

การปรับปรุงสมบัติของคอมพอลิเมอร์โพลาสติกสตาร์ช  
จากแป้งมันสำปะหลังและขี้เลื่อยไม้สัก โดยกรดแมนดีลิก

MODIFICATION OF THERMOPLASTIC  
CASSAVA STARCH/TEAK SAWDUST COMPOSITES  
BY MANDELIC ACID



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงแก้ไขเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ปีการศึกษา 2565

MODIFICATION OF THERMOPLASTIC  
CASSAVA STARCH/TEAK SAWDUST COMPOSITES  
BY MANDELIC ACID



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

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2022

**หัวข้อโครงการพิเศษ** การปรับปรุงสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจาก  
แป้งมันสำปะหลังและซีเลื้อยไม้สัก โดยกรดแมนดีลิก  
Modification of Thermoplastic Cassava Starch/Teak Sawdust  
Composites by Mandelic Acid

**ชื่อนักศึกษา** นาย กรรณ ไตอุตชนม์ รหัสนักศึกษา 62050256  
นางสาว พรนัชชา ลาสา รหัสนักศึกษา 62050310




**ปริญญา** วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

**ภาควิชา** เคมี

**ปีการศึกษา** 2565

**อาจารย์ที่ปรึกษา** รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ

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

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร. อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ประธานกรรมการ	
รศ.ดร. ปานไพลิน สีหาราช กรรมการ	
รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การปรับปรุงสมบัติของคอมพอลิเมอร์โพลีพลาสติกสตาarchจากแป้งมันสำปะหลังและซีเลื่อยไม้สัก โดยกรดแมนดีลิก		
ชื่อนักศึกษา	นาย	กรรณ	โตอูตชนม์ รหัสนักศึกษา 62050256
	นางสาว	พรนัชชา	ลาสา รหัสนักศึกษา 62050310
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		
ปีการศึกษา	2565		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร		

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาและปรับปรุงสมบัติของพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติโดยเตรียมจากเทอร์โมพลาสติกสตาarchจากแป้งมันสำปะหลัง (Thetmoplastic cassava starch, TPCS) ที่เสริมแรงด้วยซีเลื่อยไม้สัก (Teak sawdust,SD) และศึกษาผลของสารต้านทานเชื้อแบคทีเรีย (Preservative) คือ กรดแมนดีลิก (Mandelic acid) โดยทำการผสมแป้งมันสำปะหลัง และกลีเซอรอลที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ในอัตราส่วนของแป้ง และกลีเซอรอล เท่ากับ 70:30 เพื่อเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาarchจากแป้งมันสำปะหลัง จากนั้นปรับปรุงสมบัติด้วยซีเลื่อย ในปริมาณ 10 phr (TPCS/10SD) และใส่กรดแมนดีลิกในปริมาณต่าง ๆ ได้แก่ 5 10 15 และ 20 phr โดยใช้เครื่องผสมแบบปิด และขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องกดอัด จากการศึกษาการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน พบว่าเกิดการสั่นแบบ O-H Stretching และ O-H Bending มีตำแหน่งของเลขคลื่นเคลื่อนไปยังตำแหน่งที่ลดลงเมื่อเติมซีเลื่อยหรือซีเลื่อยร่วมกับกรดแมนดีลิก แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่างแป้งกับซีเลื่อย และพบพีคใหม่ที่ตำแหน่งเลขคลื่น ที่  $1735\text{ cm}^{-1}$  เกิดจากการสั่นแบบ C=O Stretching ของลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสในองค์ประกอบของซีเลื่อย นอกจากนี้เมื่อเติมซีเลื่อย พบว่าอนุภาคซีเลื่อยกระจายตัวได้ดีในเมทริกซ์ของแป้ง และเมื่อเติมกรดแมนดีลิกทำให้ชิ้นงานมีพื้นผิวที่เรียบขึ้น แสดงให้เห็นการเข้ากันได้ดีของสองวัสดุ นอกจากนี้คอมพอลิเมอร์โพลีพลาสติกสตาarchที่เสริมแรงด้วยซีเลื่อย 10 phr มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นต่ำที่สุด ค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด และมอดุลัสสูงสุด แต่คอมพอลิเมอร์โพลีพลาสติกสตาarchที่ปรับปรุงสมบัติกรดแมนดีลิก 20 phr พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นสูงที่สุด ค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด และมอดุลัสต่ำที่สุด ในส่วนของสมบัติการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่า

คอมพอลิเมอร์โพลีพลาสติกสตาarchทุกสูตรสามารถย่อยสลายได้ โดยดูจากสมบัติเชิงกลที่ลดลง เอกสารนี้เป็นเอกสารทสรงานวิชาสำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า หลังจากฝังดิน นอกจากนี้การเติมซีเลื่อยร่วมกับกรดแมนดีลิกส่งผลให้เสถียรภาพทางความร้อนดีขึ้น ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสำหรับการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ปรับปรุงสมบัติด้วย  
 ซีลี้อยู่ร่วมกับกรดแมนดีลิกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr สามารถต้านทานเชื้อแบคทีเรียได้ทั้ง 2  
 ชนิด ได้แก่ ชนิดแกรมบวก *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) และชนิดแกรมลบ *Esherichian*  
*coli* (*E.coli*)

คำสำคัญ : กรดแมนดีลิก ซีลี้อยู่ไม้สัก เทอร์โมพลาสติกสตาเรซ แป้งมันสำปะหลัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	Modification of Thermoplastic Cassava Starch/Teak Sawdust Composites by Mandelic Acid
<b>Student</b>	Mr. Kran Toutachon Student ID 62050256 Miss Pornnutcha Lasa Student ID 62050310
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)
<b>Department</b>	Chemistry
<b>School</b>	Science
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
<b>Academic Year</b>	2022
<b>Advisor</b>	Assoc.Prof. Dr. Jutarat Prachayawarakorn

### Abstract

This special project studied on properties of biodegradable plastic prepared from thermoplastic cassava starch (TPCS) reinforced with teak sawdust (SD). Mandelic acid (MA) was also added as a preservative. The sample was prepared by mixing cassava starch with glycerol plasticizer at the weight ratio of 70:30. The sawdust content was fixed at 10 phr (TPCS/10SD) and different contents of MA, i.e. 5, 10, 15 and 20 phr were incorporated by using an internal mixer and shaping by a compression molding machine. It was found from FT-IR study that the peak positions of O-H stretching and O-H bending vibration shifted to lower wavenumber with the addition either SD or SD/MA, presenting the new hydrogen bond between starch and sawdust. The new peak position at  $1735\text{ cm}^{-1}$ , was observed attributed to C=O stretching vibration of lignin cellulose and hemicellulose from SD component. Moreover, SD particles were well distributed into TPCS matrix. When MA was added into TPCS matrix, smooth fractured surface was observed, indicating of the compatibility between the two different phases. In addition, TPCS/10SD showed the lowest percentage of moisture uptake and the highest the stress at maximum load and Young's modulus. On the other hand, TPCS/20MA presented the highest percentage of moisture uptake, lowest the stress at maximum load and Young's modulus. For biodegradability, all samples presented ability to degrade, observed by the decreased mechanical properties after a soil burial test. Furthermore, thermal degradation temperature was improved with the addition of SD particles. Furthermore, the addition of SD/MA

resulted in the improved thermal stability. From antimicrobial test, TPCS/SD with MA contents 5 10 15 and 20 phr showed the antimicrobial activity against both *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) and *Esherichian coli* (*E.coli*)

Keyword : mandelic acid, teak sawdust, thermoplastic starch, cassava starch



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากได้รับคำปรึกษา คำแนะนำ และ  
ข้อคิดเห็นต่างๆ ของทุกท่านอันเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงแก้ไขโครงการฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงลงได้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่กรุณาให้  
คำปรึกษา และให้คำแนะนำที่ดีในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องเกี่ยวกับการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล และรศ.ดร. ปานไพลิน สีหาราช ที่กรุณาเป็น  
กรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ตลอดจนให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ ทำให้  
โครงการนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณวิภาวรรณ พิตรพิศุทธิ์ นักศึกษาปริญญาเอก ที่ช่วยชี้แนะแนวทางการแก้ไข  
ปัญหาต่างๆในระหว่างการทำนิพนธ์วิจัย

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และ คุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่ธุรการ  
คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกให้การดำเนินงานสำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ ครอบครัว ที่ให้โอกาสได้รับการศึกษา อบรม เลี้ยงดู เป็นกำลังใจ  
และคอยสนับสนุน ในการทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงเพื่อนๆ และบุคคลอื่นที่  
ไม่ได้กล่าวถึง คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

กรรณ  
พรนัชชา

โตอุตชนม์  
ลาสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฐ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>2</b>
2.1 พลาสติก (Plastic).....	2
2.2 พลาสติกย่อยสลายได้ (Degradable plastic).....	2
2.2.1 การย่อยสลายได้โดยแสง.....	2
2.2.2 การย่อยสลายทางกล.....	5
2.2.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	5
2.2.4 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส.....	5
2.2.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ.....	5
2.3 การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้.....	6
2.3.1 การใช้งานทางการแพทย์ (Medical).....	6
2.3.2 สารเคลือบกระดาษ หรือโฟม (Paper coating).....	6
2.3.3 फिल्मคลุมดิน และวัสดุสำหรับการเกษตร (Agriculture).....	6
2.3.4 ถุงสำหรับใส่ของ (Shopping bag).....	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 23.5 फिल्म และถุงสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร เล่นเกมแต่ให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการทำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

2.3.6	บรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค .....	7
2.3.7	โฟมเม็ดกันกระแทก .....	7
2.4	แป้ง .....	7
2.4.1	อะไมโลส .....	8
2.4.2	อะไมโลเพคติน .....	9
2.4.3	ไขมัน .....	9
2.4.4	โปรตีน .....	10
2.4.5	เถ้า .....	10
2.4.6	ฟอสฟอรัส .....	10
2.5	สมบัติของแป้ง .....	10
2.5.1	การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย .....	10
2.5.2	ความหนืดของแป้ง .....	11
2.5.3	เจลาตินในเซชัน .....	11
2.5.4	รีโทรเกรเดชัน .....	11
2.6	แป้งมันสำปะหลัง .....	12
2.7	ไม้และเส้นใยไม้ (Wood and wood fiber) .....	13
2.7.1	หลักเกณฑ์การแบ่งไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็ง ตามมาตรฐานของกรมป่าไม้ .....	13
2.8	องค์ประกอบทางเคมีของไม้ .....	14
2.8.1	เซลลูโลส .....	14
2.8.2	เฮมิเซลลูโลส .....	14
2.8.3	ลิกนิน .....	14
2.8.4	สารแทรก .....	15
2.9	ไม้สัก (Teak) .....	16
2.10	พลาสติกไซเซอ์ .....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 2.10.1 กลไกของพลาสติกไซเซอ์ .....

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาปรึกษา

## สารบัญ (ต่อ)

2.11	สารหล่อลื่น .....	17
2.11.1	แมกนีเซียมสเตียเรท .....	17
2.12	กรดแมนดีลิก .....	18
2.13	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
<b>บทที่ 3</b>	<b>วิธีการดำเนินงานวิจัย .....</b>	<b>25</b>
3.1	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง .....	25
3.2	อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	26
3.3	การทดลอง.....	29
3.3.1	การเตรียมขี้เลื่อย .....	29
3.3.2	การเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง.....	29
3.3.3	การปรับปรุงสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรลด้วยขี้เลื่อยและกรดแมนดีลิก.....	29
3.4	การตรวจวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่างๆ .....	30
3.4.1	การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน .....	30
3.4.2	การทดสอบสัณฐานวิทยา.....	31
3.4.3	การดูดซับความชื้น .....	31
3.4.4	การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	31
3.4.5	การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน .....	32
3.4.6	การทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	32
3.4.7	การทดสอบการต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย .....	33
<b>บทที่ 4</b>	<b>ผลการวิจัยและการอภิปรายผล .....</b>	<b>34</b>
4.1	การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน.....	36
4.2	การทดสอบสัณฐานวิทยา .....	39
4.3	การทดสอบการดูดซับความชื้น.....	43
4.4	การทดสอบสมบัติเชิงกล .....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากรในหน่วยงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

4.5 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน .....	47
4.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อน .....	49
4.7 การทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย.....	52
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>55</b>
5.1 สรุปผลงานวิจัย .....	55
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	57
เอกสารอ้างอิง .....	58
ภาคผนวก.....	63
ภาคผนวก ก.....	64
ภาคผนวก ข.....	67
ภาคผนวก ค.....	68
ภาคผนวก ง.....	69
ภาคผนวก จ.....	72
ภาคผนวก ฉ.....	73
ภาคผนวก ช.....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติที่ต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน.....	8
2.2 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ .....	9
2.3 สมบัติในการพองตัวและการละลายในแป้งแต่ละชนิด.....	11
2.4 องค์ประกอบในหัวมัน.....	12
2.5 แสดงองค์ประกอบในเนื้อมัน.....	12
3.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง .....	25
3.2 องค์ประกอบทางเคมีของซีเลื้อยไม้สัก.....	25
3.3 องค์ประกอบทางเคมีของกรดแมนดีลิก.....	26
3.4 อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง กลีเซอรอล ซีเลื้อย และกรดแมนดีลิกที่ใช้ในการเตรียม เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช.....	30
3.5 การทดสอบสมบัติเชิงกลของ TPCS/SD.....	32
4.1 ความหมายของอักษรย่อที่ใช้ในการทดลอง.....	34
4.2 เลขคลื่นที่ปรากฏในเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมได้.....	36
4.3 อุณหภูมิการสลายตัว (oC) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติก สตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีเลื้อยไม้สักปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก ในอัตราส่วน 5 10 15 และ 20 phr.....	49
4.4 ระยะเวลาต้านทานเชื้อแบคทีเรียของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยซีเลื้อยไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกในอัตราส่วน 5 10 15 และ 20 phr.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของอะไมโลส.....	8
2.2 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน.....	9
2.3 โครงสร้างของเซลลูโลส.....	14
2.4 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส.....	14
2.5 โครงสร้างของลิกนิน.....	15
2.6 ไม้สัก.....	16
2.7 โครงสร้างของ Magnesium stearate.....	17
2.8 โครงสร้างของ Mandelic acid.....	18
3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัย.....	28
3.2 ลักษณะชิ้นงานทดสอบ.....	32
4.1 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการเตรียมคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้ง มันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยไม้สักร่วมกับกรดแมนดีลิก.....	35
4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของ TPCS TPCS/10SD TPCS/10SD/5MA TPCS/10SD/10MA TPCS/10SD/15MA และ TPCS/10SD/20MA.....	37
4.3 ลักษณะสัญญาณวิทยาของซีลี้อยไม้สัก เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า.....	39
4.4 ลักษณะสัญญาณวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า.....	40
4.5 ลักษณะสัญญาณวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้สัก เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า.....	40
4.6 ลักษณะสัญญาณวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้สัก 10 phr และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr เมื่อส่องด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า.....	41
4.7 สมบัติการดูดซับความชื้นของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรง ด้วยซีลี้อยไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกที่ปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr.....	43

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลื้อยไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกในอัตราส่วน 5 10 15 และ 20 phr .....	45
4.9 สมบัติเชิงกลก่อน และหลังฝังดินเป็นเวลา 2 วัน ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้ง มันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลื้อยไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกในอัตราส่วน 5 10 15 และ 20 phr (ก) ค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (ข) มอดุลัส และ (ค) เปอร์เซ็นต์ ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด.....	48
4.10 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติและคอม พอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยซีลื้อยไม้สักในอัตราส่วน 10 phr (ก) TGA และ (ข) DTG .....	50
4.11 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยซีลื้อยไม้สักใน อัตราส่วน 10 phr และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr โดย (ก) TGA และ (ข) DTG.....	51
4.12 ระยะเวลาต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก Staphylococcus aureus (S.aureus).....	53
4.13 ระยะเวลาต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ Esherichian (E.coil).....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
SD	ซีล้อยไม้สัก
MA	กรดแมนดีลิก
TPCS	เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ
TPCS/10SD	คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีล้อยไม้สัก 10 phr
TPCS/10SD/5MA	คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีล้อยไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก 5 phr
TPCS/10SD/10MA	คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีล้อยไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก 10 phr
TPCS/10SD/15MA	คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีล้อยไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก 15 phr
TPCS/10SD/20MA	คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีล้อยไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก 20 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

พลาสติก เป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่ผ่านกระบวนการสังเคราะห์โดยใช้วัตถุดิบจากแหล่งปิโตรเคมีเป็นหลัก เนื่องจากความคงทนถาวร การตอบสนองการใช้งาน น้ำหนักเบา ราคาที่เหมาะสม จึงทำให้พลาสติกถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย และพบเห็นได้ทั่วไป บางประเภทก็ถูกนำมาใช้งานเพียงระยะเวลาสั้นๆ แต่กลับถูกทิ้งอยู่ในสิ่งแวดล้อมอีกยาวนาน [1] เช่น ขวดน้ำพลาสติก ถุงพลาสติก และฟิล์มสำหรับบรรจุอาหาร เป็นต้น ปัญหาขยะพลาสติกต่าง ๆ นับวันยังมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดปัญหาในด้านการจัดเก็บ การกำจัดขยะ และเกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามมา เนื่องจากเมื่อขยะพลาสติกถูกทิ้งปะปนกับขยะประเภทอื่น เมื่อมีการนำไปฝังกลบต้องใช้ระยะเวลานานในการย่อยสลาย หรือถ้าหากจะกำจัดด้วยวิธีการเผาไหม้ก็ก่อให้เกิดปัญหาปรากฏการณ์เรือนกระจกได้ ทำให้โลกร้อนขึ้น ดังนั้นจึงมีการคิดค้นและพัฒนาพลาสติกชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและสามารถย่อยสลายได้ เพื่อลดปัญหาภาวะโลกร้อนและปริมาณขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้น

พลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ (Biodegradable plastic) หมายถึงพลาสติกที่ผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพืช สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ (Biodegradable) ช่วยลดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม วัสดุธรรมชาติที่สามารถนำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพมีหลายชนิด เช่น เซลลูโลส (Cellulose) คอลลาเจน (Collagen) เคซีน (Casein) พอลิเอสเตอร์ (Polyester) แป้ง (Starch) โปรตีนจากถั่ว และข้าวโพด เป็นต้น ทั้งนี้ แป้ง มีความเหมาะสมเนื่องจากหาได้ง่ายและราคาถูก และสามารถ หาได้จากพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี มันฝรั่ง มันเทศ มันสำปะหลัง เป็นต้น [2]

แป้งมีความสามารถในการขึ้นรูปที่ไม่ดี เนื่องจากอุณหภูมิการหลอมเหลวของแป้งสูงกว่าอุณหภูมิการสลาย ซึ่งเป็นเหตุผลที่ต้องทำให้เป็นพลาสติกในระหว่างกระบวนการผลิต โดยการนำแป้งมาผสมกับ พลาสติกไฮดรอกซี เช่น น้ำ กลิเซอรอล และซอร์บิทอล เป็นต้น เทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ มีข้อจำกัดในเรื่องของสมบัติเชิงกลที่ต่ำ ความแข็งแรง และว่องไวต่อน้ำมาก เนื่องจากโครงสร้างภายในโมเลกุลนั้นมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่เป็นจำนวนมาก เพื่อจะปรับปรุงสมบัติที่ดีขึ้นและทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น จึงมีการเสริมแรงด้วยสารตัวเติมหรือพอลิเมอร์อื่น ๆ เช่น เส้นใยฝ้าย เส้นใยขนุน ชีลีโอไมล์ เป็นต้น

ไม้สัก (*Tectona grandis* Linn.) มีชื่อทางการค้าว่า Teak จัดอยู่ในวงศ์ Labiatea เป็นไม้ผลัดใบขนาดใหญ่ มีลำต้นเปลาตรง โคนต้นเป็นพูพอนเล็กน้อย กิ่งอ่อนเป็นรูปเหลี่ยม เรือนยอดเป็นทรงพุ่มกลมค่อนข้างทึบ ลำต้นมีความสูงตั้งแต่ 20 เมตรขึ้นไป [3] เนื้อไม้มีองค์ประกอบทางเคมีไม่เท่ากันทุกชนิด ทุกสี อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 ชนิด คือ มีปริมาณของโฮโลเซลลูโลส (Holocellulose) ประมาณ 60-75 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 18-24 เปอร์เซ็นต์ และสารแทรกไม้เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ [4] แต่เนื่องจากแป้งและซีลี้อยไม้สักไม่มีสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรียจึงได้มีการปรับปรุงสมบัติโดยการใส่สารต้านเชื้อแบคทีเรีย เพื่อเพิ่มสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรียที่สูงขึ้น

กรดแมนดีลิก (Mandelic acid) มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลเป็น  $C_6H_5CH(OH)CO_2H$  มีส่วนของโมเลกุลที่เป็นไคร์ลอะตอม โดยสารผสมราซีมิก (Racemic) ของกรดแมนดีลิกมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กรดพาราแมนดีลิก (Paramandelic acid) ทั้งนี้ กรดแมนดีลิกบริสุทธิ์มีลักษณะเป็นผลึกของแข็งสีขาว ละลายได้ดีในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขี้ว กรดแมนดีลิกถือเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการผลิตยาหลายชนิด [5] กรดแมนดีลิกได้ถูกนำมาใช้เชิงการแพทย์มาอย่างยาวนานในฐานะยาปฏิชีวนะชนิดหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เพื่อรักษาการติดเชื้อแบคทีเรียในระบบทางเดินปัสสาวะ ยาชนิดนี้มีในรูปแบบยารับประทาน และเป็นส่วนผสมของสารเคมีขัดลอกหน้า (Chemical face peels) บางสูตร เนื่องจากกรดแมนดีลิกเป็นสารในกลุ่มกลุ่มอัลฟาไฮดรอกซี (AHAs) มีสรรพคุณในการช่วยผลัดเซลล์ผิวได้ดี ช่วยกัผิวที่เสียจากการโดนแสงแดด และรักษาอาการอักเสบของผิว เพราะลดแบคทีเรียในรูขุมขน ที่เป็นสาเหตุของการเกิดสิว [6]

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าได้มีการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPCS) โดยใช้ซีลี้อย (Sawdust, SD) เป็นตัวเสริมแรง เช่น ไม้สัก [7] ไม้สะเดา [8] สามารถปรับปรุงให้เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีการดูดซับความชื้นที่ลดลงเมื่อมีปริมาณของซีลี้อยที่เพิ่มมากขึ้น และจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องศึกษาการปรับปรุงสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้สัก [7] พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นมีแนวโน้มลดลง สมบัติเชิงกลดีขึ้น แต่ไม่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้นอกจากนี้การปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชด้วยซีลี้อยร่วมกับกรดมาลิก พบว่าความสามารถในการดูดซับความชื้นลดลง โดยเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยร่วมกับกรดปริมาณ 1.5 phr มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นมากที่สุด จากสมบัติเชิงกลพบว่าการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยร่วมกับกรดมาลิกในปริมาณ 0.25 และ 0.5 phr ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ และจากการศึกษาการต้านเชื้อแบคทีเรีย พบว่าเมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยร่วมกับกรดมาลิกในปริมาณ 0.5 1.0 และ 1.50 phr สามารถยับยั้งแบคทีเรียชนิดแกรมบวก *S.aureus* แต่ไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียชนิดแกรมลบ *E.coli* ได้ [7]

ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดเพื่อทำการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง (Thermoplastic cassava starch, TPCS) โดยนำมาเสริมแรงด้วยซีลี้อยซึ่งมีองค์ประกอบหนึ่งเป็นเซลลูโลสเพื่อให้ได้พอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก โดยขึ้นรูปด้วยการกดอัด ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงทำการศึกษาผลของกรดแมนดีลิก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้น โดยการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลี้อย 10 phr เพื่อศึกษา

การดูดซับความชื้น และปรับปรุงสมบัติร่วมกับกรดแมนดีลิก 5 10 15 และ 20 phr มีการใช้ กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยคาดหวังว่าคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์พลาสติกสตาร์ชจาก แป้งมันสำปะหลังจะมีสมบัติเชิงกล สมบัติการดูดซับน้ำ ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ และความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังโดยมีกลีเซอรอลเป็น พลาสติกไซเซอร์ที่เสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้สัก และกรดแมนดีลิกเป็นสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ โดยขึ้นรูปด้วย กระบวนการกดอัด

2) เพื่อตรวจวิเคราะห์และศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของเทอร์โมพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลังที่ ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยไม้สัก และกรดแมนดีลิกในปริมาณที่ต่างกัน

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1) เตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังโดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยไม้สัก

2) ศึกษาผลของปริมาณซีลี้อย 10 phr และกรดแมนดีลิกปริมาณ 0 5 10 15 และ 20 phr

3) ทดสอบและวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง ดังนี้

3.1 การทดสอบการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน (ATR)

3.2 การทดสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

3.3 การทดสอบการดูดซับความชื้น

3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

3.5 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน

3.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

3.7 การทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง ที่ปรับปรุงด้วยซีลี้อยไม้สัก และกรดแมนดีลิก

2) วัสดุที่เตรียมได้จะสามารถลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม และสามารถเพิ่มมูลค่าของผลผลิตทางการเกษตร

3) สามารถนำเอาวัสดุเหลือทิ้งอย่างซีลี้อยมาใช้ให้เกิดประโยชน์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 พลาสติก (Plastic)

พลาสติก หมายถึง วัสดุในกลุ่มพอลิเมอร์ สังเคราะห์ขึ้นจากสารประกอบอินทรีย์มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สามารถหลอมขึ้นรูปเป็นของแข็งรูปทรงต่าง ๆ ได้ง่าย มีการนำมาใช้งานหลากหลายรูปแบบ เช่น ถูพลาสติก ขวดน้ำ ภาชนะ บรรจุภัณฑ์ เป็นต้น

พลาสติกสามารถแบ่งตามสมบัติทางความร้อนได้ 2 ประเภท คือ [9]

1. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) พอลิเมอร์ประเภทนี้มีโครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่เป็นแบบเส้นตรงหรือแบบกิ่งสั้นๆ สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อได้รับความร้อนจะหลอมเหลวเป็นของเหลวหนืด เนื่องจากโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่พันกันอยู่สามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น และเมื่อเย็นลงก็จะแข็งตัว สามารถเกิดกลับไปกลับมาได้โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลงไปมาก พลาสติกประเภทนี้สามารถนำกลับมารีไซเคิลอีกครั้งได้ และมีข้อจำกัดคือไม่ทนต่ออุณหภูมิที่สูง

2. เทอร์โมเซตติง (Thermosetting) พอลิเมอร์ประเภทนี้มีโครงสร้างเป็นแบบร่างแห ซึ่งจะหลอมเหลวได้ในขั้นตอนการขึ้นรูปครั้งแรกเท่านั้น ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ทำให้พอลิเมอร์มีรูปร่างที่ถาวร ไม่สามารถหลอมเหลวได้อีกเมื่อได้รับความร้อน และหากได้รับความร้อนสูงเกินไป จะทำให้พันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลแตกออก และจะได้สารที่ไม่มีสมบัติของความเป็นพอลิเมอร์

### 2.2 พลาสติกย่อยสลายได้ (Degradable plastic)

พลาสติกที่ย่อยสลายได้ คือ พลาสติกที่ออกแบบมาเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้ ก่อให้เกิดการสูญเสียสมบัติบางประการที่สามารถวัดได้

พลาสติกย่อยสลายได้สามารถแบ่งตามกลไกของการย่อยสลายได้ 5 ประเภท คือ

2.2.1 การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอน

ในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ [2]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.2 การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation)** โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ [2]

**2.2.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative degradation)** การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจน และความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกล เป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติม สารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชัน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น [2]

**2.2.4 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic degradation)** การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิแอนไฮดริด พอลิคาร์บอเนต และ พอลิยูริเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา (Non-Catalytic Hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External Catalytic Degradation) และแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกมี 2 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น ดีพอลิเมอเรส (Depolymerase) ไลเปส (lipase) เอสเทอร์เรส (esterase) และ ไกลโคไฮโดรเลส (glycohydrolase) ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอสคาไลด์ (Alkaline metal) เบส (Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส [2]

**2.2.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)** การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์ โดยการ

ปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งทั้งแบบใช้เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ (Endo-enzyme) และแบบเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะทีละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ (Exo-enzyme) เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ กลีโกล แร่ธาตุต่าง ๆ และมวลชีวภาพ (Biomass) [2]

## 2.3 การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้

### 2.3.1 การใช้งานทางการแพทย์ (Medical)

พลาสติกย่อยสลายได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการผลิตวัสดุทางการแพทย์ เช่น ผิวนั่งเทียม ยาที่ถูกออกแบบมาให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยตัวยาอย่างช้าๆ ภายในร่างกายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หรือไหมละลาย อุปกรณ์ประสาทศัลยกรรม และแผ่นตามกระดูกที่ได้รับการผ่าตัดและฝังอยู่ในร่างกายที่สามารถย่อยสลายได้เองภายหลังจากการทำหน้าที่ตามที่ได้รับออกแบบไว้แล้วเสร็จสิ้น ทำให้ไม่ต้องทำการผ่าตัดซ้ำเพื่อนำวัสดุที่ใช้ในการรักษาเสร็จแล้วออกจากร่างกายผู้ป่วย [10]

### 2.3.2 สารเคลือบกระดาษ หรือโพลี (Paper coating)

ปัจจุบันมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้เป็นสารเคลือบกระดาษสำหรับห่อแอมเบอร์เกอร์ หรือถ้วยน้ำชนิดใช้แล้วทิ้ง [10]

### 2.3.3 พลาสติกคลุมดิน และวัสดุสำหรับการเกษตร (Agriculture)

ฟิล์มคลุมดินสำหรับการเกษตรเป็นอุปกรณ์ทางการเกษตรที่สำคัญในการเพาะปลูกพืชบางชนิด เช่น มะเขือเทศ ซึ่งแผ่นฟิล์มจะช่วยป้องกันการเติบโตของวัชพืช และรักษาความชื้นในดิน การใช้ฟิล์มสามารถผลิตได้จากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะช่วยลดขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์มภายหลังเสร็จสิ้นการใช้งาน เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการไถพรวนลงดินได้โดยตรง ช่วยป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุและสารอาหารบริเวณหน้าดินซึ่งมักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์ม นอกจากนี้ยังได้มาใช้เป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญ เช่น ตัวยา ปุ๋ย สารเคมีสำหรับการเกษตร วัสดุกักเก็บน้ำสำหรับการเพาะปลูกพืชในทะเลทรายรวมถึงถุงหรือกระถางสำหรับเพาะต้นกล้า [10]

### 2.3.4 ถุงสำหรับใส่ของ (Shopping bag)

ถุงพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ได้รับความนิยมในการใช้งานมากขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลให้มีสัดส่วนอยู่ในขยะในปริมาณสูงและยังไม่ได้ได้รับความนิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนักเนื่องจากมีความยุ่งยากในขั้นตอนการคัดแยกและทำความสะอาด รวมถึงมีค่าใช้จ่ายในการเอกลำนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขนส่งสูง ทำให้ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ พลาสติกย่อยสลายได้จึงเป็นพลาสติกที่มีศักยภาพในการนำมาใช้แทนพลาสติกทั่วไปเพื่อผลิตเป็นถุงและฟิล์มในบางโอกาส [10]

### 2.3.5 ฟิล์ม และถุงสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร (Food waste film and bags)

ฟิล์มและถุงพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใส่ใส่ขยะเศษอาหาร เหมาะสำหรับสถานที่ที่มีระบบการกำจัดขยะอินทรีย์ด้วยวิธีการคอมโพสท์ กำลังได้รับความนิยมในต่างประเทศ เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการนำมาทำคอมโพสท์พร้อมขยะอินทรีย์อื่นๆ ทำให้เกิดความสะอาด ไม่ต้องแยกทิ้ง ปัจจุบันมีความต้องการใช้ถุงพลาสติกย่อยสลายได้สูงขึ้นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น บริษัท Novamont ซึ่งเป็นผู้ผลิตหลักให้กับประเทศในสหภาพยุโรป ทำการผลิตถุงย่อยสลายได้ในสภาวะคอมโพสท์ 10,000 ตันต่อปี ถุงที่ผลิตขึ้นนี้สามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ภายใน 8-10 สัปดาห์ภายใต้สภาวะการหมักในโรงงานคอมโพสท์เชิงอุตสาหกรรม [10]

### 2.3.6 บรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค (Consumer packaging materials)

ศักยภาพหนึ่งในการใช้งานพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ การใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ ซึ่งตามปกติการใช้บรรจุภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากพลาสติกทั่วไปมักไม่ได้รับความนิยมมากนัก เนื่องจากมีการปนเปื้อนสูง ทำให้ไม่สะดวกต่อการเก็บและทำความสะอาด การนำพลาสติกย่อยสลายได้มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เช่น ถาดย่อยสลายได้สำหรับอาหารสำเร็จรูปและอาหารจานด่วน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาด้านการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์ลงได้ [10]

### 2.3.7 โฟมเม็ดกันกระแทก (Loose fill)

โฟมเม็ดกันกระแทก โดยทั่วไปผลิตจากพอลิสไตรีน (PS) เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการขนส่งสินค้า มีข้อดีคือ มีความยืดหยุ่นสามารถป้องกันสินค้าจากแรงกระแทกระหว่างการเคลื่อนย้ายและขนส่งได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบาทำให้การขนส่งสินค้าเป็นไปได้อย่างสะดวกและประหยัดเชื้อเพลิง แต่ปัญหาคือ พอลิสไตรีน เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยากและใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บเพื่อการกำจัดสูง ในกรณีที่ต้องกำจัดด้วยการฝังกลบต้องใช้เนื้อที่ในบ่อฝังกลบมาก แม้ว่าจะนำมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้แต่ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากนัก ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตโฟมเม็ดกันกระแทกจากแป้งและพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่ละลายน้ำและย่อยสลายได้ทางชีวภาพขึ้น ทำให้ง่ายต่อการใช้งานและสะดวกในการกำจัดเมื่อสิ้นสุดการใช้งานแล้ว [10]

## 2.4 แป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีคือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  แป้งเป็นพอลิเมอร์กลูโคส ซึ่งประกอบด้วย Anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ Glucosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านปลายของสายพอลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (Aldehyde group) เรียกว่า Reducing end group แป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

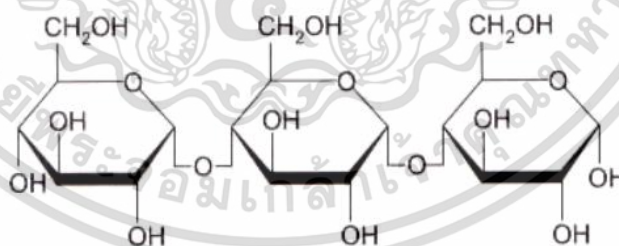
ประกอบด้วยพอลิเมอร์เชิงเส้น (อะไมโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะไมโลเพกติน) แบ่งมีอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน [11]

สมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพกติน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะเป็นกิ่งก้าน
พันธะ	แอลฟา-1,4	แอลฟา-1,4 และ แอลฟา-1,6
ขนาด	200-2000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะ จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีม่วงแดง

#### 2.4.1 อะไมโลส (Amylose)

โมเลกุลของอะไมโลส เป็นพอลิเมอร์สายตรงของน้ำตาลดี-กลูโคส (D-glucose) ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ชนิด  $\alpha$ -1,4 ประมาณ 200-2,000 หน่วย มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 150,000 ถึง 1,000,000 โดยจะผันแปรไปตามชนิดของสตาร์ช [11]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอะไมโลส [12]

ขนาดและน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลส มีผลมาจาก Degree of Polymerization (DP) ของอะไมโลสที่แตกต่างกัน อะไมโลสในสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลังมี DP ของอะไมโลสอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 จะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าในสตาร์ชข้าวโพดและข้าวสาลี ที่มี DP ของอะไมโลสอยู่ในช่วง 200 ถึง 1,200 สตาร์ชชนิดที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มของการคืนตัวหรือการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ต่ำลง [11]

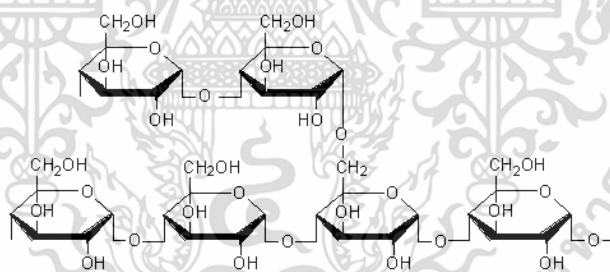
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ [11]

แป้ง	ปริมาณอะไมโลส (% น้ำหนักแห้ง) Apparent	ปริมาณอะไมโลส (% น้ำหนักแห้ง) Absolute
ข้าวสาลี	28.8	25.8
ข้าวโพด	29.4	22.5
ข้าวเจ้า	25.0	20.5
ข้าวบาร์เลย์	25.5	23.6
มันฝรั่ง	36.0	16.9
มันสำปะหลัง	23.5	17.8
ถั่วเขียว	37.9	30.7

#### 2.4.2 อะไมโลเพคติน (Amylopectin)

อะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์สายสั้น มี DP อยู่ในช่วง 10-60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,6-glucosidic linkage [11].



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน [13]

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ  $\alpha$ -1,6-glucosidic linkage มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณหน่วยกลูโคสของอะไมโลเพคตินทั้งหมด อะไมโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1000 เท่าของอะไมโลสคือประมาณ  $10^7$ - $10^9$  ดาลตัน และมีการคั่นตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบกิ่งอะไมโลเพคตินทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของเม็ดแป้ง ดังนั้นเมื่อมีอะไมโลเพคตินเพียงอย่างเดียวจึงยังสามารถรวมตัวเป็นเม็ดแป้งได้ [11]

#### 2.4.3 ไขมัน (Lipid)

ไขมันที่เป็นองค์ประกอบของแป้งมีปริมาณต่ำกว่า 1% อยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งและกระจายอยู่ทั่วไปภายในเม็ดแป้ง ไขมันบริเวณผิวของเม็ดแป้งประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ กลูโคลิพิด และฟอสโฟลิพิด ส่วนไขมันภายในเม็ดแป้งนั้นจะ เชื่อมต่อกับคาร์โบไฮเดรต

อย่างหลวมๆ คุณสมบัติของไขมันในเม้ดแบ่งช่วยลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการดูดน้ำของแบ่ง ส่วนไขมันไม่อิ่มตัวที่บริเวณพื้นผิวเม้ดแบ่งจะทำให้เกิดกลิ่นหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน [11]

#### 2.4.4 โปรตีน (Protein)

โปรตีนในเม้ดแบ่งมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า 1% อยู่บริเวณพื้นผิวของเม้ดแบ่ง ทำให้เม้ดแบ่งเกิดประจุที่พื้นผิว ส่งผลต่อการพองตัว การดูดน้ำ การกระจายของเม้ดแบ่ง และอัตราการเกิดเจลลาทีไนซ์ โปรตีนในเม้ดแบ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซิงค์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) มีผลต่อสี และกลิ่นของผลิตภัณฑ์ [11]

#### 2.4.5 เถ้า (Ash)

เถ้า คือ ส่วนประกอบของสารอนินทรีย์ในแบ่ง ได้แก่ โซเดียม แมกนีเซียม แคลเซียม และโพแทสเซียม [11]

#### 2.4.6 ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

ฟอสฟอรัสในแบ่งมีปริมาณน้อยกว่า 0.1% โดยอยู่ในรูปของฟอสเฟตเชื่อมกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอน ตำแหน่งที่ 3 และ 6 ของหน่วยกลูโคส ฟอสฟอรัส ทำให้พื้นผิวของเม้ดแบ่งมีประจุลบแรงผลักระหว่างประจุลบทำให้เม้ดแบ่งพองตัวง่าย และมีความหนืดสูง เช่น แบ่งมันฝรั่ง [11]

### 2.5 สมบัติของแบ่ง

#### 2.5.1 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย

ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและการละลายของแบ่ง คือ ชนิดของแบ่ง ความแข็งแรงของโครงสร้าง ปริมาณน้ำในสารละลายแบ่ง สิ่งเจือปนภายในเม้ดแบ่งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต และลักษณะร่างแหภายในเม้ดแบ่ง การละลาย ของเม้ดแบ่งแต่ละชนิดมีรูปแบบที่แตกต่างกัน แบ่งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลาทีไนซ์ เนื่องจากพันธะไฮโดรเจน ในหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแบ่งที่ใกล้เคียงกันเชื่อมต่อกัน แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำแบ่งสูงกว่าอุณหภูมิเจลลาทีไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลายทำให้โมเลกุลของน้ำเชื่อมต่อกับหมู่ไฮดรอกซิลอย่างอิสระ เม้ดแบ่งจึงพองตัวและละลายน้ำได้ ส่งผลให้ความหนืดของแบ่งเพิ่มขึ้น แบ่งที่มี ปริมาณอะโมโลสสูง เช่น แบ่งจากธัญพืช ได้แก่ แบ่งข้าวโพด และแบ่งสาลี โครงสร้างร่างแหภายในเม้ดแบ่งมีความแข็งแรงมาก ทำให้เม้ดแบ่งพองตัวได้น้อย ส่วนแบ่งจากรากหรือกลางลำต้น เช่น แบ่งมันสำปะหลัง อุณหภูมิเจลลาทีไนซ์ต่ำกว่าแบ่ง จากธัญพืชทำให้มีการพองตัวและการละลายที่ดีกว่า และแบ่งจากส่วนหัว เช่น แบ่งมันฝรั่ง การพองตัวของเม้ดแบ่งดีที่สุดใน เนื่องจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอ และมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตที่ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างไฟฟ้า ทำให้เม้ดแบ่งพองตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำ [14] สมบัติในการพองตัวและการละลายในแบ่งแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 สมบัติในการพองตัวและการละลายในแป้งแต่ละชนิด [11]

ชนิดแป้ง	กำลังการพองตัว (เท่า)	การละลาย (%)
แป้งมันฝรั่ง	>1000	82
แป้งมันสำปะหลัง	71	48
แป้งท้าวยายม่อม	54	28
แป้งมันเทศ	46	18
แป้งข้าวโพด	24	25
แป้งข้าวสาลี	21	41
แป้งข้าวเจ้า	19	18

### 2.5.2 ความหนืดของแป้ง

ความหนืด เกิดจากน้ำแป้งได้รับความร้อน จนถึงอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Pasting temperature) เม็ดแป้งจึงเริ่มเกิดความหนืด ต่อจากนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้ดี ปริมาณน้ำรอบเม็ดแป้งลดน้อยลง ทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยาก ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงที่สุด (Peak viscosity) คือจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ ขณะที่อุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้นอีก โดยมีแรงกวนอย่างสม่ำเสมอทำให้อะไมโลสและอะไมโลเพกทินภายในเม็ดแป้งแตกออก จนมีความหนืดลดลง ต่อมาเมื่ออุณหภูมิลดลงจึงเกิดการจัดเรียงโครงสร้างใหม่ของโมเลกุลอะไมโลสที่หลุดออกมาจากเม็ดแป้ง ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นอีกครั้ง เรียกกระบวนการนี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน [14]

### 2.5.3 เจลาติไนเซชัน (Gelatinization)

เม็ดแป้งเมื่อได้รับความร้อนทำให้เกิดการพองตัว จนถึงความร้อนระดับหนึ่งเม็ดแป้งจะแตกออก อะไมโลสและอะไมโลเพกทินในเม็ดแป้งหลุดออกมา สารละลายน้ำแป้งที่ได้มีความข้นหนืดมากขึ้นจนเป็นแป้งเปียก (Starch paste) เรียกกระบวนการนี้ว่า เจลาติไนเซชัน และอุณหภูมิเริ่มต้นการพองตัวของเม็ดแป้งคือ อุณหภูมิเจลาติไนเซชัน (Gelatinization temperature) เม็ดแป้งขนาดเล็กเกิดเจลาติไนเซชันได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าเม็ดแป้งขนาดใหญ่ [14]

### 2.5.4 รีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

กระบวนการรีโทรเกรเดชัน เป็นกระบวนการจัดเรียงตัวใหม่ของสายอะไมโลสที่หลุดออกมาจากเม็ดแป้ง โดยจัดเรียงตัวแบบคู่ขนานของสายอะไมโลสที่สร้างพันธะ ไฮโดรเจนกับโมเลกุลของอะไมโลสอีกสายหนึ่ง ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง เมื่อสารละลายแป้งเกิดการจัดเรียงตัวอย่างช้า ๆ ทำให้ได้แป้งเปียกที่ข้นและเกิดตะกอนขนาดใหญ่ แต่ถ้าแป้งเปียกถูกทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดเจลที่มีความยืดหยุ่นของสายอะไมโลส ส่วนสายของอะไมโลเพกทินไม่เกิดรีโทรเกรเดชัน เนื่องจากไม่สามารถจัดเรียงตัวคู่ขนานกันได้ การเกิดกระบวนการรีโทรเกรเดชันในแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้ภายในของวารสารวิชาการเกษตร ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะส่งผลต่อการผลิตอาหาร เช่น การไม่ขึ้นฟูของเค้ก การ แยกชั้นของครีม และการแห้งแข็งของขนมปัง [14]

## 2.6 แป้งมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชหัวชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก มีอายุอยู่ได้หลายปี ปลูกง่าย ทนทานต่อความแห้งแล้ง และเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ โดยมันสำปะหลังมีชื่อสามัญตามภาษาท้องถิ่นหลายชื่อดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น และมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz

### 2.6.1 องค์ประกอบของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่เก็บสะสมอาหารไว้ในราก เมื่อพืชมีการสร้างอาหารจาก ใบและส่วนที่เป็นสีเขียวแล้ว จะสะสมในรูปของคาร์โบไฮเดรต คือ แป้งไว้ในราก ความสามารถในการ สร้างและสะสมแป้งในรากมีความแตกต่างกันบ้าง เนื่องจาก พันธุ์ของมันสำปะหลัง อายุเก็บเกี่ยว ปริมาณน้ำฝนในช่วงแรกก่อนการเก็บเกี่ยว และปัจจัยอื่น ๆ จึงทำให้ส่วนประกอบของหัวมันอาจแตกต่างกันไป โดยทั่วไปหัวมัน สำปะหลังที่มีอายุ 12 เดือน ที่ได้รับปริมาณน้ำฝนเพียงพอ และไม่มีฝนตกชุกขณะเก็บเกี่ยว มีส่วนประกอบแสดงได้ดังนี้ [15]

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบในหัวมัน [15]

องค์ประกอบในหัวมัน	ปริมาณ (ต่อ 100 กรัมน้ำหนักหัวมัน)
น้ำ	60.21-75.32
เปลือก	4.08-14.08
เนื้อ (แป้ง)	25.87-41.88
ไซยาไนด์ (ppm)	2.85-39.27

ตารางที่ 2.5 แสดงองค์ประกอบในเนื้อมัน [15]

องค์ประกอบในเนื้อมัน	ปริมาณ (ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งเนื้อมัน)
แป้ง	71.9-85.0
โปรตีน	1.57-5.78
เส้นใย	1.77-3.98
เถ้า	1.20-2.80
ไขมัน	0.06-0.43
คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง	3.59-8.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ในรากนั้นนอกจากน้ำแล้ว คือแป้ง ซึ่งมีถึงร้อยละ 70-80 จึงถือว่ามันสำปะหลังเป็นพืชที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานกับคนและสัตว์ได้ดีที่สุด โดยปกติหัวมันสำปะหลังที่มีปริมาณแป้งสูง ปริมาณน้ำจะน้อยและความหนาแน่นของหัวจะมีสูง ฉะนั้นในการตรวจสอบหรือวัดปริมาณแป้ง (เชื้อแป้ง) อย่างเร็วที่นิยมทำกัน คือ การตรวจสอบความหนาแน่น โดยการชั่ง น้ำหนักหัวมันในน้ำ ถ้าน้ำหนักหัวมันในน้ำน้อย แสดงว่าหัวมันมีปริมาณน้ำมาก และมีแป้งน้อย ในกรณีกลับกันถ้าน้ำหนักหัวมันในน้ำมากก็แสดงว่าหัวมันมีปริมาณน้ำน้อย และมีแป้งมาก [15]

## 2.7 ไม้และเส้นใยไม้ (Wood and wood fiber)

ไม้เป็นวัสดุที่มีความสำคัญอย่างมากสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับทำอาหารให้ความร้อน และผลิตไอน้ำซึ่งอาจใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ด้วย นอกจากนี้ไม้ยังใช้เป็นเฟอร์นิเจอร์ เครื่องตกแต่งได้อีกมากมายหลายรูปแบบ ซึ่งการผลิตผลิตภัณฑ์เหล่านี้ก่อให้เกิดเศษไม้ (Wood flake) หรือขี้เลื่อย (Sawdust) ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นเส้นใยไม้ เช่นกัน [16]

### 2.7.1 หลักเกณฑ์การแบ่งไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็ง ตามมาตรฐานของกรมป่าไม้

แบ่งประเภทโดยอาศัยวิชาการทางพฤกษศาสตร์เป็นรากฐาน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.7.1.1 ไม้เนื้ออ่อน เป็นไม้ที่ได้จากต้นไม้วอกสน ที่มีลักษณะใบเรียวยาวเล็ก (Needle leaves) ผลมีรูปลักษณะเป็นรูปทรงกรวย (Cone) ต้นไม้พวกนี้ส่วนมากขึ้นอยู่ในที่สูงมีอากาศเย็นในประเทศที่มีอากาศหนาว (Temperate regions) ลักษณะโครงสร้างของไม้เนื้ออ่อนเป็นแบบธรรมดาซึ่งแตกต่างจากไม้เนื้อแข็งอย่างชัดเจน และมีความเหมาะสมในการใช้งานก่อสร้างได้ ถึงว่าจะมีเนื้อไม้ของไม้สนหลายชนิดค่อนข้างอ่อนแต่ก็ง่ายต่อการไสตัดแต่ง มีน้ำหนักเบาและแข็งพอที่จะใช้สำหรับงานก่อสร้างโดยทั่วไปได้เช่นกัน [17]

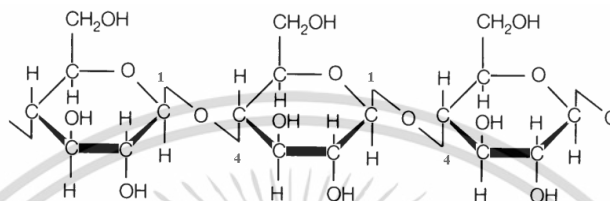
2.7.1.2 ไม้เนื้อแข็ง เป็นไม้ที่ได้มาจากต้นไม้ที่มีใบกว้าง (broad leaved trees) ซึ่งเป็นไม้จำนวนมากที่มีอยู่ในป่าไม้ของประเทศไทย ไม้ที่เป็นของไทยส่วนมากหรือทั้งหมดที่เป็นการค้าเป็นไม้เนื้อแข็งมีจำนวนหลายสิบชนิด ลักษณะโครงสร้างของไม้เนื้อแข็งมีความยุ่งยากซับซ้อนกว่าไม้เนื้ออ่อน และมีลักษณะแตกต่างระหว่างไม้เนื้อแข็งด้วยกันเองมาก คุณสมบัติของไม้เนื้อแข็งมีความแตกต่างระหว่างพวกไม้เนื้อแข็งด้วยกันทั้งในด้านความแข็งแรงของการรับน้ำหนักและความแข็งของเนื้อไม้อย่างกว้างขวาง [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 องค์ประกอบทางเคมีของไม้

### 2.8.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เป็นคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ประเภทโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (Homopolysaccharide) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (Glucose) มาต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic bond) ที่ตำแหน่งบีต้า-1,4 ( $\beta$ -1,4) เป็นสายยาวมากกว่า 2,000 โมเลกุล [18]



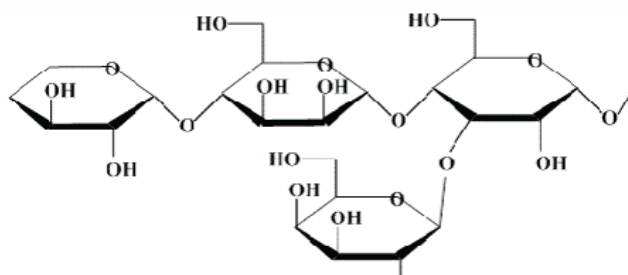
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเซลลูโลส [18]

เซลลูโลสเป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืช เช่น ผัก ผลไม้ และ เมล็ดธัญพืช โดยอยู่รวมกับเฮมิเซลลูโลส และเพกทินเซลลูโลสจัดเป็นเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) ชนิดที่ไม่ละลายในน้ำในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์กระเพาะเดี่ยว ไม่สามารถย่อยได้ [18]

เซลลูโลส จัดเป็นเส้นใยอาหารชนิดหนึ่งที่มีสมบัติไม่ละลายในน้ำ ทนต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์กรด และเบสที่เจือจาง มนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ที่ย่อยคาร์โบไฮเดรตในร่างกาย เช่น เอนไซม์อะไมเลส (Amylase) [18]

### 2.8.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

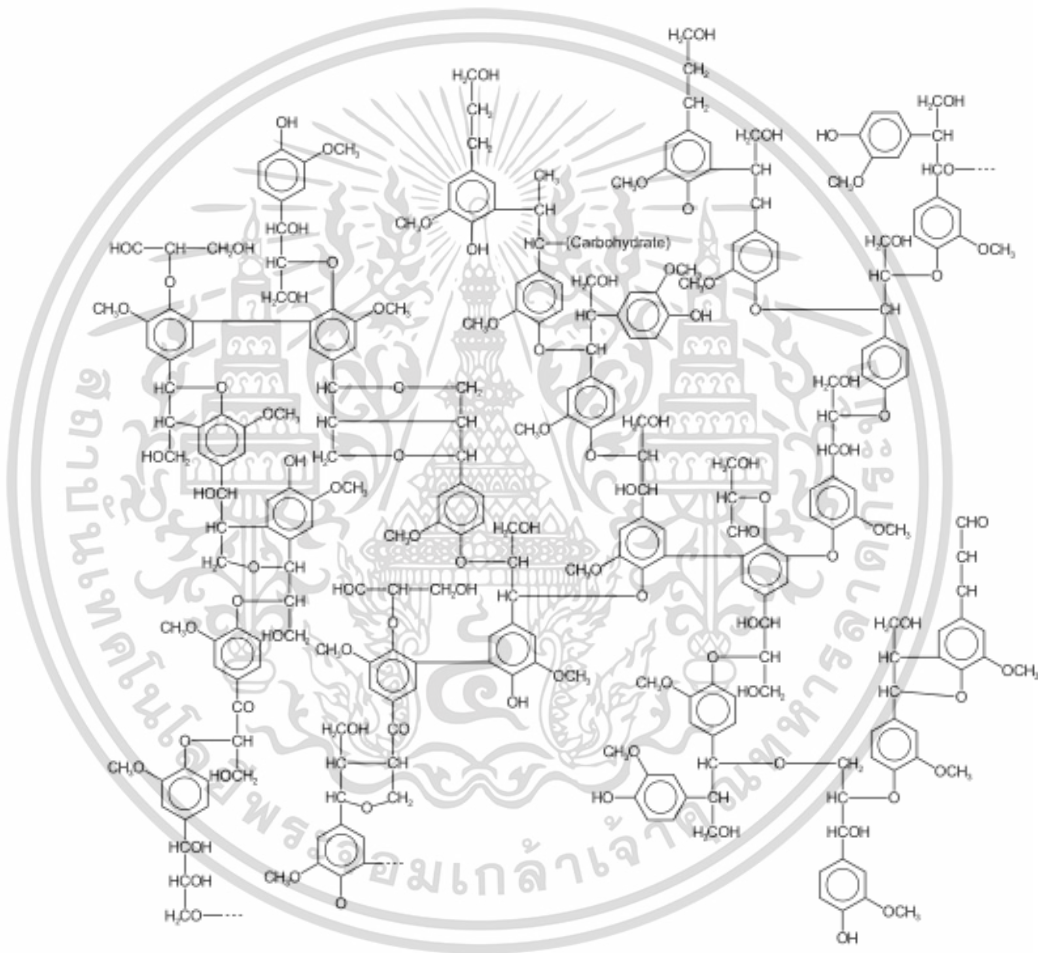
เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นโพลีแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่ประกอบไปด้วยน้ำตาล 5 คาร์บอนอะตอม และ 6 คาร์บอนอะตอม ต่อกันเป็นพอลิเมอร์สายสั้นและแตกกิ่งแขนงขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำตาล ได้แก่ น้ำตาลเพนโตส (pentose) และน้ำตาลเฮกโซส (hexose) ลักษณะโครงสร้างแบบอสัณฐาน (amorphous) มีความแข็งแรงต่ำกว่าเซลลูโลส เมื่อเชื่อมต่อกับเซลลูโลสทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงยิ่งขึ้น ไม่สามารถละลายน้ำได้แต่สามารถย่อยสลายได้โดยใช้กรด เบส หรือเอนไซม์ [18]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [19] ปรากฏทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนิน มีสูตรโมเลกุล คือ  $C_{10}H_{12}O_4$  ลิกนินเป็นสารประกอบระหว่างคาร์บอน ไฮโดรเจน และ ออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิด จนกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ลิกนินมีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่มีความแข็งแรงทนทานสูง โดยลิกนิน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็น สารประกอบที่มีอยู่ในผนังเซลล์พืชชั้นสูง (ทั้งพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและพืชใบเลี้ยงคู่) เช่น ลำต้น หน่กอ พาง ข้าวสาลี นอกจากนี้ลิกนินยังมีโครงสร้างเป็นร่างแหเพื่อทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของ เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสให้ติดกันภายในผนังเซลล์ ทำให้โครงสร้างพืชมีความแข็งแรงทนทานสูง [20]



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของลิกนิน [21]

### 2.8.4 สารแทรก (Extractives)

สารแทรก เป็นองค์ประกอบที่เป็นคุณสมบัติของพันธุ์ไม้แต่ละชนิด ซึ่งสารประกอบเหล่านี้ทำให้พืชมีสี กลิ่น รส และความแข็งแรงที่แตกต่างออกไป สารประกอบเหล่านี้มีประมาณ 5-30 % โดยมวล ซึ่งรวมไปถึงสารส่วนน้อย (Minor constituent) เป็นสารประกอบที่ก่อให้เกิดเถ้า ได้แก่ เอกสารนี้ สารประกอบแคลเซียมฟอสเฟต และซิลิกา เป็นต้น สารพวกนี้มีประมาณ 0.1-3% โดยมวล ไม่ว่าการใช้ประโยชน์ของสารแทรกขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของสารนั้น [4] สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 ไม้สัก (Teak)

ไม้สัก เป็นไม้เนื้ออ่อนมีปริมาณเซลลูโลส 45-55 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 25-35 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน 30-38 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม้สักพบได้ตามป่าเบญจพรรณ หรือป่าผสมผลัดใบ (Mixed deciduous forest) [22]

ชื่อไทย : สัก

ชื่อสามัญ : Teak

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Tectona grandis L.f.*

ชื่อวงศ์ : LAMIACEAE

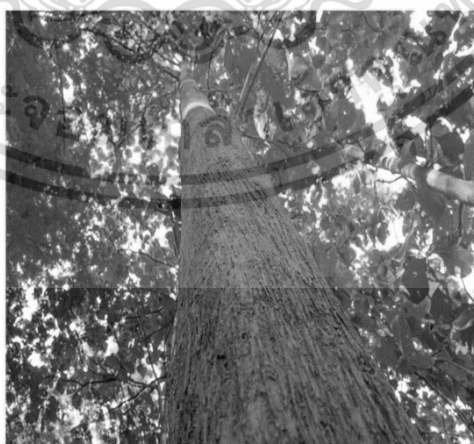
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ :

1. ลำต้น มีลักษณะเป็นไม้ต้นขนาดใหญ่ สูงได้ถึง 30 เมตร ผลัดใบ เรือนยอดรูปกลมหรือไข่ ลำต้นตรง โคนต้นมักเป็นพูพอนต่ำ เปลือกสีน้ำตาลอ่อนเรียบหรือล่อนออกเป็นแถบขึ้นตามยาว กิ่งอ่อนเป็นรูปสี่เหลี่ยม กิ่งอ่อนและยอดอ่อนมีขนสีเหลืองรูปดาว

2. ใบ เป็นแบบใบเดี่ยว เรียงตรงข้าม ใบรูปไข่กลับกว้างหรือรูปไข่ กว้าง 12-35 ซม ยาว 15-75 ซม. ปลายใบแหลม โคนใบรูปลิ้น ผิวใบด้านบนบนสากด้านล่างมีขนอ่อนนุ่ม เส้นแขนงใบข้างละ 9-14 เส้น ก้านใบยาว 1-5 ซม.

3. ดอก เป็นดอกสีขาว ออกเป็นช่อแบบช่อแยกแขนงตามปลายกิ่ง ดอกบานเต็มที่กว้างประมาณ 3 มม. กลีบเลี้ยง 6 กลีบ กลีบดอกรูปกรวยปลายแยกเป็น 6 กลีบ แผ่นใบโค้งไปด้านหลังมีขน เกสรเพศผู้มี 5-6 อัน เกสรเพศเมียยาวเท่าเกสรเพศผู้มี 1 อัน รังไข่มีขนหนาแน่น

4. ผลและเมล็ด มีลักษณะแห้งค่อนข้างกลม สีเขียวอ่อนแกมเหลือง ขนาด 1.5-2 ซม. ประกอบด้วยชั้นของกลีบเลี้ยงที่พองกลมบางคล้ายกระดาษห่อหุ้มเมล็ด เมล็ด แข็งขนาด 1 ซม. มีขนคล้ายไหมภายในมี 4 ช่อง มี 1 เมล็ด ในแต่ละช่อง [23]



รูปที่ 2.6 ไม้สัก [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 พลาสติไซเซอร์

พลาสติไซเซอร์ คือ สารเติมแต่ง (Additive) ที่ใส่ลงในกระบวนการผลิตพลาสติกเพื่อให้มีสมบัติเปลี่ยนไปคือ มีความอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นสูง ทนต่อสภาวะความเป็นกรดต่าง ทนต่ออุณหภูมิสูง สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย ทั้งในอุตสาหกรรมอาหารและยา เครื่องมือทางการแพทย์ ของเล่นสำหรับเด็ก เป็นต้น โดยสารเหล่านี้จะไม่ทำปฏิกิริยากับพลาสติกแต่จะไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพลาสติก ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอ่อนลง พลาสติไซเซอร์ที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น สารกลุ่มแธลเลต (Phthalate) สารกลุ่มอะดิเปต (Adipate) สารกลุ่มมาลีเอต (Maleate) และน้ำมันพีซีพ็อกซิไดซ์ (Epoxidized vegetable oils) เป็นต้น [24]

### 2.10.1 กลไกของพลาสติไซเซชัน (Mechanism of plasticization)

พลาสติกประกอบด้วยโมเลกุลโพลิเมอร์ (Polymer molecules) แต่ละโมเลกุลเชื่อมต่อกันด้วยแรง Van der Waal โดยที่พลาสติไซเซอร์ไม่ได้เกิดปฏิกิริยากับโพลิเมอร์ แต่จะแทรกตัวเองอยู่ระหว่างโมเลกุลโพลิเมอร์โดยไปทำให้แรง Van der Waal ลดลง [25]

## 2.11 สารหล่อลื่น (Lubricants)

สารหล่อลื่นนิยมเรียกเป็นสารแยกส่วน (Parting agents) โดยสามารถเป็นได้ทั้งสารหล่อลื่นภายใน และสารหล่อลื่นภายนอก เช่น นำมาใช้กับผิวของแม่พิมพ์ ทำให้เกิดเป็นฟิล์มบาง ๆ เกาะผิวโลหะ ช่วยป้องกันไม่ให้ผิวของโลหะเปียกน้ำ [26]

### 2.11.1 แมกนีเซียมสเตียเรท (Magnesium stearate)

เป็นเกลือ Magnesium ของ Stearic acid ซึ่งทำงานเป็นสารหล่อลื่น สารเชื่อม หรือสารปลดปล่อยสีในลูกกวาด หรือยาเม็ดที่ผ่านการอัด และยังใช้ในหมากฝรั่งที่ปราศจากน้ำตาลและมินท์สำหรับในเครื่องสำอางใช้ผสมกับแป้งเพื่อป้องกันหน้าแห้ง และทำให้หน้าเป็นธรรมชาติ [27]



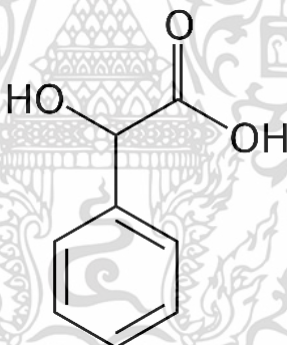
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของ Magnesium stearate [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.12 กรดแมนดีลิก (Mandelic Acid)

กรดแมนดีลิก (Mandelic acid) เป็นกรดอะโรมาติกอัลฟาไฮดรอกซี มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลเป็น  $C_6H_5CH(OH)CO_2H$  มีส่วนของโมเลกุลที่เป็นไครัลอะตอม โดยสารผสมราซีมิก (Racemic mixture) ของกรดแมนดีลิกมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กรดพาราแมนดีลิก (Paramandelic acid) กรดแมนดีลิก บริสุทธิ์มีลักษณะเป็นผลึกของแข็งสีขาว ละลายได้ดีในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้ว กรดแมนดีลิก ถือเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการผลิตยาหลายชนิด ซึ่งมีค่า pKa เท่ากับ 3.41 และหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 119 °C

กรดแมนดีลิกได้ถูกนำมาใช้เชิงการแพทย์มาอย่างยาวนานในฐานะยาปฏิชีวนะชนิดหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เพื่อรักษาการติดเชื้อแบคทีเรียในระบบทางเดินปัสสาวะ ยานี้มีในรูปแบบยารับประทาน และเป็นส่วนผสมของสารเคมีขัดลอกหน้า (Chemical face peels) บางสูตร เนื่องจากกรดแมนดีลิกเป็นสารในกลุ่มกลุ่มอัลฟาไฮดรอกซี (AHAs) ซึ่งมีสรรพคุณในการช่วยผลัดเซลล์ผิวได้ดี นอกจากนี้ กรดแมนดีลิกยังเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการผลิตยาหลายๆชนิด อย่าง แอโมลานอน (Amolanone) หรือไซแคลนดีเลท (Cyclandelate) และโฮมาโทรพีน (Homatropine) ซึ่งเป็นเอสเทอร์ของกรดแมนดีลิก และพีโมลีน (Pemoline) ซึ่งสังเคราะห์ขึ้นจากการควบแน่นเอทิลเอสเทอร์ของกรดแมนดีลิกกับกวานิดีน (Guanidine) [5]



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ Mandelic acid [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**2.13.1 ธิดาพร และคณะ (2561)** ได้ศึกษาผลของกรดเบนโซอิกที่มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของคอมพอลิเมอร์โพลอสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวโพด (Thermoplastic corn starch, TPCS) เสริมแรงด้วยขี้เลื่อย (Sawdust) ของไม้จามจรี 10 และ 20 phr ปริมาณกรดเบนโซอิก (Benzoic acid) 1 และ 5 phr จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน พบว่าพีคของ O-H stretching และ O-H bending มีการเคลื่อนที่ของเลขคลื่นไปยังตำแหน่งที่ลดลง และพบพีคการสั่นแบบ C=O stretching ที่เลขคลื่น  $1733\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเกิดจากเซลลูโลสและลิกนินในขี้เลื่อย การปรับปรุงสมบัติโดยการเสริมแรงด้วยขี้เลื่อยส่งผลให้ค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึง (Stress at maximum load) และมอดุลัส (Young's modulus) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของขี้เลื่อย แต่เมื่อมีการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิกทำให้ค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึง และมอดุลัสลดลงเมื่อปริมาณกรดเบนโซอิกเพิ่มขึ้น และการเสริมแรงด้วยขี้เลื่อยที่ปริมาณ 20 phr มีความแข็งแรงถึงสูงสุด นอกจากนี้พบว่าขี้เลื่อยมีการกระจายตัวได้ดีในเมทริกซ์ TPCS เมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยด้วยกรดเบนโซอิกทำให้ชิ้นงานมีผิวเรียบมากขึ้น จากการทดสอบสมบัติทางความร้อน พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการปรับปรุงสมบัติด้วยขี้เลื่อยและกรดเบนโซอิก และเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิกในปริมาณ 5 phr มีการดูดซับความชื้นสูงสุดและย่อยสลายได้เร็วที่สุด นอกจากนี้การปรับปรุงสมบัติด้วยขี้เลื่อยไม่สามารถต้านเชื้อจุลินทรีย์ชนิดแกรมบวก *S.aureus* และแกรมลบ *E.coli* ได้ แต่เมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยขี้เลื่อยร่วมกับกรดเบนโซอิก 5 phr สามารถต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งแกรมบวก *S.aureus* และแกรมลบ *E.coli* [28]

**2.13.2 จินต์จุฑา และคณะ (2562)** ได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกที่สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติ เตรียมจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งท้าวยายม่อม (Thermoplastic arrowroot starch, TPAS) ที่มีการเสริมแรงด้วยขี้เลื่อยไม้สัก (Teak sawdust, SD) โดยใช้ปริมาณขี้เลื่อย 25 phr และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิก (BA) ในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 1 3 และ 5 phr ทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) จากนั้นขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัด (Compression molding) จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชัน พบว่ามีพีคที่ตำแหน่ง  $1733\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นการสั่นของ C=O Stretching ของหมู่คาร์บอกซิลิกและหมู่เอสเทอร์ของขี้เลื่อย และเมื่อมีการปรับปรุงสมบัติด้วยขี้เลื่อยร่วมกับกรดเบนโซอิกส่งผลให้พีคการสั่นแบบ O-H Stretching เกิดการเลื่อนตำแหน่งของเลขคลื่นลดลง ซึ่งเกิดจากการสร้างพันธะไฮโดรเจนใหม่ จากสัณฐานวิทยา พบว่าขี้เลื่อยมีการกระจายได้ดีในเมทริกซ์ เมื่อปรับปรุงสมบัติขี้เลื่อยร่วมกับกรดเบนโซอิก พบว่าพื้นผิวมีลักษณะค่อนข้างเรียบ เมื่อคอมพอลิเมอร์โพลอสติกสตาร์ชปรับปรุงสมบัติด้วยขี้เลื่อยมีอุณหภูมิ

การสลายตัวเพิ่มขึ้น และเมื่อมีการปรับปรุงสมบัติด้วยเบนโซอิกในปริมาณต่าง ๆ พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวไม่มีการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้พบว่า TPAS/25SD มีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดมอดูลัสเพิ่มขึ้น และมีการดูดซับความชื้นได้ต่ำที่สุด แต่ TPAS/25SD/BA ทุกสูตรมีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด มอดูลัสที่ลดลง และพบว่าเมื่อปริมาณของเบนโซอิกเพิ่มขึ้นทำให้สมบัติเชิงกลของตัวอย่างลดลง เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นมีแนวโน้มการดูดซับน้ำลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ TPCS สำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพ พบว่าทุกสูตรสามารถย่อยสลายได้ นอกจากนี้คอมพอลิทีที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ร่วมกับกรดเบนโซอิกในปริมาณ 3 และ 5 phr มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งแกรมบวก *S.aureus* และแกรมลบ *E.coli* [29]

**2.13.3 เมธาพร และคณะ (2564)** ได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) ที่เสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ไม้สัก (SD) และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดมาลิก (Malic acid, MA) ในปริมาณ 0 0.25 0.50 0.75 1.00 1.50 และ 2.00 phr ทำการผสมในเครื่องผสมแบบปิดและขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป เมื่อนำไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน พบว่าเมื่อปริมาณของกรดมาลิกเพิ่มขึ้น พีคการสั่นแบบ O-H Stretching และ O-H bending มีตำแหน่งเลขคลื่นที่ลดลง และพีคของ O-H Stretching มีความกว้างขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างแป้งกับกรด TPCS/10SD มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด และ TPCS/10SD/1.00MA มีสมบัติเชิงกลต่ำสุด เมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยกรดมาลิกในปริมาณ 0.25 และ 0.50 phr มีสมบัติเชิงกลโดยรวมสูงกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ไม่ได้มีการปรับปรุงสมบัติ การปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ร่วมกับกรดมาลิก พบว่าพื้นผิวมีลักษณะเรียบมากขึ้นตามปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่เสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ใช้เวลาในการย่อยสลายนานที่สุด และเมื่อมีการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดมาลิกที่ปริมาณ 1.50 phr มีการย่อยสลายเร็วที่สุด สำหรับคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ร่วมกับกรดมาลิก เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของแป้งมีค่าลดลง แสดงถึงเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีขึ้น และพบว่าเมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เสถียรภาพทางความร้อนที่ดีขึ้น และเมื่อเสริมแรงด้วยซีลี้อยู่และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดที่ปริมาณที่มากขึ้น ชิ้นงานมีความสว่างลดลง สำหรับคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก (*S.aureus*) ได้ แต่ไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบ (*E.coli*) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่เสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ไม้สักร่วมกับกรดมาลิกที่ปริมาณ 0.50 phr มีสมบัติโดยรวมดีที่สุด โดยพิจารณาจากการดูดซับความชื้น สมบัติเชิงกล การย่อยสลายโดยการฝังดิน และการต้านเชื้อแบคทีเรีย [7]

**2.13.4 L.Dobircan et al. (2009)** ได้ศึกษาเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวสาลีที่มีโปรตีนสูง (Thermoplastic wheat starch) เสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย (Cotton fiber) ความยาวระดับ นาโนเมตรถึงมิลลิเมตรในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 0 5 7 10 และ 15% โดยน้ำหนัก ทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดรีดด้วยเครื่องรีดชนิดเกลียวหอนเดี่ยว (Single-screw extruder) จากเอกสารนี้เห็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อมีปริมาณของเส้นใยเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการดึงยืดน้อยลง และที่ปริมาณเส้นใยฝ่าย 10% โดยน้ำหนัก ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด สำหรับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ่ายมีการกระจายตัวที่ดี แต่เมื่อใส่เส้นใยที่มากเกินไป พบว่าเส้นใยเริ่มจับตัวเป็นก้อนจากการศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ พบว่าการเติมเส้นใยลงไปไม่ส่งผลต่อความเป็นผลึก จากการศึกษาสมบัติทาง ความร้อน พบว่าการเติมเส้นใยไม่ส่งผลให้สมบัติทางความร้อนเปลี่ยนแปลง [30]

**2.13.5 Wan. et al. (2009)** ได้ศึกษาสมบัติสมบัติเชิงกล การดูดซับความชื้น และการย่อยสลายของคอมพอสิตชีวภาพจากแป้งสาลีที่ได้จากการหล่อแบบ (Casting) เสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลสจากแบคทีเรีย (Bacterial cellulose) โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยใช้อัตราส่วนของแป้งสาลีต่อกลีเซอรอล 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และปริมาณเส้นใยเซลลูโลส 0 7.8 15.1 และ 22 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงด้วยเส้นใย พบว่าค่าความแข็งแรงดึง และค่ามอดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นแต่เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลงจากการศึกษาสัณฐานวิทยา แสดงให้เห็นโครงสร้างของชั้นเส้นใยที่เพิ่มขึ้นและกระจายอยู่ในเมทริกซ์เมทริกซ์และเส้นใยสามารถยึดเกาะกันได้ดี เมื่อมีปริมาณของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับความชื้นลดลง นอกจากนี้การย่อยสลายของคอมพอสิตเกิดช้ากว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่ผสมเส้นใย [31]

**2.13.6 Kaewtatip. et al. (2012)** ได้ศึกษาสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยเส้นใยบวบ (Luffa fiber) ในปริมาณ 0 5 10 15 และ 20% โดยน้ำหนัก โดยทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการกดอัด จากการศึกษาหุ้ฟังก์ชัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใยบวบทำให้พีคของ O-H Stretching เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่เลขคลื่นลดลง นอกจากนี้ปริมาณของเส้นใยบวบเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น และการยึดตัวลดลง ส่วนการเพิ่มปริมาณของเส้นใยบวบทำให้ค่าเสถียรภาพทางความร้อนของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากสัณฐานวิทยา พบว่าพื้นผิวของเทอร์โมพลาสติกมีลักษณะเรียบ และเมื่อมีการปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยบวบมีความเข้ากันได้ดีกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช นอกจากนี้การดูดซับน้ำลดลงตามปริมาณของเส้นใยบวบที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากแป้งมีสมบัติชอบน้ำมากกว่าเซลลูโลส จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเทอร์โมพลาสติกที่เสริมแรงด้วยเส้นใยบวบ 10% โดยน้ำหนัก มีสมบัติโดยรวมดีที่สุด [32]

**2.13.7 Xiuting. et al. (2016)** ได้ศึกษาสมบัติของฟิล์มคอมพอสิตที่ได้จากแป้งข้าวโพด และนำมาปรับปรุงสมบัติด้วยอนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์-ไคโตซาน (ZnO-Chitosan nanoparticles) ในปริมาณที่แตกต่างกันคือ 1 2 3 4 และ 5% โดยน้ำหนัก โดยทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ (Casting) พบว่าฟิล์มทุกตัวอย่างมีความเรียบและต่อเนื่องกัน เมื่อปริมาณของ ZnO-

Chitosan nanoparticles เพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น แต่ค่าการดึงยืด ณ จุดขาดลดลง เมื่อใส่อนุภาคนาโนตั้งแต่ 3% โดยน้ำหนักขึ้นไป จากค่าการแพร่ผ่านของไอน้ำ (Water vapor permeability) พบว่าเมื่อใส่อนุภาคนาโนที่ 3% โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าการแพร่ผ่านของไอน้ำลดลงมากที่สุด คือ 43.6% นอกจากนี้ฟิล์มมีสมบัติในการต้านจุลชีพได้ดีเมื่อใส่อนุภาคนาโนที่ 3% โดยน้ำหนักขึ้นไป และเมื่อเติมอนุภาคนาโนตั้งแต่ 4% โดยน้ำหนักขึ้นไปมีฤทธิ์ในการต้านจุลชีพแบคทีเรียแกรมบวก (*S.aureus*) ได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*) จึงสรุปได้ว่าเมื่อพิจารณาจากสมบัติเชิงกล สมบัติการป้องกัน และสมบัติการต้านจุลชีพของฟิล์มคอมพอสิต ความเข้มข้นที่เหมาะสมของ ZnO-Chitosan nanoparticles สำหรับปรับปรุงสมบัติฟิล์มคอมพอสิต คือ 3% โดยน้ำหนัก [33]

**2.13.8 Pachana. et al. (2012)** ได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของเทอร์โมพลาสติกสตาarch จากแป้งข้าวเหนียว (Thermoplastic glutinous starch) เสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fiber) ที่สกัดมาจากกระดาษหนังสือพิมพ์รีไซเคิล ในอัตราส่วน 0 2 4 6 และ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้ง และใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ในปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้ง ทำการขึ้นรูปด้วยการกดอัด (Compression molding) เมื่อทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาarch จากแป้งข้าวเหนียวมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและมอดุลัสเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเส้นใยเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ส่วนอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของเทอร์โมพลาสติกสตาarch จากแป้งข้าวเหนียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของเส้นใยเซลลูโลสเพิ่มขึ้น และจากฐานฐานวิทยา แสดงถึงการยึดติดกันอย่างดีระหว่างเมทริกซ์และเส้นใยเซลลูโลส [34]

**2.13.9 Fauziah. et al. (2017)** ได้ศึกษาสมบัติของแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไม้ไผ่ (Bamboo fiber) ทำการเปรียบเทียบเส้นใยไม้ไผ่ที่ไม่ผ่านมาบำบัด และเส้นใยไม้ไผ่ที่ผ่านการบำบัดทางเคมี โดยทำการบำบัดทางเคมี 2 วิธี คือ การบำบัดด้วยอัลคาไลน์และการบำบัดด้วยเปอร์แมงกาเนต โดยอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อเส้นใยไม้ไผ่ คือ 1:0.1 โดยน้ำหนัก ทำการผสมด้วยเครื่องผสมและขึ้นรูปด้วยกระบวนการทำด้วยมือ (Hand lay-up process) พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาarch ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไม้ไผ่ที่ผ่านการบำบัดด้วยอัลคาไลน์มีค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสมากที่สุด จากการทดสอบสมบัติความต้านทานการดัดงอ (Bending test) ได้ผลเช่นเดียวกันกับสมบัติเชิงกล และการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดิน พบว่าชิ้นงานทั้งหมดมีน้ำหนักลดลงเมื่อเวลาที่เพิ่มขึ้น อัตราการย่อยสลายไม่ต่างกันมาก คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาarch จากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยไม้ไผ่ที่ผ่านการบำบัดด้วยเปอร์แมงกาเนตมีอัตราการย่อยสลายดีที่สุด [35]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คอมพอสิต TPPS/SF ที่ 150-380 องศาเซลเซียส จากการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยอ้อย แต่ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดลดลง จากการทดสอบแรงดัดงอ (Bending test) พบว่า TPPS/SF 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าความแข็งแรงดัดงอและมอดุลัสแรงดัดงอมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ที่ปริมาณเส้นใยอ้อย 10 %โดยน้ำหนัก มีค่าลดลงซึ่งอาจเกิดจากการกระจายตัวของเส้นใยอ้อยในเมทริกซ์ที่ไม่สม่ำเสมอ จากการศึกษาสัณฐานวิทยา พบว่า TPPS มีลักษณะเรียกว่า TPPS/SF [38]

**2.13.13 Balla. et al. (2021)** ได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติเชิงกลและสมบัติการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวโพด (Thermoplastic corn starch, TPCS) โดยการเติมผงไคโตซาน (Chitosan powder) ในปริมาณต่าง ๆ คือ 5 10 15 20 และ 25 v/v% โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และขึ้นรูปด้วย 2 เทคนิค คือ การกดอัด (Compression molding) และการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) พบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น แต่ค่าการดึงยืด ณ จุดขาดลดลงเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้น และค่าความแข็งแรงดึงของตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการฉีดขึ้นรูปมีค่ามากกว่าตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการกดอัดเนื่องจากแรงเฉือนในการขึ้นรูปที่มากกว่า จากการศึกษาสัณฐานวิทยา พบว่าผงไคโตซานมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเมทริกซ์แป้ง สำหรับปริมาณการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกที่มีการเติมไคโตซานต่ำกว่ากว่าเทอร์โมพลาสติกที่ไม่มีการเติมไคโตซานแสดงให้เห็นว่าการเติมไคโตซานช่วยลดการดูดซับน้ำเพียงเล็กน้อย [39]

### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch) ตราปลาไทย 5 ดาว บริษัท อี.ที.ซี เอียบตงจัน จำกัด จังหวัดนนทบุรี

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง [41]

องค์ประกอบ (% โดยมวล)	แป้งมันสำปะหลัง
ความชื้น	11.45-11.29
ไขมัน	0.05-0.051
โปรตีน	0.14-0.16
เถ้า	0.16-0.18
อะไมโลเพกติน	83
อะไมโลส	17
ฟอสฟอรัส	0.01

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

3.1.2 ขี้เลื่อยไม้สัก (Teak sawdust) จากอำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่  
ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบทางเคมีของขี้เลื่อยไม้สัก [22]

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยมวล
เซลลูโลส	45-55
เฮมิเซลลูโลส	25-35
ลิกนิน	30-38

3.1.3 กลีเซอรอล (Glycerol) เกรดทางการค้า จากบริษัท Lab System

3.1.4 กรดแมนดีลิก (Mandelic acid) เกรดเครื่องสำอาง บริษัท จันทร์เจ้า ลองจิวตี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบทางเคมีของกรดแมนดีลิก

Test	Specification
Appearance	White crystalline powder
Assay (on dry basis)	99.0% Min
Melting point	118-121 Degree Celsius
Moisture	0.5% Max
Heavy Metals	15ppm Max
Total Plate Count	10000cfu/g Maximum
Yeast&Mold	1000cfu/g Maximum
Salmonella	Negative
E.coli	Negative

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

3.1.5 แมกนีเซียมสเตียเรท (Magnesium stearate) บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด

3.1.6 น้ำมันซิลิโคน (Silicone oil) บริษัท ดาวาน์เคมีคอล จำกัด

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) : Bandender รุ่น PL 2000/PL ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.2 เครื่องกดอัดขึ้นรูป (Compression molding) : Mach Group(1992)Co., Ltd MGLP-20AT M/C NO.223 ประเทศไทย

3.2.3 เครื่องตัดชิ้นงานรูปดัมเบลล์ : CEAST รุ่น 6052 ประเทศอิตาลี

3.2.4 เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal testing machine ; UTM) : NTS technology Co., Ltd. รุ่น LRK-2KN ประเทศไทยไต้หวัน

3.2.5 เครื่องทดสอบทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis ; TGA) : Mettler Toledo รุ่น TGA/DSC 3+ STAR<sup>®</sup> System ประเทศสวิสเซอร์แลนด์

3.2.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM) : FEI รุ่น QUAMTA 250 ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.7 เครื่องวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน (Attenuated total reflection spectroscopy; ATR) : Shimadzu Co.,Ltd. รุ่น IRTracer-100 ประเทศญี่ปุ่น

3.2.8 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Miniscan-XE plus ประเทศสหรัฐอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นประโยชน์ด้านการค้า

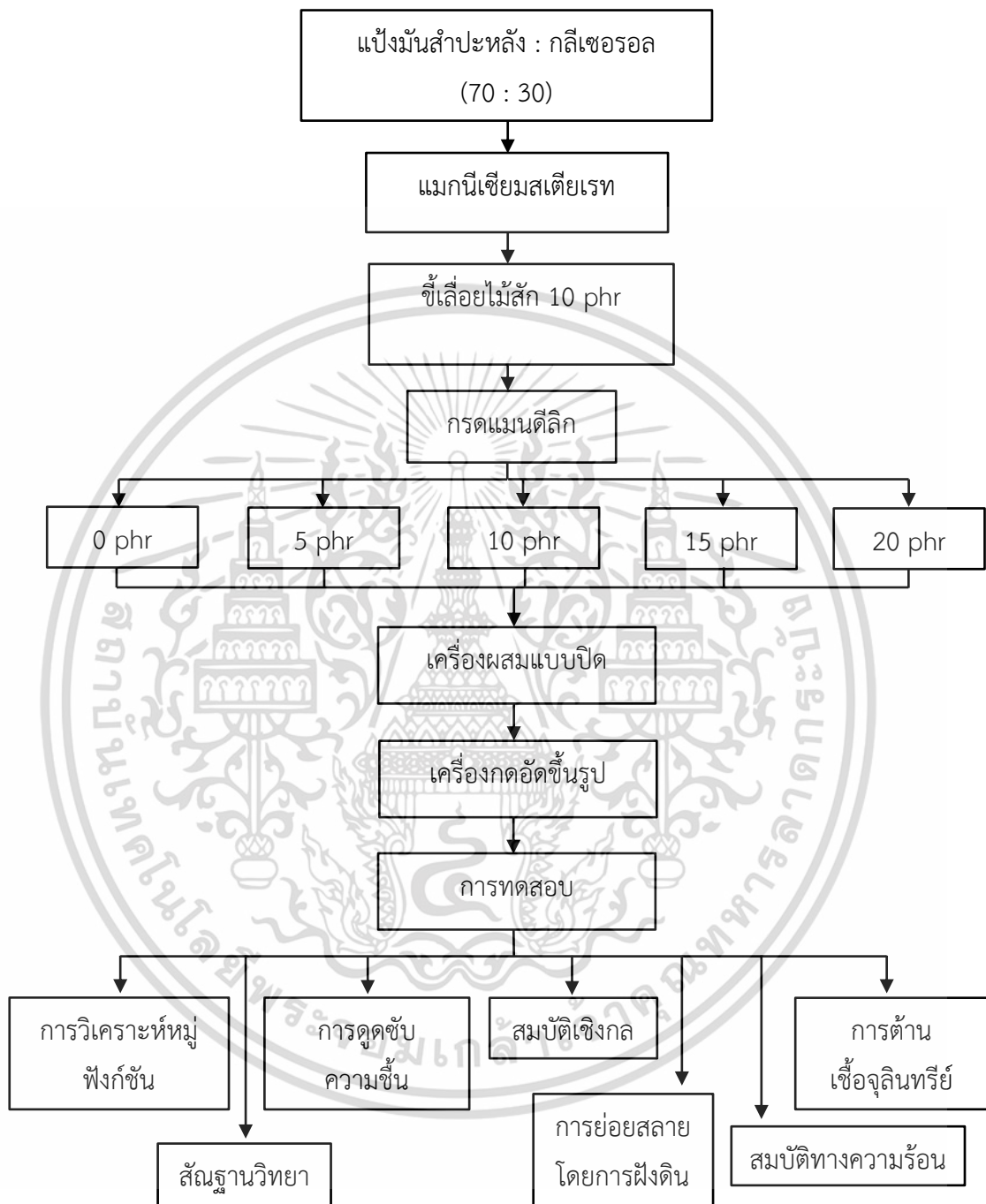
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.2.9 เครื่องชั่งแบบดิจิตอล ความละเอียด 2 ตำแหน่ง (g) : Mettler Toledo รุ่น NewClassic MF ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
- 3.2.10 เครื่องร่อนแยกขนาด
- 3.2.11 ตะแกรงร่อน ขนาด 100 และ 200 เมช
- 3.2.12 แม่พิมพ์หนา 2 มิลลิเมตร ขนาด 12x12 เซนติเมตร
- 3.2.13 ตู้อบ
- 3.2.14 ถังมือกันความร้อน
- 3.2.15 กล้องปิดสนิท
- 3.2.16 ไมโครมิเตอร์
- 3.2.17 ถังซีป्लीอค
- 3.2.18 แผ่นใสชนิดถ่ายเอกสารได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัยในโครงการพิเศษ แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมซีลี้อย

1. บดซีลี้อยด้วยเครื่องบดละเอียด และร่อนซีลี้อยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 และ 200 เมช ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวในช่วง 0.150-0.075 มิลลิเมตร ตามลำดับ
2. นำซีลี้อยไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศา เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. นำซีลี้อยที่ผ่านการคัดแยกขนาดแล้วบรรจุไว้ในถุงซิปล็อค ปิดปากถุงให้สนิทและเก็บไว้ในที่แห้ง เพื่อเตรียมทำการผสมต่อไป

#### 3.3.2 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซอร์จากแป้งมันสำปะหลัง

1. นำแป้งมันสำปะหลังหมักกับกลีเซอรอล เพื่อให้กลีเซอรอลซึมลงไปเนื้อแป้ง โดยหมักทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้แป้งต่อกลีเซอรอลในอัตราส่วน 70 : 30
2. นำส่วนผสมที่เตรียมได้มาชั่ง 40 กรัม นำมาผสมกับแมกนีเซียมสเตียเรท 2 phr
3. ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรูในการผสม 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
4. ขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซอร์ที่ได้ด้วยเครื่องกดอัดขึ้นรูป โดยใช้แม่พิมพ์ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ทำความสะอาดแม่พิมพ์แล้วนำแผ่นใสมาวาง และทาด้วย Silicone oil ในด้านที่มีการสัมผัสกับเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซอร์
5. วางเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซอร์ลงบนแม่พิมพ์ จากนั้นขึ้นรูปขึ้นงานด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ที่ความดันเฉลี่ย 1100 Psi จากนั้นจึงหล่อเย็นที่ อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที
6. นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ จากนั้นเก็บใส่ถุงซิปล็อคเพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป

#### 3.3.3 การปรับปรุงสมบัติของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซอร์ด้วยซีลี้อยและกรดแมนดีลิก

1. นำแป้งมันสำปะหลังหมักกับกลีเซอรอล เพื่อให้กลีเซอรอลซึมลงไปเนื้อแป้ง โดยหมักทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้แป้งต่อกลีเซอรอลในอัตราส่วน 70 : 30
2. นำส่วนผสมที่เตรียมได้มาชั่ง 40 กรัม นำมาผสมกับแมกนีเซียมสเตียเรท 2 phr
3. จากนั้นทำการผสมกับซีลี้อยที่ผ่านการบดแล้วและกรดแมนดีลิก ในปริมาณต่างๆ ดังตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.4** อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง กลีเซอรอล ซีลี้อย และกรดแมนดีลิกที่ใช้ในการเตรียม เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

สูตร	แป้งมัน สำปะหลัง (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	ซีลี้อย (กรัม)	กรดแมนดีลิก (กรัม)
TPCS	70	30	-	-
TPCS/10SD	70	30	10	-
TPCS/10SD/5MA	70	30	10	5
TPCS/10SD/10MA	70	30	10	10
TPCS/10SD/15MA	70	30	10	15
TPCS/10SD/20MA	70	30	10	20

4. ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

5. ขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ได้ด้วยเครื่องกดอัดขึ้นรูป โดยใช้แม่พิมพ์ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ทำความสะอาดแม่พิมพ์แล้วนำแผ่นใสมาวาง และทาด้วย Silicone oil ในด้านที่มีการสัมผัสกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

6. วางเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชลงบนแม่พิมพ์ จากนั้นขึ้นรูปขึ้นงานด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ที่ความดันเฉลี่ย 1100 Psi จากนั้นจึงหล่อเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

7. นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ จากนั้นเก็บใส่ถุงซิปล็อคเพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป

### 3.4 การตรวจวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่างๆ

#### 3.4.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน (ATR)

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในสารตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared spectroscopy) ทำการเตรียมตัวอย่าง โดยการนำตัวอย่างที่ได้ไปอบเพื่อกำจัดความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างมา 2-3 มิลลิกรัม มาบดกับโพแทสเซียมโบรไมด์ที่อบแห้งแล้ว 0.2-0.5 กรัม ให้เข้ากัน ใส่ลงในพิมพ์แล้วนำเข้าเครื่องอัดเม็ดภายใต้สภาวะความดัน  $10^{-4}$  kg/cm<sup>2</sup> เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำเม็ดตัวอย่างออกจากแม่พิมพ์และนำไปวิเคราะห์จะได้สเปกตรัมของสารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 การทดสอบสัณฐานวิทยา (Morphology)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำชิ้นงานตัวอย่างแช่ในไนโตรเจนเหลว และทำการหักชิ้นงานทันที จากนั้นนำชิ้นงานที่หักแล้วเคลือบด้วยทองคำ และนำไปเข้าเครื่อง SEM ต่อไป โดยจะศึกษาภาคตัดขวางของชิ้นงานตัวอย่างในสูตรต่างๆ เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคซีลี้อย และรอยต่อระหว่างภูมิภาคในแป้งมันสำปะหลัง

### 3.4.3 การดูดซับความชื้น (Water absorption)

การทดสอบการดูดซับความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM E 104 นำชิ้นงานตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการจดบันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างวางในบรรยากาศที่อิ่มตัวด้วยน้ำกลั่น (Distilled Water) ให้ความชื้นสัมพัทธ์ 99±1เปอร์เซ็นต์ และทำการจดบันทึกน้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่างทุกวัน ปริมาณการดูดซับความชื้นคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$M_t (\%) = (W_d - W_w / W_w) \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ  $M_t$  คือ เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้น

$W_d$  คือ น้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่างหลังทดสอบ

$W_w$  คือ น้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่างก่อนทดสอบ

### 3.4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

ทดสอบสมบัติเชิงกล โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 ด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal testing machine) ดังแสดงในตาราง 3.3 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะเป็นรูปดัมเบลล์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 จำนวน 10 ชิ้น ต่อ 1 ตัวอย่าง ทำการควบคุมสภาวะของชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ ที่อุณหภูมิ 23±2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 60±5 เปอร์เซ็นต์ ทดสอบตามสภาวะดังนี้

Test speed : 40 mm/min

Gauge length : 25 mm

Load cell : 2 kN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 3.5 การทดสอบสมบัติเชิงกลของ TPCS/SD

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วย
ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (Stress at maximum load)	ASTM D 638	MPa
ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (Strain at maximum load)	ASTM D 638	MPa
มอดุลัส (Young's modulus, E)	ASTM D 638	%



รูปที่ 3.2 ลักษณะชิ้นงานทดสอบ [42]

ความเค้น ความเครียด และมอดุลัส สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (Stress at maximum load)} = F/A$$

$$\text{ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (Strain at maximum load)} = [(L-L_0)/L_0] * 100$$

$$\text{มอดุลัส (Young's modulus, E)} = (F/A) / [(L-L_0)/L_0]$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ในการดึงยึดชิ้นงานทดสอบ (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบ (mm<sup>2</sup>)

L คือ ระยะระหว่างจุดสองจุด หลังการดึงยึดชิ้นงานทดสอบ (mm)

L<sub>0</sub> คือ ระยะชิ้นงานทดสอบก่อนการดึงยึด (mm)

#### 3.4.5 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน (Biodegradable properties)

นำชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นรูปดัมเบลล์ จำนวน 5 ชิ้น ต่อ 1 สูตร ทำการฝังลงในดินลึกประมาณ 5 เซนติเมตร โดยควบคุมความชื้นภายในดินให้อยู่ในช่วง 3 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาในการฝังดิน 2 วัน จากนั้นเก็บตัวอย่างเพื่อที่จะนำไปตัวอย่างไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป

#### 3.4.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA)

การศึกษาสมบัติทางความร้อน และอุณหภูมิการสลายตัว (Degradation temperature) ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรคอมพอลิเมอร์ วิเคราะห์ด้วยเครื่องเทอร์โมกราฟิมेटริกแอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analysis, TGA) สภาวะที่ใช้ในการทดสอบคือ ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ช่วงอุณหภูมิ 50-600 องศาเซลเซียส และอัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.7 การทดสอบการต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย (Antibacterial activity)

ทดสอบการต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย ตามมาตรฐาน ASTM F 895-11 เป็นการทดสอบเชิงปริมาณ ทำการทดสอบโดยนำชิ้นงานตัวอย่าง วางบนกระดาษกรองปราศจากเชื้อใช้ตัวทำละลาย ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethyl Sulfoxide, DMSO) ความเข้มข้น 1% และเอทานอลความเข้มข้น 95% เป็นสถานะควบคุม จากนั้นนำไปเพาะเลี้ยงในจานเพาะ (Petri dish) ร่วมกับแบคทีเรีย โดยแบคทีเรียที่ใช้ คือ แบคทีเรียชนิดแกรมบวก *S. aureus* (ATCC 25923) และแบคทีเรียชนิดแกรมลบ *E. coli* (ATCC 25922) เพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้ง (Inhibition zone) ในหน่วยมิลลิเมตร เพื่อประเมินการต้านเชื้อแบคทีเรียซ้ำ 1 ครั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

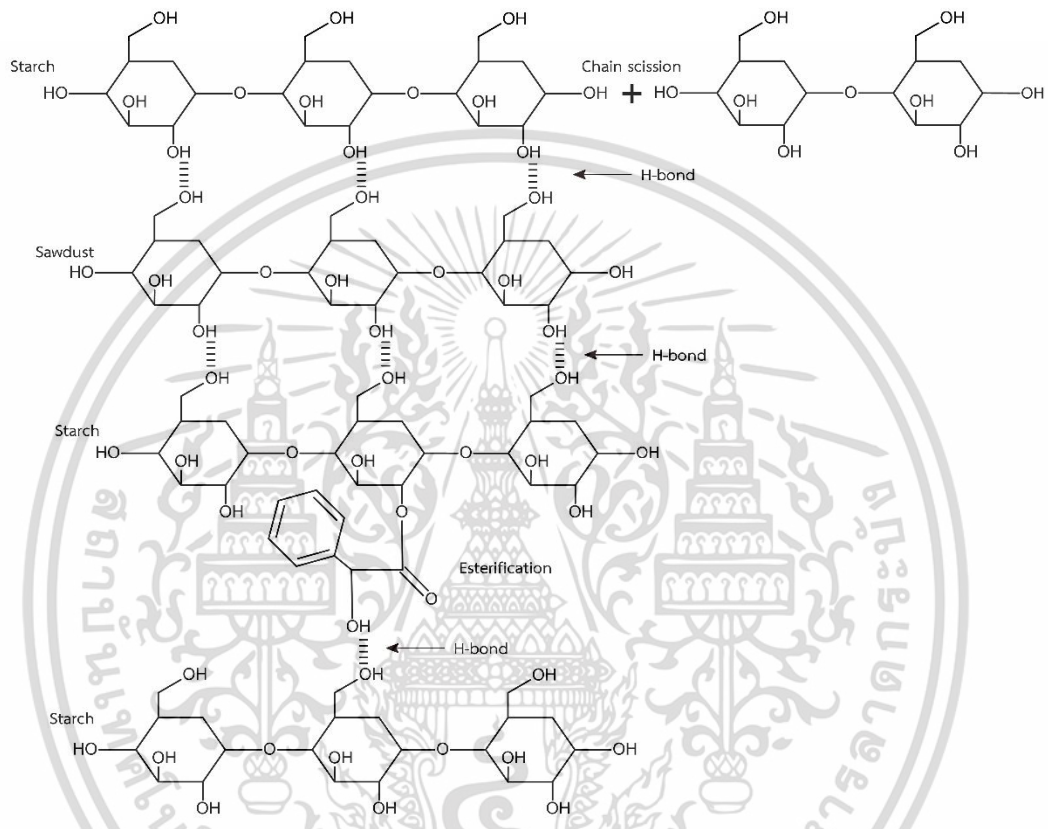
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยซีลื้ออไม้สักและปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกในปริมาณต่าง ๆ โดยอัตราส่วนของซีลื้ออไม้สักเท่ากับ 10 phr และกรดแมนดีลิกเท่ากับ 5 10 15 และ 20 phr โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) จากนั้นขึ้นรูปด้วยกระบวนการกดอัด (Compression molding) นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ดังนี้ การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน สัณฐานวิทยา การดูดซับความชื้น สมบัติเชิงกล สมบัติการย่อยสลาย โดยการฝังดิน สมบัติทางความร้อน และสมบัติการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์

ตารางที่ 4.1 ความหมายของอักษรย่อที่ใช้ในการทดลอง

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
TPCS	เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ
TPCS/10SD	คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลื้ออไม้สัก 10 phr
TPCS/10SD/5MA	คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลื้ออไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก 5 phr
TPCS/10SD/10MA	คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลื้ออไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก 10 phr
TPCS/10SD/15MA	คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลื้ออไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก 15 phr
TPCS/10SD/20MA	คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลื้ออไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก 20 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพอลิเมอร์โพลีกลูโคสจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมร่วมกับกรดแมนดีลิก คาดว่าทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งมันสำปะหลังซีลีเนียม และกรดแมนดีลิก โดยโมเลกุลของแป้งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนใหม่กับซีลีเนียม อีกทั้งการปรับปรุงสมบัติร่วมกับกรดแมนดีลิกทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และอาจเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันระหว่างกรดกับแป้ง โดยอันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้น แสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการเตรียมคอมพอลิเมอร์โพลีกลูโคสจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมร่วมกับกรดแมนดีลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

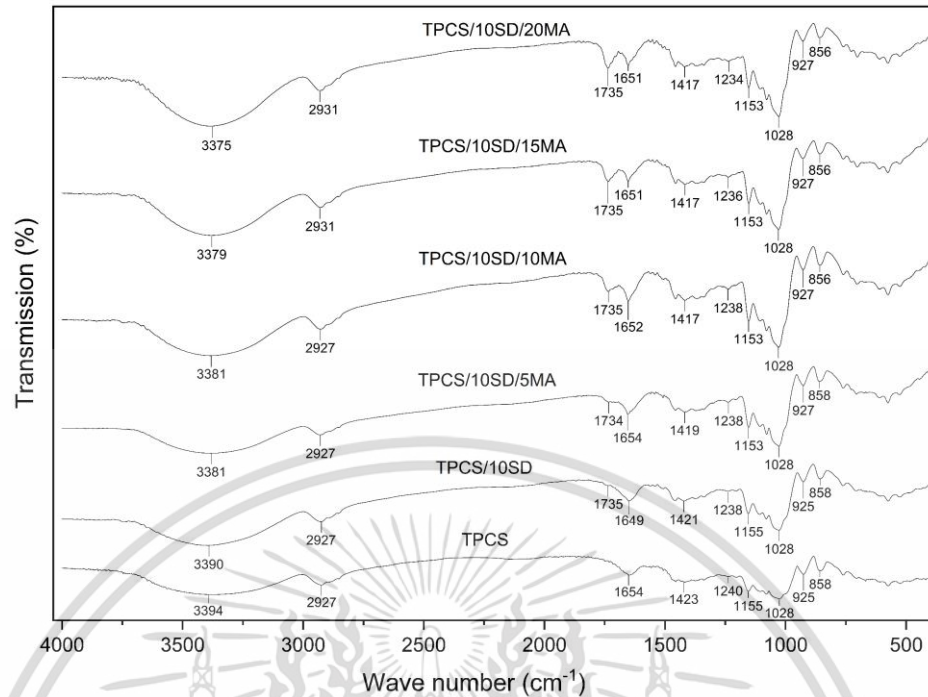
#### 4.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน

การศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ และคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลื้อยไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกในอัตราส่วน 5 10 15 และ 20 phr ทดสอบโดยใช้เครื่อง FTIR (Fourier transform infrared spectrophotometer) พีคที่ปรากฏมีลักษณะคล้ายกัน แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เลขคลื่นที่ปรากฏในเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมได้ [42]

เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )	ลักษณะการสั่น
3600 – 3200	O-H stretching
3000 – 2800	C-H stretching
1735-1750	C=O stretching of ester
1700-1725	C=O stretching of acid
1647	Bound water
1485 – 1420	O-H bending
1300 – 1100	C-O bending
1032 – 1025	C-O-H bending
600 - 900	C-H out of plane bending

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของ TPCS TPCS/10SD TPCS/10SD/5MA TPCS/10SD/10MA TPCS/10SD/15MA และ TPCS/10SD/20MA

จากรูปที่ 4.2 และภาคผนวก ก แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของร้อยละการส่องผ่านแสงของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีออยไม้สักร่วมกับกรดแมนดีลิก พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมทุกสูตรมีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ พบพีคในช่วงความยาวคลื่น 3394-3375  $\text{cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching จากแป้งและกลีเซอรอล พีคในช่วงความยาวคลื่น 2931-2927  $\text{cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H stretching ของ  $\text{CH}_2$  และ  $\text{CH}_3$  จากโมเลกุลของแป้ง พีคช่วงความยาวคลื่นที่ 1735-1750  $\text{cm}^{-1}$  แสดงลักษณะการสั่นของ C=O stretching ของหมู่เอสเทอร์ในโมเลกุลของลิกนินที่มีอยู่ในองค์ประกอบของซีลีออยไม้สัก [42] สำหรับพีคช่วงความยาวคลื่น 1700-1725  $\text{cm}^{-1}$  แสดงลักษณะการสั่นของ C=O stretching ของหมู่คาร์บอกซิลิกจากโมเลกุลของกรดแมนดีลิก [42] พีคช่วงความยาวคลื่น 1654-1649  $\text{cm}^{-1}$  เกิดจากน้ำในโมเลกุลของแป้ง พีคช่วงความยาวคลื่นที่ 1423-1417  $\text{cm}^{-1}$ , 1155-1153  $\text{cm}^{-1}$ , 1028  $\text{cm}^{-1}$  และที่ 600-900  $\text{cm}^{-1}$  แสดงลักษณะการสั่นแบบ O-H bending, C-O stretching จากโมเลกุลของแป้ง, C-O-H bending และ C-H bending ตามลำดับ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

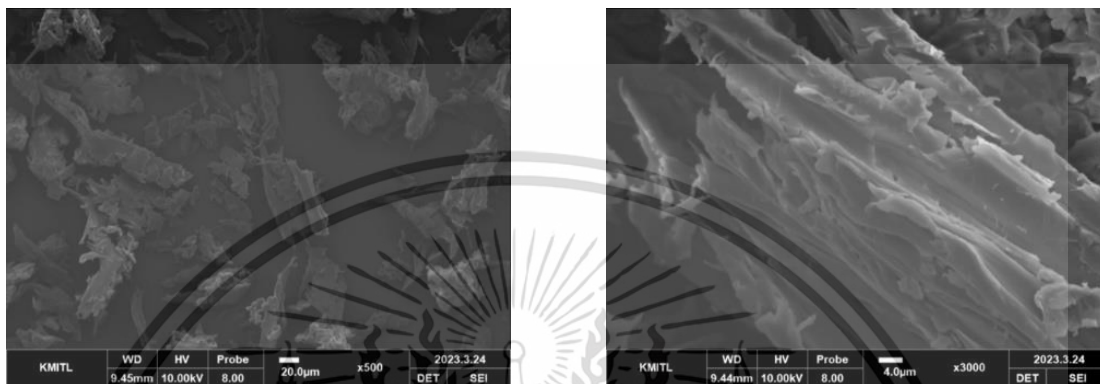
จากผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันเปรียบเทียบระหว่าง TPCS และ TPCS/10SD รูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อมีการเสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ ส่งผลให้พีคที่ช่วง  $3394-3375\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H Stretching และพีคที่ช่วง  $1423-1417\text{ cm}^{-1}$  แสดงลักษณะการสั่นแบบ O-H bending ของแป้งเคลื่อน (shift) ไปยังตำแหน่งเลขคลื่นที่ลดลง แสดงให้เห็นว่ามีการสร้างพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่างแป้งกับซีลี้อยู่ ส่งผลให้พลังงานพันธะลดลง ดังนั้นตำแหน่งเลขคลื่นจึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับสมการของแพลนค์ (Planck's law) และพบพีคที่  $1735\text{ cm}^{-1}$  แสดงลักษณะการสั่นแบบ C=O stretching ที่เกิดการซ้อนทับกันของหมู่คาร์บอกซิลิกในโมเลกุลของกรดแมนดีลิกที่ช่วงความยาวคลื่น  $1700-1725\text{ cm}^{-1}$  และหมู่เอสเทอร์ในโมเลกุลของลิกนินที่มีอยู่ในอนุภาคของซีลี้อยู่ในช่วงความยาวคลื่น  $1735-1750\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอารียา (2558) ที่ศึกษาผลของซีลี้อยู่จากไม้สะเดาที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง พบว่าพีคที่ตำแหน่ง  $1733\text{ cm}^{-1}$  ของเทอร์โมพลาสติกที่เสริมแรงด้วย ซีลี้อยู่ไม้สะเดามีความเข้มของพีคมากกว่า TPCS ที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ ซึ่งเกิดจากการซ้อนทับกันของการสั่นแบบ C=O stretching ของทั้งหมู่คาร์บอกซิลิกและหมู่เอสเทอร์ในโมเลกุลของลิกนินที่มีอยู่ในซีลี้อยู่จากไม้สะเดา [8]

จากผลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ไม้สักร่วมกับกรดแมนดีลิก (TPCS/10SD/MA) ในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr แสดงพีคการสั่นของ O-H Stretching และ O-H bending เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเลขคลื่นที่ลดลงเช่นเดียวกัน แสดงถึงการสร้างพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่างแป้งกับซีลี้อยู่ ส่งผลให้พลังงานพันธะลดลง ดังนั้นตำแหน่งเลขคลื่นจึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับสมการของแพลนค์ (Planck's law) และพบว่า O-H Stretching มีความเข้มของพีคเพิ่มขึ้น [32] เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างแป้งกับกรดเกิดการตัดสายโซ่ของแป้งให้สั้นลง ส่งผลให้หมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้น และพบว่าช่วงการสั่นของพีคที่  $1735-1734\text{ cm}^{-1}$  แสดงลักษณะการสั่นแบบ C=O stretching ที่เกิดการซ้อนทับกันของหมู่คาร์บอกซิลิกในกรดแมนดีลิกและหมู่เอสเทอร์ในซีลี้อยู่หรืออาจเกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยพบว่าเมื่อปริมาณกรดที่มากขึ้น พบว่าความเข้มของพีคที่ตำแหน่ง  $1735\text{ cm}^{-1}$  เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเมธาพร (2564) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังและซีลี้อยู่ไม้สัก โดยกรดมาลิก พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยซีลี้อยู่ไม้สักร่วมกับ กรดมาลิก ในอัตราส่วน 0.25 0.50 0.75 1.00 และ 1.50 phr พีคการสั่นของ O-H Stretching และ O-H bending เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเลขคลื่นที่ลดลง แสดงถึงการสร้างพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่างแป้งกับซีลี้อยู่ และพบพีคที่  $1737-1734\text{ cm}^{-1}$  แสดงลักษณะการสั่นแบบ C=O stretching ของหมู่คาร์บอกซิลิกและหมู่เอสเทอร์ที่มีอยู่ในซีลี้อยู่ หรืออาจเกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง TPCS/10SD/1.50MA และ TPCS/10SD พบว่าพีคที่ตำแหน่ง  $1737\text{ cm}^{-1}$  มีลักษณะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้น [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การทดสอบสัณฐานวิทยา

การทดสอบสัณฐานวิทยาโดยพิจารณาจากขนาดอนุภาค การกระจายตัว และความเข้ากันได้ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้สัก ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนเดิลิกในปริมาณต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3



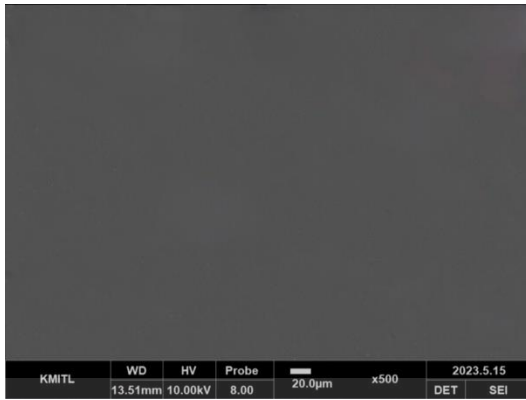
(ก) ซีลี้อยไม้สัก, 500X

(ข) ซีลี้อยไม้สัก, 3000X

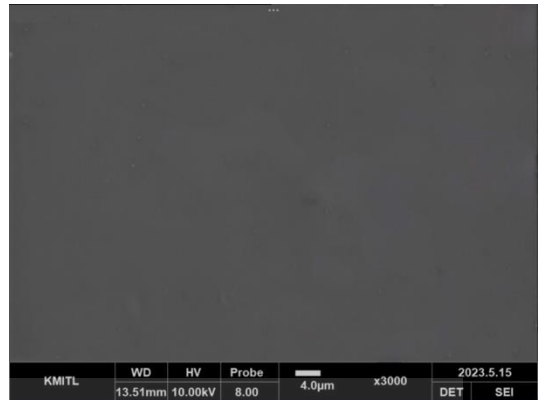
รูปที่ 4.3 (ก)-(ข) แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของซีลี้อยไม้สัก เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า

จากรูปที่ 4.3 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของซีลี้อยไม้สัก ที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า พบว่าซีลี้อยมีลักษณะรูปร่างไม่แน่นอน จากตัวอย่างซีลี้อยไม้สัก 20 ตัวอย่างพบว่า มีความยาวเฉลี่ยประมาณ  $104.41 \pm 19.44$  ไมโครเมตร และความกว้างเฉลี่ยประมาณ  $41.79 \pm 15.45$  ไมโครเมตร และเมื่อคำนวณค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (L/D ratio) มีค่าเท่ากับ  $2.77 \pm 0.94$  ไมโครเมตร (ภาคผนวก ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

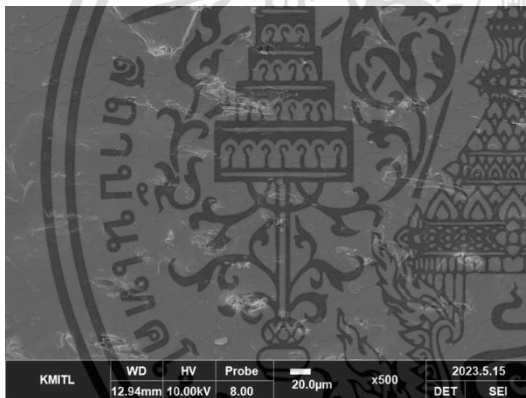


(ก) TPCS, 500X

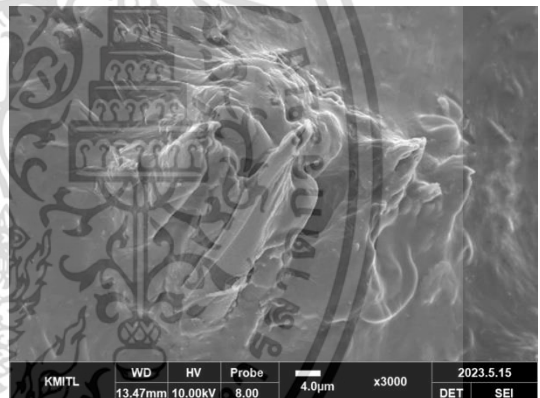


(ข) TPCS, 3000X

รูปที่ 4.4 (ก)-(ข) แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า



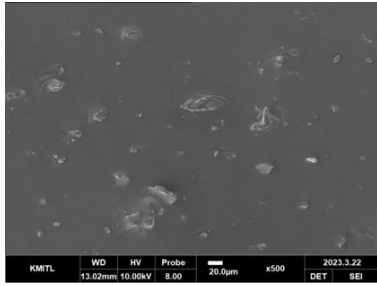
(ก) TPCS/10SD, 500X



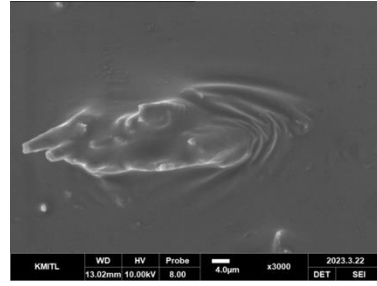
(ข) TPCS/10SD, 3000X

รูปที่ 4.5 (ก)-(ข) แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลีเนียมไม้สัก เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า

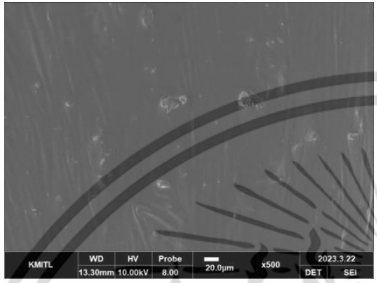
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



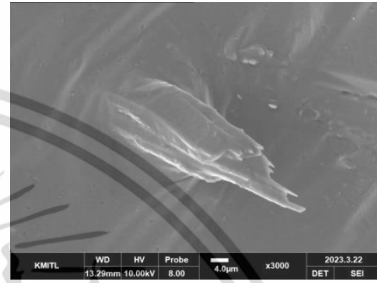
(ก) TPCS/10SD/5MA, 500X



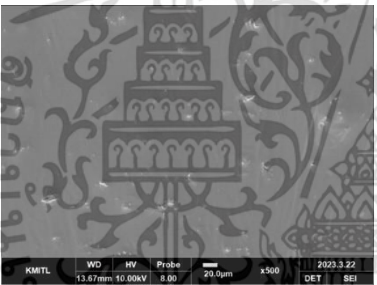
(ข) TPCS/10SD/5MA, 3000X



(ค) TPCS/10SD/10MA, 500X



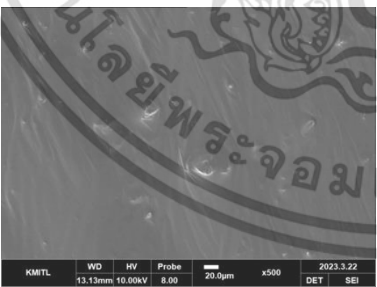
(ง) TPCS/10SD/10MA, 3000X



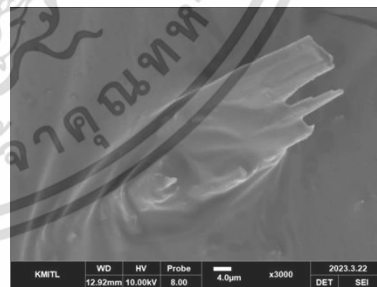
(จ) TPCS/10SD/15MA, 500X



(ฉ) TPCS/10SD/15MA, 3000X



(ช) TPCS/10SD/20MA, 500X



(ซ) TPCS/10SD/20MA, 3000X

**รูปที่ 4.6** (ก)-(ซ) แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยซีลื้อยไม้สัก 10 phr และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เอกสารนี้เป็นเอกสารและ 3000 เท่าับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 แสดงสัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของ TPCS ที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า พบว่าพื้นผิวมีลักษณะเรียบ และมีความเป็นเนื้อเดียวกัน

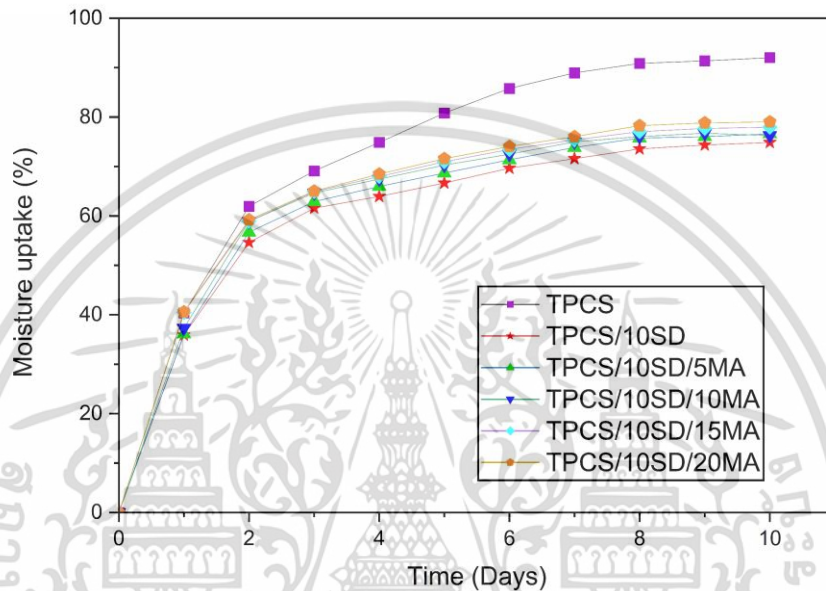
จากรูปที่ 4.5 แสดงสัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของ TPCS/10SD TPCS ที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า พบว่าซีลี้อยมีการกระจายบนเมทริกซ์แบ่ง มีการฝังเข้าไปในเมทริกซ์แบ่งได้ดี และไม่มีรอยต่อที่เป็นช่องว่างระหว่างวัฏภาคแสดงให้เห็นถึงการยึดเกาะกันได้ดีระหว่างวัฏภาคแบ่งและซีลี้อย เนื่องจากแบ่งและซีลี้อยเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ มีหมู่ฟังก์ชันเป็นไฮดรอกซิลอยู่ในโครงสร้างซึ่งแสดงถึงความมีขั้วเหมือนกัน ทำให้มีความสามารถในการยึดเกาะซึ่งกันและกัน และมีความเข้ากันได้ดี ซึ่งสอดคล้องกัน FT-IR (รูปที่ 4.2) พิกที่ช่วง  $3394-3375\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H Stretching และพิกที่ช่วง  $1423-1417\text{ cm}^{-1}$  แสดงลักษณะการสั่นแบบ O-H bending ของแบ่งเคลื่อน (Shift) ไปยังตำแหน่งเลขคลื่นที่ลดลง แสดงให้เห็นว่ามีการสร้างพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่างแบ่งกับซีลี้อย [9]

จากรูปที่ 4.6 แสดงสัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของ TPCS/10SD/MA ในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr ที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า ตามลำดับ โดยพบว่า ลักษณะภาคตัดขวางมีความคล้ายคลึงกัน โดยซีลี้อยกระจายตัวบนเมทริกซ์ของแบ่ง และมีการฝังเข้าไปในเมทริกซ์ของแบ่ง ไม่มีรอยต่อระหว่างวัฏภาค แสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ และไม่สามารถมองเห็นอนุภาคของกรดแมนดีลิกได้เนื่องจากไม่มีรอยต่อที่เป็นช่องว่างระหว่างวัฏภาค แสดงถึงความเข้ากันได้ระหว่างแบ่งซีลี้อยและกรดแมนดีลิก และเมื่อพิจารณาปริมาณของกรดที่เพิ่มขึ้น พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยามีลักษณะที่เรียบขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้สายโซ่ของแบ่งสั้นลง ทำให้มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของธิดาพร และบัณฑิตา (2561) ที่ศึกษาเกี่ยวกับผลของกรดเบนโซอิกที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้งข้าวโพดเสริมด้วยซีลี้อยไม้จามจู้รี พบว่าลักษณะภาคตัดขวางมีลักษณะเรียบ ไม่เห็นอนุภาคของกรดเบนโซอิก เนื่องจากกรดเบนโซอิกเกิดปฏิกิริยากับแป้งได้ดี และสามารถเข้ากับวัฏภาคของ TPCS ได้ดีจึงทำให้ไม่มีรอยต่อระหว่างวัฏภาคเกิดขึ้น และเมื่อปริมาณของกรดเบนโซอิกเพิ่มขึ้น พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาเรชมีลักษณะเรียบขึ้น [28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การทดสอบการดูดซับความชื้น

การศึกษาการดูดซับความชื้นของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยซีลีออยไม้สักปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr ทำการทดสอบโดยนำชิ้นงานเก็บไว้ในบรรยากาศที่อิ่มตัวด้วยน้ำกลั่น ความชื้นสัมพัทธ์  $99 \pm 1\%$  ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 วัน ให้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 สมบัติการดูดซับความชื้นของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยซีลีออยไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกที่ปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr

จากรูปที่ 4.7 และภาคผนวก ก แสดงผลเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของ TPCS, TPCS/10SD, TPCS/10SD/5MA, TPCS/10SD/10MA, TPCS/10SD/15MA และ TPCS/10SD/20MA พบว่า ชิ้นงานทุกสูตรมีเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นอย่างรวดเร็วในช่วง 7 วันแรก หลังจากนั้นการดูดซับความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนกระทั่งอิ่มตัว เมื่อทดสอบการดูดความชื้น ณ วันที่ 5 พบว่าเกิดเชื้อราขึ้นบนชิ้นงานสูตร TPCS และวันที่ 7 เกิดเชื้อราบนชิ้นงานสูตร TPCS/10SD และพบว่าสูตรที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก (TPCS/MA) ไม่เกิดเชื้อราบนชิ้นงานในระยะเวลา 10 วันที่ทำการทดสอบ

จากการทดลอง พบว่าคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ซีลีออยไม้สักที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นน้อยกว่าเทอร์โมพลาสติกซีลีออยไม้สัก เนื่องจาก

โครงสร้างทางเคมีของซีลีออยประกอบด้วยเซลล์โลสที่ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และมีปริมาณเอ็กสตรีนเป็นเอ็กสตรีนที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าของหมู่ไฮดรอกซิลอิสระน้อยกว่าแป้ง [28] ดังนั้นจึงมีการดูดซับน้ำลดลงและในองค์ประกอบของไม้สักชนิดนี้ มีส่วนอีกทั้งยังมีเม็ดแป้งและต้องอย่างองเง้งเจ้าของเอ็กสตรีนทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

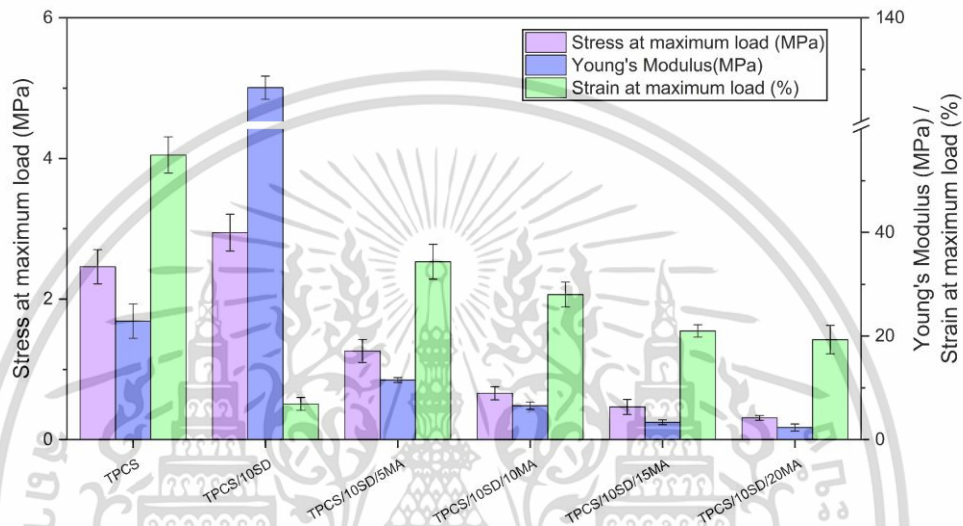
ซีลื้อยมีลิกนินซึ่งมีโครงสร้างเป็นวงอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน [44] แสดงถึงความไม่มีขั้ว จึงมีสมบัติความชอบน้ำลดลง ส่งผลให้คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชดูดซับความชื้นน้อยลง

นอกจากนี้ คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วย ซีลื้อย ไม้สัก 10 phr และการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr พบว่าเมื่อเติมกรดแมนดีลิกในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้น โดย TPCS/10SD/20MA มีค่ามากที่สุด เนื่องจากกรดแมนดีลิกสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับแป้ง จึงทำให้สายโซ่แป้งสั้นลง และทำให้ความชื้นสามารถแทรกตัวเข้าไประหว่างสายโซ่ของแป้งได้ดี ส่งผลให้มีความชอบน้ำสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของชิตาพร และบัณฑิตา (2561) ที่ศึกษาเกี่ยวกับ ผลของกรดเบนโซอิกที่มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชแป้งข้าวโพด เสริมแรงด้วยซีลื้อยไม้จามจุรี พบว่าเติมกรดเบนโซอิกทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของ คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากกรดเบนโซอิก สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับแป้ง จึงทำให้สายโซ่แป้งสั้นลง และพบว่าเมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ โดยที่ TPCS/5BA มีค่ามากที่สุด [28]

จากงานวิจัยนี้ พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วย ซีลื้อยไม้สัก (TPCS/10SD) มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นน้อยที่สุด และเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลื้อยร่วมกับกรดแมนดีลิก (TPCS/10SD/MA) มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ (TPCS)

#### 4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

การศึกษาสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ไม้สักปรับปรุงสมบัติโดยกรดแมนติลิกในปริมาณที่แตกต่างกัน ทำการศึกษาหาค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด โมดูลัส และเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด ทำการทดลองโดยใช้ตัวอย่างจำนวน 10 ชิ้นต่อ 1 สูตร ทดสอบโดยใช้เครื่อง Universal testing machine ตามมาตรฐาน ASTM D638 แสดงผลการทดสอบดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนติลิกในอัตราส่วน 5 10 15 และ 20 phr

จากรูปที่ 4.8 และภาคผนวก จ แสดงสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ไม้สัก พบว่า TPCS/10SD ให้ค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดและโมดูลัสมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น แต่ค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ TPCS ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาของหมู่ไฮดรอกซิลของ TPCS และซีลี้อยู่เกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนใหม่ส่งผลให้โมเลกุลของแป้งมีความแข็งแรงมากขึ้น จึงสามารถรับและส่งผ่านแรงกระทำในขณะดึงยึดได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.2 และลักษณะสัณฐานวิทยาที่แสดงความเข้ากันได้ของวัสดุภาค TPCS กับซีลี้อยู่ (รูปที่ 4.5) ส่งผลให้ TPCS/10SD มีความแข็งแรงมากขึ้น และผลจากการทดสอบการดูดซับความชื้นที่ลดลง (รูปที่ 4.7) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อาริยา หาญชนะ (2558) ที่ศึกษาผลของซีลี้อยู่จากไม้สะเดาที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ไม้สะเดาในปริมาณต่าง ๆ ส่งผลให้ค่าความแข็งแรง ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด และโมดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซีลี้อยู่เพิ่มขึ้น และพบว่ามีเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งมันสำปะหลังและซีลี้อยู่ [8]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกร้นำไปใช้

จากการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลีโอยไม้สักและปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก พบว่าค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด มอดุลัส และค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดลดลง ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของกรดแมนดีลิกสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับแป้งได้ ทำให้สายโซ่มอเลกุลของแป้งสั้นลง ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกตัวเข้าไปในระหว่างสายโซ่ของแป้งได้ ดังนั้นความสามารถในการรับและส่งผ่านแรงจึงลดลงตามแนวโน้มของปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้น

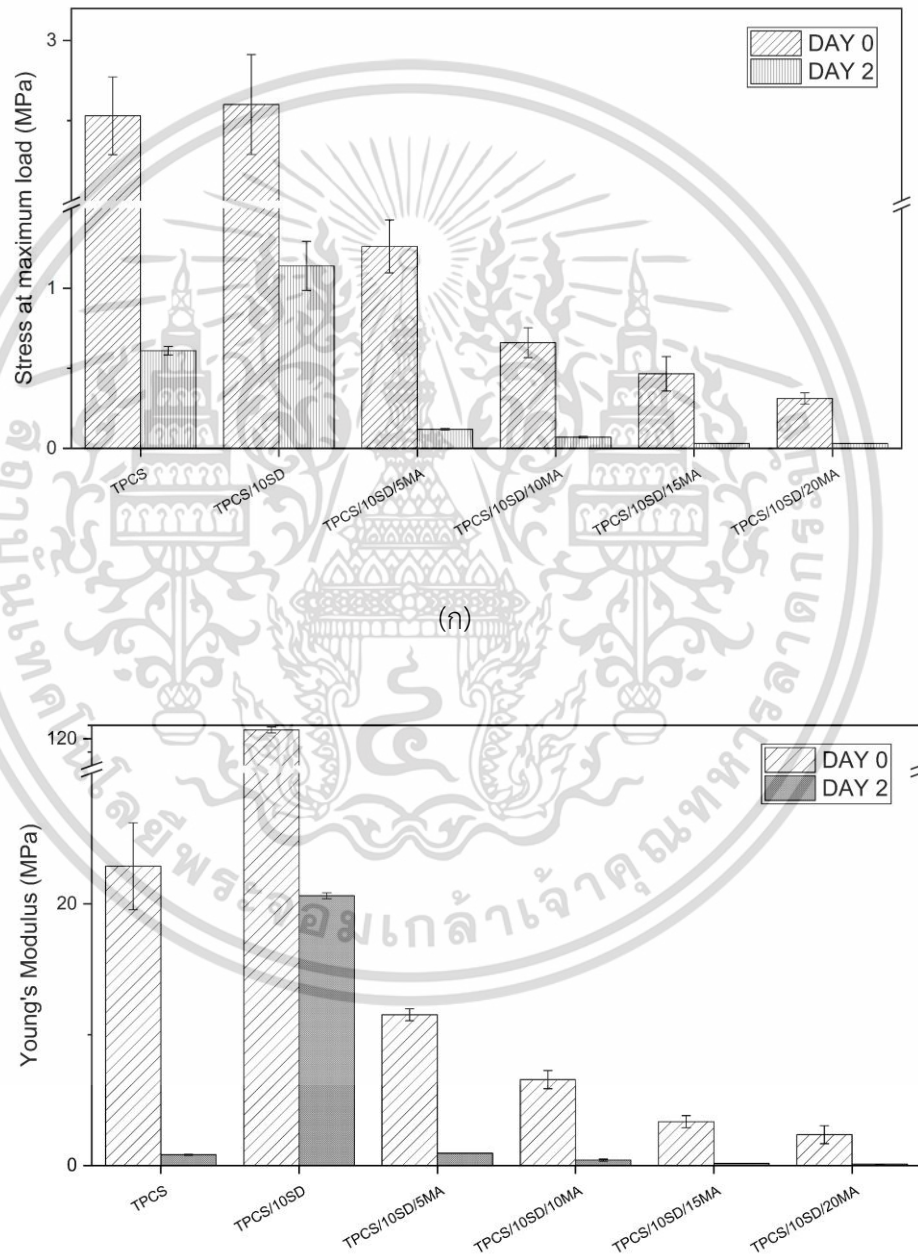
จากงานวิจัยนี้ พบว่า TPCS/10SD มีความแข็งสูงที่สุด โดยพิจารณาจากค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด และค่ามอดุลัส และ TPCS/10SD/20MA มีสมบัติเชิงกลต่ำที่สุด นอกจากนี้คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีโอยร่วมกับกรดแมนดีลิก ช่วยเพิ่มความสามารถในการดัดให้เข้ากับ TPCS/10SD ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

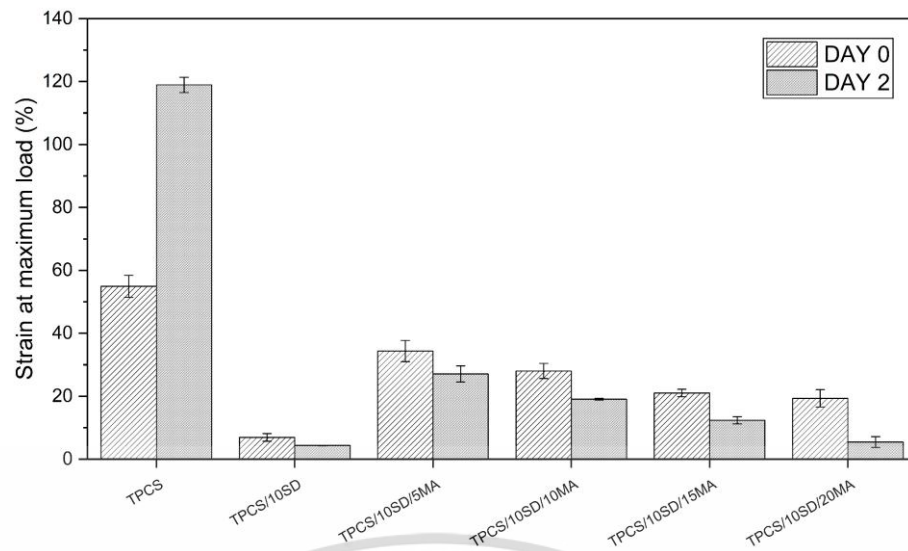
#### 4.5 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน

สมบัติการย่อยสลายโดยการฝังดิน ทำได้โดยการนำคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจาก แป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลีโอไมล์สีก ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกในปริมาณต่างๆ มาฝังดินที่มีการควบคุมความชื้นของดินที่ 3 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 วัน เพื่อสังเกตความเปลี่ยนแปลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างชิ้นงานที่ไม่ได้ทำการฝังดิน ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.9



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 4.9 สมบัติเชิงกลก่อน และหลังฝังดินเป็นเวลา 2 วัน ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลื้อยไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก ในอัตราส่วน 5 10 15 และ 20 phr (ก) ค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (ข) โมดูลัส และ (ค) เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลหลังจากนำชิ้นงานไปฝังดิน พบว่าสมบัติเชิงกลหลังการฝังดินของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลื้อยไม้สักและปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกในปริมาณต่าง ๆ มีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด โมดูลัส และความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ได้มีการฝังดิน ดังรูปที่ 4.9 เนื่องจากคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีส่วนประกอบของแป้งซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบหลัก จึงส่งผลให้คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีสมบัติความชอบน้ำจึงสามารถดูดความชื้นจากดินได้อีกทั้งการย่อยสลายจากเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน [28] ส่งผลให้คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีลักษณะนิ่ม และอ่อนตัวมากขึ้นง่ายต่อการฉีกขาดเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนฝังดินจึงทำให้สมบัติเชิงกลมีค่าลดลงอย่างชัดเจน

จากการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลหลังจากนำชิ้นงานไปฝังดินของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลื้อยไม้สักและปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก พบว่าเมื่อปริมาณของกรดแมนดีลิกเพิ่มขึ้นความสามารถในการย่อยสลายสูงขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลง ดังรูปที่ 4.1 ส่งผลให้มีหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้นทำให้สามารถดูดความชื้นเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้เกิดการย่อยสลายเร็วขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลของการดูดซับความชื้นและสมบัติเชิงกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

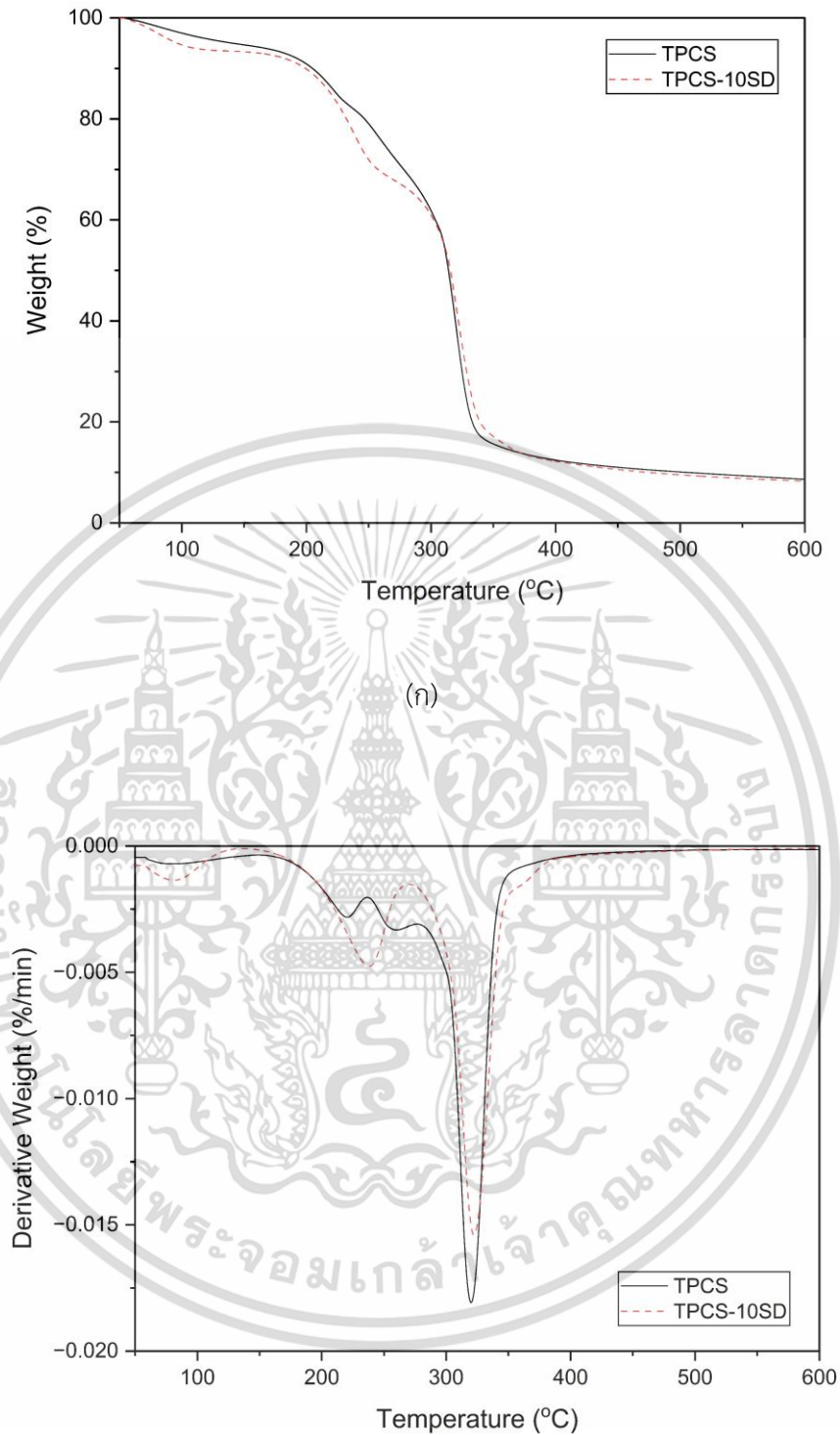
#### 4.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

การศึกษาสมบัติทางความร้อน อุณหภูมิการสลายตัวสูงสุด และน้ำหนักที่หายไปของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลีเนียมสังกะสีที่ปรับปรุงสมบัติโดยกรดแมนดีลิกในอัตราส่วนต่างๆ ทดสอบด้วยเครื่อง TGA (Thermogravimetric analyzer) ที่ช่วงอุณหภูมิ 50-600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนและอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.10 - ที่ 4.11 และภาคผนวก ข

**ตารางที่ 4.3** อุณหภูมิการสลายตัว ( $^{\circ}\text{C}$ ) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลีเนียมสังกะสีที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกในอัตราส่วน 5 10 15 และ 20 phr

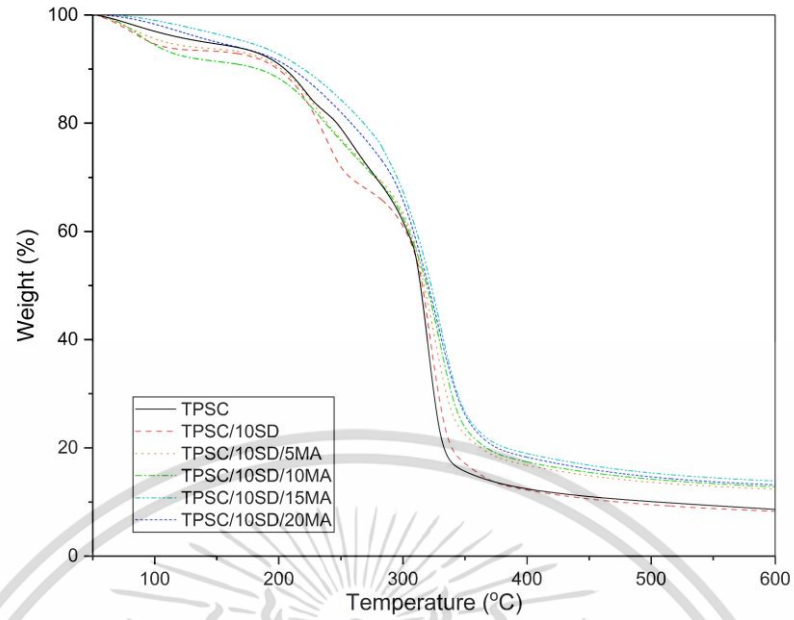
ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัว ( $^{\circ}\text{C}$ )				เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของแป้ง
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ช่วงที่ 4	
	น้ำ	กลีเซอรอล	แป้ง	ซีลีเนียม	
TPCS	83.00	218.83	320.17	-	8.56
TPCS/10SD	83.83	237.67	322.33	382.17	13.84
TPCS/10SD/5MA	83.00	227.00	325.33	380.67	20.54
TPCS/10SD/10MA	88.33	228.00	329.67	380.33	20.00
TPCS/10SD/15MA	77.17	225.67	329.00	384.67	21.92
TPCS/10SD/20MA	101.00	224.00	329.00	386.50	21.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

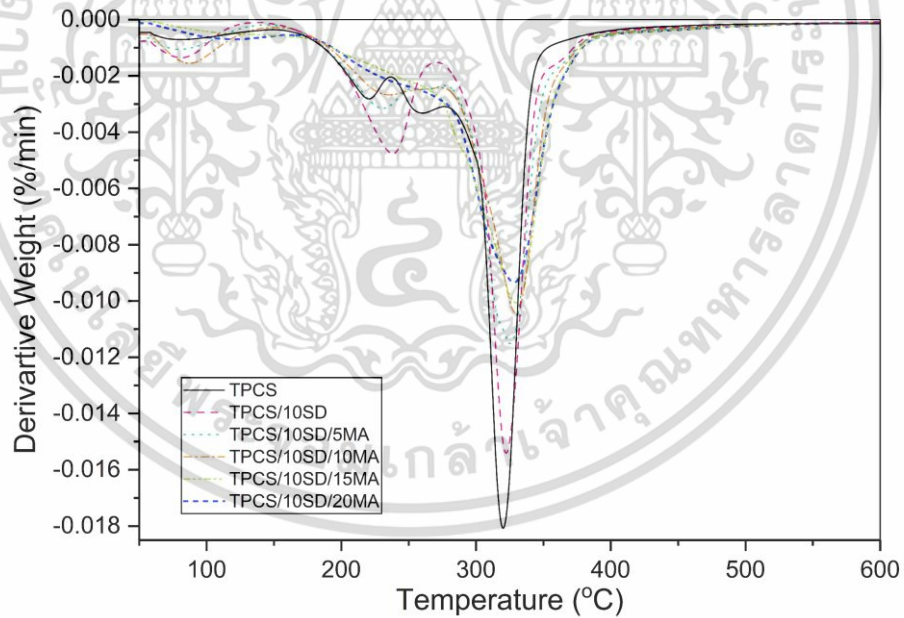


(ข)

รูปที่ 4.10 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์จากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติและคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์จากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยซีเมนต์ไม้สัก เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ภายใต้การคุ้มครองของสถาบัน ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.11 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ใน สักในอัตราส่วน 10 phr และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกในปริมาณ 5 10 15 และ เอกสารนี้เป็นเอกสาร 20 phr โดย (ก) TGA และ (ข) DTG ศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

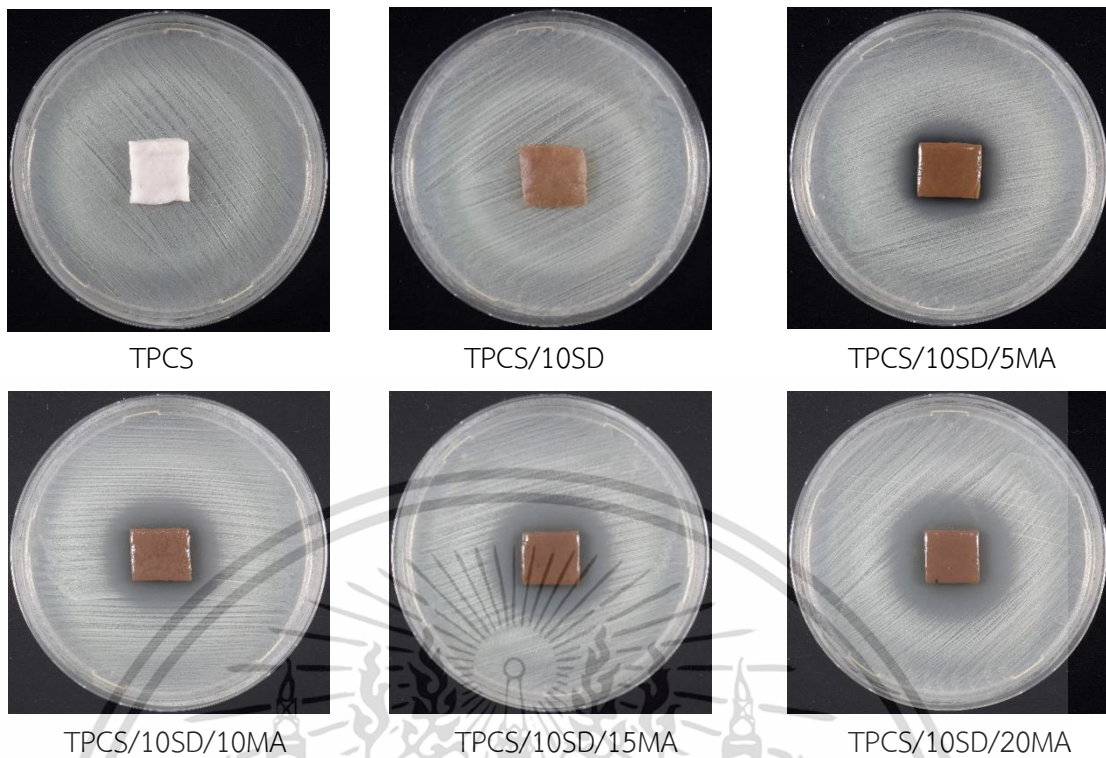
จากตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.11 และภาคผนวก ข แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของคอมพอลิเมอร์โพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลีออยไม้สักและปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr พบว่าชิ้นงานมีอุณหภูมิการสลายตัวปรากฏขึ้น 4 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 อุณหภูมิการสลายตัวของน้ำที่ 77.17-101.00 องศาเซลเซียส ช่วงที่ 2 อุณหภูมิการสลายตัวของกลีเซอรอลที่ 218.83-237.67 องศาเซลเซียส ช่วงที่ 3 อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งที่ 320.17-329.67 องศาเซลเซียส และช่วงที่ 4 อุณหภูมิการสลายตัวของซีลีออยที่ 380.33-386.50 องศาเซลเซียส โดยพบว่าคอมพอลิเมอร์โพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีออย ส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวของแป้ง และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของแป้งเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอารียา หาญชนะ (2558) ที่ศึกษาเกี่ยวกับผลของซีลีออยจากไม้สะเดาที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของคอมพอลิเมอร์โพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง พบว่าเมื่อเติมซีลีออยลงในคอมพอลิเมอร์โพลาสติกสตาร์ชส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งสูงขึ้น และเปอร์เซ็นต์ที่หายไปของแป้งลดลง ซึ่งแสดงถึงเสถียรภาพทางความร้อนของโพลาสติกสตาร์ชดีขึ้น [8] และงานวิจัยของจินต์ จุฑา และชนนิกานต์ (2562) ที่ศึกษาเกี่ยวกับผลของกรดเบนโซอิกต่อสมบัติของคอมพอลิเมอร์โพลาสติกสตาร์ชจากแป้งท้าวายม่อมเสริมแรงด้วยซีลีออยไม้สัก พบว่าคอมพอลิเมอร์โพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีออยส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งเพิ่มขึ้น [29]

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.11 พบว่า TPCS/10SD/MA ในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr มีอุณหภูมิการสลายตัว 4 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 อุณหภูมิการสลายตัวของน้ำที่ 77.17-101.00 องศาเซลเซียส ช่วงที่ 2 อุณหภูมิการสลายตัวของกลีเซอรอลที่ 224.00-227.00 องศาเซลเซียส ช่วงที่ 4 อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งที่ 325.33-329.67 องศาเซลเซียส และช่วงที่ 5 อุณหภูมิการสลายตัวของซีลีออยที่ 380.67-386.50 องศาเซลเซียส โดยพบว่าคอมพอลิเมอร์โพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก ส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของแป้งเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างแป้งและกรดเป็นหลัก

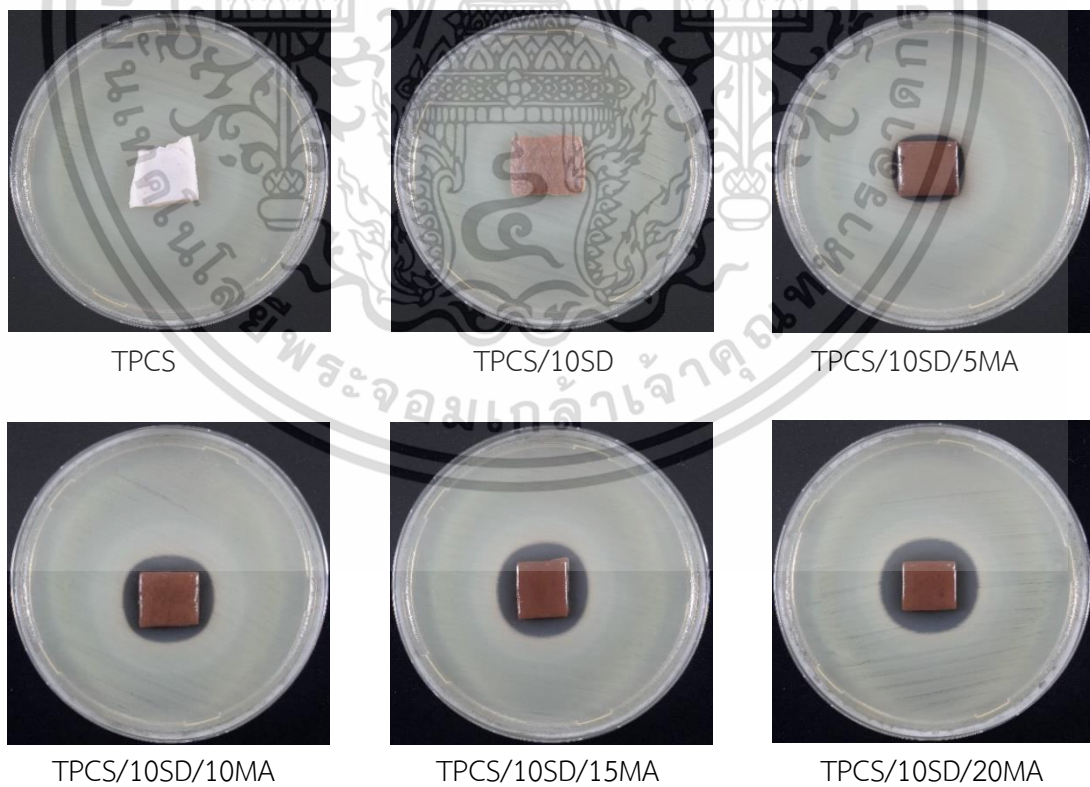
#### 4.7 การทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

การต้านทานเชื้อแบคทีเรียของคอมพอลิเมอร์โพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลีออยไม้สักและปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกในปริมาณต่างๆ ทำได้โดยใช้เชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด ได้แก่ เชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) และเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมลบ *Esherichian* (*E.coli*) ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงภาพพระยะการต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.13 แสดงภาพพระยะการต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *Esherichian* (*E.coli*)  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.4** ระยะเวลาต้านทานเชื้อแบคทีเรียของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเรซจาก  
แป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วย  
กรดแมนดีลิกในอัตราส่วน 5 10 15 และ 20 phr

ตัวอย่าง	บริเวณเกิดการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (mm)		Activity
	<i>S.aureus</i>	<i>E.coli</i>	
TPCS	-	-	Inactive
TPCS/10SD	-	-	Inactive
TPCS/10SD/5MA	26.92	22.47	Active
TPCS/10SD/10MA	30.72	27.31	Active
TPCS/10SD/15MA	33.27	28.20	Active
TPCS/10SD/20MA	34.59	29.03	Active

หมายเหตุ : วัฏระยะการต้านเชื้อแบคทีเรียจากเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน

Active คือ มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย

Inactive คือ ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย

จากตารางที่ 4.4 รูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ TPCS และที่ปรับปรุงสมบัติเสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้สัก TPCS/10SD เพียงอย่างเดียวไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ แต่เมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยไม้สักร่วมกับกรดแมนดีลิกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเรซสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้ดี เนื่องจากกรดแมนดีลิกเข้าไปทำให้โปรตีน และลิพิดบนเยื่อหุ้มเซลล์เสียหาย และสามารถเปลี่ยนค่า pH ในไซโทพลาสซึม ทำให้ปฏิกิริยาภายในเซลล์เสียสมดุล ส่งผลให้แบคทีเรียไม่สามารถเจริญเติบโต และดำรงชีวิตต่อไปได้ [29] จึงทำให้ชิ้นงานที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิกสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ และพบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเรซสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกได้มากกว่าแบคทีเรียแกรมลบโดยวัดได้จากระยะเวลาต้านเชื้อจากเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานตัวอย่าง เนื่องจากแบคทีเรียแกรมลบมีผนังเซลล์ที่ซับซ้อนมากกว่าแกรมบวกภายในเซลล์ประกอบด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกล้อมรอบเพปทิโดไกลแคนไว้ ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนป้องกันสารพิษ จึงทำให้สารต้านเชื้อแบคทีเรียมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมลบน้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของธิดาพร และบัณฑิตา (2561) ที่ศึกษาเกี่ยวกับผลของกรดเบนโซอิกในปริมาณ 1 และ 5 phr พบว่าเมื่อเติมกรดเบนโซอิกในปริมาณ 5 phr สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมบวก *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) และเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมลบ *Escherichia coli* (*E.coli*) ได้ [28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนจากแป้งมันสำปะหลังและซีลีเนียม โดยกรดแมนดีลิกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr ทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด และขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องกดอัด จากนั้นนำคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนที่เตรียมได้นำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ซึ่งสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 จากการศึกษาการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมร่วมกับกรดแมนดีลิก โดยพีคช่วงที่  $3394-3375\text{ cm}^{-1}$  แสดงการสั่นแบบ O-H stretching โดยมีการเคลื่อน (shift) ไปยังตำแหน่งเลขคลื่นที่ลดลงและพบพีคที่  $1735\text{ cm}^{-1}$  แสดงลักษณะการสั่นแบบ C=O stretching ที่เกิดการซ้อนทับกันของหมู่คาร์บอกซิลิกในโมเลกุลของกรดแมนดีลิกในช่วงความยาวคลื่น  $1700-1725\text{ cm}^{-1}$  และในช่วงความยาวคลื่น  $1735-1750\text{ cm}^{-1}$  ของหมู่เอสเทอร์ในโมเลกุลของลิกนินที่มีอยู่ในอนุภาคของซีลีเนียม ซึ่งคาดว่าเกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างแป้งกับกรด

5.1.2 จากการศึกษาสัณฐานวิทยา เมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียม พบว่าซีลีเนียมสามารถกระจายตัวบนเมทริกซ์ของแป้งได้ ไม่มีรอยแยกระหว่างวัฏภาค แสดงถึงความเข้ากันได้ระหว่างแป้งและซีลีเนียม นอกจากนี้การปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมร่วมกับกรดแมนดีลิก มีลักษณะพื้นผิวเรียบมากขึ้น ตามปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้น

5.1.3 จากการศึกษาการดูดซับความชื้น เมื่อคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียม พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อมีการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมร่วมกับกรดแมนดีลิก พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้น โดย TPCS/10SD/20MA มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นมากที่สุด และ TPCS/10SD มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นน้อยที่สุด แต่อย่างไรก็ตามคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมร่วมกับกรดมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นต่ำกว่าโพลีเอทิลีนที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 5.1.4 จากการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่าคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมร่วมกับกรดแมนดีลิก มีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด โมดูลัส และเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ

จุดรับแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้น เมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ร่วมกับกรดแมนดีลิก มีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด มอดุลัสและ และเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดลดลง แสดงให้เห็นว่าคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ร่วมกับกรดส่งผลให้สมบัติเชิงกลโดยรวมลดลง

5.1.5 จากการศึกษาการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่าคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ร่วมกับกรดแมนดีลิก สามารถย่อยสลายได้ โดยคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ร่วมกับกรดแมนดีลิก มีการย่อยสลายช้าที่สุดและเมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก ทำให้ความสามารถในการย่อยสลายเพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้น

5.1.6 จากการศึกษาสมบัติทางความร้อน พบว่าคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ร่วมกับกรดแมนดีลิก มีอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งที่เพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของแป้งมีค่าลดลง แสดงถึงเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีขึ้นตามปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่เพียงอย่างเดียว

5.1.7 จากการศึกษาการต้านเชื้อแบคทีเรีย พบว่าคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ร่วมกับกรดแมนดีลิกเพียงอย่างเดียวไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้ แต่เมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ร่วมกับกรดแมนดีลิกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr สามารถยับยั้งแบคทีเรียทั้งชนิดแกรมบวก *S.aureus* และแบคทีเรียชนิดแกรมลบ *E.coli* ได้ โดยบริเวณที่เกิดการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้น

5.1.8 จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า คอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ร่วมกับกรดแมนดีลิกในปริมาณ 5 phr (TPCS/10SD/5MA) มีสมบัติโดยรวมดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติและปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ร่วมกับกรดแมนดีลิก โดยพิจารณาจากการย่อยสลายโดยการฝังดิน การต้านทานเชื้อแบคทีเรียและพบว่า TPCS/10SD/5MA มีความแข็งแรงมากที่สุด มีเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ การปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ร่วมกับกรดแมนดีลิกในปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยใช้ความเข้มข้นของกรดแมนดีลิกในปริมาณที่ลดลง เช่น 0.5 1 และ 2 phr เพื่อดูความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียของกรดแมนดีลิก

5.2.2 ศึกษาวิธีการบดซีลี้อยู่ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ซีลี้อยู่ในขนาดที่เล็กกว่า 100 เมช และ 200 เมช เพื่อให้ได้สมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นและสมบัติการดูดซับน้ำของซีเมนต์ที่ลดลง

5.2.3 ศึกษาการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียจากสารต้านเชื้อแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ เช่น สารสกัดจากผักชีฝรั่ง [45]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] MTEC. 2565. **พลาสติก**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.mtec.or.th/bio-lastic/whatis-plastic/whatisplastics.html>. สืบค้นข้อมูลวันที่ 15 พ.ย. 2565
- [2] บจก.วาไรตี้ อินเตอร์พลาส. 2561. **พลาสติกชีวภาพ**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://cutt.ly/b1yZKMI>. สืบค้นข้อมูลวันที่ 15 พ.ย. 2565
- [3] นิจศิริ เรืองรังษี และธวัชชัย มังคละคุปต์. 2547. **หนังสือสมุนไพรไทย : สัก**. เล่มที่ 1. กรุงเทพฯ : ปิยะสิทธิ์.
- [4] ทรรศนีย์ พัฒนเสรี, ธัญดา ชูรัตน์ และกมลวรรณ สมออด. 2553. **องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของไม้สักจากสวนป่าจังหวัดลพบุรี กาญจนบุรี และสุโขทัย**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [5] **กรดแมนเดิลิก**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.wiki.th-th.nina.az/กรดแมนเดิลิก.html>. สืบค้นข้อมูลวันที่ 16 พ.ย. 2565
- [6] Vogue beauty. 2563. **Acid 101 กรดแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการบำรุงผิวอย่างไร**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.vogue.co.th/beauty/acid101>. สืบค้นข้อมูลวันที่ 16 พ.ย. 2565
- [7] เมธาพร มานพจน์โรจน์ รัศมี สุขสำราญ และวราภรณ์ คะละ. 2564. “การปรับปรุงสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและซีลีเยอไม้สักโดยกรดมาลิก.” วิทยาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [8] อาริยา หาญชนะ. 2558. “ผลของซีลีเยอจากไม้สะเดาที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชและเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชเอซีเทตจากแป้งมันสำปะหลัง.” วิทยาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [9] **ประเภทและการใช้งานของพลาสติก**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.mtec.or.th/bio-plastic/what-is-plastic/plastic-usage.html> สืบค้นข้อมูลวันที่ 17 พ.ย. 2565
- [10] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2561. **การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.mtec.or.th/bioplactic/the-use-of-compostable-plastic-products/>. สืบค้นข้อมูลวันที่ 15 พ.ย. 2565
- [11] กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. **เทคโนโลยีของแป้ง**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [12] คีนจันทร์ ณ นคร. 2552. “ผลของปริมาณอะมิโลสและสภาวะการผลิตต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์.” วิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับครูใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] ชินานานู วิทยาประภากร และสมัชชัญ ทวีเกษมสมบัติ. 2557. “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากวัสดุทางการเกษตร.” อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- [14] ชนิดา หันสวาสดี. 2551. **เคมีของแป้งและแป้งดัดแปร**. พิษณุโลก : คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [15] มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. 2543. **มันสำปะหลัง**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://tapiocathai.org/C.html>. สืบค้นข้อมูลวันที่ 15 พ.ย. 2565
- [16] ทัชชา บุณกานนท์, ปรียาภรณ์ พลายแก้ว และศิริขวัญ ภาวยวัน. 2560. “ผลของชนิดขี้เลื่อยที่มีผลต่อสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้งข้าวโพดเสริมแรงด้วยขี้เลื่อย.” วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [17] Karupan Furniture. 2557. **หลักเกณฑ์การแบ่งไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็งตามมาตรฐานของกรมป่าไม้**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : [http://karupanfurniture.blogspot.com/2014/02/blog-post\\_2277.html](http://karupanfurniture.blogspot.com/2014/02/blog-post_2277.html). สืบค้นข้อมูลวันที่ 18 ธ.ค. 2565
- [18] Mood. SH., Golfeshan. AH, Tabatabaei. M., Jouzani. SH., Najafi. GH., Gholami. M., Ardjmand. M. 2013. “Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 27 : 77-93.
- [19] เฮมิเซลลูโลส. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.omicsonline.org/articles-images/2155-9600-6-461-g004.html>. สืบค้นข้อมูลวันที่ 18 พ.ย. 2565
- [20] โครงการเพิ่มศักยภาพฐานข้อมูลอุตสาหกรรมฐานชีวภาพ : รายละเอียดข้อมูลสารเคมีชีวภาพประเภทลิกนิน (Lignin). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [21] ลิกนิน (Lignin). [Online]. เข้าถึงได้จาก : [http://www.digitalschool.club/digitalschool/science1\\_2\\_2/science2\\_1/more/lignin\\_1.php](http://www.digitalschool.club/digitalschool/science1_2_2/science2_1/more/lignin_1.php). สืบค้นข้อมูลวันที่ 18 พ.ย. 2565
- [22] อุทยานหลวงราชพฤกษ์ สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน). 2560. **ไม้สัก**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.royalparkrajapruek.org/Plants/view?id= 1371>. สืบค้นข้อมูลวันที่ 17 พ.ย. 2565
- [23] ประชาชาติธุรกิจ. 2562. **เปิดสูตรประเมินค่าไม้สัก อายุ 5 ปี-50 ปีขึ้นไป**. [Online]. เข้าถึง ได้จาก : <https://www.prachachat.net/property/news-333692>. สืบค้นข้อมูลวันที่ 17 พ.ย. 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [24] อรุณศักดิ์ โสภณธรรมภาณ. **พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) : การปนเปื้อนจากบรรจุภัณฑ์สู่อาหาร.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://cutt.ly/h1uS9US>. สืบค้นข้อมูลวันที่ 15 พ.ย. 2565
- [25] อุษารัตน์ รัตนคำนวน. 2557. “ผลของพลาสติกไซเซอร์ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของฟิล์มเซลลูโลสเอสเทอร์จากฟางข้าวและเปลือกข้าวโพด.” วิทยาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- [26] สมศักดิ์ วรมงคลชัย. 2547. **สารปรับแต่งพอลิเมอร์.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [27] กรุงเทพเคมี. **Magnesium Stearate (Italy).** [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://cutt.ly/V1uutwo>. สืบค้นข้อมูลวันที่ 15 พ.ย. 2565
- [28] ธิดาพร จันทะนิตย์ และบัณฑิตา ม่วงมี. 2561. “ผลของกรดเบนโซอิกที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชแป้งข้าวโพดเสริมแรงด้วยขี้เลื่อยไม้จามจุรี.” วิทยาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [29] จินต์จุฑา พุ่มฉายา และชนนิกานต์ ช่างน้ำ. 2562. “ผลของกรดเบนโซอิกต่อสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งท้าวยาย่มเสริมแรงด้วยขี้เลื่อยไม้สัก.” วิทยาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [30] Dobircan, L. Sreekumar, P.A. Satah, R. Leblanc, N. Terrie, C. Gattin, R. and Saiter, J.M. 2009. “Wheat Flour Thermoplastic Matrix Reinforced by Waste Cotton Fiber: Agro-green Composites.” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 40 : 329-334.
- [31] Wan, Y., Luo, H., He, F., Liang, H., Huang, Y. and Li, X. 2009. “Mechanical, moisture absorption and biodegradation of bacterial cellulose fibre reinforced starch biocomposites.” *Composites Science and Technology*. 69 : 1212-1217
- [32] Kaewtatip, K. and Thongmee, J. 2012. “Studies on the structure and properties of thermoplastic starch/luffa fiber composites.” *Material and design*. 40 : 314-318
- [33] Xiuting, H., Xue, J., Chaohui, Z., Zhengyu, J., and Ming, M. 2016. “Improving the properties of starch-based antimicrobial composite films using ZnO-Chitosan nanoparticles.” *Carbohydrate Polymers*. 210 : 204-209.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [34] Pachana, K., Wattanakornsiri, A. and Kaewpirom, S. 2012. "Physical Properties of Thermoplastic Glutinous Rice Starch Reinforced with Recycled Newspaper Cellulose Fibers." *Burapha Science Journal*. 17(1) : 13-23.
- [35] Fauziah, M.Y. Nor, A.W. Noor, L.A.R. Anizah, K. Aidah, J.Che, F.M.T. 2017. "Properties of treated bamboo fiber reinforced tapioca starch biodegradation composite." *Material Today: Proceedings*. 2019(16) : 2367-2373
- [36] Zlazinski, T., Ekielski, A., Tulska, E., Vladust, V. and Durczak, K. 2019. "Wood Dust Application for Improvement of Selected Properties of Thermoplastic Starch." *INMATEH-Agricultural Engineering*. 58(2) : 37-44.
- [37] Ghozali, M., Restu, W.K., Triwulandari, E. and Anwar, M. 2020. "Effect of metal oxide as antibacterial agent on thermoplastic starch/metal oxide biocomposites properties." *Polymer-Plastics Technology and Materials*. 2020 : 1-9.
- [38] Ridhwan, J., Siti, N.M.Z., Nur, W.A., Mohamed, S.F.H., Ahmad, F.A.G., Mastura, M.T., Muhd, R.M., Mohd, Y.Y., Mohd, N.A., Nurul, A.M., Mohammad, K.W., Nor, A.M.Y., Mohd, H.A.R. and Mohd, H.O. 2021. "Thermal Degradation and Mechanical Characteristics of Sugarcane Bagasses Reinforced Biodegradable Potato Starch Composites." *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*. 78 : 157-166.
- [39] Balla, B., Bartos, A., Kun, D., Csiszar, E., Moczo, J. and Fekete, E. 2021. "Improving mechanical and water sorption properties of thermoplastic starch by incorporating chitosan filler." *Polymer testing*. 101(2021) : 107278
- [40] นินาง ชนกิจพูนทรัพย์, จันทิมา พ่วงรอด และเพ็ชรรัตน์ ลากานิกกรณ์. 2564. "การปรับปรุงสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังและเส้นใยนุ่นโดยนาโนซิงค์ออกไซด์." วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [41] พัชรมน อินตะยศ, ภาภัทร เกื่อนม่วง และยศยา ดาวจันทร์. 2563. "ผลของกรดเบนโซอิกและกรดแลคติกต่อสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งท้าวยายม่อมเสริมแรงด้วยซีลีเนียมจามจุรี." วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [42] Winter, A. 2016. "Organic Chemistry I For Dummies (2nd ed.)." Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [43] Stickler, D. and Hewett, P. 1991. "Activity of antiseptics against biofilms of mixed bacterial species growing on silicone surfaces." *Eur. J. Clin. Microbiol. Infect. Dis.* 10 : 416-421.
- [44] Prachayawarakorn. J. Chaiwatyothin, S. Muaengta, S. and Hanchana, A. 2013. "Effect of jute and kapok fibers on properties of thermoplastic casava starch composite." *Material and Design.* 47 : 309-315
- [45] จิราภรณ์ บุราคร และเรือนแก้ว ประพฤติ. 2555. "ผลของสารสกัดสมุนไพรพื้นบ้านไทย จำนวน 7 ชนิดต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย." 10(1) : 11-22.

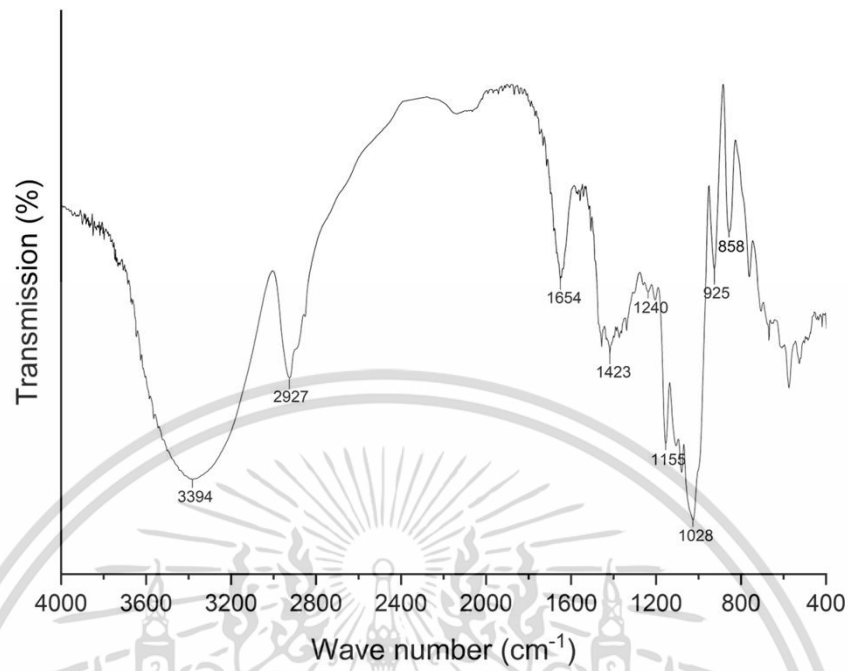


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

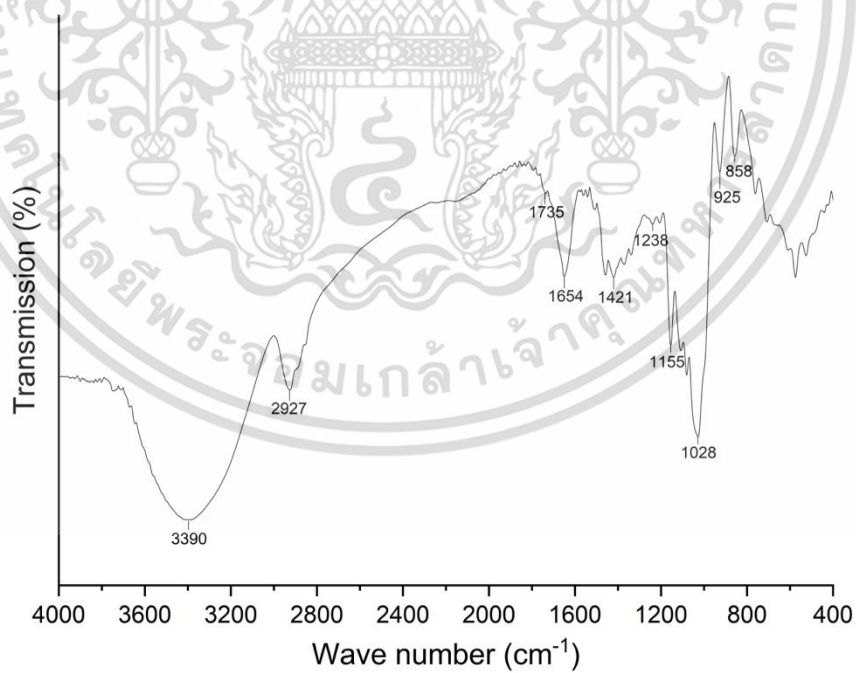


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

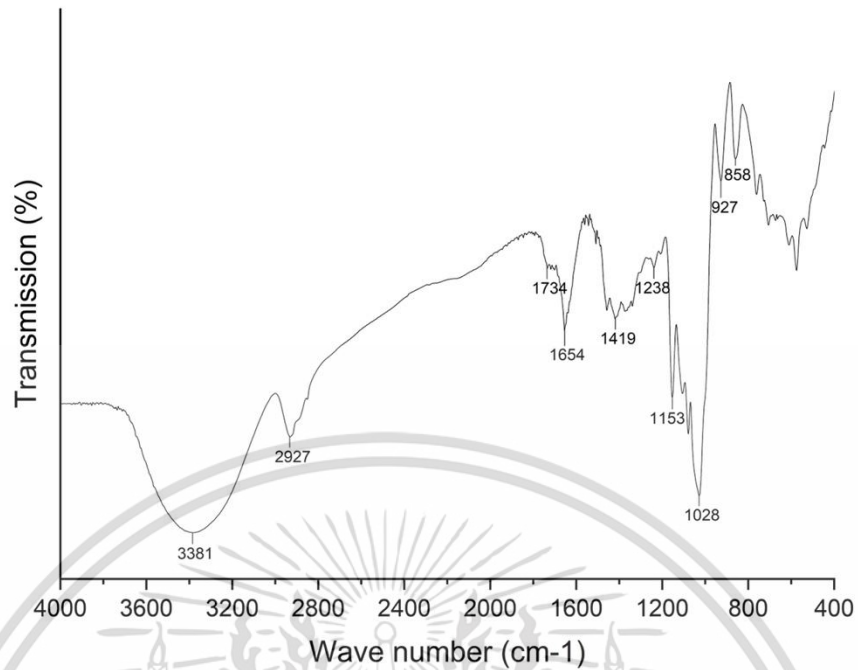


(ก) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

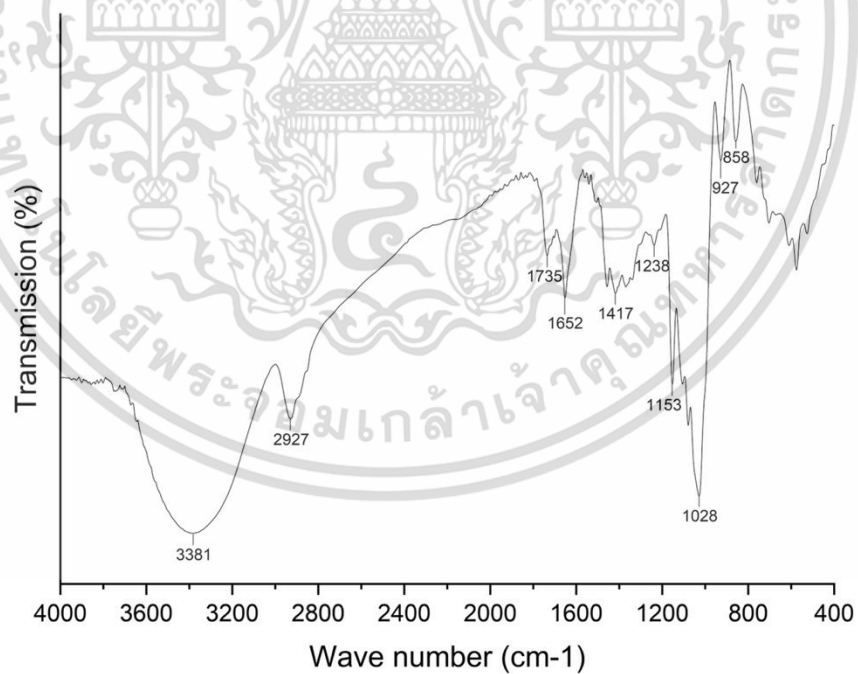


(ข) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงด้วยขี้เลื่อยไม้สัก 10 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

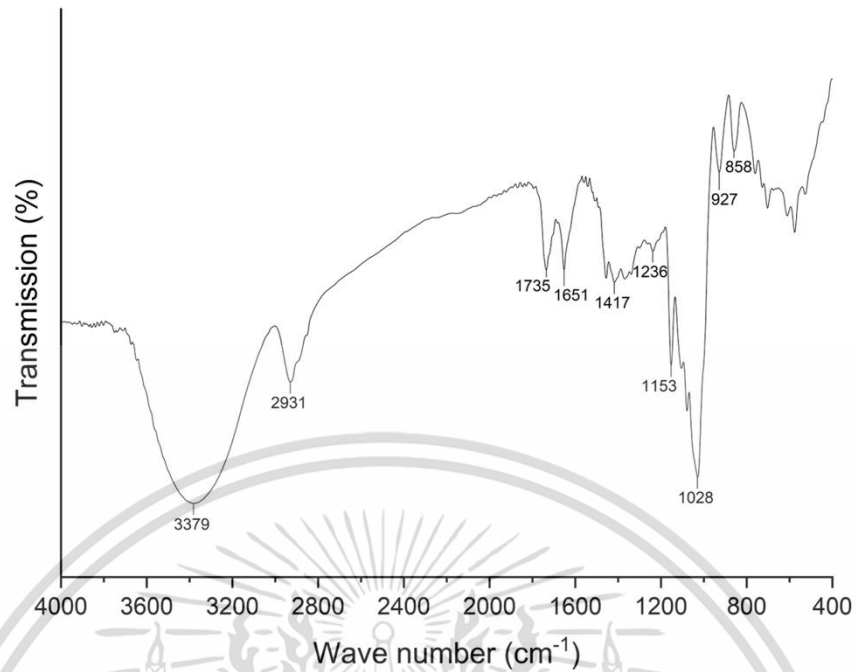


(ค) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้สั๊ก 10 phr และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก 5 phr

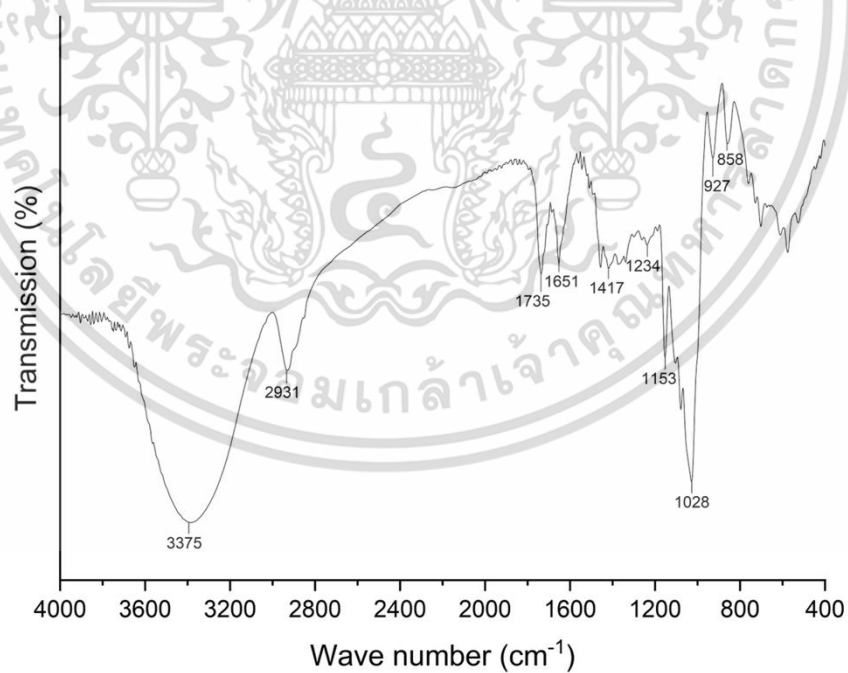


(ง) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้สั๊ก 10 phr และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก 10 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีพระอัฐมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

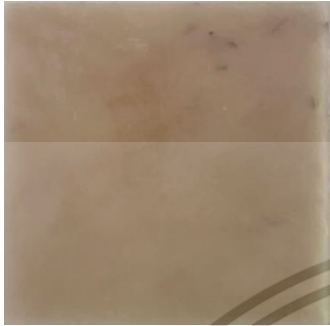

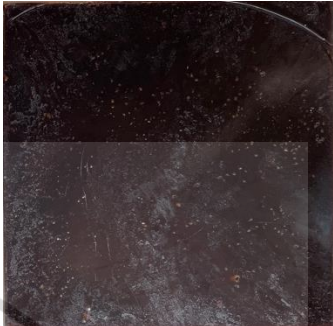


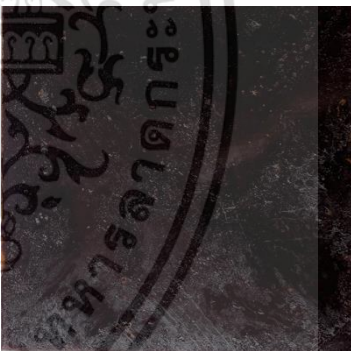


(จ) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ไม้สัก 10 phr และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก 15 phr



(ฉ) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ไม้สัก 10 phr และ  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนดีลิก 20 phr เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

TPCS	TPCS/10SD	TPCS/10SD/5MA
		
TPCS/10SD/10MA	TPCS/10SD/15MA	TPCS/10SD/20MA
		

(ก) ลักษณะชิ้นงานคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซเซอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมไม่สั๊ก และกรดแมนดีลิกในปริมาณต่าง ๆ ที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

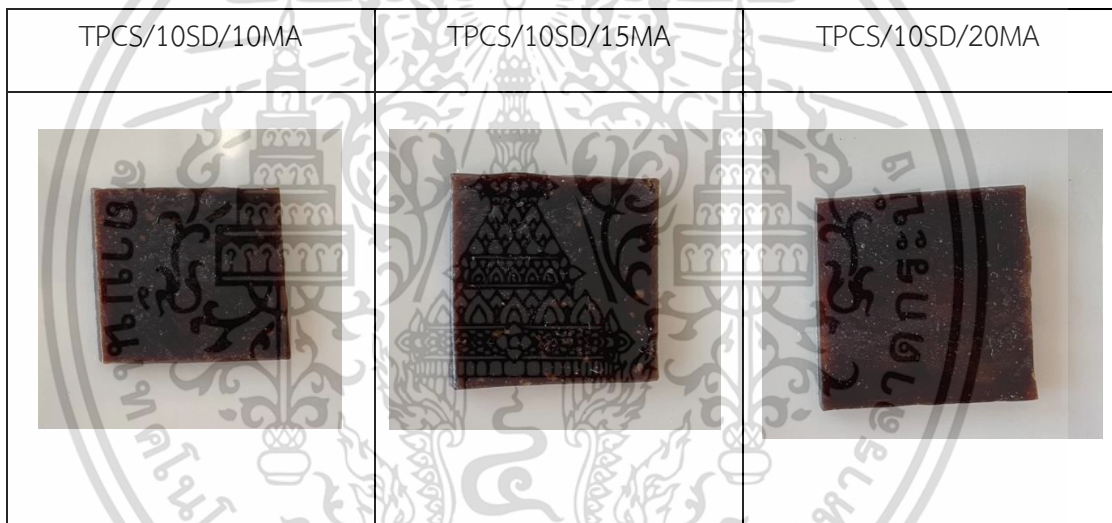
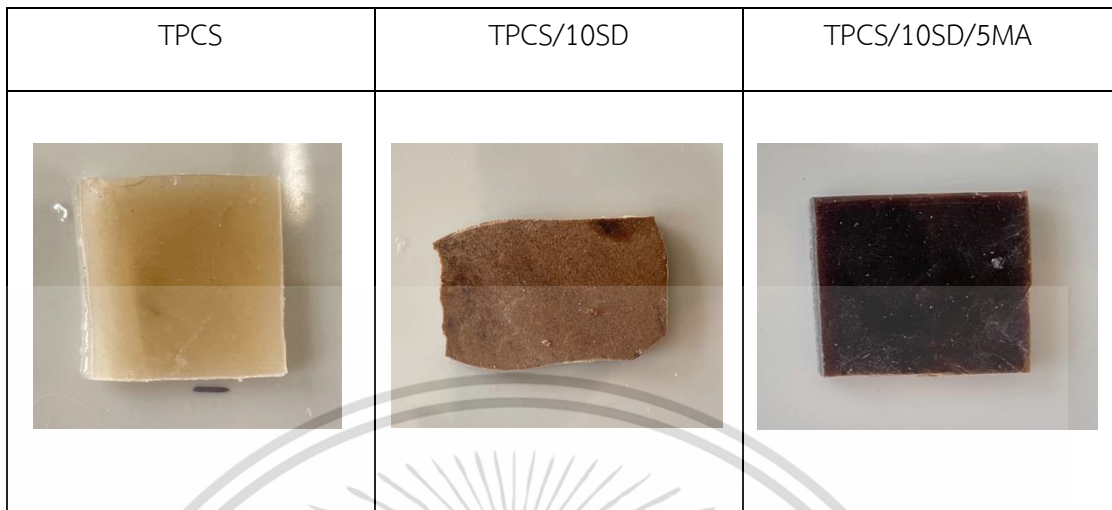
## ภาคผนวก ค

ตารางแสดงอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (L/D) ของซี่เลื่อย

ชิ้นงาน	ความยาว (L)	ความกว้าง (D)	L/D ratio
1	101	34.7	2.91
2	72.1	24.4	2.95
3	98	51.2	1.91
4	102	57.4	1.77
5	163	58.2	2.80
6	95.7	54.9	1.74
7	99.8	25.1	3.98
8	96.6	58.6	1.65
9	121	74.1	1.63
10	88.4	37.5	2.36
11	117	33.2	3.52
12	112	50.7	2.21
13	95.4	44.6	2.14
14	120	60.9	1.97
15	128	27.5	4.65
16	101	34.7	2.91
17	110	25.4	4.33
18	81	21.7	3.73
19	90.7	24.4	3.72
20	95.4	36.5	2.61
ค่าเฉลี่ย	104.41±19.44	41.79±15.45	2.77±0.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง



- (ก) ลักษณะชิ้นงานคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วย ไข่λεύไม่ส้ก และกรดแมนดีลิกในปริมาณต่าง ๆ ก่อนการทดสอบการดูดซับความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) ลักษณะชิ้นงานคอมพอลิซเทอริโมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วย  
 ซีลี้อยไม้สัก และกรดแมนดีลิกในปริมาณต่าง ๆ หลังการทดสอบการดูดซับความชื้นเป็นเวลา 10  
 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นที่มีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์  $99 \pm 1$  เปอร์เซ็นต์ ของคอมพอลิทเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีล้อยไม้สักในปริมาณ 10 phr และกรดแมนดีลิกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr

สูตร	เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้น (%)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TPCS	0.00	40.35	61.93	69.09	74.88	80.82	85.80	88.95	90.85	91.37	92.03
TPCS/10SD	0.00	35.94	54.65	61.57	63.95	66.68	69.67	71.59	73.57	74.37	74.86
TPCS/10SD /5MA	0.00	36.12	56.69	62.90	65.96	68.69	71.37	73.86	75.76	76.04	76.59
TPCS/10SD/ 10MA	0.00	37.29	58.89	64.65	67.47	70.27	72.49	74.98	76.06	76.75	76.26
TPCS/10SD /15MA	0.00	40.49	58.94	64.90	67.97	70.96	73.47	75.38	77.04	77.69	77.95
TPCS/10SD /20MA	0.00	40.57	59.23	65.02	68.48	71.59	74.04	76.04	78.25	78.84	79.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

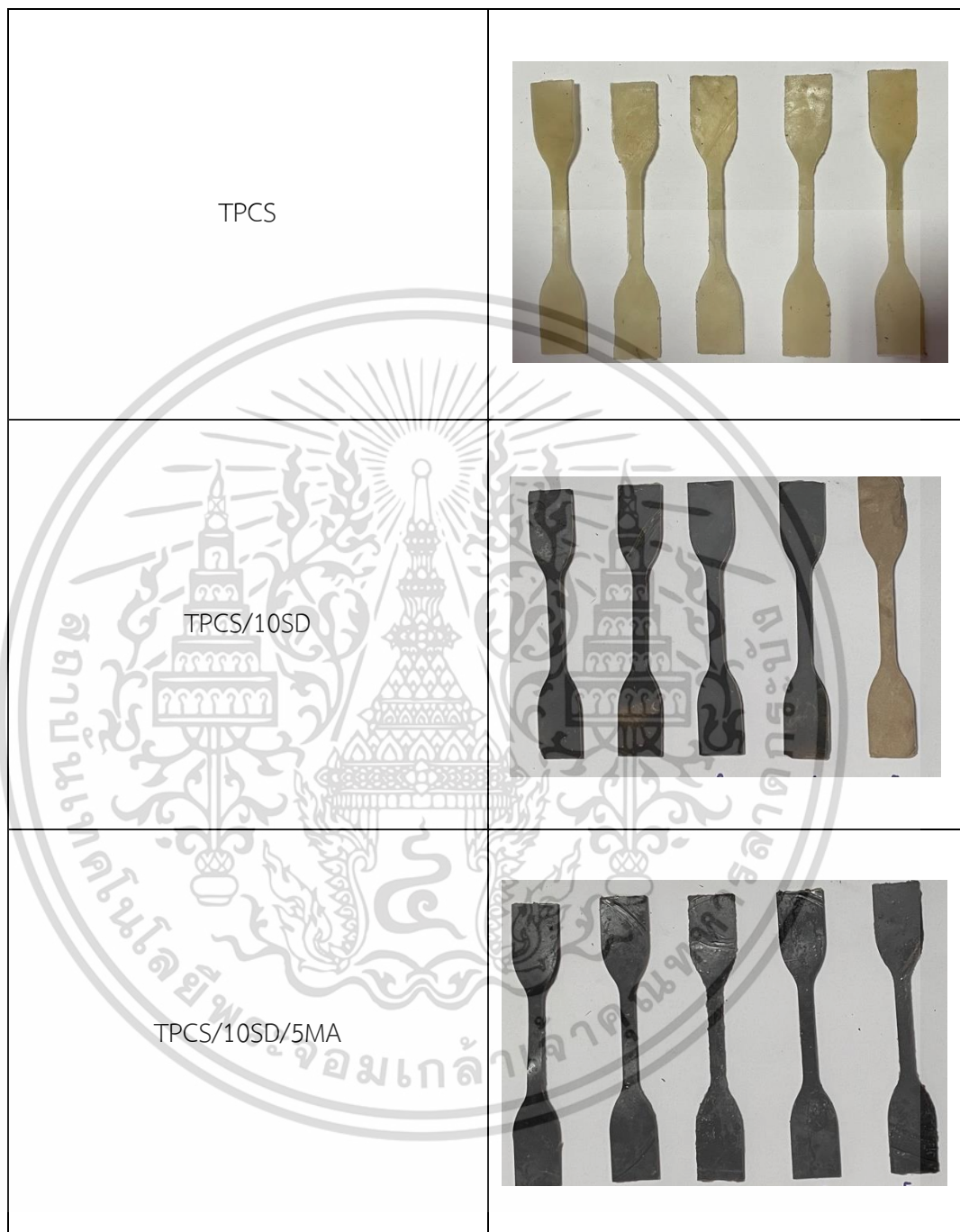
## ภาคผนวก จ

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนจากแป้งมันสำปะหลังโดยเสริมแรงด้วยซีลีเนียมไม่สกัด และกรดแมนติลิกในปริมาณต่าง ๆ

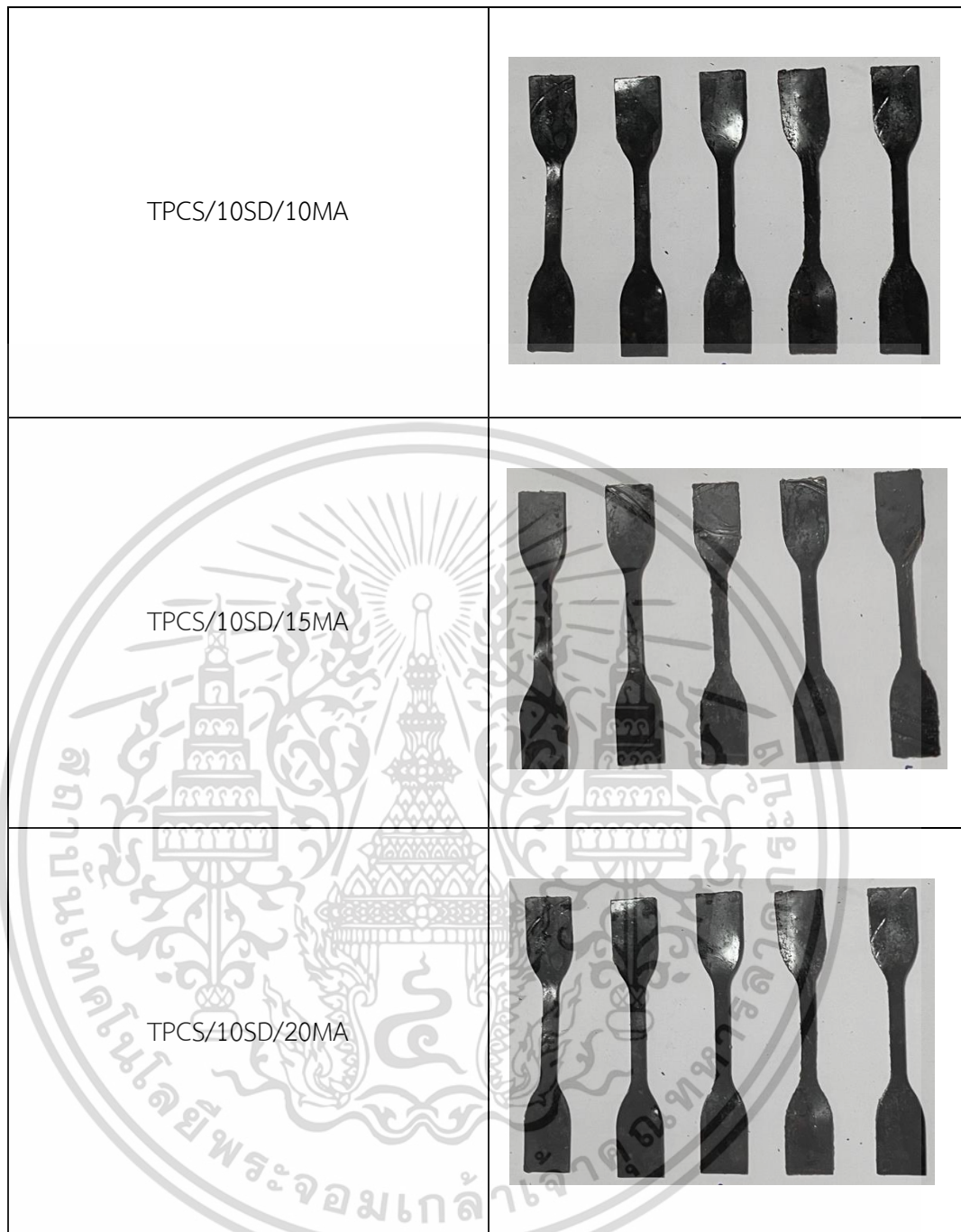
ตัวอย่าง	สมบัติเชิงกล		
	ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (MPa)	มอดุลัส (MPa)	ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด
TPCS	2.46±0.24	22.88±3.33	54.94±3.49
TPCS/10SD	2.95±0.26	126.53±2.24	6.91±1.23
TPCS/10SD/5MA	1.26±0.17	11.53±0.46	34.36±3.37
TPCS/10SD/10MA	0.66±0.09	6.57±0.70	28.02±2.41
TPCS/10SD/15MA	0.47±0.01	3.35±0.46	21.00±1.19
TPCS/10SD/20MA	0.31±0.03	2.36±0.69	19.32±2.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ฉ







เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





- (ก) ลักษณะชิ้นงานคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียม และกรดแมนดีลิกในปริมาณต่าง ๆ ก่อนการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยการฝังดิน 2 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<p>TPCS</p>	
<p>TPCS/10SD</p>	
<p>TPCS/10SD/5MA</p>	
<p>TPCS/10SD/10MA</p>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TPCS/10SD/15MA	
TPCS/10SD/20MA	

- (ข) ลักษณะชิ้นงานคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียม และกรดแมนดีลิกในปริมาณต่าง ๆ หลังการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยการฝังดิน 2 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลหลังทำการทดสอบการย่อยสลายชีวภาพโดยการฝังดินเป็นเวลา 2 วัน ของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียม และกรดแมนดีลิกในปริมาณต่าง ๆ

**ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด**

ตัวอย่าง	Stress at maximum load (MPa)
TPCS	0.61±0.02
TPCS/10SD	1.14±0.15
TPCS/10SD/5MA	0.12±0.01
TPCS/10SD/10MA	0.07±0.01
TPCS/10SD/15MA	0.03±0.00
TPCS/10SD/20MA	0.03±0.00

**มอดุลัส**

ตัวอย่าง	Young's modulus (MPa)
TPCS	0.83± 0.02
TPCS/10SD	20.63±0.23
TPCS/10SD/5MA	0.94±0.01
TPCS/10SD/10MA	0.41±0.08
TPCS/10SD/15MA	0.16±0.01
TPCS/10SD/20MA	0.1± 0.02

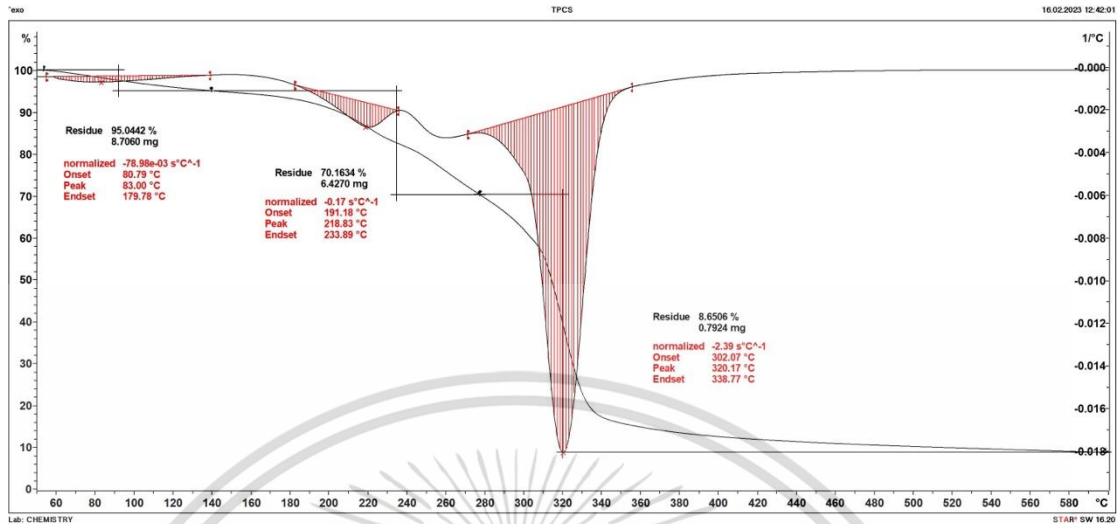
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด

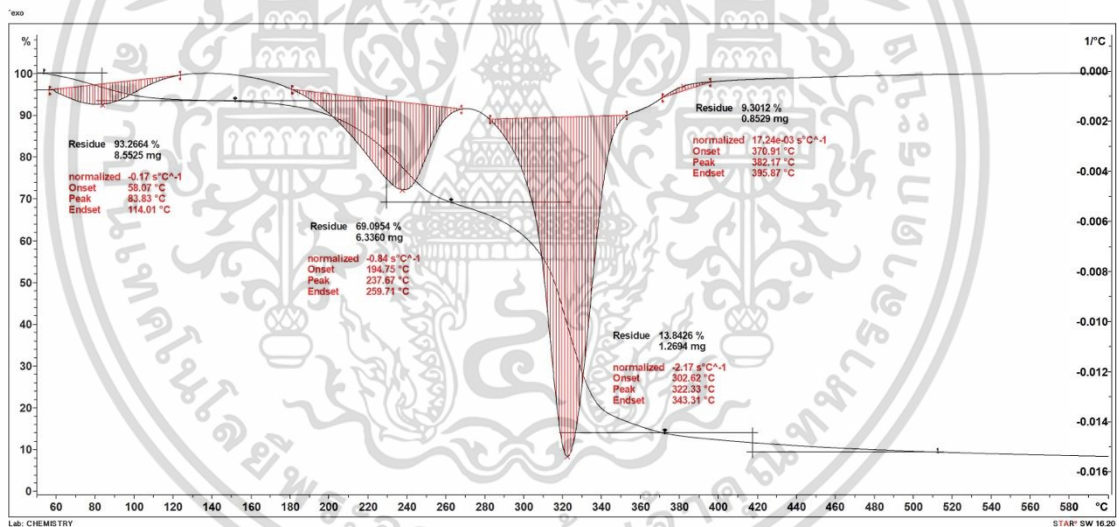
ตัวอย่าง	Strain at maximum load (%)
TPCS	118.94±2.43
TPCS/10SD	4.335±0.07
TPCS/10SD/5MA	27.07±2.27
TPCS/10SD/10MA	19.03±0.27
TPCS/10SD/15MA	12.355±1.16
TPCS/10SD/20MA	5.435±1.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

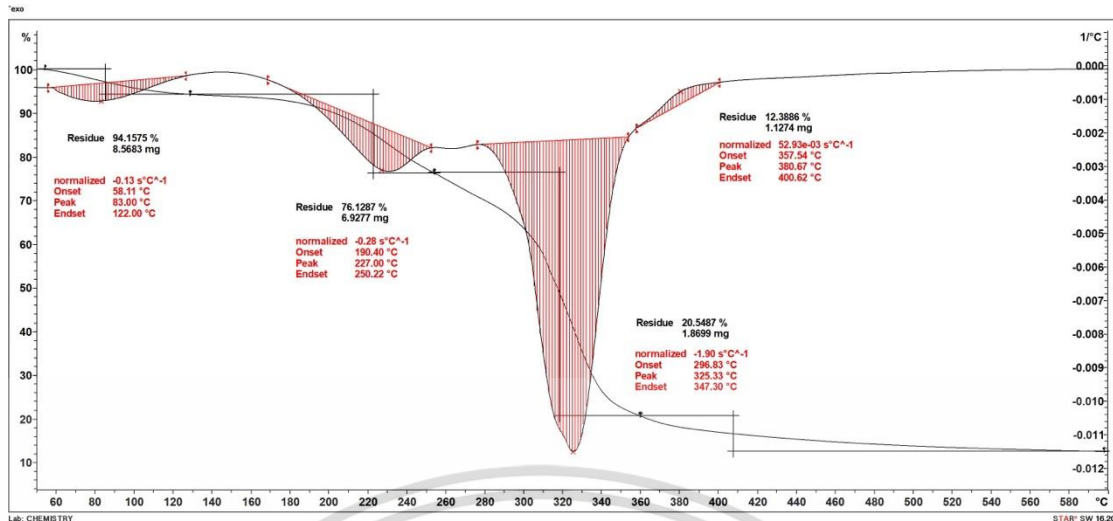


(ก) TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ

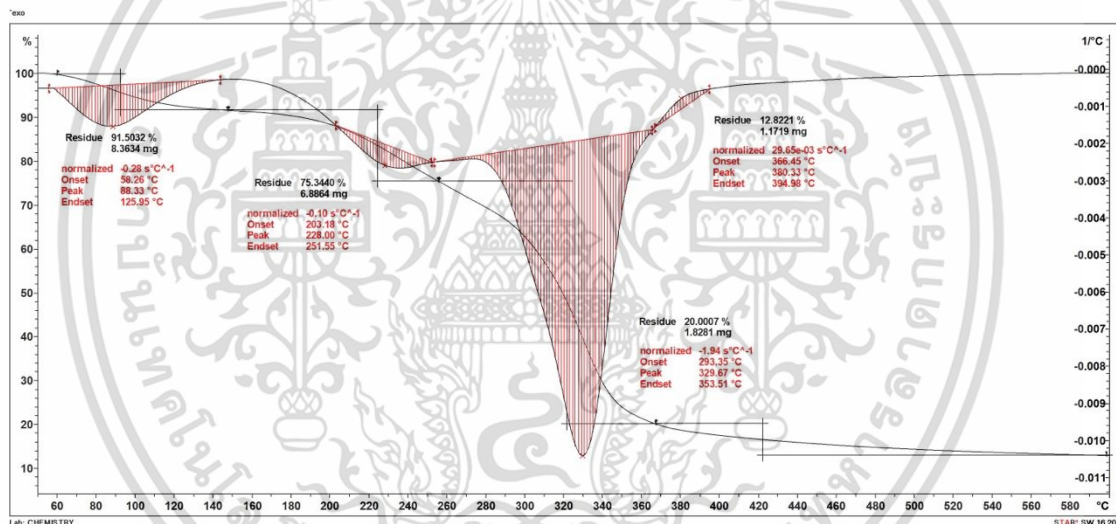


(ข) TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลีเนียม 10 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

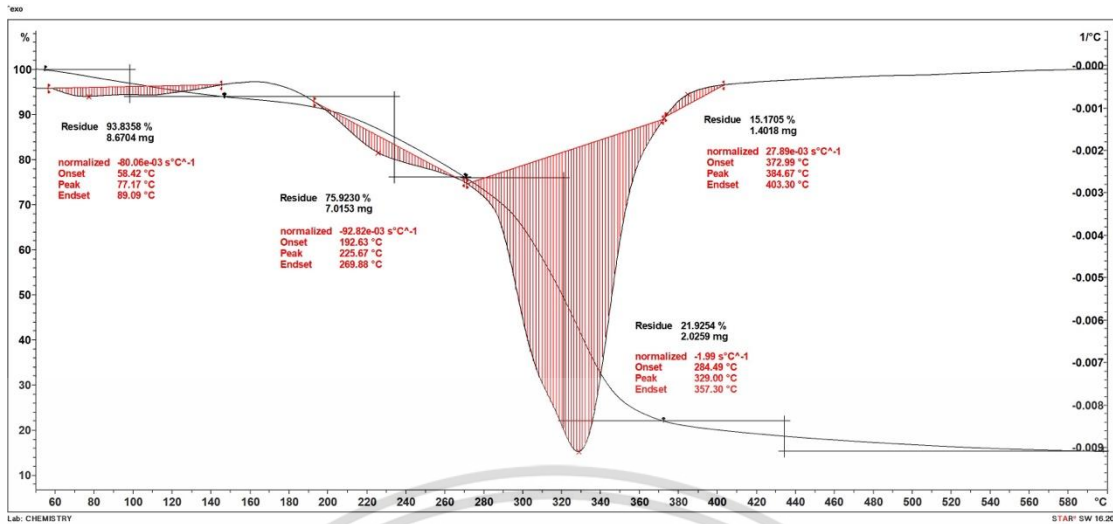


(ค) TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาติคจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลีอัยไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนติลิก 5 phr

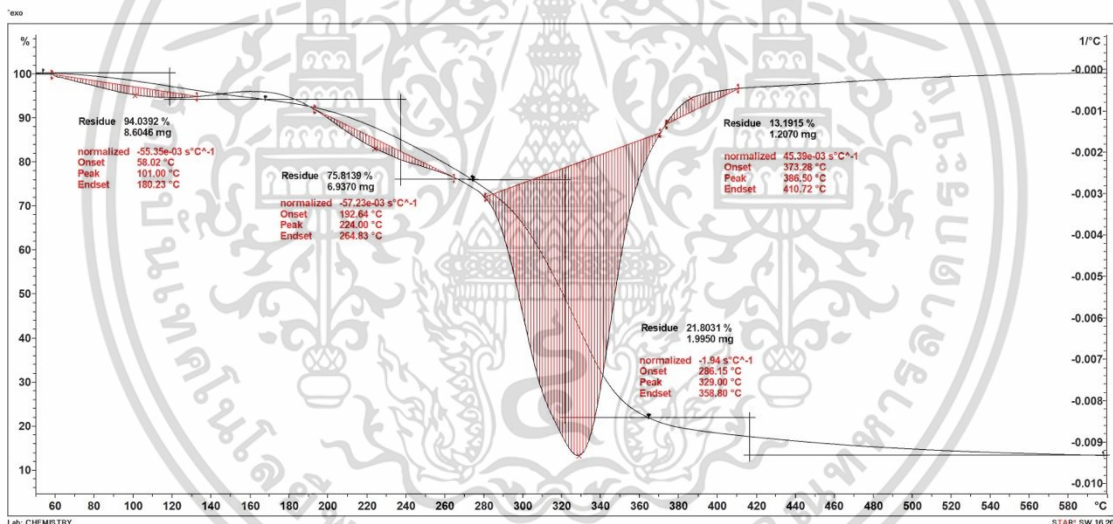


(ง) TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาติคจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลีอัยไม้สัก 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนติลิก 10 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลีอ์ไมล์ 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนติลิก 15 phr



(ฉ) TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลีอ์ไมล์ 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแมนติลิก 20 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 22 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2566

ข้าพเจ้า นายกรรณ

โตอุตชนม์

รหัสนักศึกษา 62050256

นางสาวพรนัชชา

ลาสา

รหัสนักศึกษา 62050310

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชา เคมี  
ขอรับรองว่าโครงการพิเศษเรื่อง

ชื่อภาษาไทย การปรับปรุงสมบัติของคอมพอลิเมอร์โพลีพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและ  
ซีเลื่อยไม้สัก โดยกรดแมนดีลิก

ชื่อภาษาอังกฤษ Modification of Thermoplastic Cassava Starch/Teak Sawdust Composites  
by Mandelic Acid

ปีการศึกษา 2565

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อน  
เรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่ม  
โครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว  
โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 9.38 %

ลงชื่อ.....*กรรณ โตอุตชนม์*.....

ลงชื่อ.....*พรนัชชา ลาสา*.....

(นายกรรณ โตอุตชนม์)

(นางสาวพรนัชชา ลาสา)

นักศึกษา

นักศึกษา

ข้าพเจ้า รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษ  
ของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์  
จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....*จุฑารัตน์*.....

(รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้