

การเพิ่มประสิทธิภาพฟิล์มปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมีจากแป้งดัดแปร
ด้วยการใช้ความร้อนชื้นและเมือกเมล็ดแมงลักที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์

OPTIMIZATION OF CHEMICAL CROSS-LINKED WOUND DRESSING FILM
FROM HEAT-MOISTURE TREATED STARCH AND
Ocimum Basilicum L. SEED MUCILAGE WITH ANTIMICROBIAL ACTIVITY



อานนท์ พลรัตน์
ARNON PHONRAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีประยุกต์
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2567

KMITL- 2024-SC-M-012-066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPTIMIZATION OF CHEMICAL CROSS-LINKED WOUND DRESSING FILM
FROM HEAT-MOISTURE TREATED STARCH AND
Ocimum Basilicum L. SEED MUCILAGE WITH ANTIMICROBIAL ACTIVITY



A THESIS SUBMITTED IN FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN APPLIED CHEMISTRY
DEPARTMENT OF CHEMISTRY SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2024

KMITL- 2024-SC-M-012-066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2024

SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพฟิล์มปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมีจาก แป้งดัดแปรด้วยการใช้ความร้อนชื้นและเม็ดแมงลักที่มีฤทธิ์ต้าน เชื้อจุลินทรีย์
ชื่อนักศึกษา	อานนท์ พลรัตน์
รหัสประจำตัว	64605128
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมีประยุกต์)
ภาควิชา	เคมี
พ.ศ.	2567
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร. จุฑารัตน์ ปรีชญาวรากร

บทคัดย่อ

พอลิเมอร์ชีวภาพ เช่น แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งสามารถปลูกและสกัดได้ง่าย รวมถึงเม็ดจาก
เม็ดแมงลักที่มีสมบัติในการดูดซับของเหลวสูง เป็นวัสดุที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนาแผ่นปิดแผลชีวภาพ
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีทางกายภาพโดยใช้ความร้อนชื้นเพื่อปรับปรุงสมบัติ
ของแป้งมันสำปะหลังและผสมเม็ดจากเม็ดแมงลักช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซึมของเหลวของ
แผ่นฟิล์มปิดแผล โดยการเติมเม็ดจากเม็ดแมงลักลงในแผ่นฟิล์มปิดแผลทำให้สามารถเพิ่มความเค้น ณ
จุดขาด มอดูลัส ค่าความเป็นผลึก ความขรุขระของพื้นผิว การบวมน้ำและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ
อย่างไรก็ตามการผสมเม็ดจากเม็ดแมงลักลงในแผ่นฟิล์มปิดแผลยังสามารถลดสัดส่วนเจลและการยึดตัว
ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์ม นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของความชอบน้ำทำให้รูปร่างของแผ่นฟิล์มปิดแผลไม่
เสถียรภายใต้สภาวะที่มีความชื้นสูง จึงจำเป็นต้องเพิ่มความสามารถในการคงรูปด้วยการเชื่อมขวางทางเคมี
ด้วยกรดซัคซินิก การเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงในสมบัติเชิงกลและ
ค่าความเป็นผลึก แต่ส่งผลให้สัดส่วนเจลเพิ่มขึ้น การบวมน้ำและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำลดลง
สำหรับความสามารถในการต้านเชื้อจุลินทรีย์มีความสำคัญเป็นต่อแผ่นฟิล์มปิดแผลอย่างมาก ดังนั้นการ
ใช้กรดไกลโคลิกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์จึงมีความจำเป็น ผลการทดลองพบว่าการเติม
กรดไกลโคลิกไม่ส่งผลต่อความเค้น ณ จุดขาด แต่สามารถเพิ่มมอดูลัสได้และลดค่าการยึดตัว ณ จุดขาด
ของแผ่นฟิล์ม นอกจากนี้สัดส่วนเจลมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่การบวมน้ำและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำมีค่า
ลดลง การเติมกรดไกลโคลิกที่ปริมาณ 15 %w/w สามารถลดจำนวน *S. aureus* (แบคทีเรียแกรมบวก)
และ *E. coli* (แบคทีเรียแกรมลบ) ได้ 100 % นอกจากนี้กรดไกลโคลิกยังสามารถเข้ากันได้ดีทางชีวภาพ
โดยมีค่าการรอดชีวิตของเซลล์ HaCat มากกว่า 90 % อย่างไรก็ตามค่าความเป็นผลึก สมบัติเชิงกล
และสัดส่วนเจลมีค่าลดลงเมื่อเติมกรดไกลโคลิกในแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA ทั้งนี้การเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไกลโคลิกทำให้ความสามารถในการบวมน้ำ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และจำนวนจุลินทรีย์ลดลง โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงในความเป็นพิษต่อเซลล์ของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-GA เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์ม HMT-30BSM-0.50SA จากสมบัติทางกายภาพ ความชอบน้ำ และประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ แผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-15SA เป็นฟิล์มที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้เป็นแผ่นฟิล์มปิดแผล นอกจากนี้การเปรียบเทียบสมบัติระหว่างแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการตัดแปรไม่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นแสดงให้เห็นว่า แป้งที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นร้อนขึ้นมีค่าความเป็นผลึกและค่าในสมบัติเชิงกลและสัดส่วนเจลที่เพิ่มขึ้น แต่มีค่าการบวมน้ำและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่ลดลง นอกจากนี้การตัดแปรแป้งด้วยความร้อนขึ้นไม่ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงในผลของการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมี

คำสำคัญ: การเชื่อมขวาง พอลิเมอร์คาร์โบไฮเดรต กัมธรรมชาติ การตัดแปรทางกายภาพ



Thesis title	Optimization of chemical cross-linked wound dressing film from heat0moisture treated starch and <i>Ocimum Basilicum</i> L. seed mucilage with antimicrobial activity
Student name	Arnon Phonrat
Student ID	64605128
Degree	Master of Science (Applied Chemistry)
Department	Chemistry
Year	2024
Thesis advisor	Associate Professor Dr. Jutarat Prachayawarakorn

Abstract

Biopolymers, such as tapioca starch, which is easily cultivated and extracted, including basil seed mucilage, presenting high liquid absorption, are attractive for developing bio-based wound dressings. In this study, a physical modification, i.e., heat-moisture treatment, was utilized to improve properties of tapioca starch. The incorporation of basil seed mucilage enhanced the liquid absorption of wound dressings. Incorporating basil seed mucilage into the film caused the increase of stress at break, Young's modulus, crystallinity, surface roughness, free swell absorption and water vapor transmission rate but the decrease of gel fraction and elongation at break of the film. However, the increase of hydrophilicity resulted in an unstable shape under high-humidity conditions. Therefore, it was necessary to stabilize the shape by chemical cross-linking with succinic acid. By succinic acid cross-linking, no change in mechanical properties and crystallinity was observed. However, succinic acid cross-linking caused the increase of gel fraction, and the decrease of free-swelling water and water vapor transmission rate. In addition, antimicrobial activity is crucial for wound dressings; therefore, glycolic acid was added to enhance antimicrobial efficacy. The results indicated that the addition of glycolic acid did not affect the stress at break. Nevertheless, it led to the increase in the Young's modulus and the reduction of elongation at break. Furthermore, the gel fraction enhanced, while both the free swell absorption and water vapor transmission rate reduced with the addition of glycolic acid. The inclusion of 15 %w/w of glycolic acid could

effectively reduce 100 % of *S. aureus* (Gram-positive) and *E. coli* (Gram-negative) counts. Additionally, the cross-linked film with glycolic acid presented in good biocompatibility, with over 90% HaCat cell viability. The crystallinity, mechanical properties and gel fraction decreased with the addition of GA into HMT-30BSM-0.50SA film. Nevertheless, the addition of GA caused the reduction of free swell absorption, water vapor transmission rate, and number of bacteria. Besides, no change in cytotoxicity was observed in HMT-30BSM-0.50SA-GA films as compared to HMT-30BSM-0.50SA film. Based on physical properties, hydrophilicity, and antimicrobial efficacy, HMT-30BSM-0.50SA-15SA film was the most suitable for wound dressing. Moreover, the comparative study between native starch and heat-moisture starch showed that the heat-moisture treated starch presented the increase of crystallinity, mechanical properties and gel fraction, but the decrease of free-swelling water and water vapor permeation rate. Moreover, heat-moisture treatment caused no change in functional group analysis.

Keywords: carbohydrate polymer; cross-linking; natural gum; physical modified starch

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้บรรลุผลสำเร็จได้ด้วยดีเนื่องจากการได้รับความช่วยเหลือ คำปรึกษา ตลอดจนคำแนะนำจากบุคคลต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์และประสบการณ์ที่ดียิ่งแก่ตัวข้าพเจ้า ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์.ดร.จุฑารัตน์ ประชญาวรากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ความรู้ ความเอาใจใส่ และแนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ระหว่างการศึกษาระดับปริญญาโทตลอดมา

ขอขอบพระคุณทุนการศึกษาผู้ช่วยสอนและผู้ช่วยวิจัยที่ช่วยสนับสนุนค่าทำเนียบการศึกษาและค่าครองชีพในการศึกษาระดับปริญญาโทตลอดหลักสูตร 2 ปี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์. ดร.สุปราณี แก้วภิมิรย์ ประธานกรรมการ และศาสตราจารย์ ดร.นราธิป วิทยากร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำแนะนำ และตรวจทานแก้ไขให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ถ่ายทอดความรู้ให้จนสามารถนำความรู้มาทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี ตลอดจนให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ระหว่างการศึกษาระดับปริญญาโทตลอดมา

ขอขอบพระคุณบุคลากรสายสนับสนุน ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกเรื่องสารเคมี อุปกรณ์เครื่องมือ และสถานที่ ตลอดระยะเวลาการในการศึกษาปริญญาโท

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ระดับปริญญาโทและปริญญาเอก ภาควิชาเคมี เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ชมรมศิลปวัฒนธรรมอีสาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ช่วยให้กำลังใจและความสนุกสนานระหว่างการศึกษาระดับปริญญาโท

ขอขอบพระคุณครอบครัวอันเป็นที่รัก บิดา มารดา พี่ ป้า น้า อา และญาติผู้ใหญ่ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนด้านการศึกษาตลอดมา

และสุดท้ายขอขอบคุณผู้วิจัยที่มีสุขภาพร่างกายและสุขภาพจิตที่แข็งแรงจนนำมาซึ่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้

อานนท์ พลรัตน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาแล้วความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 วัสดุปิดแผล (Wound dressing)	5
2.1.1 สมบัติของวัสดุปิดแผล	5
2.1.2 การแบ่งลักษณะของวัสดุที่ใช้ทำวัสดุปิดแผล	5
2.2 แป้ง (Starch)	6
2.2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของแป้ง	6
2.2.2 การดัดแปรแป้ง (Starch modification)	9
2.2.3 การดัดแปรทางกายภาพโดยวิธีการใช้ความร้อนชื้น (Heat-moisture treatment)	10
2.3 เม็ดแมงลัก (Basil seeds)	10
2.4 เมือกแมงลัก (Basil seed mucilage)	12
2.5 ปฏิกิริยาการเชื่อมขวาง (Crosslinking reaction)	13
2.5.1 กรดซัคซินิก (Succinic acid; SA)	14
2.6 สารต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial agent)	14
2.6.1 กลไกการออกฤทธิ์ของสารต้านเชื้อจุลินทรีย์	14
2.7 กรดไกลโคลิก (Glycolic acid)	16
2.8 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer)	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 กลีเซอรอล (Glycerol)	17
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	23
3.1 สารเคมี	23
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	24
3.3 วิธีการทดลอง	26
3.3.1 คำโครงการดำเนินงานวิจัย	26
3.3.2 การดัดแปรแป้งโดยใช้ความร้อนขึ้น	27
3.3.3 การสกัดเมือกแมงลัก	27
3.3.4 การเตรียมวัสดุปิดแผลจากแป้งดัดแปรโดยความร้อนผสมเมือกแมงลัก	27
3.3.5 การเชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟอนิกของวัสดุปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลัก	28
3.3.6 การเพิ่มสมบัติการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกให้วัสดุปิดแผลจากแป้งดัดแปรโดยใช้ความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลักที่ผ่านการเชื่อมขวาง	28
3.4 การทดสอบสมบัติต่าง ๆ	31
3.4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Attenuated Total reflectance; ATR)	31
3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer; XRD)	31
3.4.3 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)	31
3.4.4 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analysis; TGA)	31
3.4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)	32
3.4.6 การทดสอบความสามารถในการบวมน้ำ (Free swell absorption)	32
3.4.7 การทดสอบสัดส่วนเจล (Gel fraction)	33
3.3.8 การทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate; WVTR)	33
3.3.9 การทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของชิ้นงาน (Antimicrobial testing)	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.10 การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ (Cytotoxicity)	34
3.3.11 วิเคราะห์ผลทางสถิติ	35
3.3.12 การประเมินโดยการให้คะแนนแบบ Rubric score	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	37
4.1 ผลของเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อสมบัติของฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้น	40
4.1.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค ATR	40
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลึกด้วยเทคนิค XRD	42
4.1.3 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM	43
4.1.4 ผลการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อน	46
4.1.5 ผลการทดสอบต่อสมบัติความชอบน้ำ: สัดส่วนเจล อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและการบวมตัว	49
4.1.6 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล	52
4.2 ผลของการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อสมบัติของฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นและเมือกแมงลัก	53
4.2.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค ATR	54
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลึกด้วยเทคนิค XRD	55
4.2.3 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM	56
4.2.4 ผลการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อน	57
4.2.5 ผลการทดสอบต่อสมบัติความชอบน้ำ: สัดส่วนเจล การบวมตัว และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ	59
4.2.6 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล	62
4.3 ผลของสารต้านเชื้อจุลินทรีย์จากกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อสมบัติของฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมี	63
4.3.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค ATR	64
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลึกด้วยเทคนิค XRD	65
4.3.3 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM	66
4.3.4 ผลการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อน	67
4.3.5 ผลการทดสอบต่อสมบัติที่เกี่ยวข้องกับน้ำ: สัดส่วนเจล อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและการบวมตัว	69

4.3.6 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล	71
4.3.7 ผลการทดสอบการต้านเชื้อจุลินทรีย์	72
4.3.8 ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์	75
4.4 ผลของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งที่ผ่านการตัดแปรและไม่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อน	77
4.4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค ATR	78
4.4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลึกด้วยเทคนิค XRD	79
4.4.3 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM	80
4.4.4 ผลการทดสอบต่อสมบัติความชอบน้ำ: สัตว์ส่วนเจล การบวมตัว และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ	82
4.4.5 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล	85
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	86
5.1 สรุปผลการวิจัย	86
5.2 ข้อเสนอแนะ	88
เอกสารอ้างอิง	89
ภาคผนวก	98
ภาคผนวก ก	99
ภาคผนวก ข	101
ภาคผนวก ค	111
ภาคผนวก ง	119
ภาคผนวก จ	126
ประวัติผู้เขียน	148

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้อดีและข้อเสียของลักษณะของวัสดุที่ใช้ทำวัสดุปิดแผล	6
2.2	ปริมาณอะไมโลสและช่วงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลของแป้งแต่ละชนิด	8
2.3	การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์ของแป้ง	11
2.4	สมบัติทางกายภาพของเม็ดแป้ง	11
2.5	องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดแป้ง	12
2.6	สมบัติทางกายภาพและเคมีของกลีเซอรอล	18
3.1	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง	23
3.2	องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดแป้ง	23
3.3	ข้อมูลของกรดซัคซินิก	24
3.4	ข้อมูลของกรดไกลโคลิก	24
3.5	ปริมาณส่วนผสมในแต่ละสูตร	29
3.6	ตัวอย่างการกำหนดค่าทดสอบ	36
4.1	อักษรย่อสูตรต่าง ๆ ของฟิล์มปิดแผล	37
4.2	อุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อน ชั้นที่มีเม็ดแป้งที่ปริมาณต่าง ๆ	47
4.3	ค่าสัดส่วนเจลที่ 24 ชั่วโมงและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่เวลา 7 วันของแผ่นฟิล์ม ปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยความร้อนชั้นและเม็ดแป้งปริมาณต่าง ๆ	50
4.4	ค่าการบวมน้ำที่ 1 – 6 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปร ด้วยความร้อนชั้นและเม็ดแป้งที่ปริมาณต่าง ๆ	51
4.5	สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนชั้นที่มี เม็ดแป้งที่ปริมาณต่าง ๆ	53
4.6	อุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อน ชั้นที่ผสมเม็ดแป้งและเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	57
4.7	ค่าสัดส่วนเจลที่เวลา 24 ชั่วโมงและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่เวลา 7 วันของ แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนชั้นที่ผสมเม็ดแป้งและ เชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	60

4.8	ค่าการบวมน้ำที่เวลา 1-6 และ 24 ชั่วโมงของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	61
4.9	สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	63
4.10	อุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	67
4.11	ค่าสัดส่วนเจลที่เวลา 24 ชั่วโมงอัตราการซึมของไอน้ำที่เวลา 7 วันของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลักที่เชื่อมขวางทางเคมีและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	69
4.12	ค่าการบวมน้ำที่เวลา 1-6 และ 24 ชั่วโมงของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลักที่เชื่อมขวางทางและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	70
4.13	สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลักที่เชื่อมขวางทางเคมีและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	71
4.14	ค่าการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ (<i>S.aureus</i> และ <i>E.coli</i>) ความเป็นพิษต่อเซลล์ และค่าเซลล์รอดชีวิต ของชิ้นงานแผ่นปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA ที่มีของกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	76
4.15	ค่าสัดส่วนเจลที่เวลา 24 ชั่วโมงและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่เวลา 7 วันของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนประกอบจากที่ผ่านการดัดแปรและไม่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้น	83
4.16	ค่าการบวมน้ำที่เวลา 1-6 และ 24 ชั่วโมงของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนประกอบจากที่ผ่านการดัดแปรและไม่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้น	84
4.17	สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนประกอบจากที่ผ่านการดัดแปรและไม่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้น	85
ก.1	ตารางเปรียบเทียบปริมาณของกรดซัคซินิกในหน่วย %w/v กับ %w/w ของน้ำหนักรวมของพอลิเมอร์ทั้งหมด	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2	ตารางเปรียบเทียบปริมาณของกรดไกลโคลิกในหน่วย %w/v กับ %w/w ของ น้ำหนักพอลิเมอร์ทั้งหมด	100
ข.1	ตารางแสดงผลคะแนนของปริมาณของเมือกแมงลักและต้นทุเรียนในแต่ละสูตร	101
ข.2	ตารางแสดงผลคะแนนของค่าความเค้น ณ จุดขาดในแต่ละสูตร	102
ข.3	ตารางแสดงผลคะแนนของค่าความเค้น ณ จุดขาดในแต่ละสูตร	102
ข.4	ตารางแสดงผลคะแนนของค่าความเค้น ณ จุดขาดในแต่ละสูตร	103
ข.5	ตารางแสดงผลคะแนนของปริมาณของเมือกแมงลักและต้นทุเรียนในแต่ละสูตร	104
ข.6	ตารางแสดงผลคะแนนของค่าความเค้น ณ จุดขาดในแต่ละสูตร	104
ข.7	ตารางแสดงผลคะแนนของค่ามอดุลัสในแต่ละสูตร	105
ข.8	ตารางแสดงผลคะแนนของค่าความเค้น ณ จุดขาดในแต่ละสูตร	105
ข.9	ตารางแสดงผลคะแนนของปริมาณของเมือกแมงลักและต้นทุเรียนในแต่ละสูตร	106
ข.10	ตารางแสดงผลคะแนนของค่าความเค้น ณ จุดขาดในแต่ละสูตร	106
ข.11	ตารางแสดงผลคะแนนของค่ามอดุลัสในแต่ละสูตร	107
ข.12	ตารางแสดงผลคะแนนของค่าความเค้น ณ จุดขาดในแต่ละสูตร	107
ข.13	ตารางแสดงผลคะแนนของค่าความเค้น ณ จุดขาดในแต่ละสูตร	108
ข.14	ตารางแสดงค่าการรอดชีวิตของเซลล์ในแต่ละสูตร	108
ข.15	สรุปคะแนนแบบ Rubric score ของฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ ความร้อนชั้นที่มีเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ	109
ข.16	สรุปคะแนนแบบ Rubric score ของฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ ความร้อนชั้นที่มีเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกที่ปริมาณต่าง ๆ	109
ข.17	สรุปคะแนนแบบ Rubric score ของฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ ความร้อนชั้นที่มีเมือกแมงลัก เชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกและมีสารต้าน เชื้อจุลินทรีย์จากกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	110

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพคตินและอะไมโลส	7
2.2	โครงสร้างเกลียวสายเดี่ยวของอะไมโลส	8
2.3	การบวมตัวของเม็ดแป้งเมื่อให้ความร้อน	8
2.4	ลักษณะของเม็ดแป้ง (A) เม็ดแป้งก่อนบวม (B) เม็ดแป้งหลังบวม	11
2.5	โครงสร้างทางเคมีของกลูโคแมนแนน	13
2.6	การเชื่อมขวางทางกายภาพและทางเคมี	13
2.7	โครงสร้างทางเคมีของกรดซัคซินิก	14
2.8	โครงสร้างของแบคทีเรียแกรมลบและแกรมบวก	16
2.9	โครงสร้างทางเคมีของกรดไกลโคลิก	16
2.10	โครงสร้างทางเคมีของกลีเซอรอล	17
3.1	แผนผังการดำเนินงานวิจัย	26
4.1	อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการเตรียมแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้นผสมกับเม็ดแป้งที่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกและใช้สารต้านเชื้อจุลินทรีย์จากกรดไกลโคลิก	39
4.2	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและเม็ดแป้งปริมาณต่าง ๆ	42
4.3	ดิฟแฟรกโทแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและเม็ดแป้งปริมาณต่าง ๆ	43
4.4	ภาพถ่ายภาคตัดขวางของชิ้นงานฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีเม็ดแป้งปริมาณต่าง ๆ (ก) HMT-0BSM (ข) HMT-10BSM (ค) HMT-20BSM (ง) HMT-30BSM (จ) HMT-40BSM (ฉ) HMT-50BSM และ (ช) OHMT-100BSM	45
4.5	TGA เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีเม็ดแป้งปริมาณต่าง ๆ	48
4.6	DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีเม็ดแป้งปริมาณต่าง ๆ	48
4.7	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่ผสมเม็ดแป้งและเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8	ดิฟแฟรกโทแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	55
4.9	ภาพถ่ายภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (ก) HMT-30BSM (ข) HMT-30BSM-0.25SA (ค) HMT-30BSM-0.50SA และ (ง) HMT-30BSM-1.00SA	56
4.10	TGA เทอร์โมแกรมของของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	58
4.11	DTG เทอร์โมแกรมของของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	58
4.12	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนที่ผสมเมือกแมงลักที่เชื่อมขวางทางเคมีและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	64
4.13	ดิฟแฟรกโทแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนที่ผสมเมือกแมงลักที่เชื่อมขวางทางเคมีและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	65
4.14	ภาพถ่ายภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (ก) HMT-30BSM-0.50SA (ข) HMT-30BSM-0.50SA-15GA (ค) HMT-30BSM-0.50SA -20G และ (ง) HMT-30BSM-0.50SA-25GA	66
4.15	TGA เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	68
4.16	DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	68
4.17	ภาพถ่ายจำนวนโคโลนีของเชื้อ <i>S. aureus</i> ที่ 0 ชั่วโมงและหลังทำการทดสอบ 24 ชั่วโมง	73
4.18	ภาพถ่ายจำนวนโคโลนีของเชื้อ <i>E. coli</i> หลังทำการทดสอบ 24 ชั่วโมง	74

4.19	ภาพถ่ายเซลล์ Hacet ที่ผ่านการทดสอบกับชิ้นแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA ที่มีของกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	77
4.20	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนประกอบจากที่ผ่านการดัดแปรและไม่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้น	79
4.21	ดิฟแฟรกโทแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนประกอบจากที่ผ่านการดัดแปรและไม่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้น	80
4.22	ภาพถ่ายภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์มปิดแผลของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนประกอบจากที่ผ่านการดัดแปรและไม่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้น (ก) HMT-30BSM (ข) HMT-30BSM-0.50SA (ค) HMT-30BSM-0.50SA -15GA (ง) NST-30BSM (จ) NST-30BSM-0.50SA และ (ฉ) NST-30BSM-0.50SA -15GA	81
ค.1	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-0BSM	111
ค.2	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-10BSM	111
ค.3	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-20BSM	112
ค.4	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM	112
ค.5	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-40BSM	113
ค.6	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-50BSM	113
ค.7	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล 0HMT-100BSM	114
ค.8	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.25SA	114
ค.9	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA	115
ค.10	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-1.00SA	115
ค.11	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-15GA	116
ค.12	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-20GA	116
ค.13	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-25GA	117
ค.14	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล NST-30BSM	117
ค.15	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล NST-30BSM-0.50SA	118
ค.16	อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล NST-30BSM-0.50SA-15SA	118
ง.1	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-0BSM	119
ง.2	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-10BSM	119
ง.3	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-20BSM	120
ง.4	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.5	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-40BSM	121
ง.6	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-50BSM	121
ง.7	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-100BSM	122
ง.8	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.25SA	122
ง.9	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA	123
ง.10	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-1.00SA	123
ง.11	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-15GA	124
ง.12	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-20GA	124
ง.13	TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-25GA	125



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาแล้วความสำคัญของปัญหา

แผ่นปิดแผล (Wound dressing) เป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ใช้ปิดและปกป้องแผลจากสิ่งแวดล้อมภายนอก คุณสมบัติของแผ่นปิดแผลต้องสามารถให้ความชุ่มชื้นกับแผล ดูดซึมของเหลว และป้องกันการติดเชื้อ แผ่นปิดแผลบางชนิดยังมีระบบนำส่งยา (Drug delivery system) ร่วมด้วย (Bueno *et al.* 2017) ปัจจุบันมีกลุ่มวิจัยจำนวนมากทำการวิจัยและพัฒนาแผ่นปิดแผลโดยสังเคราะห์และปรับปรุงวัสดุที่เข้ากันทางชีวภาพ (Biocompatible material) (Jayakumar *et al.* 2011) โดยแป้ง (Starch) เป็นหนึ่งในวัสดุที่สามารถใช้งานในทางชีวการแพทย์ได้ เช่น การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เนื้อเยื่อวิศวกรรม รวมทั้งการใช้เป็นระบบนำส่งยาและแผ่นปิดแผล (Torres, Commeaux, and Troncoso 2013) อีกหนึ่งวัสดุที่ได้รับความนิยมในวิจัยและพัฒนาเพื่อใช้งานเป็นแผ่นปิดแผล คือ เมื่อกแมงลัก (Basil seed mucilage) โดยธรรมชาติเมื่อกแมงลักมีสมบัติเป็นไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) ที่สามารถบวมน้ำ ดูดซึมและเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างได้ดี (Nazir and Wani 2021)

แป้งเป็นโมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์ที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติ มีราคาถูกและสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ในทางอุตสาหกรรมการใช้แป้งยังคงมีข้อจำกัดในด้านการละลายน้ำของ ง่ายต่อการรีโทรเกรด (Retrogradation) และการไม่มีเสถียรภาพในการเกิดเจล การใช้แป้งดัดแปร (Modified starch) สามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้รวมทั้งยังช่วยปรับปรุงในส่วนกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มและสมบัติอื่นๆ เช่น สมบัติทางความร้อน และสมบัติเชิงกล เป็นต้น ซึ่งการดัดแปรแป้ง (Starch modification) สามารถทำได้ทั้งการดัดแปรทางกายภาพ (Physical modification) และการดัดแปรทางเคมี (Chemical modification) (Ashogbon and Akintayo 2014)

การดัดแปรแป้งทางกายภาพเป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยมในวงกว้างเนื่องจากใช้เพียง ความชื้น ความร้อน แร่เกลือ หรือรังสี ซึ่งไม่มีสารเคมีตกค้างในกระบวนการ การดัดแปรด้วยวิธีการใช้ ความร้อนชื้น (Heat-moisture treatment) เป็นหนึ่งในกระบวนการดัดแปรทางกายภาพที่ไม่มีการทำลายโครงสร้างของเม็ดแป้ง (Starch granule) (Zavareze and Dias 2011) การดัดแปรแป้งด้วยวิธีการให้ความร้อนชื้นสามารถทำได้ภายใต้สภาวะความชื้นต่ำที่น้อยกว่า 35% ที่อุณหภูมิในช่วง 84-120 °C ในระยะเวลา 15 นาทีถึง 16 ชั่วโมง (Gunaratne and Hoover 2002) จากงานวิจัยของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Viana *et al.* (2022) ได้ทำการพัฒนาพลาสติกชีวภาพจากแป้งกล้วยกล้วยดิบ (Plantain banana) ที่ตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้น เมื่อเปรียบเทียบแป้งที่ผ่านและไม่ผ่านการตัดแปร พบว่าแป้งที่ผ่านการตัดแปรมีค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ที่สูงกว่าและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่ต่ำกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร และยังพบว่าแรงยึดติดโมเลกุลของแป้งเพิ่มขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อน

เมือกแมงลักเป็นพอลิเมอร์ทางชีวภาพที่ได้จากเมล็ดแมงลัก (*Ocimum basilicum* L.) สามารถดูดซึมน้ำได้ในปริมาณมาก ประกอบไปด้วยกรดยูโรนิกที่มีองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด คือ กลูโคแมนแนน (Glucomanan) (43%) ไซเลน (Xylan) (24%) และองค์ประกอบรอง คือ กลูแคน (Glucan) เมือกแมงลักเป็นวัสดุที่มีราคาถูก สามารถเข้ากันได้ทางชีวภาพ ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และมีสมบัติการไหล (Rheological property) ที่ดีเหมาะสำหรับใช้เป็นสารช่วยในการขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม (Thessrimuang and Prachayawarakorn 2019b) จากคุณสมบัติที่สามารถดูดซึมของเหลวได้ Hosseini and Nabid ได้ทำการสังเคราะห์ฟิล์มไฮโดรเจลจากเมือกแมงลักที่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมีใช้สำหรับแผ่นปิดแผลที่สามารถนำส่งยาได้ พบว่าแผ่นปิดแผลสามารถกักเก็บความชุ่มชื้นในขณะขบวนการสมานแผล ออกซิเจนและไอน้ำสามารถซึมผ่านได้ดี ไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์และสามารถเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Hosseini and Nabid 2020)

แป้งที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นอีกทั้งยังมีเสถียรภาพเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความชื้นขึ้นอีกด้วยซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีความชอบน้ำรวมถึงความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำที่ลดลง อย่างไรก็ตามสมบัติการชอบน้ำยังเป็นหนึ่งในคุณสมบัติที่สำคัญของแผ่นปิดแผลจึงจำเป็นต้องปรับปรุงสมบัติในด้านนี้ด้วย การปรับปรุงสมบัติการชอบน้ำสามารถทำได้โดยการเพิ่มสารที่มีสมบัติที่ชอบน้ำลงไปเป็นส่วนผสม โดยเมือกแมงลักมีสมบัติที่ชอบน้ำตามธรรมชาติ มีความสามารถในการดูดซึมของเหลว รักษาความชุ่มชื้นและสามารถให้ออกซิเจนและไอน้ำซึมผ่านได้ดีและสามารถเข้ากันได้ทางชีวภาพ ทางผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาแผ่นปิดแผลที่มีสมบัติชอบน้ำจากเมือกแมงลักและมีส่วนผสมหลักจากแป้งที่ผ่านการปรับสมบัติเชิงกลด้วยความร้อนขึ้น อย่างไรก็ตามแผ่นฟิล์มจากวัสดุธรรมชาติยังคงมีเสถียรภาพและสมบัติเชิงกลที่ต่ำ ปัญหาดังกล่าวสามารถปรับปรุงได้โดยการเชื่อมขวาง (Crosslinking) จากงานวิจัยของ Thessrimuang and Prachayawarakorn, ได้ทำการพัฒนา ปรับปรุง และทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเมือกแมงลัก โดยทำการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดทาร์ทาริก (Tartaric acid) กรดมาลิก (Malic acid) และ กรดซัคซินิก (Succinic acid) พบว่าสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนมีแนวโน้มดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแผ่นฟิล์มจากเมือกแมงลักที่เชื่อมขวางทางเคมีโดยกรดซัคซินิคแสดงสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนที่ดีที่สุด รองลงมา คือ กรดมาลิกและกรดทาร์ทาลิกตามลำดับ (Thessrimuang and Prachayawarakorn 2019b)

นอกจากนี้แผ่นปิดแผลจำเป็นต้องใช้สารต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial agent) เพื่อต้านการเจริญเติบโตจากจุลินทรีย์ซึ่งก่อให้เกิดการติดเชื้อของแผลได้ กรดไกลโคลิก (Glycolic acid) จัดเป็นกรดอัลฟาไฮดรอกซีที่มีหมู่ฟังก์ชันของไฮดรอกซิล (-OH) และคาร์บอกซิล (-COOH) อยู่ในโครงสร้างซึ่งสามารถพบได้ในอ้อย องุ่น และผลไม้ชนิดอื่นๆ รวมทั้งได้จากจุลชีพ (Fernandes, Gomes, and Simões 2022, 2020) กรดไกลโคลิกถูกใช้เป็นสารฆ่าเชื้อและยังถูกจัดเป็นหนึ่งในสารที่ใช้ฆ่าเชื้อในอุตสาหกรรมตามรายงานขององค์การจัดการสารเคมีแห่งสหภาพยุโรป (European Chemicals Agency; ECHA) (Fernandes, Gomes, and Simões 2020) จากรายงานของ Gambin *et al.* ได้รายงานไว้ว่ากรดไกลโคลิกสามารถใช้กำจัดทั้งแบคทีเรียแกรมลบและแกรมบวกได้อีกทั้งยังมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพซึ่งมีผลต่อดีสิ่งแวดล้อม (Gambin *et al.* 2020) จากงานวิจัยของ Fernandes, S. ได้ทำการทดลองหาความเข้มข้นของสารในระดับต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Minimum inhibition concentration; MIC) พบว่าค่า MIC ของกรดไกลโคลิกที่ 2.5 mg/ml สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *B. cereus* (แกรมบวก) และ *P. fluorescens* (แกรมลบ) ได้ (Fernandes, Gomes and Simões 2022)

จากการรวบรวมข้อมูลไม่พบบางงานวิจัยที่ทำการศึกษาค้นคว้าแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นและเมือกแมงลักที่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมีและใช้สารต้านเชื้อจุลินทรีย์จากกรดไกลโคลิก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการการเพิ่มประสิทธิภาพแผ่นปิดแผลในรูปแบบแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลที่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมีที่ได้จากการผสมกันแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นและเมือกแมงลักและมีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์จากกรดไกลโคลิก โดยทำการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการเทหล่อ (Casting) จากนั้นตรวจวิเคราะห์และการศึกษาสมบัติต่างๆ ของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่เตรียมได้ ได้แก่ การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันทางเคมี ความเป็นผลึก สัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกล ความสามารถในการบวมน้ำ ความสามารถในการละลายน้ำการละลายน้ำ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ การต้านเชื้อจุลินทรีย์ และความเป็นพิษต่อเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการเตรียมแผ่นฟิล์มปิดแผลจากการผสมกันระหว่างแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นและเมือกแมงลักโดยใช้กรดซัคซินิกเป็นสารเชื่อมขวางทางเคมี และใช้กรดไกลโคลิกเป็นสารต้านจุลินทรีย์

1.2.2 เพื่อตรวจวิเคราะห์และศึกษาสมบัติของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและเมือกแมงลักโดยใช้กรดซัคซินิกเป็นสารเชื่อมขวางทางเคมี และใช้กรดไกลโคลิกเป็นสารต้านจุลินทรีย์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาการเตรียมแผ่นฟิล์มปิดแผลจากการผสมกันระหว่างแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นและเมือกแมงลักโดยใช้กรดซัคซินิกเป็นสารเชื่อมขวางทางเคมี และใช้กรดไกลโคลิกเป็นสารต้านจุลินทรีย์

1.3.2 ศึกษาสมบัติของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและเมือกแมงลัก (10 20 30 40 และ 50 %w/w) โดยใช้กรดซัคซินิก (0.25 0.50 และ 1.00 %w/w) เป็นสารเชื่อมขวางทางเคมี และใช้กรดไกลโคลิก (15 20 และ 25 %w/w) เป็นสารต้านจุลินทรีย์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถเตรียมแผ่นฟิล์มปิดแผลจากการผสมกันระหว่างแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นและเมือกแมงลักโดยใช้กรดซัคซินิกเป็นสารเชื่อมขวางทางเคมี และใช้กรดไกลโคลิกเป็นสารต้านจุลินทรีย์

1.4.2 สามารถผลิตแผ่นฟิล์มปิดแผลจากพอลิเมอร์ธรรมชาติเพื่อเป็นวัสดุทางเลือกสำหรับทางการแพทย์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุปิดแผล (Wound dressing)

ในกระบวนการการรักษาแผล วัสดุปิดแผลถูกใช้ในการช่วยสร้างและซ่อมแซมผิวหนังและเนื้อเยื่อชั้นหนังกำพร้า วัสดุที่ใช้ในการทำวัสดุปิดแผลควรมีลักษณะที่สามารถให้ความชื้นและออกซิเจนซึมผ่านได้ รวมทั้งป้องกันการติดเชื้อจุลชีพ (Mogoşanu and Grumezescu 2014) ในอดีตมีการใช้งานน้ำผึ้ง เส้นใยพืช และไขมันสัตว์ในการทำวัสดุปิดแผลปัจจุบันมีการใช้งานพอลิเมอร์ชีวภาพและคิดค้นกระบวนการผลิตแบบใหม่ เพื่อเพิ่มความสามารถในกระบวนการรักษาแผล

2.1.1 สมบัติของวัสดุปิดแผล (Mogoşanu and Grumezescu 2014)

วัสดุปิดแผลที่เหมาะสมควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. รักษาความชื้นบริเวณแผลและบริเวณรอบ ๆ แผล
2. มีการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี
3. สามารถเข้ากันได้ทางชีวภาพ ไม่เป็นพิษ และไม่ทำให้เกิดอาการแพ้
4. ดูดซึมของเหลวส่วนเกินจากแผลได้
5. ป้องกันแผลจากการปนเปื้อน และการติดเชื้อจุลินทรีย์
6. สามารถถอดเปลี่ยนได้ง่าย
7. มีการป้องกันบาดแผลจากแรงภายนอก
8. ลดอาการบาดเจ็บของแผล
9. ต้นทุนในการผลิตไม่สูงมาก

2.1.2 การแบ่งลักษณะของวัสดุที่ใช้ทำวัสดุปิดแผล

วัสดุปิดแผลที่ผลิตจากพอลิเมอร์มีอยู่หลายลักษณะด้วยกัน ตัวอย่างเช่น แบบฟิล์มแบบโพรเม และแบบไฮโดรเจล (Kamoun *et al.* 2017) การแบ่งลักษณะของวัสดุที่ใช้ทำวัสดุปิดแผลรวมทั้งข้อดีและข้อเสียแสดงดังตารางที่ 2.1 นักวิทยาศาสตร์ด้านวัสดุชีวการแพทย์ได้แนะนำว่าวัสดุปิดแผลที่เป็นแบบไฮโดรเจลเหมาะสำหรับการใช้รักษาแผล โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับแผลไฟไหม้ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้ 1) ไฮโดรเจลสามารถดูดซึมของเหลวและสารคัดหลั่งจากแผลที่ผิวหนังได้ 2) สามารถรักษาความชุ่มชื้นในบริเวณแผลได้ และ 3) มีโครงสร้างที่สามารถเข้ากันได้ทางชีวภาพได้ อย่างไรก็ตามวัสดุปิดแผลแบบไฮโดร-เจลเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆ ส่วนข้อด้อยของวัสดุปิดแผลรูปแบบไฮโดรเจล คือ มีสมบัติเชิงกลที่ต่ำเมื่อมีการดูดซึมของเหลวแล้ว การแก้ไขข้อด้อยดังกล่าวสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำได้โดยการใช้วัสดุแบบผสม (Composite or hybrid hydrogel membranes) โดยในวัสดุปิดแผลประกอบด้วยพอลิเมอร์มากกว่าหนึ่งชนิด นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มเสถียรภาพให้วัสดุปิดแผลโดยทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์หรือการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่ (Cross-linking) ด้วยวิธีทางเคมีหรือกายภาพ โดยหลังจากทำการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่วัสดุปิดแผลยังคงมีโครงสร้างที่สามารถดูดซึมของเหลวได้ (Kamoun *et al.* 2017)

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของลักษณะของวัสดุที่ใช้ทำวัสดุปิดแผล (Kamoun *et al.* 2017)

ลักษณะของวัสดุ	ข้อดี	ข้อเสีย
ฟิล์ม	<ul style="list-style-type: none"> - แก๊สสามารถซึมผ่านได้ดี - มีโปร่งใส สามารถมองเห็นแผลได้ง่าย - ลดอาการบาดเจ็บและการเปื่อยของแผล 	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้งานยาก - ยึดติดกับแผลแน่น - ดูดซึมของเหลวได้น้อย - ติดเชื้อแบคทีเรียได้ง่าย
โฟม	<ul style="list-style-type: none"> - มีความสามารถดูดซึมของเหลวสูง - รักษาความชุ่มชื้น - ป้องกันแบคทีเรียเข้าสู่แผล - ใช้งานง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> - ยึดติดกับแผล - ทึบแสงมองเห็นแผลได้ยาก - แก๊สซึมผ่านได้ปานกลาง - ไม่เหมาะกับแผลแห้ง - เสถียรภาพต่ำ
ไฮโดรเจล	<ul style="list-style-type: none"> - มีความสามารถดูดซึมของเหลวสูง - ไม่ยึดติดแผล - สามารถลอกออกจากแผลได้ง่าย - ลดเวลาการรักษาแผล - ง่ายต่อการใช้งาน 	<ul style="list-style-type: none"> - ความโปร่งแสงอยู่ในระดับปานกลาง - แก๊สและไอน้ำซึมผ่านได้ปานกลาง - ความสามารถในการป้องกันแบคทีเรียต่ำ - สมบัติเชิงกลต่ำในบางสภาวะ

2.2 แป้ง (Starch)

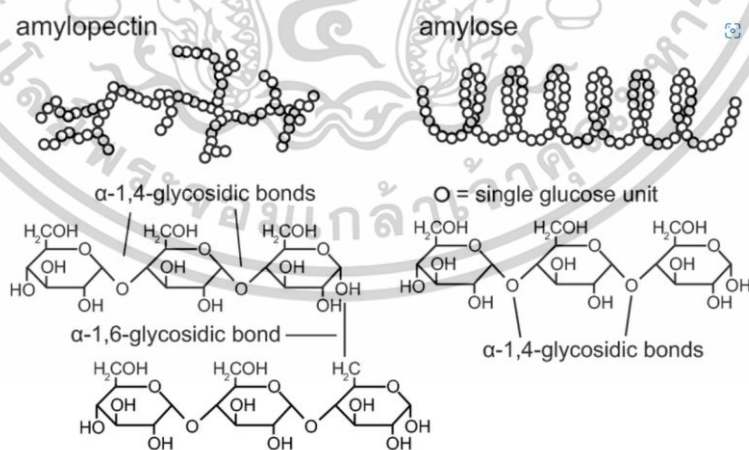
2.2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของแป้ง

แป้งเป็นสารประกอบจำพวกพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide) สามารถพบได้ในส่วนต่าง ๆ พืช คือ ราก เมล็ด หรือ ผล ตัวอย่างพืชที่นำมาสกัดเป็นแป้ง เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง ข้าวสาลี ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น แป้งสามารถสกัดได้ง่าย มีสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และความบริสุทธิ์สูง โดยทั่วไปแป้งสามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพและสามารถผลิตเป็นแผ่นฟิล์มที่สามารถบริโภคได้ (Koch *et al.* 2014) แป้งประกอบด้วย 2 องค์ประกอบ คือ อะไมโลเพคติน (Amylopectin) เป็นองค์ประกอบหลัก

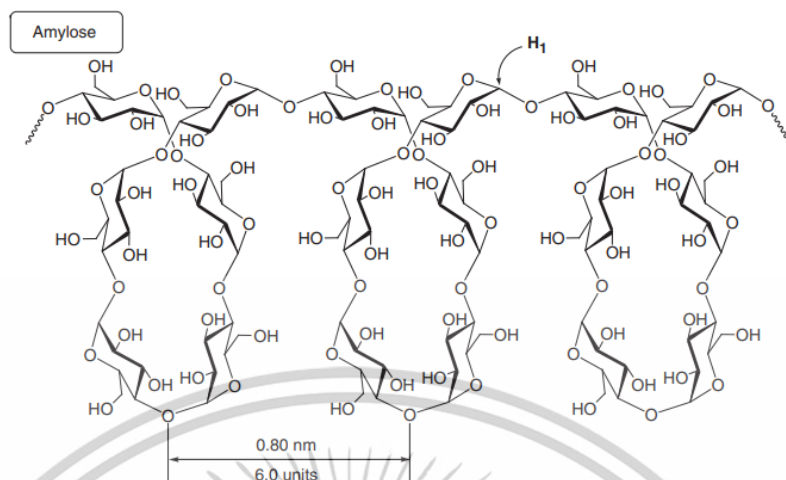
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ประกอบด้วย 40 - 50%) และอะไมโลส (Amylose) เป็นองค์ประกอบรอง อะไมโลสมีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรงที่ทำพันธะที่ตำแหน่ง α -1,4 ในขณะที่อะไมโลเพกตินทำพันธะที่ตำแหน่ง α -1,4 และ α -1,6 ที่เป็นสายโซ่กิ่ง (Koch *et al.* 2014; Dastidar and Netravali 2012) โดยหน่วยซ้ำ (Repeating unit) ของทั้งอะไมโลเพกตินและอะไมโลสมีลักษณะเช่นเดียวกัน คือ วงแหวน α -D-glucopyranose แต่จะต่างกันที่การเชื่อมต่อภายในโมเลกุล (Interconnected) แสดงดังรูป 2.1

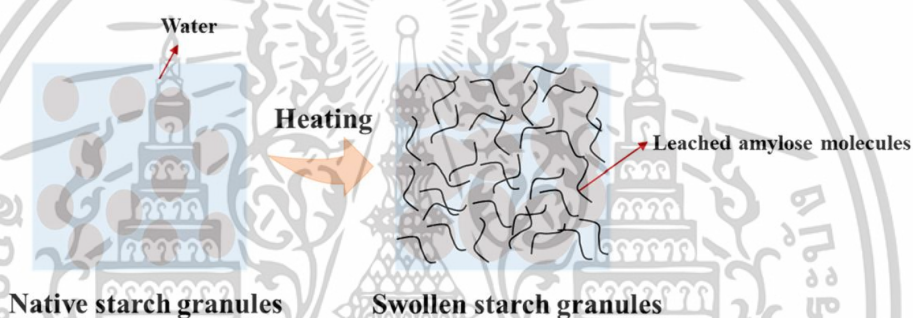
โครงสร้างของอะไมโลสจะมีโครงสร้างเกลียวสายเดี่ยวหรือโครงสร้างเกลียวสายคู่ แสดงดังรูปที่ 2.2 โดยทุก ๆ ระยะการบิดเกลียวที่ความกว้าง 0.8 nm ของโครงสร้างเกลียวสายเดี่ยวจะประกอบด้วยวงแหวน α -D-glucopyranose จำนวน 6 วงแหวน (Hizukuri *et al.* 1981) อะไมโลเพกตินเป็นโครงสร้างสายโซ่กิ่ง โดยโครงสร้างวงแหวน α -D-glucopyranose จะเชื่อมต่อกันที่ตำแหน่ง α -1,4 และ α -1,6 ที่เป็นจุดเชื่อมต่อของสายโซ่กิ่งอยู่ประมาณ 5-6% อะไมโลสมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 10^7 - 10^9 g/mol สัดส่วนของอะไมโลสของแป้งแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2.2 (Trafford and Fincher 2014) แป้งสามารถดูดความชื้นที่อยู่ในอากาศได้แต่ในทางกลับกันแป้งไม่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น การเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำจะทำให้พันธะไฮโดรเจนของเม็ดแป้งลดลงและทำให้เม็ดแป้ง (Granules) เกิดเป็นเจล (Gelatinize) โมเลกุลของอะไมโลสสายโซ่ตรงที่อยู่ในเมล็ดแป้งสามารถชะออกมาสู่สารละลายจึงทำให้เมล็ดแป้งเกิดการบวมตัว โดยเม็ดแป้งสามารถบวมตัวได้หลายเท่าของขนาดจริง อุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลของแป้ง (Gelatinization temperature) สามารถอธิบายได้ด้วยอุณหภูมิที่ทำให้เมล็ดแป้งเริ่มบวมจนถึงอุณหภูมิที่ทำให้เมล็ดแป้งกลายเป็นเจลใกล้เคียงหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์ (Kroschwitz *et al.* 1996) ช่วงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลของแป้งแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพกตินและอะไมโลส (Rijal 2022)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างเกลียวสายเดี่ยวของอะไมโลส (Nomura *et al.* 2011)



รูปที่ 2.3 การบวมตัวของเม็ดแป้งเมื่อให้ความร้อน (Cui *et al.* 2022)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณอะไมโลสและช่วงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลของแป้งแต่ละชนิด (Young 2014) (Whihstler and Daniell 2005)

แป้ง	อะไมโลส (%)	ช่วงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจล (°C)
แป้งท้าวขาม่อม	20.5	62-70
แป้งข้าวโพด	28	62-72
แป้งโอ๊ต	27	60.5-66
แป้งมันสำปะหลัง	15.7	61-67
แป้งมันฝรั่ง	20	59-68
แป้งข้าว	18.5	65-72
แป้งสาคุ	25.8	62-68
แป้งถั่วเขียว	35-40	63-74
แป้งข้าวสาลี	26	58-64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การดัดแปรแป้ง (Starch modification)

แป้งดิบหรือแป้งที่ยังไม่ผ่านการดัดแปร (Native starch) เป็นสารตั้งต้นที่ยังไม่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เนื่องจากยังขาดคุณสมบัติด้านสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมแก่การใช้งาน (มีค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (Flexural strength) และเปอร์เซ็นต์ของระยะการดึงยืดที่สูง) และยังมีความว่องไวต่อความชื้นที่สูง แป้งดิบจึงต้องทำการดัดแปร รวมถึงการใช้พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) และการผสมกับวัสดุชนิดอื่น ก่อนที่จะนำมาใช้งานเป็นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Sagar and Merrill 1995) เพื่อเป็นการปรับข้อด้อยดังกล่าว จึงจำเป็นต้องดัดแปรแป้งเพื่อให้มีสมบัติที่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้

2.2.2.1 การดัดแปรทางกายภาพ (Physical modification)

1. การดัดแปรแป้งก่อนการเกิดเจล (Pre-gelatinized starch) เป็นการให้ความร้อนและแรงเชิงกล ทำให้แป้งสูญเสียเสถียรภาพทั้งในส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐาน อีกทั้งยังทำลายพันธะไฮโดรเจนที่เป็นแรงยึดเกาะระหว่างสายโซ่ ส่งผลให้ความสามารถในการละลายและการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งแป้งที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีนี้จะถูกใช้งานเป็นสารเพิ่มความหนืด (BeMiller 2018)

2. การดัดแปรด้วยความร้อนและความชื้น (Hydrothermal modification) เป็นกระบวนการให้ความร้อนและความชื้นในการดัดแปรทางกายภาพและทางเคมีของแป้ง ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ทำลายโครงสร้างของเม็ดแป้ง สามารถจำแนกได้ 2 วิธี ได้แก่ การอบอ่อน (Annealing) ใช้ความชื้นในช่วง 40-60 %w/w และการดัดแปรโดยใช้ความร้อนชื้น (Heat-moisture treatment) ใช้ความชื้นในช่วง 15-35 %w/w โดยทั้งสองวิธีแตกต่างกันที่ระดับความชื้นที่ใช้ในการดัดแปรแป้ง โดยสมบัติที่ได้ คือ เม็ดแป้งจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ความสามารถในการละลายน้ำและการบวมตัวลดลง ซึ่งจะส่งผลให้อุณหภูมิในการเกิดเจลเพิ่มขึ้น (BeMiller 2018)

3. การใช้แรงเชิงกลโดยไม่ใช้ความร้อน (Non-thermal physical modification) เป็นกระบวนการถนอมอาหารโดยไม่ใช้ความร้อน ซึ่งสามารถยับยั้งการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์และเอนไซม์ได้ โดยไม่ส่งผลเสียต่อความสดและรสชาติของอาหาร (BeMiller 2018)

2.2.2.2 การดัดแปรทางเคมี (Chemical modification)

1. การเกิดอนุพันธ์ (Derivatization) เป็นการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับสารเคมีในสถานะเบส ซึ่งจะได้แป้งที่มีอนุพันธ์ในการเกิดเจลลดลง ความสามารถในการละลายน้ำและการบวมตัวเพิ่มขึ้น เป็นต้น แป้งอนุพันธ์สามารถจำแนกได้ 3 ประเภท คือ 1) แป้งอนุพันธ์จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ (Esterification) 2) แป้งอนุพันธ์จากปฏิกิริยาอีเธอร์ (Etherification) 3) แป้งเชื่อมขวาง (Cross-linked starch) (King and Stickler 1991)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แป้งที่ถูกดัดแปรด้วยกรด (Acid-modification) เป็นกระบวนการที่เกิดปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับกรดอินทรีย์ซึ่งทำให้น้ำหนักโมเลกุลของแป้งลดลง เมื่อไปละลายในน้ำร้อนจะมีความหนืดน้อยกว่าแป้งปกติ (King and Stickler 1991)

3. แป้งออกซิเดชัน (Oxidized starch) เป็นกระบวนการที่มีการเกิดปฏิกิริยาของแป้งกับสารออกซิไดซ์ ได้แก่ สารในกลุ่มโบรมีน คลอรีน ไฮโปคลอไรท์ เปอร์ซัลเฟต เป็นต้น โดยจะได้แป้งที่มีอัตราการคืนตัวของแป้งเปียกลดลง แป้งเปียกที่ร้อนมีความหนืดลดลง และมีความใสเพิ่มขึ้น (King and Stickler 1991)

2.2.3 การดัดแปรทางกายภาพโดยวิธีการใช้ความร้อนชื้น (Heat-moisture treatment)

การดัดแปรแป้งด้วยความร้อนชื้นเป็นดัดแปรแป้งโดยไม่ทำลายโครงสร้างของเม็ดแป้งซึ่งสามารถทำได้โดยการให้อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass transition temperature; Tg) แต่จะต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลของแป้ง พร้อมทั้งให้ความชื้นกับแป้ง (Ashogbon and Akintayo 2014) ตัวอย่างเช่น แป้งมันสำปะหลังดัดแปรด้วยความร้อนชื้นที่ความชื้นในช่วง 15-35 %w/w และให้อุณหภูมิในช่วง 70-130 °C เป็นเวลา 1-72 ชั่วโมง (Thoas and Atwell 1999) การดัดแปรแป้งด้วยวิธีนี้จะส่งผลต่อลักษณะความเป็นผลึก ระบายของรังสีเอกซ์ อันตรกิริยาระหว่างสายโซ่ การบวมตัว รวมถึงการบวมของอะไมโลสในเม็ดแป้ง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวยังขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง ปริมาณความชื้น รวมถึงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการในดัดแปร (Gunaratne 2023)

2.3 เม็ดแมงลัก (Basil seeds)

แมงลักเป็นพืชสกุล *Ocimum L.* (Basil) จัดอยู่ในวงศ์ของ *Lamiaceae* การจำแนกทางวิทยาศาสตร์แสดงดังตารางที่ 2.3 เม็ดแมงลักมีความสำคัญต่อด้านเศรษฐศาสตร์และด้านสมุนไพรทางการแพทย์ โดยพบการใช้เม็ดแมงลักในหลายประเทศของทวีปเอเชีย เช่น อินเดีย จีน เวียดนาม ศรีลังกา รวมถึงไทย เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการที่หลากหลาย เม็ดแมงลักสามารถใช้ปรุงอาหารได้หลายประเภท เช่น ของหวาน และเครื่องดื่ม เป็นต้น รวมถึงการใช้เม็ดแมงลักในการควบคุมอาหาร นอกจากนี้เม็ดแมงลักยังถูกนำมาสกัดเป็นน้ำมันหอมระเหยและสารแต่งกลิ่นที่มีสมบัติทางด้านการต้านเชื้อจุลินทรีย์ และใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สมบัติทางกายภาพของเม็ดแมงลักแสดงดังตารางที่ 2.4 (Naji-Tabasi and Razavi 2017) เมื่อนำมาแช่กับน้ำชั้นเจลจะถูกสร้างขึ้นล้อมรอบเม็ดแมงลักหรือเรียกว่าเมือก (Mucilage) โดยเม็ดแมงลักมีปริมาณเมือกสูงถึง 20%w/w ของเมล็ดแห้ง จึงถูกใช้เป็นไฮโดรคอลลอยด์ธรรมชาติ (Natural hydrocolloid) ที่มีสมบัติที่น่าสนใจชนิดใหม่เมื่อเปรียบเทียบกับกัม (Gum) ชนิดอื่นที่มีในท้องตลาด (Naji-Tabasi and Razavi 2017)

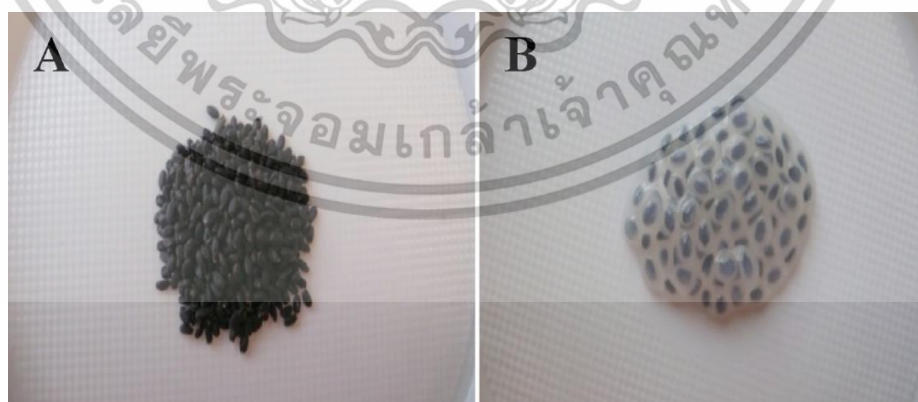
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์ของแมงลัก (Bucktowar *et al.* 2016)

การจำแนก	ชื่อ
อาณาจักร	พืช (Plantae)
อันดับ	กะเพรา (Lamiales)
วงศ์	กะเพรา (Lamiaceae)
สกุล	กะเพรา-โหระพา (Ocimum)
สปีชีส์	<i>O. Basilicum</i>

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพของเม็ดแมงลัก (Naji-Tabasi and Razavi 2017)

ข้อมูล	ค่า
สี	ดำ
ความกว้าง	106±2.7 µm
ความยาว	197±0.77 µm
ความหนา	1.37±0.24 µm
พื้นที่ผิวสัมผัส	12.8±2.8 mm ²
ความเป็นทรงกลม	0.62±0.04
น้ำหนัก (1,000 เมล็ด)	2.13±0.03 g
ดัชนีการบวมตัว	34-35



รูปที่ 2.4 ลักษณะของเม็ดแมงลัก (A) เม็ดแมงลักก่อนบวมน้ำ (B) เม็ดแมงลักหลังบวมน้ำ (Khazaei *et al.* 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

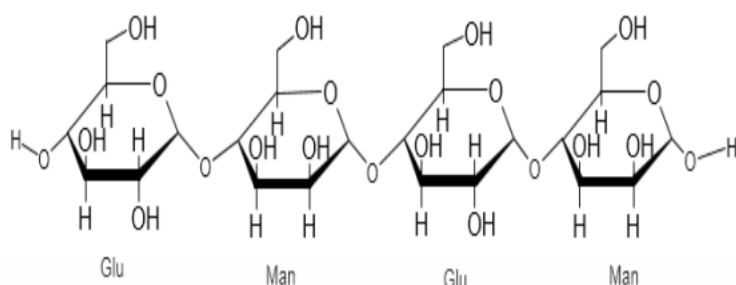
2.4 เมื่อกแมงลัก (Basil seed mucilage)

เมื่อกแมงลักมีองค์ประกอบด้วยกัน 2 ส่วน คือ กลูโคแมนแนน (43%) ที่มีอัตราส่วนของน้ำตาลกลูโคสต่อแมนโนสเป็น 10:2 และไซแลน (xylan) (24.29%) ส่วนประกอบรอง คือ กลูแคน (Glucan) (2.31%) กลูโคแมนแนนเป็นหนึ่งในสารที่สำคัญของพืชที่เป็นสารจำพวกพอลิแซคคาไรด์ เมื่อกแมงลักถูกใช้งานเป็นสารเพิ่มความหนืดและสารเพิ่มเสถียรภาพในอุตสาหกรรมอาหาร (Razavi *et al.* 2009; Li *et al.* 2006) สำหรับการทดสอบสมบัติการไหลของเมื่อกแมงลักพบว่าเมื่อกแมงลักมีพฤติกรรมการไหลแบบนอนนิวโทเนียน (non-Newtonian) ของซูโดพลาสติก (Pseudoplastic) (Hosseini-Parvar *et al.* 2010) นักวิจัยได้พบว่าเมื่อกแมงลักสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่มีสมบัติเชิงกลและรูปร่างลักษณะที่ดี นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อกแมงลักกับพอลิแซคคาไรด์ชนิดอื่น พบว่าเมื่อกแมงลักมีข้อดีหลายประการ เช่น สมบัติการไหลดี ต้นทุนราคาถูก สมบัติชอบน้ำสูง สามารถเข้ากันได้ทางชีวภาพ และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จากสมบัติดังกล่าวจึงทำให้เมื่อกแมงลักเหมาะสมที่จะสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Mirhosseini and Amid 2012) องค์ประกอบทางเคมีของเมื่อกแมงลักสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเมื่อกแมงลัก (Naji-Tabasi and Razavi 2017; Naji-Tabasi, Razavi, and Mehditabar 2017)

องค์ประกอบ	%
ความชื้น	5.90
เถ้า	5.30
โปรตีน	2.30
กรดยูโรนิก	6.51
กลูโคแมนแนน	43.00
ไซแลน	24.29
กลูแคน	2.31
น้ำหนักโมเลกุล (kDa)	2,320

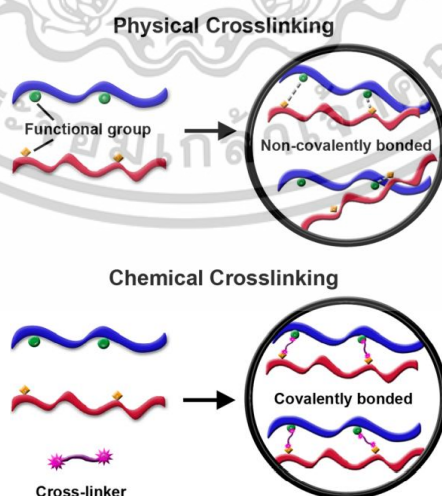
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของกลูโคแมนแนน (Dilyana, Snezhana, and Spiro 2021)

2.5 ปฏิกริยาการเชื่อมขวาง (Crosslinking reaction)

การเชื่อมขวาง คือ กระบวนการเชื่อมขวางแบบสามมิติระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ด้วยพันธะโควาเลนต์หรือไม่เกิดพันธะโควาเลนต์ ซึ่งพันธะสามารถเกิดได้ทั้งภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์ รูปที่ 2.6 แสดงการเชื่อมขวาง 2 วิธี คือ การเชื่อมขวางทางเคมีและการเชื่อมขวางทางกายภาพ โดยการเชื่อมขวางทางเคมีจะเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีจากหมู่ฟังก์ชันของสารช่วยเชื่อมขวาง (Crosslinker) ในขณะที่การเชื่อมขวางทางกายภาพจะไม่เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์แต่จะเกิดพันธะอื่น ๆ เช่น พันธะไฮโดรเจน หรือพันธะไอออนิก [38] การเชื่อมขวางมีความจำเป็นต่อพอลิเมอร์ชีวภาพเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากพอลิเมอร์ชีวภาพมีสมบัติเชิงกลที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ที่มาจากปิโตรเลียม โดยสารช่วยเชื่อมขวางที่ใช้ทั่วไปจะเป็นสารที่ประกอบด้วยฟังก์ชันที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (Active group) 2 ตำแหน่ง เพื่อให้สามารถเกิดพันธะทางเคมีระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ได้ ตัวอย่างของสารช่วยเชื่อมขวาง เช่น กรดไต/พอลิคาร์บอกซิลิก กลูตาราลดีไฮด์ เจนิพิน บอแรกซ์ และ STMP/STPP เป็นต้น (Azeredo and Waldron 2016)

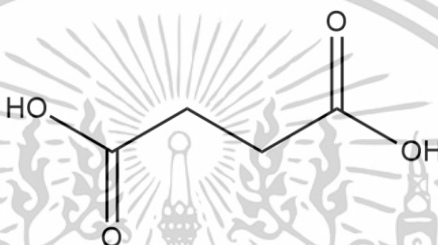


รูปที่ 2.6 การเชื่อมขวางทางกายภาพและทางเคมี (Ramachandran *et al.* 2019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 กรดซัคซินิก (Succinic acid; SA)

กรดซัคซินิกเป็นกรดธรรมชาติที่อยู่ในรูปของซัคซิเนต (Succinate) มีหมู่คาร์บอกซิล 2 หมู่ เป็นสารที่ไม่มีกลิ่น และไม่มีสี สามารถละลายได้เล็กน้อยในอะซิโตน อีเทอร์ เอทานอล และกลีเซอรอล แต่ละลายได้ดีในน้ำ โครงสร้างของกรดซัคซินิกแสดงดังรูปที่ 2.7 ปัจจุบันมีการใช้งานกรดซัคซินิกในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม กรดซัคซินิกสามารถผลิตจากปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) ให้กับกรดมาเลอิก การเติมออกซิเจน (Oxidation) ให้กับ 1,4-บิวเทนไดออล และปฏิกิริยาการเกิดคาร์บอนิล (Carbonylation) ของเอทีลีนไกลคอล (Okino *et al.* 2008; Thakker *et al.* 2012)



รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของกรดซัคซินิก

2.6 สารต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial agent)

สารต้านเชื้อจุลินทรีย์ คือ สารที่สามารถฆ่า (Microbicide) หรือหยุดยั้งการเจริญเติบโต (Microbiostasis) ของเชื้อได้ สามารถจำแนกสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานได้ ดังนี้

- 1) สารฆ่าเชื้อ (Disinfectant) คือ สารที่สามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้หลากหลาย และไม่จำเพาะเจาะจง โดยจะนิยมใช้กำจัดเชื้อจุลินทรีย์บนพื้นผิวสิ่งของต่าง ๆ ที่ไม่มีชีวิตเพื่อยับยั้งการแพร่กระจายของเชื้อ
- 2) สารระงับเชื้อ (Antiseptic) คือ สารที่มีความสามารถเหมือนกับสารฆ่าเชื้อ แต่จะใช้กำจัดเชื้อจุลินทรีย์บนผิวหรือเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต เช่น การฆ่าเชื้อในระหว่างการผ่าตัด เป็นต้น ดังนั้น สารฆ่าเชื้อบางชนิดที่ไม่มีพิษต่อคนสามารถใช้เป็นสารระงับเชื้อได้
- 3) ยาปฏิชีวนะ (Antibiotic) คือ สารที่ใช้กำจัดหรือควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ภายในร่างกาย มีความเฉพาะเจาะจงมากขึ้น (สำนักงานควบคุมเครื่องสำอางและวัตถุอันตราย, 2558)

2.6.1 กลไกการออกฤทธิ์ของสารต้านเชื้อจุลินทรีย์

กลไกการออกฤทธิ์ของสารต้านเชื้อจุลินทรีย์จะส่งผลกระทบต่อเซลล์ในด้านต่าง ๆ เช่น การรับสารเข้าสู่เซลล์ การแตกหรือการรื้อออกของเซลล์ การรบกวนสมดุลภายในเซลล์ และการยับยั้งการ

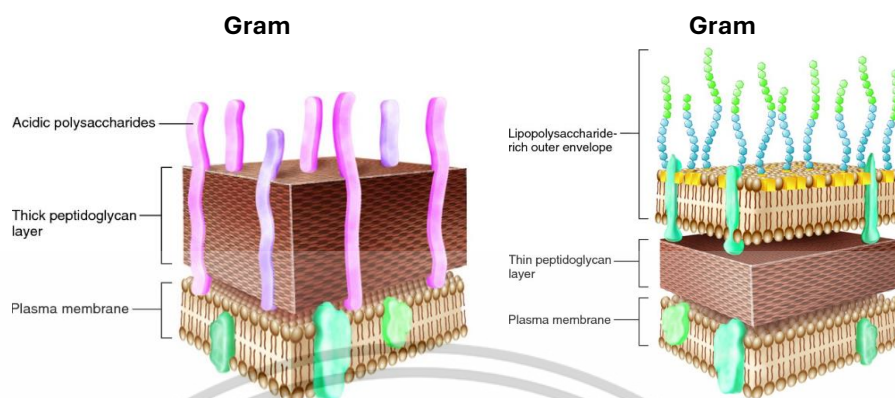
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานของเอนไซม์ เป็นต้น ทั้งนี้สารต้านเชื้อจุลินทรีย์จะเข้าทำปฏิกิริยาด้วยกลไกที่แตกต่างกันตามส่วนต่าง ๆ ของเซลล์ (สำนักงานควบคุมเครื่องสำอางและวัตถุอันตราย, 2558) โดยในบทนี้จะกล่าวถึงกลไกการออกฤทธิ์ของสารต้านเชื้อแบคทีเรีย

1. ผนังเซลล์ (Cell wall) ของแบคทีเรียจะประกอบด้วยสารสำคัญ คือ เปปทิโดไกลแคน (Peptidoglycan) ประกอบจากน้ำตาลและกรดอะมิโนที่สร้างเป็นโครงตาข่ายซ้อนกันหลายชั้น โดยแบคทีเรียแกรมบวกจะมีผนังเซลล์หนากว่าแบคทีเรียแกรมลบ นอกจากนี้ผนังเซลล์สามารถจับกับสารต้านเชื้อแบคทีเรียที่มีความชอบน้ำได้ หน้าที่ของผนังเซลล์ของแบคทีเรีย คือ เป็นโครงสร้างที่แข็งแรงต้านทานแรงดัน และป้องกันไม่ให้สารผ่านเข้าไปในเซลล์ได้ (สำนักงานควบคุมเครื่องสำอางและวัตถุอันตราย, 2558) (สำนักงานควบคุมเครื่องสำอางและวัตถุอันตราย, 2558) การออกฤทธิ์ที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรีย เกิดจากปฏิกิริยาของสารต้านเชื้อแบคทีเรียกับสารอินทรีย์ในผนังเซลล์ทำให้เกิดการรบกวนระบบเมทา-บอลิซึม ส่งผลให้ความแข็งแรงและความต้านทานแรงดันลดลง ทำให้ผนังเซลล์บางลง เกิดรูรั่วและทำให้เซลล์แตก (นงลักษณ์ และ ปรีชา สวรรณพินิจ, 2541)

2. เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) ของแบคทีเรียจะประกอบด้วยสารจำพวกลิพิดและโปรตีนเป็นส่วนสำคัญ โดยแบคทีเรียแกรมบวกจะมีเยื่อหุ้มชั้นในที่ติดกับพลาสมาหรือไซโตพลาสซึม (Plasma or cytoplasmic membrane) แต่แบคทีเรียแกรมลบจะมีเยื่อทั้งชั้นในและเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอก (Outer membrane) หน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอก คือ ป้องกันเซลล์แบคทีเรียจากสภาวะภายนอก ส่วนหน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นใน คือ ป้องกันการแลกเปลี่ยนสารละลายเข้า-ออกเซลล์ได้ทั้งสารละลายมีขี้และไม่มีขี้ (สำนักงานควบคุมเครื่องสำอางและวัตถุอันตราย, 2558) การออกฤทธิ์ของสารต้านเชื้อแบคทีเรียจะทำได้โดยการที่สารต้านเชื้อแบคทีเรียแทรกเข้าไประหว่างลิพิดและโปรตีนของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เสียกลไกการควบคุมสารเข้า-ออกของเซลล์ ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ฉีกขาด และเซลล์ตายในที่สุด (นงลักษณ์ และ ปรีชา สวรรณพินิจ, 2541)

3. ไซโตพลาสซึม (Cytoplasm) เป็นอยู่ของสารพันธุกรรมของเซลล์แบคทีเรียรวมทั้งเอนไซม์และโปรตีน โดยสารต้านเชื้อแบคทีเรียสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ถึงระดับโคโมโซม (สำนักงานควบคุมเครื่องสำอางและวัตถุอันตราย, 2558) นอกจากนี้ยังเข้าทำลายระบบดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอ ส่งผลให้การทำงานของระบบดังกล่าวไม่สมบูรณ์ อีกทั้งยังทำลายการสังเคราะห์โปรตีน โดยการยับยั้งการสร้างโปรตีนที่ไรโซโซม (นงลักษณ์ และ ปรีชา สวรรณพินิจ, 2541)

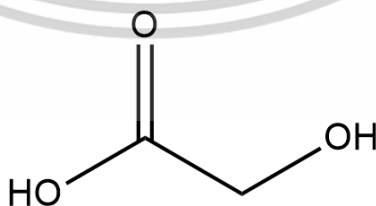


รูปที่ 2.8 โครงสร้างของแบคทีเรียแกรมลบและแกรมบวก (Christmann 2014)

2.7 กรดไกลโคลิก (Glycolic acid)

กรดอัลฟาไฮดรอกซีเป็นสารที่มีการใช้งานและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในวงการแพทย์ผิวหนัง โดยนิยมใช้รักษาโรคผิวหนังรวมถึงใช้ผสมในเครื่องสำอาง หนึ่งในกรดอัลฟาไฮดรอกซีที่นิยมใช้ คือ กรดไกลโคลิก (Sharad 2013)

กรดไกลโคลิกเป็นกรดที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรดอัลฟาไฮดรอกซีชนิดอื่น ด้วยน้ำหนักโมเลกุลที่น้อยทำให้โมเลกุลของกรดไกลโคลิกสามารถซึมเข้าผิวหนังได้ง่าย จึงนิยมใช้เป็นสารช่วยผลัดเซลล์ผิว กรดไกลโคลิกประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน 2 อะตอม คือ คาร์บอนของหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล (-COOH) และคาร์บอนที่ตำแหน่งจุดเชื่อมต่อกับหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) ซึ่งทำให้กรดไกลโคลิกสามารถละลายน้ำได้ดียิ่ง โดยโครงสร้างทางเคมีของกรดไกลโคลิกแสดงดังรูปที่ 2.9 ค่าพีเอชของสารละลายที่ไม่ได้อยู่ในรูปของบัฟเฟอร์อยู่ในช่วง 0.08-2.75 นอกจากนี้กรดไกลโคลิกยังมีคุณสมบัติช่วยต้านการอักเสบและต้านอนุมูลอิสระ (Fernandes *et al.* 2022)



รูปที่ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของกรดไกลโคลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

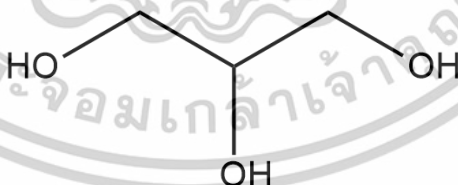
2.8 พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer)

พลาสติกไซเซอร์เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ (Physicochemical properties) ของพอลิเมอร์ เมื่อเติมพลาสติกไซเซอร์ในพอลิเมอร์จะลดแรงภายในสายโซ่พอลิเมอร์สายโซ่หลักและเพิ่มพื้นที่ว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้สายโซ่สามารถเคลื่อนได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้สมบัติพอลิเมอร์มีความเหนียวรวมถึงความสามารถในการยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น และต้านแรงฉีกขาดได้ดีขึ้น (McHugh and Krochta 1994)

2.8.1 กลีเซอรอล (Glycerol)

กลีเซอรอล (1,2,3-propanetriol) เป็นของเหลวหนืดที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และมีรสชาติหวาน ซึ่งกลีเซอรอลสามารถผลิตได้จากธรรมชาติและจากสารตั้งต้นปิโตรเคมี กลีเซอรอลดิบ (Crude glycerol) มีความบริสุทธิ์ที่ 70-80% ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำให้มีความบริสุทธิ์อยู่ในช่วง 96.5-99% เพื่อให้สามารถใช้งานได้เชิงพาณิชย์ กลีเซอรอลเป็นสารเคมีที่มีคุณค่าและใช้งานได้หลากหลาย กลีเซอรอลสามารถละลายได้ในแอลกอฮอล์และน้ำ เนื่องจากประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลที่ชอบน้ำ 3 ตำแหน่ง (โครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 2.10) แต่ไม่ละลายในสารจำพวกไฮโดรคาร์บอน และยังสามารถกลายเป็นผลึกได้ที่อุณหภูมิต่ำ (Chelli *et al.* 1999)

กลีเซอรอลเป็นสารเคมีที่มีการใช้งานเชิงพาณิชย์กับหลายผลิตภัณฑ์ อาทิเช่น เครื่องสำอาง อาหาร ยา และผลิตเพื่อสุขภาพ เป็นต้น นอกจากนี้กลีเซอรอลยังสามารถเข้ากันได้กับวัสดุทางเคมี มีความเสถียรภาพสูงในสภาวะปกติ ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองเมื่อใช้งาน โดยทั้งภายในและภายนอกของโมเลกุลของกลีเซอรอลมีความยืดหยุ่นของพันธะไฮโดรเจนสูง (Chelli *et al.* 1999) สมบัติทางกายภาพและเคมีของกลีเซอรอลสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.6



รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของกลีเซอรอล

ตารางที่ 2.6 สมบัติทางกายภาพและเคมีของกลีเซอรอล (Chelli *et al.* 1999)

ข้อมูล	ค่า
สูตรเคมี	$C_3H_5(OH)_3$
น้ำหนักโมเลกุล	92.09 g/mol
ความหนาแน่น	1.261 g/ml
ความหนืด	1.5 Pa.s
จุดหลอมเหลว	18.2 °C
จุดเดือด	290 °C
จุดวาบไฟ	160 °C
แรงดึงผิว	64.00 m/Nm

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Adamu *et al.* (2016) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของกลีเซอรอลต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง โดยทำการศึกษากลีเซอรอลที่ปริมาณ 0 5 10 15 และ 20 %w/w จากผลการทดลองด้วยเทคนิค FTIR แสดงค่าการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นที่ $3700-3300\text{ cm}^{-1}$ (เอกลักษณ์ของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล) เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของกลีเซอรอล เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอลเกิดอันตรกิริยาต่อกัน ซึ่งสามารถยืนยันได้ด้วยผลของการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของกลีเซอรอล ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าลดลง แต่ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ซึ่งสามารถลดแรงภายในโมเลกุลและเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนไหวของสายโซ่พอลิเมอร์ จึงทำให้ชิ้นงานมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น

Klein *et al.* (2013) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการดัดแปรแป้งแบบหนึ่งครั้งและสองครั้งด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นต่อแป้งมันสำปะหลัง พบว่าหลังจากทำการดัดแปรแป้งทั้งสองแบบ ค่าการละลายและร้อยละการบวมตัวของเมล็ดแป้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการดัดแปร จากผลการวิเคราะห์ลักษณะการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction) พบว่าค่าความเข้มของพีก (Intensity) ของแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการดัดแปรมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าบริเวณที่มีความเป็นผลึก (Crystalline domain) ในเม็ดแป้งมีการจัดเรียงโครงสร้างได้แน่นและเป็นระเบียบมากขึ้นขณะที่อยู่ในกระบวนการการดัดแปรแป้งด้วยความร้อนขึ้น

Chaya and Prachayawarakorn (2021) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการการดัดแปรแป้งด้วยความร้อนขึ้นต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง โดยทำการทดลองที่ 4 สภาวะ คือ อุณหภูมิ 110 °C และ 120 °C เป็น 1 และ 2 ชั่วโมง พบว่าการดัดแปรแป้งด้วยความร้อนขึ้นส่งผลให้ร้อยละการบวมตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร โดยสภาวะที่อุณหภูมิ 120 °C เวลา 1 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากผลของสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดและค่าความเป็นผลึกที่มีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่น ๆ

Viana *et al.* (2021) ได้ทำการพัฒนาและขึ้นรูปพลาสติกชีวภาพจากแป้งกล้วยกล้วยที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น จากผลการทดลองการซึมผ่านของไอน้ำแสดงให้เห็นว่าพลาสติกชีวภาพจากแป้งที่ผ่านการการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) ที่แสดงถึงความสามารถในการดัดของชิ้นงานมีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้รูปแบบของพีค FTIR ที่แสดงถึงอันตรกิริยาของโมเลกุลที่เกิดขึ้นในพลาสติกชีวภาพ พบว่าความเข้มของพีคในแต่ละความยาวคลื่นสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร แสดงให้เห็นว่าการดัดแปรแป้งด้วยความร้อนขึ้นสามารถทำให้อันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลเพิ่มสูงขึ้น

Khazaei *et al.* (2014) ได้ทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ของแผ่นฟิล์มจากเมือกแมงลักที่สามารถรับประทานและย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จากรายงานผลการทดลองพบว่าเมือกแมงลักมีความสามารถในการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ โดยได้แผ่นที่มีลักษณะโปร่งแสง มีสมบัติเชิงกลและการต้านแรงเชิงกลที่ดี โดยในแผ่นฟิล์มที่มีการเติมกลีเซอรอลในปริมาณ 25 %w/w แผ่นฟิล์มมีค่าการซึมผ่านของไอน้ำต่ำที่ $1.83 \times 10^{-10} \text{ g H}_2\text{O m}^{-2}\text{S}^{-1}\text{MPa}^{-1}$ ค่าร้อยละการคืนตัว ณ จุดขาดที่ 26.89% และมีความแข็งแรงดึงที่สูงที่สุดที่ 29.58 MPa จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทำให้ทราบว่าเมือกแมงลักสามารถเป็นวัสดุทางเลือกเพื่อผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพได้

Hosseini and Nabid (2020) ได้ทำการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลจากเมือกแมงลักที่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมีสำหรับการใช้งานเป็นวัสดุปิดแผลที่สามารถนำส่งยา ในงานวิจัยนี้ได้ทำการผสมพอลิเมอร์ 2 ชนิด คือ เมือกแมงลัก และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยมีกลูตาราลดีไฮด์เป็นสารช่วยเชื่อมขวาง และมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ จากผลการทดลองพบว่าการใช้พอลิเมอร์ผสม คือ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และใช้สารช่วยเชื่อมขวาง สามารถเพิ่มความแข็งแรงให้ชิ้นงานได้ (ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสของยังมีค่าสูงขึ้น) และการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์สามารถเพิ่มความสามารถในการดัดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้แผ่นปิดแผลที่ได้ยังสามารถรักษาความชุ่มชื้นของแผล แก๊สสามารถซึมผ่านได้ดี มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ และไม่เป็นพิษต่อเซลล์ ส่วนความสามารถในการปลดปล่อยยาเตตราไซคลีน ไฮโดรคโลไรด์ให้ผลได้ดีที่ค่าพีเอชเท่ากับ 8.5 และ 7.4 ซึ่งให้ผลดีมากกว่าในสภาวะกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thessrimuang and Prachayawarakorn (2019b) ได้ทำการวิจัยและพัฒนาแผ่นฟิล์มที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้จากเมือกแมงลักโดยใช้สารช่วยเชื่อมขวาง 3 ชนิด ได้แก่ กรดทาร์ทาริก กรดมาลิก และ กรดซัคซินิก จากผลการทดลองพบว่าการใช้สารช่วยเชื่อมขวางทำให้ค่าความเค้น ณ จุดสูงสุดของแรงลดลงเล็กน้อย และค่าความเครียด ณ จุดสูงสุดของแรงเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นผลึกลดลง ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำและการบวมตัวมีค่าลดลงหลังจากใช้สารช่วยเชื่อมขวาง ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่ของเมือกแมงลักกับสารช่วยเชื่อมโยง โดยบริเวณที่เกิดการเชื่อมขวางสามารถขัดขวางการซึมผ่านของแก๊สและการบวมตัวได้

Rivera-Corona *et al.* (2014) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนและโครงสร้างของผงแป้งข้าวฟ่างผสมกับเมือกกระบองเพชร (*O. ficus-indica* L.) จากการทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์พบว่าลักษณะของพีคไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มปริมาณเมือกกระบองเพชร แต่ความเข้มของพีคที่แสดงความเป็นผลึกมีค่าลดลงเมื่อปริมาณเมือกกระบองเพชรเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมือกกระบองเพชรมีความเป็นอสัณฐานจึงส่งผลให้ค่าความเป็นผลึกลดลง

Ayquipa-Cellar *et al.* (2020) ทำการผสมเมือกจากเปลือกของกระบองเพชร (*O. ficus-indica* L.) กับแป้งจากเปลือกมันฝรั่ง จากนั้นทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มที่สามารถรับประทานได้ด้วยเทคนิคเทหล่อ จากผลการทดสอบการละลายน้ำและการบวมตัว (19.70 – 77.86 %) พบว่าแผ่นฟิล์มสามารถบวมตัวและละลายได้ในน้ำ เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลและไฮดรอกซิลในโครงสร้างพอลิเมอร์ชีวภาพที่ไม่ได้เกิดอันตรกิริยาสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของน้ำได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบการซึมผ่านของน้ำที่แสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ดีขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของเมือกจากเปลือกกระบองเพชรและปริมาณของกลีเซอรอล

Nair *et al.* (2011) ได้ทำการศึกษาสมบัติของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับบุก จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางความร้อนพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณบุกอุณหภูมิจุดหลอมเหลวและพลังงานเอาทาลปี (ΔH_m) ของชิ้นงานลดลง เนื่องจากบุกสามารถลดแรงภายในโมเลกุลได้อีกทั้งยังลดปริมาณความเป็นผลึกของแป้ง ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติเชิงกลที่เมื่อเพิ่มปริมาณบุกส่งผลค่าการยืดตัว ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น เมื่อทำการทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ พบว่าค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณบุก เนื่องจากโดยธรรมชาติสมบัติของบุกมีความชอบน้ำสูงกว่าแป้งและสอดคล้องกับผลการทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณบุก

Thessrimuang and Prachayawarakorn (2018a) ได้ทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ของแผ่นฟิล์มแป้งถั่วเขียวที่มีปริมาณของอะไมโลสสูงโดยผ่านการเชื่อมขวางด้วยกรดมาลิกและกรดซัคซินิก จากสมบัติเชิงกลเมื่อทำการเชื่อมขวางด้วยกรดทั้งสองชนิดทำให้ค่าความเค้น ณ จุดสูงสุดของแรง

และค่ามอดูลัสของยังมีค่าลดลง ส่วนค่าความเครียด ณ จุดสูงสุดของแรง มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นผลึกที่ลดลงเมื่อมีการเชื่อมขวางด้วยกรดทั้งสองชนิด เนื่องจากการเชื่อมขวางระหว่างแป้งถั่วเขียวและกรดสามารถขัดขวางการจัดเรียงตัวของผลึกได้

Belay *et al.* (2020) ได้ทำการวิจัยการเสริมสร้างสมบัติของวุ้นโดยการเสริมแรงด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสและเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิก จากผลการทดลองเมื่อเชื่อมขวางให้กับวุ้นด้วยกรดซัคซินิก พบว่าค่าความแข็งแรงดึงมีค่าเพิ่ม 70% (จาก 55 ± 9.97 MPa เพิ่มเป็น 93.40 ± 9.97 MPa) เมื่อเสริมแรงวุ้นด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น 56% (จาก 55 ± 9.97 MPa เพิ่มเป็น 86.30 ± 14.70 MPa) และเมื่อใช้ทั้งการเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกและเสริมแรงด้วยแบคทีเรียเซลลูโลส พบว่าค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น 101% (จาก 55 ± 9.97 MPa เพิ่มเป็น 111 ± 12.30 MPa) และจากผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR พบว่าเกิดพันธะเอสเทอร์ระหว่างหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลของกรดซัคซินิกและหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของวุ้น นอกจากนี้ยังเกิดการเชื่อมขวาง (พันธะโควาเลนต์) และเกิดแรง (พันธะไฮโดรเจน) ระหว่างวุ้นกับแบคทีเรียเซลลูโลส

Fernandes *et al.* (2020) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการต้านเชื้อของกรดไกลโคลิกต่อเชื้อ *Bacillus cereus* (แกรมบวก) และ *Pseudomonas fluorescens* (แกรมลบ) โดยเปรียบเทียบกับสารต้านเชื้อแบคทีเรียอ้างอิง คือ เบนซิลโคเนียมคลอไรด์ และกรดเปอร์อะซิติก จากผลการทดลองพบว่ากรดไกลโคลิกมีกลไกการต้านเชื้อแบคทีเรียคล้ายกับเบนซิลโคเนียมคลอไรด์ คือ สามารถทำลายเยื่อหุ้มของเซลล์แบคทีเรีย อีกทั้งยังเป็นสารออกซิไดซ์ได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากรดไกลโคลิกสามารถใช้เป็นสารต้านเชื้อแบคทีเรียได้

Valle-Gonzalez *et al.* (2020) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของค่าพีเอชต่อความสามารถในการต้านเชื้อ *Cutibacterium acnes* (แกรมบวก) โดยทำการศึกษาในรูปแบบกรดไกลโคลิกที่เป็นประจุลบ (Anionic) และแบบไม่มีประจุ (Nonionic) จากการทดลองพบว่าค่าพีเอชของสารละลายกรดไกลโคลิกในช่วง 3 - 4.5 (กรด) สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นสารต่ำ ๆ และกรดไกลโคลิกที่อยู่ในรูปแบบไม่มีประจุสามารถยึดติดได้ดีกับเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียได้ดีกว่าแบบมีประจุลบ ทำให้มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่า นอกจากนี้กรดไกลโคลิกยังสามารถช่วยลดอาการอักเสบและรอยแผลเป็นได้

Kumar *et al.* (2020) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียของกรดไกลโคลิกและกรดไกลโคลิกที่ต่อกับอนุภาคเงินขนาดนาโนเมตร จากการทดสอบหาความเข้มข้นของกรดไกลโคลิกในระดับต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ต่อเชื้อ *S. aureus* (แกรมบวก) และ *E. coli* (แกรมลบ) พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.8 และ 1.9 mg/ml ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ด้วยการวิเคราะห์ MTT พบว่ากรดไกลโคลิกไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น กรดไกลโคลิกจึงสามารถใช้เป็นสารต้านเชื้อกับผิวหนังได้อย่างปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยพบว่ากระบวนการปรับปรุงแก้ด้วยความร้อนขึ้น มีความน่าสนใจเนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้สารเคมีและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังสามารถเพิ่มสมบัติเชิงกลของได้อีกด้วย เมื่อแก๊สที่มีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงยังเป็นจุดเด่นที่จะนำมาเพิ่มความสามารถในการดูดซึมของเหลวอีกด้วย นอกจากนี้กรดซัลฟิวริกที่เป็นสารเชื่อมขวางทางเคมีสามารถที่จะเพิ่มค่าความแข็งแรงเชิงกลได้อย่างมีประสิทธิภาพยังถูกใช้งานในงานวิจัยนี้ ในส่วนของความสามารถในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของแผ่นฟิล์มปิดแผล ผู้วิจัยได้นำกรดไกลโคลิกที่มีความสามารถในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ทั้งแกรมบวกและแกรมลบ อีกทั้งยังไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ถือว่ามีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ มาเป็นสารช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ในแผ่นฟิล์มปิดแผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. แป้งมันสำปะหลัง ตราปลามังกร จากห้างหุ้นส่วนสามัญนิติบุคคล ตงจั้น องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ไขมัน	0.25
ความชื้น	< 13
โปรตีน	6.50-7.50
คาร์โบไฮเดรต	87
-อะไมโลส	17
-อะไมโลเพคติน	83
เถ้า	0.23
ขนาด	< 160 μm
ความเป็นกรด-ด่าง	6-7

หมายเหตุ: ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

2. เม็ดแมงลัก (เกรตอาหาร) จากบริษัทไร่ธัญญา จำกัด องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดแมงลักแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดแมงลัก

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ความชื้น	5.9±0.54
เถ้า	5.3±0.23
โปรตีน	2.3±0.8
กลูโคแมนแนน	43
พอลิแซคคาไรด์ชนิดอื่นๆ	13
กรดยูโรนิก	6.51

หมายเหตุ: ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กรดซัคซินิก ($C_4H_6O_4$) เกรดอาหาร จากบริษัท ยูเนียนเคมีคอล จำกัด

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลของกรดซัคซินิก

ข้อมูล	ค่า
น้ำหนักโมเลกุล	118.09 g/mol
ความเปิดกรด	$pK_{a1} = 4.2, pK_{a2} = 5.60$
จุดหลอมเหลว	184 °C
ความหนาแน่น	1.56 g/cm ³
การละลายน้ำ	58 g/L (20 °C)
ลักษณะ	ผงสีขาว

หมายเหตุ: ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

4. กรดไกลโคลิก ($C_2H_4O_3$) เกรดความบริสุทธิ์สูง 99% จากบริษัท Suzhou cosmo IMP. & EPX. Co, Ltd.

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลของกรดไกลโคลิก

ข้อมูล	ค่า
Total acid	99.62 %
คลอรีน	2 ppm
ซัลเฟต	-
เหล็ก	0.32 %
ความชื้น	0.26 %
โลหะหนัก	4 ppm
ลักษณะ	ผลึกสีขาว

หมายเหตุ: ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. อุปกรณ์เครื่องแก้ว
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. เครื่องปั่นกวน (Overhead stirrer)
4. แท่งแม่เหล็กปั่นกวน
5. กลีเซอรอล ($C_3H_8O_3$) จากบริษัท Lab system, Co., Ltd.
6. น้ำกลั่น (Distilled water)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

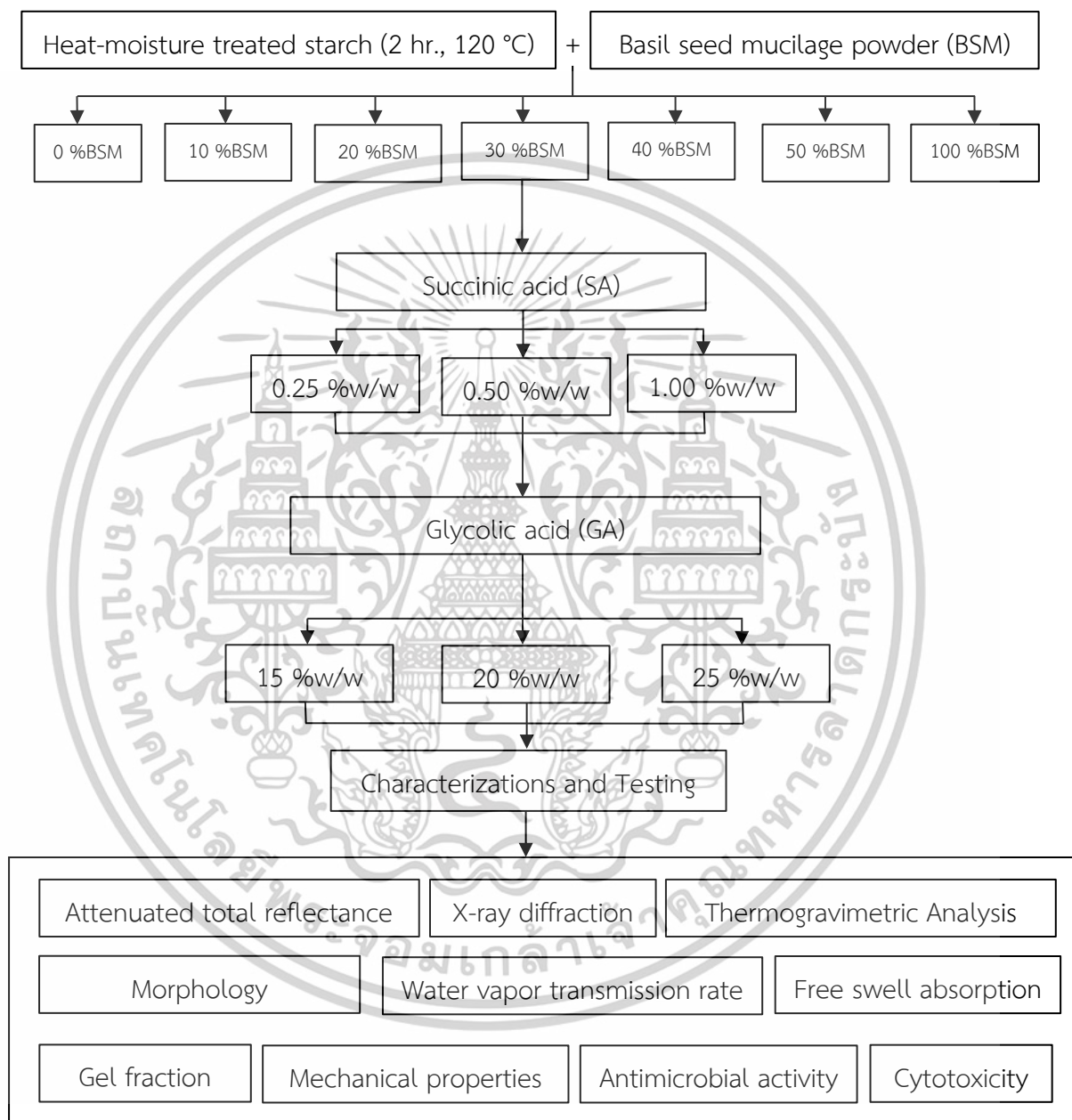
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก (Analytical balance) รุ่น ML3002 จากบริษัท Mettler Toledo ประเทศไทย
6. เตาให้ความร้อน (Hot plate) รุ่น c-mg HS7 5000 จากบริษัท IKA Co., Ltd.
7. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) รุ่น ULM 600/1 จากบริษัท Memmert Co., Ltd.
8. เครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic machine) รุ่น Wise clean จากบริษัท Wisd Co., Ltd.
9. หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) รุ่น JSAC-60 จากบริษัท JS Research Inc. ประเทศเกาหลีใต้
10. ตู้แช่แข็ง รุ่น DW-40L92 จากบริษัท Haier ประเทศจีน
11. เครื่องทำความแห้งแบบเยือกแข็ง รุ่น Coolsafe 110-4 จากบริษัท Scan Vac ประเทศเดนมาร์ก
12. ขวดตูแรน (Duran bottle) ขนาด 500 ml
13. ถาดพลาสติก (Propylene tray) ขนาด 13 x 22 cm.
14. เวอร์เนีย (Vernier)
15. เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น LEO 1455VP จากบริษัท ZEISS ประเทศเยอรมนี
16. เครื่องวัดการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometry, XRD) รุ่น XRD-6100 จากบริษัท Shimadzu
17. เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน (Thermo gravimetric analyzer, TGA) รุ่น TGA/DSC 3+ จากบริษัท Mettler Toledo
18. เครื่อง FT-IR สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR Spectrophotometer) รุ่น IRTracer-100 จากบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น
19. เครื่องทดสอบเบรกประสม (Universal testing machine) รุ่น LR5k จากบริษัท Lloyd Instrument ประเทศสหรัฐอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 คำโครงการดำเนินงานวิจัย

แผนผังการดำเนินงานวิจัย แสดงได้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การตัดแปรแป้งโดยใช้ความร้อนขึ้น

1. อบไล่ความชื้นแป้งที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
2. ปรับความชื้นแป้งให้มีความชื้นร้อยละ 20 โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$\text{ความชื้น (\%)} = (W_e - W_0)/W_0 \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ W_e = น้ำหนักแป้งที่มีความชื้นร้อยละ 20

W_0 = น้ำหนักแป้งที่มีความชื้นร้อยละ 0

3. บรรจุแป้งที่ปรับความชื้นในขวดดูแรน
4. ใส่ขวดดูแรนที่บรรจุแป้งแล้วลงในหม้อนึ่งความดันไอน้ำ โดยใช้อุณหภูมิที่ 120 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. บดแป้งที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนความชื้นให้ละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 35

3.3.3 การสกัดเมือกแป้ง

1. แช่เม็ดแป้งในน้ำกลั่นในสัดส่วนน้ำหนักเม็ดแป้งต่อน้ำกลั่น 1:50 ที่อุณหภูมิห้องจนเมล็ดพองตัวเต็มที่โดยใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง
2. ปั่นเมล็ดที่พองตัวเต็มที่ด้วยเครื่องปั่น 1 นาที เพื่อแยกเมือกออกจากผิวของเม็ดแป้ง
3. ทำการเซนทริฟิวจ์เมือกที่ผ่านการปั่นเพื่อแยกเศษเมล็ดออกจากเมือกที่ความเร็ว 7000 rpm เวลา 3 นาที
4. นำเมือกแป้งที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C จะเมือกแป้งแห้ง
5. ปั่นให้เป็นผง และเก็บในที่ปราศจากความชื้น เตรียมสำหรับการทดลองในขั้นต่อไป

3.3.4 การเตรียมวัสดุปิดแผลจากแป้งตัดแปรโดยความร้อนผสมเมือกแป้ง

1. ละลายเมือกแป้งแห้งในน้ำกลั่นตามอัตราส่วนในตารางที่ 3.5
2. ปั่นกวนสารละลายจากข้อ 1 ด้วยเครื่องปั่นกวนที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 30 นาที
3. ละลายแป้งตัดแปรและกลีเซอรอลในน้ำกลั่นตามอัตราส่วนในตารางที่ 3.5
4. ปั่นกวนสารละลายจากข้อ 3 ด้วยเตาแม่เหล็กปั่นกวนจนถึงอุณหภูมิก่อนเกิดเจล (Pre-gelatinization) ประมาณ 70 °C
5. ผสมสารละลายจากข้อ 4 ลงในสารละลายในข้อ 2
6. ปั่นกวนต่อที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ลดความเร็วในการปั่นกวนใน 5 นาทีสุดท้ายให้อยู่ในระดับต่ำเพื่อลดการเกิดฟองอากาศในชิ้นงาน

8. เทสารละลายลงในภาตพลาสติกเพื่อหล่อขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม เกลี่ยสารละลายให้สม่ำเสมอทั่วภาต

9. อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 14 ชั่วโมง หรือจนกว่าแผ่นฟิล์มจะแห้ง

10. พักแผ่นฟิล์มปิดแผลให้เย็นตัวลง จากนั้นทำการลอกแผ่นออกจากภาตพลาสติกและเก็บในที่ปราศจากความชื้น

11. ทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของแผ่นฟิล์มปิดแผล เลือกสูตรที่ดีที่สุดเพื่อทำการเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิก

3.3.5 การเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกของวัสดุปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยความร้อนชั้นผสมเมือกแมงลัก

1. เตรียมสารละลายจากแป้งดัดแปรผสมเมือกแมงลักตามขั้นที่ 1-6 ในข้อที่ 3.3.4
2. เติมสารละลายกรดซัคซินิก 1 ml ลงในสารละลายจากแป้งดัดแปรผสมเมือกแมงลักและปั่นกวนต่อ 30 นาที (การเตรียมสารละลายกรดซัคซินิกสามารถศึกษาได้ในภาคผนวก ก)
3. ทำตามขั้นตอนที่ 7-11 ในข้อที่ 3.3.4
4. ทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของแผ่นฟิล์ม เลือกสูตรที่ดีที่สุดเพื่อเพิ่มสมบัติการต้านเชื้อจุลินทรีย์ในขั้นตอนต่อไป

3.3.6 การเพิ่มสมบัติการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกให้วัสดุปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยการใช้ความร้อนชั้นผสมเมือกแมงลักที่ผ่านการเชื่อมขวาง

1. เตรียมสารละลายจากแป้งดัดแปรผสมเมือกแมงลักและกรดซัคซินิกตามขั้นที่ 1-2 ในข้อที่ 3.3.5
2. เติมสารละลายกรดไกลโคลิก 5 ml ลงในสารละลายจากแป้งดัดแปรผสมเมือกแมงลักที่ได้จากข้อ 3.3.5 และปั่นกวนต่อ 30 นาที (การเตรียมสารละลายกรดไกลโคลิกสามารถศึกษาได้ในภาคผนวก ก)
4. ทำตามขั้นตอนที่ 7-11 ในข้อที่ 3.3.5
5. ทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของแผ่นฟิล์ม สรุปลงและอภิปรายผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ปริมาณส่วนผสมในแต่ละสูตร

ที่	ชื่อตัวอย่าง	องค์ประกอบ							
		แป้ง (T)		เมือกแมงลัก (BSM)		กรดซัคซินิก (SA)		กรดไกลโคลิก (GA)	
		%w/w	g	%w/w	g	%w/w	g	%w/w	g
1	HMT-0BSM	100	5	-	-	-	-	-	-
2	HMT-10BSM	90	4.5	10	0.5	-	-	-	-
3	HMT-20BSM	80	4	20	1	-	-	-	-
4	HMT-30BSM	70	3.5	30	1.5	-	-	-	-
5	HMT-40BSM	60	3	40	2	-	-	-	-
6	HMT-50BSM	50	2.5	50	2.5	-	-	-	-
7	0HMT-BSM	-	-	100	5	-	-	-	-
8	HMT-30BSM-0.25SA	70	3.5	30	1.5	0.25	0.0125	-	-
9	HMT-30BSM-0.50SA	70	3.5	30	1.5	0.50	0.0250	-	-
10	HMT-30BSM-1.00SA	70	3.5	30	1.5	1.00	0.0500	-	-
11	HMT-30BSM-0.50SA-15GA	70	3.5	30	1.5	0.50	0.0250	15	0.75
12	HMT-30BSM-0.50SA-20GA	70	3.5	30	1.5	0.50	0.0250	20	1.00
13	HMT-30BSM-0.50SA-25GA	70	3.5	30	1.5	0.50	0.0250	25	1.25

ตารางที่ 3.5 ปริมาณส่วนผสมในแต่ละสูตร (ต่อ)

ที่	ชื่อตัวอย่าง	องค์ประกอบ							
		แป้ง (ST)		เมือกแมงลัก (BSM)		กรดซัคซินิก (SA)		กรดไกลโคลิก (GA)	
		%w/w	g	%w/w	g	%w/w	g	%w/w	g
14	NST-30BSM	70	3.5	30	1.5	-	-	-	-
15	NST-30BSM-0.50SA	70	3.5	30	1.5	0.50	0.0250	-	-
16	NST-30BSM-0.50SA-15GA	70	3.5	30	1.5	0.50	0.0250	15	0.75

หมายเหตุ:

- ทุกตัวอย่างละลายในน้ำกลั่น 250 ml
- ทุกตัวอย่างใช้กลีเซอรอล 1.5 g
- น้ำหนักของแข็งสุทธิ 5 g
- NST คือ แป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการดัดแปร
- HMT คือ แป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการดัดแปรโดยความร้อน

3.4 การทดสอบสมบัติต่าง ๆ

3.4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

(Attenuated Total reflectance; ATR)

การวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและศึกษาโครงสร้างของโมเลกุล โดยนำแผ่นฟิล์มขนาด $1 \times 1 \text{ in}^2$ วางบนแผ่น ATR prism ทำการวิเคราะห์ที่ช่วงคลื่นที่ $4000\text{-}700 \text{ cm}^{-1}$ ทำการสแกน 45 ครั้งต่อตัวอย่าง ที่ความละเอียด 4 cm^{-1}

3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer; XRD)

การวิเคราะห์หาปริมาณผลึกของชิ้นงานโดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ตกกระทบระนาบผลึกที่มุมต่าง ๆ ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer ซึ่งใช้ $\text{CuK}\alpha$ ใช้ความยาวคลื่นเท่ากับ 1.64 \AA การหาร้อยละความเป็นผลึกทำได้โดยใช้ขนาดมุมตกกระทบของพื้นที่ได้พิคทั้งหมด (Net area) คือ $2\theta = 5\text{-}50$ องศา ด้วยอัตราเร็ว 1 องศา/นาที และพื้นที่ที่สนใจ (Raw area) คือ $2\theta = 10\text{-}30$ องศา โดยสมการที่ 3.2 ใช้ในการคำนวณหาร้อยละความเป็นผลึกของชิ้นงาน

$$\% \text{ Crystallinity} = (\text{Raw area} / \text{Net area}) \times 100 \quad (3.2)$$

3.4.3 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)

วิเคราะห์สัณฐานวิทยาโดยใช้วิเคราะห์จากภาคตัดขวางของชิ้นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งชิ้นงานตัวอย่างเตรียมได้จากการหักไนไนโตรเจนเหลวจากนั้นเคลือบพื้นที่หน้าตัดด้วยอนุภาคทองคำก่อนนำเข้าเครื่องทดสอบเพื่อศึกษาลักษณะของพื้นผิวชิ้นงาน

3.4.4 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analysis; TGA)

การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารตัวอย่างโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน สามารถเตรียมตัวอย่างโดยการตัดตัวอย่างและชั่งน้ำหนักประมาณ 10 mg ลงในภาชนะ และทำการวิเคราะห์ภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจน โดยวิเคราะห์ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ $30\text{-}600 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ด้วยอัตราการให้ความร้อนที่ $10 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

การทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน โดยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine) ตามมาตรฐาน ASTM D882-02 ควบคุมสถานะของชิ้นที่อุณหภูมิ 23 °C และความชื้นสัมพัทธ์ $60 \pm 5 \%$

สถานะที่ใช้ในการทดสอบ

- | | |
|-----------------------------------|-----------|
| 1. ความเร็วที่ใช้ดึง (Test speed) | 50 mm/min |
| 2. ระยะทดสอบ (Gauge length) | 50 mm |
| 3. โหลดเซลล์ (Load cell) | 10 N |

ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) หรือค่าความเค้นสูงสุด (Maximum stress) ของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง คำนวณจาก

$$\text{Tensile strength (MPa)} = F/A \quad (3.3)$$

เมื่อ F คือ แรงสูงสุดที่ใช้ในการดึงชิ้นงาน (N)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (mm^2)

เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) คำนวณจาก

$$\text{Elongation at break (\%)} = 100 \times [(L-L_0)/L_0] \quad (3.4)$$

เมื่อ L คือ ความยาวสุดท้ายของชิ้นงาน (mm)
 L_0 คือ ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน (mm)

3.4.6 การทดสอบความสามารถในการบวมน้ำ (Free swell absorption)

การทดสอบการบวมตัวของชิ้นงานสามารถทำได้โดยการใช้ชิ้นงานที่มีขนาด $20 \times 20 \text{ mm}^2$ ตัวอย่างละ 3 ชิ้น นำแผ่นฟิล์มปิดแผลขนาด $20 \times 20 \text{ mm}^2$ วางลงบนตะแกรงกรองขนาด $4 \times 4 \text{ cm}^2$ นำตะแกรงกรองพร้อมแผ่นฟิล์มปิดแผลไปแช่น้ำหนักก่อนทำการทดสอบ จากนั้นวางตะแกรงกรองพร้อมแผ่นฟิล์มปิดแผลลงบนฟองน้ำที่ดูดซึมน้ำในสภาพไว้ ทำการชั่งชิ้นงานและบันทึกน้ำหนักทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนครบ 6 ชั่วโมง และชั่งอีกครั้งที่ 24 ชั่วโมง โดยชั่งน้ำส่วนเกินด้วยกระดาษซับน้ำก่อนชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำค่าไปคำนวณร้อยละการบวมน้ำ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 3.5

$$\text{FSA (\%)} = (M_0 - M_1)/M_0 \times 100 \quad (3.5)$$

เมื่อ M_1 คือ น้ำหนักของชิ้นงานเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M_0 คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนการทดลอง

3.4.7 การทดสอบสัดส่วนเจล (Gel fraction)

การทดสอบสัดส่วนเจล ของแผ่นฟิล์มปิดแผลสามารถทำได้โดยการนำชิ้นงานขนาด $20 \times 20 \text{ mm}^2$ ชั่งน้ำหนักก่อนทำการทดสอบและนำไปแช่ในน้ำกลั่นและทำการเขย่าเป็น 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการกรองเอาเศษแผ่นฟิล์มปิดแผลที่เหลืออยู่เพื่อนำไปอบแห้งและชั่งน้ำหนักหลังการทดลอง โดยร้อยละการละลายสามารถคำนวณได้โดยสมการที่ 3.6

$$\text{Water solubility (\%)} = W_1/W_0 \times 100 \quad (3.6)$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของชิ้นงานแห้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

W_0 คือ น้ำหนักของชิ้นงานแห้งก่อนการทดลอง

3.3.8 การทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate; WVTR)

การทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ทดสอบโดยวิธี Desiccant method ตามมาตรฐาน ASTM E96 โดยการนำตัวอย่างชิ้นงานแผ่นวงกลมวางปิดผลึกกลบนถ้วยที่บรรจุซิลิกาเจล 20 g โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณฝาถ้วยประมาณ 0.002 m^2 แล้วนำไปวางในเดซิเคเตอร์ที่มีสารละลายอิ่มตัวของ NaCl ควบคุมสถานะความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 75% ที่อุณหภูมิ $38 \text{ }^\circ\text{C}$ ชั่งน้ำหนักถ้วยซิลิกาเจลทุก ๆ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง สมการที่ 3.7 แสดงการคำนวณค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

$$\text{WVTR} = \Delta m / \Delta t \cdot A \quad (3.7)$$

เมื่อ WVTR คือ อัตราการถ่ายเทไอน้ำ ($\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)

Δm คือ น้ำหนักที่ชั่งได้ในแต่ละวัน (g/day)

Δt คือ เวลาในการทดสอบ (day)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ (m^2)

3.3.9 การทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของชิ้นงาน (Antimicrobial testing)

การทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของชิ้นงานโดยวิธีการตรวจวัดร้อยละการลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ (Percentage of reduction) ตามมาตรฐาน JIS Z 2801 กับแบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Staphylococcus aureus (แกรมบวก) และ *Escherichia coli* (แกรมลบ) ทำได้ได้โดยการนำแผ่นฟิล์มปิดแผลละลายในน้ำกลั่นแล้วจึงนำไปทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียทั้งสองแกรม ทำการบ่มเชื้อ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 37 °C ความชื้น 90 %RH ซึ่งเป็นสภาวะที่แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดี จากนั้นทำการตรวจวัดจำนวนเชื้อแบคทีเรียที่เจริญเติบโตและคำนวณหาค่าร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย

$$\text{Reduction (\%)} = ((B-A) \times 100)/B \quad (3.8)$$

เมื่อ	A	คือ Log CFU per milliliter แบคทีเรียหลังการทดสอบ (24 ชั่วโมง)
	B	คือ Log CFU per milliliter แบคทีเรียก่อนการทดสอบ (0 ชั่วโมง)

3.3.10 การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ (Cytotoxicity)

การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ของชิ้นงานสามารถวิเคราะห์ได้จากการวิเคราะห์ MTT กับเซลล์ Keratinocytes (HaCaT) ของมนุษย์ ชิ้นงานจะถูกแช่ในสารละลายเกลือบัฟเฟอร์ฟอสเฟตที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นตัวอย่างที่แช่แล้วจะถูกกรองออกและนำสารละลายที่กรองได้เตรียมเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยการเติม DMEM (Dulbecco's Modified Eagle Medium) แล้วนำไปผสมในอาหารของ DMEM ที่เติมด้วย 10% FBS (Fetal Bovine Serum) และ ปิเปตต์ลงในถาดหลุม (96-well plate) ปริมาตร 100 µl จากนั้นปิเปตต์ HaCaT cell culture 100 µl ซึ่งมีเซลล์ HaCaT 1×10^5 cell/ml เติมนำอาหารเลี้ยงเชื้อ DMEM ข้างต้น ทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากครบ 24 ชั่วโมง ทำการเติมสารละลาย MTT ปริมาตร 10 µl (ความเข้มข้น 5 mg/ml) เพิ่มเข้าไปในหลุมและบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C อีก 4 ชั่วโมง จากนั้นละลายผลึกฟอร์มazan (Formazan crystal) ที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายผสม DMSO 100%: สารละลาย SDS 10% ปริมาตร 100 µl และนำสารละลายสีม่วงที่เกิดขึ้น 100 µl เติมนำเข้าไปในถาดหลุมใหม่ วัดค่า Optical density (OD) ที่ความยาวคลื่น 570 nm คำนวณค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ได้จากสมการที่ 3.9

$$\text{ร้อยละการมีชีวิตรอด} = (A-B/A) \times 100 \quad (3.9)$$

เมื่อ	A	คือ	ค่าการดูดกลืนแสงของหลุมควบคุม
	B	คือ	ค่าการดูดกลืนแสงของหลุมตัวอย่าง

โดยค่าร้อยละการมีชีวิตรอดสามารถอธิบายได้ ดังนี้ (Zepon et al. 2019)

> 80 %	หมายถึง	ไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์
60-80%	หมายถึง	มีความเป็นพิษต่อเซลล์เล็กน้อย
40-60%	หมายถึง	มีความเป็นพิษต่อเซลล์ปานกลาง
< 40%	หมายถึง	มีความเป็นพิษต่อเซลล์รุนแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.11 วิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้ Tukey's test เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ($p < 0.05$) ด้วยโปรแกรมคำนวณทางสถิติ IBM® SPSS® Statistics 28

3.3.12 การประเมินโดยการให้คะแนนแบบ Rubric score

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำการประเมินโดยการให้คะแนนแบบ Rubric score มาพิจารณา ร่วมกับการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยแบ่งคะแนนออกเป็น 4 ระดับ คือ 1 2 3 และ 4 โดยที่ 1 หมายถึง คะแนนน้อยที่สุด และ 4 หมายถึง คะแนนมากที่สุด โดยการแบ่งช่วงการให้คะแนนในแต่ละช่วงสามารถทำได้โดยการนำผลต่างของค่าการทดสอบที่มากที่สุดและน้อยที่สุดมาหารด้วยจำนวนระดับการให้คะแนน แสดงดังสมการที่ 3.10 (ฉัตรศิริ 2544)

$$R = M - m/n \quad (3.10)$$

เมื่อ R = ระยะห่างของคะแนนในแต่ละระดับ

M = ค่าการทดสอบที่มีค่ามากที่สุด

m = ค่าการทดสอบที่มีค่าน้อยที่สุด

n = จำนวนช่วงของระดับคะแนน

โดยสามารถแสดงได้ดังตัวอย่าง

กำหนดให้ ค่าการทดสอบที่มากที่สุด (M) เท่ากับ 5
 ค่าการทดสอบที่น้อยที่สุด (m) เท่ากับ 1
 จำนวนช่วงของระดับคะแนน (n) เท่ากับ 4

สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} R &= 5 - 1/4 \\ &= 1 \end{aligned}$$

ดังนั้น ระยะห่างของคะแนนในแต่ละระดับ (R) มีค่าเท่ากับ 1 จากนั้นนำค่า R มาบวกกับค่า m จะได้ช่วงคะแนนในระดับที่ 1 (L_1) แสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} L_1 &= R + m \\ &= 1 + 1 = 2 \end{aligned} \quad (3.11)$$

ดังนั้น ช่วงคะแนนในระดับที่ 1 จะมีค่าระหว่าง 1-2 กล่าวคือ ค่าการทดสอบที่อยู่ระหว่าง 1-2 จะได้คะแนนเท่ากับ 1 และช่วงคะแนนในระดับที่ 2 3 และ 4 (L_2 L_3 และ L_4) จะสามารถคำนวณได้จาก การนำค่า L_1 L_3 และ L_4 บวกกับค่า R และสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างการกำหนดค่าทดสอบ

ค่าการทดสอบ	คะแนน
1-2	1
2-3	2
3-4	3
4-5	4

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลัก จากนั้นเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกและเพิ่มความสามารถในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิก ในการทดลองแบ่งออกเป็น 4 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 ศึกษาและเปรียบเทียบผลของเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ตอนที่ 2 ศึกษาและเปรียบเทียบผลของการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีต่อสมบัติของฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและเมือกแมงลัก ตอนที่ 3 ศึกษาและเปรียบเทียบผลของสารต้านเชื้อจุลินทรีย์จากกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อสมบัติของฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและเมือกแมงลักที่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมี และตอนที่ 4 ศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งที่ผ่านการดัดแปรและไม่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ซึ่งได้รายงานผลและอภิปรายผลการทดลองจากการทดสอบ ดังนี้ โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันทางเคมี ความเป็นผลึก สัณฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน สัดส่วนเจล อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ความสามารถในการบวมน้ำ สมบัติเชิงกล การต้านเชื้อจุลินทรีย์ และความเป็นพิษต่อเซลล์

ตารางที่ 4.1 อักษรย่อสูตรต่าง ๆ ของฟิล์มปิดแผล

ลำดับ	ชื่อตัวอย่าง	ความหมาย
1	HMT-0BSM	แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ดัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้น 100 %w/w
2	HMT-10BSM	แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ดัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้น ผสมเมือกเม็ดแมงลัก 10 %w/w
3	HMT-20BSM	แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ดัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้น ผสมเมือกเม็ดแมงลัก 20 %w/w
4	HMT-30BSM	แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ดัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้น ผสมเมือกเม็ดแมงลัก 30 %w/w
5	HMT-40BSM	แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ดัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้น ผสมเมือกเม็ดแมงลัก 40 %w/w

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 อักษรย่อสูตรต่าง ๆ ของฟิล์มปิดแผล (ต่อ)

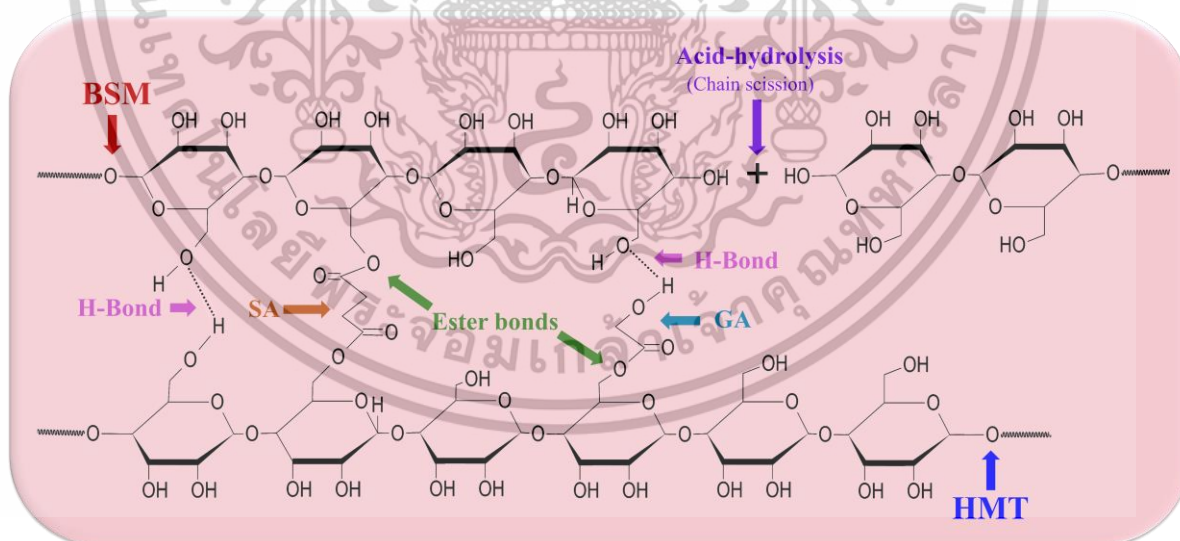
ลำดับ	ชื่อตัวอย่าง	ความหมาย
6	HMT-50BSM	แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้น ผสมเมือกเม็ดแมงลัก 50 %w/w
7	OHMT-BSM	แผ่นฟิล์มปิดแผลจากเมือกแมงลัก 100 %w/w
8	HMT-30BSM-0.25SA	แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้น ผสมเมือกเม็ดแมงลัก 30 %w/w และเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกความเข้มข้น 0.50 %w/w
9	HMT-30BSM-0.50SA	แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้น ผสมเมือกเม็ดแมงลัก 30 %w/w และเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกความเข้มข้น 0.50 %w/w
10	HMT-30BSM-1.00SA	แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้น ผสมเมือกเม็ดแมงลัก 30%w/w และเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกความเข้มข้น 1.00 %w/w
11	HMT-30BSM-0.50SA-15GA	แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้น ผสมเมือกเม็ดแมงลัก 30 %w/w เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกความเข้มข้น 0.50 %w/w และเติมกรดไกลโคลิกความเข้มข้น 15 %w/w
12	HMT-30BSM-0.50SA-20GA	แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้น ผสมเมือกเม็ดแมงลัก 30 %w/w และเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกความเข้มข้น 0.50 %w/v และเติมกรดไกลโคลิกความเข้มข้น 20 %w/w
13	HMT-30BSM-0.50SA-25GA	แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ตัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้น ผสมเมือกเม็ดแมงลัก 30 %w/w และเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกความเข้มข้น 0.50 %w/v และเติมกรดไกลโคลิกความเข้มข้น 25 %w/w
14	NST-30BSM	แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการตัดแปรผสมเมือกเม็ดแมงลัก 30 %w/w

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 อักษรย่อสูตรต่าง ๆ ของฟิล์มปิดแผล (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อตัวอย่าง	ความหมาย
15	NST-30BSM-0.50SA	แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการตัดแปรผสมเมือกเม็ดแมงลัก 30 %w/w และเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกความเข้มข้น 0.50 %w/w
16	NST-30BSM-0.50SA-15GA	แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการตัดแปรผสมเมือกเม็ดแมงลัก 30%w/w เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกความเข้มข้น 0.50 %w/w และเติมกรดไกลโคลิกความเข้มข้น 15 %w/w

ขั้นตอนแรกการเตรียมแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้นและเมือกแมงลัก จากนั้นทำการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกที่ประกอบไปด้วยหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลจำนวน 2 หมู่และเพิ่มความสามารถในการต้านเชื้อจุลินทรีย์จากกรดไกลโคลิก อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่างองค์ประกอบทางเคมีของสารแต่ละชนิดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการเตรียมแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีความร้อนผสมกับเมือกแมงลักที่ไม่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกและใช้สารต้านเชื้อจุลินทรีย์จากกรดไกลโคลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการผสมกันระหว่างแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นกับเมือกแมงลักคาดว่าอาจทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) ของทั้งสององค์ประกอบ สำหรับการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัลฟูริกที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลที่คาดว่าจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของทั้งแป้งมันสำปะหลังและเมือกแมงลักเกิดเป็นพันธะเอสเทอร์ได้ การใช้สารต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกอาจทำให้เกิดพันธะเอสเทอร์เช่นเดียวกัน เนื่องจากกรดไกลโคลิกประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของแป้งมันสำปะหลังและเมือกแมงลักได้ นอกจากนี้การใช้กรดซัลฟูริกและกรดไกลโคลิกอาจทำให้สายโซ่ของพอลิแซ็กคาไรด์ถูกตัดที่พันธะไกลโคซิดิกจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

4.1 ผลของเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อสมบัติของฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้น

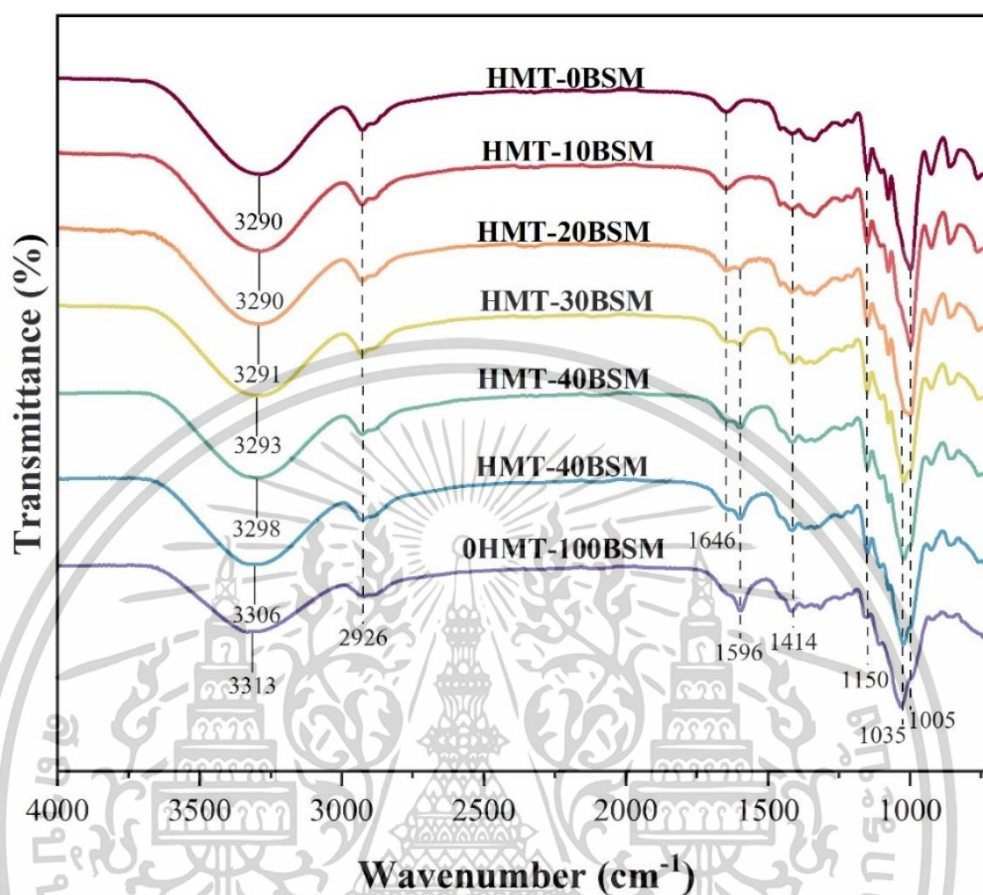
ผลการทดสอบของสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่มีส่วนผสมของเมือกแมงลักที่แตกต่างกัน โดยในงานวิจัยนี้ทำการผสมเมือกแมงลักในแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนที่ 5 ปริมาณ คือ 10 20 30 40 และ 50 %w/w โดยใช้ชื่อตัวอย่างว่า HMT-10BSM HMT-20BSM HMT-30BSM HMT-40BSM และ HMT-50BSM ตามลำดับ จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับฟิล์มปิดแผล HMT-0BSM (แป้งตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น 100 %w/w) และ 0HMT-100BSM (เมือกแมงลัก 100 %w/w) โดยสามารถแบ่งตามสมบัติได้ดังนี้

4.1.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค ATR

หลังจากทำการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีความร้อนผสมเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ ด้วยกระบวนการเทหล่อ จากนั้นทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค ATR ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 700 - 4000 cm^{-1} ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.2

จากรูปที่ 4.2 สามารถสังเกตเห็นได้ว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผลทุกตัวอย่างปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 3200 - 3400 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ O-H stretching ของหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของแป้งและเมือกแมงลัก พีกตำแหน่งที่ 2926 cm^{-1} แสดงการสั่นของพันธะ C-H stretching พีกตำแหน่งที่ 1646 cm^{-1} 1150 cm^{-1} และ 1005-1035 cm^{-1} แสดงถึงน้ำที่ถูกยึดไว้ (bound water) การสั่นของพันธะ C-C / C-O stretching และการสั่นของพันธะ C-O-H bending ตามลำดับ

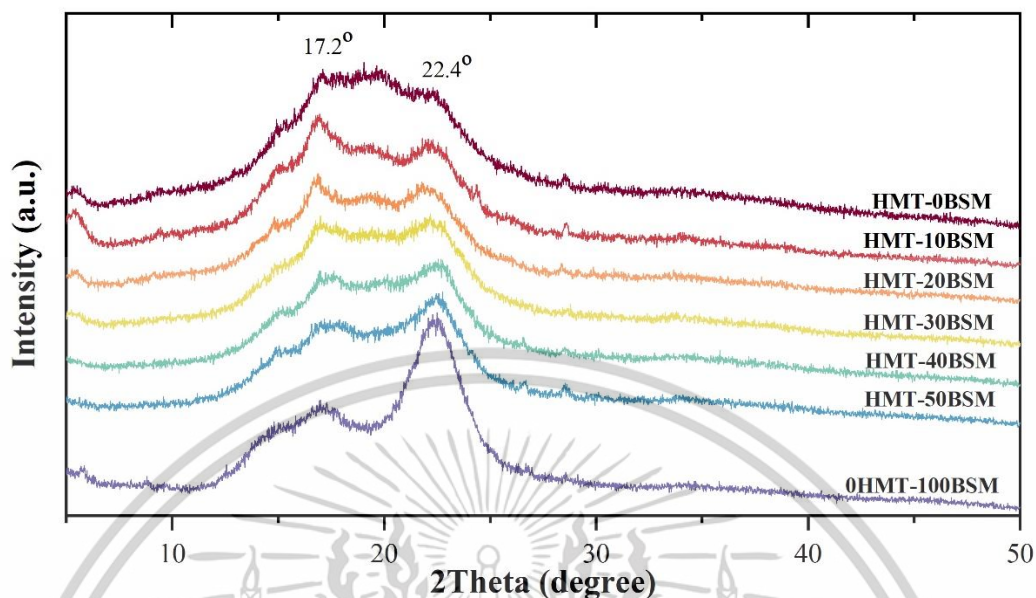
(Lomeli-Ramírez *et al.* 2014) หลังจากการเติมเมือกแมงลักลงในแผ่นฟิล์มปิดแผลพบว่าอินฟราเรด-สเปกตรัมปรากฏพีกเอกลักษณ์ของกรดยูโรนิกที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเมือกแมงลักที่ตำแหน่ง 1414 cm^{-1} และ 1596 cm^{-1} ที่เป็นการสั่นของ C=O symmetric และ asymmetric stretching ตามลำดับ (Naji-Tabasi *et al.* 2016; Hasan *et al.* 2023) โดยจะปรากฏชัดเจนที่ปริมาณเมือกแมงลักตั้งแต่ 20 %w/w เป็นต้นไป และมีความเข้มของพีกเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเมือกแมงลักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมือกแมงลักเข้าไปเป็นหนึ่งในองค์ประกอบของแผ่นฟิล์มปิดแผล นอกจากนี้แผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนผสมของเมือกแมงลักมีการสั่นของพันธะ O-H stretching ที่ตำแหน่งเลขคลื่นที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-OBMSM ซึ่งเกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ของพันธะไฮโดรเจนระหว่างแป้งและเมือกแมงลัก (Kondo *et al.* 1994; Fukuya *et al.* 2017) และปรากฏชัดเจนที่เมือกแมงลักปริมาณตั้งแต่ 20 %w/w เป็นต้นไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fukuya *et al.* ที่ทำการศึกษาผลของการเติมเส้นใยนาโนเซลลูโลสลงในพอลิเอทิลีนออกไซด์ พบว่าเมื่อเติมเส้นใยนาโนเซลลูโลสลงในพอลิเมอร์ส่งผลให้เลขคลื่นในตำแหน่งการสั่นของพันธะ OH-stretching มีค่าที่สูงขึ้น ซึ่งเกิดจากการที่มีการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของเส้นใยนาโนเซลลูโลสและพอลิเอทิลีนออกไซด์ (Fukuya *et al.* 2017)



รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแข็งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและเมือกแมงลัก ปริมาณต่าง ๆ

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลึกด้วยเทคนิค XRD

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกและปริมาณผลึกของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแข็งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ผสมเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ คือ 0 10 20 30 40 และ 50 %w/w โดยใช้เครื่อง X-ray diffractometer โดยใช้อัตราเร็ว 1° / นาที วิเคราะห์ $2\theta = 5 - 50^{\circ}$ ซึ่งใช้พื้นที่ได้กราฟในช่วง $2\theta = 10 - 30^{\circ}$ ในการคำนวณหาความเป็นผลึก ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ดิฟแฟร็กโทแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยความร้อนชื้นและเมือกแมงลัก ปริมาณต่าง ๆ

จากการทดสอบด้วยเทคนิค XRD สามารถแสดงดิฟแฟร็กโทแกรมดังรูปที่ 4.3 โดยแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-0BSM แสดงพีกที่ 2θ ณ ตำแหน่ง 17.2° และ 22.4° ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างผลึกของแป้งชนิด B (Pan *et al.* 2018) และมีค่าความเป็นผลึกที่ 24.41 % เมื่อเพิ่มส่วนผสมของเมือกแมงลักที่ 10 20 30 40 และ 50 %w/w โดยมีตำแหน่งพีกของดิฟแฟร็กโทแกรมของพีกไม่เปลี่ยนแปลง และค่าความเป็นผลึกมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 26.87 28.21 30.74 36.59 และ 38.31 % ตามลำดับ โดยค่าความเป็นผลึกที่เพิ่มขึ้นคาดว่าเกิดจากที่เมือกแมงลักมีค่าความเป็นผลึกที่สูง (43.97 %) กว่าแป้ง นอกจากนี้พีกที่ 2θ ณ ตำแหน่ง 22.4° มีความเข้มของพีกที่สูงขึ้นเมื่อปริมาณของเมือกแมงลักเพิ่มขึ้น โดยเป็นผลมาจากเอกลักษณ์ของเมือกแมงลักที่แสดงในรูปที่ 4.3 (Thessrimuang and Prachayawarakorn 2019b; Nazir and Wani 2022)

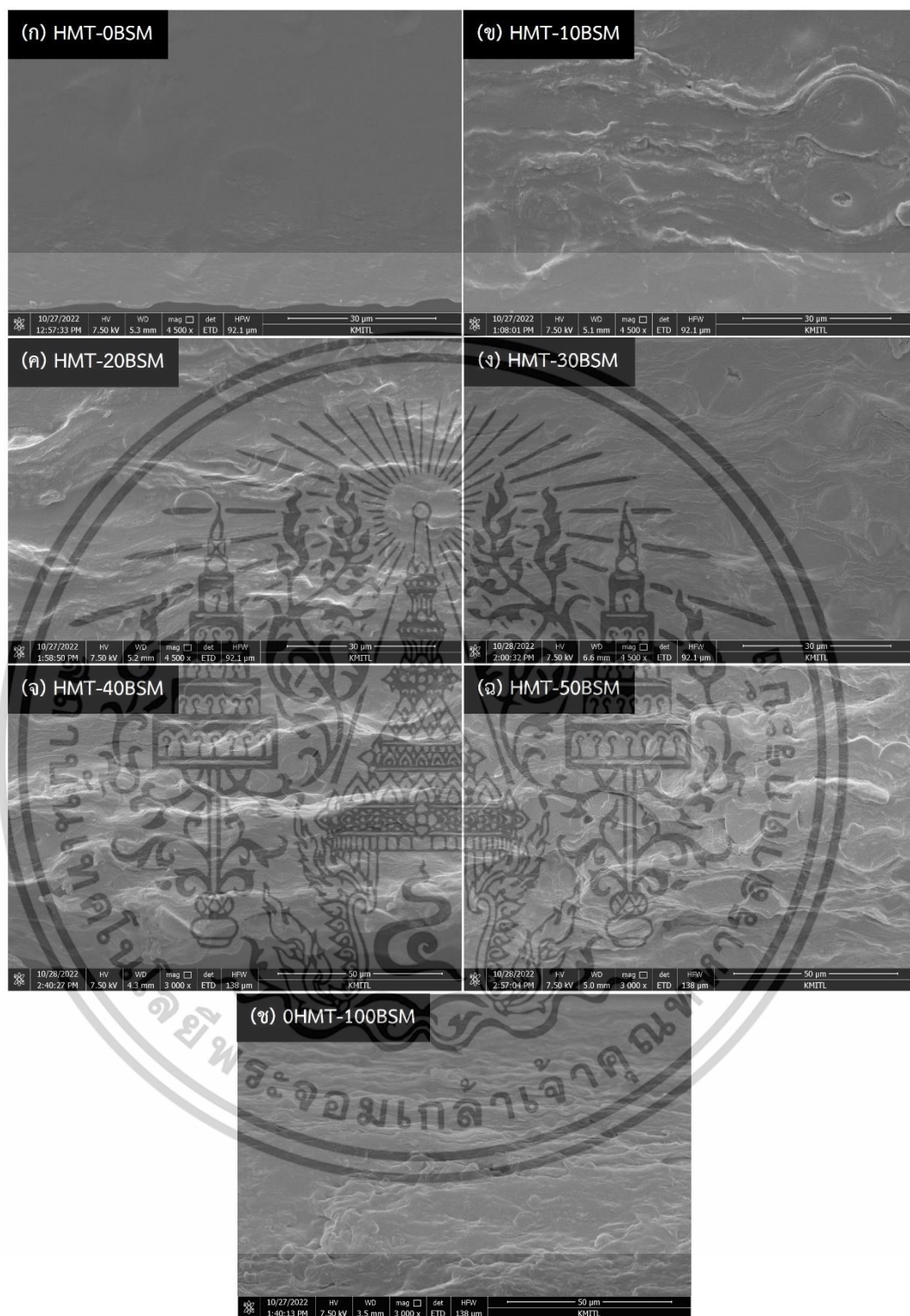
4.1.3 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM

การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-BSM ด้วยเทคนิค SEM โดยการหักชิ้นงานภายใต้ไนโตรเจนเหลวเพื่อให้ได้พื้นผิวของภาคตัดขวาง และนำไปเคลือบด้วยอนุภาคทองคำก่อนทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยกำลังขยาย 4500 เท่า โดยแสดงผลการวิเคราะห์และอภิปรายได้ดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพถ่ายภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.4 สามารถแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานในรูปที่ 4.4 (ก) HMT-0BSM ที่ไม่มีส่วนผสมของเมือกแมงลักมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันและมีความขรุขระเกิดขึ้นน้อย แต่เมื่อมีการผสมเมือกแมงลักในปริมาณ 10 20 30 40 และ 50 %w/w พบว่าพื้นผิวของชิ้นงานคงความเป็นเนื้อเดียวกันแต่มีความขรุขระเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตามลำดับ รวมถึงภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์มปิดแผล 0HMT-100BSM มีความขรุขระอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าเกิดจากการจับก้อนเจล (Gel coagulation) ซึ่งอาจเกิดจากหนืดที่สูง (Akbari and Ghoreishi 2017) เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลที่สูงของเมือกแมงลัก (Nazir and Wani 2022) รวมถึงอาจเกิดจากสิ่งแปลกปลอมในเมือกแมงลัก ซึ่งคาดว่าเป็นเศษผงของเม็ดแมงลักที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเตรียมเมือกแมงลักโดยการปั่นซึ่งยากที่จะกำจัด จึงส่งผลให้พื้นผิวมีขรุขระเพิ่มขึ้น





รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของชั้นงานฟิล์มติดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มี เมื่อกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ (ก) HMT-0BSM (ข) HMT-10BSM (ค) HMT-20BSM (ง) HMT-30BSM (จ) HMT-40BSM (ฉ) HMT-50BSM และ (ช) OHMT-100BSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ผลการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อน

การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและเมือกแมงลักด้วยเทคนิค TGA เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิการสลายตัวขององค์ประกอบภายในแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT HMT-BSM และ BSM โดยการสลายตัวทางความร้อนขององค์ประกอบภายในแผ่นฟิล์มปิดแผล แสดงได้ 3 ชั้น (แสดงดังรูปที่ 4.5-4.6) ได้แก่ ชั้นที่ 1 ช่วงอุณหภูมิที่ 50-100 °C คือ การระเหยของโมเลกุลน้ำ ชั้นที่ 2 ช่วงอุณหภูมิที่ประมาณ 230 °C คือ การสลายตัวทางความร้อนของเมือกแมงลัก และชั้นที่ 3 ช่วงอุณหภูมิที่ 255-340 °C คือ การสลายตัวทางความร้อนของสารประกอบแซคคารไรด์สายโซ่หลัก (แป้ง กลูโคแมนแนน ไสแลน และคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่น ๆ) (Hosseini and Nabid 2020; Amaraweera *et al.* 2021)

จากผลการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อนของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT พบว่ามีค่าการสลายตัวทางความร้อน 2 ชั้นตอน คือ การระเหยของโมเลกุลน้ำภายในโครงสร้างที่ 84.00 °C และ การสลายตัวทางความร้อนของแป้งมันสำปะหลังที่ 318.83 °C โดยภายหลังการเติมเมือกแมงลักลงไปบนแผ่นฟิล์มปิดแผลที่ ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50 %w/w พบว่าการเติมเมือกแมงลักลงในแผ่นปิดแผลส่งผลให้ปรากฏพีกการสลายตัวทางความร้อนใหม่เพิ่มขึ้น 1 ชั้น คือ ชั้นการสลายตัวทางความร้อนของเมือกแมงลักในช่วงอุณหภูมิประมาณ 219-240 °C (แสดงดังตารางที่ 4.2) เมื่อพิจารณาในชั้นที่ 3 ของการสลายตัวทางความร้อน (แป้งและเมือกแมงลัก) พบว่าเมื่อเติมเมือกแมงลักในปริมาณ 10-30 %w/w อุณหภูมิการสลายตัวชั้นที่ 3 มีค่าที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT ซึ่งการลดลงของอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนในชั้นที่ 3 คาดว่าเกิดจากการเติมเมือกแมงลักเนื่องจากค่าการสลายตัวทางความร้อนชั้นที่ 3 ของเมือกแมงลัก (OHMT-100BSM) มีค่าอยู่ที่ 306.67 °C

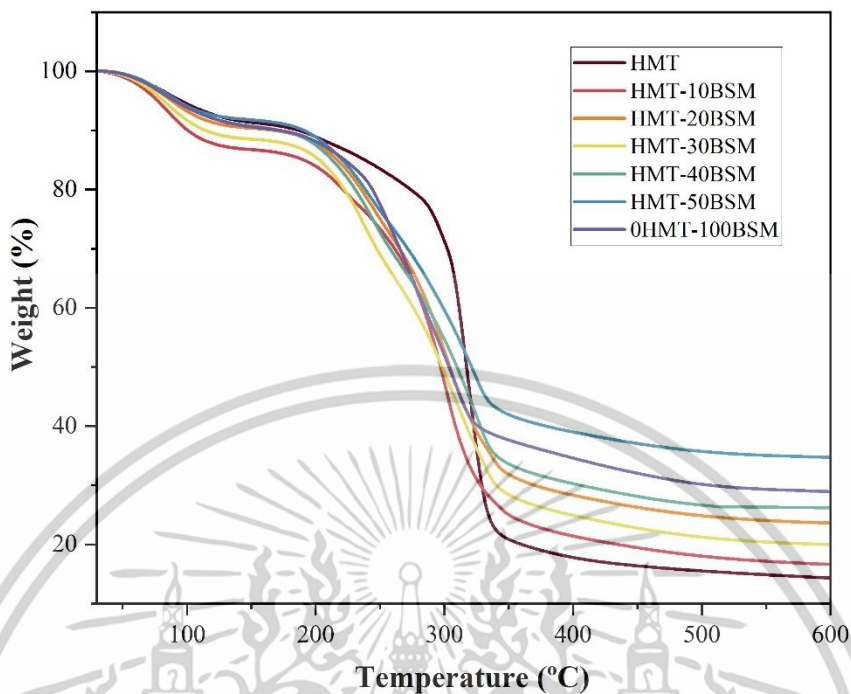
อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณเมือกแมงลักที่ 40 และ 50 %w/w พบว่าการสลายตัวทางความร้อนชั้นที่ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT ซึ่งอาจเกิดจากการเติมเมือกแมงลักในปริมาณที่มากขึ้นทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้เกิดการจัดเรียงของสายโซ่พอลิเมอร์และเกิดการจัดเรียงตัวของผลึกได้มากขึ้น (Zhang *et al.* 2007) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีที่ตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลเคลื่อนที่จาก 3290 cm^{-1} (แผ่นฟิล์ม HMT) เพิ่มขึ้นเป็น 3298 และ 3306 cm^{-1} สำหรับแผ่นฟิล์ม HMT-40BSM และ HMT-50BSM ตามลำดับ และสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความเป็นผลึกที่เปอร์เซ็นต์ความผลึกของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่เพิ่มขึ้นจาก

24.41% (แผ่นฟิล์ม HMT) สูงขึ้นเป็น 36.59 และ 38.31% สำหรับแผ่นฟิล์ม HMT-40BSM และ HMT-50BSM จึงส่งผลให้อุณหภูมิในการสลายตัวเพิ่มขึ้น

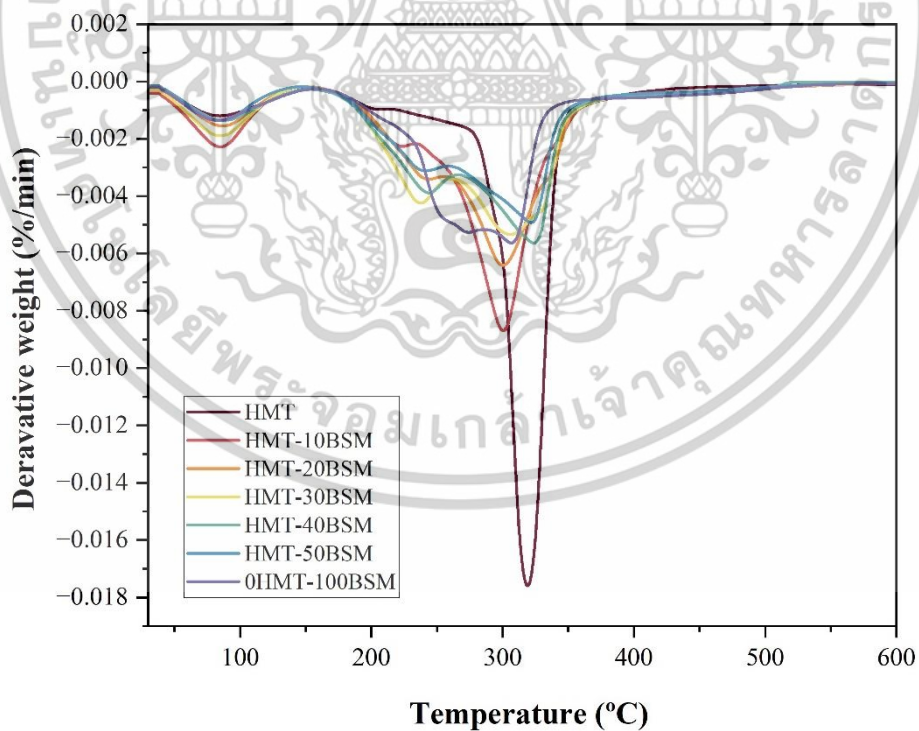
ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มี เมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ

แผ่นฟิล์มปิดแผล	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)		
	ขั้นที่ 1 (น้ำ)	ขั้นที่ 2 (เมือกแมงลัก)	ขั้นที่ 3 (แป้ง+เมือกแมงลัก)
HMT	84.00	-	318.83
HMT-10BSM	85.33	219.00	300.83
HMT-20BSM	86.67	237.50	301.83
HMT-30BSM	82.50	233.20	313.67
HMT-40BSM	87.00	240.33	325.17
HMT-50BSM	85.83	235.33	322.83
OHMT-100BSM	82.17	-	306.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 TGA เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ



รูปที่ 4.6 DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ผลการทดสอบต่อสมบัติความชอบน้ำ: สัดส่วนเจล อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และการบวมตัว

สมบัติเกี่ยวกับน้ำของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่ทำจากวัสดุทางชีวภาพมีความสำคัญอย่างมาก โดยแผ่นฟิล์มปิดแผลที่ดีควรมีการบวมตัว การดูดซึมของเหลวที่ดี โดยไม่มีการละลายขณะการใช้งาน รวมถึงควรมีการซึมผ่านของไอน้ำที่ดีด้วย จากตารางที่ 4.3 แสดงผลของการทดสอบค่าสัดส่วนของเจลของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่แสดงถึงความคงทนเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความชื้นสูงหรือสภาวะใช้งานจริง จากการทดสอบพบว่าแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-OBBSM มีค่าสัดส่วนเจลที่มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนผสมของเมือกแมงลักที่มีค่าสัดส่วนเจลที่น้อยกว่าและมีค่าลดลงตามปริมาณของเมือกแมงลักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากความชอบน้ำของเมือกแมงลักทำให้โมเลกุลของน้ำแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างแผ่นฟิล์มปิดแผลได้ง่ายขึ้น จึงส่งผลให้โครงสร้างของแผ่นฟิล์มปิดแผลถูกทำลาย ซึ่งสอดคล้องกับผลความชอบน้ำของแผ่นฟิล์มแบ่งผสมเมือกจากเมล็ด *Plantago psyllium* ที่มีการละลายเพิ่มขึ้น เนื่องจากความชอบน้ำโดยธรรมชาติของเมือกเมล็ด *Plantago psyllium* (Krystijan *et al.* 2017) อย่างไรก็ตามแผ่นปิดแผล OHMT-100BBSM ที่มีวิวิภาคของเมือกแมงลักเพียงอย่างเดียวมีค่าสัดส่วนเจลที่สูงกว่า HMT-50BBSM จากผลการทดสอบดังกล่าวคาดว่าเกิดจากโมเลกุลของน้ำไม่สามารถแทรกเข้าไปในโครงสร้างได้ทั้งหมด เนื่องจากความเป็นผลึกที่สูงของเมือกแมงลักในแผ่นฟิล์มปิดแผล OHMT-100BBSM ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความเป็นผลึกที่สูงของเมือกแมงลัก

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นปิดแผลจากแบ่งตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ผสมเมือกแมงลักในปริมาณที่แตกต่างกัน จากผลการทดสอบพบว่าแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-OBBSM มีอัตราการซึมผ่านไอน้ำที่ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแบ่งตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและเมือกแมงลัก โดยแผ่นฟิล์มปิดแผลมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีองค์ประกอบของเมือกแมงลักและมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเมือกแมงลักที่เพิ่มขึ้น จากผลการทดสอบสามารถอธิบายได้ว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการซึมผ่านของไอน้ำหลังจากการผสมเมือกแมงลักเป็นผลมาจากความชอบน้ำโดยธรรมชาติของเมือกแมงลักจึงส่งผลให้ไอน้ำสามารถซึมผ่านได้ง่ายขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มปิดแผล OHMT-100BBSM ที่มีเมือกแมงลักเป็นองค์ประกอบเพียงอย่างเดียว มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่ต่ำกว่าแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแบ่งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีผสมเมือกแมงลัก ซึ่งอาจเกิดการจากที่ OHMT-100BBSM มีค่าความเป็นผลึกที่สูงมากกว่าแผ่นฟิล์มปิดแผลดังกล่าว จึงส่งผลให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่ผ่านแผ่นฟิล์มปิดแผลได้ยากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Savandeker and Mhaske ทำการสังเคราะห์และศึกษาอิทธิพลของเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาโนเซลลูโลสต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มแข็ง โดยพบว่าเมื่ออนุภาคเส้นใยนาโนเซลลูโลสกระจายตัวอยู่ในแผ่นฟิล์มแข็ง ซึ่งสามารถทำหน้าที่ขัดขวางการซึมผ่านของไอน้ำ จึงส่งผลให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำลดลง (Savadekar and Mhaske 2012) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความเป็นผลึกและผลการทดสอบสัดส่วนเจลของแผ่นฟิล์มปิดแผล BSM

ผลการทดสอบการบวมตัวของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นผสมกับเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ พบว่าแผ่นฟิล์มปิดแผลทุกตัวอย่างมีค่าการบวมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 1 ชั่วโมงแรกและมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจนกระทั่งครบ 24 ชั่วโมง (แสดงดังตารางที่ 4.4) จากผลการบวมน้ำแสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-0BSM มีค่าการบวมน้ำที่ต่ำที่สุด โดยภายหลังการผสมเมือกแมงลักในแผ่นฟิล์มปิดแผล พบว่าเมื่อพิจารณาที่เวลาการทดสอบเดียวกันค่าการบวมตัวมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณเมือกแมงลักที่เพิ่มขึ้น โดยแผ่นฟิล์มปิดแผล OHMT-100BSM มีค่าการบวมตัวที่สูงที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบของกลูโคแมนแนน ไสเลนและกรดยูโรนิกในเมือกแมงลักที่มีความชอบน้ำ (Hosseini and Nabid 2020) ทำให้แผ่นฟิล์มปิดแผลมีความชอบน้ำเพิ่มขึ้นหลังจากผสมกับเมือกแมงลักเนื่องจากเมือกแมงลักสามารถเกิดอันตรกิริยากับน้ำได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างหมู่ฟังก์ชันและสัณฐานวิทยาที่ปรากฏเอกลักษณ์ของเมือกแมงลักในโครงสร้างของแผ่นฟิล์มปิดแผล

ตารางที่ 4.3 ค่าสัดส่วนเจลที่ 24 ชั่วโมงและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่เวลา 7 วันของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและเมือกแมงลักปริมาณต่าง ๆ

แผ่นฟิล์มปิดแผล	สัดส่วนเจล (%)	การซึมผ่านของไอน้ำ ($\text{g m}^{-2} \text{day}^{-1}$)
HMT-0BSM	56.99 ± 3.20^a	556.63 ± 7.58^a
HMT-10BSM	43.02 ± 4.92^b	596.68 ± 1.57^b
HMT-20BSM	30.18 ± 4.08^c	602.68 ± 2.87^b
HMT-30BSM	18.38 ± 1.92^d	619.75 ± 7.60^c
HMT-40BSM	14.37 ± 3.65^{de}	625.78 ± 0.97^c
HMT-50BSM	7.44 ± 3.00^{ef}	639.58 ± 1.43^d
OHMT-100BSM	14.66 ± 1.82^{de}	599.33 ± 3.75^b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่. 4.4 ค่าการบวมน้ำที่ 1 – 6 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ

ค่าการบวมน้ำ (%)	แผ่นปิดแผล	เวลา (ชั่วโมง)						
		1	2	3	4	5	6	24
	HMT-0BSM	169.68±10.40 ^a	184.30±12.85 ^a	214.91±11.27 ^a	195.62±11.78 ^a	249.61±21.43 ^a	229.35±18.34 ^a	223.83±5.89 ^a
	HMT-10BSM	333.27±12.34 ^b	373.24±15.76 ^b	392.33±13.45 ^b	398.82±14.62 ^b	410.86±18.76 ^b	413.1±20.78 ^b	418.72±18.34 ^b
	HMT-20 BSM	373.91±14.23 ^b	417.61±12.45 ^b	442.89±12.78 ^b	465.99±12.45 ^b	484.03±20.12 ^{bc}	494.10±16.89 ^{bc}	488.09±20.12 ^b
	HMT-30BSM	513.44±1.79 ^c	589.28±16.72 ^c	599.54±15.62 ^c	595.13±13.45 ^c	587.65±16.89 ^c	585.80±22.15 ^c	569.99±0.43 ^b
	HMT-40BSM	796.68±13.45 ^d	932.61±14.28 ^d	974.62±18.34 ^d	1106.73±15.76 ^d	1187.54±23.56 ^c	1254.67±24.22 ^d	1570.67±22.15 ^c
	HMT-50BSM	946.13±14.78 ^e	1183.02±17.93 ^e	1245.27±16.89 ^e	1298.10±16.34 ^e	1361.02±24.67 ^d	1483.09±17.45 ^e	1702.23±21.98 ^c
	OHMT-100BSM	2138.66±80.37 ^f	3025.72±95.87 ^f	3646.09±142.56 ^f	4125.14±115.78 ^f	4522.14±86.43 ^e	4716.13±123.67 ^f	6086.72±156.22 ^d

4.1.6 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

การวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มปิดแผลถือว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากสมบัติเชิงกลควรเหมาะสมกับการใช้งานบริเวณบาดแผล จากตารางสมบัติเชิงกลที่ 4.5 ของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่มีเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ พบว่าแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-OBSM มีค่าความเค้น ณ จุดขาดและมอดุลัสที่ต่ำที่สุด แต่มีค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ที่สูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-OBSM มีความสามารถในการยืดที่สูงแต่มีความแข็งแรงที่ต่ำ ในทางตรงกันข้ามแผ่นฟิล์มปิดแผล OMHT-100BSM มีค่าความเค้น ณ จุดขาดและมอดุลัสที่สูงที่สุด แต่มีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดที่ต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มปิดแผลดังกล่าวมีความแข็งแรงแต่ยังมีความสามารถในการยืดตัว โดยผลการทดสอบสอดคล้องกับค่าความเป็นผลึกจากเทคนิค XRD โดยแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-OBSM มีค่าความเป็นผลึกที่ต่ำที่สุด (24.41%) และ OMHT-100BSM มีค่าความเป็นผลึกที่สูงที่สุด (43.97%)

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ผสมเมือกแมงลักในปริมาณต่าง ๆ พบว่ามีค่าความเค้น ณ จุดขาดและมอดุลัสที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณเมือกแมงลักที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดลดอย่างมีนัยสำคัญหลังจากเติมเมือกแมงลักแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมือกแมงลักสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-OBSM ได้ แต่ในขณะเดียวกันความสามารถในการยืดตัวลดลงเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นผลึกที่เพิ่มขึ้นหลังเติมเมือกแมงลักลงในแผ่นฟิล์มปิดแผล โดยผลการทดสอบของงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลการทดสอบของแผ่นฟิล์มเพคตินที่มีค่าความแข็งแรงและค่าความเป็นผลึกที่เพิ่มขึ้นหลังจากเติมนาโนเซลลูโลส (Chaichi *et al.* 2017) จึงสามารถอธิบายว่าค่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากความแข็งแรงและมีความเป็นผลึกที่สูงของเมือกแมงลัก นอกจากนี้ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลยังสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างหมู่ฟังก์ชันทางเคมีที่ปรากฏเอกลักษณ์ของกรดยูโรินิกที่เป็นองค์ประกอบของเมือกแมงลักในแผ่นฟิล์มปิดแผล และการเพิ่มขึ้นของตำแหน่งเลขคลื่นของ O-H stretching บ่งบอกว่าการเกิดพันธะไฮโดรเจน และผลสืบฐานวิทยาโดยผลการวิเคราะห์ของเทคนิค SEM สามารถระบุได้ว่าแผ่นฟิล์มปิดแผลมีเมือกแมงผสมเป็นเนื้อเดียวในโครงสร้างของแผ่นฟิล์มปิดแผลซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงกลตามรายงานผลการทดสอบ

ตารางที่ 4.5 สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ความเค้น ณ จุดขาด (MPa)	มอดุลัส (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
HMT-0BSM	1.52 ± 0.14 ^a	5.49 ± 1.10 ^a	187 ± 6 ^a
HMT-10BSM	3.70 ± 0.76 ^a	34.55 ± 3.04 ^b	14.09 ± 2.56 ^b
HMT-20BSM	6.02 ± 1.17 ^{ab}	46.44 ± 7.17 ^b	14.60 ± 2.50 ^b
HMT-30BSM	9.31 ± 1.50 ^{bc}	70.61 ± 6.94 ^c	12.17 ± 1.24 ^b
HMT-40BSM	11.68 ± 2.09 ^c	76.01 ± 6.16 ^c	12.20 ± 1.55 ^b
HMT-50BSM	13.22 ± 3.06 ^c	83.52 ± 13.73 ^c	12.18 ± 1.71 ^b
OHMT-100BSM	23.59 ± 4.45 ^d	607.73 ± 99.04 ^d	3.84 ± 1.21 ^c

จากการศึกษาผลของปริมาณของเมือกแมงลักต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มปิดแผล เมื่อพิจารณาผลการทดสอบในตอนต้นที่ 4.1 โดยทำการประเมินในแต่ละสูตรโดยการให้คะแนน (Rubric score) ตามภาคผนวก ข ร่วมกับพิจารณาผลทางสถิติโดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่าแผ่นปิดแผล HMT-30BSM มีความเหมาะสมที่จะนำไปวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มความคงทนต่อการใช้งานของแผ่นปิดแผลเมื่ออยู่ในสถานะที่มีความชื้นสูงหรือสภาวะใช้งานจริง

4.2 ผลของการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อสมบัติของฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นและเมือกแมงลัก

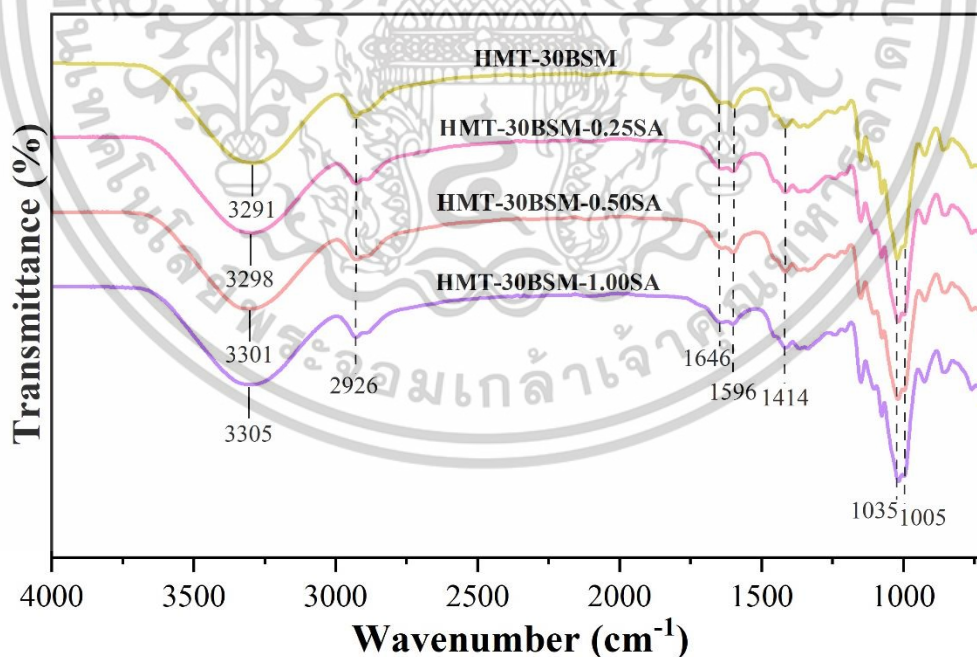
ผลการทดสอบของสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่มีส่วนผสมของเมือกแมงลักและเชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้ได้นำตัวอย่าง HMT-30BSM ปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้น มาทำการปรับปรุงสมบัติโดยการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัลฟูริก ปริมาณ 1 ml ที่ 3 ความเข้มข้น คือ 0.25 (0.0125 g) 0.50 (0.025 g) และ 1.00 (0.05 g) %w/w โดยใช้ชื่อตัวอย่าง HMT-30BSM-0.25SA HMT-30BSM-0.50SA และ HMT-30BSM-1.00SA ซึ่งมีปริมาณของกรดซัลฟูริกในแต่ละสูตรที่ 0.0125 0.0250 และ 0.0500 g ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM ที่ไม่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมี โดยสามารถแบ่งตามสมบัติได้ดังนี้

4.2.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค ATR

โดยทั่วไปการเติมกรดซัคซินิกเพื่อเชื่อมขวางทางเคมีเกิดพันธะเอสเทอร์จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของคาร์โบไฮเดรตและหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลของกรดซัคซินิก โดยแสดงพีกที่ตำแหน่งเลขคลื่นประมาณ 1735 cm^{-1} จากรูปที่ 4.7 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้น 0.25 %w/w 0.50 %w/w และ 1.00 %w/w พบว่าแผ่นปิดที่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมีไม่ปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 1735 cm^{-1} ที่บ่งชี้ถึงเอกลักษณ์ของพันธะเอสเทอร์ที่เกิดจากการเชื่อมขวางทางเคมี ซึ่งอาจจะเกิดจากปริมาณของกรดซัคซินิกที่ใช้ปริมาณต่ำเกินไปที่จะตรวจพบได้จากเทคนิค ATR อย่างไรก็ตามเส้นของพันธะ O-H stretching ของ HMT-30BSM-0.25SA HMT-30BSM-0.50SA และ HMT-30BSM-1.00SA มีการเคลื่อนที่ไปยังเลขคลื่น 3298 cm^{-1} 3301 cm^{-1} และ 3305 cm^{-1} ที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ HMT-30BSM (3291 cm^{-1}) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการจัดเรียงตัวขึ้นมาใหม่ของพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้าง

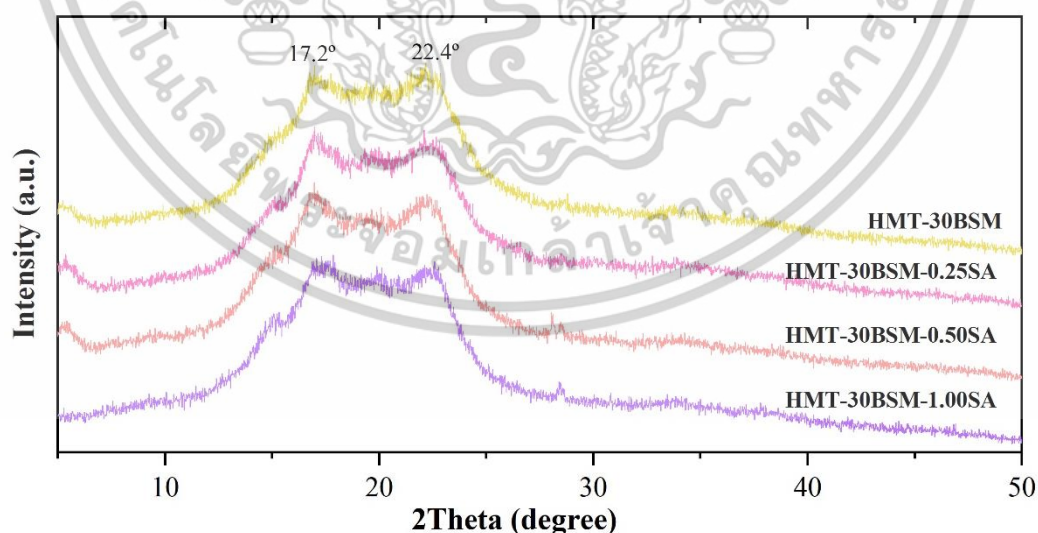


รูปที่ 4.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลึกด้วยเทคนิค XRD

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกและปริมาณผลึกด้วยเทคนิค XRD สามารถแสดงดิฟแฟรกโทแกรมดังรูปที่ 4.8 โดยแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM HMT-30BSM-0.25SA HMT-30BSM-0.50SA และ HMT-30BSM-1.00SA แสดงพีกที่ 2θ ณ ตำแหน่ง 17.2° และ 22.4° ในงานวิจัยนี้แผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM ที่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมี ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งในลักษณะของดิฟแฟรกโทแกรมและค่าความเป็นผลึกเมื่อเปรียบเทียบกับ HMT-30BSM (ค่าความเป็นผลึกเท่ากับ 30.74 %) ซึ่งแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.25SA HMT-30BSM-0.50SA และ HMT-30BSM-1.00SA มีค่าความเป็นผลึกเท่ากับ 31.54 % 29.95 % และ 28.64 % ตามลำดับ ลักษณะของของดิฟแฟรกโทแกรมไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม และค่าความเป็นผลึกที่ลดลงเล็กน้อยอาจเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของแผ่นปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมี ค่าความเป็นผลึกที่ลดลงเพียงเล็กน้อยอาจเกิดจากปริมาณของกรดซัคซินิกที่ต่ำเกินไป เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ใช้กรดซัคซินิกที่ 10 20 และ 30 %w/w ในแผ่นฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเมือกแมงลัก ซึ่งแผ่นฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเมือกแมงลักมีความความเป็นออสัณฐานที่มากขึ้นเมื่อมีการเชื่อมขวางทางเคมี เนื่องจากการเชื่อมขวางทางเคมีเข้าไปขัดขวางการจัดเรียงตัวของผลึก นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดที่สูงขึ้นอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่บริเวณสายโซ่หลักจึงทำให้สายโซ่หลักสั้นลง จากเหตุผลดังกล่าวจึงส่งผลให้แผ่นฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเมือกแมงลักมีค่าความเป็นผลึกที่ลดลง (Mitra *et al.* 2013)



รูปที่ 4.8 ดิฟแฟรกโทแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนชั้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM

จากภาพถ่ายภาคตัดขวางของชิ้นงานฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อน ชั้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่า หลังจากทำการเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิก พื้นผิวของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมขวางมีลักษณะเรียบขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ HMT-30BSM จากผลการวิเคราะห์หรืออธิบายได้ว่ากรดซัคซินิก ที่ทำหน้าที่เป็น สารเชื่อมขวางทางเคมีสามารถทำให้พอลิเมอร์ทั้ง 2 วัสดุภาคมีความเข้ากันได้มากขึ้น ดังนั้นการใช้ สารเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกจึงทำให้พื้นผิวของชิ้นงานมีความเรียบมากขึ้น (Olivato *et al.* 2012) โดย ปริมาณกรดซัคซินิกที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลอย่างชัดเจนต่อความเรียบของพื้นผิวแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM



รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนชั้นที่ผสม เมือกแมงลักและเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (ก) HMT-30BSM (ข) HMT-30BSM-0.25SA (ค) HMT-30BSM-0.50SA และ (ง) HMT-30BSM-1.00SA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

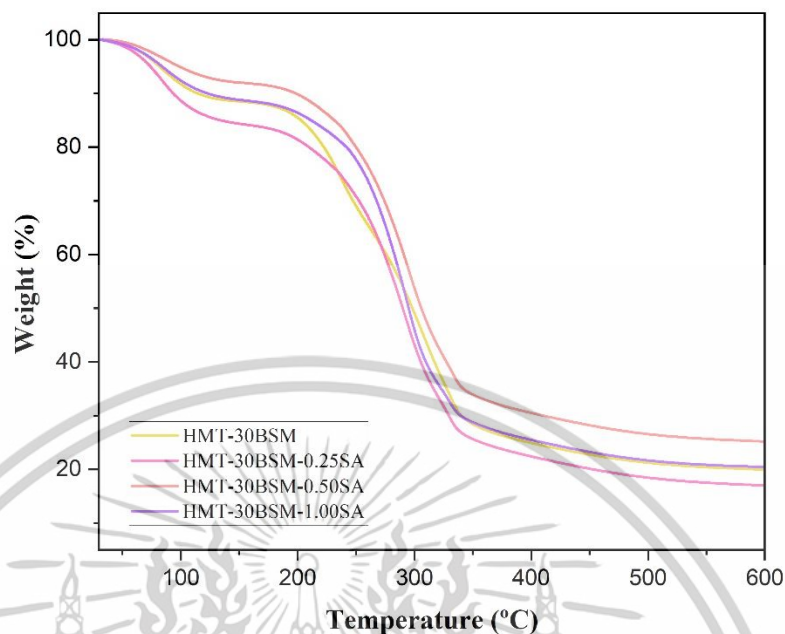
4.2.4 ผลการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อน

การเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกในแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นผสมกับเมือกแมงลัก ผลการทดสอบแสดงอุณหภูมิการสลายตัวลดเหลือ 2 ชั้น (แสดงดังรูปที่ 4.10-4.11) คือ ชั้นการระเหยของโมเลกุลน้ำ (ประมาณ 80 °C) และชั้นการสลายตัวของแป้งและเมือกแมงลัก (ประมาณ 292-313 °C) จากตารางผลการทดสอบพบว่าค่าการสลายตัวของแผ่นฟิล์ม HMT-30BSM-0.25SA HMT-30BSM-0.50SA และ HMT-30BSM-1.00SA ในชั้นที่ 3 (แป้งและเมือกแมงลัก) มีค่าเท่ากับ 291.50 294.00 และ 292.50 °C ซึ่งมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM (313.67 °C) โดยผลของการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อนที่ลดลงอาจเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยความเป็นกรดของกรดซัคซินิก ($pK_{a1}=4.61$ และ $pK_{a2}=5.61$ (Nghiem *et al.* 2017)) ที่พันธะไกลโคซิดิกในขณะกระบวนการเตรียมแผ่นฟิล์ม (Nguyen, Heinonen, and Sainio 2018) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดที่ตำแหน่งพันธะไกลโคซิดิกของสารสกัดเบต้ากลูแคนจากข้าวโอ๊ต (Oat Beta-Glucan) เมื่อสารสกัดเบต้ากลูแคนจากข้าวโอ๊ตทำปฏิกิริยากรดไฮโดรคลอริกและกรดซัลฟิวริก พบว่าสารสกัดเบต้ากลูแคนจากข้าวโอ๊ตเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวได้ภายหลังการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรด (Nguyen *et al.* 2018)

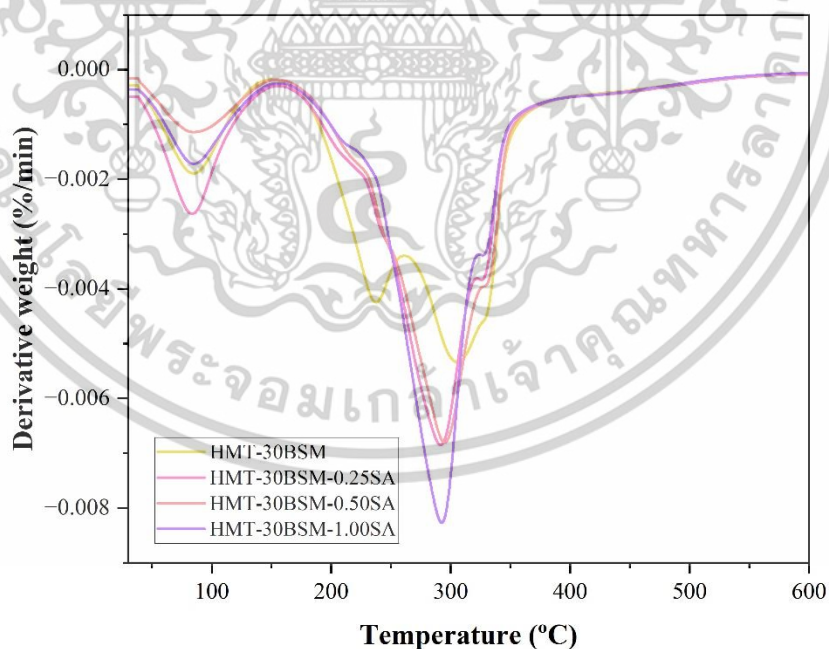
ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

แผ่นฟิล์มปิดแผล	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)		
	ชั้นที่ 1 (น้ำ)	ชั้นที่ 2 (เมือกแมงลัก)	ชั้นที่ 3 (แป้ง+เมือกแมงลัก)
HMT-30BSM	82.50	233.20	313.67
HMT-30BSM-0.25SA	83.83	-	291.50
HMT-30BSM-0.50SA	85.00	-	294.00
HMT-30BSM-1.00SA	85.33	-	292.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 TGA เทอร์โมแกรมของของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟอนิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ



รูปที่ 4.11 DTG เทอร์โมแกรมของของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟอนิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 ผลการทดสอบต่อสมบัติความชอบน้ำ: สัดส่วนเจล การบวมตัว และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

การทดสอบสมบัติความชอบน้ำของวัสดุจากธรรมชาติ เช่น สัดส่วนเจล การบวมตัว และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ เป็นต้น มีความสำคัญต่อการทดสอบวัสดุเพื่อให้มีสมบัติเหมาะสมกับการใช้งาน การทดสอบสัดส่วนเจลสามารถใช้เป็นหนึ่งในวิธีการทดสอบประสิทธิภาพในการเชื่อมขวางทางเคมีระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ได้ โดยทั่วไปโครงสร้างทางเคมีของแป้งมันสำล้งและเมือกแมงลักประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลที่สามารถทำอันตรกิริยากับน้ำได้ดีและหากมีการลดลงของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล ความสามารถในการทำอันตรกิริยามีแนวโน้มลดลงด้วยเช่นกัน จากตารางที่ 4.7 พบว่าแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-SA ที่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมี มีค่าสัดส่วนเจลที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มปิดแผลที่ยังไม่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมีและมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามความเข้มข้นของกรดซัคซินิกที่เพิ่มขึ้น จากผลการทดสอบสัดส่วนเจลแสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มปิดแผลเกิดการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างแป้งมันสำล้งและเมือกแมงลัก (แสดงดังรูปที่ 4.1) จึงทำให้หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลที่ชอบน้ำลดลง ถึงแม้ว่าจะไม่สามารถตรวจพบได้ด้วยเทคนิค ATR แต่การเพิ่มขึ้นของค่าสัดส่วนเจลสามารถบ่งชี้ได้ว่าแผ่นฟิล์มปิดแผลมีเสถียรภาพมากขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความชื้นสูงหรือในสภาวะที่ใช้งานจริง

ในส่วนของการทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (ตารางที่ 4.8) และค่าการบวมตัว (ตารางที่ 4.9) มีผลการทดสอบภายหลังทำการเชื่อมขวางทางเคมีเป็นไปในทำนองเดียวกันกับการทดสอบค่าสัดส่วนเจล พบว่าแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-SA ที่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมี มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและค่าการบวมตัวที่ต่ำกว่ากว่าแผ่นฟิล์มปิดแผลที่ยังไม่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมีอย่างมีนัยสำคัญ โดยการบวมตัวมีค่าลดลงตามความเข้มข้นของกรดซัคซินิกที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอัตราการซึมผ่านของไอน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นของกรดซัคซินิกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลการทดลองยังสอดคล้องกับความชอบน้ำที่ลดลงของแผ่นฟิล์มแป้งที่ผ่านการเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิก ซึ่งเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันทำให้สมบัติความชอบน้ำลดลง (Zain *et al.* 2018)

ตารางที่ 4.7 ค่าสัดส่วนเจลที่เวลา 24 ชั่วโมงและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่เวลา 7 วันของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

แผ่นฟิล์มปิดแผล	สัดส่วนเจล (%)	การซึมผ่านของไอน้ำ ($\text{g m}^{-2} \text{day}^{-1}$)
HMT-30BSM	18.38 ± 1.92^a	619.75 ± 7.60^a
HMT-30BSM-0.25SA	28.91 ± 2.54^{ab}	440.78 ± 13.38^b
HMT-30BSM-0.50SA	30.05 ± 6.52^b	427.40 ± 8.02^b
HMT-30BSM-1.00SA	45.84 ± 4.02^c	416.40 ± 8.50^b



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่าการบวมน้ำที่เวลา 1-6 และ 24 ชั่วโมงของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งคัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนชื้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

แผ่นปิดแผล	เวลา (ชั่วโมง)						
	1	2	3	4	5	6	24
HMT-30BSM	513.44±1.79 ^a	589.28±16.72 ^a	599.54±15.62 ^a	595.13±13.45 ^a	587.65±16.89 ^a	585.80±22.15 ^a	569.99±0.43 ^a
HMT-30BSM-0.25SA	356.84±12.45 ^b	362.09±13.45 ^b	379.35±10.76 ^b	381.91±10.98 ^b	380.68±19.32 ^b	381.49±19.87 ^b	452.24±19.32 ^b
HMT-30BSM-0.50SA	284.52±16.56 ^c	295.53±11.78 ^c	303.73±14.22 ^c	301.59±11.45 ^c	304.06±22.15 ^c	302.98±21.98 ^c	374.12±11.52 ^c
HMT-30BSM-1.00SA	204.02±14.67 ^d	210.32±14.62 ^d	218.36±12.45 ^d	225.60±13.17 ^d	236.85±17.93 ^d	249.13±18.76 ^c	301.04±6.89 ^d

4.2.6 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยความร้อนชื้นที่ผสมเมือกแมงลัก และเชื่อมขวางด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.9 พบว่าแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM มีค่ามอดูลัสที่สูงและมีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดที่ต่ำ แสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM มีความคงทนต่อการเปลี่ยนรูปร่างที่สูงแต่มีความสามารถในการยืดตัวที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิก การปรับปรุงแผ่นฟิล์มปิดแผลด้วยกรดซัคซินิกส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่ามอดูลัสที่ลดลงและค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มปิดแผลที่ไม่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมี โดยค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงความสามารถในการยืดตัวที่เพิ่มขึ้นของแผ่นฟิล์มปิดแผลซึ่งมีผลมาจากพันธะเอสเทอร์ที่เชื่อมขวางระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ (รูปที่ 4.1) จึงทำให้สายโซ่พอลิเมอร์มีความสามารถในการขยายตัวที่สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าสัดส่วนเจลที่เพิ่มขึ้นภายหลังการเชื่อมขวางทางเคมีโดยการทำปฏิกิริยาที่หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลและคาร์บอกซิล รวมถึงอาจเป็นผลมาจากความแข็งแรงจากพันธะไฮโดรเจนที่มีการจัดเรียงตัวใหม่ในโครงสร้างของแผ่นฟิล์มปิดแผลซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์โครงสร้างหมู่ฟังก์ชัน นอกจากนี้งานวิจัยของ Nandi, S. และ Guha, P. (2021) ได้ทำการขึ้นแผ่นฟิล์มจากแป้งมันฝรั่งผสมกัวกัมโดยทำการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกเพิ่มขึ้น พบว่าค่าการยืดตัว ณ จุดขาดที่เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของกรดซัคซินิก เนื่องจากกรดซัคซินิกบางส่วนยังสามารถทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์จึงให้ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดที่เพิ่มขึ้น (Nandi and Guha 2021) นอกจากนี้การเชื่อมขวางทางเคมีไม่มีผลต่อค่าความเค้น ณ จุดขาด ของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนทำการเชื่อมขวางทางเคมี รวมถึงความเข้มข้นของกรดซัคซินิกที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อสมบัติเชิงกล อาจเป็นผลมาจากปริมาณของกรดซัคซินิกที่ใช้ในปริมาณน้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากการเชื่อมทางเคมีด้วยกรดซัคซินิก

ตารางที่ 4.9 สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางด้วยกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ความเค้น ณ จุดขาด (MPa)	มอดุลัส (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
HMT-30BSM	9.31 ± 1.50 ^a	70.61 ± 6.94 ^a	12.17 ± 1.24 ^a
HMT-30BSM-0.25SA	9.77 ± 1.64 ^a	40.44 ± 6.33 ^b	19.70 ± 2.07 ^b
HMT-30BSM-0.50SA	9.91 ± 1.00 ^a	36.43 ± 7.44 ^b	21.04 ± 2.93 ^b
HMT-30BSM-1.00SA	9.81 ± 1.99 ^a	30.45 ± 3.75 ^b	24.40 ± 2.34 ^b

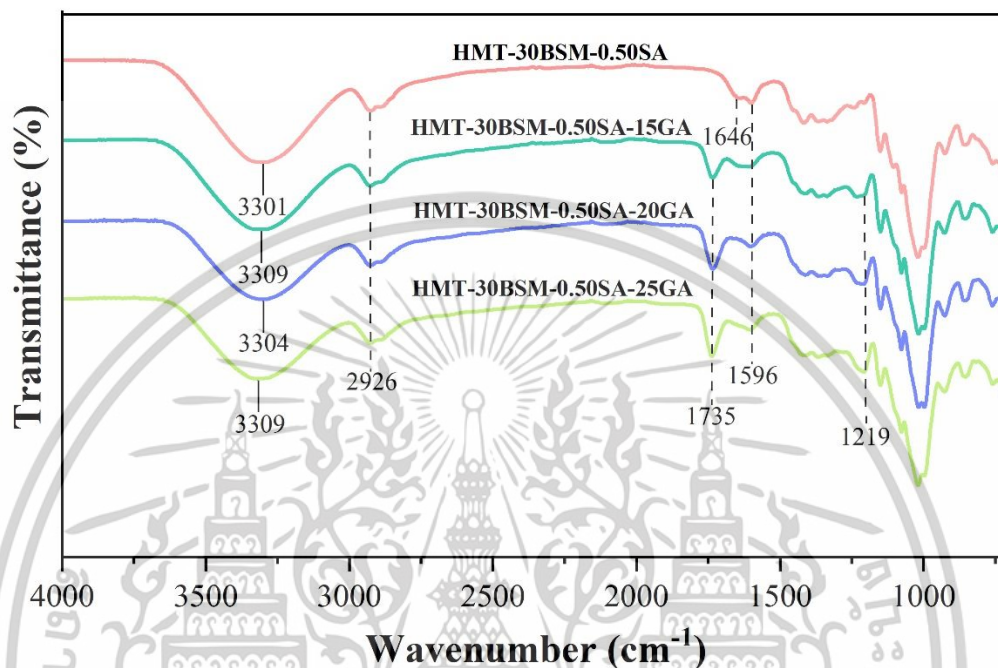
จากผลการศึกษาผลกระทบของปริมาณกรดซัลฟูริกต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มปิดแผล ซึ่งแสดงในผลการทดลองที่ 4.2 ได้ประเมินคะแนนแต่ละสูตรโดยใช้คะแนน Rubric score ที่แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข และพิจารณาร่วมกับการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่าแผ่นปิดแผลสูตร HMT-30BSM-0.50SA มีความเหมาะสมสำหรับการวิจัยและพัฒนาต่อไปเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการต้านเชื้อจุลินทรีย์

4.3 ผลของสารต้านเชื้อจุลินทรีย์จากกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อสมบัติของฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมี

ผลการทดสอบในหัวข้อนี้เกี่ยวข้องกับสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีรวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA ด้วยกรดไกลโคลิกที่ปริมาณ 5 ml ที่ความเข้มข้นต่างกัน คือ 15 20 และ 25 %w/w โดยใช้ชื่อตัวอย่าง HMT-30BSM-0.50SA-15GA HMT-30BSM-0.50SA-20GA และ HMT-30BSM-0.50SA-25GA ซึ่งมีปริมาณของกรดไกลโคลิกในแต่ละสูตรที่ 0.75 1.00 และ 1.25 g ตามลำดับ จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA ที่ไม่มีส่วนผสมของกรดไกลโคลิก โดยสามารถแบ่งตามสมบัติได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค ATR



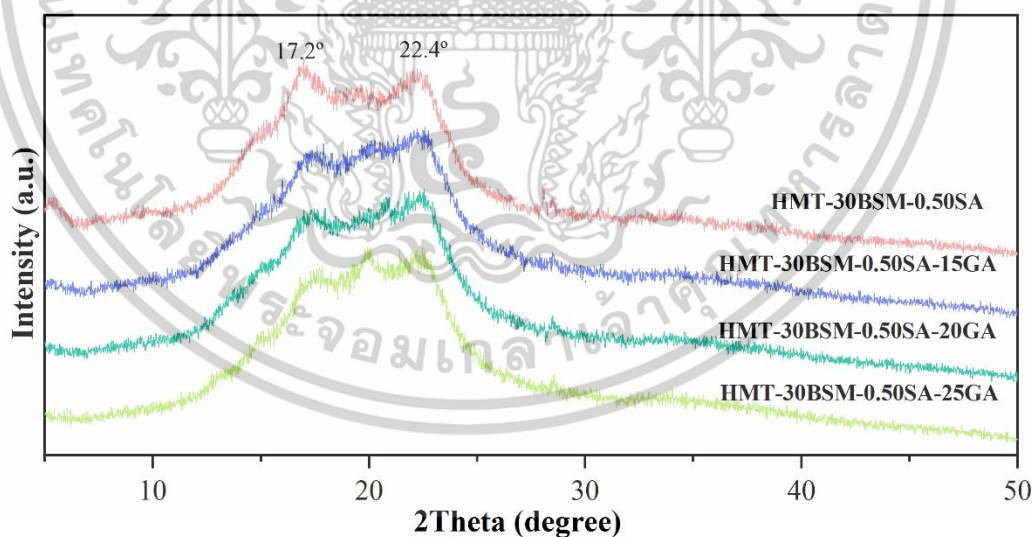
รูปที่ 4.12 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลักที่เชื่อมขวางทางเคมีและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลักที่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมี และเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกแสดงพีกตำแหน่งเลขคลื่นประมาณ 1219 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงเอกลักษณ์ของ C-O stretching ในโครงสร้างของกรดไกลโคลิก (Ramlli, Bashirah, and Isa 2018) และเนื่องจากกรดไกลโคลิกประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลจึงสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของคาร์โบไฮเดรตเกิดเป็นพันธะเอสเทอร์ที่แสดงพีก ณ ตำแหน่งเลขคลื่นที่ 1735 cm^{-1} และความเข้มของพีกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของกรดไกลโคลิก ซึ่งอาจเกิดจาก C=O stretching ของกรดไกลโคลิกที่ตำแหน่งระหว่าง $1690 - 1750\text{ cm}^{-1}$ (Ramlli *et al.* 2018) นอกจากนี้เลขคลื่นที่ตำแหน่งของ O-H stretching มีการเคลื่อนไปยังเลขคลื่นที่สูงขึ้นหลังจากเติมกรดไกลโคลิกซึ่งแสดงถึงการจัดเรียงใหม่ของพันธะไฮโดรเจนในแผ่นฟิล์มปิดแผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลึกด้วยเทคนิค XRD

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องยังไม่พบการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของกรดไกลโคลิกในรูปแบบของสารตัวเติมต่อความเป็นผลึกในวัสดุ เนื่องจากโดยส่วนใหญ่กรดไกลโคลิกนิยมใช้งานในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง โดยในงานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นผลึกโดยใช้เทคนิค XRD ของแผ่นปิดแผลหลังจากเติมกรดไกลโคลิกสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ จากการวิเคราะห์ดิฟแฟรกโทแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผลแสดงให้เห็นได้ว่าการเติมกรดไกลโคลิดลงในแผ่นฟิล์มปิดแผลไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเป็นผลึกอย่างเห็นได้ชัด โดยแสดงตำแหน่ง 2θ ที่ 17.2° และ 22.4° (รูปที่ 4.13) ในส่วนค่าความเป็นผลึกของ HMT-30BSM-2.5SA-15GA HMT-30BSM-2.5SA-20GA และ HMT-30BSM-2.5SA-25GA มีค่าความเป็นผลึกเท่ากับ 29.86 % 29.78 % และ 28.97 ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับ HMT-30BSM-2.5SA ที่มีค่าความเป็นผลึกเท่ากับ 29.95 % พบว่าแผ่นฟิล์มปิดแผลที่เติมกรดไกลโคลิกไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งความเป็นกรดของกรดไกลโคลิกควรทำให้เกิดการตัดสายโซ่พอลิเมอร์ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส แต่ในขณะเดียวกันความเป็นผลึกของกรดไกลโคลิกสามารถเสริมความเป็นผลึกของแผ่นฟิล์มปิดแผลได้ด้วย ดังนั้นจึงทำให้แผ่นฟิล์มปิดแผลที่เติมด้วยกรดไกลโคลิกไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเป็นผลึก



รูปที่ 4.13 ดิฟแฟรกโทแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลักที่เชื่อมขวางทางเคมีและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM

จากภาพถ่ายภาคตัดขวางของชิ้นงานฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลัก เชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัลฟูริกและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ รูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA ที่ยังไม่ผ่านการเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์มีพื้นผิวภาคตัดขวางที่ขรุขระที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีองค์ประกอบของกรดไกลโคลิก โดยหลังจากทำการเพิ่มกรดไกลโคลิกลงในชิ้นงานแผ่นปิดแผลแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของชิ้นงานมีความเรียบขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ HMT-30BSM-0.50SA โดยพบว่าแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-25GA ที่มีความเข้มข้นของกรดไกลโคลิกที่มากที่สุดมีพื้นผิวภาคตัดขวางที่เรียบที่สุด จากผลการวิเคราะห์สามารถอธิบายได้ว่ากรดไกลโคลิกอาจเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้จึงเป็นสาเหตุทำให้พื้นผิวของชิ้นงานมีความเรียบเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (ก) HMT-30BSM-0.50SA (ข) HMT-30BSM-0.50SA-15GA (ค) HMT-30BSM-0.50SA - 20G และ (ง) HMT-30BSM-0.50SA-25GA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

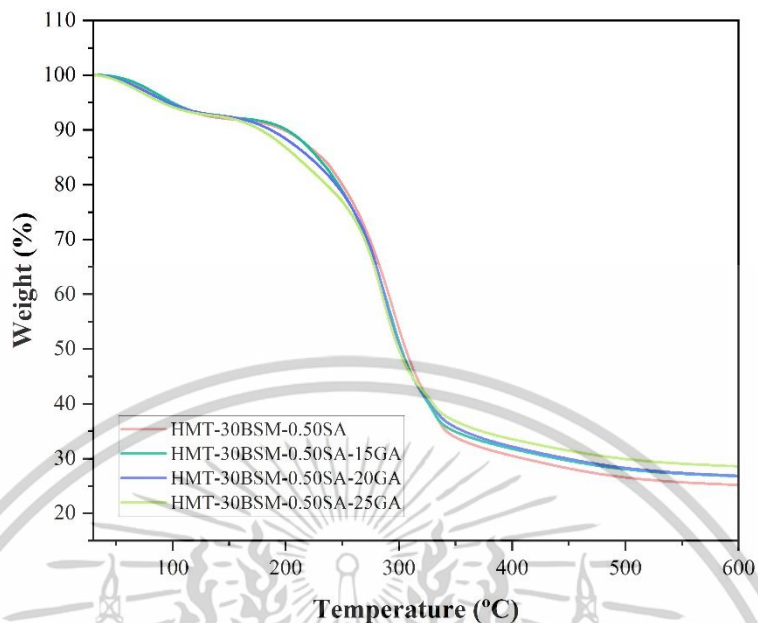
4.3.4 ผลการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อน

การเติมกรดไกลโคลิกลงในแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นผสมกับเมือกแมงลักและผ่านการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิก พบว่าค่าการสลายตัวทางความร้อนของแผ่นฟิล์ม HMT-30BSM-0.50SA-15GA HMT-30BSM-0.50SA-20GA และ HMT-30BSM-0.50SA-25GA ในขั้นที่ 3 (แป้งและเมือกแมงลัก) มีค่าเท่ากับ 290.17 287.83 และ 285.67 °C ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการสลายตัวทางความร้อนในขั้นที่ 3 (แสดงดังรูปที่ 4.15-4.16) ของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA (294.00 °C) จากค่าการสลายตัวในขั้นที่ 3 ที่มีค่าลดลงอาจเกิดการตัดสายโซ่พอลิเมอร์ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจากความกรดของกรดไกลโคลิกที่มีค่า pKa เท่ากับ 3.83 (Cao *et al.* 2021) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่มีค่าการสลายตัวทางความร้อนที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งเกิดจากการลดลงของปริมาณของอะไมโลสในแป้ง ซึ่งเมื่อปริมาณของอะไมโลสลดลงส่งผลให้ความเป็นผลึกของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังลดลงเช่นกัน (Amaraweera *et al.* 2021)

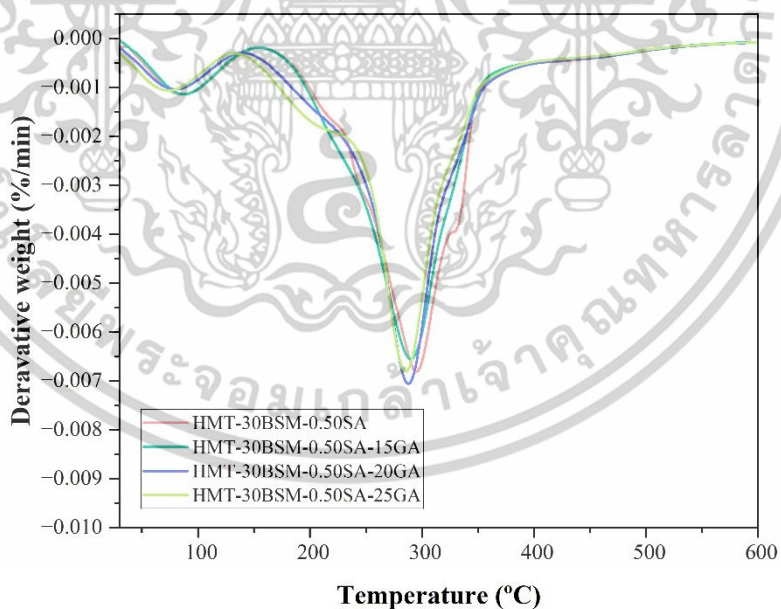
ตารางที่ 4.10 อุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

แผ่นฟิล์มปิดแผล	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)		
	ขั้นที่ 1 (น้ำ)	ขั้นที่ 2 (เมือกแมงลัก)	ขั้นที่ 3 (แป้ง+เมือกแมงลัก)
HMT-30BSM-0.50SA	85.00	-	294.00
HMT-30BSM-0.50SA-15GA	86.00	-	290.17
HMT-30BSM-0.50SA-20GA	87.00	-	287.83
HMT-30BSM-0.50SA-25GA	79.33	-	285.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 TGA เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ



รูปที่ 4.16 DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 ผลการทดสอบต่อสมบัติที่เกี่ยวกับน้ำ: สัดส่วนเจล อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และการบวมตัว

การทดสอบค่าสัดส่วนเจล อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และการบวมตัว ของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและเชื่อมทางเคมีด้วยกรดซัคซินิก ภายหลังจากเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าค่าสัดส่วนเจล อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (ตารางที่ 4.11) และการบวมตัว (ตารางที่ 4.12) ของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-15GA HMT-30BSM-0.50SA-20GA และ HMT-30BSM-0.50SA-25GA มีค่าที่น้อยกว่าแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่แสดงให้เห็นว่ากรดไกลโคลิกที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล 1 ตำแหน่งที่สามารถถดถอยพันธะเอสเทอร์ผ่านการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของแป้งและเมือกแมงลัก จึงอาจทำให้หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลภายในโครงสร้างแผ่นปิดแผลมีจำนวนลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลของแผ่นฟิล์มคาร์ราจีแนนที่มีความชอบน้ำลดลงเมื่อปรับปรุงด้วยกรดแอสคอร์บิกเนื่องจากการพันธะเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างเมื่อเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิก (Park *et al.* 2001) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นที่แตกต่างกันของความเข้มข้นของกรดไกลโคลิกไม่มีผลอย่างเป็นนัยสำคัญต่อสัดส่วนเจล อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และการบวมตัวของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-GA

ตารางที่ 4.11 ค่าสัดส่วนเจลที่เวลา 24 ชั่วโมง อัตราการซึมของไอน้ำที่เวลา 7 วันของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลักที่เชื่อมขวางทางเคมีและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

แผ่นฟิล์มปิดแผล	สัดส่วนเจล (%)	การซึมผ่านของไอน้ำ ($\text{g m}^{-2} \text{day}^{-1}$)
HMT-30BSM-0.50SA	30.05 ± 6.52^a	427.40 ± 8.02^a
HMT-30BSM-0.50SA-15GA	50.26 ± 0.15^b	410.87 ± 6.11^b
HMT-30BSM-0.50SA-20GA	49.38 ± 3.21^b	412.28 ± 0.17^b
HMT-30BSM-0.50SA-25GA	49.68 ± 2.70^b	377.85 ± 1.30^c

ตารางที่ 4.12 ค่าการบวมน้ำที่เวลา 1-6 และ 24 ชั่วโมงของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนชั้นผสมเมือกแมงลักที่เชื่อมขวางทางและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

แผ่นปิดแผล	เวลา (ชั่วโมง)						
	1	2	3	4	5	6	24
HMT-30BSM-0.50SA	284.52±16.56 ^a	295.53±11.78 ^a	303.73±14.22 ^a	301.59±11.45 ^a	304.06±22.15 ^a	302.98±21.98 ^a	374.12±11.52 ^a
HMT-30BSM-0.50SA-15GA	158.25±6.39 ^b	161.87±12.34 ^b	170.11±11.89 ^b	167.38±10.76 ^b	168.79±20.78 ^b	178.91±17.12 ^b	185.24±6.09 ^b
HMT-30BSM-0.50SA-20GA	152.48±1.13 ^b	154.92±10.98 ^b	161.66±10.34 ^b	154.97±12.78 ^b	163.58±16.12 ^b	163.16±16.12 ^b	167.64±7.67 ^{bc}
HMT-30BSM-0.50SA-25GA	148.26±11.35 ^b	148.60±8.01 ^b	142.88±13.17 ^b	145.91±11.27 ^b	147.23±19.87 ^b	152.53±23.01 ^b	153.43±13.75 ^c

4.3.6 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นผสมกับเมือกแมงลักและผ่านการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิก หลังจากเติมสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดซัคซินิก จำเป็นต้องทดสอบสมบัติเชิงกลเพื่อประเมินความสามารถในการรับแรงดึงของแผ่นฟิล์มปิดแผล ผลของการเติมสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ในแผ่นฟิล์มปิดแผลต่อสมบัติเชิงกลแสดงได้ดังตารางที่ 4.13 จากผลการทดสอบพบว่าแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-15GA HMT-30BSM-0.50SA-20GA และ HMT-30BSM-0.50SA-25GA มีค่ามอดุลัสที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากความเป็นผลึกของกรดไกลโคลิกที่ช่วยเสริมความสามารถในการคงทนต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มปิดแผล ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ความเป็นผลึกจากเทคนิค XRD ผลการทดสอบสอดคล้องกับงานวิจัยแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังที่ทำการปรับปรุงด้วยกรดแอสคอร์บิก โดยค่ามอดุลัสมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากความแข็งของกรดแอสคอร์บิก (Bajer and Burkowska-But 2022) ส่วนค่าการดึงยืด ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีค่าลดลง และมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเติมกรดไกลโคลิกที่ปริมาณ 20 %w/v ขึ้นไป ซึ่งอาจเกิดจากการที่กรดไกลโคลิกสามารถตัดสายโซ่พอลิเมอร์ของแป้งมันสำปะหลังและเมือกแมงลักผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสส่งผลให้สายโซ่พอลิเมอร์สั้นลง (ดังรูปที่ 4.1) จึงทำให้การเกี่ยวพันกันระหว่างสายโซ่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่าการดึงยืด ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซิตริกเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Chen *et al.* 2021) นอกจากนี้ยังสามารถยืนยันการเกิดการตัดสายโซ่พอลิเมอร์ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยผลการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อนที่พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมันสำปะหลังและเมือกแมงลักที่มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของกรดไกลโคลิก

ตารางที่ 4.13 สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลักที่เชื่อมขวางทางเคมีและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

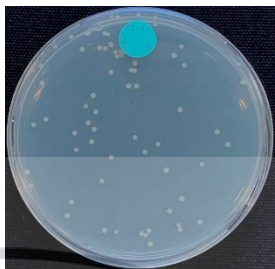
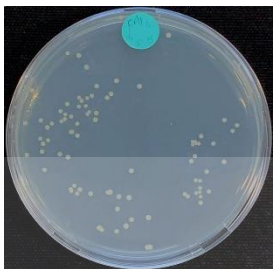
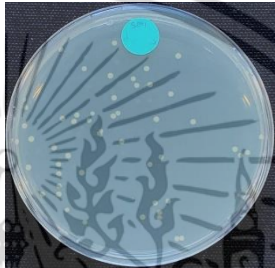
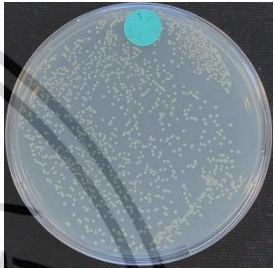



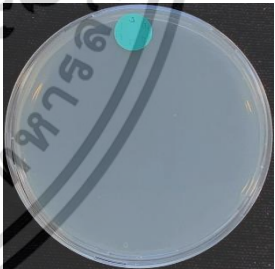
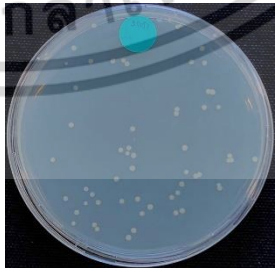
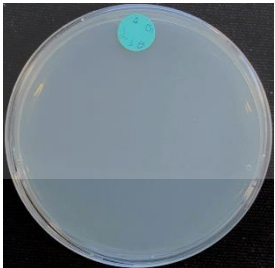
แผ่นฟิล์มปิดแผล	ความเค้น ณ จุดขาด (MPa)	มอดุลัส (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
HMT-30BSM-0.50SA	9.91 ± 1.00 ^a	36.43 ± 7.44 ^a	21.04 ± 2.93 ^a
HMT-30BSM-0.50SA-15GA	9.89 ± 1.47 ^a	47.16 ± 4.37 ^{ab}	18.28 ± 1.46 ^{ab}
HMT-30BSM-0.50SA-20GA	11.25 ± 0.47 ^a	56.17 ± 5.89 ^b	15.99 ± 1.30 ^b
HMT-30BSM-0.50SA-25GA	11.42 ± 0.66 ^a	56.92 ± 2.34 ^b	14.43 ± 1.39 ^b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.7 ผลการทดสอบการต้านเชื้อจุลินทรีย์


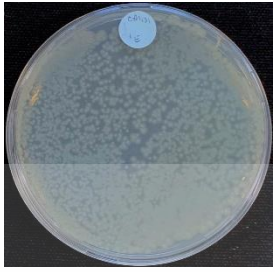

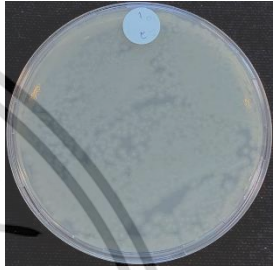



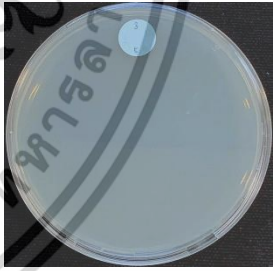
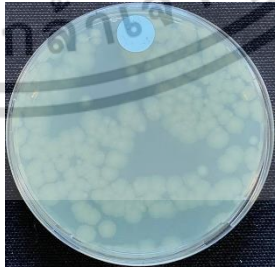
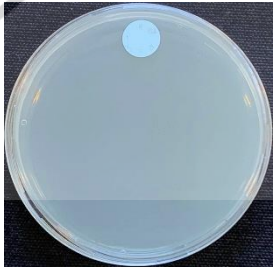
การทดสอบการต้านเชื้อจุลินทรีย์ในการหาค่าร้อยละการลดลงของการต้านเชื้อจุลินทรีย์มาตรฐานการทดสอบ JIS Z 2801 : 2006 โดยใช้สารละลายจากชิ้นงานฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA และ HMT-30BSM-0.50SA-GA ในน้ำกลั่นแล้วนำไปทดสอบกับเชื้อ *S. aureus* (แกรมบวก) และ *E. coli* (แกรมลบ) โดยเชื้อทั้งสองชนิดเป็นเชื้อที่สามารถทำให้เกิดการติดเชื้อที่แผลได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของแผ่นปิดแผลที่มีความเข้มข้นของกรดไกลโคลิกในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 15 20 และ 25 %w/w โดยเปรียบเทียบกับ HMT-30BSM-0.50SA จากผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.17-4.18 และตารางที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่า ชิ้นงานแผ่นปิดแผลที่ไม่มีส่วนผสมของกรดไกลโคลิกมีค่าการลดลงของจำนวนเชื้อ *S. aureus* ที่ -19.71 % และเชื้อ *E. coli* ที่ 15.93 % โดยค่าติดลบแสดงถึงจำนวนโคโลนีมีจำนวนเพิ่มขึ้นหลังจากทำการทดสอบ 24 ชั่วโมง ซึ่งจากผลการทดลองสามารถอภิปรายได้ว่าแผ่นชิ้นงานปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA ไม่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ ทั้ง *S. aureus* และ *E. coli*

ส่วนชิ้นงานแผ่นปิดแผลที่มีส่วนผสมของกรดไกลโคลิก ได้แก่ 30BSM-0.50SA-15GA 30BSM-0.50SA-20GA และ 30BSM-0.50SA-25GA พบว่ามีการลดลงของจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดที่ 100 % ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Gambin *et al.* (2020) ที่แสดงค่าการลดลงของจำนวนเชื้อ *E. faecalis* ที่ 95 % โดยใช้ความเข้มข้นของกรดไกลโคลิกที่ 25 % w/v โดยกลไกในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของกรดไกลโคลิกอาจเกิดจากการที่โมเลกุลของกรดไกลโคลิกสามารถแทรกตัวเข้าไประหว่างเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ทำให้เกิดแรงดันออสโมติกและลดค่า pH ภายในเซลล์จุลินทรีย์ (Ban *et al.* 2012) นอกจากนี้ความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์อาจเกิดจากหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของกรดไกลโคลิกที่เข้าไปรบกวนไซโตพลาสซึมและทำให้โปรตีนภายในเซลล์จุลินทรีย์เสียหาย (Liu *et al.* 2017; Luther *et al.* 2015)

เวลา ชิ้นงาน	0 ชม.	24 ชม.
น้ำกลั่น		
HMT-30BSM-0.50SA		
HMT-30BSM-0.50SA-15GA		
HMT-30BSM-0.50SA-20GA		
HMT-30BSM-0.50SA-25GA		

รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายจำนวนโคโลนีของเชื้อ *S. aureus* ที่ 0 ชั่วโมงและหลังทำการทดสอบ 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา ชิ้นงาน	0 ชม.	24 ชม.
น้ำกลั่น		
HMT-30BSM-0.50SA		
HMT-30BSM-0.50SA-15GA		
HMT-30BSM-0.50SA-20GA		
HMT-30BSM-0.50SA-25GA		

รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายจำนวนโคโลนีของเชื้อ *E. coli* ที่ 0 ชั่วโมงและหลังทำการทดสอบ 24 ชั่วโมง

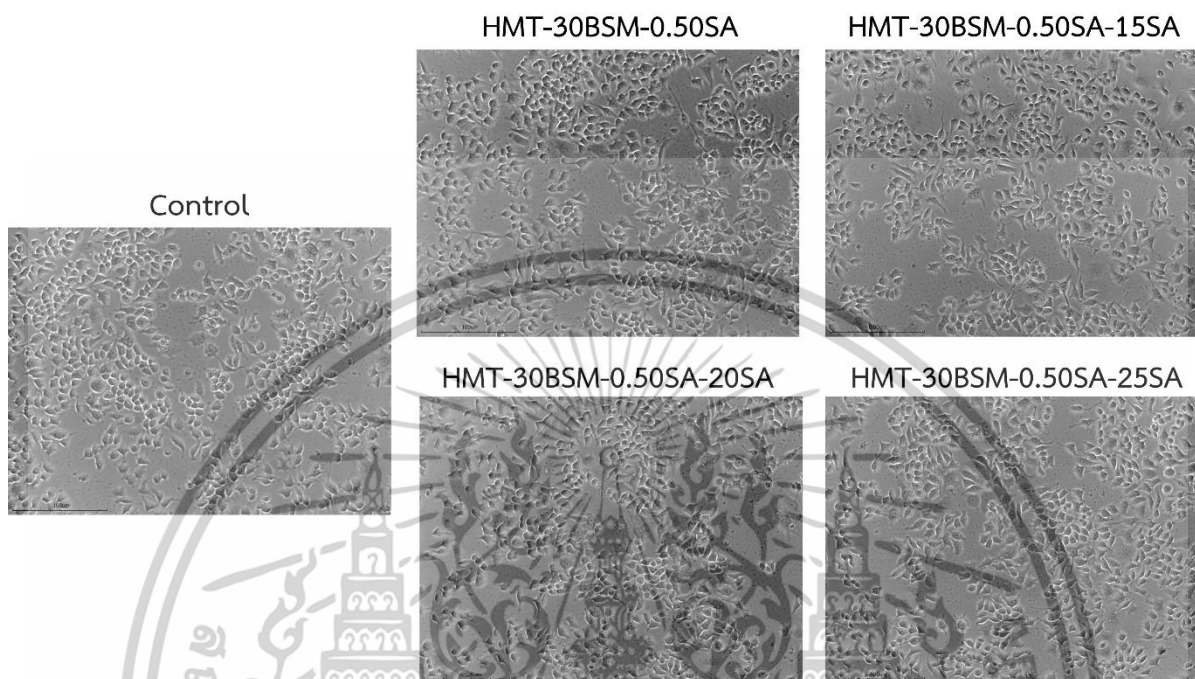
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.8 ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์

ความเป็นพิษต่อเซลล์ของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA HMT-30BSM-0.50SA-15GA HMT-30BSM-0.50SA-20GA และ HMT-30BSM-0.50SA-25GA ที่ทดสอบกับเซลล์ HaCat โดยใช้วิธี MTT เพื่อตรวจสอบจำนวนเซลล์รูปร่างปกติที่ยังรอดชีวิตอยู่ โดยตามมาตรฐาน ISO 10993-5 ระบุว่าค่าการรอดชีวิตของเซลล์ที่มีค่ามากกว่า 80 % แสดงว่าวัสดุนั้นไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ ค่าการรอดชีวิตของอยู่ระหว่าง 60-80 % แสดงว่าวัสดุนั้นมีความเป็นพิษต่อเซลล์เล็กน้อย ค่าการรอดชีวิตของอยู่ระหว่าง 40-60 % แสดงว่าวัสดุนั้นมีความเป็นพิษต่อเซลล์ปานกลาง และค่าการรอดชีวิตมีค่าต่ำกว่า 40 % แสดงว่าวัสดุนั้นมีความเป็นพิษต่อเซลล์อย่างรุนแรง (Mbituyimana *et al.* 2021; Zepon *et al.* 2019) จากตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.19 พบว่าแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA มีค่าความเป็นพิษต่อเซลล์และค่าการรอดชีวิตที่ 5.44 ± 0.08 % และ 94.56 ± 0.08 % ตามลำดับ และมีลักษณะของเซลล์ HaCat ที่มีรูปร่างปกติ แสดงให้เห็นว่า HMT-30BSM-0.50SA ไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ความเป็นพิษต่อเซลล์ ภายหลังการเติมกรดไกลโคลิกเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์พบว่าค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ที่ค่าต่ำในช่วง 5 – 9 % และค่าการรอดของเซลล์ที่มีค่าสูงถึง 90 – 92 % รวมถึงลักษณะของเซลล์ HaCat มีรูปร่างปกติ (Lai *et al.* 2011) โดยความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของกรดไกลโคลิกไม่ส่งผลต่อค่าความเป็นพิษต่อเซลล์และค่าการรอดชีวิตอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากรดไกลโคลิกสามารถเข้ากันได้ทางชีวภาพกับเซลล์มนุษย์ได้ ดังนั้นแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-15GA HMT-30BSM-0.50SA-20GA และ HMT-30BSM-0.50SA-25GA มีความปลอดภัยและสามารถเข้ากันได้ทางชีวภาพเหมาะสำหรับการใช้งานเป็นแผ่นฟิล์มปิดแผล

ตารางที่ 4.14 ค่าการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ (*S.aureus* และ *E.coli*) ความเป็นพิษต่อเซลล์ และค่าเซลล์รอดชีวิต ของชิ้นงานแผ่นปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA ที่มีของกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

แผ่นฟิล์มปิดแผล	<i>S. aureus</i>			<i>E. coli</i>			ความเป็นพิษต่อเซลล์ (%)	เซลล์รอดชีวิต (%)
	Log CFU/ml		ค่าการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ (%)	Log CFU/ml		ค่าการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ (%)		
	0 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง		0 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง			
Control (ไม่มีชิ้นงาน)	5.76±0.03	5.63±0.07	2.25	6.15±0.03	7.19±0.05	-16.88	0.00 ± 0.00	100 ± 0.00
HMT-BSM-0.50SA	5.77±0.02 ^a	6.91±0.02 ^a	-19.71 ^a	6.15±0.03 ^a	7.13±0.05 ^a	-15.93 ^a	5.44 ± 0.08 ^a	94.56 ± 0.08 ^a
HMT-BSM-0.50SA-15GA	5.77±0.03 ^a	0.00±0.00 ^b	100.00 ^b	6.15±0.04 ^a	0.00±0.00 ^b	100.00 ^b	9.01 ± 0.25 ^b	90.99 ± 0.25 ^b
HMT-BSM-0.50SA-20GA	5.77±0.04 ^a	0.00±0.00 ^b	100.00 ^b	6.16±0.03 ^a	0.00±0.00 ^b	100.00 ^b	7.89 ± 0.64 ^b	92.11 ± 0.64 ^b
HMT-BSM-0.50SA-25GA	5.77±0.03 ^a	0.00±0.00 ^b	100.00 ^b	6.43±0.05 ^a	0.00±0.00 ^b	100.00 ^b	8.28 ± 1.19 ^b	91.72 ± 1.19 ^b



รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายเซลล์ Hacat ที่ผ่านการทดสอบกับชั้นแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA ที่มีของกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

จากการศึกษาผลของปริมาณของกรดไกลโคลิกต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มปิดแผล (ตอนที่ 4.3) โดยทำการประเมินในแต่ละสูตรโดยการให้คะแนน Rubric score ตามภาคผนวก ข ซึ่งพิจารณาร่วมกับพิจารณาผลทางสถิติโดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่าแผ่นปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-15GA มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นแผ่นฟิล์มปิดแผลที่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมีจากแป้งดัดแปรด้วยการใช้ความร้อนขึ้นและเมื่อกเม็ดแมงลักที่มีฤทธิ์ด้านเชื่อมจุลินทรีย์มากที่สุด

4.4 ผลของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งที่ผ่านการดัดแปรและไม่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

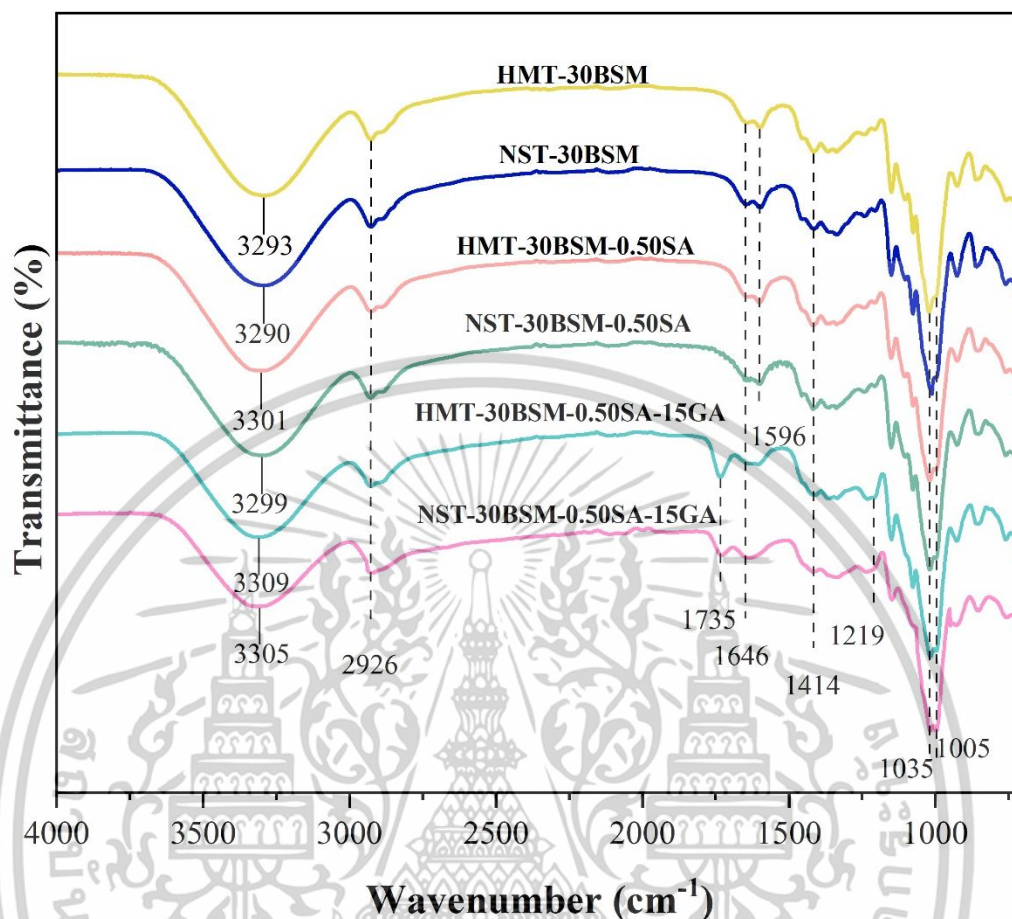
จากการศึกษาในตอนต้นที่ 1 – 3 คือ ตอนที่ 1 ศึกษาและเปรียบเทียบผลของเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ตอนที่ 2 ศึกษาและเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีต่อสมบัติของฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและเมือกแมงลัก และ ตอนที่ 3 ศึกษาและเปรียบเทียบผลของสารต้านเชื้อจุลินทรีย์จากกรดไกลโคลิกที่ปริมาณต่าง ๆ ที่มีต่อสมบัติของฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและเมือกแมงลักที่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมี ทางผู้วิจัยได้นำแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีสมบัติโดยรวมที่ดีที่สุดในแต่ละตอนมาทำการศึกษาและเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรความร้อนขึ้น เพื่อศึกษาถึงความแตกต่างของแป้งที่ผ่านการดัดแปรและแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น โดยพิจารณาหมู่ฟังก์ชัน ความเป็นผลึก สัณฐานวิทยา สมบัติความชอบน้ำ สมบัติเชิงกล และการต้านเชื้อจุลินทรีย์

4.4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค ATR

การศึกษาโครงสร้างหมู่ฟังก์ชันทางเคมีด้วยเทคนิค ATR เพื่อศึกษาความแตกต่างของหมู่ฟังก์ชันของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนประกอบของแป้งที่ผ่านและไม่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น โดยจากผลการทดลองพบว่าแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีองค์ประกอบของแป้งที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น (HMT-30BSM HMT-30BSM-0.50SA และ HMT-30BSM-2.5SA-15GA) มีเลขคลื่นที่ตำแหน่งของ OH-stretching เคลื่อนไปยังเลขคลื่นที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มปิดแผลที่ประกอบด้วยแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น (NST-30BSM NST-30BSM-0.50SA และ NST-30BSM-2.5SA-15GA) ซึ่งอาจเกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ของพันธะไฮโดรเจนภายในโครงสร้างของแผ่นฟิล์มปิดแผล (Kondo *et al.* 1994; Fukuya *et al.* 2017) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของแผ่นฟิล์มจากแป้งกล้วยกล้วย (*Musaparadisica* L.) ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นพบว่าภายหลังการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นส่งผลให้เกิดอันตรกิริยาภายในแผ่นฟิล์มแป้งที่ดีขึ้น (Viana *et al.* 2022) อย่างไรก็ตามการดัดแปรแป้งด้วยความร้อนขึ้นซึ่งเป็นการดัดแปรแป้งด้วยกระบวนการทางกายภาพ ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง

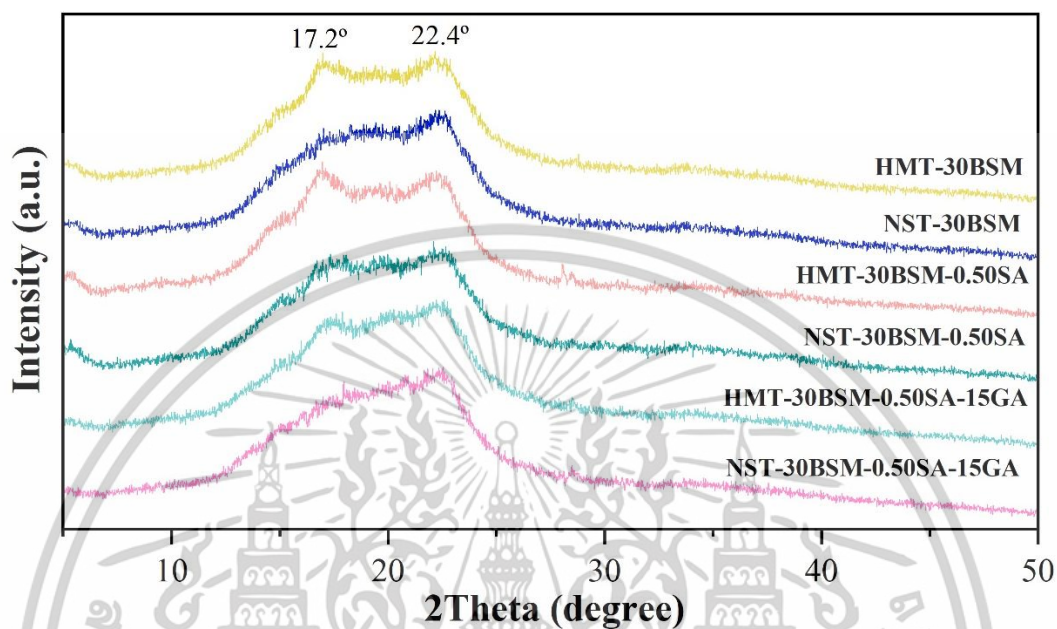


รูปที่ 4.20 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนประกอบจากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการตัดแปรและไม่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้น

4.4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลึกด้วยเทคนิค XRD

จากการทดสอบด้วยเทคนิค XRD สามารถแสดงดิฟแฟร็กโทแกรมดังรูปที่ 4.21 พบว่าที่มีองค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น แสดงพีกที่ 2θ ณ ตำแหน่ง 22.4° ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างผลึกของเอกลักษณ์ของเมือกแมงลัก (Thessrimuang and Prachayawarakorn 2019b; Nazir and Wani 2022) แผ่นฟิล์มปิดแผล NST-30BSM NST-30BSM-0.50SA และ NST-30BSM-0.50SA-15GA ค่าความเป็นผลึกเท่ากับ 24.26 25.04 และ 24.98 % ตามลำดับ โดยแผ่นฟิล์มปิดแผลที่ประกอบด้วยแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น แสดงพีกที่ 2θ ณ ตำแหน่ง 17.2 และ 22.4° ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างผลึกชนิด B ของแป้ง (Pan *et al.* 2018) จากค่าความเป็นผลึกที่สูงกว่าของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่ประกอบด้วยแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการตัด

แปรด้วยความร้อนขึ้น อาจเกิดจากจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกชนิด A เป็นโครงสร้างผลึกชนิด B ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chaya and Prachayawarakorn (2021)

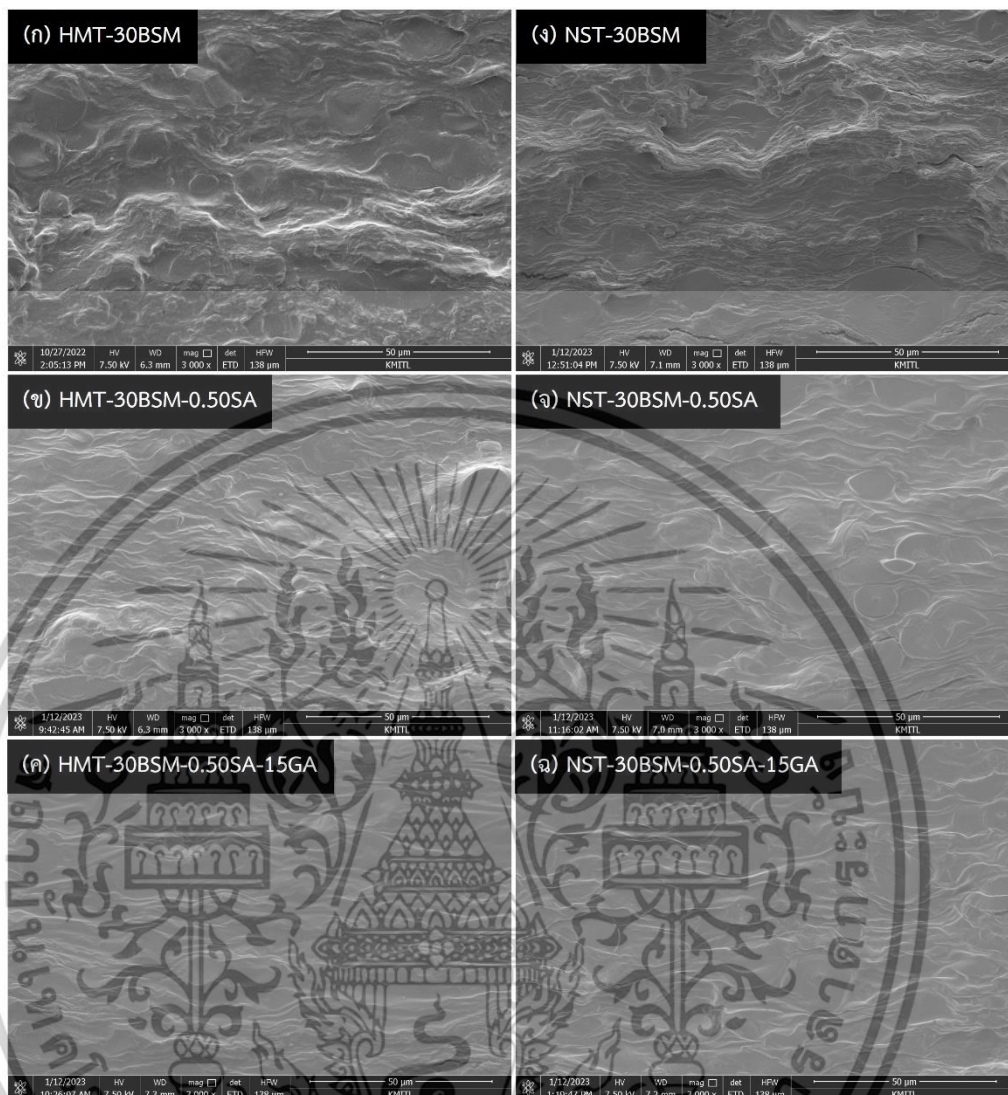


รูปที่ 4.21 ดิฟแฟร็กโทแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนประกอบจากที่ผ่านการตัดแปรและไม่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้น

4.4.3 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM

จากภาพถ่ายภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนประกอบจากที่ผ่านการตัดแปรและไม่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้น จากรูปที่ 4.22 แสดงให้เห็นว่าสัณฐานวิทยาของแผ่นฟิล์มปิดแผล NST-30BSM NST-30BSM-0.50SA และ NST-30BSM-0.50SA -15GA ไม่มีความแตกต่างที่อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับ HMT-30BSM HMT-30BSM-0.50SA และ HMT-30BSM-0.50SA -15GA ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการการตัดแปรแปรด้วยความร้อนขึ้นไม่มีผลต่อโครงสร้างของแป้ง (Gunaratne 2023) เนื่องจากในกระบวนการไม่มีสารเคมีมาเกี่ยวข้องมีเพียงแต่ความร้อนและความชื้นเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์มปิดแผลของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนประกอบจากที่ผ่านการตัดแปรและไม่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้น (ก) HMT-30BSM (ข) HMT-30BSM-0.50SA (ค) HMT-30BSM-0.50SA -15GA (ง) NST-30BSM (จ) NST-30BSM-0.50SA และ (ฉ) NST-30BSM-0.50SA -15GA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 ผลการทดสอบต่อสมบัติความชอบน้ำ: สัดส่วนเจล การบวมตัว และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

จากการทดสอบสมบัติความชอบน้ำ ได้แก่ สัดส่วนเจล การบวมตัว และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำโดยเปรียบเทียบระหว่างแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนผสมของแบง์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ได้แก่ HMT-30BSM HMT-30BSM-0.50SA และ HMT-30BSM-0.50SA -15GA กับแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนผสมของแบง์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ได้แก่ NST-30BSM NST-30BSM-0.50SA และ NST-30BSM-0.50SA -15GA ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.15 และ 4.16

จากผลการทดสอบพบว่า สัดส่วนเจลของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่ประกอบด้วยแบง์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีค่าต่ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มปิดแผลดังกล่าว ไม่สามารถคงตัวได้เมื่ออยู่ในสถานะที่มีความชื้นสูง เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นปิดแผล HMT-30BSM HMT-30BSM-0.50SA และ HMT-30BSM-0.50SA -15GA ที่มีสัดส่วนเจลหรือความสามารถในการคงตัวดีกว่า ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่แผ่นฟิล์มปิดแผลที่ประกอบด้วยแบง์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ด้วยพันธะไฮโดรเจนที่สูงกว่า และสอดคล้องกับผลการทดสอบหมู่ฟังก์ชันทางเคมีที่มีการเคลื่อนที่ของตำแหน่งของพีค OH-stretching ไปยังเลขคลื่นที่สูงกว่า (รูปที่ 4.20) โดยการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการจัดเรียงตัวผลึกที่ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความเป็นผลึกที่แผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนผสมของแบง์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีค่าความเป็นผลึกที่สูงกว่า (รูปที่ 4.21) และเมื่อความเป็นผลึกของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีค่าสูงขึ้นจึงทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกตัวเข้ายังโครงสร้างของแผ่นฟิล์มปิดแผลได้ยากขึ้น ดังนั้น ค่าสัดส่วนเจลของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีองค์ประกอบของแบง์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจึงมีค่ามากกว่าในทำนองเดียวกันกับค่าการบวมตัวและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีองค์ประกอบของแบง์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ที่มีค่ามากกว่า NST-30BSM NST-30BSM-0.50SA และ NST-30BSM-0.50SA -15GA จากผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Viana and Oliveira (2022) ที่ทำการทดลองความสามารถของการซึมผ่านของไอน้ำของแผ่นฟิล์มจากแบง์กล้วยกล้วยพบว่าหลังทำการดัดแปรแบง์ด้วยความร้อนขึ้น แผ่นฟิล์มมีความสามารถในการซึมผ่านน้ำลดลง ซึ่งอาจเกิดจากอันตรกิริยาที่ดีขึ้นหรือแรงระหว่างของโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นของแผ่นฟิล์มแบง์กล้วยกล้วย นอกจากนี้ความสามารถในการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มแบง์กล้วยกล้วยที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีแนวโน้มลดลงหลังจากการดัดแปรแบง์ด้วยความร้อนขึ้น

ตารางที่ 4.15 ค่าสัดส่วนเจลที่เวลา 24 ชั่วโมงและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่เวลา 7 วันของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนประกอบจากที่ผ่านการดัดแปรและไม่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้น

แผ่นฟิล์มปิดแผล	สัดส่วนเจล (%)	การซึมผ่านของไอน้ำ ($\text{g m}^{-2} \text{day}^{-1}$)
NST-30BSM	12.22 ± 0.55	693.43 ± 4.98
NST-30BSM-0.50SA	23.92 ± 2.21	502.41 ± 5.76
NST-30BSM-0.50SA-15GA	38.19 ± 3.52	489.16 ± 3.09
HMT-30BSM	18.38 ± 1.92	619.75 ± 7.60
HMT-30BSM-0.50SA	30.05 ± 6.52	427.40 ± 8.02
HMT-30BSM-0.50SA-15GA	50.26 ± 0.15	410.87 ± 6.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ค่าการบวมน้ำที่เวลา 1-6 และ 24 ชั่วโมงของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนประกอบจากที่ผ่านการดัดแปรและไม่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้น

แผ่นปิดแผล	เวลา (ชั่วโมง)						
	1	2	3	4	5	6	24
NST-30BSM	634.92±6.32	712.27±14.99	723.84±20.34	726.95±17.55	704.99±12.03	713.85±23.22	691.93±20.83
NST-30BSM-0.50SA	420.43±10.92	439.03±18.43	445.62±12.04	449.12±20.32	453.76±21.55	448.21±16.30	431.13±24.06
NST-30BSM-0.50SA-15GA	293.54±9.35	301.33±12.91	318.56±14.98	316.09±15.87	317.42±9.24	323.82±15.28	335.93±13.11
HMT-30BSM	513.44±1.79	589.28±16.72	599.54±15.62	595.13±13.45	587.65±16.89	585.80±22.15	569.99±0.43
HMT-30BSM-0.50SA	284.52±16.56	295.53±11.78	303.73±14.22	301.59±11.45	304.06±22.15	302.98±21.98	374.12±11.52
HMT-30BSM-0.50SA-15GA	158.25±6.39	161.87±12.34	170.11±11.89	167.38±10.76	168.79±20.78	178.91±17.12	185.24±6.09

4.4.5 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนผสมของแบงก์ที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ได้แก่ HMT-30BSM HMT-30BSM-0.50SA และ HMT-30BSM-0.50SA -15GA กับแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนผสมของแบงก์ที่ไม่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ได้แก่ NST-30BSM NST-30BSM-0.50SA และ NST-30BSM-0.50SA -15GA ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.17

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแบงก์ที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นในทุกสูตรมีค่าความเค้น ณ จุดขาดที่สูงกว่า มีค่ามอดุลัสที่สูงกว่า และมีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดที่ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มปิดแผล NST-30BSM NST-30BSM-0.50SA และ NST-30BSM-0.50SA -15GA ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าความเค้น ณ จุดขาดที่สูงกว่าอาจเกิดจากความเป็นผลึกที่สูงขึ้นหลังจากที่ทำการตัดแปรแบงก์ด้วยความร้อนขึ้น ในทำนองเดียวกันกับค่าความสามารถในการยืดตัว ณ จุดขาดที่เพิ่มขึ้นโดยผลการทดสอบสอดคล้องกับค่าผลึกที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.21) เนื่องจากแผ่นฟิล์มปิดแผลที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีการจัดเรียงตัวใหม่ของพันธะไฮโดรเจน จากผลการทดสอบสอดคล้องกับงานวิจัยแผ่นฟิล์มจากแบงก์ข้าวบาสมชาติ (ข้าวอินทรีย์) ที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น จากการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าแผ่นฟิล์มจากข้าวบาสมชาติที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีความแข็งแรงเชิงกลเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มจากแบงก์ที่ไม่ได้ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ซึ่งเกิดจากแบงก์ที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ที่มากขึ้น (Zareen *et al.* 2023)

ตารางที่ 4.17 สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มปิดแผลที่มีส่วนประกอบจากที่ผ่านการตัดแปรและไม่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้น

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ความเค้น ณ จุดขาด (MPa)	มอดุลัส (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
NST-30BSM	7.67 ± 0.40	53.32 ± 1.70	16.67 ± 1.57
NST-30BSM-0.50SA	8.11 ± 1.66	26.43 ± 5.32	25.72 ± 1.54
NST-30BSM-0.50SA-15GA	8.23 ± 2.00	30.45 ± 2.09	20.30 ± 1.37
HMT-30BSM	9.31 ± 1.50	70.61 ± 6.94	12.17 ± 1.24
HMT-30BSM-0.50SA	9.91 ± 1.00	36.43 ± 7.44	21.04 ± 2.93
HMT-30BSM-0.50SA-15GA	9.89 ± 1.47	47.16 ± 4.37	18.28 ± 1.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นผสมเมือกแมงลัก โดยมีปริมาณเมือกแมงลักที่ 10 20 30 40 50 และ 100 %w/w จากนั้นทำการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกที่ปริมาณ 0.25 0.50 และ 1.00 %w/w และเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดไกลโคลิกที่ปริมาณ 15 20 และ 25 %w/w จากการวิเคราะห์และการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของแผ่นฟิล์มปิดแผล สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การเติมเมือกแมงลักปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 1414 cm^{-1} และ 1596 cm^{-1} ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของกรดยูโรนิกพบในเมือกแมงลักและมีการเคลื่อนที่ของพีคที่ตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ไปยังตำแหน่งที่สูงขึ้นเนื่องจากการจัดเรียงตัวใหม่ของพันธะไฮโดรเจน โดยหลังจากการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกไม่ปรากฏพีคใหม่ในอินฟราเรดสเปกตรัม แต่มีการเคลื่อนที่ของพีคที่ตำแหน่ง O-H stretching ไปยังตำแหน่งที่สูงขึ้นเช่นกันและการเติมกรดไกลโคลิกปรากฏพีคใหม่ของ C-O stretching (1219 cm^{-1}) และ C=O stretching ($1690\text{-}1750\text{ cm}^{-1}$) ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของกรดไกลโคลิก นอกจากนี้ยังปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 1735 cm^{-1} ของพันธะเอสเทอร์ และเกิดการเคลื่อนที่ของพีคที่ตำแหน่ง O-H stretching ไปยังตำแหน่งที่สูงขึ้น

2. การเติมเมือกแมงลักส่งผลให้ค่าความเป็นผลึกของแผ่นฟิล์มปิดแผลมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเมือกแมงลักที่เพิ่มขึ้น ภายหลังจากการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกส่งผลให้มีแนวโน้มความเป็นผลึกลดลงเล็กน้อยเนื่องจากการเชื่อมขวาง นอกจากนี้การเติมกรดไกลโคลิกไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นผลึก

3. การเติมเมือกแมงลักส่งผลให้สัดส่วนวิทยาของแผ่นฟิล์มปิดแผลมีความขรุขระเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเมือกแมงลักที่เพิ่มขึ้น โดยหลังจากการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกพบว่าภาคตัดขวางของแผ่นฟิล์มปิดแผลมีความเรียบมากขึ้น แต่ความเข้มข้นของกรดซัคซินิกที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อความเรียบของแผ่นฟิล์มปิดแผล นอกจากนี้การเติมกรดไกลโคลิกส่งผลให้ให้พื้นผิวภาคตัดขวางมีความเรียบขึ้นเช่นกัน โดยที่ความเข้มข้นของกรดไกลโคลิกที่ 25 %w/w ส่งผลให้แผ่นฟิล์มปิดแผลมีความเรียบมากที่สุด

4. การเติมเมือกแมงลักส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงทางเสถียรภาพทางความร้อน โดยหลังจากเติมเมือกแมงลักพบอุณหภูมิการสลายตัวของเมือกแมงลักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเมือกแมงลักที่เพิ่มขึ้น และหลังการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกพบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมันสำปะหลังและ

เมื่อแอมกัมมีแนวโน้มที่ลดลงโดยไม่ขึ้นกับปริมาณของกรดที่เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันการเติมกรดไกลโคลิกยังส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมันสำปะหลังและเมื่อแอมกัมมีแนวโน้มที่ลดลงเช่นกัน โดยอุณหภูมิการสลายตัวของแผ่นฟิล์มลดลงเมื่อปริมาณของกรดไกลโคลิกเพิ่มขึ้น

5. การเติมเมื่อแอมกัมส่งผลให้สมบัติความชอบน้ำของแผ่นฟิล์มปิดแผลมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเพิ่มปริมาณเมื่อแอมกัมส่งผลให้ค่าสัดส่วนเจมีค่าลดลง ค่าการซึมผ่านไอน้ำและค่าบวมน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณเมื่อแอมกัมที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกแล้วพบว่าสมบัติความชอบน้ำของแผ่นฟิล์มปิดแผลมีค่าลดลง โดยค่าสัดส่วนเจมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าการซึมผ่านไอน้ำและค่าบวมน้ำลดลงตามความเข้มข้นของกรดซัคซินิกที่เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันการเติมกรดไกลโคลิกในแผ่นปิดแผลยังส่งผลให้สมบัติการชอบน้ำลดลงเช่นกัน โดยที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ความปริมาณของกรดไกลโคลิกที่ 15 %w/v และปริมาณของกรดไกลโคลิกที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อสมบัติความชอบน้ำ

6. การเติมเมื่อแอมกัมส่งผลต่อสมบัติเชิงกลอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าความเค้น ณ จุดขาดและค่ามอดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเมื่อแอมกัมที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าลดลงโดยไม่ขึ้นกับปริมาณของเมื่อแอมกัมที่เพิ่มขึ้น หลังจากการเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกพบการเชื่อมขวางทางเคมีไม่มีผลต่อค่าความเค้น ณ จุดขาด แต่มีค่ามอดูลัสที่ลดลง และมีการยืดตัว ณ จุดขาดที่เพิ่ม นอกจากนี้การเติมกรดไกลโคลิกไม่ส่งผลต่อค่าความเค้น ณ จุดขาด แต่ค่ามอดูลัสมีแนวโน้มที่ลดลงและการยืดตัว ณ จุดขาดมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

7. จากการทดสอบการต้านเชื้อจุลินทรีย์โดยวิธีการตรวจวัดร้อยละการลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์พบว่ากรดไกลโคลิกมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ *S. aureus* (แกรมบวก) และ *E. coli* (แกรมลบ) โดยสามารถลดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ 100 % ตั้งแต่ปริมาณของกรดไกลโคลิกที่ 15 %w/w ในขณะที่แผ่นฟิล์มปิดแผลที่ไม่เติมกรดไกลโคลิกที่มีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น

8. สำหรับการเติมกรดไกลโคลิกลงในแผ่นฟิล์มปิดแผลไม่ส่งผลให้มีความเป็นเป็นต่อเซลล์ HaCat โดยมีร้อยละของเซลล์รอดชีวิตในช่วง 90.99 - 98.11 เมื่อใช้ปริมาณกรดไกลโคลิกที่ 15 20 และ 25 %w/w แผ่นฟิล์มปิดแผลที่ไม่เติมกรดไกลโคลิกมีค่าของเซลล์รอดชีวิตเท่ากับ 94.56 %

9. การปรับปรุงแป้งด้วยวิธีความร้อนขึ้นสามารถเพิ่มสมบัติเชิงกล ความเป็นผลึก และสัดส่วนเจลและลดความสามารถในการดูดซึมน้ำและการซึมผ่านของไอน้ำได้ นอกจากนี้การปรับปรุงแป้งด้วยความร้อนขึ้นไม่ส่งผลต่อหมู่ฟังก์ชันของแผ่นฟิล์มปิดแผล

จากการวิเคราะห์และทดสอบสมบัติทั้งหมดในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ว่า แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ดัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้น ผสมเมื่อแอมกัม 30 %w/w เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกปริมาณ 0.50 %w/w และเติมกรดไกลโคลิกปริมาณ 15 %w/w มีสมบัติโดยรวมเหมาะสม

ที่สุด โดยพิจารณาจากความเป็นผลึก เสถียรภาพทางความร้อน สมบัติความชอบน้ำ สมบัติเชิงกล ประสิทธิภาพในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ และความเป็นพิษต่อเซลล์

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งมันสำปะหลังที่ดัดแปรด้วยวิธีความร้อน ขึ้นผสมเมือกเม็ดแมงลัก เชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกและเพิ่มความสามารถในการต้านเชื้อด้วยกรดไกลโคลิก ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาแผ่นฟิล์มปิดแผล ดังนี้

1. ทำการจำลองสภาวะการจัดเก็บแผ่นฟิล์มปิดแผลระหว่างรอการใช้งานและทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของแผ่นฟิล์มปิดแผลหลังจากการจัดเก็บ เพื่อศึกษาถึงระยะเวลาที่สามารถจัดเก็บฟิล์มที่เตรียมได้
2. ทำการศึกษาสมบัติของแผ่นฟิล์มปิดแผลเพิ่มเติมในเรื่องของความสามารถในการปลดปล่อยยา เช่น ยาปฏิชีวนะ หรือสารสกัดจากธรรมชาติ เป็นต้น และการทดสอบในเซลล์หรือสัตว์ทดลอง เช่น หนูทดลอง หรือกระต่ายทดลอง เป็นต้น
3. พัฒนาแผ่นฟิล์มปิดแผลในรูปแบบผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น แผ่นปิดสิว แผ่นเจลลดไข้ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- Adamu, A.D., Jikan, S.S. Talip, B.H.A. Badarulzaman, N.A. and Yahaya, S. 2017. "Effect of Glycerol on the Properties of Tapioca Starch Film." *Materials Science Forum*. 239-43.
- Akbari, I. and Ghoreishi, S.M. 2017. "Generation of Porous Structure from Basil Seed Mucilage via Supercritical Fluid Assisted Process for Biomedical Applications." *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Developmental Research*. 3: 030-35.
- Amaraweera, S.M. Gunathilake, C. Gunawardene, O.H.P. Fernando, N.M. Wanninayaka, D.B. Manamperi, A. Dassanayake, R.S. Rajapaksha, S.M. Gangoda, M. and Fernando, C.A.N. 2021. "Preparation and characterization of biodegradable cassava starch thin films for potential food packaging applications." *Cellulose*. 28: 10531-48.
- Ashogbon, A.O. and Akintayo, E.T. 2014. "Recent Trend in the Physical and Chemical Modification of Starches from Different Botanical Sources: A Review." *Starch-Stärke*. 66: 41-57.
- Ayquipa-Cuellar, E. Salcedo-Sucasaca, L. Azamar-Barrios, J.A. and Chaquilla-Quilca, G. 2021. "Assessment of Prickly Pear Peel Mucilage and Potato Husk Starch for Edible Films Production for Food Packaging Industries." *Waste and Biomass Valorization*. 12: 321-31.
- Azeredo, H.M.C, and Waldron, K.W. 2016. "Crosslinking in Polysaccharide and Protein Films and Coatings for Food Contact—A Review." *Trends in Food Science & Technology*. 52: 109-22.
- Bajer, D. and Burkowska-But, A. 2022. "Innovative and Environmentally Safe Composites Based on Starch Modified with Dialdehyde Starch, Caffeine, or Ascorbic Acid for Applications in the Food Packaging Industry." *Food Chemistry*. 374: 131639.
- Ban, Ga-Hee, Sang-Hyun Park, Sang-Oh Kim, Sangryeol Ryu, and Dong-Hyun Kang. 2012. 'Synergistic Effect of Steam and Lactic Acid Against *Escherichia Coli* O157: H7, *Salmonella Typhimurium*, And *Listeria Monocytogenes* Biofilms on Polyvinyl Chloride and Stainless Steel." *International Journal of Food Microbiology*. 157: 218-23.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Belay, M. Tyeb, S. Rathore, K. Kumar, M. and Verma, V. 2020. "Synergistic Effect of Bacterial Cellulose Reinforcement and Succinic Acid Crosslinking on the Properties of Agar." *International Journal of Biological Macromolecules*. 165: 3115-22.
- BeMiller, J.N. 2018. "Physical Modification of Starch." in, *Starch in food* (Elsevier).
- Bucktowar, K., Bucktowar, M. and Bholoa, L.D. 2016. "A Review on Sweet Basil Seeds: Ocimum Basilicum." *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 5: 554-67.
- Bueno, J. Demirci, F. and Baser, K.H.C. 2017. "Antimicrobial Strategies in Novel Drug Delivery Systems: Applications in the Treatment of Skin and Soft Tissue Infections." *The Microbiology of Skin, Soft Tissue, Bone and Joint Infections* (Elsevier).
- Cao, R. Liu, X. Guo, J. and Xu, Y. 2021. "Comparison of Various Organic Acids for Xylo-Oligosaccharide Productions in Terms of pKa Values and Combined Severity." *Biotechnology for Biofuels*. 14: 1-8.
- Chaichi, M. Hashemi, M. Badii, F. and Mohammadi, A. 2017. "Preparation and Characterization of a Novel Bionanocomposite Edible Film Based on Pectin and Crystalline Nanocellulose." *Carbohydrate Polymers*. 157: 167-75.
- Chaya, N. and Prachayawarakorn, J. 2021. "Effect of Temperatures and Times on Properties of Heat-moisture Treated Starch Films." *The International Polymer Conference of Thailand*. PCT-11 : 120-124.
- Chelli, R. Procacci, P. Cardini, G. and Califano, S. 1999. "Glycerol Condensed Phases Part II. A Molecular Dynamics Study of the Conformational Structure and Hydrogen Bonding." *Physical Chemistry Chemical Physics*. 1: 879-85.
- Chen, W.C. Syed Mohd Judah, S.N.M. Ghazali, S.K. Munthoub, D.I. Alias, H. Mohamad, Z. and Majid, R.A. 2021. "The Effects of Citric Acid on Thermal and Mechanical Properties of Crosslinked Starch Film." *Chemical Engineering*. 83.
- Christmann, B. 2014. Breaking Research: A Method by which Invading Bacteria Avoid Detection Could Also be Our Key to Defeating Them. [Online] Available: <https://blogs.brandeis.edu/flyonthewall/breaking-research-a-method-by-which-invading-bacteria-avoid-detection-could-also-be-our-key-to-defeating-them/>.

- Cui, C. Jia, Y. Sun, Q. Yu, M. Ji, N. Dai, L. Wang, Y. Qin, Y. Xiong, L. and Sun, Q. 2022. "Recent Advances in the Preparation, Characterization, and Food Application of Starch-Based Hydrogels." *Carbohydrate Polymers*. 291: 119624.
- da Rosa Zavareze, E. and Dias, A.R.G. 2011. "Impact of Heat-Moisture Treatment and Annealing in Starches: A Review." *Carbohydrate Polymers*. 83: 317-328.
- Dastidar, T.G., and Netravali, A.N. 2012. "Green Crosslinking of Native Starches with Malonic Acid and Their Properties." *Carbohydrate Polymers*. 90: 1620-1628.
- Dilyana, H. Rusinova-Videva, S. and Konstantinov, S. 2021. "Biologically Active Substances and Extracts of Fungal Origin." *Pharmacognosy Reviews*. 15.
- Fernandes, S. Gomes, I.B. and Simões, M. 2020. "Antimicrobial Activity of Glycolic Acid and Glyoxal Against *Bacillus cereus* and *Pseudomonas fluorescens*." *Food Research International*. 136: 109346.
- . 2022. "Antibiofilm Activity of Glycolic Acid and Glyoxal and Their Diffusion-Reaction Interactions with Biofilm Components." *Food Research International*. 152: 110921.
- Fukuya, M.N. Senoo, K. Kotera, M. Yoshimoto, M. and Sakata, O. 2017. "Change in the Crystallite Orientation of Poly(Ethylene Oxide)/Cellulose Nanofiber Composite Films." *Biomacromolecules*. 18: 4411-4415.
- Gambin, D.J. Leal, L.O. Farina, A.P. Souza, M.A. and Cecchin, D. 2020. "Antimicrobial Activity of Glycolic Acid as a Final Irrigant Solution for Root Canal Preparation." *Gen Dent*. 68: 41-44.
- Gunaratne, Anil. 2023. 'Heat-moisture treatment of starch.' in, *Physical modifications of starch* (Springer).
- Gunaratne, A. and Hoover, R. 2002. "Effect of Heat-Moisture Treatment on the Structure and Physicochemical Properties of Tuber and Root Starches." *Carbohydrate Polymers*. 49: 425-437.
- Hasan, S. Hasan, M.A. Hassan, M.U. Amin, M. Noreen, S. Anwar, A. and Abbas, N.S. 2023. "Statistical and Neural Intelligence Modeling for Basil Seed Mucilage Extraction Optimization: Implications for Sustainable and Cost-Effective Industrial Plant Products." *Industrial Crops and Products*. 204: 117258.

- Hizukuri, S. Takeda, Y. Yasuda, M. and Suzuki, A. 1981. "Multi-Branched Nature of Amylose and the Action of Debranching Enzymes." *Carbohydrate Research*. 94: 205-213.
- Hosseini-Parvar, S.H. Matia-Merino, L. Goh, K.K.T. Razavi, S.M.A. and Mortazavi, S.A. 2010. "Steady Shear Flow Behavior of Gum Extracted from *Ocimum basilicum* L. Seed: Effect of Concentration and Temperature." *Journal of Food Engineering*. 101: 236-243.
- Hosseini, M. S., and Nabid, M. R. 2020. "Synthesis of Chemically Cross-Linked Hydrogel Films Based on Basil Seed (*Ocimum basilicum* L.) Mucilage for Wound Dressing Drug Delivery Applications." *International Journal of Biological Macromolecules*. 163: 336-347.
- Jayakumar, R. Prabakaran, M, Kumar, P.T.S. Nair, S.V. and Tamura, H.J.B.A. 2011. "Biomaterials Based on Chitin and Chitosan in Wound Dressing Applications." *Biotechnology Advances*. 29: 322-337.
- Kamoun, E.A. Kenawy, E.S. and Chen, X. 2017. "A Review on Polymeric Hydrogel Membranes for Wound Dressing Applications: PVA-Based Hydrogel Dressings." *Journal of Advanced Research*. 8: 217-233.
- Khazaei, N. Esmaili, M. Djomeh, Z.E. Ghasemlou, M. and Jouki, M. 2014. "Characterization of New Biodegradable Edible Film Made from Basil Seed (*Ocimum basilicum* L.) Gum." *Carbohydrate Polymers*. 102: 199-206.
- King, J.B. and Stickler, D.J. 1991. "An Assessment of Antiseptic Bladder Washout Solutions Using a Physical Model of the Catheterized Bladder." *Journal of Hospital Infection*. 18: 179-90.
- Klein, B. Pinto, V.Z. Vanier, N.L. Zavareze, E.R. Colussi, R. do Evangelho, J.A. Gutkoski, L.C. and Dias, A.R.G. 2013. "Effect of Single and Dual Heat-Moisture Treatments on Properties of Rice, Cassava, and Pinhao Starches." *Carbohydrate Polymers*. 98: 1578-84.
- Koch, K. Johansson, D. Johansson, K. and Svegmark, K. 2014. "Material Properties and Molecular Aspects of Highly Acetylated Starch-Based Films." *Journal of Renewable Materials*. 2: 134-44.

- Kondo, T. Sawatari, C. Manley, R.St.J. and Gray, D.G. 1994. "Characterization of Hydrogen Bonding in Cellulose-Synthetic Polymer Blend Systems with Regioselectively Substituted Methylcellulose." *Macromolecules*. 27: 210-15.
- Krystyan, M. Khachatryan, G. Ciesielski, W. Buksa, K. and Sikora, M. 2017. "Preparation and Characteristics of Mechanical and Functional Properties of Starch/Plantago Psyllium Seeds Mucilage Films." *Starch-Stärke*. 69: 1700014.
- Kumar, M. Wangoo, N. Gondil, V.S. Pandey, S.K. Lalhall, A. Sharma, R.K. and Chhibber, S. 2020. "Glycolic Acid Functionalized Silver Nanoparticles: A Novel Approach Towards Generation of Effective Antibacterial Agent Against Skin Infections." *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 60: 102074.
- Lai, W.W. Hsiao, Y.P. Chung, J.G. Wei, Y.H. Cheng, Y.W. and Yang, J.H. 2011. "Synergistic Phototoxic Effects of Glycolic Acid in a Human Keratinocyte Cell Line (HaCaT)." *Journal of Dermatological Science*. 64: 191-98.
- Li, B. Xie, B. and Kennedy, J.F. 2006. "RETRACTED: Studies on the Molecular Chain Morphology of Konjac Glucomannan." Elsevier.
- Liu, J. Yu, S. Han, B. and Chen, J. 2017. "Effects of Benzalkonium Chloride and Ethanol on Dual-Species Biofilms of *Serratia liquefaciens* S1 and *Shewanella putrefaciens* S4." *Food Control*. 78: 196-202.
- Lomelí-Ramírez, M.G. Barrios-Guzmán, A.J. García-Enriquez, S. Rivera-Prado, J. J. and Manríquez-González, R. 2014. "Chemical and Mechanical Evaluation of Bio-Composites Based on Thermoplastic Starch and Wood Particles Prepared by Thermal Compression." *BioResources*. 9: 2960-74.
- Luther, M.K. Bilida, S. Mermel, L.A. and LaPlante, K.L. 2015. "Ethanol and Isopropyl Alcohol Exposure Increases Biofilm Formation in *Staphylococcus Aureus* and *Staphylococcus Epidermidis*." *Infectious Diseases and Therapy*. 4: 219-26.
- Mbituyimana, B. Mao, L. Hu, S. Ullah, M.W. Chen, K. Fu, L. Zhao, W. Shi, Z. and Yang, G. 2021. "Bacterial Cellulose/Glycolic Acid/Glycerol Composite Membrane as a System to Deliver Glycolic Acid for Anti-Aging Treatment." *Journal of Bioresources and Bioproducts*. 6: 129-41.

- McHugh, T.H. and Krochta, J. M. 1994. "Sorbitol-Vs Glycerol-Plasticized Whey Protein Edible Films: Integrated Oxygen Permeability and Tensile Property Evaluation." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 42: 841-45.
- Mirhosseini, H. and Tabatabaee Amid, B. 2012. "A Review Study on Chemical Composition and Molecular Structure of Newly Plant Gum Exudates and Seed Gums." *Food Research International*. 46: 387-98.
- Mitra, T. Sailakshmi, G. Gnanamani, A. and Mandal, A.B. 2013. "Studies on Cross-Linking of Succinic Acid with Chitosan/Collagen." *Materials Research*. 16: 755-65.
- Mogoşanu, G.D. and Grumezescu, A.M. 2014. "Natural and Synthetic Polymers for Wounds and Burns Dressing." *International Journal of Pharmaceutics*. 463: 127-36.
- Nair, S.B. Jyothi, A.N. Sajeev, M.S. and Misra, R. 2011. "Rheological, Mechanical and Moisture Sorption Characteristics of Cassava Starch-Konjac Glucomannan Blend Films." *Starch-Stärke*. 63: 728-39.
- Naji-Tabasi, S. and Razavi, S.M.A. 2017. "Functional Properties and Applications of Basil Seed Gum: An Overview." *Food Hydrocolloids*. 73: 313-25.
- Naji-Tabasi, S. Razavi, S.M.A. and Mehditabar, H. 2017. "Fabrication of Basil Seed Gum Nanoparticles as a Novel Oral Delivery System of Glutathione." *Carbohydrate Polymers*. 157: 1703-1713.
- Naji-Tabasi, S. Razavi, S.M.A. Mohebbi, M. and Malaekheh-Nikouei, B. 2016. "New Studies on Basil (*Ocimum basilicum L.*) Seed Gum: Part I—Fractionation, Physicochemical and Surface Activity Characterization." *Food Hydrocolloids*. 52: 350-358.
- Nandi, S. and Guha, P. 2021. "Organic Acid-Compatibilized Potato Starch/Guar Gum Blend Films." *Materials Chemistry and Physics*. 268: 124714.
- Nazir, S. and Wani, I.A. 2022. "Fractionation and Characterization of Mucilage from Basil (*Ocimum basilicum L.*) Seed." *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. 31: 100429.
- Nazir, S. and Wani, I.A. 2021. "Functional Characterization of Basil (*Ocimum basilicum L.*) Seed Mucilage." *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 25: 100261.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Nghiem, N.P. Kleff, S. and Schwegmann, S. 2017. “*Succinic Acid: Technology Development and Commercialization.*” *Fermentation*. 3: 26.
- Nguyen, H.S.H. Heinonen, J. and Sainio, T. 2018. “Acid Hydrolysis of Glycosidic Bonds in Oat β -Glucan and Development of a Structured Kinetic Model.” *AIChE Journal*. 64: 2570-2580.
- Nomura, S. Kyutoku, T. Shimomura, N. Kaneko, Y. and Kadokawa, J. 2011. “Preparation of Inclusion Complexes Composed of Amylose and Biodegradable Poly(Glycolic Acid-Co- ϵ -Caprolactone) by Vine-Twining Polymerization and Their Lipase-Catalyzed Hydrolysis Behavior.” *Polymer Journal*. 43: 971-977.
- Okino, S. Noburyu, R. Suda, M. Jojima, T. Inui, M. and Yukawa, H. 2008. “An Efficient Succinic Acid Production Process in a Metabolically Engineered *Corynebacterium glutamicum* Strain.” *Applied Microbiology and Biotechnology*. 81: 459-464.
- Olivato, J.B. Grossmann, M.V.E. Bilck, A.P. and Yamashita, F. 2012. “Effect of Organic Acids as Additives on the Performance of Thermoplastic Starch/Polyester Blown Films.” *Carbohydrate Polymers*. 90: 159-64.
- Pan, T. Lin, L. Wang, J. Liu, Q. and Wei, C. 2018. “Long Branch-Chains of Amylopectin with B-Type Crystallinity in Rice Seed with Inhibition of Starch Branching Enzyme I and IIb Resist In Situ Degradation and Inhibit Plant Growth During Seedling Development: Degradation of Rice Starch with Inhibition of SBEI/IIb During Seedling Development.” *BMC Plant Biology*. 18: 1-11.
- Park, S.Y. Lee, B.I. Jung, S.T. and Park, H.J. 2001. “Biopolymer Composite Films Based on K-Carrageenan and Chitosan.” *Materials Research Bulletin*. 36: 511-19.
- Ramachandran, R. Jung, D. and Spokoyny, A.M. 2019. “Cross-Linking Dots on Metal Oxides.” *NPG Asia Materials*. 11: 19.
- Ramlli, M.A. Bashirah, N.A.A. and Isa, M.I.N. 2018. “Ionic Conductivity and Structural Analysis of 2-Hydroxyethyl Cellulose Doped with Glycolic Acid Solid Biopolymer Electrolytes for Solid Proton Battery.” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 012038. IOP Publishing.
- Razavi, S.M.A. Mortazavi, S.A. Matia-Merino, L., Hosseini-Parvar, S.H., Motamedzadegan, A., and Khanipour, E. 2009. “Optimisation Study of Gum Extraction from Basil Seeds

- (*Ocimum Basilicum L.*)” *International Journal of Food Science & Technology*. 44: 1755-62.
- Rijal, N. 2022. Starch Hydrolysis Test: Principle, Procedure, Results.
[Online] Available: <https://microbeonline.com/starch-hydrolysis-test/>.
- Rivera-Corona, J.L. Rodríguez-González, F. Rendón-Villalobos, R. García-Hernández, E. and Solorza-Feria, J. 2014. “Thermal, Structural and Rheological Properties of Sorghum Starch with Cactus Mucilage Addition.” *LWT-Food Science and Technology*. 59: 806-12.
- Sagar, A.D. and Merrill, E.W. 1995. “Properties of Fatty-Acid Esters of Starch.” *Journal of Applied Polymer Science*. 58: 1647-56.
- Savadekar, N.R. and Mhaske, S.T. 2012. “Synthesis of Nano Cellulose Fibers and Effect on Thermoplastics Starch Based Films.” *Carbohydrate Polymers*. 89: 146-51.
- Sharad, J. 2013. “Glycolic Acid Peel Therapy—A Current Review.” *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*. 281-88.
- Thakker, C. Martínez, I. San, K.Y. and Bennett, G.N. 2012. “Succinate Production in *Escherichia coli*.” *Biotechnology Journal*. 7: 213-224.
- Thessrimuang, N. and Prachayawarakorn, J. 2019a. “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.
- 2019b. “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.
- Thomas D. J. and Atwell, W. A. 1999. “Starches.” *Amer Assn of Cereal Chemists*.
- Torres, F.G. Commeaux, S. and Troncoso, O.P. 2013. “Starch-Based Biomaterials for Wound-Dressing Applications.” *Starch-Stärke*. 65: 543-551.
- Valle-González, E.R. Jackman, J.A. Yoon, B.K. Mokrzecka, N. and Cho, N.J. 2020. “pH-Dependent Antibacterial Activity of Glycolic Acid: Implications for Anti-Acne Formulations.” *Scientific Reports*. 10: 7491.
- Viana, E.B.M., Oliveira, N.L. Ribeiro, J.S. Almeida, M.F. Souza, C.C.E. Resende, J.V. Santos, L.S. and Veloso, C.M. 2022. “Development of Starch-Based Bioplastics of Green

- Plantain Banana (*Musa paradisiaca* L.) Modified with Heat-Moisture Treatment (HMT).” *Food Packaging and Shelf Life*. 31: 100776.
- Whistler R. L. and Daniel J. R. 2005. Starch, in Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology Volume 22, 5th Edition (Ed. A. Seidel). Hoboken, USA. John Wiley & Sons, Inc.
- Young A. H. 2006. Fractionation of Starch: Chemistry and Technology. London, UK. Academic Press, Inc.,
- Zain, A.H.M. Wahab, M.K.A. and Ismail, H. 2018. “Biodegradation Behaviour of Thermoplastic Starch: The Roles of Carboxylic Acids on Cassava Starch.” *Journal of Polymers and the Environment*. 26: 691-700.
- Zareen, S. Nawab, A. Alam, F. and Hadi, A. 2023. “The Impact of Heat-Moisture Treatment and Pre-Gelatinization on Functional, Mechanical, and Barrier Properties of Basmati Rice Starch Films.” *Cereal Chemistry*. 100: 675-684.
- Zepon, K.M. Martins, M.M. Marques, M.S. Heckler, J.M. Morisso, F.D.P. Moreira, M.G. Ziulkoski, A.L. and Kanis, L.A. 2019. “Smart Wound Dressing Based on K-Carrageenan/Locust Bean Gum/Cranberry Extract for Monitoring Bacterial Infections.” *Carbohydrate Polymers*. 206: 362-370.
- Zhang, X. Li, Y.B. Zuo, Y. Lv, G.Y. Mu, Y.H. and Li, H. 2007. “Morphology, Hydrogen-Bonding and Crystallinity of Nano-Hydroxyapatite/Polyamide 66 Biocomposites.” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 38: 843-848.
- ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์. 2544. “เกณฑ์การให้คะแนน Rubrics.” [Online]. Available : https://avs.kku.ac.th/OER-KKU/101/UTQ-2104/unit4/content/content3/content3_1.html.
- นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และปรีชา สุวรรณพินิจ. 2541. “ลักษณะและโครงสร้างละเอียดของแบคทีเรีย: จุลชีววิทยาทั่วไป.” พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักควบคุมเครื่องสำอางและวัตถุอันตราย. 2558. สารต้านเชื้อจุลินทรีย์ ที่ใช้ในบ้านเรือนหรือทางสาธารณสุข. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1. การเตรียมสารละลายกรดซัคซินิกเพื่อใช้ในการเชื่อมขวางทางเคมี

เตรียมสารละลายกรดซัคซินิก 1.25 2.50 และ 5.00 %w/v โดยการละลายกรดซัคซินิก 1.25 2.50 และ 5.00 g ในน้ำกลั่น ตามลำดับ และปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml ของแต่ละความเข้มข้น โดยเมื่อเปรียบระหว่างหน่วย %w/v และ %w/w สามารถแสดงได้ตามรายละเอียดในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ตารางเปรียบเทียบปริมาณของกรดซัคซินิกในหน่วย %w/v กับ %w/w ของน้ำหนักพอลิเมอร์ทั้งหมด

ความเข้มข้นของกรดซัคซินิก (%w/v)	ปริมาณของกรดซัคซินิกในสารละลาย 100 ml (g)	ปริมาณของกรดซัคซินิกในสารละลาย 1 ml (g)	ปริมาณของกรดซัคซินิกเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักพอลิเมอร์ทั้งหมด 5 g (%w/w)
1.25	1.25	0.0125	0.25
2.50	2.50	0.0250	0.50
5.00	5.00	0.0500	1.00

ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณในหน่วย %w/v ของสารละลาย ต่อ %w/w ของน้ำหนักพอลิเมอร์ทั้งหมด จะมีปริมาณดังนี้ 0.25 0.50 และ 1.00 %w/w

2. การเตรียมสารละลายกรดไกลโคลิกเพื่อใช้ในการเชื่อมขวางทางเคมี

เตรียมสารละลายกรดซัคซินิก 15 20 และ 25 %w/v โดยการละลายกรดซัคซินิก 1.50 2.00 และ 2.50 g ในน้ำกลั่น ตามลำดับ และปรับปริมาตรให้ได้ 10 ml ของแต่ละความเข้มข้น โดยเมื่อเปรียบระหว่างหน่วย %w/v และ %w/w สามารถแสดงได้ตามรายละเอียดในตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 ตารางเปรียบเทียบปริมาณของกรดไกลโคลิกในหน่วย %w/v กับ %w/w ของน้ำหนักรวมของเมอร์ทั้งหมด

ความเข้มข้นของกรดซัคซินิก (%w/v)	ปริมาณของกรดซัคซินิกในสารละลาย 10 ml (g)	ปริมาณของกรดซัคซินิกในสารละลาย 5 ml (g)	ปริมาณของกรดซัคซินิกเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักรวมของเมอร์ทั้งหมด 5 g (%w/w)
15	1.50	0.75	15
20	2.00	1.00	20
25	2.50	1.25	25

ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณในหน่วย %w/v ของสารละลาย ต่อ %w/w ของน้ำหนักรวมของเมอร์ทั้งหมด จะมีปริมาณดังนี้ 15 20 และ 25 %w/w



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score ผู้วิจัยได้ทำการประเมินทั้งหมด 7 ตัวแปร ดังนี้ ปริมาณของสารที่ใช้ ต้นทุน ค่าความเค้น ณ จุดขาด ค่ามอดูลัส ค่าสัดส่วนเจล ประสิทธิภาพในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ และความเป็นพิษต่อเซลล์ สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

ข.1 การประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score ของฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ

ข.1.1 ปริมาณของเมือกแมงลักและต้นทุน

แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีเมือกแมงลักที่ปริมาณ 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 กรัม สามารถประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score ได้ดังนี้ ปริมาณเมือกแมงลักในช่วง 0.5-1.0 1.1-1.5 1.6-2.0 และ 2.1-2.5 มีคะแนนเท่ากับ 4 3 2 และ 1 ตามลำดับ โดยกำหนดให้ราคาต้นทุนมีคะแนนเท่ากับปริมาณของเมือกแมงลักที่ใช้ในแต่ละสูตร ดังนั้นสามารถแสดงผลการให้คะแนนได้ดังตาราง

ตารางที่ ข.1 ตารางแสดงผลคะแนนของปริมาณของเมือกแมงลักและต้นทุนในแต่ละสูตร

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ปริมาณเมือกแมงลัก (กรัม)	คะแนน	
		ปริมาณเมือกแมงลัก	ต้นทุน
HMT-10BSM	0.5	4	4
HMT-20BSM	1.0	4	4
HMT-30BSM	1.5	3	3
HMT-40BSM	2.0	2	2
HMT-50BSM	2.5	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1.2 ค่าความเค้น ณ จุดขาด

แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ มีค่าความเค้น ณ จุดขาด แสดงดังตารางที่ ข.2 และสามารถประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score ได้ดังนี้ ค่าความเค้นในช่วง 3.70 - 6.08 6.09 - 8.47 8.48 - 10.86 และ 10.87 - 13.22 MPa มีคะแนนเท่ากับ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถแสดงผลการให้คะแนนได้ดังตาราง

ตารางที่ ข.2 ตารางแสดงผลคะแนนของค่าความเค้น ณ จุดขาดในแต่ละสูตร

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ค่าความเค้น ณ จุดขาด (MPa)	คะแนน
HMT-10BSM	3.70	1
HMT-20BSM	6.02	1
HMT-30BSM	9.31	3
HMT-40BSM	11.68	4
HMT-50BSM	13.22	4

ข.1.3 ค่ามอดูลัส

แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ มีค่ามอดูลัส แสดงดังตารางที่ ข.3 และสามารถประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score ได้ดังนี้ ค่าความเค้นในช่วง 34.55 - 46.79 46.80 - 59.03 59.04 - 71.27 และ 71.28 - 83.52 MPa มีคะแนนเท่ากับ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถแสดงผลการให้คะแนนได้ดังตาราง

ตารางที่ ข.3 ตารางแสดงผลคะแนนของค่าความเค้น ณ จุดขาดในแต่ละสูตร

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ค่ามอดูลัส (MPa)	คะแนน
HMT-10BSM	34.55	1
HMT-20BSM	46.44	1
HMT-30BSM	70.61	3
HMT-40BSM	76.01	4
HMT-50BSM	83.52	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1.4 ค่าสัดส่วนเจล

แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ มีค่ามอดูลัสแสดงดังตารางที่ ข.3 และสามารถประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score ได้ดังนี้ ค่าความเค้นในช่วง 7.44 - 16.33 16.34 - 25.23 25.24 - 34.13 และ 34.14 - 43.02 % มีคะแนนเท่ากับ 4 3 2 และ 1 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถแสดงผลการให้คะแนนได้ดังตาราง

ตารางที่ ข.4 ตารางแสดงผลคะแนนของค่าความเค้น ณ จุดขาดในแต่ละสูตร

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ค่าสัดส่วนเจล (%)	คะแนน
HMT-10BSM	43.02	4
HMT-20BSM	30.18	3
HMT-30BSM	18.38	2
HMT-40BSM	14.37	1
HMT-50BSM	7.44	1

ข.2 การประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score ของฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกที่ปริมาณต่าง ๆ

ข.2.1 ปริมาณของกรดซัคซินิกและต้นทุน

แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกที่ปริมาณ 0.25 0.50 และ 1.00 % สามารถประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score ได้ดังนี้ ปริมาณกรดซัคซินิกในช่วง 0.25-0.4375 0.4375-0.625 0.625-0.8125 และ 0.8125-1.00 มีคะแนนเท่ากับ 4 3 2 และ 1 ตามลำดับ โดยกำหนดให้ราคาต้นทุนมีคะแนนเท่ากันกับปริมาณของกรดซัคซินิกที่ใช้ในแต่ละสูตร ดังนั้นสามารถแสดงผลการให้คะแนนได้ดังตาราง

ตารางที่ ข.5 ตารางแสดงผลคะแนนของปริมาณของเมือกแมงลักและต้นทุนในแต่ละสูตร

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ปริมาณกรดซัคซินิก (%)	คะแนน	
		ปริมาณกรดซัคซินิก	ต้นทุน
HMT-30BSM-0.25SA	0.25	4	4
HMT-30BSM-0.50SA	0.50	3	3
HMT-30BSM-1.00SA	1.00	1	1

ข.2.2 ค่าความเค้น ณ จุดขาด

แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกที่ปริมาณต่าง ๆ มีค่าความเค้น ณ จุดขาด แสดงดังตารางที่ ข.5 และสามารถประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score ได้ดังนี้ ค่าความเค้นในช่วง 9.77-9.805 9.806-9.841 9.842-9.877 และ 9.878-9.91 MPa มีคะแนนเท่ากับ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถแสดงผลการให้คะแนนได้ดังตาราง

ตารางที่ ข.6 ตารางแสดงผลคะแนนของค่าความเค้น ณ จุดขาดในแต่ละสูตร

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ค่าความเค้น ณ จุดขาด (MPa)	คะแนน
HMT-30BSM-0.25SA	9.77	1
HMT-30BSM-0.50SA	9.91	2
HMT-30BSM-1.00SA	9.81	4

ข.2.3 ค่ามอดูลัส

แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ มีค่ามอดูลัส แสดงดังตารางที่ ข.3 และสามารถประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score ได้ดังนี้ ค่าความเค้นในช่วง 30.45 - 32.95 32.96 - 35.46 35.47 - 37.97 และ 37.98 - 40.44 MPa มีคะแนนเท่ากับ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถแสดงผลการให้คะแนนได้ดังตาราง

ตารางที่ ข.7 ตารางแสดงผลคะแนนของค่ามอดูลัสในแต่ละสูตร

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ค่ามอดูลัส (MPa)	คะแนน
HMT-30BSM-0.25SA	40.44	4
HMT-30BSM-0.50SA	36.43	3
HMT-30BSM-1.00SA	30.45	1

ข.2.4 ค่าสัดส่วนเจล

แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนชั้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกที่ปริมาณต่าง ๆ มีค่ามอดูลัสแสดงดังตารางที่ ข.3 และสามารถประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score ได้ดังนี้ ค่าความเค้นในช่วง 28.9 - 33.135 33.136 - 37.37 37.371 - 41.605 และ 41.606 - 45.84 % มีคะแนนเท่ากับ 4 3 2 และ 1 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถแสดงผลการให้คะแนนได้ดังตาราง

ตารางที่ ข.8 ตารางแสดงผลคะแนนของค่าความเค้น ณ จุดขาดในแต่ละสูตร

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ค่าสัดส่วนเจล (%)	คะแนน
HMT-30BSM-0.25SA	28.91	1
HMT-30BSM-0.50SA	30.05	1
HMT-30BSM-1.00SA	45.84	4

ข.3 การประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score ของฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนชั้นที่มีเมือกแมงลัก เชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกและมีสารต้านเชื้อจุลินทรีย์จากกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ข.3.1 ปริมาณของกรดไกลโคลิกและต้นทุน

แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนชั้นที่ผสมเมือกแมงลัก เชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกและมีสารต้านเชื้อจุลินทรีย์จากกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้น 15 20 และ 25 % สามารถประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score ได้ดังนี้ ปริมาณกรดซัคซินิกในช่วง 15.00-17.49 17.50-20.00 20.01-22.50 และ 22.51-25.00 มีคะแนนเท่ากับ 4 3 2 และ 1 ตามลำดับ โดยกำหนดให้ราคา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นทุนมีคะแนนเท่ากับปริมาณของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในแต่ละสูตร ดังนั้นสามารถแสดงผลการให้คะแนนได้ดังตาราง

ตารางที่ ข.9 ตารางแสดงผลคะแนนของปริมาณของเมือกแมงลักและต้นทุนในแต่ละสูตร

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ปริมาณกรดไกลโคลิก (%)	คะแนน	
		ปริมาณกรดซัลฟิวริก	ต้นทุน
HMT-30BSM-0.50SA-15GA	15	4	4
HMT-30BSM-0.50SA-20GA	20	2	2
HMT-30BSM-0.50SA-25GA	25	1	1

ข.3.2 ค่าความเค้น ณ จุดขาด

แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัลฟิวริกที่ปริมาณต่าง ๆ มีค่าความเค้น ณ จุดขาด แสดงดังตารางที่ ข.5 และสามารถประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score ได้ดังนี้ ค่าความเค้นในช่วง 9.89-10.28 10.28-10.66 10.66-11.04 และ 11.04-11.42 MPa มีคะแนนเท่ากับ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถแสดงผลการให้คะแนนได้ดังตาราง

ตารางที่ ข.10 ตารางแสดงผลคะแนนของค่าความเค้น ณ จุดขาดในแต่ละสูตร

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ค่าความเค้น ณ จุดขาด (MPa)	คะแนน
HMT-30BSM-0.50SA-15GA	9.89	1
HMT-30BSM-0.50SA-20GA	11.25	4
HMT-30BSM-0.50SA-25GA	11.42	4

ข.3.3 ค่ามอดุลัส

แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ มีค่ามอดุลัส แสดงดังตารางที่ ข.3 และสามารถประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score ได้ดังนี้ ค่าความเค้นในช่วง 47.16-49.60 49.60-52.04 52.04-54.48 และ 54.48-56.92 MPa มีคะแนนเท่ากับ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถแสดงผลการให้คะแนนได้ดังตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 ตารางแสดงผลคะแนนของค่ามอดุลัสในแต่ละสูตร

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ค่ามอดุลัส (MPa)	คะแนน
HMT-30BSM-0.50SA-15GA	47.16	1
HMT-30BSM-0.50SA-20GA	56.17	4
HMT-30BSM-0.50SA-25GA	56.92	4

ข.3.4 ค่าสัดส่วนเจล

แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกที่ปริมาณต่าง ๆ มีค่ามอดุลัสแสดงดังตารางที่ ข.3 และสามารถประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score ได้ดังนี้ ค่าความเค้นในช่วง 28.9 - 33.135 33.136 - 37.37 37.371 - 41.605 และ 41.606 - 45.84 % มีคะแนนเท่ากับ 4 3 2 และ 1 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถแสดงผลการให้คะแนนได้ดังตาราง

ตารางที่ ข.12 ตารางแสดงผลคะแนนของค่าความเค้น ณ จุดขาดในแต่ละสูตร

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ค่าสัดส่วนเจล (%)	คะแนน
HMT-30BSM-0.50SA-15GA	28.91	1
HMT-30BSM-0.50SA-20GA	30.05	1
HMT-30BSM-0.50SA-25GA	45.84	4

ข.3.5 ค่าประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์

แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกที่ปริมาณต่าง ๆ มีค่าการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์แสดงตารางที่ ข.13 และสามารถประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score ได้ดังนี้ 0-25 26-50 51-75 และ 75-100 % มีคะแนนเท่ากับ 4 3 2 และ 1 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถแสดงผลการให้คะแนนได้ดังตาราง

ตารางที่ ข.13 ตารางแสดงผลคะแนนของค่าความเค้น ณ จุดขาดในแต่ละสูตร

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ค่าการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ (%)	คะแนน
HMT-30BSM-0.50SA-15GA	100	4
HMT-30BSM-0.50SA-20GA	100	4
HMT-30BSM-0.50SA-25GA	100	4

ข.3.5 ค่าการรอดชีวิตของเซลล์ HaCat

แผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่ผสมเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกที่ปริมาณต่าง ๆ มีค่าการรอดชีวิตของเซลล์ HaCat แสดงตารางที่ ข.14 และสามารถประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 10993-5 ระบุไว้ว่า ค่าการรอดชีวิตของเซลล์ที่มีค่ามากกว่า 80 % แสดงว่าวัสดุนั้นไม่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ ค่าการรอดชีวิตของอยู่ระหว่าง 60-80 % แสดงว่าวัสดุนั้นมีความเป็นพิษต่อเซลล์เล็กน้อย ค่าการรอดชีวิตของอยู่ระหว่าง 40-60 % แสดงว่าวัสดุนั้นมีความเป็นพิษต่อเซลล์ปานกลาง และค่าการรอดชีวิตมีค่าต่ำกว่า 40 % แสดงว่าวัสดุนั้นมีความเป็นพิษต่อเซลล์อย่างรุนแรง โดยหากมีค่าการรอดชีวิตมากกว่า 80 % มีคะแนนเท่ากับ 4 หากค่าอยู่ระหว่าง 60-80 % มีคะแนนเท่ากับ 3 หากค่าอยู่ระหว่าง 40-60 % มีคะแนนเท่ากับ 2 และหากมีค่าต่ำกว่า 40 % มีคะแนนเท่ากับ 1 ดังนั้นสามารถแสดงผลการให้คะแนนได้ดังตาราง

ตารางที่ ข.14 ตารางแสดงค่าการรอดชีวิตของเซลล์ในแต่ละสูตร

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ค่าการรอดชีวิต (%)	คะแนน
HMT-30BSM-0.50SA-15GA	90.99	4
HMT-30BSM-0.50SA-20GA	92.11	4
HMT-30BSM-0.50SA-25GA	91.72	4

จากการทำการประเมินด้วยการให้คะแนนแบบ Rubric score ของทำทั้ง 3 ตอน คือ ตอนที่ 1 ศึกษาและเปรียบเทียบผลของเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ตอนที่ 2 ศึกษาและเปรียบเทียบผลของการเชื่อมโยงด้วยกรดซัคซินิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีต่อสมบัติของฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและเมือกแมงลัก และตอนที่ 3 ศึกษาและเปรียบเทียบผลของสารต้านเชื้อจุลินทรีย์จากกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อสมบัติของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและเมือกแมงลักที่ผ่านการเชื่อมขวางทางเคมี สามารถสรุปได้ ดังนี้

ตารางที่ ข.15 สรุปคะแนนแบบ Rubric score ของฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีเมือกแมงลักที่ปริมาณต่าง ๆ

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ปริมาณเมือกแมงลัก	ต้นทุน	ความเค้น ณ จุดขาด	มอดุลัส	ค่าสัดส่วน ของเจล	คะแนนรวม
HMT-10BSM	4	4	1	1	4	14
HMT-20BSM	4	4	1	1	3	13
HMT-30BSM	3	3	3	3	2	14
HMT-40BSM	2	2	4	4	1	13
HMT-50BSM	1	1	4	4	1	11

ตารางที่ ข.16 สรุปคะแนนแบบ Rubric score ของฟิล์มปิดแผลจากแป้งดัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีเมือกแมงลักและเชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกที่ปริมาณต่าง ๆ

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ปริมาณเมือกกรดซัคซินิก	ต้นทุน	ความเค้น ณ จุดขาด	มอดุลัส	ค่าสัดส่วน ของเจล	คะแนนรวม
HMT-30BSM-0.25SA	4	4	1	4	1	14
HMT-30BSM-0.50SA	3	3	2	3	1	12
HMT-30BSM-1.00SA	1	1	4	1	4	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

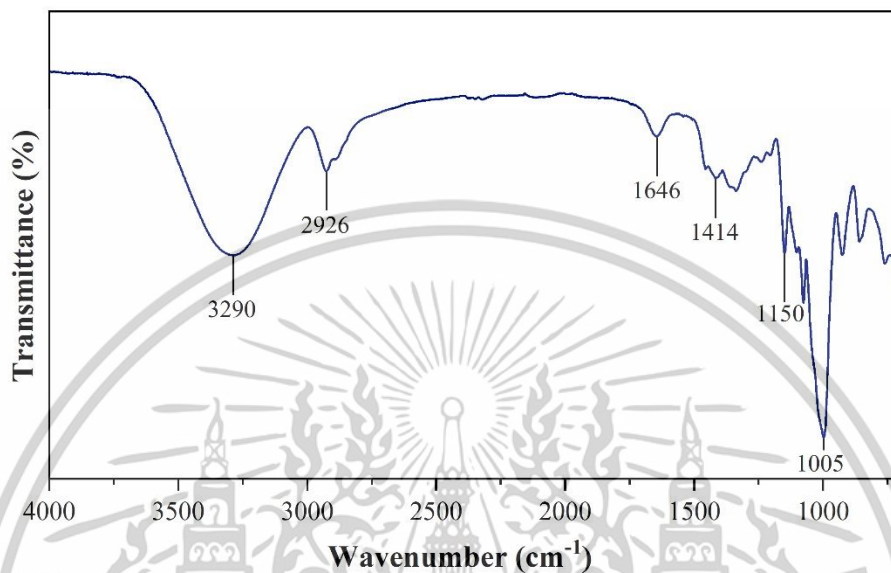
ตารางที่ ข.17 สรุปคะแนนแบบ Rubric score ของฟิล์มปิดแผลจากแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นที่มีเมือกแมงลัก เชื่อมขวางทางเคมีด้วยกรดซัคซินิกและมีสารต้านเชื้อจุลินทรีย์จากกรดไกลโคลิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

แผ่นฟิล์มปิดแผล	ปริมาณเมือกกรดไกลโคลิก	ต้นทุน	ความเค็ม ณ จุดขาด	มอดุลัส	ค่าสัดส่วนของเจล	การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์	ความเป็นพิษต่อเซลล์	คะแนนรวม
HMT-30BSM-0.25SA	4	4	1	1	1	4	4	22
HMT-30BSM-0.50SA	2	2	4	4	1	4	4	23
HMT-30BSM-1.00SA	1	1	4	4	4	4	4	19

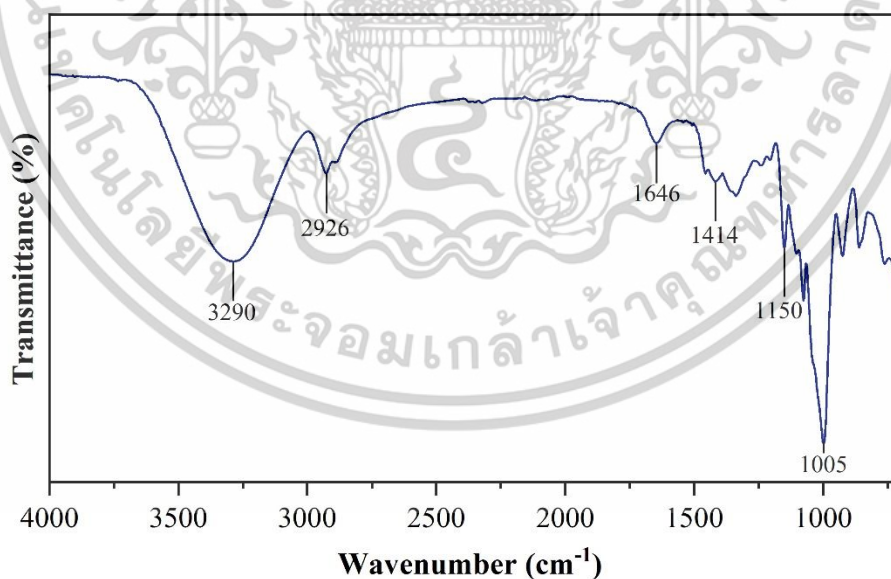


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

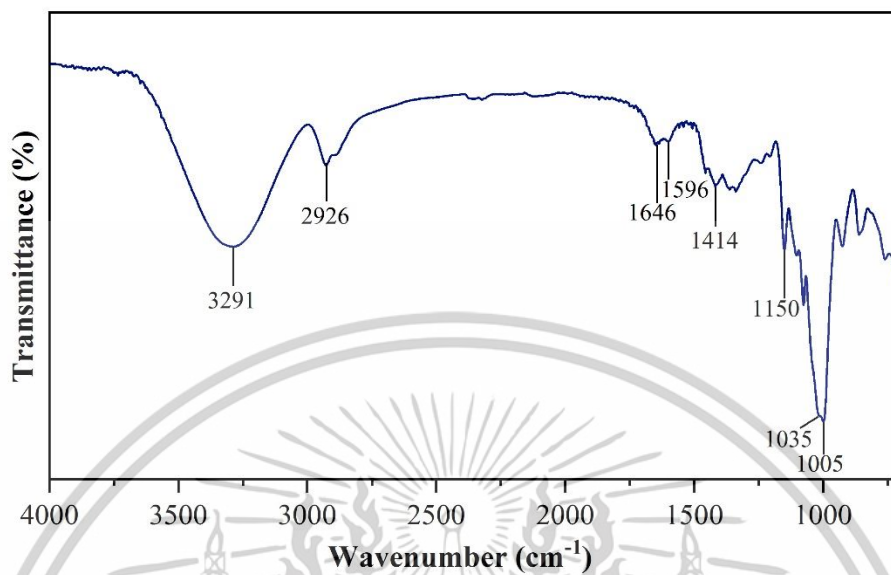


รูปที่ ค.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-OBSM

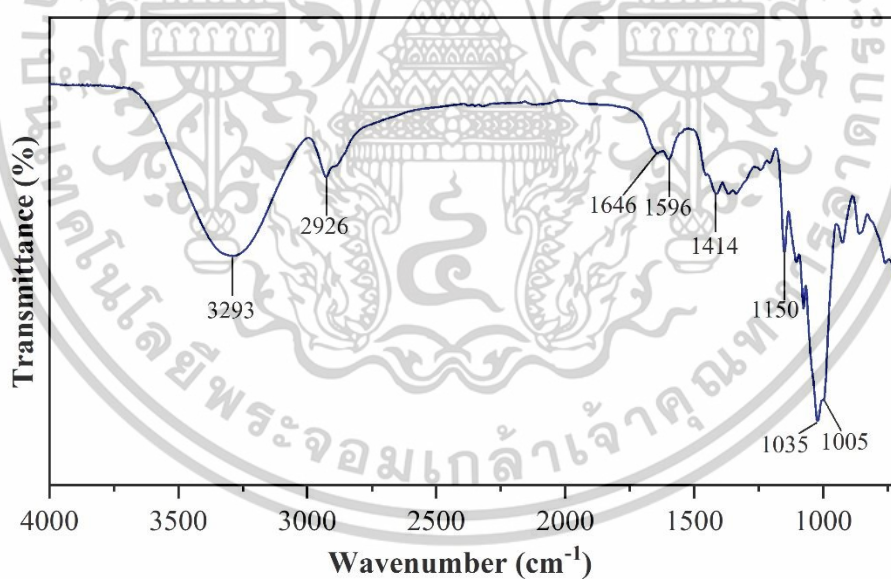


รูปที่ ค.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-10BSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

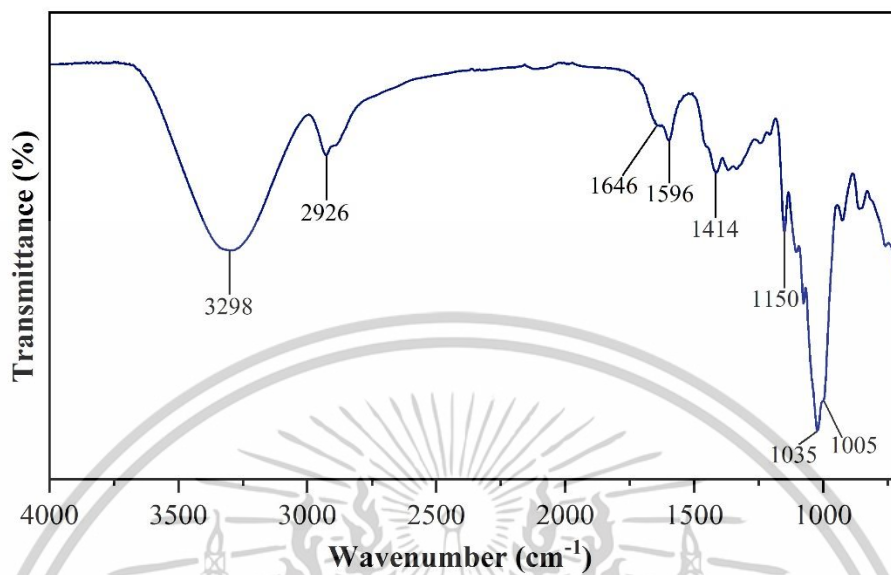


รูปที่ ค.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-20BSM

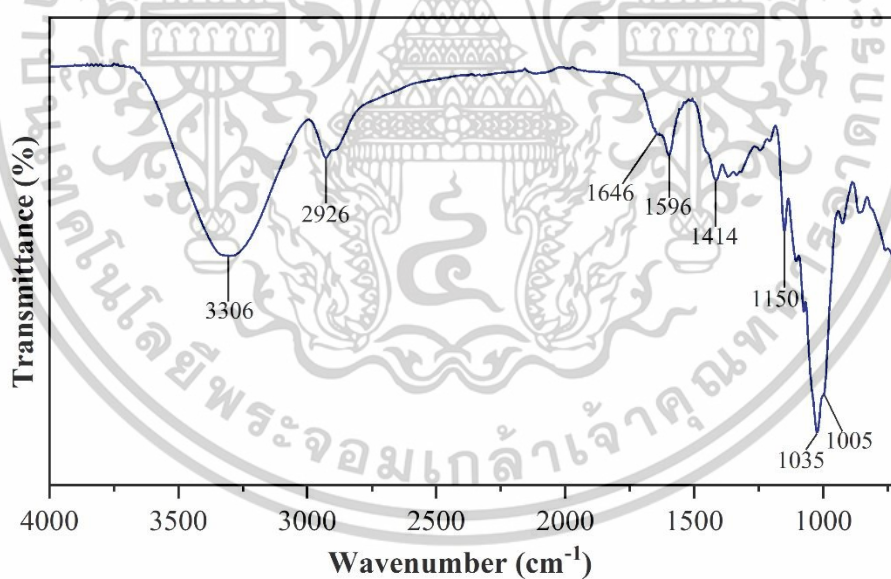


รูปที่ ค.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

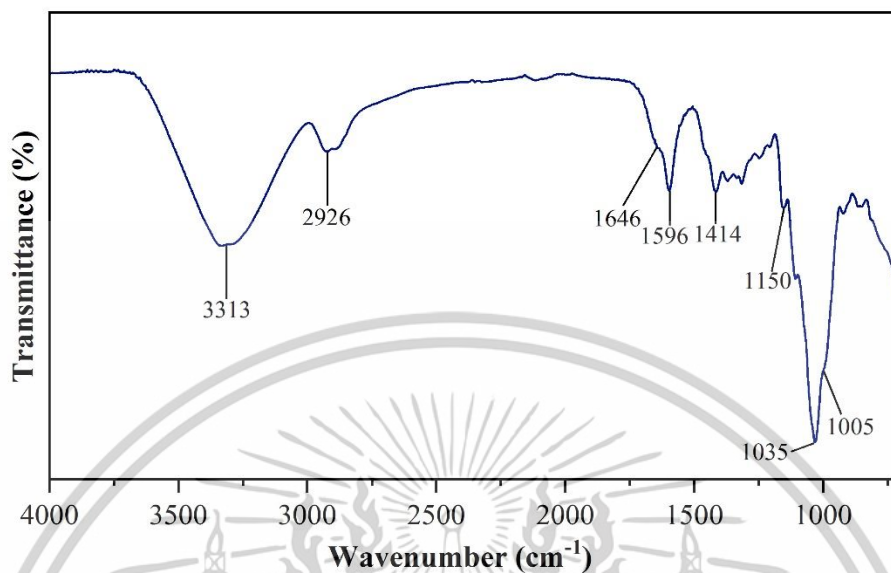


รูปที่ ค.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-40BSM

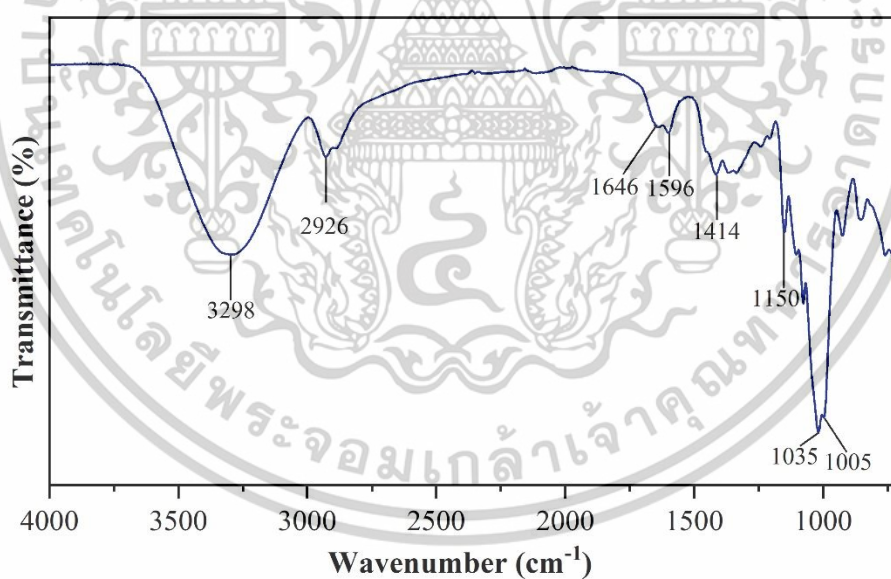


รูปที่ ค.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-50BSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

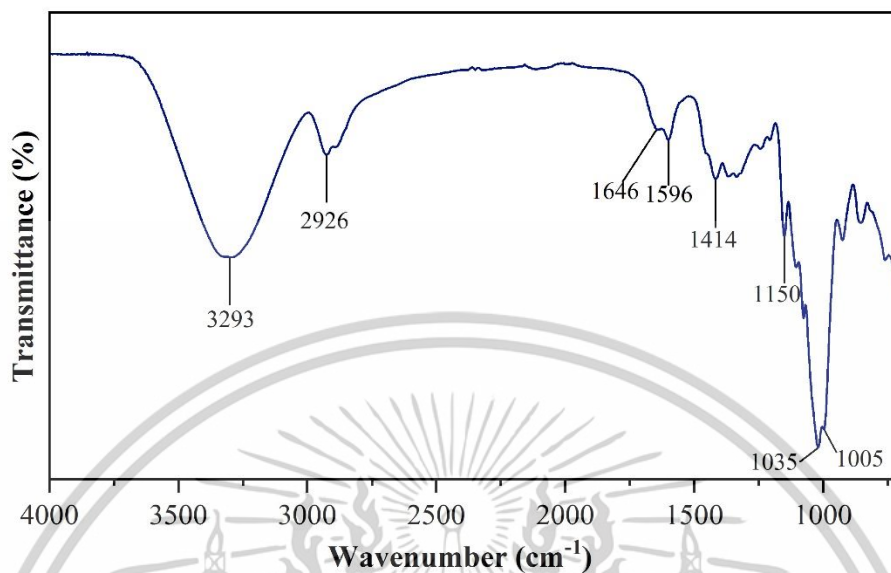


รูปที่ ค.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล OHMT-100BSM

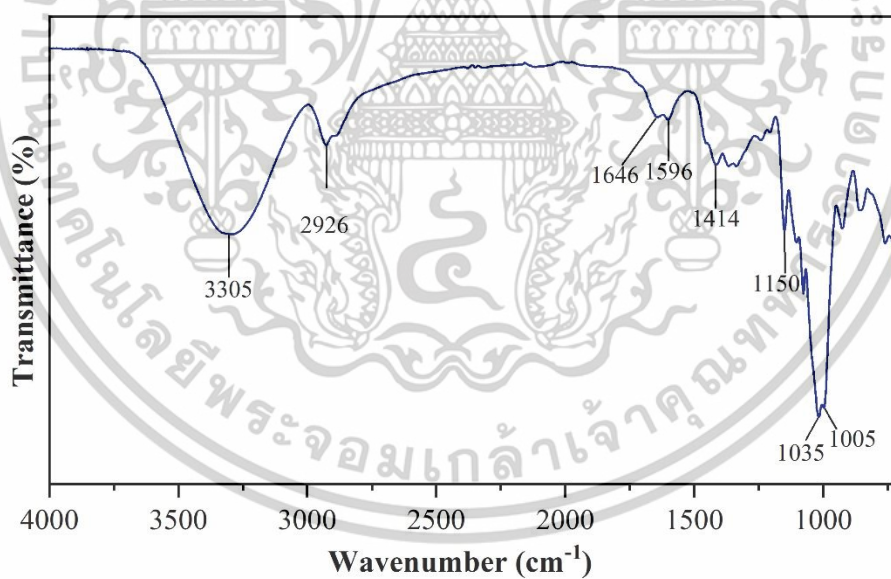


รูปที่ ค.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.25SA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

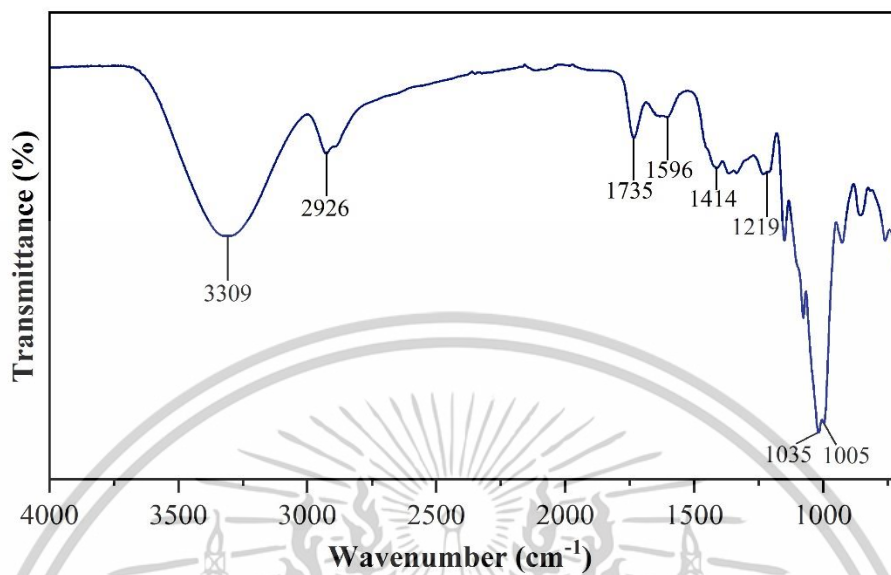


รูปที่ ค.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA

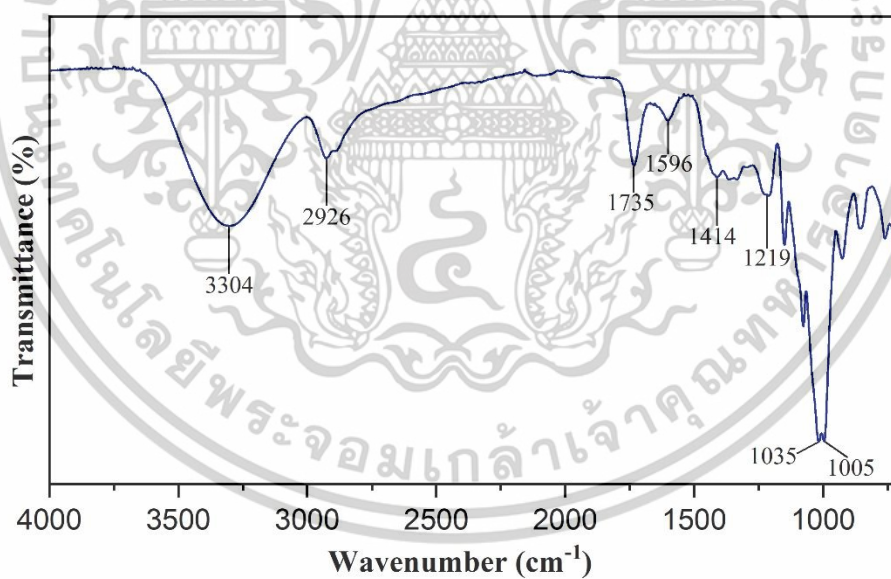


รูปที่ ค.10 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-1.00SA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

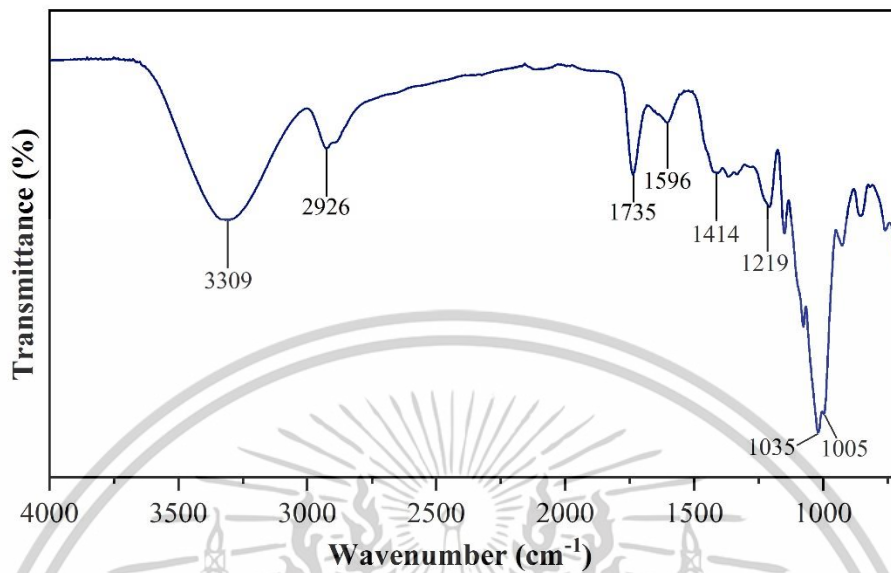


รูปที่ ค.11 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-15GA

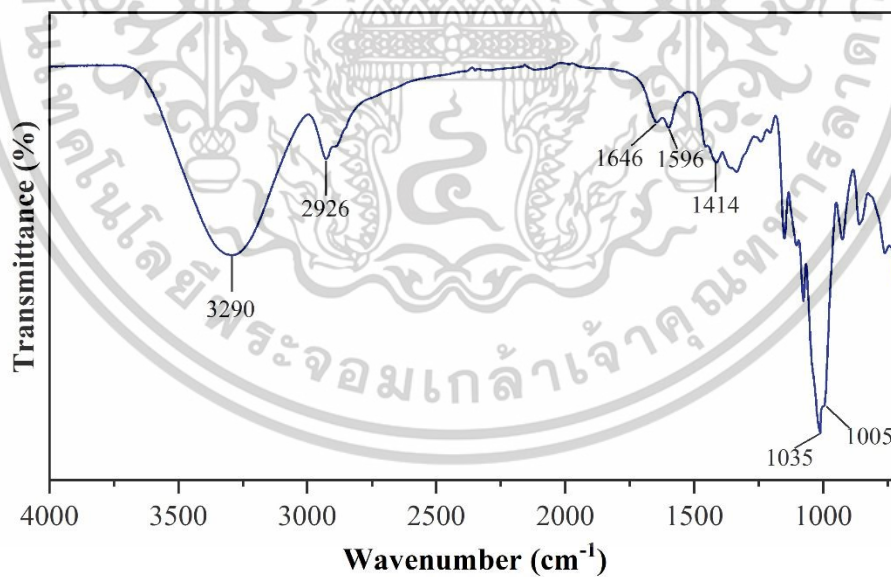


รูปที่ ค.12 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-20GA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

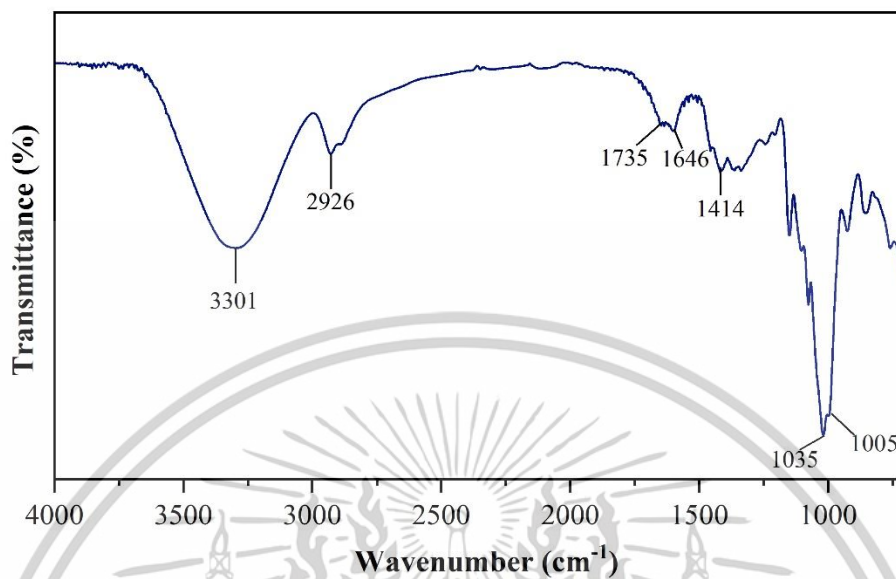


รูปที่ ค.13 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-25GA

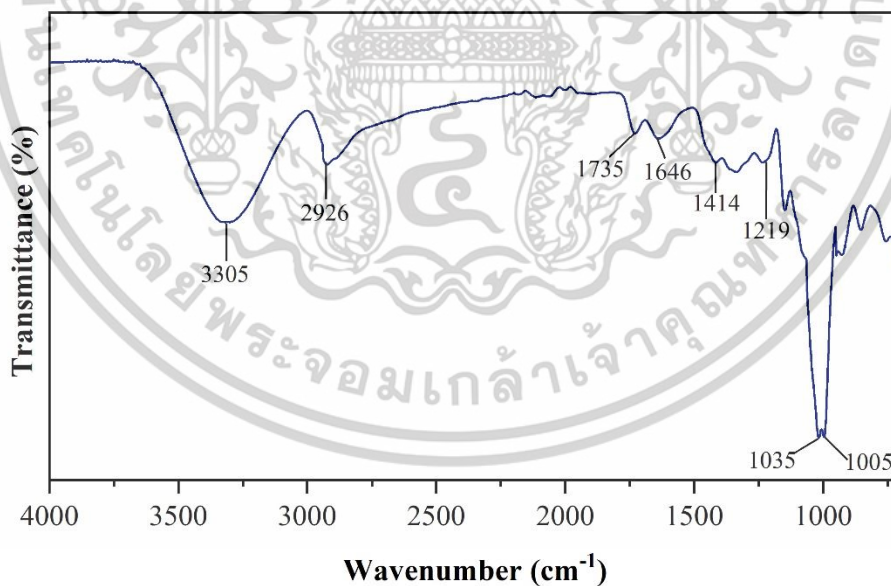


รูปที่ ค.14 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล NST-30BSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



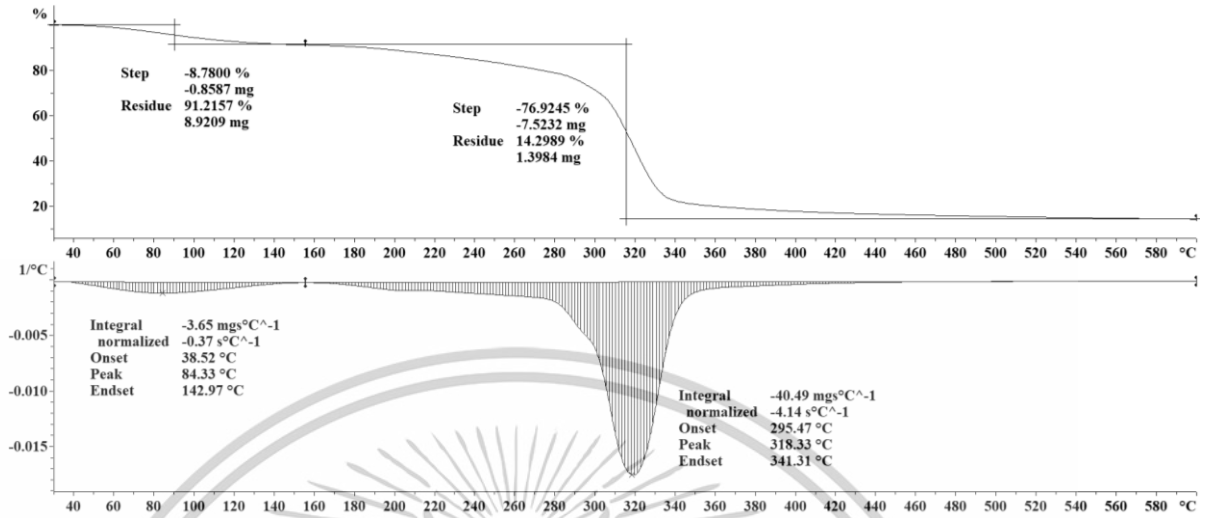
รูปที่ ค.15 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล NST-30BSM-0.50SA



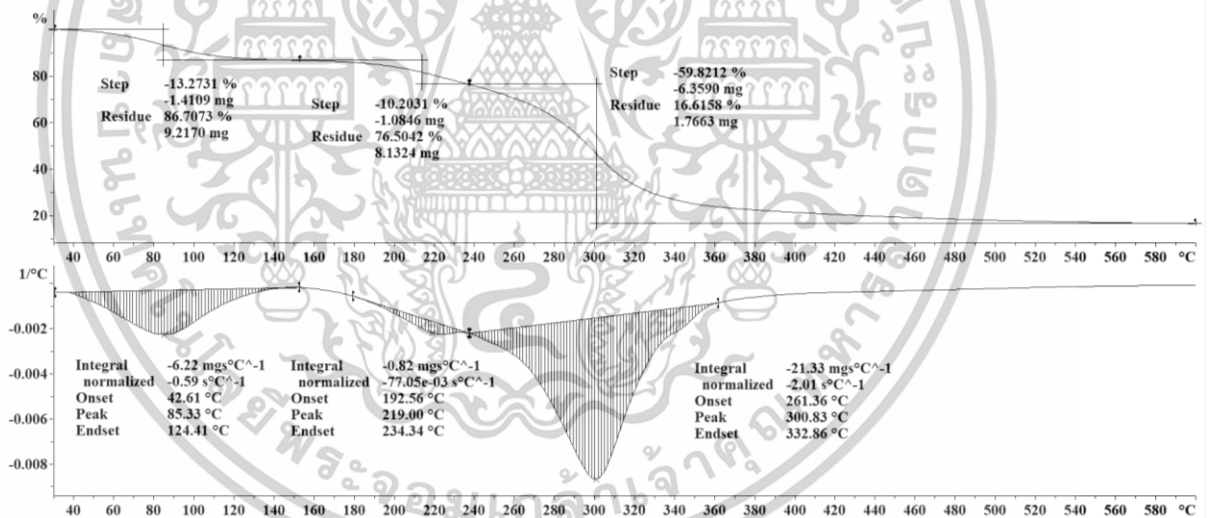
รูปที่ ค.16 อินฟราเรดสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มปิดแผล NST-30BSM-0.50SA-15SA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

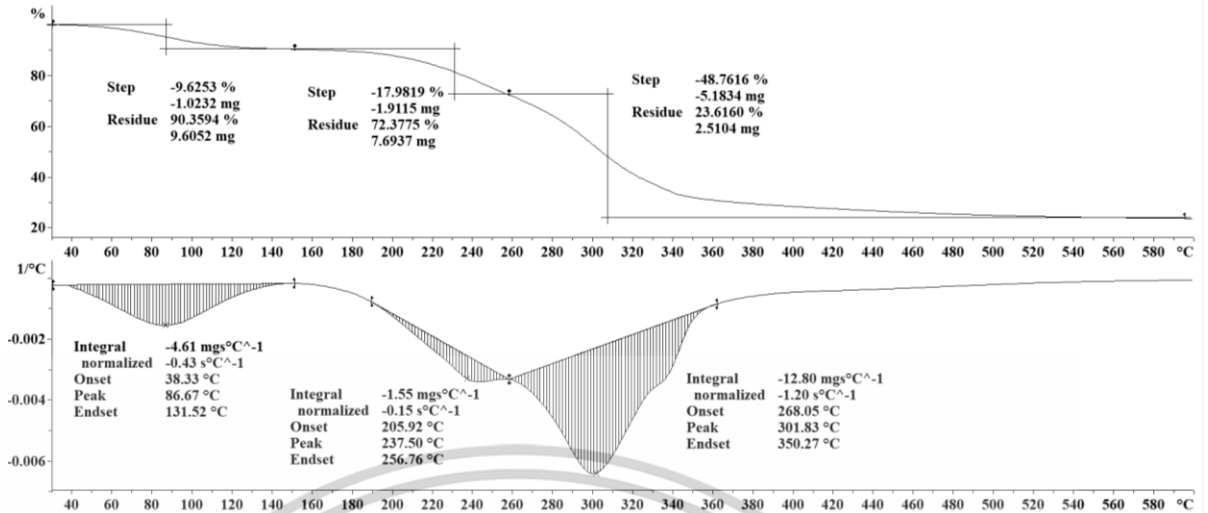


รูปที่ ง.1 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-OBSM

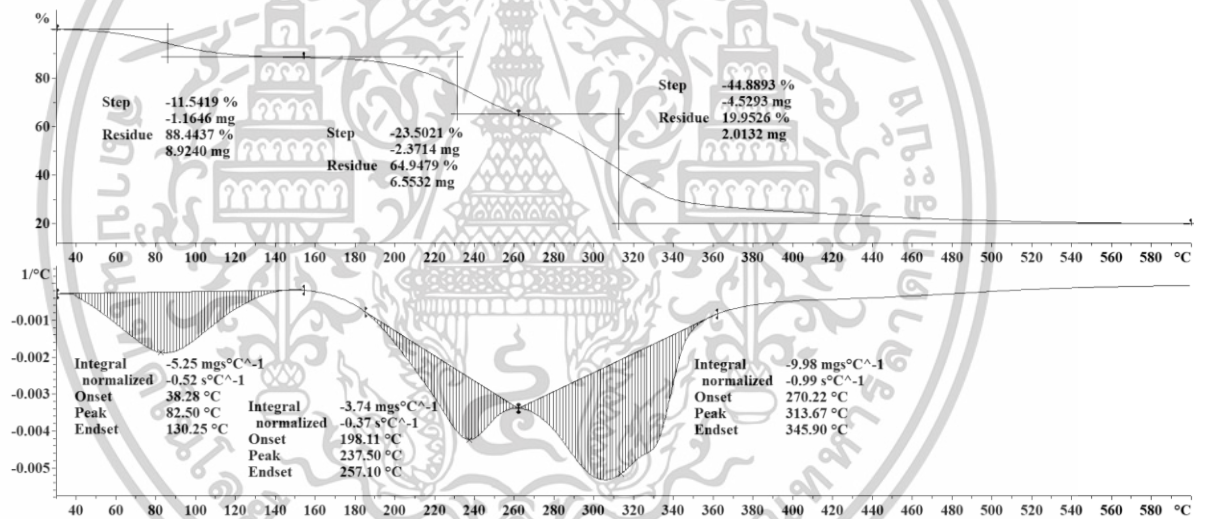


รูปที่ ง.2 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-10BSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

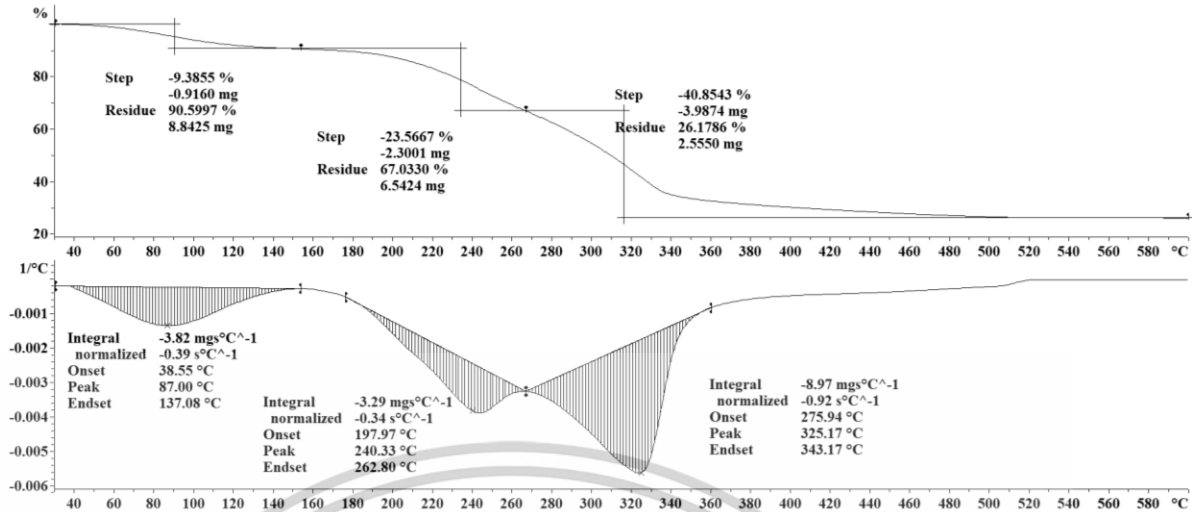


รูปที่ ๓.3 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-20BSM

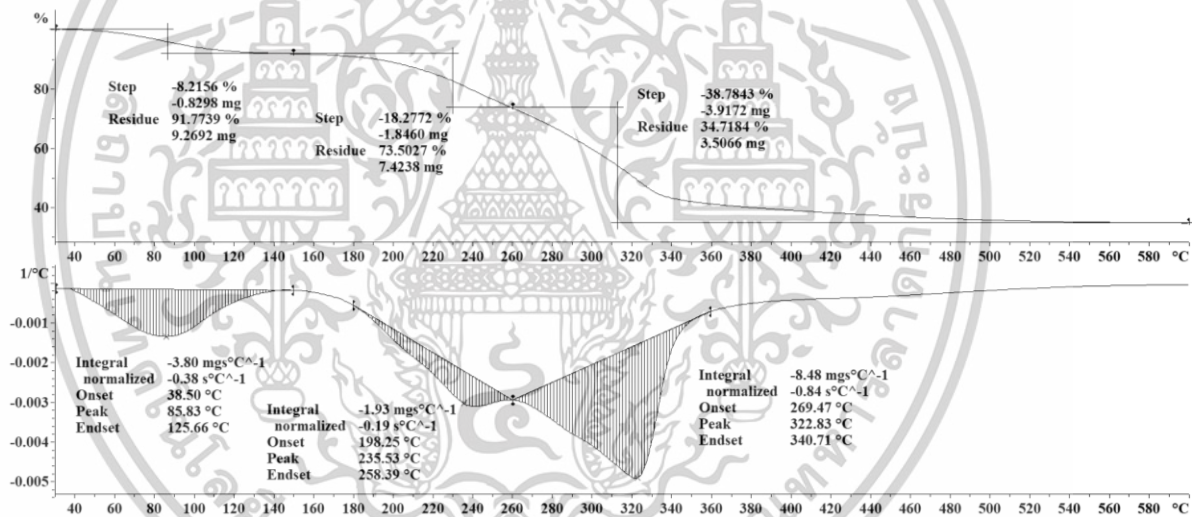


รูปที่ ๓.4 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

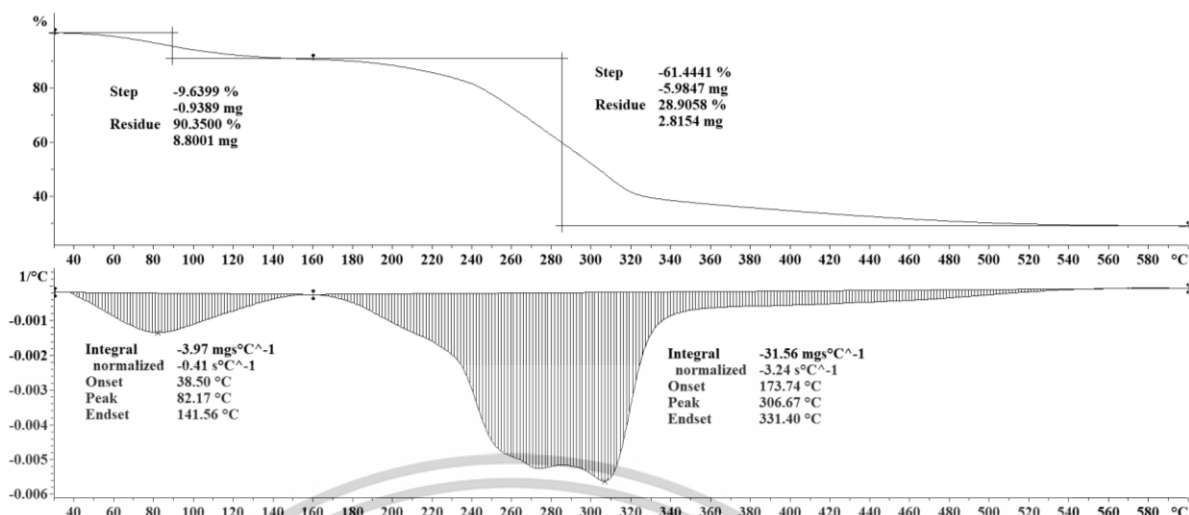


รูปที่ ๓.5 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-40BSM

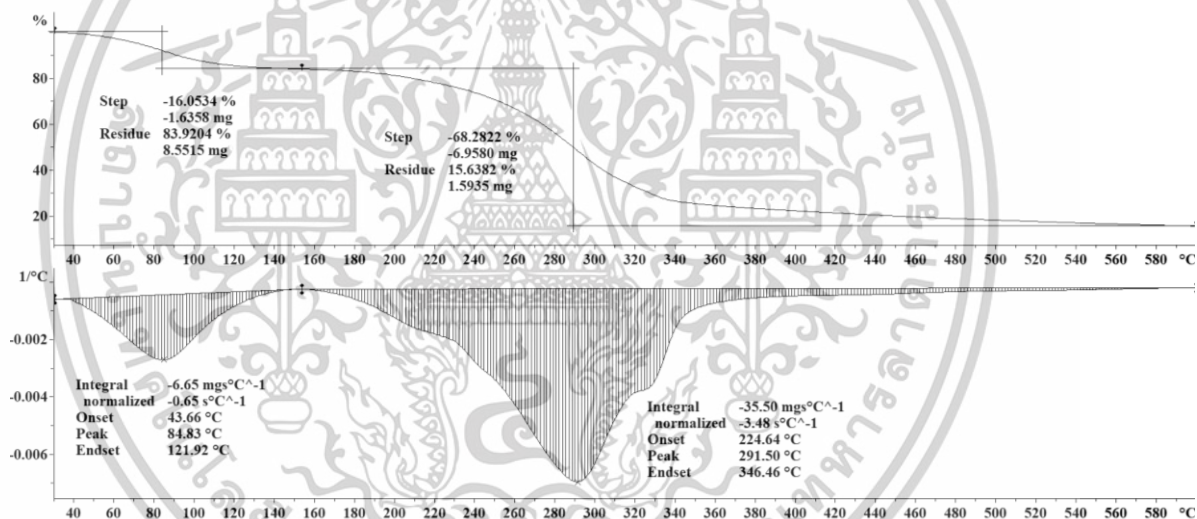


รูปที่ ๓.6 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-50BSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

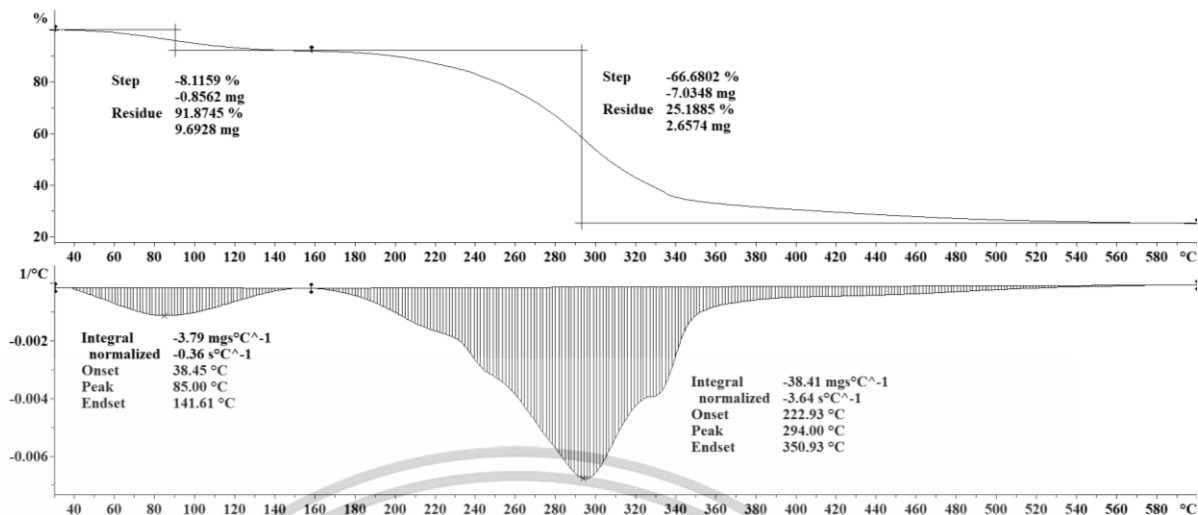


รูปที่ ๗.7 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-100BSM

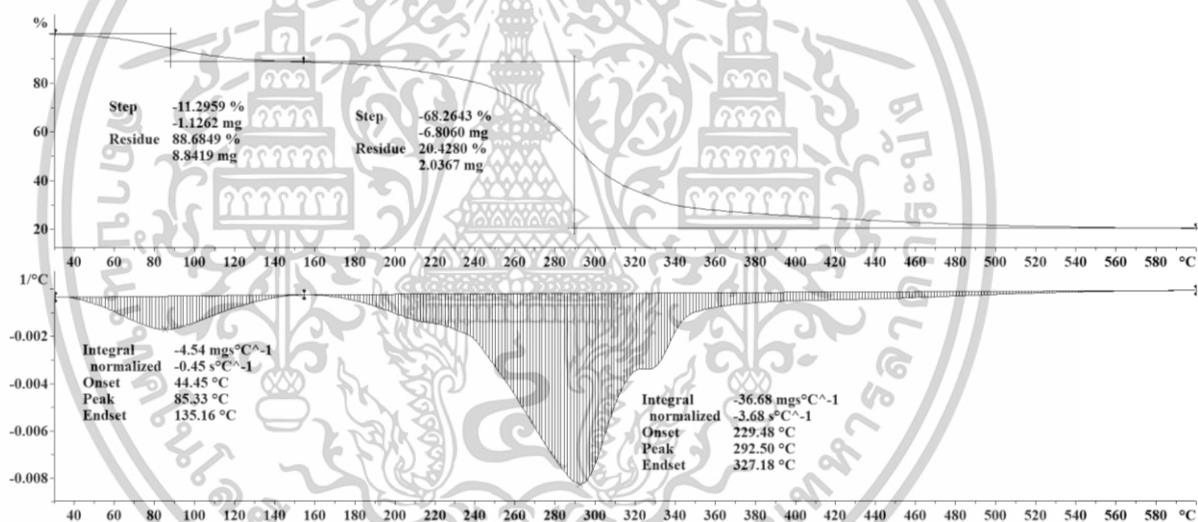


รูปที่ ๗.8 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.25SA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

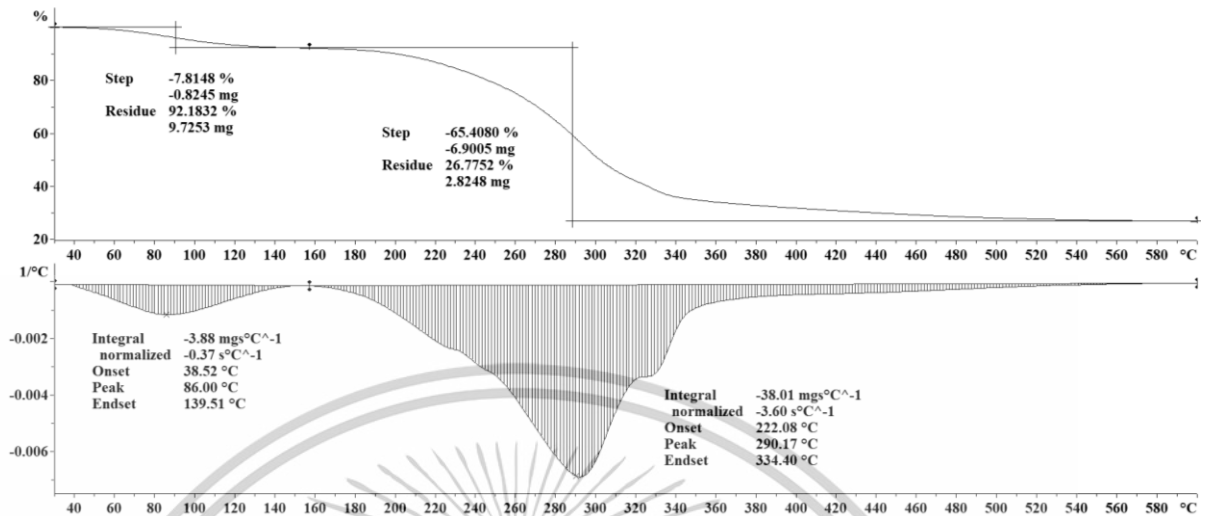


รูปที่ 9 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA

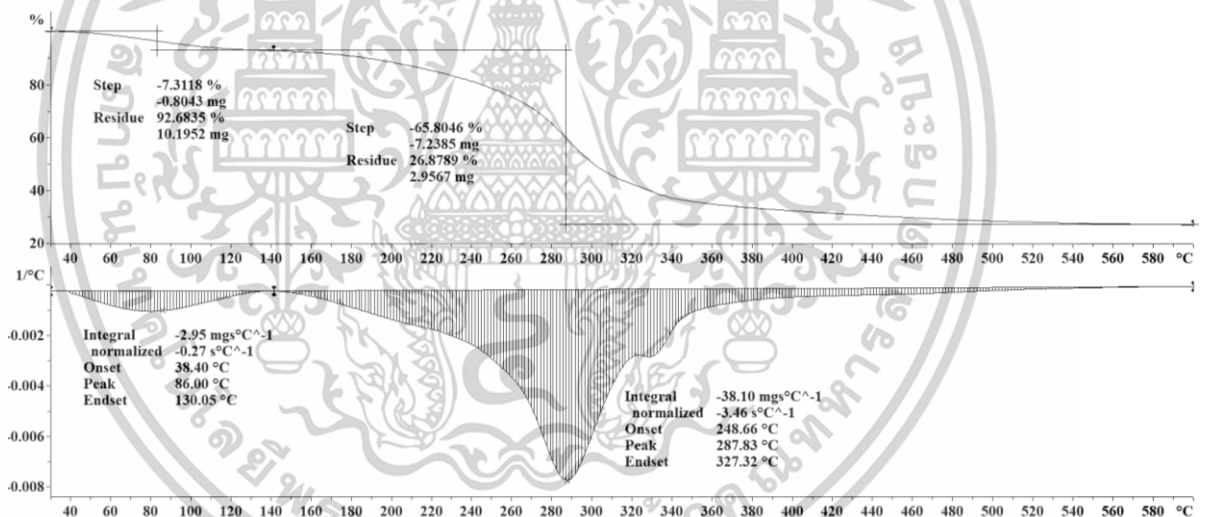


รูปที่ 10 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-1.00SA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

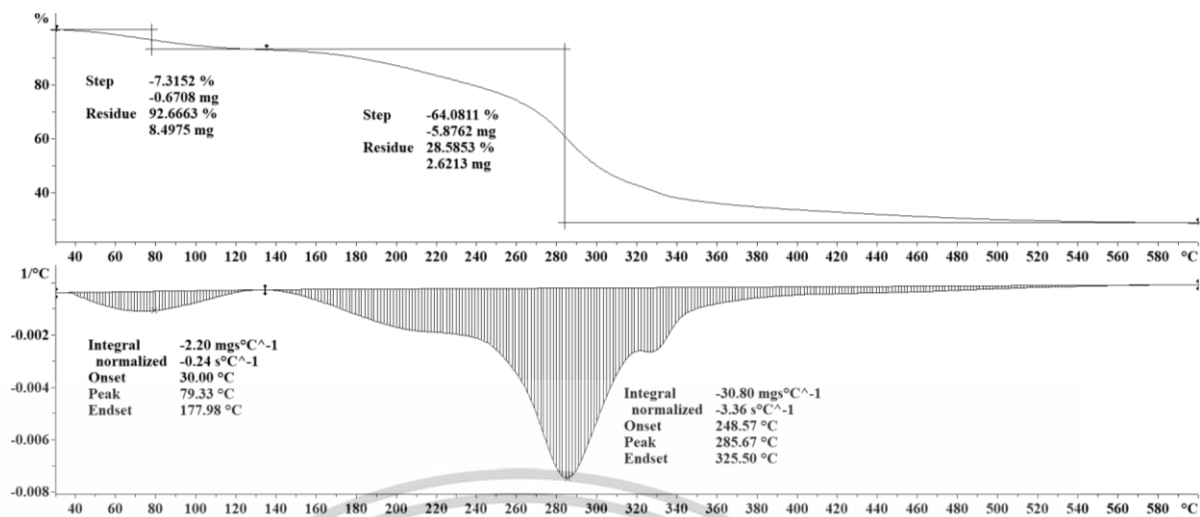


รูปที่ ง.11 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-15GA



รูปที่ ง.12 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-20GA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.13 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มปิดแผล HMT-30BSM-0.50SA-25GA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Alternative Polysaccharide Wound Dressing from Heat-Moisture Starch/Basil Seed (*O. Basilicum L.*) Mucilage with Incorporated Glycolic Acid Antimicrobial Agent

Arnon Phonrat^a, Natkitta Subyai^a, and Jutarat Prachayawarakorn^{a,b}

^aDepartment of Chemistry, School of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand; ^bAdvanced Materials Research Unit, School of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand

ABSTRACT

In order to improve the behavior in water and the mechanical properties of heat-moisture treated starch, natural basil seed mucilage with high hydrophilicity and crystallinity was incorporated for wound dressing application. In addition, succinic acid cross-linking was used to enhance the durability of the material in water and glycolic acid was utilized as an antimicrobial agent. The effectiveness of the cross-linking process could be observed from the significant increase in dimensional stability from higher gel fraction value and increment of mechanical properties. Furthermore, the incorporation of glycolic acid into the wound dressing films demonstrated antibacterial efficacy, resulting in 100% bacterial reduction against *S. aureus* and *E. coli* strains. These films exhibited low cytotoxicity toward human epidermal keratinocytes (HaCaT) cells, indicating their potential for biomedical applications. Moreover, functional group analysis, crystallinity, morphology, thermal properties, gel fraction, water vapor transmission rate, free swell absorption, and mechanical properties were also examined.

ARTICLE HISTORY

Received 28 May 2024
Accepted 9 June 2024

KEYWORDS

Alpha hydroxy acid; carbohydrate polymer; natural gum; physically modified starch; wound dressing

1. Introduction

Fortunately, advances in research for wound dressing materials have received great attention. Wound dressings serve for the purpose of cleansing, covering, and safeguarding wounds against external factors.^[1] They can be classified as traditional and modern wound dressings. Modern dressings have been developed to enhance biocompatibility, degradability, pain relief, and moisture retention properties. There are various contemporary dressings that are commonly employed in clinical settings, such as hydrocolloid, hydrogel, foam, and film dressings.^[2,3] Synthesis and natural-based biodegradable polymers, specially starch, have been widely used for dressing applications.^[4,5]

Starch stands out among biodegradable polymers for its abundant availability and cost-effectiveness.^[6] Starch is a natural and biocompatible material that is derived from plants, making it suitable for medical applications and reducing the risk of adverse reactions in the wound site.^[7] However, the mechanical properties of starch may limit its

CONTACT Jutarat Prachayawarakorn ✉ jutarat.si@kmitl.ac.th 📍 Department of Chemistry, School of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok 10520, Thailand.

© 2024 Taylor & Francis Group, LLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

suitability for certain applications. Therefore, modifications are necessary to optimize the properties of wound dressing materials composed of starch. Starch can be modified through various methods, including physical, chemical, and enzymatic processes, to enhance specific functional properties. Physical modification techniques such as heat moisture treatment (HMT), heat application, shear force or radiation, have gained popularity due to their advantage of not needing the introduction of chemical by-products to modify the starch.^[8]

HMT has emerged as an interesting process for enhancing the properties of starch. An intriguing aspect of this technique is its physical modification approach, without a chemical use, leading to the non-destruction of granule starch.^[8] It was mentioned by Dutta and Sit^[9] that the tensile strength of HMT starch films increased from 3.50 to 7.60 MPa and the solubility of HMT starch films decreased from 17.60 to 10.50%, as compared to native starch. The improvement of the mechanical properties of HMT starch occurs by the molecular rearrangement of the amylose and amylopectin chains.^[10] However, in wound dressing applications, the focus extends beyond mechanical properties alone; fluid absorption and water vapor transmission capabilities are equally important. Incorporating a highly hydrophilic polymer into the dressing formulation can facilitate enhanced interaction with water molecules. Natural mucilages, such as chia seed mucilage and basil seed mucilage (BSM), are one of the promising candidates for this purpose owing to their intrinsic hydrophilic properties.^[11]

BSM consists primarily of glucomannan, xylan, and uronic acid, which contribute to its hydrophilic characteristics, and the presence of these hydroxyl groups in the structure of BSM facilitates strong interactions with water.^[12] Antimicrobial sponge hydrogel wound dressings prepared from BSM have been reported to have a high degree of swelling, in the range of 56 – 109.^[13] It was also mentioned that the swelling properties of BSM/alginate/magnetic particle hydrogel beads increased with increasing BSM concentration.^[14] On the other hand, pure BSM film showed high water solubility.^[15] Because of high water solubility when immersed in aqueous media, dimensional stability and degradation of BSM sponges were of concern.^[13] In many instances, good mechanical properties and dimensional stability in aqueous and physiological environments are still required for medical applications.^[16] Therefore, the use of a natural cross-linker is a good choice for improving starch's limitations. Natural cross-linkers, such as carboxylic acids, are readily accessible, odorless, environmentally friendly, cost-effective, nontoxic, and biodegradable, recognized as green cross-linking agents to stabilize wound dressing films.^[17] Carboxylic acids, such as succinic acid (SA), citric acid, and tartaric acid, have been used for enhancing the performance of wound dressings.^[18–20]

SA, a dicarboxylic acid containing two carboxyl groups, exhibits the unique ability to undergo esterification with hydroxyl groups. This distinctive characteristic enables SA to serve as an effective cross-linker between polysaccharide polymer chains, as demonstrated by Belay, et al.^[18] who fabricated agar/bacterial cellulose composites with the incorporation of SA cross-linker. Their results indicated a decrease of swelling ratio, from 804% to 558%, with the use of 5% SA cross-linking. Additionally, potato starch blended guar gum film, cross-linked by 4% of SA, showed an increase of elongation at break when compared with that of the non-cross-linked film.^[19] In addition to consideration of the mechanical properties, in the development of wound dressings the

incorporation of an antimicrobial agent is crucial to achieve a comprehensive range of properties. Several antibacterial agents, mainly nano-metal oxides such as silver oxide, zinc oxide, and titanium dioxide, have been widely used for wound dressing applications.^[21–23] Apart from nano-metal oxides, glycolic acid (GA), which belongs to a category of significant active substances in clinical dermatology, has a notable history of use by dermatologists and skincare specialists for the treatment of various skin-related disorders.^[24] GA, the smallest alpha hydroxy acid, is composed of a carboxylic acid functional group and a neighboring hydroxyl functional group at the α -carbon position.^[25] GA also plays a critical role as a membrane-active and oxidant agent, capable of inducing cell membrane damage.^[26] Additionally, GA has exhibited antimicrobial activity against both gram-positive (*S. aureus*) and gram-negative (*E. coli*) bacteria.^[27] In another report, GA was evaluated for use in irrigation solutions for root canal preparation, demonstrating a 95% reduction of *E. faecalis* (gram-negative) bacteria because bacterial protein synthesis was inhibited by the GA.^[28] Furthermore, GA was mentioned to be biocompatible with HaCaT cell lines in an anti-aging bacterial cellulose membrane.^[24]

Our research described here was aimed to develop an alternative polysaccharide-based wound dressing using BSM to improve the fluid absorption and water vapor transmission capabilities of HMT films. Besides, SA was utilized to cross-link and develop not only the mechanical properties but also the dimensional stability of the material in water. GA was also incorporated to augment the antimicrobial activity. Attenuated total reflectance (ATR) analysis was used to evaluate the functional group, and X-ray diffraction analysis (XRD) was utilized to assess the crystallinity. The morphology, thermal properties, gel fraction, water vapor transmission rate measurement (WVTR), free swell absorption (FSA), mechanical properties, antimicrobial activity, and cytotoxicity were also examined.

2. Experimental

2.1. Materials

Cassava starch (17% amylose and 83% amylopectin) was supplied by Tong Chan Registered Ordinary Partnership (Thailand). Basil seed (43% glucomannan and 6.5% uronic acid) were obtained from Tanya Farm Co., Ltd. (Thailand). SA, as a cross-linking agent, and GA (high purity grade), as an antimicrobial agent, were supplied by Acros Organics B.V.B.A. and Suzhou Cosmo Co., Ltd. (China), respectively. Glycerol was purchased from Lab System Co., Ltd. (Thailand).

2.2. Preparation of HMT starch

The condition to produce HMT starch was performed according to the method described by Pukkahuta, et al.^[29] Briefly, the dried starch was moisturized at 20% RH with distilled water, homogenized for 30 min and kept in a closed container for 2 h. For the modification process, the humidified starch in the Duran bottle was heated in an autoclave (Autoclave Model: JSAC-60, JS Research Inc, South Korea), at 120 °C, for 1 h.

2.3. Preparation of BSM powder

The dried and cleaned basil seeds were soaked in distilled water until completed swelling. The swollen basil seed was lightly blended with a kitchen blender to shear mucilage from the seed. The mixture was separated by a centrifuge (Thermo Sorvall ST 8 R Centrifuge, Thermo Fisher Scientific Inc., USA) at 9000 rpm for 2 min. The mucilage was then dried at 60 °C overnight.

2.4. Preparation of HMT-BSM films

HMT, HMT-BSM, HMT-BSM-SA and HMT-BSM-SA-GA films were prepared *via* a solution casting technique (Fig. 1) using glycerol as the plasticizer (30%w/w of polymer total weight). The HMT film was prepared from 5 g of HMT starch in 250 ml distilled water, then heated to its pre-gelatinization state at the temperature of 72 °C. The pre-gelatinized HMT was poured into a polypropylene tray and evaporated at 50 °C for 48 h. To prepare the HMT-BSM film, BSM powder (1.5 g) was initially immersed in 200 ml distilled water and continuously stirred at 40 °C for 30 min. After that, the pre-gelatinized HMT (HMT 3.5 g in 50 ml distilled water) was poured into the swollen BSM solution and then homogenized at 40 °C for 30 min. In addition, 1 ml, 2.50%w/v of SA in distilled water was added in the mixed HMT-BSM solution to prepare HMT-BSM-SA films. Moreover, various concentrations of 5 ml, GA (15, 20, and 25%w/v of GA in distilled water) were added into the homogenized HMT-BSM-SA solution while continuously stirring at 40 °C for 30 min. The solution was poured into a polypropylene

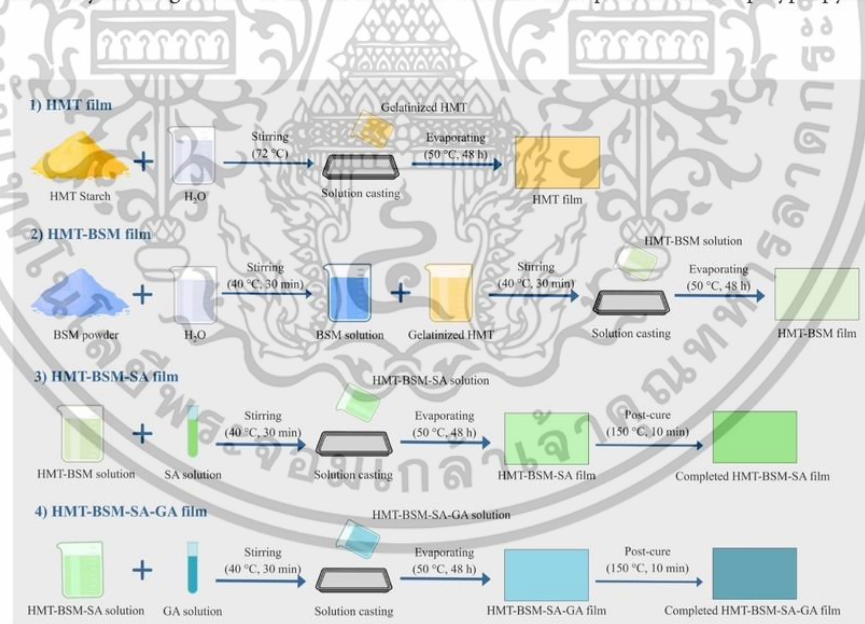


Figure 1. Preparation scheme of HMT-BSM, HMT-BSM-SA, and HMT-BSM-SA-GA films.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

tray and dried at 50 °C for 48 h. The SA-containing films were further heated at 150 °C for 10 min after drying to complete cross-linking.

2.5. ATR

The functional groups of a film were detected by ATR (IRTracer-100 Fourier transform infrared spectrophotometer, Shimadzu Corp., Japan). The range of 4000–700 cm^{-1} was the selected wavelengths for detection, by the accumulation of 64 scans, and the resolution was set at 4 cm^{-1} .

2.6. XRD

A sample was analyzed through an X-ray Diffractometer (Rigaku SmartLab, Rigaku Corp., Japan) with CuK_α ($\lambda = 1.54 \text{ \AA}$). The angular range of $2\theta = 5\text{--}50^\circ$ at room temperature and a scan speed of $1^\circ/\text{minute}$ were used. The percentage of crystallinity was calculated using Eq. (1)

$$\text{Crystallinity (\%)} = [A_c / (A_c + A_a)] \times 100 \quad (1)$$

where A_c is the area of crystalline scattering regions ($2\theta = 10\text{--}30^\circ$) and A_a is the area of the amorphous scattering region ($2\theta = 5\text{--}50^\circ$).

2.7. Morphology

The cross-section surface of a film was photographed with a scanning electron microscope (SEM) (LEO 1455VP, Carl Zeiss AG, Germany). The sample was cracked in liquid nitrogen and a fractured sample was attached on an aluminum stub and then gold coated before microscopic studying.

2.8. Thermal properties

A sample (approximately 10 mg) was tested in a nitrogen atmosphere over a temperature span of 30 to 600 °C, with a heating rate of $10^\circ\text{C}/\text{min}$. This analysis was conducted utilizing a thermogravimetric analyzer (TGA/DSC 3+, Mettler Toledo International Inc., Switzerland).

2.9. Gel fraction

The determination of the gel fraction method was modified from the method described by Hosseini and Nabid^[12] and Ajjia, Othman and Rosiak.^[30] A dried, square ($20 \times 20 \text{ mm}^2$) sample was cut, weighed and soaked in distilled water at ambient temperature for 24 h. The soaked sample was filtered, dried, and the remaining weight measured and then compared with the original dried film. The gel fraction percentage was calculated by Eq. (2).

$$\text{Gel fraction (\%)} = (W_0 - W_1) / W_0 \times 100 \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

where W_0 and W_1 were the dried film weights of before and after the gel fraction determination testing, respectively.

2.10. WVTR

WVTR was determined by the dry cup method (ASTM E96). A film was glued inside of the cup lid with 0.002 m^2 of the air contact area. A cup was used containing silica gel with 1 cm of air gap between the test film and the desiccant. The test cup was weighed and then stored in the test box at a constant 75% RH by containing a saturated solution of sodium chloride. The measurement was carried out every 24 h. for 7 days, using Eq. (3).

$$\text{WVTR} = \Delta m / \Delta t \cdot A \quad (3)$$

where Δm is the weight gain (g) of the film sample per day (g/d); Δt is the time variation (days) and A is the permeative surface area of the film sample (m^2).

2.11. FSA

The method for the FSA testing was modified from the absorbency testing model (primary wound dressing testing methods).^[31] A dried sample ($20 \times 20 \text{ mm}^2$), placed on top of a sieve, was weighed before being placed on a water-saturated sponge and the swelled sample was measured every hour for 24 h. FSA was calculated from Eq. (4).

$$\text{FSA} (\%) = [(M_1 - M_0) / M_0] \times 100 \quad (4)$$

where M_1 and M_0 are the film weights after and before the absorption, respectively.

2.12. Mechanical properties

A film specimen ($15 \times 100 \text{ mm}^2$) was conditioned at room temperature with $60 \pm 5\%$ RH before the tensile measurements. A universal testing machine (QC-536M1, Cometech Testing Machines Co., Ltd., Taiwan) was equipped with a 2 kN load cell and the tensile properties measured using a 50 mm/min crosshead speed and 50 mm of gauge length (ASTM D-882-02).

2.13. Antibacterial activity

The HMT-BSM-SA and HMT-BSM-SA-GA films were tested for antibacterial activity according to the JIS Z 2801 standard. Two strains of bacteria, *S. aureus* (gram-positive) and *E. coli* (gram-negative), were used for sample testing. The microorganisms were inoculated on the samples for 24 hr. During this period, bacteria and samples were conditioned at 37°C and 90% RH, the optimal condition for bacterial growth. After the bacteria grew on the samples, the bacteria were extracted into suspension; then, the suspension was plated onto agar plates. Before counting colony-formation, the agar plates

were incubated for 24 h under condition control. The difference between the initial and final number of microbes was determined as percentage or log reduction.

$$\% \text{ Reduction} = ((B - A) \times 100)/B \quad (5)$$

where A and B are Log Colony-forming units (CFU) per milliliter of bacteria after 24 h and before the testing, respectively.

2.14. *In-vitro* cytotoxicity

In this assay, HaCaT cells were used as a model to test the cytotoxicity of a film sample. The film sample was first immersed in Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM) and 10% fetal bovine serum. This mixture solution was filtered and diluted to 1000 $\mu\text{g}/\text{ml}$. The HaCaT cells were seeded into a 96-well plate, and the incubated filtered mixture was added along with 5 mg/ml of MTT solution. The plate was incubated, and the formazan dissolution was measured using a Biochrom microtiter plate reader (EZ Read 2000, Thermo Fisher Scientific Inc., USA). The absorbance at 570 nm was recorded and the cell morphology was examined using optical microscope images. The percentage of cytotoxicity was calculated using the absorbance values of the control group and the treated group. The percentage of cell viability was then calculated by subtracting the percentage of cytotoxicity from 100.

$$\% \text{ Cytotoxicity} = (A - B/A) \times 100 \quad (6)$$

$$\% \text{ Cell Viability} = 100 - \% \text{ Cytotoxicity} \quad (7)$$

where, A and B are the absorbances of the control and test wells, respectively.

2.15. Statistical analysis

In this study statistical analysis was performed using the analysis of variance (ANOVA) procedure with IBM SPSS statistics 25 software. Tukey's test was used to measure the differences among the means. The significance level was set at $p < 0.05$.

3. Results and discussion

The possible interactions of the two polysaccharides (HMT and BSM), with the SA and GA are presented through a schematic diagram in Fig. 2. The main functional groups in HMT and BSM components are the hydroxyl groups (-OH) that can form hydrogen bond linkages. Hydroxyl groups can also generate ester bonds with carboxyl groups of SA as a cross-linker and GA as an antimicrobial agent. Simultaneously, polysaccharide chain scission could partly occur because of the SA and GA, attributed to the acid-hydrolyzed glycosidic bonds present in the polysaccharides.^[32]

3.1. ATR analysis

ATR analysis was performed for HMT, HMT-BSM, HMT-BSM-SA, and HMT-BSM-SA-GA films to examine their functional groups. The spectra of the various films, as

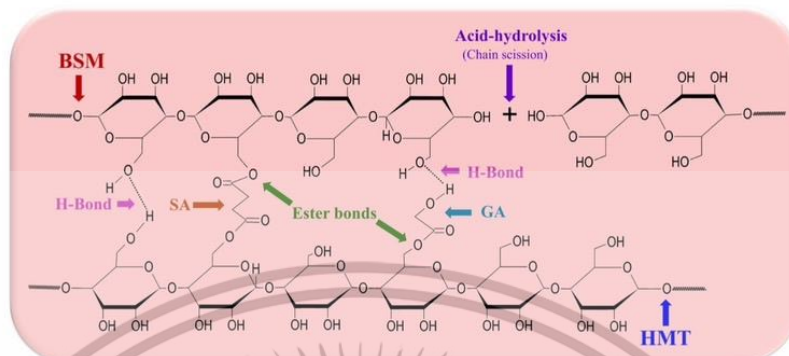


Figure 2. Schematic representation of the interactions for HMT-BSM, HMT-BSM-SA-GA.

Abbreviations: HMT—heat-moisture treated starch; BSM—basil seed mucilage; SA—succinic acid; GA—glycolic acid.

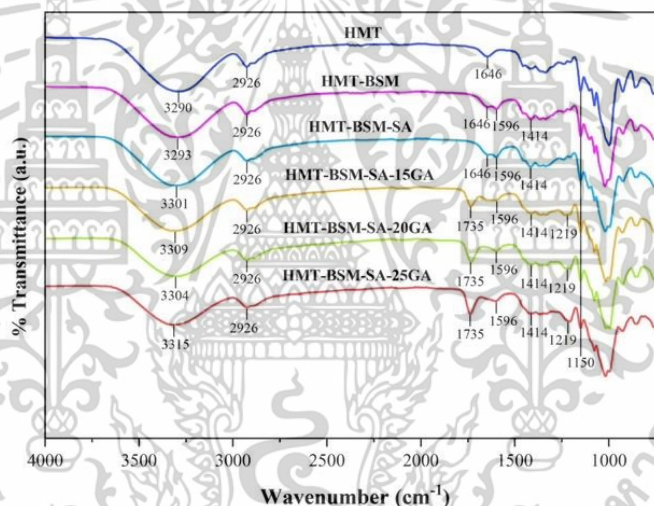


Figure 3. ATR spectra of HMT, HMT-BSM, HMT-BSM-SA, and the various HMT-BSM-SA-GA films.

shown in Fig. 3, revealed the presence of the HMT and BSM compounds, with the IR peak position observed in the range $3200\text{--}3400\text{ cm}^{-1}$, corresponding to the O-H stretching vibrations of hydroxyl groups in the polysaccharides. C-H stretching vibrations of alkane groups in the biopolymer gave rise to the peak at 2926 cm^{-1} . Other characteristic wavenumbers included 1646 cm^{-1} , 1150 cm^{-1} , and 1005 cm^{-1} , assigned for bound water, C-C and C-O stretching, and C-O-H bending vibrations, respectively.^[33] The introduction of BSM into the HMT starch films caused two new peaks, at 1414 cm^{-1} and 1596 cm^{-1} , corresponding to the C=O symmetric and asymmetric stretching vibrations due to the presence of uronic acid in the BSM component.^[34,35] This observation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

confirmed the successful incorporation of the BSM into the HMT. Furthermore, the O-H stretching vibrations wavenumber of the HMT-BSM film shifted to higher wavenumbers, from 3290 cm^{-1} to 3293 cm^{-1} , when compared to those of the HMT film due to the rearrangement of that hydrogen bonding that occurred between the two components.^[36,37]

For the HMT-BSM-SA film it was expected that ester bond vibrations (approximately 1735 cm^{-1}) should be observed; however, absorption at that wavenumber could not be detected. This might be because of the very low concentration of added SA. However, the HMT-BSM-SA-GA films exhibited a new characteristic wavenumber peak around 1219 cm^{-1} , indicating the C-O stretching vibrations of GA.^[38] Similar to the HMT-BSM-SA film, the peak with wavenumber 1735 cm^{-1} of HMT-BSM-SA-GA films could be assigned for the ester bond formation^[39] through the esterification between carboxyl groups of GA and hydroxyl groups of the polysaccharides. Additionally, the intensity of the ester bond peak position was found to increase with the increasing concentration of GA, suggesting that more ester bonds were formed.

3.2. XRD

XRD diffractograms (Fig. 4 and Table 1) of various wound dressing films were analyzed, and the percentages of crystallinity were calculated. XRD pattern of the different HMT films exhibited diffraction peaks at 2θ of approximately 17.2° , and 22.4° , corresponding to the B-type starch structure.^[40] Moreover, the HMT-BSM film clearly presented higher percentage of crystallinity (30.74%) than that the percentage of crystallinity of the HMT film (24.41%); this was because of the higher crystallinity of the BSM component^[41,42] than that of the HMT and the intensity at 2θ of 22.4° increased due to the characteristic peak of BSM.^[43] For the HMT-BSM-SA film, the cross-linked film indicated no significant difference in both their XRD pattern and percentage of crystallinity

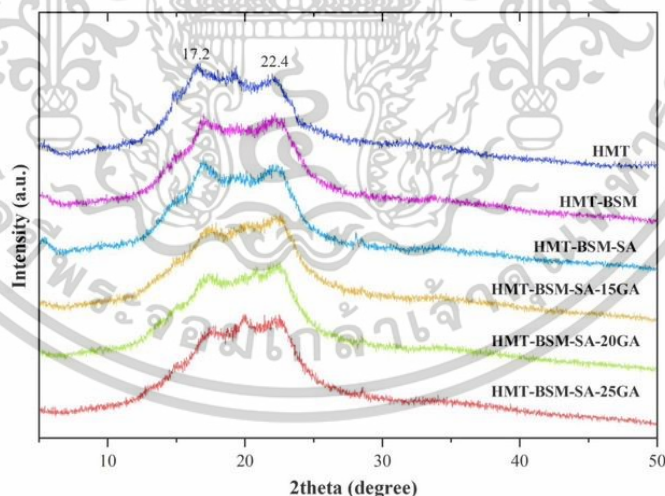
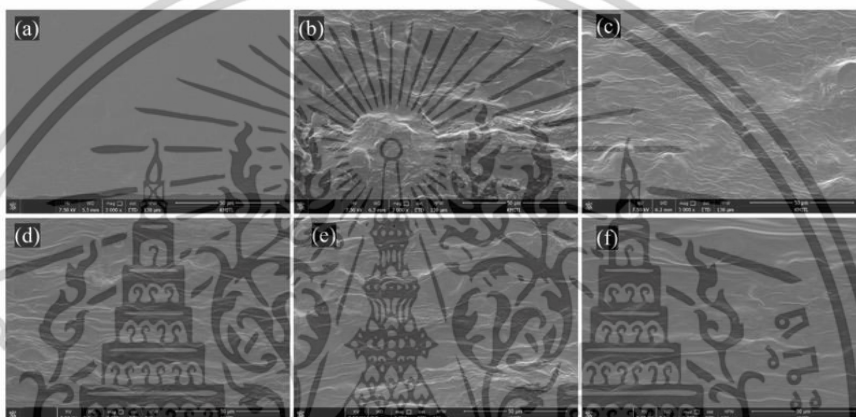


Figure 4. XRD patterns of HMT, HMT-BSM, HMT-BSM-SA, and the various of HMT-BSM-SA-GA films.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1. Crystallinity percentages and thermal decomposition temperatures of HMT, HMT-BSM, HMT-BSM-SA, and HMT-BSM-SA-GA films.

Samples	Crystallinity (%)	Thermal decomposition temperature (°C)		
		Step 1 Water	Step 2 BSM	Step 3 HMT and BSM
HMT	24.41	84.00	–	318.83
HMT-BSM	30.74	82.50	233.20	313.67
HMT-BSM-SA	29.95	85.00	–	294.00
HMT-BSM-SA-15GA	29.86	86.00	–	290.17
HMT-BSM-SA-20GA	29.78	87.00	–	287.83
HMT-BSM-SA-25GA	28.97	79.33	–	285.67

**Figure 5.** Cross-sectional morphologies of (a) HMT, (b) HMT-BSM, (c) HMT-BSM-SA, (d) HMT-BSM-SA-15GA, (e) HMT-BSM-SA-20GA, and (f) HMT-BSM-SA-25GA.

(29.95%), compared to those of the HMT-BSM film. Similar XRD patterns were also observed for the GA incorporated samples. The percentage crystallinity values of HMT-BSM-SA-15GA, HMT-BSM-SA-20GA, and HMT-BSM-SA-25GA were 29.86, 29.78 and 28.97%, respectively. The results indicate that the added GA increased the crystallinity of the HMT-BSM-SA film since the added GA was amorphous.

3.3. SEM

The cross-sectional morphologies of various wound dressing films were examined using scanning electron microscopy. It can be seen in Fig. 5(a) that the HMT film showed a smooth and continuous surface. The HMT-BSM film exhibited a heterogeneous blended structure, with a distinct rough phase corresponding to the BSM component (Fig. 5(b)). The rough surface appearance was possibly observed because of gel coagulation of the BSM component.^[44] In contrast, the cross-section of HMT-BSM-SA film, depicted in Fig. 5(c), displayed a slightly smoother surface compared to the HMT-BSM film. This could be caused by both the dicarboxylic acid cross-linker, which improved the phase compatibility between the two different polymeric phases^[45] and also by starch

hydrolysis. Furthermore, the morphology of various HMT-BSM-SA-GA films (Fig. 5(d)–(f)) revealed smoother fractured surfaces than that of the HMT-BSM-SA film, which could be caused by partial GA hydrolysis of the polysaccharide structure.

3.4. Thermal properties

Thermogravimetric analysis (TGA) and derivative thermogravimetric analysis (DTGA) thermograms of HMT, HMT-BSM, HMT-BSM-SA, and HMT-BSM-SA-GA films are represented in Fig. 6 and Table 1. The thermal decomposition occurred in three steps. The first step was because of water evaporation, at 50–100 °C. The second step corresponded to the degradation of BSM, at approximately 230 °C. The third step was the thermal degradation of the saccharide backbone (starch, glucomannan, xylan, and the other carbohydrates), in the range of 255–340 °C.^[12,46]

It should be noted that BSM induced a new thermal degradation temperature, at 233.20 °C as the second step when compared with the original HMT film. Moreover, the HMT-BSM film had a lower third step degradation temperature (313.67 °C) than the original HMT (318.83 °C). The temperature shift could be influenced by the BSM component. After cross-linking of HMT-BSM by SA, only one thermal decomposition temperature (294.00 °C), at the third step of HMT and BSM, was observed and the total thermal degradation was clearly lower than that of the uncross-linked HMT-BSM. This may be because of the acid hydrolysis possibility at glycosidic bonds from SA during the film preparation.^[32]

Similarly, the antimicrobial-activated HMT-BSM-SA-GA films displayed a slight decrease of the decomposition temperature for the third stage of HMT and BSM that maybe due to the acidity of glycolic acid ($pK_a = 3.83$) to induce to acid hydrolysis of the polymer chains.^[47] Corresponding to a previous report, hydrolyzed cassava starch films showed lower thermal decomposition temperatures than the original cassava starch film, attributed to the reduction of amylose content from acid hydrolysis.^[46] Moreover, the increase in GA concentration resulted in a slightly lower thermal decomposition temperature because of its greater hydrolysis effect, as indicated in Table 1.

3.5. Water behaviors: Gel fraction, WVTR, and FSA

The water behaviors of polysaccharide wound dressings, namely gel fraction, WVTR and FSA, are significantly important when considering them for their practical applications. Gel fraction measurements are essential for evaluating the water resistance and dimensional stability of the films. The comparison between HMT-BSM and HMT films (Table 2) indicated that the gel fraction of the HMT-BSM film was significantly lower than that of the HMT film, attributed to the natural hydrophilicity of BSM.^[12] Many hydroxyl groups are present in the BSM chemical structure (Fig. 2) which could strongly interact with water molecules. Therefore, the BSM phase could easily dissolve in water, resulting in a decrease in gel fraction value. It should be noted that the dimensional stability of HMT-BSM film was still of concern for wound dressing use, as indicated by the gel fraction result, since a good dressing film should absorb wound exudate without leaching out a free-flowing gel due to excessive swelling.^[47]

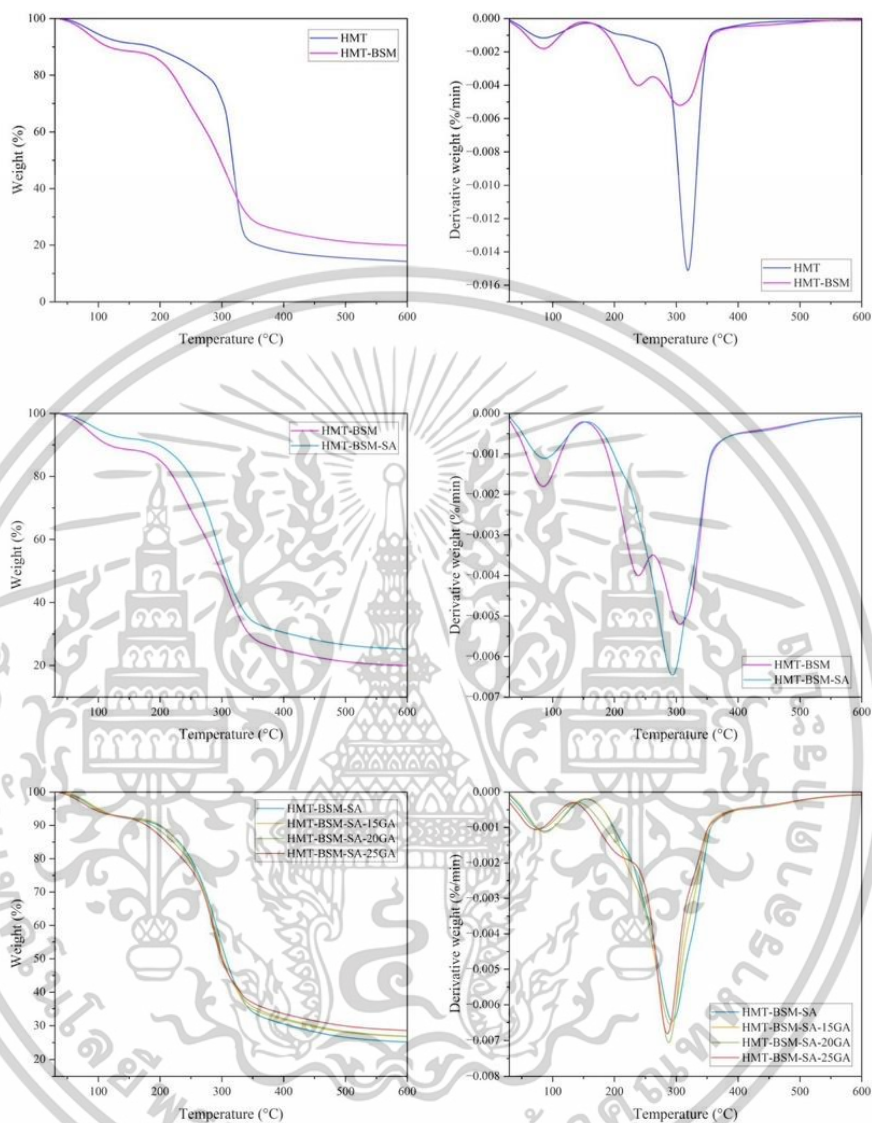


Figure 6. TGA/DTGA profiles of HMT, HMT-BSM, HMT-BSM-SA, and HMT-BSM-SA-GA films.

In general, gel fraction measurement is also the alternative method used to detect indirect cross-linking efficiency. It was found that HMT-BSM-SA film obviously presented a higher gel fraction value when compared to that of the non-cross-linked HMT-BSM film. Also, hydroxyl groups are known to interact with water molecules through hydrogen bonding. Thus, the reduction of hydroxyl groups within

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2. Gel fraction WVTR, and FSA of HMT, HMT-BSM, HMT-BSM-SA, and HMT-BSM-SA with various contents of GA.

Samples	Gel fraction (%)	WVTR (g m ⁻² day ⁻¹)	FSA (%)	
			1 h	24 h
Control (without film)	–	856.95 ± 3.39	–	–
HMT	56.99 ± 3.20 ^a	556.63 ± 7.58 ^a	169.68 ± 10.40 ^a	223.82 ± 5.88 ^a
HMT-BSM	18.38 ± 1.92 ^b	619.75 ± 7.60 ^b	513.43 ± 11.79 ^b	569.99 ± 0.43 ^b
HMT-BSM-SA	30.05 ± 6.52 ^c	427.40 ± 8.02 ^c	284.51 ± 16.56 ^c	374.12 ± 11.52 ^c
HMT-BSM-SA-15GA	50.26 ± 0.15 ^d	410.87 ± 6.11 ^c	158.24 ± 6.39 ^a	185.24 ± 6.09 ^d
HMT-BSM-SA-20GA	49.38 ± 3.21 ^d	412.28 ± 0.17 ^c	152.48 ± 1.13 ^a	167.64 ± 7.67 ^{de}
HMT-BSM-SA-25GA	49.68 ± 2.70 ^d	377.85 ± 1.30 ^d	148.26 ± 11.35 ^a	153.42 ± 13.75 ^e

Different superscript letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$), based on Tukey's test.

the cross-linked structure of the HMT-BSM-SA led to the increase of gel fraction. Correspondingly, the gel fraction of potato starch film and BSM film have been reported to increase after the cross-linking with citric acid and glutaraldehyde.^[12,48] Since the increase of the cross-linking degree caused more insoluble three-dimensional cross-linked structure^[49], the result indicates that HMT-BSM-SA film exhibited an enhanced dimensional stability in water environment compared to HMT-BSM. Even though the ATR esterified wave number at 1735 cm⁻¹ (Section 3.1) could not be detected, the gel fraction result confirmed the cross-linking by SA. Additionally, the incorporation of GA into HMT-BSM-SA film obviously enhanced the percentage of gel fraction due to the formation of ester linkages from hydroxyl groups of HMT and BSM with carboxyl groups of GA, but the same for all three GA concentrations. (Figs. 2 and 3 and Table 2). A similar phenomenon was reported for k-carrageenan modified by ascorbic acid, where the hydrophobic properties of the matrix increased by the formation of ester bonds.^[50,51]

WVTR is a critical parameter that indicates the ability of wound dressing to facilitate gas exchange and the FSA of the films quantifies their capacity to absorb wound exudate effectively. It can be seen in Table 2 that the WVTR and FSA values of the HMT film increased with the addition of BSM. This results from the hydrophilicity of the hydroxyl functional groups in BSM. Thus, BSM could increase the water swelling absorption and water vapor exchange capability. Similar observations were reported for starch/*Plantago psyllium* seeds mucilage films. The results indicated higher hydrophilicity of the starch-mucilage film was obtained, compared to the starch-based film, due to the hydrophilic characteristic of the mucilage.^[52]

However, the WVTR and FSA results were significantly lower after SA addition (Table 2). These results suggested that the hydrophilic properties of the films were reduced through ester bond formation, as shown in Fig. 2. Similar observations have been reported for cassava starch modified by citric acid and ascorbic acid, including sago starch treated by ascorbic acid.^[51,53] Additionally, the WVTR notably decreased upon the incorporation of 25%w/v of GA compared to 15 and 20%w/v. Similarly, the FSA at 24h was reduced significantly by 25%w/v of GA incorporation due to the reduction of hydroxyl groups from esterification. Comparison between the values of WVTR and FSA of wound dressings from this work and commercial wound dressings, with

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3. Mechanical properties of HMT, HMT-BSM, HMT-BSM-SA, and HMT-BSM-SA with different contents of GA.

Samples	Stress at break (MPa)	Young's modulus (MPa)	Elongation at break (%)
HMT	1.52 ± 0.14 ^a	5.49 ± 1.10 ^a	194 ± 14 ^a
HMT-BSM	9.31 ± 1.50 ^b	70.61 ± 6.94 ^b	12.17 ± 1.24 ^b
HMT-BSM-SA	9.91 ± 1.00 ^b	36.43 ± 7.44 ^c	21.04 ± 2.93 ^c
HMT-BSM-SA-15GA	9.89 ± 1.47 ^b	47.16 ± 4.37 ^{cd}	18.28 ± 1.46 ^{cd}
HMT-BSM-SA-20GA	11.25 ± 0.47 ^b	56.17 ± 5.89 ^d	15.99 ± 1.30 ^{de}
HMT-BSM-SA-25GA	11.42 ± 0.66 ^b	56.92 ± 2.34 ^d	14.43 ± 1.39 ^{de}

Different superscript letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$), based on Tukey's test.

WVTR and FSA consideration, showed that our HMT-BSM-SA-GA is suitable for no exudate, light exudate, or minor burns.^[2,54]

3.6. Mechanical properties

Knowledge of the mechanical properties of wound dressings are necessary when they are used in the wound area. It is shown in Table 3 that the HMT film displayed the lowest stress at break and Young's modulus, and the highest elongation at break. The results corresponded to the lower crystallinity of the HMT film, as observed by the XRD technique.

The HMT-BSM blended film revealed significant increases in stress at break and Young's modulus, and a decrease in elongation at break, when compared with the HMT film. This we attribute to the higher degree of crystallinity of the HMT-BSM film as a result of the incorporation of the BSM component, as observed from the XRD results. The results were similar to pectin film with nanocellulose, showing the increase of both crystallinity and strength.^[55]

From the comparison between HMT-BSM-SA and HMT-BSM films, it was found that no significant difference in stress at break was observed. However, a clear increase of elongation at break was detected, resulting in the decrease of Young's modulus. The clear increase of elongation at break was possibly due to the strong ester linkages *via* esterification causing high chain extendibility, even though starch hydrolysis could have occurred. Nandi and Guha reported similar results with dicarboxylic acid cross-linked potato/guar gum films.^[19]

The addition of GA (HMT-BSM-SA-GA films) also caused non-significant stress at break values, as determined by the statistical analysis. Nevertheless, elongation at break tended to decrease, maybe mainly due to acid hydrolysis of the polymer chains. Corresponding with the increasing concentration of citric acid in starch films, the elongation at break of cassava starch film was diminished due to acid hydrolysis, which induces cleavage of bonds within the starch structure.^[20]

3.7. Antimicrobial activity

The antibacterial activity of HMT-BSM-SA and HMT-BSM-SA-GA films was tested against *S. aureus* and *E. coli*. These bacterial strains were selected due to their association with wound infections. Different concentrations of GA, i.e., 0%w/v, 15%w/v,

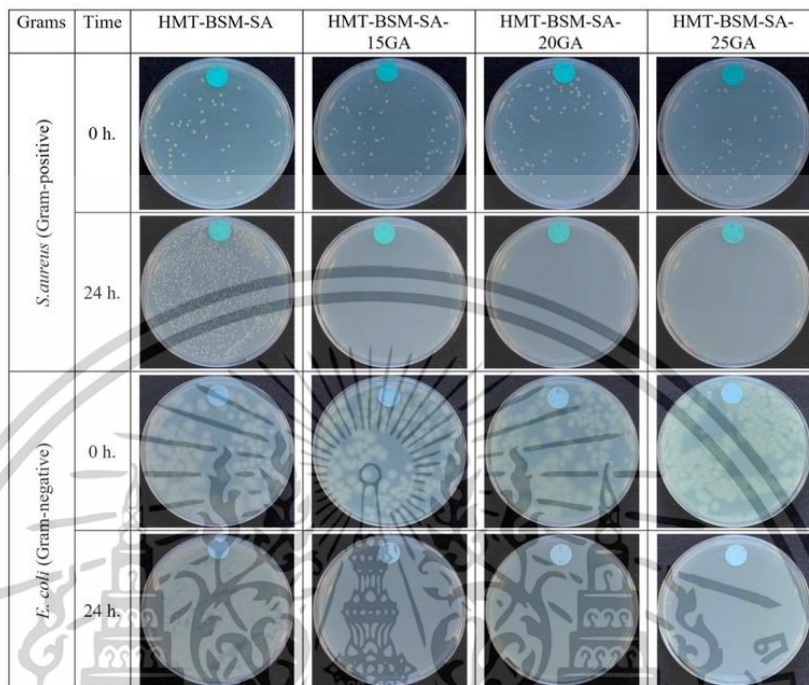


Figure 7. Photographs of the colonies (*S. aureus* and *E. coli*) after 24 h. incubation for bacteria reduction.

20%w/v, and 25%w/v, were incorporated into HMT-BSM-SA. The percentages of antibacterial reduction for these films were then recorded and analyzed. Figure 7 and Table 4 present the percentage reduction of bacteria growth. The antimicrobial efficacy of HMT-BSM-SA against both *S. aureus* (gram-positive) and *E. coli* (gram-negative) was assessed, with the reduction values of -19.71% and -15.93% observed, respectively. The negative reduction values of HMT-BSM-SA indicated a significant increase in colony numbers following the 24-h incubation period, indicating a non-active antimicrobial efficiency.

The specimens containing antimicrobial agents, specifically HMT-BSM-SA-15GA, HMT-BSM-SA-20GA, and HMT-BSM-SA-25GA, exhibited a 100% reduction in bacterial growth for both types of bacterial strains. Gambin, et al. mentioned the percentage reduction of *E. faecalis* at 95% (25% w/v of GA in distilled water).^[28] The suggested antimicrobial mechanism of GA was reported to be because of the capability of GA molecules to permeate the cell membranes of the bacteria,^[26] thereby creating osmotic stress and lowering the intracellular pH levels.^[56] Furthermore, the presence of the hydroxyl groups in the GA structure facilitated the disruption of the cytoplasmic membranes and the denaturation of the proteins in the bacterial cells.^[57,58]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4. Reduction percentage of *S. aureus* and *E. coli*, cytotoxicity, and cell viability of cross-linked HMT/BSM films with different contents of GA.

Samples	<i>S. aureus</i>		<i>E. coli</i>		Reduction (%)	Cytotoxicity (%)	Cell viability (%)
	0 hr	24 hr	0 hr	24 hr			
Control (Without film)	5.76 ± 0.03	5.63 ± 0.07	6.15 ± 0.03	7.19 ± 0.05	-16.88	0.00 ± 0.00	100 ± 0.00
HMT-BSM-SA	5.77 ± 0.02 ^a	6.91 ± 0.02 ^a	6.15 ± 0.03 ^a	7.13 ± 0.05 ^a	-15.93 ^a	5.44 ± 0.08 ^a	94.56 ± 0.08 ^a
HMT-BSM-SA-15GA	5.77 ± 0.03 ^a	0.00 ± 0.00 ^b	6.15 ± 0.04 ^a	0.00 ± 0.00 ^b	100.00 ^b	9.01 ± 0.25 ^b	90.99 ± 0.25 ^b
HMT-BSM-SA-20GA	5.77 ± 0.04 ^a	0.00 ± 0.00 ^b	6.16 ± 0.03 ^a	0.00 ± 0.00 ^b	100.00 ^b	7.89 ± 0.64 ^b	92.11 ± 0.64 ^b
HMT-BSM-SA-25GA	5.77 ± 0.03 ^a	0.00 ± 0.00 ^b	6.43 ± 0.05 ^a	0.00 ± 0.00 ^b	100.00 ^b	8.28 ± 1.19 ^b	91.72 ± 1.19 ^b

Different superscript letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$), based on Tukey's test.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

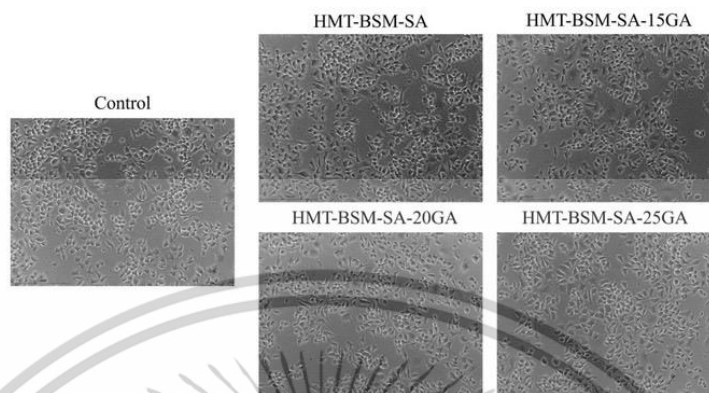


Figure 8. Optical images of incubated HaCat cells after 24 h. incubation on HMT-BSM-SA and HMT-BSM-SA-GA films.

3.8. *In-vitro* cytotoxicity

The cytotoxicity of the various films was assessed *via* HaCaT cells using the MTT method, which is a well-established technique for evaluating cell viability, as shown in Table 4. As the guidelines outlined in ISO 10993-5, if the viability of cells surpasses 80%, it suggests that the tested material is non-cytotoxic. When the cell viability ranges between 60% and 80%, it indicates mild cytotoxicity. Moderate toxicity is suggested when the cell viability falls between 40% and 60%, while severe cytotoxicity is indicated by cell viability below 40%.^[24,59]

Figure 8 presents photomicrographs of the treated HaCaT cells of HMT-BSM-SA and HMT-BSM-SA-GA films. The cell viability and percentage of cytotoxicity is presented in Table 4. It was found that the HMT-BSM-SA film showed a cytotoxicity of 5.44% and a cell viability of 95.56%. Additionally, the values of cytotoxicity and cell viability of 7.89–9.01% and 90.99–92.11% were observed for the HMT-BSM-SA-GA samples. The slight decrease of cell viability after GA addition, caused by GA, indicated that GA could inhibit cell proliferation and induce apoptosis in human keratinocytes.^[60] It should be noted that the HaCaT cells could maintain their typical morphology (Fig. 8), suggesting that GA was a biocompatible component. Thus, the HMT-BSM-SA-GA films were safe and biocompatible for alternative wound dressing applications.

4. Conclusions

Alternative polysaccharide wound dressings from HMT-BSM-SA-GA were successfully prepared. By the incorporation of BSM, ATR spectra indicated the presence of uronic acid by its characteristic peaks at the wavenumbers of 1414 and 1596 cm^{-1} . In addition, crystallinity, mechanical properties, WVTR, and FSA of HMT film were increased by the inclusion of BSM. SA crosslinking caused the improvement of hydrophobicity (as shown by gel fraction, WVTR, and FSA) and mechanical properties (as shown by stress at break and Young's modulus) even though a reduction of the thermal degradation temperature was observed. The addition of GA caused the reduction of hydrophilicity

of the dressing, which was observed from the gel fraction, WVTR, and FSA. However, both stress at break and Young's modulus were found to be increased by the addition of GA. Moreover, a significant bacterial reduction of both bacteria strains, i.e., *S. aureus* and *E. coli* was observed. The cytotoxicity and cell viability values were not affected by the addition of GA or GA concentration. In this study, HMT-BSM-SA-15GA film presented the optimal physicochemical characteristics, antimicrobial effectiveness, low cytotoxicity, high cell viability, and biocompatibility, being suitable, we propose, for an alternative wound dressing film for minor burns or low exudate.

Author's contribution

Arnon Phonrat: Investigation, Methodology, Validation, Writing – original draft, Formal analysis. Natkitta Subyai: Investigation, Methodology. Jutarat Prachayawarakorn: Validation, Supervision, Funding acquisition, Writing – review & editing.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Funding

This work was supported by School of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand (grant number 2566-02-05-009).

References

- [1] Bueno, J.; Demirci, F.; Baser, K. H. C. Antimicrobial Strategies in Novel Drug Delivery Systems: Applications in the Treatment of Skin and Soft Tissue Infections., in *The Microbiology of Skin, Soft Tissue, Bone and Joint Infections*, 1st ed., Kon, K.; Rai, M. 2017, Elsevier, Netherlands. p. 271-286 DOI: 10.1016/B978-0-12-811079-9.00016-1.
- [2] Nguyen, H. M.; Le, T. T. N.; Nguyen, A. T.; Le, H. N. T.; Pham, T. T. Biomedical Materials for Wound Dressing: Recent Advances and Applications. *RSC Adv.* **2023**, *13*, 5509–5528. DOI: 10.1039/D2RA07673J.
- [3] El Salmawi, K. M. Gamma Radiation-Induced Crosslinked PVA/Chitosan Blends for Wound Dressing. *J. Macromol. Sci. Part A – Pure Appl. Chem* **2007**, *44*, 541–545. DOI: 10.1080/10601320701235891.
- [4] Vroman, J.; Tighzert, L. Biodegradable Polymers. *Materials* **2009**, *2*, 307–344. DOI: 10.3390/ma2020307.
- [5] Kondolot Solak, E.; Kaya, S.; Asman, G. Preparation, Characterization, and Antibacterial Properties of Biocompatible Material for Wound Healing. *J. Macromol. Sci. Part A – Pure Appl. Chem* **2021**, *58*, 709–716. DOI: 10.1080/10601325.2021.1929315.
- [6] Torres, F. G.; Commeaux, S.; Troncoso, O. P. Starch-Based Biomaterials for Wound-Dressing Applications. *Starch Stärke*. **2013**, *65*, 543–551. DOI: 10.1002/star.201200259.
- [7] Choi, H. S.; Lee, Y. J.; Park, H.; Cho, W. J. Biocompatible Potato-Starch Electrolyte-Based Coplanar Gate-Type Artificial Synaptic Transistors on Paper Substrates. *Int. J. Mol. Sci.* **2022**, *23*, 15901. DOI: 10.3390/ijms232415901.
- [8] da Rosa Zavareze, E.; Dias, A. R. G. Impact of Heat-Moisture Treatment and Annealing in Starches: A Review. *Carbohydr. Polym.* **2011**, *83*, 317–328. DOI: 10.1016/j.carbpol.2010.08.064.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [9] Dutta, D.; Sit, N. Comparison of Properties of Films Prepared from Potato Starch Modified by Annealing and Heat–Moisture Treatment. *Starch Stärke* **2022**, *74*, 2200110. DOI: 10.1002/star.202200110.
- [10] Chu, T.; Shi, J.; Xia, Y.; Wang, H.; Fan, G.; Yang, M. Development of High Strength Potato Starch Nanocomposite Films with Excellent UV-Blocking Performance: Effect of Heat Moisture Treatment Synergistic with Ligninsulfonic Acid. *Ind. Crop. Prod.* **2022**, *187*, 115327. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.115327.
- [11] Beikzadeh, S.; Khezerlou, A.; Jafari, S. M.; Pilevar, Z.; Mortazavian, A. M. Seed Mucilages as the Functional Ingredients for Biodegradable Films and Edible Coatings in the Food Industry. *Adv. Colloid Interface Sci.* **2020**, *280*, 102164. DOI: 10.1016/j.cis.2020.102164.
- [12] Hosseini, M. S.; Nabid, M. R. Synthesis of Chemically Cross-Linked Hydrogel Films Based on Basil Seed (*Ocimum basilicum L.*) Mucilage for Wound Dressing Drug Delivery Applications. *Int. J. Biol. Macromol.* **2020**, *163*, 336–347. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.06.252.
- [13] Tantiwatcharothai, S.; Prachayawarakorn, J. Property Improvement of Antibacterial Wound Dressing from Basil Seed (*O. basilicum L.*) mucilage-ZnO Nanocomposite by Borax Crosslinking. *Carbohydr. Polym.* **2020**, *227*, 115360. DOI: 10.1016/j.carbpol.2019.115360.
- [14] Srikhao, N.; Chirochrapas, K.; Kwansanei, N.; Kasemsiri, P.; Ounkaew, A.; Okhawilai, M.; Likitaporn, C.; Theerakulpisut, S.; Uyama, H. Multi-Responsive Optimization of Novel pH-Sensitive Hydrogel Beads Based on Basil Seed Mucilage, Alginate, and Magnetic Particles. *Gels* **2022**, *8*, 274. DOI: 10.3390/gels8050274.
- [15] Foghara, S. K.; Jafarian, S.; Zomorodi, S.; Asl, A. K.; Nasiraei, L. R. Fabrication and Characterization of an Active Bionanocomposite Film Based on Basil Seed Mucilage and ZnO Nanoparticles. *Food Measure.* **2020**, *14*, 3542–3550. DOI: 10.1007/s11694-020-00588-w.
- [16] Reddy, N.; Reddy, R.; Jiang, Q. Crosslinking Biopolymers for Biomedical Applications. *Trends Biotechnol.* **2015**, *33*, 362–369. DOI: 10.1016/j.tibtech.2015.03.008.
- [17] Gautam, L.; Warkar, S. G.; Ahmad, S. I.; Kant, R.; Jain, M. A Review on Carboxylic Acid Cross-Linked Polyvinyl Alcohol: Properties and Applications. *Polymer Engineering & Sci.* **2022**, *62*, 225–246. DOI: 10.1002/pen.25849.
- [18] Belay, M.; Tyeb, S.; Rathore, K.; Kumar, M.; Verma, V. Synergistic Effect of Bacterial Cellulose Reinforcement and Succinic Acid Crosslinking on the Properties of Agar. *Int. J. Biol. Macromol.* **2020**, *165*, 3115–3122. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.10.144.
- [19] Nandi, S.; Guha, P. Organic Acid-Compatibilized Potato Starch/Guar Gum Blend Films. *Mater. Chem. Phys.* **2021**, *268*, 124714. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2021.124714.
- [20] Chen, W. C.; Judah, S. N. M. S. M.; Ghazali, S. K.; Munthoub, D. I.; Alias, H.; Mohamad, Z.; Majid, R. A. The Effects of Citric Acid on Thermal and Mechanical Properties of Crosslinked Starch Film. *Chem. Eng. Trans* **2021**, *83*, 199–204. DOI: 10.3303/CET2183034.
- [21] Ismail, N. A.; Amin, K. A. M.; Majid, F. A. A.; Razali, M. H. Gellan Gum Incorporating Titanium Dioxide Nanoparticles Biofilm as Wound Dressing: Physicochemical, Mechanical, Antibacterial Properties and Wound Healing Studies. *Mater. Sci. Eng. C Mater. Biol. Appl.* **2019**, *103*, 109770. DOI: 10.1016/j.msec.2019.109770.
- [22] Kim, M. H.; Park, H.; Nam, H. C.; Park, S. R.; Jung, J. Y.; Park, W. H. Injectable Methylcellulose Hydrogel Containing Silver Oxide Nanoparticles for Burn Wound Healing. *Carbohydr. Polym.* **2018**, *181*, 579–586. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.11.109.
- [23] Batool, M.; Khurshid, S.; Qureshi, Z.; Daoush, W. M. Adsorption, Antimicrobial and Wound Healing Activities of Biosynthesised Zinc Oxide Nanoparticles. *Chem. Pap.* **2021**, *75*, 893–907. DOI: 10.1007/s11696-020-01343-7.
- [24] Mbituyimana, B.; Mao, L.; Hu, S.; Ullah, M. W.; Chen, K.; Fu, L.; Yang, G. Bacterial Cellulose/Glycolic Acid/Glycerol Composite Membrane as a System to Deliver Glycolic Acid for anti-Aging Treatment. *J. Bioresour. Bioprod* **2021**, *6*, 129–141. DOI: 10.1016/j.jobab.2021.02.003.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [25] Valle-González, E. R.; Jackman, J. A.; Yoon, B. K.; Mokrzecka, N.; Cho, N. J. pH-Dependent Antibacterial Activity of Glycolic Acid: Implications for anti-Acne Formulations. *Sci. Rep.* **2020**, *10*, 7491. DOI: 10.1038/s41598-020-64545-9.
- [26] Fernandes, S.; Gomes, I. B.; Simões, M. Antimicrobial Activity of Glycolic Acid and Glyoxal against *Bacillus cereus* and *Pseudomonas fluorescens*. *Food Res. Int.* **2020**, *136*, 109346. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109346.
- [27] Kumar, M.; Wangoo, N.; Gondil, V. S.; Pandey, S. K.; Lalhall, A.; Sharma, R. K.; Chhibber, S. Glycolic Acid Functionalized Silver Nanoparticles: A Novel Approach towards Generation of Effective Antibacterial Agent against Skin Infections. *J. Drug Deliv. Technol* **2020**, *60*, 102074. DOI: 10.1016/j.jddst.2020.102074.
- [28] Gambin, D. J.; Leal, L. O.; Farina, A. P.; Souza, M. A.; Cecchin, D. Antimicrobial Activity of Glycolic Acid as a Final Irrigant Solution for Root Canal Preparation. *Gen. Dent.* **2020**, *68*, 41–44.
- [29] Pukkahuta, C.; Suwannawat, B.; Shobsngob, S.; Varavinit, S. Comparative Study of Pasting and Thermal Transition Characteristics of Osmotic Pressure and Heat–Moisture Treated Corn Starch. *Carbohydr. Polym.* **2008**, *72*, 527–536. DOI: 10.1016/j.carbpol.2007.09.024.
- [30] Aiji, Z.; Othman, I.; Rosiak, J. Production of Hydrogel Wound Dressings Using Gamma Radiation. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B: Beam Interact. Mater. At* **2005**, *229*, 375–380. DOI: 10.1016/j.nimb.2004.12.135.
- [31] Thomas, S.; Uzun, M. Testing Dressings and Wound Management Materials., in *Advanced Textiles for Wound Care*, 2nd ed.; Rajendran, S. **2019**, Elsevier, Netherlands. p. 23–54 DOI: 10.1016/B978-0-08-102192-7.00002-3.
- [32] Nguyen, H. S.; Heinonen, J.; Sainio, T. Acid Hydrolysis of Glycosidic Bonds in Oat β -Glucan and Development of a Structured Kinetic Model. *AIChE J.* **2018**, *64*, 2570–2580. DOI: 10.1002/aic.16147.
- [33] Lomeli-Ramírez, M. G.; Barrios-Guzmán, A. J.; García-Enriquez, S.; de Jesús Rivera-Prado, J.; Manríquez-González, R. Chemical and Mechanical Evaluation of Bio-Composites Based on Thermoplastic Starch and Wood Particles Prepared by Thermal Compression. *BioResource* **2014**, *9*, 2960–2974. DOI: 10.15376/biores.9.2.2960-2974.
- [34] Naji-Tabasi, S.; Razavi, S. M. A.; Mohebbi, M.; Malaekheh-Nikouei, B. New Studies on Basil (*Ocimum basilicum L.*) Seed Gum: Part I–Fractionation, Physicochemical and Surface Activity Characterization. *Food Hydrocoll* **2016**, *52*, 350–358. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2015.07.011.
- [35] Hasan, S.; Hasan, M. A.; Hassan, M. U.; Amin, M.; Noreen, S.; Anwar, A.; Abbas, N. S. Statistical and Neural Intelligence Modeling for Basil Seed Mucilage Extraction Optimization: Implications for Sustainable and Cost-Effective Industrial Plant Products. *Ind. Crops Prod.* **2023**, *204*, 117258. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.117258.
- [36] Kondo, T.; Sawatari, C.; Manley, R. S. J.; Gray, D. G. Characterization of Hydrogen Bonding in Cellulose-Synthetic Polymer Blend Systems with Regioselectively Substituted Methylcellulose. *Macromolecules* **1994**, *27*, 210–215. DOI: 10.1021/ma00079a031.
- [37] Fukuya, M. N.; Senoo, K.; Kotera, M.; Yoshimoto, M.; Sakata, O. Change in the Crystallite Orientation of Poly (Ethylene Oxide)/Cellulose Nanofiber Composite Films. *Biomacromolecules*, **2017**, *18*, 4411–4415. DOI: 10.1021/acs.biomac.7b01434.
- [38] Verma, A.; Pandey, J.; Patel, R.; Srivastava, S. Mechanistic Aspect of Iridium (III) Catalyzed Oxidation of Ethylene Glycol by Chloramine-T in Aqueous Acidic Medium: A Kinetic Model. *IJCPS*. **2018**, *7*, 62. DOI: 10.30731/ijcps.7.1.2018.62-71.
- [39] Winter, A. *Organic Chemistry I for Dummies*, 2nd ed.; Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. **2005**.
- [40] Pan, T.; Lin, L.; Wang, J.; Liu, Q.; Wei, C. Long Branch-Chains of Amylopectin with B-Type Crystallinity in Rice Seed with Inhibition of Starch Branching Enzyme I and IIb Resist in Situ Degradation and Inhibit Plant Growth during Seedling Development. *BMC Plant Biol.* **2018**, *18*, 9. DOI: 10.1186/s12870-017-1219-8.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [41] Thessrimuang, N.; Prachayawarakorn, J. Development, Modification and Characterization of New Biodegradable Film from Basil Seed (*Ocimum basilicum L.*) Mucilage. *J. Sci. Food Agric.* **2019**, *99*, 5508–5515. DOI: 10.1002/jsfa.9812.
- [42] Nazir, S.; Wani, I. A. Fractionation and Characterization of Mucilage from Basil (*Ocimum basilicum L.*) Seed. *J. Appl. Res. Med. Aromat. Plants* **2022**, *31*, 100429. DOI: 10.1016/j.jar-map.2022.100429.
- [43] Sayyad, F.; Sakhare, S. S. Isolation, Characterization and Evaluation of *Ocimum basilicum* Seed Mucilage for Tableting Performance. *pharmaceutical-sciences.* **2018**, *80*, 282–290. DOI: 10.4172/pharmaceutical-sciences.1000356.
- [44] Akbari, I.; Ghoreishi, S. Generation of Porous Structure from Basil Seed Mucilage via Supercritical Fluid Assisted Process for Biomedical Applications. *Int. J. Phar. Sci. Devt. Res* **2017**, *3*, 030–035. DOI: 10.17352/ijpsdr.000014.
- [45] Olivato, J.; Grossmann, M.; Bilck, A.; Yamashita, F. Effect of Organic Acids as Additives on the Performance of Thermoplastic Starch/Polyester Blown Films. *Carbohydr. Polym.* **2012**, *90*, 159–164. DOI: 10.1016/j.carbpol.2012.05.009.
- [46] Amaraweera, S. M.; Gunathilake, C.; Gunawardene, O. H. P.; Fernando, N. M. L.; Wanninayaka, D. B.; Manamperi, A.; Dassanayake, R. S.; Rajapaksha, S. M.; Gangoda, M.; Fernando, C. A. N.; et al. Preparation and Characterization of Biodegradable Cassava Starch Thin Films for Potential Food Packaging Applications. *Cellulose* **2021**, *28*, 10531–10548. DOI: 10.1007/s10570-021-04199-6.
- [47] Cao, R.; Liu, X.; Guo, J.; Xu, Y. Comparison of Various Organic Acids for Xylo-Oligosaccharide Productions in Terms of pKa Values and Combined Severity. *Biotechnol. Biofuels.* **2021**, *14*, 69. DOI: 10.1186/s13068-021-01919-9.
- [48] Menzel, C.; Olsson, E.; Plivelic, T. S.; Andersson, R.; Johansson, C.; Kuktaite, R.; Järnström, L.; Koch, K. Molecular Structure of Citric Acid Cross-Linked Starch Films. *Carbohydr. Polym.* **2013**, *96*, 270–276. DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.03.044.
- [49] Elzubair, A.; Suarez, J. C. M.; Bonelli, C. M. C.; Mano, E. B. Gel Fraction Measurements in Gamma-Irradiated Ultra High Molecular Weight Polyethylene. *Polym. Test.* **2003**, *22*, 647–649. DOI: 10.1016/S0142-9418(02)00170-8.
- [50] Park, S. Y.; Lee, B. I.; Jung, S. T.; Park, H. J. Biopolymer Composite Films Based on κ -Carrageenan and Chitosan. *Mater. Res. Bull.* **2001**, *36*, 511–519. DOI: 10.1016/S0025-5408(01)00545-1.
- [51] Zain, A. H. M.; Ab Wahab, M. K.; Ismail, H. Biodegradation Behaviour of Thermoplastic Starch: The Roles of Carboxylic Acids on Cassava Starch. *J. Polym. Environ.* **2018**, *26*, 691–700. DOI: 10.1007/s10924-017-0978-5.
- [52] Krystyan, M.; Khachatryan, G.; Ciesielski, W.; Buksa, K.; Sikora, M. Preparation and Characteristics of Mechanical and Functional Properties of Starch/Plantago Psyllium Seeds Mucilage Films. *Starch Stärke* **2017**, *69*, 1700014. DOI: 10.1002/star.201700014.
- [53] Ab Wahab, M. K.; Mohamad, H. S.; Jayamani, E.; Ismail, H.; Wnuk, I.; Przybył, A.; Stachowiak, T.; Postawa, P. Effect of Sago Starch Modifications on Polystyrene/Thermoplastic Starch Blends. *Materials (Basel)* **2021**, *14*, 2867. DOI: 10.3390/ma14112867.
- [54] Wu, P.; Fisher, A.; Foo, P.; Queen, D.; Gaylor, J. In Vitro Assessment of Water Vapour Transmission of Synthetic Wound Dressings. *Biomaterials* **1995**, *16*, 171–175. DOI: 10.1016/0142-9612(95)92114-L.
- [55] Chaichi, M.; Hashemi, M.; Badii, F.; Mohammadi, A. Preparation and Characterization of a Novel Bionanocomposite Edible Film Based on Pectin and Crystalline Nanocellulose. *Carbohydr. Polym.* **2017**, *157*, 167–175. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.09.062.
- [56] Ban, G. H.; Park, S. H.; Kim, S. O.; Ryu, S.; Kang, D. H. Synergistic Effect of Steam and Lactic Acid against *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella* Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* Biofilms on Polyvinyl Chloride and Stainless Steel. *Int. J. Food Microbiol.* **2012**, *157*, 218–223. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2012.05.006.
- [57] Liu, J.; Yu, S.; Han, B.; Chen, J. Effects of Benzalkonium Chloride and Ethanol on Dual-Species Biofilms of *Serratia liquefaciens* S1 and *Shewanella putrefaciens* S4. *Food Control* **2017**, *78*, 196–202. DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.02.063.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [58] Luther, M. K.; Bilida, S.; Mermel, L. A.; LaPlante, K. L. Ethanol and Isopropyl Alcohol Exposure Increases Biofilm Formation in *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus epidermidis*. *Infect. Dis. Ther.* **2015**, *4*, 219–226. DOI: 10.1007/s40121-015-0065-y.
- [59] Zepon, K. M.; Martins, M. M.; Marques, M. S.; Heckler, J. M.; Dal Pont Morisso, F.; Moreira, M. G.; Ziulkoski, A. L.; Kanis, L. A. Smart Wound Dressing Based on κ -Carrageenan/Locust Bean Gum/Cranberry Extract for Monitoring Bacterial Infections. *Carbohydr. Polym.* **2019**, *206*, 362–370. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.11.014.
- [60] Lai, W. W.; Hsiao, Y. P.; Chung, J. G.; Wei, Y. H.; Cheng, Y. W.; Yang, J. H. Synergistic Phototoxic Effects of Glycolic Acid in a Human Keratinocyte Cell Line (HaCaT). *J. Dermatol. Sci.* **2011**, *64*, 191–198. DOI: 10.1016/j.jdermsci.2011.09.001.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย อานนท์ พลรัตน์
วัน เดือน ปีเกิด	6 มีนาคม พ.ศ. 2541
ที่อยู่ปัจจุบัน	133 หมู่ 19 ต.หนองสนม อ.วานรนิวาส จ.สกลนคร 47120
ประวัติการศึกษา	2560 - 2564 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม เกรดเฉลี่ย 3.02 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2564 - ปัจจุบัน วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนผู้สอน ผู้ช่วยวิจัย (RA/TA)
ผลงานทางวิชาการ	Phonrat, A., Subyai, N., & Prachayawarakorn, J. (2024). Alternative Polysaccharide Wound Dressing from Heat-Moisture Starch/Basil Seed (<i>O. Basilicum</i> L.) Mucilage with Incorporated Glycolic Acid Antimicrobial Agent. <i>Journal of Macromolecular Science, Part B</i> , 1-22.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้