

การพัฒนาวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงผสมสารสกัดว่านหางจระเข้

DEVELOPMENT OF WOUND DRESSING FROM CROSSLINKED
OCIMUM BASILICUM L. SEED MUCILAGE AND
ALOE VERA EXTRACT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2564

KMITL-2021-SC-M-012-046

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF WOUND DRESSING FROM CROSSLINKED
OCIMUM BASILICUM L. SEED MUCILAGE AND
ALOE VERA EXTRACT



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
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2021

KMITL-2021-SC-M-012-046

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงผสมสารสกัด ว่านหางจระเข้
ชื่อนักศึกษา	ปิยพล ศิริวัฒน์
รหัสประจำตัว	61605069
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพอลิเมอร์)
ภาควิชา	เคมี
พ.ศ.	2564
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลัก (BSM) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้สูง อย่างไรก็ตามวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักมีความคงตัวต่ำ สมบัติเชิงกลต่ำและไม่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ ดังนั้นจึงทำการเชื่อมโยงเมือกแมงลักด้วยกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ได้แก่ กรดมาโลนิก (MA) กรดซัคซินิก (SA) และกรดกลูตาริก (GA) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุปิดแผล โดยวัสดุปิดแผลเชื่อมโยงถูกขึ้นรูปด้วยวิธีการทำแห้งเยือกแข็ง โครงสร้างทางเคมีของวัสดุปิดแผลเชื่อมโยงแสดงให้เห็นความเข้มข้นของหมู่ไฮดรอกซิลลดลงและการปรากฏขึ้นของพันธะเอสเทอร์ซึ่งตรวจพิสูจน์โดย FT-IR จากเทคนิค SEM พบว่าวัสดุปิดแผลเชื่อมโยงมีโครงสร้างแบบรูพรุน นอกจากนี้สมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลดีขึ้นหลังจากเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ แต่การบวมตัว ความพรุน และการกักเก็บน้ำลดลง การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA บ่งชี้ว่าเสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุปิดแผลหลังเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ดีขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวข้างต้นสอดคล้องกับอิทธิพลความยาวสายโซ่ของโมเลกุลกรดอินทรีย์ นอกจากนี้ยังได้ทดสอบสมบัติของวัสดุปิดแผล BSM ที่เชื่อมโยงหลังจากผสมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่มีความเข้มข้นต่างกัน 6.25% (AV1) และ 12.5% (AV2) สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผล BSM เชื่อมโยงซึ่งเติม AV1 และ AV2 พบว่าผลคล้ายคลึงกับวัสดุปิดแผลเชื่อมโยงที่ไม่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ อย่างไรก็ตามวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดจากว่านหางจระเข้มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียอย่างชัดเจนต่อ *Staphylococcus aureus* (แกรมบวก) และ *Pseudomonas aeruginosa* (แกรมลบ) และจากการทดสอบความเป็นพิษกับเซลล์พบว่าสารสกัดว่านหางจระเข้ทั้งสองความเข้มข้นที่เติมในวัสดุปิดแผล BSM เชื่อมโยงไม่แสดงความเป็นพิษต่อเซลล์เคราตินไนไซต์ของมนุษย์ (HaCaT)

คำสำคัญ : การเชื่อมขวาง การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เมือกแมงลัก วัสดุปิดแผล ว่านหางจระเข้

Thesis Title	Development of wound dressing from crosslinked <i>Ocimum Basilicum</i> L. seed mucilage and Aloe vera extract
Student Name	Piyapol Siriwat
Student ID	61605069
Degree	Master of Science (Polymer Technology)
Department	Chemistry
Year	2021
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Jutarat Prachayawarakorn

Abstract

This research related to the preparation of wound dressing from basil seed mucilage (BSM), a polysaccharide that showed high water holding capacity. However, the wound dressings from BSM presented weak dimensional stability, low mechanical properties and no antibacterial activity. Therefore, crosslinking of BSM was carried out with different organic acids, namely malonic acid (MA), succinic acid (SA) and glutaric acid (GA) in order to increase the strength of the material. The crosslinked BSM wound dressing was prepared by freeze-drying method. The chemical structure of the crosslinked BSM wound dressings showed a decrease in the peak intensity of hydroxyl groups and the presence of ester bonds were characterized by FT-IR. Porous structure of the crosslinked BSM wound dressings were observed from SEM technique. Moreover, mechanical properties of the wound dressings were improved after crosslinking with organic acids but swelling, porosity and water retention were reduced. Thermal properties analysis by TGA technique indicated that thermal stability of the acid crosslinked BSM wound dressings was improved. The above results corresponded to the influence on the chain length of the organic acid molecules. In addition, the properties of the crosslinked BSM wound dressing were examined after the incorporation of aloe vera extract (AV) with different concentrations of 6.25% (AV1) and 12.5% (AV2). The physical properties of acid crosslinked BSM wound dressing with AV1 and AV2 were similar to these of the crosslinked BSM without AV. However, the wound dressings containing aloe vera extract clearly represented antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* (gram-positive) and *Pseudomonas aeruginosa*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(gram-negative). For cytotoxicity tests, both concentrations of the applied aloe vera extract in the acid crosslinked BSM wound dressings showed non-cytotoxicity to human keratinocytes (HaCaT).

Keywords : Aloe vera, Antibacterial activity, Basil seed mucilage, Crosslinking, Wound dressing



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้บรรลุผลสำเร็จได้ด้วยดีเนื่องจากการได้รับความช่วยเหลือ คำปรึกษา ตลอดจนคำแนะนำจากบุคคลต่างๆ อันเป็นประโยชน์และประสบการณ์ที่ดียิ่งแก่ตัวข้าพเจ้า ดังต่อไปนี้
ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา คำแนะนำ และคอยดูแลเอาใจใส่ข้าพเจ้ามาโดยตลอดในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย และผศ.ดร. ชิตชนก มีใจชื่อ คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำ และตรวจทานแก้ไขให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

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

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ภาควิชาเคมีทุกคน ที่เป็นกำลังใจสำคัญ คอยช่วยเหลือ และให้คำแนะนำให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือซึ่งมิได้กล่าวถึงอีกมากมาย ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

นายปิยพล ศิริวัฒน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กระบวนการสมานแผล.....	4
2.1.1 ระยะเวลาห้ามเลือด.....	4
2.1.2 ระยะเวลาอักเสบ.....	4
2.1.3 ระยะเวลาสร้างเส้นใยเนื้อเยื่อหรือระยะงอกขยาย.....	4
2.1.4 ระยะเวลาเนื้อเยื่อเจริญเต็มที่หรือระยะปรับตัว.....	5
2.2 วัสดุปิดแผล (Wound dressing).....	5
2.2.1 สมบัติของวัสดุปิดแผล.....	6
2.2.2 ชนิดของวัสดุปิดแผล.....	6
2.2.2.1 วัสดุปิดแผลปฐมภูมิ (Primary wound dressing).....	6
2.2.2.2 วัสดุปิดแผลทุติยภูมิ (Secondary wound dressings).....	6
2.3 วัสดุไฮโดรเจล.....	7
2.3.1 สมบัติที่สำคัญของไฮโดรเจล.....	7
2.3.1.1 การดูดน้ำของไฮโดรเจล.....	7
2.3.1.2 การดูดซับโลหะหนัก.....	8
2.3.2 วิธีเตรียมไฮโดรเจล.....	8
2.3.2.1 การเชื่อมโยงทางกายภาพ (Physical crosslinking).....	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 การเชื่อมโยงทางเคมี (Chemical crosslinking).....	10
2.3.2.3 การเชื่อมโยงด้วยการฉายรังสี (Radiation crosslinking).....	11
2.3.3 การประยุกต์ใช้งานไฮโดรเจลในด้านต่าง ๆ.....	13
2.3.3.1 ระบบนำส่งยา (Drug delivery).....	13
2.3.3.2 วิศวกรรมเนื้อเยื่อ (Tissue engineering).....	13
2.3.3.3 วัสดุปิดแผล (Wound dressing).....	14
2.3.3.4 การบำบัดน้ำเสีย (Water treatment).....	14
2.3.3.5 การประยุกต์ใช้ในการเกษตร (Agricultural application).....	14
2.4 สารเมือกจากธรรมชาติ (Natural mucilage).....	15
2.4.1 การแยกและการทำให้บริสุทธิ์ของเมือก.....	15
2.4.2 การประยุกต์ใช้ทางเภสัชกรรมของเมือก.....	15
2.5 เมล็ดแมงลัก (Basil seeds).....	16
2.6 เมือกแมงลัก (Basil seed mucilage).....	17
2.7 กรดมาโลนิค (Malonic acid).....	18
2.8 กรดซัคซินิก (Succinic acid).....	18
2.9 กรดกลูตาริก (Glutaric acid).....	19
2.10 สารต้านจุลชีพจากธรรมชาติ (Natural antibiotics).....	20
2.10.1 สารประกอบอัลคาลอยด์ (Alkaloids).....	21
2.10.2 สารประกอบออร์กาโนซัลเฟอร์ (Organosulfur compounds).....	21
2.10.3 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds).....	21
2.10.4 สารประกอบคูมาริน (Coumarins).....	21
2.10.5 สารประกอบเทอร์เพน (Terpenes).....	21
2.10.6 สารประกอบแอนทราควิโนน (Anthraquinone).....	22
2.11 ว่านหางจระเข้ (Aloe vera).....	22
2.11.1 องค์ประกอบทางเคมีของว่านหางจระเข้.....	23
2.11.2 ประโยชน์ของว่านหางจระเข้.....	23
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	29
3.1 สารเคมี.....	29
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	29
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	30
3.3.1 การสกัดเมือกจากเมล็ดแมงลัก.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2	เตรียมสารสกัดจากว่านหางจระเข้.....	30
3.3.3	การเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลัก.....	31
3.3.4	การเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยง.....	31
3.3.5	การเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงผสมสารสกัด ว่านหางจระเข้.....	31
3.4	การตรวจสอบสมบัติของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลัก.....	36
3.4.1	สัณฐานวิทยา.....	36
3.4.2	ตรวจวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี.....	36
3.4.3	สัดส่วนเจล (Gel fraction).....	36
3.4.4	ความพรุน (Porosity).....	36
3.4.5	การบวมตัว.....	36
3.4.6	ความสามารถในการกักเก็บน้ำ.....	37
3.4.7	การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	37
3.4.8	สมบัติทางความร้อน.....	37
3.4.9	สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย.....	37
3.4.10	ความเป็นพิษต่อเซลล์.....	38
3.4.11	วิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	38
บทที่ 4	ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	39
4.1	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR.....	42
4.1.1	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของวัสดุปิดแผลเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรด อินทรีย์.....	42
4.1.2	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของวัสดุปิดแผลเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรด อินทรีย์ที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้.....	44
4.2	สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลัก.....	46
4.2.1	สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรด อินทรีย์.....	46
4.2.2	สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรด อินทรีย์ที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้.....	47
4.3	การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM).....	48
4.3.1	สัณฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์.....	48
4.3.2	สัณฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่เติม สารสกัดว่านหางจระเข้.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบสมบัติการบวมตัว.....	53
4.4.1 สมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดจากแผ่นเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์.....	53
4.4.2 สมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้.....	54
4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	56
4.5.1 สมบัติเชิงกลของวัสดุปิดจากแผ่นเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์....	56
4.5.2 สมบัติเชิงกลของวัสดุปิดผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้.....	57
4.6 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA).....	59
4.6.1 สมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดจากแผ่นเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์.....	59
4.6.2 สมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้.....	61
4.7 การทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย.....	65
4.8 การทดสอบความเป็นพิษกับเซลล์.....	71
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	77
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	77
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	79
เอกสารอ้างอิง.....	80
ภาคผนวก.....	88
ภาคผนวก ก.....	89
ภาคผนวก ข.....	91
ภาคผนวก ค.....	93
ภาคผนวก ง.....	94
ภาคผนวก จ.....	100
ภาคผนวก ฉ.....	106
ประวัติผู้เขียน.....	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์ของแมงลัก.....	16
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมือกแมงลัก.....	17
2.3 การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์ของว่านหางจระเข้.....	22
3.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมือกแมงลัก.....	29
3.2 ปริมาณส่วนผสมในแต่ละสูตร.....	33
4.1 อักษรย่อสูตรวัสดุปิดแผลเมือกแมงลักเชื่อมโยงที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	39
4.2 หมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏในวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงที่เตรียมได้.....	42
4.3 สัดส่วนเจล ความพรุน และความสามารถในการกักเก็บน้ำของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงและไม่เชื่อมโยงด้วยกรดชนิดต่างๆ.....	50
4.4 สัดส่วนเจล ความพรุน และความสามารถในการกักเก็บน้ำของวัสดุปิดแผลเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%.....	51
4.5 สัดส่วนความเป็นเจล ความพรุน และความสามารถในการกักเก็บน้ำของวัสดุปิดแผลเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%.....	51
4.6 สมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงและไม่เชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์.....	56
4.7 สมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักไม่เติมและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	57
4.8 อุณหภูมิการสลายตัวและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักขององค์ประกอบของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงและไม่เชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์.....	60
4.9 อุณหภูมิการสลายตัวและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักขององค์ประกอบของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงและไม่เชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	64
4.10 สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่ไม่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้.....	65
4.11 สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ 6.25%.....	65
4.12 สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ 12.5%.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.13	ผลการทดสอบความเป็นพิษในเซลล์ HaCaT ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลัก เชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์.....	71
4.14	ผลการทดสอบความเป็นพิษในเซลล์ HaCaT ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลัก เชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้.....	72
ก.1	ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและฆ่าแบคทีเรีย ของสารสกัดหยาบว่านหางจระเข้.....	89
ก.2	ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยสารสกัดหยาบของว่านหางจระเข้ด้วย เอทานอล.....	90
ข.1	องค์การบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักไม่เชื่อมโยงและเชื่อมโยงด้วยกรด ชนิดต่างๆ ณ เวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง.....	91
ข.2	องค์การบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ ความเข้มข้น 6.25% ณ เวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง.....	91
ข.3	องค์การบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ ความเข้มข้น 12.5% ณ เวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง.....	92
ฉ.1	การประมาณราคาวัสดุปิดแผลเชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิกและเติมสารสกัด ว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%.....	106
ฉ.2	การประมาณราคาวัสดุปิดแผลเชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิกและเติมสารสกัด ว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%.....	106
ฉ.3	การประมาณราคาวัสดุปิดแผลเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและเติมสารสกัด ว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%.....	107
ฉ.4	การประมาณราคาวัสดุปิดแผลเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและเติมสารสกัด ว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%.....	107
ฉ.5	การประมาณราคาวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริกและเติมสารสกัด ว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%.....	108
ฉ.6	การประมาณราคาวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริกและเติมสารสกัด ว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%.....	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กระบวนการสมานแผลทั้ง 4 ระยะ.....	5
2.2	การประยุกต์ใช้ไฮโดรเจลในงานต่าง ๆ.....	7
2.3	แผนภาพของโครงสร้าง 3 มิติของไฮโดรเจล เมื่อแช่ในตัวทำละลาย.....	8
2.4	การเชื่อมขวางอัลจินเตดด้วย Ca^{2+} และโครงสร้าง "Egg box".....	9
2.5	การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิเมอร์แอนไอออนิกและพอลิเมอร์แคทไอออนิก.....	10
2.6	การก่อตัวของโครงสร้างไฮโดรเจลจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล.....	10
2.7	การเชื่อมขวางทางเคมีภายในวัสดุ.....	11
2.8	การฉายรังสี UV ทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันสำหรับการสังเคราะห์ไฮโดรเจล.....	12
2.9	โครงสร้างของกลูโคแมนแนน (Glucomanan).....	17
2.10	โครงสร้างของไซแลน (Xylan).....	17
2.11	โครงสร้างของกรดมาโลนิค (Malonic acid).....	18
2.12	โครงสร้างของกรดซักซินิก (Succinic acid).....	19
2.13	โครงสร้างของกรดกลูตาริก (Glutaric acid).....	20
2.14	ภาคตัดขวางใบบัว่านทางจระเข้.....	23
3.1	แผนภาพแสดงการเตรียมและการทดสอบวัสดุปิดแผลในสูตรต่าง ๆ.....	34
3.2	แผนภาพแสดงการเตรียมและการทดสอบวัสดุปิดแผลที่ผสมสารสกัดบัว่านทางจระเข้ในสูตรต่าง ๆ.....	35
4.1	อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิค และสารสกัดบัว่านทางจระเข้.....	40
4.2	อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดซักซินิก และสารสกัดบัว่านทางจระเข้.....	41
4.3	อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรด กลูตาริก และสารสกัดบัว่านทางจระเข้.....	42
4.4	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงและไม่เชื่อมโยงด้วยกรดชนิดต่างๆ.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%.....	44
4.6	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%.....	45
4.7	ภาพถ่ายภาคตัดขวางของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงและไม่ผ่านการเชื่อมโยงที่กำลังขยาย 200 เท่า.....	46
4.8	ภาพถ่ายภาคตัดขวางของวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25% ที่กำลังขยาย 200 เท่า.....	48
4.9	ภาพถ่ายภาคตัดขวางของวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5% ที่กำลังขยาย 200 เท่า.....	49
4.10	องค์การบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักไม่เชื่อมโยงและเชื่อมโยงด้วยกรดชนิดต่างๆ.....	52
4.11	องค์การบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ (ก) ความเข้มข้น 6.25% และ (ข) ความเข้มข้น 12.5%.....	54
4.12	เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักไม่เชื่อมโยงและเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์.....	59
4.13	เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%.....	62
4.14	เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%.....	63
4.15	ขอบเขตการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย <i>S. aureus</i> (ก)-(ง) ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่ไม่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้.....	66
4.16	ขอบเขตการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย <i>P. aeruginosa</i> (ก)-(ง) ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์.....	67
4.17	ขอบเขตการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย <i>S. aureus</i> (ก)-(ง) และ <i>P. aeruginosa</i> (จ)-(ซ) ของวัสดุปิดแผลเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%.....	68
4.18	ขอบเขตการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย <i>S. aureus</i> (ก)-(ง) และ <i>P. aeruginosa</i> (จ)-(ซ) ของวัสดุปิดแผลเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%.....	69
4.19	ภาพถ่ายการเจริญของเซลล์หลังทดสอบกับตัวอย่างของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์.....	73
4.20	ภาพถ่ายการเจริญของเซลล์ของตัวอย่างวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ (ก) Control และ (ข)-(จ) สารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.21	ภาพถ่ายการเจริญของเซลล์ของตัวอย่างวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ (ก) Control และ (ข)-(จ) สารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%.....	75
ค.1	ภาพถ่ายชิ้นงานวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยง.....	93
ค.2	ภาพถ่ายชิ้นงานวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%.....	93
ค.3	ภาพถ่ายชิ้นงานวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%.....	93
ง.1	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยง.....	94
ง.2	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิก.....	94
ง.3	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก.....	95
ง.4	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริก.....	95
ง.5	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยงและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%.....	96
ง.6	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%.....	96
ง.7	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%.....	97
ง.8	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%.....	97
ง.9	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยงและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%.....	98
ง.10	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%.....	98
ง.11	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%.....	99
ง.12	อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%.....	99
จ.1	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยง.....	100
จ.2	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิก.....	100
จ.3	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก.....	101
จ.4	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริก.....	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.5	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยงและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%.....	102
จ.6	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%.....	102
จ.7	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%.....	103
จ.8	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%.....	103
จ.9	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยงและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%.....	104
จ.10	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%.....	104
จ.11	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%.....	105
จ.12	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%.....	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วัสดุปิดแผลมีความสำคัญมากต่อกระบวนการรักษาและฟื้นฟูบาดแผล โดยเฉพาะผู้ป่วยที่มีแผลเรื้อรังหรือแผลเบาหวาน ซึ่งอาจรุนแรงจนนำไปสู่การติดเชื้อและสูญเสียอวัยวะได้ วัสดุปิดแผลหรือวัสดุตกแต่งแผลจึงมีหน้าที่ปกป้องบาดแผล สร้างสภาพที่เหมาะสมต่อการซ่อมแซมเนื้อเยื่อ ลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการรักษาบาดแผลเนื่องจากใช้เวลาน้อยลง วัสดุปิดแผลสมัยใหม่ได้รับการพัฒนาให้เป็นมากกว่าการปกปิดบาดแผล โดยคำนึงถึงความเข้ากันได้ทางชีวภาพ ป้องกันการติดเชื้อและไม่มีความเป็นพิษ [1] ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาพอลิเมอร์จากธรรมชาติได้รับการพัฒนาและนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะเทคโนโลยีทางชีวการแพทย์ วัสดุจากธรรมชาตินั้นมีข้อได้เปรียบมากกว่าวัสดุสังเคราะห์เนื่องจากมีราคาถูกและสามารถย่อยสลายได้ง่าย นอกจากนี้ยังมีความคล้ายคลึงกับองค์ประกอบของเซลล์จึงหลีกเลี่ยงการกระตุ้นปฏิกิริยาการอักเสบทำให้ไม่มีความเป็นพิษ [2] ปัจจุบันพอลิเมอร์ธรรมชาติจากเมือก (Mucilage) ของเยื่อหุ้มเมล็ดพืช เช่น เมล็ดแฟลกซ์ (Flax seed) เมล็ดเจีย (Chia seed) และเมล็ดมัสตาร์ด (Mustard seed) เป็นต้น มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมยา โดยนำมาใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารแขวนลอย สารยึดเกาะ และอื่นๆ เป็นต้น [3-4]

แมงลัก (*Ocimum basilicum L.*) เป็นพืชล้มลุกในสกุลโหระพา มักนำไปและเมล็ดไปประกอบอาหาร ซึ่งเมล็ดของแมงลักมีสารเมือกอยู่เป็นชั้นโดยรอบเมล็ด เมือกแมงลักประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์หลายชนิด คือ กลูโคแมนแนน (Glucomannan) เป็นองค์ประกอบหลัก (43%) ไซแลน (Xylan) (24%) เซลลูโลส (Cellulose) และกรดยูโรนิก (Uronic acid) [5] เมื่อแช่น้ำสามารถดูดซับน้ำและพองตัวได้มากถึง 45 เท่า จึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจในการผลิตเป็นวัสดุปิดแผลในการดูดซับสารคัดหลั่งจากบาดแผล แต่เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติจึงมีความเสถียรต่ำและสมบัติเชิงกลที่ไม่ดี ดังนั้นการเชื่อมขวาง (Crosslinking) จึงถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติการใช้งาน สารเชื่อมโยงธรรมชาติอย่างเช่น กรดมาโลนิก (Malonic acid) กรดซัคซินิก (Succinic acid) และกรดกลูตาริก (Glutaric acid) เป็นกรดอินทรีย์ที่ได้จากการสังเคราะห์ในระหว่างการผลิตหมักผักและผลไม้โดยจุลินทรีย์ การเชื่อมขวางสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ชีวภาพได้ [6]

ในงานวิจัยของ Tantiwatcharothai S. และ Prachayawarakorn J. ซึ่งได้พัฒนาวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมขวางด้วยบอแรกซ์ (Borax) ผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO nanoparticle) พบว่าวัสดุปิดแผลมีความคงตัวมากขึ้นและสมบัติเชิงกลดีขึ้นจากการเชื่อมขวางด้วยบอแรกซ์ [7]

วัสดุปิดแผลที่ดีนอกจากรักษาสภาพที่เหมาะสมต่อการสมานแผลแล้วควรป้องกันการติดเชื้อจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายนอกเข้าสู่แผลด้วย ดังนั้นสารสกัดจากธรรมชาติจึงถูกนำมาใช้ในวัสดุปิดแผลเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ

ว่านหางจระเข้ (*Aloe barbadensis* Mill.) เป็นพืชสมุนไพรที่มีการใช้กันตั้งแต่อดีต จากการศึกษาในปัจจุบันพบว่าว่านหางจระเข้มีสมบัติในการรักษาบาดแผล เช่น การกระตุ้นภูมิคุ้มกัน ฤทธิ์ต้าน การอักเสบ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ช่วยฟื้นฟูบาดแผลและต้านแบคทีเรีย ซึ่งงานวิจัยของ Halima B. และคณะรายงานว่าสารสกัดด้วยเอทานอลในส่วนเนื้อเจลของว่านหางจระเข้มีฤทธิ์ยับยั้ง เชื้อแบคทีเรีย *S. aureus*, *S. pyogenes*, *S. saprophyticus*, *S. pneumonia* (แกรมบวก) และ *E. coli*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae* (แกรมลบ) และงานวิจัยของ Jithendra P. และคณะได้ ทำการเตรียมโครงสร้างเซลล์จากคอลลาเจน-โคโตซานผสมว่านหางจระเข้พบว่าสูตรที่มีว่านหาง-จระเข้ช่วยเพิ่มการแบ่งเซลล์เนื้อเยื่อ [8-9]

งานวิจัยนี้จึงเป็นการพัฒนาและศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ผ่านการเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่แตกต่างกัน คือ กรดมาโลนิก กรดซัคซินิก และกรดกลูตาริก โดยตรวจวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR และลักษณะทางกายภาพด้วย SEM และศึกษาสมบัติเชิงกล การบวมตัว การกักเก็บน้ำ ความพรุน และสมบัติทางความร้อนด้วย TGA รวมถึงศึกษาปริมาณสารสกัดของว่านหางจระเข้ในวัสดุปิดแผลที่มีผลต่อการยับยั้งแบคทีเรียและความเป็นพิษต่อเซลล์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาสมบัติของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่เชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่แตกต่างกัน คือ กรดมาโลนิก กรดซัคซินิก และกรดกลูตาริก
- 2) เพื่อศึกษาปริมาณของสารสกัดจากว่านหางจระเข้ที่สามารถยับยั้งแบคทีเรียและไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาสมบัติของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่เชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่แตกต่างกัน คือ กรดมาโลนิก กรดซัคซินิก และกรดกลูตาริก ที่ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมือกแมงลัก
- 2) ศึกษาปริมาณของสารสกัดจากว่านหางจระเข้ที่ 6.25 และ 12.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมือกแมงลัก
- 3) ศึกษาสมบัติเชิงกล การบวมตัว การกักเก็บน้ำ ความพรุน สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR ลักษณะทางกายภาพด้วย SEM การยับยั้งแบคทีเรียและความเป็นพิษต่อเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ปรับปรุงสมบัติเชิงกลและความคงตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลัก
- 2) เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุจากธรรมชาติอย่างเมือกแมงลักและว่านหางจระเข้
- 3) เป็นแนวทางในการผลิตวัสดุปิดแผลจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ
- 4) ลดปัญหาขยะจากวัสดุที่ไม่ย่อยสลายตามธรรมชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การรักษาแผล เป็นหนึ่งในการรักษาที่มีมาอย่างยาวนานตั้งแต่อดีตกาลเนื่องจากเป็นการรักษาที่ส่งผลต่อการรอดชีวิต บาดแผล หมายถึง การที่เนื้อเยื่อของร่างกายได้รับบาดเจ็บ อาจมีสาเหตุจากถูกของมีคม ถูกกระแทก ถูกความร้อนจัดหรือเย็นจัด ถูกสารเคมี รังสี ซึ่งอาจเกิดจากอุบัติเหตุ หรือเป็นบาดแผลจากการผ่าตัดก็ได้ มีผลทำให้เนื้อเยื่อฉีกขาดออกจากกัน โดยมากมักหมายถึงบริเวณผิวหนัง ซึ่งผิวหนังเป็นอวัยวะที่ใหญ่ที่สุดในร่างกาย ทำหน้าที่กักเก็บน้ำ และเป็นด่านป้องกันเชื้อโรค

2.1 กระบวนการสมานแผล

โดยทั่วไปในคนปกติที่แข็งแรง เวลาเกิดบาดแผล จะมีกลไกการหายของแผลเกิดขึ้นได้เองโดยธรรมชาติ กระบวนการหายของแผล จะเริ่มตั้งแต่เกิดแผลและดำเนินไปอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานต่างกัน แล้วแต่ชนิดของแผล ตำแหน่ง และวิธีการรักษา ขั้นตอนต่าง ๆ ของการหายของแผลแบ่งเป็น 4 ระยะ แต่ละระยะอาจมีการเหลื่อมล้ำกันได้ดังนี้

2.1.1 ระยะการห้ามเลือด

เมื่อเกิดบาดแผลมักมีการฉีกขาดของหลอดเลือดและเนื้อเยื่อร่วมด้วยเสมอ ร่างกายจะมีกระบวนการห้ามเลือด ในระยะนี้เกล็ดเลือดจะถูกกระตุ้นและเกิดการรวมตัว ทำให้เกิดการเกาะกลุ่มของเกล็ดเลือดมาอุดบริเวณที่มีการฉีกขาดของหลอดเลือด จากนั้นเอนไซม์ทรอมบิน (Thrombin) จะเข้ามากระตุ้นการสร้างตาข่ายเส้นใยไฟบริน (Fibrin) เสริมความแข็งแรงของเกล็ดเลือดให้มีความมั่นคง [10-12]

2.1.2 ระยะการอักเสบ

เมื่อหลอดเลือดฉีกขาด หลอดเลือดฝอยจะหดตัวอยู่ประมาณ 2-3 นาที จากนั้นเซลล์เม็ดเลือดขาว (White blood cell) จะผลิตสื่อเคมี เช่น ฮีสตามีน (Histamine) ซึ่งจะทำให้หลอดเลือดฝอยขยายตัวเกิดการอักเสบที่บาดแผลและทำให้พลาสมา เอนไซม์และเม็ดเลือดขาวรั่วซึมออกมาในบาดแผล เม็ดเลือดขาวที่ออกมาจะกลายเป็นแมคโครเฟจ (Macrophage) และกำจัดสิ่งแปลกปลอมในแผล เช่น เนื้อตายและแบคทีเรีย [10-12]

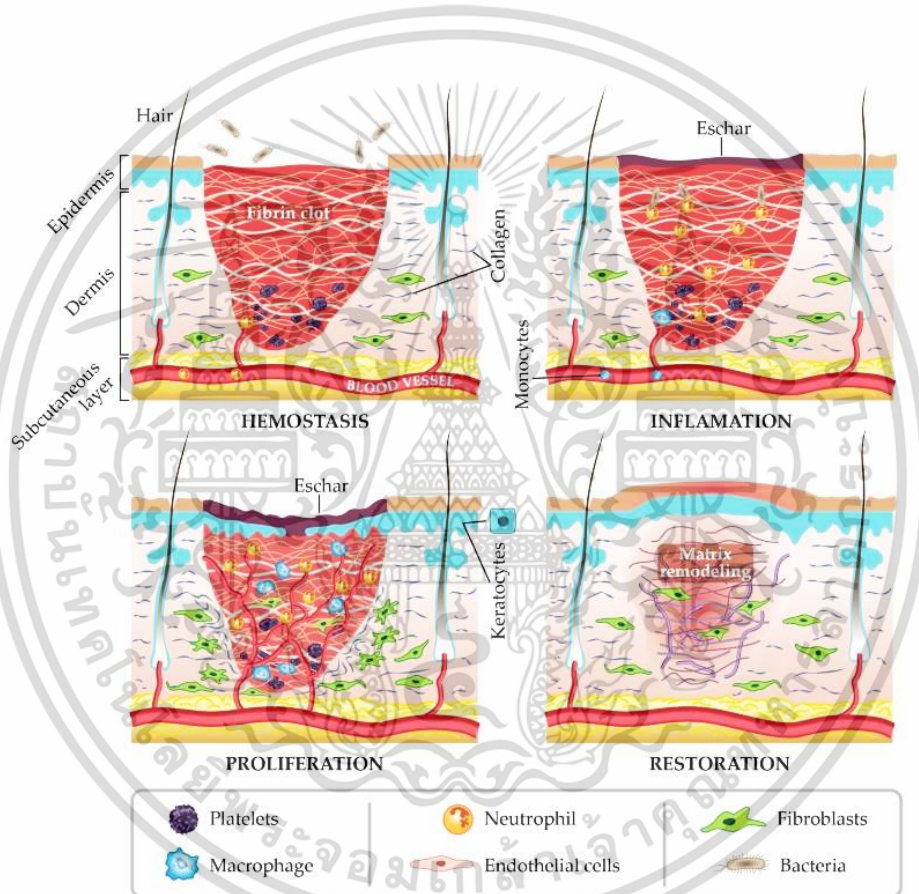
2.1.3 ระยะการสร้างเนื้อเยื่อหรือระยะงอกขยาย

ระยะนี้เซลล์เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue) จะทำหน้าที่สร้างคอลลาเจน คอลลาเจนจะถูกสร้างขึ้นจำนวนมากและเร็วภายในระยะเวลาสองสัปดาห์ แต่ในภาวะที่ผู้ป่วยมีการติดเชื้อ หรือขาดอาหารจะมีการสลายตัวของคอลลาเจนได้มากกว่าการสร้าง ทำให้บาดแผลไม่แข็งแรง เกิดแผลเอ็กซอร์เนชันเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แยกจากกัน (Wound dehiscence) ได้ง่าย โดยระยะการสร้างเส้นใยเนื้อเยื่อหรือระยะงอกขยายนี้จะเริ่มเกิดขึ้นตั้งแต่วันที่ 5 จนถึงวันที่ 20 หลังจากเกิดบาดแผล ช่วงนี้ร่างกายต้องการสารอาหารที่มีประโยชน์เพื่อช่วยในการหายของบาดแผล [10-12]

2.1.4 ระยะเนื้อเยื่อเจริญเต็มที่หรือระยะปรับตัว

เป็นระยะสุดท้ายของการหายของแผล เริ่มตั้งแต่หลังวันที่ 20 ดำเนินไปเรื่อย ๆ และบางกรณีอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปได้ยาวนานถึง 2 ปี ระยะนี้มีการสลายตัวของเส้นใยคอลลาเจนพร้อมกับการสร้างเส้นใยคอลลาเจนขึ้นใหม่มาทดแทน คอลลาเจนชุดใหม่นี้จะมัดโยงไขว้กัน ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณบาดแผลแข็งแรงมากขึ้น แต่จะแข็งแรงได้เพียงร้อยละ 80-85 ของเนื้อเยื่อเดิม [10-12]



รูปที่ 2.1 กระบวนการสมานแผลทั้ง 4 ระยะ [12]

2.2 วัสดุปิดแผล (Wound dressing)

บาดแผลไม่ว่าจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ ล้วนมีความสำคัญที่ต้องให้การดูแลอย่างถูกต้อง โดยส่วนหนึ่งของวิธีการดูแลบาดแผล คือ การใช้วัสดุปิดแผล

วัสดุปิดแผล (Wound dressing) หมายถึง วัสดุที่ได้รับการออกแบบให้สัมผัสกับบาดแผล สร้างสภาวะที่เหมาะสมต่อการการรักษาบาดแผล ดังนั้นการใช้วัสดุปิดแผลที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำคัญที่ช่วยเร่งการหายของแผล ซึ่งปัจจุบันวัสดุปิดแผลในท้องตลาดมีให้เลือกมากมายหลายชนิด เพื่อช่วยให้บริเวณบาดแผลมีความสมดุล การเลือกวัสดุปิดแผลให้เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของแผล พื้นที่ใต้แผล ผิวหนังบริเวณรอบแผล ลักษณะของแผล ปริมาณสารคัดหลั่งออกจากแผลและราคาที่เหมาะสม [1]

2.2.1 สมบัติของวัสดุปิดแผล

เมื่อวัสดุปิดแผลสัมผัสกับแผลจะต้องปรับสภาพแวดล้อมให้มีความชื้น ขณะเดียวกันต้องดูดซับของเหลวส่วนเกินในบาดแผล และรักษาอุณหภูมิบริเวณเนื้อเยื่อให้เหมาะสมเพื่อเพิ่มการไหลเวียนของเลือดไปยังแผล วัสดุปิดแผลจะต้องสามารถเข้ากันได้ทางชีวภาพ น้ำและออกซิเจนแพร่ผ่านได้บ้าง ส่งเสริมกระบวนการฟื้นฟูเนื้อเยื่อ ในขณะที่ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้และไม่กระตุ้นการตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน นอกจากนี้วัสดุปิดแผลจะต้องไม่ทำให้เกิดบาดแผลเพิ่มเติมเมื่อนำออกและมีความคุ้มค่า

เนื่องจากสมบัติที่หลากหลายของแผลแต่ละชนิดและกระบวนการรักษาของแผลที่ซับซ้อน จึงอาจสรุปได้ว่าไม่มีวัสดุปิดแผลใดที่จะใช้งานกับทุกสภาพแผล อย่างไรก็ตามเพื่อปกป้องแผลจากการติดเชื้อและเร่งการสมานแผล จึงมีการพัฒนาวัสดุปิดแผลสมัยใหม่ขึ้นมาในหลากหลายรูปแบบ ซึ่งมีการใช้วัสดุชนิดเดียวและการผสมวัสดุหลายชนิดทั้งแบบสังเคราะห์หรือจากธรรมชาติที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับการจัดการกับแผลแต่ละประเภทโดยเฉพาะ [13]

2.2.2 ชนิดของวัสดุปิดแผล

วัสดุปิดแผลสามารถแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ตามคุณลักษณะและหน้าที่ที่มีต่อการหายของแผล ดังนี้

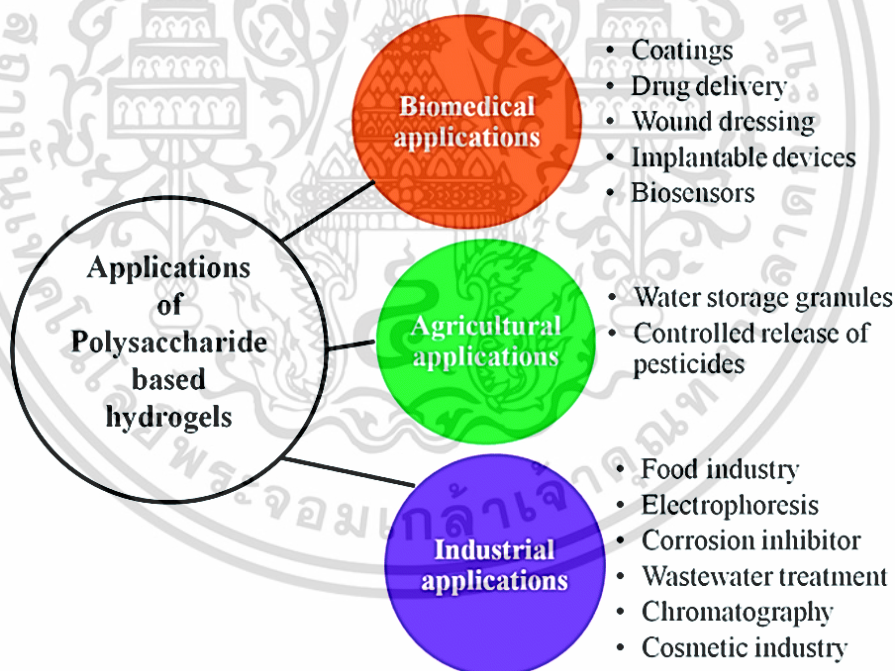
2.2.2.1 วัสดุปิดแผลปฐมภูมิ (Primary wound dressing) เป็นวัสดุที่สัมผัสกับแผลโดยตรง ซึ่งอาจมีสารต้านแบคทีเรียหรือใส่ยาบางชนิดเพื่อผลทางการรักษา เช่น การห้ามเลือด นอกจากนี้ยังให้ความชุ่มชื้นเพื่อป้องกันไม่ให้แผลแห้ง สิ่งสำคัญของวัสดุปิดแผลปฐมภูมิ คือ ต้องมีความสะอาดและปราศจากสิ่งสกปรก ในปัจจุบันวัสดุปิดแผลปฐมภูมิมียุคใหม่หลายชนิดตามความเหมาะสมของบาดแผลและการใช้งาน เช่น ฟิล์ม โฟม ไฮโดรเจล และผ้าก๊อช เป็นต้น

2.2.2.2 วัสดุปิดแผลทุติยภูมิ (Secondary wound dressings) เป็นวัสดุที่ใช้ในการปิดทับชั้นของวัสดุปิดแผลปฐมภูมิให้อยู่ในตำแหน่งซึ่งไม่ได้สัมผัสกับแผลโดยตรง แต่จะปิดครอบคลุมบาดแผล วัสดุปิดแผลทุติยภูมิไม่จำเป็นต้องมีสมบัติการดูดซับที่ดี แต่สามารถดูดซับได้บ้างในกรณีที่มีของเหลวไหลซึมผ่านชั้นของวัสดุปิดแผลปฐมภูมิ

วัตถุประสงค์หลักของวัสดุปิดแผลทุติยภูมิ คือ เพิ่มความทนทานและความแข็งแรง สามารถสนับสนุนวัสดุปิดแผลปฐมภูมิ ซึ่งจะต้องมีสมบัติการยึดเกาะสูงและไม่เกิดการแพ้ที่ผิวหนังหรือการระคายเคือง วัสดุปิดแผลทุติยภูมิมักอยู่ในรูปแบบของผ้าพันแผลและเทปบางชนิด [13-14]

2.3 วัสดุไฮโดรเจล

ไฮโดรเจลเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ชอบน้ำมาก การเตรียมไฮโดรเจลสามารถเตรียมได้หลายวิธี เช่น ด้วยวิธีปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันหรือวิธีการเชื่อมขวางทางเคมีหรือกายภาพของพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ และเมื่อโมเลกุลมีการรวมตัวกันและขดตัวอยู่จะทำให้โครงสร้างโดยรวมเกิดเป็น รูพรุนและช่องว่างขนาดเล็ก ๆ มากมาย จึงส่งผลให้ไฮโดรเจลมีสมบัติที่พิเศษ เช่น มีการตอบสนองต่อปริมาณน้ำ สามารถดูดซับน้ำได้โดยไม่ละลายในน้ำ ซึ่งมีลักษณะคล้ายเนื้อเยื่ออ่อนนุ่มและมีความยืดหยุ่นเพียงพอทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานด้านชีวการแพทย์ ไฮโดรเจลสามารถทำให้พองตัวหรือหดตัวได้โดยใช้สิ่งกระตุ้นทางสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ pH และความแข็งแรงทางไอออน (Ionic strength) ดังนั้นการตอบสนองทางของไฮโดรเจลต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพแสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้ในงานด้าน ชีวการแพทย์หลายอย่าง เช่น ใช้ในการดูดซับโลหะหนักในงานระบบบำบัดน้ำเสีย งานด้านการเกษตรกรรม อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ใช้เป็นระบบขนส่งหรือปลดปล่อยยาและวัสดุปิดบาดแผล เป็นต้น [15]



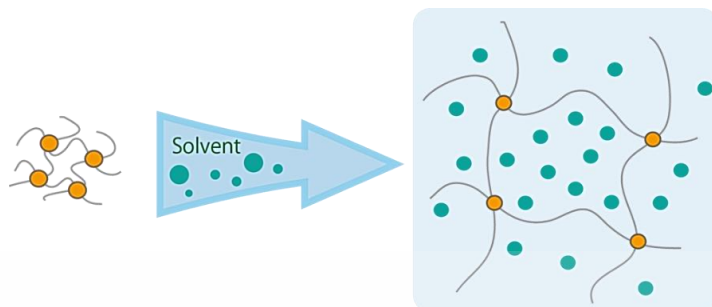
รูปที่ 2.2 การประยุกต์ใช้ไฮโดรเจลในงานต่าง ๆ [16]

2.3.1 สมบัติที่สำคัญของไฮโดรเจล

2.3.1.1 การดูดน้ำของไฮโดรเจล

ไฮโดรเจลสามารถดูดซับน้ำได้ โดยการเกิดปฏิกิริยาหรืออันตรกิริยาทางเคมีระหว่างหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำกับโมเลกุลของน้ำและในระหว่างการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดซับน้ำ ไฮโดรเจลสามารถคงรูปร่างอยู่ได้โดยไม่ละลายในน้ำ เนื่องจากมีโครงสร้างทางเคมีเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 แผนภาพของโครงสร้าง 3 มิติของไฮโดรเจล เมื่อแช่ในตัวทำละลาย [15]

โดยการดูดน้ำของไฮโดรเจลสามารถเกิดขึ้นโดยการเกิดปฏิกิริยาหรือการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลของน้ำกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (lone pair electron) ของอะตอมออกซิเจนในหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิก (-COOH) หรือไฮดรอกซิล (-OH) [15]

2.3.1.2 การดูดซับโลหะหนัก น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ส่วนใหญ่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เป็นพิษหลายชนิด เช่น ทองแดง แคดเมียม สารหนูและสารอื่น ๆ ไฮโดรเจลจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับใช้กำจัดหรือแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม ก่อนทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลองตามธรรมชาติ โดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะหนักกับวัสดุไฮโดรเจลและการแลกเปลี่ยนไอออน การเกิดการคีเลตระหว่างไอออนโลหะหนักกับพอลิเมอร์เรียกว่า “พอลิคีเลโทเจน” (Polychelators) โดยไอออนโลหะหนักจะสร้างพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์ (Coordinate covalent bonds) กับอะตอมที่ให้อิเล็กตรอน (Electron donor atoms) ในโครงสร้างพอลิเมอร์ เช่น ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ออกซิเจน และฟอสฟอรัส ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งพอลิเมอร์ที่นำมาใช้ส่วนมากจะมีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล เอไมด์ เอมีน หรือแอมโมเนียมอยู่ในโครงสร้างด้วย ทำให้สามารถจับหรือเกิดพันธะกับไอออนของโลหะหนักได้ดี [16]

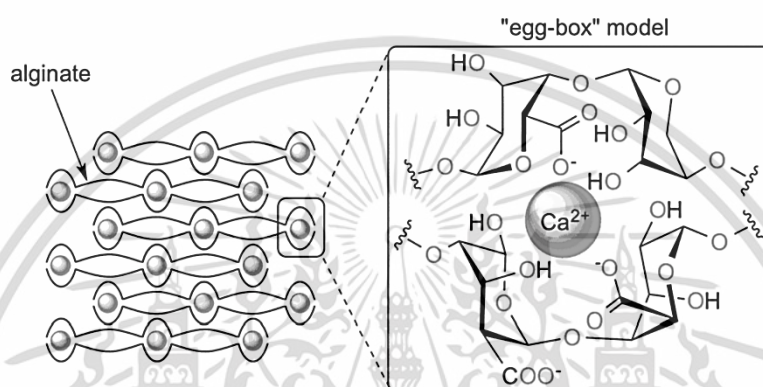
2.3.2 วิธีเตรียมไฮโดรเจล

วิธีการเตรียมไฮโดรเจลถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเพื่อให้ได้ไฮโดรเจลที่มีสมบัติตามต้องการและเหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานที่เจาะจง โดยไฮโดรเจลสามารถเตรียมได้หลายวิธี ดังนี้

2.3.2.1 การเชื่อมโยงทางกายภาพ (Physical crosslinking) เป็นวิธีการเตรียมไฮโดรเจลที่ได้รับความนิยมมากเนื่องจากสะดวก ทำได้ง่ายและมีข้อดี คือ ไม่จำเป็นต้องใช้สารเชื่อมโยงซึ่งช่วยลดต้นทุนในการสังเคราะห์ไฮโดรเจล การเตรียมไฮโดรเจลด้วยวิธีการเชื่อมขวางทางกายภาพมีหลายวิธี ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

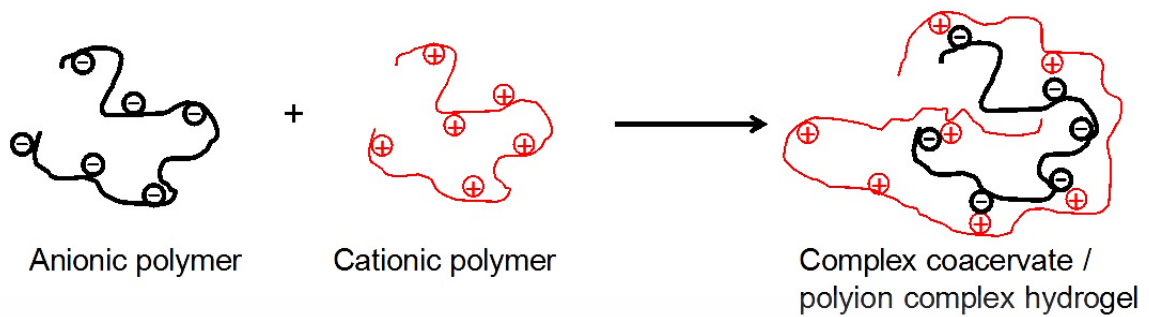
1) การเกิดอันตรกิริยาแบบไอออนิก (Ionic interaction) ซึ่งการเตรียมไฮโดรเจลวิธีนี้อาศัยการเกิดอันตรกิริยาแบบไอออนิกระหว่างหมู่ฟังก์ชันภายในสายโซ่ของไฮโดรเจล เช่น การเตรียมไฮโดรเจลจากอัลจินต์โดยการเติม CaCl_2 ลงไป โดยอัลจินต์เป็นพอลิเมอร์ประเภทพอลิแมนนูโรเนท (Polymannuronate) ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นแอนไอออนิก คือ COO^- จึงทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างไอออนบวก (Ca^{2+}) และหมู่ฟังก์ชันที่เป็นไอออนลบ เกิดเป็นไฮโดรเจลที่มีลักษณะไอออนิกพอลิเมอร์ แสดงดังรูปที่ 2.5 [17]



รูปที่ 2.4 การเชื่อมขวางอัลจินต์ด้วย Ca^{2+} และโครงสร้าง "Egg box" [17]

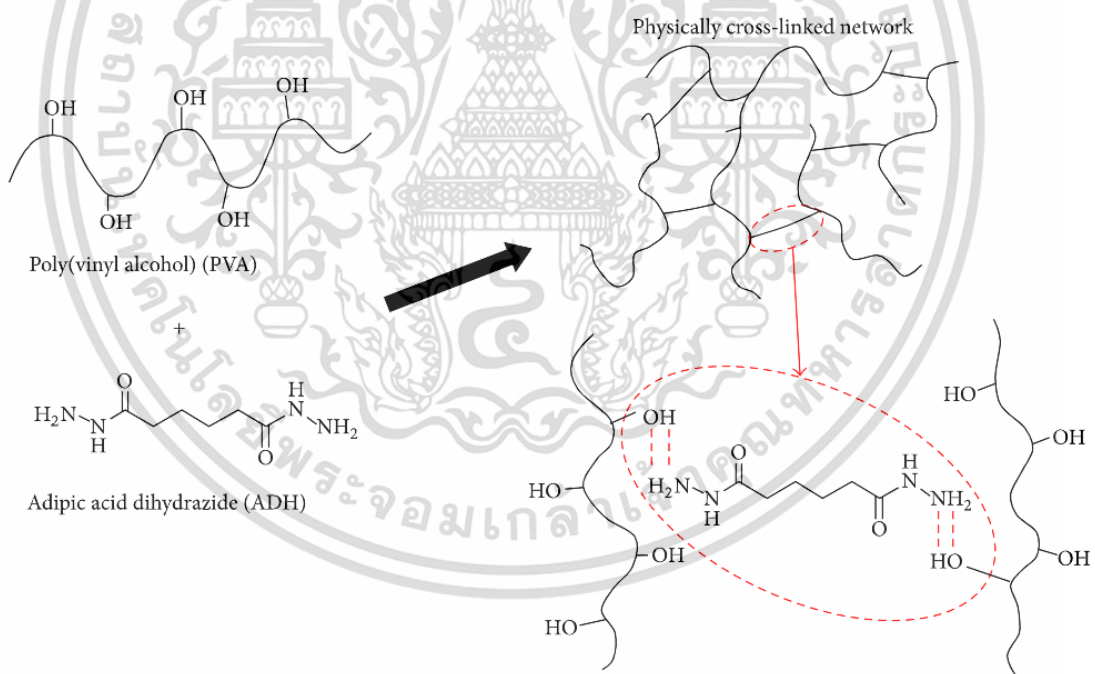
มีงานวิจัยหลายผลงานแสดงให้เห็นว่าการเชื่อมขวางของฟิล์มอัลจินต์ที่มีแคลเซียม ช่วยปรับปรุงค่าความต้านทานแรงดึงให้สูงขึ้น และเมื่อเพิ่มการเชื่อมโยงในโครงสร้างจะทำให้ฟิล์มอัลจินต์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและการละลายในน้ำลดลง [18]

2) การยัดเกาะแบบเชิงซ้อน (Complex coacervation) วิธีการเตรียมไฮโดรเจลนี้ทำโดยการนำพอลิเมอร์ที่เป็นแอนไอออนิกมาเชื่อมขวางกับพอลิเมอร์ที่เป็นแคทไอออนิก แสดงดังรูปที่ 7 หลักการพื้นฐานของวิธีนี้ คือ พอลิเมอร์ที่ใช้เตรียมจะต้องมีประจุตรงข้ามกัน และเมื่อนำมาผสมกันจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนจากแรงดึงดูดของประจุตรงกันข้าม แสดงดังรูปที่ 2.6 [19]



รูปที่ 2.5 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพอลิเมอร์แอนไอออนิกและพอลิเมอร์แคทไอออนิก [19]

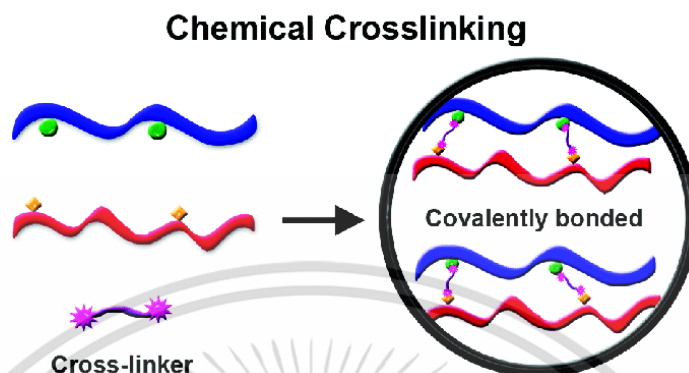
3) การเกิดพันธะไฮโดรเจน (H-bonding) การเตรียมไฮโดรเจลวิธีนี้อาศัยการสร้างพันธะไฮโดรเจนเชื่อมต่อกันระหว่างหมู่ฟังก์ชันภายในโครงสร้างของไฮโดรเจล แสดงดังรูปที่ 2.7 [20]



รูปที่ 2.6 การก่อตัวของโครงสร้างไฮโดรเจลจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล [20]

2.3.2.2 การเชื่อมโยงทางเคมี (Chemical crosslinking) การเตรียมไฮโดรเจลวิธีนี้ใช้การเชื่อมขวางด้วยพันธะเคมีซึ่งเกี่ยวข้องกับการเชื่อมโยงของมอนอเมอร์ภายในสายโซ่ของพอลิเมอร์การเตรียมไฮโดรเจลด้วยวิธีนี้ต้องอาศัยการเติมสารเชื่อมขวาง (Crosslinking agent) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อกันระหว่างพอลิเมอร์สองสายโซ่ด้วยพันธะโควาเลนต์ ทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ [21-22]

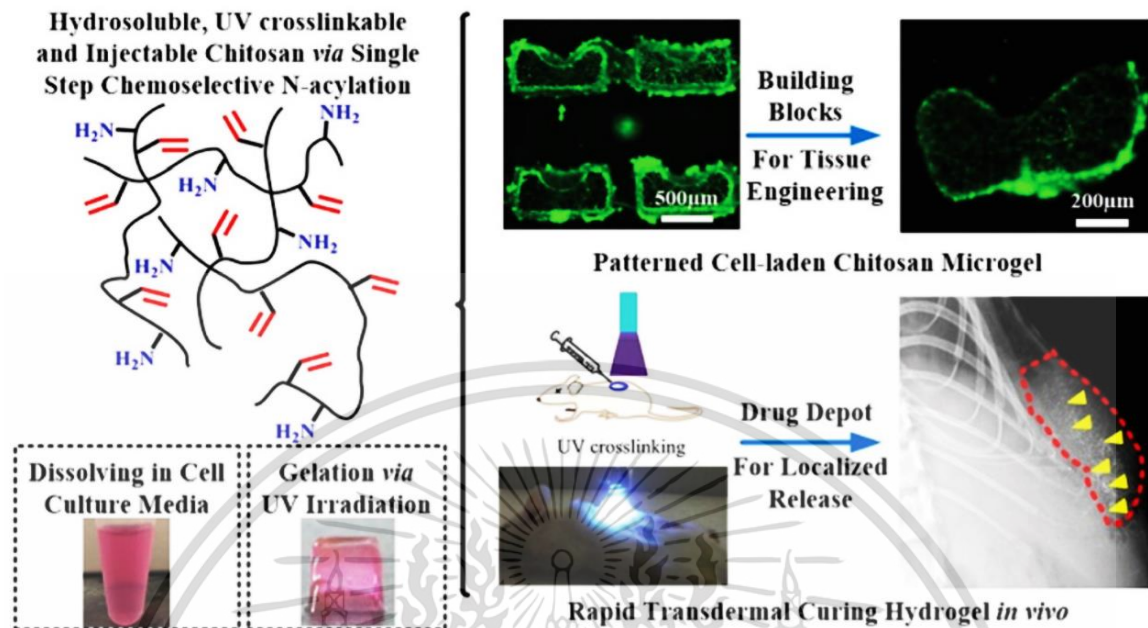


รูปที่ 2.7 การเชื่อมขวางทางเคมีภายในวัสดุ [22]

2.3.2.3 การเชื่อมโยงด้วยการฉายรังสี (Radiation crosslinking) เป็นอีกวิธีการเตรียมไฮโดรเจลที่นิยมใช้โดยอาศัยการกระตุ้นด้วยพลังงานสูงเพื่อทำให้เกิดการเชื่อมต่อของมอนอเมอร์ภายในสายโซ่ของพอลิเมอร์ซึ่งคาดว่าโครงสร้างตาข่ายที่เกิดขึ้นจะช่วยปรับปรุงสมบัติทั้งด้านโครงสร้างและสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น โดยส่วนมากแล้ววิธีนี้จะเตรียมเป็นสารละลายแบบชั้นตอนเดียว ซึ่งทำให้ลดขั้นตอนการสังเคราะห์ สะดวกรวดเร็วและยังช่วยลดต้นทุนในการผลิต

ข้อดีของวิธีการนี้ คือ การสร้างโครงร่าง 3 มิติของไฮโดรเจลขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิและภายใต้สภาวะที่ไม่รุนแรงและสามารถเลือกตำแหน่งของการเชื่อมโยงได้อย่างเจาะจงเนื่องจากปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นภายใต้บริเวณที่ถูกฉายรังสี จึงมีเพียงพื้นที่ฉายรังสีเท่านั้นที่เกิดการเชื่อมโยงเป็นไฮโดรเจล

พอลิเมอร์ส่วนใหญ่ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ตีมีกลุ่มฟังก์ชันไม่อิ่มตัว เช่น คาร์บอนที่มีพันธะคู่ ($C=C$) เนื่องจากมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาสูงและส่งเสริมการเกิดพอลิเมอร์เชนของสายโซ่แบบอนุมูลอิสระ รวมถึงกลุ่มพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำที่มีหมู่ไฮดรอกซิล คาร์บอกซิลิก และอะมิโน เป็นต้น [23]



รูปที่ 2.8 การฉายรังสี UV ทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันสำหรับการสังเคราะห์ไฮโดรเจล [24]

การเชื่อมโยงระหว่างโซ่พอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับระดับของการเชื่อมโยงหรือความหนาแน่นการเชื่อมโยงและการมีหรือไม่มีผลึก การเชื่อมโยงส่งผลต่อสมบัติดังนี้

1) ความยืดหยุ่น พอลิเมอร์จะยังสามารถยืดและหดกลับตำแหน่งเดิมได้เมื่อมีความหนาแน่นเชื่อมโยงไม่สูง แต่เมื่อความหนาแน่นของการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นจะทำให้พอลิเมอร์มีความแข็งมากขึ้นและยืดได้น้อยลง พอลิเมอร์จะมีความหนืดสูงขึ้นและยืดหยุ่นลดลงและอาจเปราะแตกได้ง่าย

2) ความต้านทานต่อการไหล สำหรับการไหลของพอลิเมอร์ สายโซ่จะต้องสามารถเคลื่อนที่ผ่านกันและกัน ซึ่งการเชื่อมโยงจะขัดขวางสิ่งนี้ โดยเป็นผลมาจากการลดลงของพฤติกรรมการคืบ (Creep behavior)

3) การละลายของพอลิเมอร์ การเชื่อมโยงทำให้เกิดความคงรูปเนื่องจากสายโซ่พอลิเมอร์ถูกยึดเข้าด้วยกันด้วยพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรง วัสดุเชื่อมขวางไม่สามารถละลายในตัวทำละลาย แต่สามารถดูดซับตัวทำละลาย เมื่อดูดซับตัวทำละลายจนอิ่มตัวจะเรียกว่า เจล

4) เพิ่มอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะ (T_g) และเพิ่มความแข็งแรงและความทนทาน การเชื่อมขวางเป็นการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงโครงสร้างของโมเลกุล ทำให้ปริมาตรอิสระลดลงซึ่งนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของค่า T_g ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Tsukasa M. และคณะ ทำการศึกษาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติของ PVA เชื่อมโยงกับกรดบอริกแสดงให้เห็นว่าหลังจากการเชื่อมโยงส่งผลให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะของวัสดุเพิ่มขึ้น ซึ่งการเชื่อมโยงทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุล PVA ลดลง แต่ไม่มีผลต่อความเป็นผลึก [25]

5) การเปลี่ยนเทอร์โมพลาสติกเป็นเทอร์โมเซต ความหนาแน่นเชื่อมโยงที่มากสามารถเปลี่ยนสมบัติเทอร์โมพลาสติกเป็นพลาสติกเทอร์โมเซต เมื่อพอลิเมอร์ถูกเชื่อมโยงสถานะของพอลิเมอร์จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อีก ซึ่งจะต่างจากเทอร์โมพลาสติกที่สามารถขึ้นรูปใหม่ได้โดยกระบวนการทางความร้อน แต่ในทางกลับกันเมื่อให้ความร้อนพลาสติกเทอร์โมเซตจะเริ่มสลายตัวแทนที่จะกลายเป็นการขึ้นรูปใหม่

2.3.3 การประยุกต์ใช้งานไฮโดรเจลในด้านต่าง ๆ

เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีที่เป็นโครงสร้างตาข่ายและมีรูพรุนมาก ทำให้ไฮโดรเจลสามารถดูดซับน้ำได้อย่างคงรูปร่างอยู่ได้และละลายน้ำได้ง่าย จึงทำให้ไฮโดรเจลถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายด้าน ได้แก่

2.3.3.1 ระบบนำส่งยา (Drug delivery) ไฮโดรเจลได้รับการประยุกต์ใช้ในด้านชีวการแพทย์ เนื่องจากสามารถเข้ากันได้กับร่างกายมนุษย์ไม่เป็นพิษต่อเซลล์ ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึงประยุกต์ใช้ไฮโดรเจลเพื่อเป็นระบบนำส่งยา (Drug delivery system) ไฮโดรเจลอัจฉริยะได้รับการศึกษาเพื่อใช้ในระบบนำส่งยาเพื่อการนำส่งยาต่างๆ ตั้งแต่ยาที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำถึงระดับสารชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น เปปไทด์ (Peptide) โกรทแฟคเตอร์ (Growth factor) และอินซูลิน (Insulin) [26-27]

ไฮโดรเจลสามารถดักจับยาและปกป้องจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมเพื่อการปลดปล่อยยาอย่างช้า ๆ ผ่านการแพร่ขึ้นอยู่กับสภาวะความชุ่มชื้น ไฮโดรเจลยังสามารถควบคุมอัตราการส่งยาโดยการเปลี่ยนโครงสร้างเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ pH สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็ก องค์ประกอบของตัวทำละลาย แสง ไอออน ฯลฯ

สมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของโครงสร้างไฮโดรเจลซึ่งควรคำนึงถึง คือ ความพรุน ความพรุนของไฮโดรเจลจะเป็นตัวกำหนดให้ไหลดยาเข้าสู่เมทริกซ์และควบคุมการปลดปล่อยในอัตราที่กำหนดขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การแพร่ของขนาดโมเลกุลของสารในไฮโดรเจล วัสดุไฮโดรเจลระดับนาโนสามารถบวมตัวอย่างมากและสามารถกักเก็บโมเลกุลชีวภาพและยาได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักหรือมากกว่า โดยอาศัยแรงไฟฟ้าสถิต แรงแวนเดอร์วาลส์ และพันธะโคเวเลนต์ [26-27]

2.3.3.2 วิศวกรรมเนื้อเยื่อ (Tissue engineering) วิศวกรรมเนื้อเยื่อเป็นการประยุกต์ใช้งานไฮโดรเจลซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุในการซ่อมแซมหรือเป็นโครงสร้าง 3 มิติที่ใช้เซลล์เจริญเติบโต วัสดุในการซ่อมแซมเป็นรูปแบบโครงสร้างที่ใช้กันมากที่สุดและใช้สำหรับการอุดหรือเติมเต็มและเป็นกาวทางชีวภาพ รวมถึงการส่งเสริมการสร้างเนื้อเยื่อใหม่และการห่อหุ้มเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้กับเซลล์ปลูกถ่ายและสร้างเนื้อเยื่อต่างๆ ในร่างกาย เช่น กระดูกอ่อน กระดูก และกล้ามเนื้อเรียบ สมบัติที่ขาดไม่ได้ คือ ความเข้ากันได้ทางชีวภาพของไฮโดรเจลและร่างกาย ซึ่งสามารถนิยามได้ว่าเป็นความสามารถของวัสดุในการสัมผัสกับอวัยวะของร่างกายโดยไม่ทำลายเนื้อเยื่อรอบข้างและไม่ก่อให้เกิดการตอบสนองที่ไม่พึงประสงค์ [26-27]

2.3.3.3 วัสดุปิดแผล (Wound dressing) วัสดุไฮโดรเจลใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นตัวกำจัดเนื้อเยื่อตาย ให้ความชุ่มชื้นแก่แผลและส่วนประกอบสำหรับการดูแลแผล วัสดุไฮโดรเจลสามารถดูดซับและกักเก็บสารคัดหลั่งที่ออกมาไว้ภายในวัสดุทำให้เกิดการแยกแวกที่เรียบ เศษเนื้อตายและโมเลกุลกลืนจากสารคัดหลั่งของแผล รวมถึงช่วยให้การซึมผ่านไอน้ำและออกซิเจนไปที่แผลเรื้อรังได้ดีขึ้น เช่น แผลกดทับ แผลที่ขา แผลผ่าตัด แผลเนื้อตาย และแผลไหม้ เป็นต้น อีกทั้งไฮโดรเจลยังช่วยส่งเสริมกระบวนการรักษาแผลที่มีลักษณะเป็นโพรง โดยทั่วไปแล้ววัสดุปิดแผลจะถูกเปลี่ยนใหม่ทุกวันในขณะที่แผ่นไฮโดรเจลสามารถลดเวลาเหลือ 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ดูแลแผลในอนาคตจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากความต้องการด้านการดูแลสุขภาพ ความท้าทายที่สำคัญสำหรับอนาคต คือ การกำหนดกลยุทธ์การดูแลแผลที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วยทุกรายและการพัฒนานวัตกรรมผลิตภัณฑ์ดูแลแผลที่ก้าวหน้า ในขณะที่ต้นทุนการผลิตที่ถูกลง [26-27]

2.3.3.4 การบำบัดน้ำเสีย (Water treatment) เนื่องจากสมบัติของไฮโดรเจลที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะและเกิดกลไกการแลกเปลี่ยนไอออนได้ระหว่างไอออนโลหะหนักกับเมทริกซ์ของไฮโดรเจล จึงทำให้ไฮโดรเจลถูกนำไปประยุกต์ใช้งานบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมในการดูดซับโลหะหนักหรือสารพิษในน้ำเสียหรือน้ำทิ้งจากโรงงาน

ในการประยุกต์ใช้งานบำบัดน้ำเสียพบว่าไฮโดรเจลมีประสิทธิภาพมากสำหรับการดูดซับมลพิษทางน้ำในวงกว้าง เช่น สารอินทรีย์ อนินทรีย์ ไอออนของโลหะ สีย้อมที่เป็นพิษและของเสียทางเภสัชกรรม การประยุกต์ใช้ไฮโดรเจลที่น่าสนใจ คือ การใช้ไฮโดรเจลสำหรับการกักเก็บและการตรึงตะกอนที่มีจุลินทรีย์สำหรับการกำจัดสารประกอบที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากน้ำเสีย ดังนั้นการออกแบบเมทริกซ์ไฮโดรเจลสำหรับการตรึงเซลล์จึงถูกพัฒนาขึ้นให้มีความเหมาะสมต่อการอยู่อาศัยของจุลินทรีย์ [28]

2.3.3.5 การประยุกต์ใช้ในการเกษตร (Agricultural application) ในงานด้านการเกษตร สามารถนำไฮโดรเจลมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุอุ้มน้ำเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นให้แก่ดิน ทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่ขาดแคลนน้ำ โดยไฮโดรเจลจะค่อยๆ คายน้ำที่ดูดซับไว้ออกมา นอกจากนี้ไฮโดรเจลยังช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำในดิน เนื่องจากสามารถดูดซับแร่ธาตุต่างๆ ไว้ได้ แต่โดยส่วนใหญ่วัสดุไฮโดรเจลที่นำมาใช้ในงานด้านการเกษตรนั้นมาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากปิโตรเคมีซึ่งย่อยสลายยาก [26-27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สารเมือกจากธรรมชาติ (Natural mucilage)

เมือก (Mucilage) คือ ไฮโดรคอลลอยด์พอลิแซคคาไรด์ที่มีโมเลกุลย่อยเป็นน้ำตาลเชื่อมพันธะกับกรดยูโรนิก (Uronic acid) เป็นพอลิเมอร์ออสซิลานโปร่งแสง เมื่อเกิดการไฮโดรไลซิสจะให้สารประกอบของน้ำตาลและกรดยูโรนิก เนื่องจากเมือกประกอบด้วยโมเลกุลที่ชอบน้ำ ดังนั้นจึงสามารถรวมเข้ากับน้ำเพื่อสร้างสารละลายหนืดหรือเกิดเจล เมือกเป็นพอลิแซคคาไรด์เชิงซ้อนซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลน้ำตาล อะราบิโนส (Arabinose) กาแลคโตส (Galactose) แรมโนส (Rhamnose) และกรดกาแลคทูโรนิก (Galacturonic acid)

เมือกที่อยู่ในพืชช่วยในการกักเก็บน้ำและอาหาร รวมถึงมีบทบาทในการงอกของเมล็ดและส่วนประกอบในเยื่อหุ้มเมล็ด คำว่า “เมือก” ในพืช หมายถึง สารที่ละลายได้หรืออย่างน้อยบวมอย่างสังเกตได้ง่ายในน้ำและเมื่อเติมแอลกอฮอล์แล้วจะตกตะกอนในรูปแบบของสัณฐานหรือเม็ดละเอียด เมือกมีความคล้ายคลึงกับกัม (Gums) แต่แตกต่างกันที่เมือกเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) ภายในเซลล์หรือมีการผลิตโดยที่พืชไม่ได้เกิดบาดแผล เมือกจากพืชชนิดต่าง ๆ และอนุพันธ์ของพอลิเมอร์มีใช้กันอย่างแพร่หลายในรูปแบบของยา ในอีกด้านหนึ่งยังทำหน้าที่เป็นสารเสริมฤทธิ์ (Adjuvants) ของยา และเมือกยังทำหน้าที่เป็นสารป้องกันในกระเพาะอาหาร (Cytoprotective) มีรายงานว่าเมือกช่วยในการรักษาแผลในกระเพาะอาหาร ซึ่งอาจทำหน้าที่สร้างชั้นป้องกันโดยเพิ่มการหลั่งเมือกจากเซลล์เยื่อบุผิวในกระเพาะอาหารและป้องกันการแทรกซึมของแบคทีเรียผ่านเข้าไปในเยื่อของกระเพาะอาหาร [29]

2.4.1 การแยกและการทำให้บริสุทธิ์ของเมือก

เมือกสามารถสกัดได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืชด้วยหลายวิธี เช่น การให้ความร้อน การตกตะกอนด้วยตัวทำละลายและการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave-assisted extraction) วิธีที่ง่ายที่สุด คือ การตกตะกอนด้วยตัวทำละลาย ในวิธีนี้ส่วนของพืชที่มีเมือกจะถูกคัดแยกตามด้วยการอบแห้ง การบดและการร่อน จากนั้นปั่นกวนในน้ำกลั่นและให้ความร้อนเพื่อให้กระจายตัวอย่างสมบูรณ์ในน้ำและเก็บไว้ที่ 6-8 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยง แล้วจึงล้างส่วนที่แยกด้วยน้ำและเพิ่มการชะล้างด้วยตัวทำละลายสำหรับการตกตะกอน ในส่วนของเหลวจากการปั่นเหวี่ยงจะผสมปริมาณตัวทำละลายปริมาตรสองเท่าเพื่อตกตะกอนโดยการปั่นกวนต่อเนื่อง ตะกอนที่ได้จะถูกล้างด้วยน้ำกลั่นและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียสภายใต้สุญญากาศ การกำจัดเม็ดสีและคลอโรฟิลล์จะต้องได้รับการล้างด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์และคลอโรฟอร์มแล้วตามด้วยน้ำกลั่น [3]

2.4.2 การประยุกต์ใช้ทางเภสัชกรรมของเมือก

ส่วนใหญ่เมือกจะถูกใช้เป็นสารเติมแต่งในสูตรยา ซึ่งมีการใช้งานแตกต่างกัน เช่น สารให้ความหนืด สารยึดเกาะ สารช่วยกระจายตัว สารแขวนลอยหรือสารก่ออิมัลชันในของเหลว สารรักษาเสถียรภาพและสารก่อเจล เมือกที่ได้จากแหล่งธรรมชาติสามารถนำมาใช้เป็นสารยึดเกาะ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของยาเม็ด ทำให้ยาเม็ดมีความคงรูปและแข็งแรง ความสามารถในการสลายตัวช้า เวลาการแตกตัวเหมาะสมและอัตราการละลายที่ดีขึ้น ดังนั้นจึงมีสมบัติเป็นสารเพิ่มปริมาณสำหรับยาในรูปแบบทั่วไป ในทางตรงกันข้ามเมือกที่ได้จาก แหล่งต่าง ๆ ทำหน้าที่เป็นสารลดการอักเสบ การรักษาด้วยเมือกให้ผลที่ดีต่อทางเดินอาหารจึงช่วยป้องกันและรักษาแผลในกระเพาะอาหาร ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องค้นหาแหล่งที่มาใหม่ของเยื่อเมือกพืชสำหรับความต้องการทางเภสัชกรรม [29]

2.5 เมล็ดแมงลัก (Basil seeds)

แมงลัก เป็นพืชล้มลุกในสกุลกะเพรา-โหระพา ลักษณะของต้นแมงลักจะคล้ายต้นกะเพรา ต่างกันที่กลิ่น และใบจะมีสีเขียวจางกว่าใบกะเพรา แมงลักมีลำต้นสูงประมาณ 65 เซนติเมตร มีกลิ่นหอมในทิวส่วน ใบเป็นใบเดี่ยวทรงรีหรือรูปหอกหรือรี ขอบใบเรียบ บ้างมีขอบหยักมน มีกลิ่นคล้ายกับเลมอน ออกดอกช่ออยู่ปลายยอด ช่อดอกจะออกเรียงเป็นชั้น ๆ กลีบดอกมีสีขาวออกเป็นวงรอบก้าน ผลจะเป็นผลชนิดแห้ง ภายในมี 4 เมล็ด เรียกว่า เมล็ดแมงลัก เป็นพรรณไม้กลางแจ้ง ทนต่อแสงแดดได้ดี การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์ ดังตารางที่ 2.1

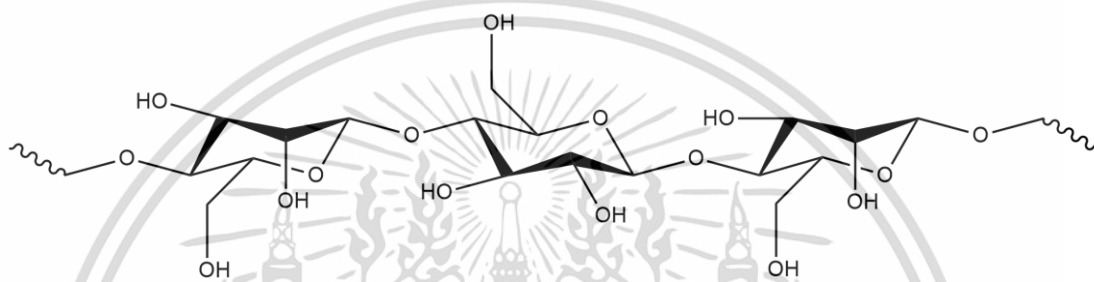
แมงลักเป็นพืชเศรษฐกิจและสมุนไพรที่สำคัญ ในหลายประเทศในเอเชีย เช่น อินเดีย ไทย จีน เวียดนาม ศรีลังกา นิยมรับประทานเมล็ดแมงลักเนื่องจากมีคุณสมบัติทางโภชนาการที่ดีเยี่ยม ซึ่งนิยมใช้ในอาหารเอเชียมากมาย เช่น ของหวานและเครื่องดื่ม เป็นส่วนหนึ่งของอาหารที่ในหลายประเทศมาช้านาน ใบแมงลักถูกใช้เป็นแหล่งของน้ำมันหอมระเหยและสารแต่งกลิ่นที่มีฤทธิ์ต้านจุลชีพและสมบัติต้านอนุมูลอิสระ เมล็ดแมงลักสามารถพองตัวกลายเป็นเมือกเมื่อแช่ในน้ำ ปริมาณเมือกที่สูง (20% โดยน้ำหนัก เปียก) ของเมล็ดแมงลักทำให้เป็นแหล่งไฮโดรคอลลอยด์ธรรมชาติชนิดใหม่ที่มีสมบัติที่ดี ซึ่งเปรียบได้กับกัมเชิงพาณิชย์อื่น ๆ [30]

ตารางที่ 2.1 การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์ของแมงลัก [30]

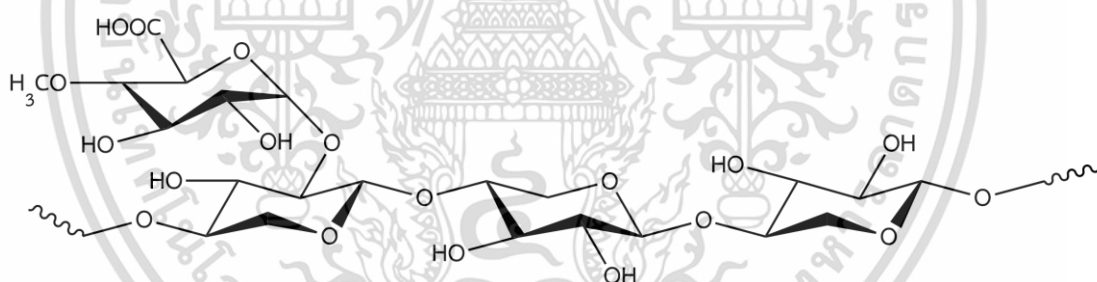
อาณาจักร	พืช (Plantae)
หมวด	พืชดอก (Magnoliophyta)
ชั้น	พืชใบเลี้ยงคู่ (Lamiales)
อันดับ	อันดับกะเพรา (Lamiales)
วงศ์	วงศ์กะเพรา (Lamiaceae)
สกุล	สกุลกะเพรา-โหระพา (<i>Ocimum</i>)
สปีชีส์	<i>O. basilicum</i>

2.6 เมือกแมงลัก (Basil seed mucilage)

เปลือกด้านนอกหรือเยื่อหุ้มเมล็ดของเมล็ดแมงลักนั้น เมื่อแช่ในน้ำจะกลายตัวดูดซับน้ำแล้วพองตัวเป็นเจล เมือกเมล็ดแมงลักประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเป็นส่วนใหญ่ ประมาณ 2320 kDa ชั้นเมือกของเมล็ดที่พองตัวมีองค์ประกอบหลักสองอย่างคือ กลูโคแมนแนน (Glucomannan) 43% และไซแลน (Xylan) 24% ยิ่งกว่านั้นเมือกแมงลักยังถือเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นกรด เพราะมีกรดยูโรนิก (Uronic acid) 6.51% องค์ประกอบทางเคมีแสดงในตารางที่ 2.2 การประยุกต์ใช้งานเมือกแมงลัก มักใช้เป็นสารแขวนลอย สารก่อก้อน สารช่วยกระจายตัว สารช่วยเพิ่มความหนืด แผ่นฟิล์มย่อยสลายได้และระบบนำส่งระดับนาโน [31]



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของกลูโคแมนแนน (Glucomannan)



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของไซแลน (Xylan)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมือกแมงลัก [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

2.7 กรดมาโลนิค (Malonic acid)

กรดมาโลนิคเป็นสารที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่พบในผักและผลไม้หลายชนิด โดยเฉพาะในผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว กรดมาโลนิคถูกสังเคราะห์ขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2401 โดยนักเคมีชาวฝรั่งเศส Victor Dessaignes ผ่านกระบวนการออกซิเดชันของกรดมาลิก (Malic acid) [32]

โดยกรดมาโลนิคมีสมบัติทางเคมี ดังนี้

IUPAC name : Propanedioic acid

ชื่ออื่น : Methanedicarboxylic acid

CAS Number : 141-82-2

สูตรโมเลกุล : $C_3H_4O_4$

น้ำหนักโมเลกุล : 104.061 g/mol

ความหนาแน่น : 1.619 g/cm³

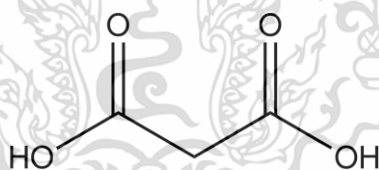
จุดหลอมเหลว : 135-137 °C

การละลายน้ำ : 763 g/L

ความเป็นกรด : $pK_{a1} = 2.83$, $pK_{a2} = 5.69$

การใช้ประโยชน์

กรดมาโลนิคมักถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมสี สารเคลือบ การผลิตพลาสติก อุตสาหกรรมอาหาร การแต่งกลิ่นรส และอุตสาหกรรมยา เป็นต้น



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของกรดมาโลนิค (Malonic acid)

2.8 กรดซักซินิก (Succinic acid)

กรดซักซินิกเป็นกรดไดคาร์บอกซิลิกที่พบได้ในสิ่งมีชีวิต กรดซักซินิกจะอยู่ในรูปของซักซิเนต (succinate) ซึ่งมีบทบาทในกระบวนการเมแทบอลิซึมและการเผาผลาญระดับเซลล์

ในปัจจุบันกรดซักซินิกผลิตขึ้นผ่านปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของกรดมาลิก การออกซิเดชันของ 1,4-บิวเทนไดออล และปฏิกิริยาคาร์บอนิลเลชันของเอทิลีนไกลคอล ซึ่งในอนาคามีแนวโน้มของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้จุลินทรีย์ *Escherichia coli* และ *Saccharomyces cerevisiae* ที่ดัดแปลงพันธุกรรมเพื่อการผลิตกรดซัคซินิกในเชิงพาณิชย์ผ่านการหมักกลูโคสมากขึ้น [33]

โดยกรดมาโลนิกมีสมบัติทางเคมี ดังนี้

IUPAC name : Butanedioic acid

ชื่ออื่น : 1,4-Butanedioic acid

CAS Number : 110-15-6

สูตรโมเลกุล : $C_4H_6O_4$

น้ำหนักโมเลกุล : 118.088 g/mol

ความหนาแน่น : 1.56 g/cm^3

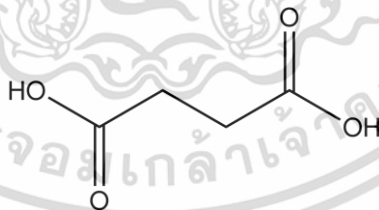
จุดหลอมเหลว : $184\text{--}190 \text{ }^\circ\text{C}$

การละลายน้ำ : 100 g/L

ความเป็นกรด : $pK_{a1} = 4.2, pK_{a2} = 5.6$

การใช้ประโยชน์

กรดซัคซินิกนิยมใช้เป็นวัตถุดิบอาหารและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร กรดซัคซินิกเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าปลอดภัยโดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (FDA) ถูกใช้เป็นหลักในการควบคุมความเป็นกรดในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารแต่งกลิ่นรสซึ่งมีส่วนทำให้รสเปรี้ยวและฝาดเล็กน้อย เป็นสารเพิ่มปริมาณในผลิตภัณฑ์ยา นอกจากนี้ยังใช้สารตั้งต้นของการสังเคราะห์ในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ สารเคลือบและเรซิน อีกทั้งยังใช้ในการผลิตพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพบางชนิด ซึ่งเป็นที่น่าสนใจในการใช้งานด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของกรดซัคซินิก (Succinic acid)

2.9 กรดกลูตาริก (Glutaric acid)

กรดกลูตาริกเป็นกรดไดคาร์บอกซิลิกที่สามารถผลิตขึ้นเองได้ตามธรรมชาติในร่างกายระหว่างการเผาผลาญกรดอะมิโนบางชนิด [34]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IUPAC name : Pentanedioic acid

ชื่ออื่น : Propane-1,3-dicarboxylic acid/ 1,3-Propanedicarboxylic acid/
Pentanedioic acid/ n-Pyrotartaric acid

CAS Number : 110-94-1

สูตรโมเลกุล : $C_5H_8O_4$

น้ำหนักโมเลกุล : 132.12 g/mol

ความหนาแน่น : 1.424 g/cm³

จุดหลอมเหลว : 95-98 °C

จุดเดือด : 200 °C/20 mmHg

การละลายน้ำ : 63.9 g/L

ความเป็นกรด : $pK_{a1} = 4.34$, $pK_{a2} = 5.41$

การใช้ประโยชน์

กรดกลูตาริกและอนุพันธ์ของกรด ถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ 1,5 เพนเทนไดออล (1,5-Pentandiol) เป็นพลาสติกไซเซอรและเป็นมอนอเมอร์ในการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์และพอลิเอไมด์ เป็นต้น



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของกรดกลูตาริก (Glutaric acid)

2.10 สารต้านจุลชีพจากธรรมชาติ (Natural antibiotics)

แม้ว่ายาต้านจุลชีพสังเคราะห์จะได้รับการอนุมัติแล้วในหลายประเทศ แต่การใช้สารธรรมชาติที่ได้มาจากจุลินทรีย์ สัตว์หรือพืชดึงดูดความสนใจของนักวิจัยจำนวนมาก สารประกอบเหล่านี้แสดงผลลัพธ์ที่มีแนวโน้มในการเอาชนะการดื้อยาปฏิชีวนะในเชื้อแบคทีเรีย ในบรรดาตัวเล็อกที่มีทั้งหมดสารประกอบที่ได้จากพืชได้แสดงการใช้งานที่มีศักยภาพมากขึ้นในการต่อสู้กับการติดเชื้อแบคทีเรีย สารเคมีที่ได้จากพืชเป็นสารเคมีที่พบตามธรรมชาติในพืช การมีอยู่ของสารเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบที่เป็นประโยชน์ในแง่ของการต้านอนุมูลอิสระ ต้านเชื้อแบคทีเรียและต้านเชื้อรา [35]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 สารประกอบอัลคาลอยด์ (Alkaloids)

อัลคาลอยด์เป็นสารประกอบเฮเทอโรไซคลิกที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบมีโครงสร้างทางเคมีที่หลากหลาย สมบัติการต้านแบคทีเรียของอัลคาลอยด์ได้รับการศึกษาในหลายงานวิจัย ซึ่งให้เห็นว่าสารประกอบเหล่านี้มีบทบาทสำคัญต่อการรักษาโรคติดเชื้อ ตัวอย่างของสารประกอบแอลคาลอยด์ เช่น โซลานีน (Solanine) ในมันฝรั่ง กาเฟอีน (Caffeine) และธีโอโบรมีน (Theobromine) ในชา กาแฟ ช็อกโกแลต และโกโก้ [35]

2.10.2 สารประกอบออร์กาโนซัลเฟอร์ (Organosulfur compounds)

มีรายงานวิจัยจำนวนมากในหัวข้อของการต้านเชื้อแบคทีเรียและยาต้านเชื้อราของสารประกอบที่ประกอบด้วยซัลเฟอร์ที่ได้จากพืช ตัวอย่างสารประกอบที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น อัลลิซิน (Allicin), อะโจอิน (Ajoene), ไดอัลคิล ซัลไฟด์ (Dialkyl sulphides) และไอโซไทโอไซยาเนต (Isothiocyanates) พบมากในพืชที่มีกลิ่นฉุน เช่น หัวหอมและกระเทียม เป็นต้น ซึ่งมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ [35]

2.10.3 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิก เป็นสารธรรมชาติที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลายซึ่งถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเพื่อวัตถุประสงค์ทางการแพทย์ สารประกอบเหล่านี้มีบทบาทสำคัญทางชีวภาพในการเสริมฤทธิ์ยาปฏิชีวนะต่อต้านเชื้อโรคผ่านกลไกต่าง ๆ ลดกิจกรรมการขนส่งสารของเซลล์ (Efflux pump) และทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งกลไกดังกล่าว จึงช่วยต้านแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคได้ [35]

2.10.4 สารประกอบคูมาริน (Coumarins)

คูมารินมีพบได้ตามธรรมชาติจากพืชและจุลินทรีย์หลายชนิด มีรายงานว่าคูมารินสามารถออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลากหลายซึ่งรวมถึง การขยายหลอดเลือด สารกันเลือดแข็งตัว ฤทธิ์แก้ปวด ต้านการอักเสบ ระบุประสาท ด้านพยาธิ ด้านมะเร็ง และสารต้านอนุมูลอิสระ [35]

2.10.5 สารประกอบเทอร์พีน (Terpenes)

เทอร์พีน หรือ ไอโซพรีนอยด์ (isoprenoids) ถือเป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่พบได้มากที่สุด มีอยู่ในเกือบทุกรูปแบบของสิ่งมีชีวิตและทำหน้าที่มากมายตั้งแต่การมีส่วนร่วมในโครงสร้างหลักของเซลล์ (คอเลสเตอรอลและสเตอรอยด์ในเยื่อหุ้มเซลล์) ไปจนถึงการทำงานของเซลล์ เช่น เรตินา (Retina) ในดวงตา ควิโนน (Quinones) ในการขนส่งอิเล็กตรอน สารประกอบเทอร์พีนมีอยู่มากมายในดอกไม้ผลไม้และผัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถพบได้ในปริมาณความเข้มข้นสูงในโครงสร้างการสืบพันธุ์และใบของพืช สารประกอบเทอร์พีนเป็นส่วนผสมที่สำคัญของเรซินจากพืชและพบอยู่ในกลิ่นหอมของพืชต่าง ๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเทอร์พีนและสารอนุพันธ์ของเทอร์พีนทำหน้าที่ป้องกันศัตรูพืชและเชื้อโรคเข้ามาทำลาย

โดยทั่วไปแบคทีเรียแกรมบวกมีความอ่อนไหวต่อเทอร์พีนมากกว่าแบคทีเรียแกรมลบ กลไกการต้านจุลชีพของเทอร์พีนมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับสมบัติละลายในไขมัน โดยจะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนและรบกวนกระบวนการเมตาบอลิซึม [35]

2.10.6 สารประกอบแอนทราควิโนน (Anthraquinone)

สารแอนทราควิโนน เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีกลิ่นหอมอยู่ในกลุ่มควิโนน (quinone) แอนทราควิโนนเป็นสารที่นำมาใช้ประโยชน์ สำหรับการใช้งานทางการแพทย์ เช่น เป็นยาระบาย ยาทาภายนอกแก้โรคผิวหนัง ยาต้านการอักเสบ แอนทราควิโนนพบมากในพืชหลายชนิด เช่น ว่านหางจระเข้ ขี้เหล็ก มะขามแขก เป็นต้น นอกจากนี้แอนทราควิโนนยังใช้เป็นวัสดุตั้งต้นของสารย้อมสี [36]

2.11 ว่านหางจระเข้ (Aloe vera)

ว่านหางจระเข้ มีการจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์ ดังตารางที่ 2.3 เป็นพืชเขตร้อนที่มีเนื้ออวบน้ำ จัดอยู่ในตระกูลลิเลียม (Liliaceae) แหล่งกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในชายฝั่งทะเลเมดิเตอร์เรเนียนและบริเวณตอนใต้ของทวีปแอฟริกา ว่านหางจระเข้มีสายพันธุ์มากมายกว่า 300 ชนิด ซึ่งมีทั้งพันธุ์ที่มีขนาดใหญ่ มากจนไปถึงพันธุ์ที่มีขนาดเล็กกว่า 10 เซนติเมตร ลักษณะพิเศษของว่านหางจระเข้คือ ลำต้นเป็นปล้อง โคนใบใหญ่ มีใบอวบน้ำหนาค่อนข้างยาว มีหนามรอบขอบใบ และเนื้อภายในมีวุ้นใส ซึ่งในส่วนตัวดังกล่าวนิยมนำมาใช้เพื่อบำรุงรักษาผิวพรรณ และยังสามารถนำมารับประทานได้ มีน้ำเมือกเหนียว ว่านหางจระเข้ผลิดอกในช่วงฤดูหนาว ดอกจะมีสีต่าง ๆ กัน เช่น เหลือง ขาว และแดง เป็นต้น [37]

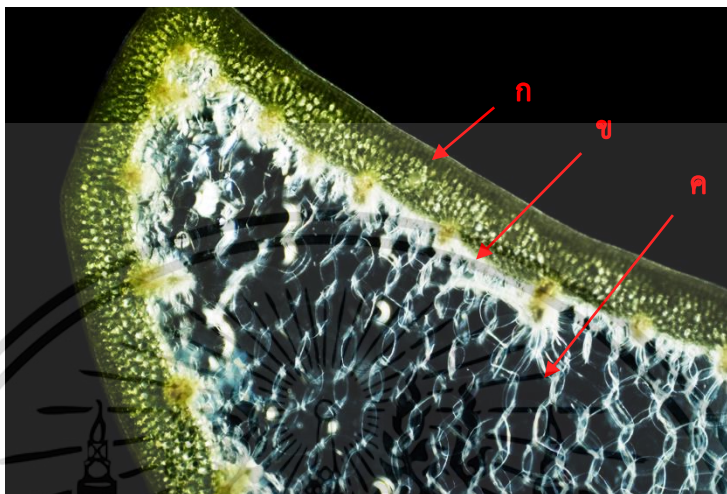
ตารางที่ 2.3 การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์ของว่านหางจระเข้ [37]

อาณาจักร	พืช (Plantae)
หมวด	พืชดอก (Magnoliophyta)
ชั้น	พืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Liliopsida)
อันดับ	อันดับหน่อไม้ฝรั่ง (Asparagales)
วงศ์	วงศ์เต็งช้างเผือก (Liliaceae)
สกุล	สกุลว่านหางจระเข้ (Aloe)
สปีชีส์	<i>A. barbadensis</i> Mill.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.1 องค์ประกอบทางเคมีของว่านหางจระเข้

ส่วนใบว่านหางจระเข้สามารถแยกส่วนประกอบออกเป็น 3 ชั้น ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งแต่ละชั้นจะมีความแตกต่างทางโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้



รูปที่ 2.14 ภาคตัดขวางใบว่านหางจระเข้; ก: เปลือกชั้นนอก, ข: กลุ่มท่อลำเลียง, ค: เนื้อเจลชั้นใน [38]

1) ชั้นเนื้อเยื่อด้านใน มีลักษณะเป็นวุ้นใสอบบ่น้ำ เกือบ 90% ของชั้นนี้ประกอบด้วยน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบต่าง ๆ ต่อน้ำหนักแห้งเจลว่านหางจระเข้จะประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ (ไม่ใช่แป้ง) ประมาณ 55% น้ำตาล 17% แร่ธาตุ 16% โปรตีน 7% ไขมัน 4% และสารประกอบฟีนอลิก 1% เช่น อะโลอิน (Aloin) อะโลอีโมดิน (Aloe emodin) เป็นต้น ปริมาณความแตกต่างนั้นขึ้นกับปัจจัยความแตกต่างของสายพันธุ์ ฤดูกาลของปี แหล่งเพาะปลูก และกระบวนการสกัดเจล

2) ชั้นกลางระหว่างเปลือกสีเขียวกับเนื้อเจล ประกอบด้วยน้ำยางว่านหางจระเข้กระจายอยู่ภายในกลุ่มท่อลำเลียงระหว่างเปลือกและเนื้อเจล น้ำยางมีสีเหลืองแกมน้ำตาลและมีรสขม มีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นสารประกอบฟีนอลและควิโนน เช่น แอนทราควิโนน และไพโรแกลลอล (Pyrogallol)

3) ชั้นนอกของใบหรือเปลือก เป็นส่วนที่ปกป้องและทำให้ใบว่านหางจระเข้สามารถคงรูป ประกอบด้วยเซลลูโลสและลิกนินเป็นองค์ประกอบหลัก [39]

2.11.2 ประโยชน์ของว่านหางจระเข้

ว่านหางจระเข้ เป็นสมุนไพรที่มีประโยชน์และสรรพคุณทางยาในการบำบัดรักษาอาการเจ็บป่วยของทางร่างกายได้หลายด้าน ว่านหางจระเข้สามารถช่วยให้กระบวนการเมตาบอลิซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในร่างกายทำงานได้เป็นปกติ จึงมีประสิทธิภาพในการทำงานเพื่อฟื้นฟูร่างกายได้ดี ว่านหางจระเข้ถูกนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายในรูปแบบของว่านหางจระเข้เข้มข้นและผง ดังนี้

1) การรักษาบาดแผล กรดอะมิโนที่จำเป็นในกระบวนการสมานแผลมีอยู่ในว่านหางจระเข้ นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุจำนวนมาก เช่น เหล็ก โพแทสเซียม แมกนีเซียม โครเมียม ทองแดง โซเดียม แคลเซียมและสังกะสี ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของกระบวนการสมานแผล จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการรักษาด้วยว่านหางจระเข้ทำให้แผลหายเร็วขึ้น ว่านหางจระเข้ช่วยป้องกันการเกิดแผลเป็น โดยการกระตุ้นและส่งเสริมกระบวนการฟื้นฟูในชั้นที่ลึกที่สุดของผิว การรักษาแผลนับเป็นสรรพคุณเด่นสำหรับการใช้ว่านหางจระเข้ในการบำบัดรักษา [37]

2) การป้องกันฟันและเหงือก ว่านหางจระเข้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการทันตกรรมเพื่อรักษาโรคแทรกซ้อนทางทันตกรรมที่หลากหลาย เช่น เพื่อบรรเทาอาการปวดและเร่งการรักษาหลังการผ่าตัดปริทันต์ การรักษาโดยใช้ว่านหางจระเข้เพื่อห้ามเลือดและหยุดอาการบวมของเหงือกในโรคเกี่ยวกับเหงือก เช่น โรคเหงือกอักเสบและโรคปริทันต์อักเสบ

3) การต้านเชื้อจุลินทรีย์ เจลว่านหางจระเข้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียและก่อโรค เช่น *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, *Streptococcus*, *Escherichia coli*, *Aspergillus niger*, *Candida albicans* เป็นต้น จากงานวิจัยของ Mbajuka C. S. และคณะรายงานว่าสารสกัดด้วยเอทานอลในส่วนเจลของว่านหางจระเข้มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* [40]

4) สารเคลือบแบบรับประทานได้ เป็นชั้นเคลือบบาง ๆ ซึ่งช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาของสินค้าที่เน่าเสียง่าย เจลว่านหางจระเข้ถือได้ว่าเป็นหนึ่งในสารเคลือบที่ปลอดภัยและใช้งานได้ดีที่สุดสำหรับการใช้งานด้านอาหารต่าง ๆ เนื่องจากมีสมบัติในการขึ้นรูปและการย่อยสลายทางชีวภาพ พอลิแซคคาไรด์ของว่านหางจระเข้ทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันตามธรรมชาติต่อความชื้นและออกซิเจนซึ่งเป็นสาเหตุในการเสื่อมสภาพของผักและผลไม้ ช่วยในการควบคุมอัตราการหายใจ ชะลอการสุก ป้องกันการสูญเสียความชุ่มชื้น ชะลอการเกิดสีน้ำตาล แนวโน้มใหม่ของการทำสารเคลือบที่รับประทานได้ คือการทำให้เกิดอิมัลชัน สารเคลือบจากว่านหางจระเข้ช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไขมันและพอลิแซคคาไรด์เพียงอย่างเดียว [37]

5) เจลว่านหางจระเข้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางซึ่งได้กลายเป็นส่วนผสมสำคัญ มักถูกใช้เป็นมอยส์เจอร์เซอร์และโลชั่น เจลว่านหางจระเข้มีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์แชมพู สบู่ เพื่อเพิ่มความชุ่มชื้น สบู่ที่เตรียมจากว่านหางจระเข้มีข้อได้เปรียบที่ไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองและไม่ทำให้ผิวแห้ง สารสกัดจากว่านหางจระเข้ยังถูกเพิ่มเข้าไปในครีมโกนหนวดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาแผลโกนหนวด ด้วยลักษณะที่เป็นเมือกของเจลว่านหางจระเข้ยังช่วยเป็นเกราะป้องกันระหว่างผิวหน้ากับใบมีดโกนได้ [37]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tantiwatcharotha S. and Prachayawarakorn J. (2020) ทำการพัฒนาวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักโดยการเชื่อมโยงด้วยบอแรกซ์ผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO-NP) ซึ่งเมือกแมงลักที่เชื่อมโยงด้วยบอแรกซ์แสดงสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน การกักเก็บน้ำ และความคงรูปที่ดีกว่าเมือกแมงลักที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยง แต่การเพิ่มปริมาณของบอแรกซ์และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ส่งผลให้ความหนา ความพรุน และการบวมตัวของชิ้นงานลดลง จากการทดสอบการต้านแบคทีเรียพบว่าสามารถยับยั้ง *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ทั้งยังไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์เคอราทีโนไซต์ (HaCaT) [7]

Halima B. และคณะ (2016) ได้ศึกษาอิทธิพลของสารสกัดเจลว่านหางจระเข้ด้วยเอทานอลต่อจุลินทรีย์ก่อโรคทั่วไป โดยนำว่านหางจระเข้ (*Aloe barbadensis*) ส่วนเนื้อเจลใสมาอบแห้งและทำการบดเป็นผงก่อนนำไปสกัดด้วยเอทานอล นำสารละลายที่ได้ไปทดสอบการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี Disc Diffusion วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของขอบเขตการยับยั้งพบว่าสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S. aureus* 22 มม. *S. saprophyticus* 20 มม. *S. pneumoniae* 15 มม. และ *S. pyogenes* 18 มม. และแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli* 12.5 มม. *P. aeruginosa* 13.87 มม. และ *K. pneumoniae* 13.22 มม. [8]

Jithendra P. และคณะ (2013) ศึกษาการเตรียมและทดสอบโครงสร้างเส้นใยเซลล์คอมโพสิตคอลลาเจน-ไคโตซานผสมว่านหางจระเข้สำหรับประยุกต์ในวิศวกรรมเนื้อเยื่อ การผสมว่านหางจระเข้ในโครงสร้างเส้นใยจากคอลลาเจน-ไคโตซานช่วยเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนและความชอบน้ำให้กับวัสดุ แต่มีสมบัติเชิงกลต่ำลง การศึกษาการเพาะเลี้ยงเซลล์ไฟโบรบลาสต์บนโครงสร้างเส้นใยที่ผสมว่านหางจระเข้พบว่าเซลล์สามารถมีการเจริญเติบโตมากกว่าวัสดุที่ไม่ผสมว่านหางจระเข้ ทั้งยังไม่แสดงความเป็นพิษใดๆ รวมถึงสัญญาณวิทยาของเซลล์ยังเป็นปกติ [9]

Thessrimuang N. and Prachayawarakorn J. (2019) ได้ศึกษาและเตรียมฟิล์มที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพจากเมือกแมงลัก ซึ่งปรับปรุงสมบัติของเมือกแมงลักโดยการเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ 3 ชนิด คือ กรดซัคซินิก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริก จากการตรวจสอบฟิล์มที่ผ่านปฏิกิริยาเชื่อมโยงด้วยเทคนิค FTIR ปรากฏแถบการสั่นของหมู่เอสเทอร์ แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างเมือกแมงลักกับกรดทั้ง 3 ชนิด นอกจากนี้สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนมีแนวโน้มดีขึ้น ซึ่งเมือกแมงลักที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกแสดงสมบัติดังกล่าวดีที่สุด และฟิล์มที่ผ่านการเชื่อมโยงยังสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ [31]

Allafchian A. และคณะ (2018) เตรียมโครงสร้างเส้นใยเซลล์ (Scaffold) แบบ 2 มิติ ด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning) จากเมือกแมงลักและพอลิคาโพรแลกโตน (Polycaprolactone) จากการทดลองพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างพอลิคาโพรแลกโตน/เมือกแมงลัก คือ 3/2 ซึ่งเส้นใยที่ได้มีความสม่ำเสมอและมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก ในสูตรที่ผสมเมือกแมงลัก 2 ส่วน เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมงลักขึ้นงานมีสมบัติชอบน้ำและมีความพรุนมากขึ้น ความเป็นผลึกและระยะเวลาการย่อยสลายลดลง จากการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์เพาะเลี้ยง (Vero cell) พบว่าเซลล์เจริญเติบโตได้เป็นปกติและไม่มีความเป็นพิษ [41]

Anbazhagan S. และคณะ (2018) ได้ศึกษาผลของการเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ลงในฟิล์มจากไคโตซานซึ่งบรรจุด้วยยาเตรอะไซคลิน ไฮโดรคลอไรด์ (Tetracycline hydrochloride) โดยขึ้นรูปขึ้นงานด้วยวิธีทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze drying) พบว่าเมื่อเติมสารสกัดจากว่านหางจระเข้แสดงสมบัติการดูดซับน้ำ การกักเก็บน้ำ ความพรุน การต้านเชื้อแบคทีเรีย และความไม่เป็นพิษต่อเซลล์สูงกว่าในสูตรที่ไม่ได้ผสมสารสกัดจากว่านหางจระเข้ [42]

Valderruten N. E. และคณะ (2014) เตรียมไฮโดรเจลจากไคโตซานเชื่อมโยงด้วยกรด 3 ชนิด คือ กรดอะซิติก กรดกลูตาริก และกรดซัคซินิก เพื่อเปรียบเทียบผลของความยาวสายโซ่สารเชื่อมโยงต่อพฤติกรรมของวัสดุ จาก FTIR แสดงถึงการลดลงของหมู่อะมิโนของไคโตซาน เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงกับกรดเปลี่ยนเป็นหมู่เอไมด์ การทดสอบการบวมตัวไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยกรดอะซิติกบวมตัวมากที่สุด การทดสอบสมบัติทางความร้อนจาก TGA พบว่าไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยกรดทั้ง 3 ชนิดสลายตัวที่อุณหภูมิใกล้เคียงไคโตซานที่ไม่ได้เชื่อมโยง นอกจากนี้ไฮโดรเจลจากกรดกลูตาริกและกรดอะซิติกมีการสูญเสียประมาณ 80% ของมวล เมื่อย่อยสลายโดยไลโซไซม์ (Lysozyme) ในขณะที่ไฮโดรเจลจากซัคซินิกหายไปเพียง 10% ของมวล บ่งชี้ว่าไลโซไซม์สามารถแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างและย่อยสลายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากสำหรับไฮโดรเจลที่เชื่อมโยงด้วยกรดสายโซ่ยาว [43]

Rubio-Elizalde I. และคณะ (2018) ได้ศึกษาและเตรียมวัสดุปิดแผลด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบเยือกแข็งจากอัลจินัตที่เชื่อมโยงด้วยแคลเซียมผสมสารสกัดจากใบของมะรุม (*Moringa oleifera*) และสารสกัดจากว่านหางจระเข้ พบว่าสารสกัดจากว่านหางจระเข้ช่วยเพิ่มการดูดซับน้ำให้กับวัสดุปิดแผลและ สารสกัดจากใบมะรุมมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ได้ดี และจากการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ พบว่าในสูตรที่มีส่วนผสมสารสกัดทั้งสองชนิดยังช่วยให้เซลล์เจริญเติบโตได้ดี [44]

Tu C. และคณะ (2019) ได้เตรียมวัสดุปิดแผลที่สามารถบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงค่า pH ได้จากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส/ไคโตซานอนุภาคขนาดไมครอนโดยการเชื่อมโยงด้วยเอพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) และขึ้นรูปด้วยวิธีทำแห้งแบบเยือกแข็ง จากนั้นนำไปย้อมด้วยสีย้อมไซยานิน (Cyanine dye) ซึ่งผลการทดสอบวัสดุปิดแผลแสดงการตอบสนองที่ค่อนข้างรวดเร็ว โดยเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียว เมื่อค่า pH ของสารละลายเปลี่ยนจาก 4 เป็น 8 โดยสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า นอกจากนี้ยังมีสมบัติการซึมผ่านของอากาศที่ดีและมีความพรุนสูง เนื่องจากโครงสร้างภายในเป็นเซลล์เปิดเชื่อมต่อกัน เมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้นทำให้ความพรุน อัตราการ

เล็กน้อย การปลดปล่อยสารละลายวุ้นทางจระเข้จากไฮโดรเจลในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่อุณหภูมิ 37 °C พบว่าสารออกฤทธิ์ถูกปลดปล่อยออกมาทีละน้อยเป็นเวลานานหนึ่งสัปดาห์ และจากภาพถ่าย SEM เมื่อเพิ่มปริมาณวุ้นทางจระเข้มากขึ้นส่งผลให้ไฮโดรเจลมีโครงสร้างพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์ของวัสดุ พบว่าเซลล์ไฟโบรบลาสต์สามารถยึดเกาะบนไฮโดรเจลได้ดีและไม่มีความเป็นพิษ [59]

Iratxe Z. และคณะ (2021) ศึกษาจลนศาสตร์การปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากวุ้นทางจระเข้ในฟิล์มโคโตะซานเชื่อมขวาง ในงานวิจัยได้เตรียมฟิล์มโคโตะซานเชื่อมขวางด้วยกรดซิตริกและใส่วุ้นทางจระเข้ (AV) เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพื่อดูพฤติกรรมการปลดปล่อยจากผลของสมบัติเชิงกลพบว่าสมบัติเชิงกลของฟิล์มไม่เปลี่ยนแปลงแม้จะเพิ่ม AV มากถึง 10% โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ฟิล์มโคโตะซานเชื่อมขวางยังมีการบวมตัวที่จำกัดเนื่องจากโครงสร้างมีปริมาตรอิสระน้อยจึงสามารถควบคุมการปลดปล่อย AV ได้อย่างสม่ำเสมอและยังคงรูปขึ้นงานอยู่ได้ถึง 9 วัน [60]



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. เมล็ดแมงลัก (เกรตอาหาร) จากบริษัท ไร่ทิพย์ จำกัด

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมือกแมงลัก

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก
ความชื้น	5.9±0.54
เถ้า	5.3±0.23
โปรตีน	2.3±0.08
กรดยูโรนิก	6.51±0.54
กลูโคแมนแนนและไซแลน	78.66±1.33

2. กรดมาโลนิก (MA) จากบริษัท Lab System Co. Ltd.
3. กรดซัคซินิก (SA) จากบริษัท Lab System Co. Ltd.
4. กรดกลูตาริก (GA) จากบริษัท Lab System Co. Ltd.
5. ไบว่่านทางจระเข้สด จากบริษัท Mong Moom Mai Co. Ltd.
6. เอทานอล
7. กลีเซอรอล จากบริษัท Lab system, Co., Ltd.
8. น้ำกลั่น

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. แท่งแก้วคนสาร
2. แท่งแม่เหล็กปั่นกวน
3. ปีกเกอร์
4. กระดาษกรอง Whatman No.1
5. จานเพาะเชื้อ (100 มม. × 15 มม.)
6. เทอร์โมมิเตอร์
7. ตู้บลมร้อน (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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. เครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Coolsafe 110-4, Scan Vac, ประเทศเดนมาร์ก)
13. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) (LEO 1455VP, ZEISS, ประเทศเยอรมนี)
14. เครื่อง FT-IR สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR Spectrophotometer) (Perkin Elmer, Spectrum 200 GX spectrometer, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
14. เครื่องทดสอบบอเนกประสงค์ (Universal testing machine) (Lloyd Instruments, LR5k, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
15. เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสาร (Thermogravimetric analyzer, TGA) (Mettler Toledo, TGA/DSC 3+, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
16. เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary evaporator) (Rotavapor® R-300, Nantong Sanjing Chemglass Co., Ltd, ประเทศจีน)

3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การสกัดเมือกจากเมล็ดแมงลัก

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

3.3.2 เตรียมสารสกัดจากว่านหางจระเข้

1. นำใบว่านหางจระเข้มาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกสีเขียวออก นำส่วนเนื้อเจลใสมาหั่นเป็นชิ้น ๆ แล้วอบแห้ง 48 ชั่วโมง
2. บดเจลที่แห้งแล้วเป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบดแบบแห้ง และนำไปสกัดสารด้วยวิธีการหมัก (Maceration) โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ในอัตราส่วน 1:10 ที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง กรองเอากากออกด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 [36]
3. จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการสกัดไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน (Rotary evaporator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เก็บส่วนของสารที่ได้จากการระเหยตัวทำละลายออกไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปทดสอบต่อไป

3.3.3 การเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลัก

1. นำเมือกแมงลักแห้งมา 1 กรัม กระจายตัวในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
2. เติมกลีเซอรอลปริมาณ 1.5 กรัม เป็นพลาสติกไซเซอร์ ลงในสารละลายเมือกแมงลัก
3. ปั่นกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็กที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที
4. เทสารละลาย 40 กรัมลงในจานเพาะเชื้อขนาด (100 × 15 มิลลิเมตร) เพื่อควบคุมความหนาของชิ้นงาน
5. นำตัวอย่างแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอีก 24 ชั่วโมง

3.3.4 การเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยง

1. ละลายเมือกแมงลักแห้งจำนวน 1 กรัม และกลีเซอรอล 1.5 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
2. เติมกรดมาโลนิกเป็นสารเชื่อมโยง ปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมือกแมงลัก
3. ปั่นกวนสารละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. เทสารละลาย 40 กรัมลงในจานเพาะเชื้อขนาด (100 × 15 มิลลิเมตร) เพื่อควบคุมความหนาของชิ้นงาน
5. นำตัวอย่างแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอีก 24 ชั่วโมง
6. ทำซ้ำขั้นตอนในข้อ 1-5 โดยเปลี่ยนชนิดของสารเชื่อมขวางเป็นกรดซัคซินิก และกรดกลูตาริก ตามลำดับ

3.3.5 การเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงผสมสารสกัดว่านหางจระเข้

1. เตรียมสารละลายเมือกแมงลักเชื่อมโยงตามขั้นตอน 1-3 ในข้อ 3.3.4
2. ลดอุณหภูมิสารละลายเมือกแมงลักเชื่อมโยงลงจนถึง 40 องศาเซลเซียส เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ในข้อ 3.3.2 ลงไปปริมาณ 6.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมือกแมงลักแล้วปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที
3. เทสารละลายปริมาตร 40 กรัมลงในจานเพาะเชื้อขนาด (100 × 15 มิลลิเมตร) เพื่อควบคุมความหนาของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำตัวอย่างแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอีก 24 ชั่วโมง

5. ทำซ้ำขั้นตอนในข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนชนิดของสารเชื่อมขวางเป็นกรดซัคซินิก และกรดกลูตาริก ตามลำดับ และทำซ้ำขั้นตอนในข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นสารสกัดว่านหางจระเข้ในข้อ 3.3.2 เป็น 12.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมือกแมงลัก

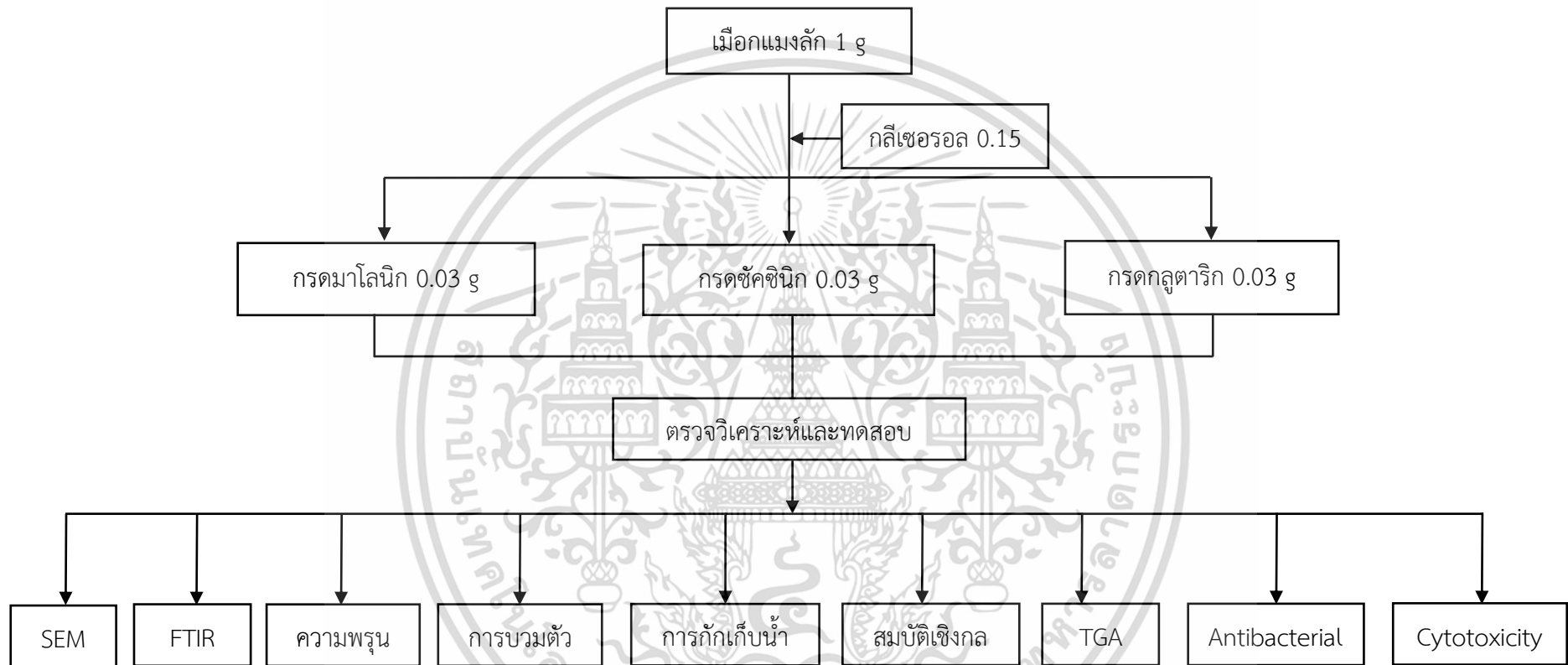


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

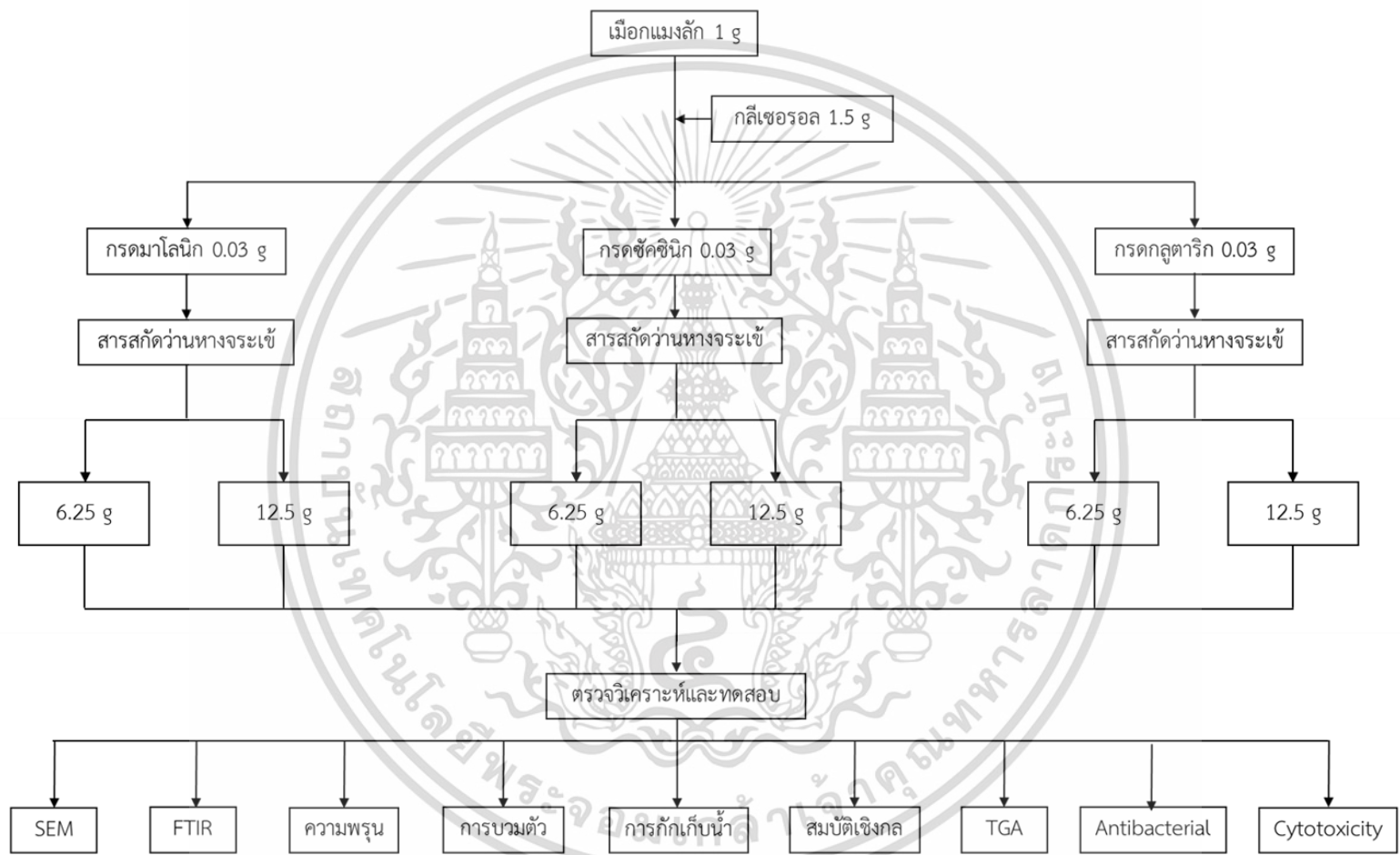
ตารางที่ 3.2 ปริมาณส่วนผสมในแต่ละสูตร

ตัวอย่าง	องค์ประกอบ (%wt)					
	เมือกแมงลัก	กลีเซอรอล	กรดมาโลนิค	กรดซัคซินิก	กรดกลูตาริก	สารสกัดว่านหางจระเข้
BSM	85	15	0	0	0	0
BSM-MA	82	15	3	0	0	0
BSM-SA	82	15	0	3	0	0
BSM-GA	82	15	0	0	3	0
BSM/AV1	75.75	15	0	0	0	6.25
BSM-MA/AV1	75.75	15	3	0	0	6.25
BSM-SA/AV1	75.75	15	0	3	0	6.25
BSM-GA/AV1	75.75	15	0	0	3	6.25
BSM/AV2	69.5	15	0	0	0	12.5
BSM-MA/AV2	69.5	15	3	0	0	12.5
BSM-SA/AV2	69.5	15	0	3	0	12.5
BSM-GA/AV2	69.5	15	0	0	3	12.5

** หมายเหตุ ทุกสูตรละลายในน้ำ 100 มล. และ %wt เปรียบเทียบกับน้ำหนักของเมือกแมงลัก 1 กรัม



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการเตรียมและการทดสอบวัสดุปิดแผลในสูตรต่าง ๆ



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการเตรียมและการทดสอบวัสดุปิดแผลที่ผสมสารสกัดว่านหางจระเข้ในสูตรต่าง ๆ

3.4 การตรวจสอบสมบัติของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลัก

3.4.1 สัณฐานวิทยา

การเตรียมตัวอย่างวิเคราะห์จะแช่และทำให้แตกหักในไนโตรเจนเหลว จากนั้นเคลือบผิวชิ้นงานด้วยทองคำเพื่อนำไฟฟ้า แล้วนำมาศึกษาสัณฐานวิทยาของชิ้นงานตัวอย่างด้านภาคตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM), (LEO 1455VP, ZEISS ประเทศเยอรมนี) ที่กำลังขยาย 200 เท่า

3.4.2 ตรวจวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี

ตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างทางเคมีด้วยเครื่อง FT-IR สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ Spectrum 2000 GX spectrometer (Perkin Elmer, Waltham, MA, USA) ในโหมด Transmission ในช่วงเลขคลื่น 400 cm^{-1} ถึง 4000 cm^{-1}

3.4.3 สัตส่วนเจล (Gel fraction)

ตัดชิ้นงานชั่งน้ำหนักประมาณ 0.2 กรัม แช่ในตัวทำละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (DMSO) 25 มล. เป็นเวลา 24 ชม. จากนั้นนำชิ้นงานมาล้างด้วยน้ำกลั่นและอบแห้งที่อุณหภูมิ $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง สัตส่วนเจลคำนวณได้จากสมการ

$$\text{สัตส่วนเจล (\%)} = 100 - [(M_g - M_b) / M_b] \times 100 \quad (3.1)$$

โดยที่ M_g คือ น้ำหนักวัสดุก่อนการแช่ใน DMSO และ M_b คือ น้ำหนักวัสดุหลังจากการอบ

3.4.4 ความพรุน (Porosity)

ความพรุนของชิ้นงานตัวอย่างจะคำนวณจากการแทนที่ของช่องว่างในวัสดุ โดยแช่ทำการชิ้นงานในเอทานอล และวัดปริมาตรของชิ้นงาน (V) ด้วยเวอร์เนียร์ ความพรุนสามารถคำนวณได้จากสมการ (3.1)

$$\text{ความพรุน (\%)} = (W_f - W_i) / \rho \times V \times 100 \quad (3.2)$$

โดยที่ W_i คือ น้ำหนักของชิ้นงาน, W_f คือน้ำหนักของชิ้นงานหลังจากแช่ในเอทานอล 24 ชม. และ ρ คือ ความหนาแน่นของเอทานอล

3.4.5 การบวมตัว

การบวมตัวของตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D-570 โดยเตรียมชิ้นงานตัวอย่างขนาด 20×20 ตร.มม. ชั่งน้ำหนักและแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างทุกๆ 1 ชั่วโมงจนถึง 6 ชั่วโมงและหลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมง องค์กรบวมตัวคำนวณได้จากสมการ (3.2)

$$\text{การบวมตัว} = \frac{M_w - M_0}{M_0} \quad (3.3)$$

โดยที่ M_0 คือ น้ำหนักของตัวอย่างก่อนแช่น้ำ, M_w คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังแช่น้ำกลับ

3.4.6 ความสามารถในการกักเก็บน้ำ

เตรียมตัวอย่างขนาด 20×20 ตร.มม. แช่น้ำกลับให้บวมตัวจนถึงจุดสมดุล ชับน้ำส่วนเกินจากตัวอย่างและชั่งน้ำหนัก (W_0) จากนั้นวางตัวอย่างทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 60% และชั่งน้ำหนัก (W_T) ความสามารถในการกักเก็บน้ำคำนวณจากสมการ (3.3)

$$\text{ความสามารถในการกักเก็บน้ำ (\%)} = \frac{W_T}{W} \times 100 \quad (3.4)$$

โดยที่ W_0 คือ น้ำหนักของตัวอย่าง ณ จุดสมดุล, W_T คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังจาก 24 ชั่วโมง

3.4.7 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ตัดชิ้นงานขนาด 10×1 ซม. ตามแนวยาว เก็บชิ้นงานในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 60±2% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ที่อุณหภูมิ 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 60% โดยใช้สภาวะทดสอบดังนี้ ขนาดโหลด (Load cell) 100 นิวตัน ระยะทดสอบ (Gage length) 15 มม. และความเร็วในการดึง (Test speed) 5 มม./นาที

3.4.8 สมบัติทางความร้อน

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของตัวอย่างได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน เตรียมตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 5 มก. ใส่ในแพน (Pan) เริ่มการวิเคราะห์ในช่วงอุณหภูมิ 30 ถึง 600 °C ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 °C/นาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน

3.4.9 สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย

ทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของตัวอย่างขึ้นงานด้วยวิธี Disc diffusion กับแบคทีเรีย *Pseudomonas aeruginosa* (แกรมลบ) และ *Staphylococcus aureus* (แกรมบวก) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่พบได้บ่อยที่สุดในแผลติดเชื้อ ทดสอบจากการวัดขนาดขอบเขตยับยั้งบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ตัวอย่างจะถูกตัดเป็นแผ่นกลมขนาด 8 มม. แผ่นขึ้นงานจะวางอยู่บนจานวันที่มีแบคทีเรียเจริญเติบโตและบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นวัดระยะขอบเขตการยับยั้งเพื่อตรวจสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย

3.4.10 ความเป็นพิษต่อเซลล์

การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ของตัวอย่างได้รับการประเมินด้วยการทดสอบ MTT assay กับเซลล์ Keratinocytes (HaCaT) ของมนุษย์ ตัวอย่างถูกแช่ในสารละลายเกลือบัฟเฟอร์ฟอสเฟตที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นตัวอย่างที่แช่แล้วจะถูกกรองออกและนำสารละลายที่กรองได้เตรียมเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยการเติม DMEM (Dulbecco's Modified Eagle Medium) แล้วนำไปผสมในอาหารของ DMEM ที่เติมด้วย 10% FBS (Fetal Bovine Serum) และ ปิเปตต์ลงในภาชนะหลุม (96-well plate) ปริมาตร 100 µl จากนั้นปิเปตต์ HaCaT cell culture 100 µl ซึ่งมีเซลล์ HaCaT 1×10^5 เซลล์/มล. เติมในอาหารเลี้ยงเชื้อ DMEM ข้างต้น ทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากครบ 24 ชั่วโมง ทำการเติมสารละลาย MTT ปริมาตร 10 µl (ความเข้มข้น 5 มก./มล.) เพิ่มเข้าไปในหลุมและบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C อีก 4 ชั่วโมง จากนั้นละลายผลึกฟอร์มาซาน (Formazan crystal) ที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายผสม DMSO 100%: สารละลาย SDS 10% ปริมาตร 100 µl และนำสารละลายสีม่วงที่เกิดขึ้น 100 µl เติมเข้าไปในภาชนะหลุมใหม่ วัดค่า optical density (OD) ที่ความยาวคลื่น 570 nm คำนวณค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ได้จากสมการ (3.4)

$$\text{ความเป็นพิษต่อเซลล์} = (A - B/A) \times 100 \quad (3.5)$$

โดยที่ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของหลุมควบคุม
B คือ ค่าการดูดกลืนแสงของหลุมตัวอย่าง

3.4.11 วิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้ Tukey's test เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ($p < 0.05$) ด้วยโปรแกรมคำนวณทางสถิติ IBM® SPSS® Statistics 26

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้เตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบเยือกแข็งทำการปรับปรุงโดยการเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์และทำการศึกษาอิทธิพลของชนิดกรดอินทรีย์ที่ใช้เชื่อมโยง ได้แก่ กรดมาโลนิก กรดซัคซินิก และกรดกลูตาริกที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา รวมถึงศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารสกัดว่านหางจระเข้ที่มีต่อสมบัติต่างๆ รวมถึงสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียและความเป็นพิษกับเซลล์ในวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยง

ตารางที่ 4.1 อักษรย่อสูตรวัสดุปิดแผลเมือกแมงลักเชื่อมโยงที่ใช้ในงานวิจัยนี้

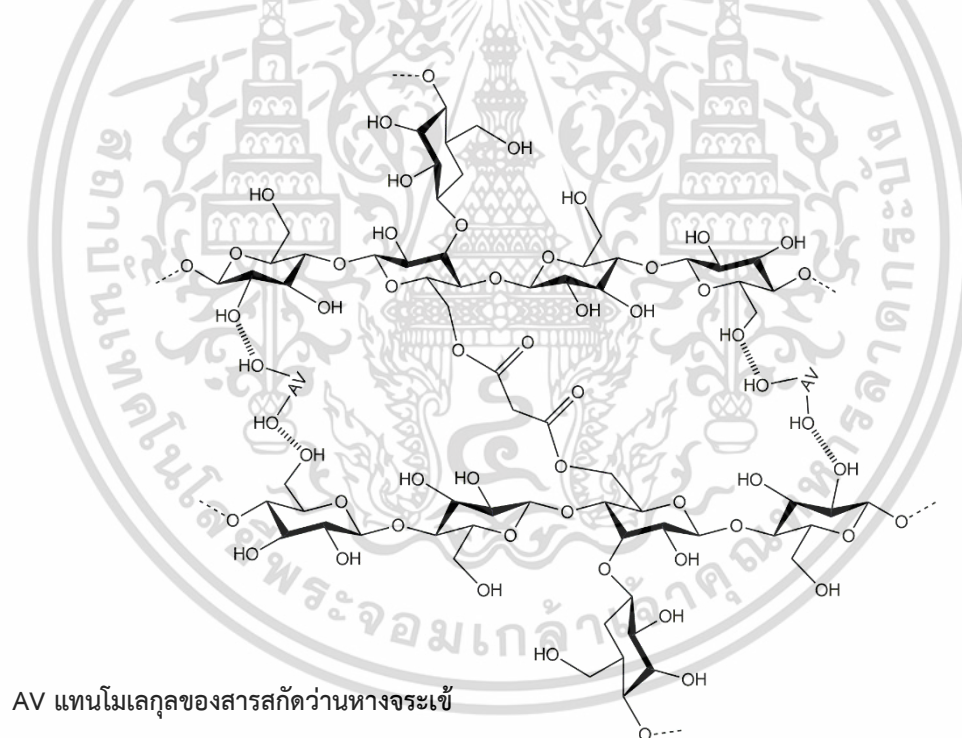
ลำดับ	สูตร/อักษรย่อที่ใช้	ความหมาย
1	BSM	วัสดุปิดแผลเมือกแมงลักที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยง
2	BSM-MA	วัสดุปิดแผลเมือกแมงลักที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิก 3 wt%
3	BSM-SA	วัสดุปิดแผลเมือกแมงลักที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก 3 wt%
4	BSM-GA	วัสดุปิดแผลเมือกแมงลักที่เชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริก 3 wt%
5	BSM/AV1	วัสดุปิดแผลเมือกแมงลักที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยง และเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ 6.25 wt%
6	BSM-MA/AV1	วัสดุปิดแผลเมือกแมงลักที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิก 3 wt% และเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ 6.25 wt%
7	BSM-SA/AV1	วัสดุปิดแผลเมือกแมงลักที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก 3 wt% และเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ 6.25 wt%
8	BSM-GA/AV1	วัสดุปิดแผลเมือกแมงลักที่เชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริก 3 wt% และเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ 6.25 wt%
9	BSM/AV2	วัสดุปิดแผลเมือกแมงลักที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยง และเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ 12.5 wt%
10	BSM-MA/AV2	วัสดุปิดแผลเมือกแมงลักที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิก 3 wt% และเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ 12.5 wt%
11	BSM-SA/AV2	วัสดุปิดแผลเมือกแมงลักที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก 3 wt% และเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ 12.5 wt%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) อักษรย่อสูตรวัสดุปิดแผลเมือกแมงลักเชื่อมโยงที่ใช้ในงานวิจัยนี้

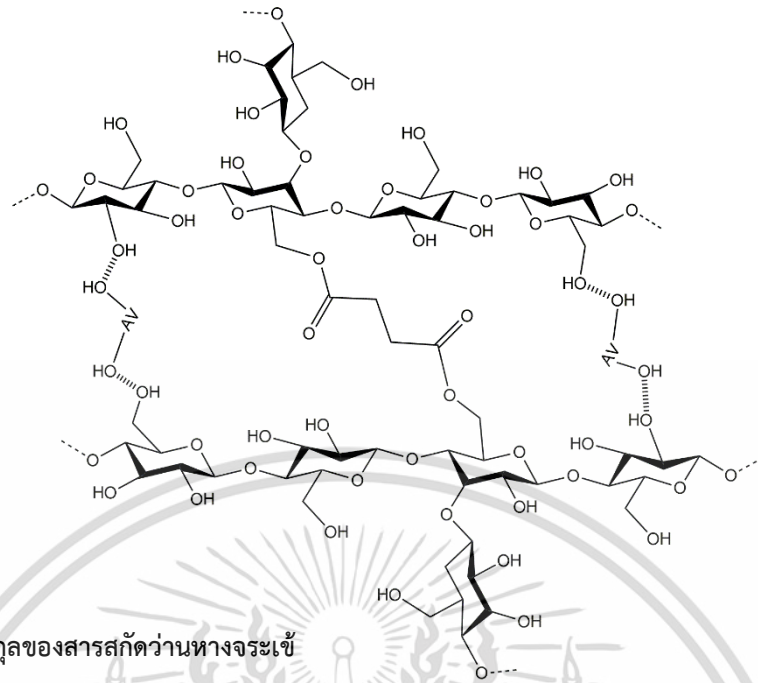
12	BSM-SA/AV2	วัสดุปิดแผลเมือกแมงลักที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก 3 wt% และเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ 12.5 wt%
----	------------	--

ในการเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของโมเลกุลพอลิแซ็กคาไรด์จากเมือกแมงลักกับหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) ของโมเลกุลกรด ผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน เกิดพันธะเอสเทอร์ขึ้นและผลจากการเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ซึ่งมีองค์ประกอบของสารกลุ่มฟีนอลิก อาจส่งผลให้เกิดอันตรกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลพอลิแซ็กคาไรด์ในเมือกแมงลักผ่านพันธะไฮโดรเจนและ/หรืออาจเกิดแรงวานเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) โดยอันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลเมือกแมงลัก กรดอินทรีย์ และสารสกัดว่านหางจระเข้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1-4.3

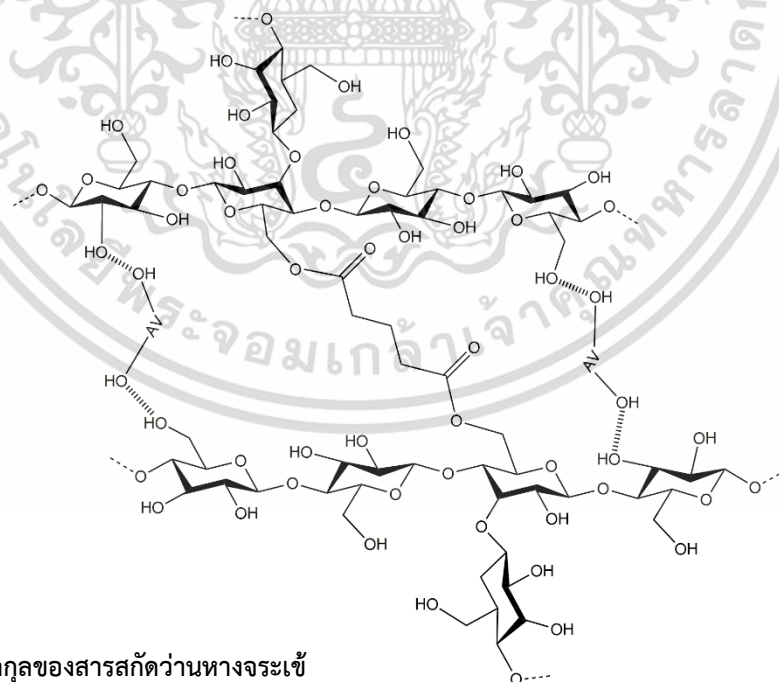


รูปที่ 4.1 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิก และสารสกัดว่านหางจระเข้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก และสารสกัดว่านหางจระเข้



รูปที่ 4.3 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการเตรียมวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริก และสารสกัดว่านหางจระเข้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR

การศึกษาดูการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันที่มีอยู่ก่อนและหลังการเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ และภายหลังจากการเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ปริมาณต่างๆ กัน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์มีสเปกตรัมการสั่นของหมู่ฟังก์ชันที่คล้ายกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.2

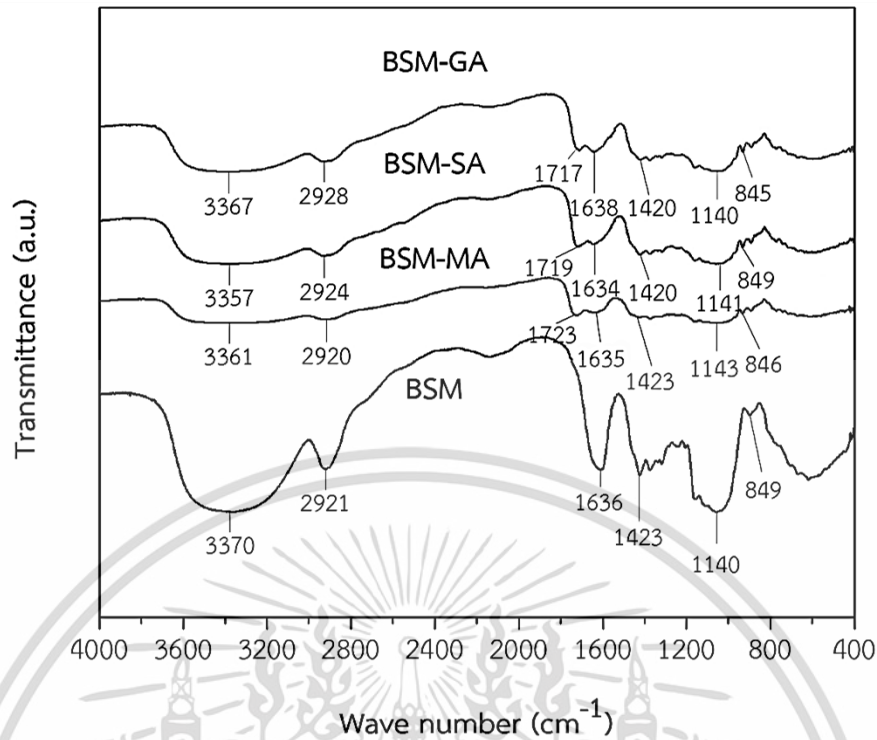
ตารางที่ 4.2 หมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏในวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงที่เตรียมได้

เลขคลื่น (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 ช่วงเลขคลื่นกว้าง

4.1.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของวัสดุปิดแผลเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์

หลังจากการขึ้นรูปชิ้นงานวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยง ด้วยวิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็งแล้ว ได้นำชิ้นส่วนวัสดุปิดแผลบางส่วนไปบดผสมรวมกับเกลือโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) แล้วทำการอัดเป็นแผ่นเพื่อทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงและไม่เชื่อมโยงด้วยกรดชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.4 สังเกตได้ว่ารูปแบบของอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงและไม่ผ่านการเชื่อมโยงมีความคล้ายคลึงกัน โดยปรากฏพีกที่มีลักษณะกว้างที่ตำแหน่ง $3000-3500\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ O-H จากหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของเมือกแมงลัก พีกที่ตำแหน่ง 2920 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะ C-H พีกที่ตำแหน่ง $1634-1638\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นของพันธะ C=O แบบสมมาตรและไม่สมมาตรของหมู่คาร์บอกซิเลตซึ่งเกิดจากกรดกลูโคโรนิก (Glucuronic acid) ซึ่งอยู่ในโครงสร้างของไซแลนที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งของเมือกแมงลัก และพีกที่ตำแหน่ง $1420-1423\text{ cm}^{-1}$ เป็นช่วงการสั่นของ O-H bending [31, 43, 49]

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่ผ่านเชื่อมโยงและไม่ผ่านการเชื่อมโยงพบว่า ความเข้มของสัญญาณพีกจากหมู่ไฮดรอกซิลในอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยง (BSM-MA, BSM-SA และ BSM-GA) มีแนวโน้มลดลงแสดงถึงจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างเมือกแมงลักทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลิกของกรดอินทรีย์ ผลดังกล่าวเกิดจากการที่วัสดุปิดแผลที่มีการเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์เกิดการสร้างพันธะเอสเทอร์ขึ้นใหม่ในโครงสร้าง โดยสังเกตได้จากสัญญาณพีกใหม่ในอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยง ณ ตำแหน่งพีกที่ประมาณ 1720 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่น -C=O stretching ของหมู่

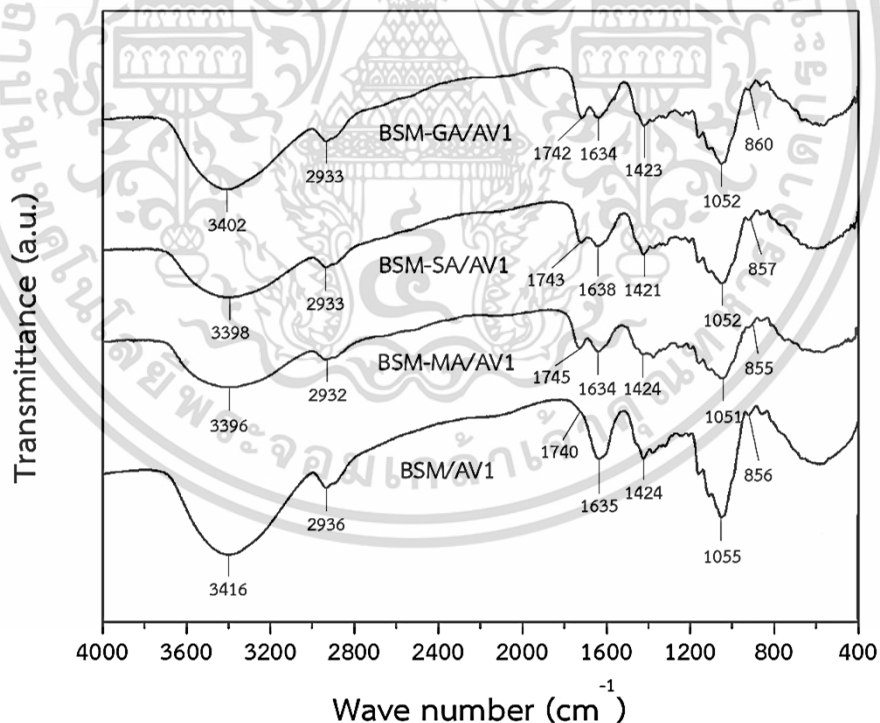
คาร์บอนิลจากพันธะเอสเทอร์ ดังนั้นจากผลของอินฟราเรดสเปกตรัมจึงเป็นหลักฐานว่าเกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมโยงระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ด้วยกรดอินทรีย์ในโครงสร้างของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลัก นอกจากนี้พบว่า การเติมกรดทำให้สเปกตรัมในช่วงการสั่นของ O-H stretching และ O-H bending เกิดการเคลื่อนไปที่เลขคลื่นที่ลดลง เนื่องมาจากเป็นการเกิดอันตรกิริยาขึ้นมาใหม่ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของเมือกแมงลักกับกรดอินทรีย์ที่เติมลงไปเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jiugao Y. และคณะ ที่ทำการศึกษาสมบัติของฟิล์มแปงข้าวโพดเชื่อมโยงด้วยกรดซิตริก ซึ่งผลการทดลองพบว่าเมื่อใส่กรดลงไปแปง โมเลกุลของกรดที่มีอะตอมไฮโดรเจนสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับอะตอมออกซิเจนของแปงที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (EN) ที่สูงได้ จึงส่งผลให้พีคการสั่นของ O-H stretching และ O-H bending เกิดการเคลื่อนไปที่เลขคลื่นลดลงได้เช่นกัน [50]

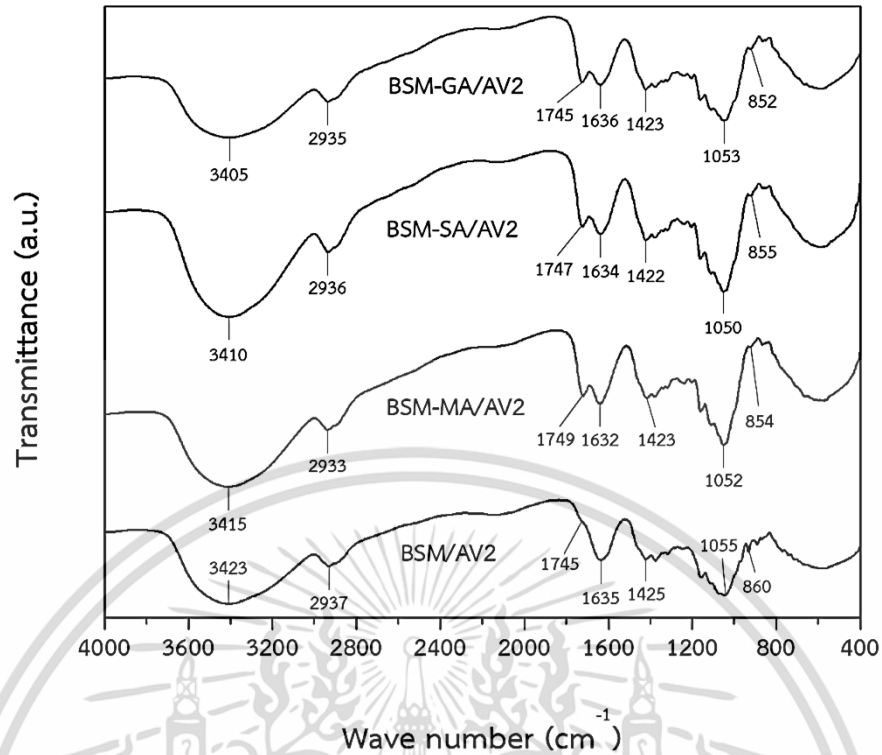
4.1.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของวัสดุปิดแผลเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงที่ใส่สารสกัดว่านหางจระเข้ ที่ความเข้มข้น 6.25% และ 12.5% โดยน้ำหนักของเมือกแมงลัก ทำเช่นเดียวกับข้อที่ 4.1.1 ซึ่งให้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ดังนี้



รูปที่ 4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%

จากรูปที่ 4.5-4.6 เป็นผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดจากว่านหางจระเข้ด้วยเทคนิค FTIR ซึ่งสังเกตเห็นว่ารูปแบบของอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่มีความเข้มข้นต่างกันมีความคล้ายกัน โดยพบพีกที่มีลักษณะกว้างของการสั่นของพันธะ O-H จากหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งมาจากโครงสร้างของเมือกแมงลักและจากสารสกัดของว่านหางจระเข้ พีกที่ตำแหน่ง $2932-2937\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นของพันธะ C-H stretching พบได้ในโครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์ พีกที่ตำแหน่ง $1632-1638\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นของพันธะ C=C stretching ของวง อะโรมาติกซึ่งแสดงถึงสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกในสารสกัดว่านหางจระเข้ ซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นของพันธะ C-OO stretching จากกรดกลูโคโรนิก (Glucuronic acid) ในโครงสร้างของไซเลน และพีกที่ตำแหน่ง $1421-1425\text{ cm}^{-1}$ เป็นช่วงการสั่นของ O-H bending จากหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างเมือกแมงลัก [49-50]

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่ไม่เติมและเติมสารสกัดจากว่านหางจระเข้ (รูปที่ 4.4) พบว่าความเข้มของสัญญาณพีกจากหมู่ไฮดรอกซิลในอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลเชื่อมโยงที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ทั้งสองความเข้มข้น ได้แก่ 6.25% และ 12.5% มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงถึงจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลที่มากขึ้นหลังจากเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่มีองค์ประกอบของสารประกอบกลุ่มฟีนอลิก นอกจากนี้การเติม

สารสกัดว่านหางจระเข้ปริมาณมากขึ้นยังส่งผลให้ช่วงการสั่น C=O stretching ($1740-1749\text{ cm}^{-1}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นด้วย โดยสังเกตได้จากกราฟที่ 4.6 ซึ่งปรากฏพีคที่ 1745 cm^{-1} ในสเปกตรัมของ BSM/AV2 เนื่องจากสารสกัดว่านหางจระเข้ประกอบด้วยสารประกอบกลุ่มแอนทราควิโนน ซึ่งมีหมู่คาร์บอนิลเป็นองค์ประกอบในโครงสร้าง [69]

4.2 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลัก

4.2.1 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์

สัดส่วนเจล ความพรุน และความสามารถในการกักเก็บน้ำส่งผลอย่างมากต่อสมบัติทางกายภาพของไฮโดรเจลในฐานะวัสดุปิดแผล สมบัติดังกล่าวมีความสำคัญมากเพื่อช่วยในกระบวนการสมานแผล การศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักอาศัยหลักการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (Gravimetric method) ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สัดส่วนเจล ความพรุน และความสามารถในการกักเก็บน้ำของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงและไม่เชื่อมโยงด้วยกรดชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง	สัดส่วนเจล (%)	ความพรุน (%)	การกักเก็บน้ำ (%)
BSM	0	84.1 ± 2.5^a	76.2 ± 2.6^a
BSM-MA	82.6 ± 0.5^a	66.0 ± 1.7^b	61.8 ± 3.1^b
BSM-SA	77.9 ± 0.3^b	74.8 ± 4.9^{ab}	64.7 ± 1.9^{ab}
BSM-GA	76.1 ± 0.5^b	75.8 ± 3.7^{ab}	67.6 ± 3.4^{ab}

จากตารางที่ 4.3 วัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยงมีค่าความพรุนและสมบัติการกักเก็บน้ำมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ทำการเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ เนื่องจากเมือกแมงลักเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่มีความเป็นอสัณฐานและมีหมู่ไฮดรอกซิลในสายโซ่จำนวนมากจึงสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำและยังมีปริมาตรอิสระสูง ส่งผลให้สามารถกักเก็บน้ำเข้ามาในโครงสร้างได้มากและสูญเสียออกไปได้น้อย ในทางกลับกันวัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงแล้วมีค่าความพรุนและการกักเก็บน้ำที่ต่ำกว่า แสดงถึงโครงสร้างภายในเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างกรดอินทรีย์และหมู่ไฮดรอกซิลในสายโซ่พอลิแซคคาไรด์ของเมือกแมงลัก ซึ่งสอดคล้องกับผลของ FT-IR สเปกตรัม ซึ่งเห็นได้ชัดเจนจากผลของสัดส่วนเจลที่มีค่ามากขึ้นในวัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงแล้ว

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์แต่ละชนิด พบว่าวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิคมีทั้งค่าสัดส่วนเจล (82.64%) ความพรุน (65.98%) และการกักเก็บน้ำ (61.85%) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกรดชนิดอื่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากความยาวของโมเลกุลกรดอินทรีย์ส่งผลต่อความยากง่ายในการปฏิกิริยา โดยกรดมาโลนิกมีขนาดโมเลกุลที่เล็กกว่าจึงเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย ดังนั้นองค์การเชื่อมโยงจึงสูงกว่า ส่งผลให้ค่าสัดส่วนเจลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงที่มากขึ้น ยังส่งผลให้ปริมาตรอิสระและช่องว่างภายในวัสดุปิดแผลลดลง การกักเก็บน้ำในวัสดุจึงทำได้น้อย [31, 53] สำหรับผลสัดส่วนเจล ความพรุน และความสามารถในการกักเก็บน้ำของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและกรดกลูตาริกพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.2.2 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้

สัดส่วนเจล ความพรุน และความสามารถในการกักเก็บน้ำของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงและไม่เชื่อมโยงที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ แสดงดังตารางที่ 4.4-4.5

ตารางที่ 4.4 สัดส่วนเจล ความพรุน และความสามารถในการกักเก็บน้ำของวัสดุปิดแผลเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%

ตัวอย่าง	สัดส่วนเจล (%)	ความพรุน (%)	การกักเก็บน้ำ (%)
BSM/AV1	0	85.0 ± 5.6 ^a	74.1 ± 3.4 ^a
BSM-MA/AV1	82.9 ± 0.6 ^a	66.5 ± 6.5 ^b	63.0 ± 3.4 ^b
BSM-SA/AV1	78.3 ± 0.8 ^b	75.3 ± 5.6 ^{ab}	65.1 ± 3.9 ^{ab}
BSM-GA/AV1	77.2 ± 0.6 ^b	76.3 ± 4.9 ^{ab}	71.3 ± 2.2 ^{ab}

ตารางที่ 4.5 สัดส่วนความเป็นเจล ความพรุน และความสามารถในการกักเก็บน้ำของวัสดุปิดแผลเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%

ตัวอย่าง	สัดส่วนเจล (%)	ความพรุน (%)	การกักเก็บน้ำ (%)
BSM/AV2	0	83.6 ± 6.2 ^a	74.9 ± 1.2 ^a
BSM-MA/AV2	82.4 ± 0.6 ^a	65.9 ± 4.4 ^b	62.5 ± 4.9 ^b
BSM-SA/AV2	77.2 ± 0.9 ^b	74.9 ± 5.2 ^c	66.8 ± 2.3 ^{ab}
BSM-GA/AV2	75.8 ± 0.6 ^b	76.4 ± 4.3 ^c	73.1 ± 2.0 ^{ab}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

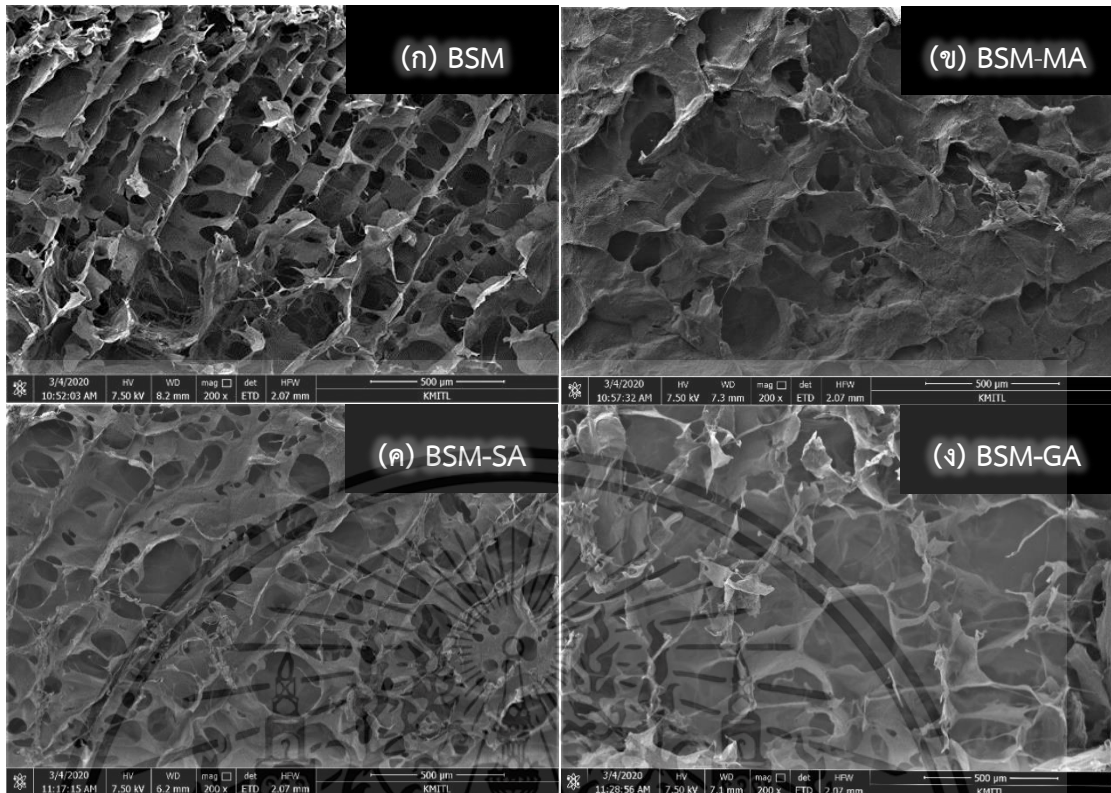
จากตารางที่ 4.4-4.5 วัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ทั้งสองความเข้มข้น แสดงผลของสัดส่วนความเป็นเจล ความพรุน และความสามารถในการกักเก็บน้ำใกล้เคียงกันไม่ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบผลทางกายภาพดังกล่าวกับวัสดุปิดแผลที่ไม่เติมสาร สกัดว่านหางจระเข้ (ตารางที่ 4.3) พบว่าค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้คาดว่าผลดังกล่าวยังคงมา จากอิทธิพลของความยาวสายโซ่โมเลกุลกรดต่างชนิดกันที่ทำให้สมบัติของวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัด ว่านหางจระเข้ยังคงคล้ายกับวัสดุปิดแผลที่ไม่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ และเนื่องจากสารสกัดว่าน หางจระเข้ที่เติมเข้าไปมีปริมาณเพียงเล็กน้อยจึงคาดว่าไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพอย่างมี นัยสำคัญ

ในงานวิจัยของ Anbazhagan, S. และ Thangavelu, K. P. ซึ่งศึกษาวัสดุปิดแผล จากไคโตซานที่โหลดด้วยยาเตรเซโซคลิน ไฮโดรคลอไรด์และสารสกัดว่านหางจระเข้ รายงานว่าผล ของสมบัติทางกายภาพและ FTIR สเปกตรัม ในวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ ไม่พบการ เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เนื่องจากใส่สารสกัดว่านหางจระเข้ที่ปริมาณน้อยและความเข้ากันได้ระหว่างวัสดุ และว่านหางจระเข้จึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ [42]

4.3 การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

4.3.1 สัณฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์

ก่อนทำการวิเคราะห์สัณฐานวิทยา นำชิ้นงานทดสอบไปแช่ในไนโตรเจนเหลวและ ทำการหักครึ่งชิ้นงาน เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของภาคตัดขวางในวัสดุปิดแผล จากนั้นนำไปเคลือบทองคำก่อนทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM โดยแสดงผลการวิเคราะห์ดังนี้



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงและไม่ผ่านการเชื่อมโยงที่กำลังขยาย 200 เท่า (ก) BSM (ข) BSM-MA (ค) BSM-SA และ (ง) BSM-GA

โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักแสดงดังรูปที่ 4.7 จากภาพถ่ายภาคตัดขวางพบว่าโครงสร้างภายในวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ผ่านการเชื่อมโยงและปราศจากการเชื่อมโยงมีลักษณะเป็นรูพรุนแบบเซลล์เปิดที่มีผนังเซลล์เชื่อมต่อกัน ซึ่งลักษณะของรูพรุนแบบนี้เกิดจากผลึกน้ำแข็งในโครงสร้างถูกทำให้ระเหิดภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศในกระบวนการทำแห้งแบบเยือกแข็ง และเมื่อน้ำแข็งระเหิดออกจากชิ้นงานจะเหลือโครงสร้างที่คงรูปของพอลิเมอร์และช่องว่างแทนที่น้ำแข็งภายในวัสดุ [51]

เมื่อสังเกตความแตกต่างของโครงสร้างภายในของวัสดุปิดแผล พบว่าวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์มีลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างจากวัสดุปิดแผลที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยง การเชื่อมโยงมีอิทธิพลต่อโครงสร้างภายในของพอลิเมอร์ ทั้งค่าสัดส่วนเจลมากขึ้น และความพรุนลดลง ทำให้โครงสร้างผนังเซลล์ของรูพรุนค่อนข้างมีความคงรูปมากกว่าชิ้นงานที่ไม่มีการเชื่อมโยง โดยผลการทดลองข้างต้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Abhari N. และคณะซึ่งทำการศึกษาสมบัติวัสดุแอโรเจลจากแป้งข้าวโพดสำหรับการปลดปล่อยสารระเหยต้านเชื้อรา โดยพบว่าวัสดุแอโรเจลจากแป้งข้าวโพดที่สังเคราะห์ได้มีรูพรุนที่ชัดเจนและการเชื่อมโยงมีอิทธิพลต่อโครงสร้างภายในของวัสดุทำให้โครงสร้างภายในมีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น ผนังของช่องว่างแข็งแรงขึ้น [52]

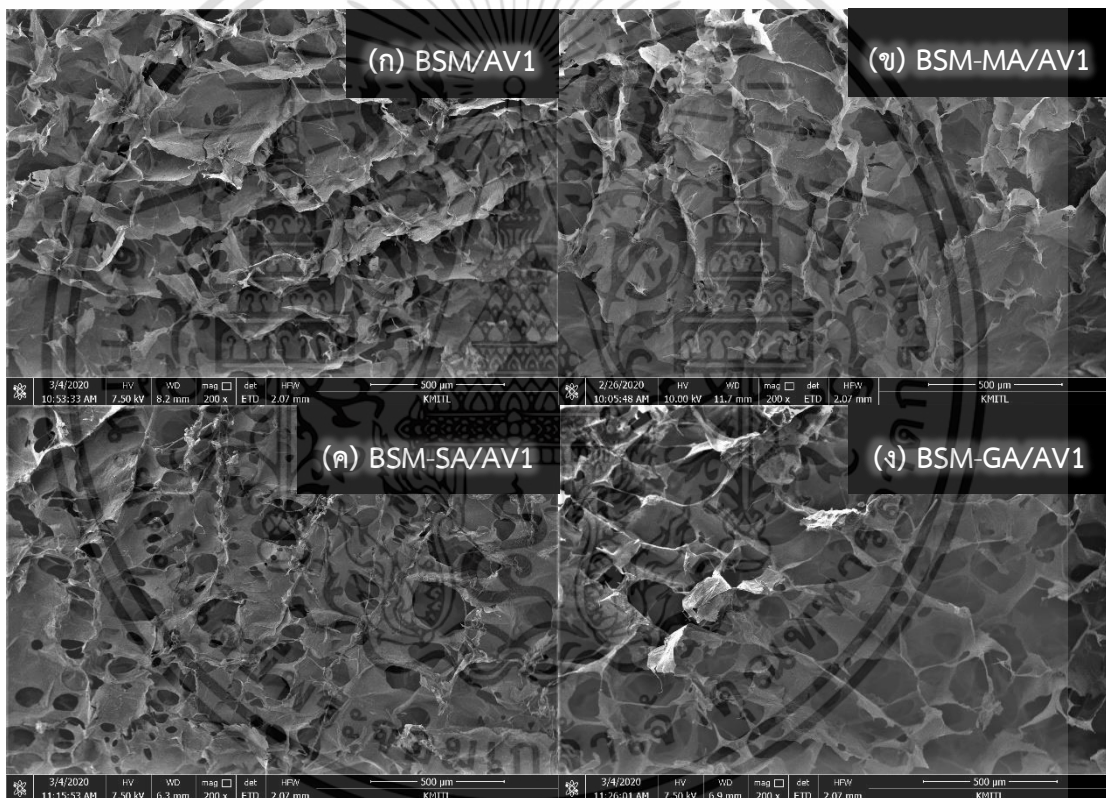
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 เมื่อสังเกตวัสดุปิดแผลที่ได้รับการเชื่อมโยงยังคงแสดงลักษณะวัฏภาคที่เชื่อมต่อกัน ลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าชิ้นงานที่ไม่มีการเชื่อมโยง เนื่องจากการเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์สามารถเกิดพันธะเอสเทอร์กับหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของเมือกแมงลักเกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายที่แน่นหนา มีความแข็งแรงและทำให้วัฏภาคของเนื้อวัสดุที่มีความต่อเนื่องกันมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าสัดส่วนเจลที่มากขึ้น ดังตารางที่ 4.3

เมื่อพิจารณาโครงสร้างภายในของวัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิค ดังรูปที่ 4.7 (ข) พบว่ามีลักษณะของโครงสร้างที่มีรูพรุนน้อยและผนังเซลล์หรือเมทริกซ์มีความต่อเนื่องเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากกรดมาโลนิคเป็นกรดที่มีความยาวโมเลกุลสั้น จึงสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลในเมือกแมงลักได้ดีกว่า ส่งผลให้ปริมาตรอิสระในโครงสร้างวัสดุลดลงและทำให้น้ำแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างได้น้อย ดังนั้นโครงสร้างแบบรูพรุนดังกล่าว จึงเกิดขึ้นได้น้อยลงเช่นกัน [53] รูปที่ 4.7 (ค) และรูปที่ 4.7 (ง) แสดงภาคตัดขวางของวัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและกรดกลูตาริกตามลำดับพบว่ามีลักษณะที่ค่อนข้างคล้ายกัน กล่าวคือ เมทริกซ์ของวัสดุมีความต่อเนื่องกันมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่ไม่ได้เชื่อมโยง อีกทั้งพบว่าโครงสร้างของรูพรุนจากภาพ SEM ยังมีมากกว่าวัสดุที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิค และสอดคล้องกับผลของความพรุนที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.3 เนื่องจากทั้งกรดซัคซินิกและกรดกลูตาริกมีความยาวโมเลกุลที่มากกว่ากรดมาโลนิค ทำให้เมื่อเกิดการสร้างพันธะเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลเมือกแมงลักจึงมีปริมาตรอิสระที่มากกว่าทำให้น้ำแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างได้มากส่งผลให้ผลิตภัณฑ์น้ำแข็งเกิดได้เพิ่มมากขึ้น หลังจากการทำแห้งแบบเยือกแข็งแล้วจึงเหลือโครงสร้างรูพรุนในวัสดุมากกว่า [43]

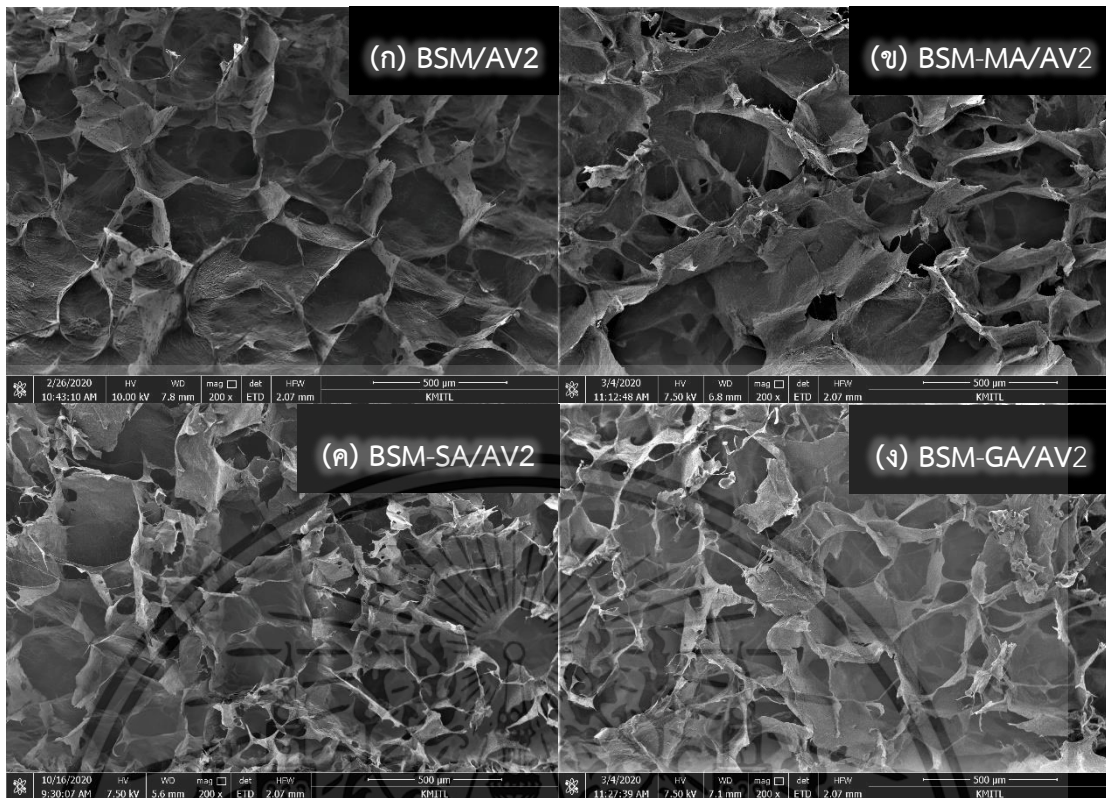
4.3.2 สันฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่เติมสารสกัด ว่านหางจระเข้

การศึกษาลักษณะสันฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลเมือกแมงลักที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้น 6.25% และ 12.5% โดยน้ำหนักของเมือกแมงลัก ทดสอบโดยใช้กำลังขยาย 200 เท่า การเตรียมชิ้นงานทดสอบทำเช่นเดียวกันกับข้อที่ 4.2.1 โดยก่อนทำการวิเคราะห์สันฐานวิทยา นำชิ้นงานทดสอบไปแช่ในไนโตรเจนเหลวและทำการหักครึ่งชิ้นงาน เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างสันฐานวิทยา ชิ้นงานทดสอบจะถูกเคลือบทองคำเพื่อการนำไฟฟ้าก่อนการทดสอบ ภาพโครงสร้างภายในของวัสดุปิดแผลเชื่อมโยงและไม่เชื่อมโยงที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8-4.9



รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25% ที่กำลังขยาย 200 เท่า (ก) BSM/AV1 (ข) BSM-MA/AV1 (ค) BSM-SA/AV1 และ (ง) BSM-GA/AV1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5% ที่กำลังขยาย 200 เท่า (ก) BSM/AV2 (ข) BSM-MA/AV2 (ค) BSM-SA/AV2 และ (ง) BSM-GA/AV2

จากการศึกษาภาพถ่ายภาคตัดขวาง (รูปที่ 4.8-4.9) พบว่าโครงสร้างภายในของวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้มีลักษณะเป็นช่องว่าง มีรูพรุน แบบเซลล์เปิดที่มีผนังเซลล์เชื่อมต่อกัน เช่นเดียวกับกับสัณฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลในข้อที่ 4.2.1 กล่าวคือ ลักษณะโครงสร้างของผนังเซลล์มีความต่อเนื่องกันมากขึ้นและรูพรุนน้อยลง หลังจากการเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ โดยสอดคล้องกับค่าสัดส่วนเจลและความพรุน ดังตารางที่ 4.4-4.5

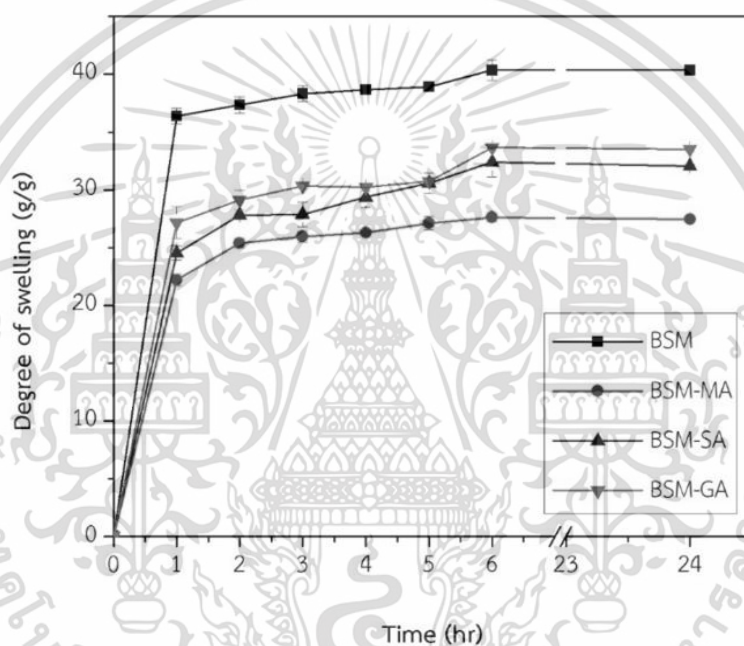
เมื่อพิจารณาอิทธิพลของสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้นต่างกัน วัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ 6.25% และ 12.5% พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดว่านหางจระเข้ส่งผลให้มีลักษณะของรูพรุนหรือช่องว่างเพิ่มขึ้นและพื้นที่ผิวของผนังเซลล์เรียบขึ้น ซึ่งคล้ายกับผลในงานวิจัยของ Bialik-Was K. และคณะ ได้ทำการศึกษาวัสดุปิดแผลจากไฮโดรเจลอัลจินต/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ควบคุมการปลดปล่อยสารสกัดว่านหางจระเข้ พบว่าเมื่อปริมาณสารสกัดว่านหางจระเข้ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เมทริกซ์พอลิเมอร์มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นและสามารถมองเห็นพื้นที่เรียบบนผนังเซลล์ของรูพรุน ไม่มีลักษณะเป็นระลอกคลื่น เป็นไปได้ว่าเป็นผลมาจากองค์ประกอบของเมทริกซ์และสารสกัดว่านหางจระเข้มีความเข้ากันได้ดี อีกทั้งว่านหางจระเข้องค์ประกอบของสารกลุ่มฟีนอลิก และพอลิแซ็กคาไรด์สายโซ่สั้น ซึ่งสามารถแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างของพอลิเมอร์ที่เชื่อมโยงจึงเกิดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สว่นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันตรกิริยาระหว่างกัน โดยสรุปได้ว่าการเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ทำให้ลักษณะพื้นผิวของเนื้อวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงเกิดความสม่ำเสมอของวัสดุภาค [59]

4.4 การทดสอบสมบัติการบวมตัว

4.4.1 สมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์

การทดสอบการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ ทำโดยการนำชิ้นงานมาแช่น้ำเป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง ซึ่งแสดงผลการทดสอบดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 องศาการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักไม่เชื่อมโยงและเชื่อมโยงด้วยกรดชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.10 แสดงความสามารถการบวมตัวของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงและปราศจากการเชื่อมโยงเปรียบเทียบกับเวลา พบว่าค่าองศาการบวมตัวของวัสดุปิดแผลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก หลังจากนั้นมีการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งสังเกตได้ว่าวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยงมีองศาการบวมตัวสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยง เนื่องจากความชอบน้ำของพอลิแซ็กคาไรด์ในเมือกแมงลักโดยองค์ประกอบหลักของเมือกแมงลัก คือ กลูโคแมนแนน ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล 14 ตำแหน่ง ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ดี [31]

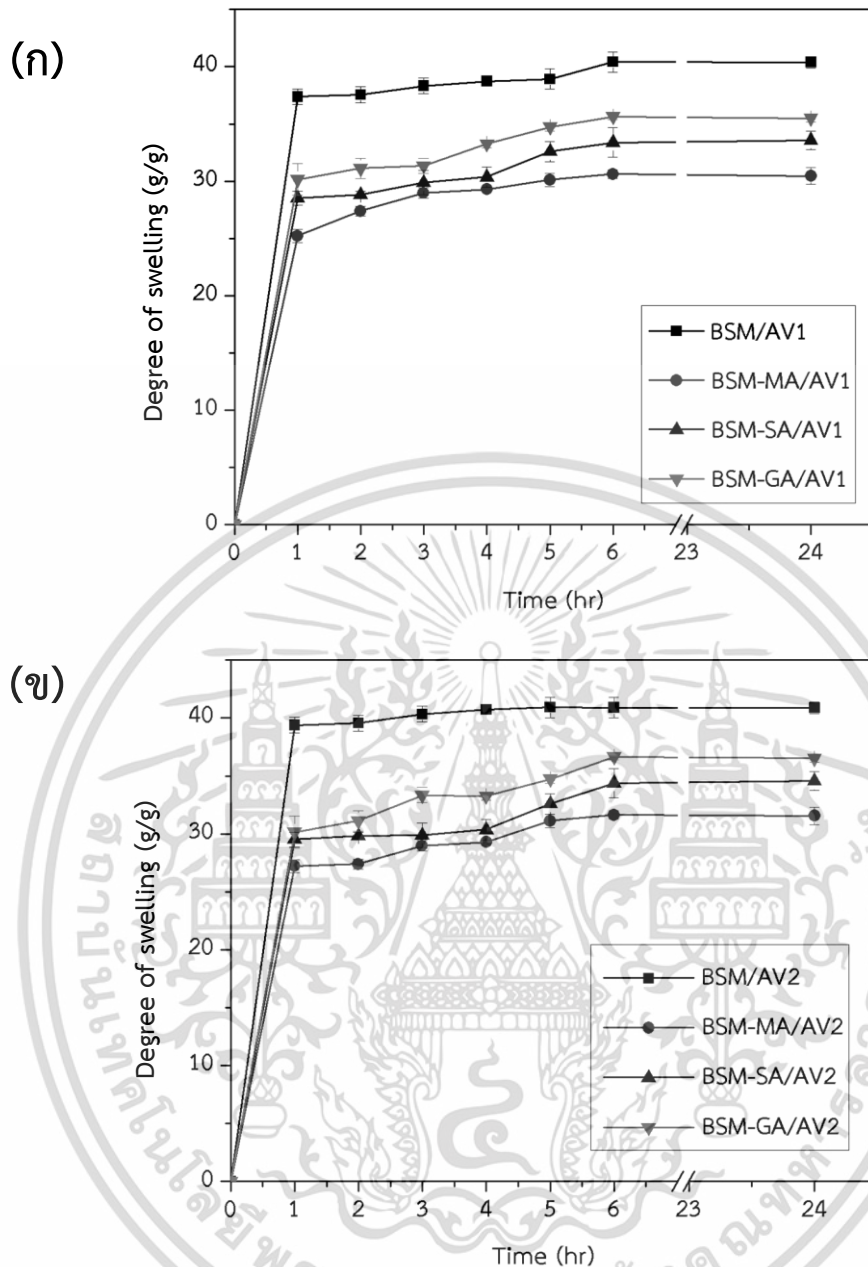
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามเมื่อเชื่อมโยงวัสดุปิดแผลด้วยกรดอินทรีย์ ส่งผลให้ค่าองศาการบวมตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เกิดจากปฏิกิริยาการเชื่อมขวางระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลพอลิแซ็กคาไรด์ในเมือกแมงลักและกรดอินทรีย์ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลลดลงซึ่งสอดคล้องกับผลจาก FTIR ในรูปที่ 4.4 ส่งผลให้ลดความชอบน้ำของวัสดุ เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของกรดอินทรีย์ที่ต่างชนิดกัน พบว่าสมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงมีแนวโน้มลดลงตามความยาวของโมเลกุลกรดอินทรีย์ คือ กรดกลูตาริก กรดซัคซินิก และกรดมาโลนิก ตามลำดับ โดยวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิกมีองศาการบวมตัวต่ำที่สุด ซึ่งเกิดจากความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเช่นเดียวกันกับผลของสัดส่วนเจล ความพรุน การกักเก็บน้ำ และลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยสัดส่วนเจลมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อมีสัดส่วนเจลมากขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น ความพรุนในเนื้อวัสดุน้อยลง ดังนั้นปริมาตรอิสระภายในโครงสร้างวัสดุปิดแผลจึงลดลง โมเลกุลของน้ำแทรกตัวเข้าไปวัสดุได้ยากขึ้นทำให้องศาการบวมตัวลดลงไปด้วย เช่นเดียวกับกับวัสดุที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและกรดกลูตาริก โดยพบว่ามีองศาการบวมตัวลดลงเนื่องจากการเชื่อมโยง แต่ยังสามารถดูดซับน้ำในวัสดุสูงกว่าการเชื่อมขวางด้วยกรดมาโลนิก เพราะมีรูพรุนที่มากกว่าซึ่งสอดคล้องกับภาพถ่ายภาคตัดขวางจาก SEM ดังแสดงในรูปที่ 4.7 [43]

โดยผลการทดลองข้างต้นคล้ายกับผลจากงานวิจัยของ Hosseini M. S. และ Nabid M. R. ซึ่งได้ทำการศึกษาค่าการสังเคราะห์ฟิล์มไฮโดรเจลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกลูตาไรลดีไฮด์สำหรับประยุกต์เป็นวัสดุปิดแผลที่นำส่งยา พบว่าฟิล์มจากเมือกแมงลักที่ไม่มีการเชื่อมโยงแสดงค่าองศาการบวมตัวมากที่สุด เนื่องจากมีลักษณะโครงสร้างทั้งกรดยูโรนิกและพอลิแซ็กคาไรด์ที่ชอบน้ำ จากนั้นค่าองศาการบวมตัวเริ่มลดลงเมื่อเกิดการละลายในน้ำและการเพิ่มปริมาณกลูตาไรลดีไฮด์ส่งผลให้องศาการบวมตัวของชิ้นงานที่เชื่อมโยงมีค่าลดลง เพราะการเชื่อมโยงทำให้โครงสร้างภายในของวัสดุหนาแน่นมากขึ้น [58]

4.4.2 สมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้

การทดสอบสมบัติการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่เติมสารสกัดจากว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 6.25% และ 12.5% โดยน้ำหนักเมือกแมงลัก ทำเช่นเดียวกันกับการทดสอบที่ 4.4.1 ซึ่งแสดงผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 องศาการบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ (ก) ความเข้มข้น 6.25% และ (ข) ความเข้มข้น 12.5%

จากรูปที่ 4.11 พบว่าค่าองศาการบวมตัวของวัสดุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนคงที่ โดยวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25% และ 12.5% มีลักษณะการบวมตัวที่คล้ายกัน ซึ่งเริ่มคงที่ประมาณ 6 ชั่วโมง และผลองศาการบวมตัวของสูตรที่เชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ยังคงมีแนวโน้มลดลงตามความยาวของโมเลกุลกรดอินทรีย์ เช่นเดียวกับกับผลองศาการบวมตัวของวัสดุปิดแผลที่ไม่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ ทั้งนี้สันนิษฐานว่าผลดังกล่าวแสดงถึงโครงสร้างภายในที่มีการเชื่อมโยง ความชอบน้ำ ความพรุน และปริมาตรอิสระของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อวัสดุปิดแผลไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ ทำให้การแทรกเข้ามาของน้ำในโครงสร้างวัสดุปิดแผลยังคงเกิดขึ้นได้ จึงสรุปได้ว่าวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25% และ 12.5% แสดงสมบัติการบวมตัวที่คล้ายกัน ไม่มีความแตกต่างกัน

จากรายงานผลการวิจัยการปลดปล่อยสารสกัดว่านหางจระเข้จากฟิล์มไคโตซานของ Iratxe Z. และคณะ พบว่าเมื่อเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่อัตราส่วน 5% 10% และ 15% โดยน้ำหนักของไคโตซาน ฟิล์มแสดงสมบัติการบวมตัวในน้ำไม่แตกต่างกัน โดยเข้าสู่จุดสมดุลที่เวลา 60 นาที และเริ่มคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างไคโตซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกรดซิตริกและสารสกัดว่านหางจระเข้มีความเข้ากันได้กับวัสดุปิดแผลจึงไม่เป็นการขัดขวางการแทรกซึมของน้ำเข้ามาในฟิล์มไคโตซาน [60]

4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์และเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ปริมาณต่างๆ โดยศึกษาจากค่าความแข็งแรงดึง โมดูลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด

4.5.1 สมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์

วัสดุปิดแผลควรมีสมบัติเชิงกลที่เพียงพอสำหรับการใช้งาน การจัดการ และง่ายต่อการจัดเก็บรักษา ผลของสมบัติเชิงกลในค่าความแข็งแรงดึง โมดูลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืดของชิ้นงานวัสดุปิดแผลเชื่อมโยงและไม่ได้เชื่อมโยงด้วยกรดชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงและไม่ได้เชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์

ตัวอย่าง	ความแข็งแรงดึง (MPa)	โมดูลัส (MPa)	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด (%)
BSM	2.4 ± 0.2^a	72.6 ± 3.6^a	54.7 ± 2.6^a
BSM-MA	10.1 ± 0.4^b	150.3 ± 3.5^b	27.3 ± 2.5^b
BSM-SA	5.9 ± 0.3^c	129.0 ± 4.6^c	35.6 ± 1.9^c
BSM-GA	4.4 ± 0.4^d	107.4 ± 2.5^d	40.9 ± 3.4^d

จากตารางที่ 4.6 วัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่ปราศจากการตัดแปรแสดงสมบัติความยืดหยุ่นได้ดี โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดที่สูงที่สุด เนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันที่มีความชอบน้ำอย่างหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุลจำนวนมากและกรดยูโรนิก จึงมีผลทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำและกักเก็บน้ำในโครงสร้างไว้ อีกทั้งโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นแบบอสัณฐาน ทำให้โครงสร้างของวัสดุมีความยืดหยุ่นมาก ความแข็งแรงต่ำและต้านทานแรงดึงได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวัสดุปิดแผลที่ทำการเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าค่าความแข็งแรงดึงและมอดูลัสสูงกว่า แต่มีเปอร์เซ็นต์ดิ่งยึดที่น้อยกว่าวัสดุปิดแผลที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยง โดยผลดังกล่าวเกิดขึ้นจากการสร้างพันธะเอสเทอร์เชื่อมขวางระหว่างพอลิแซคคาไรด์ในเมือกแมงลัก ซึ่งสอดคล้องกับผลของ FT-IR สเปกตรัม ดังรูปที่ 4.4 ทำให้เมทริกซ์ของวัสดุปิดแผลมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและความสม่ำเสมอของโครงสร้างเครือข่ายภายในวัสดุปิดแผลที่เพิ่มขึ้นจากการเชื่อมขวางด้วยกรดอินทรีย์สามารถสังเกตได้จากภาพ SEM ดังรูปที่ 4.7 โดยส่งผลให้โครงสร้างผนังเซลล์ของรูพรุนมีความคงรูปมากและสามารถรับแรงกระทำได้มากขึ้น

ผลการทดลองที่ได้ให้ผลคล้ายคลึงงานวิจัยของ Hosseini M. S. และ Nabid M. R. ที่พบว่าฟิล์มเมือกแมงลักที่ผ่านการเชื่อมโยงด้วยกลูตาไรลดีไฮด์แสดงสมบัติเชิงกลทั้งค่ามอดูลัสและความแข็งแรงดึงมากกว่าฟิล์มเมือกปกติ ซึ่งอธิบายได้ว่าความหนาแน่นของโครงสร้างเมทริกซ์ที่สูงขึ้นและการก่อตัวของโครงตาข่ายที่หนาแน่น ทำให้ระยะห่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ลดลงหลังจากการเติมสารเชื่อมโยงทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น [58]

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดต่างชนิดกัน พบว่าการเชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิค วัสดุแสดงสมบัติเชิงกลแบบแข็งแรงเปราะ โดยมีค่าความเค้นและมอดูลัสที่สูงและเปอร์เซ็นต์การยืดต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรดชนิดอื่น เนื่องจากอิทธิพลของความสามารถในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดอินทรีย์ที่ส่งผลต่อองค์การเชื่อมโยงและจากภาพถ่าย SEM ที่แสดงโครงสร้างภายในของวัสดุที่มีความเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง ความพรุนน้อย จึงมีผลต่อความแข็งแรงของวัสดุ โดยผลข้างต้นคล้ายกับงานวิจัยก่อนหน้าซึ่งรายงานผลของฟิล์มแป้งข้าวโพดที่เชื่อมขวางด้วยกรดมาโลนิคซึ่งพบว่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นจาก 923 MPa เป็น 1359.8 MPa และเปอร์เซ็นต์การดิ่งยึดลดลงจาก 7.6% เป็น 6.3% [53]

เมื่อเปรียบเทียบผลของการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและกรดกลูตาริก พบว่ากรดอินทรีย์ทั้งสองชนิดสามารถเพิ่มความแข็งแรงดึงและมอดูลัสของวัสดุได้ดี แต่อย่างน้อยก็การเชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิค เพราะมีปริมาตรอิสระที่มากกว่า สัดส่วนเจลหรือความหนาแน่นการเชื่อมโยงที่น้อยกว่า รวมถึงมีความพรุนสูง ทำให้ความต่อเนื่องของวัฏภาคมีน้อยลง ส่งผลต่อความแข็งแรงในการรับแรงกระทำของวัสดุที่ต่ำลงด้วย

4.5.2 สมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้

ผลของสมบัติเชิงกลในค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดิ่งยึด และมอดูลัส ของชิ้นงานวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักไม่เติมและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

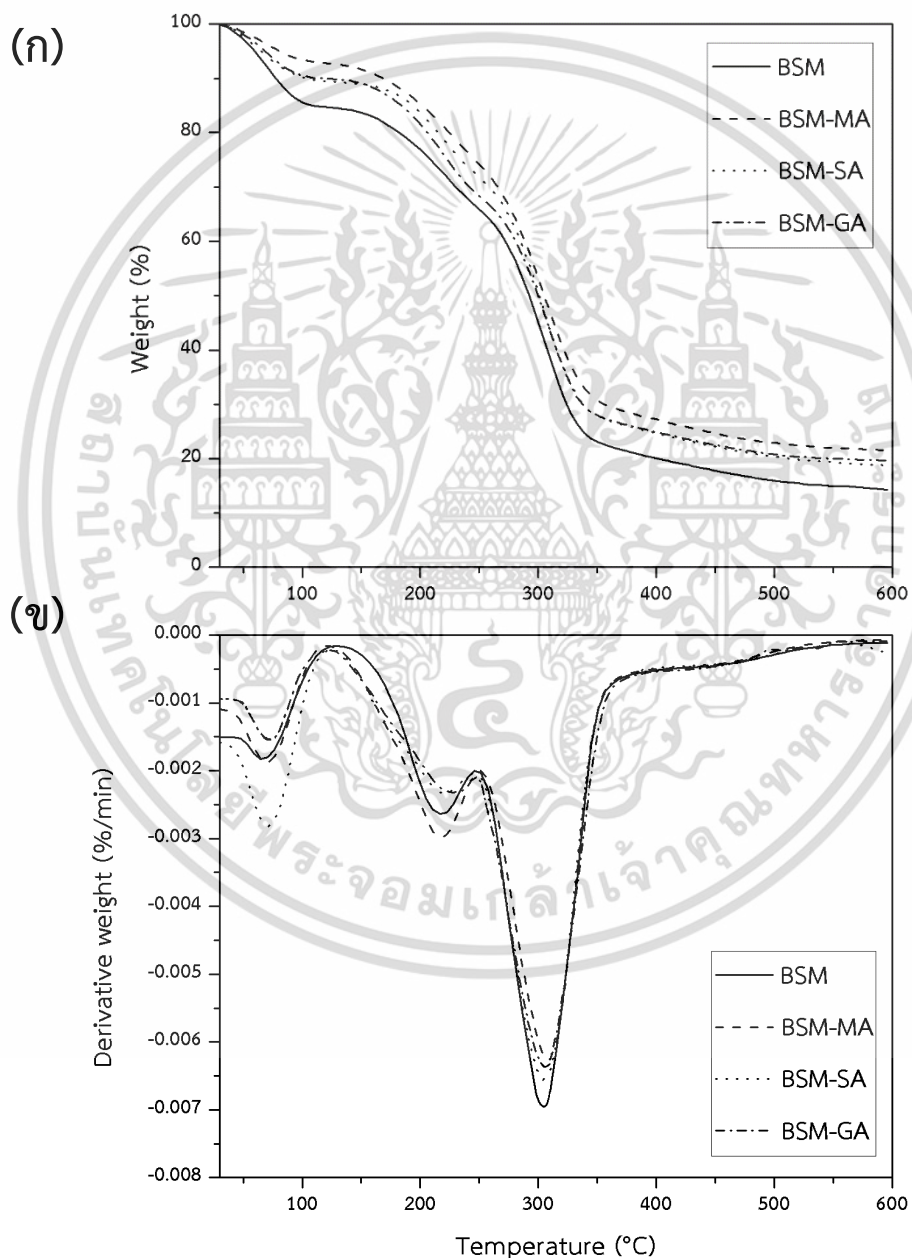
ตัวอย่าง	ความแข็งแรงดึง (MPa)	มอดุลัส (MPa)	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด (%)
BSM	2.4 ± 0.2 ^a	72.6 ± 3.6 ^a	54.7 ± 2.6 ^a
BSM-MA	10.1 ± 0.4 ^b	150.3 ± 3.5 ^b	27.3 ± 2.5 ^b
BSM-SA	5.9 ± 0.3 ^c	129.0 ± 4.6 ^c	35.6 ± 1.9 ^c
BSM-GA	4.4 ± 0.4 ^d	107.4 ± 2.5 ^d	40.9 ± 3.4 ^d
BSM/AV1	2.2 ± 0.2 ^a	70.0 ± 2.0 ^a	54.8 ± 0.4 ^a
BSM-MA/AV1	9.7 ± 0.6 ^b	149.7 ± 2.1 ^b	28.5 ± 1.5 ^b
BSM-SA/AV1	5.8 ± 0.2 ^c	126.3 ± 1.5 ^c	35.9 ± 0.5 ^c
BSM-GA/AV1	4.0 ± 0.2 ^d	107.9 ± 0.1 ^d	42.0 ± 1.3 ^d
BSM/AV2	2.3 ± 0.5 ^a	70.3 ± 1.3 ^a	55.1 ± 1.1 ^a
BSM-MA/AV2	9.5 ± 0.3 ^b	148.3 ± 1.6 ^b	29.3 ± 1.9 ^b
BSM-SA/AV2	5.9 ± 0.5 ^c	126.4 ± 0.6 ^c	36.2 ± 0.9 ^c
BSM-GA/AV2	3.9 ± 0.2 ^d	106.9 ± 0.4 ^d	43.1 ± 1.8 ^d

จากตารางที่ 4.7 เมื่อเปรียบเทียบผลของสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้นต่างกันและเปรียบเทียบกับวัสดุปิดแผลที่ไม่เติมสารสกัด พบว่าผลการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากอิทธิพลของกรดที่เชื่อมโยงต่างชนิดกันส่งผลให้สมบัติเชิงกลยังคงคล้ายกับวัสดุปิดแผลที่ไม่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ และสารสกัดว่านหางจระเข้ที่เติมเข้าไปในวัสดุปิดแผลนั้นสามารถเข้ากันได้ดีกับเมทริกซ์ของวัสดุปิดแผลที่เป็นเมือกแมงลัก ทั้งนี้ คาดว่ามีการเกิดอันตรกิริยาหรือพันธะไฮโดรเจนระหว่างสารประกอบพินอลในว่านหางจระเข้และพอลิแซคคาไรด์ในเมือกแมงลัก โดยสอดคล้องกับรูปแสดงอันตรกิริยาของวัสดุ ดังรูปที่ 4.1-4.3 และผลของ FTIR ดังรูปที่ 4.5-4.6 การเติมสารสกัดว่านหางจระเข้จึงไม่เป็นการขัดขวางการรับแรงกระทำของวัสดุปิดแผล ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองทางด้านกายภาพในข้อที่ 4.3.2

4.6 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA)

4.6.1 สมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลจากเปลือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์

การศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลจากเปลือกแมงลักเชื่อมโยงและไม่เชื่อมโยงด้วยกรดชนิดต่างๆ ด้วยเทคนิค TGA ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลจากเปลือกแมงลักเชื่อมโยงและไม่เชื่อมโยงแสดงดังรูปที่ 4.12 และอนุกรมการสลายตัวแสดงในตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.12 เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลจากเปลือกแมงลักไม่เชื่อมโยงและเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์

(ก) TGA และ (ข) DTG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 อุณหภูมิการสลายตัวและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักขององค์ประกอบของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงและไม่เชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)			น้ำหนักที่หายไป (%)			น้ำหนักที่เหลือ 600 °C (%)
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	
BSM	72.8	220.2	310.2	14.8	21.4	46.3	17.5
BSM-MA	72.0	218.7	314.7	6.5	20.9	43.1	29.5
BSM-SA	71.1	214.8	312.5	7.8	23.8	43.0	25.4
BSM-GA	69.0	216.7	311.7	7.0	23.5	43.3	26.2

จากตารางที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิการสลายตัวและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปและน้ำหนักองค์ประกอบที่เหลือ (Residue) ของวัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยงด้วยกรดพบว่าอุณหภูมิการสลายตัวในขั้นที่ 3 เพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปลดลง และน้ำหนักองค์ประกอบคงเหลือมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปิดแผลที่ปราศจากการเชื่อมโยง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ช่วยเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุ ด้วยการเกิดพันธะเอสเทอร์เชื่อมขวางระหว่างสายโซ่พอลิแซ็กคาไรด์ในเมือกแมงลักทำให้ทนทานต่อการสลายตัวด้วยความร้อนมากขึ้น โดยผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Thessrimuang, N. และ Prachayawarakorn, J. ซึ่งทำการวิจัยฟิล์มย่อยสลายทางชีวภาพจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดมาลิก กรดทาทริก และกรดซัคซินิก ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าฟิล์มที่ผ่านการเชื่อมโยงแล้วมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่าสูตรที่ไม่มีการเชื่อมโยง และจากงานวิจัยของ Wu H. และคณะ ซึ่งทำการศึกษาผลของกรดซิตริกที่ทำให้เกิดการเชื่อมขวางต่อโครงสร้างและสมบัติของฟิล์มคอมโพสิตแป้งมันฝรั่ง/ไคโตซาน ซึ่งพบว่าตัวอย่างที่เชื่อมโยงด้วยกรดซิตริกมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่าอุณหภูมิของตัวอย่างที่ไม่ได้เชื่อมโยงและงานวิจัยของ Gilfillan W. N. และ Doherty W. O. S. ที่ทำการศึกษาสมบัติของแป้งคอมโพสิตเชื่อมโยงด้วยกรดอะโคนิติก (Aconitic acid) รายงานว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดอะโคนิติกในตัวอย่างส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มขึ้นและน้ำหนักขององค์ประกอบที่เหลือยังเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกันแสดงถึงเสถียรภาพทางความร้อนที่มากขึ้นจากการเชื่อมโยงแป้งด้วยกรด [31] [56-57]

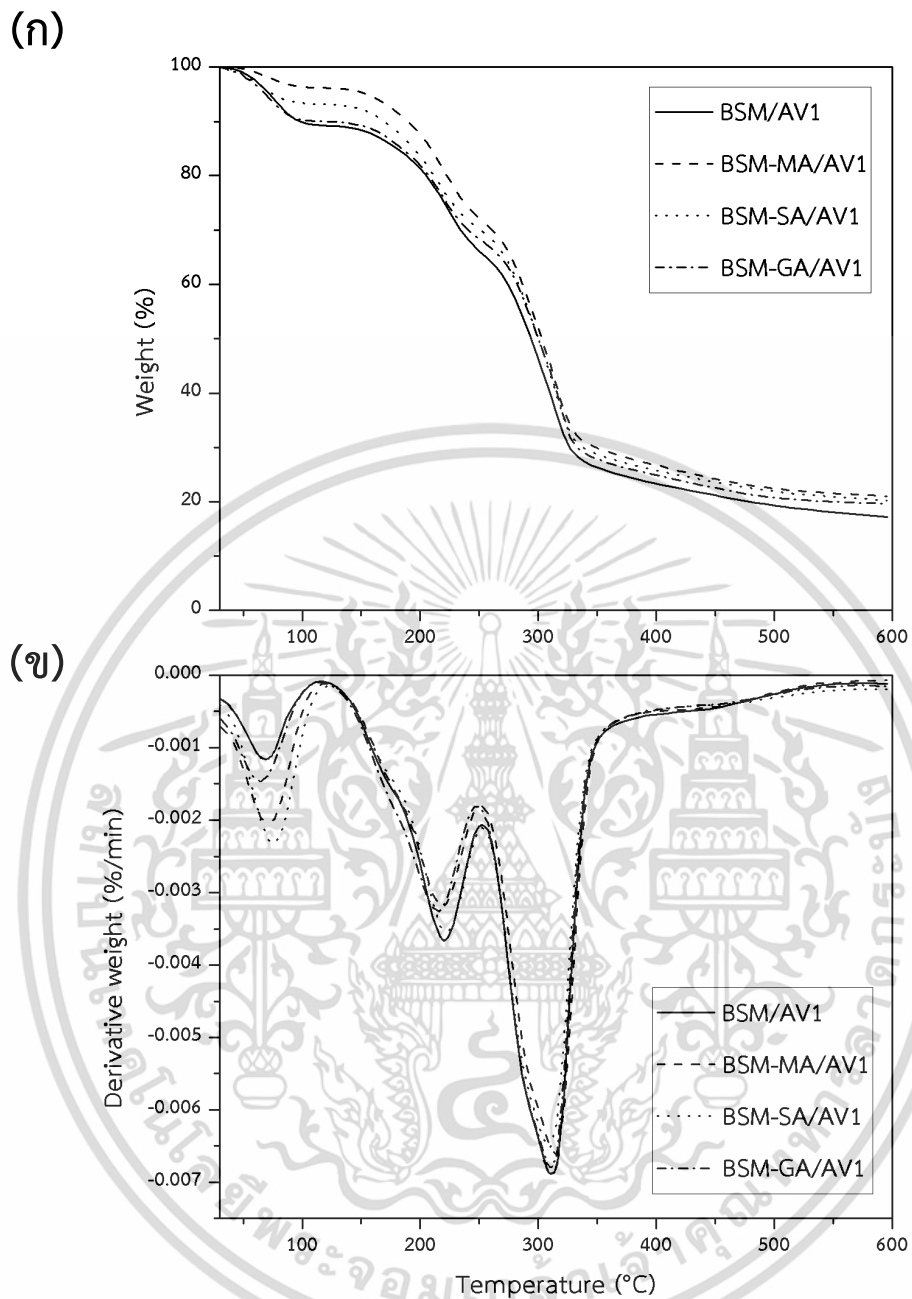
นอกจากนี้พบว่าวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักมีการสลายตัว 3 ชั้น โดยการสลายตัวทางความร้อนชั้นที่หนึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 50-100 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการระเหยของน้ำในวัสดุ การสลายตัวทางความร้อนช่วงที่สองอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 180-250 องศาเซลเซียส เกิดจากการสลายตัวของกลีเซอรอล และการสลายตัวทางความร้อนช่วงที่สามอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 255-340 องศาเซลเซียส

ซึ่งเป็นการสลายตัวของโครงสร้างสายโซ่หลักของเมือกแมงลัก (กลูโคแมนแนน ไฮแลน และ คาร์โบไฮเดรตอื่นๆ เป็นต้น) [31]

เมื่อพิจารณาการสลายตัวในขั้นที่สาม ซึ่งเป็นการสลายตัวของโครงสร้างหลักของ วัสดุปิดแผล พบความแตกต่างของช่วงอุณหภูมิการสลายตัว โดยวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลัก เชื่อมโยงด้วยกรดมีช่วงอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปิดแผลที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยง เนื่องจากการเชื่อมโยงด้วยกรดระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ส่งผลให้เกิดพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรง ซึ่งช่วยเพิ่ม เสถียรภาพทางความร้อน ทำให้ต้องใช้พลังงานสูงในการสลายพันธะ ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติเชิงกลใน ด้านความแข็งแรงของวัสดุ และเมื่อเปรียบเทียบช่วงอุณหภูมิการสลายตัวระหว่างกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิกมีอุณหภูมิของการสลายตัวสูงที่สุด ตามมาด้วย กรดซัคซินิกและกรดกลูตาริกมีค่าอุณหภูมิการสลายตัวต่ำที่สุด (BSM-MA>BSM-SA>BSM-GA) ทั้งนี้เป็นผลมาจากความยาวโมเลกุลของกรด ทำให้มีองศาการเชื่อมโยงแตกต่างกันสอดคล้องกับผล ขององศาการบวมตัว (รูปที่ 4.10) และสัดส่วนเจล (ตารางที่ 4.3) ซึ่งส่งผลต่อเสถียรภาพทางความ ร้อนของวัสดุ จึงต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการสลายโครงสร้างเชื่อมโยง

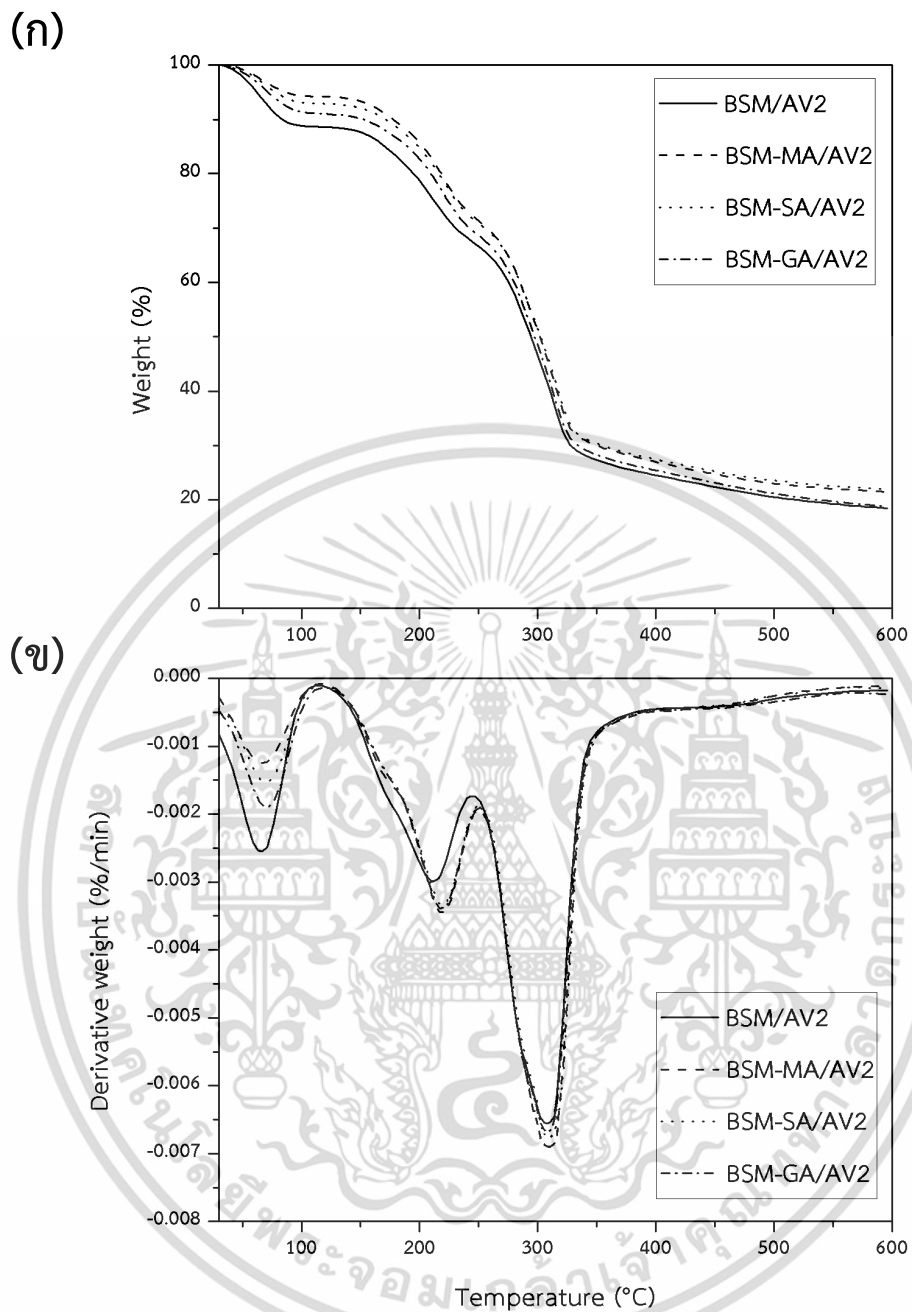
4.6.2 สมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่ เติมสารสกัดว่านหางจระเข้

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่เติม สารสกัดจากว่านหางจระเข้ในความเข้มข้น 6.25% และ 12.5% ให้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.13- 4.14 และในตารางที่ 4.9



รูปที่ 4.13 เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25% (ก) TGA และ (ข) DTG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5% (ก) TGA และ (ข) DTG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 อุณหภูมิการสลายตัวและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักขององค์ประกอบของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงและไม่เชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)			น้ำหนักที่หายไป (%)			น้ำหนักที่เหลือ 600 °C (%)
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	
BSM/AV1	72.3	219.7	310.3	10.5	22.3	48.8	18.4
BSM-MA/AV1	71.2	217.7	314.3	4.7	21.5	48.2	25.6
BSM-SA/AV1	73.2	215.7	312.2	5.5	21.9	47.8	24.8
BSM-GA/AV1	70.7	223.5	311.7	8.8	24.7	46.5	20.0
BSM/AV2	69.2	218.7	310.3	11.5	21.8	44.4	22.3
BSM-MA/AV2	68.3	219.5	314.5	4.4	21.7	47.1	26.8
BSM-SA/AV2	71.2	219.7	312.8	6.2	20.7	47.2	25.9
BSM-GA/AV2	71.7	219.2	311.8	7.5	23.8	45.1	23.6

จากรูปที่ 4.13-4.14 และตารางที่ 4.9 แสดงข้อมูลจากผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลเมือกแมงลักเชื่อมโยงเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ ความเข้มข้น 6.25% และ 12.5% พบว่าชิ้นงานวัสดุปิดแผลในทุกสูตรมีช่วงการสลายตัว 3 ชั้น คล้ายกับผลของวัสดุปิดแผลที่ไม่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ (รูปที่ 4.12) โดยการสลายตัวทางความร้อนในขั้นที่หนึ่งเป็นการระเหยของน้ำในวัสดุช่วงอุณหภูมิ 50-100 องศาเซลเซียส การสลายตัวทางความร้อนขั้นที่สองอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 180-250 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของกลีเซอรอล โดยในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวเป็นการสลายตัวของสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกและแอนทราควิโนน ซึ่งพบในสารสกัดของว่านหางจระเข้เช่นกัน [66, 68]

โดยผลจากการเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ ส่งผลให้วัสดุปิดแผลมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีขึ้น โดยพบว่าอุณหภูมิในการสลายตัวทางความร้อนในขั้นที่ 3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้การเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ปริมาณ 12.5% มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปลดลงและมีน้ำหนักองค์ประกอบคงเหลือมากกว่าการเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ 6.25% ทั้งนี้คาดว่าสารสกัดว่านหางจระเข้คาดว่าสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของโครงสร้างพอลิแซคคาไรด์ของเมือกแมงลักซึ่งเป็นเมทริกซ์หลักของวัสดุปิดแผล จึงทำให้ต้องใช้พลังงานในการสลายพันธะเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย

ผลการทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงที่ไม่เติมและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้น 6.25% และ 12.5% โดยทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด 2 ชนิด คือ *Staphylococcus aureus* (แกรมบวก) และ *Pseudomonas aeruginosa* (แกรมลบ) ซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียที่มักพบได้ในบาดแผล [67] โดยทำการทดสอบด้วยวิธี Disc diffusion วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขอบเขตการยับยั้ง ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังนี้

ตารางที่ 4.10 สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่ไม่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้

ตัวอย่าง	ขอบเขตการยับยั้ง (มม.)		ผลการทดสอบ
	<i>S. aureus</i>	<i>P. aeruginosa</i>	
BSM	-	-	Non-active
BSM-MA	-	-	Non-active
BSM-SA	-	-	Non-active
BSM-GA	-	-	Non-active

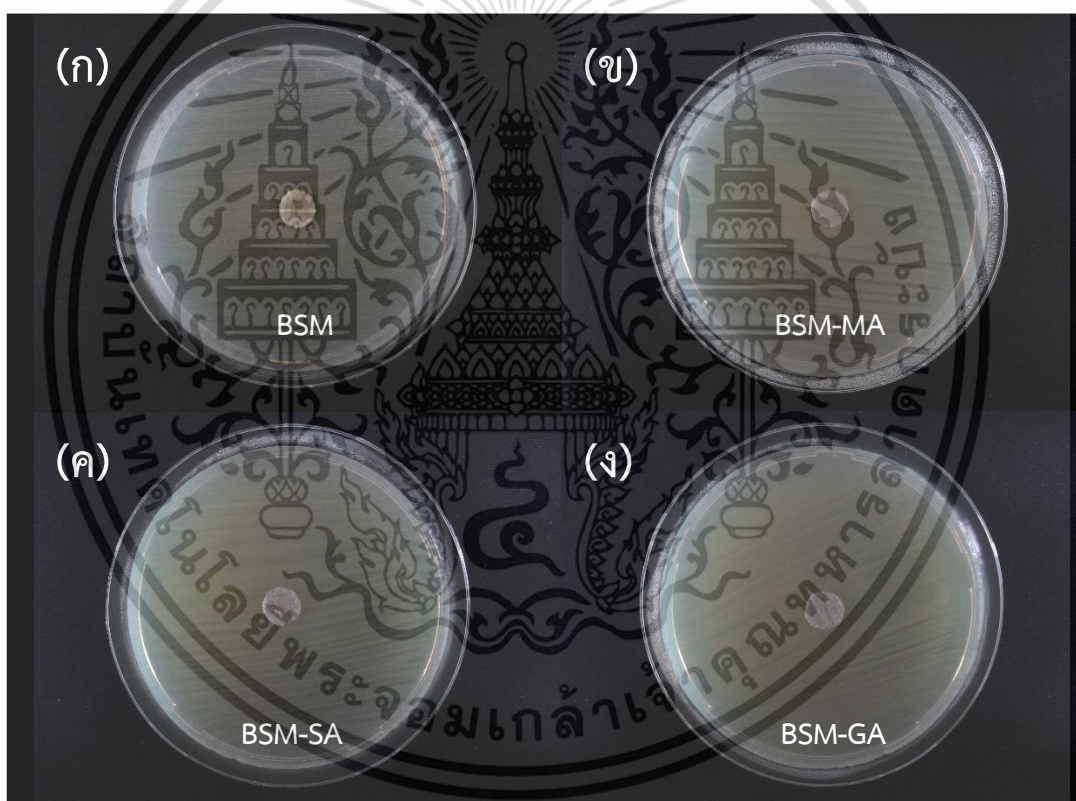
ตารางที่ 4.11 สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ 6.25%

ตัวอย่าง	ขอบเขตการยับยั้ง (มม.)		ผลการทดสอบ
	<i>S. aureus</i>	<i>P. aeruginosa</i>	
BSM/AV1	13.41 ± 0.2 ^a	11.73 ± 0.2 ^b	Active
BSM-MA/AV1	13.32 ± 0.5 ^a	11.58 ± 0.2 ^b	Active
BSM-SA/AV1	12.70 ± 0.2 ^a	11.88 ± 0.1 ^b	Active
BSM-GA/AV1	12.69 ± 0.1 ^a	12.20 ± 0.2 ^b	Active

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

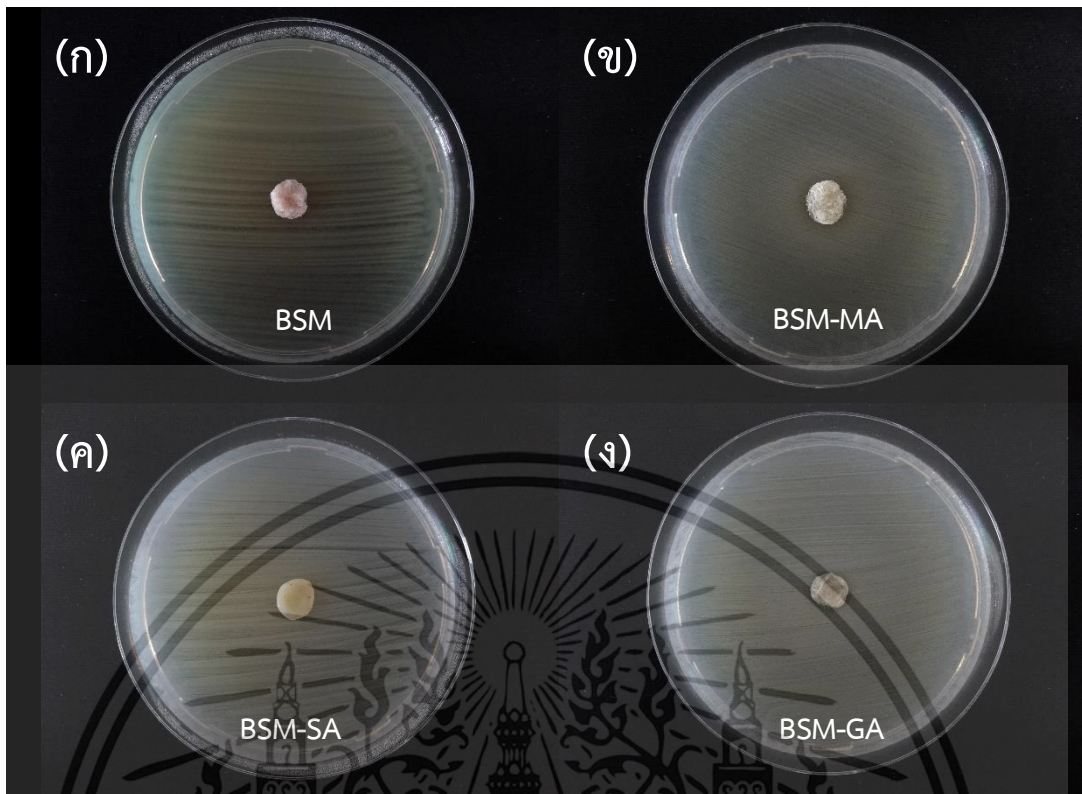
ตารางที่ 4.12 สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ 12.5%

ตัวอย่าง	ขอบเขตการยับยั้ง (มม.)		ผลการทดสอบ
	<i>S. aureus</i>	<i>P. aeruginosa</i>	
BSM/AV2	19.17 ± 0.1 ^a	16.98 ± 0.3 ^b	Active
BSM-MA/AV2	21.24 ± 0.9 ^a	16.97 ± 0.2 ^b	Active
BSM-SA/AV2	21.73 ± 0.9 ^a	18.00 ± 0.7 ^b	Active
BSM-GA/AV2	22.97 ± 0.5 ^a	17.45 ± 0.2 ^b	Active



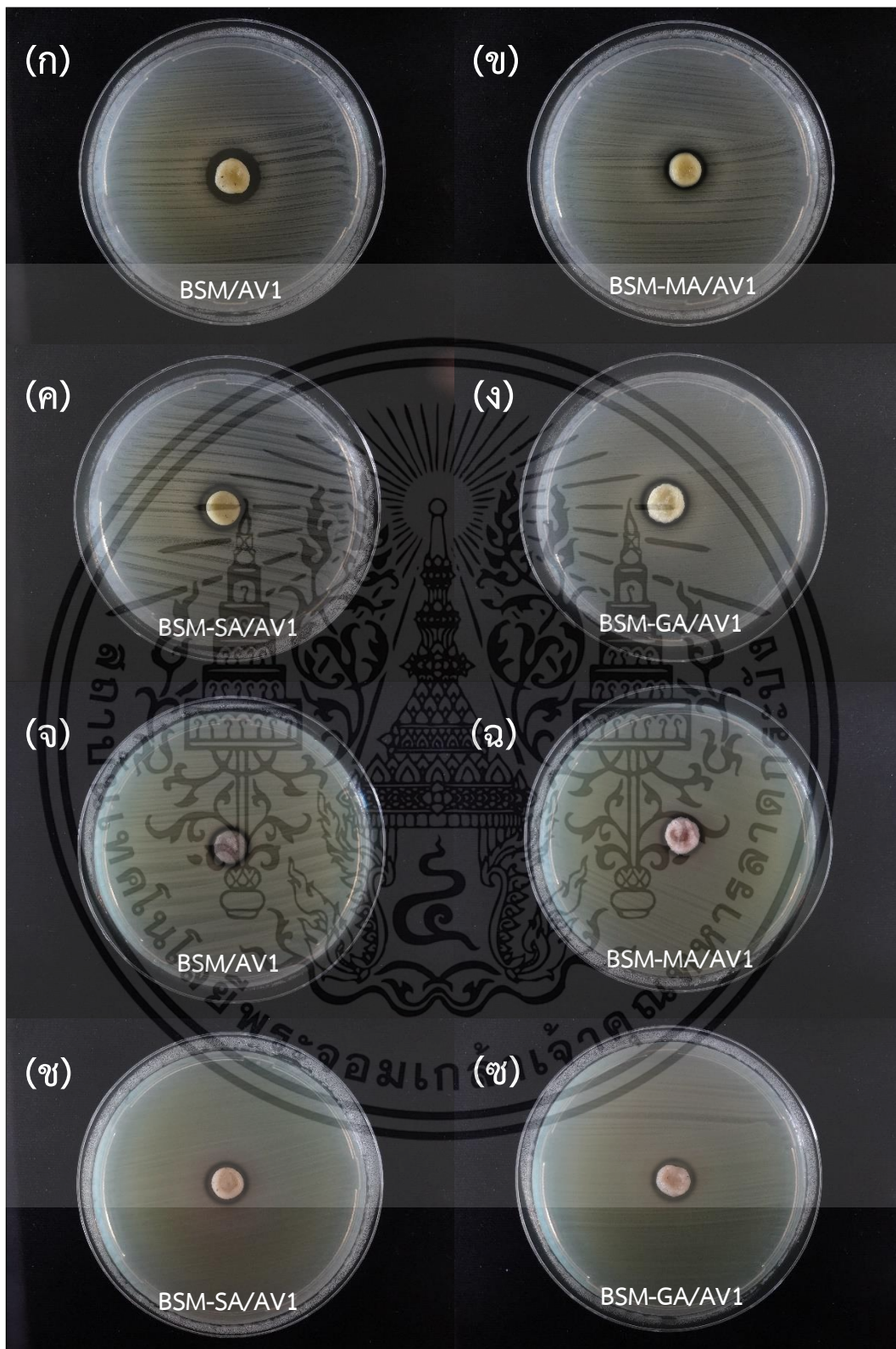
รูปที่ 4.15 ขอบเขตการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* (ก)-(ง) ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่ไม่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

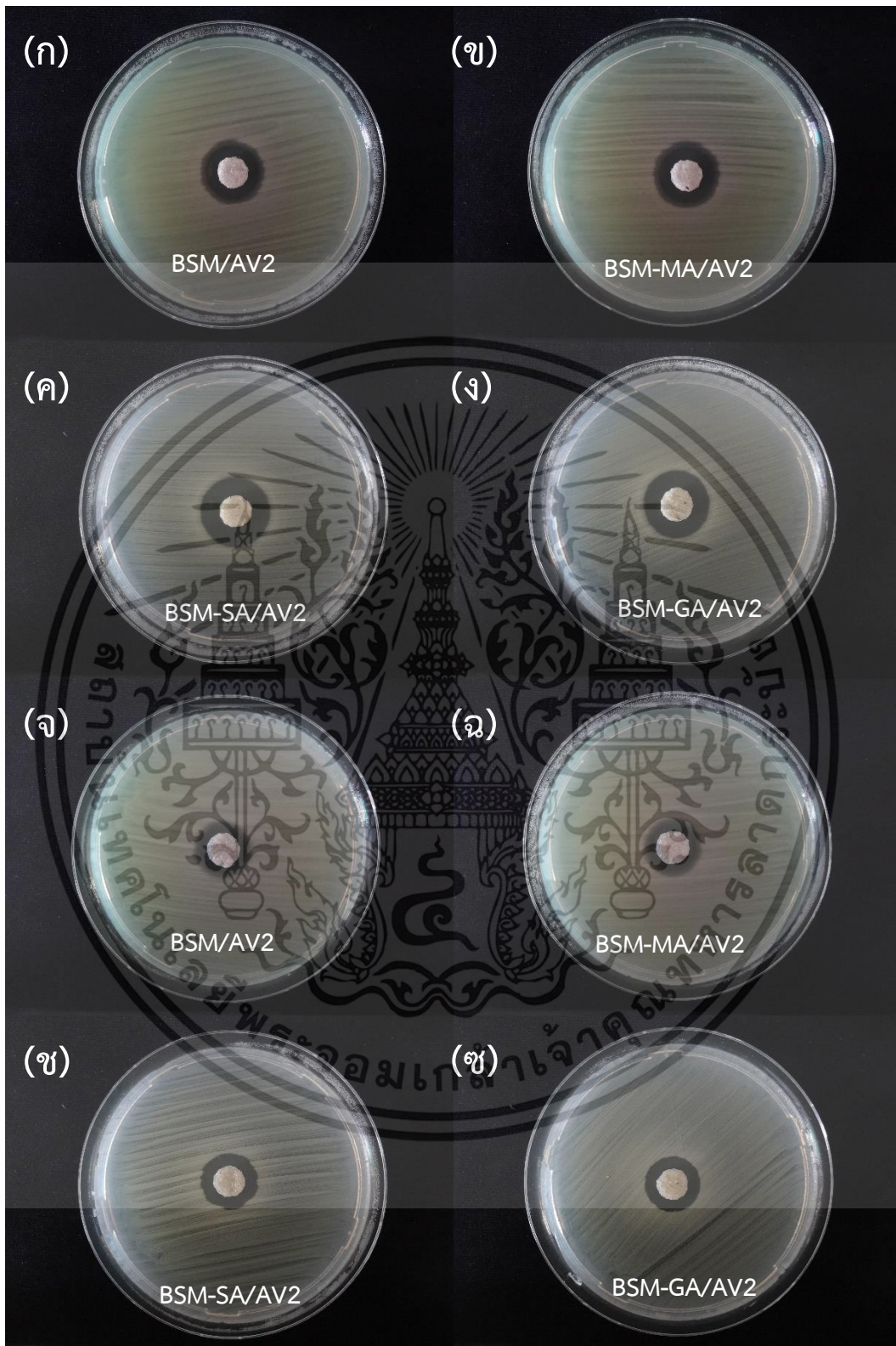


รูปที่ 4.16 ขอบเขตการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *P. aeruginosa* (ก)-(ง) ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลัก
เชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ขอบเขตการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* (ก)-(ง) และ *P. aeruginosa* (จ)-(ซ) ของวัสดุปิดแผลเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25% เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ขอบเขตการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* (ก)-(ง) และ *P. aeruginosa* (จ)-(ซ) ของวัสดุปิดแผลเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5% เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบบิทธิพลของกรดอินทรีย์ของวัสดุปิดแผลที่ไม่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ในการต้านเชื้อแบคทีเรียทั้ง *S. aureus* (แกรมบวก) และ *P. aeruginosa* (แกรมลบ) พบว่าไม่มีแสดงขอบเขตการยับยั้งบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ดังรูปที่ 4.15-4.16

จากตารางที่ 4.11-4.12 พบว่าวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้น 6.25% และ 12.5% สามารถออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบได้ โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดว่านหางจระเข้ ส่งผลให้ขอบเขตการยับยั้งเพิ่มขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากรูปที่ 4.17-4.18

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเปรียบเทียบผลระหว่างแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบพบว่าวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้มีความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และ *P. aeruginosa* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจากการทดลองนี้แสดงว่าสารสกัดว่านหางจระเข้สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ

เนื่องด้วยมีความแตกต่างของโครงสร้างผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ ส่งผลให้ผนังเซลล์แบคทีเรียแต่ละชนิดมีความสามารถในการแพร่ผ่านของโมเลกุลสารยับยั้งแตกต่างกัน ซึ่งผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวกประกอบด้วยส่วนของเปปติโดไกลแคน (Peptidoglycan) ที่มีความหนา เนื่องจากการเรียงซ้อนกันของสายเปปติโดไกลแคนหลายโมเลกุลเข้าด้วยกัน ซึ่งไม่ค่อยมีความซับซ้อน โมเลกุลสารยับยั้งจึงสามารถแพร่ผ่านเซลล์ได้ง่าย ส่งผลให้ภายในเซลล์ถูกทำลายและมีการตายของเซลล์ [64]

ในกรณีผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบ โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์นอกจากชั้นเปปติโดไกลแคนที่เรียงตัวซ้อนกันเป็นชั้นบางๆ แล้ว ยังพบส่วนที่ปกคลุมชั้นเปปติโดไกลแคนอยู่ด้านบน ส่วนนี้เรียกว่า ลิพอพอลิแซ็กคาไรด์ (Lipopolysaccharide) ซึ่งช่วยป้องกันเซลล์แบคทีเรียทนต่อการทำลายโดยสารปฏิชีวนะ (Antibiotics) สารซักฟอก (Detergents) โลหะหนัก (Heavy metals) สีย้อม (Dyes) และเอนไซม์ย่อยสลาย (Digestive enzymes) นอกจากนี้ชั้นของลิพอพอลิแซ็กคาไรด์แล้ว พบว่าในโครงสร้างของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมลบมีช่องว่างระหว่างผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ที่เรียกว่า เพอริพลาสม (Periplasm) ซึ่งเป็นบริเวณที่พบเอนไซม์หลายชนิดที่มีบทบาทในการย่อยสลายสารชีวโมเลกุลขนาดใหญ่หลายชนิด [64]

จากการศึกษาสารสกัดหยาบว่านหางจระเข้ในงานวิจัยของ Maan, A. และคณะ พบว่าสารออกฤทธิ์ที่สำคัญอยู่ในรูปของแอนทราควิโนน ซึ่งสารชนิดนี้มีฤทธิ์ในการทำลายและยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรียบางชนิดได้ และในงานวิจัยของ Mbajuka, C. S. และคณะ ได้รายงานผลของสารสกัดว่านหางจระเข้ในการต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในมนุษย์ พบว่าผลการทดสอบค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* และ *S. aureus* คือ 0.125 mg/ml ซึ่งเช่นเดียวกับผลงานวิจัยของ Lawrence R. และคณะ ที่ทำการศึกษายับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่มีอยู่ในว่านหางจระเข้ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานขอบเขตการยับยั้งของสารสกัดว่านจรเข้ด้วยเอทานอลในเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบหลายชนิด โดยสามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus* 15.66 มม. *B. cereus* 23.33 มม. *E. coli* 12.66 มม. และ *P. aeruginosa* 10.66 มม. [37, 40, 61]

แอนทราควิโนน เป็นสารประกอบในว่านหางจรเข้ ที่มีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลคล้ายคลึงกับโครงสร้างโมเลกุลของเตตราไซคลิน (Tetracycline) ซึ่งคาดว่ากลไกการออกฤทธิ์ของสารแอนทราควิโนนจะทำหน้าที่คล้ายกับสารเตตราไซคลินโดยเข้ายับยั้งการสังเคราะห์โปรตีนในเซลล์ของแบคทีเรีย แอนทราควิโนนจะเข้าไปขัดขวางการทำงานของไรโบโซม (Ribosome) ที่ตำแหน่ง A site ซึ่งเป็นบริเวณที่สารพันธุกรรม tRNA เข้าไปสังเคราะห์โปรตีนในเซลล์แบคทีเรีย ดังนั้นแบคทีเรียจึงไม่สามารถสร้างโปรตีนและไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสารสกัดของว่านหางจรเข้ [62-63]

4.8 การทดสอบความเป็นพิษกับเซลล์

การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ของตัวอย่าง ทำการทดสอบด้วยวิธี MTT essay กับเซลล์ Keratinocytes (HaCaT) ของมนุษย์ โดยนำชิ้นงานวัสดุปิดแผลมาละลายในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟตที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองตัวอย่างที่ถูกที่แช่แล้วออกและนำสารละลายที่ได้เตรียมเป็นอาหารเลี้ยงเซลล์ ทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นหาความเป็นพิษกับเซลล์โดยใช้สารละลาย MTT บ่มไว้ 3-6 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย Absorbance Microplate Reader ที่ความยาวคลื่น 570 nm ซึ่งผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ (Cytotoxicity) แสดงดังตารางที่ 4.13-4.14 และดังรูปที่ 4.19-4.21 ดังนี้

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบความเป็นพิษในเซลล์ HaCaT ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์

ตัวอย่าง	Cytotoxicity (%)	Cell viability (%)
Control	0.39 ± 1.0 ^a	99.61 ± 2.0 ^a
BSM	1.29 ± 2.1 ^a	98.71 ± 0.5 ^a
BSM-MA	1.38 ± 1.0 ^a	98.62 ± 0.2 ^a
BSM-SA	1.34 ± 1.5 ^a	98.66 ± 0.3 ^a
BSM-GA	1.26 ± 0.4 ^a	98.74 ± 0.5 ^a

หมายเหตุ Control = อาหารเลี้ยงเซลล์ที่ไม่เติมสารละลายตัวอย่าง

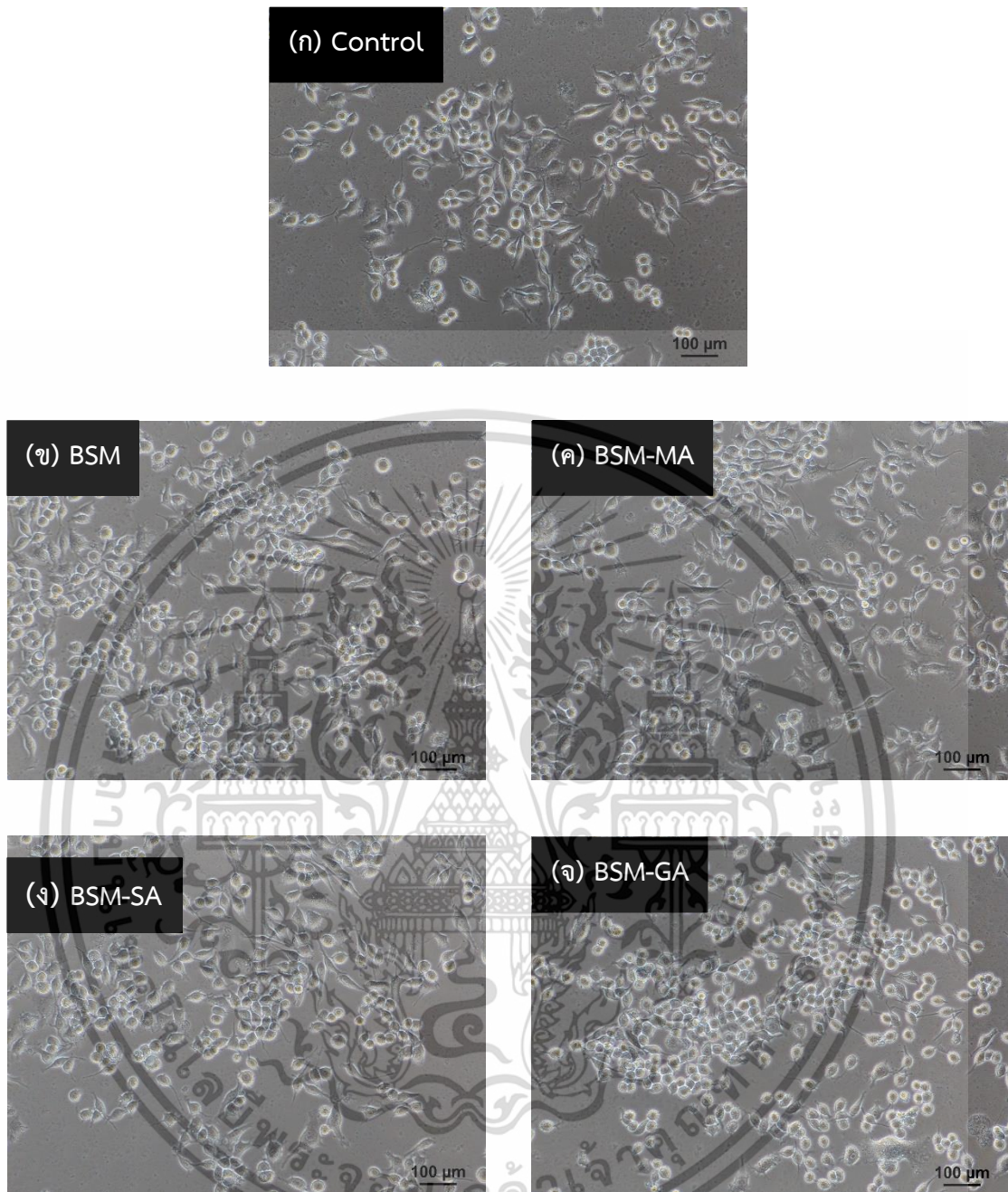
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบความเป็นพิษในเซลล์ HaCaT ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลัก เชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้

ตัวอย่าง	Cytotoxicity (%)	Cell viability (%)
Control	5.44 ± 2.0^a	94.56 ± 2.0^a
BSM/AV1	-10.18 ± 0.1^b	110.18 ± 0.5^b
BSM-MA/AV1	-6.38 ± 0.2^b	106.38 ± 0.2^b
BSM-SA/AV1	-8.44 ± 0.2^b	108.44 ± 0.2^b
BSM-GA/AV1	-7.85 ± 0.3^b	107.85 ± 0.3^b
BSM/AV2	-7.87 ± 1.2^b	107.87 ± 1.0^b
BSM-MA/AV2	-5.51 ± 2.3^b	105.51 ± 2.3^b
BSM-SA/AV2	-6.24 ± 1.3^b	106.24 ± 1.5^b
BSM-GA/AV2	-5.25 ± 2.5^b	105.25 ± 2.5^b

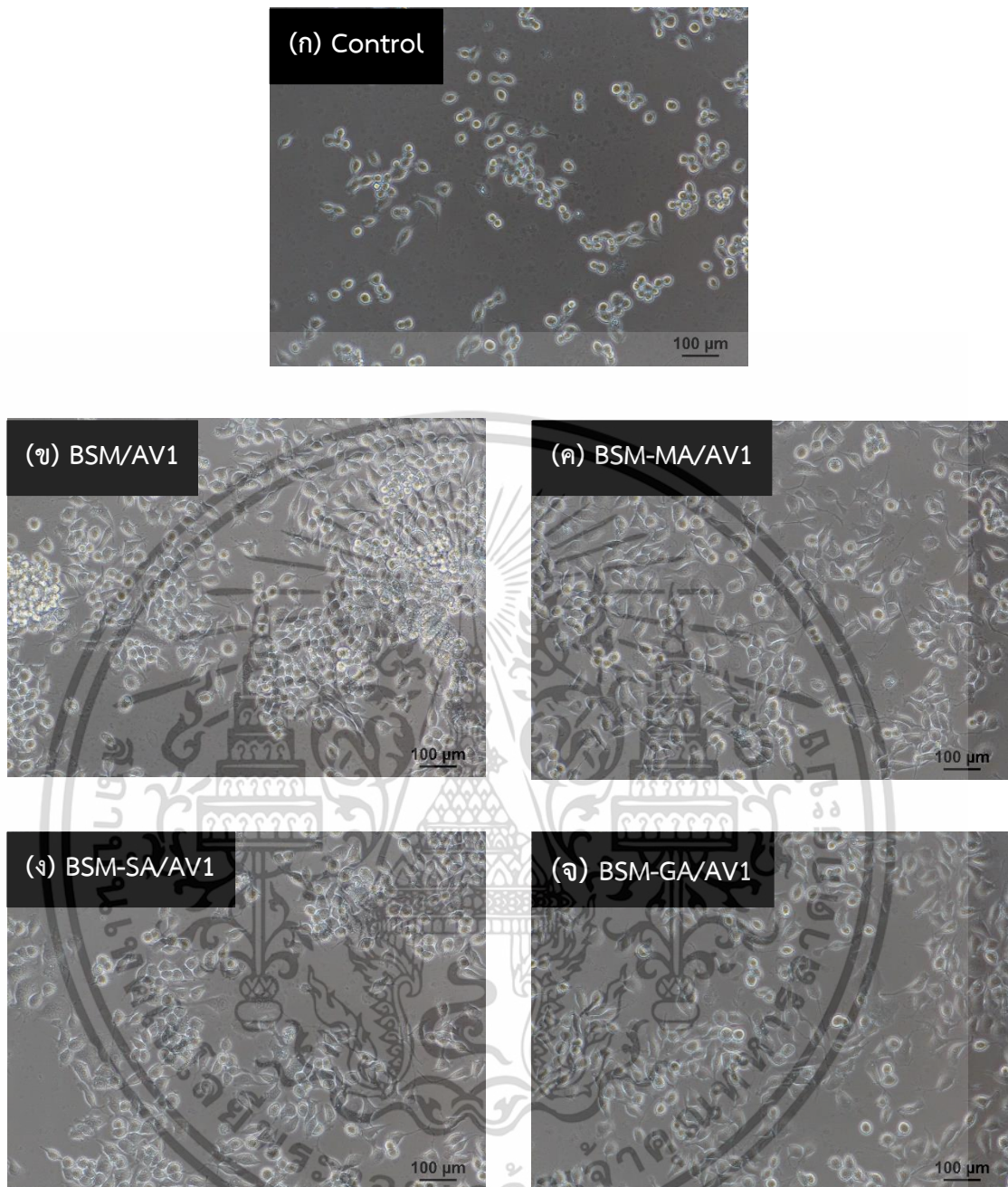
หมายเหตุ Control = อาหารเลี้ยงเซลล์ที่ไม่เติมสารละลายตัวอย่าง

การวิเคราะห์ผลความเป็นพิษต่อเซลล์ เป็นการวัดถึงความสามารถของเอนไซม์ของไมโทคอนเดรีย (Mitochondrial enzyme) ที่เปลี่ยนสารละลาย MTT จากสีเหลืองไปเป็นสีม่วง โดยความเข้มของระดับสีสัมพันธ์กับจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตอยู่ ซึ่งวัดค่า Optical density (OD) ด้วยเครื่อง Absorbance Microplate Reader ที่ความยาวคลื่น 570 nm ถ้าค่า OD สูงบ่งบอกได้ว่าเซลล์มีชีวิตรอดจำนวนมาก สามารถเพิ่มจำนวนได้ตามปกติ จากนั้นนำค่า OD ที่ได้จากตัวอย่างมาเปรียบเทียบกับค่า OD ของชุดควบคุม (Control) เพื่อกำหนดค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ ซึ่งตามมาตรฐาน ISO 10993-5 ระบุไว้ว่าถ้าเซลล์มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต (Cell viability) ที่สูงมากกว่า 80% บ่งชี้ว่าวัสดุทดสอบไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตระหว่าง 60 ถึง 80% บ่งชี้ว่าวัสดุทดสอบมีความเป็นพิษต่อเซลล์เล็กน้อย เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตระหว่าง 40 ถึง 60% บ่งบอกถึงวัสดุทดสอบมีความเป็นพิษปานกลางและถ้าเซลล์มีเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตต่ำกว่า 40% บ่งบอกว่าวัสดุทดสอบมีความเป็นพิษต่อเซลล์อย่างรุนแรง



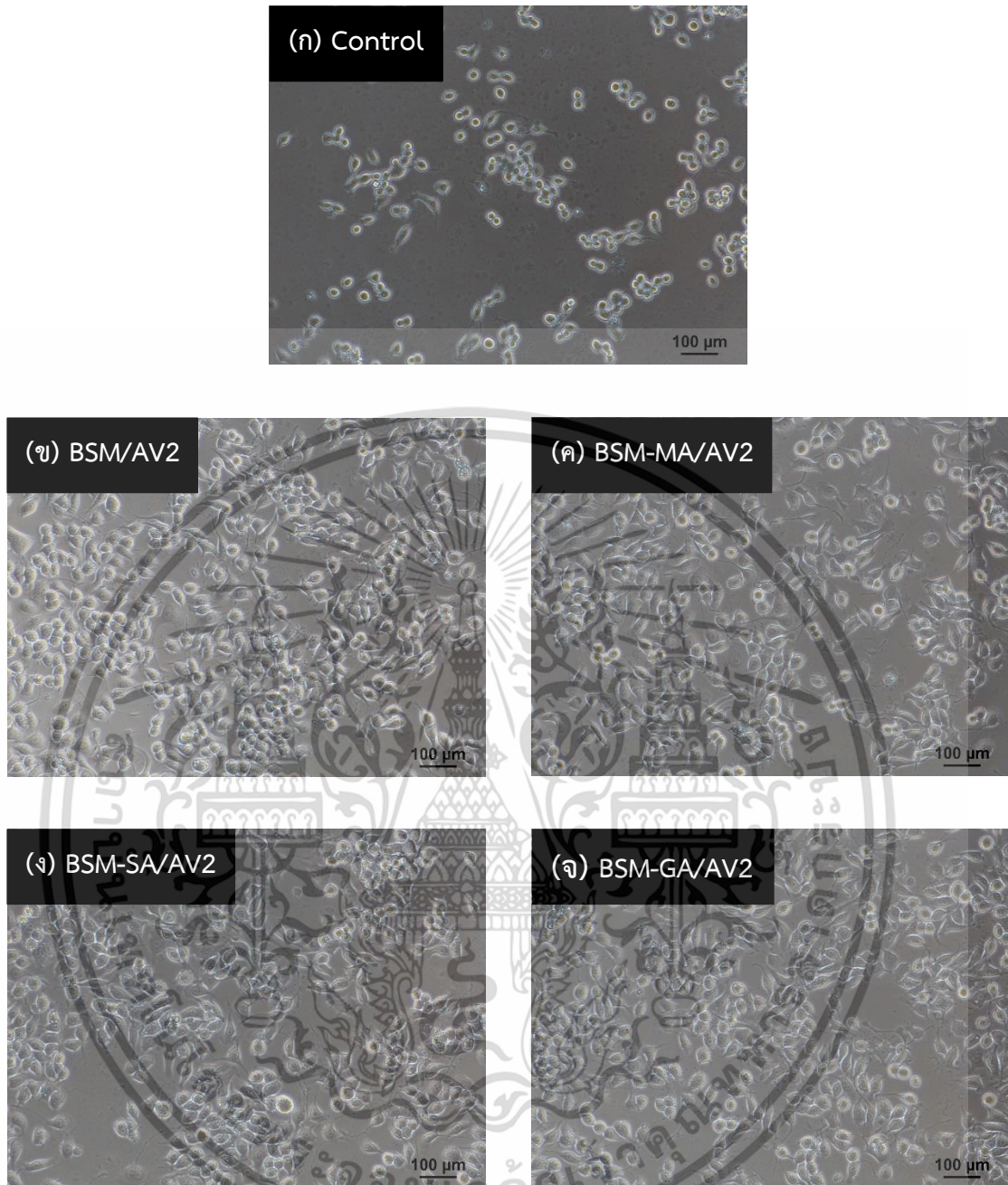
รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายการเจริญของเซลล์หลังทดสอบกับตัวอย่างของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ (ก) Control (ข) BSM (ค) BSM-MA (ง) BSM-SA และ (จ) BSM-GA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายการเจริญของเซลล์ของตัวอย่างวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ (ก) Control และ (ข)-(จ) สารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ภาพถ่ายการเจริญของเซลล์ของตัวอย่างวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ (ก) Control และ (ข)-(จ) สารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%

จากตารางที่ 4.13 การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ HaCaT ของตัวอย่างวัสดุปิดแผลที่ไม่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้พบว่าตัวอย่างไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ทดสอบชนิด Vero cell เซลล์ยังสามารถเจริญเติบโตได้ดี มีอัตราการเติบโตมากกว่า 80% ตามมาตรฐาน ISO 10993-5 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับรูปที่ 4.19 ซึ่งแสดงถึงเซลล์ยังสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้ ทั้งนี้คาดว่าสารละลายของตัวอย่างวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ไม่มีสารประกอบที่เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันตรายเป็นเซลล์ และกรดอินทรีย์ได้ถูกใช้กระบวนการการเชื่อมโยงหมดแล้วจึงไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเซลล์ HaCaT [65]

จากตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ HaCaT ของตัวอย่างวัสดุปิดแผลที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ทั้ง 2 ความเข้มข้นพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษต่อเซลล์และค่าเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตสูงกว่าชุดควบคุมและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงถึงตัวอย่างไม่มีความเป็นพิษกับเซลล์ที่ทดสอบซึ่งผลคล้ายกันกับตารางที่ 4.13 โดยเซลล์ HaCaT ยังสามารถเจริญเติบโตได้ดี สามารถเพิ่มจำนวน และเซลล์มีชีวิตรอดมากกว่า 80% ตามมาตรฐาน ISO 10993-5 ดังนั้นสารสกัดว่านหางจระเข้ที่เติมลงในวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักไม่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของเซลล์ HaCaT นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบจำนวนเซลล์และความหนาแน่นของกลุ่มเซลล์จากรูปที่ 4.20-4.21 สังเกตได้ว่าจำนวนเซลล์ของตัวอย่างที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้มีความหนาแน่นมากกว่าชุดควบคุม ซึ่งแสดงว่าสารสกัดว่านหางจระเข้ยังสามารถช่วยเร่งกระบวนการแบ่งเซลล์ HaCaT ได้อีกด้วย [63]

สมบัติความเข้ากันได้กับเซลล์ของวัสดุปิดแผลถือว่ามีความสำคัญมาก การศึกษาความเข้ากันได้ระหว่างเซลล์กับวัสดุปิดแผลสามารถบ่งบอกได้ถึงระยะเวลาของการทำงานของงานผลิตภัณฑ์กลุ่มผู้ใช้งาน และประสิทธิภาพของวัสดุ ในงานวิจัยของ Hosseini M. S. และ Nabid M. R. ได้สังเคราะห์ฟิล์มปิดแผลจากเมือกแมงลักโดยใช้สารเชื่อมโยงเป็นกลูตารัลดีไฮด์ซึ่งมีความเป็นพิษและเป็นหนึ่งในสารก่อมะเร็ง ผลการทดสอบพบว่า เมื่อปริมาณของกลูตารัลดีไฮด์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญของเซลล์เนื้อเยื่อไฟโบรบลาสต์ จำนวนเซลล์ที่มีชีวิตรอดจึงลดลง [58] นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Allafchian A. และคณะ ซึ่งทำการศึกษาโครงเลี้ยงเซลล์ (Scaffold) จากพอลิเมอร์ผสมของพอลิคาโพรแลกโตน/เมือกแมงลัก พบว่าเซลล์เนื้อเยื่อหนู (Vero cell) ที่เพาะบนวัสดุจากเมือกแมงลักยังมีลักษณะปกติ ไม่แสดงอาการเซลล์แตกหรือเสียหายบ่งบอกถึงวัสดุจากพอลิเมอร์ผสมของพอลิคาโพรแลกโตน/เมือกแมงลัก สามารถเข้ากันได้กับเซลล์และไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ [41]

สำหรับงานวิจัยของ Anbazhagan S. ได้รายงานผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ของวัสดุปิดแผลจากไคโตซานที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ พบว่าไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์เนื้อเยื่อหนู ทั้งยังช่วยส่งเสริมการเพิ่มจำนวนเซลล์มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม [42] โดยผลดังกล่าวคล้ายคลึงกับผลการทดลองในงานวิจัย Rubio-Elizalde I. และคณะ ซึ่งรายงานว่าการสกัดสารอะโลอิน (Aloin) ที่เป็นสารประกอบกลุ่มแอนทราควิโนน ซึ่งพบได้ในสารสกัดว่านหางจระเข้สามารถส่งเสริมการเจริญของเซลล์ไฟโบรบลาสต์และเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด ส่งผลให้เซลล์มีชีวิตรอดและสามารถเพิ่มจำนวนได้ ซึ่งมีความสำคัญมากสำหรับวัสดุปิดแผลหรือโครงเลี้ยงเซลล์ [44-45]

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาและศึกษาสมบัติของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ 3 ชนิด คือ กรดมาโลนิก กรดซัคซินิก และกรดกลูตาริก และมีการเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ปริมาณความเข้มข้นต่างกัน ได้แก่ 6.25% และ 12.5% โดยน้ำหนัก ซึ่งภายหลังจากวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่างๆ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

1. จากการตรวจวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันในโครงสร้างวัสดุปิดแผล พบว่าปรากฏพีคการสั่นของหมู่ฟังก์ชันเกิดขึ้นใหม่ที่เลขคลื่นประมาณ $1720-1750\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นลักษณะการสั่นของพันธะ C=O stretching ของหมู่เอสเทอร์ ช่วงการสั่นที่ตำแหน่ง $3200-3600\text{ cm}^{-1}$ ที่เป็นการสั่นของ O-H stretching เกิดการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเลขคลื่นที่ต่ำลง และความเข้มของพีคมีแนวโน้มลดลง ซึ่งจากการเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ลงในวัสดุปิดแผลส่งผลให้พีคของ O-H stretching และ C=O stretching มีความเข้มมากขึ้น

2. จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุปิดแผลพบว่าโครงสร้างภายในมีลักษณะเป็นรูพรุน และวัฏภาคมีความต่อเนื่องเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น หลังจากการเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ และเมื่อเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ลงไปพบว่าโครงสร้างมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยเนื้อวัสดุมีความเรียบมากขึ้น

3. จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพในด้านสัดส่วนเจล ความพรุน และความสามารถในการกักเก็บน้ำของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงพบว่า เมื่อใช้กรดอินทรีย์ที่มีสายโซ่โมเลกุลยาวขึ้นทำให้สัดส่วนเจลมีแนวโน้มลดลง แต่ความพรุนและความสามารถในการกักเก็บน้ำในวัสดุมากขึ้น และเมื่อเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ลงไปไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญกับสมบัติข้างต้น

4. จากการทดสอบสมบัติการบวมตัว พบว่าวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์มีการบวมตัวลดลง และการบวมตัวมีแนวโน้มสูงขึ้นตามความยาวของสายโซ่กรดอินทรีย์ โดยเรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ BSM-MA < BSM-SA < BSM-GA < BSM และหลังจากเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ลงไปพบว่าสมบัติการบวมตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

5. จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุปิดแผล พบว่าวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์สายโซ่สั้นมีค่าความแข็งแรงดึงและมอดูลัสเพิ่มขึ้น แต่มีเปอร์เซ็นต์การดึงยืดลดลง โดยเรียงลำดับความแข็งแรงดึงจากมากไปน้อยดังนี้ BSM-MA > BSM-SA > BSM-GA > BSM และจากการเติมสารสกัดว่านหางจระเข้พบว่าไม่ส่งผลต่อการรับแรงกระทำ วัสดุปิดแผลยังคงสามารถรับแรงได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุปิดแผลพบว่า วัสดุปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมโยง มีอุณหภูมิการสลายตัวที่สูงกว่าวัสดุปิดแผลที่ไม่ได้เชื่อมโยง โดยสามารถเรียงแนวโน้มจากน้อยไปมาก ได้ดังนี้ $BSM < BSM-GA < BSM-SA < BSM-MA$ ตามลำดับ และผลจากการเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ พบว่า วัสดุปิดแผลยังมีแนวโน้มอุณหภูมิการสลายตัวไม่เปลี่ยนแปลง

7. จากการศึกษาสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของวัสดุปิดแผลพบว่า วัสดุปิดแผลที่ไม่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ไม่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ เมื่อเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ลงในวัสดุปิดแผล พบว่า สารสกัดว่านหางจระเข้ยังสามารถออกฤทธิ์ได้ดี และสามารถยับยั้งได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวก (*S. aureus*) และแบคทีเรียแกรมลบ (*P. aeruginosa*) โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดว่านหางจระเข้ส่งผลให้ขอบเขตการยับยั้งเพิ่มขึ้น

8. จากการศึกษาทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ HaCaT พบว่าวัสดุปิดแผลเมือกแมงลักเชื่อมโยง ด้วยกรดอินทรีย์ไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ และในตัวอย่างที่เติมสารสกัดว่านหางจระเข้พบว่า ไม่แสดงความเป็นพิษต่อเซลล์เช่นเดียวกัน นอกจากนี้สารสกัดว่านหางจระเข้ยังช่วยเพิ่มจำนวนเซลล์ HaCaT อีกด้วย

จากการวิเคราะห์และทดสอบสมบัติทั้งหมดในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ว่า วัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงที่ใช้กรดซัคซินิก และเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5% โดยน้ำหนัก ให้สมบัติโดยรวมเหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากผลการทดสอบข้างต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาสมบัติต่างๆ ของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงด้วยกรดอินทรีย์ที่เติมสารสกัดจากว่านหางจระเข้เพื่อใช้เป็นสารต้านเชื้อแบคทีเรีย สามารถนำไปพัฒนาปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ ดังนี้

1. การนำพอลิเมอร์จากธรรมชาติชนิดอื่น เช่น ไคโตซาน (Chitosan) คาราจีแนน (Carrageenan) อัลจีเนต (Alginate) หรือเจลาติน (Gelatin) เป็นต้น มาผสมเพื่อช่วยในการปรับปรุงสมบัติของวัสดุรวมกันกับการใช้สารเคมีในปรับปรุง เนื่องจากพอลิเมอร์ดังกล่าวเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว [69] ซึ่งสามารถเกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้วที่ต่างกัน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในด้านสมบัติเชิงกลและความคงรูปได้ดี
2. การนำวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงไปพัฒนาเป็นวัสดุปิดแผลอัจฉริยะ ที่สามารถบ่งบอกสถานะของแผลได้ เช่น การตอบสนองต่อค่า pH ที่เปลี่ยนแปลง การฟื้นฟูบาดแผลโดยการปลดปล่อยยา เป็นต้น
3. ทำการศึกษาสมบัติของวัสดุปิดแผลเพิ่มเติมในเรื่องของการแลกเปลี่ยนก๊าซและการซึมผ่านของเหลว รวมถึงสมบัติการยึดเกาะและลอกออกจากผิวหนัง
4. การนำวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักไปทดลองใช้งานจริง เพื่อเปรียบเทียบการวัสดุปิดแผลในทางการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dhiyya, S., Padma, V. V. and Santhini, E. 2015. “Wound dressings – a review.” *BioMedicine*. 5(4) : 24-28.
- [2] Smith, A. M., Moxon, S. and Morris, G. A. 2016. “Biopolymers as wound healing materials.” *Wound Healing Biomaterials*. 2 : 261–287.
- [3] Choudhary, P. D. and Pawar, H. A. 2014. “Recently Investigated Natural Gums and Mucilages as Pharmaceutical Excipients: An Overview.” *Journal of Pharmaceutics*. 2014 : 1–9.
- [4] Soukoulis, C., Gaiani, C. and Hoffmann, L. 2018. “Plant seed mucilage as emerging biopolymer in food industry applications.” *Current Opinion in Food Science*, 22 : 28–42.
- [5] Salehi, F., Kashaninejad, M., Tadayyon, A. and Arabameri, F. 2015. “Modeling of extraction process of crude polysaccharides from Basil seeds (*Ocimum basilicum* L.) as affected by process variables.” *Journal of Food Science and Technology*. 52(8) : 5220-5227.
- [6] Jiang, Q., Reddy, N., Zhang, S., Roscioli, N. and Yang, Y. 2012. “Water-stable electrospun collagen fibers from a non-toxic solvent and crosslinking system.” *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. 101A(5) : 1237– 1247.
- [7] Tantiwatcharothai, S. and Prachayawarakorn, J. 2020. “Property improvement of antibacterial wound dressing from basil seed (*O. basilicum* L.) mucilage-ZnO nanocomposite by borax crosslinking.” *Carbohydrate Polymers*. : 1-7.
- [8] Halima, B., Sadia, C. S., Mahfuza, M. R., Sayeda, K. 2016. “Effect of Ethanolic extract of *Aloe vera* gel on certain common clinical pathogens.” *Borneo Journal of Medical Sciences*. 10(2) : 19-25.
- [9] Jithendra, P., Rajam, A. M., Kalaivani, T., Mandal, A. B., and Rose, C. 2013. “Preparation and Characterization of Aloe Vera Blended Collagen-Chitosan Composite Scaffold for Tissue Engineering Applications.” *ACS Applied Materials & Interfaces*. 5(15) : 7291–7298.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Sami, D. G., Heiba, H. H. and Abdellatif, A. 2019. "Wound Healing Models; A Systematic Review of Animal and Non-Animal Models." *Wound Medicine*. 24(1) : 8-17.
- [11] Armstrong, D. G. Hanft, J. R., Driver, V. R., Smith, A. P., Lazaro-Martinez, J. L., Reyzelman, A. M., Furst, G. J., Vayser, D. J., Cervantes, H. L., Snyder, R. J., M. F., May, P. E., Nelson, J. L., Baggs, G. E. and Voss, A. C. 2014. "Effect of oral nutritional supplementation on wound healing in diabetic foot ulcers: a prospective randomized controlled trial." *Diabetic Medicine*. 31(9) : 1069–1077.
- [12] Negut, I., Grumezescu, V. and Grumezescu, A. 2018. "Treatment Strategies Infected Wounds." *Molecules*. 23(9) : 1-23.
- [13] Simões, D., Miguel, S. P., Ribeiro, M. P., Coutinho, P., Mendonça, A. G. and Correia, I. J. 2018. "Recent advances on antimicrobial wound dressing: A review." *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 127 : 130–141.
- [14] Nie, J., Pei, B., Wang, Z. and Hu, Q. 2019. "Construction of ordered structure in polysaccharide hydrogel: A review." *Carbohydrate Polymers*. 205 : 225–235.
- [15] Parhi, R. 2017. "Cross-Linked Hydrogel for Pharmaceutical Applications A Review." *Advanced Pharmaceutical Bulletin*. 7(4) : 515–530.
- [16] Das, D. and Pal, S. 2015. "Modified biopolymer-dextrin based crosslinked hydrogels: application in controlled drug delivery". *RSC Advances*. 5(32) : 25014–25050.
- [17] Costa, M. J., Marques, A. M., Pastrana, L. M., Teixeira, J. A., Sillankorva, S. M. and Cerqueira, M. A. 2018. "Physicochemical properties of alginate-based films: Effect of ionic crosslinking and mannuronic and guluronic acid ratio." *Food Hydrocolloids*. 81 : 442–448.
- [18] Liling, G., Di, Z., Jiachao, X., Xin, G., Xiaoting, F. and Qing, Z. 2016. "Effects of ionic crosslinking on physical and mechanical properties of alginate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [19] Gulrez, S. K. H., Al-Assaf, S. and Phillips, G. O. 2011. "Hydrogels: Methods of Preparation, Characterisation and Applications". *INTECH Open Access Publisher*. 5 : 117–150.
- [20] Srimongkon, T., Mandai, S. and Enomae, T. 2015. "Application of Biomaterials and Inkjet Printing to Develop Bacterial Culture System." *Advances in Materials Science and Engineering*. 2015 : 1-9.
- [21] Saini, K. 2017. "Preparation method, Properties and Crosslinking of hydrogel: a review." *PharmaTutor*. 5(1) : 27-36.
- [22] Salleh, K. M., Zakaria, S., Sajab, M. S., Gan, S., Chia, C. H., Jaafar, S. N. S. and Amran, U. A. 2018. "Chemically crosslinked hydrogel and its driving force towards superabsorbent behaviour." *International Journal of Biological Macromolecules*. 118B : 1422-1430.
- [23] Hu, W., Wang, Z., Xiao, Y., Zhang, S. and Wang, J. 2019. "Advances in Crosslinking Strategies of Biomedical Hydrogels." *Biomaterials Science*. 7 : 843-855.
- [24] Li, B., Wang, L., Xu, F., Gang, X., Demirci, U., Wei, D., Li, Y., Feng, Y., Jia, D. and Zhou, Y. 2015. "Hydrosoluble, UV-crosslinkable and injectable chitosan for patterned cell-laden microgel and rapid transdermal curing hydrogel in vivo." *Acta Biomaterialia*. 22 : 59–69.
- [25] Tsukasa, M., Yuuki, T., Sachiko, A., Takahiko, I., Akie, H. and Keiko, E. 2010. "Role of boric acid for a poly (vinyl alcohol) film as a cross-linking agent: Melting behaviors of the films with boric acid." *Polymer*. 51 : 5539–5549.
- [26] Mahinroosta, M., Jomeh, F. Z., Allahverdi, A. and Shakoory, Z. 2018. "Hydrogels as intelligent materials: A brief review of synthesis, properties and applications." *Materials Today Chemistry*. 8 : 42–55.
- [27] Caló, E. and Khutoryanskiy, V. V. 2015. "Biomedical applications of hydrogels: A review of patents and commercial products." *European Polymer Journal*. 65 : 252–267.
- [28] Sinha, V. and Chakma, S. 2019. "Advances in the preparation of hydrogel for wastewater treatment: A concise review." *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 7(5) : 1-19.

- [29] Moumita, C., Abhijit, S., Lopamudra, D. and Sumana, C. 2017. “Role of mucilage as pharmaceutical additives and cytoprotective agent”. *Journal of Innovations in Pharmaceutical and Biological Sciences*. 4(2) : 46-52.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] Schickinger M, Florian Z., Karin S. and Andreas K. 2018. “Investigation of Malonic Solutions”. *European Journal of Organic Chemistry*. 2019(9) : 1876-1882.
- [33] Thakker C., Irene M., Ka-Yiu S., and George N. B. 2011. “Succinate production in *Escherichia coli*”. *Biotechnology Journal*, 7(2) : 213–224.
- [34] Rohles C., Gläser, L., Kohlstedt, M., Giesselmann, G., Pearson, S., Campo, A., Becker, J. and Wittmann, C. 2018. “A bio-based route to the carbon-5 chemical glutaric acid and to bionylon-6,5 using metabolically engineered *Corynebacterium glutamicum*”. *Green Chem*. 20 : 4662-4674.
- [35] Khameneh, B., Iranshahy, M., Soheili, V. and Sedigheh Fazly Bazzaz B. 2019. “Review on plant antimicrobials: a mechanistic viewpoint.” *Antimicrob Resist Infect Control*. 8(1) : 1-28.
- [36] Malik, E. M. and Müller, C. E. 2016. “Anthraquinones As Pharmacological Tools and Drugs.” *Medicinal Research Reviews*. 36(4). 705–748.
- [37] Maan, A. A., Nazir, A., Khan, M. K. I., Ahmad, T., Zia, R., Murid, M. and Abrar, M. 2018. “The therapeutic properties and applications of Aloe vera: A review.” *Journal of Herbal Medicine*. 12 : 1–10.
- [38] Akaberi, M., Sobhani, Z., Javadi, B., Sahebkar, A. and Emami, S. A. 2016. “Therapeutic effects of Aloe spp. in traditional and modern medicine: A review”. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 84 : 759–772.
- [39] Rahman, S., Carter, P. and Bhattarai, N. 2017. “Aloe Vera for Tissue Engineering Applications.” *Journal of Functional Biomaterials*. 8(1) : 2-17.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [40] Mbajjuka, C. S., Obeagu, E. I. and Okwandu, G. E. 2014. "Antimicrobial effects of Aloe vera on some human pathogens". *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 3(3) : 1022-1028.
- [41] Allafchian, A., Jalali, S. A. H. and Mousavi, S. E. 2018. "A biocompatible biodegradable polycaprolactone/basil seed mucilage scaffold for cell culture." *IET Nanobiotechnology*. 12(8) : 1108–1113.
- [42] Anbazhagan, S. and Thangavelu, K. P. 2018. "Application of tetracycline hydrochloride loaded-fungal chitosan and Aloe vera extract based composite sponges for wound dressing." *Journal of Advanced Research*. 14 : 63–71.
- [43] 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.
- [44] Rubio-Elizalde, I., Bernaldez-Sarabia, J., Moreno-Ulloa, A., Vilanova, C., Juárez, P., Licea-Navarro, A. and Castro-Ceseña, A. B. 2019. "Scaffolds based on alginate-PEG methyl ether methacrylate-*Moringa oleifera*-Aloe vera for wound healing applications." *Carbohydrate Polymers*. 206 : 455-467.
- [45] Tu, C., Zhang, R., Yan, C., Guo, Y., and Cui, L. 2019. "A pH indicating carboxymethyl cellulose/chitosan sponge for visual monitoring of wound healing." *Cellulose*. 26(7) : 4541–4552.
- [46] Gil-Cifuentes, L., Jiménez, R. A., and Fontanilla, M. R. 2018. "Evaluation of collagen type I scaffolds including gelatin-collagen microparticles and Aloe vera in a model of full-thickness skin wound." *Drug Delivery and Translational Research*. 9(1) : 25–36.
- [47] Kim, M.-S., Oh, G.-W., Jang, Y.-M., Ko, S.-C., Park, W.-S., Choi, I.-W. and Jung, W.-K. 2020. "Antimicrobial hydrogels based on PVA and diplolethohydroxycarmalol (DPHC) derived from brown alga *Ishige okamurae*: An in vitro and in vivo study for wound dressing application." *Materials Science and Engineering: C*. 107 : 110352.

- [48] Rathore, H. S., Sarubala, M., Ramanathan, G., Singaravelu, S., Raja, M. D., Gupta, S., and Sivagnanam, U. T. 2016. "Fabrication of biomimetic porous novel sponge from gum kondagogu for wound dressing." *Materials Letters*. 177 : 108–111.
- [49] Konca, K., and Çulfaz-Emecen, P. Z. 2019. "Effect of carboxylic acid crosslinking of cellulose membranes on nanofiltration performance in ethanol and dimethylsulfoxide." *Journal of Membrane Science*. 587 : 117175.
- [50] Jiugao, Y., Ning, W. and Ma, X. 2005. "The Effects of Citric Acid on the Properties of Thermoplastic Starch Plasticized by Glycerol." *Starch*. 57 : 494 - 504.
- [51] Krokida, M. K., Karathanos, V. T., and Maroulis, Z. B. 1998. "Effect of freeze-drying conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products". *Journal of Food Engineering*. 35(4) : 369–380.
- [52] Abhari, N., Madadlou, A., and Dini, A. 2017. "Structure of starch aerogel as affected by crosslinking and feasibility assessment of the aerogel for anti-fungal volatile release". *Food Chemistry*. 221 : 147–152.
- [53] Ghosh Dastidar, T., and Netravali, A. N. 2012. "Green crosslinking of native starches with malonic acid and their properties". *Carbohydrate Polymer*. 90(4) : 1620–1628.
- [54] Thessrimuang, N. and Prachayawarakorn, J. 2019. "Characterization and Properties of High Amylose Mung Bean Starch Biodegradable Films Cross-linked with Malic Acid or Succinic Acid". *Journal of Polymers and the Environment*. 27 : 234–244.
- [55] Kurd, F., Fathi, M., and Shekarchizadeh, H. 2017. "Basil seed mucilage as a new source for electrospinning: Production and physicochemical characterization". *International Journal of Biological Macromolecules*. 95: 689–695.
- [56] Wu, H., Lei, Y., Lu, J., Zhu, R., Xiao, D., Jiao, C., Xia, R., Zhang, Z. Shen, G., Liu, Y., Li, S. and Li, M. 2019. "Effect of citric acid induced crosslinking on the structure and properties of potato starch/chitosan composite films". *Food Hydrocolloids*. 97 : 105208.
- [57] Gilfillan, W. N., and Doherty, W. O. S. 2016. "Starch composites with aconitic acid". *Carbohydrate Polymers*. 141 : 60–67.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [58] 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.
- [59] Bialik-Wąs, K., Pluta, K., Malina, D., Barczewski, M., Malarz, K. and Mrozek-Wilczkiewicz, A. 2020. “Advanced SA/PVA-based hydrogel matrices with *Science and Engineering: C*. 120 : 111667.
- [60] Iratxe Z., Cong Minh, N., Trang Si, T., De la Caba and K. Guerrero, P. 2021. “Evaluation of bioactive release kinetics from crosslinked chitosan films with Aloe vera”. *International Journal of Biological Macromolecules*. 182 : 1331-1338.
- [61] Lawrence, R., Tripathi, P. and Jeyakumar, E. 2009. “Isolation, Purification and Evaluation of Antibacterial Agents from Aloe vera”. *Brazilian Journal of Microbiology*. 40(4) : 906-915.
- [62] Samer N. S., Khalaf, N. and Hajhamad, M. M. H. 2017. “Evidence based medical use of aloe vera extracts, short review of literature”. *International Journal of Research in Medical Sciences*. 5 : 4198
- [63] Radha, M. H. and Laxmipriya, N. P. 2015. “Evaluation of biological properties and clinical effectiveness of Aloe vera: A systematic review”. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*. 5(1) : 21–26.
- [64] Gregory W., 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 : 1-9.
- [65] Izadyari A. A., Saeed H. K., Farshid S. and Azim A. K., 2020. “Quince seed based scaffold as a smart biological substrate to mimic mechanobiological behavior of skin and promote fibroblasts proliferation and h-ASCs differentiation into keratinocytes”. *International Journal of Biological Macromolecules*. 142 : 668-679.
- [66] Pereira R., Tojeira, A., Vaz, D., Mendes, A. and Bártolo, P., 2011. “Preparation Characterization of Films Based on Alginate and Aloe Vera”. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*. 16 : 449-464.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [67] Lbyti, A., Chakmakchy, S., Waheeb, A. and Alazzawy, M. 2019. "Study of Isolated Bacteria from Burn Wound of Patients Attended Plastic Surgery and Burns Unit". *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology*. 13 : 1462.
- [68] Salah, F., Ghoula, Y., Mahdhi, Abdelkarim, Majdoub, H., Jarrouxd, N., Faouzi, S. 2017. "Effect of the deacetylation degree on the antibacterial and antibiofilm activity of acemannan from Aloe vera". *Industrial Crops and Products*. 103 : 13-18.
- [69] Wu, B. and McClements, D. J. 2015. "Modulating the morphology of hydrogel particles by thermal annealing: mixed biopolymer electrostatic complexes". *Journal of Physics D: Applied Physics*. 48(43) : 434002.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ก.1 การทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ (Minimal inhibitory concentration: MIC)

นำโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* (แกรมบวก) และ *Pseudomonas aeruginosa* (แกรมลบ) ที่มีอายุประมาณ 24 ชั่วโมง มาเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเชื้อเหลว บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เจือจางเชื้อให้ได้ความขุ่น 0.5 McFarland ก่อนนำมาใช้ทดสอบ นำสารสกัดหยาบว่านหางจระเข้ที่มีความเข้มข้น 100 mg/ml มาเจือจางด้วยอาหารเพาะเชื้อ โดยมีความเข้มข้นสุดท้าย เท่ากับ 100, 50, 25, 12.5, 6.25, 3.13, 1.56, 0.78 และ 0.39 mg/ml ตามลำดับ ปริมาตร 1 ml จากนั้นเติมเชื้อแบคทีเรียที่เตรียมไว้ลงในหลอด ปริมาตรหลอดละ 1 ml นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง ตรวจสอบผลการหาค่า MIC โดยสังเกตหลอดที่ไม่ขุ่น อ่านค่าความเข้มข้นของสารทดสอบของหลอดนั้นเป็นค่า MIC

ก.2 การทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ฆ่าเชื้อได้ (Minimal bactericidal concentration: MBC)

นำหลอดที่ไม่มีความขุ่นจากการทดสอบ MIC ปริมาตร 10 µl เกลี่ย (spread plate) ลงบนอาหารเพาะเชื้อ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง อ่านผลโดยพิจารณาความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถฆ่าเชื้อได้โดยจะไม่พบการเจริญของแบคทีเรียบนจานเพาะเชื้อ

ตารางที่ ก.1 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและฆ่าแบคทีเรียของสารสกัดหยาบว่านหางจระเข้

เชื้อแบคทีเรีย	MIC/MBC (mg/ml)	
	MIC	MBC
<i>S. aureus</i>	6.25	6.25
<i>P. aeruginosa</i>	6.25	12.5

ก.3 การศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดว่านหางจระเข้ โดยใช้วิธี Disc diffusion

นำโคโลนีของแบคทีเรียที่ต้องการทดสอบมาเจือจางให้ได้ความขุ่น 0.5 McFarland จากนั้นนำเชื้อมาเกลี่ยลงบนอาหารเพาะเชื้อทิ้งไว้ 3-5 นาที นำสารสกัดหยาบว่านหางจระเข้มาละลายด้วยไดเมทิลซัลฟอกไซด์ หรือ DMSO ให้มีความเข้มข้น 100 mg/ml และหยดสารสกัดปริมาตร 25 µl ใส่บนแผ่นกระดาษกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm รอให้แห้งแล้วนำไปวางบนอาหารเพาะเชื้อ จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง ตรวจสอบผลโดยการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขอบเขตการยับยั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยสารสกัดหยาบของว่านหางจระเข้ด้วยเอทานอล

เชื้อแบคทีเรีย	ขอบเขตการยับยั้ง (mm)	ผลการทดสอบ
<i>S. aureus</i>	24.89 ± 0.5	Active
<i>P. aeruginosa</i>	21.56 ± 0.3	Active



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

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

ชั่วโมง	อนุภาคน้ำหนัก (g/g)			
	BSM	BSM-MA	BSM-SA	BSM-GA
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	36.38 ± 0.7	22.21 ± 0.5	24.51 ± 0.6	27.15 ± 1.4
2	37.34 ± 0.7	25.38 ± 0.4	27.83 ± 0.1	29.12 ± 0.9
3	38.33 ± 0.7	25.96 ± 0.5	27.87 ± 1.1	30.34 ± 0.1
4	38.65 ± 0.2	26.29 ± 0.2	29.35 ± 0.9	30.24 ± 0.4
5	38.91 ± 0.2	27.11 ± 0.6	30.58 ± 0.9	30.74 ± 0.4
6	40.34 ± 0.9	27.61 ± 0.4	32.38 ± 1.3	33.65 ± 0.3
24	40.30 ± 0.1	27.45 ± 0.2	32.07 ± 0.1	33.50 ± 0.1

ตารางที่ ข.2 อนุภาคน้ำหนักของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้น 6.25% ณ เวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง

ชั่วโมง	อนุภาคน้ำหนัก (g/g)			
	BSM/AV1	BSM-MA/AV1	BSM-SA/AV1	BSM-GA/AV1
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	37.38 ± 0.7	25.21 ± 0.6	28.51 ± 0.7	30.15 ± 1.4
2	37.54 ± 0.7	27.38 ± 0.4	28.83 ± 0.3	31.12 ± 0.8
3	38.33 ± 0.7	28.96 ± 0.5	29.87 ± 1.2	31.34 ± 0.6
4	38.73 ± 0.4	29.29 ± 0.2	30.35 ± 0.8	33.24 ± 0.3
5	38.91 ± 0.9	30.10 ± 0.6	32.58 ± 0.9	34.74 ± 0.3
6	40.40 ± 0.9	30.61 ± 0.4	33.38 ± 1.3	35.65 ± 0.2
24	40.38 ± 0.5	30.45 ± 0.8	33.57 ± 0.8	35.50 ± 0.3

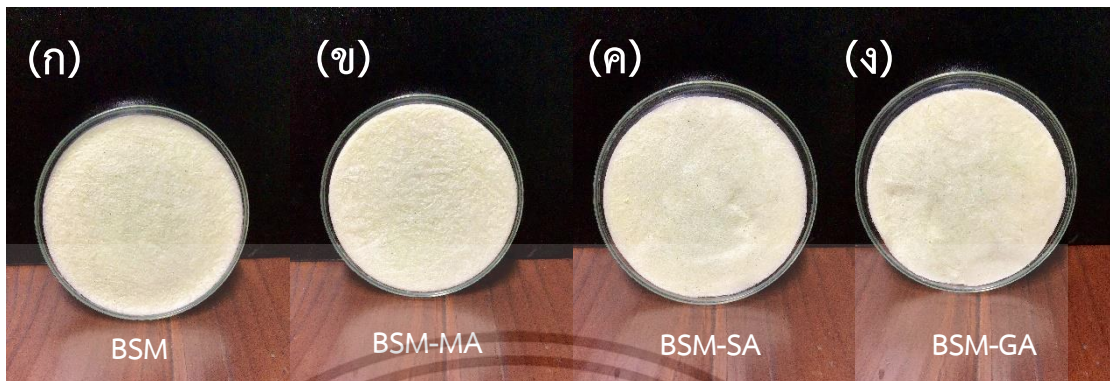
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 องค์การบวมตัวของวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้น 12.5% ณ เวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง

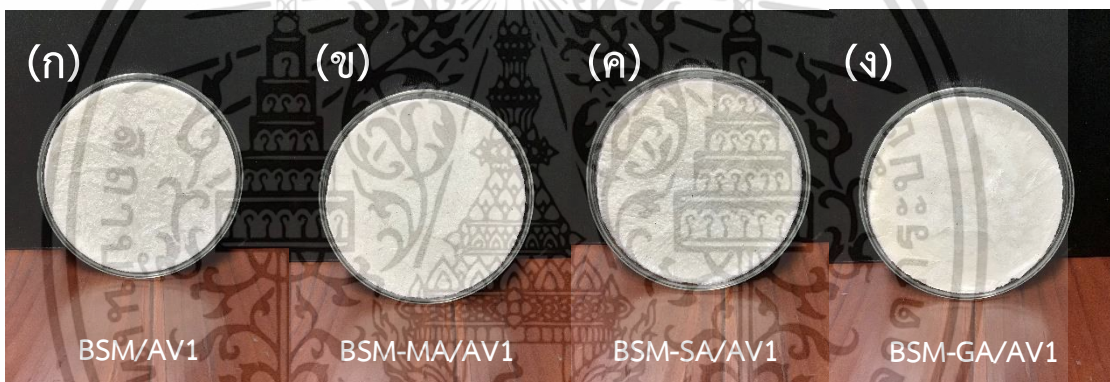
ชั่วโมง	องค์การบวมตัว (g/g)			
	BSM/AV2	BSM-MA/AV2	BSM-SA/AV2	BSM-GA/AV2
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	38.48 ± 0.6	26.21 ± 0.5	27.51 ± 0.6	28.15 ± 1.4
2	38.54 ± 0.7	26.38 ± 0.4	28.83 ± 0.1	29.12 ± 0.8
3	39.33 ± 0.6	27.96 ± 0.5	28.87 ± 1.1	33.34 ± 0.1
4	40.05 ± 0.2	28.29 ± 0.2	29.35 ± 0.7	32.24 ± 0.5
5	40.91 ± 0.2	30.11 ± 0.6	32.58 ± 0.4	34.74 ± 0.2
6	40.34 ± 0.3	31.61 ± 0.4	33.38 ± 1.3	35.65 ± 0.3
24	40.30 ± 0.1	31.45 ± 0.2	33.37 ± 0.1	35.50 ± 0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค



รูปที่ ค.1 ภาพถ่ายชิ้นงานวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยง (ก) BSM (ข) BSM-MA (ค) BSM-SA และ (ง) BSM-GA



รูปที่ ค.2 ภาพถ่ายชิ้นงานวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ ความเข้มข้น 6.25% (ก) BSM/AV1 (ข) BSM-MA/AV1 (ค) BSM-SA/AV1 และ (ง) BSM-GA/AV1

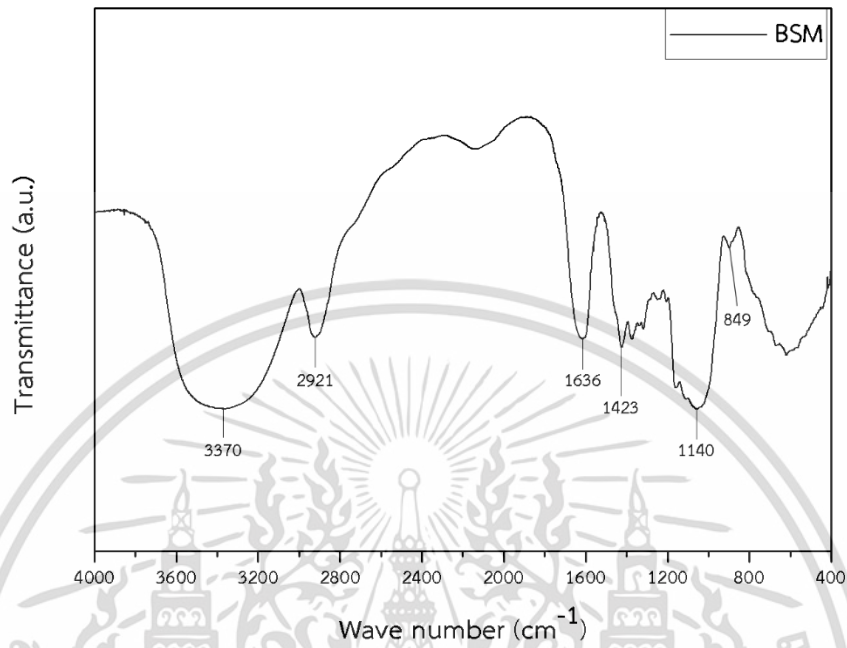


รูปที่ ค.3 ภาพถ่ายชิ้นงานวัสดุปิดแผลจากเมือกแมงลักเชื่อมโยงเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ ความเข้มข้น 12.5% (ก) BSM/AV2 (ข) BSM-MA/AV2 (ค) BSM-SA/AV2 และ (ง) BSM-GA/AV2

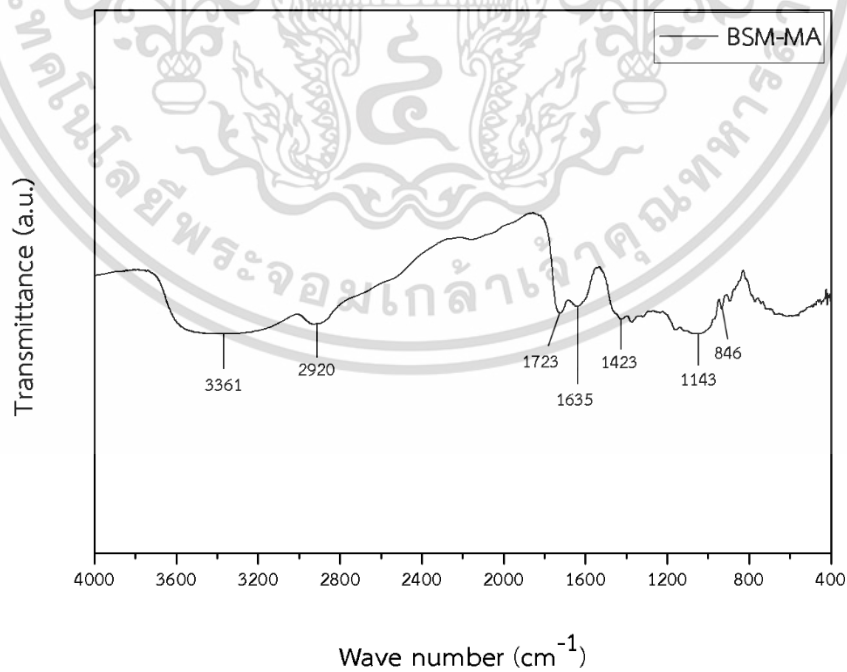
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

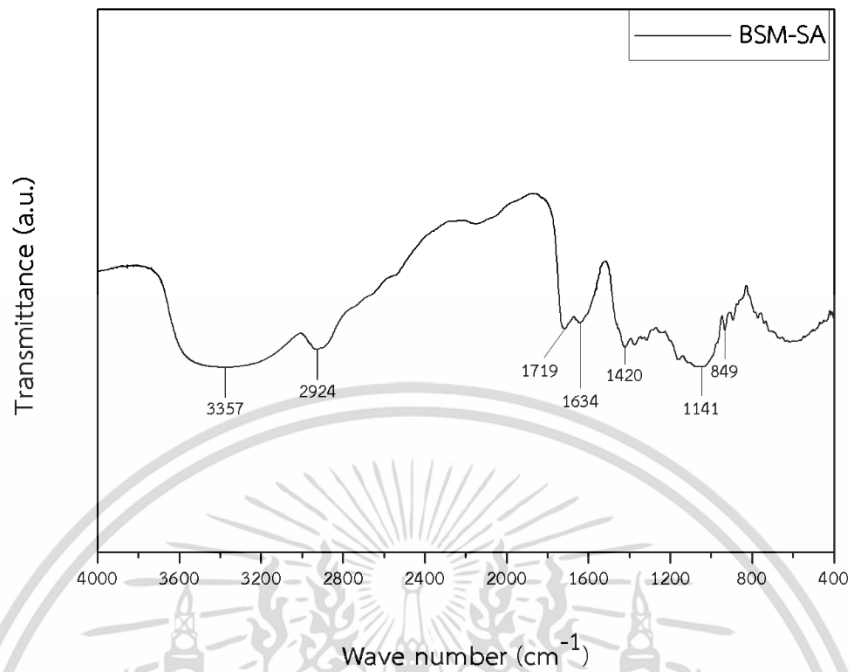


รูปที่ ง.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยง

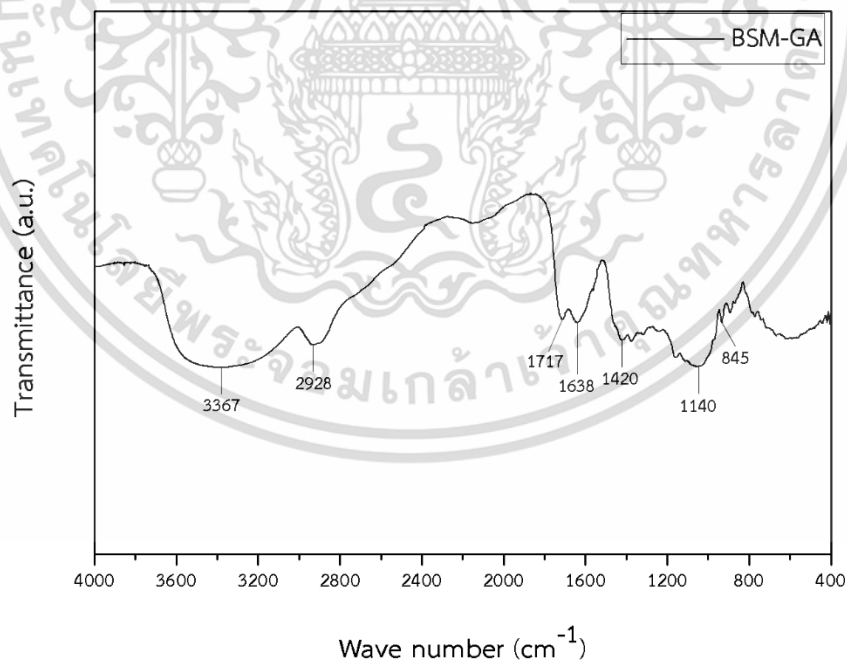


รูปที่ ง.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

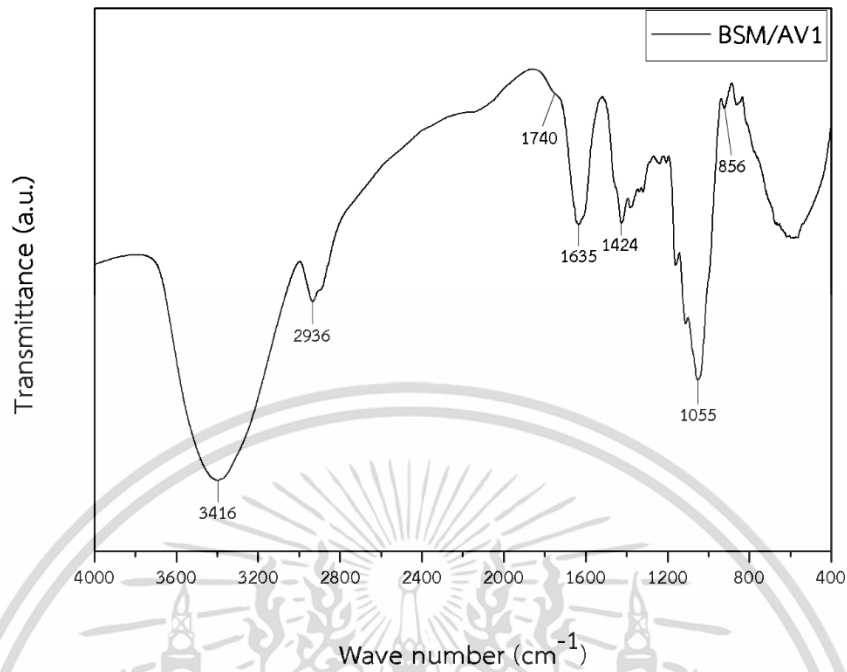


รูปที่ ๓.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก

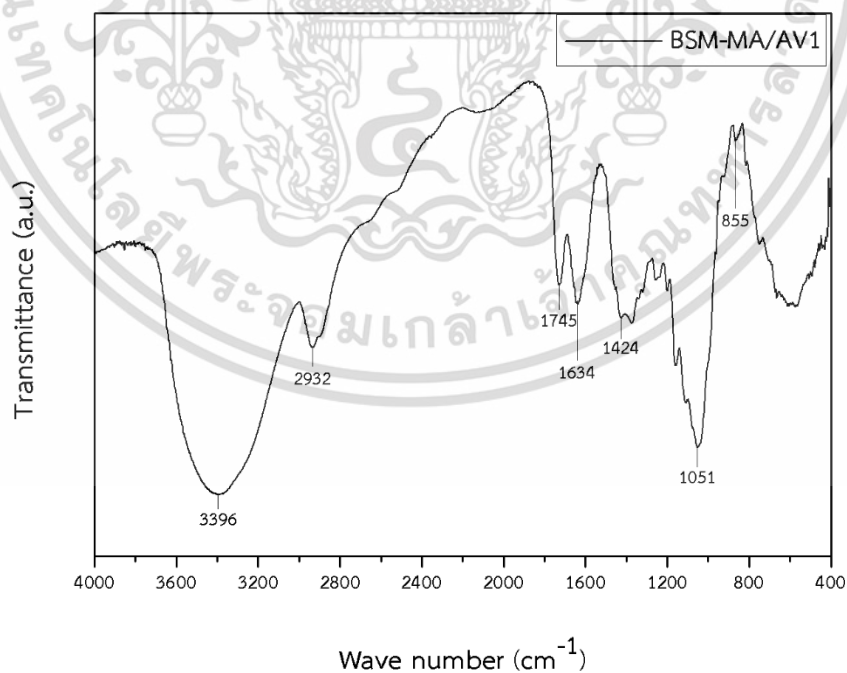


รูปที่ ๓.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

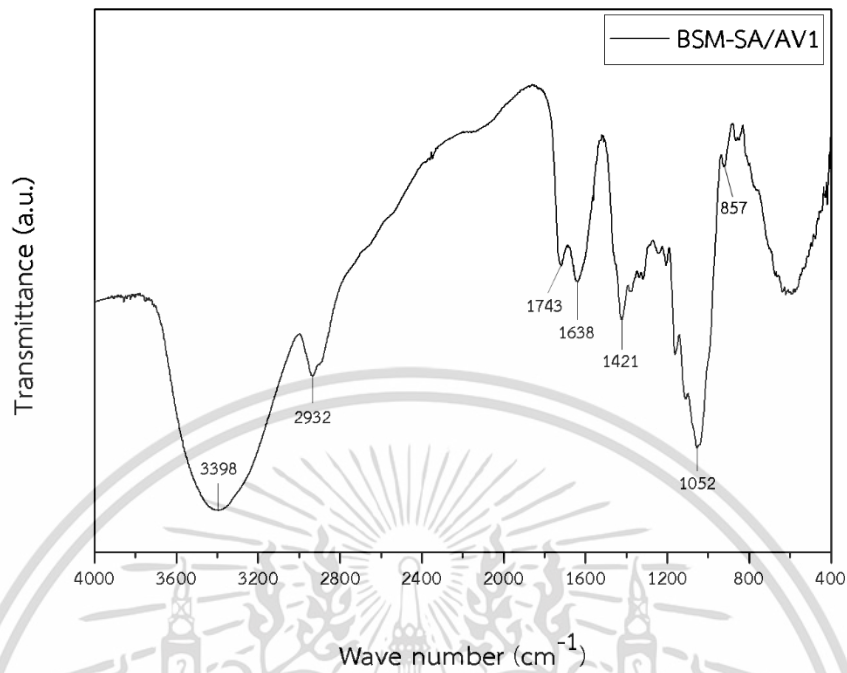


รูปที่ ๓.๕ อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่ไม่ผ่านเชื่อมโยงและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ ความเข้มข้น 6.25%

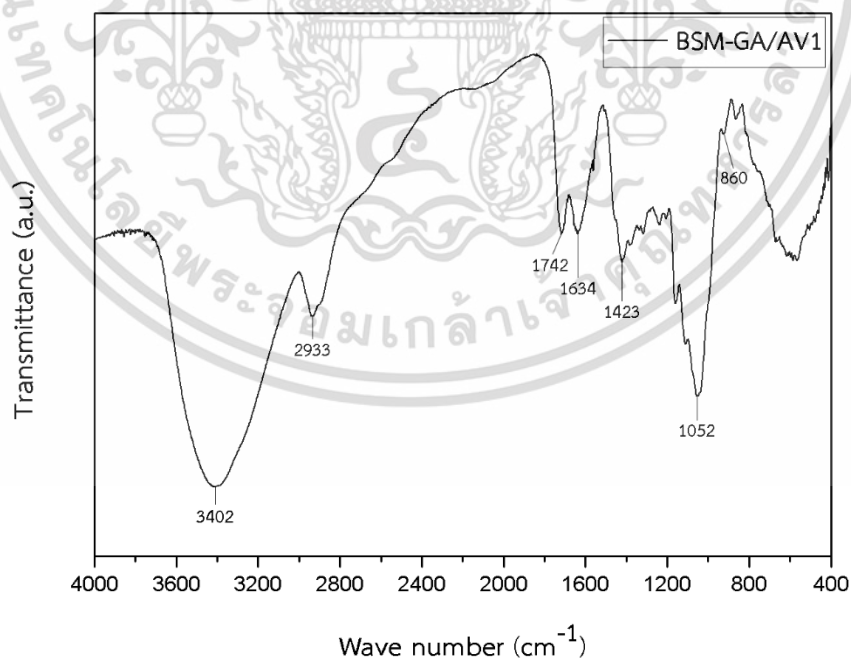


รูปที่ ๓.๖ อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิคและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

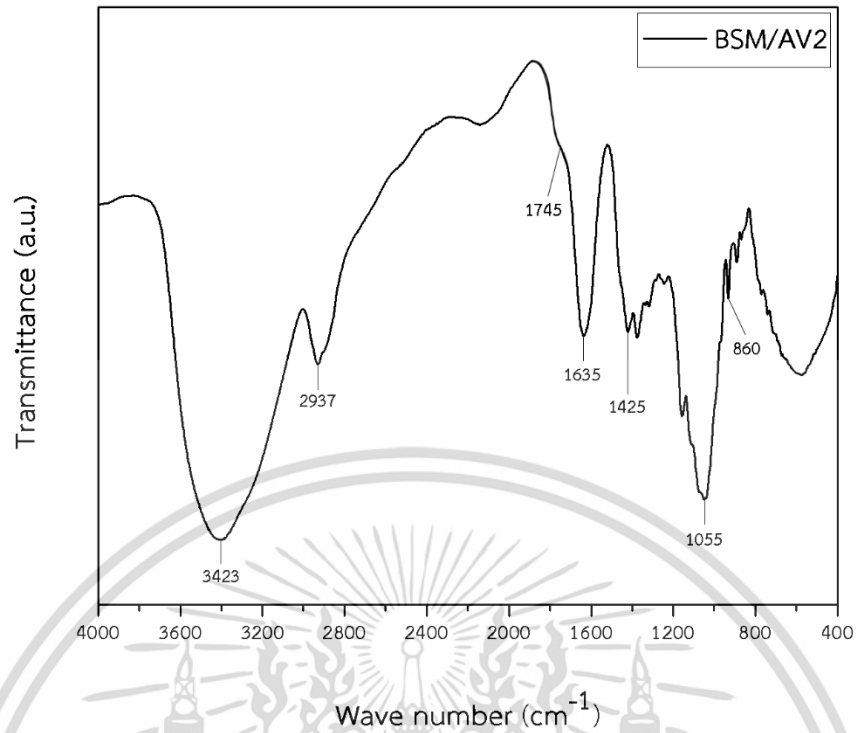


รูปที่ ๗.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%

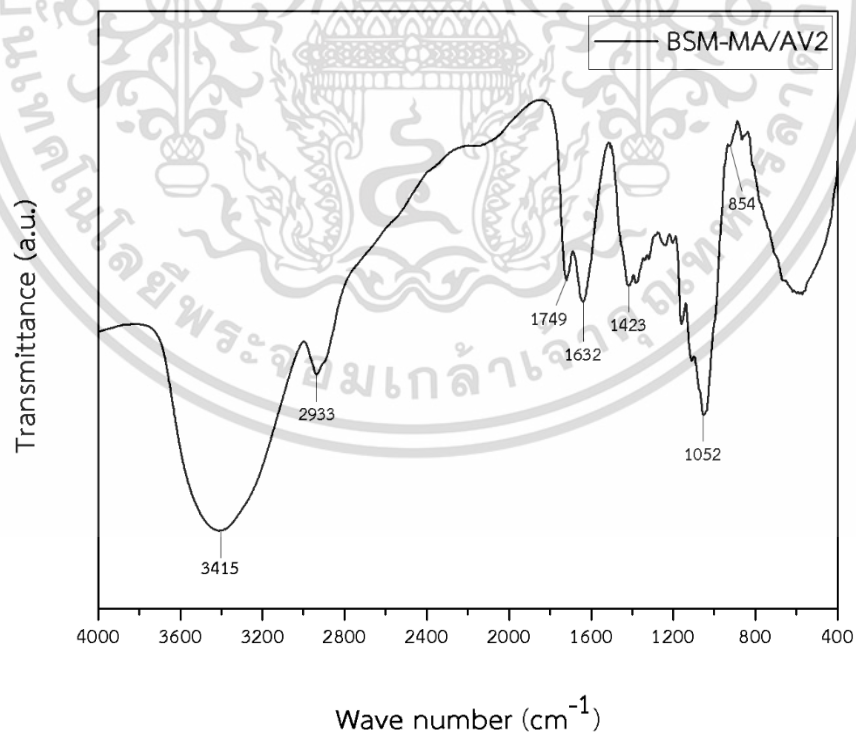


รูปที่ ๗.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๙.๙ อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่ไม่ผ่านเชื่อมโยงและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ ความเข้มข้น 12.5%

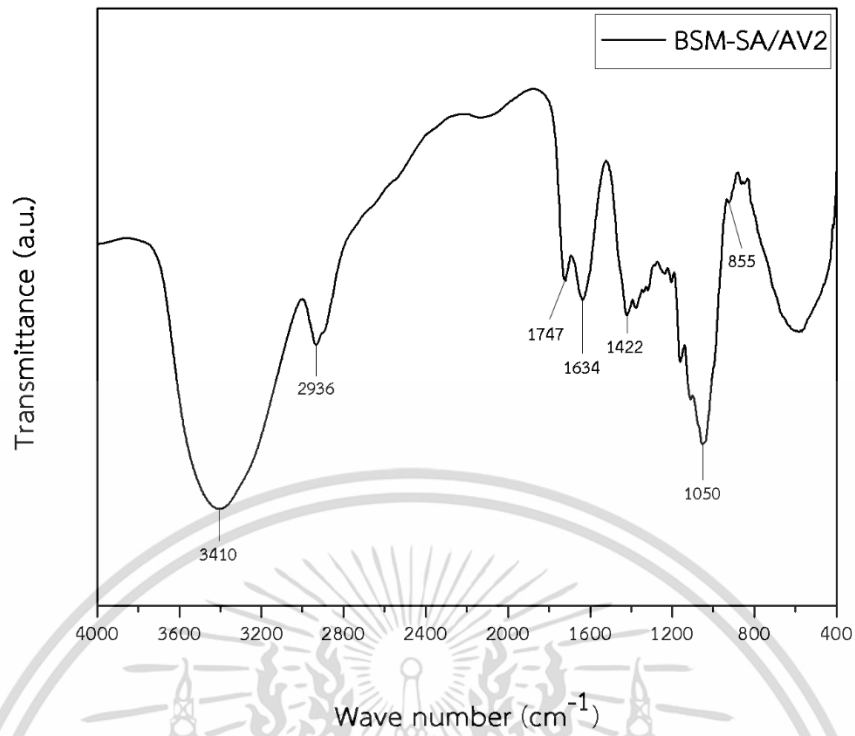


รูปที่ ๙.๑๐ อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาลินิกและเติมสารสกัด

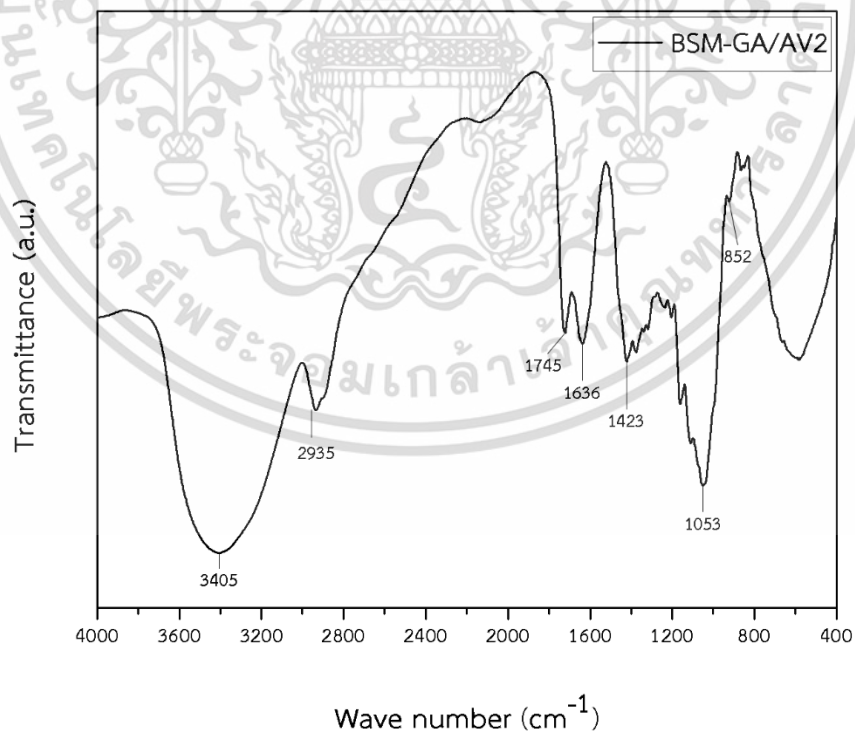
ว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.11 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัลฟอนิกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%



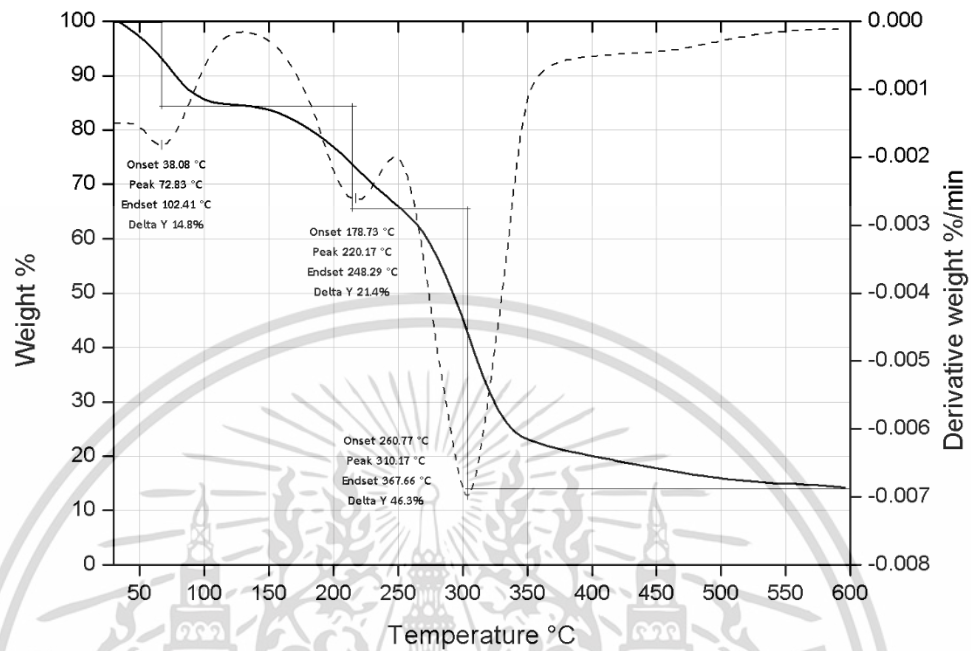
รูปที่ ง.12 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริกและเติมสารสกัด

ว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%

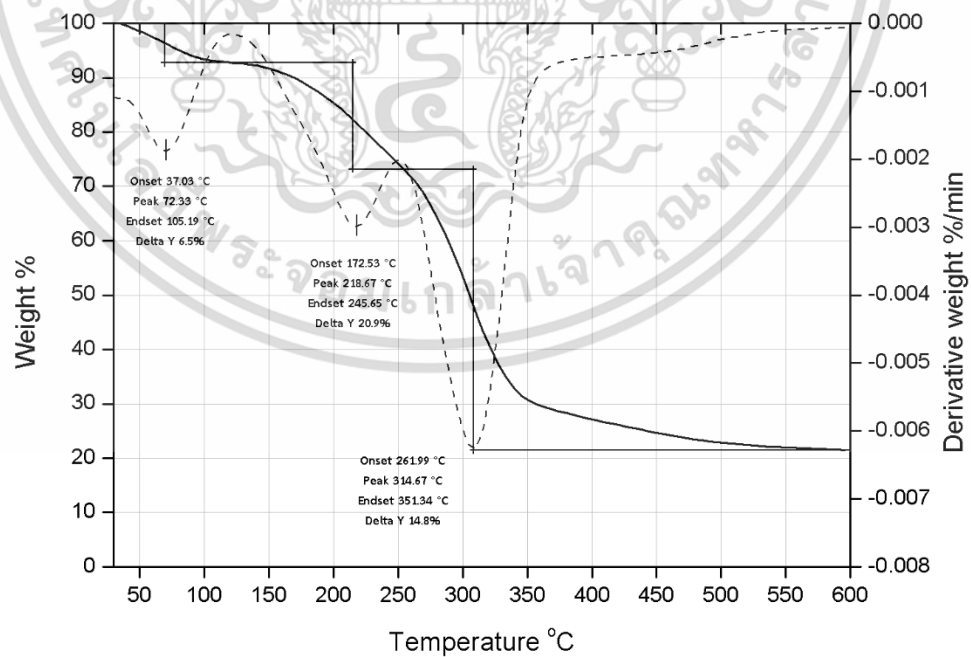
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

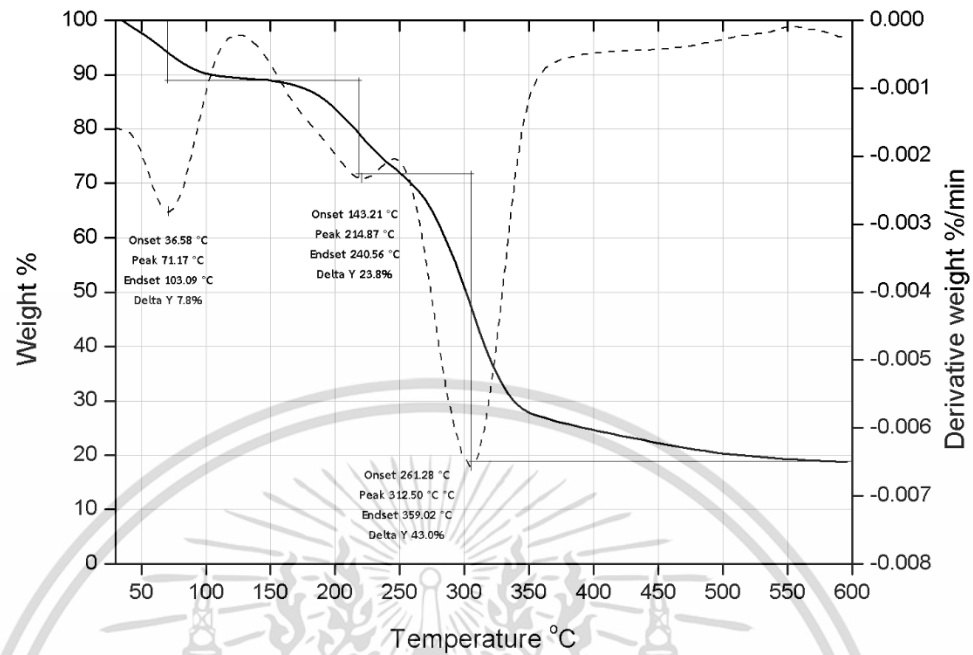


รูปที่ จ.1 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่ไม่ผ่านการเชื่อมโยง

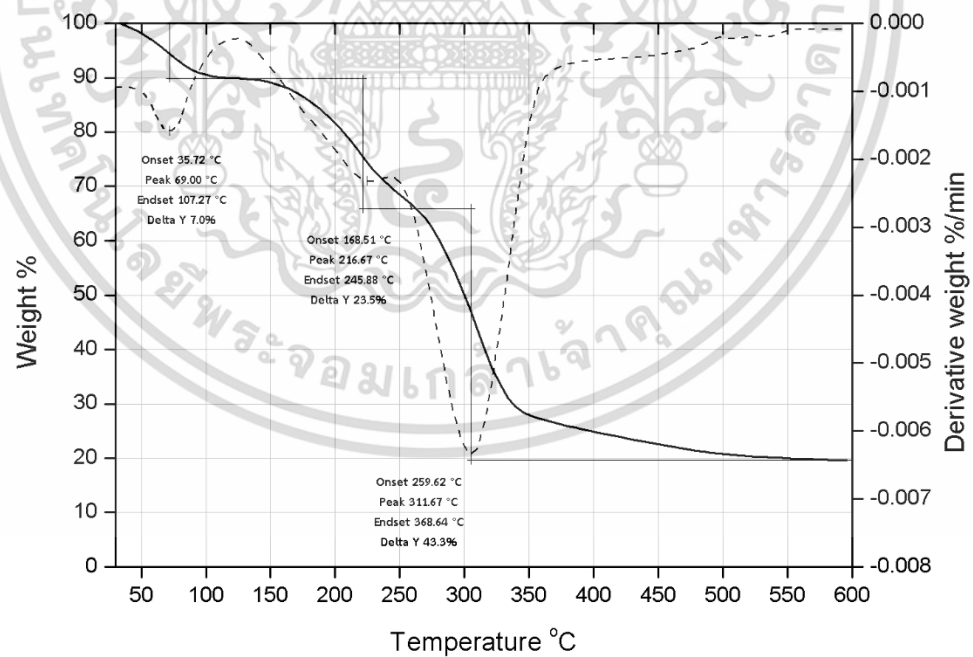


รูปที่ จ.2 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

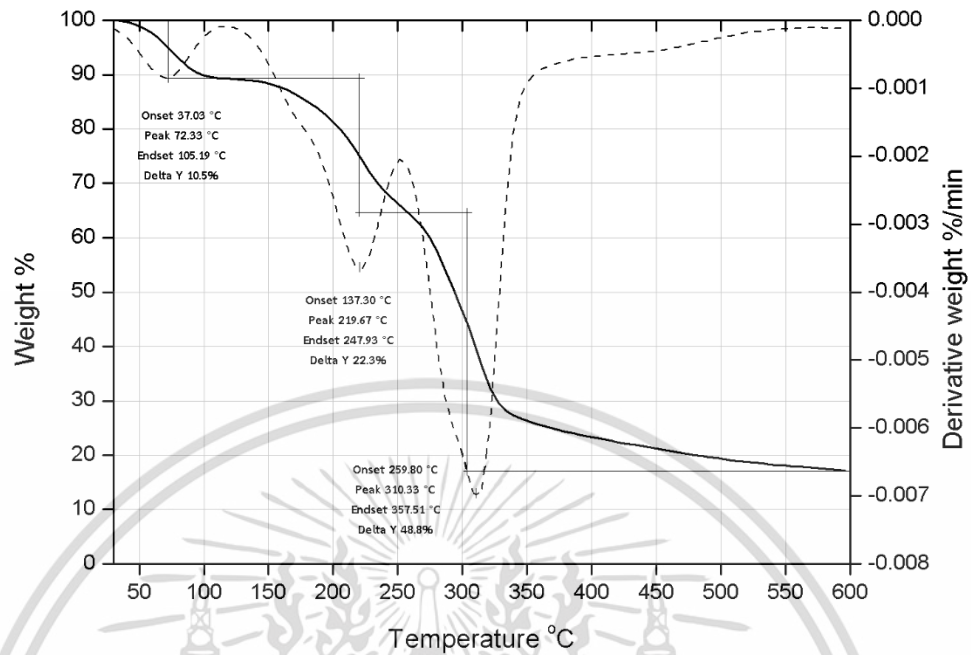


รูปที่ จ.3 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิก

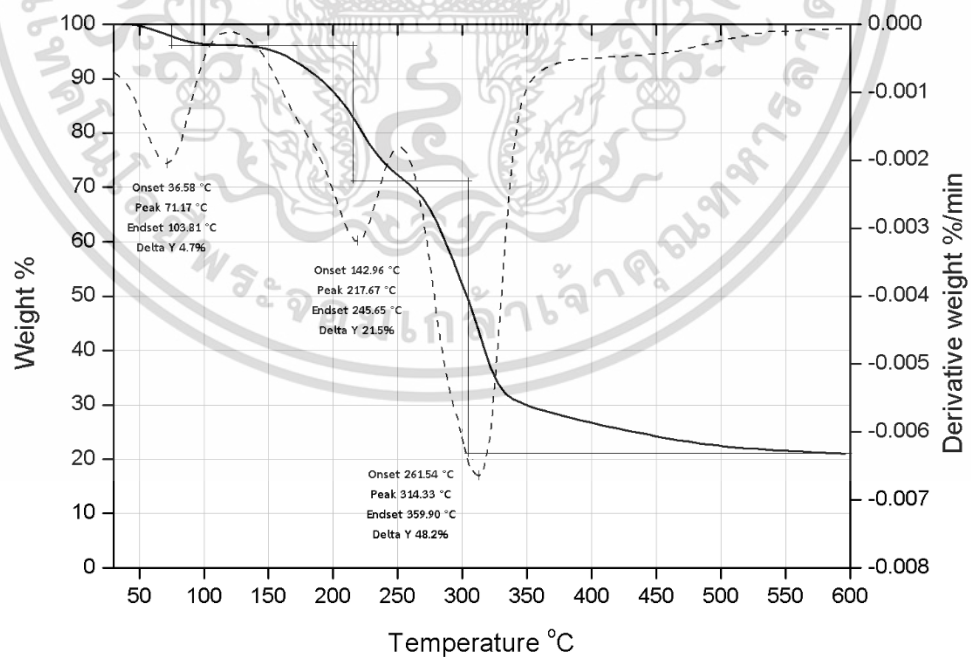


รูปที่ จ.4 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

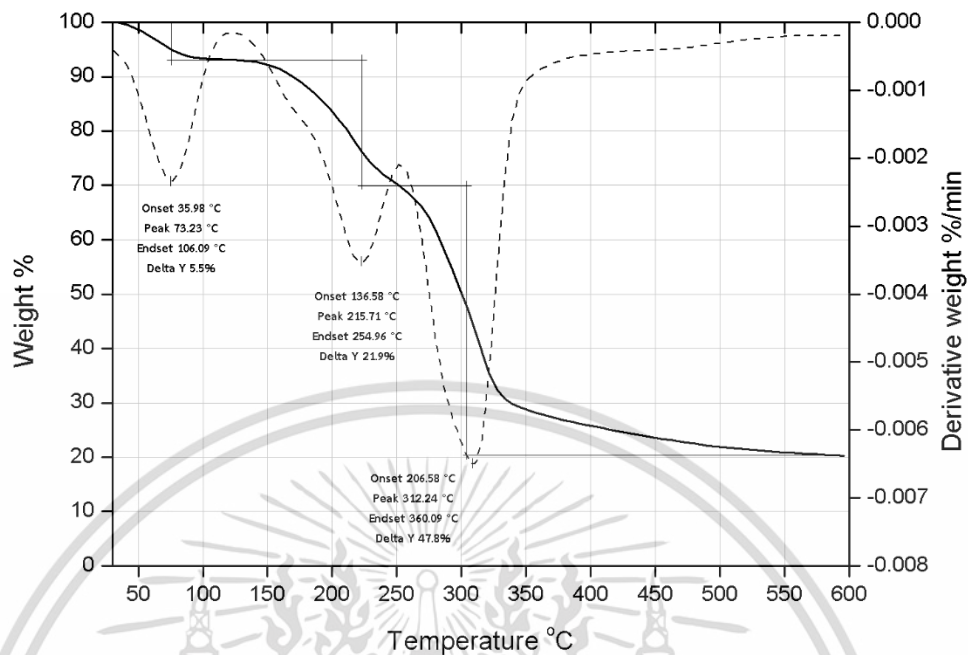


รูปที่ จ.5 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่ไม่ผ่านเชื่อมโยงและเติมสารสกัด ว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%

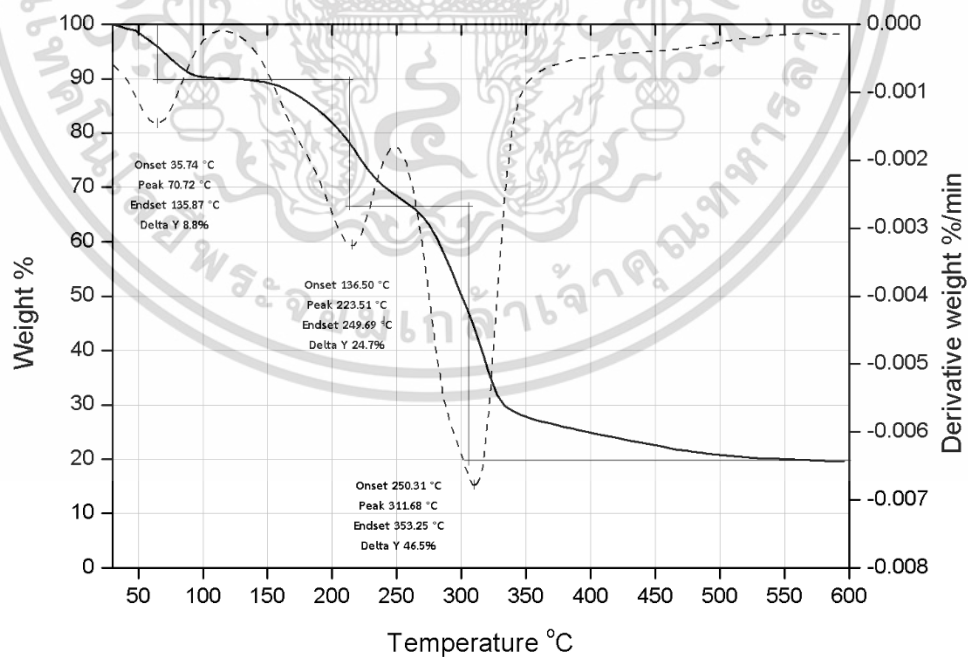


รูปที่ จ.6 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาลินิกและเติมสารสกัด ว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

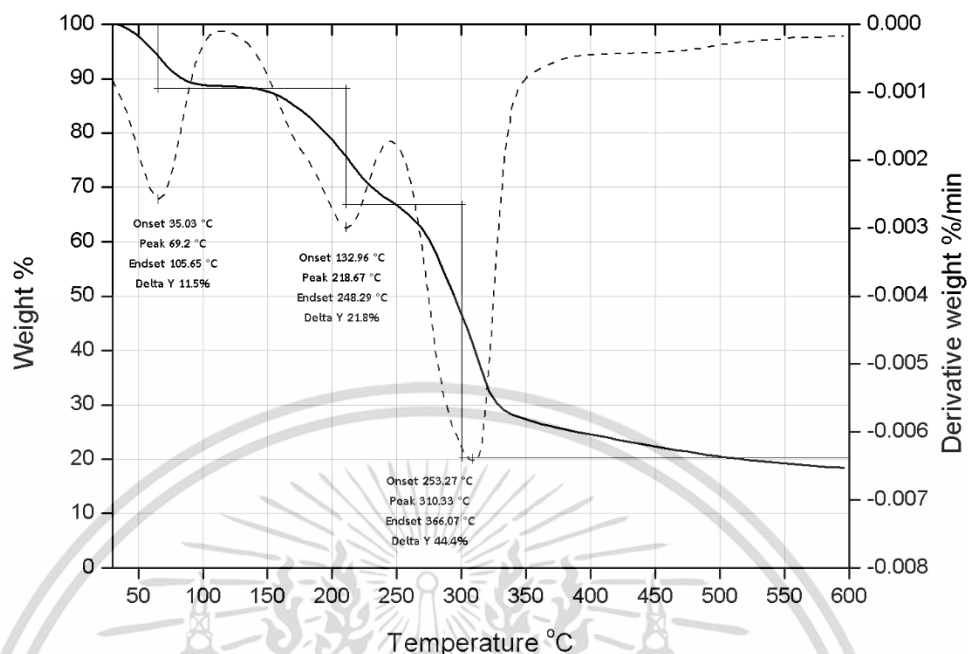


รูปที่ จ.7 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและเติมสารสกัด ว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%

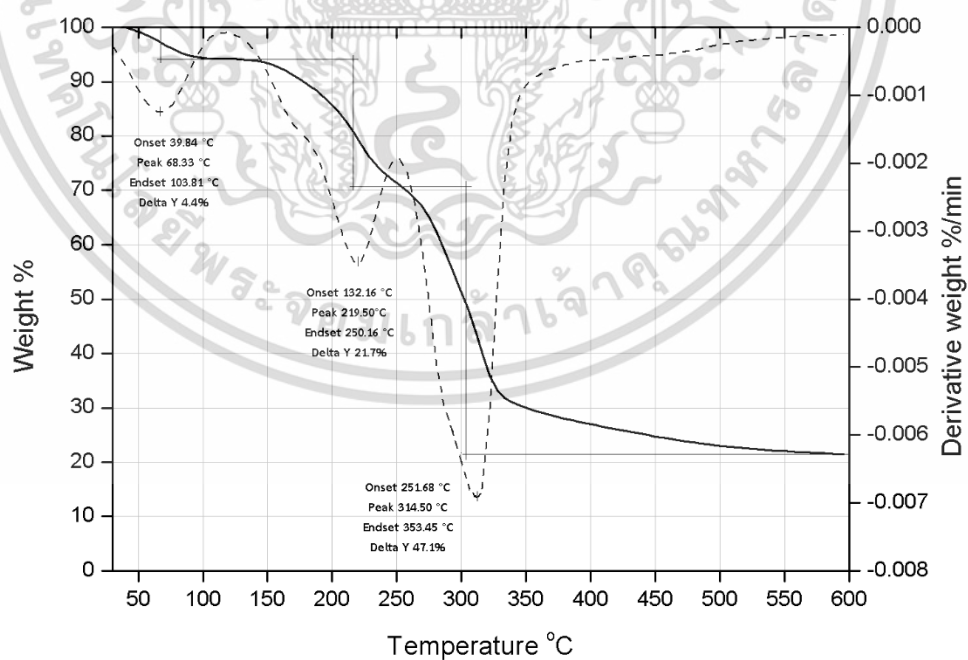


รูปที่ จ.8 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริกและเติมสารสกัด ว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

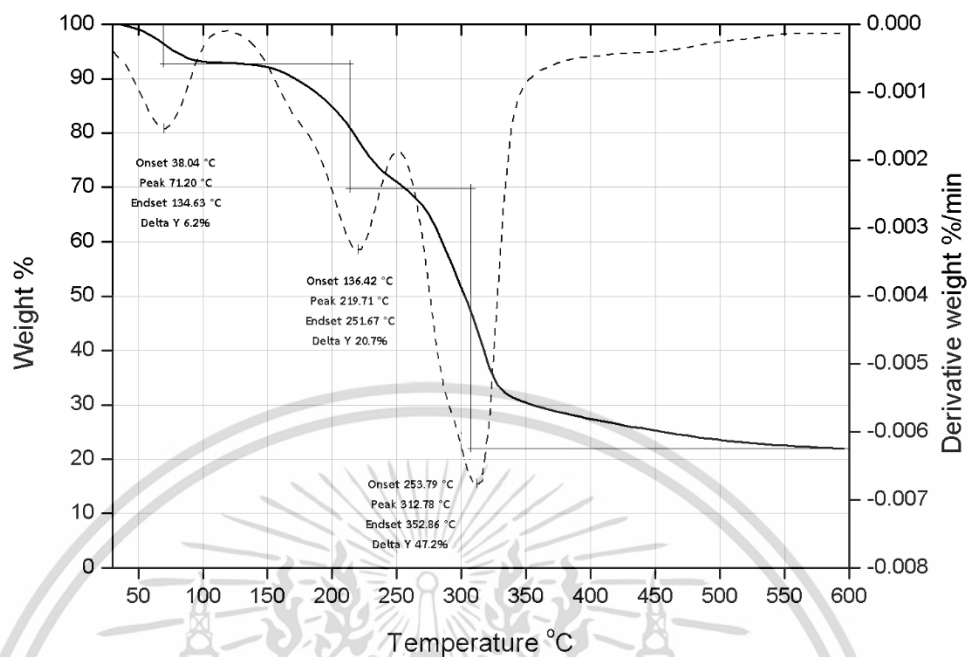


รูปที่ จ.9 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่ไม่ผ่านเชื่อมโยงและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%

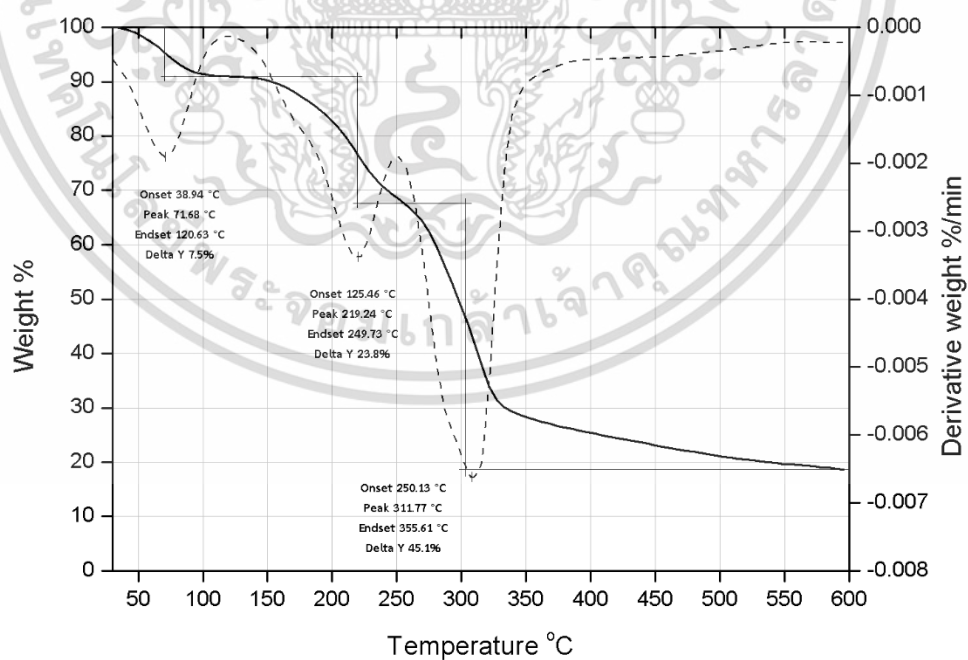


รูปที่ จ.10 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาโลนิกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.10 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%



รูปที่ จ.10 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ตารางที่ ฉ.1 การประมาณราคาวัสดุปิดแผลเชื่อมโยงด้วยกรตมาโลนิคและเติมสารสกัด
ว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย (บาท)	หน่วย	ปริมาณที่ ใช้	รวมค่า วัสดุ
1	เมือกแมงลัก	10	40	กรัม	1	4
2	สารสกัดว่านหางจระเข้	40	850	กรัม	0.0625	1.33
3	กรตมาโลนิค	100	1454	กรัม	0.03	4.36
4	กลีเซอรอล	1000	160	กรัม	0.15	0.02
5	น้ำกลั่น	1000	40	กรัม	100	4
รวมทั้งสิ้น						9.79

* หมายเหตุ ราคาข้างต้นคำนวณจากการขึ้นสูตรผสมต่อครั้ง

ตารางที่ ฉ.2 การประมาณราคาวัสดุปิดแผลเชื่อมโยงด้วยกรตมาโลนิคและเติมสารสกัด
ว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย (บาท)	หน่วย	ปริมาณที่ ใช้	รวมค่า วัสดุ
1	เมือกแมงลัก	10	40	กรัม	1	4
2	สารสกัดว่านหางจระเข้	40	850	กรัม	0.125	2.66
3	กรตมาโลนิค	100	1454	กรัม	0.03	0.44
4	กลีเซอรอล	1000	160	กรัม	0.15	0.02
5	น้ำกลั่น	1000	40	กรัม	100	4
รวมทั้งสิ้น						11.12

* หมายเหตุ ราคาข้างต้นคำนวณจากการขึ้นสูตรผสมต่อครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓.3 การประมาณราคาวัสดุปิดแผลเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ ความเข้มข้น 6.25%

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย (บาท)	หน่วย	ปริมาณที่ ใช้	รวมค่า วัสดุ
1	เมือกแมงลัก	10	40	กรัม	1	4
2	สารสกัดว่านหางจระเข้	40	850	กรัม	0.0625	1.33
3	กรดซัคซินิก	100	1211	กรัม	0.03	0.36
4	กลีเซอรอล	1000	160	กรัม	0.15	0.02
5	น้ำกลั่น	1000	40	กรัม	100	4
รวมทั้งสิ้น						9.71

* หมายเหตุ ราคาข้างต้นคำนวณจากการขึ้นสูตรผสมต่อครั้ง

ตารางที่ ๓.4 การประมาณราคาวัสดุปิดแผลเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและเติมสารสกัดว่านหางจระเข้ ความเข้มข้น 12.5%

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย (บาท)	หน่วย	ปริมาณที่ ใช้	รวมค่า วัสดุ
1	เมือกแมงลัก	10	40	กรัม	1	4
2	สารสกัดว่านหางจระเข้	40	850	กรัม	0.125	2.66
3	กรดซัคซินิก	100	1211	กรัม	0.03	0.36
4	กลีเซอรอล	1000	160	กรัม	0.15	0.02
5	น้ำกลั่น	1000	40	กรัม	100	4
รวมทั้งสิ้น						11.04

* หมายเหตุ ราคาข้างต้นคำนวณจากการขึ้นสูตรผสมต่อครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.5 การประมาณราคาวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริกและเติมสารสกัด
ว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 6.25%

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย (บาท)	หน่วย	ปริมาณที่ ใช้	รวมค่า วัสดุ
1	เมือกแมงลัก	10	40	กรัม	1	4
2	สารสกัดว่านหางจระเข้	40	850	กรัม	0.0625	1.33
3	กรดกลูตาริก	100	1926	กรัม	0.03	0.36
4	กลีเซอรอล	1000	160	กรัม	0.15	0.02
5	น้ำกลั่น	1000	40	กรัม	100	4
รวมทั้งสิ้น						9.93

* หมายเหตุ ราคาข้างต้นคำนวณจากการขึ้นสูตรผสมต่อครั้ง

ตารางที่ ๑.6 การประมาณราคาวัสดุปิดแผลที่เชื่อมโยงด้วยกรดกลูตาริกและเติมสารสกัด
ว่านหางจระเข้ความเข้มข้น 12.5%

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย (บาท)	หน่วย	ปริมาณที่ ใช้	รวมค่า วัสดุ
1	เมือกแมงลัก	10	40	กรัม	1	4
2	สารสกัดว่านหางจระเข้	40	850	กรัม	0.125	2.66
3	กรดกลูตาริก	100	1926	กรัม	0.03	0.36
4	กลีเซอรอล	1000	160	กรัม	0.15	0.02
5	น้ำกลั่น	1000	40	กรัม	100	4
รวมทั้งสิ้น						11.26

* หมายเหตุ ราคาข้างต้นคำนวณจากการขึ้นสูตรผสมต่อครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	ปิยพล ศิริวัฒน์
วันเดือน ปีเกิด	23 พฤษภาคม 2539
ภูมิลำเนา	กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	12/786 ถ.ฉลองกรุง แขวงทับยาว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
ประวัติการศึกษา	- ระดับมัธยมต้น-ปลาย โรงเรียนมาเรียลัย จ.กรุงเทพมหานคร - ระดับปริญญาตรี (วท.บ. เคมีอุตสาหกรรม) สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง - ระดับปริญญาโท (วท.ม. เทคโนโลยีพอลิเมอร์) สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานทางวิชาการ	- Siriwat P. and Prachayawarakom J. 2020. “Development of wound dressings from organic acid crosslinked <i>Ocimum Basilicum</i> L. seed mucilage” The Proceeding of The International Polymer Conference of Thailand 2020 (PCT-10). 65-69.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้