

สมบัติของวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากเมือกแมงลักและอะการ์  
เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกโดยใช้กรดแมนดีลิกเป็นสารต้านเชื้อแบคทีเรีย

PROPERTIES OF pH SENSITIVE WOUND DRESSING FROM BASIL  
SEED (*O.basilicum L*) MUCILAGE AND AGAR CROSSLINKED BY  
SUCCINIC ACID USING MANDELIC ACID AS ANTIBACTERIAL AGENT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2565

KMITL-2022-SC-M-012-087

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROPERTIES OF pH SENSITIVE WOUND DRESSING FROM BASIL SEED  
(*O.basilicum L*) MUCILAGE AND AGAR CROSSLINKED BY SUCCINIC  
ACID USING MANDELIC ACID AS ANTIBACTERIAL AGENT



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE  
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY SCHOOL OF SCIENCE  
KINC MONGLUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2022

KMITL-20022-SC-M-012-087

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2022

SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมบัติของวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากเมือกแมงลัก และอะการ์เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกโดยใช้กรดแมนดีลิกเป็นสารต้านเชื้อแบคทีเรีย
ชื่อนักศึกษา	ปณิตดา ครุธา
รหัสประจำตัว	62605079
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพอลิเมอร์)
ภาควิชา	เคมี
พ.ศ.	2565
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากเมือกแมงลัก (BSM) และอะการ์ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยมีอัตราส่วน BSM:agar เท่ากับ 2:0 1.5:0.5 1:1 และ 0.5:1.5 โดยน้ำหนัก จากนั้นใช้กรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชันเพื่อเป็นสารเชื่อมโยง สารต้านเชื้อแบคทีเรีย และอินดิเคเตอร์ตามลำดับ โดยวัสดุปิดแผลถูกขึ้นรูปด้วยวิธีการทำแห้งเยือกแข็ง โครงสร้างทางเคมีของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปริมาณต่าง ๆ พบว่าเกิดการเคลื่อนที่ลดลงของเลขคลื่นในช่วงการสั่นของ O-H stretching และ O-H bending หลังจากเติมกรดแมนดีลิก และสารสกัดอัญชันที่ปริมาณต่าง ๆ พบว่าช่วงการสั่นของ C=O stretching มีความเข้มของสัญญาณเพิ่มขึ้น จากเทคนิค SEM โครงสร้างภายในของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ เป็นรูพรุนชนิดเซลล์เปิด นอกจากนี้สมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลเพิ่มสูงขึ้นหลังการเติมอะการ์ แต่ความพรุน ความสามารถในการกักเก็บน้ำและการบวมตัวลดลง หลังจากการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก พบว่าเกิดหมู่ฟังก์ชันใหม่แสดงถึงปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน วัสดุปิดแผลมีโครงสร้างรูพรุนมีความคงรูปมากขึ้น นอกจากนี้สมบัติเชิงกลและเสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกดีขึ้น แต่ความพรุน ความสามารถในการกักเก็บน้ำและสมบัติการบวมตัวลดลง นอกจากนี้ วัสดุปิดแผลที่เติมกรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชันยังมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียอย่างชัดเจนทั้ง *Staphylococcus aureus* (แกรมบวก) และ *Escherichia coli* (แกรมลบ) อย่างไรก็ตามจากการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์พบว่าปริมาณของสารสกัดอัญชันที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความเป็นพิษต่อเซลล์เล็กน้อย เมื่อนำวัสดุปิดแผลมาทดสอบการตอบสนองต่อค่าพีเอชพบว่าวัสดุปิดแผลมีการเปลี่ยนแปลงสีสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 5 6 7 และ 8 โดยเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีเขียวซึ่งสามารถใช้บ่งบอกการอักเสบและการติดเชื้อแบคทีเรียของผิวหนังได้ จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าวัสดุปิดแผลที่เตรียมได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชเพื่อแสดงถึงการอักเสบและการติดเชื้อของบาดแผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : กรดแมนติลิก การเชื่อมโยง เมื่อกแมงลัก วัสดุปิดแผลต่อตอบสนองต่อค่าพีเอช สารสกัด  
อัญชัน อะการ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Properties of pH sensitive wound dressings from basil seed ( <i>O.basilicum L.</i> ) mucilage and agar crosslinked by succinic acid using mandelic acid as antibacterial agent
<b>Student Name</b>	Pannita Kruta
<b>Student ID</b>	62605079
<b>Degree</b>	Master of Science (Polymer Technology)
<b>Department</b>	Chemistry
<b>Year</b>	2022
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Jutarat Prachayawarakorn

### Abstract

In this research, pH-responsive dressings from basil seed mucilage (BSM) and agar with different weight ratios 2:0 1.5:0.5 1:1 and 0.5:1.5 were developed. In addition, succinic acid (SA), mandelic acid (MA), and butterfly pea extract were selected for crosslinking agent, antibacterial agent and pH indicator, respectively. BSM/agar wound dressings were freeze-dried and demonstrated an IR peak shift to a lower wavenumber for O-H stretching and O-H bending. After the incorporation of different concentrations of MA and butterfly pea extract, the intensity of IR peak position for C=O stretching increased. Opened-cell structures of pores in BSM/agar wound dressings were observed from SEM micrographs. Moreover, mechanical properties of wound dressing were improved by the addition of agar but porosity, water retention and swelling were reduced. After crosslinking with SA, the esterification of the wound dressing was observed. The wound dressings showed porous structure and cell wall connection. Moreover, mechanical properties and thermal stability of SA crosslinked BSM/agar wound dressing were improved but porosity, water retention and swelling were reduced. In addition, wound dressing with MA and butterfly pea extract clearly represented effective antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* (gram-positive) and *Escherichia coli* (gram-negative). However, from cytotoxicity test, an increase in butterfly pea extract content affected to mild cytotoxicity. In addition, the pH-sensitive performance of the wound dressings in buffer solution (pH 4, 5, 6, 7 and 8) showed color change from red to green which can be applied as an indicator to

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dressing prepared from BSM/agar could potentially be applied as pH-responsive for monitoring inflammation and wound infection.

**Keywords** : Agar, Basil seed mucilage, Butterfly pea extract, Crosslinking, Mandelic acid, pH-sensitive wound dressing



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้บรรลุผลสำเร็จได้ด้วยดีเนื่องจากการได้รับความช่วยเหลือ คำปรึกษา ตลอดจนคำแนะนำจากบุคคลต่างๆ อันเป็นประโยชน์และประสบการณ์ที่ดียิ่งแก่ตัวข้าพเจ้า ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรีชญาวารกร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา คำแนะนำ และคอยดูแลเอาใจใส่ข้าพเจ้ามาโดยตลอดในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย และรศ.ดร. สุปรานี แก้วภิรมย์ คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำ และตรวจทานแก้ไขให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณณัฐพล ไกรธรรม คุณศรัณย์ สมบัติจิราภรณ์ และคุณกัญญา มงคลโภชน์ นักวิทยาศาสตร์ประจำอาคารปฏิบัติการตึกจุฬารัตน์วลัยลักษณ์ 1 และอาคารสำนักงานคณบดี ตลอดจนเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกเรื่องสารเคมี อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ ตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ภาควิชาเคมีทุกคน ที่เป็นกำลังใจสำคัญ คอยช่วยเหลือ และให้คำแนะนำให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือซึ่งมิได้กล่าวถึงอีกมากมาย ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวปณิตา ครุธา

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฐ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>5</b>
2.1 วัสดุปิดแผล.....	5
2.1.1 ชนิดของวัสดุปิดแผล.....	5
2.1.1.1 ก๊อช (GauzeX) .....	5
2.1.1.2 ผ้าตาข่าย (Tulles) .....	5
2.1.1.3 फिल्म (Film) .....	6
2.1.1.4 ไฮโดรเจล (Hydrogel).....	6
2.1.1.5 ไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid).....	6
2.1.1.6 Antimicrobial dressing.....	6
2.1.1.7 อัลจินेट (Alginates).....	6
2.1.1.8 โฟม (Foam).....	6
2.2 กระบวนการหายของบาดแผล.....	7
2.2.1 ระยะการอักเสบ (Inflammatory phase).....	7
2.2.2 ระยะเพิ่มจำนวน (Proliferative phase).....	7
2.2.3 ระยะเปลี่ยนใหม่ (Remodeling phase).....	7
2.3 ไฮโดรเจล (Hydrogel) .....	8
2.3.1 สมบัติที่สำคัญของไฮโดรเจล.....	9
2.3.1.1 การดูดน้ำของไฮโดรเจล.....	9
2.3.1.2 การดูดซับโลหะหนัก.....	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ชนิดของไฮโดรเจล.....	10
2.3.2.1 ไฮโดรเจลชนิดแผ่นฟิล์ม.....	10
2.3.2.2 ไฮโดรเจลชนิดกราฟท์บนพื้นผิว.....	10
2.3.2.3 ไฮโดรเจลชนิดโครงร่างตาข่าย.....	10
2.3.2.4 ไฮโดรเจลโครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์ชนิดแทรกสอด.....	10
2.3.3 วิธีการเตรียมไฮโดรเจล.....	11
2.3.3.1 การเชื่อมโยงทางกายภาพ.....	11
2.3.3.2 การเชื่อมโยงทางเคมี.....	12
2.3.4 ปัจจัยที่ผลต่อการบวมตัวของไฮโดรเจล.....	13
2.3.5 การประยุกต์ใช้งาน.....	13
2.4 เมล็ดแมงลัก.....	14
2.5 เมือกแมงลัก.....	15
2.6 กัมจากแหล่งธรรมชาติ.....	16
2.6.1 กัม.....	16
2.6.1 อะการ์.....	17
2.7 กรดซัคซินิก.....	17
2.8 กรดแมนดีลิก.....	19
2.9 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแบคทีเรีย.....	21
2.9.1 <i>Staphylococcus aureus</i> .....	21
2.9.2 <i>Escherichia coli</i> .....	21
2.10 กลไกการออกฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย.....	22
2.10.3 การสังเคราะห์ไนโซโทพลาสซึม.....	22
2.10.3.1 ทำลายระบบดีเอ็นเอ.....	22
2.10.3.2 ทำลายระบบอาร์เอ็นเอ.....	22
2.10.3.3 ทำลายการสังเคราะห์โปรตีน.....	22
2.11 อัญชัน.....	22
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>28</b>
3.1 สารเคมี.....	28
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	32
3.3.1 ขั้นตอนการสกัดเมือกแมงลัก.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2	ขั้นตอนการสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน.....	32
3.3.3	การเตรียมวัสดุผลจากเมือกแมงลักผสมผงวุ้น.....	32
3.3.4	การเตรียมวัสดุผลจากเมือกแมงลักผสมผงวุ้นเชื่อมโยงที่ปรับปรุงด้วย กรดซัคซินิก.....	33
3.3.5	การเตรียมวัสดุผลจากเมือกแมงลักผสมผงวุ้นเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก และกรดแมนดีลิก.....	33
3.3.6	การเตรียมวัสดุผลจากเมือกแมงลักผสมผงวุ้นเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน.....	33
3.4	การทดสอบสมบัติของวัสดุปิดแผล.....	35
3.4.1	ตรวจวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี.....	35
3.4.2	สัณฐานวิทยา.....	35
3.4.3	การทดสอบการบวมตัว.....	35
3.4.4	สมบัติทางความร้อน.....	36
3.4.5	การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	36
3.4.6	ความพรุน.....	37
3.4.7	ความสามารถในการกักเก็บน้ำ.....	37
3.4.8	สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย.....	37
3.4.9	ความเป็นพิษต่อเซลล์.....	38
3.4.10	การวัดสี.....	39
3.3.11	การทดสอบการตอบสนองต่อค่าพีเอช.....	39
3.3.12	วิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	40
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....</b>		<b>41</b>
4.1	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR.....	45
4.1.1	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ ปริมาณต่าง ๆ.....	45
4.1.2	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก.....	47
4.1.3	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก.....	48
4.1.4	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน.....	50
4.3	การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและ อะการ์ปริมาณต่าง ๆ.....	52
4.2.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก.....	54
4.2.3 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก.....	55
4.2.4 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกสารสกัดอัญชัน.....	56
4.2 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผล.....	58
4.3.1 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ปริมาณ ต่าง ๆ.....	58
4.3.2 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมผงวุ้นที่ ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก.....	59
4.3.3 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก.....	60
4.3.4 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน.....	61
4.4 การทดสอบสมบัติการบวมตัว.....	62
4.4.1 สมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ปริมาณ ต่าง ๆ.....	62
4.4.2 สมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก.....	63
4.4.3 สมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก และกรดแมนดีลิก.....	64
4.4.4 สมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน.....	65
4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	66
4.5.1 การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ ปริมาณต่าง ๆ.....	66
4.5.2 การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก.....	67
4.5.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก.....	69

4.5.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน.....	70
4.6 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA).....	71
4.6.1 สมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ ปริมาณต่าง ๆ.....	71
4.6.2 สมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก.....	73
4.6.3 สมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก.....	76
4.6.4 สมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน.....	78
4.7 การวิเคราะห์หาปริมาณสารแอนโทไซยานินจากสารสกัดอัญชัน.....	81
4.8 การวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีและการตอบสนองต่อค่าพีเอช.....	82
4.7 การทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย.....	86
4.8 การทดสอบความเป็นพิษกับเซลล์.....	91
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยแล้วข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>95</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	95
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	97
ภาคผนวก.....	105
ภาคผนวก ก.....	106
ภาคผนวก ข.....	107
ภาคผนวก ค.....	109
ภาคผนวก ง.....	110
ภาคผนวก จ.....	112
ประวัติผู้เขียน.....	119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจำแนกชั้นวิทยาศาสตร์ของแมงลัก.....	15
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมือกแมงลัก.....	15
2.3 ข้อมูลความปลอดภัยของกรดซัคซินิก.....	18
2.4 สมบัติทางกายภาพของกรดแมนดีลิก.....	20
2.5 การจำแนกชั้นวิทยาศาสตร์ของอัญชัน.....	23
3.1 องค์ประกอบเคมีของเมือกแมงลัก.....	28
3.2 ข้อมูลของผงวุ้น.....	28
3.3 ข้อมูลของกรดซัคซินิก.....	29
3.4 ข้อมูลของกรดแมนดีลิก.....	29
3.5 ปริมาณส่วนผสมในแต่ละสูตร.....	34
4.1 อักษรย่อของวัสดุปิดแผลที่ใช้ในงานวิจัย.....	41
4.2 หมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏในวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงที่เตรียมได้.....	45
4.3 ความพรุน และความสามารถในการกักเก็บน้ำของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ปริมาณต่าง ๆ.....	58
4.4 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกปริมาณต่าง ๆ.....	59
4.5 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิกปริมาณต่าง ๆ.....	60
4.6 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน.....	61
4.7 สมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ปริมาณต่าง ๆ.....	66
4.8 สมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก.....	67
4.9 สมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก.....	69
4.10 สมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน.....	70
4.11 อุณหภูมิการสลายตัวและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักขององค์ประกอบของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ปริมาณต่าง ๆ.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.12	อุณหภูมิการสลายตัวและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักขององค์ประกอบของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก.....	74
4.13	อุณหภูมิการสลายตัวและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักขององค์ประกอบของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่และอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก.....	77
4.14	อุณหภูมิการสลายตัวและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักขององค์ประกอบของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน.....	80
4.15	ค่าการวัดสีของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน.....	82
4.16	ค่าการวัดสีของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน.....	83
4.17	เฉดสีของวัสดุปิดแผลในสารละลายบัฟเฟอร์ต่าง ๆ.....	84
4.18	สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากเมือกแมงลักที่และอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน.....	86
4.19	ผลการทดสอบความเป็นพิษในเซลล์ HaCaT ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน.....	91
ก.1	ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและฆ่าแบคทีเรียของกรดแมนดีลิก.....	106
ข.1	องค์การบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ปริมาณต่าง ๆ ณ เวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง.....	107
ข.2	องค์การบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกปริมาณต่าง ๆ ณ เวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง.....	107
ข.3	องค์การบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิกปริมาณต่าง ๆ ณ เวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง.....	108
ข.4	องค์การบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชันปริมาณต่าง ๆ ณ เวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง.....	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กระบวนการหายของบาดแผล ได้แก่ (a) ระยะการอักเสบ (Inflammation) (b) ระยะเพิ่มจำนวน (Proliferation) และ (c) ระยะเปลี่ยนใหม่ (Remodeling)...	8
2.2	กลไกดูดน้ำของพอลิโซเดียมอะคริเลตไฮโดรเจล.....	9
2.3	การเกิดพันธะโคออดิเนตโควาเลนต์ระหว่างโลหะหนักกับไฮโดรเจล.....	10
2.4	การเกิดพันธะไอออนิกระหว่างหมู่คาร์บอกซิลิกและ $Ca^{2+}$ เชื่อมขวางเป็นไฮโดรเจล	11
2.5	แผนภาพการสังเคราะห์พอลิไอออนิกไฮโดรเจลของไคโตซานกับแซนแทนกัม.....	11
2.6	การสังเคราะห์ไฮโดรเจลคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose)..	12
2.7	โครงสร้างของเมือกแมงลัก.....	16
2.8	โครงสร้างของอะกาโรส.....	17
2.9	โครงสร้างของกรดซัคซินิก.....	18
2.10	โครงสร้างของกรดแมนดีลิก.....	19
2.11	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์กรดแมนดีลิกจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของแมนดีโลไนไตรล์	20
2.12	โครงสร้างของแอนโทไซยานิน.....	23
3.1	แผนภาพการดำเนินงาน.....	31
4.1	อันตรายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและ อะการ์.....	43
4.2	อันตรายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและ อะการ์ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก.....	43
4.3	อันตรายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและ อะการ์ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกกรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน.....	44
4.4	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ปริมาณต่าง ๆ.....	46
4.5	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่เชื่อมโยงและไม่ เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกปริมาณต่าง ๆ .....	47
4.6	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก และกรดแมนดีลิกปริมาณต่าง ๆ.....	48
4.7	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วย กรดซัคซินิกกรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน 2 กรัมและ 4 กรัม.....	50
4.8	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วย กรดซัคซินิกกรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน 2 กรัมและ 4 กรัม.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9	ภาพถ่ายภาคตัดขวางของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปริมาณอะการ์ต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 200 เท่า.....	52
4.10	สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของวัสดุปิดแผลและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกปริมาณต่าง ๆ กำลังขยาย 200 เท่า (ก) 1BSM/1agar (ข) 1BSM/1agar/SA1 (ค) 1BSM/1agar/SA2 และ (ง) 1BSM/1agar/SA3.....	54
4.11	สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของวัสดุปิดแผลและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและเติมกรดแมนดีลิกที่กำลังขยาย 200 เท่า (ก) 1BSM/1agar/SA2 (ข) 1BSM/1agar/SA2/MA1 (ค) 1BSM/1agar/SA2/MA2 และ (ง) 1BSM/1agar/SA2/MA3.....	55
4.12	สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของวัสดุปิดแผลและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชันที่กำลังขยาย 200 เท่า (ก) 1BSM/1agar/SA2MA1 (ข) 1BSM/1agar/SA2/MA1BP1 และ (ค) 1BSM/1agar/SA2/MA1BP2.....	56
4.13	สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของวัสดุปิดแผลและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชันที่กำลังขยาย 200 เท่า (ก) 1BSM/1agar/SA2/MA3 (ข) 1BSM/1agar-10SA/MA3BP1 และ (ค) 1BSM/1agar/SA2/MA3BP2.....	57
4.14	องศาการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ผสมอะการ์ปริมาณต่าง ๆ.....	62
4.15	องศาการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกปริมาณต่าง ๆ.....	63
4.16	องศาการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิกปริมาณต่าง ๆ.....	64
4.17	องศาการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิก 0.7 กรัม และสารสกัดอัญชัน 2 และ 4 กรัม.....	65
4.18	องศาการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิก 1.4 กรัมและสารสกัดอัญชัน 2 และ 4 กรัม.....	65
4.19	เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ผสมอะการ์ปริมาณต่าง ๆ (ก) TGA และ (ข) DTG.....	71
4.20	เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก(ก) TGA และ (ข) DTG.....	73
4.21	เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก (ก) TGA และ (ข) DTG.....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.22	เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิก 0.7 กรัมและสารสกัดอัญชัน 2 และ 4 กรัม (ก) TGA และ (ข) DTG .....	78
4.23	เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิก 1.7 กรัมและสารสกัดอัญชัน 2 และ 4 กรัม (ก) TGA และ (ข) DTG .....	79
4.24	การทดสอบสารแอนโทไซยานิน (ก) สารสกัดอัญชันเจือจางในสารละลายโพแทสเซียมพีเอช 1 และ (ข) สารสกัดอัญชันเจือจางในสารละลายโซเดียมอะซิเตทพีเอช 4.5.....	81
4.25	ขอบเขตการยับยั้งเชื้อ <i>S.aureus</i> (ก)-(ง) และ <i>E.coli</i> (จ)-(ช) ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก.....	87
4.26	ขอบเขตการยับยั้งเชื้อ <i>S.aureus</i> (ก)-(ฉ) ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน.....	88
4.27	ขอบเขตการยับยั้งเชื้อ <i>E.coli</i> (ก)-(ฉ) ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน.....	89
4.28	ภาพถ่ายการเจริญของเซลล์หลังทดสอบกับตัวอย่างของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน.....	93
ง.1	ภาพถ่ายชิ้นงานวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ (ก) 2BSM (ข) 1.5BSM/0.5agar (ค) 1BSM/1agar และ (ง) 0.5BSM/1agar.....	110
ง.2	ภาพถ่ายชิ้นงานวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก (ก) 1BSM/1agar/SA1 (ข) 1BSM/1agar/SA2 และ (ค) 1 BSM/1agar/SA3.....	110
ง.3	ภาพถ่ายชิ้นงานวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก และเติมกรดแมนดีลิก (ก) 1BSM/1agar/SA2/MA1 (ข) 1BSM/1agar/SA2/MA2 และ (ค) 1BSM/1agar/SA2/MA3.....	111
ง.4	ภาพถ่ายชิ้นงานวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน (ก)1BSM/1agar/SA2/MA1BP1 (ข) 1BSM/1agar/SA2/MA1BP2 (ค) 1BSM/1agar/SA2/MA3BP1 และ (ง) 1BSM/1agar/SA2/MA3BP2.....	111
จ.1	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร2BSM.....	112
จ.2	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร1.5BSM/0.5agar.....	112
จ.3	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร1BSM/1agar.....	113
จ.4	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร0.5BSM/1.5agar.....	113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.5	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA1.....	114
จ.6	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2.....	114
จ.7	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA3.....	115
จ.8	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2/MA1.....	115
จ.9	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2/MA2.....	116
จ.10	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2/MA3.....	116
จ.11	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2/MA1BP1.....	117
จ.12	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2/MA1BP2.....	117
จ.13	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2/MA3BP1.....	118
จ.14	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2/MA3BP2.....	118



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

วัสดุปิดแผล (Wound dressing) มีหน้าที่ในการช่วยรักษาและป้องกันบาดแผล เนื่องจากการฉีกขาดของเนื้อเยื่อ วัสดุปิดแผลที่ดีควรป้องกันบาดแผลจากสิ่งปนเปื้อนภายนอก และมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่ส่งผลต่ออาการอักเสบของบาดแผล รักษาความชุ่มชื้นบริเวณบาดแผล ดูดสารคัดหลั่งจากบาดแผล รวมถึงสมบัติเชิงกลที่ต้องมีความต้านทานต่อการฉีกขาดและแรงดึงยืด นอกจากนี้วัสดุปิดแผลต้องไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ต่อผิวหนังและไม่เป็นพิษ [1]

โดยปกติผิวหนังจะมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 5-6 แต่เมื่อผิวหนังถูกทำลายค่าพีเอชจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นถึงการติดเชื้อแบคทีเรีย จนกระทั่งเกิดกลไกการรักษาและสมานบาดแผลให้ผิวหนังตัวกลับเป็นปกติ [2-3] ปัจจุบันมีงานวิจัยที่เน้นพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบวัดค่าพีเอชเพื่อติดตามสภาพผิวที่เปลี่ยนแปลง [4] อย่างไรก็ตามอุปกรณ์เหล่านี้มีราคาแพง จึงผสมสีย้อมสังเคราะห์หรือสีย้อมจากธรรมชาติที่มีสมบัติเป็นอินดิเคเตอร์เข้ากับพอลิเมอร์เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อค่าพีเอชเปลี่ยนแปลง

เมล็ดแมงลัก (*Ocimum basilicum L.*) เป็นพืชที่แพร่หลายในพื้นที่อากาศเขตร้อน ซึ่งจัดอยู่ในตระกูล Ocimum มีดอกสีขาวม่วง [5] ในการแพทย์แผนโบราณของชาวอิหร่านนำเมล็ดแมงลักมาใช้เป็นสมุนไพรสำหรับรักษาโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบย่อยอาหาร รักษาอาการอักเสบต่าง ๆ อาการเจ็บคอ ไอ และการติดเชื้อที่บริเวณผิวหนัง [6] เมื่อนำเมล็ดแมงลักมาแช่น้ำจะเกิดการพองตัวเป็นเมือกที่มีลักษณะคล้ายไฮโดรเจลและมีพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งแสดงสมบัติความชอบน้ำ ประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ กลูโคแมนแนน (Glucomanan) 43 % ไซเลน (Xylan) 24 % และมีกรดยูริก (Uronic acid) กับเซลลูโลสพอลิแซ็กคาไรด์ (Cellulosic polysaccharides) 7 % [7] เมือกแมงลักมีความสามารถในการเก็บสะสมน้ำ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนที่เกิดจากหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลจำนวนมากที่อยู่ในองค์ประกอบหลัก เมือกแมงลักจึงเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับการนำมาเตรียมเป็นวัสดุปิดแผล นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการย่อยสลายได้ด้วยธรรมชาติ ราคาถูก แต่ข้อจำกัด คือไม่สามารถคงรูปร่างได้และมีสมบัติเชิงกลต่ำ [8] จึงต้องผสมพอลิเมอร์ธรรมชาติหรือพอลิเมอร์สังเคราะห์หรือมีการเชื่อมโยงเพื่อปรับปรุงเสถียรภาพและสมบัติเชิงกล

นอกจากนี้ ยังมีพอลิเมอร์ธรรมชาติที่เป็นสารประกอบประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) และอนุพันธ์ของพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide derivatives) ที่ได้จากการสกัดสาหร่ายทะเล เช่น อะการ์ (Agar) อัลจิเนต (Alginate) และคาร์ราจีแนน (Carrageenan) สารเหล่านี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย เช่น สารก่อเจล (Gelling agent) สารช่วยในการขึ้นรูปฟิล์มและสารเพิ่มความเสถียร

อะการ์ (Agar) ได้จากผนังเซลล์สาหร่ายสีแดง ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีส่วนประกอบของอะกาโรส (Agarose) และอะกาโรแพคติน (Agaropectin) สามารถเกิดเจลที่มีสีเหลืองอ่อน เนื้อแข็งขุ่นเปราะและทนความร้อนได้ดี จึงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อเป็นสารเพิ่มความข้นของซอสหรือน้ำซุ๊ป [9] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาและประยุกต์นำไปใช้ในทางการแพทย์ เนื่องจากมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ไม่เป็นพิษและราคาถูก [10] รวมถึงยังสามารถรักษาความชุ่มชื้น อะการ์จึงถูกนำมาทำวัสดุปิดแผลในรูปแบบเจลหรือฟิล์มอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากเมือกแมงลักและอะการ์เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติชอบน้ำ เมื่อนำมาผสมเข้าด้วยกันส่งผลให้ไม่สามารถคงเสถียรภาพได้ แนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาคือ การเชื่อมโยงเมือกแมงลัก โดยใช้สารเชื่อมโยง (Crosslinking agent) เช่น สารที่อยู่ในกลุ่มพอลิคาร์บอกซิลิก แอซิด (Polycarboxylic acid) บอแรกซ์ (Di-dodium tetraborate, decahydrate) จะทำให้เกิดพันธะเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลของเมือกแมงลัก [11-12]

กรดซัคซินิก (Succinic acid) เป็นไดคาร์บอกซิลิก แอซิด (Dicarboxylic acid) และเป็นกรดอินทรีย์ธรรมชาติพบอยู่ในผัก ผลไม้ เป็นสารเชื่อมโยงที่ปลอดภัยประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล 2 ตำแหน่งที่สามารถเกิดปฏิกิริยาสร้างพันธะโควาเลนต์กับหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล [13] ของเมือกแมงลักเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผล จากงานวิจัยของ Thessrimuang N. และ Prachayawarakorn J. (2019) ทำการศึกษาและเตรียมฟิล์มจากเมือกแมงลัก ปรับปรุงสมบัติของฟิล์มโดยการเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ 3 ชนิด คือ กรดซัคซินิก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริก ซึ่งฟิล์มที่ผ่านการเชื่อมโยงสามารถย่อยสลายทางชีวภาพ พบว่าสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนมีแนวโน้มดีขึ้น ฟิล์มเมือกแมงลักที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกแสดงสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนดีกว่าที่สุด รองลงมา คือ กรดมาลิกและกรดทาร์ทาริก [14] นอกจากนี้งานวิจัยของ ปิยะพล ศิริวัฒน์ และคณะทำการศึกษาการทำวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก กรดมาลิกและกรดกลูตาริก และนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) พบว่าการเชื่อมโยงส่งผลให้ค่ามอดูลัส ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นแต่ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืดมีค่าสูงขึ้นและค่าการบวมตัวลดลงเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่

ชนิดของกรดพบว่ากรดมาโลนิคมีค่าการบวมตัวน้อยที่สุด รองลงมา คือ กรดซัคซินิกและกรดกลูตาลิก ค่ามอดูลัสและค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นแต่ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึดมีค่าสูงขึ้น โดยวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกแสดงสมบัติเชิงกล การบวมตัวที่เหมาะสมมาพัฒนาเป็นวัสดุปิดแผลที่มีประสิทธิภาพ [15] อย่างไรก็ตามวัสดุปิดแผลควรต้องสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย การนำสารสกัดจากธรรมชาติที่เป็นสารประกอบฟีนอลิกใส่ในวัสดุปิดแผลจะสามารถเพิ่มสมบัติการออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียได้

กรดแมนดีลิก (Mandelic acid) เป็นอัลฟาไฮดรอกซี แอซิด (Alpha hydroxy acid) สกัดจากอัลมอนต์ชมและมีการนำไปใช้งานในผลิตภัณฑ์ดูแลผิว เช่น ผลิตภัณฑ์ซอมแซมความเสียหายของผิวหนึ่งจากการสัมผัสแสงแดด ผลิตภัณฑ์รักษาผิวและเป็นสารออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย [16] นอกจากนี้กรดแมนดีลิกยังถูกนำไปใช้เป็นยาฆ่าเชื้อในโรคระบบทางเดินปัสสาวะ [17] ซึ่งงานวิจัยของ Kumar R. และคณะรายงานว่ากรดแมนดีลิกที่ใส่ในฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากผิวหนังของผู้หญิง [18] และงานวิจัยของ Tang L. และคณะได้ทำการเตรียมวัสดุด้านเชื้อจุลชีพโดยการแทรกกรดแมนดีลิกระหว่างชั้นของซิงค์-อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ผ่านปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุลบเพื่อศึกษาการปลดปล่อยกรดแมนดีลิก พบว่าชั้นของซิงค์-อะลูมิเนียมสามารถควบคุมการปลดปล่อยกรดแมนดีลิกได้ดีและออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus* รวมถึงสามารถออกฤทธิ์ต้านเชื้อรา *Candida albicans* [19]

แต่ถ้าหากเชื้อแบคทีเรียยังไม่ถูกยับยั้งและมีการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียจะส่งผลให้การหายของบาดแผลกลับสู่ผิวหนังปกติเป็นไปได้ยากขึ้น ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ด้วยค่าพีเอช ดังนั้นการใส่สารอินดิเคเตอร์ที่สกัดได้จากธรรมชาติ เช่น ดอกอัญชัน (*Clitoria ternatea L.*) สามารถเปลี่ยนสีเมื่อค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงและไม่เป็นพิษจึงเหมาะสำหรับนำมาใช้ในการประเมินสภาวะของบาดแผล

ดอกอัญชันมีต้นกำเนิดในแถบอเมริกาใต้ ปลูกทั่วไปในพื้นที่เขตร้อน ดอกอัญชันมีสารสีที่เป็นส่วนประกอบ คือ แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยในเรื่องการไหลเวียนของโลหิต ละลายน้ำได้แต่ไม่คงตัวในสารละลายกรด แอนโทไซยานินสามารถทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์โดยแสดงการเปลี่ยนสีจากสีแดงถึงสีน้ำเงินเมื่อค่าพีเอชเพิ่มจาก 2 ถึง 12 [20]

งานวิจัยนี้จึงศึกษาการเตรียมวัสดุปิดแผลที่สามารถตอบสนองต่อค่าพีเอช โดยเตรียมจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกเพื่อปรับปรุงเสถียรภาพและสมบัติเชิงกล จากนั้นนำมาเติมกรดแมนดีลิกเพื่อฆ่าเชื้อแบคทีเรียและใช้สารสกัดจากดอกอัญชันเป็นอินดิเคเตอร์ ขึ้นรูปชิ้นงานผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) จากนั้นนำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปศึกษาสมบัติ

เชิงกล พฤติกรรมการบวมตัว ความเป็นพิษต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต การต้านทานเชื้อแบคทีเรียและการตอบสนองต่อค่าพีเอช

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการเตรียมแผ่นปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยกรดแมนดีลิกและตอบสนองต่อค่าพีเอช

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติของแผ่นปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยกรดแมนดีลิกและตอบสนองต่อค่าพีเอช

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาการเตรียมแผ่นปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

1.3.2 ศึกษาผลของปริมาณกรดแมนดีลิกที่ 0.7, 1.0 และ 1.4 กรัมต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสมบัติเชิงกล การบวมตัว สันฐานวิทยาและเสถียรภาพความคงตัว

1.3.3 ศึกษาผลของปริมาณสารสกัดจากดอกอัญชันที่ 2.0 และ 4.0 กรัมต่อสมบัติเชิงกล การบวมตัว สันฐานวิทยา เสถียรภาพความคงตัวและตอบสนองต่อค่าพีเอช

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถเตรียมแผ่นปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกผ่านกระบวนการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยกรดแมนดีลิกและตอบสนองต่อค่าพีเอช

1.4.2 เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุจากธรรมชาติ

1.4.3 ลดปัญหาขยะจากวัสดุที่ไม่ย่อยสลายตามธรรมชาติ

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 วัสดุปิดแผล (Wound dressing)

ในปัจจุบันมีการผลิตวัสดุปิดแผลออกมาหลายชนิด ทำให้เราสามารถดูแลบาดแผลผู้ป่วยได้บาดเจ็บ ซึ่งเป็นสิ่งที่ดีเพราะในความเป็นจริงเราไม่มีวัสดุปิดแผลชนิดใดที่เหมาะกับการหายของบาดแผลทุกกระยะ การเลือกวัสดุปิดแผลที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการรักษาบาดแผล ผู้ป่วยควรเลือกวัสดุปิดแผลที่เหมาะสมต่อสภาพของแผล ระยะการหายของแผลและควรทราบวัสดุที่ใช้ในการดูแลบาดแผลมีชนิดใดบ้าง มีข้อดี-ข้อเสียอย่างไร [21] วัสดุปิดแผลที่ดีควรมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. รักษาความชื้นบริเวณผิวหนังบาดแผล
2. สามารถดูดซับสารคัดหลั่งที่ไหลออกจากบาดแผลและไม่ทำให้ของเหลวซึมผ่านบริเวณผิวหนังของวัสดุ
3. ปิดแผลรวมถึงมีการแลกเปลี่ยนแก๊สและของเหลว
4. สามารถรักษาอุณหภูมิให้เหมาะสม เป็นฉนวน
5. ป้องกันแบคทีเรีย ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้และไม่มีความเป็นพิษ
6. สามารถดูดซับกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์
7. สามารถดึงออกจากบาดแผลได้ง่าย ไม่ก่อให้เกิดความเจ็บปวด
8. สามารถนำเนื้อเยื่อที่ตายออกจากบาดแผลและปราศจากการก่อให้เกิดโรค [22]

#### 2.1.1 ชนิดของวัสดุปิดแผล

**2.1.1.1 ก๊อช (Gauze)** เป็นวัสดุปิดแผลที่ใช้กันอย่างยาวนานและแพร่หลาย เนื่องจากราคาถูก มีขายทั่วไป ขั้นตอนในการทำแผลสะดวกและง่าย ผู้ป่วยสามารถทำแผลได้ด้วยตัวเอง แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ ของเหลวจากบาดแผลซึมออกมาบดบังแผลให้ต้องเปลี่ยนก๊อชบ่อยและอาจมีการทำลายเนื้อเยื่อบริเวณผิวหนังขณะที่ลอกเปลี่ยนรวมถึงก่อให้เกิดความเจ็บปวด

**2.1.1.2 ผ้าตาข่าย (Tulles)** เป็นวัสดุปิดแผลที่พัฒนามาจากก๊อช สามารถลดความเจ็บปวดเวลาทำแผล วัสดุทำแผลติดแผลน้อยลงรวมถึงมีการเคลือบสารต่าง ๆ บริเวณแผ่นตาข่าย เช่น พาราฟิน (Paraffin) วาสลีน (Vaseline) และปิโตรเลียม (Petroleum) หรือยาฆ่าเชื้อ กลุ่ม Chlorhexidine ราคาไม่แพง เหมาะกับแผลที่มีขนาดตื้นและสารคัดหลั่งไม่มาก

**2.1.1.3 फिल्म (Film)** เป็นวัสดุปิดแผลที่คุณสมบัติยึดติดกับบริเวณผิวหนังรอบ ๆ แผลได้ สามารถป้องกันสิ่งแปลกปลอมและเชื้อโรคโดยที่ไอน้ำและอากาศซึมผ่านได้ ลักษณะของวัสดุปิดแผลชนิดนี้ จะมีความใสทำให้สามารถสังเกตดูบาดแผลได้ เหมาะสำหรับแผลที่มีความชื้นและสารคัดหลั่งน้อย

**2.1.1.4 ไฮโดรเจล (Hydrogel)** เป็นสารประกอบพอลิเมอร์ที่มีกลีเซอริน (Glycerin) หรือ Water based gels เป็นส่วนผสมที่เคลือบไปบนวัสดุปิดแผลซึ่งให้ความชุ่มชื้นแก่บาดแผล สามารถลอกเปลี่ยนได้โดยไม่ติดบาดแผล ไม่เจ็บและสามารถเอาเนื้อเยื่อที่ตายออกจากบาดแผลได้แต่ไม่ทำลายเนื้อเยื่อผิวหนังปกติ เหมาะสำหรับบาดแผลที่ไม่ลึกมาก แผลแห้งและมีสารคัดหลั่งน้อย

**2.1.1.5 ไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid)** ประกอบด้วย เจลาติน (Gelatin) เพกติน (Pectin) และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethylcellulose) ทำให้วัสดุปิดแผลชนิดนี้คล้ายแผ่นซีตทำให้สามารถติดแผลได้ทุกรูปร่าง กระตุ้นการหายของแผลและการสลายเนื้อเยื่อที่ตาย ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและอากาศ แต่ไม่เหมาะกับแผลที่มีสารคัดหลั่งมากเพราะอาจก่อให้เกิดผิวหนังเปื่อยยุ่ยบริเวณรอบแผลได้ วัสดุปิดแผลชนิดนี้เหมาะกับแผลถลอก แผลตื้น แผลกดทับระยะที่ 1-2 แผลเส้นขอบแผลน้ำร้อนลวกและแผล Donor site skin graft

**2.1.1.6 Antimicrobial dressing** มีส่วนผสมของสารต้านปฏิชีวนะเหมาะกับแผลที่มีแบคทีเรียปนเปื้อน (Colonization) แผลที่มีการติดเชื้อ (Infection) นิยมใช้ ซิลเวอร์ (Silver), Iodine based หรือ Metronidazole เป็นสารต้านปฏิชีวนะ

**2.1.1.7 อัลจินेट (Alginates)** สกัดได้จากสาหร่ายและสาหร่ายสีน้ำตาล มีส่วนผสมของประจุโซเดียมและแคลเซียมส่งผลให้มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ เหมาะกับบาดแผลที่มีสารคัดหลั่งจำนวนมาก แต่ข้อเสียคือ ติดบาดแผลทำให้เวลาลอกออกจะก่อให้เกิดอาการเจ็บและอาจทำให้เลือดออกหรือเนื้อเยื่อติดออกมาได้ บาดแผลที่เหมาะสมกับวัสดุปิดแผลชนิดนี้ เช่น แผลกดทับหรือแผลเบาหวาน เป็นต้น

**2.1.1.8 โฟม (Foam)** เป็นสารประกอบ Polyurethane มีทั้งรูปแบบแผ่นและซีต สามารถดูดซับสารคัดหลั่งได้สูงใช้ทำแผลได้ทั้งแผลตื้นและแผลลึก แต่เนื่องจากการใช้กับแผลที่มีสารคัดหลั่งจำนวนมากจึงต้องมีการเปลี่ยนทำความสะอาดบาดแผลบ่อยครั้ง [23]

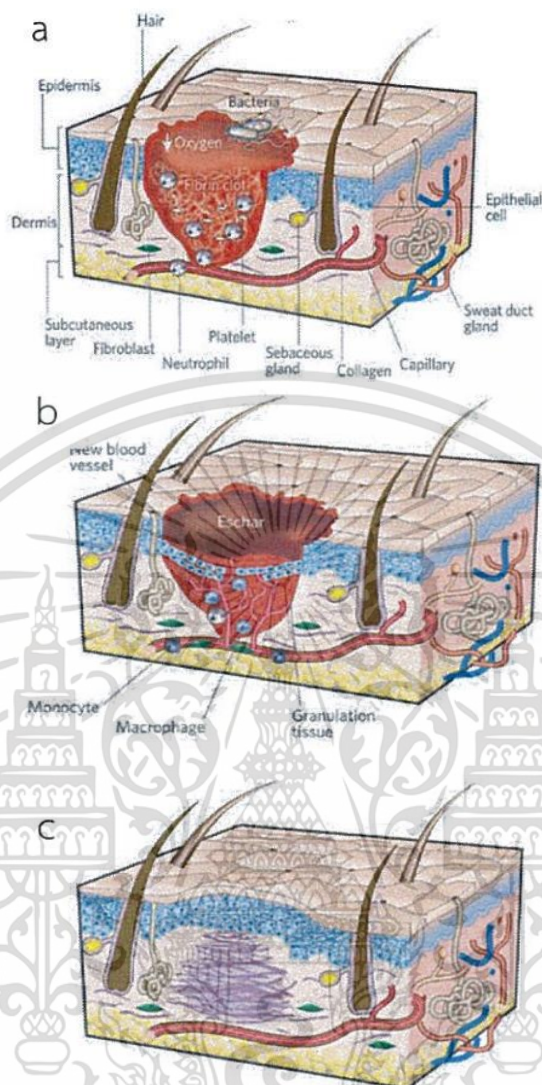
## 2.2 กระบวนการหายของบาดแผล (Wound healing process)

กระบวนการหายของบาดแผลโดยปกติสามารถแบ่งออกได้ 3 ระยะได้แก่ 1. ระยะการอักเสบ (Inflammatory phase) เป็นระยะที่ร่างกายขจัดเนื้อตายและป้องกันการติดเชื้อ 2. ระยะเพิ่มจำนวน (Proliferative phase) เป็นระยะที่เนื้อเยื่อเพิ่มจำนวนและเกิดแผลเป็น 3. ระยะเปลี่ยนใหม่ (Remodeling phase) เป็นระยะที่แผลปรับเปลี่ยนโครงสร้างเพื่อสร้างความแข็งแรงให้กับเนื้อเยื่อ [22]

**2.2.1 ระยะการอักเสบ (Inflammatory phase)** ระยะนี้จะเกิดขึ้นที่เมื่อเกิดแผลจะมีการฉีกขาดของหลอดเลือด (Bleeding) และเนื้อเยื่อร่างกายจะมีขบวนการห้ามเลือดและการหายของบาดแผลเกิดขึ้น เมื่อเกิดบาดแผลและหลอดเลือดฉีกขาด หลอดเลือดฝอยจะหดตัวประมาณ 2-3 นาที เม็ดเลือดขาวทำหน้าที่ผลิตสื่อเคมี เช่น ฮิสตามีน (Histamine) ส่งผลให้หลอดเลือดฝอยขยายตัวเกิดการอักเสบที่บาดแผลและทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์เยื่อชั้นในของหลอดเลือด ทำให้พลาสมา เอ็นไซม์และเม็ดเลือดขาวรั่วซึมออกมา พลาสมาจะทำให้เกิดการบวมขึ้นของบาดแผลและเม็ดเลือดขาวที่รั่วออกมาจะกลายเป็นแมคโครเฟรย์ซึ่งมีหน้าที่สำคัญในการกำจัดสิ่งแปลกปลอมในบาดแผล ระยะที่มีการอักเสบของบาดแผลบางครั้งถูกเรียกว่า “Lag phase” เพราะแผลไม่แข็งแรง คอลลาเจนเกิดขึ้นน้อยการยึดกันของแผลมีน้อย

**2.2.2 ระยะเพิ่มจำนวน (Proliferative phase)** ตั้งแต่วันที่ 3 หรือ 4 ของการเกิดบาดแผล เซลล์เนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะทำหน้าที่ช่วยยึดเส้นใยคอลลาเจนให้อยู่ด้วยกัน คอลลาเจนจะถูกสร้างขึ้นมาเร็วและมากภายใน 2 สัปดาห์ คอลลาเจนที่ถูกสร้างขึ้นมานี้จะช่วยให้แผลแข็งแรงและหายเร็ว โดยระยะเพิ่มจำนวนจะเกิดขึ้นวันที่ 5-20 หลังจากการเกิดบาดแผลเพราะร่างกายต้องการสารอาหารที่มีประโยชน์เพื่อช่วยในการหายของบาดแผล

**2.2.3 ระยะเปลี่ยนใหม่ (Remodeling phase)** เริ่มตั้งแต่หลังวันที่ 20 และดำเนินไปเรื่อย ๆ บางกรณีอาจเปลี่ยนแปลงได้นานถึง 2 ปี ซึ่งในระยะนี้มีการสลายของเส้นใยคอลลาเจนพร้อมกับสร้างเส้นใยคอลลาเจนใหม่มาทดแทน คอลลาเจนที่สร้างขึ้นใหม่จะทำให้บาดแผลแข็งแรงขึ้น แต่จะแข็งแรงได้เพียง 80-85 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อเยื่อเดิม [24]



รูปที่ 2.1 กระบวนการหายของบาดแผล ได้แก่ (a) ระยะการอักเสบ (Inflammation) (b) ระยะเพิ่มจำนวน (Proliferation) (c) ระยะเปลี่ยนใหม่ (Remodeling) [25]

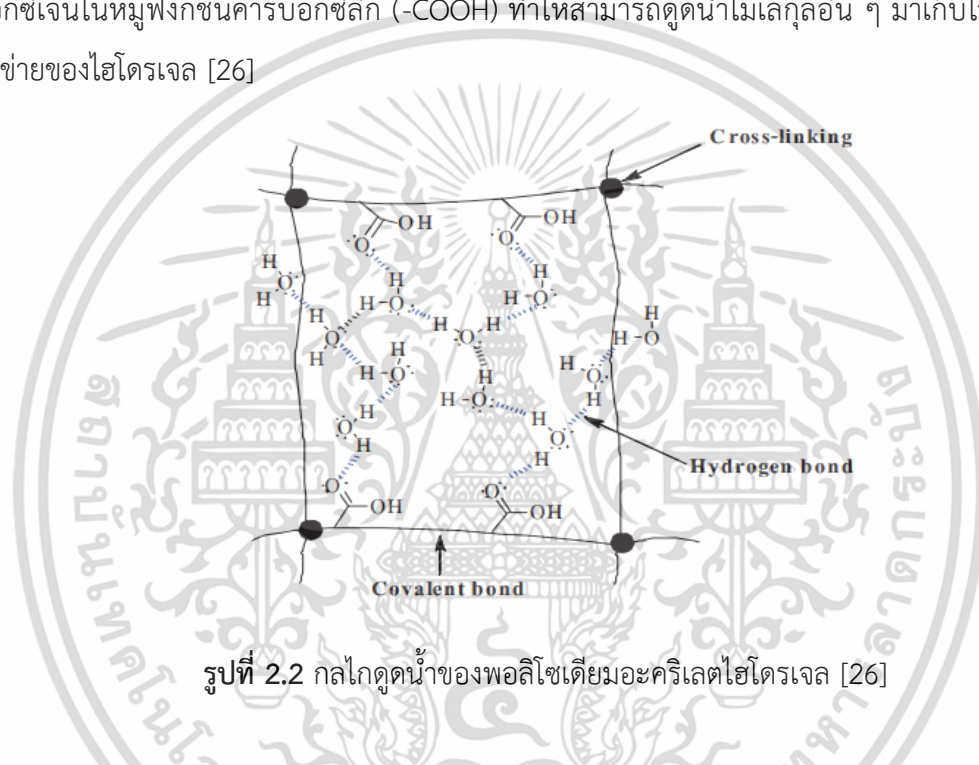
### 2.3 ไฮโดรเจล (Hydrogel)

ไฮโดรเจลเป็นพอลิเมอร์ชอบน้ำที่มีโครงร่างตาข่ายสามมิติ สามารถดูดซับน้ำได้โดยไม่ละลายในน้ำ สามารถเตรียมได้หลายวิธี เช่น ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันหรือการเชื่อมขวาง เป็นต้น และด้วยคุณสมบัติเด่นของไฮโดรเจลที่เป็นโครงร่างตาข่ายสามารถกักเก็บน้ำและของเหลวทางชีวภาพได้มาก ทำให้สามารถนำไฮโดรเจลไปใช้ประโยชน์หลาย ๆ ด้าน เช่น ใช้ในการดูดซับโลหะหนัก ใช้เป็นระบบส่งยา และวัสดุปิดแผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 สมบัติที่สำคัญของไฮโดรเจล

**2.3.1.1 การดูดน้ำของไฮโดรเจล** ไฮโดรเจลสามารถดูดน้ำได้จากการเกิดปฏิกิริยาหรืออันตรกิริยาทางเคมีระหว่างหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำกับโมเลกุลของน้ำ ไฮโดรเจลสามารถรูปร่างได้โดยไม่ละลายน้ำ เพราะมีโครงสร้างทางเคมีที่เป็นตาข่าย เช่น กลไกการดูดซับน้ำของพอลิโซเดียมอะคริเลตไฮโดรเจล (Poly(sodium acrylate) hydrogel) ซึ่งการดูดน้ำของไฮโดรเจลเกิดขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาหรือการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลของน้ำกับคู่อิเล็กตรอนโดดเดี่ยว (Lone pair electron) ของอะตอมออกซิเจนในหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิก (-COOH) ทำให้สามารถดูดน้ำโมเลกุลอื่น ๆ มาเก็บไว้ในโครงร่างตาข่ายของไฮโดรเจล [26]



รูปที่ 2.2 กลไกดูดน้ำของพอลิโซเดียมอะคริเลตไฮโดรเจล [26]

**2.3.1.2 การดูดซับโลหะหนัก (Heavy metal adsorption)** ไฮโดรเจลหรือวัสดุสังเคราะห์เป็นหนึ่งทางเลือกสำหรับใช้กำจัดหรือแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสียของโรงงานก่อนทิ้งสู่แม่น้ำลำคลอง โดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะหนักกับวัสดุพอลิเมอร์และการแลกเปลี่ยนไอออน การเกิดการคีเลตระหว่างไอออนโลหะหนักกับพอลิเมอร์ โดยไอออนหนักจะคีเลตกับอะตอมที่ให้อิเล็กตรอน (Electron donor atoms) ของพอลิเมอร์โดยสร้างพันธะโคออดิเนตโควาเลนต์ (Coordinate covalent bonds) [26]

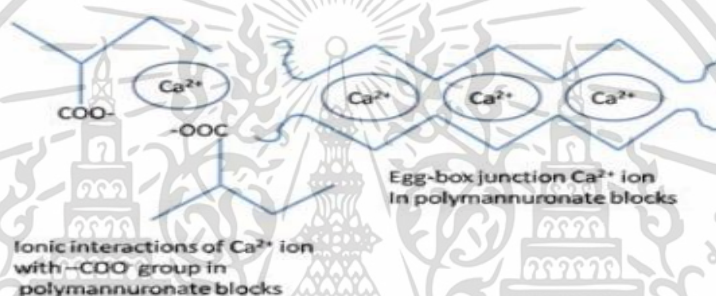


พัฒนาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ไฮโดรเจลได้อย่างดี ซึ่งตาข่ายพอลิเมอร์แทรกสอด คือ การรวมกันของพอลิเมอร์สองชนิดที่อยู่ในลักษณะที่เป็นโครงร่างตาข่ายโดยต้องมีโครงร่างตาข่ายหนึ่งถูกสังเคราะห์ขึ้นมา ก่อนแล้วให้สายพอลิเมอร์อีกตัวหนึ่งเข้าไปแทรกสอดแล้วเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายอีกอัน [26]

### 2.3.3 วิธีการเตรียมไฮโดรเจล (Preparation methods of hydrogels)

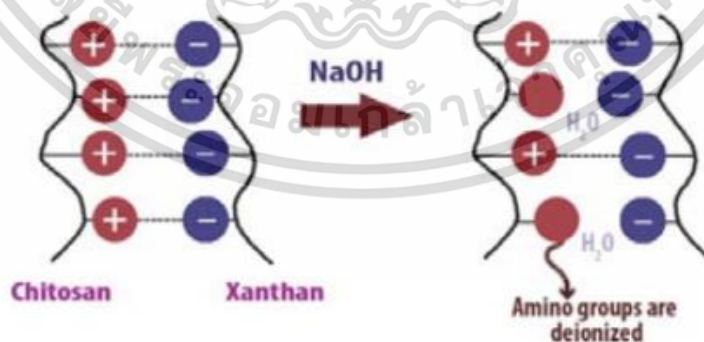
2.3.3.1 การเชื่อมโยงทางกายภาพ (Physical crosslinking) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากเพราะสะดวกทำได้ง่าย มีข้อดี คือ ไม่ต้องใช้สารเชื่อมขวางทำให้ลดต้นทุนในการสังเคราะห์ การเชื่อมโยงทางกายภาพสามารถเตรียมได้หลายวิธี ได้แก่

1. การเกิดอันตรกิริยาแบบไอออนิก (Ionic interaction) วิธีนี้อาศัยการเกิดอันตรกิริยาแบบไอออนิกระหว่างหมู่ฟังก์ชันภายในสายโซ่ของไฮโดรเจล



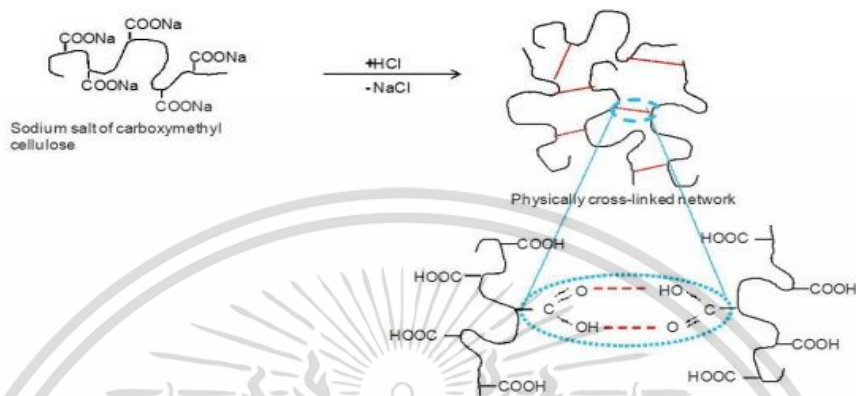
รูปที่ 2.4 การเกิดพันธะไอออนิกระหว่างหมู่คาร์บอกซิลิกและ  $\text{Ca}^{2+}$  เชื่อมขวางเป็นไฮโดรเจล [26]

2. การยัดเกาะเชิงซ้อน (Complex coacervation) ทำได้โดยการนำพอลิเมอร์แบบแอนไอออนิกมาเชื่อมขวางกับพอลิเมอร์ที่แบบแคทไอออนิก เมื่อนำมาผสมกันพอลิเมอร์ที่มีประจุต่างกันสามารถที่จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนจากประจุตรงข้ามที่ต่างกันดึงดูดกัน



รูปที่ 2.5 แผนภาพการสังเคราะห์พอลิไอออนิกไฮโดรเจลของไคโตซานกับแซนแทนกัม [26]

3. การสร้างพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) โดยอาศัยการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ฟังก์ชันภายในโครงสร้างของไฮโดรเจล [26]



รูปที่ 2.6 การสังเคราะห์ไฮโดรเจลคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose) [26]

### 2.3.3.2 การเชื่อมโยงทางเคมี (Chemical crosslinking) ใช้วิธีการเชื่อมขวางทางเคมี

การเตรียมไฮโดรเจลด้วยวิธีนี้ต้องมีการเติมสารเชื่อมขวางเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อกันระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์สองสายโซ่เข้าด้วยกัน ทำให้พอลิเมอร์เกิดโครงสร้างโครงร่างตาข่าย

1. การเติมสารเชื่อมขวาง (Chemical crosslinkers) การเตรียมไฮโดรเจลโดยการเติมสารเชื่อมขวางและทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อให้เกิดการเชื่อมต่อกันระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการจับไอออนโลหะหนัก

2. การต่อกิ่ง (Grafting) เป็นการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของมอนอเมอร์บนสายโซ่พอลิเมอร์โดยใช้รังสีความร้อนหรือสารเชื่อมขวางทำให้เกิดตำแหน่งที่ว่องไว (Active site) จากนั้นมอนอเมอร์จะเข้าไปกราฟท์บนสายโซ่พอลิเมอร์เพื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันและเกิดการเชื่อมไขว้กันภายในสายโซ่พอลิเมอร์

3. การเชื่อมโยงด้วยการฉายรังสี (Radiation crosslinking) เป็นหนึ่งในวิธีที่นิยมใช้ซึ่งการเชื่อมโยงวิธีนี้จะอาศัยการฉายรังสีเพื่อทำให้เกิดการเชื่อมต่อของมอนอเมอร์ภายในสายโซ่พอลิเมอร์ การเตรียมไฮโดรเจลวิธีนี้ทำให้โครงร่างตาข่ายที่เกิดขึ้นจะช่วยในการปรับปรุงสมบัติทั้งด้านโครงสร้างและสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น ส่วนมากวิธีนี้นิยมเตรียมเป็นสารละลายชั้นตอนเดียว ทำให้ลดต้นทุนในการผลิต [26]

### 2.3.4 ปัจจัยที่ผลต่อการบวมตัวของไฮโดรเจล

2.3.4.1. แรงดันออสโมติก ถ้าแรงดันออสโมติกแตกต่างกันมากจะส่งผลทำให้น้ำจากด้านนอกแพร่เข้าไปยังช่องว่างหรือรูพรุนของไฮโดรเจลเพิ่มขึ้น เพราะปริมาณน้ำด้านในและด้านนอกไฮโดรเจลมีไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติก ส่งผลให้น้ำแพร่เข้ามาด้านในไฮโดรเจลได้

2.3.4.2. แรงกระทำระหว่างโมเลกุลไฮโดรเจลกับน้ำ โครงสร้างทางเคมีที่เหมาะสมสามารถทำให้เกิดอันตรกิริยากับน้ำได้มากขึ้น ทำให้เกิดการพองตัวของไฮโดรเจลเพิ่มขึ้นส่งผลให้การบวมตัวเพิ่มสูงขึ้น เช่น การเกิดพันธะไฮโดรเจนจะส่งผลทำให้เป็นการเหนี่ยวนำโมเลกุลน้ำแพร่เข้ามาในไฮโดรเจลมากขึ้น

2.3.4.3. ช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อไฮโดรเจลมีช่องว่างหรือรูพรุนมากส่งผลให้น้ำแพร่เข้ามาได้มาก

2.3.4.4. ความยืดหยุ่นของสายโซ่พอลิเมอร์ ความยืดหยุ่นของสายโซ่พอลิเมอร์มากเป็นการลดแรงต้าน (Resistance force) ของการแพร่ของโมเลกุลน้ำ ส่งผลให้น้ำแพร่เข้าสู่ไฮโดรเจลมากขึ้น

2.3.4.5. ความหนาแน่นของการเชื่อมโยง เมื่อความหนาแน่นของการเชื่อมโยงมากสายโซ่มากเสมือนการเพิ่มแรงต้านทานการขยายตัวของไฮโดรเจล ทำให้ไปลดความสามารถในการบวมตัว [27]

### 2.3.5 การประยุกต์ใช้งาน

2.3.5.1. วัสดุปิดแผลไฮโดรเจล (Hydrogel dressing) เนื่องจากไฮโดรเจลมีความสามารถเข้ากันได้กับร่างกายมนุษย์และสามารถต้านเชื้อโรคจากภายนอกเข้าสู่บาดแผล ช่วยดูดซับสารคัดหลั่งที่ไหลออกจากบาดแผลได้ดีรวมถึงยังช่วยทำให้ออกซิเจนสามารถผ่านรูพรุนของเจลได้ ส่งผลทำให้ร่างกายยังคงสามารถสร้างเนื้อเยื่อได้ดีกว่าปกติ

2.3.5.2. คอนแทคเลนส์หรือเลนส์สัมผัส ไฮโดรเจลมีความชุ่มชื้นสูง กักเก็บน้ำได้ดีและไม่ทำให้ระคายเคืองตา การใช้ไฮโดรเจลจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมเพราะคอนแทคเลนส์ควรต้องให้ความสบายต่อดวงตาและไม่ก่อให้เกิดการระคายเคือง

2.3.5.3. การเจริญเติบโตของพืช ความสามารถของไฮโดรเจลในการดูดซับน้ำจะช่วยอุ้มน้ำในดินทำให้ดินมีความชุ่มชื้น นอกจากนี้ยังช่วยดูดซับแร่ธาตุต่าง ๆ ไม่ให้ถูกชะลงไปในดินชั้นล่าง ส่งผลให้พืชได้รับประโยชน์จากแร่ธาตุในดินอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ไฮโดรเจลยังสามารถใช้แทนดินในการเลี้ยงต้นไม้ประเภทไม้กระถาง

2.3.5.4 วิศวกรรมเนื้อเยื่อ (Tissue engineering) เป็นการประยุกต์ใช้งานไฮโดรเจลที่สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุในการซ่อมแซมหรือเป็นโครงสร้าง 3 มิติที่ให้เซลล์เจริญเติบโต นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้กับเซลล์ปลูกถ่ายและสร้างเนื้อเยื่อต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น กระดูกอ่อน กระดูก และกล้ามเนื้อเรียบ เนื่องจากไฮโดรเจลมีสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพกับร่างกายมนุษย์ ซึ่งนิยามได้ว่าไฮโดรเจลมีความสามารถที่จะสัมผัสกับอวัยวะของร่างกายมนุษย์โดยไม่ทำลายเนื้อเยื่อรอบข้างและไม่ก่อให้เกิดการตอบสนองที่ไม่พึงประสงค์ [28]

## 2.4 เมล็ดแมงลัก (*Ocimum basilicum L.*)

แมงลักเป็นพืชเศรษฐกิจที่แพร่หลายในพื้นที่อากาศเขตร้อน ซึ่งจัดอยู่ในตระกูล Ocimum มีดอกสีขาวม่วง [5] และเป็นสมุนไพรที่สำคัญ ในหลายประเทศในเอเชีย เช่น อินเดีย ไทย จีน เวียดนาม ศรีลังกา นิยมรับประทานเมล็ดแมงลักเนื่องจากมีคุณสมบัติทางโภชนาการที่ดีเยี่ยม มันถูกใช้ในอาหารเอเชียมากมาย เช่น ของหวานและเครื่องดื่ม เป็นต้น ในการแพทย์แผนโบราณของชาวอิหร่านมีการนำเมล็ดแมงลักมาใช้เป็นสมุนไพรสำหรับรักษาโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบย่อยอาหาร รักษาอาการอักเสบต่าง ๆ อาการเจ็บคอ ไอ และการติดเชื้อที่บริเวณผิวหนัง [6] ใบแมงลักถูกนำมาสกัดเป็นน้ำมันหอมระเหยและสารแต่งกลิ่นที่มีฤทธิ์ต้านจุลชีพและสมบัติต้านอนุมูลอิสระ เมล็ดแมงลักสามารถพองตัวกลายเป็นเมือกเมื่อแช่ในน้ำ ปริมาณเมือกที่สูง (20% โดยน้ำหนักเปียก) ของเมล็ดแมงลักทำให้เป็นแหล่งไฮโดรคอลลอยด์ธรรมชาติชนิดใหม่ที่มีสมบัติที่ดี ซึ่งเปรียบได้กับกัมเชิงพาณิชย์อื่น ๆ [7]

แมงลัก เป็นพืชในสกุลกะเพรา-โหระพา ลักษณะจะคล้ายต้นกะเพราแต่มีกลิ่นที่แตกต่าง ใบแมงลักมีสีเขียวที่อ่อนกว่าใบกะเพรา ลำต้นสูงประมาณ 65 เซนติเมตร ใบเป็นใบเดี่ยวทรงรีหรือรูปหอกหรือรี มีกลิ่นหอมคล้ายมะนาวฝรั่ง ช่อดอกจะออกเรียงเป็นชั้น ๆ กลีบดอกสีขาว ผลของแมงลักเป็นผลชนิดแห้งด้านในผลมี 4 เมล็ด เรียกว่า “เมล็ดแมงลัก” เป็นพรรณไม้ที่ทนต่อแสงแดด [29] นักวิทยาศาสตร์ได้มีการจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การจำแนกชั้นวิทยาศาสตร์ของแมงลัก [29]

อาณาจักร	พืช (Plantae)
หมวด	พืชดอก (Magnoliophyta)
ชั้น	พืชใบเลี้ยงคู่ (Lamiales)
อันดับ	อันดับกะเพรา (Lamiales)
วงศ์	วงศ์กะเพรา (Lamiaceae)
สกุล	สกุลกะเพรา-โหระพา ( <i>Ocimum</i> )
สปีชีส์	<i>O. basilicum</i>

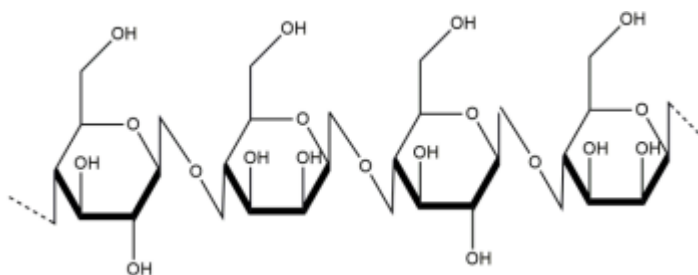
## 2.5 เมื่อกแมงลัก

เมื่อแช่เมล็ดแมงลักในน้ำเปลือกด้านนอกหรือเยื่อหุ้มเมล็ดของเมล็ดแมงลักจะดูดซับน้ำแล้วพองตัวเป็นเจล เมื่อกของเมล็ดแมงลักประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงประมาณ 2320 kDa องค์ประกอบหลักของเมื่อกของเมล็ดที่พองตัวมีสององค์ประกอบคือ กลูโคแมนแนน (Glucomanan) 43% และไซแลน (Xylan) 24% เมื่อกแมงลักเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นกรด เนื่องจากมีกรดยูโรนิก (Uronic acid) 6.51% องค์ประกอบทางเคมีแสดงในตารางที่ 2.3 การประยุกต์นำเมื่อกแมงลักมาใช้งาน เช่น ใช้เป็นสารแขวนลอย สารก่อเจล สารช่วยกระจายตัว สารเพิ่มความหนืด แผ่นฟิล์มย่อยสลายได้และระบบนำส่งระดับนาโน เป็นต้น [30]

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมื่อกแมงลัก [31]

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์
ความชื้น	5.9±0.54
แร่ธาตุ	5.3±0.23
โปรตีน	2.3±0.08
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	78.66±1.33
กรดยูโรนิก	6.51±0.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเมือกแมงลัก [17]

## 2.6 กัมจากแหล่งธรรมชาติ (Natural gums)

### 2.6.1 กัม (Gums)

เป็นพอลิเมอร์ประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์และอนุพันธ์ของพอลิแซ็กคาไรด์พบในส่วนต่าง ๆ ของพืชและจุลินทรีย์ สารเหล่านี้มีความสามารถในการละลายน้ำได้สูงเพราะมีสมบัติความชอบน้ำ เมื่อละลายน้ำแล้วจะก่อให้เกิดลักษณะข้น เหนียวและเมื่อนำไปผ่านกระบวนการที่เหมาะสมจะทำให้เกิดเจล ดังนั้นจึงนำกัมมาใช้ประโยชน์ เช่น

1. ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด
2. อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier)
3. สารเพิ่มความเสถียรภาพ
4. ใช้เป็นกาวและสารยึดติด
5. สารช่วยในการขึ้นรูปเป็นฟิล์ม
6. สารช่วยให้เกิดเจล
7. สารกลุ่มหล่อลื่น

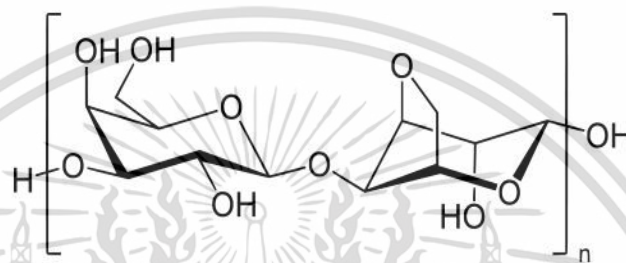
แหล่งของกัมธรรมชาติ ได้แก่

1. กัมจากสาหร่ายทะเล (Algae source) เช่น อะการ์ (Agar) อัลจิเนต (Alginate) และคาร์ราจีแนน (Carrageenan)
2. กัมจากพืช (Botanical source) ได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น
  - เยื่อไม้ (Plant tissue) เช่น ลาซกัม (Larch gum) และเพคติน (Pectin)
  - เมล็ด (Seed gums) เช่น กัมจากเมล็ดมะขาม กัวร์กัม (Guar gum) และโลคัสบีมกัม (Locust bean gum)
  - Plant extrudates เช่น กัมอาระบิก (Gum Arabic) และกัมคารายา (Gum Karaya)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.1 อะการ์ (Agar)

เป็นสารสกัดที่ได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง (Rhodophyceae) ซึ่งประกอบด้วย อะกาโรส (Agarose) และอะกาโรแพคติน (Agaropectin) อะกาโรสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วย 1,3 linked  $\beta$ -D-galactopyranose และ 1,4 linked 3,6-anhydro- $\alpha$ -L-galactopyranose เรียงสลับกัน อะกาโรแพคตินมีโครงสร้างที่คล้ายกับอะกาโรส คือ มีหน่วยซ้ำของ  $\beta$ -D-galactopyranose และ 3,6-anhydro- $\alpha$ -L-galactopyranose แต่จะมี acidic side groups เช่น ซัลเฟต (Sulfate) และ ไพรูเวต (Pyruvate)



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของอะกาโรส [9]

อะการ์ไม่ละลายในน้ำเย็นและละลายได้อย่างช้า ๆ ในน้ำร้อน อะการ์สามารถดูดน้ำได้ดีทำให้เกิดเจลได้ที่ความเข้มข้นต่ำเพียง 0.04% เมื่อโมเลกุลของอะกาโรสละลายในน้ำโมเลกุลจะอยู่ในลักษณะ แรนดอมคอยล์ (Random coil) และเมื่ออุณหภูมิลดลงจนใกล้อุณหภูมิเกิดเจลจะส่งผลให้สายโซ่พอลิเมอร์ของอะการ์เกิดการจับกัน

การใช้อะการ์ในอุตสาหกรรมมีดังนี้

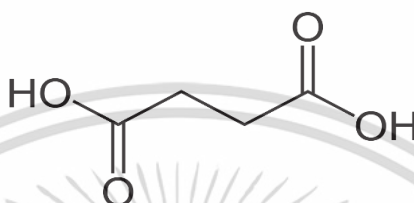
1. เป็นสารเพิ่มความข้นให้กับอาหาร เช่น น้ำซूप ไอศกรีม เป็นต้น
2. ใช้ในการปลดปล่อยยาแบบชะลอ (Sloe release ingredient) ในทางเภสัชศาสตร์
3. เป็นสารเพิ่มปริมาณ (Bulking agent) แทนแป้งในอาหารมังสวิรัตและผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ

ใช้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ (Tissue culture media) ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ [9]

### 2.7 กรดซัคซินิก (Succinic acid)


กรดซัคซินิก (SA) เป็นกรดไตรคาร์บอกซิลิกจากธรรมชาติ โครงสร้างของกรดซัคซินิก แสดงในรูปที่ 2.12 ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1546 โดย Georgius Agricola ซึ่งพบว่ากรดซัคซินิกมีลักษณะเป็นผลึกของแข็ง สีขาวขุ่น ไม่มีสีและไม่มีกลิ่น สามารถละลายได้เล็กน้อยในอะซิโตน อีเทอร์ เอทานอล กลีเซอรอลและละลายในน้ำ มีจุดหลอมเหลวประมาณ 185-187 องศาเซลเซียสและมีจุดเดือด

ประมาณ 235 องศาเซลเซียส กรดซัคซินิกสามารถนำมาใช้ในพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เช่น พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตอะดิเพต (Polybutylene succinate adipate) ใช้เป็นสารปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นส่วนประกอบในตำรับยาหรือเครื่องสำอาง เป็นต้น [32]

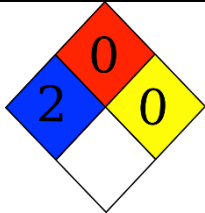


รูปที่ 2.9 โครงสร้างของกรดซัคซินิก [32]

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลความปลอดภัยของกรดซัคซินิก [33]

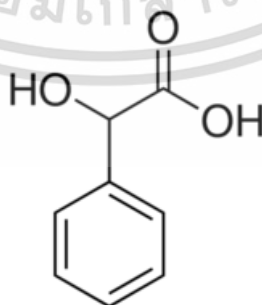
Information	Identification
Preferred IUPAC name	Butanedioic acid
Chemical name	Succinic acid
Chemical Formula	$C_4H_6O_4$
EC No.	203-740-4
CAS No.	110-15-6
Danger Hazard statements	 H318: Causes serious eye damage.
RTECS	WM4900000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

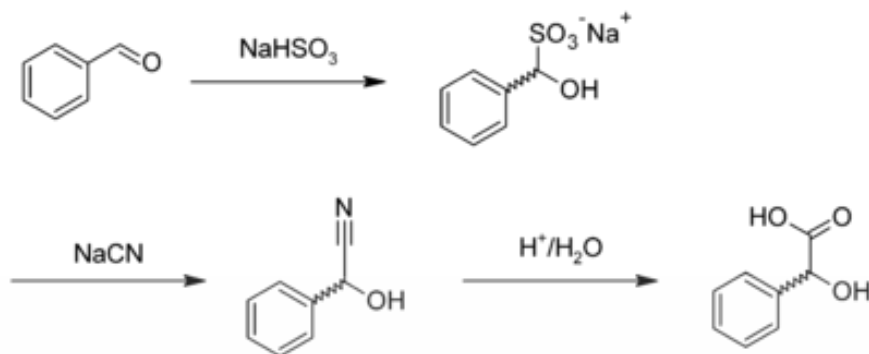
<p>National Fire Protection Association (U.S.A.)</p>	 <p>Health: 2 Flammability: 0 Reactivity: 0 Specific hazard: 0</p>
--	---

## 2.8 กรดแมนดีลิก (Mandelic acid)

กรดแมนดีลิก (MA) เป็นอัลฟาไฮดรอกซี แอซิด (Alpha hydroxy acid) มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า กรดพาราแมนดีลิก (Paramandelic acid) ซึ่งมีสรรพคุณในการผลิตเซลล์ผิวหนังได้ดี โครงสร้างของกรดแมนดีลิกแสดงในรูปที่ กรดแมนดีลิกบริสุทธิ์มีลักษณะเป็นของแข็งผลึกสีขาว ละลายได้ดีในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขี้ กรดแมนดีลิกถูกสกัดจากอัลมอนต์ขมผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของแมนดีโลไนไตรด์ โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมีการศึกษาและนำมาใช้งานทางด้านผลิตภัณฑ์ดูแลผิวหนังอย่างแพร่หลาย เช่น ผลิตภัณฑ์ซ่อมแซมผิวหนังที่เกิดจากการสัมผัสแสงแดด ผลิตภัณฑ์รักษาสิวและยังใช้เป็นสารออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย [16-17] นอกจากนี้ทางการแพทย์ได้นำกรดแมนดีลิกไปใช้เป็นยาปฏิชีวนะ โดยใช้เป็นยาฆ่าเชื้อแบคทีเรียในโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินปัสสาวะ ซึ่งกรดแมนดีลิกสามารถรับประทานเข้าทางปากและถูกขับถ่ายออกมาทางปัสสาวะ แต่อย่างไรก็ตามกรดแมนดีลิกไม่เสถียรต่อแสง ความร้อนและเบสแก่ [17]



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของกรดแมนดีลิก [16]



รูปที่ 2.11 ปฏิกริยาการสังเคราะห์กรดแมนดีลิกจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของแมนดีโลไนไตรล์ [17]

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพของกรดแมนดีลิก [34]

ชื่อ	กรดแมนดีลิก (Mandelic acid) กรดพาราแมนดีลิก (Paramandelic acid)
มวลโมเลกุล	152.15 g/mol
ความหนาแน่น	1.30 g/cm <sup>3</sup>
จุดหลอมเหลว	119 °C
ลักษณะทางกายภาพ	ผงสีขาว
ดัชนีการหักเหแสง (n <sub>D</sub> )	1.5204

จากเอกสารข้อมูลด้านความปลอดภัย (Material safety data sheet, MSDS) อธิบายผลกระทบของกรดแมนดีลิกต่อร่างกายว่า

- การสัมผัสกับดวงตา มีความเป็นอันตรายต่ำ เกิดอาการคันเล็กน้อย สามารถล้างออกได้
- การสัมผัสผิวหนัง ไม่ส่งผลให้เกิดการคันหรือระคายเคือง สามารถล้างออกได้
- หากกลืนกิน มีความเป็นอันตรายต่ำ [34]

## 2.9 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบคทีเรีย คือ สิ่งมีชีวิตเซลล์เดี่ยวขนาดเล็กที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีรูปร่างและลักษณะการดำรงชีวิตแตกต่างกันตามแต่ละชนิด เช่น บางชนิดมีหางเพื่อช่วยเคลื่อนที่ บางชนิดมีติ่งลักษณะคล้ายขนช่วยในการเกาะติดกับแบคทีเรียตัวอื่นหรือเพื่อติดอยู่เซลล์ของคน บางชนิดอาศัยในน้ำ ในดิน ในอาหาร ในบริเวณที่ร้อนหรือเย็นจัด หรืออาศัยอยู่ภายในร่างกายคน เป็นต้น ทั้งนี้แบคทีเรียบางชนิดอยู่ได้อย่างอิสระโดยไม่ต้องพึ่งพาอาศัยสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ แต่บางชนิดก็อาจมีชีวิตอยู่อย่างปรสิต

แบคทีเรียแกรมบวก มีผนังเซลล์หนาประมาณ 20-80 นาโนเมตร ซึ่งหนากว่าแกรมลบสามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 20-40% ของน้ำหนักเซลล์เมื่อทำให้แห้ง แบคทีเรียแกรมบวกประกอบด้วยสารประกอบลิโปโปรตีน (Lipoprotein) ลิโปพอลิเมอร์ (Lipopolysaccharide) และกรดไทโคอิก (Teichoic acid) แบคทีเรียแกรมบวก เช่น บาซิลลัส (Bacillus) สเตรปโทคอคคัส ออเรียส (Staphylococcus aureus) เป็นต้น

แบคทีเรียแกรมลบแตกต่างจากแบคทีเรียแกรมบวก คือ แบคทีเรียแกรมลบมีปริมาณเพปทิโดไกลแคน (Peptidoglycan) ที่ผนังเซลล์มากกว่าแบคทีเรียแกรมลบ แต่แบคทีเรียแกรมลบมีปริมาณไขมันที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์มากกว่า จึงทำให้แบคทีเรียแกรมลบยอมติดสี แบคทีเรียแกรมลบ เช่น เอสเชอริเชีย โคลิ (Escherichia coli) ซูโดโมนัส (Pseudomonas) เป็นต้น

### 2.9.1 *Staphylococcus aureus*

เป็นแบคทีเรียก่อโรค (Pathogen) ที่พบบ่อยในอาหาร สามารถย้อมติดสีแกรมบวก (Gram positive bacteria) มีรูปร่างเป็นทรงกลม (Coccus) ลักษณะคล้ายพวงอุ้งน้ ไม่สร้างสปอร์ ไม่เคลื่อนไหว และในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจะสลายน้ำตาลกลูโคสให้กรดอินทรีย์ โดยโรคที่เกิดจากการติดเชื้อของแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* ได้แก่

- โรค Furuncle หรือฝีที่เกิดจากการติดเชื้อตามรูขุมขน เช่น ตากุ้งยิง
- โรค Carbuncle หรือฝีฝักบัว
- โรค Staphylococcus food poisoning การปนเปื้อนของสารพิษในอาหาร

### 2.9.2 *Escherichia coli*

เป็นแบคทีเรียแกรมลบที่มีรูปร่างแท่ง (Gram negative rod) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มเอ็นเทอโรแบคทีเรีย (Family Enterobacteriaceae) อาศัยอยู่ในลำไส้ของคนและสัตว์เลื้อยคุดพบในอุจจาระ เชื้อ *E.coli* สามารถเกาะผนังเซลล์อวัยวะได้และทำให้เกิดการติดเชื้อ เช่น ไต กระเพาะปัสสาวะ เชื้อ *E.coli* ทำให้เกิดการติดเชื้อที่ทางเดินปัสสาวะ เยื่อหุ้มสมองอักเสบในทารกและท้องร่วง [35]

## 2.10 กลไกการออกฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย

กลไกการออกฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรียสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.10.1 ผนังเซลล์ (Cell wall) ออกฤทธิ์ที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรีย เกิดปฏิกิริยากับเซลล์ออสแกนิก ในผนังเซลล์ทำให้ระบบเมตาบอลิซึม ส่งผลให้ผนังเซลล์ไม่แข็งแรงและไม่สามารถทนต่อความดันสภาพแวดล้อมภายนอกได้ ผนังเซลล์จะบางและอาจเกิดรูทำให้เซลล์แตกในที่สุด

2.10.2 เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) เยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียประกอบด้วยชั้นโปรตีน-ลิพิด-โปรตีน (Protein-Lipid-Protein) ทำให้กลไกการควบคุมการเข้าออกของสารต่าง ๆ ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เสียไป สารต้านเชื้อแบคทีเรียจะแทรกระหว่างโปรตีนและลิพิด ส่งผลให้เยื่อหุ้มฉีกขาด สารที่อยู่ในไซโทพลาสซึมออกมา เซลล์แบคทีเรียตายในที่สุด

2.10.3 การสังเคราะห์ไนไซโทพลาสซึม

2.10.3.1 ทำลายระบบดีเอ็นเอ (DNA) โดยการยับยั้งการทำไทมีน (Thymine) ที่เข้าจับกับนิวคลีโอไทด์ทำให้การสร้างดีเอ็นเอไม่สมบูรณ์

2.10.3.2 ทำลายระบบอาร์เอ็นเอ (RNA) โดยการขัดขวางการทำงานของอาร์เอ็นเอส่งผลให้ไม่สามารถไปจับคู่กับโปรตีนได้

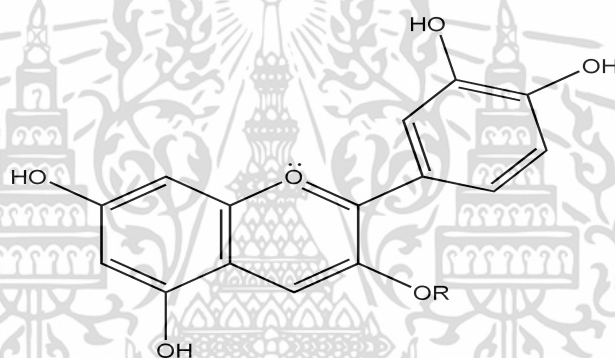
2.10.3.3 ทำลายการสังเคราะห์โปรตีน โดยยับยั้งการสร้างโปรตีนที่ไรโซโซม เป็นบริเวณที่เอ็มอาร์เอ็นเอ (m-RNA) มาเกาะอยู่เพื่อทำการแปลรหัสส่งผลให้โครงสร้างโปรตีนเปลี่ยนไป [36]

## 2.11 อัญชัน (*Clitoria ternatea L.*)

เป็นไม้เลื้อยเนื้ออ่อน อายุสั้น ลำต้นมีขนปกคลุม ใบประกอบแบบขนนก ดอกสีฟ้า ขาวและม่วง ออกดอกเดี่ยว ๆ รูปทรงของดอกคล้ายฝ้ายเซลล์ กลีบดอก 5 กลีบ ตรงกลางดอกมีสีเหลือง อัญชันเป็นพืชที่มีต้นกำเนิดแถบอเมริกาใต้ ปลูกทั่วไปในเขตร้อนมีสารสำคัญ คือ จินิสทีน (Genistein) สามารถต้านการอักเสบ (Antiinflammatory) ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) และ ต้านอาการกระสับกระส่าย (Antispasmodic) และยังมีสารสำคัญอื่น เช่น Gernatins preternatins ซึ่งเป็นสารสีจากดอกอัญชัน อยู่ในกลุ่ม แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เป็นสารที่ช่วยในเรื่องการไหลเวียนของโลหิต ละลายน้ำได้แต่ไม่คงตัวในสารละลายกรด แอนโทไซยานิน 1.5 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักกลีบสด 100 กรัม สามารถทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์โดยแสดงการเปลี่ยนสีจากสีแดงถึงสีน้ำเงินเมื่อค่าพีเอชเพิ่มจาก 2 ถึง 12 [20] ตารางที่ 2.6 แสดงการจำแนกชั้นวิทยาศาสตร์ของอัญชัน

ตารางที่ 2.5 การจำแนกชั้นวิทยาศาสตร์ของอัญชัน [20]

อาณาจักร	พืช (Plantae)
อันดับ	อันดับถั่ว (Fabales)
วงศ์	วงศ์ถั่ว (Fabaceae)
สกุล	คลิทอเรีย ( <i>Clitoria</i> )
สปีชีส์	<i>C. ternatea</i>



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของแอนโทไซยานิน [37]

## 2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Thessrimuang N. and Prachayawarakorn J. (2019) ทำการศึกษาและเตรียมฟิล์มจากเมือกแมงลัก ปรับปรุงสมบัติของฟิล์มโดยการเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ 3 ชนิด คือ กรดซัคซินิก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริก ซึ่งฟิล์มที่ผ่านการเชื่อมโยงยังสามารถย่อยสลายทางชีวภาพ จากการตรวจสอบฟิล์มที่เชื่อมโยงด้วยเทคนิค FTIR ปรากฏแถบการสั่นของหมู่เอสเทอร์ แสดงให้เห็นถึงการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างเมือกแมงลักกับกรดทั้ง 3 ชนิด นอกจากนี้สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนมีแนวโน้มดีขึ้น ฟิล์มเมือกแมงลักที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกแสดงสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนที่ดีที่สุด รองลงมาคือ กรดมาลิกและกรดทาร์ทาริก [14]

ปิยะพล ศิริวัฒน์ และคณะทำการศึกษาการทำวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก กรดมาโลนิกและกรดกลูตาสิก และนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) จากการตรวจสอบวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยเทคนิค FTIR ปรากฏแถบการสั่นของหมู่เอสเทอร์ ซึ่งแสดงถึงการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของเมือกแมงลักกับสารเชื่อมโยง การเชื่อมโยงส่งผลให้ค่ามอดูลัส ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืดมีค่าสูงขึ้นและค่าการบวมตัวลดลง เมื่อพิจารณาที่ชนิดของกรดพบว่ากรดมาโลนิกมีค่าการบวมตัวน้อยที่สุดและค่าความแข็งแรงสูงที่สุด รองลงมา คือ กรดซัคซินิกและกรดกลูตาสิก ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืดกรดซัคซินิกและกรดกลูตาสิกมีค่าสูงขึ้น โดยวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกแสดงสมบัติเชิงกล การบวมตัวที่เหมาะสมมาพัฒนาเป็นวัสดุปิดแผลที่มีประสิทธิภาพ [15]

Tanitiwatcharotha S. and Prachayawarakorn J. (2020) ได้ทำการศึกษาและพัฒนาวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักโดยการเชื่อมโยงด้วยบอแรกซ์และผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO-NP) พบว่าการเชื่อมโยงเมือกแมงลักด้วยบอแรกซ์ส่งผลให้สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน การกักเก็บน้ำและความคงรูปดีกว่าเมือกแมงลักที่ไม่ได้เชื่อมโยง แต่การเพิ่มปริมาณของบอแรกซ์และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ส่งผลให้ความหนา ความพรุน และการบวมตัวของชิ้นงานลดลง ผลการทดสอบการต้านแบคทีเรียพบว่าวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่เชื่อมโยงด้วยบอแรกซ์และผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถยับยั้ง *S. aureus* และ *E. coli* ได้และไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์เคอราทีโนไซต์ [30]

Valderruten N. E. และคณะ (2014) เตรียมไฮโดรเจลจากไคโตซานเชื่อมโยงด้วยกรด 3 ชนิด คือ กรดอะดีปิก กรดกลูตาริก และกรดซัคซินิก เพื่อเปรียบเทียบผลของความยาวสายโซ่สารเชื่อมโยงต่อพฤติกรรมของวัสดุ จาก FTIR แสดงถึงการลดลงของหมู่อะมิโนของไคโตซาน เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงกับกรดเปลี่ยนเป็นหมู่เอไมด์ การทดสอบการบวมตัวพบว่าไฮโดรเจลจากไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยกรดอะดีปิกบวมตัวมากที่สุด การทดสอบสมบัติทางความร้อนจาก TGA พบว่าไฮโดรเจลจากไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยกรดทั้ง 3 ชนิดสลายตัวที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับไฮโดรเจลจากไคโตซานที่ไม่ได้เชื่อมโยง เมื่อย่อยสลายโดยไลโซไซม์ (Lysozyme) ไฮโดรเจลจากกรดกลูตาริกและกรดอะดีปิกมีการสูญเสียประมาณ 80% ของมวล ในขณะที่ไฮโดรเจลจากกรดซัคซินิกมีการสูญเสียเพียง 10% ของมวล แสดงให้เห็นว่าไลโซไซม์สามารถแทรกเข้าไปในโครงสร้างและย่อยสลายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากในไฮโดรเจลที่เชื่อมโยงด้วยกรดสายโซ่ยาว [38]

Zepon K และคณะ (2019) ทำการศึกษาวัดปิดแผลจากการเตรียมเป็นฟิล์มไฮโดรเจลโดยใช้กัมธรรมชาติ ได้แก่ คาร์ราจีแนน (KC) และลูคัสปีมกัม (LBG) ผสมกับสารสกัดจากแครนเบอร์รี่ (CB) ซึ่ง

ฟิล์มไฮโดรเจลที่เตรียมขึ้นสามารถเข้ากันได้ทางชีวภาพและไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ผลการทดลองพบว่าในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5.0-9.0 ฟิล์มไฮโดรเจลสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากแดงเป็นสีน้ำตาล สามารถนำผลการตอบสนองต่อค่าพีเอชของฟิล์มไฮโดรเจลใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่บริเวณบาดแผล [39]

Tu C. และคณะ (2019) ทำการเตรียมวัสดุปิดแผลจากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส/ไคโตซานโดยใช้เอพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) เป็นสารเชื่อมโยง ขึ้นรูปด้วยวิธีทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง จากนั้นนำไปย้อมด้วยสีย้อมไซยานิน (Cyanine dye) ซึ่งวัสดุปิดแผลที่เตรียมได้สามารถบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชโดยการเปลี่ยนแปลงสี ผลการทดลองพบว่าเมื่อค่าพีเอชเปลี่ยนจาก 4-8 วัสดุปิดแผลเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียว เนื่องจากโครงสร้างภายในเป็นเซลล์เปิดเมื่อเพิ่มปริมาณไคโตซานทำให้ความพรุน อัตราการส่งผ่านความชื้น การซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นและสมบัติการซึมผ่านของอากาศที่ดี นอกจากนี้ไคโตซานที่เติมในวัสดุคอมโพสิตยังช่วยต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และ *E. coli* ได้ [40]

Liu L. และคณะ (2017) ทำการศึกษาวัสดุปิดแผลไฮโดรเจลที่สามารถตอบสนองต่อค่าพีเอช โดยใช้เมทาคริลเลทมอนอเมอร์มาดัดแปลงสีย้อมฟีนอลเรด (Phenol red) นำสีย้อมที่ดัดแปลงไปผ่านปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันกับอะคริลาไมด์มอนอเมอร์และโซเดียมอัลจิเนตโดยเชื่อมโยงด้วย N,N'-methylenebisacrylamide จากนั้นนำไฮโดรเจลไปเชื่อมโยงโซเดียมอัลจิเนตด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ พันธะโควาเลนต์ที่เกิดขึ้นระหว่างสีย้อมทำให้การหลุดของสีย้อมลดลง โดยไฮโดรเจลที่เตรียมได้มีรูพรุน การบวมตัวสูง สมบัติเชิงกลดีและสามารถตอบสนองต่อค่าพีเอชได้จากการเปลี่ยนแปลงสี จากผลการทดลองเมื่อค่าพีเอชเท่ากับ 5 6 และ 7 ไฮโดรเจลเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง ค่าพีเอชเท่ากับ 7.4 และ 8 ไฮโดรเจลเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีส้มและเมื่อค่าพีเอชเท่ากับ 9 ไฮโดรเจลเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีแดง การเปลี่ยนแปลงสีของไฮโดรเจลสามารถทำให้เราติดตามค่าพีเอชของบาดแผลได้ [41]

Rawdkuen S และคณะ (2020) ทำการสกัดสารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) พืชชนิดต่าง ๆ ได้แก่ กระหล่ำปลีแดง มันเทศ กระเจี๊ยบ เปลือกมังคุด อัญชันและแก้วมังกร โดยใส่ลงในฟิล์มเจลาติน ผลการทดลองพบว่า ฟิล์มเจลาตินที่ใส่สารสกัดแอนโทไซยานินจากอัญชันมีความไวในการตอบสนองต่อค่าพีเอชดีที่สุด ที่ค่าพีเอช 2-4 ฟิล์มมีสีม่วง ค่าพีเอช 5-7 ฟิล์มเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีฟ้า และค่าพีเอช 8-12 ฟิล์มเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีเขียว สารสกัดแอนโทไซยานินจากอัญชันส่งผลให้ค่าการยึดตัว ณ จุดขาดและความสามารถในการกักเก็บน้ำเพิ่มขึ้น ความทนต่อแรงดึงและความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำลดลง [42]

Yari K และคณะ (2020) ทำการศึกษาการปลดปล่อยยาโดยการเตรียมเม็ดปิด (Beads) จากโซเดียมอัลจิเนต (SA) ผสมกับเมือกแมงลัก (BSM) อัตราส่วน 7.5 : 2.5 ที่เชื่อมโยงด้วยไตรพอลิฟอสเฟต (TPP) 1 ml และบรรจุยาเมทฟอร์มิน (MET) โครงสร้างทางเคมีของเม็ดปิดที่ผ่านการเชื่อมโยงตรวจสอบด้วยเทคนิค FTIR ซึ่งปรากฏแถบการสั่นของหมู่ฟอสเฟต แสดงให้เห็นถึงการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยง นอกจากนี้เม็ดปิดที่เชื่อมโยงมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น การบวมตัวลดลงไม่เป็นพิษกับเซลล์สิ่งมีชีวิต ผลการทดสอบการปลดปล่อยยาเมทฟอร์มินที่พีเอช 1.2 และพีเอช 7.4 พบว่าที่พีเอช 7.4 เม็ดปิดบวมตัวมากกว่าส่งผลให้มีอัตราการปลดปล่อยยาสูงกว่า [43]

Hosseini M S และ Nabid M R (2020) ศึกษาการปลดปล่อยยาโดยเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลจากเมือกแมงลัก (BSM) และพอลิไวนิล แอลกอฮอล์ (PVA) เชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ (GA) และบรรจุยาเตตระโซคลีน ไฮโดรคลอไรด์ (TH) จากการทดลองพบว่า ฟิล์มไฮโดรเจลที่มีเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ 0.5 กรัม พอลิไวนิล แอลกอฮอล์ 2% (w/v) มีความสามารถในการซึมผ่านของออกซิเจนและการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำที่ดีที่สุด รวมถึงยังสามารถเก็บความชุ่มชื้นไว้สำหรับขั้นตอนการรักษาบาดแผลได้ จากการทดสอบการปลดปล่อยยาพบว่า อัตราการปลดปล่อยยาเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเนื่องจากฟิล์มไฮโดรเจลเกิดการบวมตัวเพิ่มขึ้นที่พีเอชสูง [44]

Kumar R และคณะ (2016) ได้ศึกษาสมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลของกรดแมนดีลิกในฟิล์มโปรตีนถั่วเหลือง พบว่าค่าความแข็งแรงของลดลงในขณะที่ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นและสมบัติการดูดซึมน้ำลดลงเมื่อปริมาณกรดแมนดีลิกเพิ่มขึ้น ซึ่งกรดแมนดีลิกปริมาณ 10% โดยมวลสามารถเกิดอันตรกิริยาระหว่างกรดกับฟิล์มโปรตีนได้สูงสุด โดยฟิล์มที่มีกรดแมนดีลิก 10% โดยมวลแสดงอุณหภูมิการดูดความร้อนที่ 148.8 C และค่าการยืดตัว ณ จุดขาดสูงสุด นอกจากนี้ยังสามารถออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียที่เกิดบนผิวหนังมนุษย์ได้ [18]

Tang Li และคณะ (2018) ศึกษาการปลดปล่อยกรดแมนดีลิกโดยเตรียมวัสดุต้านเชื้อจุลชีพและแทรกกรดแมนดีลิกระหว่างชั้นของซิงค์-อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ผ่านปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุลบ พบว่าสมบัติทางความร้อนและความเสถียรทางแสงของกรดแมนดีลิกเพิ่มขึ้นเมื่อถูกแทรกอยู่ในชั้นของซิงค์-อะลูมิเนียมและชั้นของซิงค์-อะลูมิเนียมสามารถควบคุมการปลดปล่อยกรดแมนดีลิกได้ดีที่พีเอช 4 นอกจากนี้วัสดุสามารถออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* *S. aureus* และสามารถต้านเชื้อรา *Candida albicans* ดังนั้นวัสดุที่เตรียมได้จึงมีศักยภาพเพื่อนำไปใช้งานต้านเชื้อแบคทีเรียในเครื่องสำอางและยา [19]

Stan D. C. และคณะ (2015) ศึกษาการออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย เชื้อราและการถนอมของ อนุพันธ์กรดแมนดีลิกสองชนิด ได้แก่ ออกซีอะซิetyl แมนดีลิก (Oxi-acetyl mandelic) และออกซีโพรพิโอนิวแมนดีลิก (Oxiopropionyl mandelic) พบว่าอนุพันธ์ของกรดแมนดีลิกทั้งสองชนิดสามารถต้านเชื้อแบคทีเรีย ได้แก่ *P. aeruginosa* *E. coli* (แกรมลบ) *S. aureus* *S. lutea* (แกรมบวก) และเชื้อรา ได้แก่ *Candida albicans* *Candida glabrata* และ *Candida parapsilosis* รวมถึงยังสามารถใช้เป็นสารกันบูดเพื่อถนอมอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ [45]

Ahmad N. A. และคณะ (2020) ได้ศึกษาและพัฒนาฟิล์มสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารจากแป้งสาคุ (SG) แป้งข้าวโพด (CS) และคาร์ราจีแนน (CG) ผสมกับสารสกัดอัญชันเป็นตัวตอบสนองค่าพีเอชเพื่อใช้ตรวจสอบอาหารที่เน่าเสีย พบว่าเมื่อนำฟิล์มที่สังเคราะห์ไปบรรจุอกไก่ในสภาวะต่าง ๆ สารสกัดอัญชันในฟิล์มสามารถตอบสนองโดยการเปลี่ยนแปลงสี และพบว่าอัญชันฟิล์มแป้งข้าวโพดมีความสามารถในการบวมตัวมากที่สุดเมื่อใส่สารสกัดอัญชันและความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์มทั้งสามชนิดหลังใส่สารสกัดอัญชันลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ [46]

Kim Ji-H และคณะ (2021) ทำการศึกษาฟิล์มที่สามารถตอบสนองต่อค่าพีเอชและออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียจากการเตรียมฟิล์มโดยใช้เจลาตินและอะการ์จากนั้นนำไปใส่สารสกัดจากอัญชันและนาโนซิงค์ออกไซด์ พบว่าฟิล์มที่เตรียมขึ้นสามารถแสดงความว่องไวในการตอบสนองต่อค่าพีเอชด้วยการเปลี่ยนแปลงสีและมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ สารสกัดอัญชันส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของฟิล์มลดลง ค่าการดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ฟิล์มที่มีนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และลดอัตราการเจริญเติบโตของ *L. monocytogenes* [47]

### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 สารเคมี

1. เมล็ดแมงลัก (เกรตอาหาร) จากบริษัท ไร่ธัญญา จำกัด

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบเคมีของเมือกแมงลัก

Composition of BSM	Percentage by weight
Moisture	5.9±0.54
Ash	5.3±0.23
Protein	2.3±0.08
Glucomanan	43
Xylan	24
Other polysaccharides	13
Uronic acid	6.51

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

2. ผงวุ้น ตราโทเรศัพท์ เกรตอาหาร จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เซ่งฮวด

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลของผงวุ้น

Information	Identification
Molecular formula	$C_{12}H_{18}O_9$
Molecular weight	186 g/mol
Moisture (%)	<20
Color	White or light yellow powder
Gel strength	700-1300 g/cm <sup>2</sup>

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

3. กรดซัคซินิก (Succinic acid  $C_4H_6O_4$ ) เกรดอาหาร จากบริษัท ยูเนียน เคมิคอล จำกัด

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลของกรดซัคซินิก

Information	Identification
Molecular weight	118.09 g/mol
Acidity (pKa)	$pK_{a1} = 4.2, pK_{a2} = 5.60$
Melting point	184 °C
Density	1.56 g/cm <sup>3</sup>
Solubility in water	58 g/L (20 °C)
Appearance	White powder

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

4. กรดแมนดีลิก (Mandelic acid  $C_8H_8O_3$ ) เกรดเครื่องสำอาง จากบริษัท จันทร์เจ้า ลองจีวีตี้ จำกัด

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลของกรดแมนดีลิก

Information	Identification
Molecular weight	152.15 g/mol
Acidity (pKa)	3.41
Melting point	119 °C
Density	1.30 g/cm <sup>3</sup>
Solubility in water	15.87 g/100ml
Appearance	White powder

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

5. ดอกอัญชัน (*Clitoria ternatea* L.)

6. กลีเซอรอล (Glycerol,  $C_3H_8O_3$ ) เกรดการค้า จากบริษัท Lab system, Co., Ltd

7. เอทานอล 95 % จากบริษัท เคมีภัณฑ์ จำกัด

8. น้ำกลั่น (Distilled water)

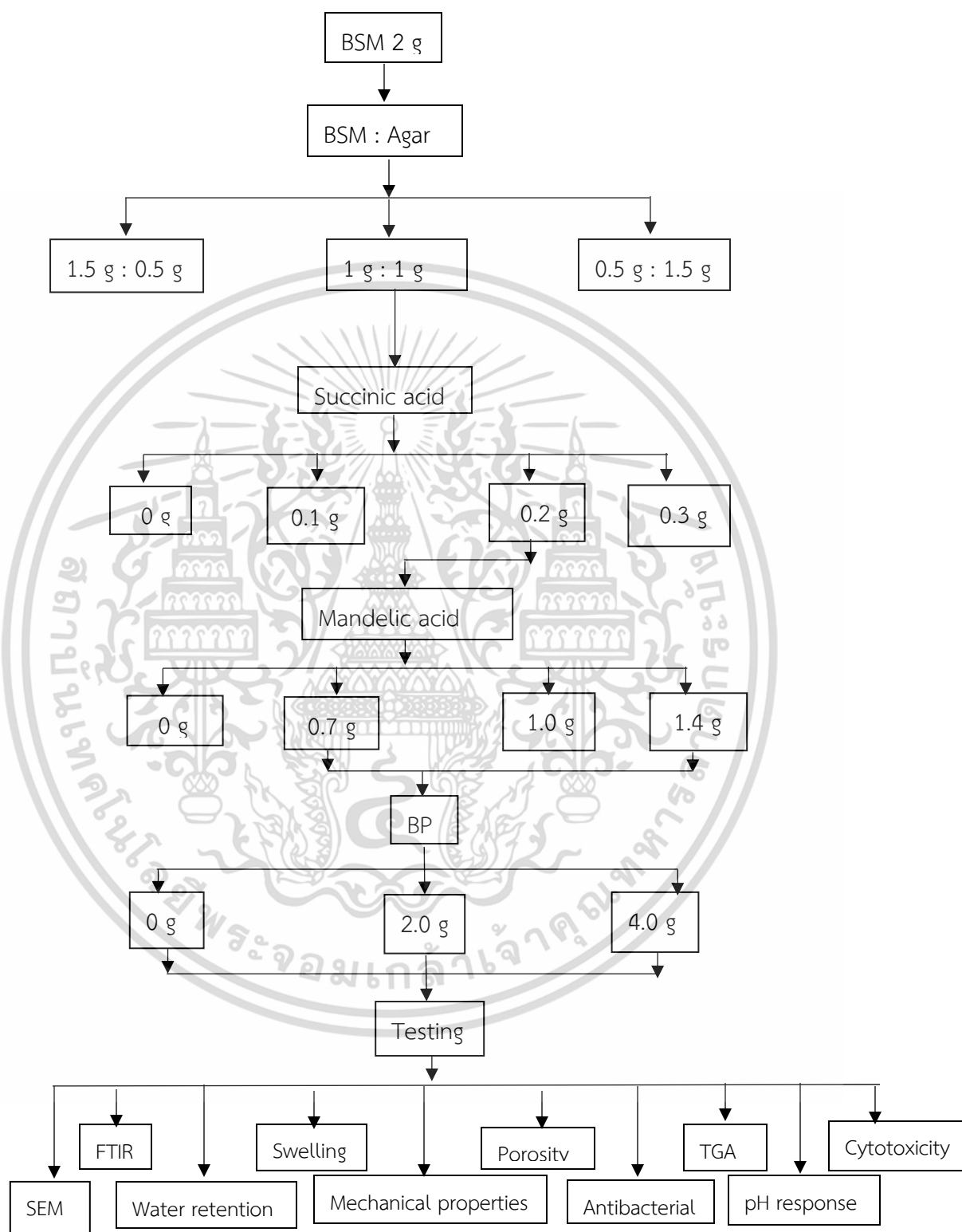
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. แท่งแก้วคนสาร
2. แท่งแม่เหล็กปั่น
3. ปีกเกอร์
4. กระจดาษกรอง
5. จานเพาะเชื้อ
6. เทอร์โมมิเตอร์
7. ตู้อบลมร้อน (MEMMERT, ULM 600/L, ประเทศเยอรมนี)
8. เตาแม่เหล็กปั่นกวน (IKA, C-MAG HS7, ประเทศเยอรมนี)
9. เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo ML-series, ประเทศไทย)
10. เครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง (ITS, ประเทศไทย)
11. ตู้แช่แข็ง (DW-40L92, Haier, ประเทศจีน)
12. เครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Coolsafe 110-4, Scan Vac, ประเทศเดนมาร์ก)
13. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) (LEO 1455VP, ZEISS, ประเทศเยอรมนี)
14. เครื่อง FT-IR สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR Spectrophotometer) (Perkin Elmer, Spectrum 200 GXspectrometer, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
15. เครื่องทดสอบเบรกประสงค์ (Universal testing machine) (Lloyd Instruments, LR5k, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
16. เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสาร (Thermogravimetric analyzer, TGA) (Mettler Toledo, TGA/DSC 3+, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
17. เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary evaporator) (Rotavapor® R-300, Nantong Sanjing Chemglass Co., Ltd, ประเทศจีน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.3.1 ขั้นตอนการสกัดเมือกแมงลัก

1. แช่เมล็ดแมงลักในน้ำกลั่นในสัดส่วนน้ำหนักเมล็ดแมงลักต่อน้ำกลั่น 1:30 ที่อุณหภูมิห้องจนเมล็ดพองตัวเต็มที่ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง
2. ปั่นเมล็ดที่พองเต็มที่ด้วยเครื่องปั่นเป็นเวลา 1 นาที เพื่อแยกเมือกออกจากผิวของเมล็ดแมงลัก
3. นำเมือกที่แยกได้กรองผ่านผ้าขาวบางและเซนทริฟิวจ์ที่ความเร็ว 5000 rpm เป็นเวลา 5 นาที เพื่อแยกเศษเมล็ดที่อาจตกค้าง
4. แช่แข็งเมือกที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze drying) ที่อุณหภูมิ -100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้เมือกแมงลักแห้งเก็บไว้ใช้ในขั้นตอนต่อไป [30]

#### 3.3.2 ขั้นตอนการสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน

1. นำผงดอกอัญชันแห้ง 10 กรัม เติมน้ำใน 95% เอทานอลและน้ำกลั่นอัตราส่วน 70:30 เก็บสารละลายที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมง
2. กรองสารละลายด้วยการกรองแบบสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 และนำไประเหยเอทานอลด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
3. เก็บสารสกัดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปทดสอบต่อไป [42]

#### 3.3.3 การเตรียมวัสดุผลจากเมือกแมงลักผสมผงวุ้น

1. ละลายเมือกแมงลักแห้งและผงวุ้นในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตรตามตารางที่ 3.5
2. ปั่นกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็กที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที
3. เทสารละลาย 45 กรัมลงในจานเพาะเชื้อขนาด (100 × 15 มิลลิเมตร) เพื่อควบคุมความหนาของชิ้นงาน
4. นำตัวอย่างแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอีก 24 ชั่วโมง

### 3.3.4 การเตรียมวัสดุแผลจากเมือกแมงลักผสมผงวุ้นเชื่อมโยงที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก

1. ละลายเมือกแมงลักแห้งและผงวุ้นในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตรตามตารางที่ 3.5
2. เติมกรดซัคซินิกเป็นสารเชื่อมโยง ปริมาณ 0.1 0.2 และ 0.3 กรัม
3. ปั่นกวนสารละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. เทสารละลาย 45 กรัมลงในจานเพาะเชื้อขนาด (100 × 15 มิลลิเมตร) เพื่อควบคุมความหนาของชิ้นงาน
5. นำตัวอย่างแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอีก 24 ชั่วโมง

### 3.3.5 การเตรียมวัสดุแผลจากเมือกแมงลักผสมผงวุ้นเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก

1. เตรียมสารละลายเมือกแมงลักและวุ้นตามขั้นตอน 1-3 ในข้อ 3.3.4
2. ลดอุณหภูมิสารละลายลงจนถึง 40 องศาเซลเซียส เติมกรดแมนดีลิก 0.7 1.0 และ 1.4 กรัม ปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที
3. เทสารละลาย 45 กรัมลงในจานเพาะเชื้อขนาด (100 × 15 มิลลิเมตร) เพื่อควบคุมความหนาของชิ้นงาน
4. นำตัวอย่างแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอีก 24 ชั่วโมง

### 3.3.6 การเตรียมวัสดุแผลจากเมือกแมงลักผสมผงวุ้นเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิก และสารสกัดอัลลูชัน

1. เตรียมสารละลายเมือกแมงลักและวุ้นตามขั้นตอน 1-2 ในข้อ 3.3.5
2. เติมสารสกัดอัลลูชันปริมาณ 2 และ 4 กรัม ปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที
3. เทสารละลาย 45 กรัมลงในจานเพาะเชื้อขนาด (100 × 15 มิลลิเมตร) เพื่อควบคุมความหนาของชิ้นงาน
4. นำตัวอย่างแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอีก 24 ชั่วโมง

หมายเหตุ ปริมาณองค์ประกอบส่วนผสมต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ปริมาณส่วนผสมในแต่ละสูตร

ตัวอย่าง	องค์ประกอบ (กรัม)					
	เมือกแมงลัก (BSM)	วุ้น (agar)	กลีเซอรอล	กรดซัคซินิก (SA)	กรดแมนดีลิก (MA)	อัญชัน (BP)
2BSM	2	0	0.3	0	0	0
1.5BSM/0.5agar	1.5	0.5	0.3	0	0	0
1BSM/1agar	1	1	0.3	0	0	0
0.5BSM/1.5agar	0.5	1.5	0.3	0	0	0
1BSM/1agar/SA1	1	1	0.3	0.1	0	0
1BSM/1agar/SA2	1	1	0.3	0.2	0	0
1BSM/1agar/SA3	1	1	0.3	0.3	0	0
1BSM/1agar/SA2/MA1	1	1	0.3	0.2	0.7	0
1BSM/1agar/SA2/MA2	1	1	0.3	0.2	1.0	0
1BSM/1agar/SA2/MA3	1	1	0.3	0.2	1.4	0
1BSM/1agar/SA2/MA1BP1	1	1	0.3	0.2	0.7	2
1BSM/1agar/SA2/MA1BP2	1	1	0.3	0.2	0.7	4
1BSM/1agar/SA2/MA3BP1	1	1	0.3	0.2	1.4	2
1BSM/1agar/SA2/MA3BP2	1	1	0.3	0.2	1.4	4

หมายเหตุ ทุกตัวอย่างละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

### 3.4 การทดสอบสมบัติต่าง ๆ

#### 3.4.1 การหาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)

วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในสารตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรโกปี ทำโดยนำชิ้นงานตัวอย่าง 2-3 มิลลิกรัม มาบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ที่อบแห้ง 0.2-0.5 กรัม นำใส่ลงในแม่พิมพ์และทำการอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดภายใต้ความดัน  $10^{-4}$  kg/cm<sup>2</sup> เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำเม็ดออกจากแม่พิมพ์และนำไปวิเคราะห์ในช่วงเลขคลื่น 400-4000 cm<sup>-1</sup> ที่ความละเอียด 4 cm<sup>-1</sup> โดยทำการสแกน 10 ครั้งต่อตัวอย่าง

#### 3.4.2 สัณฐานวิทยา (Morphology)

ศึกษาลักษณะของพื้นผิวและภาคตัดขวางของชิ้นงาน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) เตรียมตัวอย่างโดยนำชิ้นงานมาหักในไนโตรเจนเหลวและเคลือบด้วยทองคำก่อนนำเข้าเครื่องทดสอบ เพื่อศึกษาความแตกต่างของลักษณะพื้นผิวและภาคตัดขวางชิ้นงาน

#### 3.4.3 การทดสอบการบวมตัว (Swelling)

การศึกษาการบวมตัวทำได้โดยการตัดชิ้นงานตัวอย่างขนาด 2 x 2 ตารางเซนติเมตร ซึ่งน้ำหนักโดยเฉลี่ย (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) บันทึกน้ำหนักที่ชั่งได้ จากนั้นนำชิ้นงานไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง นำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนครบ 6 ชั่วโมงและชั่งอีกครั้งที่ 24 ชั่วโมง โดยก่อนนำไปชั่งน้ำหนักให้ซับน้ำออกจากชิ้นงานด้วยกระดาษกรองจากนั้นนำไปคำนวณการบวมตัว ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (3.1)

$$\text{การบวมตัว} = \frac{M_w - M_0}{M_0} \quad (3.1)$$

เมื่อ  $M_w$  คือ น้ำหนักชิ้นงานหลังการทดลอง,  $M_0$  คือ น้ำหนักชิ้นงานก่อนการทดลอง

### 3.4.4 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA)

การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน เตรียมตัวอย่างโดยการคบคขึ้นงานให้เป็นผงละเอียด จากนั้นตักใส่แพน (Pan) เริ่มการวิเคราะห์โดยทำการให้ความร้อนตั้งแต่ 30-600 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราความร้อน (Heating rate) 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน

### 3.4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

ทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์  $60\% \pm 5$  เตรียมชิ้นงานโดยตัดชิ้นงานให้มีขนาด  $1 \times 5$  ตารางเซนติเมตร

โดยกำหนดสภาวะทดสอบ ดังนี้

ความเร็วที่ใช้ดึง (Test speed)	5	mm/min
ระยะทดสอบ (Gauge length)	20	mm
โหลดเซลล์ (Load cell)	100	N
จำนวนตัวอย่างทดสอบ	8	ชิ้นต่อสูตร

ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) หรือค่าความเค้นสูงสุด (Maximum stress) ของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง คำนวณจากสมการที่ (3.2) และ (3.3)

$$\text{Tensile strength (MPa)} = F/A \quad (3.2)$$

เมื่อ F คือ แรงสูงสุดที่ใช้ในการดึงชิ้นงาน (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน ( $\text{mm}^2$ )

เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ ค่าสูงสุด (%Elongation at maximum load)

$$\text{Elongation at maximum load (\%)} = 100 \times [(L-L_0)/L_0] \quad (3.3)$$

เมื่อ L คือ ความยาวสุดท้ายของชิ้นงาน (mm)

$L_0$  คือ ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน ( $\text{mm}^2$ )

### 3.4.6 การทดสอบความพรุน (Porosity)

การทดสอบความพรุนของชิ้นงานตัวอย่างจะคำนวณจากการแทนที่ของช่องว่างในวัสดุ โดยนำชิ้นงานแช่ในเอทานอลที่ทราบปริมาตร ( $V_1$ ) เป็นเวลา 10 นาที แล้วบันทึกปริมาตรที่เพิ่มขึ้น ( $V_2$ ) จากนั้นบันทึกปริมาตรเอทานอลที่เหลือจากการนำชิ้นงานออก ( $V_3$ ) ซึ่งปริมาตรทั้งหมดจะวัดด้วยกระบอกตวง (graduated cylinder) ความพรุนคำนวณได้จากสมการ (3.4)

$$\text{ความพรุน (\%)} = [V_1 - V_3 / V_2 - V_3] \times 100 \quad (3.4)$$

### 3.4.7 การทดสอบการกักเก็บน้ำ (Water retention)

ทำการทดสอบโดยการตัดชิ้นงานให้มีขนาด  $2 \times 2$  ตารางเซนติเมตร จากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งชิ้นงานอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่บ้ำส่วนเกินออกด้วยกระดาษกรอง แช่ชิ้นงานเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักและคำนวณค่าการกักเก็บน้ำ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (3.5)

$$\text{ความสามารถในการกักเก็บน้ำ (\%)} = [W_T / W_0] \times 100 \quad (3.5)$$

เมื่อ  $W_T$  คือ น้ำหนักชิ้นงานก่อนการทดลอง

$W_0$  คือ น้ำหนักชิ้นงานหลังการทดลอง

### 3.4.8 ทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย (Antibacterial activity)

ทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของตัวอย่างชิ้นงานกับแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* (แกรมบวก) และ *Escherichia coli* (แกรมลบ) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่พบได้บ่อยที่สุดในแผลติดเชื้อ โดยทดสอบจากการวัดขนาดขอบเขตยับยั้งบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ตัวอย่างจะถูกตัดเป็นแผ่นกลมขนาด 8 มิลลิเมตร นำชิ้นงานวางบนจานวุ้นที่มีแบคทีเรียเจริญเติบโตและบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของระยะการยับยั้งเพื่อตรวจสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย

### 3.3.9 ความเป็นพิษต่อเซลล์

การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ของตัวอย่างได้รับการประเมินโดยการทดสอบ (MTT assay) กับเซลล์เคอราทีโนไซต์ (Keratinocytes (HaCat)) ของมนุษย์ เตรียมสารละลายสต็อกโดยบ่มสารตัวอย่างในอาหารเลี้ยงเชื้อ DMEM (Dulbecco's Modified Eagle Medium) เสริมด้วย 5% FBS (Fetal Bovine Serum) ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองสารละลายด้วยแผ่นกรองขนาด 0.22  $\mu\text{m}$  จากนั้นเจือจางให้มีความเข้มข้น 1000  $\mu\text{g/ml}$

#### วิธีการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ HaCat

1. ทำการปลูกเซลล์ HaCat ปริมาตร 100  $\mu\text{l/well}$  ลงใน 96-well plate (จำนวนเซลล์  $1 \times 10^5$  cells/ml) บ่มเซลล์ในตู้บ่มที่ 37  $^{\circ}\text{C}$ , 5%  $\text{CO}_2$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. หลังจากครบ 24 ชั่วโมง ดูดอาหารออกจากแต่ละหลุม จากนั้นเติมสารตัวอย่างความเข้มข้น 1000  $\mu\text{g/ml}$  ปริมาตร 100  $\mu\text{l/well}$  ทดสอบ 3 ซ้ำ
3. เมื่อบ่มเซลล์ในสารตัวอย่างครบตามเวลา เติมสารละลาย MTT ความเข้มข้น 5  $\text{mg/ml}$ , 10  $\mu\text{l/well}$  นำไปบ่มในตู้บ่มที่ 37  $^{\circ}\text{C}$ , 5%  $\text{CO}_2$  นาน 4 ชั่วโมง
4. เมื่อบ่มเซลล์ MTT ครบ 4 ชั่วโมง ดูดสารละลาย MTT ที่ทิ้ง และเติมสารละลายผสม 100% DMSO: 10% SDS อัตราส่วน 9:1 ปริมาตร 100  $\mu\text{l/well}$
5. นำไปวัดค่า OD ที่ความยาวคลื่น 570 nm คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษต่อเซลล์ได้จากสมการ (3.6)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษต่อเซลล์} = (A - B/A) \times 100 \quad (3.6)$$

A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของหลุมควบคุม

B คือ ค่าการดูดกลืนแสงของหลุมตัวอย่าง

$$\text{Cell viability} = 100 - \text{Cytotoxicity} \quad (3.7)$$

### 3.4.10 การวัดสี (Color Measurement)

เตรียมชิ้นงานโดยให้ชิ้นงานมีขนาด 2x2 เซนติเมตร นำมาวัดสีด้วยเครื่องวัดสีมาตรฐาน ASTM D-1925 แล้วเปรียบเทียบกับแถบมาตรฐาน 10 จุด เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงานตามระบบของ Hunter และ CIE ภายใต้แหล่งกำเนิดสีนออน D 65/10

$L^*$  : ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness)

$L = 0$  : perfect black sample

$L = 100$  : perfect white sample

$a^*$  : ใช้กำหนดสีแดงหรือสีเขียว (Red-Green)

$a$  เป็น + สีจะไปในทิศทางของแดง

$a$  เป็น - สีจะไปในทิศทางของเขียว

$b^*$  : ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (Yellow-Blue)

$b$  เป็น + สีจะไปในทิศทางของเหลือง

$b$  เป็น - สีจะไปในทิศทางของน้ำเงิน

$\Delta E$  : ค่าความแตกต่างของสี

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

$\Delta L = L_1 - L_2$  เมื่อ  $L_1$  คือ ค่าความสว่างของชิ้นงานหลังทดสอบ

$L_2$  คือ ค่าความสว่างของชิ้นงานก่อนทดสอบ

$\Delta a = a_1 - a_2$  เมื่อ  $a_1$  คือ ค่าเฉดสีแดง-เขียวของชิ้นงานหลังทดสอบ

$a_2$  คือ ค่าเฉดสีแดง-เขียวของชิ้นงานก่อนทดสอบ

$\Delta b = b_1 - b_2$  เมื่อ  $b_1$  คือ ค่าเฉดสีน้ำเงิน-เหลืองของชิ้นงานหลังทดสอบ

$b_2$  คือ ค่าเฉดสีน้ำเงิน-เหลืองของชิ้นงานก่อนทดสอบ

### 3.3.11 การทดสอบการตอบสนองต่อค่าพีเอช (pH response analysis)

เตรียมชิ้นงานขนาด 2 x 2 ตารางเซนติเมตร แช่ชิ้นงานลงในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอชต่าง ๆ ได้แก่ 4 5 6 7 และ 8 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 10 นาที นำชิ้นงานขึ้นจากสารละลายบัฟเฟอร์ซับให้แห้งและนำไปวัดเฉดสีนำมาวัดสีด้วยเครื่องวัดสีมาตรฐาน ASTM D-1925

### 3.3.12 วิเคราะห์ผลทางสถิติ (Statistical analysis)

วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้ Tukey's test เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ( $p < 0.05$ ) ด้วยโปรแกรมคำนวณทางสถิติ IBM SPSS Statistics 25



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลัก โดยใช้เฮอร์ เพื่อเพิ่มความคงรูปและนำไปใช้ประโยชน์ในการตอบสนองต่อค่าพีเอช โดยใช้กลีเซอรอลเป็น พลาสติไซเซอร์ ในการทดลองแบ่งออกเป็น 4 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 ศึกษาเปรียบเทียบผลของ ปริมาณเฮอร์ที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุปิดแผลโดยใช้เฮอร์ในปริมาณต่าง ๆ ตอนที่ 2 ศึกษา เปรียบเทียบผลของปริมาณของกรดซัคซินิกสารเชื่อมโยงที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุปิดแผลโดยใช้เป็น สารเชื่อมโยงในปริมาณต่างๆ ตอนที่ 3 ศึกษาเปรียบเทียบผลของปริมาณของกรดแมนดีลิกต่อสมบัติ ของวัสดุปิดแผลเพื่อใช้ออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียในปริมาณต่าง ๆ และตอนที่ 4 เป็นการศึกษาผล สารสกัดอัญชันเป็นอินดิเคเตอร์ในปริมาณต่าง ๆ จากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการทำให้แห้งด้วยการแช่ เยือกแข็ง (Lyophilization) แล้วนำชิ้นงานมาทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา การบวมตัว การกักเก็บน้ำ ความพรุน สัดส่วนเจล สมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกล สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย สมบัติความเป็นพิษต่อเซลล์ การหาปริมาณแอนโทไซยา นิน การตอบสนองต่อค่าพีเอชและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

#### ตารางที่ 4.1 อักษรย่อของวัสดุปิดแผลที่ใช้ในงานวิจัย

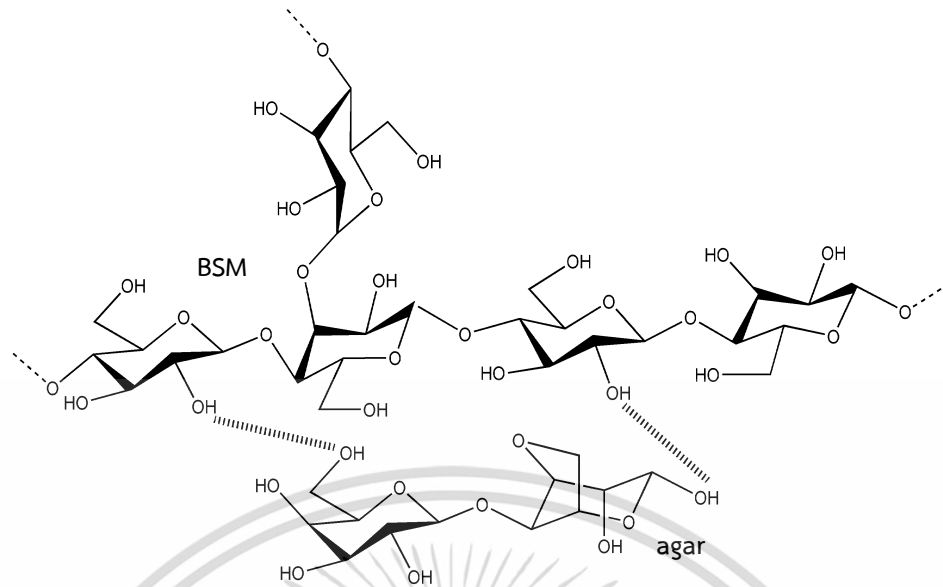
ลำดับ	คำย่อ/สัญลักษณ์	ความหมาย
1	2BSM	ไฮโดรเจลจากเมือกแมงลักและเฮอร์อัตราส่วน 2:0 (กรัม)
2	1.5BSM/0.5agar	ไฮโดรเจลจากเมือกแมงลักและเฮอร์อัตราส่วน 1.5:0.5 (กรัม)
3	1BSM/1agar	ไฮโดรเจลจากเมือกแมงลักและเฮอร์อัตราส่วน 1:0 (กรัม)
4	0.5BSM/1.5agar	ไฮโดรเจลจากเมือกแมงลักและเฮอร์อัตราส่วน 0.5:1.5 (กรัม)
5	1BSM/1agar/SA1	ไฮโดรเจลจากเมือกแมงลักและเฮอร์อัตราส่วน 1:1 (กรัม) ที่ เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก 0.1 กรัม
6	1BSM/1agar/SA2	ไฮโดรเจลจากเมือกแมงลักและเฮอร์อัตราส่วน 1:1 (กรัม) ที่ เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก 0.2 กรัม
7	1BSM/1agar/SA3	ไฮโดรเจลจากเมือกแมงลักและเฮอร์อัตราส่วน 1:1 (กรัม) ที่ เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก 0.3 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

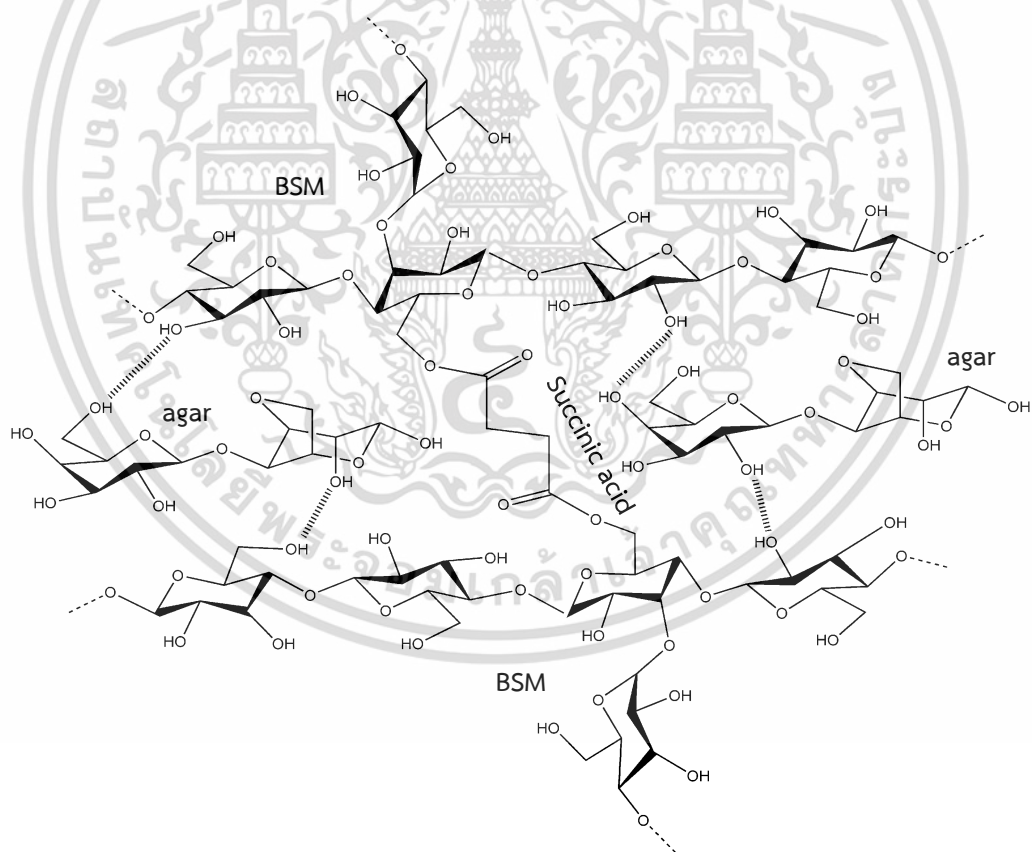
8	1BSM/1agar /SA2/MA1	ไฮโดรเจลจากเมือกแมงลักและอะการ์อัตราส่วน 1:1 (กรัม) ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก 0.2 กรัม และเติมกรดแมนดีลิก 0.7 กรัม
9	1BSM/1agar /SA2/MA2	ไฮโดรเจลจากเมือกแมงลักและอะการ์อัตราส่วน 1:1 (กรัม) ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก 0.2 กรัม และเติมกรดแมนดีลิก 1.0 กรัม
10	1BSM/1agar /SA2/MA3	ไฮโดรเจลจากเมือกแมงลักและอะการ์อัตราส่วน 1:1 (กรัม) ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก 0.2 กรัม และเติมกรดแมนดีลิก 1.4 กรัม
11	1BSM/1agar /SA2/MA1BP1	ไฮโดรเจลจากเมือกแมงลักและอะการ์อัตราส่วน 1:1 (กรัม) ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก 0.2 กรัม เติมกรดแมนดีลิก 0.7 กรัมและเติมสารสกัดอัญชัน 2 กรัม
12	1BSM/1agar /SA2/MA1BP2	ไฮโดรเจลจากเมือกแมงลักและอะการ์อัตราส่วน 1:1 (กรัม) ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก 0.2 กรัม เติมกรดแมนดีลิก 0.7 กรัมและเติมสารสกัดอัญชัน 4 กรัม
13	1BSM/1agar /SA2/MA3BP1	ไฮโดรเจลจากเมือกแมงลักและอะการ์อัตราส่วน 1:1 (กรัม) ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก 0.2 กรัม เติมกรดแมนดีลิก 1.4 กรัมและเติมสารสกัดอัญชัน 2 กรัม
14	1BSM/1agar SA2/MA3BP2	ไฮโดรเจลจากเมือกแมงลักและอะการ์อัตราส่วน 1:1 (กรัม) ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก 0.2 กรัม เติมกรดแมนดีลิก 1.4 กรัมและเติมสารสกัดอัญชัน 4 กรัม

ในการเตรียมวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากเมือกแมงลักและอะการ์เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก ส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของโมเลกุลพอลิแซ็กคาไรด์จากเมทริกซ์หลักกับหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) ของกรดซัคซินิกผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ิฟิเคชันเกิดพันธะเอสเทอร์ขึ้น และผลของการเติมกรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชันที่มีองค์ประกอบของแอนโทไซยานินซึ่งสารดังกล่าวจัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบของฟลาโวนอยด์และมีหมู่ไฮดรอกซิล อาจส่งผลให้เกิดอันตรกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลพอลิแซ็กคาไรด์ของเมทริกซ์หลักผ่านพันธะไฮโดรเจนและ/หรืออาจเกิดแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

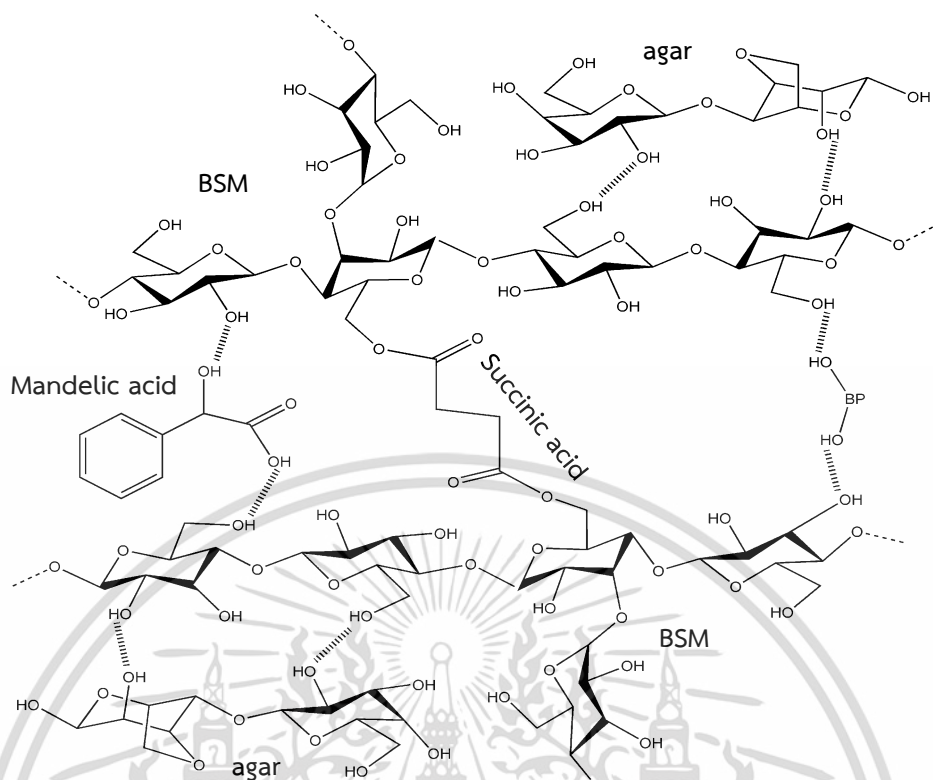


รูปที่ 4.1 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์



รูปที่ 4.2 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



#### BP แทนโมเลกุลของสารสกัดอัญชัน

รูปที่ 4.3 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR

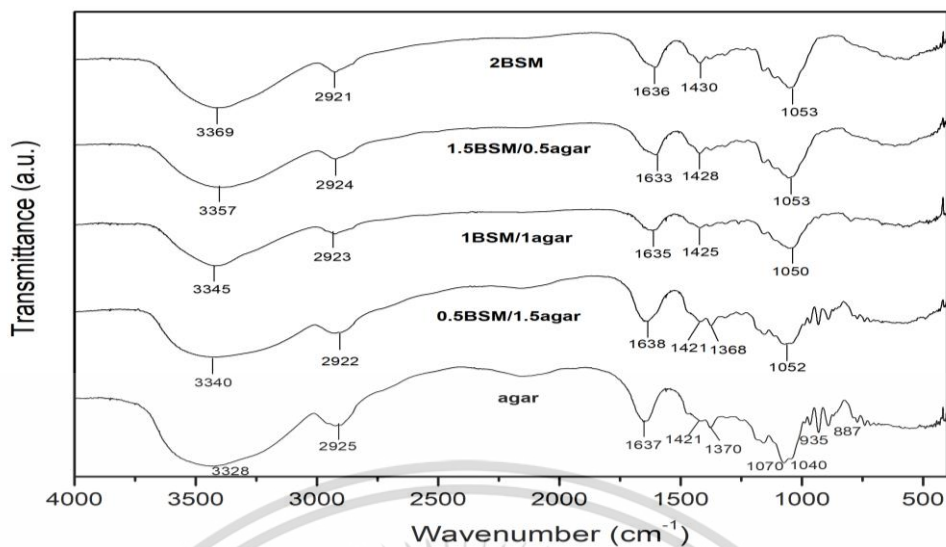
### 4.1.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ปริมาณต่าง ๆ

การศึกษาดูการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของวัสดุปิดแผลด้วยเครื่อง FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) เพื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของวัสดุปิดแผลทำได้โดยการนำชิ้นงานมาติดกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) จากนั้นนำไปอัดเม็ดและทดสอบที่ความยาวคลื่น  $4000-400\text{ cm}^{-1}$  ได้ผลการทดลองดังแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 หมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏในวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ปริมาณต่าง ๆ

เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )	ลักษณะการสั่น
3200-3600 (b)	O-H stretching
2800-3000 (m→s)	C-H stretching
1700-1750 (s)	Ester C=O stretching
1600-1630 (s)	Bound water และ C=C stretching
1420-1485 (m)	O-H bending
1000-1200 (s)	C-O-H bending
800-860 (s)	C-H out of plane bending

หมายเหตุ s คือ ความเข้มสูง m คือ ความเข้มปานกลาง และ b คือ ช่วงคลื่นความกว้าง



รูปที่ 4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ปริมาณต่าง ๆ

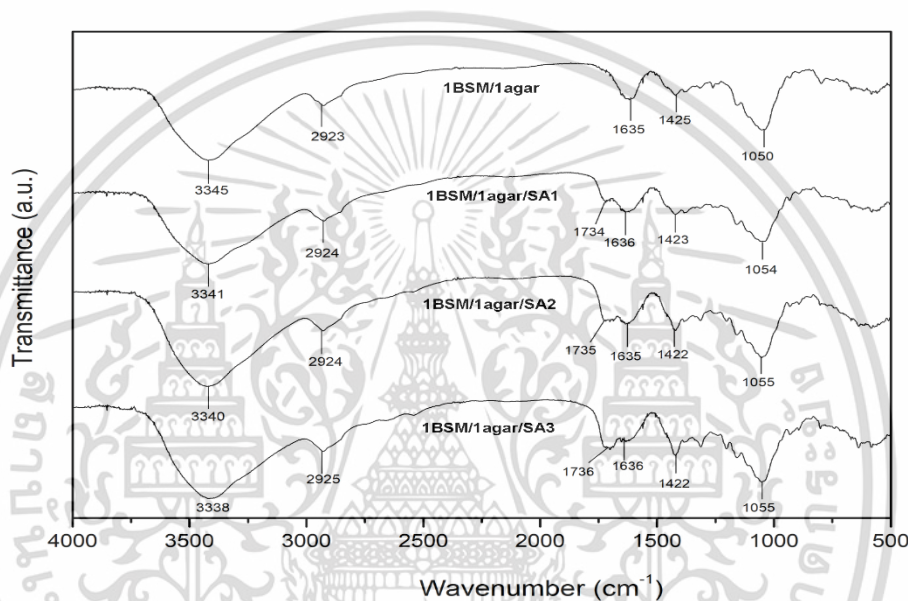
รูปที่ 4.4 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ผสมอะการ์ปริมาณต่าง ๆ ซึ่งอินฟราเรดสเปกตรัมของเมือกแมงลักและอะการ์มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน โดยปรากฏพีกที่มีลักษณะกว้างที่ตำแหน่ง  $3000-3500\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นของพันธะ O-H stretching จากหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของเมือกแมงลัก พีกที่ตำแหน่ง  $2920-2925\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นของพันธะ C-H stretching ของ  $\text{CH}_3$  [29] และพบพีกตำแหน่ง  $1632-1638\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นของพันธะ C=O asymmetric stretching และ C=O symmetric stretching ของคาร์บอนิลิก แสดงถึงการมีกรดยูโรนิกและพีกที่ตำแหน่ง  $1420-1423\text{ cm}^{-1}$  แสดงการสั่นของ O-H bending [15] ในขณะอินฟราเรดสเปกตรัมของอะการ์ปรากฏพีกที่ตำแหน่ง  $1370\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นการสั่นของหมู่ซัลเฟอร์เอสเทอร์ พีกตำแหน่ง  $1070\text{ cm}^{-1}$   $1040\text{ cm}^{-1}$  และ  $935\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นของพันธะ C-O ที่เกิดจาก 3, 6 anhydro-galactose และพีกตำแหน่ง  $887\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นของพันธะ C-H ที่คาร์บอนของ  $\beta$ -galactose [48]

ผลของการเติมอะการ์ลงในวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลัก พบว่าเลขคลื่นเคลื่อนไปยังเลขคลื่นที่ลดลงในช่วงการสั่นของ O-H stretching จากพีกตำแหน่ง  $3368\text{ cm}^{-1}$  ไปพีกตำแหน่ง  $3340\text{ cm}^{-1}$  และในช่วงการสั่นของ O-H bending จากพีกตำแหน่ง  $1424\text{ cm}^{-1}$  ไปพีกตำแหน่ง  $1421\text{ cm}^{-1}$  เนื่องจากเกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของเมือกแมงลักกับอะการ์เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่เมื่อปริมาณอะการ์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wu Y. และคณะที่ทำการศึกษาผลของอะการ์ต่อโครงสร้างจุลภาคและประสิทธิภาพของฟิล์มแป้งมันฝรั่ง ซึ่งผลการทดลองพบว่า

การเติมอะการลงไปในแป้งมันฝรั่งส่งผลให้พีการสั้นของ O-H stretching เกิดการเคลื่อนไปที่เลขคลื่นลดลงซึ่งเกิดจากโมเลกุลของแป้งและอะการเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ [49]

#### 4.1.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR ของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกทำเช่นเดียวกับข้อที่ 4.1.1 ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.5 ดังนี้



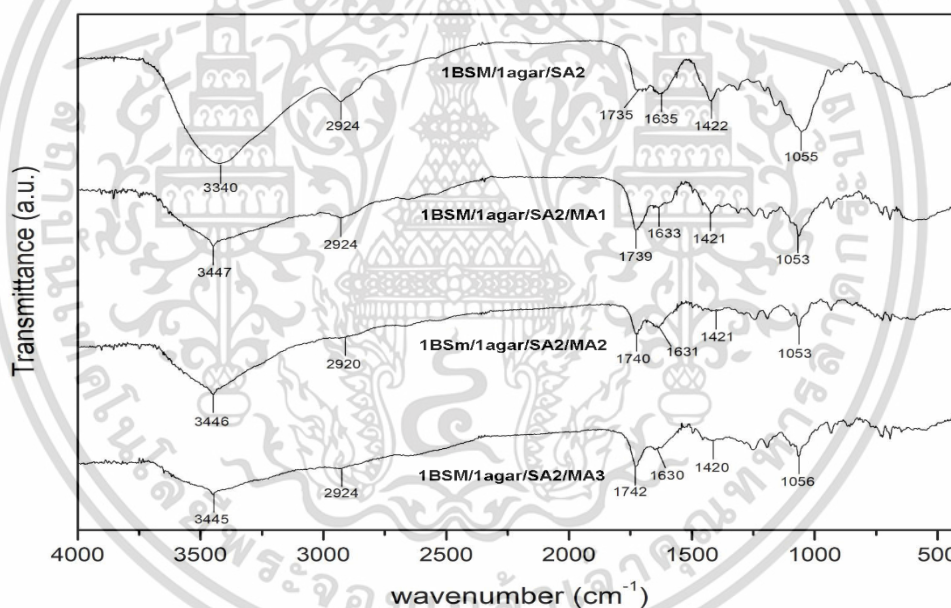
รูปที่ 4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการที่เชื่อมโยงและไม่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกปริมาณต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.5 สังเกตได้ว่าสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงและไม่ผ่านการเชื่อมโยงมีความคล้ายคลึงกัน โดยพบพีคที่มีลักษณะกว้างที่ตำแหน่ง  $3000-3500\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นการสั้นของพันธะ O-H stretching จากหมู่ไฮดรอกซิลของเมือกแมงลักและอะการ พีคที่ตำแหน่ง  $2920-2928\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั้นของพันธะ C-H stretching พบในโครงสร้างพอลิแซ็กคาไรด์ เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงและไม่ผ่านการเชื่อมโยงพบว่า เกิดการสร้างพันธะเอสเทอร์ในโครงสร้างของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก สังเกตได้จากพีคตำแหน่ง  $1735\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นการสั้นของ C=O stretching ของหมู่คาร์บอนิลจากพันธะเอสเทอร์ที่เป็นสัญญาณพีคใหม่ในอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยง ซึ่งเป็นหลักฐานที่เกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์กับกรดซัคซินิกในโครงสร้างวัสดุปิดแผล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเมือกแมงลัก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thessrimuang N. และ Prachayawarakorn J ที่ศึกษา และปรับปรุงสมบัติของฟิล์มจากเมือกแมงลักโดยใช้กรดที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิก 2 หมู่ เมื่อนำ ชิ้นงานฟิล์มไปทดสอบการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR พบว่าฟิล์มที่ถูกเชื่อมโยงปรากฏแถบ การสั่นของหมู่เอสเทอร์ที่ความยาวคลื่น  $1730\text{ cm}^{-1}$  [14] การเติมกรดซัคซินิกยังส่งผลให้ช่วงการสั่น ของ O-H stretching เกิดการเคลื่อนที่ลดลงเพราะเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของ เมือกแมงลักกับกรดซัคซินิกเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจน

#### 4.1.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุง ด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR ของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วย กรดซัคซินิกทำเช่นเดียวกับข้อที่ 4.1.1 ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.6 ดังนี้



รูปที่ 4.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและ กรดแมนดีลิกปริมาณต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.6 สังเกตได้ว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เติมกรดแมนดีลิกปริมาณ แตกต่างกันมีความคล้ายกัน โดยพบพีการสั่นของพันธะ O-H stretching จากหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งมี ลักษณะแคบลงและมีความเข้มน้อยลง ซึ่งคาดว่าเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของเมทริกซ์สามารถเกิด พันธะไฮโดรเจนกับกรดแมนดีลิก นอกจากนี้พบว่าพีการสั่นของพันธะ O-H bending เคลื่อนที่ไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

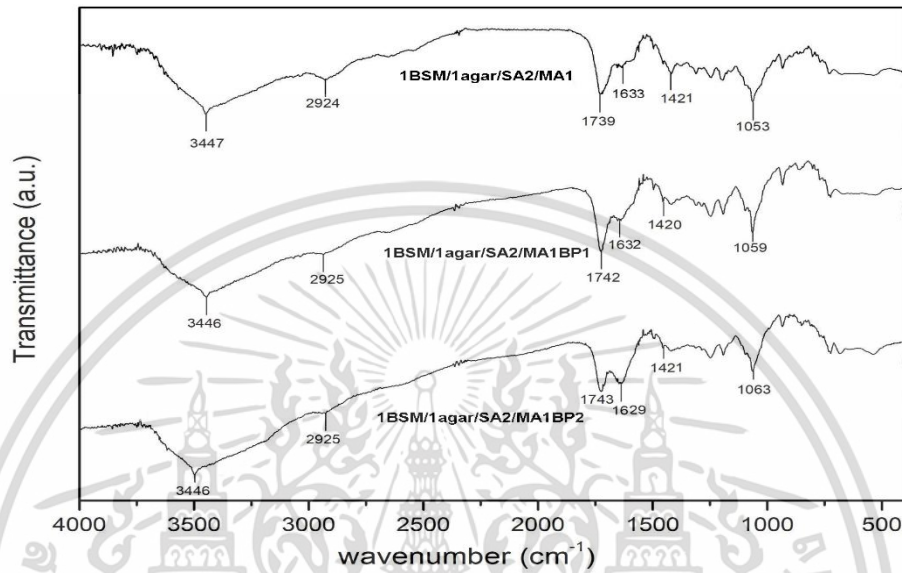
เลขคลื่นต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่ไม่เติมกรดแมนดีลิก ซึ่งคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Kumar R. และคณะ ศึกษาฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผสมกรดแมนดีลิก พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกรดแมนดีลิกลงในโปรตีนถั่วเหลืองพิกการสั่นของ N-H stretching ปรากฏพีกที่มีลักษณะแคบลงและเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของกรดกับหมู่เอไมด์ของโปรตีนถั่วเหลือง [50] สำหรับพีกที่ตำแหน่ง  $2920-2940\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นของ C-H stretching พบในโครงสร้างพอลิแซ็กคาไรด์ พีกที่ตำแหน่ง  $1630-1640\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นของ C=C stretching ของวงอะโรมาติกของกรดแมนดีลิกซึ่งซ้อนทับกันในช่วงการสั่นของพันธะ C-O stretching ของกรดกลูโคโรนิกในโครงสร้างไซแลน นอกจากนี้การเติมกรดแมนดีลิกส่งผลให้ความเข้มของสัญญาณในช่วงการสั่นของ C=O stretching เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน



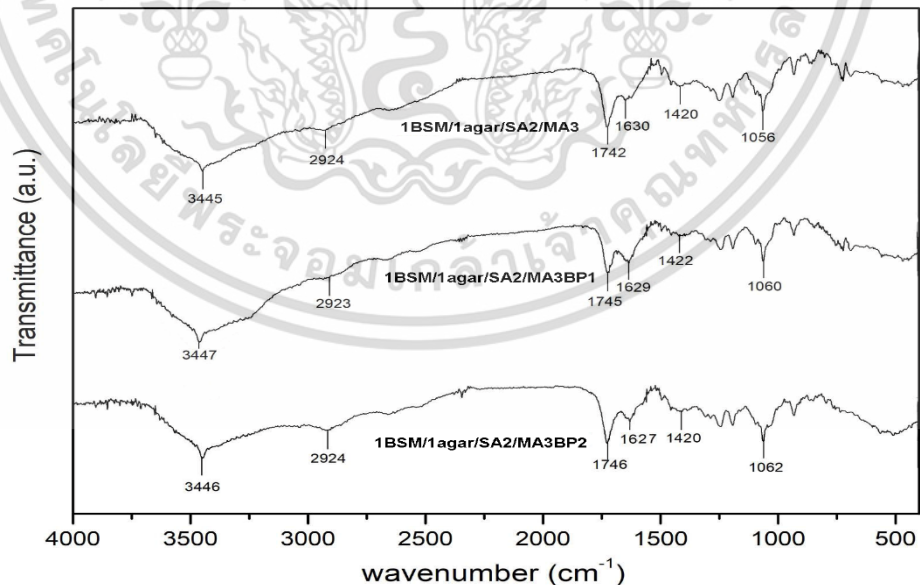
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัลฟูริก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR ของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัลฟูริก ทำเช่นเดียวกับข้อที่ 4.1.1 ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7 ดังนี้



รูปที่ 4.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ปรับปรุงด้วยกรดซัลฟูริก กรดแมนดีลิก 0.7 กรัมและสารสกัดอัญชัน 2 และ 4 กรัม



รูปที่ 4.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ปรับปรุงด้วยกรดซัลฟูริก กรดแมนดีลิก 1.4 กรัมและสารสกัดอัญชัน 2 และ 4 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 เป็นผลการวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุปิดแผลที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิกหลังการเติมสารสกัดอัญชัน พบพีกที่มีลักษณะกว้างที่ตำแหน่ง  $3000-3500\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ O-H stretching จากหมู่ไฮดรอกซิลของเมือกแมงลัก และอะการ์ พีกที่ตำแหน่ง  $2920-2928\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นของพันธะ C-H stretching พีกที่ตำแหน่ง  $1700-1750\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งช่วงการสั่นของ C=O stretching และพีกที่ตำแหน่ง  $1620-1640\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นของ C=C stretching ของวงอะโรมาติกแสดงถึงสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกในสารสกัดอัญชัน ซึ่งซ้อนทับกันในช่วงการสั่นของพันธะ C-OO stretching ของกรดกลูโคโรนิกในโครงสร้างไซแลน

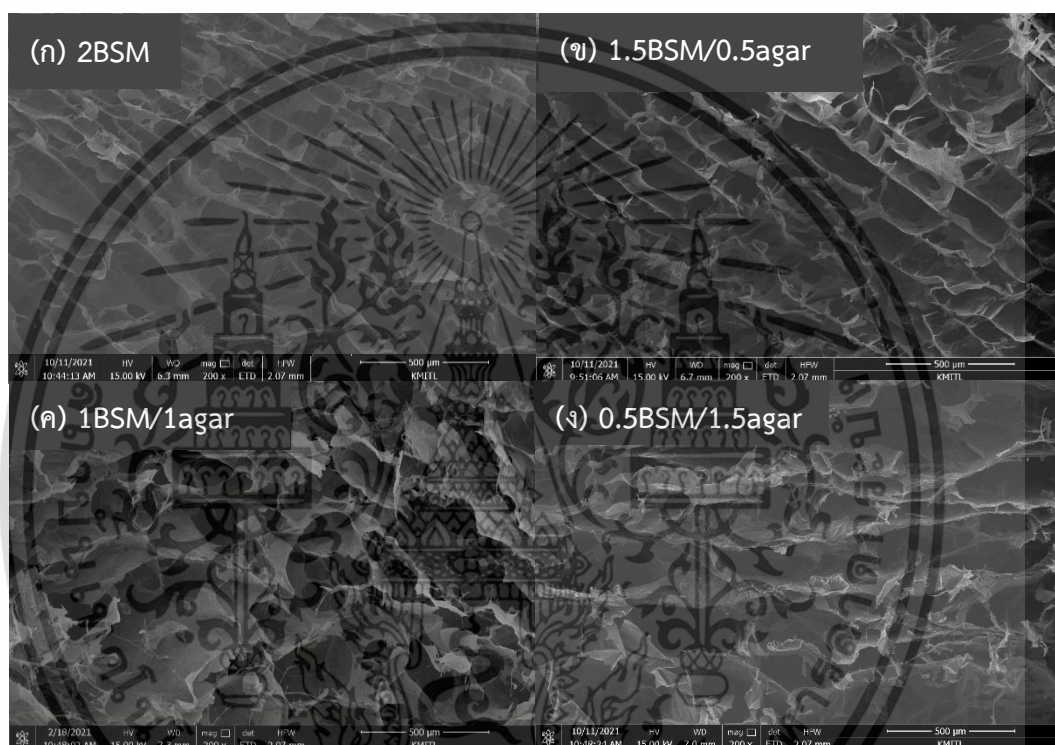
อย่างไรก็ตามปริมาณสารสกัดอัญชันที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้พีกที่ตำแหน่ง  $1700-1750\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งช่วงการสั่นของ C=O stretching และพีกที่ตำแหน่ง  $1620-1640\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นการสั่นของ C=C stretching มีความเข้มของสัญญาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารสกัดอัญชันมีสารแอนโทไซยานิน โดยสารดังกล่าวจัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ซึ่งมีหมู่คาร์บอนิลเป็นองค์ประกอบในโครงสร้าง [51]



## 4.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

### 4.2.1 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ ปริมาณต่าง ๆ

สัณฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM โดยนำชิ้นงานทดสอบแช่ในไนโตรเจนเหลวและทำการหักชิ้นงาน เพื่อศึกษาโครงสร้างสัณฐานวิทยาของภาคตัดขวางในวัสดุปิดแผลจากนั้นนำไปเคลือบทองคำก่อนการตรวจวิเคราะห์ โดยผลการวิเคราะห์แสดงผลดังนี้



รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปริมาณอะการ์ต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 200 เท่า (ก) 2BSM (ข) 1.5BSM/0.5agar (ค) 1BSM/1agar และ (ง) 0.5BSM/1.5agar

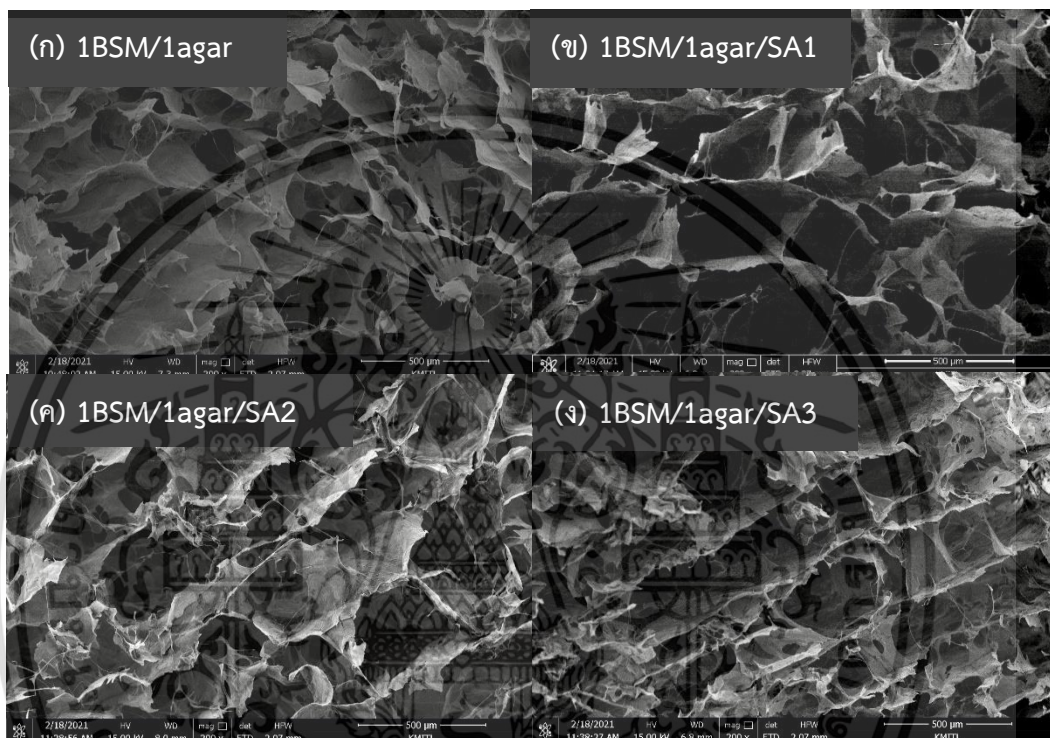
โครงสร้างสัณฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ แสดงดังรูปที่ 4.9 จากภาพถ่ายภาคตัดขวางพบว่าโครงสร้างภายในวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์และปราศจากอะการ์โดยผ่านกระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็งมีลักษณะเป็นรูพรุน เซลล์เปิดและผนังของเซลล์เชื่อมต่อกัน ซึ่งรูพรุนภายในโครงสร้างของวัสดุปิดแผลเกิดจากการระเหิดของผลึกน้ำแข็งภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศเหลือเพียงโครงสร้างช่องว่างที่คงรูปแทนที่ผลึกน้ำแข็งที่ระเหิดออก [52]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปริมาณอะการที่แตกต่างกันพบว่า วัสดุปิดแผลที่มีปริมาณอะการเพิ่มขึ้นส่งผลให้รูพรุนภายในโครงสร้างมีขนาดใหญ่ขึ้น รูปที่ 4.9 (ง) ทั้งนี้คาดว่า การเติมอะการอาจส่งผลต่อการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ภายในโครงสร้างเนื่องจากการเกี่ยวพันระหว่างสายโซ่โม่เลกุลของเมือกแมงลักลดลง ส่งผลให้ปริมาตรอิสระเพิ่มขึ้นน้ำสามารถแทรกตัวอยู่ภายในโครงสร้างได้มาก และหลังจากการทำแห้งแบบเยือกแข็งจึงเหลือโครงสร้างรูพรุนขนาดใหญ่ โดยงานวิจัยของ Yin C. และคณะซึ่งทำการศึกษาไฮโดรเจลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากผงวุ้นและอัลจินตเพื่อปลดปล่อยยา ซึ่งจากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพบว่าปริมาณของผงวุ้นที่เพิ่มขึ้นผลให้โครงสร้างพื้นผิวของชิ้นงานเรียบขึ้นและขนาดของไมโครสเฟียร์เพิ่มขึ้น [52] และจากงานวิจัยของ Zhao, J. และคณะ ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ พฤติกรรมการเกิดเจลและประสิทธิภาพการปลดปล่อยยาของไฮโดรเจลจากผงวุ้นและคาราจีแนน พบว่าสัณฐานวิทยาของชิ้นงานไฮโดรเจลที่มีอัตราส่วนของผงวุ้นปริมาณสูงกว่าคาราจีแนน ส่งผลให้โครงสร้างรูพรุนของชิ้นงานไฮโดรเจลมีขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานไฮโดรเจลที่มีอัตราส่วนของผงวุ้นปริมาณน้อยกว่าคาราจีแนน [53]

#### 4.2.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก

การศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกปริมาณต่าง ๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 200 เท่า การเตรียมชิ้นงานทำเช่นเดียวกับข้อที่ 4.2.1 โดยให้ผลการทดลองดังนี้



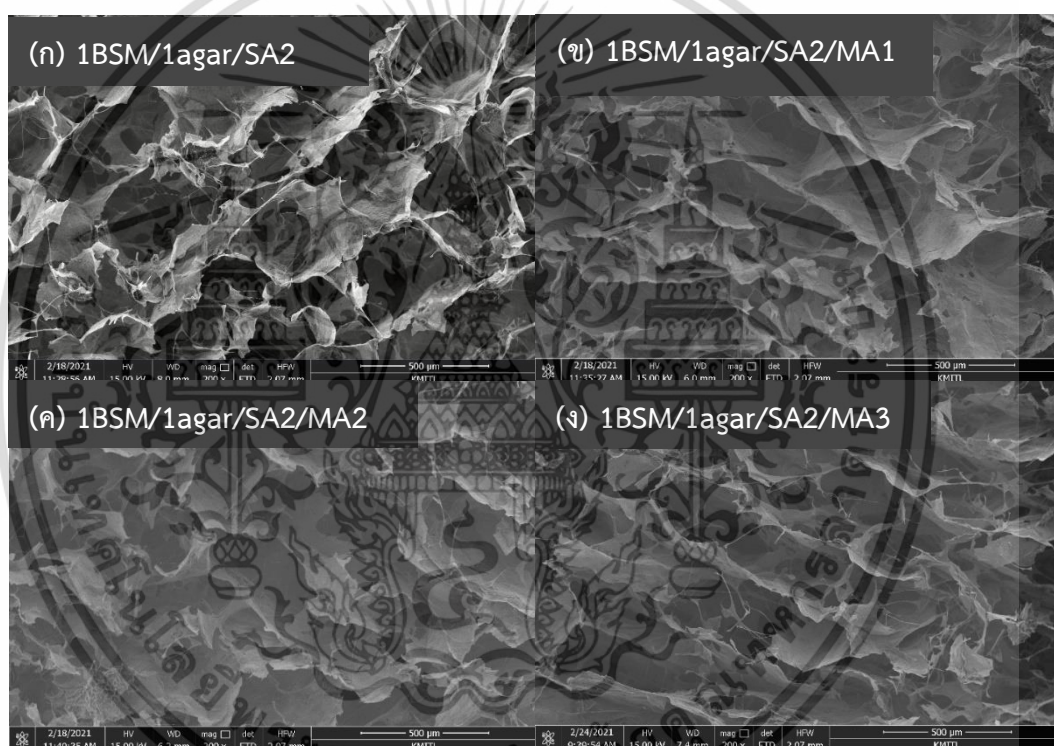
รูปที่ 4.10 สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของวัสดุปิดแผลและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก ปริมาณต่าง ๆ กำลังขยาย 200 เท่า (ก) 1BSM/1agar (ข) 1BSM/1agar/SA1 (ค) 1BSM/1agar/SA2 และ (ง) 1BSM/1agar/SA3

จากรูปที่ 4.10 แสดงโครงสร้างภาคตัดขวางที่กำลังขยาย 200 เท่า ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่เชื่อมโยงและไม่ได้ผ่านการเชื่อมโยง พบว่าวัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกมีลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างจากวัสดุปิดแผลที่ไม่ได้ผ่านการเชื่อมโยง เนื่องจากเกิดการเชื่อมโยงระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลของเมทริกซ์หลักกับกรดซัคซินิกทำให้เกิดโครงสร้างผนังเซลล์และภูมิภาคของวัสดุมีความต่อเนื่องกันและรูพรุนมีความคงรูปมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปิดแผลที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยง ซึ่งคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Pornsuksonboon K และคณะ ทำการศึกษาสมบัติของโพนจากแป้งสาคุและแป้งสาคุที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกผลการทดลองพบว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีเมอร์ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัลฟูริกมีความหนาแน่นของรูพรุนที่เพิ่มขึ้นขนาดของรูพรุนเล็กลง นอกจากนี้ผนังของเซลล์มีความหนาและแข็งแรงเมื่อเปรียบเทียบกับโพลีเมอร์ที่ไม่ได้เชื่อมโยง [46]

#### 4.2.3 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัลฟูริกและกรดแมนดีลิก

การศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัลฟูริกและกรดแมนดีลิกปริมาณต่าง ๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า การเตรียมชิ้นงานทำเช่นเดียวกับข้อที่ 4.2.1 โดยให้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.11 สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของวัสดุปิดแผลและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัลฟูริกและกรดแมนดีลิกปริมาณต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 200 เท่า (ก) 1BSM/1agar/SA2 (ข) 1BSM/1agar/SA2/MA1 (ค) 1BSM/1agar/SA2/MA และ (ง) 1BSM/1agar/SA2/MA3

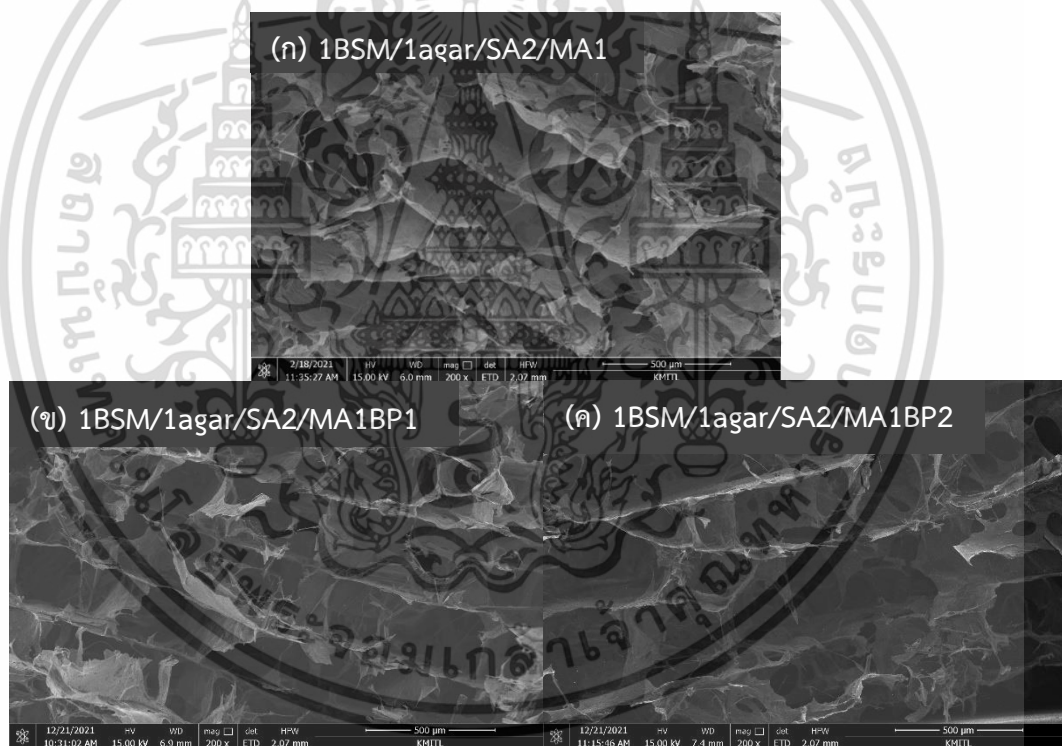
จากภาพถ่ายภาคตัดขวางรูปที่ 4.11 เมื่อพิจารณาอิทธิพลของกรดแมนดีลิกปริมาณแตกต่างกันที่เติมลงในวัสดุปิดแผล พบว่าโครงสร้างภายในของวัสดุปิดแผลมีสัณฐานวิทยาเช่นเดียวกับวัสดุปิดแผลที่ไม่เติมกรดแมนดีลิกในรูปที่ 4.11 (ก) ซึ่งมีลักษณะรูพรุนและผนังเซลล์แบบเปิดที่เชื่อมต่อกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gun-Woo และคณะ ศึกษาลักษณะของไฮโดรเจลจากอัลจินตและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจลาตินที่ใส่คอนจูเกตโคโตลิโกแซ็คคาไรด์ของกรดซาลิไซลิกเพื่อใช้ในการรักษาบาดแผล พบว่า สันฐานวิทยาของไฮโดรเจลและขนาดของรูพรุนไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเติมคอนจูเกตโคโตลิโกแซ็คคาไรด์ของกรดซาลิไซลิก [54]

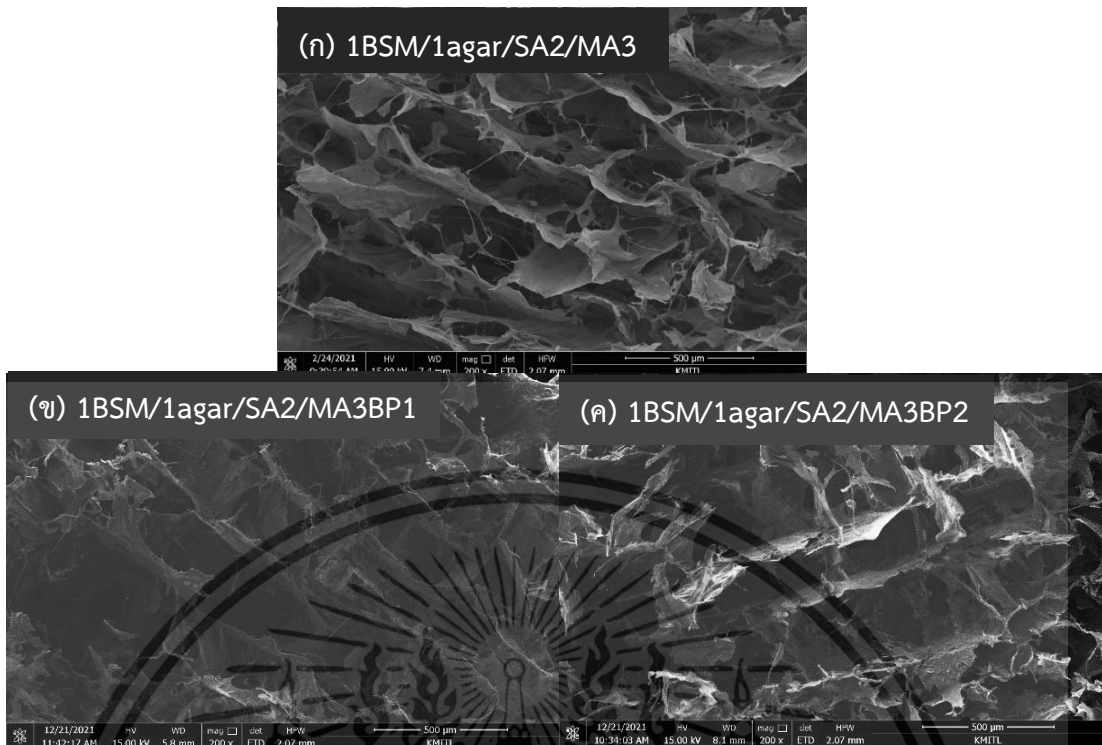
#### 4.2.4 การวิเคราะห์สันฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน

การศึกษาสันฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชันปริมาณต่าง ๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 200 เท่า การเตรียมชิ้นงานทำเช่นเดียวกับข้อที่ 4.2.1 โดยให้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.12 สันฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของวัสดุปิดแผลและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชันที่กำลังขยาย 200 เท่า (ก) 1BSM/1agar/SA2/MA1 (ข) 1BSM/1agar/SA2/MA1BP1 และ (ค) 1BSM/1agar/SA2/MA1BP2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 สัณฐานวิทยาแสดงภาคตัดขวางของวัสดุปิดแผลและอะการที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชันที่กำลังขยาย 200 เท่า (ก) 1BSM/1agar/SA2/MA3 (ข) 1BSM/1agar/SA2/MA3BP1 และ (ค) 1BSM/1agar/SA2/MA3BP2

เมื่อสังเกตภาพถ่ายภาคตัดขวางรูปที่ 4.12-4.13 แสดงวัสดุปิดแผลที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิกหลังการเติมสารสกัดอัญชันปริมาณแตกต่างกัน พบว่าโครงสร้างภายในของวัสดุปิดแผลมีสัณฐานวิทยาเช่นเดียวกับวัสดุปิดแผลรูปที่ 4.11 (ข) และ (ง) ซึ่งมีลักษณะเป็นรูพรุนเซลล์เปิดที่มีผนังเซลล์เชื่อมต่อกัน ทั้งนี้คาดว่าสารสกัดอัญชันที่เติมในวัสดุปิดแผลเข้ากันได้กับเมทริกซ์หลักส่งผลให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะรูพรุนและผนังเซลล์ภายในโครงสร้างของวัสดุปิดแผล ซึ่งคล้ายกับผลการวิจัยของ Siji K และคณะ ได้พัฒนาฟิล์มจากแป้งผสมสารสกัดอัญชันและไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อใช้ในบ่งบอกความสดของกุ้ง พบว่าภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มแป้งที่ผสมสารสกัดอัญชันมีลักษณะเรียบและสามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์หลัก เนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสารแอนโทไซยานินกับสายโซ่โมเลกุลของแป้ง [55]

### 4.3 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลัก

#### 4.3.1 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ปริมาณต่าง ๆ

ความพรุน และความสามารถในการกักเก็บน้ำเป็นสมบัติที่สำคัญของวัสดุปิดแผล เนื่องจากสมบัติดังกล่าวมีความสำคัญต่อกระบวนการสมานแผล การศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลใช้หลักการการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (Gravimetric method) โดยแสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความพรุน และความสามารถในการกักเก็บน้ำของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ปริมาณต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ความพรุน (%)	การกักเก็บน้ำ (%)
BSM	90.57±0.65 <sup>a</sup>	78.38±0.49 <sup>a</sup>
1.5BSM/0.5agar	86.63±0.97 <sup>b</sup>	77.52±0.61 <sup>ab</sup>
1BSM/1agar	82.04±1.34 <sup>c</sup>	75.77±0.60 <sup>bc</sup>
0.5BSM/1.5agar	78.56±0.45 <sup>d</sup>	75.06±0.55 <sup>c</sup>

จากตารางที่ 4.3 วัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ปราศจากอะการ์มีค่าความพรุนและ ความสามารถในการกักเก็บน้ำมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปิดแผลที่ผสมอะการ์ เนื่องจากความเป็นออสโมติกของสายโซ่โมเลกุลพอลิแซ็กคาไรด์และการมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากในสายโซ่ ส่งผลให้สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ค่าความพรุนที่สูงทำให้สามารถกักเก็บน้ำได้มากและสูญเสียน้ำออกไปได้น้อย ในทางกลับกันวัสดุปิดแผลที่มีปริมาณอัตราส่วนของอะการ์เพิ่มขึ้น พบว่ามีค่าความพรุนลดลงและความสามารถในการกักเก็บน้ำที่ต่ำกว่า เนื่องจากโครงสร้างภายในเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเกิดการเกี่ยวพันระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแมงลักลดลง ส่งผลให้ความพรุนลดลงและรูพรุนมีขนาดใหญ่ น้ำภายในโครงสร้างสามารถไหลออกได้ง่าย ความสามารถในการกักเก็บน้ำลดลงซึ่งสอดคล้องกับภาพ SEM รูปที่ 4.9 (ข)-(ง) ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ปริมาณต่าง ๆ

หมายเหตุ ไม่มีการทดสอบสัดส่วนเจลเนื่องจากการไม่มีสารเชื่อมโยง

#### 4.3.2 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมผงวุ้นที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก

ความพรุน ความสามารถในการกักเก็บน้ำและสัดส่วนเจลของวัสดุปิดแผลและอะการที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกปริมาณต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกปริมาณต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ความพรุน (%)	การกักเก็บน้ำ (%)	สัดส่วนเจล
1BSM/1agar	82.04±1.35 <sup>a</sup>	75.77±0.72 <sup>a</sup>	0
1BSM/1agar/SA1	77.44±1.43 <sup>b</sup>	72.77±0.53 <sup>b</sup>	55.70±0.52 <sup>a</sup>
1BSM/1agar/SA2	76.43±1.34 <sup>b</sup>	71.65±1.18 <sup>b</sup>	57.53±1.05 <sup>a</sup>
1BSM/1agar/SA3	71.32±0.45 <sup>c</sup>	67.03±0.20 <sup>c</sup>	60.06±0.92 <sup>b</sup>

จากตารางที่ 4.6 วัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกมีความพรุนและความสามารถในการกักเก็บน้ำลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปิดแผลที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยง เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของวัสดุปิดแผลจากการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในสายโซ่โมเลกุลของเมือกแมงลักกับกรดซัคซินิก ซึ่งสอดคล้องกับผล FT-IR สเปกตรัมรูปที่ 4.5 ส่งผลให้ปริมาตรอิสระลดลงและโครงสร้างของรูพรุนเรียงตัวหนาแน่นและเป็นระเบียบเพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการกักเก็บน้ำน้อยลง เมื่อพิจารณาผลของปริมาณกรดที่ต่างกันพบว่าปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความพรุนและความสามารถในการกักเก็บน้ำลดลงเนื่องจากองค์การเชื่อมโยงสูง ความหนาแน่นของโครงสร้างตาข่ายมากขึ้นซึ่งเห็นได้ชัดจากผลของสัดส่วนเจลที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อวัสดุปิดแผลผ่านการเชื่อมโยงด้วยกรด สอดคล้องกับภาพถ่าย SEM รูปที่ 4.10

#### 4.3.3 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก

ความพรุน ความสามารถในการกักเก็บน้ำและสัดส่วนเจลของวัสดุปิดแผลและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิกปริมาณต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิกปริมาณต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ความพรุน (%)	การกักเก็บน้ำ (%)	สัดส่วนเจล
1BSM/1agar/SA2	76.43±1.34 <sup>b</sup>	71.65±1.18 <sup>b</sup>	57.53±1.05 <sup>a</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA1	76.39±0.91 <sup>b</sup>	71.54±0.63 <sup>b</sup>	57.27±0.95 <sup>a</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA2	76.54±0.67 <sup>b</sup>	71.38±1.04 <sup>b</sup>	57.30±0.98 <sup>a</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA3	76.60±0.84 <sup>b</sup>	71.54±0.94 <sup>b</sup>	57.37±0.87 <sup>a</sup>

จากตารางที่ 4.6 เมื่อพิจารณาผลของกรดแมนดีลิกที่เติมลงในวัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก พบว่าค่าความพรุน ความสามารถในการกักเก็บน้ำและสัดส่วนเจลใกล้เคียงไม่แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปิดแผลที่ไม่เติมกรดแมนดีลิก พบว่าค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับภาพ SEM รูปที่ 4.11 ทั้งนี้คาดว่ากรดแมนดีลิกอาจไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้างของวัสดุปิดแผล

ในงานวิจัยของ Gun W. และคณะ ทำการศึกษาคุณสมบัติของไฮโดรเจลจากอัลจินตและเจลาตินที่ใส่คอนจูเกตโคโพลิโกลูแซ็คคาไรด์ของกรดซาลิไซลิกเพื่อใช้สำหรับการรักษาบาดแผลรายงานผลว่าไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนเจลและขนาดของรูพรุนในไฮโดรเจลจากอัลจินตและเจลาตินที่ใส่คอนจูเกตโคโพลิโกลูแซ็คคาไรด์ของกรดซาลิไซลิก [54]

#### 4.3.4 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน

ความพรุน ความสามารถในการกักเก็บน้ำและสัดส่วนเจลของวัสดุปิดแผลและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน

ตัวอย่าง	ความพรุน (%)	การกักเก็บน้ำ (%)	สัดส่วนเจล
1BSM/1agar/SA2/MA1	76.39±0.91 <sup>b</sup>	71.54±0.63 <sup>b</sup>	57.27±0.95 <sup>a</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA1BP1	76.75±0.98 <sup>b</sup>	73.13±0.29 <sup>b</sup>	57.29±0.84 <sup>a</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA1BP2	76.70±0.91 <sup>b</sup>	73.22±1.26 <sup>b</sup>	57.48±0.53 <sup>a</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA3	76.60±0.84 <sup>b</sup>	71.54±0.94 <sup>b</sup>	57.37±0.87 <sup>a</sup>
1BSM/1agarSA2/MA3BP1	76.76±0.40 <sup>b</sup>	72.12±0.18 <sup>b</sup>	57.45±0.62 <sup>a</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA3BP2	76.57±0.18 <sup>b</sup>	73.25±0.18 <sup>b</sup>	57.31±0.86 <sup>a</sup>

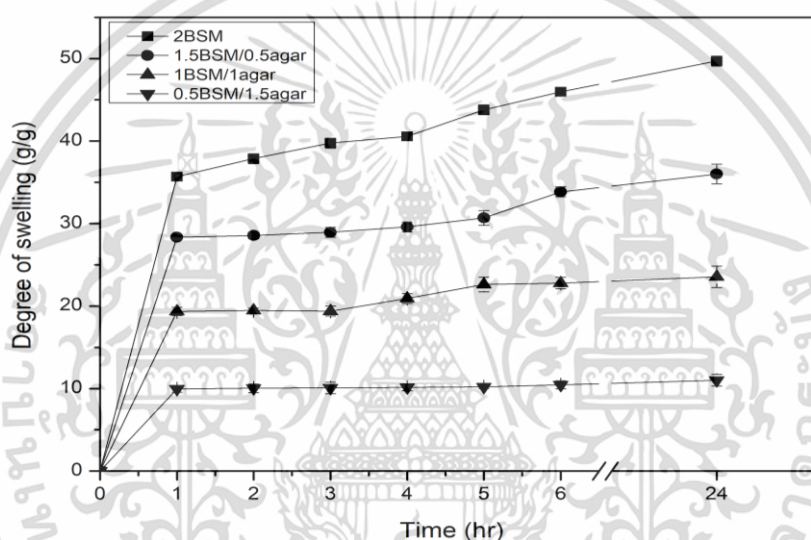
จากตารางที่ 4.6 แสดงค่าความพรุน การกักเก็บน้ำและสัดส่วนเจลเมื่อเติมสารสกัดอัญชันในวัสดุปิดแผลที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก พบว่าความพรุนและสัดส่วนเจลมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปิดแผลก่อนเติมสารสกัดอัญชันพบว่าค่าไม่มีความแตกต่าง ในขณะที่ความสามารถในการกักเก็บน้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้คาดว่าอาจเกิดจากการที่สารสกัดอัญชันมีองค์ประกอบของแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์และโครงสร้างของสารแอนโทไซยานินมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก [37] ทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ส่งผลให้วัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดอัญชันแสดงความสามารถในการกักเก็บน้ำเพิ่มสูงขึ้น

#### 4.4 การทดสอบสมบัติการบวมตัว

##### 4.4.1 สมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ปริมาณต่าง ๆ

วัสดุปิดแผลต้องมีความสามารถในการดูดซับของเหลวจากบริเวณบาดแผลได้ดีและไม่ละลายรวมกับบาดแผล สมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจึงเป็นสมบัติที่สำคัญต่อการนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งแสดงปริมาณการดูดซับของเหลวและบ่งบอกลักษณะของวัสดุปิดแผล

การทดสอบสมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดแผลที่ผสมอะการ์ปริมาณต่าง ๆ ได้แก่ 2BSM, 1.5BSM/0.5agar, 1BSM/1agar และ 0.5BSM/1.5agar โดยน้ำหนัก ทดสอบโดยการนำชิ้นงานไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน ให้ผลการทดสอบดังนี้



รูปที่ 4.14 องศาการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ผสมอะการ์ปริมาณต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.14 แสดงความสามารถการบวมตัวของวัสดุปิดแผลที่ผสมอะการ์ปริมาณต่าง ๆ เปรียบเทียบกับเวลา พบว่าค่าองศาการบวมตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 1 ชั่วโมงแรกและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ สังเกตได้ว่าวัสดุปิดแผลที่ปราศจากอะการ์มีองศาการบวมตัวสูงสุด เนื่องจากความชอบน้ำ (Hydrophilic) ของเมือกแมงลักที่เป็นพอลิแซ็กคาไรด์มีองค์ประกอบหลักสำคัญ คือ กลูโคแมนแนน ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากซึ่งแสดงควมมีขั้วส่งผลให้สามารถเกิดอันตรกิริยากับน้ำได้ดี

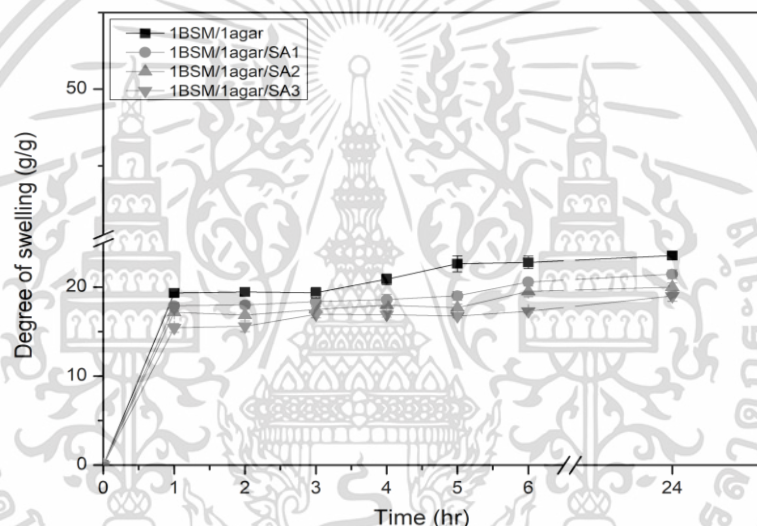
เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปริมาณอะการ์ในวัสดุปิดแผลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าองศาการบวมตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เกิดจากปริมาณอัตราส่วนอะการ์เพิ่มขึ้น จำนวนหมู่ไฮดรอกซิลลดลงส่งผลต่อควมมีขั้วของวัสดุ ซึ่งสอดคล้องกับผล FT-IR ในรูปที่ 4.4 ทำให้ลดการเกิดอันตรกิริยากับน้ำและเมื่อเปรียบเทียบกับอิทธิพลของปริมาณอะการ์ที่ต่างกัน พบว่าสมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดแผลมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวโน้มลดลงตามปริมาณของอะการ์ที่เพิ่มขึ้น คือ 1.5BSM/0.5agar 1BSM/1agar และ 0.5BSM/1.5agar สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mohajer S. และคณะ ทำการศึกษาสมบัติของฟิล์มไบโอพอลิเมอร์เจลาติน-อะการ์ เมื่อนำฟิล์มไปทดสอบสมบัติการดูดซับความชื้นพบว่า ฟิล์มแสดงพฤติกรรมความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณอะการ์ [48]

#### 4.4.2 สมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก

การทดสอบสมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดแผลผสมอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกที่ปริมาณต่าง ๆ ทำเช่นเดียวกับการทดสอบในข้อที่ 4.4.1 ซึ่งแสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 องศาการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก ปริมาณต่าง ๆ

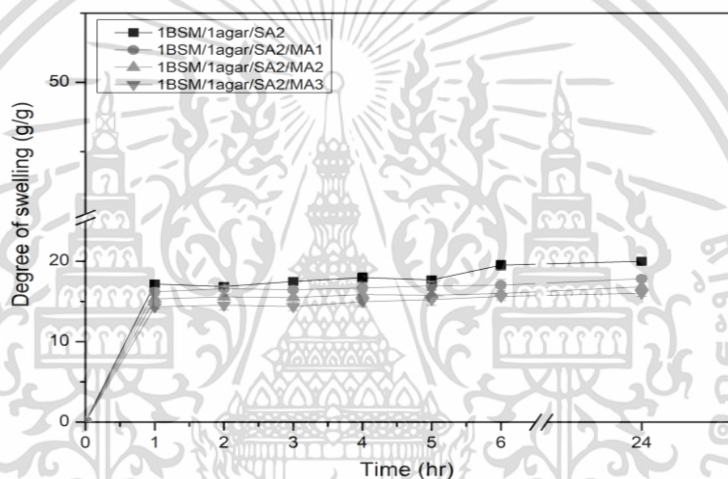
จากรูปที่ 4.15 แสดงองศาการบวมตัวของวัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงและปราศจากการเชื่อมโยงเปรียบเทียบกับเวลา พบว่าค่าองศาการบวมตัวของวัสดุปิดแผลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เมื่อเชื่อมโยงวัสดุปิดด้วยกรดซัคซินิก ส่งผลให้ค่าองศาการบวมตัวมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของสายโซ่โพลีเมอร์เมือกแมงลักกับหมู่คาร์บอกซิลิกของกรดเกิดโครงสร้างตาข่ายของหมู่เอสเทอร์ ส่งผลให้หมู่ไฮดรอกซิลลดลง จึงทำให้วัสดุปิดแผลแสดงความมีขั้วลดลงและเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลของน้ำได้น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับผล FT-IR สเปกตรัมรูปที่ 4.5 เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปริมาณกรด พบว่าค่าองศาการบวมตัวมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของกรดที่เพิ่มขึ้น คือ 1BSM/1agar/SA1 1BSM/1agar/SA2 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1BSM/1agar/SA3 ตามลำดับ โดยความหนาแน่นของการเชื่อมโยงสอดคล้องกับสัดส่วนเจล เมื่อสัดส่วนเจลเพิ่มขึ้น ความพรุนลดลงส่งผลทำให้ปริมาณอิสระภายในโครงสร้างของวัสดุปิดแผลลดลง น้ำจึงแทรกตัวเข้าไปได้ยากทำให้องศาการบวมตัวลดลง

#### 4.4.3 สมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก และกรดแมนดีลิก

การทดสอบสมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดแผลผสมอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก และกรดแมนดีลิกที่ปริมาณต่าง ๆ ทำเช่นเดียวกับการทดสอบในข้อที่ 4.1.3 ซึ่งแสดงผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.16

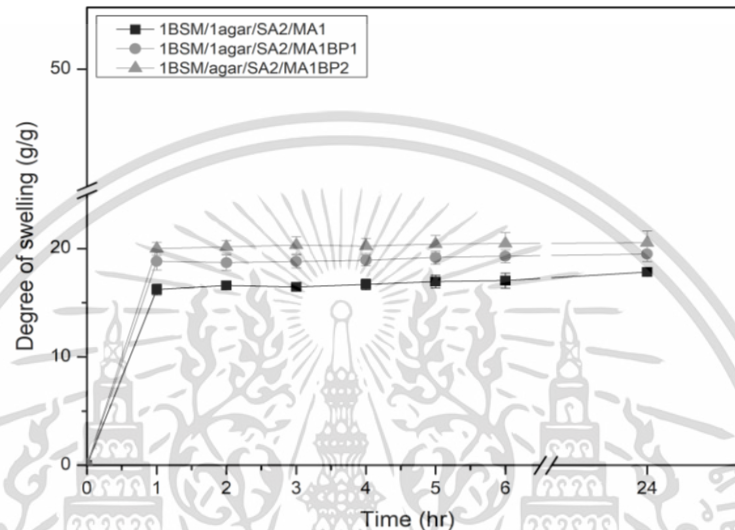


รูปที่ 4.16 องศาการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก และกรดแมนดีลิกปริมาณต่าง ๆ

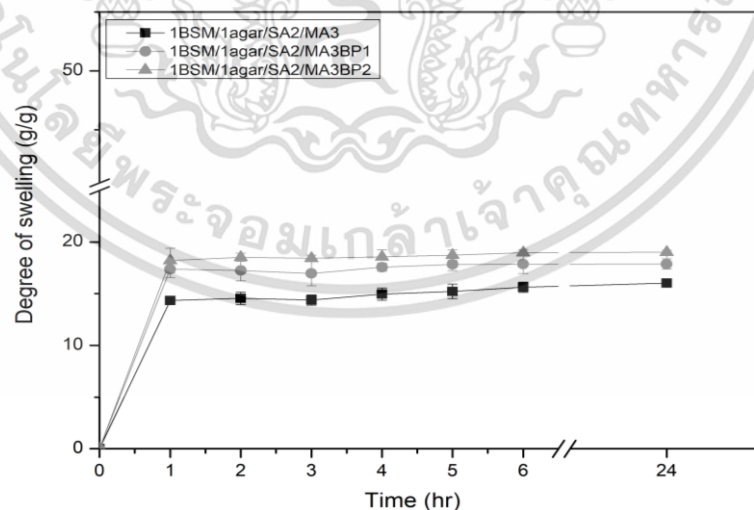
จากรูปที่ 4.16 แสดงองศาการบวมตัวหลังเติมกรดแมนดีลิกในวัสดุปิดแผล พบว่าค่าองศาการบวมตัวของวัสดุปิดแผลมีลักษณะคล้ายกัน โดยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและค่อยเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ อิทธิพลของปริมาณกรดแมนดีลิกที่ต่างกันส่งผลทำให้ค่าองศาการบวมตัวลดลง ทั้งนี้คาดว่าหมู่เอริลที่เป็นองค์ประกอบของกรดแมนดีลิกซึ่งไม่ชอบน้ำ ทำให้การดูดซับน้ำของวัสดุปิดแผลลดลง [56] และหมู่ไฮดรอกซิลของโครงสร้างกรดแมนดีลิกสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสายโซ่โมเลกุลหลักของเมทริกซ์ส่งผลให้หมู่ไฮดรอกซิลลดลง วัสดุปิดแผลมีความชอบน้ำลดลง

#### 4.4.4 สมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน

การทดสอบสมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดแผลผสมอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชันทำเช่นเดียวกับการทดสอบในข้อที่ 4.1.3 ซึ่งแสดงผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.17-4.18



รูปที่ 4.17 องศาการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิก 0.7 กรัม และสารสกัดอัญชัน 2 และ 4 กรัม



รูปที่ 4.18 องศาการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิก 1.4 กรัมและสารสกัดอัญชัน 2 และ 4 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.17-4.18 แสดงองศาการบวมตัวของวัสดุปิดแผลที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิกหลังการเติมสารสกัดอัญชันปริมาณแตกต่างกัน พบว่าองศาการบวมตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปิดแผลก่อนเติมสารสกัดอัญชัน เนื่องจากสารสกัดอัญชันมีองค์ประกอบของแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์และมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก [37] ส่งผลให้วัสดุปิดแผลมีความชอบน้ำเพิ่มขึ้นและเมื่อพิจารณาอิทธิพลของปริมาณสารสกัดอัญชันที่ต่างกัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดอัญชันวัสดุปิดแผลมีค่าองศาการบวมตัวเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดอัญชันปริมาณแตกต่างกันส่งผลให้สมบัติการบวมตัวเพิ่มขึ้น

#### 4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล

##### 4.5.1 การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ปริมาณต่าง ๆ

การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผล โดยศึกษาจากค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืดของวัสดุปิดแผล แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ปริมาณต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ความแข็งแรงดึง (MPa)	มอดุลัส (MPa)	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด (%)
2BSM	3.32±0.05 <sup>a</sup>	78.17±0.29 <sup>a</sup>	60.14±0.20 <sup>a</sup>
1.5BSM/0.5agar	3.77±0.08 <sup>b</sup>	82.94±0.33 <sup>b</sup>	55.90±0.03 <sup>b</sup>
1BSM/1agar	4.41±0.05 <sup>c</sup>	89.56±0.26 <sup>c</sup>	49.98±0.19 <sup>c</sup>
0.5BSM/1.5agar	8.10±0.01 <sup>d</sup>	149.26±1.83 <sup>d</sup>	25.04±0.14 <sup>d</sup>

จากตารางที่ 4.7 วัสดุปิดแผลเมือกแมงลักที่ปราศจากอะการ์แสดงสมบัติความยืดหยุ่นได้ดี โดยมีเปอร์เซ็นต์การดึงยืดสูงที่สุด คือ 60.14% เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากอยู่ในโมเลกุลซึ่งมีความชอบน้ำและกรดยูโรนิก ซึ่งมีผลทำให้วัสดุปิดแผลมีความสามารถในการกักเก็บน้ำเพราะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำและวัสดุปิดแผลที่ปราศจากอะการ์มีโครงสร้างอสัณฐานส่งผลให้มีความแข็งแรงต่ำ ต้านทานแรงดึงน้อยและความยืดหยุ่นสูง

เมื่อพิจารณาวัสดุปิดแผลที่ผสมอะการ์ปริมาณต่าง ๆ พบว่าค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงขึ้นแต่เปอร์เซ็นต์การดึงยึดลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณอะการ ผลดังกล่าวเกิดจากการจัดเรียงตัวของพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของเมือกแมงลักและอะการ ซึ่งสอดคล้องกับผลของ FT-IR ดังรูปที่ 4.4 และ SEM ดังรูปที่ 4.9 ทำให้วัสดุปิดแผลมีความแข็งแรงขึ้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้คล้ายกับงานวิจัยของ Wu Y และคณะที่พบว่าฟิล์มแป้งมันฝรั่งที่มีเพิ่มปริมาณอะการ ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นซึ่งอธิบายได้ว่าพันธะไฮโดรเจนระหว่างแป้งมันฝรั่งกับอะการและการก่อตัวของโครงตาข่ายที่หนาแน่นของอะการส่งผลให้โครงสร้างของฟิล์มที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น [49]

#### 4.5.2 การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก

การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากเมือกแมงลักที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกปริมาณต่าง ๆ โดยศึกษาจากค่าความแข็งแรงดึง มอดูลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยึดของวัสดุปิดแผล แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากเมือกแมงลักและอะการที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก

ตัวอย่าง	ความแข็งแรงดึง (MPa)	มอดูลัส (MPa)	เปอร์เซ็นต์การดึงยึด (%)
1BSM/1agar	4.41±0.05 <sup>a</sup>	89.56±0.26 <sup>a</sup>	49.97±0.19 <sup>a</sup>
1BSM/1agar/SA1	6.02±0.08 <sup>b</sup>	135.05±0.62 <sup>b</sup>	40.93±1.21 <sup>b</sup>
1BSM/1agar/SA2	6.57±0.64 <sup>b</sup>	140.04±0.75 <sup>c</sup>	38.14±0.92 <sup>c</sup>
1BSM/1agar/SA3	6.98±0.83 <sup>d</sup>	146.86±0.86 <sup>d</sup>	29.73±0.57 <sup>d</sup>

จากตารางที่ 4.8 วัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ปราศจากการเชื่อมโยงมีความยืดหยุ่นได้ดี โดยแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึดสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลที่มีความชอบน้ำจำนวนมากในสายโซ่โมเลกุลของเมทริกซ์หลัก ส่งผลทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสายโซ่โมเลกุลของเมทริกซ์หลักได้ และด้วยโครงสร้างที่เป็นอสัณฐานของสายโซ่โมเลกุลของเมทริกซ์หลัก ส่งผลทำให้วัสดุปิดแผลที่ปราศจากการเชื่อมโยงมีความยืดหยุ่น ในขณะที่วัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก พบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสเพิ่มสูงขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การดึงยึดต่ำลง เนื่องจากการเชื่อมโยงวัสดุปิดแผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ท่านไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยกรดซัลฟูริกทำให้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งสอดคล้องกับผลของ FT-IR รูปที่ 4.5 ทำให้วัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงมีความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาปริมาณของกรดซัลฟูริกในวัสดุปิดแผล พบว่าปริมาณของกรดซัลฟูริกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้วัสดุปิดแผลแสดงสมบัติเชิงกลทั้งค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การดัดยัดต่ำลง ผลดังกล่าวเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งส่งผลต่อองค์การเชื่อมโยง ทำให้การเชื่อมโยงและโครงตาข่ายของวัสดุปิดแผลหนาแน่นมากขึ้น ส่งผลให้ระยะห่างระหว่างสายโซ่โพลิเมอร์ลดลงน้อยลงทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับภาพถ่าย SEM รูปที่ 4.10

ผลการทดลองดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Tantiwatcharothai S และ Prachayawarakorn J. ที่พบว่าวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ผ่านการเชื่อมโยงด้วยบอแรกซ์ แสดงสมบัติเชิงกลทั้งค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสมากกว่าวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยง เนื่องจากการเชื่อมโยงส่งผลให้ความหนาแน่นของโครงตาข่ายเพิ่มขึ้นและระยะห่างระหว่างสายโซ่โพลิเมอร์ของเมือกแมงลักลดลง [30]



#### 4.5.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก

การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากเมือกแมงลักที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิกปริมาณต่าง ๆ โดยศึกษาจากค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืดของวัสดุปิดแผล แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 สมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก

ตัวอย่าง	ความแข็งแรงดึง (MPa)	มอดุลัส (MPa)	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด (%)
1BSM/1agar/SA2	6.57±0.64 <sup>a</sup>	140.04±0.75 <sup>a</sup>	38.14±0.92 <sup>a</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA1	5.03±0.87 <sup>b</sup>	124.91±0.26 <sup>b</sup>	45.18±0.43 <sup>b</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA2	5.27±0.48 <sup>b</sup>	126.85±0.95 <sup>c</sup>	43.36±1.02 <sup>c</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA3	5.60±0.28 <sup>c</sup>	130.10±0.36 <sup>d</sup>	42.02±0.85 <sup>d</sup>

จากตารางที่ 4.9 แสดงสมบัติเชิงกลหลังการเติมกรดแมนดีลิกในวัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก พบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสลดลง ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การดึงยืดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปิดแผลผ่านการเชื่อมโยงที่ไม่เติมกรดแมนดีลิก คาดว่าเกิดจากโครงสร้างโมเลกุลของกรดแมนดีลิกอาจทำหน้าที่คล้ายพลาสติกไซเซออร์ ขัดขวางการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่โมเลกุลของเมทริกซ์ส่งผลให้ปริมาตรอิสระเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาปริมาณของกรดแมนดีลิกที่ต่างกัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกรดแมนดีลิกส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้คาดว่าผลดังกล่าวอาจเกิดจากโครงสร้างที่แข็งแรงของวงอะโรมาติกที่เป็นองค์ประกอบของกรดแมนดีลิกและหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสายโซ่โมเลกุลหลักของเมทริกซ์ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืดของวัสดุปิดแผลลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kumar R. และคณะ ได้ศึกษาสมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลของฟิล์มโปรตีนจากถั่วเหลืองที่ผสมกรดแมนดีลิกและนำไปผ่านการหมักโดยใช้แบคทีเรียบาซิลลัส ซับติลิส ผลการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณกรดแมนดีลิกเพิ่มขึ้นจากอัตราส่วน 2.5-7.5% โดยน้ำหนักของฟิล์ม ฟิล์มแสดงค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสเพิ่มขึ้น [50]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน

การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากเมือกแมงลักที่ปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน โดยศึกษาจากค่าความแข็งแรงดึง มอดูลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืดของวัสดุปิดแผล แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 สมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน

ตัวอย่าง	ความแข็งแรงดึง (MPa)	มอดูลัส (MPa)	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด (%)
1BSM/1agar/SA2/MA1	5.03±0.87 <sup>b</sup>	124.91±0.26 <sup>b</sup>	45.18±0.43 <sup>b</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA1BP1	5.58±0.52 <sup>c</sup>	130.12±0.92 <sup>c</sup>	41.82±0.73 <sup>c</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA1BP2	5.63±0.24 <sup>d</sup>	130.16±0.38 <sup>bc</sup>	41.63±0.85 <sup>c</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA3	5.60±0.28 <sup>d</sup>	130.10±0.36 <sup>d</sup>	42.02±0.85 <sup>d</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA3BP1	5.59±0.43 <sup>e</sup>	130.15±0.12 <sup>d</sup>	41.53±0.65 <sup>d</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA3BP2	6.04±0.28 <sup>f</sup>	133.16±0.88 <sup>d</sup>	40.79±0.13 <sup>e</sup>

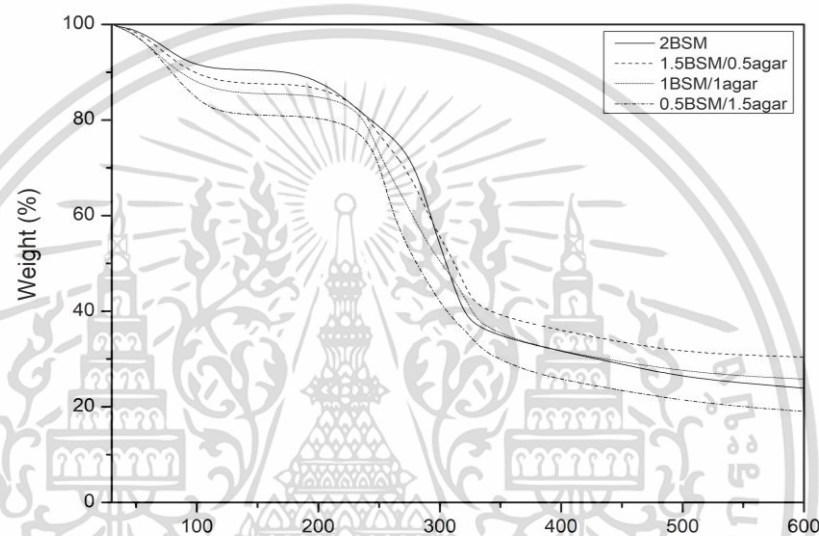
จากตารางที่ 4.10 เมื่อพิจารณาสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลที่ปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริกและกรดแมนดีลิกหลังจากเติมสารสกัดอัญชันปริมาณแตกต่างกัน พบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การดึงยืดลดลง เนื่องจากสารสกัดอัญชันมีแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์และโครงสร้างของสารแอนโทไซยานินมีหมู่ไฮดรอกซิล [37] ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสายโซ่โมเลกุลของเมทริกซ์หลักส่งผลให้ผลความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การดึงยืดของวัสดุปิดแผลลดลง ซึ่งคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Qin Y. และคณะ ที่ศึกษาคุณลักษณะของฟิล์มจากไคโตซานที่ต้านอนุมูลอิสระและต้านสารจุลชีพด้วยสารสกัดมันม่วง พบว่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารสกัดมันม่วงเนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างไคโตซานและสารสกัดมันม่วง [57]

## 4.6 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน Thermogravimetric analysis (TGA)

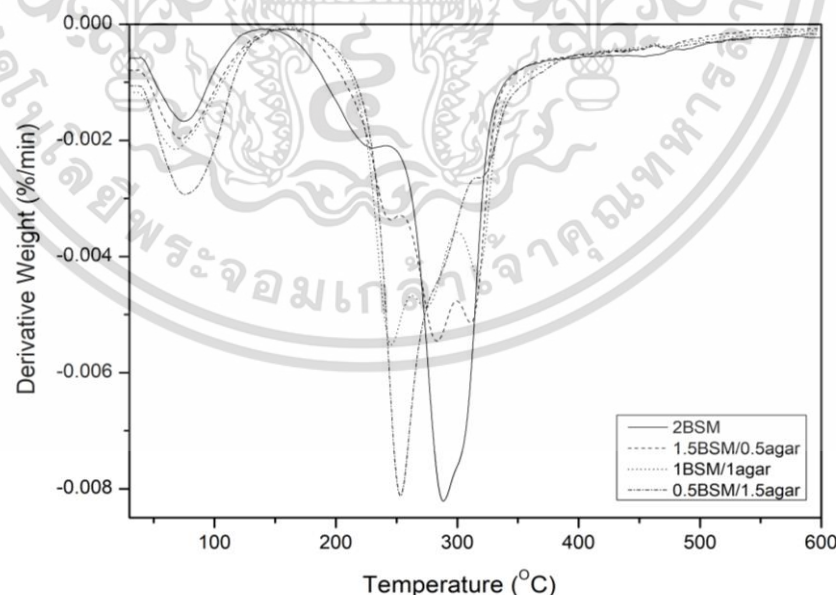
### 4.6.1 สมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ปริมาณต่าง ๆ

การศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ปริมาณต่าง ๆ โดยใช้เทคนิค TGA ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนในช่วงอุณหภูมิ 30-600 องศาเซลเซียส และใช้อัตราการให้ความร้อน (Heating rate) 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.19 เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ผสมอะการ์ปริมาณต่าง ๆ (ก) TGA และ (ข) DTG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 อุณหภูมิการสลายตัวและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักขององค์ประกอบของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ปริมาณต่าง ๆ

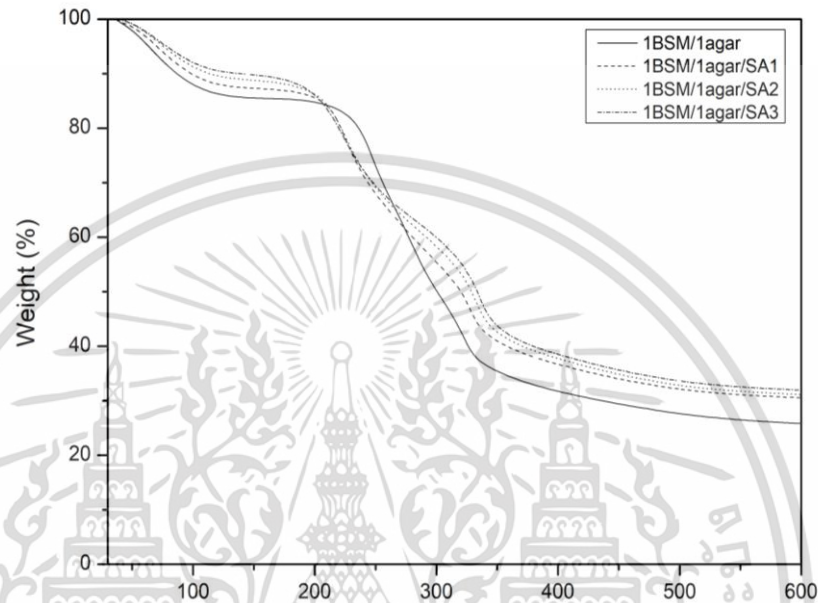
ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัว (°C )				น้ำหนักที่เหลือที่ 600°C (%)
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	
2BSM	76.3	220.5	288.7	-	23.8
1.5BSM/0.5agar	74.2	243.2	283.2	312.5	30.4
1BSM/1agar	69.8	245.8	275.3	319.8	25.8
0.5BSM/1.5agar	78.7	253.2	-	312.4	19.1

จากรูปที่ 4.19 ตารางที่ 4.11 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวและน้ำหนักองค์ประกอบที่เหลือ (Residue) ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ปริมาณต่างกัน พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุปิดแผลมี 4 ขั้น ได้แก่ ขั้นที่ 1 เป็นการระเหยของน้ำในวัสดุปิดแผลในช่วงอุณหภูมิ 50-100 องศาเซลเซียส ขั้นที่ 2 เป็นการสลายตัวของกลีเซอรอลในช่วงอุณหภูมิ 220-250 องศาเซลเซียส ขั้นที่ 3 เป็นการสลายตัวของโครงสร้างสายโซ่หลักของเมือกแมงลัก (กลูโคแมนแนน ไซแลน และคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ เป็นต้น) ในช่วงอุณหภูมิ 255-300 องศาเซลเซียส [14] และขั้นที่ 4 เป็นการสลายตัวของโครงสร้างสายโซ่หลักของอะการ์ ในช่วงอุณหภูมิ 250-340 องศาเซลเซียส [47] นอกจากนี้เมื่อเพิ่มปริมาณอะการ์ส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวในช่วงที่ 2 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้คาดว่าอาจเกิดการซ้อนทับกันระหว่างอุณหภูมิการสลายตัวของกลีเซอรอลและเมือกแมงลักเนื่องจากอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่า วัสดุปิดแผลสูตร 0.5BSM/1.5agar ไม่พบอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนขั้นที่ 3 คาดว่าเกิดจากความเข้ากันได้ของกลีเซอรอลและเมือกแมงลักรวมถึงความเข้ากันได้ของเมือกแมงลักและอะการ์จึงพบอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนเพียง 3 ขั้น คือ ขั้นที่ 1 2 และ 4

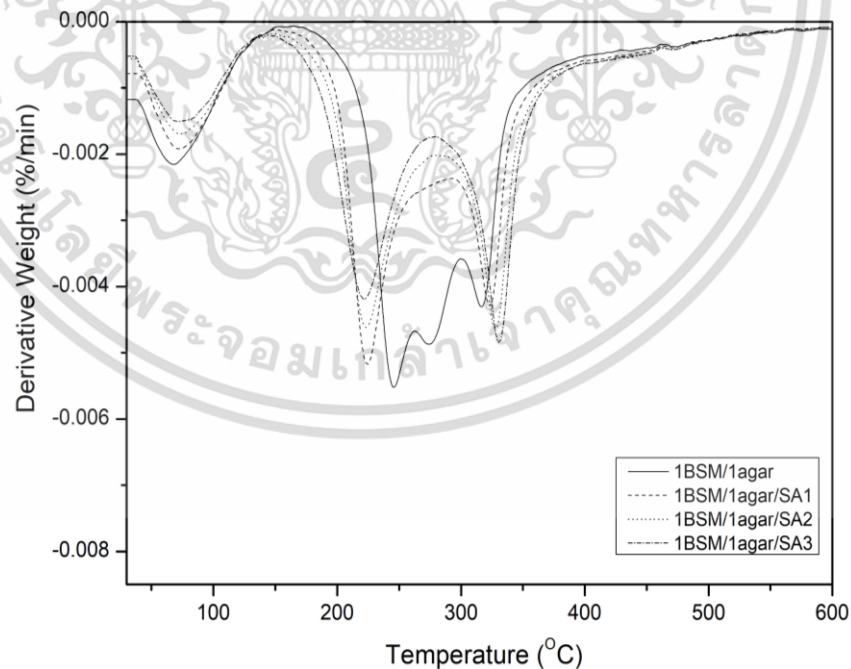
#### 4.6.2 สมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก ปริมาณต่าง ๆ ให้ผลการทดลองแสดงดังรูป 4.20 และตารางที่ 4.12

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.20 เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก

(ก) TGA และ (ข) DTG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 อุณหภูมิการสลายตัวและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักขององค์ประกอบของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)				น้ำหนักที่เหลือที่ 600 °C (%)
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	
1BSM/1agar	69.8	245.8	275.3	319.8	25.8
1BSM/1agar/SA1	74.7	224.3	-	323.4	30.5
1BSM/1agar/SA2	75.0	224.5	-	328.0	31.1
1BSM/1agar/SA3	75.7	224.6	-	330.8	31.9

จากรูปที่ 4.20 และตารางที่ 4.12 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวและน้ำหนักองค์ประกอบที่เหลือของวัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก พบว่ามีช่วงการสลายตัว 4 ขั้น ได้แก่ ขั้นที่ 1 เป็นการระเหยของน้ำในวัสดุปิดแผลในช่วงอุณหภูมิ 50-100 องศาเซลเซียส ขั้นที่ 2 เป็นการสลายตัวของกลีเซอรอลในช่วงอุณหภูมิ 224-250 องศาเซลเซียส ขั้นที่ 3 เป็นการสลายตัวของโครงสร้างสายโซ่หลักของเมือกแมงลัก (กลูโคแมนแนน ไซแลน และคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ เป็นต้น) และขั้นที่ 4 เกิดจากโครงสร้างสายโซ่หลักของอะการ์ ในช่วงอุณหภูมิ 255-300 องศาเซลเซียสและในช่วงอุณหภูมิ 250-340 องศาเซลเซียส รวมถึงน้ำหนักองค์ประกอบที่เหลือของวัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปิดแผลที่ปราศจากการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกเนื่องจากเกิดพันธะเอสเทอร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเชื่อมโยงส่งผลให้เสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุปิดแผลเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Thessrimung, N. และ Prachayawanakorn, J. ซึ่งพัฒนาฟิล์มจากเมือกแมงลักและปรับปรุงสมบัติของฟิล์มด้วยกรดอินทรีย์ 3 ชนิด คือ กรดซัคซินิก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริก จากผลการทดลองพบว่า ฟิล์มที่ผ่านการเชื่อมโยงมีสมบัติทางความร้อนดีกว่าฟิล์มไม่ผ่านการเชื่อมโยงและฟิล์มที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกแสดงสมบัติทางความร้อนที่ดีที่สุดรองลงมา คือ กรดมาลิกและกรดทาร์ทาริก [14]

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณของกรดซัคซินิก พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัคซินิกส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวในขั้นที่ 2 ลดลงและขั้นที่ 4 เพิ่มขึ้น คาดว่าเกิดจากกรดซัคซินิกทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลของเมือกแมงลักกับเมือกแมงลัก อะการ์กับเมือกแมงลักและอะการ์กับอะการ์และการเชื่อมโยงทำให้เพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างกลีเซอรอลและเมือกแมงลักรวมถึงเมือกแมงลักและอะการ์จึงทำให้พบอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนในขั้นที่ 2 และ 4 เท่านั้น นอกจากนี้พบว่าน้ำหนักคงเหลือของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปิดแผลที่ปราศจากการเชื่อมโยง เนื่องจากเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอะการ์และสายโซ่พอลิเมอร์ของเมือกแมงลักจากการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก ส่งผลทำให้เสถียรภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นและต้องใช้พลังงานในการสลายพันธะสูง ซึ่งสอดคล้องกับผลของสมบัติเชิงกลและเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการสลายตัวขั้นที่ 4 ของวัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก พบว่าวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA3 มีค่าอุณหภูมิการสลายตัวสูงที่สุด รองลงมา คือ 1BSM/1agar/SA2 และ 1BSM/1agar/SA1 มีค่าอุณหภูมิการสลายตัวต่ำที่สุด ทั้งนี้เป็นผลจากองค์การเชื่อมโยงที่แตกต่างกันสอดคล้องกับสัดส่วนเจลตารางที่ 4.4 และผลขององค์การบวมตัว รูปที่ 4.15 ส่งผลให้เสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุปิดแผลเพิ่มขึ้นและต้องใช้พลังงานความร้อนสูงขึ้นในการสลายโครงสร้างการเชื่อมโยง

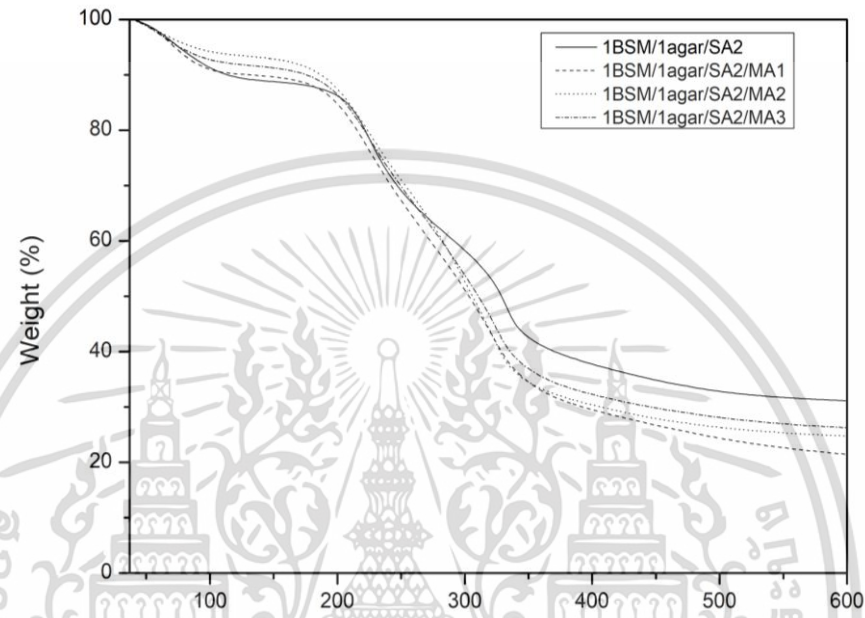


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

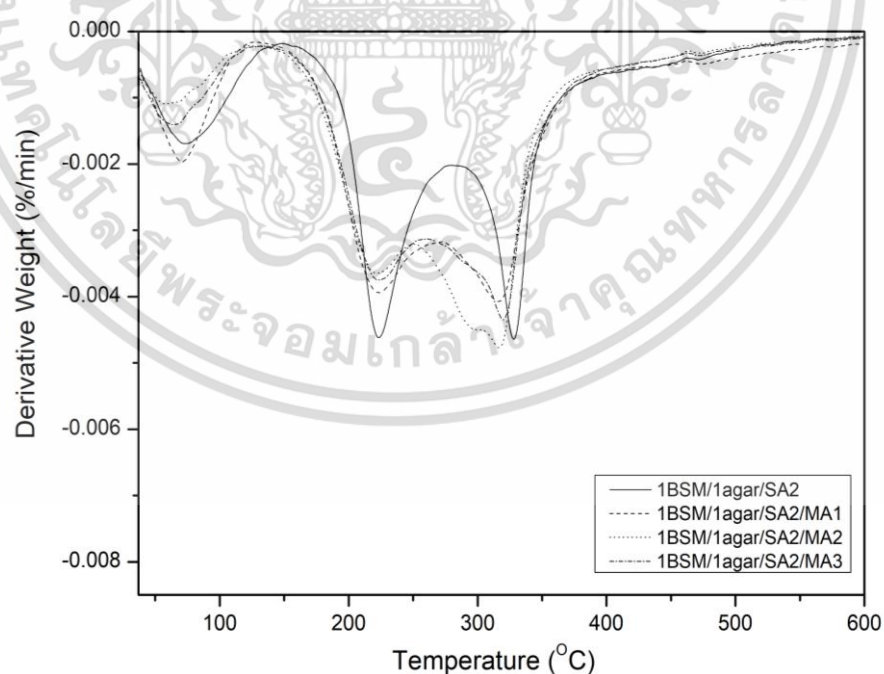
#### 4.6.3 สมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิกปริมาณต่าง ๆ ให้ผลการทดลองแสดงดังรูป 4.21 และตารางที่ 4.13

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.21 เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก (ก) TGA และ (ข) DTG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 อุณหภูมิการสลายตัวและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักขององค์ประกอบของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่และอะการ์ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก

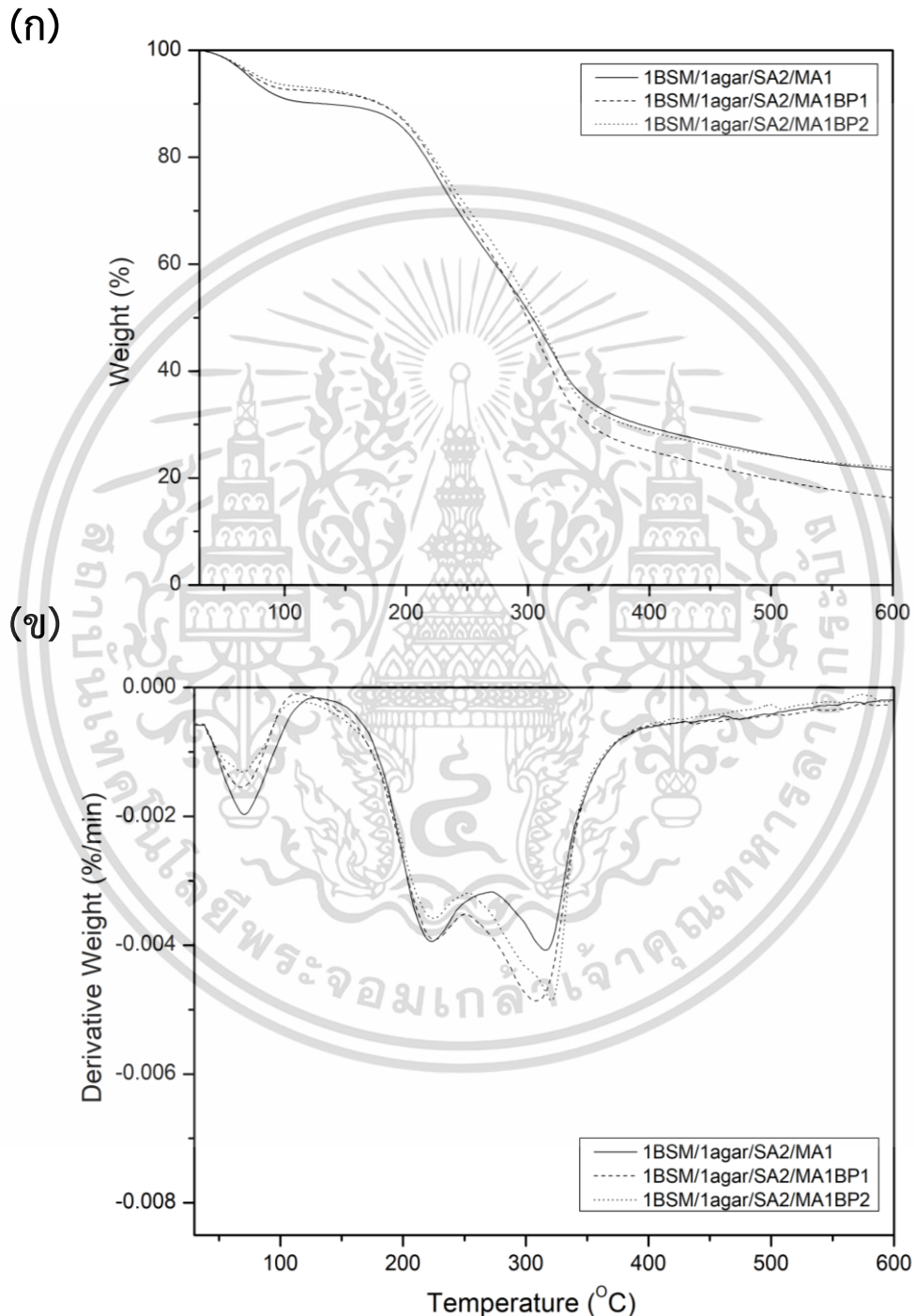
ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)			น้ำหนักที่เหลือที่ 600 °C (%)
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	
1BSM/1agar/SA2	75.0	224.5	328.0	31.1
1BSM/1agar/SA2/MA1	71.0	223.6	316.2	21.4
1BSM/1agar/SA2/MA2	67.7	223.7	316.5	24.7
1BSM/1agar/SA2/MA3	67.2	223.8	319.7	26.2

จากรูปที่ 4.21 และตารางที่ 4.13 แสดงข้อมูลสมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและเติมกรดแมนดีลิกปริมาณต่างกัน พบว่าวัสดุปิดแผลมีค่าอุณหภูมิการสลายตัว 3 ขั้น ซึ่งอุณหภูมิการสลายตัวในขั้นที่ 3 และน้ำหนักองค์ประกอบที่เหลือลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปิดแผลที่ไม่เติมกรดแมนดีลิก โดยขั้นที่ 1 เป็นการระเหยของน้ำในวัสดุปิดแผลในช่วงอุณหภูมิ 50-100 องศาเซลเซียส ขั้นที่ 2 เป็นการสลายตัวของกลีเซอรอลในและเมือกแมงลักช่วงอุณหภูมิ 224-250 องศาเซลเซียสและขั้นที่ 3 เป็นการสลายตัวของโครงสร้างสายโซ่หลักของเมือกแมงลักและอะการ์ในช่วงอุณหภูมิ 255-340 องศาเซลเซียส [14, 47] นอกจากนี้การเติมกรดแมนดีลิกส่งผลให้อุณหภูมิขั้นที่ 2 และขั้นที่ 3 ลดลง คาดว่าอาจเกิดจากโครงสร้างโมเลกุลของกรดแมนดีลิกขัดขวางอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่โมเลกุลเมทริกซ์ส่งผลให้ปริมาตรอิสระเพิ่มขึ้น วัสดุปิดแผลสามารถรับความร้อนได้ง่ายขึ้นส่งผลให้ใช้พลังงานในการสลายพันธะน้อยลง

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปริมาณกรดแมนดีลิกที่เติมในวัสดุปิดแผล พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกรดแมนดีลิกส่งผลให้ค่าอุณหภูมิการสลายตัวในขั้นที่ 3 และน้ำหนักองค์ประกอบที่เหลือมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้คาดว่าอาจเกิดจากโครงสร้างของวงอะโรมาติกที่เป็นองค์ประกอบของกรดแมนดีลิกมีหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสายโซ่โมเลกุลของเมทริกซ์และอาจเกิดจากการเกาะกลุ่มกันของโครงสร้างกรดแมนดีลิกทำให้การส่งผ่านความร้อนเกิดได้ช้า ส่งผลให้ต้องใช้พลังงานในการสลายพันธะเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับสมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรงของวัสดุและเมื่อเปรียบเทียบช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุปิดแผลที่เติมกรดแมนดีลิกปริมาณต่าง ๆ พบว่าวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2/MA3 มีค่าอุณหภูมิการสลายตัวสูงสุด รองลงมา คือ 1BSM/1agar/SA2/MA2 และ 1BSM/1agar/SA2/MA1 มีค่าอุณหภูมิการสลายตัวต่ำที่สุด

#### 4.6.4 สมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชันให้ผลการทดลองแสดงดังรูป 4.22 -4.23 และตารางที่ 4.14



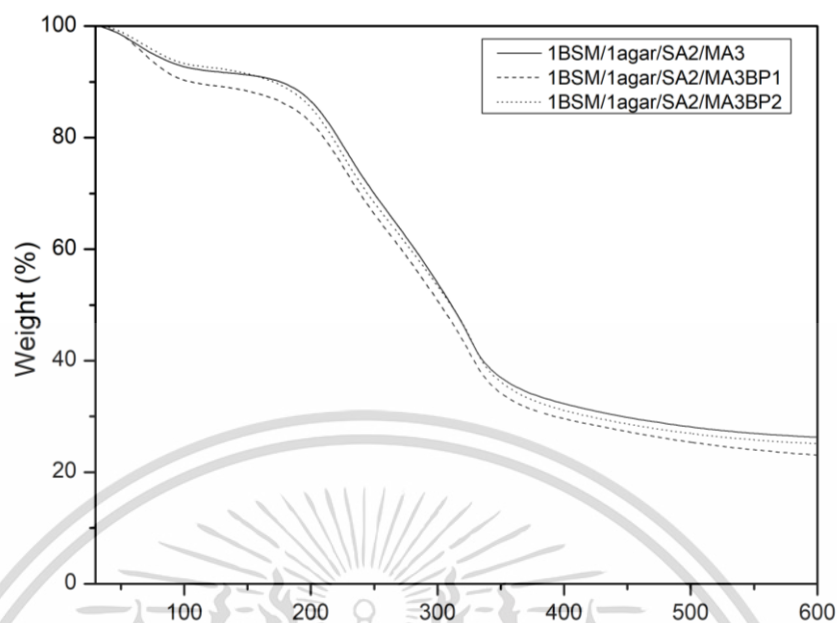
รูปที่ 4.22 เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก

กรดแมนดีลิก 0.7 กรัมและสารสกัดอัญชัน 2 และ 4 กรัม (ก) TGA และ (ข) DTG

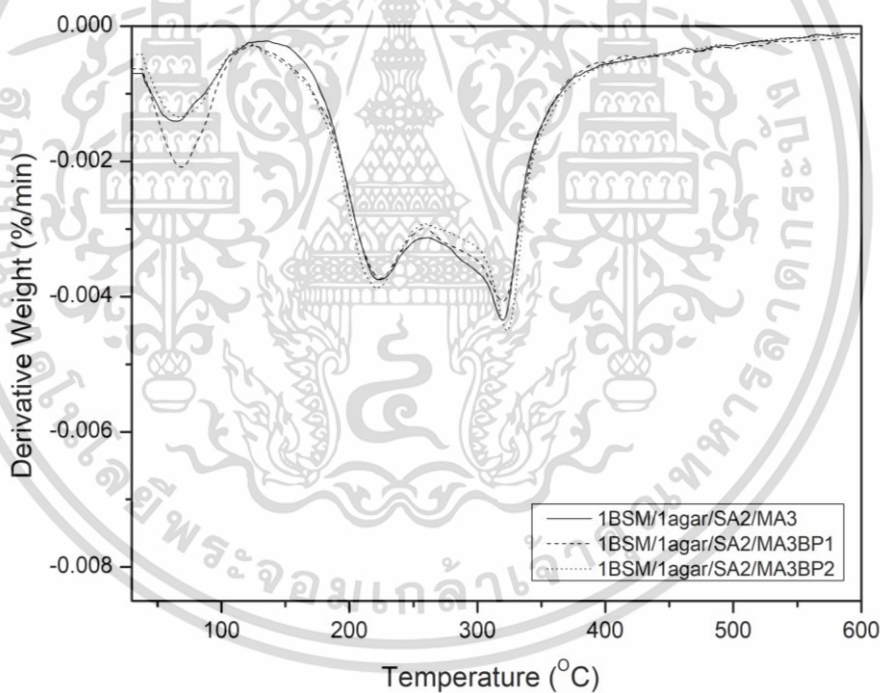
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.23 เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิก 1.4 กรัมและสารสกัดอัญชัน 2 และ 4 กรัม (ก) TGA และ (ข) DTG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 อุณหภูมิการสลายตัวและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักขององค์ประกอบของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัว (%)			น้ำหนักที่เหลือที่ 600 °C (%)
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	
1BSM/1agar/SA2/MA1	71.0	223.6	316.2	21.4
1BSM/1agar/SA2/MA1BP1	69.7	225.2	320.5	16.2
1BSM/1agar/SA2/MA1BP2	70.7	224.5	320.8	21.9
1BSM/1agar/SA2/MA3	67.2	223.8	319.7	26.2
1BSM/1agar/SA2/MA3BP1	69.3	224.6	320.2	23.0
1BSM/1agar/SA2/MA3BP2	67.8	224.4	323.0	25.1

จากรูปที่ 4.22-4.23 และตารางที่ 4.14 แสดงข้อมูลสมบัติทางความร้อนจากการเติมสารสกัดอัญชันในวัสดุปิดแผลปริมาณแตกต่างกัน พบว่าวัสดุปิดแผลมีค่าอุณหภูมิการสลายตัว 3 ขั้น โดยขั้นที่ 1 เป็นการระเหยของน้ำในวัสดุปิดแผลในช่วงอุณหภูมิ 50-100 องศาเซลเซียส ขั้นที่ 2 เป็นการสลายตัวของกลีเซอรอลและเมือกแมงลักในช่วงอุณหภูมิ 224-250 องศาเซลเซียสและขั้นที่ 3 เป็นการสลายตัวของโครงสร้างสายโซ่หลักของเมือกแมงลักและอะการ์ในช่วงอุณหภูมิ 255-340 องศาเซลเซียส [14, 47] ซึ่งวัสดุปิดแผลแสดงแนวโน้มของค่าอุณหภูมิการสลายตัวขั้น 3 สูงขึ้นแต่น้ำหนักองค์ประกอบที่เหลือลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปิดแผลที่ไม่ได้เติมสารสกัดอัญชัน ทั้งนี้คาดว่าอาจเกิดจากสารปนเปื้อนที่มาจากสารสกัดอัญชัน ส่งผลให้ใช้พลังงานในการสลายพันธะเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปริมาณสารสกัดอัญชันที่เติมในวัสดุปิดแผล พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดอัญชันส่งผลให้ค่าอุณหภูมิการสลายตัวในขั้นที่ 3 มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง แต่อย่างไรก็ตามวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2/MA3BP2 แสดงค่าอุณหภูมิการสลายตัวขั้นที่ 3 สูงขึ้น เนื่องจากวัสดุปิดแผลสูตรดังกล่าวมีปริมาณกรดแมนดีลิกและอัญชันสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปิดแผลสูตรอื่น ๆ ซึ่งคาดว่าอาจส่งผลให้เกิดจากพันธะไฮโดรเจนเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ต้องใช้พลังงานในการสลายพันธะสูงขึ้น ซึ่งคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Liu, Y และคณะ ได้ศึกษาการเตรียมฟิล์มที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชและต้านอนุมูลอิสระจากคาร์ราจีแนนและสารสกัดมัลเบอร์รี่ จากการทดลองพบว่าเมื่อเติมสารสกัดมัลเบอร์รี่ปริมาณ 2% และ 4% โดยน้ำหนักส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัว ซึ่งแสดงถึงความเสถียรทางความร้อนของฟิล์มเพิ่มขึ้นจากการเติมสารสกัดมัลเบอร์รี่ [41]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7 การวิเคราะห์หาปริมาณสารแอนโทไซยานินจากสารสกัดอัญชัน

การวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินจากสารสกัดอัญชันโดยวิธีพีเอช-ดิฟเฟอเรนเชียล (pH- differential method)



รูปที่ 4.24 การทดสอบสารแอนโทไซยานิน (ก) สารสกัดอัญชันเจือจางในสารละลายโพแทสเซียมพีเอช 1 และ (ข) สารสกัดอัญชันเจือจางในสารละลายโซเดียมอะซิเตทพีเอช 4.5

จากการนำผงของอัญชันมาทำการสกัดด้วยเอทานอล จะได้สารสกัดสีน้ำเงินเข้ม เมื่อนำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินด้วยเครื่อง UV-vis Spectrophotometer โดยใช้วิธี pH- differential method พบว่าสารสกัดอัญชันมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด  $101.63 \pm 0.67$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8 การวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีและการตอบสนองต่อค่าพีเอชของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและ สารสกัดอัญชัน

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของวัสดุปิดแผล ขนาด 2x2 ตารางเซนติเมตร โดยนำมาแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอชต่าง ๆ เป็นเวลา 5 นาทีและวัดเฉดสีโดยใช้เครื่องวัดเฉดสีตามมาตรฐาน ASTM-1925 แสดงผลดังตารางที่ 4.15-4.17

ตารางที่ 4.15 ค่าการวัดสีของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน

ตัวอย่าง	ค่าการเปลี่ยนแปลงสี			
	L*	a*	b*	$\Delta E$
1BSM/1agar/SA2/MA1	85.51	0.67	8.84	-
1BSM/1agar/SA2/MA1BP1	66.56	12.68	1.84	23.50
1BSM/1agar/SA2/MA1BP2	61.31	16.09	1.43	29.64
1BSM/1agar/SA2/MA3	86.70	0.54	8.62	-
1BSM/1agar/SA2/MA3BP1	72.17	11.02	2.36	18.98
1BSM/1agar/SA2/MA3BP2	60.75	15.52	0.59	31.02

หมายเหตุ L\* กำหนดค่าความสว่าง ค่า a\* กำหนดค่าสีแดงหรือสีเขียว ถ้า  $a > 1$  แสดงค่าสีแดงและ .....ถ้า  $a < 1$  แสดงค่าสีเขียว b\* กำหนดค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ถ้า  $b > 1$  แสดงค่าสีเหลือง .....และถ้า  $b < 1$  แสดงค่าสีน้ำเงิน

ตารางที่ 4.16 ค่าการวัดสีของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนติลิกและสารสกัดอัญชัน

ตัวอย่าง	pH	ค่าการเปลี่ยนแปลงสี			
		L*	a*	b*	$\Delta E$
1BSM/1agar/SA2 /MA1BP1	4	52.19±1.6	19.00±0.4	11.31±0.9	10.59±0.1
	5	61.31±1.4	1.50±0.2	5.28±0.7	7.38±0.8
	6	56.24±0.8	1.11±0.7	2.81±0.5	8.97±0.7
	7	49.30±0.6	4.80±0.8	-6.99±1.2	12.08±0.5
	8	59.91±0.8	3.35±0.6	2.41±1.4	10.03±0.7
1BSM/1agar/SA2 /MA1BP2	4	44.17±0.9	9.69±0.8	-0.79±1.2	10.64±1.2
	5	45.94±0.8	2.13±0.8	-5.55±1.0	12.65±1.0
	6	42.69±0.7	7.60±0.2	-6.15±1.7	12.60±1.4
	7	46.66±0.7	4.07±0.3	-9.25±0.8	12.56±0.3
	8	48.46±1.2	0.79±1.4	-5.35±0.4	12.18±0.2
1BSM/1agar/SA2 /MA3BP1	4	60.83±0.2	7.69±0.2	3.42±0.8	6.85±0.3
	5	60.99±0.2	5.04±0.1	3.61±0.1	7.35±0.4
	6	54.99±0.7	3.03±0.1	-1.36±0.2	11.15±0.8
	7	63.01±1.2	7.27±0.4	-10.44±1.0	9.34±0.7
	8	53.23±1.3	-14.19±0.6	3.31±0.8	18.21±1.1
1BSM/1agar/SA2 /MA3BP2	4	40.09±1.2	17.57±1.4	-0.22±0.2	11.99±0.3
	5	49.55±1.7	8.51±1.5	-0.57±0.1	7.66±0.7
	6	39.92±1.1	8.65±1.1	-9.76±0.1	9.32±0.7
	7	39.92±0.8	8.65±0.7	-9.76±0.3	14.00±0.8
	8	51.77±0.4	-9.13±0.8	1.24±0.3	15.15±0.4

หมายเหตุ L\* กำหนดค่าความสว่าง ค่า a\* กำหนดค่าสีแดงหรือสีเขียว ถ้า a > 1 แสดงค่าสีแดงและ .....ถ้า a < 1 แสดงค่าสีเขียว b\* กำหนดค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ถ้า b > 1 แสดงค่าสีเหลือง .....และถ้า b < 1 แสดงค่าสีน้ำเงิน และ  $\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 เฉดสีของวัสดุปิดแผลในสารละลายบัฟเฟอร์ต่าง ๆ

ตัวอย่าง	Blank	pH4	pH5	pH6	pH7	pH8
1BSM/1agar/SA2 /MA1BP1						
1BSM/1agar/SA2 /MA1BP2						
1BSM/1agar/SA2 /MA3BP1						
1BSM/1agar/SA2 /MA3BP2						

หมายเหตุ Blank = สีของวัสดุปิดแผลก่อนการทดสอบในสารละลายบัฟเฟอร์

จากตารางที่ 4.16 แสดงค่าการวัดสีของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน พบว่าวัสดุปิดแผลที่ปราศจากสารสกัดอัญชันให้ความสว่าง ( $L^*$ ) สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดอัญชัน ภายหลังจากการเติมสารสกัดอัญชัน พบว่าความสว่าง ( $L^*$ ) มีแนวโน้มลดลง ค่า  $a^*$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและค่า  $b^*$  มีแนวโน้มลดลง และเมื่อทั้งนี้คาดว่าเกิดจากวัสดุปิดแผลมีกรดแมนดีลิกเป็นองค์ประกอบในเมทริกซ์ซึ่งมีค่าพีเอชเป็นกรด ส่งผลให้แสดงค่าเฉดสีแดงที่สูงขึ้นและค่าเฉดสีน้ำเงินลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rawdkuen S และคณะศึกษาฟิล์มเจลาตินที่ใช้สารแอนโทไซยานินเป็นตัวบ่งชี้สี พบว่าเมื่อเติมสารสกัดอัญชันลงในฟิล์มเจลาติน ความสว่าง ( $L^*$ ) มีค่าลดลงและค่า  $a^*$  มีค่าเพิ่มขึ้น [42]

ปกติผิวหนังจะมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 5-6 แต่เมื่อผิวหนังถูกทำลายค่าพีเอชจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นถึงการติดเชื้อแบคทีเรีย จากตารางที่ 4.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของวัสดุปิดแผลเมื่อแช่ลงในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอชต่าง ๆ พบว่าวัสดุปิดแผลมีการเปลี่ยนแปลงสีที่ชัดเจนจากสีแดงเป็นสีเขียว ซึ่งการตอบสนองต่อค่าพีเอชของวัสดุปิดแผลสามารถนำไปใช้งานในการบ่งบอกการอักเสบและการติดเชื้อแบคทีเรียของผิวหนัง ที่ pH-4-7 วัสดุปิดแผลเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีม่วง ที่ pH 7-8 วัสดุปิดแผลจะเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว สังเกตได้จากค่า  $a^*$  ที่แสดงเฉดสีแดงและค่า  $b^*$  แสดงเฉดสีน้ำเงินมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของแอนโทไซยานิน โดยเปลี่ยนจากฟลาวิลเลียมแคทไอออน (Flavylium cations) ไปเป็นคาร์บินอล-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซูโดเบส (Carbinol pseudobase) [42] และความแตกต่างของค่า  $\Delta E$  ที่ pH 4-8 บ่งบอกถึงความต่างของสีวัสดุปิดแผลที่สามารถมองเห็น ซึ่งแสดงถึงความไวต่อการตอบสนองต่อค่าพีเอชของวัสดุปิดแผล โดยปกติผิวหนังจะมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 5-6 แต่เมื่อผิวหนังถูกทำลายค่าพีเอชจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นถึงการติดเชื้อแบคทีเรีย ทำให้วัสดุปิดแผลที่เตรียมได้จึงเหมาะสำหรับการตอบสนองต่อค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงของแผลโดยการเปลี่ยนสี เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปริมาณสารสกัดอัญชัน พบว่าวัสดุปิดแผลสามารถแสดงสมบัติการตอบสนองต่อค่าพีเอชโดยการเปลี่ยนแปลงสี ซึ่งวัสดุปิดแผลที่มีสารสกัดอัญชันปริมาณสูงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีอย่างเด่นชัด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดอัญชันปริมาณ 2 และ 4 กรัม สามารถแสดงสมบัติการตอบสนองต่อค่าพีเอชโดยการเปลี่ยนแปลงสี โดยเฉพาะวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดอัญชันปริมาณ 4 กรัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

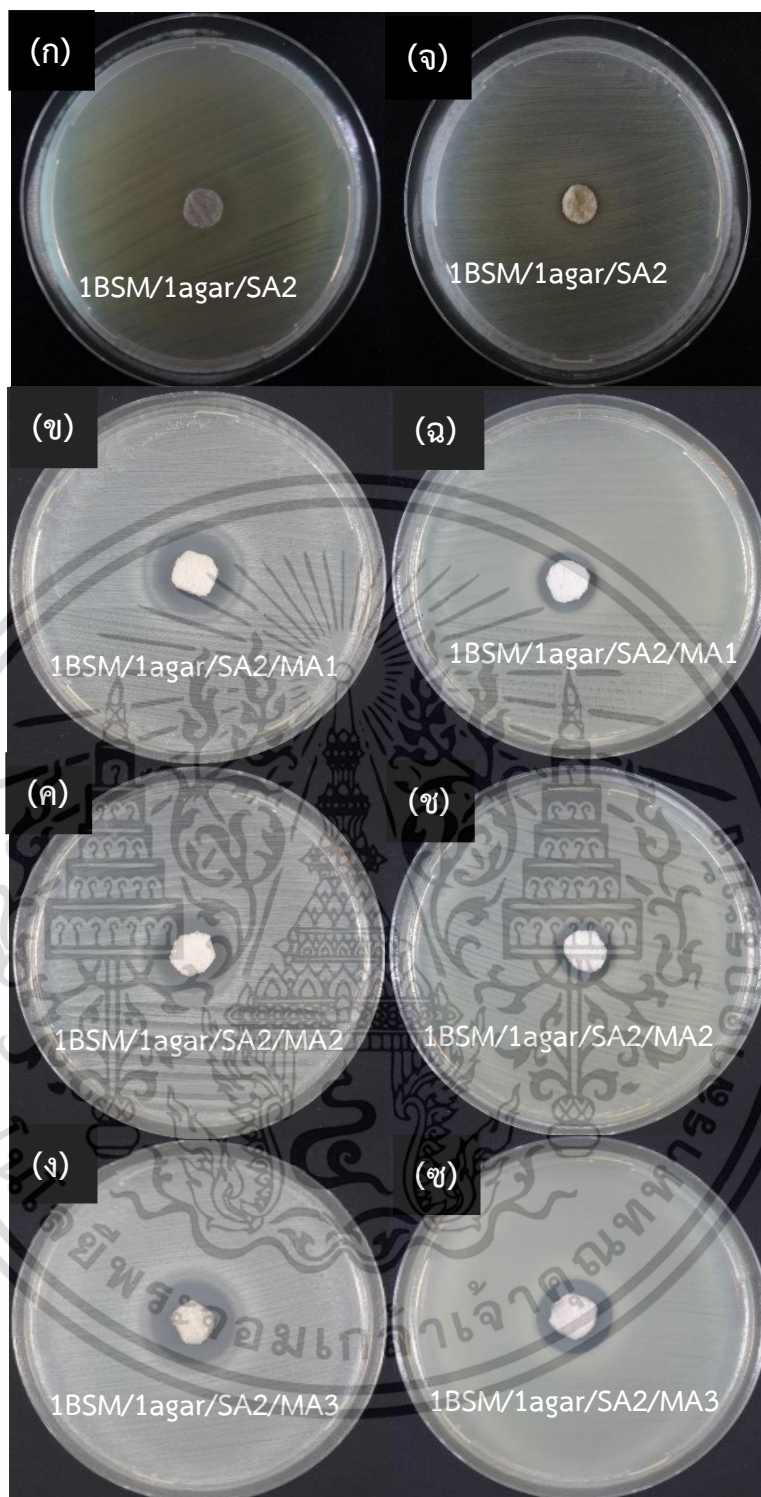
#### 4.9 การทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัลูชัน

ผลการทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากเมือกแมงลักที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก ทำการทดสอบโดยใช้เชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ *Staphylococcus aureus* (แกรมบวก) และ *Escherichia coli* (แกรมลบ) ให้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.18 สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากเมือกแมงลักที่และอะการ์ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัลูชัน

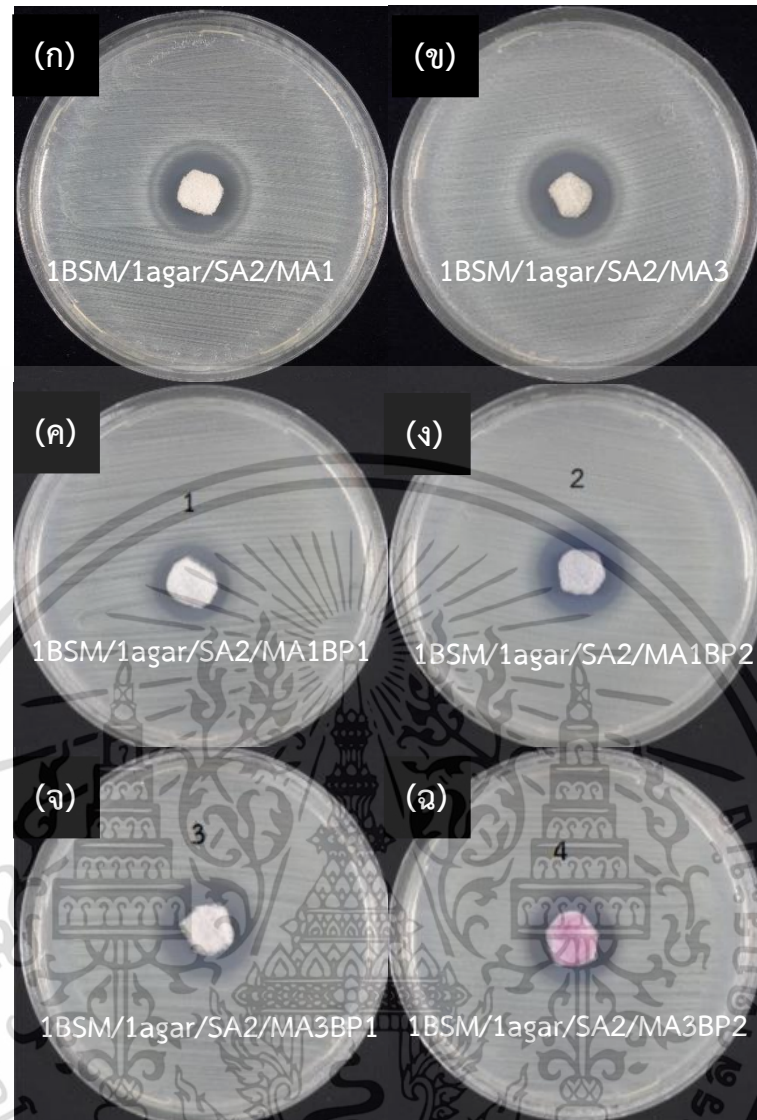
ตัวอย่าง	ขอบเขตการยับยั้ง (มม)		ผลการทดสอบ
	<i>S.aureus</i>	<i>E.coli</i>	
1BSM/1agar/SA2	-	-	Non-active
1BSM/1agar/SA2/MA1	16.54±0.11	15.58±0.03	Active
1BSM/1agar/SA2/MA2	17.03±0.26	16.20±0.10	Active
1BSM/1agar/SA2/MA3	22.70±1.47	19.67±0.40	Active
1BSM/1agar/SA2/MA1BP1	20.66±0.87	16.64±0.35	Active
1BSM/1agar/SA2/MA1BP2	22.70±0.64	17.49±0.84	Active
1BSM/1agar/SA2/MA3BP1	22.69±0.20	18.17±0.14	Active
1BSM/1agar/SA2/MA3BP2	22.76±0.62	18.49±0.39	Active

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



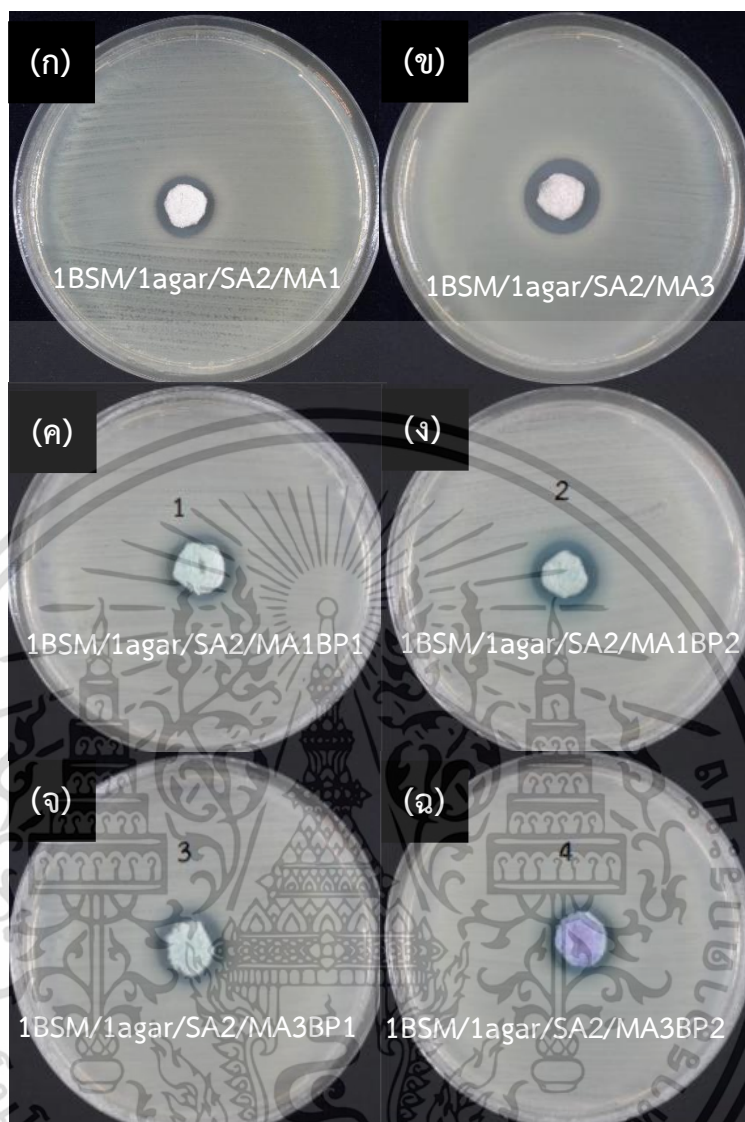
รูปที่ 4.25 ขอบเขตการยับยั้งเชื้อ *S.aureus* (ก)-(ง) และ *E.coli* (จ)-(ซ) ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ขอบเขตการยับยั้งเชื้อ *S.aureus* (ก)-(ฉ) ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 ขอบเขตการยับยั้งเชื้อ *E. coli* (ก)-(ฉ) ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัลซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบการออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก ทั้ง *S. aureus* (แกรมบวก) และ *E. coli* (แกรมลบ) พบว่าไม่แสดงขอบเขตการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียดังรูปที่ 4.25 (ก)-4.25 (จ)

จากตารางที่ 4.18 แสดงผลของการเติมกรดแมนดีลิกในวัสดุปิดแผลในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ *S. aureus* (แกรมบวก) และ *E. coli* (แกรมลบ) ซึ่งปริมาณกรดแมนดีลิกที่เติมในวัสดุปิดแผลอ้างอิงจากผลการทดสอบ MIC ที่แสดงค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย (ภาคผนวก ก) พบว่ากรดแมนดีลิกสามารถออกฤทธิ์ต้านทานเชื้อแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบ โดยแสดงขอบเขตการยับยั้งอาหารเลี้ยงเชื้อแสดงดังรูปที่ 4.25 (ข-ง)-4.25 (ฉ-ช) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu J. และคณะ ได้รายงานว่าการประกอบพีนอลิกสามารถต้านเชื้อ *S. aureus* (แกรมบวก) และ *E. coli* (แกรมลบ) ได้โดยมีความเป็นพิษต่อเซลล์และมีผลข้างเคียงต่อสิ่งมีชีวิตในระดับต่ำ [58] และเมื่อเพิ่มปริมาณกรดแมนดีลิกส่งผลให้วัสดุปิดแผลมีความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียทั้ง *S. aureus* และ *E. coli* โดยแสดงจากขอบเขตการยับยั้งอาหารเลี้ยงเชื้อ

เนื่องด้วยกรดแมนดีลิก มีความสามารถในการออกฤทธิ์ต้านทานเชื้อแบคทีเรียและเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคได้ โดยการทำปฏิกิริยากับโปรตีนและเอนไซม์ ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลายและทำให้สารภายในเซลล์ไหลออกสู่นอกเซลล์ รวมถึงความสามารถในการให้สารซึมผ่านเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยสารดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับเยื่อหุ้มเซลล์ไมโทคอนเดรียของแบคทีเรียซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้โครงสร้างของแบคทีเรียเปลี่ยนแปลง [59]

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาชนิดของแบคทีเรียที่มีผลต่อการออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของกรดแมนดีลิก พบว่าประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกมีแนวโน้มสูงกว่าแบคทีเรียแกรมลบ เนื่องจากความแตกต่างของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ ส่งผลให้ความสามารถในการแพร่ผ่านของสารยับยั้งแตกต่างกัน โดยแบคทีเรียแกรมลบมีความว่องไวต่อสารต้านเชื้อแบคทีเรียน้อยกว่าแบคทีเรียแกรมบวก เนื่องจากแบคทีเรียแกรมลบมีผนังเซลล์ 2 ชั้นและมีพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งทำหน้าที่ในการยับยั้งการซึมผ่านของสารต้านเชื้อแบคทีเรีย ในขณะที่แบคทีเรียแกรมบวกมีผนังเซลล์ 1 ชั้นที่เป็นชั้นของ เปปติโดไกลแคน ซึ่งไม่ค่อยมีความซับซ้อนส่งผลให้สารต้านเชื้อแบคทีเรียแพร่ผ่านเซลล์ได้ง่ายทำให้เซลล์ถูกทำลายและเซลล์ตาย [60]

จากตารางที่ 4.18 แสดงผลของการเติมอัญชันปริมาณต่างกันในวัสดุปิดแผลที่การต้านทานเชื้อแบคทีเรีย พบว่าวัสดุปิดแผลสามารถออกฤทธิ์ในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัญชันมีองค์ประกอบของแอนโทไซยานินที่เป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ซึ่งมีสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยสามารถกระบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโนซึ่งนำไปสู่การตายของเซลล์แบคทีเรีย รวมถึงความสามารถในการให้สารซึมผ่านเปลี่ยนแปลงไปด้วย[61] ซึ่งคล้ายคลึงกับงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ Na Nakorn P. และ Sakkayawong N. ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดพืชทางนกงู พบว่าสารสกัดจาก ส่วนดอกของพืชทางนกงูมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิกและปริมาณฟลาโวนอยด์ มากที่สุด นอกจากนี้สารสกัดดังกล่าวยังมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* (แกรม บวก) และ *E. coli* (แกรมลบ) และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงเช่นกัน [61]

#### 4.10 การทดสอบความเป็นพิษกับเซลล์ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่ ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน

การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ของตัวอย่าง ทำการทดสอบด้วยวิธี MTT assay กับเซลล์ Keratinocytes (HaCaT) ของมนุษย์ โดยนำวัสดุปิดแผลมาละลายในสารละลายบัฟเฟอร์ ฟอสเฟตที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองตัวอย่างออกและนำสารละลายที่ได้ เตรียมเป็นอาหารเลี้ยงเซลล์ จากนั้นทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และหาความเป็นพิษกับเซลล์โดยใช้สารละลาย MTT บ่มไว้ 3-6 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วย Absorbance Microplate Reader ที่ความยาวคลื่น 570 nm โดยผลการทดสอบความเป็นพิษ ต่อเซลล์ (Cytotoxicity) แสดงดังตารางที่ 4.19 และดังรูปที่ 4.28 ดังนี้

ตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบความเป็นพิษในเซลล์ HaCaT ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและ อะการ์ที่ปรับปรุงกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน

ตัวอย่าง	Cytotoxicity (%)	Cell viability (%)
Control	5.52±0.43 <sup>a</sup>	94.45±0.43 <sup>a</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA1	14.26±0.11 <sup>b</sup>	85.74±0.11 <sup>b</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA1BP1	20.07±0.02 <sup>d</sup>	79.94±0.16 <sup>c</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA1BP2	21.45±0.25 <sup>e</sup>	78.55±0.25 <sup>c</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA3	18.57±0.05 <sup>c</sup>	81.43±0.05 <sup>b</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA3BP1	20.08±0.08 <sup>d</sup>	79.92±0.08 <sup>c</sup>
1BSM/1agar/SA2/MA3BP2	21.67±0.20 <sup>e</sup>	78.33±0.02 <sup>c</sup>

หมายเหตุ Control = อาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่มีตัวอย่าง

การวิเคราะห์ผลความเป็นพิษต่อเซลล์ เป็นการวัดถึงความสามารถของเอนไซม์ของไมโทคอนเดรีย (Mitochondria enzyme) ที่เปลี่ยนสารละลาย MTT จากสีเหลืองไปเป็นสีม่วง โดยวัดค่า Optical density (OD) ด้วยเครื่อง Absorbance Microplate Reader ที่ความยาวคลื่น 570 nm ถ้าเซลล์มีชีวิตรอดจำนวนมากสามารถเพิ่มจำนวนได้ตามปกติ ค่า OD สูง จากนั้นนำค่า OD จากตัวอย่างมาเปรียบเทียบกับค่า OD ของชุดควบคุม (Control) เพื่อคำนวณหาค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ตามมาตรฐาน ISO 10993-5 ระบุไว้ว่าถ้าเซลล์มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต (Cell viability) ที่สูงมากกว่า 80% แสดงถึงวัสดุทดสอบไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตระหว่าง 60 ถึง 80% แสดงถึงวัสดุทดสอบมีความเป็นพิษต่อเซลล์เล็กน้อย เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตระหว่าง 40 ถึง 60% แสดงถึงวัสดุทดสอบมีความเป็นพิษปานกลางและถ้าเซลล์มีเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตต่ำกว่า 40% แสดงถึงวัสดุทดสอบมีความเป็นพิษต่อเซลล์อย่างรุนแรง [39]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 ภาพถ่ายการเจริญของเซลล์หลังทดสอบกับตัวอย่างของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลัก

และอาคารที่ปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.19 การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ HaCaT ของตัวอย่างวัสดุปิดแผลที่เติมและไม่เติมสารสกัดอัญชัน พบว่าตัวอย่างวัสดุปิดแผลที่ไม่เติมสารสกัดอัญชัน ไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ เซลล์ยังสามารถเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งมีอัตราการเติบโตมากกว่า 80% ตามมาตรฐาน ISO 10993-5 โดยผลที่ได้สอดคล้องกับรูปที่ 4.28 ซึ่งแสดงถึงเซลล์ยังสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้ แสดงว่าสารละลายของตัวอย่างวัสดุปิดแผลไม่มีสารประกอบที่เป็นอันตรายต่อเซลล์ จึงไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเซลล์ HaCaT ในขณะที่ตัวอย่างวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดอัญชันปริมาณแตกต่างกัน พบว่าการใช้สารสกัดอัญชันทำให้มีความเป็นพิษต่อเซลล์เล็กน้อย (60-80%) ซึ่งสังเกตได้จากค่า % Cytotoxicity และ ค่า % Cell viability ดังตารางที่ 4.17 โดยปริมาณอัญชันที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้วัสดุปิดแผลมีความเป็นพิษต่อเซลล์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งจากงานวิจัยของ Hosseini M. S. และ Nabid M. R. ได้สังเคราะห์ฟิล์มปิดแผลจากเมือกแมงลักโดยใช้กลูตารัลดีไฮด์ซึ่งมีความเป็นพิษและเป็นหนึ่งในสารก่อมะเร็งเป็นสารเชื่อมโยง ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์พบว่า เมื่อปริมาณของกลูตารัลดีไฮด์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้จำนวนเซลล์ที่มีชีวิตลดลงและเกิดการยับยั้งการเจริญของเซลล์เนื้อเยื่อไฟโบรบลาสต์ โดยฟิล์มปิดแผลมีจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตรอด 52.78% เมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง [62]

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาและศึกษาสมบัติของวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก โดยมีการเติมกรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน ซึ่งภายหลังจากการวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่าง ๆ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

1. จากการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันในโครงสร้างของวัสดุปิดแผล พบว่าหลังจากการเติมอะการ์ลงในวัสดุปิดแผลส่งผลให้ช่วงการสั่นที่ตำแหน่ง  $3200-3600\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นการสั่นของ O-H stretching และ O-H bending เกิดการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเลขคลื่นต่ำลง วัสดุปิดแผลหลังจากเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก พบว่าปรากฏพีกการสั่นของหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นใหม่ที่เลขคลื่นประมาณ  $1720-1750\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ C=O stretching ของหมู่เอสเทอร์ นอกจากนี้ช่วงการสั่นที่ตำแหน่ง  $3200-3600\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นการสั่นของ O-H stretching เกิดการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเลขคลื่นต่ำลง การเติมกรดแมนดีลิกลงในวัสดุปิดแผลส่งผลให้พีกในช่วงการสั่นของพันธะ O-H stretching มีลักษณะแคบลงและความเข้มของพีก C=O stretching มีความเข้มเพิ่มขึ้น และจากการเติมสารสกัดอัญชันลงในวัสดุปิดแผลส่งผลให้พีกของ C=O stretching และ C=C stretching มีความเข้มของสัญญาณเพิ่มขึ้นเช่นกัน

2. จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ พบว่าโครงสร้างภายในมีลักษณะเป็นรูพรุนแบบเซลล์เปิดและรูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้น หลังจากการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก พบว่าวิภาคของวัสดุปิดแผลมีความต่อเนื่องกัน รูพรุนมีความสม่ำเสมอคงรูปและผนังเซลล์แข็งแรง นอกจากนี้การเติมกรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน ไม่ทำให้โครงสร้างภายในของวัสดุปิดแผลเกิดการเปลี่ยนแปลงวิภาค รูพรุนและผนังเซลล์

3. จากการทดสอบสมบัติการบวมตัว พบว่าวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ มีแนวโน้มการบวมตัวลดลงเมื่อปริมาณของอะการ์ที่เพิ่มขึ้น โดยสามารถเรียงจากน้อยไปมากดังนี้  $0.5\text{BSM}/1.5\text{agar} < 1\text{BSM}/1\text{agar} < 1.5\text{BSM}/0.5\text{agar} < 2\text{BSM}$  ตามลำดับ หลังจากการเชื่อมโยงวัสดุปิดแผลด้วยกรดซัคซินิกและเติมกรดแมนดีลิก พบว่าวัสดุปิดแผลมีแนวโน้มการบวมตัวลดลงเมื่อปริมาณกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิกเพิ่มขึ้น โดยเรียงสามารถเรียงจากน้อยไปมากดังนี้  $1\text{BSM}/1\text{agar}/\text{S1A} < 1\text{BSM}/1\text{agar}/\text{SA2} < 1\text{BSM}/1\text{agar}/\text{SA3}$  ตามลำดับ และพบว่าวัสดุปิดแผลมีแนวโน้มการบวมตัวเพิ่มขึ้นหลังจากการเติมสารสกัดอัญชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ พบว่า ความพรุนและความสามารถในการกักเก็บน้ำของวัสดุปิดแผลลดลง หลังจากการเชื่อมโยงวัสดุปิดแผล ด้วยกรดซัคซินิกในด้านความพรุน ความสามารถในการกักเก็บน้ำและสัดส่วนเจล พบว่าเมื่อปริมาณ กรดซัคซินิกเพิ่มขึ้นส่งผลให้สัดส่วนเจลเพิ่มขึ้น แต่ความพรุนและความสามารถในการกักเก็บน้ำลดลง นอกจากนี้ การเติมกรดแมนดีลิกและสารสกัดอัลูชันลงในวัสดุปิดแผลพบว่าค่าความพรุน ความสามารถในการกักเก็บน้ำและสัดส่วนเจลมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

5. จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผล พบว่าวัสดุปิดแผลหลังจากเติมอะการ์มีค่า ความแข็งแรงดึงและมอดุลัสเพิ่มขึ้นแต่มีเปอร์เซ็นต์การดึงยืดลดลง โดยเรียงลำดับความแข็งแรงดึง จากมากไปน้อยดังนี้  $0.5\text{BSM}/1.5\text{agar} > 1\text{BSM}/1\text{agar} > 1.5\text{BSM}/0.5\text{agar} > 2\text{BSM}$  ตามลำดับ และ พบว่าวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกมีค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสเพิ่มสูงขึ้น ตาม ปริมาณของกรดซัคซินิกแต่เปอร์เซ็นต์การดึงยืดลดลง จากการเติมกรดแมนดีลิกส่งผลให้ค่าความ แข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสลดลง เปอร์เซ็นต์การดึงยืดสูงขึ้นและการเติมสารสกัดอัลูชันส่งผลให้ ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสสูงขึ้นและเปอร์เซ็นต์การดึงยืดลดลง

6. จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ พบว่า อุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุปิดแผลมี 4 ชั้นและน้ำหนักคงเหลือของวัสดุปิดแผลมีแนวโน้มลดลงเมื่อ ปริมาณอะการ์เพิ่มขึ้น ผลจากการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกพบว่ากรดซัคซินิกสามารถเพิ่มความเข้า กันได้และเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนให้วัสดุปิดแผล โดยส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวและน้ำหนัก คงเหลือเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเติมกรดแมนดีลิกทำให้อุณหภูมิการสลายตัวลดลง การเติมสารสกัด อัลูชันในวัสดุปิดแผลมีแนวโน้มของค่าอุณหภูมิการสลายตัวสูงขึ้นแต่น้ำหนักคงเหลือของเหลือ ลดลง

7. จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีและการตอบสนองต่อค่าพีเอช พบว่าการเติมสารสกัดจาก อัลูชันส่งผลให้ค่าความสว่างและ  $b^*$  มีแนวโน้มลดลงในขณะที่ค่า  $a^*$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากการ ตอบสนองต่อค่าพีเอชของวัสดุปิดแผล พบว่าวัสดุปิดแผลสามารถเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเขียวใน สารละลายบัฟเฟอร์ 4 5 6 7 และ 8 ตามลำดับ ซึ่งค่าพีเอชในช่วงนี้สามารถนำไปใช้บ่งบอกการ อักเสบและการติดเชื้อแบคทีเรียของผิวหนัง

8. จากการศึกษาสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของวัสดุปิดแผล พบว่าวัสดุปิดแผลที่เติม กรดแมนดีลิกสามารถออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวก (*S.aureus*) และแกรมลบ (*E.coli*) โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของกรดแมนดีลิกส่งผลให้ขอบเขตการยับยั้งเชื้อเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การเติมสารสกัดอัลูชันลงในวัสดุปิดแผลส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้น

9. จากการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ HaCat พบว่าวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและเติมกรดแมนดีลิกไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ และในตัวอย่างที่เติมสารสกัดอัญชัน ส่งผลให้มีค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษต่อเซลล์เล็กน้อย

จากการวิเคราะห์และทดสอบสมบัติทั้งหมดในงานวิจัยนี้ สรุปได้ว่า วัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2/MA3BP2 ให้สมบัติดีที่สุด โดยพิจารณาจากสมบัติต่อไปนี้ การบวมตัว ความสามารถในการกักเก็บน้ำและความพรุน สมบัติการเปลี่ยนแปลงสีและการตอบสนองต่อค่าพีเอช สมบัติเชิงกลและสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองและศึกษาสมบัติของวัสดุปิดแผลที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก และใช้กรดแมนดีลิกเป็นสารต้านเชื้อแบคทีเรีย สามารถนำไปพัฒนาและปรับปรุงให้ดีขึ้น ดังนี้

1. ปรับปรุงสารแอนโทไซยานินให้ยึดติดในชิ้นงานโดยใช้วิธีการตัดแปรทางเคมี
2. ลดความหนาของชิ้นงานเพื่อความเหมาะสมต่อการใช้งานจริง
3. ศึกษานำวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชพัฒนาเป็นวัสดุปิดแผลสำหรับการปลดปล่อยยา
4. การนำวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ตอบสนองต่อค่าพีเอชไปทดลองใช้งานจริง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Dutra, J. A. P., Carvalho, S. G., Zampiroli, A. C. D., Daltoé, R. D., Teixeira, R. M., Careta, F. P., & Villanova, J. C. O. 2017. "Papain wound dressings obtained from poly (vinyl alcohol)/calcium alginate blends as new pharmaceutical dosage form: Preparation and preliminary evaluation". *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 113 : 11-23.
- [2] Huang, X., Liu, Y., Chen, K., Shin, W. J., Lu, C. J., Kong, G. W., & Rogers, J. A. 2014. "Stretchable, wireless sensors and functional substrates for epidermal characterization of sweat". *Small*. 10(15) : 3083-3090.
- [3] Dargaville, T. R., Farrugia, B. L., Broadbent, J. A., Pace, S., Upton, Z., & Voelcker, N. H. 2013. "Sensors and imaging for wound healing: a review". *Biosensors and Bioelectronics*. 41 : 30-42.
- [4] Thirumalraj, B., Dhenadhayalan, N., Chen, S. M., Liu, Y. J., Chen, T. W., Liang, P. H., & Lin, K. C. 2018. "Highly sensitive fluorogenic sensing of L-Cysteine in live cells using gelatin-stabilized gold nanoparticles decorated graphene nanosheets". *Sensors and Actuators B: Chemical*. 259 : 339-346.
- [5] Khazaei, N., Esmaili, M., Djomeh, Z. E., Ghasemlou, M., & Jouki, M. 2014. "Characterization of new biodegradable edible film made from basil seed (*Ocimum basilicum L.*) gum". *Carbohydrate Polymers*. 102 : 199-206.
- [6] Keisandokht, S., Haddad, N., Garipey, Y., & Orsat, V. 2018. "Screening the microwave-assisted extraction of hydrocolloids from *Ocimum basilicum L.* seeds as a novel extraction technique compared with conventional heating-stirring extraction". *Food Hydrocolloids*. 74 : 11-22.
- [7] Tavakoli, J. 2017. "Physico-mechanical, morphological and biomedical properties of a novel natural wound dressing material". *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 65 : 373-382.

- [8] Kurd, F., Fathi, M., & Shekarchizadeh, H. 2017. "Basil seed mucilage as a new source for electrospinning: Production and physicochemical characterization". *International Journal of Biological Macromolecules*. 95 : 689-695.
- [9] ภัทรารุช มนต์วิเศษ. 2558. **เอกสารการสอนวิชา ไบโอฟอลิเมอร์**. กรุงเทพฯ : สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [10] Bao, X., Hayashi, K., Li, Y., Teramoto, A., & Abe, K. 2010. "Novel agarose and agar fibers: Fabrication and characterization". *Materials Letters*. 64(22) : 2435-2437.
- [11] Ma, X., Chang, P. R., Yu, J., & Stumborg, M. 2009. "Properties of biodegradable citric acid-modified granular starch/thermoplastic pea starch composites". *Carbohydrate Polymers*. 75(1) :1-8.
- [12] Menzel, C., Olsson, E., Plivelic, T. S., Andersson, R., Johansson, C., Kuktaite, R., & Koch, K. 2013. "Molecular structure of citric acid cross-linked starch films". *Carbohydrate Polymers*. 96(1) : 270-276.
- [13] Xu, H., Shen, L., XU, L., & Yang, Y. 2015. "Low-temperature crosslinking of proteins using non-toxic citric acid in neutral aqueous medium: Mechanism and kinetic study". *Industrial Crops and Products*. 74 : 234-240.
- [14] Thessrimuang, N. and Prachayawarakorn, J. 2019. "Development, modification and characterization of new biodegradable film from basil seed (*Ocimum basilicum* L.) mucilage." *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 99 : 5508-5515.
- [15] Siritwat, P., & Prachayawarakorn, J. 2020. "Development of wound dressings from crosslinked *Ocimum basilicum* L. seed mucilage." *The International Polymer Conference of Thailand(10) Online*. : 65-69.
- [16] Yang, X., Liu, X., Shen, K., Fu, Y., Zhang, M., Zhu, C., & Cheng, Y. 2011. "Enantioselective fluorescent recognition of mandelic acid by unsymmetrical ... salalen and salan sensors". *Organic & biomolecular chemistry*. 9(17), 6011-6021.
- [17] King, J. B., & Stickler, D. J. 1991. "An assessment of antiseptic bladder washout solutions using a physical model of the catheterized bladder". *Journal of Hospital Infection*. 18(3), 179-190.

- [18] Kumar, R., Anandjiwala, R. D., & Kumar, A. 2016. "Thermal and mechanical properties of mandelic acid-incorporated soy protein films". *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 123(2), 1273-1279.
- [19] Tang, L. P., Cheng, H. M., Cui, S. M., Wang, X. R., Song, L. Y., Zhou, W., & Li, S. J. 2018. "DL-mandelic acid intercalated Zn-Al layered double hydroxide: A novel antimicrobial layered material". *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 165, 111-117.
- [20] Amaolo, A. 2017. "The butterfly pea flower as a pH indicator". *International Scholastic Journal of Science*. 11(1) : 1-3.
- [21] สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข. 2559. "การศึกษาประสิทธิภาพและประสิทธิผลของวัสดุปิดแผลนาโนไบโอเซลลูโลสเคลือบคริสตัลเงินนาโนสีฟ้าในการรักษาแผลเบาหวานเรื้อรัง". นครปฐม : มหาวิทยาลัยมหิดล
- [22] เก่งกาจ วินัยโกศล. 2013. "Advanced Wound Dressing". ขอนแก่น : ภาควิชาศัลยศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [23] วันเฉลิม จงศิริวัฒนา. 2017. **Wound Healing**. [Online]. Availble : <https://meded.psu.ac.th>
- [24] ผศ.ทพ.ดร.สมิตรา พงษ์ศิริ. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. "บาดแผลและการหายของบาดแผล". ภาควิชาศัลยศาสตร์ช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [25] Gurtner, G. C., Werner, S., Barrandon, Y., & Longaker, M. T. 2008. "Wound repair and regeneration". *Nature*. 453 (7193) : 314-321.
- [26] วารุณี ตานันท์และสายันต์ แสงสุวรรณ. 2557. พอลิเมอร์ดูดซับน้ำมาก : การสังเคราะห์ การวิเคราะห์และการประยุกต์ใช้. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 16(2) : 63-81.
- [27] จงกล สุทธาภรณ์ จงจิต ชลิตางกูรและจีรรัตน์ งามจิริต. 2558. "การเตรียมวัสดุปิดแผลควบคุมการปลดปล่อยยาด้วยฟิล์มไฮดรอกซีเมทิลอะคริลาไมด์/อัลจินต/คาร์ราจีแนน." โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [28] ณรงค์ สิงค์บุระอุดม และเนตรนภิส เขียวขำ. 2558. ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติจากสัตว์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.elahs.ssrui.ac.th>

- [29] Sayyard, F. J. and Sakhare, S. S. 2018. "Isolation, Characterization and Evaluation of *Ocimum Basilicum* Seed Mucilage for Tableting Performance." *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 80(2) : 282-290.
- [30] Tantiwatcharothai, S., & Prachayawarakorn, J. 2020. "Property improvement of antibacterial wound dressing from basil seed (*O. basilicum* L.) mucilage-ZnO nanocomposite by borax crosslinking". *Carbohydrate Polymers*. 227 : 1-7.
- [31] Naji-Tabasi, S., & Razavi, S. M. A. 2017. "Functional properties and applications of basil seed gum: An overview". *Food Hydrocolloids*. 73 : 313-325.
- [32] Okino S, Noburyu R, Suda M, Jojima T, Inui M, Yukawa H. 2008. "An efficient succinic acid production process in a metabolically engineered *Corynebacterium glutamicum* strain." *Applied Microbiology and Biotechnology*. 81(34) : 59-64.
- [33] Fisher Scientific, Material safety data sheet succinic acid, MSDS# 22125, Revision Date 18-Jan-2018, <https://www.nanotech.ucsb.edu/SuccinicAcid99%25MSDS.pdf>
- [34] Material safety data sheet. 2004. Mandelic acid [Online]. Available : [.....https://www.ltschem.com/msds/.pdf](https://www.ltschem.com/msds/.pdf)
- [35] กิตติชัย ศรีสำแดง. 2562. "สมบัติของฟิล์มพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งข้าวเจ้าเชื่อมโยงด้วยกรดซิตริก และใช้อนุภาคโลหะออกไซด์เป็นสารต้านเชื้อแบคทีเรีย." วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [36] นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และปรีชา สุวรรณพินิจ. 2541. **ลักษณะและโครงสร้างละเอียดของแบคทีเรีย : จุลชีววิทยาทั่วไป**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [37]..Tazzini N ., 2014. **ANTHOCYANIN : DIFFINITION, FOODS, AND HEALTH BENEFITS**. [online]. Available : <https://www.tuscany-diet.net/>
- [38] Valderruten, N. E., Valverde, J. D., Zuluaga, F. and Ruiz-Durántez, E. 2014. "Synthesis and characterization of chitosan hydrogels cross-linked with dicarboxylic acids." *Reactive and Functional Polymers*. 84 : 21-28.

- [39] Zepon, K. M., Martins, M. M., Marques, M. S., Heckler, J. M., Morisso, F. D. P., Moreira, M. G., & Kanis, L. A. 2019. "Smart wound dressing based on k-carrageenan/locust bean gum/cranberry extract for monitoring bacterial infections." *Carbohydrate Polymers*. 206 : 362-370.
- [40] Tu, C., Zhang, R., Yan, C., Guo, Y., & Cui, L. 2019. "A pH indicating carboxymethyl cellulose/chitosan sponge for visual monitoring of wound healing." *Cellulose*. 26(7) : 4541-4552.
- [41] Liu, Y., Qin, Y., Bai, R., Zhang, X., Yuan, L., & Liu, J. 2019. "Preparation of pH-sensitive and antioxidant packaging films based on K-carrageenan and mulberry polyphenolic extract". *International journal of biological macromolecules*. 134: 993-1001.
- [42] Rawdkuen, S., Faseha, A., Benjakul, S., & Kaewprachu, P. 2020. "Application of anthocyanin as a color indicator in gelatin films." *Food Bioscience*. 36 : 1-8.
- [43] Yari, K., Akbari, I., & Yazdi, S. A. V. 2020. "Development and evaluation of sodium alginate-basil seeds mucilage beads as a suitable carrier for controlled release of metformin." *International Journal of Biological Macromolecules*. 159 : 1-10.
- [44] Hosseini, M. S., & Nabid, M. R. 2020. "Synthesis of chemically cross-linked hydrogel films based on basil seed (*Ocimum basilicum L.*) mucilage for wound dressing drug delivery applications." *International Journal of Biological Macromolecules*. 163 : 336-347.
- [45] Stan, C. D., Ștefanache, A. L. I. N. A., Tătăringă, G. A. B. R. I. E. L. A., Drăgan, M., & Tuchiluş, C. G. 2015. "Microbiological evaluation and preservative efficiency of new mandelic acid derivatives in ointments". *FARMACIA*. 63(4), 577-580.
- [46] Ahmad, A. N., Abdullah Lim, S., & Navaranjan, N. 2020. "Development of sago (Metroxylon sago)-based colorimetric indicator incorporated with butterfly pea (*Clitoria ternatea*) anthocyanin for intelligent food packaging". *Journal of Food Safety*. 40(4), 12807.

- [47] Kim, H. J., Roy, S., & Rhim, J. W. 2021. "Gelatin/agar-based color-indicator film integrated with Clitoria ternatea flower anthocyanin and zinc oxide nanoparticles for monitoring freshness of shrimp". *Food Hydrocolloids*. 107294.
- [48] Mohajer, S., Rezaei, M., & Hosseini, S. F. 2017. "Physico-chemical and microstructural properties of fish gelatin/agar bio-based blend films". *Carbohydrate polymers*. 157, 784-793.
- [49] Wu, Y., Geng, F., Chang, P. R., Yu, J., & Ma, X. 2009. "Effect of agar on the microstructure and performance of potato starch film". *Carbohydrate Polymers*. 76(2), 299-304.
- [50] Kumar, R., Rani, P., & Kumar, K. D. 2019. "Soy protein isolate film by incorporating mandelic acid as well as through fermentation mediated by Bacillus Subtilis". *Journal of Renewable Materials*. 7(2), 103-115.
- [51] Tarone, A. G., Cazarin, C. B. B., & Junior, M. R. M. 2020. "Anthocyanins: New techniques and challenges in microencapsulation". *Food Research International*. 133, 109092.
- [52] Yin, Z. C., Wang, Y. L., & Wang, K. 2018. "A pH-responsive composite hydrogel beads based on agar and alginate for oral drug delivery". *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 43, 12-18.
- [53] Zhao, J., Sun, C., Li, H., Dong, X., & Zhang, X. 2020. "Studies on the physicochemical properties, gelling behavior and drug release performance of agar/K-carrageenan mixed hydrogels". *International Journal of Biological Macromolecules*. 154, 878-887.
- [54] Oh, G. W., Kim, S. C., Kim, T. H., & Jung, W. K. 2021. "Characterization of an oxidized alginate-gelatin hydrogel incorporating a COS-salicylic acid conjugate for wound healing". *Carbohydrate Polymers*. 252, 117145.
- [55] Mary, S. K., Koshy, R. R., Daniel, J., Koshy, J. T., Pothan, L. A., & Thomas, S. 2020. "Development of starch based intelligent films by incorporating anthocyanins of butterfly pea flower and TiO<sub>2</sub> and their applicability as freshness sensors for prawns during storage". *RSC Advances*. 10(65), 39822-39830.

- [56] Kumar, R., & Zhang, L. 2008. “Water-induced hydrophobicity of soy protein materials containing 2, 2-diphenyl-2-hydroxyethanoic acid”. *Biomacromolecules*.9(9), 2430-2437.
- [57] Qin, Y., Liu, Y., Yuan, L., Yong, H., & Liu, J. 2019. “Preparation and characterization of antioxidant, antimicrobial and pH-sensitive films based on chitosan, silver nanoparticles and purple corn extract”. *Food Hydrocolloids* 96, 102-111.
- [58] Liu, J., Du, C., Beaman, H. T., & Monroe, M. B. B. 2020. “Characterization of phenolic acid antimicrobial and antioxidant structure–property relationships”. *Pharmaceutics*. 12(5), 419.
- [59] Tiwari, B. K., Valdramidis, V. P., O’Donnell, C. P., Muthukumarappan, K., Bourke, P., & Cullen, P. J. 2009. “Application of natural antimicrobials for food preservation”. *Journal of agricultural and food chemistry*. 57(14), 5987-6000.
- [60] Wickham, G. 2017. “An investigation into the relative resistances of common bacterial pathogens to quaternary ammonium cation disinfectants”. *Bioscience Horizons: The International Journal of Student Research*. 10.
- [61] สุภกร บุญยยืน ปาริยา ณ นครและนิรมล ศากยวงศ์. 2559. “ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดพืชนางนกยูง”. *Thai Journal of Science and Technology*. 5(1) : 20-28.
- [62] Hosseini, M. S., and Nabid, M. R. 2020. “Synthesis of chemically cross-linked hydrogel films based on basil seed (*Ocimum basilicum* L.) mucilage for dressing drug delivery applications”. *International Journal of Biological Macromolecules*. 163 : 336-347



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### ก.1 การทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ (Minimal inhibitory concentration: MIC )

นำโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* (แกรมบวก) และ *Escherichia coli* (แกรมลบ) ที่มีอายุ 24 ชั่วโมง มาเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเชื้อมาเจือจางให้ได้ความขุ่น 0.5 McFarland ก่อนนำมาทดสอบ นำผงของกรดแมนติลิกมาเจือจางด้วยอาหารเพาะเชื้อ โดยมีความเข้มข้นสุดท้าย เท่ากับ 100, 50, 25, 12.5, 6.25, 3.13, 1.56, 0.78 0.39 และ 0.20 mg/ml ตามลำดับ ปริมาตร 1 ml จากนั้นเติมเชื้อแบคทีเรียที่เตรียมไว้ลงในหลอด ปริมาตรหลอดละ 1 ml นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง ตรวจผลการหาค่า MIC โดยสังเกตหลอดที่ไม่ขุ่น อ่านค่าความเข้มข้นของสารทดสอบของหลอดนั้นเป็นค่า MIC

### ก.2 การทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ฆ่าเชื้อได้ (Minimal bactericidal concentration: MBC)

นำหลอดที่ไม่มี ความขุ่นจากการทดสอบ MIC ปริมาตร 10 µl เกลี่ยลงบนอาหารเพาะเชื้อ และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง โดยพิจารณาผลจากความเข้มข้นของกรดแมนติลิกที่สามารถฆ่าเชื้อได้โดยไม่พบการเจริญของแบคทีเรียบนจานเพาะเชื้อ

**ตารางที่ ก.1** ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและฆ่าแบคทีเรียของกรดแมนติลิก

เชื้อแบคทีเรีย	MIC/MBC (mg/ml)	
	MIC	MBC
<i>S.aureus</i>	3.13	6.25
<i>E.coli</i>	6.25	6.25

## ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 องค์การบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ปริมาณต่าง ๆ ณ เวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง

ชั่วโมง	องค์การบวมตัว (g/g)			
	2BSM	1.5BSM/0.5agar	1BSM/1agar	0.5BSM/1.5agar
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	35.69±0.5	28.35±0.2	19.35±0.5	9.96±0.4
2	37.87±0.6	28.56±0.4	19.46±0.3	10.03±0.5
3	39.75±0.6	28.94±0.6	19.39±0.6	10.07±0.7
4	40.56±0.4	29.59±0.6	20.91±0.6	10.14±0.4
5	43.79±0.6	30.69±0.9	22.63±0.9	10.20±0.2
6	45.97±0.5	33.84±0.6	22.78±0.7	10.46±0.5
24	49.70±0.6	36.01±1.2	23.54±1.3	11.00±0.7

ตารางที่ ข.2 องค์การบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกปริมาณต่าง ๆ ณ เวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง

ชั่วโมง	องค์การบวมตัว (g/g)		
	1BSM/1agar/SA1	1BSM/1agar/SA2	1BSM/1agar/SA3
0	0.00	0.00	0.00
1	17.91±0.4	17.19±0.2	15.44±0.5
2	17.99±0.4	16.86±0.2	15.61±0.6
3	18.37±0.6	17.49±0.4	16.95±0.4
4	18.61±0.6	17.97±0.6	16.94±0.3
5	19.04±0.5	17.71±0.4	16.74±0.2
6	20.60±0.2	19.53±0.6	17.29±0.2
24	21.47±0.5	19.99±0.5	19.02±0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 องค์การบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิกและกรดแมนดีลิกปริมาณต่าง ๆ ณ เวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง

ชั่วโมง	องค์การบวมตัว (g/g)		
	1BSM/1agar /SA2/MA1	1BSM/1agar /SA2/MA2	1BSM/1agar /SA2/MA3
0	0.00	0.00	0.00
1	16.21±0.5	15.33±0.5	14.35±0.3
2	16.60±0.4	15.57±0.3	14.56±0.6
3	16.45±0.3	15.49±0.2	14.38±0.5
4	16.70±0.5	15.87±0.6	14.97±0.6
5	16.96±0.6	15.77±0.7	15.23±0.7
6	17.04±0.7	16.01±0.6	15.63±0.5
24	17.83±0.4	16.83±0.6	16.03±0.4

ตารางที่ ข.4 องค์การบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักผสมอะการ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชันปริมาณต่าง ๆ ณ เวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง

ชั่วโมง	องค์การบวมตัว (g/g)			
	1BSM/1agar /SA2/MA1BP1	1BSM/1agar /SA2/MA1BP2	1BSM/1agar /SA2/MA3BP1	1BSM/1agar /SA2/MA3BP2
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	18.83±0.8	19.99±0.6	17.38±0.8	18.21±1.2
2	18.71±0.7	20.15±0.6	17.25±1.0	18.53±0.4
3	18.81±0.6	20.32±0.8	16.97±1.2	18.43±0.3
4	18.93±0.5	20.24±0.7	17.57±0.4	18.56±0.7
5	19.18±0.6	20.43±0.8	17.85±0.6	18.74±0.5
6	19.30±0.6	20.48±1.0	17.87±0.9	18.98±0.3
24	19.50±0.7	20.54±1.1	17.88±0.5	19.02±0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### ค 1 การหาปริมาณแอนโทไซยานิน ด้วยวิธี pH differentiate

#### อุปกรณ์

1. หลอดทดลอง
2. เครื่องเขย่าสารละลาย
3. ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร และ 5 มิลลิลิตร
4. ขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร

#### สารเคมี

1. โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)
2. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
3. โซเดียมอะซิเตท ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ )

#### วิธีการ

##### 1. การเตรียมบัฟเฟอร์

1.1 เตรียมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) พีเอช 1.0 ความเข้มข้น 0.025 M (เตรียม 250 มิลลิลิตร โดยชั่ง KCl 0.466 กรัม และนำไปละลายด้วยน้ำกลั่น 240 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น จนได้พีเอช 1.0 แล้วปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร)

1.2 เตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตท ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) พีเอช 4.5 ความเข้มข้น 0.4 M (เตรียม 250 มิลลิลิตร โดยชั่ง  $\text{CH}_3\text{COONa}$  13.608 กรัม และนำไปละลายด้วยน้ำกลั่น 240 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น จนได้พีเอช 4.5 แล้วปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร)

2. เจือจางสารสกัดด้วยบัฟเฟอร์พีเอช 1.0 และ 4.5 จากนั้นทิ้งไว้ 15 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างทั้งบัฟเฟอร์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (ใช้น้ำกลั่นเป็น Blank) บันทึกค่าการดูดกลืนแสง

##### 3. คำนวณปริมาณแอนโทไซยานินตามสูตร

$$\text{Total anthocyanin (mg/L)} = [A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 1000] / \text{xl}$$

โดย  $A = (A_{520} - A_{700})_{\text{pH}1} - (A_{520} - A_{700})_{\text{pH}4.5}$

MW = ค่ามวลโมเลกุลของไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ 449.2 กรัม/โมล

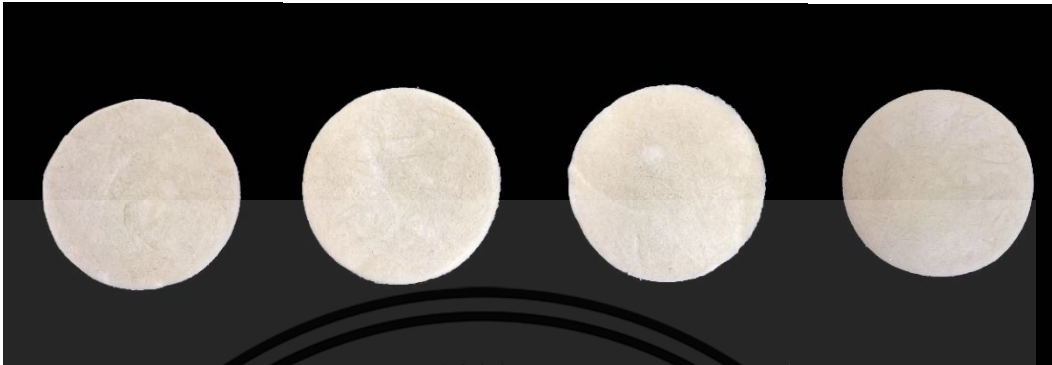
DF = การทำให้เจือจางมีค่า 100 เท่า

= 26,900 ลิตรต่อโมลต่อเซนติเมตร

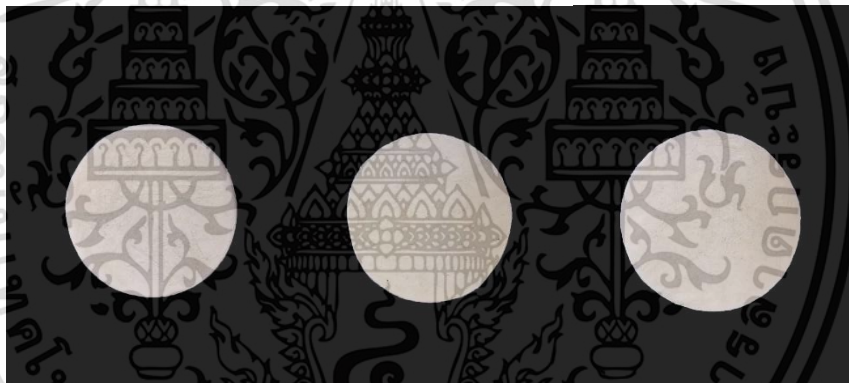
L = ขนาดความกว้างของคิวเวต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง



รูปที่ ง.1 ภาพถ่ายชิ้นงานวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ (ก) 2BSM (ข) 1.5BSM/0.5agar (ค) 1BSM/1agar และ (ง) 0.5BSM/1agar



รูปที่ ง.2 ภาพถ่ายชิ้นงานวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก (ก) 1BSM/1agar/SA1 (ข) 1BSM/1agar/SA2 และ (ค) 1BSM/1agar/SA3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



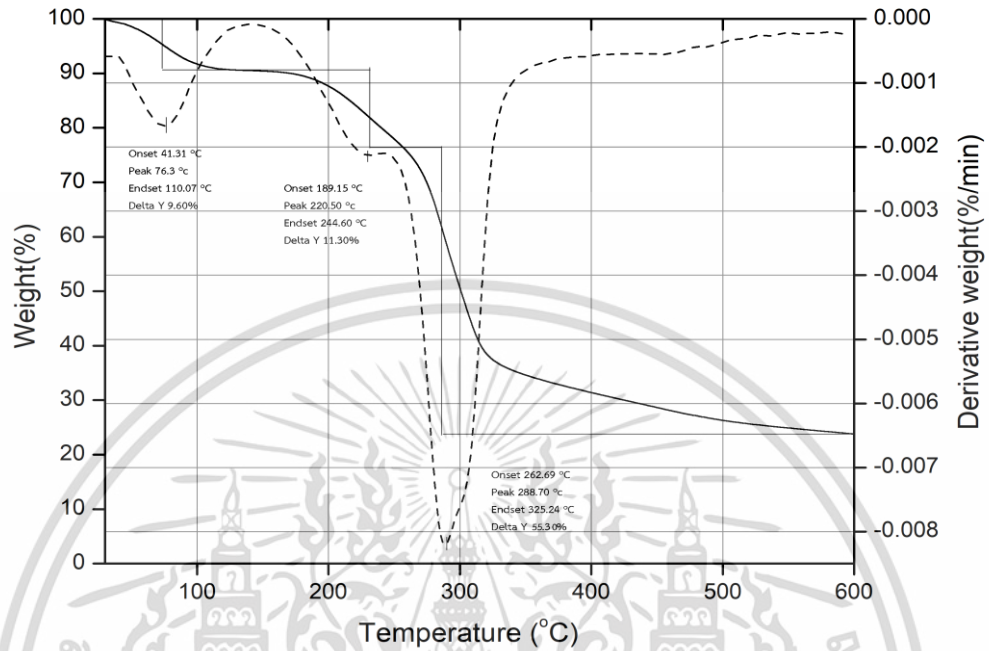
รูปที่ ง.3 ภาพถ่ายชิ้นงานวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก และกรดแมนดีลิกปริมาณต่าง ๆ (ก) 1BSM/1agar/SA1/MA1 (ข) 1BSM/1agar/SA2/MA2 และ (ค) 1BSM/1agar/SA2/MA3



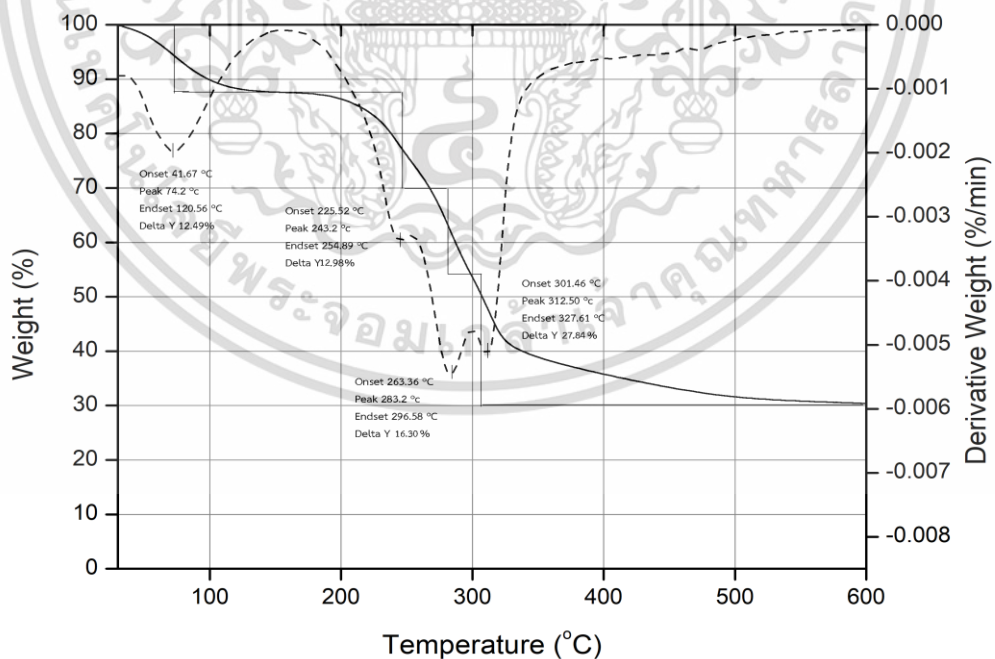
รูปที่ ง.4 ภาพถ่ายชิ้นงานวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักและอะการ์ที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก กรดแมนดีลิกและสารสกัดอัญชัน (ก) 1BSM/1agar/SA2/MA1BP1 (ข) 1BSM/1agar/SA2/MA1BP2 (ค) 1BSM/1agar/SA2/MA3BP1 และ (ง) 1BSM/1agar/SA2/MA3BP2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

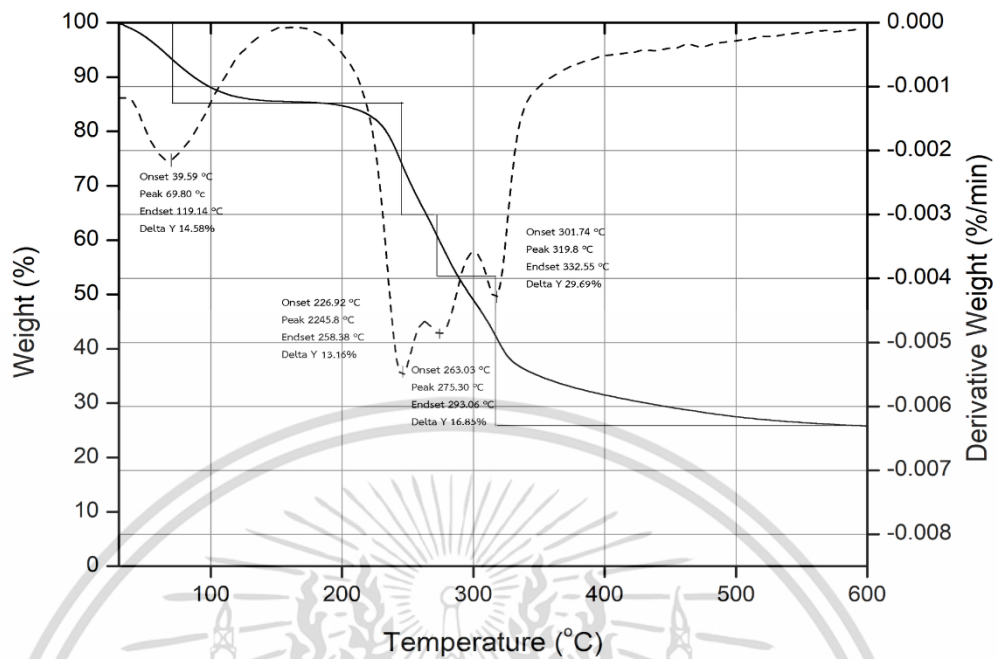


รูปที่ จ.1 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 2BSM

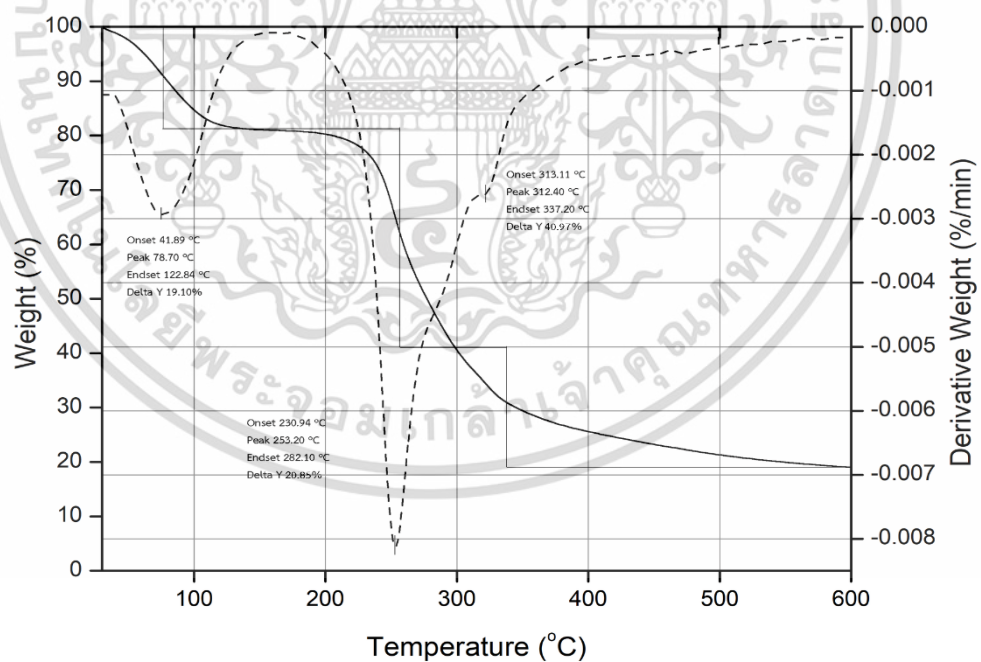


รูปที่ จ.2 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1.5BSM/0.5agar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

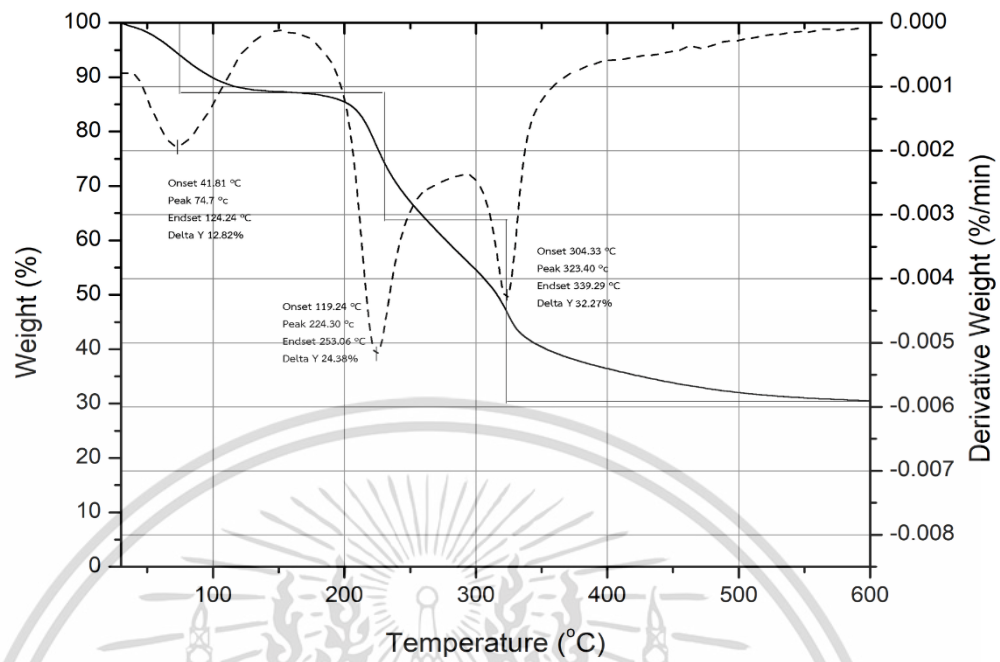


รูปที่ จ.3 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar

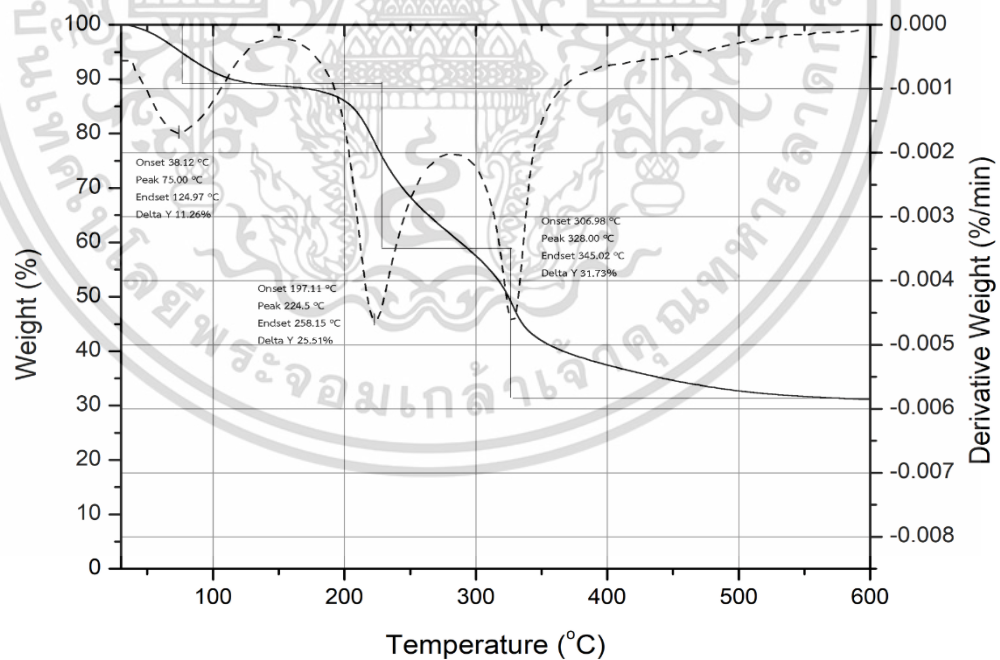


รูปที่ จ.4 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 0.5BSM/1.5agar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

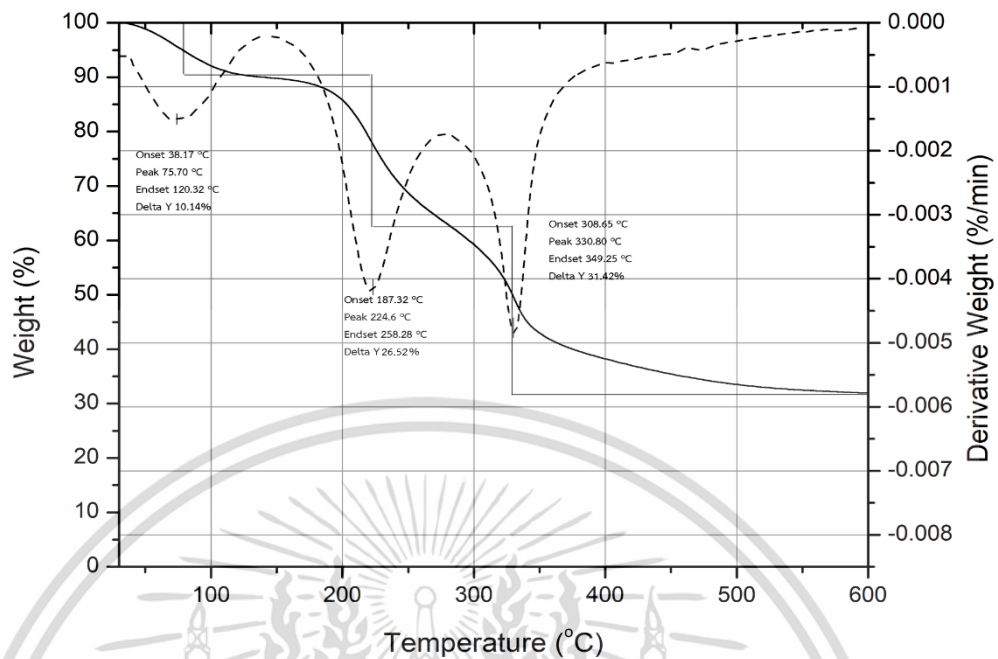


รูปที่ จ.5 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA1

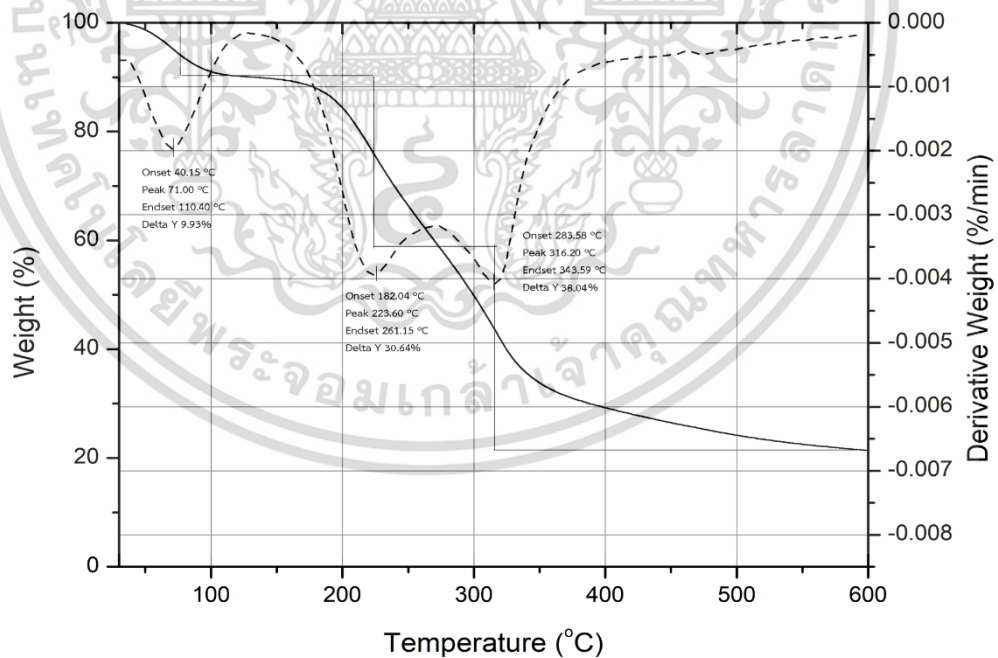


รูปที่ จ.6 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

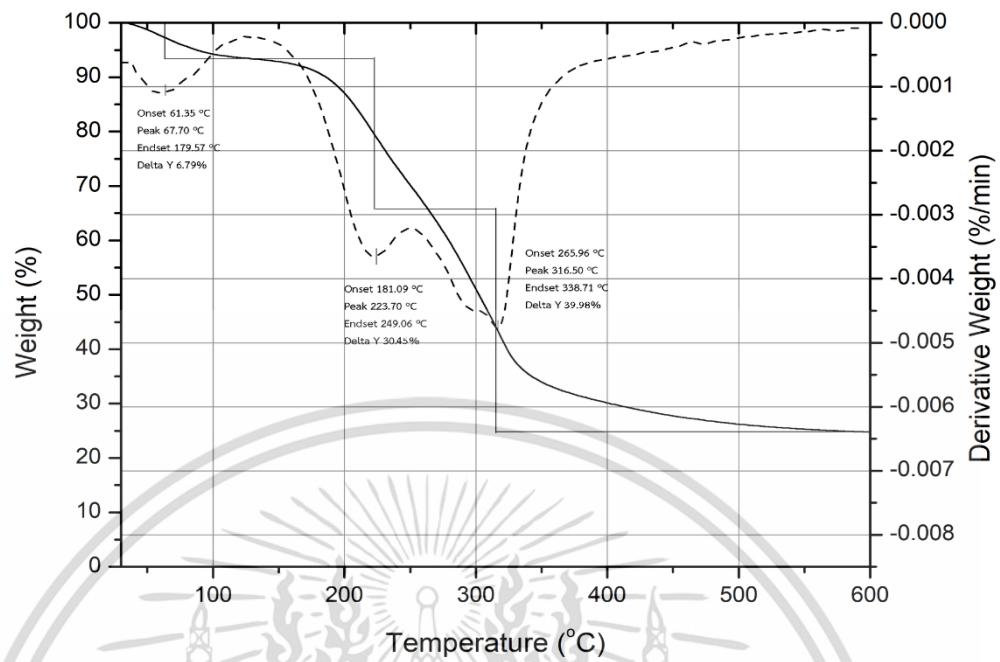


รูปที่ จ.7 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA3

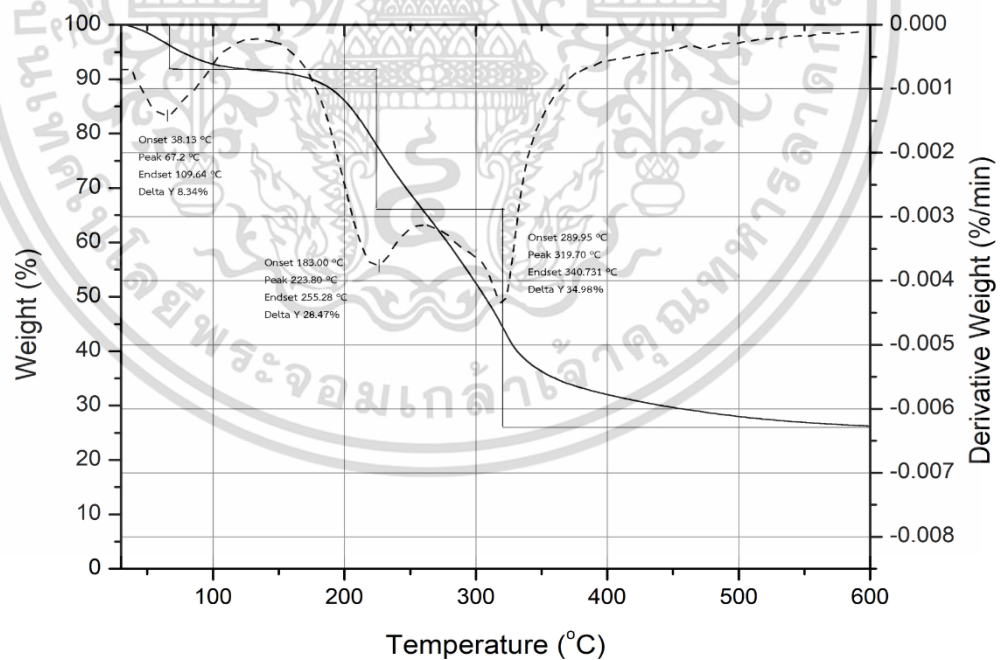


รูปที่ จ.8 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2/MA1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

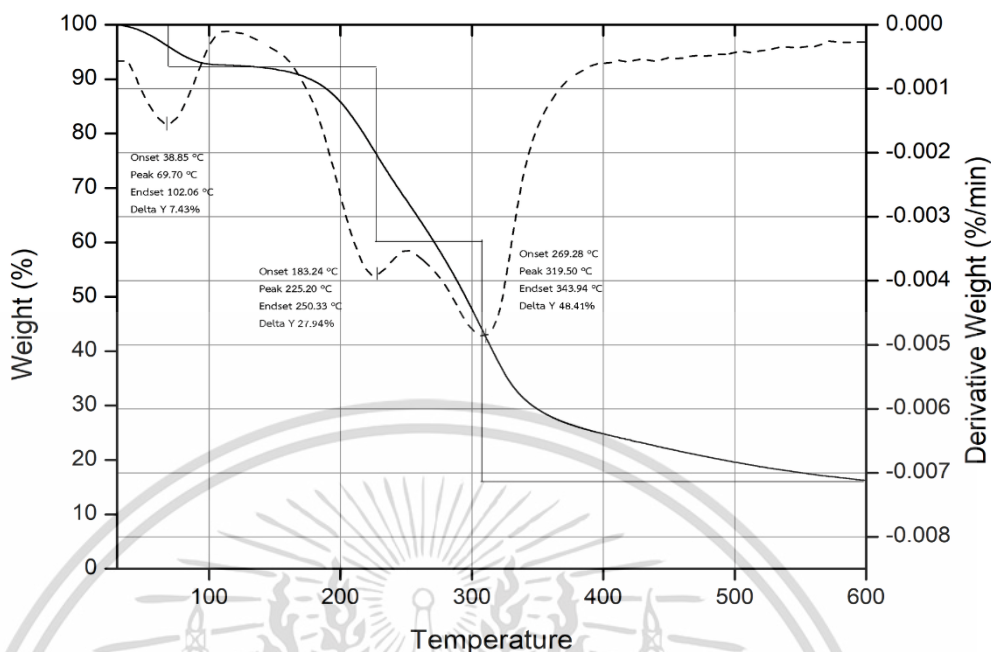


รูปที่ จ.9 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2/MA2

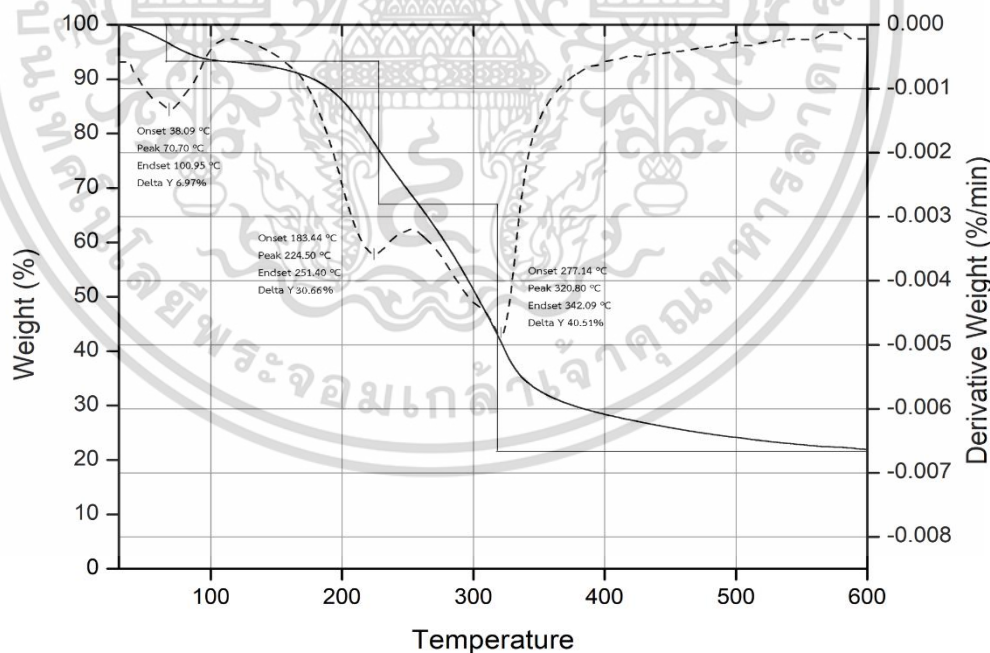


รูปที่ จ.10 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2/MA3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

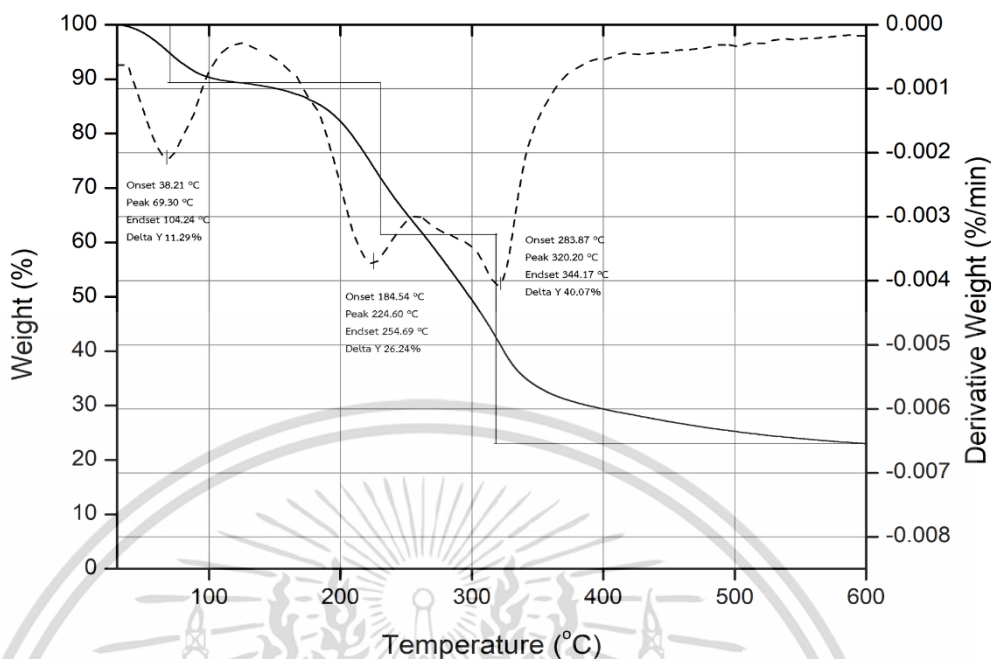


รูปที่ จ.11 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2/MA1BP1

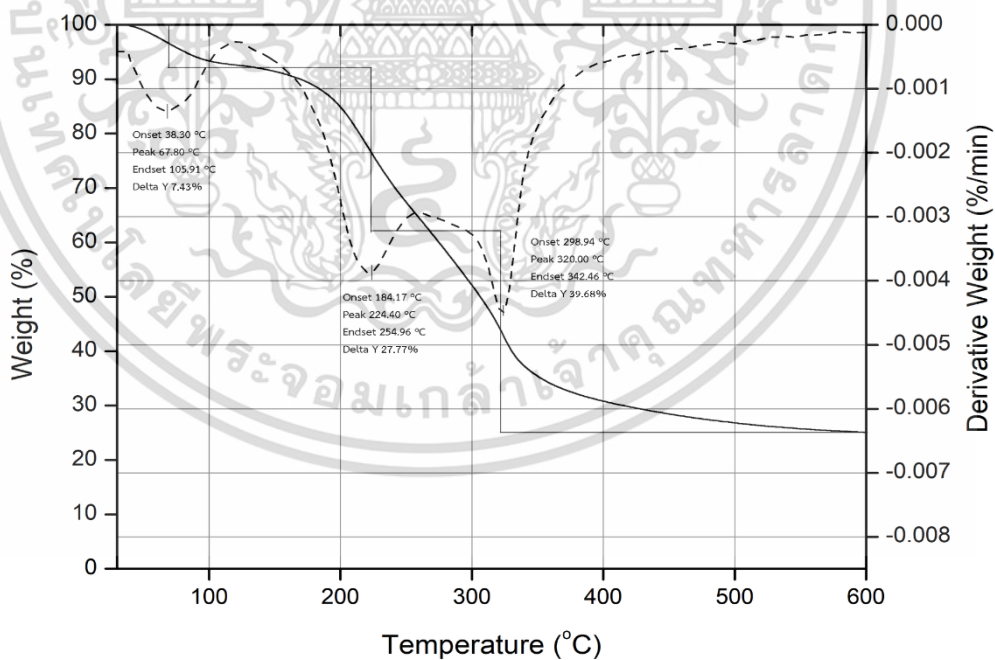


รูปที่ จ.12 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2/MA1BP2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.13 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2/MA3BP1



รูปที่ จ.14 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลสูตร 1BSM/1agar/SA2/MA3BP2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	ปณิตตา ครุฑา
วันเดือน ปีเกิด	16 ตุลาคม 2539
ภูมิลำเนา	สมุทรปราการ
ที่อยู่ปัจจุบัน	156 หมู่ 4 ตำบล นาเกลือ อำเภอ พระสมุทรเจดีย์ จังหวัด สมุทรปราการ 10290
ประวัติการศึกษา	- ระดับมัธยมต้น-ปลาย โรงเรียนป้อมนาคราชสวาทยานนท์ จ.สมุทรปราการ - ระดับปริญญาตรี (วท.บ. เคมีอุตสาหกรรม) สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง - ระดับปริญญาโท (วท.ม. เทคโนโลยีพอลิเมอร์) สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานทางวิชาการ	- Pannita K. and Prachayawarakorn J. 2021. “Property improvement of wound dressings prepared from <i>Ocimum Basilicum</i> L. seed mucilage modified by agar and succinic acid” The Proceeding of The International Polymer Conference of Thailand 2021 (PCT-11). 78-81.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้