}$) และมีการปรากฏตัวของแถบเอไมด์ใหม่ที่ตำแหน่งเลขคลื่น $1,605\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงการเชื่อมโยงของเอไมด์ระหว่างหมู่คาร์บอกซิลิกของอัลจินตและหมู่เอมีนของ

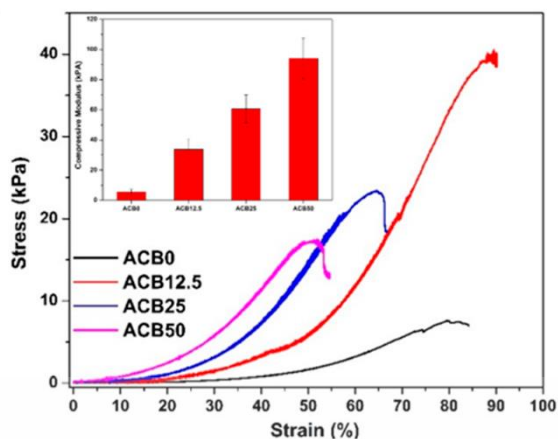
เคซีน จากการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (XRD) แสดงดังรูปที่ 2.28(b) พบว่าไฮโดรเจล-อัลจิเนต เคซีน และแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก มีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นโดยพบพิกที่ตำแหน่ง 2-Theta ที่ 9.5° , 14.7° , 22.2° , 35° และ 62.3° ซึ่งบ่งชี้การมีอยู่ของเคซีน อัลจิเนต แบคทีเรียเซลลูโลส และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนในไฮโดรเจล



รูปที่ 2.28 (a) FT-IR สเปกตรัม (b) รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน, แบคทีเรียเซลลูโลสที่ผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน, ไฮโดรเจลอัลจิเนตและเคซีน,เคซีน และอัลจิเนต [36]

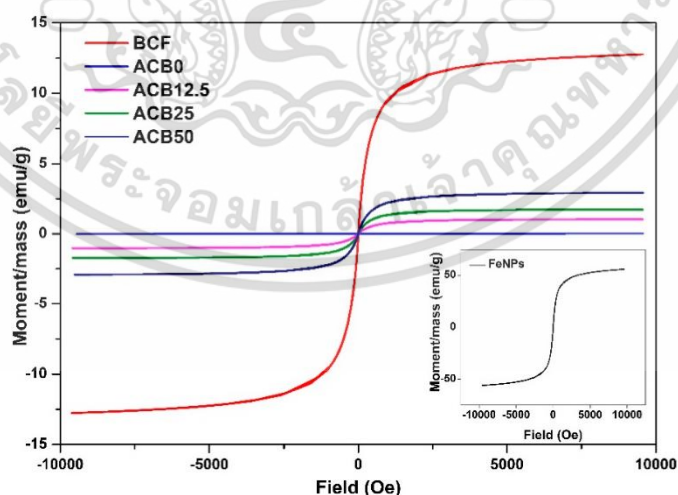
จากการทดสอบสมบัติทางกลของไฮโดรเจลอัลจิเนต เคซีน และแบคทีเรียเซลลูโลสผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน แสดงดังรูปที่ 2.29 พบว่าเมื่อมีการรวมตัวของแบคทีเรียเซลลูโลสที่มีการผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนมากขึ้นจะทำให้ไฮโดรเจลสามารถรับแรงบีบอัดได้มากขึ้น ค่าโมดูลัสของแรงบีบอัดของ ACB0, ACB12.5, ACB25 และ ACB50 คือ 5.6 ± 1.6 , 33.8 ± 6.8 , 60.7 ± 9.2 และ 94.0 ± 3.6 kPa ตามลำดับ และในกรณีของ ACB25 และ ACB50 พบว่ามีความยืดหยุ่นที่ร้อยละ 55 ก่อนการแตกหัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของไฮโดรเจล [36]

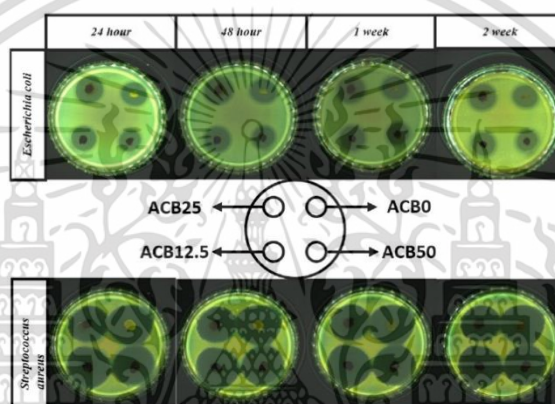
ในการตรวจสอบพฤติกรรมแม่เหล็กของไฮโดรเจลด้วยเทคนิคการสั่นของตัวอย่าง (vibrating sample magnetometry; VSM) จะเห็นได้ว่าเส้นโค้ง VSM ของไฮโดรเจลอัลจินต เคซีน และแบคทีเรียเซลลูโลสผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่อัตราส่วนต่าง ๆ จะมีรูปร่างเหมือนกันกับแบคทีเรียเซลลูโลสผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน และเหล็กอนุภาคนาโน เมื่อปริมาณแบคทีเรียเซลลูโลสผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนเพิ่มขึ้น พฤติกรรมแม่เหล็กในไฮโดรเจลอัลจินต เคซีน และแบคทีเรียเซลลูโลสผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แสดงดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 เส้นโค้งการสร้างสนามแม่เหล็กของไฮโดรเจลอัลจินต เคซีน และแบคทีเรียเซลลูโลสผสม

เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน [36] เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาการปลดปล่อยยาไมโนไซคลินของไฮโดรเจลอัลจินต เคซีน และแบคทีเรีย-เซลล์ูโลสผสมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน พบว่ามีอัตราการปลดปล่อยอย่างต่อเนื่องในระยะเวลาที่นานขึ้น ซึ่งเหมาะแก่การนำมาใช้ในการรักษาบาดแผลไฟไหม้ และจากผลการต้านเชื้อแบคทีเรียพบว่าสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S. aureus* และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli* ได้แสดงดังรูปที่ 2.31 การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ไฟโบรบลาสต์ตัวอ่อนของหนู พบว่าไฮโดรเจลอัลจินต เคซีน และแบคทีเรียเซลล์ูโลสที่มีหรือไม่มีเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน มีความมีชีวิตของเซลล์มากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าไฮโดรเจลไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ บ่งชี้ว่าไฮโดรเจลมีศักยภาพที่ดีสำหรับการใช้งานด้านชีวการแพทย์



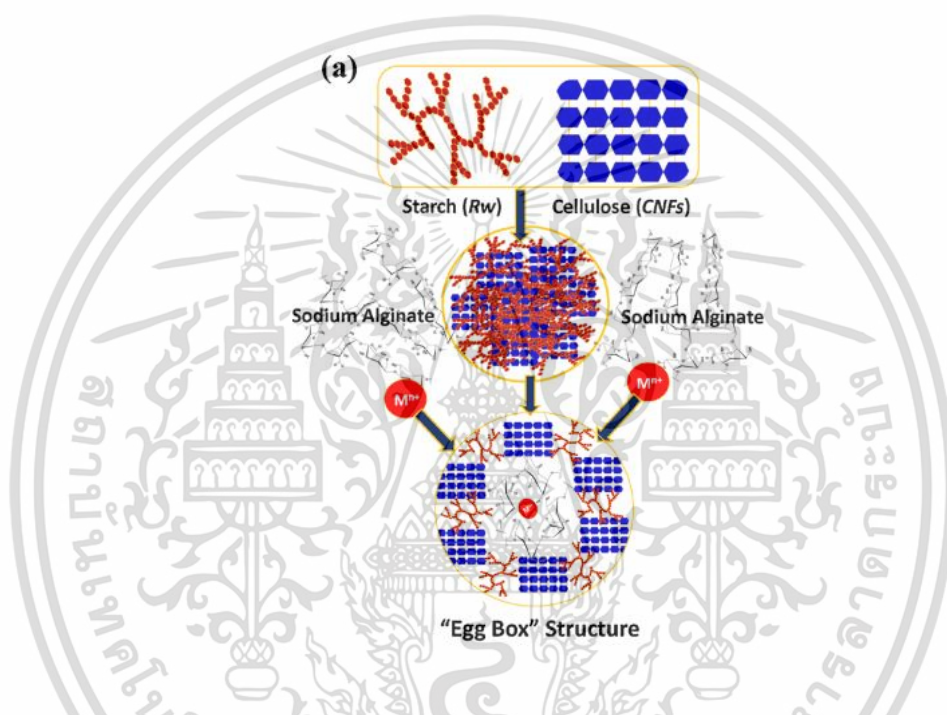
รูปที่ 2.31 ความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียของไฮโดรเจล [36]

2.6.4 ผลของการเสริมกันของเซลล์ูโลสนาโนไฟเบอร์และสารสกัดชีวภาพ ในการขึ้นรูปฟองน้ำวัสดุผสมทางชีวภาพที่มีไฮเดียมอัลจินตมีความแข็งแรงสูง และมีสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรีย (Synergistic effect of cellulose nanofibers and bio-extracts for fabricating high strength sodium alginate based composite bio-sponges with antibacterial properties)

งานวิจัยของ Chandravati Yadav และ Pradip K. Maji [37] ได้ทำการศึกษาผลของการเสริมกันของสารสกัดทางชีวภาพที่มีอัลจินต (SA) และเซลล์ูโลสนาโนไฟเบอร์ (CNFs) ในการเตรียมฟองน้ำวัสดุผสมทางชีวภาพ ทำโดยการใช้สารแขวนลอยของอัลจินต และเซลล์ูโลสนาโนไฟเบอร์ ผสมกับสารสกัดชีวภาพที่เป็นน้ำข้าว (Rw) และสารสกัดบอระเพ็ด (Ge) จากนั้นทำให้แห้งแบบเยือกแข็งเพื่อให้ได้เป็นฟองน้ำ วัสดุผสมที่เตรียมโดยใช้น้ำข้าวจะได้ตัวอย่างที่มีความเสถียรทางโครงสร้างมาก โดยมีความพรุนสูงถึงร้อยละ 75 การใช้สารสกัดบอระเพ็ดจะช่วยทำให้พื้นผิวของวัสดุมีความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียได้ โดยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแกรมลบถึงร้อยละ 98 และแบคทีเรียแกรมบวกสูงถึงร้อยละ 90 และการเติมเซลล์ูโลสที่โครงสร้างโมเลกุลมี

ความชอบน้ำเหมือนกันกับอัลจินเตจึงทำให้มีความเข้ากันได้ ซึ่งจะส่งผลให้ฟองน้ำวัสดุผสมนี้มีคุณสมบัติที่มากขึ้น

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการก่อตัวของโครงสร้างฟองน้ำของวัสดุผสมอัลจินเต ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.32 จะพบว่าน้ำข้าวมีส่วนสำคัญในการสร้างพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรง และไอออนโลหะหลายชนิดที่มีอยู่ในน้ำข้าวมีส่วนในการสร้างโครงสร้างแบบกล่องไข่ (egg box) สำหรับวัสดุผสมอัลจินเตเมื่อรวมกับเซลลูโลสนาโนไฟเบอร์ จะช่วยเสริมกันทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้ทำวัสดุปิดแผลที่มีส่วนช่วยในการสมานบาดแผลได้



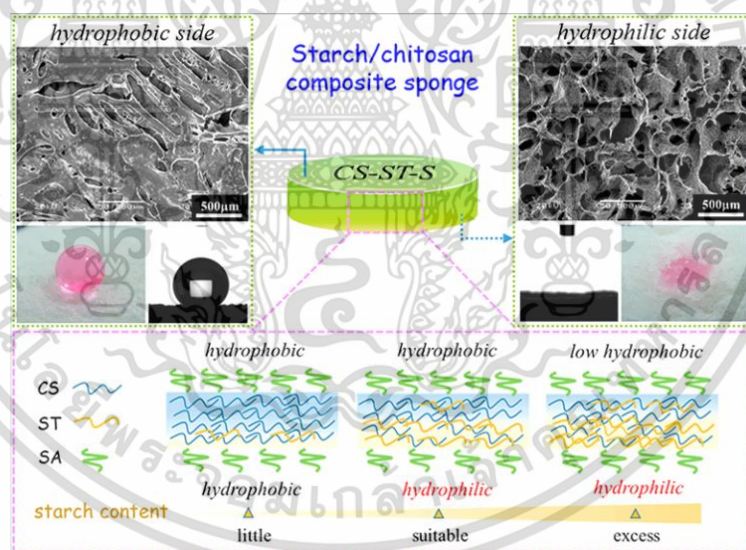
รูปที่ 2.32 ปฏิกิริยาระหว่างอัลจินเตและโลหะที่อยู่ในน้ำข้าว [37]

จากงานวิจัยนี้ พบว่าฟองน้ำวัสดุผสมอัลจินเต และเซลลูโลสนาโนไฟเบอร์ ที่มีการใช้สารสกัดชีวภาพ เช่น น้ำข้าว และสารสกัดบอระเพ็ด เมื่อเปรียบเทียบกับอัลจินเตบริสุทธิ์ ฟองน้ำชีวภาพที่มีการผสมเซลลูโลสนาโนไฟเบอร์ แสดงให้เห็นถึงความเสถียรของโครงสร้างและความแข็งแรงเชิงกลที่ดีขึ้น การปรับปรุงสมบัติเมื่อนำน้ำข้าวแทนน้ำในการเตรียมฟองน้ำชีวภาพ พบว่าโมเลกุลของแป้งที่ชอบน้ำและไอออนของโลหะที่มีอยู่ในน้ำข้าว จะช่วยเสริมโครงสร้างที่เสถียรให้วัสดุผสมอัลจินเต ฟองน้ำชีวภาพที่มีการผสมของสารสกัดบอระเพ็ด จะแสดงสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ เช่น *E. coli* และ *P. aeruginosa* ได้ และการแทนที่น้ำด้วยสารสกัดชีวภาพจากธรรมชาติ ส่งผลทำให้สมบัติทางกายภาพของฟองน้ำดีขึ้น และยังช่วยในการพัฒนาวัสดุให้สมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรีย มีสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนที่ดีขึ้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5 การเตรียมฟองน้ำวัสดุผสมจากแป้งและไคโตซาน ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกให้มีความสามารถในการเปียกแบบอสมมาตรและไล่ระดับเพื่อใช้เป็นวัสดุปิดแผล (Stearic acid-modified starch/chitosan composite sponge with asymmetric and gradient wettability for wound dressing)

งานวิจัยของ Chunping Su และคณะ [38] ได้พัฒนาฟองน้ำวัสดุผสมจากแป้งและไคโตซานที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดสเตียริก ให้มีความสามารถในการเปียกแบบอสมมาตรและไล่ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.33 วัสดุที่สามารถเปียกได้แบบอสมมาตรจะมีด้านที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด ซึ่งเป็นวัสดุปิดแผลในอุดมคติสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย มีสมบัติในการดูดซึมน้ำและกักเก็บน้ำที่ดีจึงสามารถดูดซับสิ่งตกค้างหรือสารคัดหลั่งหลังจากบาดแผลได้ เมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกจะทำให้พื้นผิวด้านบนมีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด สามารถป้องกันการซึมผ่านของเลือดและแบคทีเรียจากภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่สูญเสียการระบายอากาศของฟองน้ำ ในขณะที่พื้นผิวด้านล่างของฟองน้ำมีความชอบน้ำ จึงมีความสามารถในการดูดซึมน้ำและเลือดที่เหมาะสมซึ่งจะส่งผลต่อกระบวนการสมานบาดแผล

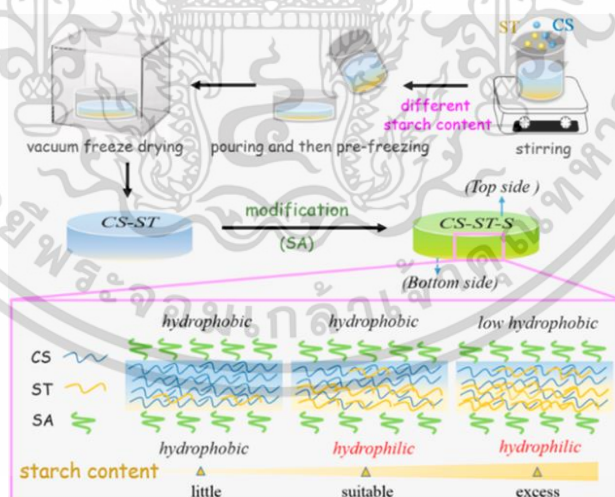


รูปที่ 2.33 ลักษณะของวัสดุที่มีความสามารถในการเปียกแบบอสมมาตร [38]

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมฟองน้ำวัสดุผสมจากแป้งและไคโตซานให้มีความสามารถในการเปียกแบบอสมมาตร ใช้วิธีการทำแห้งเยือกแข็งแบบสุญญากาศ และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก โดยมีไคโตซานและแป้งเป็นส่วนผสมหลัก จะได้ฟองน้ำที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนแบบสามเหลี่ยม ซึ่งมีสมบัติด้านหนึ่งไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด และอีกด้านหนึ่งชอบน้ำอย่างยิ่งยวด ทำให้ฟองน้ำที่ได้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้มีอัตราการแพร่ผ่านไอน้ำที่เหมาะสมที่สุด มีความสามารถในการดูดซึมของเหลว และทำความสะอาดตัวเองได้ดี โดยการเตรียมฟองน้ำจะใช้ไคโตซาน 1 กรัม และแป้งข้าวโพด 1 กรัม เติมนลงในสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตรต่อปริมาตร จำนวน 50 มิลลิลิตร ปั่นจนอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำสารละลายที่ได้เทลงในจานแก้วเพาะเลี้ยง เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืนเพื่อแช่แข็ง จากนั้นนำไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ -54 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง นำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อทำให้กรดอะซิติกที่เหลือเป็นกลางและล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนเพื่อทำให้เป็นกลาง ฟองน้ำที่เป็นกลางจะถูกทำให้แห้งอีกครั้ง เพื่อให้ได้ฟองน้ำวัสดุผสมจากแป้งและไคโตซาน (CS-ST1) ฟองน้ำที่มีปริมาณแป้งต่างกัน จะถูกเตรียมด้วยวิธีเดียวกันภายใต้สภาวะที่เหมือนกัน โดยใช้ปริมาณแป้ง คือ 0.1, 0.5 และ 2 กรัม ซึ่งระบุเป็น CS, CS-ST0.1, CS-ST0.5 และ CS-ST2 ตามลำดับ

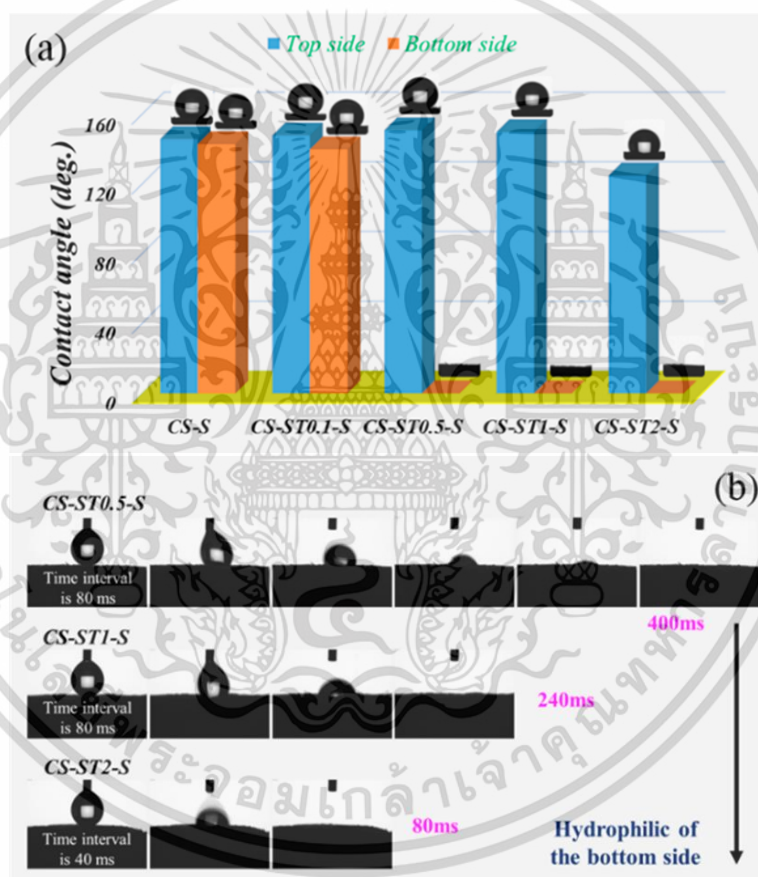
ฟองน้ำวัสดุผสมไคโตซานและแป้งที่ปรับปรุงพื้นผิว เตรียมโดยการแช่ในสารละลายกรดสเตียริก ในแอลกอฮอล์ของ 20 มิลลิโมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำฟองน้ำที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติแล้ว ผึ่งลมให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ฟองน้ำที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก ระบุเป็น CS-S, CS-ST0.1-S, CS-ST0.5-S, CS-ST1-S และ CS-ST2-S ตามลำดับ แผนผังการเตรียมแสดงในรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 แผนผังการเตรียมฟองน้ำวัสดุผสมไคโตซานและแป้ง ที่มีความสามารถในการเปียกของพื้นผิวที่แตกต่างกัน [38]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

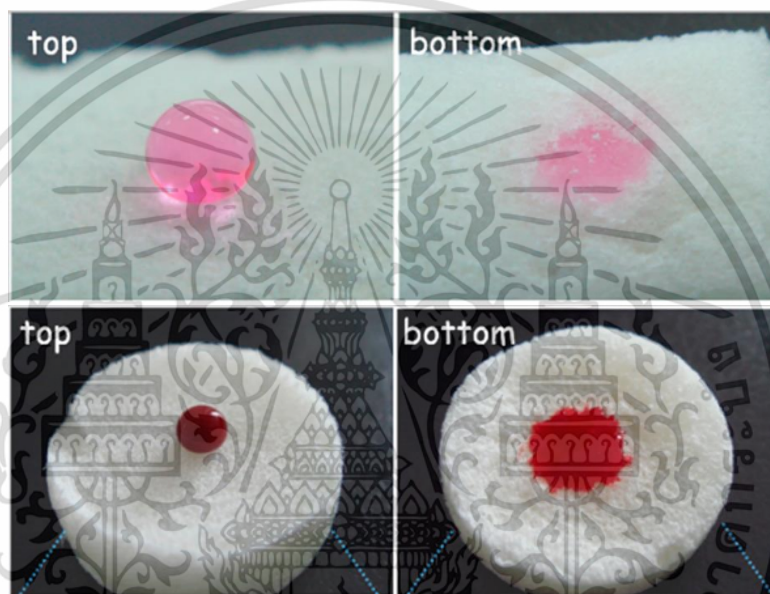
จากการวิเคราะห์ค่ามุมสัมผัสของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.35 พบว่าฟองน้ำก่อนการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกจะมีความชอบน้ำอย่างยิ่งยวด แต่หลังจากปรับปรุงสมบัติแล้วความสามารถในการเปียกของฟองน้ำจะแตกต่างกันตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแป้ง การเพิ่มปริมาณแป้งจะยิ่งทำให้ฟองน้ำมีความสามารถในการเปียกแบบอสมมาตร คือ มีด้านหนึ่งไม่ชอบน้ำและอีกด้านหนึ่งที่ชอบน้ำ โดยการเติมแป้งจะส่งผลต่อโครงสร้างและองค์ประกอบพื้นผิวของฟองน้ำวัสดุผสมจากแป้งและไคโตซาน การกระจายตัวแบบไล่ระดับของแป้งในฟองน้ำและอันตรกิริยาที่น้อยลงระหว่างแป้งและกรดสเตียริก จะทำให้กรดสเตียริกมีการกระจายตัวมากขึ้นที่พื้นผิวด้านบนของฟองน้ำ ซึ่งส่งผลให้พื้นผิวด้านบนของฟองน้ำมีความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด



รูปที่ 2.35 (a) มุมสัมผัสน้ำของพื้นผิวด้านบนและด้านล่างของฟองน้ำไคโตซานที่มีส่วนผสมที่ต่างกัน และ (b) ภาพถ่ายของน้ำที่ขึ้นกับเวลาในการดูดซับที่พื้นผิวด้านล่างของฟองน้ำ CS-ST0.5-S, CS-ST1-S และ CS-ST2-S [38]

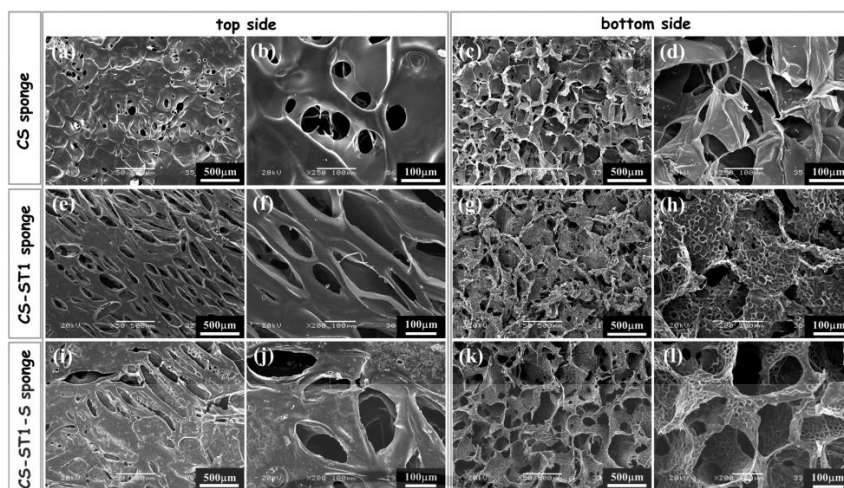
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.36(a) แสดงภาพถ่ายพื้นผิวด้านบนและด้านล่างของฟองน้ำซึ่งพบว่าฟองน้ำที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเทียริก จะมีความสามารถในการเปียกแบบอสมมาตร เมื่อทดสอบโดยการหยดน้ำ น้ำจะกระจายตัวได้เฉพาะบริเวณด้านล่างของฟองน้ำในส่วนที่มีความชอบน้ำเท่านั้น ส่วนพื้นผิวด้านบนที่ไม่ชอบน้ำ หยดน้ำจะมีลักษณะเป็นทรงกลมไม่กระจายตัวอยู่บนพื้นผิว นอกจากนี้ยังมีการทดสอบการดูดซึมเลือดเพิ่มเติม ดังรูปที่ 2.36(b) พบว่าหยดเลือดยังคงเป็นทรงกลมอยู่บนพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ ในขณะที่จะถูกดูดซึมลงในพื้นผิวที่ชอบน้ำ แสดงถึงความสามารถในการทำมาสะอาดตัวเองของฟองน้ำได้ดี ซึ่งเกิดจากสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด



รูปที่ 2.36 ภาพถ่ายพื้นผิวด้านบนและด้านล่างของฟองน้ำที่มีการเคลือบด้วยกรดสเทียริกโดยทำการ (a) หยดน้ำ และ (b) หยดเลือด [38]

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของพื้นผิวและองค์ประกอบทางเคมีของฟองน้ำ แสดงดังรูปที่ 2.37 พบว่าฟองน้ำทั้งหมดมีโครงสร้างเป็นรูพรุนสามมิติ โดยพื้นผิวด้านล่างมีความเป็นรูพรุนสม่ำเสมอว่าเมื่อเทียบกับพื้นผิวด้านบน หลังจากปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเทียริก จะเห็นว่ามีโครงสร้างแบบลามินาร์ที่มีรอยย่นบางส่วนติดอยู่ที่พื้นผิวด้านบนของฟองน้ำ ส่วนพื้นผิวด้านล่างไม่พบรอยย่นอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่ากรดสเทียริกส่วนใหญ่กระจายไปที่พื้นผิวด้านบนของฟองน้ำ



รูปที่ 2.37 ภาพถ่าย SEM ของฟองน้ำ [38]

จากงานวิจัยนี้วัสดุปิดแผลมีอัตราการแพร่ผ่านไอน้ำที่เหมาะสมและมีความสามารถในการดูดซึมของเหลว ไม่มีการสะสมของสารคัดหลั่งที่มากเกินไป วัสดุปิดแผลหลังจากการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกจะทำให้อัตราการแพร่ผ่านไอน้ำลดลงเล็กน้อย แต่ก็เพียงพอที่จะทำให้มีความชื้นและป้องกันการขาดน้ำของบาดแผลได้ โครงสร้างที่มีรูพรุนแบบสามมิติและความสามารถในการเปียกแบบอสมมาตรทำให้ฟองน้ำ CS-ST1-S มีอัตราการแพร่ผ่านไอน้ำที่เหมาะสมที่สุด โดยพบว่าฟองน้ำแบบอสมมาตรที่เตรียมขึ้นสามารถใช้ในการห้ามเลือดได้ดี มีการรักษาสมดุลความชื้นและการแลกเปลี่ยนก๊าซเพื่อช่วยเร่งการสมานบาดแผล รวมทั้งยังป้องกันการปนเปื้อนจากแบคทีเรียและสามารถกำจัดสารคัดหลั่งส่วนเกินได้ นอกจากนี้ยังไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ ไม่ก่อให้เกิดการแพ้และไม่ยึดติดสามารถลอกออกได้ง่ายโดยไม่ทำให้เกิดบาดแผลเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ สารเคมี และกระบวนการที่ใช้ในการศึกษาการพัฒนาวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์ อนุภาคนาโน เพื่อให้มีสมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำ และการต้านเชื้อแบคทีเรีย

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- | | |
|---|---|
| 3.1.1 กระบอกตวง | 3.1.2 ข้อนตักสาร |
| 3.1.3 ปีกเกอร์ | 3.1.4 แท่งแก้วคนสาร |
| 3.1.5 หลอดหยด | 3.1.6 หลอดทดลอง |
| 3.1.7 กระจกนาฬิกา | 3.1.8 กระบอกน้ำกลั่น |
| 3.1.9 จานเพาะเชื้อ | 3.1.10 เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง |
| 3.1.11 เครื่องปั่น | 3.1.12 เครื่องปั่นกวนสารแบบใบพัดปั่นกวน |
| 3.1.13 เครื่องกวนสารให้ความร้อน | 3.1.14 เตาอบ |
| 3.1.15 หลอดเซนติฟิวจ์ | 3.1.16 เครื่องอัลตราโซนิก |
| 3.1.17 ขวดลดความดัน | 3.1.18 แท่งแม่เหล็กกวนสาร |
| 3.1.19 คีมคีบ | 3.1.20 ผ้าขาวบาง |
| 3.1.21 กระดาษกรองเบอร์ 2 | 3.1.22 กรวยกรองบุชเนอร์ |
| 3.1.23 แม่พิมพ์ (ขนาด 5x5 เซนติเมตร) | |
| 3.1.24 แก้วทดสอบการระบายอากาศ | |
| 3.1.25 เครื่องแช่เยือกแข็ง (deep freezer) รุ่น DW-40L92 บริษัท HAIER | |
| 3.1.26 เครื่องทำแห้งแบบเย็น (freeze dryer) รุ่น CoolSafe 110-4 บริษัท SCAN VAC | |
| 3.1.27 เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (centrifuge) รุ่น Megafuge 8R บริษัท THERMO SCIENTIFIC | |
| 3.1.28 เครื่องวัดมุมสัมผัสน้ำ (contact angle meter) รุ่น OCA 20 บริษัท DATAPHYSIC | |
| 3.1.29 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (field emission scanning electron microscope and energy dispersive X-ray spectrometer; FE-SEM/EDS) รุ่น QUANTA FEG 250 บริษัท FEI | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.30 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer; FT-IR) รุ่น IRTracer-100 บริษัท SHIMADZU

3.1.31 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer; XRD) รุ่น SmartLab บริษัท RIGAKU

3.1.32 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrometer) รุ่น UV-1900i บริษัท SHIMADZU

3.1.33 เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA) รุ่น TGA/DSC 3+ บริษัท METTLER TOLEDO

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 วัณมะพร้าวตราใบเฟิร์น (ข้อมูลเพิ่มเติมแสดงในภาคผนวก ข)

3.2.2 โซเดียมอัลจีเนต (sodium alginate; $C_6H_9NaO_7$) ความบริสุทธิ์ 100.0% บริษัท ACROS ORGANICS (ข้อมูลเพิ่มเติมแสดงในภาคผนวก ข)

3.2.3 แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride anhydrous; $CaCl_2$) ความบริสุทธิ์ 90.0% บริษัท CARLO ERBA

3.2.4 สารละลายเบนดิคต์ (benedict's solution) บริษัท โนเลดจ์เวลส์ จำกัด

3.2.5 กรดสเตียริก (stearic acid; $C_{18}H_{36}O_2$) ความบริสุทธิ์ 97.0% บริษัท ACROS ORGANICS

3.2.6 ไคโตซาน (chitosan; $(C_6H_{11}NO_4)_n$) ความบริสุทธิ์ 95.0% บริษัท BONAFIDES MARKETING (ข้อมูลเพิ่มเติมแสดงในภาคผนวก ข)

3.2.7 กรดอะซิติก (acetic acid glacial; CH_3COOH) ความบริสุทธิ์ 99.8% บริษัท CARLO ERBA

3.2.8 เอทานอล (ethanol absolute anhydrous; C_2H_5OH) ความบริสุทธิ์ 99.9% บริษัท CARLO ERBA

3.2.9 เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน (iron(II,III) oxide nanoparticles; Fe_3O_4 NPs) ความบริสุทธิ์ 97.0% บริษัท SIGMA-ALDRICH (ข้อมูลเพิ่มเติมแสดงในภาคผนวก ข)

3.2.10 ไดโคลฟีแนค โซเดียม (diclofenac sodium salt; $C_{14}H_{10}Cl_2NNaO_2$) บริษัท SIGMA-ALDRICH (ข้อมูลเพิ่มเติมแสดงในภาคผนวก ข)

3.2.11 โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride; $NaCl$) ความบริสุทธิ์ 99.0-100.5% บริษัท CARLO ERBA

เอกสารนี้เป็นเอกสารทดลองเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.12 ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (sodium phosphate dibasic anhydrous; Na_2HPO_4) ความบริสุทธิ์ 99.0% บริษัท CARLO ERBA

3.2.13 โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (potassium dihydrogen phosphate; KH_2PO_4) ความบริสุทธิ์ 99.0% บริษัท CARLO ERBA

3.2.14 โพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride; KCl) ความบริสุทธิ์ 99.0% บริษัท CARLO ERBA

3.2.15 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide anhydrous pellets; NaOH) ความบริสุทธิ์ 98.0% บริษัท CARLO ERBA

3.2.16 กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid; HCl) ความบริสุทธิ์ 37.0% บริษัท CARLO ERBA

3.2.17 น้ำกลั่น (distilled water)

3.3 วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส (BC) อัลจิเนต (ALG) และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$) เพื่อให้มีสมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำ และการต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยมีขั้นตอนการเตรียมวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลสและเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน รวมถึงการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ และการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของวัสดุปิดแผล ดังนี้

3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลส

1. ล้างวัฒนธรรมด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง
2. นำวัฒนธรรมไปปั่นให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เปลี่ยนน้ำทุก ๆ 15 นาที บีบน้ำออกจากวัฒนธรรมผ่านผ้าขาวบางก่อนการต้มรอบใหม่ทำซ้ำจำนวน 12 รอบ
3. ทดสอบน้ำตาลด้วยสารละลายเบเนดิกต์ ทำโดยนำน้ำต้มวัฒนธรรมไปใส่หลอดทดลองจำนวน 3 หลอด หลอดละ 2 มิลลิลิตร หยดสารละลายเบเนดิกต์หลอดละ 3 หยด จะได้สารละลายสีฟ้า จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และสังเกตสี ถ้าไม่พบน้ำตาล สีของสารละลายที่ได้จะไม่เปลี่ยนเป็นสีส้มอิฐหรือสีแดง
4. นำวัฒนธรรมที่ได้ไปปั่นให้ละเอียด และทดสอบด้วยสารละลายเบเนดิกต์อีกครั้ง

5. นำไปปั่นเหวี่ยงแยกตะกอนด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำออกโดยใช้ความเร็ว 9000 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 45 นาที

6. นำแบคทีเรียเซลล์โลสไปกรองลดความดันเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้มีน้ำอยู่ในโครงสร้างน้อยที่สุด จากนั้นนำแบคทีเรียเซลล์โลสที่ได้นำไปเตรียมเป็นวัสดุผสมแบคทีเรียเซลล์โลสอัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน ในขั้นตอนที่ 3.2.2

7. จัดเก็บแบคทีเรียเซลล์โลส (BC) ที่ได้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 7-10 องศาเซลเซียส แผนผังการเตรียมแบคทีเรียเซลล์โลสแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการเตรียมแบคทีเรียเซลล์โลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การเตรียมวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน

1. เตรียมสารละลายอัลจิเนต (ALG) ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยชั่งโซเดียมอัลจิเนต ($C_6H_9NaO_7$) 0.0345 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 2.3 มิลลิลิตร จากนั้นชั่งสารละลายอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 3.75 กรัม นำไปผสมกับเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 1, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก และนำไปผ่านคลื่นอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 นาที

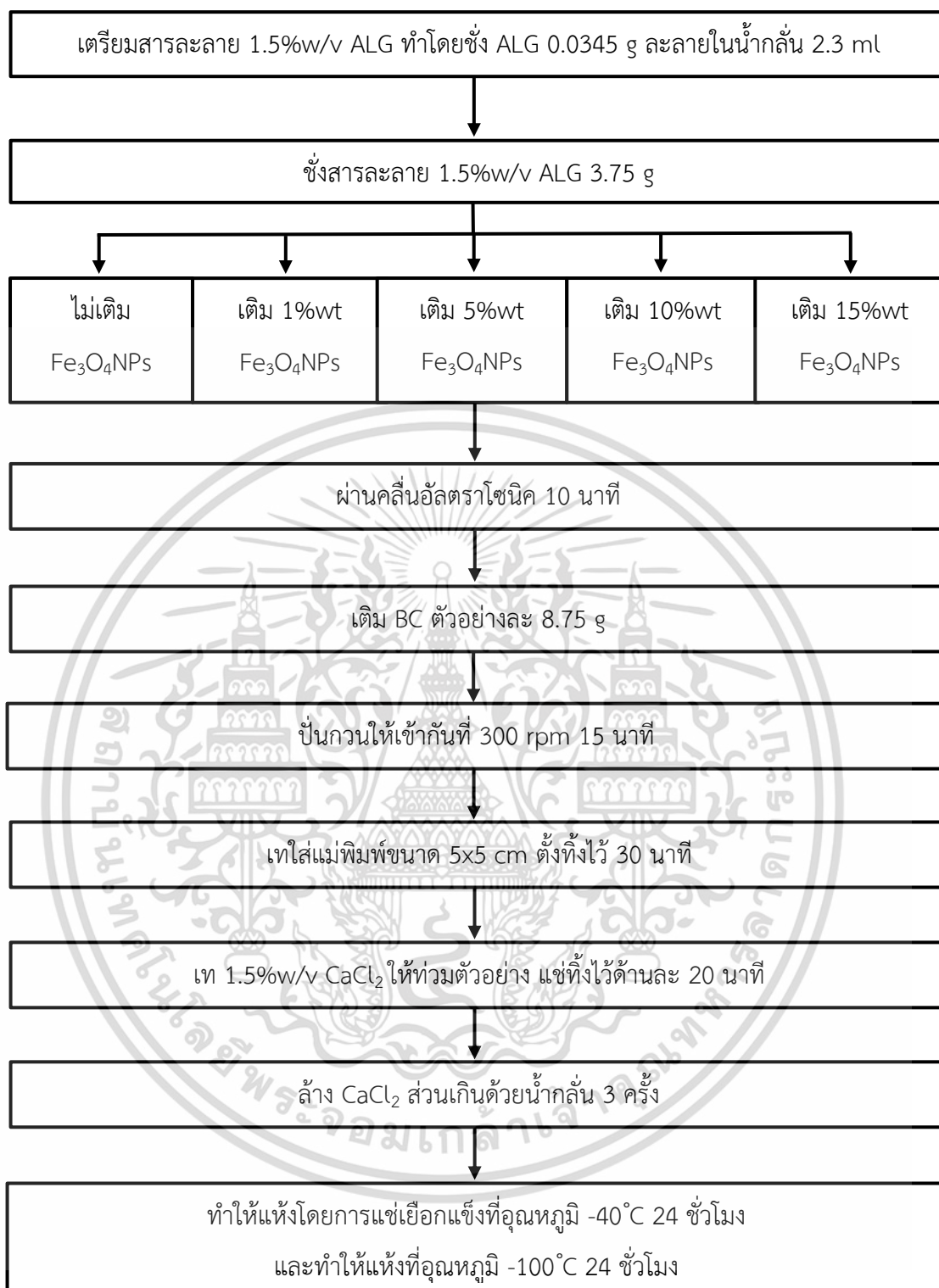
2. เตรียมแบคทีเรียเซลลูโลสและสารละลายอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในอัตราส่วน 70:30 โดยทำการชั่งแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้จากขั้นตอน 3.3.1 8.75 กรัม (อัตราส่วนนี้ใช้กับการเตรียมสารผสม 12.5 กรัม เทลงในแม่พิมพ์ขนาด 5x5 เซนติเมตร)

3. ผสมแบคทีเรียเซลลูโลส ลงในสารละลายอัลจิเนตและเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 1, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ปั่นจนจนสารผสมเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เครื่องปั่นกวนแบบใบพัดปั่นกวน ที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

4. เทสารผสมที่ได้ลงในพิมพ์ขนาด 5x5 เซนติเมตร เกลี่ยให้มีความหนาเท่ากันโดยจะมีความหนาประมาณ 5 มิลลิเมตร จากนั้นทิ้งไว้ให้เกิดการก่อตัวเป็นแผ่น เป็นเวลา 30 นาที

5. เตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยชั่งแคลเซียมคลอไรด์ 1.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้นเทสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ลงในตัวอย่างที่ก่อตัวเป็นแผ่นจนท่วม โดยในหนึ่งตัวอย่างจะใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ประมาณ 13 มิลลิลิตร แช่ทิ้งไว้ด้านละ 20 นาที รวมเวลาที่ใช้เป็น 40 นาที

6. นำตัวอย่างที่ได้ล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดแคลเซียมคลอไรด์ส่วนเกิน จำนวน 3 รอบ จากนั้นนำไปทำให้แห้งโดยการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ -100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้วัสดุปิดแผลแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนความหนา 1.5-3.6 มิลลิเมตร แผ่นผังการเตรียมวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนแสดงในรูปที่ 3.2 และตารางที่ 3.1 แสดงสภาวะทั้งหมดที่สังเคราะห์



รูปที่ 3.2 แผนผังการเตรียมวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน

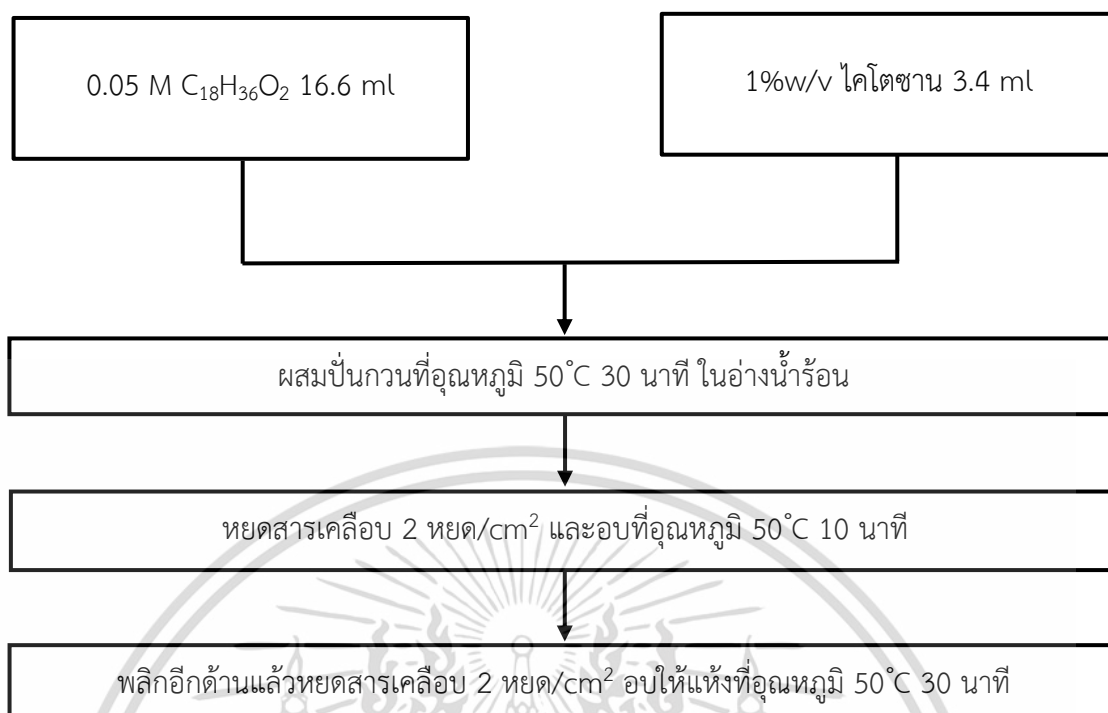
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การปรับปรุงพื้นผิววัสดุปิดแผลให้มีสมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำ

เมื่อได้วัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนแล้วจะทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำโดยการหยดสารเคลือบกรดสเตียริก และโคโตซานโดยการเตรียมสารเคลือบปริมาณ 20 มิลลิลิตร ขั้นตอนมีดังนี้

1. เตรียมสารละลายกรดสเตียริกความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ โดยการชั่งกรดสเตียริก ($C_{18}H_{36}O_2$) 0.2361 กรัม ละลายในเอทานอล (C_2H_5OH) 16.6 มิลลิลิตร หุ้มปากบีกเกอร์ด้วยอลูมิเนียมฟอยล์แล้วปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำร้อนจนละลายทั้งหมด
2. เตรียมสารละลายโคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยการชั่งโคโตซาน 0.0340 กรัม ละลายในสารละลายกรดอะซิติก (CH_3COOH) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร โดยใช้กรดอะซิติก 3.4 มิลลิลิตร หุ้มปากบีกเกอร์จากนั้นปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนโคโตซานละลายทั้งหมด (ประมาณ 30 นาที)
3. ค่อย ๆ หยดสารละลายโคโตซาน 3.4 มิลลิลิตร ลงในสารละลายกรดสเตียริก ที่ปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นปั่นกวนต่อในอ่างน้ำร้อนเป็นเวลา 30 นาที โดยหุ้มปากบีกเกอร์เพื่อป้องกันการระเหยของสาร
4. ทำการหยดสารเคลือบที่เตรียมได้ด้วยหลอดหยด จำนวน 2 หยดต่อตารางเซนติเมตร ลงไปบนวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน แล้วนำวัสดุที่เตรียมได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที
5. พลิกอีกด้านแล้วหยดสารเคลือบตามขั้นตอนที่ 4 จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จะได้เป็นวัสดุปิดแผลที่มีบางบริเวณที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำ แผนผังการปรับปรุงพื้นผิวให้มีสมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำ แสดงในรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนผังการปรับปรุงพื้นผิววัสดุปิดแผลให้มีสมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำ

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการเตรียมวัสดุปิดแผล

ตัวอย่าง	ปริมาณที่ใช้การเตรียมวัสดุปิดแผล 1 ตัวอย่าง		
	BC (g)	ALG (g)	Fe ₃ O ₄ NPs (g)
BC/ALG	8.75	3.75	-
1%Fe ₃ O ₄ NPs	8.75	3.75	0.0030
5%Fe ₃ O ₄ NPs	8.75	3.75	0.0151
10%Fe ₃ O ₄ NPs	8.75	3.75	0.0302
15%Fe ₃ O ₄ NPs	8.75	3.75	0.0453

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การตรวจสอบสมบัติของวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และ เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน

3.4.1 วิเคราะห์โครงสร้างของผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer; XRD)

เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) เป็นเทคนิคที่นำรังสีเอกซ์ (X-ray) มาใช้วิเคราะห์และระบุชนิดของสารประกอบ และเทคนิคนี้สามารถใช้ตรวจสอบหาสารประกอบที่อยู่ในรูปของแข็ง ทั้งที่เป็นชิ้นตัวอย่าง และที่อยู่ในสภาพผงได้ โดยอาศัยหลักการของการยิงรังสีเอกซ์ไปกระทบที่ชิ้นงานทำให้เกิดการเลี้ยวเบน และสะท้อนออกมาที่มุมต่าง ๆ กันโดยมีหัววัดสัญญาณ (detector) เป็นตัวรับข้อมูล องค์ประกอบและโครงสร้างของสารจะมีองค์ประกอบในการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในมุมที่แตกต่างกันออกไปขึ้นกับองค์ประกอบ รูปร่าง และลักษณะผลึกซึ่งผลที่ได้จะสามารถบ่งชี้ชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและสามารถนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้น ๆ ได้ [39] โดยในโครงงานพิเศษนี้วิเคราะห์ที่ scan speed 0.50°/min และ step width 0.02° นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ [40]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (Field emission scanning electron microscope and energy dispersive X-ray spectrometer; FE-SEM/EDS)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กระดับนาโนเมตรถึงไมโครเมตร โดยทำการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการทดสอบ ภาพที่ได้จากเครื่อง FE-SEM จะเป็นภาพในลักษณะ 3 มิติ มีความละเอียดสูง จึงนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานวิทยาและรายละเอียดลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถใช้ร่วมกับ Energy Dispersive Spectrometry (EDS) ทำให้สามารถทำการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้เพิ่มเติม [41]

ในโรงงานพิเศษนี้จะใช้อิเล็กตรอนที่มีความเร่งศักย์ไฟฟ้าสูง 15 kV ทำการถ่ายภาพ FE-SEM ที่บริเวณพื้นผิว ภาพตัดขวางบริเวณรอยต่อระหว่างสารเคลือบและวัสดุปิดแผล ที่กำลังขยาย 5000, 10000 และ 30000 เท่า และภาพตัดขวางของรูพรุน ที่กำลังขยาย 500 และ 2000 เท่า โดยเตรียมชิ้นงานวัสดุปิดแผลที่ไม่หดยดสารเคลือบ SA/CS ขนาด 0.5x0.5 เซนติเมตร และวัสดุปิดแผลที่หดยดสารเคลือบขนาด 1x1 เซนติเมตร ติดลงบนสตัป และเคลือบด้วยทอง รูปที่ 3.5 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ



รูปที่ 3.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ [42]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 วิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer; FT-IR)

เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ตรวจสอบโมเลกุลของสารอินทรีย์โดยอาศัยหลักการการสั่นของโมเลกุล โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงอินฟราเรดอยู่ในช่วงเลขคลื่นประมาณ 12800 ถึง 10 cm^{-1} จำแนกออกเป็น 3 ช่วง คือ ย่านอินฟราเรดใกล้ (near IR $4,000\text{--}12,800\text{ cm}^{-1}$) ย่านอินฟราเรดกลาง (mid IR $200\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$) และย่านอินฟราเรดไกล (far IR $10\text{--}200\text{ cm}^{-1}$) เมื่อสารอินทรีย์ดูดกลืนรังสีย่านอินฟราเรดกลางจะทำให้พันธะในโมเลกุลเกิดการสั่นและหมุน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล การที่โมเลกุลจะดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้นั้นความถี่ของแสงอินฟราเรดต้องเท่ากับค่าการสั่นของโมเลกุลของสารนั้น ๆ ซึ่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไป จึงให้ข้อมูลหมู่ฟังก์ชันในสารได้ เช่น พันธะคู่ พันธะสาม หมู่คาร์บอนิล หมู่ไฮดรอกซิล หมู่อะมิโน เป็นต้น [43,44] ในโครงงานพิเศษนี้ทำการเตรียมตัวอย่าง โดยการอบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงเลขคลื่น $4000\text{--}500\text{ cm}^{-1}$ ในโหมด ATR-FTIR (attenuated total reflection- Fourier transform infrared) เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ [45]

3.4.4 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analysis; TGA)

เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน ใช้วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุ เมื่อสารตัวอย่างได้รับความร้อนจะทำการวัดน้ำหนักของสารตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องซึ่งมีความไวสูง เครื่องนี้ใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพของสารตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับก๊าซ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ การระเหยของน้ำ หรือการที่มีโมเลกุลของน้ำอยู่ในโมเลกุล การแตกตัวของวัสดุ หรือการตกผลึกที่เกิดจากการเปลี่ยนวัฏภาค ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างจะถูกวางไว้บนจานขนาดเล็กที่เชื่อมกับเครื่องซึ่งมี

ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสูง ซึ่งอยู่ในเตาที่ควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ คือ บรรยากาศออกซิเดชัน เช่น อากาศหรือออกซิเจน หากอยู่ในบรรยากาศรีดักชัน อาจเป็นก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน เมื่อสารตัวอย่างได้รับความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไป จะเกิดสัญญาณการวัดที่สามารถแสดงผลในรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อน้ำหนัก (TG) โดยน้ำหนักของสารตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด ซึ่งน้ำหนักของสารตัวอย่างที่หายไปเกิดจากการระเหย การสลายตัว หรือการเกิดปฏิกิริยา [46]

ในโครงการพิเศษนี้ทำโดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1.5 มิลลิกรัม ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน ทดสอบภายใต้บรรยากาศแก๊สออกซิเจน ที่ช่วงอุณหภูมิ 40-1000 องศาเซลเซียส และอัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที [36] รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิกความร้อน



รูปที่ 3.7 เครื่องวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิกความร้อน [47]

3.4.5 การวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible spectrophotometer)

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสง และค่าความเข้มแสง ในช่วงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet; UV) จนถึงช่วงแสงขาว (visible) ที่เกิดจากการทะลุผ่าน การส่องผ่าน และการสะท้อนของวัสดุตัวอย่าง หลักการในการวิเคราะห์โดยทั่วไป จะทำการฉายแสงในช่วงความยาวคลื่นของอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิล ที่มีพลังงานที่เหมาะสมไปที่วัสดุตัวอย่าง ส่งผลให้เกิดการย้ายระดับพลังงานของอิเล็กตรอนภายในอะตอมซึ่งเกิดจากการดูดกลืนแสง ทำให้อิเล็กตรอนเหล่านั้นไปอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่สูงกว่า แล้วเกิดการคายพลังงานออกมาอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่เหมาะสมในรูปแบบ

ของความยาวคลื่นต่าง ๆ เมื่อทำการตรวจวัดปริมาณของแสงที่ทะลุผ่าน สะท้อน และการส่องผ่านจากวัสดุตัวอย่าง แล้วนำมาเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ ตามกฎของ Beer-

Lambert โดยค่าการดูดกลืนแสงของวัสดุตัวอย่างจะแปรผันตรงกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นเทคนิคนี้จึงสามารถใช้ในการระบุทั้งชนิด และปริมาณของสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในวัสดุตัวอย่างได้ [48] ในโครงการงานพิเศษนี้จะทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียม ที่ปลดปล่อยออกจากวัสดุปิดแผลด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ [49]

3.4.6 วิเคราะห์สมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยการวัดค่ามุมสัมผัสน้ำ (Water contact angle; WCAs)

ในการวัดค่ามุมสัมผัสน้ำ จะใช้หลักการของ Young equation ในการอธิบายเกี่ยวกับแรงดึงดูดผิวของวัสดุ โดยทำการวัดมุมของของเหลวที่กระทำกับพื้นผิววัสดุ ซึ่งจะพบว่าหากมุมของของเหลวที่วัดได้มีมุมที่กว้างมากกว่า 90 องศา ของเหลวที่วัดได้จะมีแรงดึงดูดผิวที่สูง แสดงถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำและหากมุมที่วัดได้เป็นมุมที่น้อยกว่า 90 องศา ของเหลวจะมีแรงดึงดูดผิวที่น้อย ซึ่งจะแสดงถึงสมบัติความชอบน้ำ [50] ในโครงการงานพิเศษนี้จะทำการวัดมุมสัมผัสน้ำ โดยการใช้หยดน้ำขนาด 5 ไมโครเมตร ทำการหยดน้ำและวัดค่ามุมสัมผัสบนพื้นผิวชิ้นงานทดสอบในส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ 5 ตำแหน่ง จากนั้นเลือก 3 ตำแหน่ง ที่มีค่าใกล้เคียงกันมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดมุมสัมผัสน้ำ [51]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7 ทดสอบความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission test)

ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ คือ การที่ไอน้ำสามารถแพร่ผ่านวัสดุชนิดหนึ่งได้ โดยส่วนใหญ่จะเห็นในการทดสอบกับฟิล์ม โดยการทดสอบนี้จะขึ้นกับช่วงเวลาด้วย ดังนั้นสมการในการวัดจึงต้องมีเวลาและพื้นที่เป็นตัวกำหนดค่าที่ต้องการหา [52] ในการทดสอบนี้อ้างอิงจากวิธีทดสอบมาตรฐานสำหรับการส่งผ่านไอน้ำของวัสดุ (ASTM E96) มีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

1. เตรียมตัวอย่างขนาด 4x4 เซนติเมตร ซึ่งมีขนาดกว้างกว่าแก้วทดสอบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.75 เซนติเมตร กำจัดน้ำจากตัวอย่างด้วยการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที
2. ครอบตัวอย่างกับแก้วทดสอบปากเรียบที่บรรจุซิลิกาเจลที่อบแห้งโดยให้ห่างจากปากแก้ว 6 มิลลิเมตร ยึดตัวอย่างด้วยพาราฟิล์ม และนำไปชั่งน้ำหนักก่อนการทดสอบ (W_0)
3. นำแก้วทดสอบที่ชั่งน้ำหนักแล้วไปเก็บไว้ในกล่องสุญญากาศที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ทำการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 75 ± 2 หากต้องการเพิ่มความชื้นให้เพิ่มน้ำกลั่น และหากต้องการลดความชื้นให้เพิ่มแคลเซียมคลอไรด์ ทดสอบเป็นเวลา 5 วัน โดยเก็บตัวอย่างเป็นระยะที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 วัน
4. นำตัวอย่างพร้อมแก้วมาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาน้ำหนักหลังการทดสอบ (W_t)
5. รายงานผลในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสามารถคำนวณค่าความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate; WVTR) ดังสมการที่ 3.1

$$WVTR = \frac{W_0 - W_t}{A \times \text{time}} = \frac{\text{slope}}{A \times \text{time}} \quad (3.1)$$

โดย W_0 คือ น้ำหนักก่อนทดสอบ

W_t คือ น้ำหนักหลังการทดสอบ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของถ้วยทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.8 ทดสอบสมบัติการบวมตัวและปริมาณความชื้น (Swelling and moisture content test)

การทดสอบการดูดซึมน้ำ จะบ่งบอกถึงความสามารถในการบวมตัวและปริมาณความชื้นในวัสดุปิดแผลได้ ในโครงการพิเศษนี้จะทำการทดสอบโดยใช้วิธีการ ดังนี้ [34]

1. เตรียมวัสดุปิดแผลขนาด 2x2 เซนติเมตร กำจัดน้ำจากตัวอย่างด้วยการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และชั่งน้ำหนักแห้งก่อนการทดสอบ (W_{dry})
2. แช่วัสดุปิดแผลที่เตรียมได้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาทั้งหมด 24 ชั่วโมง โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างเป็นระยะที่เวลา 1, 3, 5, 7 และ 24 ชั่วโมง
3. ซับน้ำส่วนเกินออกจากวัสดุปิดแผลด้วยกระดาษกรอง จากนั้นจึงนำไปชั่งน้ำหนักจะได้เป็นค่าน้ำหนักเปียกหลังการทดสอบ (W_{wet})
4. รายงานผลในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และคำนวณอัตราการบวมตัว (swelling ratio) เป็นการวัดความหนาแน่นของการเชื่อมขวาง วัสดุที่มีการเชื่อมขวางสูงจะแสดงอัตราการบวมตัวที่น้อยลง เพราะรูพรุนในโครงสร้างมีขนาดลดลงทำให้ดูดซึมน้ำได้น้อยลง และปริมาณความชื้นของวัสดุปิดแผล (moisture content ratio) แสดงถึงขีดจำกัดที่วัสดุสามารถดูดซึมน้ำได้ อัตราการบวมตัวและปริมาณความชื้นคำนวณได้จากสมการที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

$$\text{Swelling ratio} = \frac{W_{wet} - W_{dry}}{W_{dry}} \times 100 \quad (3.2)$$

$$\text{Moisture content ratio} = \frac{W_{wet} - W_{dry}}{W_{wet}} \times 100 \quad (3.3)$$

โดย W_{wet} คือ น้ำหนักเปียกของตัวอย่างก่อนการทดสอบ

W_{dry} คือ น้ำหนักแห้งของตัวอย่างก่อนการทดสอบ

3.4.9 ทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์สัตว์ (Cytotoxicity test)

การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ สามารถใช้เป็นข้อมูลในการคัดกรองความปลอดภัยของสารเคมีด้วยการเลือกใช้เซลล์เพาะเลี้ยงที่เหมาะสม โดยความเป็นพิษนี้จะสามารถประเมินได้จากค่าการอยู่รอดของเซลล์ (MMT) (cell viability) ด้วยวิธี MTT assay หรือวิธีอื่นที่เหมาะสม [53] ในการศึกษาด้วยเทคนิค MTT assay เป็นการทดสอบโดยใช้สีย้อม 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide สามารถใช้เพื่อวัดความเป็นพิษต่อเซลล์ การสูญเสียเซลล์ที่มีชีวิต ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และวัสดุที่เป็นพิษได้ โดยทำการทดสอบ MTT ในที่มีด เนื่องจากตัวทำปฏิกิริยา MTT มีความไวต่อแสง จะทดสอบกับเซลล์สัตว์ปกติ คือ เซลล์เนื้อเยื่อใต้ผิวหนังของหนู (mouse subcutaneous connective tissue: L929) ที่ได้มาจากเซลล์ไฟโบรบลาสต์ของหนู โดยเตรียมตัวอย่างขนาดกว้างประมาณด้านละ 0.5-1.0 เซนติเมตร มีน้ำหนักประมาณ 0.01-0.02 กรัม และทำการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ที่ความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยเตรียมตัวอย่างดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างเพื่อเตรียมเป็น stock
2. แช่ตัวอย่างในอาหาร DMEM + 10%FBS ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. กรองตัวอย่างด้วยตัวกรองขนาด 0.22 ไมโครเมตร
4. เจือจางตัวอย่างให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับใช้ในการทดสอบ
5. Plug เซลล์ไลน์จำนวน 1×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ลงใน 96 หลุม ปริมาตร 100 ไมโครลิตรต่อหลุม บ่มเซลล์ในตู้บ่มอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
6. หลังจากครบ 24 ชั่วโมง ดูดอาหารออกจากแต่ละหลุม จากนั้นเติมสารตัวอย่างความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตรต่อหลุม
7. เมื่อบ่มเซลล์ในสารตัวอย่างครบตามเวลาที่กำหนดเติม MTT ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 10 ไมโครลิตรต่อหลุม นำไปบ่มในตู้บ่มอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
8. เมื่อบ่มเซลล์ใน MTT ครบ 4 ชั่วโมง ดูดสารละลาย MTT ทิ้งและเติมสารที่ละลายฟลิคฟอร์มาซาน (formazan) ในที่นี้ใช้ 100%DMSO:10%SDS อัตราส่วน 9:1 ปริมาตร 100 ไมโครลิตรต่อหลุม
9. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (optical density, OD) ที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร ตั้งโปรแกรมเขย่า 5 นาทีก่อนวัดค่าการดูดกลืนแสง
10. คำนวณค่าร้อยละความเป็นพิษต่อเซลล์ (%cytotoxicity) และค่าร้อยละความมีชีวิตของเซลล์ (%cell viability) ของสารแต่ละชนิด ดังสมการที่ 3.4 และ 3.5

$$\% \text{Cytotoxicity} = \frac{A - B}{A} \times 100 \quad (3.4)$$

$$\% \text{Viability} = 100 - \% \text{Cytotoxicity} \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย A = ค่าการดูดกลืนแสงของหลุมควบคุม (หลุมที่มีเซลล์ในอาหารเพาะเลี้ยง)

B = ค่าการดูดกลืนแสงของหลุมที่มีเซลล์ในสารตัวอย่าง

ค่า A และ B ต้องนำค่าการดูดกลืนแสงของแบลงค์ (ในที่นี้คือหลุมที่เติมสารละลาย 100%DMSO:10%SDS) มาหักลบออกก่อน จากนั้นจึงนำไปคำนวณจากสูตรข้างต้น

3.4.10 ทดสอบสมบัตการต้านเชื้อแบคทีเรีย (Antibacterial activity)

การทดสอบสมบัตการต้านเชื้อแบคทีเรียของวัสดุปิดแผลจะใช้วิธีการดิฟฟิวชัน (agar-diffusion) ซึ่งจะบอกผลในเชิงคุณภาพว่าเชื้อมีความไวต่อการทดสอบหรือไม่ โดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางจากบริเวณโซนใสของการยับยั้ง แบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบ คือ เชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *Escherichia coli* (*E. coli*) วิธีนี้จะเหมาะกับตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นชิ้น เช่น แผ่นฟิล์ม แผ่นโฟม แผ่นยาง เป็นต้น โดยการทดสอบสมบัตการต้านเชื้อแบคทีเรียมีวิธีการทดสอบดังนี้ [54]

1. เตรียมตัวอย่างเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร หนาไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร
2. เตรียมแบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบ 2 ชนิด คือ *Escherichia coli* ATCC 25922 และ *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 โดยเลี้ยงบนอาหาร Muller Hinton agar ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. เตรียมสารละลายแบคทีเรียแต่ละชนิดในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.85 ให้มีความขุ่นเทียบเท่ากับสารมาตรฐาน McFarland No. 0.5 (1×10^8 CFU/mL)
4. ป้ายเชื้อ (swab) ลงบนอาหาร Muller Hinton agar โดยใช้ไม้พันสำลี
5. วางแผ่นตัวอย่างลงบนผิวอาหาร
6. บ่มจานอาหารที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย
7. ตรวจสอบผลการทดสอบโดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้ง (inhibition zone) ซึ่งวัดจากขอบของตัวอย่างจนถึงขอบของโซนใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.11 ทดสอบการบรรจุและการปลดปล่อยยา (Drug loading and releasing test)

ในการทดสอบการบรรจุและการปลดปล่อยยาของวัสดุปิดแผล BC/ALG, 1%Fe₃O₄NPs, 5%Fe₃O₄NPs, 10%Fe₃O₄NPs, 15%Fe₃O₄NPs และ 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS มีวิธีการทดสอบดังนี้ [55] โดยรายละเอียดการเตรียมสารละลายแสดงในภาคผนวก ก

1. แช่ชิ้นงานขนาด 2x2 เซนติเมตร ในสารละลายไดโคลฟีแนค โซเดียม ที่ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

2. นำชิ้นงานเข้าอบเพื่อทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3. นำชิ้นงานที่อบแห้งแล้วแช่ในน้ำเกลือบัฟเฟอร์ (PBS) ที่มี pH 7.4 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

4. เขย่าที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 37±1 องศาเซลเซียส

5. ดูดสารละลาย 3 มิลลิลิตร มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 288 นาโนเมตร ทุก ๆ 30 นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และตั้งแต่ 2 ชั่วโมงไปจนถึงเวลา 6 ชั่วโมง นำสารละลายออกมาวัดทุก ๆ 1 ชั่วโมง และวัดอีกครั้งที่เวลา 24 ชั่วโมง สารละลายที่นำออกมาวัดจะถูกกรองด้วยตัวกรองสารเคมีสำหรับหลอดฉีดยา (syringe filter) ขนาด 0.2 ไมโครเมตร และทุกครั้งที่นำสารละลายออกมาจะทำการเติม PBS ลงไปแทนที่จำนวน 3 มิลลิลิตร

6. เมื่อได้ค่าการดูดกลืนแสง จะนำมาคำนวณหาความเข้มข้นของยาไดโคลฟีแนค โซเดียม ที่ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุปิดแผล โดยแทนในสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐาน ดังสมการที่ 3.6

$$y = 0.0232x + 0.0224 \quad (3.6)$$

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในบทนี้กล่าวถึงผลของการพัฒนาวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และ เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน เพื่อให้มีสมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำ และการต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยจะแสดงผลดังนี้ การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ สันฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน ลักษณะทางกายภาพ การศึกษาความไม่ชอบน้ำ การบวมตัวและปริมาณความชื้น การแพร่ผ่านของไอน้ำ สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย ความเป็นพิษต่อเซลล์สัตว์ และการบรรจุและปลดปล่อยยา

4.1 การเตรียมและการตรวจสอบสมบัติของวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุปิดแผล

แบคทีเรียเซลลูโลสที่นำมาใช้เตรียมวัสดุปิดแผลเป็นแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้จากวุ้นมะพร้าวในน้ำเชื่อมที่มีขายโดยทั่วไปในท้องตลาด โดยมีวิธีการ คือ นำวุ้นมะพร้าวมาต้มในน้ำกลั่นเพื่อกำจัดน้ำตาลออก ทำการปั่นให้ละเอียดและทำการกรองจะได้แบคทีเรียเซลลูโลสเปียกสีขาวขุ่นที่มีความข้นหนืด ภาพถ่ายแบคทีเรียเซลลูโลสเปียกแสดงดังรูปที่ 4.1 เมื่อได้แบคทีเรียเซลลูโลสเปียกแล้วจะนำมาผสมอัลจิเนตและเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนในปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของที่แตกต่างกันระหว่าง 0-15 เมื่อเทียบกับน้ำหนักของแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจิเนตแห้ง เพื่อขึ้นรูปเป็นชิ้นงานวัสดุปิดแผล BC/ALG, 1%Fe₃O₄NPs, 5%Fe₃O₄NPs, 10%Fe₃O₄NPs และ 15%Fe₃O₄NPs ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของวัสดุปิดแผล



รูปที่ 4.1 แบคทีเรียเซลลูโลสเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

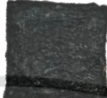
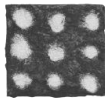
หลังจากนำวัสดุผสม BC, ALG และ $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ ในสถานะเปียกแต่ละตัวอย่างเทลงในแม่พิมพ์ขนาด 5x5 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 12.5 กรัม ไปทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง พบว่าวัสดุปิดแผล BC/ALG มีลักษณะเป็นแผ่นสีขาว ทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดประมาณ 4x4 เซนติเมตร โดยมีความหนาอยู่ในช่วง 1.5-2.0 มิลลิเมตร ส่วนวัสดุ ปิดแผล 1% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$, 5% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$, 10% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ และ 15% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ มีลักษณะเป็นแผ่นสีเทาไปจนถึงดำ ขนาดประมาณ 4x4 เซนติเมตร โดยเมื่อเพิ่มปริมาณเหล็ก(II,III) ออกไซด์มากขึ้น จะส่งผลให้สีของวัสดุปิดแผลมีเฉดสีดำที่เข้มขึ้น โดยความหนาของวัสดุปิดแผลจะอยู่ในช่วง 1.7-2.7, 1.8-2.8, 1.9-3.0 และ 2.5-3.6 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 (b,d) และในวัสดุปิดแผล 15% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ พบว่ามีเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนบางส่วนหลุดออกมาจากวัสดุปิดแผล ส่วนวัสดุปิดแผลแต่ละตัวอย่างที่นำไปทำการทดสอบการเคลือบกรดสเตียริกและโคโตซานปริมาณ 2 หยด ต่อพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร เพื่อเพิ่มสมบัติความไม่ชอบน้ำ โดยพบว่าเนื่องจากสารเคลือบมีโคโตซานที่มีมวลโมเลกุลสูงเป็นองค์ประกอบจึงมีความหนืดสูง จึงปรากฏเป็นหยดของสารเคลือบอยู่บนพื้นผิวของวัสดุปิดแผล ดังแสดงในตารางที่ 4.1 (c)

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุปิดแผล (a) ชิ้นงานหลังการขึ้นรูป (b) ชิ้นงานหลังผ่านการทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง (c) ชิ้นงานหลังทดสอบการเคลือบ SA/CS และ (d) ความหนาชิ้นงาน (mm)

ตัวอย่าง	ลักษณะชิ้นงาน			(d) ความหนา (mm)
	(a) หลังการขึ้นรูป	(b) หลังทำให้แห้ง	(c) ทดสอบการเคลือบ SA/CS	
BC/ALG				1.5-2.0
1% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$				1.7-2.7
5% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$				1.8-2.8
10% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$				1.9-3.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ลักษณะทางกายภาพของวัสดุปิดแผล (a) ชิ้นงานหลังการขึ้นรูป (b) ชิ้นงานหลัง
ผ่านการทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง (c) ชิ้นงานหลังหยดสารเคลือบ SA/CS และ (d) ความ
หนาชิ้นงาน (mm)

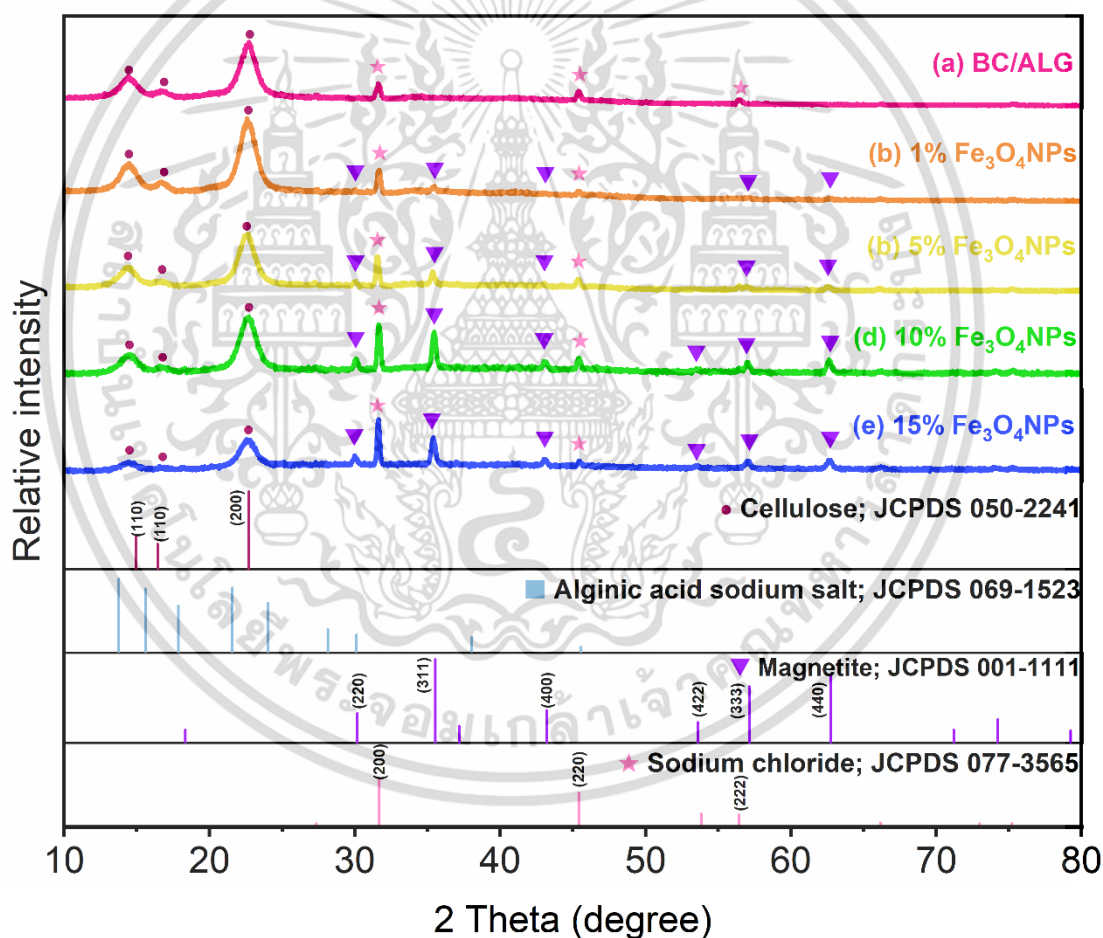
ตัวอย่าง	ลักษณะชิ้นงาน			
	(a) หลัง การขึ้นรูป	(b) หลัง ทำให้แห้ง	(c) หยดสาร เคลือบ SA/CS	(d) ความหนา (mm)
15%Fe ₃ O ₄ NPs				2.5-3.6

4.1.2 การศึกษาโครงสร้างผลึก

ผลการตรวจโครงสร้างผลึกของวัสดุปิดแผลแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนด้วยเทคนิค XRD พบว่าชิ้นงานวัสดุปิดแผล BC/ALG และวัสดุปิดแผล BC/ALG ที่มีการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 1, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักที่ไม่ได้ทำการหยดสารเคลือบ SA/CS แสดงดังรูปที่ 4.2 พบว่าวัสดุปิดแผลทั้งหมดมีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ตรงกับไฟล์มาตรฐานของเซลลูโลส (cellulose; JCPDS 050-2241) โดยพบพีกขึ้นที่ตำแหน่ง 2-Theta ที่ 14.99, 16.49 และ 22.79 ส่วนชิ้นงานวัสดุปิดแผล BC/ALG ที่มีการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนในปริมาณที่ต่างกันจะพบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ตรงกับไฟล์มาตรฐานของแมกนีไทต์ (magnetite; JCPDS 001-1111) โดยพบพีกขึ้นที่ตำแหน่ง 2-Theta ที่ 30.11, 35.46, 43.10, 53.57, 57.00 และ 62.59 ซึ่งความเข้มพีกของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ปรากฏจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของเหล็กในวัสดุปิดแผลเพิ่มขึ้นตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ตรงกับไฟล์มาตรฐานของโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride; JCPDS 077-3565) โดยพบพีกขึ้นที่ตำแหน่ง 2-Theta ที่ 31.67, 45.40 และ 56.40 เนื่องจากแคลเซียมไอออน (Ca²⁺) ที่ได้จากการละลายของแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) ที่ใช้เป็นสารเชื่อมขวางเข้าไปแทนที่โซเดียมไอออน (Na⁺) ในอัลจิเนต ส่งผลให้โซเดียมไอออนทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ไอออน (Cl⁻) เกิดเป็นโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จากผลที่ได้ไม่พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ตรงกับไฟล์มาตรฐานของโซเดียมอัลจิเนต (alginate sodium salt, sodium 3,4,5,6-tetrahydroxyoxane-2-carboxylate; JCPDS 069-1523) เนื่องจากพิกเอกลักษณะของโซเดียมอัลจิเนตซ้อนทับกับแบคทีเรียเซลลูโลสนอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากการที่มีปริมาณอัลจิเนตในองค์ประกอบน้อย และความเป็นผลึกของแบคทีเรียเซลลูโลสที่สูงกว่าอัลจิเนต จึงทำให้มองไม่เห็นพีกของโซเดียมอัลจิเนต [56] นอกจากนี้ยังไม่พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ตรงกับไฟล์มาตรฐานของแคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride, CaCl₂; JCPDS

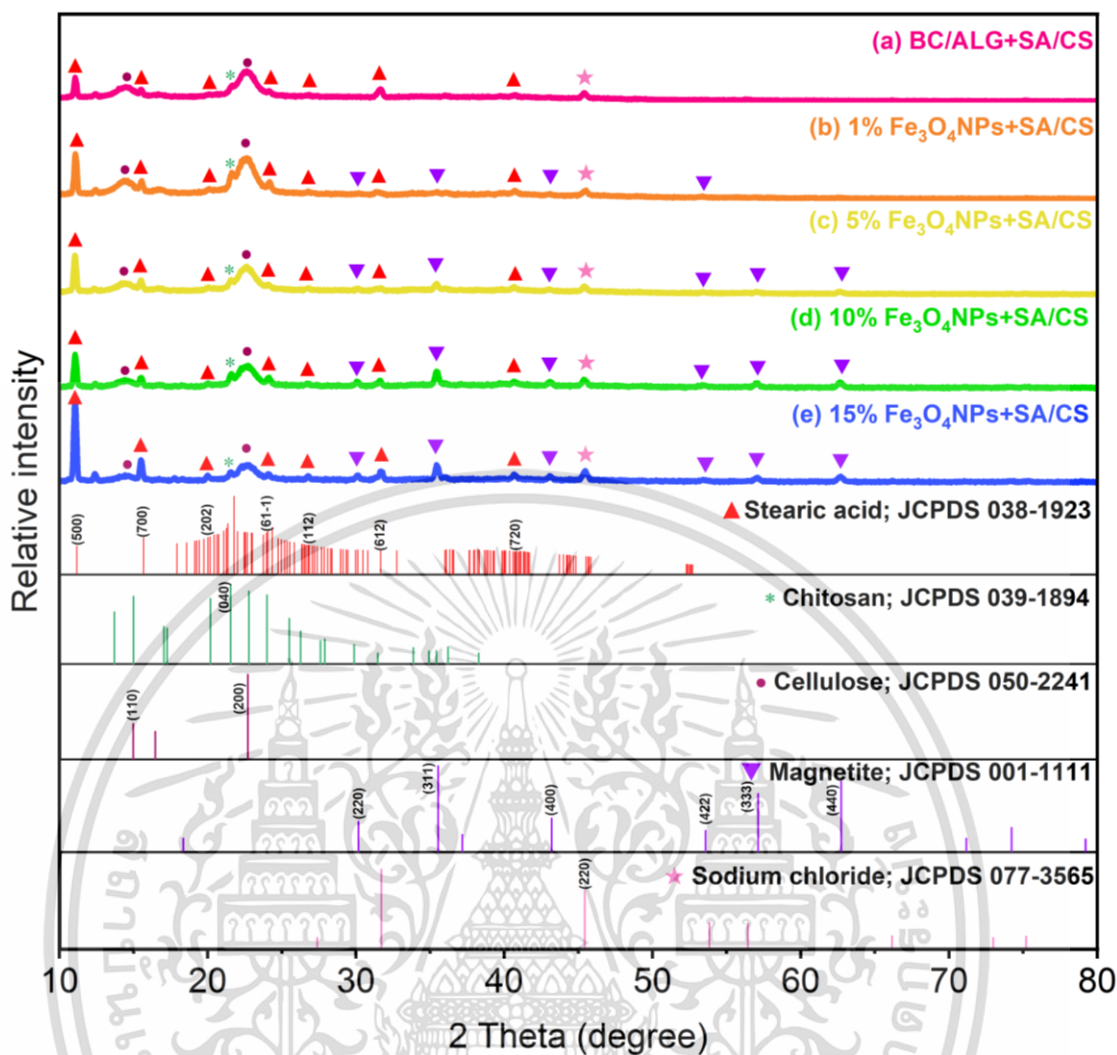
012-0056) เนื่องจากการที่ Ca^{2+} บางส่วนเป็นตัวเชื่อมขวางระหว่างแบคทีเรียเซลล์ูโลสและอัลจิเนต และอาจเป็นผลมาจากการเกิดผลึก CaCl_2 ที่มีอนุภาคขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ทั่วทั้งวัสดุปิดแผลจึงทำให้ไม่พบ CaCl_2

ส่วนวัสดุปิดแผลที่มีการหยดสารเคลือบกรดสเตียริก และโคโตซาน นอกจากพบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเซลล์ูโลสและเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนแล้ว ยังพบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ตรงกับไฟล์มาตรฐานของกรดสเตียริก (stearic acid; JCPDS 038-1923) ขึ้นที่ตำแหน่ง 2-Theta ที่ 11.09, 15.55, 19.90, 23.88, 26.42, 31.40 และ 40.63 และพบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ตรงกับไฟล์มาตรฐานของโคโตซาน ((2R,3R,4R,5S,6R)-3-amino-6-(hydroxymethyl) oxane-2,4,5-triol; JCPDS 039-1894) ที่ตำแหน่ง 2-Theta ที่ 21.55 แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG (b) 1% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ (c) 5% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ (d) 10% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ และ (e) 15% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

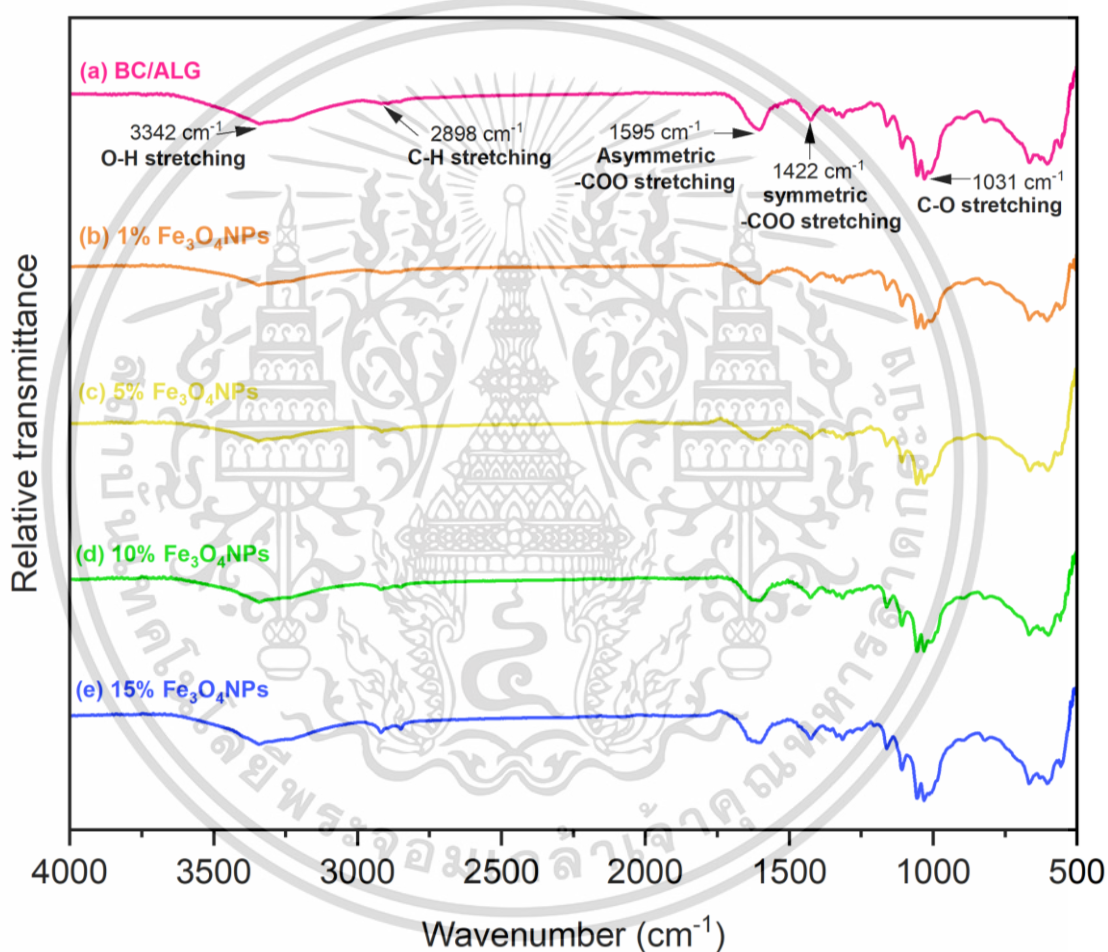


รูปที่ 4.3 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของวัสดุปิดแผลที่เคลือบด้วยสารเคลือบ SA/CS (a) BC/ALG+SA/CS (b) 1%Fe₃O₄NPs+SA/CS (c) 5%Fe₃O₄NPs+SA/CS (d) 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS และ (e) 15%Fe₃O₄NPs+SA/CS

4.1.3 การศึกษาโครงสร้างโมเลกุล

จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างโมเลกุลด้วยเทคนิค FT-IR ของวัสดุปิดแผล BC/ALG และวัสดุปิดแผล BC/ALG ที่ใส่เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 1, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ที่ไม่ได้ทำการหดยดสารเคลือบ SA/CS โดยทำการทดสอบด้วยโหมด ATR ที่เลขคลื่น 4000-500 cm⁻¹ ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.4 จะพบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผล BC/ALG และวัสดุปิดแผล BC/ALG ที่ใส่เหล็กออกไซด์อนุภาคนาโนที่ความเข้มข้นต่างกัน แสดงช่วงการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3342 cm⁻¹ ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดหด (stretching) ของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโมเลกุลของกลูโคส และพบช่วงการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งเลขคลื่น 2898 cm⁻¹ ไม่ว่าการนี้แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ยังพบการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1640 cm⁻¹ ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดหด (stretching) ของหมู่คาร์บอนิล (C=O) ในโมเลกุลของกรดอะมิโน

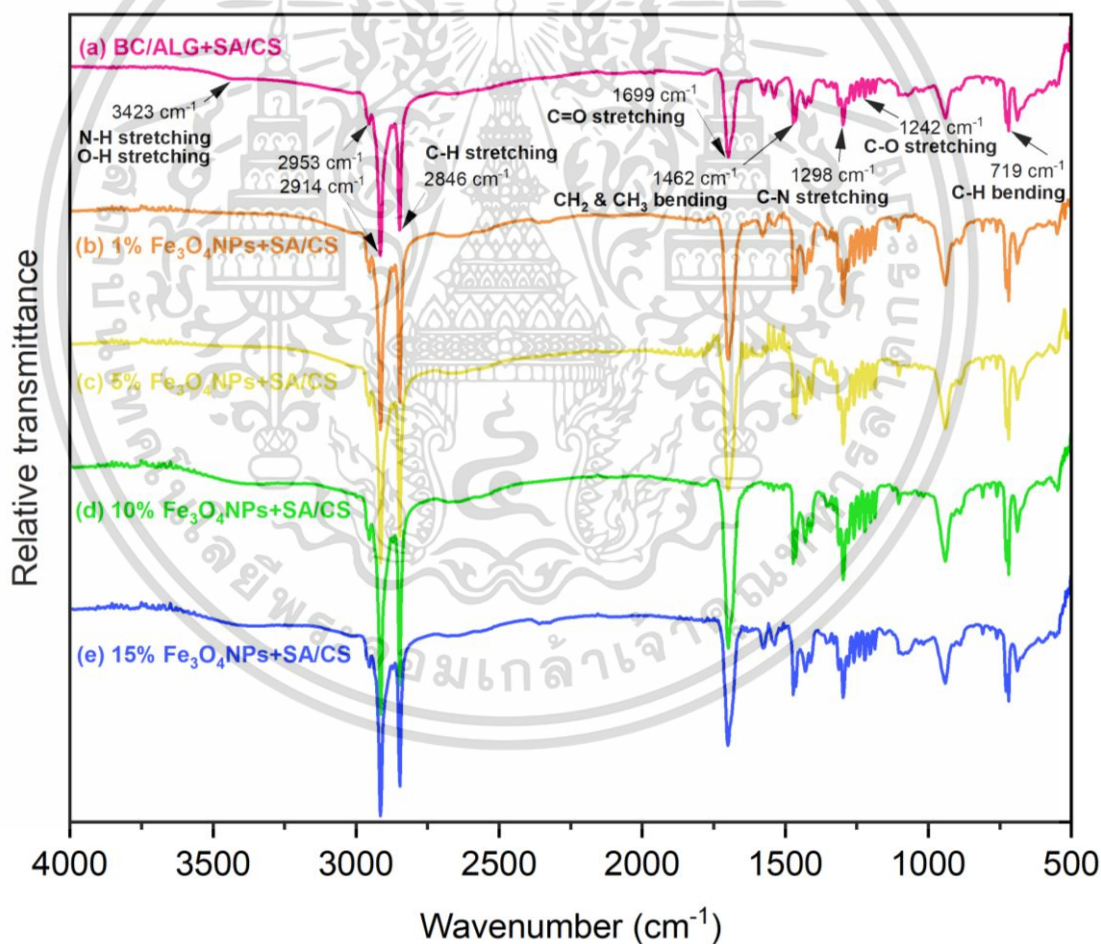
มีการสั่นแบบยืดหดของ C-H ช่วงการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1595 cm^{-1} มีการสั่นแบบอสมมาตร (asymmetric stretching) ของหมู่คาร์บอกซิล (COO^-) และที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1422 cm^{-1} มีการสั่นแบบสมมาตร (symmetric stretching) ของหมู่คาร์บอกซิล (COO^-) เช่นกัน และพบช่วงการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1031 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของพันธะ C-O ของแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจิเนต [57] และเนื่องจากข้อจำกัดของการทดสอบด้วยโหมด ATR ที่ช่วงเลขคลื่น $4000\text{--}500\text{ cm}^{-1}$ ทำให้ไม่พบช่วงการดูดกลืนแสงที่เกี่ยวข้องกับเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนูภาคนาโน ซึ่งโดยทั่วไปจะพบที่เลขคลื่น 459 cm^{-1} [58]



รูปที่ 4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG (b) 1% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ (c) 5% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ (d) 10% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ และ (e) 15% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่ทำการปรับปรุงสมบัติด้วยการหดยาสารเคลือบ SA/CS แสดงดังรูปที่ 4.5 โดยพบช่วงการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3423 cm^{-1} ของหมู่เอมีน (N-H) ที่อยู่ในไคโตซาน และการสั่นแบบยืดหดของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่มีอยู่ในไคโตซานและกรดสแตียริก โดยการมีกรดสแตียริกอยู่ในสารเคลือบจะพบช่วงการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งเลขคลื่น 2953 , 2914 และ 2846 cm^{-1} ของ C-H ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดหด พบช่วงการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1699 cm^{-1} ตรงกับการสั่นของหมู่คาร์บอนิล (C=O) พบช่วงการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1462 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (bending) ของหมู่ CH_3 และ CH_2 พบช่วงการดูดกลืนที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1298 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของพันธะ C-N พบช่วงการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1242 cm^{-1} ของพันธะ C-O แบบยืดหด และพบช่วงการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งเลขคลื่น 719 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอของ C-H [59,60]



รูปที่ 4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG+SA/CS (b) 1% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ +SA/CS

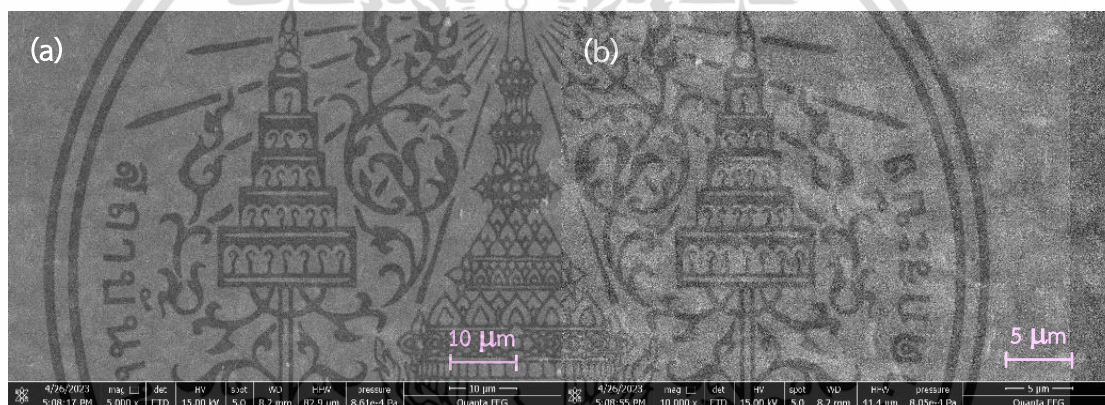
(c) 5% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ +SA/CS (d) 10% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ +SA/CS และ (e) 15% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ +SA/CS

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

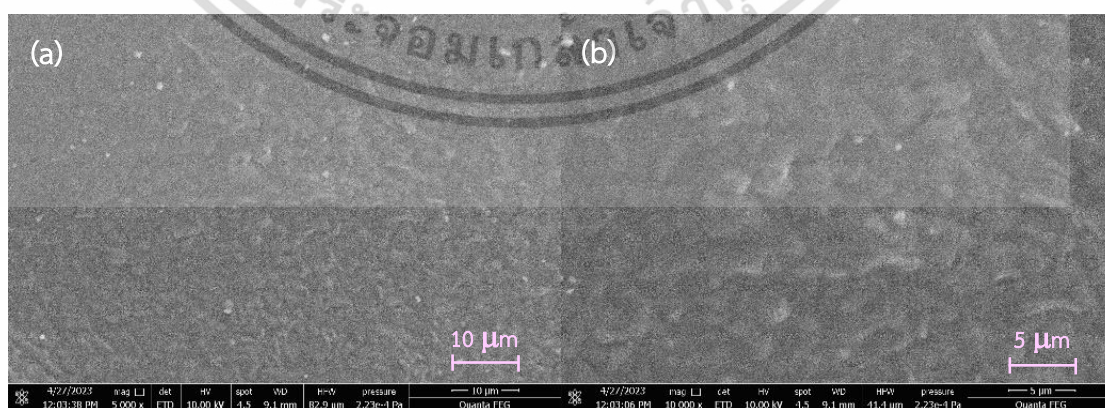
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาและธาตุองค์ประกอบ

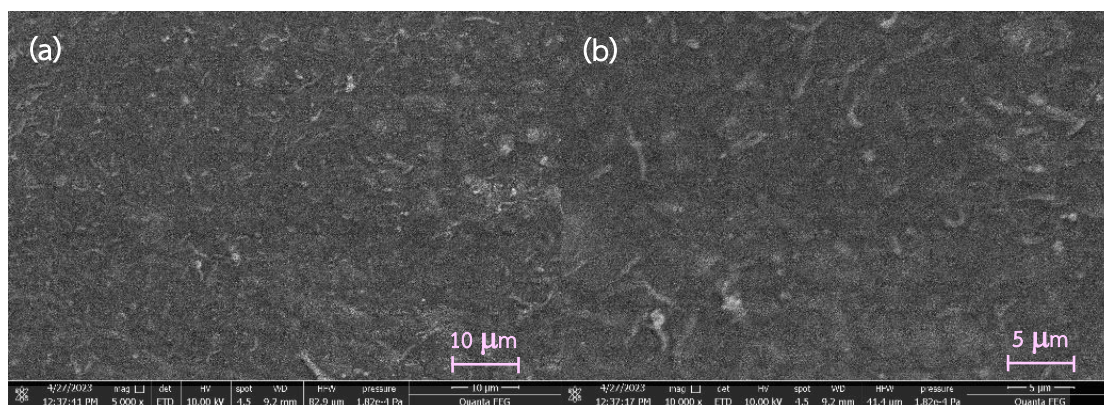
จากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) บริเวณพื้นผิวของวัสดุปิดแผล BC/ALG แสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่าบนพื้นผิวชิ้นงานมีลักษณะที่ค่อนข้างขรุขระและเมื่อถ่ายภาพที่กำลังขยายเพิ่มขึ้นจะเห็นเส้นใยของแบคทีเรียเซลลูโลสปรากฏบนพื้นผิวชิ้นงาน และจากภาพถ่าย FE-SEM ของวัสดุปิดแผลที่มีการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 1, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ลงไปในวัสดุปิดแผล BC/ALG แสดงดังรูปที่ 4.7, 4.8, 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ จะทำให้เห็นว่าเมื่อมีปริมาณของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้พื้นผิวของชิ้นงานวัสดุปิดแผลมีความขรุขระเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าวัสดุปิดแผล 15%Fe₃O₄NPs มีเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนเกาะกลุ่ม และแยกตัวอยู่ด้านบนของชิ้นงานมากที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เป็นผลจากการที่เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนมีปริมาณที่สูง จึงไม่สามารถกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคของ BC/ALG ได้จึงเกิดการเกาะกลุ่มและแยกตัวอยู่บนพื้นผิวด้านนอก



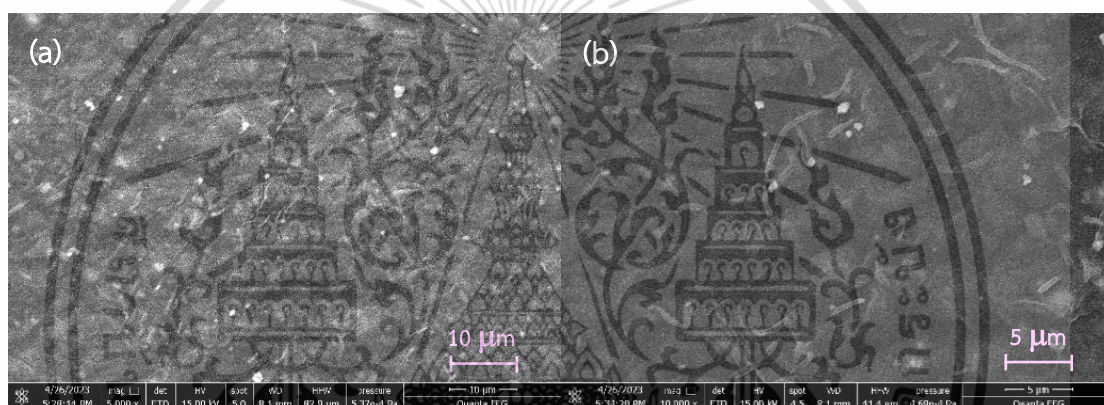
รูปที่ 4.6 ภาพถ่าย FE-SEM ของวัสดุปิดแผล BC/ALG บริเวณพื้นผิว (a) กำลังขยาย 5000 เท่า และ (b) กำลังขยาย 10000 เท่า



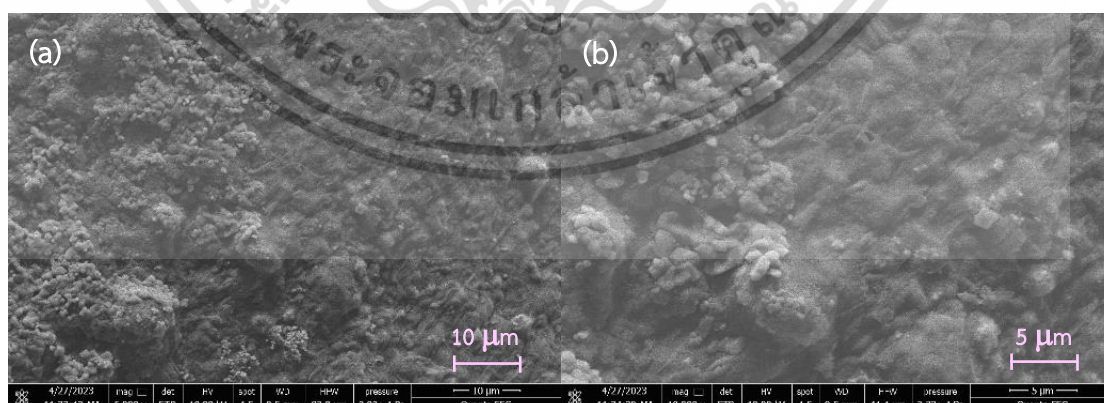
เอกสารนี้รูปที่ 4.7 ภาพถ่าย FE-SEM ของวัสดุปิดแผล 1%Fe₃O₄NPs บริเวณพื้นผิว (a) กำลังขยาย 5000 เท่า ไม่ว่ากและ (b) กำลังขยาย 10000 เท่า เพลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ภาพถ่าย FE-SEM ของวัสดุปิดแผล 5%Fe₃O₄NPs บริเวณพื้นผิว (a) กำลังขยาย 5000 เท่า และ (b) กำลังขยาย 10000 เท่า

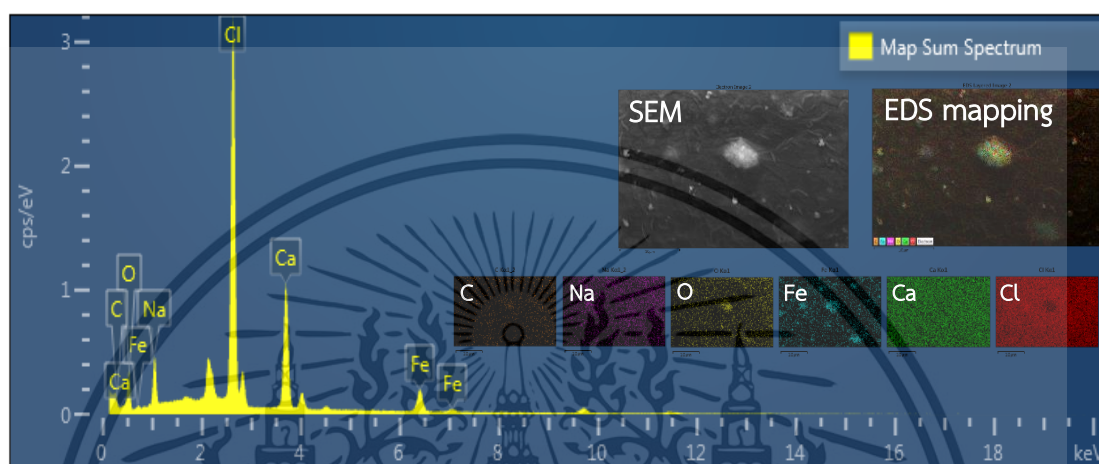


รูปที่ 4.9 ภาพถ่าย FE-SEM ของวัสดุปิดแผล 10%Fe₃O₄NPs บริเวณพื้นผิว (a) กำลังขยาย 5000 เท่า และ (b) กำลังขยาย 10000 เท่า



รูปที่ 4.10 ภาพถ่าย FE-SEM ของวัสดุปิดแผล 15%Fe₃O₄NPs บริเวณพื้นผิว (a) กำลังขยาย 5000 เท่า และ (b) กำลังขยาย 10000 เท่า เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิค EDS แสดงดังรูปที่ 4.11 พบว่าในสเปกตรัมของวัสดุปิดแผล 10%Fe₃O₄NPs ที่บริเวณพื้นผิว จะพบองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน (C) โซเดียม (Na) ออกซิเจน (O) แคลเซียม (Ca) คลอรีน (Cl) และเหล็ก (Fe) และจากภาพการกระจายตัวของธาตุ พบว่า Fe กระจายตัวโดยทั่วทั้งชิ้นงาน และในบางส่วนที่มีการเกาะกลุ่มรวมกันเป็นก้อนอยู่บนพื้นผิวอย่างชัดเจน และมีบางส่วนที่อยู่ใต้พื้นผิวเห็นเป็นลักษณะพื้นผิวที่นูนออกมา

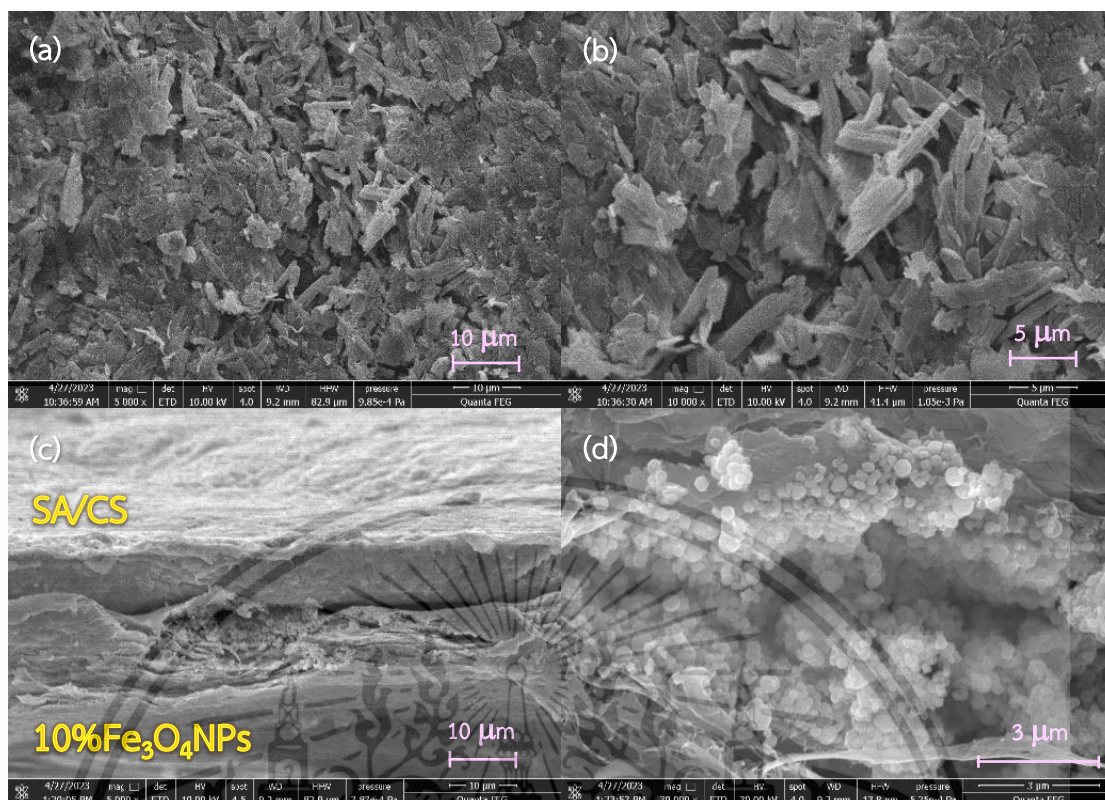


รูปที่ 4.11 EDS สเปกตรัมและแผนภาพการกระจายตัวของวัสดุปิดแผล 10%Fe₃O₄NPs ที่บริเวณพื้นผิว

ภาพถ่าย FE-SEM ของวัสดุปิดแผลที่มีการหดยาสารเคลือบกรดสเตียริกและโคโตซานบนพื้นผิววัสดุปิดแผล 10%Fe₃O₄NPs แสดงดังรูปที่ 4.12 (a,b) พบว่าในบริเวณที่มีการหดยาสารเคลือบจะเห็นลักษณะผิวของพื้นผิวที่มีความขรุขระของกรดสเตียริกที่มีลักษณะเป็นแผ่นซ้อนกัน [61] ซึ่งปะปนอยู่กับโคโตซานที่มีลักษณะรูปร่างไม่แน่นอนบนพื้นผิววัสดุปิดแผล [62]

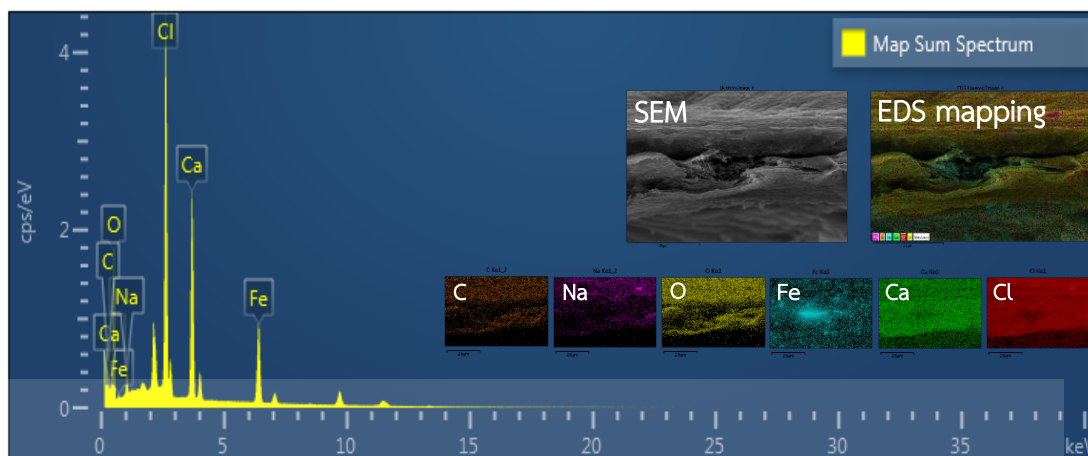
และเมื่อศึกษาบริเวณภาพตัดขวางใกล้พื้นผิวของวัสดุปิดแผล 10%Fe₃O₄NPs ที่ทำการหดยาสารเคลือบ SA/CS แสดงดังรูปที่ 4.12 (c) จะเห็นว่ามีชั้นเคลือบ SA/CS เคลือบอยู่บนวัสดุปิดแผล โดยมีความหนาเฉลี่ยของชั้นเคลือบ 8.6 ไมโครเมตร และภายในเนื้อชิ้นงานวัสดุปิดแผลจะพบเหล็ก (II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนมีการกระจุกตัวอยู่บางบริเวณในชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 4.12 (d) โดยเหล็ก (II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนมีขนาดเฉลี่ย 326.2 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ภาพถ่าย FE-SEM ของวัสดุปิดแผล 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS (a) บริเวณพื้นผิวสารเคลือบที่กำลังขยาย 5000 เท่า (b) บริเวณพื้นผิวสารเคลือบที่กำลังขยาย 10000 เท่า (c) ภาพตัดขวางบริเวณรอยต่อระหว่างสารเคลือบและวัสดุปิดแผลที่กำลังขยาย 5000 เท่า และ (d) ภาพตัดขวางบริเวณรอยต่อระหว่างสารเคลือบและวัสดุปิดแผลที่กำลังขยาย 30000 เท่า

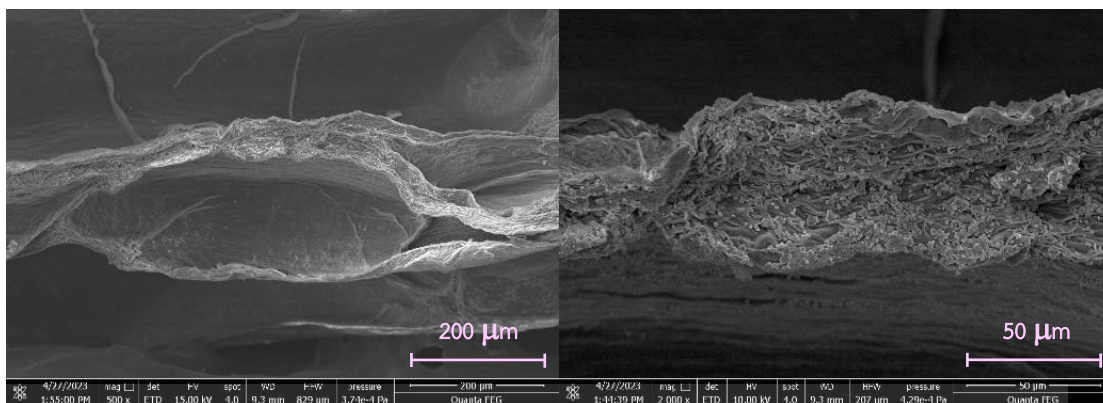
ใน EDS สเปกตรัมของวัสดุปิดแผล 10%Fe₃O₄NPs ที่ทำการหดยดสารเคลือบ SA/CS บริเวณภาพตัดขวางใกล้พื้นผิว จะพบองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน (C) โซเดียม (Na) ออกซิเจน (O) แคลเซียม (Ca) คลอรีน (Cl) และเหล็ก (Fe) และจากภาพการกระจายตัวของธาตุ พบว่าในบริเวณภาพตัดขวางใกล้พื้นผิวมี Fe กระจายตัวชัดเจนมากขึ้น แต่ยังมีเกาะกลุ่มเป็นก้อนในบางบริเวณ เช่นเดียวกับวัสดุปิดแผล 10%Fe₃O₄NPs ส่วนธาตุอื่น ๆ มีการกระจายตัวโดยทั่วทั้งชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 4.13



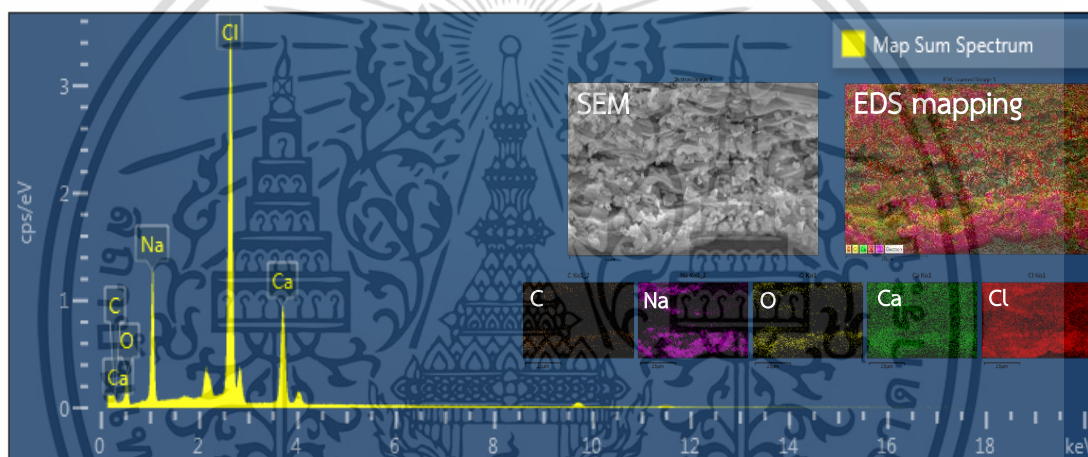
รูปที่ 4.13 EDS สเปกตรัมและแผนภาพการกระจายตัวของวัสดุปิดแผล 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS บริเวณรอยต่อระหว่างสารเคลือบและวัสดุปิดแผล

จากภาพถ่าย FE-SEM บริเวณภาพตัดขวางของ BC/ALG แสดงดังรูปที่ 4.14 จะพบว่าภายในชั้นงานมีลักษณะเป็นชั้นซ้อนกันและมีรูพรุนที่ค่อนข้างใหญ่ ภายในชั้นที่ซ้อนกันเมื่อเพิ่มกำลังขยายจาก 500 เท่าเป็น 2000 เท่าจะเห็นว่ามีส่วนของแข็งกระจายตัวอยู่ในชั้นงานค่อนข้างมาก ซึ่งจากการศึกษาองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค EDS เพื่อหาปริมาณธาตุองค์ประกอบและดูการกระจายตัวของธาตุ แสดงดังรูปที่ 4.15 พบว่าในสเปกตรัมของวัสดุปิดแผล BC/ALG บริเวณภาพตัดขวาง จะพบองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน (C) โซเดียม (Na) และออกซิเจน (O) ซึ่งเป็นธาตุหลักที่อยู่ในแบคทีเรียเซลล์ูโลสและอัลจิเนต นอกจากนี้ยังพบฟลักของแคลเซียม (Ca) และคลอรีน (Cl) ปรากฏขึ้นด้วยเนื่องจากใช้แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) เป็นสารทำให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างแบคทีเรียเซลล์ูโลสและอัลจิเนต แต่กำจัดออกได้ไม่หมดจึงพบฟลักที่มีความเข้มข้นสูง และจากภาพการกระจายตัวของธาตุจะพบธาตุ Ca และ Cl มีปริมาณมากและกระจายโดยทั่วชั้นงานวัสดุปิดแผล และพบผลึกของแข็งโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง Na จากโซเดียมอัลจิเนต และ Cl จากแคลเซียมคลอไรด์ ที่ใช้เป็นสารเชื่อมขวาง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาด้วยเทคนิค XRD ที่พบวัฏภาคของ NaCl ในองค์ประกอบของวัสดุปิดแผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



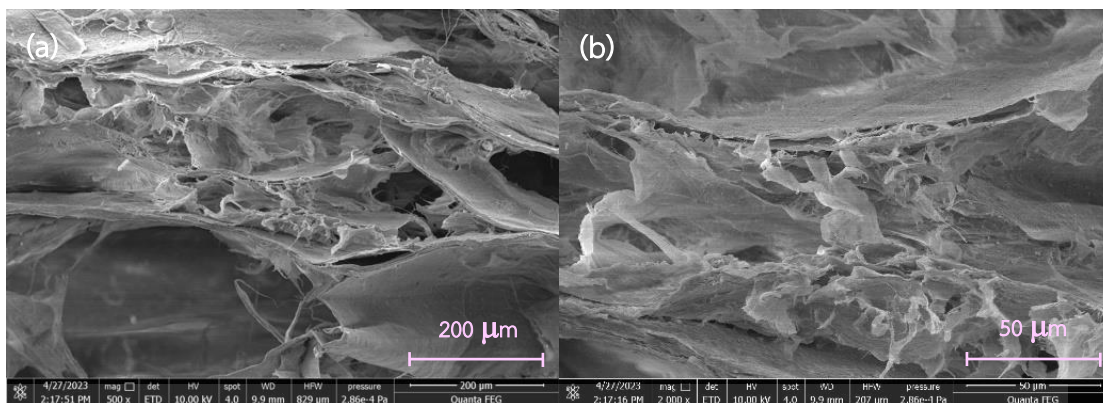
รูปที่ 4.14 ภาพถ่าย FE-SEM ของวัสดุปิดแผล BC/ALG บริเวณภาพตัดขวาง (a) กำลังขยาย 500 เท่า (b) กำลังขยาย 2000 เท่า



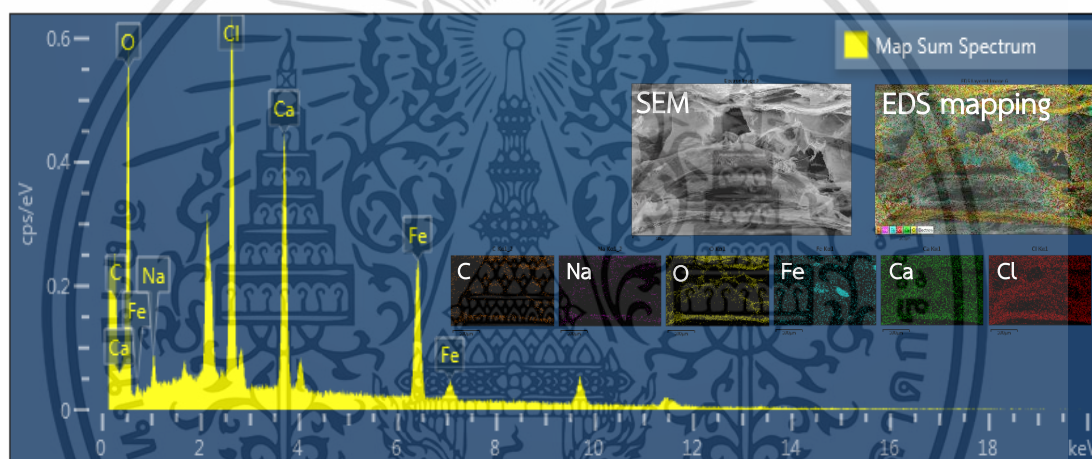
รูปที่ 4.15 EDS สเปกตรัมและแผนภาพการกระจายตัวของวัสดุปิดแผล BC/ALG บริเวณภาพตัดขวางก่อนเคลือบ SA/CS

ภาพถ่าย FE-SEM บริเวณภาพตัดขวาง 10%Fe₃O₄NPs แสดงดังรูปที่ 4.16 พบว่าเมื่อทำการใส่เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนลงไปจะทำให้รูพรุนภายในวัสดุปิดแผลเพิ่มมากขึ้นโดยรูพรุนที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็ก และลักษณะของรูพรุนมีความไม่สม่ำเสมอ จากการศึกษาองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค EDS แสดงดังรูปที่ 4.17 พบว่าในสเปกตรัมของวัสดุปิดแผล 10%Fe₃O₄NPs บริเวณภาพตัดขวาง จะพบองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน (C) โซเดียม (Na) ออกซิเจน (O) แคลเซียม (Ca) และคลอรีน (Cl) นอกจากนี้จะพบฟีกของเหล็ก (Fe) เพิ่มเติม เนื่องจากการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนลงในวัสดุปิดแผล ซึ่งจากภาพการกระจายตัวของธาตุ พบว่า Fe มีการเกาะกลุ่มเป็นก้อนในบางบริเวณ ส่วนธาตุอื่น ๆ จะกระจายตัวอยู่โดยทั่วทั้งชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ภาพถ่าย FE-SEM ของวัสดุปิดแผล 10%Fe₃O₄NPs บริเวณภาพตัดขวาง (a) กำลังขยาย 500 เท่า (b) กำลังขยาย 2000 เท่า



รูปที่ 4.17 EDS สเปกตรัมและแผนภาพการกระจายตัวของวัสดุปิดแผล 10%Fe₃O₄NPs บริเวณภาพตัดขวาง

จากแผนภาพการกระจายตัวของวัสดุปิดแผล 10%Fe₃O₄NPs บริเวณพื้นผิวและวัสดุปิดแผล BC/ALG, 10%Fe₃O₄NPs และ 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS บริเวณภาพตัดขวาง พบว่ามีการกระจายตัวของธาตุองค์ประกอบในปริมาณที่ต่างกัน เนื่องจากทำการวิเคราะห์วัสดุปิดแผลในบริเวณที่ต่างกัน และเหล็กมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งในบางบริเวณเกิดการรวมตัวกันทำให้มีองค์ประกอบของเหล็กในปริมาณที่ต่างกัน โดยปริมาณร้อยละธาตุองค์ประกอบของวัสดุปิดแผล 10%Fe₃O₄NPs บริเวณพื้นผิวแสดงดังตารางที่ 4.2 และปริมาณร้อยละธาตุองค์ประกอบของวัสดุปิดแผล BC/ALG, 10%Fe₃O₄NPs และ 10%Fe₃O₄NPs ที่ทำการหดยาสารเคลือบ SA/CS บริเวณภาพตัดขวางแสดงดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของวัสดุปิดแผลบริเวณพื้นผิว

ตัวอย่าง	ธาตุองค์ประกอบ (%wt)					
	C	Na	O	Fe	Ca	Cl
10%Fe ₃ O ₄ NPs	10.80	6.50	23.63	7.98	17.32	33.78

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของวัสดุปิดแผลบริเวณภาพตัดขวาง

ตัวอย่าง	ธาตุองค์ประกอบ (%wt)					
	C	Na	O	Fe	Ca	Cl
BC/ALG	7.82	16.24	22.01	-	15.69	38.24
10%Fe ₃ O ₄ NPs	13.60	1.78	43.51	17.94	11.49	11.68
10%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	13.65	2.96	51.49	8.07	9.97	13.85

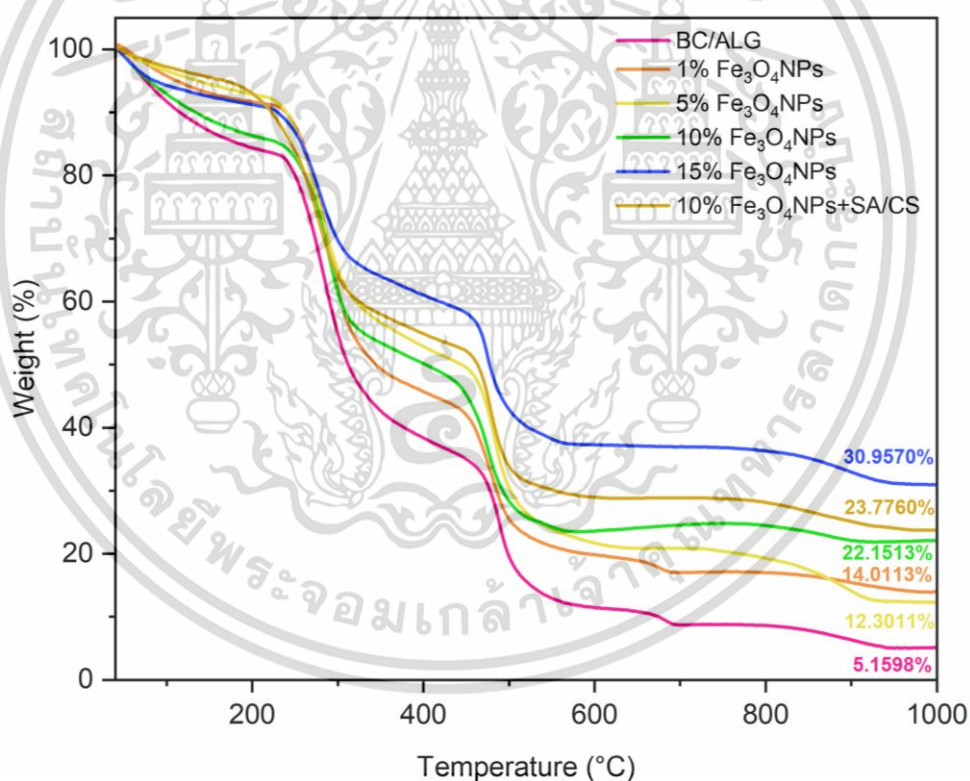
4.1.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุปิดแผลที่อุณหภูมิ 40-1000 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน 10°C/min ภายใต้บรรยากาศแก๊สออกซิเจน แสดงดังรูปที่ 4.18 พบว่าวัสดุปิดแผล BC/ALG และ 1%Fe₃O₄NPs มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเนื่องจากความร้อนอยู่ 5 ช่วง คือ ในช่วงเริ่มต้นจากอุณหภูมิ 40-240 องศาเซลเซียส เนื่องจากการระเหยของความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุปิดแผล และช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิ 240-330 องศาเซลเซียส เนื่องจากการพันธะไกลโคซิดิกของอัลจินตเกิดการสลายตัว และช่วงที่ 3 ที่อุณหภูมิ 330-600 องศาเซลเซียส เนื่องจากการพันธะไกลโคซิดิกของแบคทีเรียเซลลูโลสเกิดการสลายตัว [63] และช่วงที่ 4 ที่อุณหภูมิ 600-700 องศาเซลเซียส เนื่องจากการระเหิดของโซเดียมคลอไรด์ที่อยู่ในวัสดุปิดแผล [64] และในช่วงที่ 5 ที่อุณหภูมิ 700-1000 องศาเซลเซียส เนื่องจากอาจเกิดการรวมตัวกันของสารประกอบแคลเซียมที่อยู่ในวัสดุปิดแผลกับออกซิเจนได้เป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) ซึ่งมีลักษณะเป็นสีขาว ส่วนในวัสดุปิดแผล 5%Fe₃O₄NPs, 10%Fe₃O₄NPs, 15%Fe₃O₄NPs และ 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเนื่องจากความร้อนอยู่ 4 ช่วง ซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในช่วงที่ 4 ของวัสดุปิดแผล BC/ALG และ 1%Fe₃O₄NPs โดยพบว่าหลังการทดสอบที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส วัสดุปิดแผล BC/ALG เหลือเศษสีขาวของ CaO หรือ Ca(OH)₂ อยู่ที่ก้นภาชนะทดสอบ โดยมีน้ำหนักสุดท้ายหลังจากการให้ความร้อนอยู่ที่ร้อยละ 5.16 ส่วนวัสดุปิดแผลที่เติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน สามารถเรียงลำดับร้อยละน้ำหนักสุดท้ายหลังจากการให้ความร้อนจากน้อยไปมากได้ดังนี้

เอกสารนี้ 5%Fe₃O₄NPs < 1%Fe₃O₄NPs < 10%Fe₃O₄NPs < 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS < 15%Fe₃O₄NPs

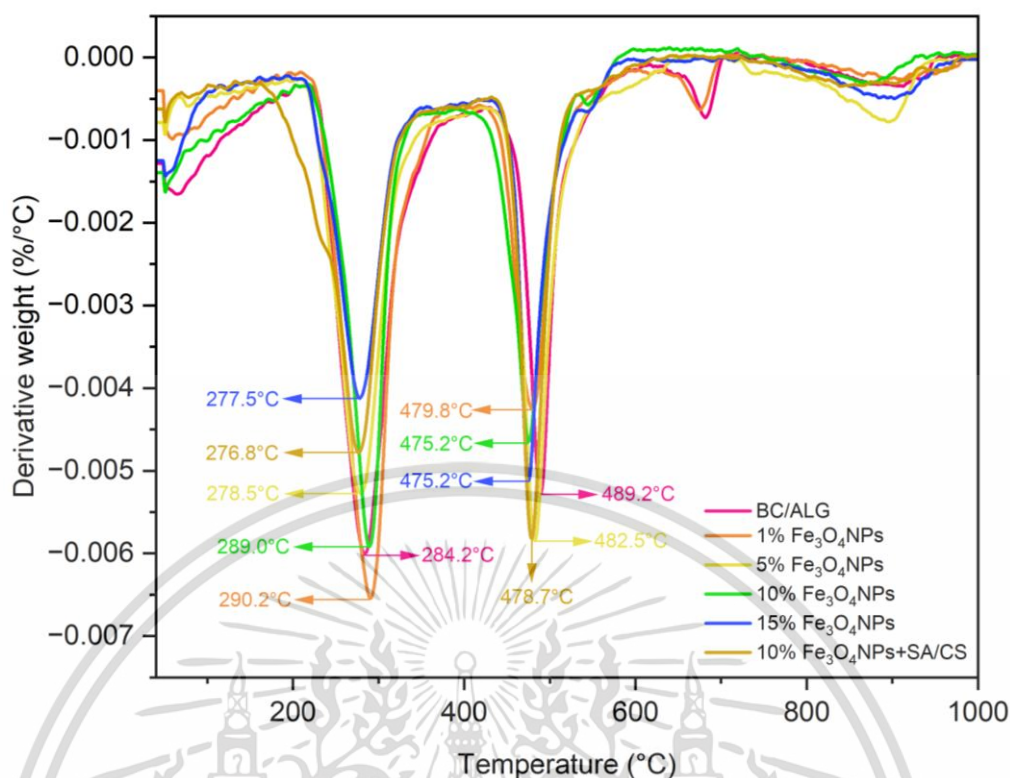
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และพบเศษที่เหลือหลังจากการให้ความร้อนที่ 1000 องศาเซลเซียส ของ CaO หรือ Ca(OH)_2 รวมอยู่ กับเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน ซึ่งน้ำหนักสุดท้ายหลังจากการให้ความร้อนอยู่ที่ร้อยละ 12.30, 14.01, 22.14, 23.78 และ 30.96 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นจะเห็นได้ว่าวัสดุปิดแผลที่มีการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์ อนุภาคนาโนในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นจะมีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากความร้อนในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ ที่น้อยลง เนื่องจากการมีปริมาณของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความเสถียร ต่ความร้อนที่เพิ่มขึ้น โดยจุดหลอมเหลวของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน มีค่าเท่ากับ 1597 องศาเซลเซียส [65] และจาก DTG thermogram พบว่าเมื่อเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนใน ปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิการสลายตัวมีแนวโน้มที่ลดต่ำลง เนื่องจาก $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ มีความสามารถ ในการนำความร้อนที่สูง ดังนั้นแบคทีเรียเซลล์และอัลจินเตจึงรับความร้อนได้มากขึ้นทำให้เกิดการ สลายตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำลงเมื่อมี $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ ในองค์ประกอบที่เพิ่มมากขึ้น [66]



รูปที่ 4.18 TGA thermogram ภายใต้บรรยากาศออกซิเจนของวัสดุปิดแผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 DTG thermogram ภายใต้บรรยากาศออกซิเจนของวัสดุปิดแผล

4.2 การทดสอบสมบัติของวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และ เกล็ด(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน

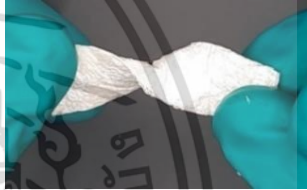
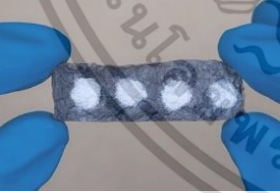
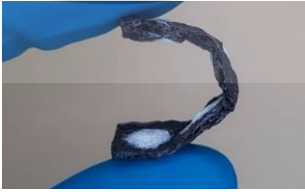
4.2.1 การศึกษาสมบัติทางกล

ผลการทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุปิดแผล BC/ALG และวัสดุปิดแผล BC/ALG ที่เติมเกล็ด (II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนในปริมาณที่แตกต่างกัน ที่มีการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำโดยทำการหยดเคลือบด้วยสารเคลือบ SA/CS แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าวัสดุปิดแผล BC/ALG+SA/CS, 1%Fe₃O₄NPs+SA/CS, 5%Fe₃O₄NPs+SA/CS และ 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS แสดงสมบัติทางกลที่ดี สามารถทนต่อการโค้งงอและการบิดได้ ส่วนวัสดุปิดแผล 15%Fe₃O₄NPs+SA/CS สามารถทนต่อการโค้งงอ แต่ไม่ทนต่อการบิด ซึ่งการที่วัสดุปิดแผลมีสมบัติทางกลที่ดีเป็นผลมาจากการนำสารละลาย อัลจิเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรผสมในแบคทีเรียเซลลูโลส ทำให้โมเลกุลของแบคทีเรียเซลลูโลสเกิดการเชื่อมขวางกับโมเลกุลของอัลจิเนตด้วยแคลเซียมไอออน (Ca²⁺) ทำให้วัสดุปิดแผลมีความยืดหยุ่นและแข็งแรงขึ้น [67] ดังที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 ในหัวข้อ 2.5.2 การ

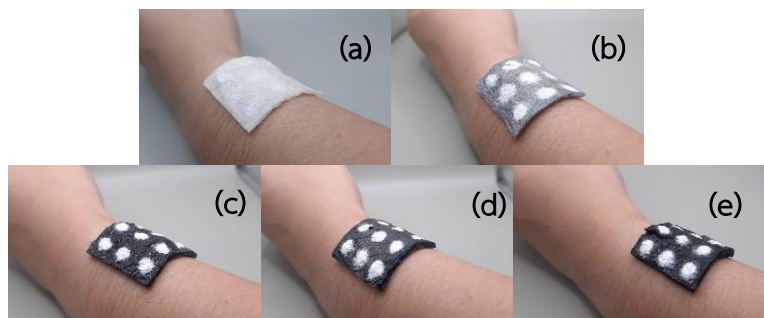
เตรียมวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเกล็ด(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน และเมื่อทำการเติมเกล็ด(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนลงในวัสดุปิดแผลร้อยละ 1, 5 และ 10 ยังคงทำให้วัสดุปิดแผล

มีสมบัติทางกลที่ดี โดยเมื่อเพิ่มปริมาณ $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ ไปจนถึงร้อยละ 15 พบว่าวัสดุปิดแผลมีความแข็งแรงมากขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุปิดแผล BC/ALG+SA/CS ซึ่งเป็นผลจากการมีปริมาณเหล็ก(II,III) ออกไซด์ อนุภาคนาโนมากเกินไปจึงไม่สามารถอยู่ในวัฏภาคแบคทีเรียเซลล์และอัลจินเตได้ จึงเกิดการหลุดออกมาอยู่บนพื้นผิว อีกทั้งเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนยังมีผลในการเข้าไปขัดขวางการเชื่อมขวางกันของพันธะระหว่างแบคทีเรียและอัลจินเตจึงทำให้สมบัติทางกลลดลง และจากการทดสอบการโค้งงอตามผิวหนังแสดงดังรูปที่ 4.20 พบว่าวัสดุปิดแผลBC/ALG+SA/CS, 1% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ +SA/CS, 5% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ +SA/CS และ 10% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ +SA/CS มีความแข็งแรงขณะใช้งาน สามารถโค้งงอตามผิวหนังได้ ส่วนวัสดุปิดแผล 15% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ เกิดการแตกเมื่อโค้งงอไปตามผิวหนัง

ตารางที่ 4.4 การทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุปิดแผลด้วยการโค้งงอและการบิด

ตัวอย่าง	การโค้งงอ	การบิด
 BC/ALG+SA/CS		
 1% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ +SA/CS		
 5% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ +SA/CS		
 10% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ +SA/CS		
 15% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ +SA/CS		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดหรือข้อสงสัย กรุณาแจ้งให้ทราบและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีอ้างอิง

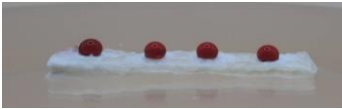
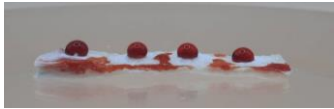
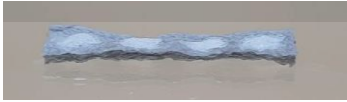
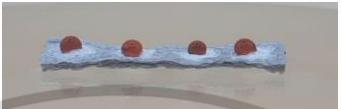


รูปที่ 4.20 ลักษณะทางกายภาพความยืดหยุ่นของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG+SA/CS (b) 1%Fe₃O₄NPs+SA/CS (c) 5%Fe₃O₄NPs+SA/CS (d) 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS และ (e) 15%Fe₃O₄NPs+SA/CS

4.2.2 การศึกษาการดูดซับน้ำ

ผลจากการทดสอบการดูดซับน้ำของวัสดุปิดแผล BC/ALG+SA/CS, 1%Fe₃O₄NPs+SA/CS, 5%Fe₃O₄NPs+SA/CS, 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS และ 15%Fe₃O₄NPs+SA/CS แสดงดังตารางที่ 4.5 โดยหยดน้ำที่ใช้หยดจะทำการผสมสีย้อมคองโกเรด (Congo red) ลงในน้ำเพื่อให้สังเกตเห็นได้ชัดเจนมากขึ้น เมื่อทำการหยดหยดน้ำลงไปบนวัสดุปิดแผลทั้ง 5 ตัวอย่างในบริเวณที่มีสารเคลือบ SA/CS พบว่าหยดน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้และหยดน้ำมีลักษณะเป็นทรงกลมซึ่งแสดงถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำ ผลที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการที่สารเคลือบที่มีส่วนผสมของกรดสเตียริกที่เป็นสารลดแรงตึงผิว และการทำปฏิกิริยาระหว่างไคโตซานและกรดสเตียริกซึ่งส่งผลให้บริเวณพื้นผิวของสารเคลือบประกอบไปด้วยปลายสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของกรดสเตียริกที่ไม่มีขั้วซึ่งแสดงสมบัติความไม่ชอบน้ำ และเมื่อทำการหยดหยดน้ำในบริเวณที่ไม่มีสารเคลือบ พบว่าหยดน้ำมีการซึมลงในวัสดุปิดแผลทั้ง 5 ตัวอย่างเนื่องจากการวัสดุปิดแผลมีความเป็นรูพรุนสูงและการเติมสารละลายอัลจินेटซึ่งมีความสามารถในการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำทำให้แสดงสมบัติความชอบน้ำ [67] โดยพบว่าการดูดซับน้ำของวัสดุปิดแผลที่มีการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนลดลง เนื่องจากเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนเกาะกลุ่มรวมกันเป็นก้อนแทรกตัวอยู่ในรูพรุน ทำให้ขนาดของรูพรุนเล็กลง ส่งผลให้ดูดซับน้ำได้น้อยกว่าวัสดุปิดแผล BC/ALG

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของวัสดุปิดแผล

ตัวอย่าง	บริเวณที่หยดสารเคลือบ	บริเวณที่ไม่มีสารเคลือบ
 BC/ALG+SA/CS		
 1%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS		
 5%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS		
 10%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS		
 15%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS		

4.2.3 การศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำ

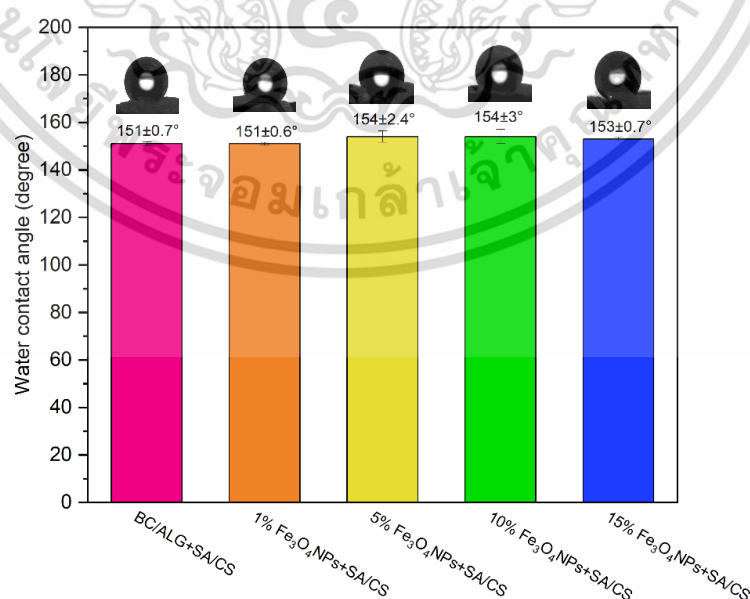
จากการศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำของวัสดุปิดแผลที่ไม่มีการหยดสารเคลือบกรดสเตียริกและไคโตซาน โดยการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำ พบว่าชิ้นงานแต่ละตัวอย่างเมื่อหยดน้ำลงบนพื้นผิวที่ไม่ได้ถูกเคลือบ น้ำจะแผ่และซึมไปบนชิ้นงาน ทำให้ค่ามุมสัมผัสน้ำเป็น 0 องศา โดยพบว่าวัสดุปิดแผล BC/ALG สามารถดูดซับน้ำได้เร็วกว่าวัสดุปิดแผลที่เติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน เนื่องจากวัสดุปิดแผล BC/ALG มีรูพรุนและมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มาก ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลมีความชอบน้ำ จึงทำให้ดูดซับน้ำได้ดี [68] ส่วนวัสดุปิดแผลที่มีการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนลงไป เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนจะเข้าไปเกาะที่เส้นใยแบคทีเรียเซลลูโลส ในบางส่วนอาจเกาะกลุ่มรวมกันเป็นก้อนแทรกตัวอยู่ในรูพรุน ทำให้ขนาดของรูพรุนเล็กลงและไม่แน่นอน ส่งผลให้ดูดซับน้ำได้น้อยกว่าวัสดุปิดแผล BC/ALG [69]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาวัสดุปิดแผลที่มีการหดยสารเคลือบกรดสเตียริกและไคโตซาน เมื่อหยดน้ำไปบนชั้นเคลือบของวัสดุปิดแผล จะพบว่าวัสดุปิดแผลแต่ละตัวอย่างมีค่ามุมสัมผัสน้ำมากกว่า 150 องศา ซึ่งแสดงถึงความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobic) โดยค่ามุมสัมผัสน้ำที่วัดได้ของวัสดุปิดแผลแสดงดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.21 โดยพื้นผิวชั้นเคลือบของวัสดุปิดแผล BC/ALG มีค่ามุมสัมผัสน้ำอยู่ที่ 151 ± 0.7 องศา $1\% \text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}+\text{SA}/\text{CS}$ อยู่ที่ 151 ± 0.6 องศา $5\% \text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}+\text{SA}/\text{CS}$ อยู่ที่ 154 ± 2.4 องศา $10\% \text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}+\text{SA}/\text{CS}$ อยู่ที่ 154 ± 3.0 องศา และ $15\% \text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}+\text{SA}/\text{CS}$ อยู่ที่ 153 ± 0.7 องศา จะเห็นได้ว่าสารเคลือบที่เคลือบไปบนวัสดุปิดแผลแต่ละตัวอย่างมีค่ามุมสัมผัสน้ำที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากสารเคลือบที่เคลือบไปบนพื้นผิวเป็นสารเคลือบที่มีองค์ประกอบของกรดสเตียริกและไคโตซานในอัตราส่วนเดียวกัน คือ 20:4 และความขรุขระของพื้นผิววัสดุปิดแผลที่แตกต่างกันจากการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน ไม่ส่งผลที่ชัดเจนต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำของชั้นเคลือบ

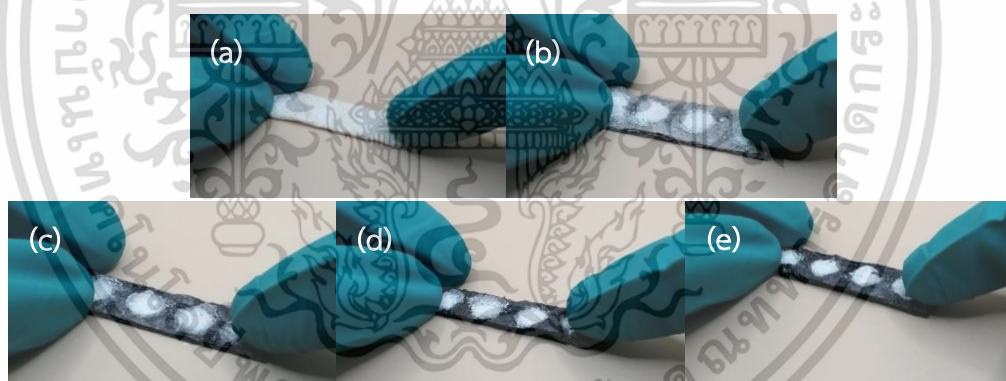
ตารางที่ 4.6 ค่ามุมสัมผัสน้ำบนวัสดุปิดแผลที่หดยสารเคลือบ SA/CS

ตัวอย่าง	ค่ามุมสัมผัสน้ำ $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (องศา)
BC/ALG+SA/CS	151 ± 0.7
$1\% \text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}+\text{SA}/\text{CS}$	151 ± 0.6
$5\% \text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}+\text{SA}/\text{CS}$	154 ± 2.4
$10\% \text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}+\text{SA}/\text{CS}$	154 ± 3.0
$15\% \text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}+\text{SA}/\text{CS}$	153 ± 0.7

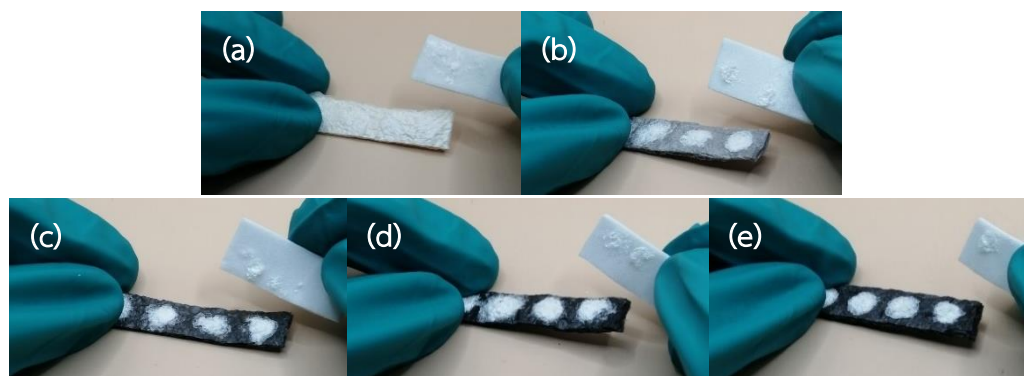


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.21 ค่ามุมสัมผัสน้ำของวัสดุปิดแผลที่เคลือบด้วยสารเคลือบ SA/CS
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผู้จัดทำไม่รับผิดชอบต่อผลเสียใดๆ และต้องยอมรับความเสี่ยงของการนำข้อมูลไปใช้

ในการทดสอบการยึดติดของสารเคลือบกับชิ้นงานวัสดุปิดแผล ทำโดยการขัดถูชั้นสารเคลือบด้วยนิ้วมือ แสดงดังรูปที่ 4.22 และทดสอบโดยการลอกด้วยเทป แสดงดังรูปที่ 4.23 จากนั้นนำชิ้นงานแต่ละตัวอย่างไปวัดค่ามุมสัมผัสผิวน้ำ โดยจากการขัดถูด้วยนิ้วมือ พบว่าชั้นสารเคลือบมีค่ามุมสัมผัสผิวน้ำลดลงอยู่ในช่วง 130-132 องศา แสดงดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.24 โดยวัสดุปิดแผล BC/ALG+SA/CS สามารถวัดค่ามุมสัมผัสผิวน้ำได้อยู่ที่ 132 ± 1.7 องศา 1%Fe₃O₄NPs+SA/CS อยู่ที่ยู่ที่ 131 ± 1.0 องศา 5%Fe₃O₄NPs+SA/CS อยู่ที่ยู่ที่ 130 ± 1.1 องศา 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS อยู่ที่ยู่ที่ 131 ± 1.6 องศา และ 15%Fe₃O₄NPs+SA/CS อยู่ที่ยู่ที่ 132 ± 0.5 องศา และเมื่อทดสอบโดยการลอกเทป จะพบว่าค่ามุมสัมผัสผิวน้ำมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการขัดถูด้วยนิ้วมือโดยมีค่าอยู่ในช่วง 126-127 องศา ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.25 โดยวัสดุปิดแผล BC/ALG+SA/CS วัดค่ามุมสัมผัสผิวน้ำได้อยู่ที่ 126 ± 0.8 องศา 1%Fe₃O₄NPs+SA/CS อยู่ที่ยู่ที่ 126 ± 0.8 องศา 5%Fe₃O₄NPs+SA/CS อยู่ที่ยู่ที่ 127 ± 1.0 องศา 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS อยู่ที่ยู่ที่ 126 ± 1.6 องศา และ 15%Fe₃O₄NPs+SA/CS อยู่ที่ยู่ที่ 126 ± 2.3 องศา จากผลการทดสอบการยึดติดของชั้นสารเคลือบโดยการขัดถูด้วยนิ้วมือ และการลอกด้วยเทป แสดงให้เห็นว่าชั้นสารเคลือบมีการยึดติดกับชิ้นงานวัสดุปิดแผลที่ดี โดยยังคงสมบัติความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) หลังการทดสอบ



รูปที่ 4.22 วิธีการทดสอบการยึดติดของชั้นเคลือบ SA/CS ด้วยการขัดถูด้วยนิ้วมือของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG+SA/CS (b) 1%Fe₃O₄NPs+SA/CS (c) 5%Fe₃O₄NPs+SA/CS (d) 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS และ (e) 15%Fe₃O₄NPs+SA/CS

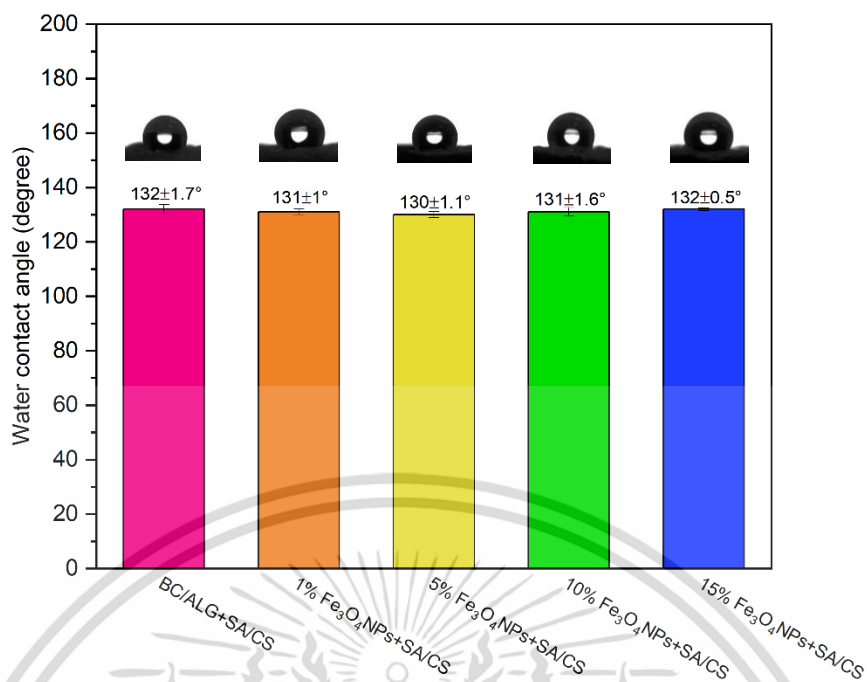


รูปที่ 4.23 วิธีการทดสอบการยึดติดของชั้นเคลือบ SA/CS ด้วยการลอกออกด้วยเทปของวัสดุปิดแผล
(a) BC/ALG+SA/CS (b) 1%Fe₃O₄NPs+SA/CS (c) 5%Fe₃O₄NPs+SA/CS (d) 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS และ (e) 15%Fe₃O₄NPs+SA/CS

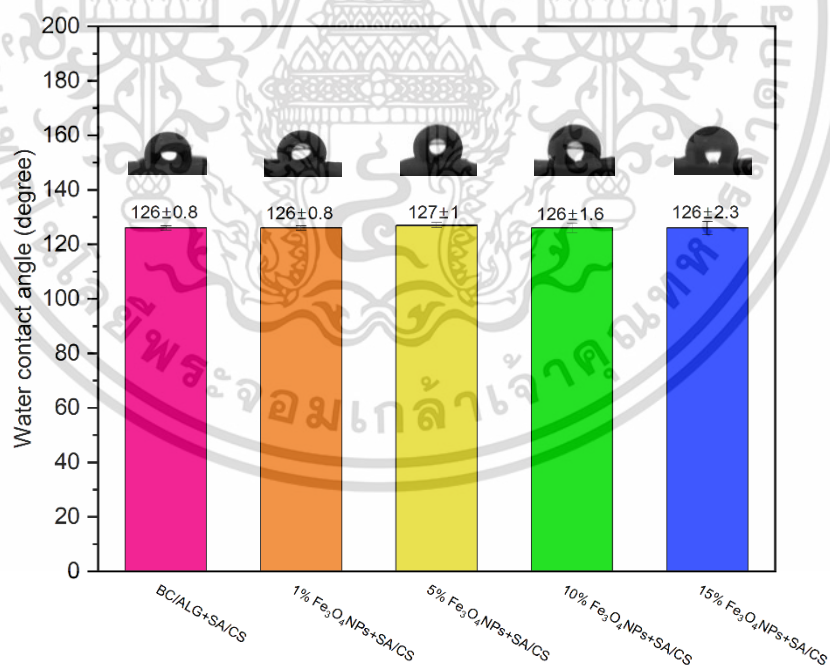
ตารางที่ 4.7 ค่ามุมสัมผัสน้ำเมื่อทดสอบการยึดติดของสารเคลือบบนวัสดุปิดแผลด้วยการขัดถูด้วยนิ้วมือ และการลอกออกด้วยเทป

ตัวอย่าง	ค่ามุมสัมผัสน้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (องศา)	
	การขัดถูด้วยนิ้วมือ	การลอกออกด้วยเทป
BC/ALG+SA/CS	132 ± 1.7	126 ± 0.8
1%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	131 ± 1.0	126 ± 0.8
5%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	130 ± 1.1	127 ± 1.0
10%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	131 ± 1.6	126 ± 1.6
15%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	132 ± 0.5	126 ± 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ค่ามุมสัมผัสน้ำหลังจากการทดสอบการยึดติดของสารเคลือบบนวัสดุปิดแผลด้วยการขัดถูด้วยนิ้วมือ

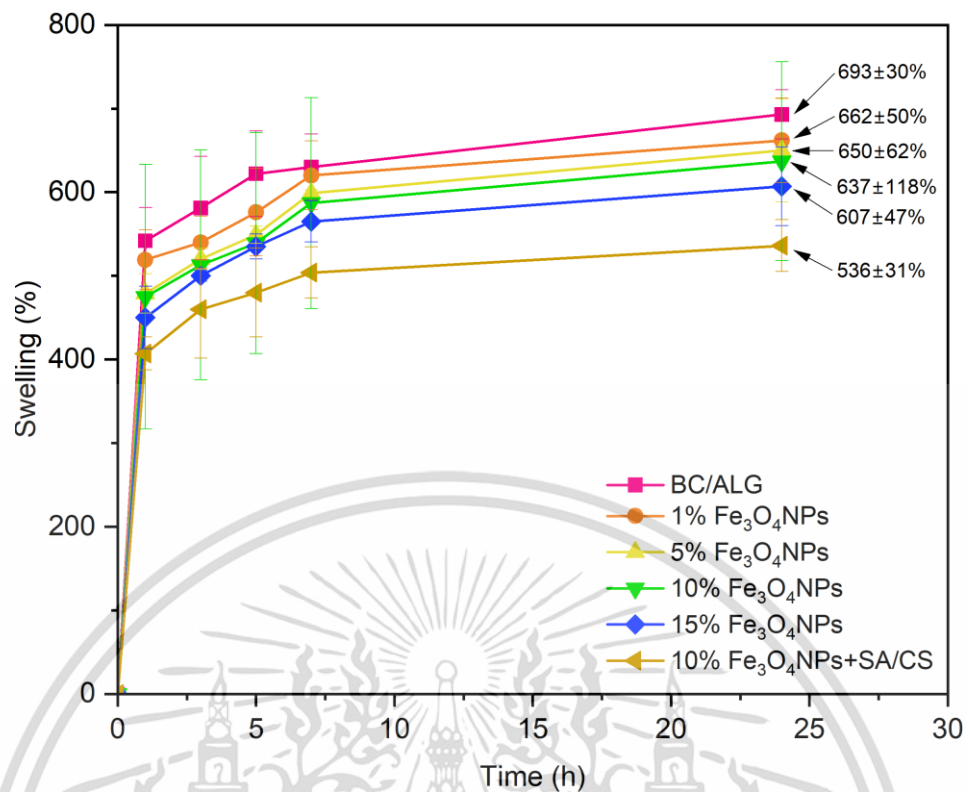


รูปที่ 4.25 ค่ามุมสัมผัสน้ำหลังจากการทดสอบการยึดติดของสารเคลือบบนวัสดุปิดแผลด้วยลูกออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การศึกษาสมบัติการบวมตัวและปริมาณความชื้น

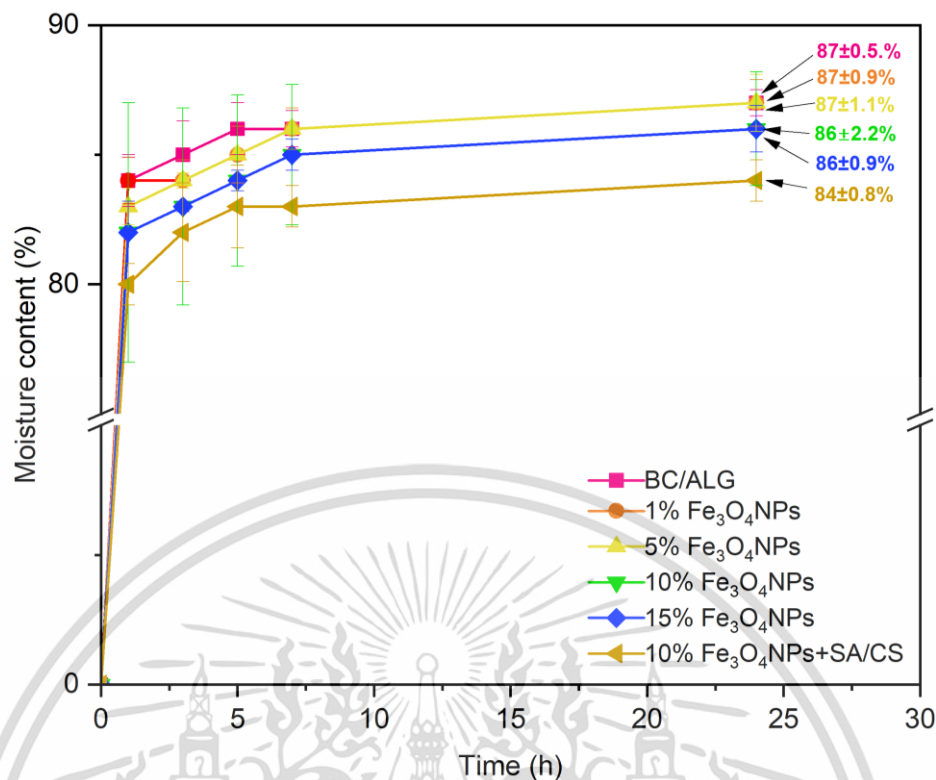
ผลการทดสอบวัสดุปิดแผลก่อนการเคลือบด้วย SA/CS ในการดูดซึมน้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหาอัตราการบวมตัว (swelling ratio) และปริมาณความชื้น (moisture content ratio) แสดงดังรูปที่ 4.26 พบว่าที่เวลา 1 ชั่วโมงแรก วัสดุปิดแผลมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้สูงและรวดเร็ว โดยสามารถเรียงลำดับอัตราการบวมตัวจากมากไปน้อยได้ดังนี้ วัสดุปิดแผล BC/ALG ร้อยละ 542 > 1%Fe₃O₄NPs ร้อยละ 519 > 5%Fe₃O₄NPs ร้อยละ 479 > 10%Fe₃O₄NPs ร้อยละ 475 > 15%Fe₃O₄NPs ร้อยละ 450 และ 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS ร้อยละ 407 เมื่อเวลาผ่านไปจาก 1-7 ชั่วโมง วัสดุปิดแผลแต่ละตัวอย่างมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้สูงขึ้นเล็กน้อย และเกือบจะคงที่ที่เวลา 24 ชั่วโมง โดยที่เวลา 24 ชั่วโมง วัสดุปิดแผลมีอัตราการบวมตัวเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ BC/ALG ร้อยละ 693 > 1%Fe₃O₄NPs ร้อยละ 662 > 5%Fe₃O₄NPs ร้อยละ 650 > 10%Fe₃O₄NPs ร้อยละ 637 > 15%Fe₃O₄NPs ร้อยละ 607 และ 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS ร้อยละ 536 ดังนั้น เมื่อเทียบความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุปิดแผลที่เวลา 1 ชั่วโมง และที่เวลา 24 ชั่วโมง จะพบว่าวัสดุปิดแผลทั้งหมดมีอัตราการบวมตัวเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 129-151 โดยการที่วัสดุปิดแผล BC/ALG มีอัตราการบวมตัวสูงที่สุดตลอดการทดสอบเป็นผลจากการที่โครงสร้างมีรูพรุนจำนวนมากจึงทำให้ดูดซึมน้ำได้มาก และอัตราการบวมตัวมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อมีปริมาณเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนในวัสดุปิดแผลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน เป็นอนุภาคของแข็งที่ไม่ดูดซึมน้ำเมื่อเข้าไปอยู่ในรูพรุนของวัสดุปิดแผลทำให้น้ำแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างได้น้อยลง และการที่วัสดุปิดแผล 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS มีอัตราการบวมตัวน้อยที่สุดเนื่องจากความไม่ชอบน้ำของชั้นเคลือบ และสารเคลือบมีการหลุดระหว่างการทดสอบ



รูปที่ 4.26 อัตราการบวมตัวของวัสดุปิดแผล

จากการคำนวณปริมาณความชื้นของวัสดุปิดแผล พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับ อัตราการบวมตัวของวัสดุปิดแผล คือ ที่เวลา 1 ชั่วโมงแรก วัสดุปิดแผลมีปริมาณความชื้นสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อเวลาผ่านไปจาก 1-7 ชั่วโมง ปริมาณความชื้นของวัสดุปิดแผลเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามลำดับ และเริ่มจะคงที่หลังจากเวลาผ่านไป 7 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4.27 โดยที่เวลา 1 ชั่วโมงแรกสามารถเรียงลำดับปริมาณความชื้นของวัสดุปิดแผลจากมากไปน้อยได้ดังนี้ วัสดุปิดแผล BC/ALG ร้อยละ 84 > 1%Fe₃O₄NPs ร้อยละ 84 > 5%Fe₃O₄NPs ร้อยละ 83 > 10%Fe₃O₄NPs ร้อยละ 82 > 15%Fe₃O₄NPs ร้อยละ 82 และ 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS ร้อยละ 80 และที่เวลา 24 ชั่วโมงสามารถเรียงลำดับปริมาณความชื้นของวัสดุปิดแผลจากมากไปน้อยได้ดังนี้ วัสดุปิดแผล BC/ALG ร้อยละ 87 > 1%Fe₃O₄NPs ร้อยละ 87 > 5%Fe₃O₄NPs ร้อยละ 87 > 10%Fe₃O₄NPs ร้อยละ 86 > 15%Fe₃O₄NPs ร้อยละ 86 และ 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS ร้อยละ 84 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าปริมาณของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน ในวัสดุปิดแผลที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการบวมตัว และปริมาณความชื้นของวัสดุปิดแผลลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



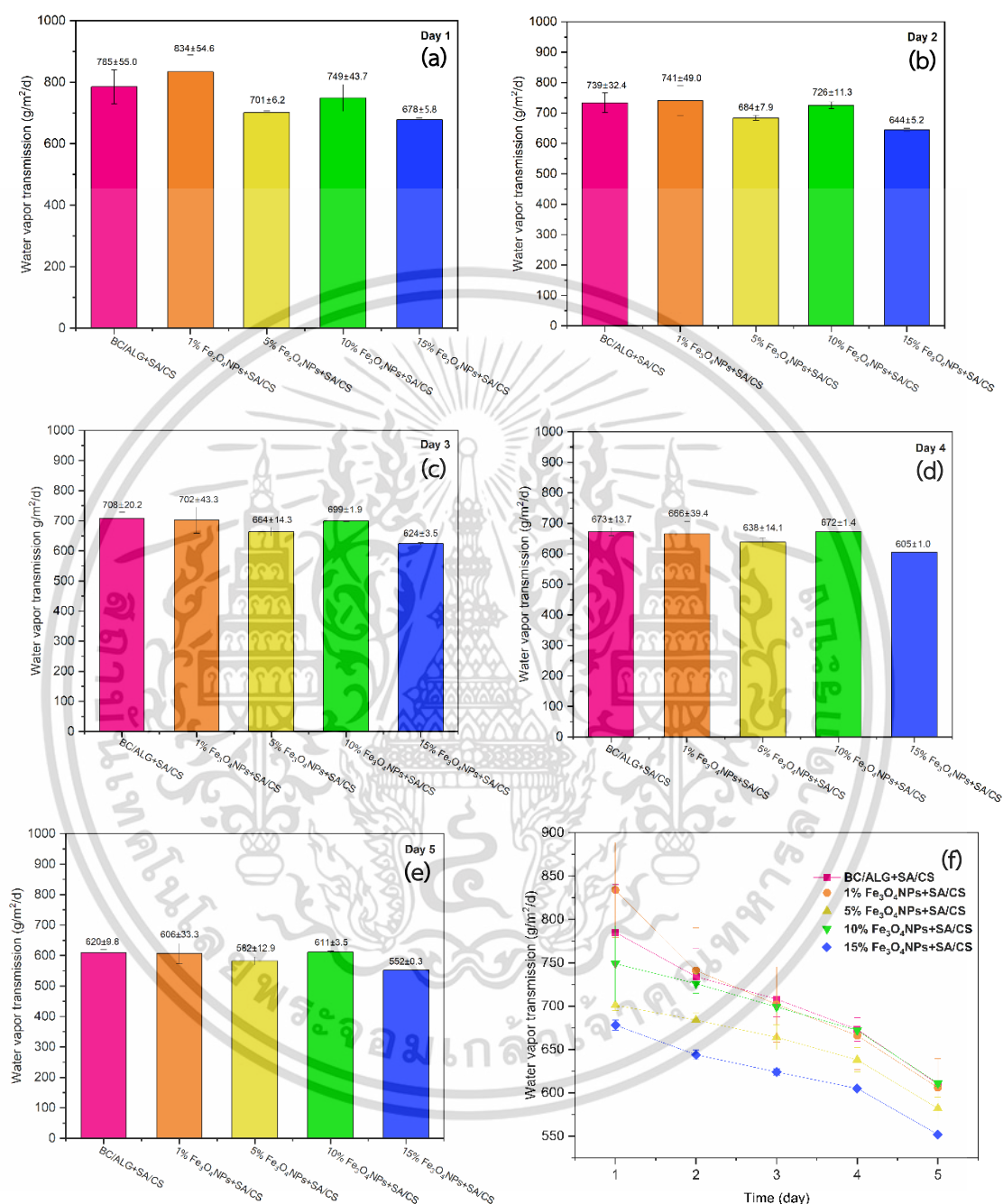
รูปที่ 4.27 ปริมาณความชื้นของวัสดุปิดแผล

4.2.5 การศึกษาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ

จากการศึกษาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำในวัสดุปิดแผลที่มีการหยดสารเคลือบ SA/CS ดังแสดงผลในรูปที่ 4.28 พบว่าในวันแรกวัสดุปิดแผลแต่ละตัวอย่างจะมีอัตราการแพร่ผ่านไอน้ำสูงที่สุด และเมื่อเวลาผ่านไปอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำในวัสดุปิดแผลแต่ละตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงดังรูปที่ 4.28 (f) เนื่องจากสารเคลือบมีไคโตซานเป็นองค์ประกอบซึ่งมีความหนืดสูง โดยเมื่อเวลาผ่านไปวัสดุปิดแผลเกิดการดูดความชื้น และมีการบวมตัวเล็กน้อย จึงส่งผลให้อัตราการแพร่ผ่านไอน้ำลดลง โดยสามารถเรียงลำดับอัตราการแพร่ผ่านน้ำจากมากไปน้อยได้ดังนี้ วัสดุปิดแผล 1%Fe₃O₄NPs+SA/CS 834 g/m²/d > BC/ALG+SA/CS 785 g/m²/d > 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS 749 g/m²/d > 5%Fe₃O₄NPs+SA/CS 701 g/m²/d > 15%Fe₃O₄NPs+SA/CS 678 g/m²/d ซึ่งพบว่าอัตราการแพร่ผ่านไอน้ำมีค่าที่ลดลงเมื่อมีปริมาณ Fe₃O₄NPs ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก Fe₃O₄NPs เข้าไปอยู่ในโครงสร้างรูพรุนของวัสดุปิดแผลทำให้ไปขัดขวางการแพร่ผ่านของไอน้ำ โดยอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำของวัสดุปิดแผลที่ทำการทดสอบในช่วงระยะเวลา 1-5 วันจะมีค่าอยู่ในช่วง 552-834 g/m²/d ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นวัสดุปิดแผล โดยจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาพบว่าวัสดุปิดแผลเชิงพาณิชย์ในอุดมคติควรมีอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำอยู่ระหว่าง 90-2890 g/m²/d [70]

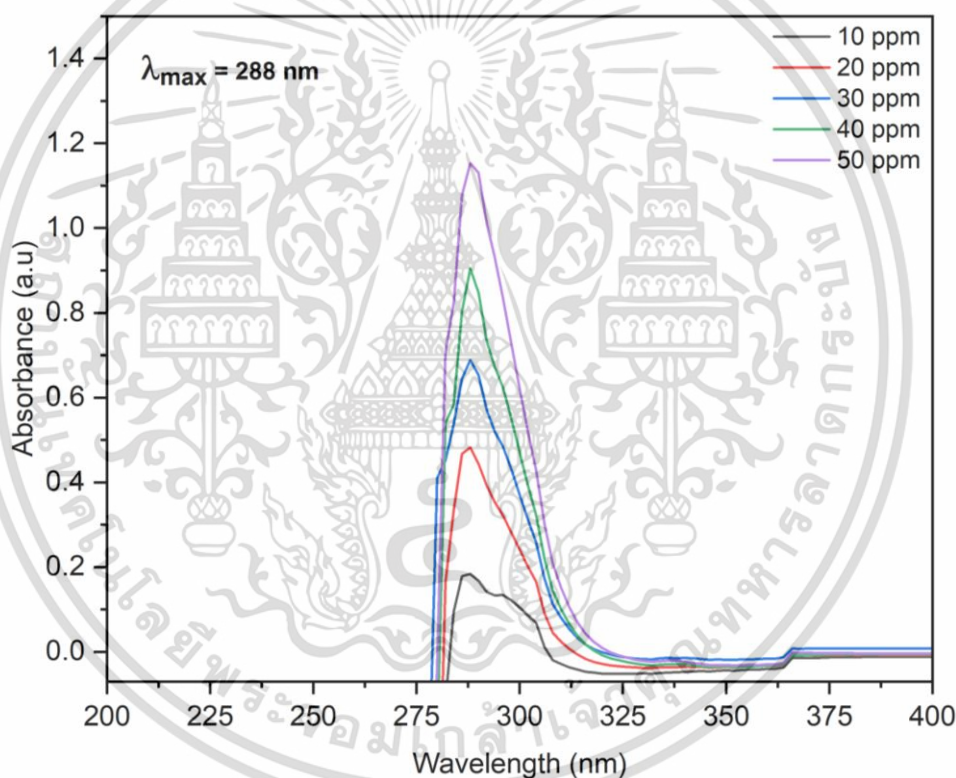


รูปที่ 4.28 อัตราการแพร่ผ่านไอน้ำของวัสดุปิดแผล (a) วันที่ 1 (b) วันที่ 2 (c) วันที่ 3 (d) วันที่ 4 (e) วันที่ 5 และ (f) วันที่ 1-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

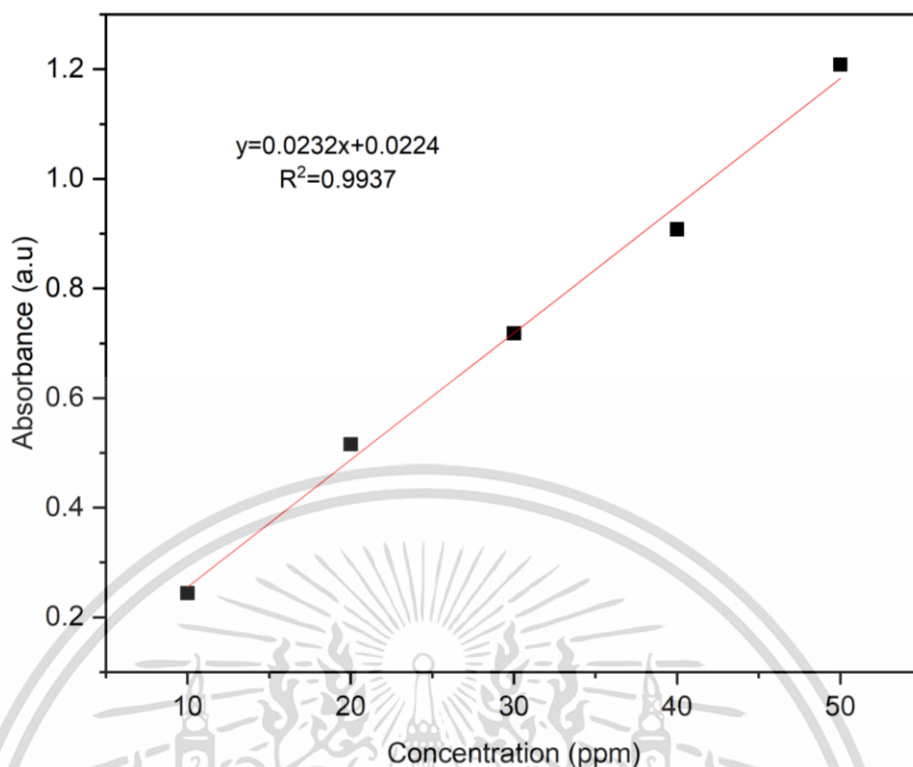
4.2.6 การบรรจุและปลดปล่อยยาของวัสดุปิดแผล

ยาไดโคลฟีแนค โซเดียม เป็นยาแก้ปวดที่ไม่ใช่สเตียรอยด์ ช่วยในการบรรเทาอาการปวด บวมจากการอักเสบ ปวดตามข้อ ไซ้ข้อกระดูกที่ใช้กันทั่วไป จากการนำสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียมที่มีความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 ppm วัดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด ($\lambda_{\max}$) พบว่าอยู่ที่ความยาวคลื่น 288 นาโนเมตร แสดงดังรูปที่ 4.29 และจากการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียมที่มีความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 ppm ที่วัดที่ความยาวคลื่น 288 นาโนเมตร จะเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นเส้นตรงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยมีค่า $R^2 = 0.9937$ และได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0232x + 0.0224$ แสดงดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.29 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียม ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

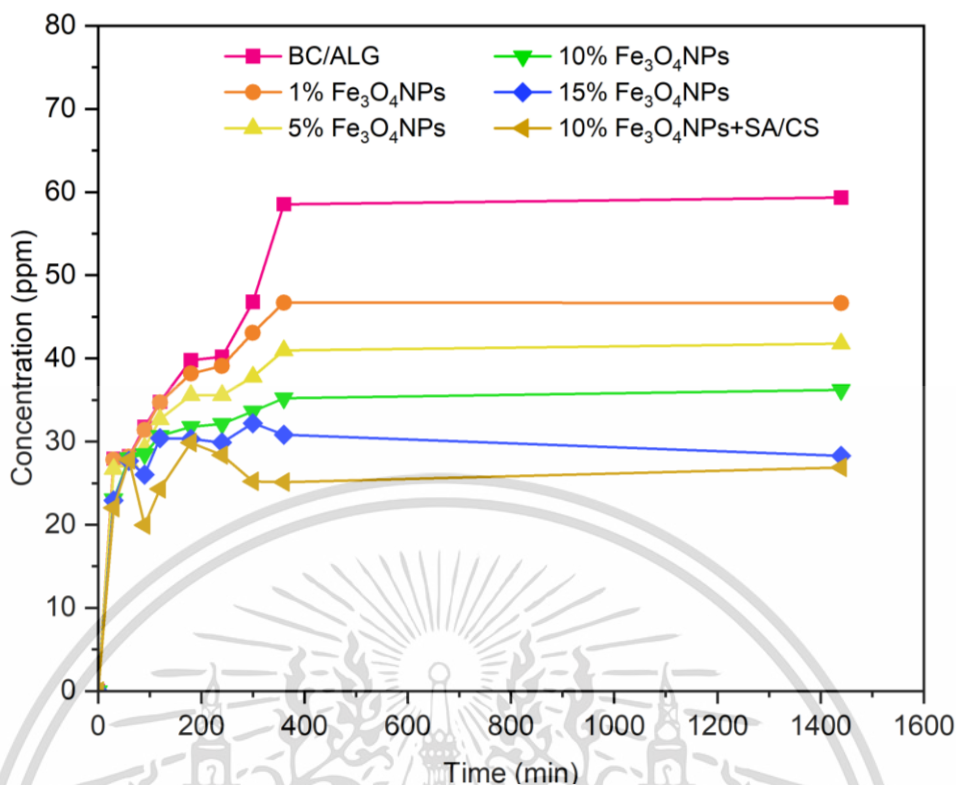


รูปที่ 4.30 กราฟมาตรฐานของสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียม

จากการทดสอบการบรรจุและปลดปล่อยสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียม ของวัสดุปิดแผล BC/ALG, 1%Fe₃O₄NPs, 5%Fe₃O₄NPs, 10%Fe₃O₄NPs, 15%Fe₃O₄NPs และ 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS พบว่าวัสดุปิดแผลสามารถดูดซับสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียม ที่มีความเข้มข้น 3000 ppm ได้ ส่วนในการทดสอบการปลดปล่อยจะนำสารละลายที่ได้มาทดสอบด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 288 นาโนเมตร โดยทำการเจือจางสารละลายเป็น 2 เท่า ในการทดสอบการปลดปล่อยยาของวัสดุปิดแผลที่บรรจุด้วยสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียม ที่ผ่านการอบให้แห้ง ทำโดยการนำวัสดุปิดแผลไปแช่สารละลายบัฟเฟอร์ pH 7.4 ซึ่งเป็นสถานะเดียวกันกับของเหลวในร่างกายมนุษย์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (1440 นาที) จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่วัดได้ที่เวลาต่าง ๆ มาแทนในสมการเส้นตรง ผลแสดงในรูปที่ 4.31 พบว่าในช่วงเวลา 30 นาทีแรก วัสดุปิดแผลสามารถปลดปล่อยยาไดโคลฟีแนค โซเดียม โดยเรียงลำดับความเข้มข้นของการปลดปล่อยจากมากไปน้อยได้ดังนี้ BC/ALG 27.93 ppm > 1%Fe₃O₄NPs 27.82 ppm > 5%Fe₃O₄NPs 26.69 ppm > 10%Fe₃O₄NPs 23.07 ppm > 15%Fe₃O₄NPs 22.93 ppm > 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS 22.04 ppm และเมื่อระยะเวลา

นานขึ้นวัสดุปิดแผลแต่ละตัวอย่างจะมีการปลดปล่อยยาเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียม วัสดุปิดแผลแต่ละตัวอย่างเพิ่มขึ้นด้วยตามลำดับ จนถึงเวลา 6 ชั่วโมง

(360 นาที) จากนั้นการปลดปล่อยยาจะเริ่มคงที่ไปจนถึงเวลา 24 ชั่วโมง โดยการที่ความเข้มข้นเริ่มคงที่เกิดขึ้นเนื่องจากวัสดุปิดแผลเกิดการบวมตัวและเปื่อยยุ่ยที่เวลา 5 ชั่วโมง (300 นาที) และเมื่อพิจารณาการปลดปล่อยยาที่เวลา 24 ชั่วโมง จะพบว่าวัสดุปิดแผลสามารถปลดปล่อยยาไดโคลฟีแนค โซเดียม โดยเรียงลำดับความเข้มข้นจากมากไปน้อยได้ดังนี้ BC/ALG 59.33 ppm > 1%Fe₃O₄NPs 46.67 ppm > 5%Fe₃O₄NPs 41.79 ppm > 10%Fe₃O₄NPs 36.21 ppm > 15%Fe₃O₄NPs 28.27 ppm > 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS 26.89 ppm จากผลที่ได้จะเห็นว่าวัสดุปิดแผลที่มีการปลดปล่อยยาได้มากที่สุด คือ BC/ALG เนื่องจากภายในวัสดุปิดแผลดังกล่าวมีรูพรุนขนาดใหญ่ทำให้สามารถดูดซึมและมีการปลดปล่อยยาไดโคลฟีแนค โซเดียมได้มากที่สุด และเมื่อเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนลงไปวัสดุปิดแผลในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้ความสามารถในการปลดปล่อยยาลดลงเนื่องจากเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนมีความสามารถในการสร้างพันธะกับยาไดโคลฟีแนค โซเดียม โดยเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างยาไดโคลฟีแนคที่มีประจุเป็นลบเนื่องจากการแตกตัวของโมเลกุลออกเป็นคาร์บอกซิเลตแอนไอออนแบบไบเดนเทตคีเลติง (bidentate chelating) และไบเดนเทต บริจิจ (bidentate bridging) ดังนั้นเมื่อมีร้อยละโดยน้ำหนักของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนเพิ่มมากขึ้น จึงเกิดการสร้างพันธะกับยาไดโคลฟีแนค โซเดียม ที่มากขึ้นจึงส่งผลให้ปลดปล่อยยาไดโคลฟีแนค โซเดียมได้น้อยลง [58] ส่วนวัสดุปิดแผล 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS ที่หดยึดเคลือบด้วยสารเคลือบมีการปลดปล่อยยาได้น้อยที่สุด และมีค่าที่คาดเคลื่อนไม่เป็นไปตามแนวโน้มเนื่องจากการมีสารเคลือบอยู่บนพื้นผิวของวัสดุปิดแผลจะทำให้วัสดุปิดแผลมีพื้นที่ในการปลดปล่อยยาน้อยลง และยังมีสาเหตุมาจากการหลุดของชั้นสารเคลือบเมื่อแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์อีกด้วย



รูปที่ 4.31 ความเข้มข้นในการปลดปล่อยสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียมของวัสดุปิดแผลที่เวลาต่าง ๆ

4.2.7 การศึกษาสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย

จากการทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของวัสดุปิดแผล พบว่าวัสดุปิดแผลที่ทำการหดยดสารเคลือบ SA/CS ไม่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli* และแกรมบวก *S.aureus* ได้แสดงดังตารางที่ 4.8 และ 4.9 เนื่องจากเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่เติมลงไปมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งวัสดุปิดแผลอีกทั้งในบางบริเวณมีการรวมตัวกันของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น จึงไม่สามารถแพร่ผ่านเข้าไปในผนังเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียได้ ส่งผลให้ไม่แสดงสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรีย [71] แต่เมื่อทำการบรรจุยาโดยการแขวนวัสดุปิดแผลแต่ละตัวอย่างในสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียมที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และทำการหดยดสารเคลือบ SA/CS จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ผลการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียแสดงดังตารางที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าวัสดุปิดแผลสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* ได้ดี โดยมีเขตยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของวัสดุปิดแผล BC/ALG+SA/CS,

1%Fe₃O₄NPs+SA/CS, 5%Fe₃O₄NPs+SA/CS, 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS และ 15%Fe₃O₄NPs+SA/CS อยู่ที่ 18.06, 22.59, 22.40, 19.59 และ 21.21 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามวัสดุปิดแผลยังไม่

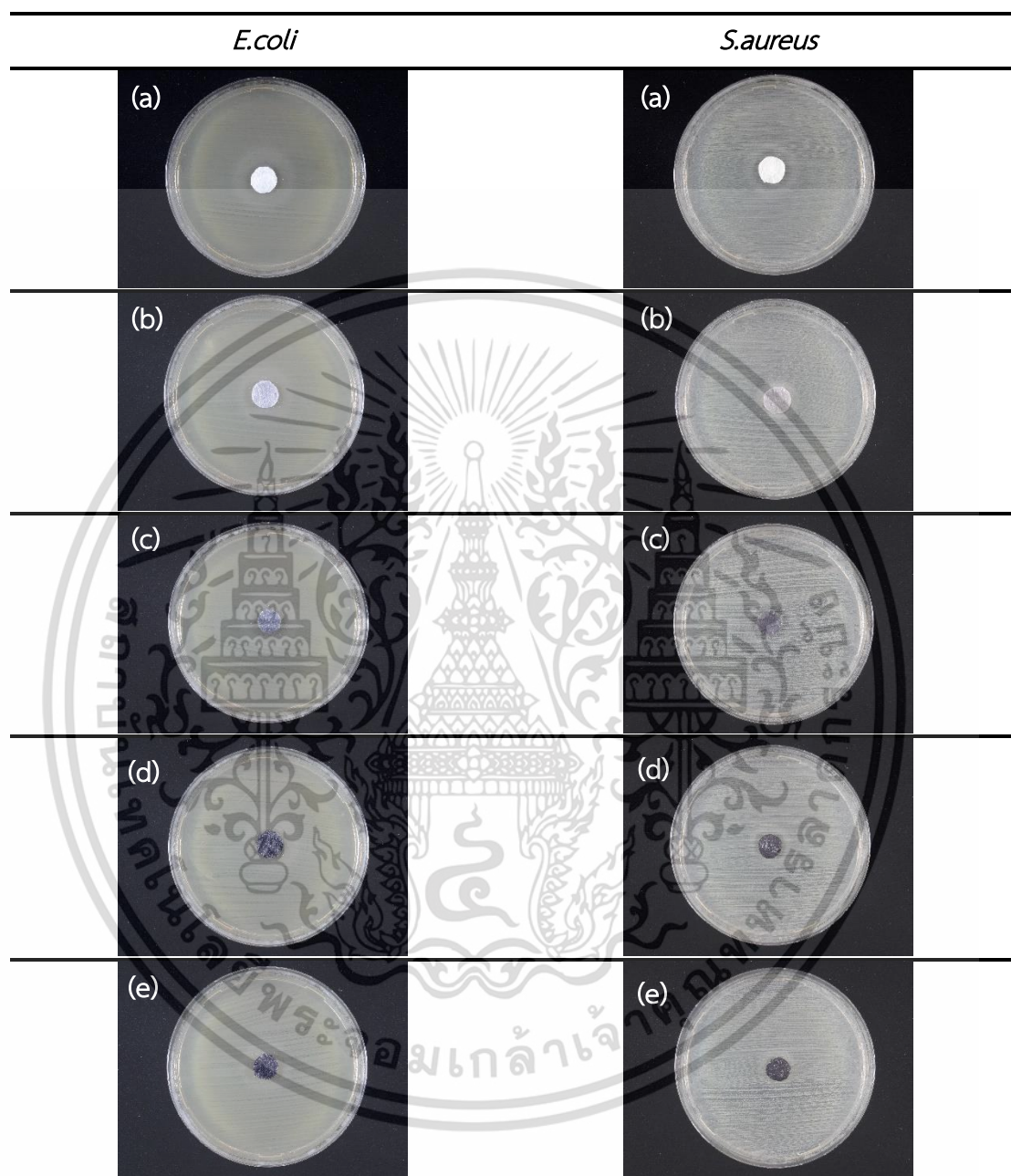
สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli* ได้ จากงานวิจัยของ Ali Abdul Hussein S AL-Janabi [72] พบว่าแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* จะมีความไวต่อยาไดโคลฟีแนค โซเดียม ซึ่งอาจเนื่องมาจากผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกมีความซับซ้อนน้อยกว่าแบคทีเรียแกรมลบ โดยผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบจะมีความบางกว่าแต่มีเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอก (outer membrane) ล้อมรอบเพปทิโดไกลแคนไว้ ซึ่งเยื่อหุ้มเซลล์นี้จะช่วยป้องกันเซลล์แบคทีเรียรวมทั้งมีส่วนช่วยให้เซลล์ทนต่อการทำลายโดยยาปฏิชีวนะและโลหะหนัก [73] โดยวัสดุปิดแผล $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}+\text{SA}/\text{CS}$ ที่บรรจุด้วยยาไดโคลฟีแนค โซเดียมมีประสิทธิภาพต้านเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่า $\text{BC}/\text{ALG}+\text{SA}/\text{CS}$ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ สามารถเกิดพันธะกับยาไดโคลฟีแนค โซเดียมได้ดีจึงดูดซับยาไดโคลฟีแนค โซเดียมได้ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้มีสมบัตการต้านเชื้อแบคทีเรียที่สูงขึ้น

ตารางที่ 4.8 การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (*Escherichia coli* ATCC 25922 และ *Staphylococcus aureus* ATCC 25923) ของวัสดุปิดแผลต่าง ๆ ที่ทำการทดสอบเคลือบ SA/CS

ตัวอย่าง	เขตการต้านเชื้อแบคทีเรีย (มิลลิเมตร)	
	<i>E.coli</i>	<i>S.aureus</i>
BC/ALG+SA/CS	-	-
1% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}+\text{SA}/\text{CS}$	-	-
5% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}+\text{SA}/\text{CS}$	-	-
10% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}+\text{SA}/\text{CS}$	-	-
15% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}+\text{SA}/\text{CS}$	-	-

หมายเหตุ : - ไม่มีฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรีย และตัวเลข แสดงถึงการมีฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรียโดยสามารถวัดระยะของเขตยับยั้งได้ (มิลลิเมตร)

ตารางที่ 4.9 เขตยับยั้งการต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli* และแกรมบวก *S.aureus* ของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG (b) 1% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ (c) 5% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ (d) 10% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ และ (e) 15% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ ที่ทำการหดยดสารเคลือบ SA/CS



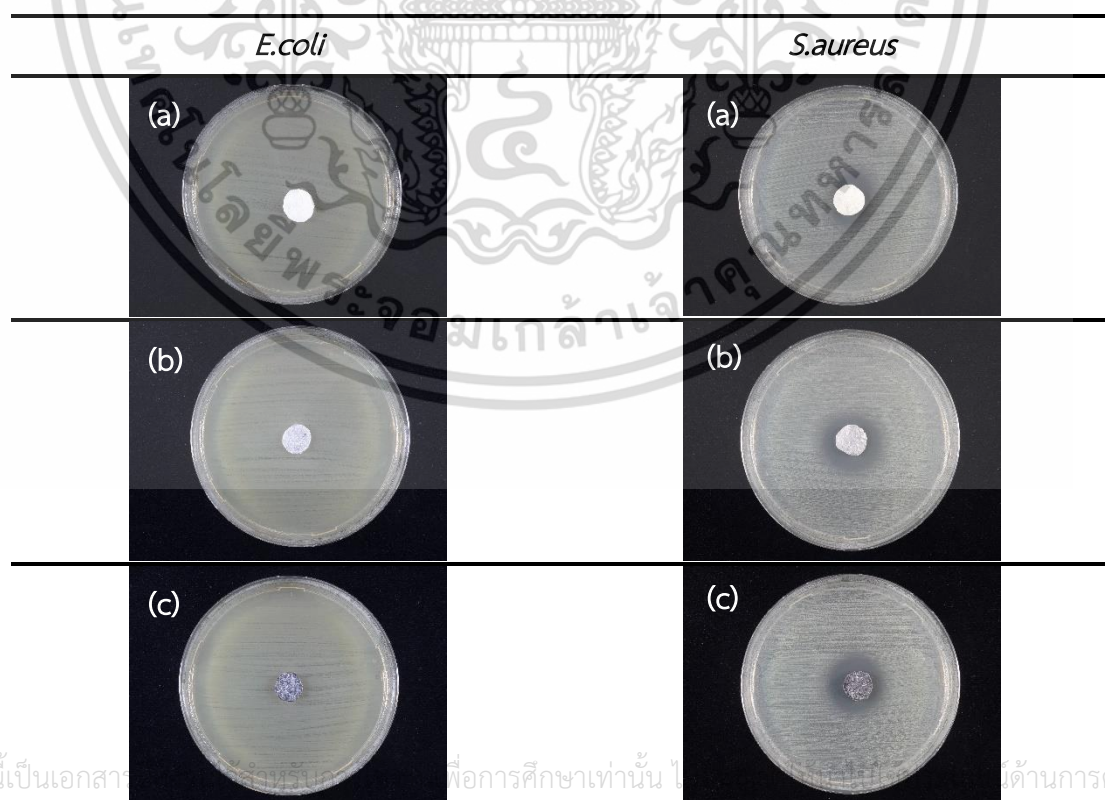
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (*Escherichia coli* ATCC 25922 และ *Staphylococcus aureus* ATCC 25923) ของวัสดุปิดแผลต่าง ๆ ที่ทำการแช่ในสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียม และทำการหยดสารเคลือบ SA/CS

ตัวอย่าง	เขตการต้านเชื้อแบคทีเรีย (มิลลิเมตร)	
	<i>E.coli</i>	<i>S.aureus</i>
BC/ALG+SA/CS	-	18.06
1%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	-	22.59
5%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	-	22.40
10%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	-	19.59
15%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	-	21.21

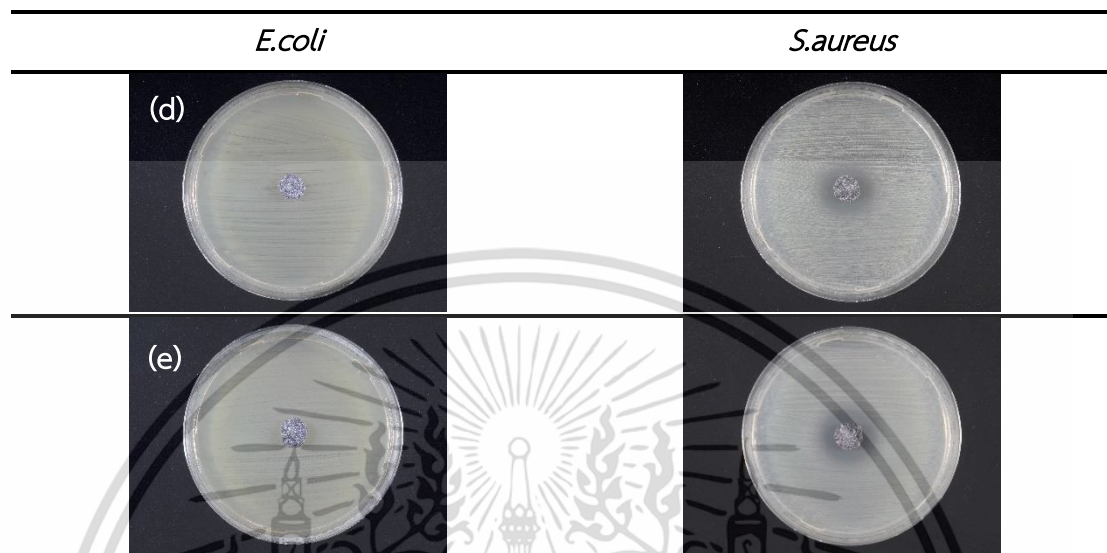
หมายเหตุ : - ไม่มีฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรีย และตัวเลข แสดงถึงการมีฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรียโดยสามารถวัดระยะของเขตยับยั้งได้ (มิลลิเมตร)

ตารางที่ 4.11 เขตยับยั้งการต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli* และแกรมบวก *S.aureus* ของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG (b) 1%Fe₃O₄NPs (c) 5%Fe₃O₄NPs (d) 10%Fe₃O₄NPs และ (e) 15%Fe₃O₄NPs ที่ทำการแช่ในสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียม และทำการหยดสารเคลือบ SA/CS



เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) เขตยับยั้งการต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli* และแกรมบวก *S.aureus* ของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG (b) 1%Fe₃O₄NPs (c) 5%Fe₃O₄NPs (d) 10%Fe₃O₄NPs และ (e) 15%Fe₃O₄NPs ที่ทำการแช่ในสารละลายยาไดโคลฟีแนค โซเดียม และการหยดสารเคลือบ SA/CS



4.2.8 การศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์สัตว์

จากการศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์สัตว์ โดยใช้เซลล์เนื้อเยื่อใต้ผิวหนังของหนู (mouse subcutaneous connective tissue; L929) วัสดุปิดแผล BC/ALG และวัสดุปิดแผลที่เติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 1, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ที่ทำการหยดสารเคลือบ SA/CS ด้วยวิธี MTT assay ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.12 พบว่าเซลล์ L929 ของตัวควบคุม (control) มีลักษณะสัญญาณวิทยาเป็นทรงกลมและรูปร่างหลายเหลี่ยม (polygon) กระจายตัวรวมกันอยู่ และเมื่อทำการตรวจสอบสัญญาณวิทยาและขนาดของเซลล์หลังการทดสอบวัสดุปิดแผล แต่ละตัวอย่างพบว่าลักษณะของเซลล์ไม่มีความแตกต่างจากเซลล์ของตัวควบคุม จากผลทางกายภาพแสดงให้เห็นว่าวัสดุปิดแผลที่เตรียมขึ้นไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ L929

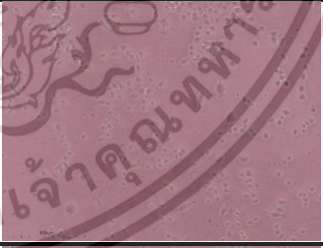
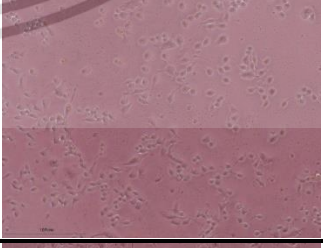
จากนั้นทำการวัดค่าคงที่ของการดูดกลืนแสง (optical density; OD) ของสารละลายจากตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร แล้วนำมาหาค่าร้อยละความเป็นพิษต่อเซลล์ (%cytotoxicity) แสดงดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.32 และร้อยละความมีชีวิตของเซลล์ (%cell viability) แสดงดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.33 จากผลการทดสอบพบว่าวัสดุปิดแผล BC/ALG+SA/CS มีความเป็นพิษต่อเซลล์ L929 ร้อยละ 9.258 คิดเป็นความมีชีวิตของเซลล์ร้อยละ

90.742 วัสดุปิดแผล BC/ALG ที่มีเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 1, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักเมื่อทำการหยดสารเคลือบ SA/CS มีค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ L929 ร้อยละ 9.258, 9.379, ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.279, 15.983 และ 16.043 ตามลำดับ คิดเป็นความมีชีวิตของเซลล์ร้อยละ 90.741, 90.621, 88.721, 84.017 และ 83.957 ตามลำดับ

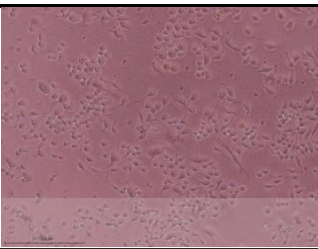
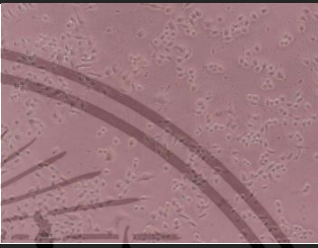
จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าวัสดุปิดแผลมีความเป็นพิษต่อเซลล์เพิ่มขึ้น เมื่อทำการเพิ่มปริมาณ เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนมากขึ้น เนื่องจากเหล็ก(II,III) ออกไซด์มีขนาดอยู่ในระดับนาโนซึ่งมี พื้นที่ผิวสูง จึงสร้างความเสียหายให้แก่เซลล์เป็นสาเหตุให้เซลล์ตายได้ [60] และนอกจากนั้นการ เคลือบด้วยชั้นเคลือบที่มีส่วนผสมของไคโตซาน อาจส่งผลจะทำให้มีความเป็นพิษต่อเซลล์เพิ่มมากขึ้น ด้วย [74] อย่างไรก็ตามมีการรายงานว่าหากวัสดุปิดแผลมีค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ L929 น้อยกว่า ร้อยละ 30 [75] จะถือว่าวัสดุปิดแผลมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่ยอมรับได้และไม่เป็นพิษต่อเซลล์ ดังนั้นวัสดุ ปิดแผลทั้ง 5 ตัวอย่างที่เตรียมขึ้นมาจึงจัดเป็นวัสดุปิดแผลที่ไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์และสามารถ นำไปใช้เป็นวัสดุปิดแผลได้

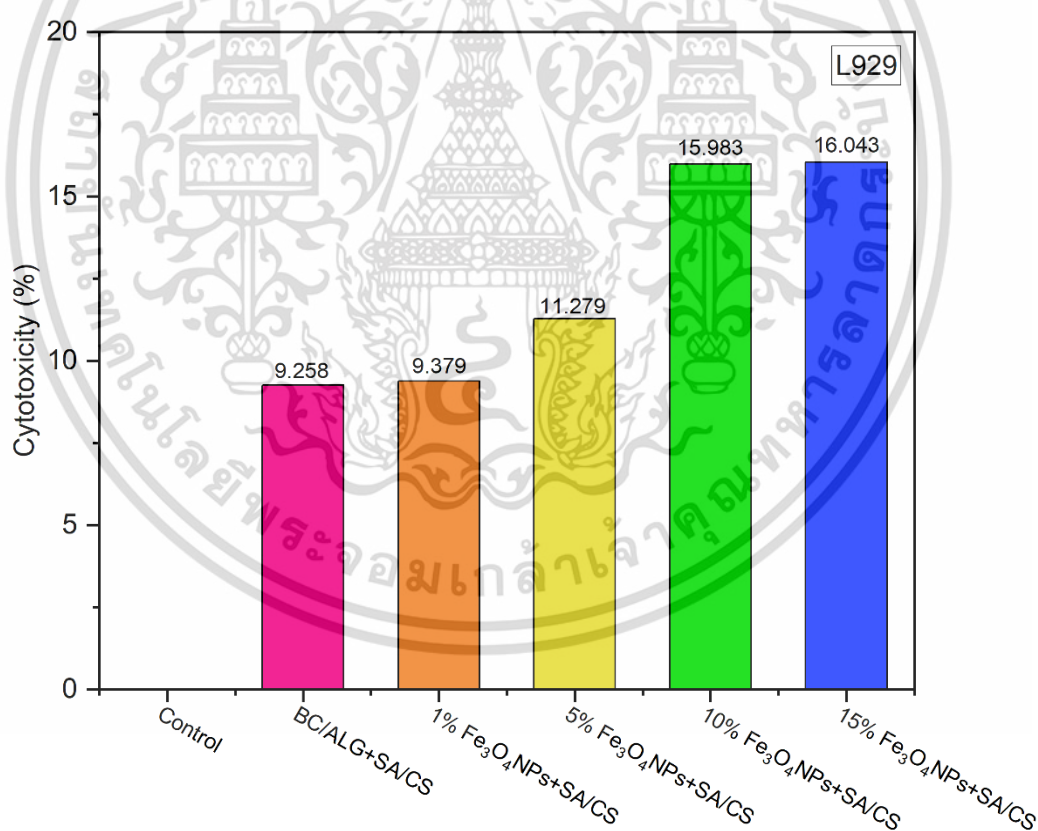
ตารางที่ 4.12 สันฐานวิทยาของเซลล์ L929 ที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ของวัสดุปิดแผลเทียบกับ สภาวะควบคุม

ตัวอย่าง	เซลล์ L929
Control	
BC/ALG+SA/CS	
1%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	
5%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงที่มาของเอกสารที่มีการนำไปใช้

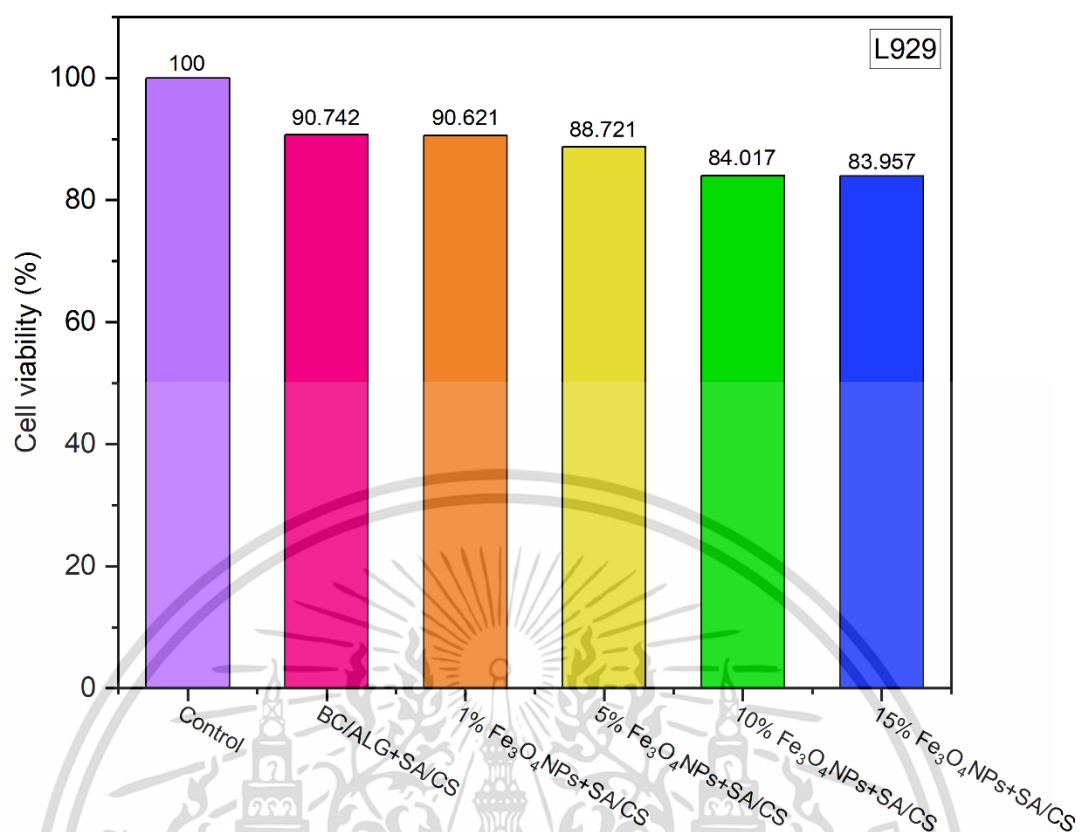
ตารางที่ 4.12 (ต่อ) สันฐานวิทยาของเซลล์ L929 ที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ ของวัสดุปิดแผลเทียบ กับสภาวะควบคุม

ตัวอย่าง	เซลล์ L929
10%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	
15%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	



รูปที่ 4.32 ร้อยละความเป็นพิษต่อเซลล์ L929 (%cytotoxicity) ที่ทดสอบด้วยวิธี MTT assay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 ร้อยละความมีชีวิตของเซลล์ L929 (%cell viability) ที่ทดสอบด้วยวิธี MTT assay

ตารางที่ 4.13 ความเป็นพิษและความมีชีวิตต่อเซลล์ L929 ของวัสดุปิดแผล

ตัวอย่าง	ความเป็นพิษต่อเซลล์ L929 (%Cytotoxicity)	ความมีชีวิตของเซลล์ L929 (%Cell viability)
BC/ALG+SA/CS	9.258	90.742
1%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	9.379	90.621
5%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	11.279	88.721
10%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	15.983	84.017
15%Fe ₃ O ₄ NPs+SA/CS	16.043	83.957

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้ศึกษาการพัฒนาวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน เพื่อให้มีสมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำ และการต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยวัสดุปิดแผลเตรียมได้จากแบคทีเรียเซลลูโลสที่มาจากวันมะพร้าวและอัลจิเนต ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักแบคทีเรียเซลลูโลสเปียกต่อสารละลายอัลจิเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 70:30 และมีการเพิ่มเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 1, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจิเนตหลังทำให้แห้ง จากนั้นปั่นกวนแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วขึ้นรูปวัสดุปิดแผลในแม่พิมพ์ขนาด 5x5 เซนติเมตร และทำการเชื่อมขวางด้วยแคลเซียมคลอไรด์ จากนั้นทำให้แห้งด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง วัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจิเนตที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นสีขาว (BC/ALG) และวัสดุปิดแผลที่มีการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 1%Fe₃O₄NPs, 5%Fe₃O₄NPs, 10%Fe₃O₄NPs และ 15%Fe₃O₄NPs จะได้สีเทาไปจนถึงสีดำ โดยพบว่าเมื่อมีปริมาณของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนเพิ่มมากขึ้นวัสดุปิดแผลที่ได้จะมีสีที่เข้มขึ้น และพื้นผิวมีลักษณะขรุขระขึ้น และจากนั้นทำการหดยดสารเคลือบกรดสเตียริกและโคโคซาน (SA/CS) ลงบนวัสดุปิดแผลในแต่ละตัวอย่างจำนวน 2 หยดต่อพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร เพื่อให้พื้นผิวของวัสดุปิดแผลบางส่วนมีสมบัติความไม่ชอบน้ำ

จากการทดลองสรุปได้ว่าวัสดุปิดแผลแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ไม่ได้ทำการหดยดสารเคลือบ SA/CS เมื่อนำไปศึกษาโครงสร้างผลึก (XRD) พบว่ามีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ตรงกับไฟล์มาตรฐานของเซลลูโลส แมกนีไทต์ (Fe₃O₄) และโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ส่วนวัสดุปิดแผลที่มีการหดยดสารเคลือบ SA/CS จะพบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ตรงกับไฟล์มาตรฐานของกรดสเตียริกและโคโคซานเพิ่มขึ้นด้วย

จากการศึกษาโครงสร้างโมเลกุลด้วยเทคนิค FT-IR พบว่าวัสดุปิดแผลที่ไม่ได้ทำการหดยดสารเคลือบ SA/CS จะพบช่วงการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจิเนต ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3342 cm⁻¹ ของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ตำแหน่ง 2898 cm⁻¹ เป็นของ C-H ที่ตำแหน่ง 1595 cm⁻¹ มีการสั่นแบบสมมาตรของหมู่คาร์บอกซิล (-COO) ที่ตำแหน่ง 1422 cm⁻¹ มีการสั่นแบบสมมาตรของ -COO⁻ และที่ตำแหน่ง 1031 cm⁻¹ เป็นการสั่นของพันธะ C-O และวัสดุปิดแผลที่ทำการหดยดสาร

เคลือบ SA/CS จะพบช่วงการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3423 cm^{-1} ของหมู่เอมีน (N-H) ในไคโตซาน และหมู่ -OH ที่อยู่ในกรดสแตียริกและไคโตซาน นอกจากนี้จะพบช่วงการดูดกลืนแสงของกรดสแตียริกที่ตำแหน่ง $2953, 2914$ และ 2846 cm^{-1} เป็นการสั่นของ C-H ที่ตำแหน่ง 1699 cm^{-1} เป็นการสั่นของ C=O ที่ตำแหน่ง 1298 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ C-N ที่ตำแหน่ง 1242 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ C-O และที่ตำแหน่ง 719 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอของ C-H

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค FE-SEM พบว่าบริเวณพื้นผิวของวัสดุปิดแผล BC/ALG จะเห็นเป็นเส้นใยของแบคทีเรียเซลลูโลสปรากฏบนพื้นผิว โดยพื้นผิวมีลักษณะค่อนข้างขรุขระ และเมื่อทำการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนในปริมาณมากขึ้น พบว่าพื้นผิวของวัสดุปิดแผลจะมีความขรุขระมากขึ้น โดยในกรณีของวัสดุปิดแผล $15\%\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ ที่มีการเติมเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนในปริมาณที่มาก ยังพบการแยกตัวของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนบนพื้นผิวของวัสดุปิดแผลด้วย ส่วนวัสดุปิดแผลที่ทำการเคลือบสารเคลือบ SA/CS จะพบชั้นของสารเคลือบบนพื้นผิวของวัสดุปิดแผลที่มีความหนา 8.6 ไมโครเมตร

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุปิดแผล BC/ALG หลังจากให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส พบสารประกอบแคลเซียมในรูปแคลเซียมออกไซด์ (CaO) หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) หลงเหลืออยู่ และในวัสดุปิดแผล BC/ALG ที่ใส่เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนในปริมาณที่ต่างกันไป จะพบเหล็กออกไซด์เหลืรวมกับ CaO หรือ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ โดยปริมาณของน้ำหนักที่เหลืออยู่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาสมบัติทางกล พบว่าวัสดุปิดแผลแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่มีปริมาณที่ต่างกันไปมีสมบัติทางกลที่ดี สามารถทนต่อการโค้งงอและการบิดได้ โดยยังมีปริมาณเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนเพิ่มมากขึ้น วัสดุปิดแผลจะมีความแข็งแรงขึ้น แต่ในวัสดุปิดแผล $15\%\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ พบว่ามีความเปราะมากขึ้นจึงสามารถทนต่อการโค้งงอ แต่ไม่ทนต่อการบิด เนื่องจาก $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ ที่มากมีผลต่อการเชื่อมขวางของแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจิเนต

จากการศึกษาการดูดซับน้ำ พบว่าบริเวณที่หยดสารเคลือบ SA/CS หยดน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ และในบริเวณที่ไม่ได้ทำการหยดสารเคลือบ SA/CS พบว่าหยดน้ำสามารถซึมผ่านวัสดุปิดแผลได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุปิดแผลมีสมบัติความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ จากการศึกษสมบัติความไม่ชอบน้ำ พบว่าค่ามุมสัมผัสน้ำบริเวณชั้นเคลือบ SA/CS ที่วัดได้มีค่าอยู่ในช่วง $151\pm 0.6^\circ$ ถึง $154\pm 3.0^\circ$ ซึ่ง

แสดงถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยหลังจากการทดสอบการยึดติดของสารเคลือบด้วยการเอกลารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขัดถูด้วยนิ้วมือและการลอกด้วยเทป จะเห็นได้ว่าค่ามุมสัมพัทธ์บริเวณผิวเคลือบมีค่าลดลงอยู่ในช่วง $126 \pm 0.8^\circ$ ถึง $132 \pm 1.7^\circ$ ซึ่งยังคงแสดงสมบัติความไม่ชอบน้ำอยู่

จากการศึกษาการบวมตัวและปริมาณความชื้น พบว่าวัสดุปิดแผลมีอัตราการบวมตัวอยู่ที่ร้อยละ 407-693 และมีปริมาณความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 80-87 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นวัสดุปิดแผล โดยเมื่อมีปริมาณของเกลือ(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้วัสดุปิดแผลดูดซึมน้ำได้น้อยลง

จากการศึกษาความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเป็นเวลา 5 วัน พบว่าในวันแรกวัสดุปิดแผลแต่ละตัวอย่างจะมีอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำมากที่สุด และเมื่อเวลาผ่านไปอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากวัสดุปิดแผลมีการดูดความชื้น ในส่วนของวัสดุปิดแผลที่ทำการเติมเกลือ(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนเพิ่มมากขึ้น พบว่าอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำลดลง โดยอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำของวัสดุปิดแผลที่ทำการทดสอบมีค่าอยู่ในช่วง $552-834 \text{ g/m}^2/\text{d}$ ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมกับการใช้งานเป็นวัสดุปิดแผลที่กำหนดไว้ที่ $90-2890 \text{ g/m}^2/\text{d}$

จากการทดสอบการบรรจุและปลดปล่อยยา พบว่าวัสดุปิดแผลสามารถดูดซึมสารละลายยาไดโคโลฟีแนค โซเดียมได้ดี ในการปลดปล่อยยาพบว่าในช่วง 30 นาทีแรก สารละลายยาสามารถปลดปล่อยได้มาก และเมื่อเวลาผ่านไปยิ่งปลดปล่อยได้มากขึ้น และหลังจาก 6 ชั่วโมงจะเริ่มมีแนวโน้มในการปลดปล่อยยาที่คงที่ เนื่องจากวัสดุปิดแผลมีการบวมตัวและเสียสภาพ โดยวัสดุปิดแผลที่มีเกลือ(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนเพิ่มขึ้น จะทำให้ความสามารถในการปลดปล่อยยาน้อยลง เนื่องจากเกลือ(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนสร้างพันธะกับยาไดโคโลฟีแนค โซเดียม

จากการศึกษาสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย พบว่าเมื่อแช่วัสดุปิดแผลแต่ละตัวอย่างในสารละลายยาไดโคโลฟีแนค โซเดียม และทำการหยดสารเคลือบ SA/CS พบว่าวัสดุปิดแผลสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* ได้ดี โดยมีเขตยับยั้งเชื้อแบคทีเรียอยู่ที่ 18.06-22.59 มิลลิเมตร แต่ยังไม่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli* ได้ โดยวัสดุปิดแผลที่มีการเติมเกลือ(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนมีสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียที่ดีกว่า BC/ALG เนื่องจากการเกิดพันธะระหว่างเกลือ(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนและสารละลายยาไดโคโลฟีแนค โซเดียม ทำให้มีปริมาณสารละลายยาไดโคโลฟีแนค โซเดียม ในวัสดุปิดแผลที่เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์ L929 พบว่าวัสดุปิดแผลที่มีการหยดสารเคลือบ SA/CS มีค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ L929 อยู่ในช่วงร้อยละ 9.258-16.043 คิดเป็นความมีชีวิตของเซลล์ร้อยละ 83.957-90.742 โดยเมื่อมีปริมาณของเกลือ(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนเพิ่มมากขึ้น จะทำให้มีความเป็นพิษต่อเซลล์มากขึ้น โดยวัสดุปิดแผลที่เตรียมขึ้นทั้งหมดมีค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ L929

น้อยกว่าร้อยละ 30 จึงจัดเป็นวัสดุปิดแผลที่ไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์และสามารถใช้งานเป็นวัสดุปิดแผลได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) จากผลที่ได้พบว่าเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนและกระจายตัวไม่สม่ำเสมอในวัสดุปิดแผล BC/ALG จึงต้องศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการปรับปรุงสมบัติบนพื้นผิวของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนก่อนเติมลงในวัสดุผสม BC/ALG ด้วยโซเดียมโอเลต หรือโพลิเอทิลีน ไกลคอล หรือสารอื่น ๆ เพื่อทำให้เกิดการกระจายตัวของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนในวัสดุปิดแผลได้อย่างสม่ำเสมอมากขึ้น

2) เนื่องจากพบ NaCl และ CaCl_2 ในองค์ประกอบของผ้าปิดแผล BC/ALG จึงควรศึกษาเพิ่มเติมการล้างแคลเซียมคลอไรด์ส่วนเกินออกจากวัสดุปิดแผลโดยอาจล้างมากกว่า 3 ครั้งและศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ (Cl^-) ในน้ำที่ใช้ล้างวัสดุปิดแผล ด้วยวิธีการไทเทรตแบบอาศัยปฏิกิริยาการเกิดตะกอน (argentometric method) โดยการไทเทรตน้ำที่ใช้ล้างวัสดุปิดแผลกับสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) โดยใช้โพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) เป็นอินดิเคเตอร์ [76] เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถล้าง Cl^- ส่วนเกินออกจากวัสดุปิดแผลได้หมด

3) ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการปรับอัตราส่วนระหว่างแบคทีเรียเซลล์โลสและอัลจินตเพื่อเพิ่มสมบัติทางกลของวัสดุปิดแผล

เอกสารอ้างอิง

- [1] อรรณณ สัมฤทธิ์เดชขจร. 2553. “ผ้าพันแผลฉลาดที่สุด.” *ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ*. : 48-53.
- [2] Ciecholewska- Juśko, D. Junka, A. and Fijałkowski, K. 2022. “The cross-linked bacterial cellulose impregnated with octenidine dihydrochloride-based antiseptic as an antibacterial dressing material for highly-exuding, infected wounds.” *Microbiological Research*. 263 : 127125.
- [3] จุฬาลักษณ์ เขมาชีวะกุล. 2016. “การผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสสายพันธุ์ *Acetobacter xylinum* และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม.” *การเกษตรราชภัฏ*. 15(2) : 26-33.
- [4] พิพัฒน์ สุธียิง. 2560. “การผลิตและประเมินคุณลักษณะของนาโนแบคทีเรียเซลลูโลสจาก *Komagataeibacter nataicola* โดยใช้น้ำข้าวข้าว.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [5] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2565. **บทที่ 32 รายละเอียดข้อมูลสารเคมีชีวภาพประเภทเซลลูโลส Cellulose.** [Online]. Available :: http://asp.plastics.or.th:8001/files/article_file/20121016080809u.pdf.
- [6] Wikipedia. 2565. **แบคทีเรียเซลลูโลส.** [Online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/แบคทีเรียเซลลูโลส>.
- [7] Azeredo, H.M.C. Barud, H. Farinas, C.S. Vasconcellos, V.M. and Claro, A.M. 2019. “Bacterial Cellulose as a Raw Material for Food and Food Packaging Applications.” *Frontiers*. 3(7) : 1-14.
- [8] Unal, S. Gunduz, O. and Uzun, M. 2020. “Tissue Engineering Applications of Bacterial Cellulose Based Nanofibers.” *Advanced Structured Materials*. 126 : 319-346.
- [9] พิษณุภา ราชธรรมมา และอังคิรา พูลเกษม. 2562. “ศาสตร์อาหารสู่นวัตกรรมลดขยะ.” *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*. 68(211) : 33-35.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] วรณทการณ สกิตกุล. 2561. “ผลของการเคลือบฟิล์มอัลจินเตว่านทางจระเข้และสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชต่อการยืดอายุหลังเก็บเกี่ยวของมะนาวพันธุ์แป้น.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์ ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [11] สุวรรณี ทองมาลี. 2557. “การใช้วิธีทางเคมีในการลดขนาดและเติมหมู่ซัลเฟตในอัลจินเตพอลิเมอร์เพื่อการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา ภาควิชาจุลชีววิทยา, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [12] อภัย ราชภูริจิตร. 2565. **กรดแอลจินิก**. [Online]. Available : <https://haamor.com/กรดแอลจินิก>.
- [13] Aderibigbe, B.A. and Buyana, B. 2018. “Alginate in Wound Dressings.” *Pharmaceutics*. 10(2) : 1-19.
- [14] จูติรัตน์ เจริญตา. 2556. “การเตรียมและศึกษาลักษณะของอนุภาคนาโนแม่เหล็กสำหรับงานด้านไฮเปอร์เทอร์เมีย.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [15] Alibaba. 2566. **การส่งออกการค้าของ Fe₃O₄ผงเหล็กออกไซด์สีดำ330สำหรับพื้นผิวถนนสีสเปรย์**. [Online]. Available : <https://thai.alibaba.com/product-detail/Trade-exports-of-Fe3O4-powder-iron-1600212156783.html>.
- [16] Rivani, D.A. Retnosari, I. Kusumandari and Saraswati, T.E. 2019. “Influence of TiO₂ addition on the magnetic properties of carbon-based iron oxide nanocomposites synthesized using submerged arc-discharge.” *Materials Science and Engineering*. 509 : 012034.
- [17] อีระพงษ์ พวงมะลิ. 2556. “การนำส่งยาด้วยอนุภาคนาโนแม่เหล็ก: กระสุนจิ๋วพิชิตมะเร็ง.” ว.วิทย. มข. 41(3) : 607-620.
- [18] Rukhsar, M. Ahmad, Z. Rauf, A. Zeb, H. Ur-Rehman, M. and Hemeg, H.A. 2022. “An Overview of Iron Oxide (Fe₃O₄) Nanoparticles: From Synthetic Strategies, Characterization to Antibacterial and Anticancer Applications.” *Crystals*. 12 : 1809.
- [19] Google sites. 2565. **บทที่ 2 ชีววิทยา**. [Online]. Available : <https://sites.google.com/site/bththi2chiwwithya/35>.
- [20] Wikipedia. 2565. **ภาวะการเป็ยง**. [Online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/ภาวะการณเป็ยง>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [21] สมาคมฟิสิกส์ไทย. 2565. **น้ำกับความสมดุลของแรงแคปิลารี**. [Online]. Available : www.thaiphysoc.org/article/252/.
- [22] นันทน์ริญ พิสิฐรัตน์. 2560. “ผลของมุมสัมผัสหยดน้ำบนกระจกสไลด์ที่ปรับสภาพด้วย-พลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ภาควิชาฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [23] สำเริง ลำเจียก. 2561. “สมบัติความไม่ชอบน้ำยิ่งยวดของฟิล์มบางพอลิเอเทรฟลูออโรเอ-ทีลีนที่เคลือบบนฟิล์มอะลูมิเนียมผิวขรุขระ.” ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [24] ALCHEMY Spetec. 2565. **Hydrophobic vs Hydrophilic: Polyurethanes**. [Online]. Available : <https://info.alchemy-spetec.com/blog/hydrophobic-vs-hydrophilic-polyurethanes>.
- [25] Wikipedia. 2566. **กรดสเตียริก**. [Online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/กรดสเตียริก>.
- [26] สุจิตา คงทอง. 2552. “ไคติน-ไคโตซาน.” *วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา*. 3(1) : 1-7.
- [27] กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2565. **คุณภาพยาเม็ดไดโคลฟีแนกโซเดียม**. [Online]. Available : https://www.bdn.go.th/attachment/download/download.php?WP=q29ZMT1C_M5O0hJatrTgjWz00qmAZZJ1CM5O0hJatrTDo7o3O.
- [28] Adeyeye, C.M. and Li, P.K. 1990. “Diclofenac Sodium.” *Analytical Profiles of Drug Substances*. 19 : 123-144.
- [29] Siozou, E. Sakkas, V. and Kourkoumelis, N. 2021. “Quantification and Classification of Diclofenac Sodium Content in Dispersed Commercially Available Tablets by Attenuated Total Reflection Infrared Spectroscopy and Multivariate Data Analysis.” *Pharmaceuticals*. 14(5) : 440.
- [30] วิจิตร ใหม่อินทร์, พิชามญช ก้ามังละการ, สุวรรณ สุตปรีก, กุลนันท ปุคพรหม, ชุติมา อ้นชนะ, จันทรทิมา พงษ์พานิช และสุรศักดิ์ ละลอกน้ำ. “การผลิตเซลล์ูโลสจากแบคทีเรีย *Acetobacter xylinum* TISTR 086 โดยใช้ผลผลิตทางการเกษตรเป็นแหล่งคาร์บอน.” *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*. 3(2) 1-6.
- [31] Alibaba. 2565. **วันมะพร้าว/NATA DE COCOในRAW/ VICKY + 84 90 393 1029**. [Online]. Available : <https://thai.alibaba.com/product-detail/COCONUT-JELLY-NATA-DE-COCO-IN-1700003434861.html>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษานานับ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [32] Stumpf, T.R. Yang, X. Zhang, J. and Cao, X. 2018. "In situ and ex situ modifications of bacterial cellulose for applications in tissue engineering." *Materials Science and Engineering C*. 82 : 372-383.
- [33] Ji, L. Zhang, F. Zhu, L. and Jiang, J. 2021. "An in-situ fabrication of bamboo bacterial cellulose/sodium alginate nanocomposite hydrogels as carrier materials for controlled protein drug delivery." *International Journal of Biological Macromolecules*. 170 : 459-468.
- [34] ปณิดา อ่อนกล้า วรียา คำเพชรดี และอชฌา ชูริวัน. 2564. "การพัฒนาวัสดุปิดแผลจากวัสดุผสมแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจิเนตเพื่อให้มีสมบัติความชอบน้ำ/ไม่ชอบน้ำและการต้านเชื้อแบคทีเรีย." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [35] Gabrielyan, L. Hakobyan, L. Hovhannisyan, A. and Trchounian, A. 2019. "Effect of iron oxide (Fe_3O_4) nanoparticles on Escherichia coli antibiotic-resistant strains." *Journal of Applied Microbiology*. 126 : 1108-1116.
- [36] Patwa, R. Zandraa, O. Capáková, Z. Saha, N. and Saha, P. 2020. "Effect of Iron-oxide nanoparticles impregnated bacterial cellulose on overall properties of alginate/casein hydrogels: potential injectable biomaterial for wound healing applications." *Polymers*. 12 : 2690.
- [37] Yadav, C. and Maji, P.K. 2018. "Synergistic effect of cellulose nanofibers and bio-extracts for fabricating high strength sodium alginate based composite bio-sponges with antibacterial properties." *Carbohydrate Polymers*. 203 : 396-408.
- [38] Su, C. Zhao, H. Yang, H. and Chen, R. 2019. "Stearic Acid-Modified Starch/Chitosan Composite Sponge with Asymmetric and Gradient Wettability for Wound Dressing." *Applied bio materials*. 2 : 171-181.
- [39] สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน(องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2565. **X-Ray Diffractometer (XRD)**. [Online]. Available : <https://www.slri.or.th/bdd/th/22-บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์/71-x-ray-diffractometer-xrd.html>.
- [40] ANT TEKNIK. 2565. **XRD X-Ray Diffractometer**. [Online]. Available : <https://www.antteknik.com/en/products/?p=xrd-61007000-x-ray-diffractometer>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ www.antteknik.com/en/products/?p=xrd-61007000-x-ray-diffractometer คำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [41] ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2565. **กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)**. [Online]. Available : http://mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id_sub=42&id=39.
- [42] ELECMI. 2565. **ENVIRONMENTAL SCANNING ELECTRON MICROSCOPE: SEM-QUANTA FEG-250 (ESEM)**. [Online]. Available : <https://elecmi.es/en/sem-quantum-feg-250-esem/>.
- [43] ศูนย์บริการเครื่องมือวิเคราะห์วัสดุและนาโนเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2565. **Fourier Transform Infrared Spectrometer (เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์)**. [Online]. Available : <http://nano.kmitl.ac.th/ftir/>.
- [44] ศิริินิธย์ ธารธาดา และปฐมพร อำนาจอนันต์. 2561. “เทคโนโลยี Fourier Transform Infrared Spectroscopy: ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้.” *วารสารวิทยาศาสตร์สุขภาพสัตว์และเทคโนโลยี*. 2(1) : 29-33.
- [45] SHIMADZU. 2565. **IRTracer-100**. [Online]. Available : <https://www.ssi.shimadzu.com/products/ftir/ftir-spectroscopy/irtracer-100/index.html>.
- [46] มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2566. **เครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA)**. [Online]. Available : <https://erp.mju.ac.th/articleDetail.aspx?qid=1229>.
- [47] METTLER TOLEDO. 2566. **TGA/DSC 3+**. [Online]. Available : https://www.mt.com/ca/en/home/products/Laboratory_Analytics_Browse/TA_Family_Browse/TGA_DSC.html.
- [48] ENTECH. 2565. **หลักการและการประยุกต์ใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์(Spectrophotometer)**. [Online]. Available : <https://www.entech.co.th/หลักการใช้spectrophotometer/?lang=th>.
- [49] SHIMADZU. 2566. **UV-VIS Spectrophotometer UV-1900i**. [Online]. Available : https://www.shimadzu.com/research_and_development/design_strategy/works/uv1900.html.
- [50] ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2565. **Wetting angle measurement**. [Online]. Available : http://mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id_sub=26&id=143.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [51] DataPhysics. 2565. **OCA 20**. [Online]. Available : <https://www.dataphysics-instruments.com/products/oca/comparison/>.
- [52] ชิดารัตน์ เจริญแก้ว. 2555. “ผลของตัวแปรในกระบวนการโซลเจลต่อสมบัติของฟิล์ม TEOS-SiO₂-PDMS.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก ภาควิศวกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [53] ศูนย์ทดสอบทางพิษวิทยาและชีววิทยา. 2565. **การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์**. [Online]. Available : <https://www.nstda.or.th/tbes/cytotoxicity/>.
- [54] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2565. **การทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์**. [Online]. Available : <https://sciins.science.kmitl.ac.th/instrumentDetail/38-anti-microbial-activity-test>.
- [55] Marroquin-Garcia, R. Royackers, J. Gagliardi, M. Arreguin-Campos, R. Cleij, T.J. Eersels, K. van den Akker, N.M. Molin, D.G. Grinsven, B.V. and Diliën, H. 2022. “Polyphosphate-Based Hydrogels as Drug-Loaded Wound Dressing: An In Vitro Study.” *Applied polymer materials*. 4 : 2871-2879.
- [56] Zhou, L.L. Sun, D.P. Hu, L.Y. Li, Y.W. and Yang, J.Z. 2007. “Effect of addition of sodium alginate on bacterial cellulose production by *Acetobacter xlinum*.” *Society for Industrial Microbiology*. 34 : 483-489.
- [57] Kima, J.H. Parka, S Kimb, H. Kima, H.J. Yanga, Y.H. Kimc, Y.H. Jungd, S.K. Kane, E. and Leea, S.H. 2017. “Alginate/bacterial cellulose nanocomposite beads prepared using *Gluconacetobacter xylinus* and their application in lipase immobilization.” *Carbohydrate Polymers*. 157 : 137–145.
- [58] Leamviteevanich, P. Daneshvar, E. Eshaq, G. Puro, L. Mongkolthanaruk, W. Pinitsoontorn, S. and Bhatnagar, A. 2022. “Synthesis and Characterization of a Magnetic Carbon Nanofiber Derived from Bacterial cellulose for the Removal of Diclofenac from water.” *ASC Omega*. 7 : 7572-7584.
- [59] Yanga, T. Feenga, J. Zhanga, Q. Wua, W. Moa, H. Huang, L. and Zhang, W. 2020. “L-Carnitine conjugated chitosan-stearic acid polymeric micelles for improving the oral bioavailability of paclitaxel.” *Taylor & Francis*. 27(1) : 575-584.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [60] Sinha, N. Brijesh, K.S. and Pradip, K.D. 2017. "Research on Antibacterial Screening and Drug Delivery using Chitosan-Stearic Acid Derivative." *Journal of Polymer Materials*. 34(1) : 11-20.
- [61] Paramita, D.P. Setyawan, D. and Isadiartuti, D. 2014. "Physical Interaction Study of Ibuprofen-Stearic acid Binary Mixture." *Phamaceutics & Pharmaceutical Sciences*.
- [62] Kim, H.-S., Lee, S.-H. Eun, C.-J. Yoo, J and Seo, Y.-S. 2020. "Dispersion of chitosan nanoparticles stable over a wide pH range by adsorption of polyglycerol monostearate." *Nanomaterials and Nanotechnology*. 10 : 1-9.
- [63] Shen, X.J. Huang, P.L. Chen, J.H. Wu, Y.Y. Liu, Q.Y. and Sun, R.C. 2017. "Comparison of acid-hydrolyzed and TEMPO-oxidized nanocellulose for reinforcing alginate fibers." *BioRes*. 12(4) : 8180-8198.
- [64] Wang, X. Xie, H. Du, R. Liu, Y. Lin, P. Zhang, J. Bu, C. Huang, Y. and Zhang, W. 2018. "High-temperature chlorination of PbO and CdO induced by interaction with NaCl and Si/Al matrix." *Royal Society of Chemistry*. 8 : 34449-34458.
- [65] Tutorialspoint. 2566. **Fe₃O₄ Iron Oxide**. [Online]. Available : [https://www.tutorialspoint.com/fe3o4-iron-oxide#:~:text=Figure%201%3A%20Magnetite%20\(Fe3O4\)&text=Fe3O4%20has%20a%20melting%20point%20of,Fe3O4](https://www.tutorialspoint.com/fe3o4-iron-oxide#:~:text=Figure%201%3A%20Magnetite%20(Fe3O4)&text=Fe3O4%20has%20a%20melting%20point%20of,Fe3O4).
- [66] Marins, J.A. Soares, B.G. Barud, H.S. and Ribeiro, S.J.L. 2013. "Flexible magnetic membranes based on bacterial cellulose and its evaluation as electromagnetic interference shielding material." *Materials Science and Engineering C*. 33(7). 3994-4001.
- [67] Sulaeva, I. Hettegger, H. Bergen, A. Rohrer, C. Kostic, M. Konnerth, J. Rose nau, T. and Potthast, A. 2020. "Fabrication of bacterial cellulose-based wound dressings with improved performance by impregnation with alginate." *Materials Science and Engineering*. 110 : 1-8.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [68] Zhang, W. Chen, S. Hu, W. Zhou, B. Yang, Z. Yin, N. and Wang, H. 2011. “Facile fabrication of flexible magnetic nanohybrid membrane with amphiphobic surface based on bacterial cellulose.” *Carbohydrate Polymers*. 86 : 1760-1767.
- [69] Zhu, J. Zhou, S. Li, M. Xue, A. Zhao, Y. Peng, W. and Xing, W. 2020. “PVDF mixed matrix ultrafiltration membrane incorporated with deformed rebar-like Fe₃O₄-palygorskite nanocomposites to enhance strength and anti-fouling properties.” *Journal of Membrane Science*. 612 : 118467.
- [70] Akkaya, N.E. Ergun, C. Saygun, A. Yesilcubuk, N. Akel-Sadoglu, N. Kavakli, I.H. Turkmen, H.S. and Catalgil-Giz, H. 2020. “New biocompatible antibacterial wound dressing candidates; agar-locust bean gum and agar-salep films.” *International Journal of Biological Macromolecules*. 155 : 430-438.
- [71] Moniri M. Boroumand Moghaddam A. Azizi S. Abdul Rahim R. Zuhainis Saad W. Navaderi M. Arulselvan P. and Mohamad R. 2018. “Molecular study of wound healing after using biosynthesized BNC/Fe₃O₄ nanocomposites assisted with a bioinformatics approach.” *International Journal of Nano medicine*. 13 : 2955-2971.
- [72] Ali Abdul Hussein S. AL-Janabi. 2009. “Comparison of the disc diffusion assay with spectrophotometer technique for antibacterial activity of diclofenac sodium, indomethacin and mefenamic acid.” *Asian Journal of Pharmaceutics*. 3(2) : 148-152.
- [73] ความหลากหลายทางชีวภาพ. 2566. **ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบ**. [Online]. Available : https://www.sci.nu.ac.th/Biology/Biodiversity/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%203/chap3_file8.htm.
- [74] Lin, W.C. Lien, C.C. Yeh, H.J. Yu, C.M. and Hsu, S.H. 2013. “Bacterial cellulose and bacterial cellulose-chitosan membranes for wound dressing applications.” *Carbohydrate Polymers*. 94(1) : 603-611.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [75] Wichai, S. Chuysinuan, P. Chairwut, S. Ekabutr, P. and Supaphol, P. 2019. “Development of bacterial cellulose/alginate/chitosan composites incorporating copper (II) sulfate as an antibacterial wound dressing.” *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 51 : 662-671.
- [76] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2566. **การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ (Chloride)**. [Online]. Available : <https://www.mnre.go.th/attachment/iau/download.php?WP=qUlcNktjpQMgZKqCGWOghJstqTgcWat3pQMgBUpkGQWgG2rDqYyc4Uux>.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณการเตรียมองค์ประกอบในวัสดุปิดแผล

1. การเตรียมผ้าปิดแผลจากแบคทีเรียเซลลูโลส อัลจิเนต และเหล็ก(II,III) ออกไซด์ อนุภาคนาโน

- ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้แม่พิมพ์ขนาด 5x5 เซนติเมตร

เตรียมตัวอย่างในแม่พิมพ์ขนาด 5x5 เซนติเมตร ความหนา 5 มิลลิเมตร โดยผ้าปิดแผล 1 ชิ้น จะมีน้ำหนักเท่ากับ 12.5 กรัม เตรียมผ้าปิดแผลจากแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจิเนตในอัตราส่วน BC:ALG เป็น 70:30

- คำนวณหาน้ำหนักแบคทีเรียเซลลูโลสเปียกที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 70 จะได้แบคทีเรียเซลลูโลสเปียกหนัก = $12.5 \text{ g} \times \frac{70}{100} = 8.75 \text{ g}$

- คำนวณหาน้ำหนักสารละลายอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 30 จะได้สารละลายอัลจิเนตหนัก = $12.5 \text{ g} \times \frac{30}{100} = 3.75 \text{ g}$

หาปริมาตรของสารละลายอัลจิเนตที่ต้องการเตรียม ; ความหนาแน่นของอัลจิเนต = 1.601 g/cm^3

$$3.75 \text{ g} \times \frac{1 \text{ ml}}{1.601 \text{ g}} = 2.3 \text{ ml}$$

สารละลายอัลจิเนตเข้มข้น 1.5 %w/v ; มวลโมเลกุลของอัลจิเนต = 216.12 g/mol

เปลี่ยนความเข้มข้นเป็นโมลาร์

$$\frac{1.5 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times \frac{1 \text{ mol}}{216.12 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ l}} = 0.0694 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

ดังนั้นจะต้องชั่งอัลจิเนต

$$\frac{\text{g}}{\text{MW}} = \frac{\text{CV}}{1000}$$

$$\text{g} = \frac{0.0694 \times 2.3 \times 216.12}{1000} = 0.0345 \text{ g}$$

จะต้องชั่งผงอัลจิเนต 0.0345 g ละลายในน้ำกลั่น 2.3 ml เพื่อเตรียมสารละลายอัลจิเนตเข้มข้น 1.5

โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณปริมาณของเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ต้องชั่งเทียบจากน้ำหนักแบคทีเรีย เซลลูโลสและอัลจิเนตแห้ง วัสดุปิดแผลแบคทีเรียเซลลูโลสและอัลจิเนตก่อนทำให้แห้งหนัก 12.5 g หลังจากทำให้แห้งแบบเยือกแข็งจะมีน้ำหนักเหลือ 0.3021 g

- วัสดุปิดแผล BC/ALG ที่ใส่เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก
จะมีเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน $= \frac{1}{100} \times 0.3021 \text{ g} = 0.0030 \text{ g}$
จะต้องชั่งเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน 0.0030 g
- วัสดุปิดแผล BC/ALG ที่ใส่เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
จะมีเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน $= \frac{5}{100} \times 0.3021 = 0.0151 \text{ g}$
จะต้องชั่งเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน 0.0151 g
- วัสดุปิดแผล BC/ALG ที่ใส่เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
จะมีเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน $= \frac{10}{100} \times 0.3021 = 0.0302 \text{ g}$
จะต้องชั่งเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน 0.0302 g
- วัสดุปิดแผล BC/ALG ที่ใส่เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก
จะมีเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน $= \frac{15}{100} \times 0.3021 = 0.0453 \text{ g}$
จะต้องชั่งเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน 0.0453 g

ดังนั้นเมื่อเตรียมวัสดุปิดแผล 1 ชิ้นที่มีเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโนร้อยละ 1, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักจะต้องชั่งเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน 0.0030, 0.0151, 0.0302, 0.0453 g ตามลำดับ จากนั้นนำมาผสมกับสารละลายอัลจิเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 3.75 g และชั่งแบคทีเรียเซลลูโลส 8.75 g ปั่นกวนให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และเทใส่แม่พิมพ์ จากนั้นเตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยชั่ง แคลเซียมคลอไรด์ 1.5 g ละลายในน้ำกลั่น 100 ml และเทลงบนวัสดุปิดแผลจนท่วม

2. การเตรียมสารละลายกรดสเตียริกความเข้มข้น 0.05 mol/L

ในสารละลายเอทานอล	1000 ml	มีเนื้อสาร	0.05 mol
ต้องการเตรียม	16.6 ml	มีเนื้อสาร	0.00083 mol

$$\text{mol} = \frac{\text{g}}{\text{MW}} \rightarrow 0.00083 = \frac{\text{g}}{284.48} \rightarrow \text{g} = 0.2361 \text{ g}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ต้องชั่งกรดสเตียริก 0.2361 g ละลายในเอทานอล 16.6 ml ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเตรียมสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1% w/v ละลายในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1% w/v

ในน้ำกลั่น 100 ml มีกรดอะซิติก 1 ml

ในสารละลายกรดอะซิติก 100 ml มีไคโตซาน 1 g

ต้องการเตรียมสารละลายไคโตซาน 3.4 ml ซึ่งไคโตซาน $\frac{3.4 \times 1}{100} = 0.0340$ g

ดังนั้นต้องเจือจางกรดอะซิติก 1 ml ในน้ำกลั่น 100 ml จากนั้นนำกรดอะซิติกเจือจาง 3.4 ml

ปั่นรวมกับไคโตซาน 0.0340 g ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 30 นาที จนไคโตซานละลาย

4. การเตรียมสารละลายไดโคลฟีแนค โซเดียมความเข้มข้น 3000 ppm

ในเอทานอล 1 ml มีไดโคลฟีแนค โซเดียม 3 mg

ต้องการเตรียม 15 ml มีไดโคลฟีแนค โซเดียม $\frac{15 \times 3}{1} = 45$ mg = 0.0450 g

ต้องชั่งไดโคลฟีแนค โซเดียม 0.0450 g ละลายในเอทานอล 15 ml

5. การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ (pH 7.4) (phosphate buffer saline; PBS)

1. ชั่งโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 8 g

2. ชั่งโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) 0.2 g

3. ชั่งไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) 1.44 g

4. ชั่งโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 0.24 g

5. ละลายในน้ำกลั่น 800 ml

6. ปรับ pH ให้ได้ประมาณ 7.4 ด้วย 1N NaOH และ 20%HCl

7. เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนครบ 1000 ml เก็บที่อุณหภูมิ 4°C

- การเตรียม 1N NaOH; น้ำหนักโมเลกุลของ NaOH = 40 g/mol

ในน้ำกลั่น 1000 ml มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 g

ในน้ำกลั่น 10 ml มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ $\frac{10 \times 40}{1000} = 0.4$ g

ดังนั้นต้องชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

- การเตรียม 20%HCl จาก 37%HCl ปริมาตร 25 ml

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(37)V_1 = (20)(25)$$

$$V_1 = 13.5 \text{ ml}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นต้องปิเปตกรดไฮโดรคลอริก 13.5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 25 มิลลิลิตร

6. การเตรียมสารละลายไดโคลฟีแนค โซเดียมความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 ppm เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน (calibration curve)

- เตรียมสารละลายไดโคลฟีแนค โซเดียมความเข้มข้น 50 ppm

ในน้ำกลั่น 1 ml มีไดโคลฟีแนค โซเดียม 0.05 mg

ต้องการเตรียม 250 ml มีไดโคลฟีแนค โซเดียม 12.5 mg = 0.0125 g

ดังนั้นต้องชั่งไดโคลฟีแนค โซเดียม 0.0125 g ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 250 ml

- เตรียมสารละลายไดโคลฟีแนค โซเดียมความเข้มข้น 40 ppm ปริมาตร 25 ml

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(50 \text{ ppm})V_1 = (40 \text{ ppm})(25 \text{ ml})$$

$$V_1 = 20 \text{ ml}$$

ต้องปิเปตสารละลายไดโคลฟีแนค โซเดียมความเข้มข้น 50 ppm มา 20 ml และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 5 ml

- เตรียมสารละลายไดโคลฟีแนค โซเดียมความเข้มข้น 30 ppm ปริมาตร 25 ml

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(50 \text{ ppm})V_1 = (30 \text{ ppm})(25 \text{ ml})$$

$$V_1 = 15 \text{ ml}$$

ต้องปิเปตสารละลายไดโคลฟีแนค โซเดียมความเข้มข้น 50 ppm มา 15 ml และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 10 ml

- เตรียมสารละลายไดโคลฟีแนค โซเดียมความเข้มข้น 20 ppm ปริมาตร 25 ml

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(50 \text{ ppm})V_1 = (20 \text{ ppm})(25 \text{ ml})$$

$$V_1 = 10 \text{ ml}$$

ต้องปิเปตสารละลายไดโคลฟีแนค โซเดียมความเข้มข้น 50 ppm มา 10 ml และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 15 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เตรียมสารละลายไดโคลฟีแนค โซเดียมความเข้มข้น 10 ppm ปริมาตร 25 ml

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(50 \text{ ppm})V_1 = (10 \text{ ppm})(25 \text{ ml})$$

$$V_1 = 5 \text{ ml}$$

ต้องปิเปตสารละลายไดโคลฟีแนค โซเดียมความเข้มข้น 50 ppm มา 5 ml และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 20 ml



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

องค์ประกอบของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ ข.1 วุ้นมะพร้าว

องค์ประกอบ	ร้อยละ
วุ้นมะพร้าว	60
น้ำตาลทราย	30

ตารางที่ ข.2 เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน สูตรโมเลกุล : Fe_3O_4 มวลโมเลกุล : 231.53 g/mol

การทดสอบ	ข้อกำหนดเฉพาะของสารเคมี	ผล
สี	ดำ	ดำ
ลักษณะทางกายภาพ	ผง	ผง
ขนาดอนุภาค (nm)	50-100	50-100
ความบริสุทธิ์ (%)	97	97
การวิเคราะห์โลหะปริมาณ น้อย (ppm)	≤ 35000.0	7345.1
Aluminum (ppm)		290.6
Barium (ppm)		0.6
Calcium (ppm)		152.1
Cobalt (ppm)		148.1
Chromium (ppm)		3.8
Magnesium (ppm)		2138.6
Manganese (ppm)		2274.4
Molybdenum (ppm)		1.8
Sodium (ppm)		431.2
Nickel (ppm)		76.6
Platinum (ppm)		18.9
Strontium (ppm)		1.3
Titanium (ppm)		1373.1
Vanadium (ppm)		46.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) เหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน

การทดสอบ	ข้อกำหนดเฉพาะของสารเคมี	ผล
Zinc (ppm)		189.3
Zirconium (ppm)		197.9

ตารางที่ ข.3 ไคโคลพีแนค โซเดียม สูตรโมเลกุล : $C_{14}H_{10}Cl_2NNaO_2$ น้ำหนักโมเลกุล : 318.13 g/mol

การทดสอบ	ข้อกำหนดเฉพาะของสารเคมี	ผล
สี	ขาว-ขาวนวล	ขาวนวล
ลักษณะทางกายภาพ	ผง	ผง
ความบริสุทธิ์ (TLC)	$\geq 98\%$	99%
ความสามารถในการละลาย (สี)	ใสไม่มีสี-เหลืองอ่อน	เกือบใสไม่มีสี
ความสามารถในการละลาย (ความขุ่น)	ใส	ใส
50 mg/ml ในเมทานอล		
ปริมาณคาร์บอน	51.6 – 54.2%	52.9%
ปริมาณไนโตรเจน	4.1 – 4.7%	4.3%
การทดสอบ (ICP)	5.9%	7%
โซเดียม 5.4-9.0%		

ตารางที่ ข.4 ไคโตซาน สูตรโมเลกุล : $(C_6H_{11}NO_4)_n$ มวลโมเลกุลสูง

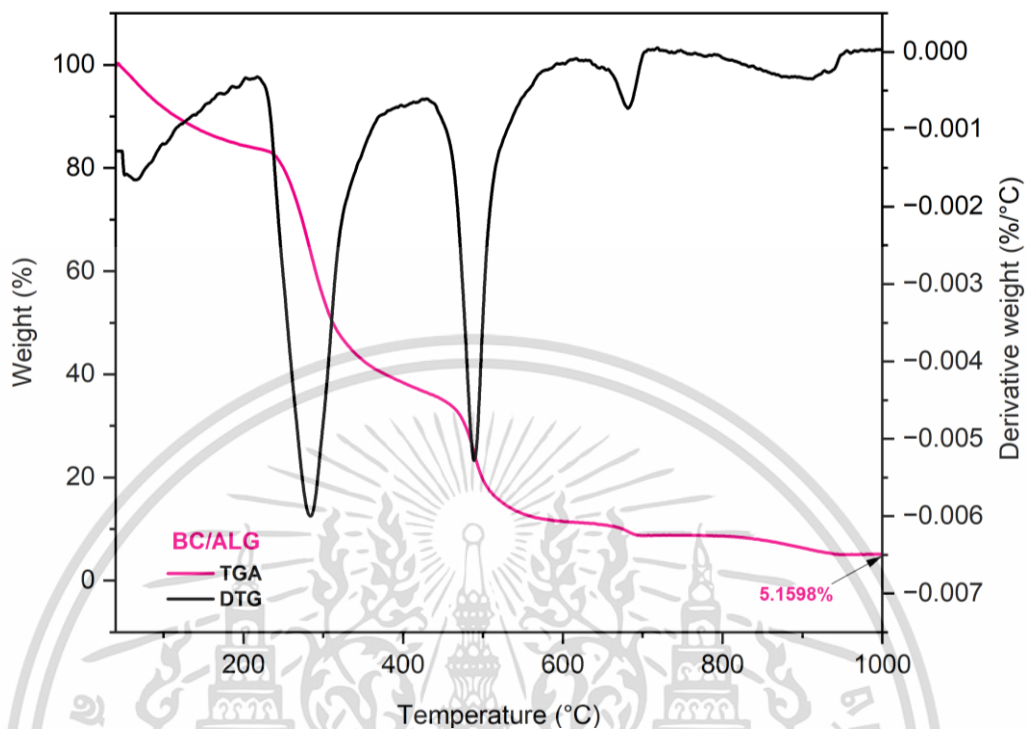
ขนาดอนุภาค	18 mesh
โลหะหนัก	< 10 ppm

ตารางที่ ข.5 อัลจิเนต สูตรโมเลกุล : $(C_6H_7NaO_6)_n$ มวลโมเลกุล : 216.12 g/mol

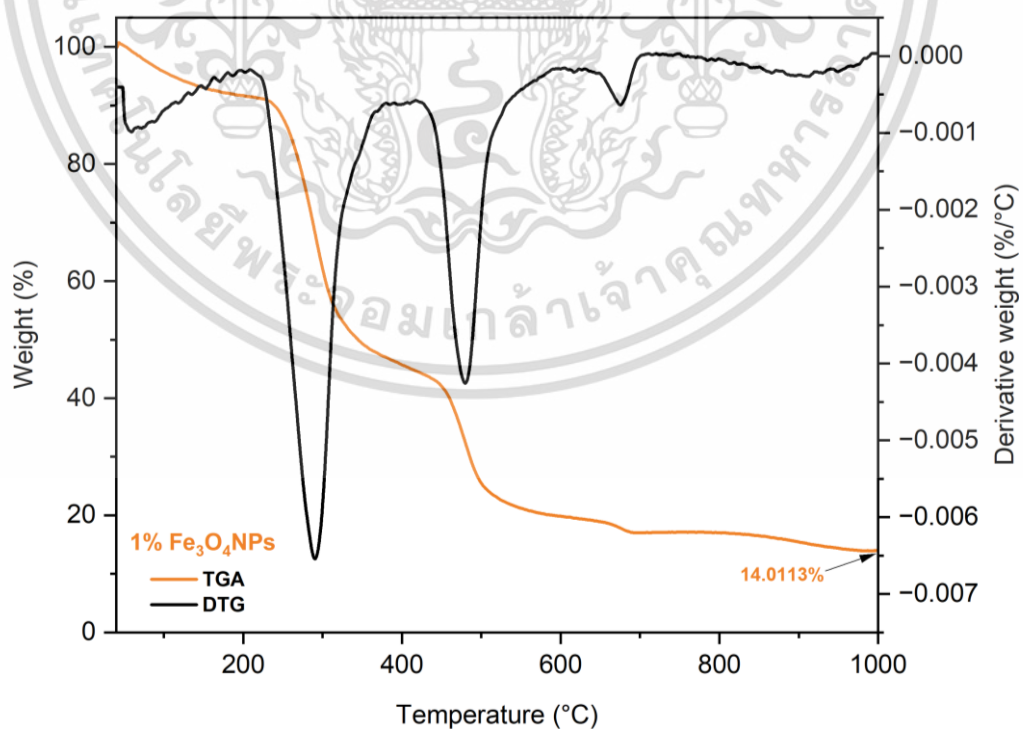
ความบริสุทธิ์	100%
สี	ขาวถึงครีมอ่อน
ลักษณะทางกายภาพ	ผง
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

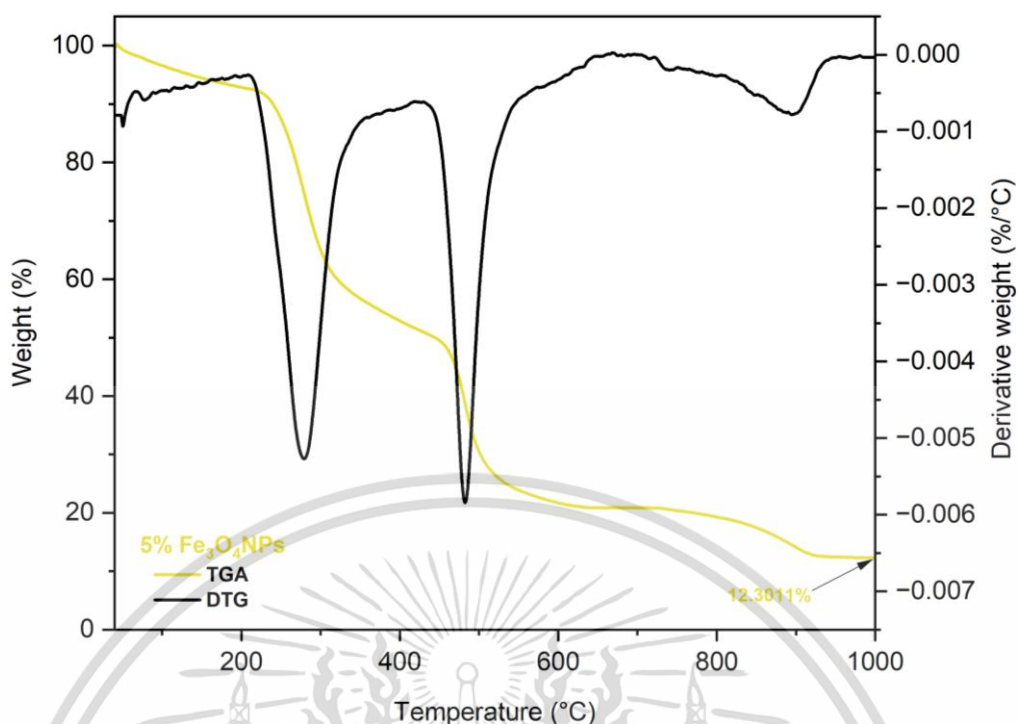


รูปที่ ค.1 TGA และ DTG thermogram ของวัสดุปิดแผล BC/ALG

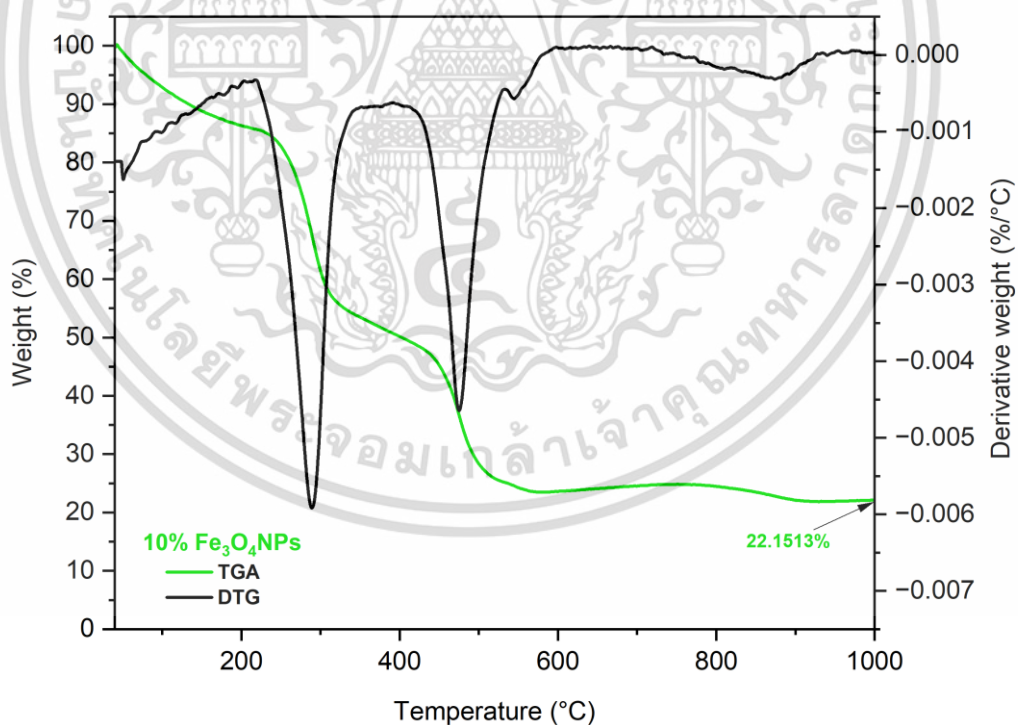


รูปที่ ค.2 TGA และ DTG thermogram ของวัสดุปิดแผล 1% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

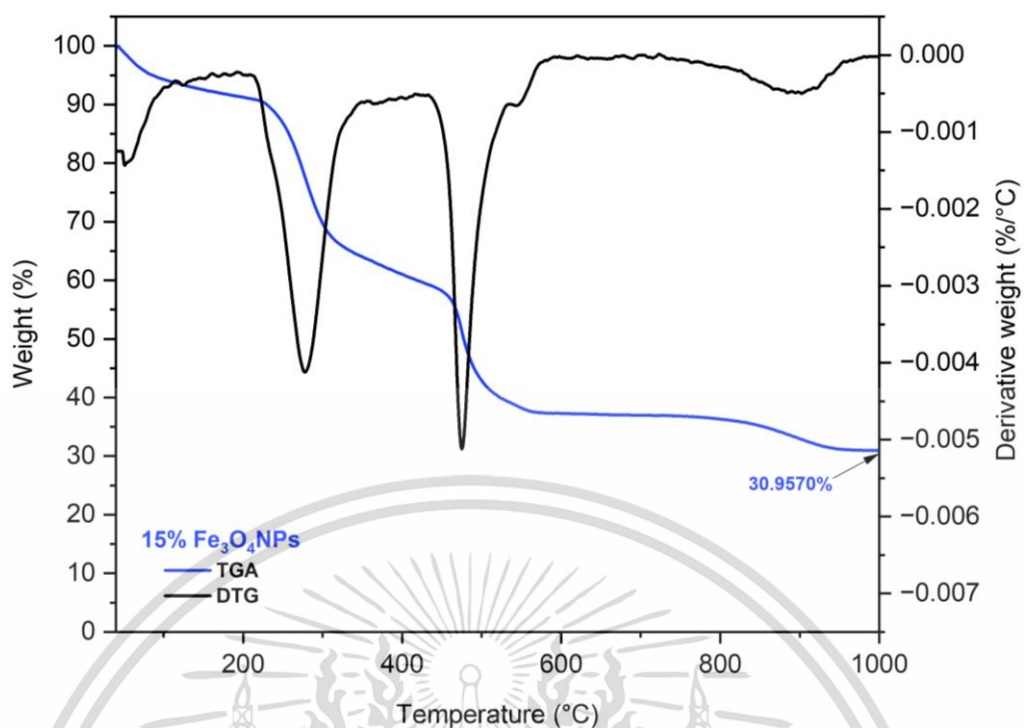


รูปที่ ค.3 TGA และ DTG thermogram ของวัสดุปิดแผล 5% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$

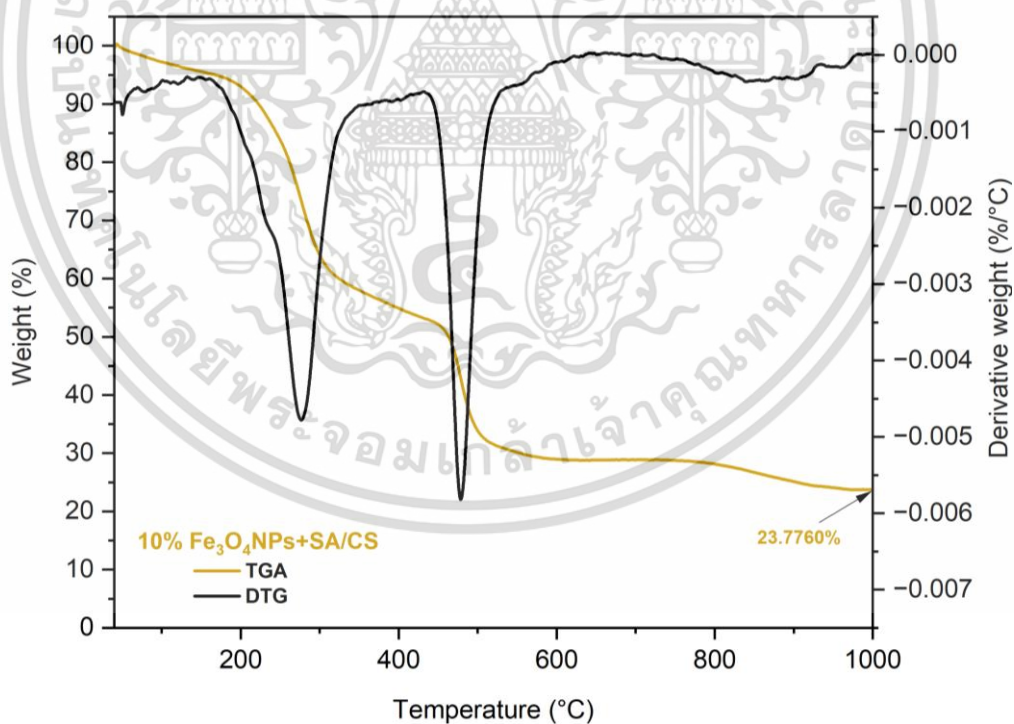


รูปที่ ค.4 TGA และ DTG thermogram ของวัสดุปิดแผล 10% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

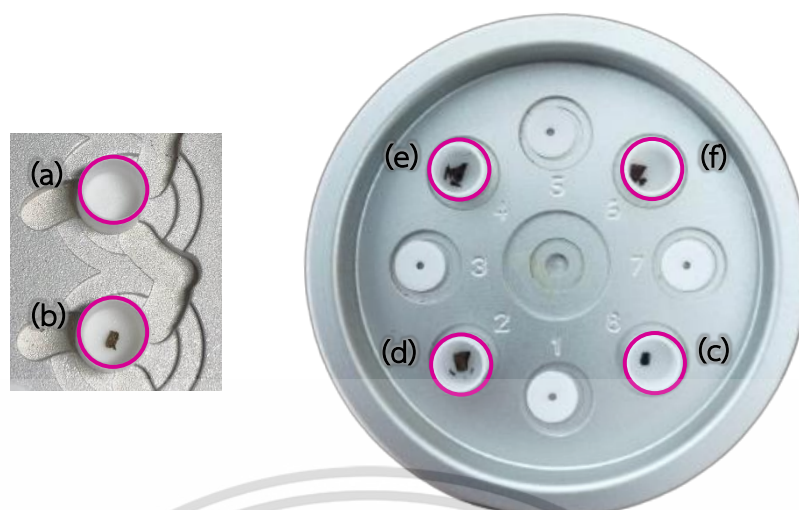


รูปที่ ค.5 TGA และ DTG thermogram ของวัสดุปิดแผล 15% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$



รูปที่ ค.6 TGA และ DTG thermogram ของวัสดุปิดแผล 10% $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}+\text{SA/CS}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.7 เศษที่เหลือหลังจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ของวัสดุปิดแผล (a) BC/ALG (b) 1%Fe₃O₄NPs (c) 5%Fe₃O₄NPs (d) 10%Fe₃O₄NPs (e) 15%Fe₃O₄NPs และ (f) 10%Fe₃O₄NPs+SA/CS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 22 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2566

ข้าพเจ้า นางสาว ชญาณีนันท์ เลอศักดิ์สกุล

รหัสประจำตัว 62050269

นางสาว ชญาณี

กลั่นเทียน

รหัสประจำตัว 62050270

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชา เคมี ขอรับรองว่าโครงการพิเศษเรื่อง

ชื่อภาษาไทย การพัฒนาผ้าปิดแผลฉลาดจากแบคทีเรียเซลลูโลสและเหล็ก(II,III) ออกไซด์อนุภาคนาโน

ชื่อภาษาอังกฤษ Development of smart wound dressing from bacterial cellulose and Fe₃O₄ nanoparticles

ปีการศึกษา 2565

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว
โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 0.76 %

ลงชื่อ ชญาณีนันท์ เลอศักดิ์สกุล

ลงชื่อ ชญาณี กลั่นเทียน

(นางสาวชญาณีนันท์ เลอศักดิ์สกุล)

(นางสาวชญาณี กลั่นเทียน)

นักศึกษา

นักศึกษา

ข้าพเจ้า รศ.ดร. ปานไพลิน สีหาราช อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษของนักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ ปานไพลิน

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้