

ผลของกรดเบนโซอิกที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของคอมพอลิธ  
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชแป้งข้าวโพดเสริมแรงด้วย  
ซีเลื่อยไม้จามจู้รี

EFFECT OF BENZOIC ACID ON PROPERTIES OF  
THERMOPLASTIC CORN STARCH/RAIN TREE WOOD  
COMPOSITES



โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF BENZOIC ACID ON PROPERTIES OF  
THERMOPLASTIC CORN STARCH/RAIN TREE WOOD  
COMPOSITES



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อโครงการพิเศษ** ผลของกรดเบนโซอิกที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชแปงข้าวโพดเสริมแรงด้วยซีเลื่อยไม้จามจู้รี  
Effect of benzoic acid on properties of thermoplastic corn starch/  
Rain tree wood composites

**ชื่อนักศึกษา** นางสาวธิดาพร จันทะนิตย์ รหัสนักศึกษา 58050484  
นางสาวบัณฑิตา ม่วงมี รหัสนักศึกษา 58050493

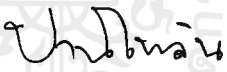
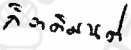

**ปริญญา** วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

**ภาควิชา** เคมี

**ปีการศึกษา** 2561

**อาจารย์ที่ปรึกษา** รองศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ปานไพลิน สีหาราช ประธานกรรมการ	
ดร. กิตติมนต์ จิระกิตติดุลย์ กรรมการ	
รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>หัวข้อโครงการพิเศษ</b>	ผลของกรดเบนโซอิกที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชแปงข้าวโพดเสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้จามจู้ Effect of benzoic acid on properties of thermoplastic corn starch/ Rain tree wood composites		
<b>ชื่อนักศึกษา</b>	นางสาวธิดาพร จันทะนิตย์	รหัสนักศึกษา	58050484
	นางสาวบัณฑิตา ม่วงมี	รหัสนักศึกษา	58050493
<b>ปริญญา</b>	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
<b>ภาควิชา</b>	เคมี		
<b>คณะ</b>	วิทยาศาสตร์		
<b>มหาวิทยาลัย</b>	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
<b>ปีการศึกษา</b>	2561		
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>	รองศาสตราจารย์ ดร.จตุรรัตน์ ปรีชญาวรากร		

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาและปรับปรุงสมบัติของพลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยเตรียมจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวโพด (Thermoplastic corn starch, TPCS) โดยศึกษาผลของส่วนเสริมแรง คือ ซีลี้อย (Sawdust) ของไม้จามจู้ (Rain tree, *Samanea saman* (Jacq.) Merr.) และศึกษาผลของสารต้านทานจุลินทรีย์ (Preservative) คือ กรดเบนโซอิก (Benzoic acid) โดยทำการผสมแป้งข้าวโพด และกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ในอัตราส่วนผสมของแป้ง และกลีเซอรอล เท่ากับ 60 : 40 เพื่อเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวโพด จากนั้นนำไปเสริมแรงด้วยซีลี้อยในอัตราส่วน 10 phr (TPCS/10SD) และ 20 phr (TPCS/20SD) และใส่กรดเบนโซอิก 1 phr (TPCS/1BA) และ 5 phr (TPCS/5BA) จากการศึกษาการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน พบว่าเกิดการสั่นแบบ O-H Stretching และ O-H Bending มีตำแหน่งของเลขคลื่นเคลื่อนไปยังตำแหน่งที่ลดลงเมื่อเติมซีลี้อยและพบพีคใหม่ที่ตำแหน่งเลขคลื่นที่  $1733\text{ cm}^{-1}$  เกิดจากการสั่นแบบ C=O Stretching ของลิกนินหรือเซลลูโลสในซีลี้อยแสดงให้เห็นว่าเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างแป้งกับซีลี้อย นอกจากนี้เมื่อเติมซีลี้อย พบว่าซีลี้อยสามารถกระจายตัวได้ดีใน เมทริกซ์ของ TPCS ได้ดี และเมื่อเติมกรดเบนโซอิกทำให้ชั้นงานมีพื้นผิวที่เรียบมากขึ้น แสดงให้เห็นการเข้ากันได้ของสองวัสดุภาค นอกจากนี้คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงด้วยซีลี้อย 20 phr มีค่าการดูดความชื้นต่ำที่สุด และค่าความแข็งแรงดึง และมอดุลัสสูงที่สุด แต่เมื่อเติมกรดเบนโซอิก 5 phr (TPCS/5BA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้มีการดูดความชื้นมากที่สุดและมีสมบัติเชิงกลต่ำสุด ในส่วนสมบัติการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้ทุกสูตรสามารถย่อยสลายได้จากสมบัติเชิงกลที่ลดลงหลังการฝังดินและเมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิก 5 phr (TPCS/5BA) พบว่ามีความสามารถย่อยสลายได้เร็วที่สุด ส่วนอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้ ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการใช้ซีลีเนียมและกรดเบนโซอิกและการศึกษาสมบัติการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าเมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิก 5 phr (TPCS/5BA) สามารถต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ แกรมลบ *Esherichian coli (E.coli)* และ ชนิดแกรมบวก *Staphylococcus aureus (S.aureus)* ได้ดีที่สุด

**คำสำคัญ :** กรดเบนโซอิก, ซีลีเนียม, เทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้, แป้งข้าวโพด, สารต้านทานจุลินทรีย์



Title	Effect of benzoic acid on properties of thermoplastic corn starch/ Rain tree wood composites
Student	Miss Thidaporn Junthanit Student ID 58050484 Miss Bunthita Muangmee Student ID 58050493
Degree	Bechelor of Science (Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2018
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Jutarat Prachayawarakorn

### Abstract

This special project studied on properties of biodegradable plastic prepared from thermoplastic corn starch (TPCS). TPCS was reinforced by rain tree (*Samanea saman* (Jacq.) Merr.) wood sawdust and benzoic acid was added as a preservative. The sample was prepared by mixing corn starch with glycerol plasticizer at the weight ratio of 60 : 40. Different ratios of sawdust at 10 phr (TPCS/10SD) and 20 phr (TPCS/20SD) as well as benzoic acid at 1 phr (TPCS/1BA) and 5 phr (TPCS/5BA) on properties of the composites were also examined. It was found from FT-IR study that the peaks of O-H stretching and O-H bending shifted to lower wavenumber, presenting the new hydrogen bonding formation. The new peak position at  $1733\text{ cm}^{-1}$ , attributed to C=O stretching vibration of lignin or cellulose from sawdust, was also observed. Moreover, the sawdust was well distributed into the TPCS matrix. When the benzoic acid was added into the TPCS matrix, smooth fracture surface was observed, indicating of the compatibility between the two phases. In addition, TPCS/20SD showed the lowest percentage of moisture up take, the highest the stress at maximum load and Young's modulus. On the other hand, TPCS/5BA exhibited the highest moisture uptake and the lowest strength. For biodegradability, all samples showed ability to degrade, observed by the decreased mechanical properties after a soil burial test; especially for TPCS/5BA that showed the quickest biodegradability. Thermal degradation temperature for all composite remained of TPCS unchanged by the incorporation of sawdust and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

benzoic acid. From antimicrobial test of TPCS with benzoic acid 5 phr showed the antimicrobial activity against both *S.aureus* and *E.coli*

**Keyword** : benzoic acid, sawdust, thermoplastic starch, corn starch, preservative



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณทุกท่านดังนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จุฬารัตน์ ปรัชญาวรากร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษเป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และการช่วยเหลือในการทำงานโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปานไพลิน สีหาราช และ ดร.กิตติมนต์ จิระกิตติคุณย์ ที่กรุณาเป็นกรรมการตลอดจนให้คำแนะนำเพื่อให้โครงการพิเศษนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และ คุณสุดใจ สอนสะอาด ที่ได้ให้ความรู้และข้อแนะนำดีๆ เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัยโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ที่ที่ศูนย์เครื่องมือ อาคารจุฬารามวลัยลักษณ์ 2 คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือและสอนเทคนิคต่างๆเกี่ยวกับเครื่องมือ

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน ตลอดจนเป็นกำลังใจและคอยสนับสนุน ในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ และผู้ที่ให้โอกาสต่อคณะผู้จัดทำ จนทำให้ประสบความสำเร็จในการศึกษา คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ธิดาพร จันทร์นิตย์

บัณฑิตา ม่วงมี

# สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ค
กิตติกรรมประกาศ .....	จ
สารบัญ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญรูป .....	ฎ
คำย่อ/สัญลักษณ์ .....	ท
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย .....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	<b>4</b>
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลาสติก .....	4
2.2 ประเภทของพลาสติก .....	4
2.2.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) .....	4
2.2.2 เทอร์โมเซต (Thermoset) .....	5
2.3 พลาสติกที่ใช้มากในปัจจุบัน .....	5
2.3.1 พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต .....	5
2.3.2 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง .....	5
2.3.3 พอลิไวนิลคลอไรด์ .....	6
2.3.4 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ .....	6
2.3.5 พอลิโพรพิลีน .....	6
2.3.6 พอลิสไตรีน .....	6
2.3.7 พลาสติกอื่นๆ .....	6
2.4 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ .....	7
2.5 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ .....	7
2.5.1 การย่อยสลายทางกล .....	7
2.5.2 การย่อยสลายได้โดยแสง .....	7
2.5.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส .....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5.4 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน .....	8
2.6 การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ .....	9
2.6.1 ประโยชน์ทางการด้านการแพทย์ .....	9
2.6.2 ประโยชน์ทางการด้านการเกษตร .....	9
2.6.3 ประโยชน์ทางการด้านบรรจุภัณฑ์ .....	10
2.7 การใช้ประโยชน์จากเทอร์โมพลาสติกจากแป้งข้าวโพด .....	10
2.8 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแป้ง .....	10
2.9 องค์ประกอบหลักทางเคมีของแป้ง .....	11
2.9.1 อะมิโลส (Amylose) .....	11
2.9.2 อะมิโลเพกติน (Amylopectin) .....	11
2.10 สมบัติของแป้ง (Starch properties) .....	13
2.10.1 การดูดซึมน้ำ และการละลาย .....	13
2.10.2 การเกิดเจลสติโนเซชัน .....	13
2.10.3 การคืนตัวของแป้งสุก .....	13
2.10.4 ความหนืด .....	14
2.11 แป้งข้าวโพด (Corn starch) .....	15
2.11.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแป้งข้าวโพด .....	16
2.12 เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch) .....	17
2.13 พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) .....	18
2.13.1 กลีเซอรอล (Glycerol) .....	18
2.14 สารต้านทานจุลินทรีย์ (Preservative) .....	18
2.14.1 สมบัติของสารต้านทานจุลินทรีย์ .....	19
2.14.2 กรดเบนโซอิก (Benzoic acid) .....	19
2.15 ไม้จามจรี (Rain tree) .....	20
2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	22
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....</b>	<b>27</b>
3.1 สารเคมีที่เกี่ยวข้อง .....	27
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง .....	27
3.3 การทดลอง .....	30
3.3.1 การเตรียมซีลี้อย .....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.3.2 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพด .....	30
3.3.3 การปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซด้วยซีลีออยและกรดเบนโซอิก ...	30
3.4 การทดสอบสมบัติต่างๆ .....	32
3.4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน .....	32
3.4.2 การดูดความชื้น .....	32
3.4.3 การทดสอบสัณฐานวิทยา .....	32
3.4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล .....	33
3.4.5 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน .....	34
3.4.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อน .....	34
3.4.7 การทดสอบการต้านทานจุลินทรีย์ .....	34
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล</b> .....	<b>35</b>
4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน .....	36
4.2 การดูดซับความชื้น .....	40
4.3 สัณฐานวิทยา .....	44
4.4 สมบัติเชิงกล .....	49
4.5 สมบัติการย่อยสลายโดยการฝังดิน .....	52
4.6 สมบัติทางความร้อน .....	55
4.7 การต้านทานจุลินทรีย์ .....	62
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b> .....	<b>64</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	64
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	66
เอกสารอ้างอิง .....	67
ภาคผนวก .....	71
ภาคผนวก ก .....	72
ภาคผนวก ข .....	73
ภาคผนวก ค .....	78
ภาคผนวก ง .....	82
ภาคผนวก จ .....	83
ภาคผนวก ฉ .....	85
ภาคผนวก ช .....	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง

หน้า

ภาคผนวก ข ..... 93



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต .....	5
2.2 สมบัติที่แตกต่างกันของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน .....	12
2.3 สมบัติของแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะมิโลสต่างกัน .....	12
2.4 องค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวโพด .....	16
2.5 สมบัติของแป้งข้าวโพด .....	16
2.6 สมบัติของกรดเบนโซอิก .....	20
3.1 องค์ประกอบของแป้งข้าวโพด .....	27
3.2 อัตราส่วนของแป้งข้าวโพด กลีเซอรอล และซีลี้อยู่ที่ใช้ในการเตรียมคอมพอสิต เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช .....	31
3.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของ TPCS/SD .....	33
4.1 แสดงความหมายของอักษรย่อที่ใช้ในการทดลอง .....	35
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและลักษณะการสั่น .....	36
4.3 อุณหภูมิการสลายตัว ( $^{\circ}\text{C}$ ) ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุง สมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ในปริมาณ 10 และ 20 phr .....	56
4.4 อุณหภูมิการสลายตัว ( $^{\circ}\text{C}$ ) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของ TPCS ที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ ด้วยซีลี้อยู่และปรับปรุงด้วยกรดเบนโซอิกในปริมาณ 1 และ 5 phr .....	58
4.5 อุณหภูมิการสลายตัว ( $^{\circ}\text{C}$ ) ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุง สมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่างๆ .....	61
4.6 ประสิทธิภาพการต้านทานจุลินทรีย์ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวโพดที่ ปรับปรุงสมบัติเสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่างๆ .....	62

## สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของอะมิโลส .....	11
2.2 โครงสร้างของอะมิโลเพกติน .....	12
2.3 การคืนตัวของแป้ง .....	14
2.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน .....	15
2.5 โครงสร้างทางเคมีของกลีเซอรอล .....	18
2.6 โครงสร้างของกรดเบนโซอิก .....	20
2.7 ไม้จามจูรี โดย (ก) ต้นจามจูรี และ (ข) เนื้อไม้จามจูรี .....	20
3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนในการทดลอง .....	29
3.2 ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ .....	33
4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรล โดยเสริมแรงด้วยซีลีออยใน อัตราส่วนต่าง ๆ โดย (ก) TPCS (ข) TPCS/10SD และ (ค) TPCS/20SD.....	37
4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรลโดยปรับปรุงสมบัติการต้านทาน จุลินทรีย์ด้วยกรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่าง ๆ โดย (ก) TPCS (ข) TPCS/1BA (ค) TPCS/5BA .....	37
4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรลโดยเสริมแรงด้วยซีลีออยใน อัตราส่วน 10 phr และสารต้านทานจุลินทรีย์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ โดย (ก) TPCS (ข) TPCS/10SD (ค) TPCS/10SD/1BA (ง) TPCS/10SD/5BA .....	38
4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรลโดยเสริมแรงด้วยซีลีออยใน อัตราส่วน 20 phr และสารต้านทานจุลินทรีย์ ในอัตราส่วนต่าง ๆ โดย (ก) TPCS (ข) TPCS/20SD (ค) TPCS/20SD/1BA (ง) TPCS/20SD/5BA .....	38
4.5 เพอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งข้าวโพดที่ ปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลีออยในอัตราส่วน 10 และ 20 phr .....	40
4.6 เพอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งข้าวโพดที่ ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr .....	41
4.7 เพอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งข้าวโพดที่ ปรับปรุงด้วยเสริมแรงโดยซีลีออยในอัตราส่วน 10 phr และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr .....	41
4.8 เพอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งข้าวโพดที่ ปรับปรุงด้วยเสริมแรงโดยซีลีออยในอัตราส่วน 20 phr และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr .....	42

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ลักษณะสัณฐานวิทยาของซีลี้อย เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า .....	44
4.10 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติเมื่อ ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 3000 เท่า ...	45
4.11 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติโดย เสริมแรงด้วยซีลี้อยในอัตราส่วน 10 และ 20 phr เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 3000 เท่า .....	45
4.12 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติด้วย กรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 3000 เท่า .....	46
4.13 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุง สมบัติด้วยกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 3000 เท่า .....	47
4.14 ลักษณะสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ ปรับปรุงโดยเสริมแรงด้วยซีลี้อยในอัตราส่วน 10 และ 20 phr และกรดเบนโซอิกใน อัตราส่วน 1 และ 5 phr เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 3000 เท่า .....	48
4.15 สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติโดย เสริมแรงด้วยซีลี้อยในอัตราส่วน 10 และ 20 phr และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr (ก) ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (ข) มอดุลัส และ (ค) เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด .....	50
4.16 สมบัติเชิงกลก่อนและหลังฝังดินของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพด เสริมแรงด้วยซีลี้อยในปริมาณต่าง ๆ (ก) ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (ข) มอดุลัส และ (ค) เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด .....	53
4.17 สมบัติเชิงกลก่อนและหลังฝังดินของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพด และเสริมแรงด้วยซีลี้อยในอัตราส่วนต่างๆ และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 phr (ก) ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (ข) มอดุลัส และ (ค) เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด .....	54

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 เทอร์โมแกรมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติเสริมแรงด้วยซีลี้อย ในอัตราส่วนต่างๆ โดย (ก) TG และ (ข) DTG .....	55
4.19 เทอร์โมแกรมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติด้วยสารต้านทานจุลินทรีย์ในอัตราส่วนต่างๆ โดย (ก) TG และ (ข) DTG .....	57
4.20 เทอร์โมแกรมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติเสริมแรงโดยซีลี้อยในอัตราส่วน 10 phr และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่างๆ โดย (ก) TG และ (ข) DTG .....	59
4.21 เทอร์โมแกรมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติเสริมแรงโดยซีลี้อยในอัตราส่วน 20 phr และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่างๆ โดย (ก) TG และ (ข) DTG .....	60

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
BA	กรดเบนโซอิก
SD	ซีลี้อย
TPCS	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ
TPCS/10SD	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ใช้ซีลี้อย 10 phr
TPCS/20SD	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ใช้ซีลี้อย 20 phr
TPCS/1BA	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ใช้กรดเบนโซอิก 1 phr
TPCS/5BA	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ใช้เบนโซอิก 5 phr
TPCS/10SD/1BA	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ใช้ซีลี้อย 10 phr และกรดเบนโซอิก 1 phr
TPCS/10SD/5BA	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ใช้ซีลี้อย 10 phr และกรดเบนโซอิก 5 phr
TPCS/20SD/1BA	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ใช้ซีลี้อย 20 phr และกรดเบนโซอิก 1 phr
TPCS/20SD/5BA	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ใช้ซีลี้อย 20 phr และกรดเบนโซอิก 5 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ (Bioplastic degradable plastic) เป็นพลาสติกที่ผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติและสามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ วัสดุธรรมชาติที่นำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพมีหลายชนิดส่วนใหญ่จะได้มาจากพืช เช่น เซลลูโลส (Cellulose) คอลลาเจน (Collagen) เคซีน (Casein) พอลิเอสเตอร์ (Polyester) แป้ง (Starch) และโปรตีนจากถั่ว (Soy protein) เป็นต้น ซึ่งแป้งเป็นวัสดุธรรมชาติที่นิยมนำมาผลิตพลาสติกชีวภาพมากที่สุดเพราะหาได้ง่าย มีปริมาณมากและราคาถูก เนื่องจากสามารถผลิตแป้งได้จากพืชหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี มันฝรั่ง มันเทศ มันสำปะหลัง เป็นต้น สำหรับประเทศไทยพืชที่นิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกชีวภาพ คือ ข้าวโพดและมันสำปะหลัง เนื่องจากเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีปริมาณมากและราคาถูก พลาสติกชีวภาพเมื่อย่อยสลายหมดแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตได้ ปัจจุบันได้มีการนำแป้งจากพืชเหล่านี้มาผลิตพลาสติก แผ่นฟิล์ม แผ่นซีท เนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ โดยที่มีแป้งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) เพราะโดยทั่วไปแล้วแป้งไม่สามารถขึ้นรูปได้โดยกระบวนการทางความร้อนเหมือนพลาสติกทั่วไป เนื่องจากเกิดการไหม้และเสื่อมสภาพก่อนหลอม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาแป้งให้เป็นเทอร์โมพลาสติกเพื่อให้สามารถขึ้นรูปได้โดยกระบวนการเดียวกับพลาสติกทั่วไป [1]

ข้อจำกัดของแป้งที่นำมาใช้ในการผลิตพลาสติก คือ โครงสร้างผลึกในเม็ดของแป้งมีความแข็งแรงมาก เม็ดแป้งโดยธรรมชาติไม่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก จึงไม่สามารถหลอมละลายได้ หากเราให้ความร้อนแก่แป้งที่ปราศจากความชื้น แทนที่จะหลอมเหลว เม็ดแป้งจะเกิดการเผาไหม้และสลาย จึงมีการเติมสารเติมแต่ง (Additive) ที่เรียกว่า พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) ลงไปเพื่อลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้ง ทำให้แป้งสามารถหลอมขึ้นรูปได้ โดยพลาสติไซเซอร์ที่นิยมใช้กันคือ กลีเซอรอล (Glycerol) เนื่องจากราคาถูก พลาสติกที่ผลิตจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีข้อจำกัดที่สำคัญสองประการ คือ มีสมบัติเชิงกลต่ำ (Poor mechanical properties) และดูดความชื้นสูง (High moisture absorption) จึงมีการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ซึ่งสามารถทำได้โดยวิธีใช้เส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber) ตัวอย่างเช่น ฝ้าย ลิ้น ป่าน เส้นใยไม้หรือซีลี้อย เป็นต้น ซึ่งเส้นใยไม้ถือเป็นเส้นใยธรรมชาติที่หาได้ง่าย ราคาถูก

และย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ โดยปกติแล้วเส้นใยทางธรรมชาติจะเป็นที่นิยมนำมาใช้เป็นส่วนของการเสริมแรงของวัสดุ เนื่องจากมีความแข็งแรงและความหนาแน่นต่ำ [1]

จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีการปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังและเทอร์โมพลาสติกสตาโรซแอซิเทตจากแป้งมันสำปะหลัง โดยนำมาเสริมแรงด้วยขี้เลื่อยจากไม้สะเดา เพื่อปรับปรุงสมบัติโดยใช้ขี้เลื่อยในปริมาณต่าง ๆ และขนาดต่าง ๆ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณขี้เลื่อยมากขึ้น สมบัติเชิงกลดีขึ้น เพราะขี้เลื่อยทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงและยัง พบว่าสมบัติเชิงกลต่ำลง เมื่อความชื้นในบรรยากาศเพิ่มขึ้น แต่ผลของขนาดอนุภาคของขี้เลื่อยจากไม้สะเดา ไม่มีผลต่อการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังและเทอร์โมพลาสติกสตาโรซแอซิเทตจากแป้งมันสำปะหลัง [2]

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่ปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ที่เตรียมจากเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพด โดยศึกษาผลของส่วนเสริมแรงของชนิดขี้เลื่อยไม้เนื้ออ่อน (Softwood sawdust) ได้แก่ ไม้สัก (Teakwood, *Tectona grandis* L.f.) และไม้เนื้อแข็ง (Hard wood) ได้แก่ ไม้แดง (Iron wood, *Xylocarpa*) ในอัตราส่วน 0, 10, 20 และ 30 phr โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ในอัตราส่วนผสมแป้งกับกลีเซอรอลกับ 60 : 40 โดยผลพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่มีขี้เลื่อย 30 phr มีสมบัติที่แข็งแรงที่สุด และมีการดูดความชื้นน้อยลงเมื่อเพิ่มปริมาณขี้เลื่อยเมื่อเปรียบเทียบชนิดของขี้เลื่อยในปริมาณที่เท่ากัน พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรซเสริมแรงด้วยขี้เลื่อยไม้เนื้อแข็งมีสมบัติเชิงกลสูงกว่าขี้เลื่อยไม้เนื้ออ่อน [3]

จากการดูดซับความชื้นได้ดีส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกสตาโรซมีอายุการใช้งานที่ค่อนข้างสั้น ในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพด โดยใช้ขี้เลื่อยไม้จามจุรี (Rain tree, *Samanea saman* (Jacq.) Merr.) ซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งปานกลาง เป็นส่วนเสริมแรง โดยใช้อัตราส่วนของขี้เลื่อย 10 และ 20 phr โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์และใช้กรดเบนโซอิก สำหรับป้องกันและยับยั้งการทำลายผลิตภัณฑ์โดยจุลินทรีย์ต่าง ๆ เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ โดยอัตราส่วนของกรดเบนโซอิก 1 และ 5 phr โดยผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) และขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัดขึ้นรูป (Compression molding) เพื่อปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดให้มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น มีการดูดซับน้ำลดลง และมีอายุการใช้งานได้นานขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อเตรียมคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช โดยมีซีลี้อยเป็นส่วนเสริมแรงและมีกรดเบนโซอิกเป็นสารต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยซีลี้อยและกรดเบนโซอิกในปริมาณต่าง ๆ

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 เตรียมคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จากแป้งข้าวโพด กลีเซอรอลและซีลี้อย
- 1.3.2 ศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของซีลี้อย และกรดเบนโซอิกที่ทำให้คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีสมบัติที่ดีขึ้น
- 1.3.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน การดูดซับความชื้น สัมฐานวิทยา สมบัติเชิงกล สมบัติการย่อยสลายโดยการฝังดิน สมบัติทางความร้อน และสมบัติการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถขึ้นรูปชิ้นงานคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จากแป้งข้าวโพดเมื่อมีส่วนเสริมแรงด้วยซีลี้อย และต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกรดเบนโซอิก
- 1.4.2 สามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลและป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช โดยใช้ซีลี้อย และกรดเบนโซอิกได้
- 1.4.3 สามารถช่วยลดปริมาณการใช้พลาสติกที่ย่อยสลายยาก ที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุที่มนุษย์คิดค้นและประดิษฐ์ขึ้นเพื่อช่วยให้เรามีชีวิตที่สะดวกสบายยิ่งขึ้น ในอดีตเราไม่เคยรู้จักพลาสติกเลยจนกระทั่งกลางศตวรรษที่ 19 พลาสติกจัดเป็นสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยโมเลกุลซ้ำ ๆ กันต่อกันเป็นโมเลกุลสายยาวๆ ประกอบด้วยธาตุสำคัญ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน นอกจากนี้อาจมีธาตุอื่น ๆ เป็นส่วนประกอบย่อย ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน, ฟลูออรีน, คลอรีน, และกำมะถัน เป็นต้น บางครั้งพบว่ามีการใช้คำว่า "พลาสติก" และ "พอลิเมอร์" ในความหมายเดียวกัน หรือใกล้เคียงกัน แต่คำว่า "พอลิเมอร์" มักหมายถึงวัสดุประเภทพลาสติก ยาง เส้นใย และกาว ส่วนคำว่า "พลาสติก" จะหมายถึงสารผสมระหว่างพอลิเมอร์และสารเติมแต่ง เช่น สี สารพลาสติกไซเซอร์ สารเพิ่มเสถียรภาพ และฟิลเลอร์ ที่ถูกนำมาใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปโดยการขึ้นรูปให้มีรูปร่างต่าง ๆ เช่น ถัง งาน และชิ้น เป็นต้น [1]

### 2.2 ประเภทของพลาสติก

หากแบ่งประเภทของพลาสติกตามสมบัติทางความร้อน เราสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

#### 2.2.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์เป็นแบบเส้นตรงหรือแบบกิ่งสั้นๆ สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัว และหลอมเหลวเป็นของเหลวหนืดเนื่องจาก โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่พันกันอยู่สามารถเคลื่อนที่ผ่านกันไปได้ง่ายขึ้นเมื่อได้รับความร้อน และเมื่อเย็นตัวลงก็จะแข็งตัว ซึ่งการหลอมเหลวและเย็นตัวนี้สามารถเกิดกลับไปกลับมาได้โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ หรือโครงสร้างของพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลงนัก เมื่อใช้เสร็จแล้วสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้โดยการบด และหลอมด้วยความร้อนเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้อีก แต่พลาสติกประเภทนี้มีข้อเสียและขีดจำกัดของการใช้งาน คือ ไม่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ เพราะอาจเกิดการบิดเบี้ยวหรือเสียรูปร่างไป ตัวอย่างเช่น ขวดน้ำดื่มไม่เหมาะสำหรับใช้บรรจุน้ำร้อนจัดหรือเดือด [4]

## 2.2.2 เทอร์โมเซต (Thermoset)

พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างเป็นแบบร่างแห ซึ่งจะหลอมเหลวได้ในขั้นตอนการขึ้นรูปครั้งแรกเท่านั้น ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ทำให้พอลิเมอร์มีรูปร่างที่ถาวร ไม่สามารถหลอมเหลวได้อีกเมื่อได้รับความร้อน และหากได้รับความร้อนสูงเกินไป จะทำให้พันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลแตกออก ได้สารที่ไม่มีสมบัติของความเป็นพอลิเมอร์ต่อไป พลาสติกเทอร์โมเซตเมื่อใช้งานเสร็จแล้วไม่สามารถนำมาผ่านการหลอมและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่หรือรีไซเคิล (Recycle) ได้อีก และถ้าให้ความร้อนมากเกินไป จะทำให้พลาสติกเกิดการสลายตัวหรือไหม้ โดยไม่เกิดการหลอมเหลว ตัวอย่างของพลาสติกในกลุ่มนี้ เช่น เบคเคอไลต์ และ เมลามีน เป็นต้น สำหรับข้อแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตดังแสดงในตารางที่ 2.1 [1]

ตารางที่ 2.1 แสดงความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซต [1]

เทอร์โมพลาสติก	เทอร์โมเซต
เป็นพอลิเมอร์แบบเส้นหรือแบบกิ่ง	เป็นพอลิเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือแบบร่างแห
จะอ่อนตัวหรือหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน	จะแข็งตัวเมื่อได้รับความร้อน
ต้องทำให้เย็นก่อนเอาออกจากแม่แบบมิฉะนั้นจะเสียรูปทรง	ไม่ต้องรอให้เย็นก่อนเอาออกจากแม่พิมพ์
ไม่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในแม่พิมพ์	เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในแม่พิมพ์
นำมารีไซเคิลโดยการหลอม และขึ้นรูปใหม่ได้	ไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้

## 2.3 พลาสติกที่ใช้มากในปัจจุบัน

พลาสติกที่ถูกนำมาใช้ในปริมาณมากในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิดที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ จึงมีการใส่สัญลักษณ์ตัวเลขเพื่อให้ง่ายต่อการแบ่งประเภทของพลาสติกตัวเลขทั้ง 7 ตัวนี้ จะอยู่ในสัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมที่มีลูกศรสามตัววิ่งตามกันและมักพบบริเวณก้นของภาชนะพลาสติก

### 2.3.1 พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate, PET)

มีสมบัติทนแรงกระแทก ไม่เปราะแตกง่าย สามารถทำให้ใสมาก มองเห็นสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในจึงนิยมใช้บรรจุน้ำ PET สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยนิยมนำมาผลิตเป็นเส้นใยสำหรับทำเสื้อกันหนาว พรม และเส้นใยสังเคราะห์สำหรับยัดหมอน

### 2.3.2 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE)

มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายตรง ค่อนข้างแข็งแต่ยืดได้มาก ไม่แตกง่าย ส่วนใหญ่ทำให้มีสีสนสวยงาม ยกเว้นขวดที่ใช้บรรจุน้ำดื่ม ซึ่งจะขุ่นกว่าขวด PET ราคาถูก ขึ้นรูปได้ง่าย และสามารถ

นำกลับมารีไซเคิลเพื่อผลิตขวดต่างๆ เช่น ขวดใส่น้ำยาซักผ้า แท่งไม้เทียมเพื่อใช้ทำราวหรือม้านั่งในสวน

### 2.3.3 พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC)

เป็นพลาสติกแข็งใช้ทำท่อ เช่น ท่อน้ำประปาแต่สามารถทำให้นิ่มโดยใส่สารพลาสติกไซเซอร์ PVC เป็นพลาสติกที่มีสมบัติหลากหลายใช้ทำสายยางใส แผ่นฟิล์มสำหรับห่ออาหาร แผ่นกระเบื้องยาง สามารถนำกลับมารีไซเคิล เพื่อผลิตท่อประปาสำหรับการเกษตร กรวยจราจร และเฟอร์นิเจอร์

### 2.3.4 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE)

เป็นพลาสติกที่นิ่ม สามารถยืดตัวได้มาก มีความใส นิยมนำมาทำเป็นฟิล์มสำหรับห่ออาหารและห่อของ ถุงใส่ขนมปัง และถุงเย็นสำหรับบรรจุอาหาร LDPE สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยใช้ผลิตเป็นถุงดำสำหรับใส่ขยะ ถุงหูหิ้ว หรือถังขยะ

### 2.3.5 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP)

เป็นพลาสติกที่แข็ง ทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทนต่อสารเคมี ความร้อน และน้ำมัน ทำให้มีสีสนสวยงามได้ ส่วนใหญ่นิยมนำมาทำภาชนะบรรจุอาหาร เช่น กล่อง ซาม จาน ถัง ตะกร้า หรือกระบอกสำหรับใส่น้ำแช่เย็น PP สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยนิยมนผลิตเป็นกล่องแบตเตอรี่รถยนต์ ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น กันชน และกรวยสำหรับน้ำมัน

### 2.3.6 พอลิสไตรีน (Polystyrene, PS)

เป็นพลาสติกที่แข็ง ใส แต่เปราะ และแตกง่าย ราคาถูก นิยมนำมาทำเป็นภาชนะบรรจุของใช้ เช่น เทปเพลง สำลี หรือของแห้ง พลาสติกประเภทนี้มาใช้ทำภาชนะหรือถาดโฟมสำหรับบรรจุอาหาร โฟมจะมีน้ำหนักที่เบาเนื่องจากประกอบด้วย PS ประมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ส่วนที่เหลือเป็นอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่าง PS สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยนิยมนผลิตเป็นไม้แขวนเสื้อ กล่องวีดีโอ ไม้บรรทัด หรือ ของใช้อื่นๆ

### 2.3.7 พลาสติกอื่นๆ

สำหรับพลาสติก ในกลุ่มที่ 7 เป็นพลาสติกชนิดอื่นๆ นอกจะมีตัวเลขระบุแล้ว ควรใส่สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษระบุชนิดของพลาสติกนั้นๆ ไว้ เพื่อสะดวกในการแยกและนำกลับมารีไซเคิล เช่น พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate, PC)

นอกจากจะนำพลาสติกเหล่านี้มารีไซเคิลแล้วในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้หาทางแก้ปัญหเพิ่มเติมโดยการพัฒนาพลาสติกหรือวัสดุที่ย่อยสลายได้ (Degradable plastic) ขึ้นเพื่อช่วยลดปริมาณพลาสติกที่เป็นขยะรวมทั้งยังช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้ด้วย [1]

## 2.4 พลาสติที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

พลาสติที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพคือพลาสติที่ถูกออกแบบมาให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้โดยเฉพาะเป็นสาเหตุทำให้สมบัติต่างๆ ของพลาสติลดลงภายในช่วงเวลาหนึ่งซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้วิธีทดสอบมาตรฐานที่เหมาะสมกับชนิดของพลาสติ และการใช้งาน ผลการทดสอบสามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกประเภทของพลาสติที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีดังกล่าวต้องเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติเท่านั้น

สำหรับคำว่า Biodegradation (หรือการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ) ย่อมาจาก Biotic degradation ในมาตรฐานต่าง ๆ มีคำจำกัดความที่ใช้พื้นฐานแนวคิดเดียวกัน คือ เป็นการดำเนินงานของจุลินทรีย์ที่มีต่อชิ้นวัสดุ เป็นผลให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือแก๊สมีเทน และน้ำ [1]

## 2.5 ประเภทของพลาสติที่ย่อยสลายได้

โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งกลไกการย่อยสลายของพลาสติเป็น 4 ประเภท ได้แก่

### 2.5.1 การย่อยสลายทางกล (Mechanical Degradation)

โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติทำให้ชิ้นส่วนพลาสติแตกออกเป็นชิ้นซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ

### 2.5.2 การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation)

เกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสียูวี (Ultraviolet, UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะ กองคอมโพสท์ หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีมืด หรือแม้กระทั่งชิ้นพลาสติที่มีการพิมพ์ด้วยหมึกที่หนาบบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

### 2.5.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis Degradation)

เป็นการย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิแอนไฮดริส พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูริเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้ตัวเร่ง (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช้ตัวเร่ง (Non-Catalytic Hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่ใช้ตัวเร่งจากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Catalytic Degradation) และแบบที่ใช้ตัวเร่งจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยคะตะลิสต์จากภายนอกมี 2 ชนิด คือ ตัวเร่งที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase lipase esterase และ Glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และตัวเร่งที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะอัลคาไลน์ (Alkaline metal) เบส (Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้ตัวเร่งจากภายในโมเลกุลของ พอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

#### 2.5.4 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative Degradation)

เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจนและความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติม สารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหัก และสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็วแต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบัน ทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชัน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหัก และสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้นการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)

การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้ Endo-enzyme หรือ เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบ Exo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะที่ละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate Biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือ แร่ธาตุ ต่าง ๆ และมวลชีวภาพ (Biomass) [1]

## 2.6 การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้

ปัจจุบันพลาสติกชีวภาพมีศักยภาพผลิตทั่วโลกประมาณ 2.05 ล้านตัน หรือประมาณเกือบร้อยละหนึ่งของพลาสติกจากฟอสซิลโลกที่ผลิตต่อปีประมาณ 320 ล้านตัน ซึ่งมีความต้องการพลาสติกชีวภาพโลกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีการพัฒนาคุณลักษณะของพลาสติกชีวภาพที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับสภาวะการใช้งานที่หลากหลายในอุตสาหกรรมและกิจกรรมที่มากขึ้น ตามข้อมูลตลาดล่าสุดที่รวบรวมโดย European Bioplastics และสถาบันวิจัย Nova ได้คาดการณ์ว่าการผลิตพลาสติกชีวภาพทั่วโลกจะเพิ่มขึ้นจาก 2.05 ล้านตัน ในปี 2560 เป็น 2.44 ล้านตันในปี 2565 พลาสติกชีวภาพถูกนำมาใช้ประโยชน์ในตลาดเพิ่มมากขึ้นในบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์อาหาร เครื่องใช้ไฟฟ้า อุตสาหกรรมการเกษตรพืชสวน และของเล่นเพื่อสิ่งทอ และอื่น ๆ โดยอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ยังคงเป็นกลุ่มใหญ่ที่สุด โดยใช้พลาสติกชีวภาพจำนวน 1.2 ล้านตัน หรือร้อยละ 58 ของการผลิตพลาสติกชีวภาพโลก การเพิ่มขึ้นของอุปสงค์การใช้พลาสติกชีวภาพในทุกกลุ่มตลาดเป็นผลมาจากความต้องการที่เพิ่มขึ้น สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืน โดยผู้บริโภคและเจ้าของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่มีความตระหนักที่เพิ่มมากขึ้นต่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และความจำเป็นในการลดการพึ่งพาทรัพยากรฟอสซิล รวมถึงความก้าวหน้าและนวัตกรรมของอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพในวัสดุใหม่ที่มีสมบัติที่ดีขึ้นและฟังก์ชันการทำงานใหม่ๆ ขึ้นซึ่งในปัจจุบัน มีทางเลือกพลาสติกชีวภาพสำหรับทดแทน และตอบสนองต่อการใช้งานได้ในเกือบทุกพลาสติกจากฟอสซิลทั่วไป โดยสมบัติของพลาสติกชีวภาพมีความคล้ายกับพลาสติกจากฟอสซิล และมีข้อดีเพิ่มเติม เช่น การลดคาร์บอนไดออกไซด์หรือการจัดการขยะที่ดีกว่า [5]

ในปัจจุบันมีการนำพลาสติกชีวภาพมาใช้ประโยชน์ในหลากหลายด้าน โดยมุ่งไปที่ประโยชน์ 3 ด้านหลักด้วยกัน คือนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ ทางด้านการเกษตร และทางด้านบรรจุภัณฑ์

### 2.6.1 ประโยชน์ทางการแพทย์

พลาสติกย่อยสลายได้ใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ เช่น มีการพัฒนาพลาสติกชีวภาพเพื่อนำมาใช้ในการผลิตผิวหนังเทียม เช่น ในกลุ่มของคอลลาเจน และไคติน เป็นต้น เพื่อนำมาใช้ในการตกแต่งบาดแผลที่เกิดจากไฟไหม้ อีกทั้งยังมีการพัฒนาเพื่อให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยตัวยาออกมาอย่างช้า ๆ ภายในร่างกายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง นอกจากนี้แล้วยังมีอุปกรณ์ประเภทสกรู แผ่นตามกระดูกที่สามารถยึดหยุ่นได้ดีกว่าโลหะ และไหมละลายเพื่อใช้ในการผ่าตัด

### 2.6.2 ประโยชน์ทางการเกษตร

พลาสติกย่อยสลายได้ใช้ประโยชน์ในทางการเกษตร เช่น นำเอาพลาสติกชีวภาพมาใช้เป็นวัสดุคลุมดิน หรือเอามาใช้ในการคลุมผลผลิต ทางด้านการเกษตรแทนที่การใช้พลาสติกสังเคราะห์ ซึ่งจะช่วยลดขั้นตอนและค่าใช้จ่ายในการเก็บและกำจัดวัสดุคลุมดินภายหลังการเพาะปลูก และมีการนำเอาพลาสติกชีวภาพมาใช้เป็นตัวควบคุมการปลดปล่อยสารอาหารให้กับพืช บางประเทศมีความสนใจในการนำเอาพลาสติกชีวภาพมาใช้เป็นตัวปรับปรุงคุณภาพของดิน (Soil conditioner) ร่วมกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติชนิดอื่น ๆ นอกจากนั้นยังมีการศึกษาการใช้พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาผลิตเป็นภาชนะปลูกพืชโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการย่อยสลาย และเป็นอาหารให้กับพืชในระหว่างการเพาะปลูกด้วย

### 2.6.3 ประโยชน์ทางด้านบรรจุภัณฑ์

พลาสติกย่อยสลายได้ใช้ประโยชน์ในการนำมาทำเป็นบรรจุภัณฑ์ ได้รับความนิยมน้อยมาก เพราะบรรจุภัณฑ์พลาสติกทั่วไป มักไม่นำกลับมารีไซเคิล เนื่องจากมีการปนเปื้อนสูง ทำให้ไม่สะดวกต่อการเก็บ และทำความสะอาดทำให้เกิดเป็นขยะ จึงมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ เช่น ถาดย่อยสลายได้สำหรับอาหารสำเร็จรูป เพื่อลดปัญหาขยะบรรจุภัณฑ์ลง [5]

## 2.7 การใช้ประโยชน์จากเทอร์โมพลาสติกจากแป้งข้าวโพด

ในปัจจุบันมีการผลิตผลิตภัณฑ์จากเทอร์โมพลาสติกจากแป้งข้าวโพด คือบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหรืออุตสาหกรรมทางการเกษตร เช่น แผ่นฟิล์มคลุมดิน สำหรับการเพาะปลูก กระถางต้นไม้ที่สามารถปลดปล่อยปุ๋ยได้ ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง และกระถางต้นไม้ที่สามารถย่อยสลายได้ เป็นต้น

## 2.8 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแป้ง

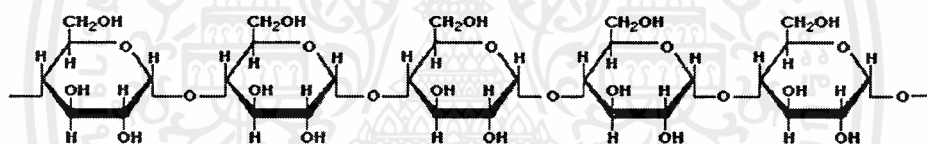
แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ และแหล่งเก็บอาหารของพืช เช่น เมล็ด หัว และราก แป้งที่ผลิตในแต่ละภูมิภาคของโลกอาจใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกันไป เช่น ทวีปอเมริกาส่วนใหญ่ใช้ข้าวโพด และข้าวสาลี ทวีปยุโรปนิยมใช้แป้งมันฝรั่ง ส่วนทวีปเอเชีย และแอฟริกาจะใช้ข้าวและมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งแป้งที่ผลิตจำหน่ายทั่วไปมีสองประเภท ได้แก่ แป้งที่มีองค์ประกอบอื่นเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่อยู่ค่อนข้างมาก เรียกว่า ฟลาวัวร์ (Flour) ส่วนแป้งที่มีการสกัดสิ่งเจือปนออกไปจนเหลือแป้งบริสุทธิ์สูงเป็นส่วนใหญ่จะเรียกว่า สตาร์ช (Starch) และเนื่องจากแป้งสตาร์ชมีความบริสุทธิ์สูง แป้งสตาร์ชที่ยังไม่ได้ทำการตัดแปรหรือแปรรูปนิยมเรียกว่า แป้งดิบ (Raw starch or Native starch) ซึ่งจะตรงข้ามกับแป้งที่ถูกตัดแปรหรือแปรรูปแล้ว จะเรียกว่า โมดิไฟด์สตาร์ช (Modified starch) [6]

## 2.9 องค์ประกอบหลักทางเคมีของแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบไปด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6 : 10 : 5 มีสูตรเคมีทั่วไป คือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสคือ อะมิโลส และอะมิโลเพกติน 2 ชนิด มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic linkage) แป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีโครงสร้างของเม็ดแป้งและสมบัติของแป้งแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปแล้วแป้งจะมีอัตราส่วนอะมิโลส 10-20 เปอร์เซ็นต์ และอะมิโลเพกติน 80-90 เปอร์เซ็นต์ [6]

### 2.9.1 อะมิโลส (Amylose)

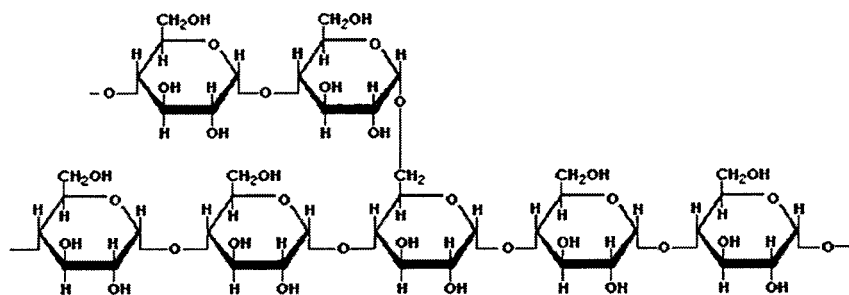
อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบไปด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา-1,4 ดังแสดงในรูปที่ 2.1 แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีอะมิโลสสูงถึง 28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอะมิโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป แป้งที่มีโมเลกุลของอะมิโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ลดลง [6]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของอะมิโลส [7]

### 2.9.2 อะมิโลเพกติน (Amylopectin)

อะมิโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิดแอลฟา-1,4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีขนาดโมเลกุล (DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด แอลฟา 1,6 อะมิโลเพกตินดังแสดงในรูป 2.2 ถือว่ามีความสำคัญมากกว่าอะมิโลสทั้งด้าน โครงสร้าง หน้าที่ และการนำไปใช้ ดังนั้นเมื่อมี อะมิโลเพกตินเพียงอย่างเดียวสามารถรวมตัวเพื่อสร้างเม็ดแป้งได้ ปริมาณของอะมิโลส และอะมิโลเพกตินที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของแป้งแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3 แป้งข้าวโพดสายพันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ คือ ข้าวโพดอะมิโลเมส (Amylomaize) และสายพันธุ์ที่ไม่มีอะมิโลส คือ ข้าวโพดเหนียว (Waxy maize)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอะมิโลเพกติน [7]

ตารางที่ 2.2 สมบัติที่แตกต่างกันของอะมิโลส และอะมิโลเพกติน [6]

อะมิโลส	อะมิโลเพกติน
1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ $\alpha$ -1,4 กลูโคซิดิก	1.โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ $\alpha$ -1,4 และมีการแตกกิ่งด้วยพันธะ $\alpha$ -1,6 กลูโคซิดิก
2. ประกอบด้วยกลูโคส 200-6,000 หน่วย	2. แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
3. ละลายน้ำได้น้อยกว่า	3. ละลายน้ำได้ดีกว่า
4. เมื่อต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อย	4. ข้นหนืดมากและใส
5. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	5. ให้สีม่วงแดงหรือสีน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน
6. ต้มแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็งได้	6. ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง

ตารางที่ 2.3 สมบัติของแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะมิโลสต่างกัน [6]

ชนิดแป้ง	ปริมาณอะมิโลส (%)	คุณสมบัติ
ข้าวโพดเหนียว (Waxy maize)	0-1	มีการคืนตัวหลังสุก (Setback) น้อย ไม่เกิดเจลและเจล มีการสูญเสียน้ำ (Syneresis) น้อย ยืดหยุ่นได้ แป้งเปียกใส
ข้าวโพด (Maize)	27	เกิดเจลที่แข็งแรง แป้งเปียกขุ่น
ข้าวโพดอะมิโลเมส (Amylomaize)	50-70	เม็ดแป้งพองตัวยาก เกิดเจลที่แข็ง อุณหภูมิการเกิดแป้งเปียกสูง แป้งเปียกขุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 สมบัติของแป้ง (Starch properties)

### 2.10.1 การดูดซึมน้ำ และการละลาย (Water absorption and solubility)

แป้งมีโครงสร้างที่เป็นเม็ดซึ่งมีรูพรุน ประกอบกับโมเลกุลที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จำนวนมาก ทำให้น้ำสามารถแพร่เข้าไปในเม็ดแป้งได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิต่ำโมเลกุลของแป้งจะไม่ละลายน้ำ เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลแป้งนั้นยึดกันอย่างหนาแน่นมาก แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการละลายน้ำของแป้งนั้นเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะความร้อนช่วยลดแรงยึดเหนี่ยวของพันธะไฮโดรเจนลงโมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งจึงเกิดการบวมตัวและเกิดการละลาย ทำให้ความใสเพิ่มขึ้น และการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ (Birefringence) หดไป ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมน้ำ และการละลายน้ำ ได้แก่ ชนิด และโครงสร้างในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้ง ความชื้นในอากาศ อุณหภูมิ และการตัดแปรรูปทางเคมีของแป้ง [6]

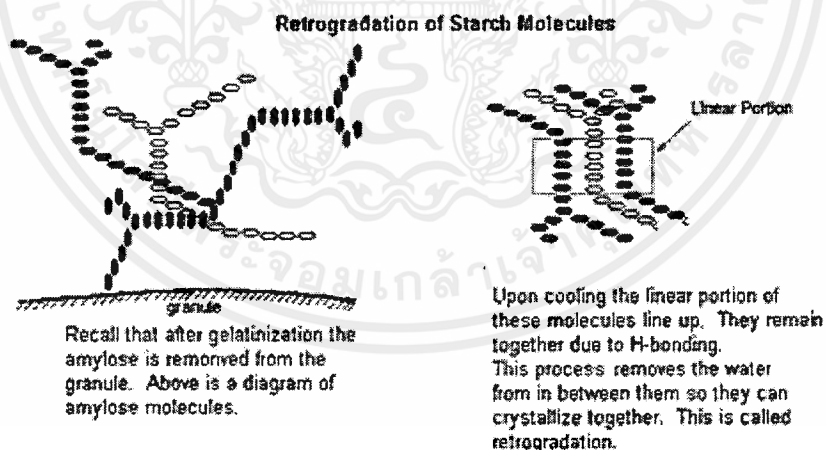
### 2.10.2 การเกิดเจลลิตินเซชัน (Gelatinization)

เมื่อนำแป้งใส่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งดูดซึมน้ำได้ในปริมาณจำกัดปริมาณหนึ่งแต่จะยังไม่เกิดการบวมตัว หรืออาจจะสังเกตการบวมตัวได้ยาก จากการสังเกตการบวมตัวของเม็ดแป้งสาลิในน้ำที่อุณหภูมิห้องพบว่าแป้งที่บวมตัวมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ และปรากฏการณ์นี้สามารถผันกลับได้ โดยเมื่อนำไปอบแห้งก็จะได้แป้งที่มีสมบัติ และลักษณะดั้งเดิม ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลอะมิโลสและอะมิโลเพกตินในส่วนที่เป็น Crystalline จับตัวกันอย่างหนาแน่นแข็งแรงจึงไม่ละลายในน้ำเย็น แต่น้ำอาจจะซึมเข้าไปในส่วนของเม็ดแป้งซึ่งไม่เป็นระเบียบ และมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส แก่แป้งสาลิจะมีผลทำให้การจับยึดกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วน Crystalline ลดลง ทำให้เกิดปฏิกิริยาการรับน้ำ และการบวมตัวของเม็ดแป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืด และ ความใสเพิ่มขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า “เจลลิตินเซชัน” [6]

### 2.10.3 การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation)

การคืนตัวของแป้งสุกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อนำแป้งสุกซึ่งร้อนมีอุณหภูมิต่ำลง ขณะที่อุณหภูมิต่ำลง โมเลกุลอิสระของอะมิโลสซึ่งอยู่ใกล้กันจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากขึ้น และจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้เกิดสภาพการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขึ้นใหม่ โดยเปลี่ยนจากลักษณะการกระจายตัวของโมเลกุลมาเป็นส่วนที่เป็น Crystalline ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยใช้ X-ray diffraction ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นต่ำ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเหล่านี้จะทำให้เกิดลักษณะตะกอนขุ่นขาว แต่ถ้าแป้งสุกมีความเข้มข้นสูง เช่น แป้งข้าวโพดความเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก จำนวนโมเลกุลที่มาจัดเรียงตัวกันใหม่มาก และระหว่างเคลื่อนที่เข้ามาจับกันจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และในที่สุดเกิดลักษณะเจลที่อ่อนนุ่ม การคืนตัวของน้ำแป้งโดยทั่วไปจะเกิดได้ดีเมื่อน้ำแป้งมีความเข้มข้นสูง และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำ แป้งแต่ละชนิดมีอัตรา

การคืนตัวของน้ำแป้งสุกแตกต่างกัน โดยทั่วไปแป้งจากส่วนรากและส่วนหัว มีอัตราการคืนตัวช้ากว่า แป้งจากธัญพืช ทั้งนี้เป็นเพราะแป้งจากส่วนราก และส่วนหัว เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวเร็วมาก เม็ดแป้งจึงแตกง่าย ทำให้โมเลกุลแป้งทั้งหมดกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำแป้งยากที่โมเลกุลอะมิโลสจะมาจัดเรียงตัวกันได้อีกใหม่ แต่แป้งจากธัญพืช เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวน้อยกว่า เม็ดแป้งแตกน้อย โมเลกุลที่คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันจึงเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่าย ซึ่งอาจจับตัวกันระหว่างเม็ดแป้งที่พองตัวซึ่งอยู่ใกล้กัน หรือระหว่างชั้นส่วนของเม็ดแป้ง หรือโมเลกุลอะมิโลส อิสระที่หลุดออกมา ทำให้เกิดสภาพเป็นเมทริกซ์ ซึ่งยึดอยู่ด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ การมีอะมิโลเพกติน อยู่ด้วยทำให้อัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกช้าลง เนื่องจากโมเลกุลของอะมิโลเพกตินมีกิ่งก้านสาขาทำให้เกาะกะ และยากที่โมเลกุลจะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันใหม่ได้ จึงพบว่าแป้งประเภท Waxy มีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกน้อยกว่าแป้งชนิดอื่น ขนาดโมเลกุล ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ของอะมิโลสในแป้งแต่ละชนิดมีผลในการเกิดการคืนตัวของน้ำแป้งสุกด้วย โมเลกุลอะมิโลสที่มีขนาดพอเหมาะในการเคลื่อนที่มาจับกัน คือ ในช่วง 100-200 หน่วยกลูโคส ถ้าโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่งมีอะมิโลส ขนาดใหญ่ประมาณ 1,000-6,000 หน่วยกลูโคส จะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันได้ยาก และถ้าโมเลกุลสั้นเกินไปจะเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา (Brownian movement) ทำให้จับกันยากเช่นกัน



รูปที่ 2.3 การคืนตัวของแป้ง [8]

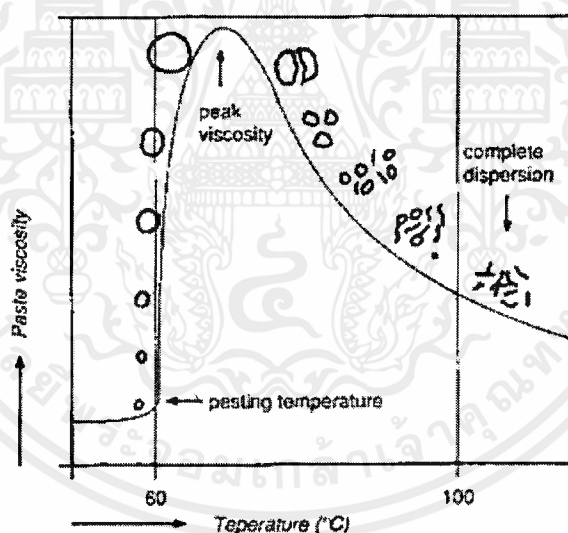
#### 2.10.4 ความหนืด (Viscosity)

เป็นสมบัติที่สำคัญ และเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับแป้ง ทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัว และมีความหนืดสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 แสดงพฤติกรรมความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัว และแตกต่างกันไปตามชนิด และสายพันธุ์ของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงที่ระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า Pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) จากนั้นอาจลดลง หรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง

การที่แป้งมีความหนืดสูงที่สุดเนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น และมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้ง และโมเลกุลของอะมิโลส และอะมิโลเพกติน บางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลาย และละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้นความหนืดจะเริ่มลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเมื่ออยู่ในช่วงการหุงต้มที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ดังนั้นค่าความหนืดของน้ำแป้งสูงจะเป็นผลมาจากการพองตัวของเม็ดแป้งและแตกหักของเม็ดแป้งร่วมกับการละลายออกมาของโมเลกุลแป้ง เมื่อลดอุณหภูมิลง โมเลกุลอิสระที่กระจัดกระจายออกมา (โดยเฉพาะส่วนของอะมิโลส) ถ้ามีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมคือ ไม่สั้น และยาวเกินไป ก็จะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกัน สามารถกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดสูงขึ้นอีก ความหนืดที่กลับสูงขึ้นนี้อีกเรียกว่า Setback และปรากฏการณ์นี้ก็คือการคืนตัวของแป้งปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาค สัดส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพกติน อุณหภูมิ อัตราเฉือน ฯลฯ แต่ที่มีผลมากที่สุด ได้แก่ชนิดของแป้ง [8]



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน [9]

## 2.11 แป้งข้าวโพด (Corn starch)

### 2.11.1 ลักษณะทั่วไปของแป้งข้าวโพด

แป้งข้าวโพดจัดได้ว่าเป็นแป้งที่มีมากที่สุดในโลกผลิตจากข้าวโพด (Corn หรือ Maize) ที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays* L. อยู่ในวงศ์ *Gramineae* มีต้นกำเนิดในทวีปอเมริกาแล้วกระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปยังทวีปแอฟริกา อินเดีย ออสเตรเลีย และประเทศในยุโรปที่มีอากาศอบอุ่น ข้าวโพดมีหลายสายพันธุ์ เช่น มีองค์ประกอบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.4 และ ตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวโพด [9]

องค์ประกอบ	ร้อยละ
ความชื้น	16.2
แป้ง	59.4
โปรตีน	8.2
ไขมัน	4.0
เส้นใย	2.2
เถ้า	1.2
น้ำตาล	2.2
อื่น ๆ	6.6

ตารางที่ 2.5 สมบัติของแป้งข้าวโพด [6]

คุณสมบัติ	แป้งข้าวโพด
ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน)	3.0 - 26.0
ปริมาณอะมิโลส (%)	28.0
ปริมาณอะมิโลเพกติน (%)	72.0
ปริมาณโปรตีน (%)	10.0
ปริมาณไขมัน (%)	4.4
ปริมาณเส้นใย (%)	2.2
ปริมาณเถ้า (%)	1.2
อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (องศาเซลเซียส)	79.2
ความหนืดสูงสุด (RVU)	217.1
ความหนืดสุดท้าย (RUV)	195.2
ความหนืดต่ำสุด (RUV)	145.7
อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลลิ่ง (องศาเซลเซียส)	49.0
อุณหภูมิสุดท้ายที่เกิดเจลลิ่ง (องศาเซลเซียส)	67.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.12 เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch หรือ TPS)

เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์องค์ประกอบของแป้ง แป้งมีสมบัติเป็นพอลิเมอร์แบบเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic polymer) แต่เนื่องจากในแต่ละ Anhydro glucose unit ซึ่งเป็นหน่วยซ้ำ (Repeating unit) ของโมเลกุลอะมิโลส และอะมิโลเพกตินประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ ทำให้ไฮดรอกซิลดังกล่าวสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลข้างเคียง จึงทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีค่าสูงมาก ดังนั้นในการขึ้นรูปแป้งถ้าหากไม่มีการเติมสารพลาสติกไซเซอร์พบว่าเมื่อมีการให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้นแทนที่จะทำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์ในแป้งเกิดการสลายตัวแทน ซึ่งเป็นการแสดงสมบัติของพอลิเมอร์แบบเทอร์โมเซต (Thermoset polymer) การเปลี่ยนแปลงให้มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกนั้นสามารถทำได้โดยการเติมสารประเภทพลาสติกไซเซอร์เพื่อทำหน้าที่ลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้งลง ดังนั้นสายโซ่โมเลกุลของแป้งจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านกันได้ง่ายขึ้นโดยใช้พลังงานลดลง

พลาสติกไซเซอร์ที่นิยมนำมาใช้ในการเตรียม TPS มากที่สุดคือ กลีเซอรอล (Glycerol) แต่การใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ก็มีข้อด้อย เช่น เมื่อนำ TPS มาใช้งานในสภาวะที่มีความชื้นสูงเป็นเวลานาน จะเกิดปรากฏการณ์รีโทรเกรดชัน (Retrogradation) ขึ้นเนื่องจากความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนระหว่างกลีเซอรอลกับโมเลกุลของแป้งนั้นไม่สูงมากนัก และยังต้านทานต่อความชื้นได้น้อย อย่างไรก็ตามการใช้กลีเซอรอล ก็มีข้อดีต่อการเตรียม TPS เช่น ราคาไม่สูงมากนักและยังมีความปลอดภัยสูงเมื่อเทียบพลาสติกไซเซอร์ชนิดอื่น ๆ สารในกลุ่มพอลิออล (Polyols) นอกจากกลีเซอรอล แล้วก็มีการใช้สารตัวอื่นเป็นพลาสติกไซเซอร์ด้วย ขณะเดียวกัน TPS ที่เตรียมจากแป้งนั้นก็ยังมีข้อจำกัดที่สำคัญ คือ TPS ส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากแป้งเป็นพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ เพราะมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มาก (Hydrophilic) สูง ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดในการนำขึ้นงาน TPS ไปใช้งานจริง อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาปรับปรุงสมบัติดังกล่าวในหลากหลายวิธี เช่น การใช้พลาสติกไซเซอร์ที่ทำให้ TPS ต้านทานความชื้นได้มากขึ้น หรือทำการปรับปรุง TPS โดยการเคลือบสารบางอย่างที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic)

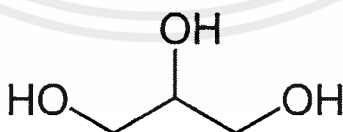
นอกจากการปรับปรุงสมบัติต้านทานความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช แล้วยังนิยมปรับปรุงสมบัติเชิงกลด้วย โดยวิธีปรับปรุงสมบัติเชิงกลที่นิยมทำมากที่สุดคือการเติมสารในกลุ่ม Reinforcing filler โดย Reinforcing filler ที่นำมาใช้มีหลายประเภท เช่น สารตัวเติมในกลุ่ม เคมีอนินทรีย์ สารตัวเติมอีกประเภทหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช คือ สารตัวเติมจำพวกเส้นใยที่มาจากธรรมชาติหรือพอลิเมอร์ เช่น เซลลูโลส ปอกระเจา ยางธรรมชาติ เป็นต้น การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช อีกวิธีนิยมใช้คือการเตรียมให้อยู่ในวัสดุเสริมแรงด้วยองค์ประกอบระดับนาโน (Nanocomposite) [10]

## 2.13 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer)

พลาสติไซเซอร์ คือ สารเติมแต่ง (Additive) ที่ใส่ลงในกระบวนการผลิตพลาสติกเพื่อทำให้มีสมบัติเปลี่ยนไป คือ มีความอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นสูง ทนต่อสภาวะความเป็นกรดต่าง ทนต่ออุณหภูมิสูง สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย ทั้งในอุตสาหกรรมอาหารและยา เครื่องมือทางการแพทย์ ของเล่นสำหรับเด็ก เป็นต้น โดยสารเหล่านี้จะไม่ทำปฏิกิริยากับพลาสติกแต่จะไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพลาสติก ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอ่อนลง พลาสติไซเซอร์ที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น สารกลุ่มพทาเลต (Phthalate) สารกลุ่มอะดิเพต (Adipate) สารกลุ่มมาลีเอต (Maleate) และน้ำมันพืชที่ออกซิไดซ์ (Epoxidized vegetable oils) เป็นต้น งานวิจัยที่ใช้พลาสติไซเซอร์ชนิดต่าง ๆ ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์ของสารกลุ่มพอลิเอทิลีน สำหรับแปงข้าวโพด พบว่าเมื่อผสมกลีเซอรอลกับสารกลุ่มพอลิเอทิลีนที่มีมวลโมเลกุลสูง เช่น ซอร์บิทอล จะทำให้เสถียรภาพทางความร้อนและสมบัติเชิงกลดีขึ้นแต่จะทำให้ค่าแรงบิดในการผสมสูงขึ้น [11]

### 2.13.1 กลีเซอรอล (Glycerol)

เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอน 3 อะตอม และมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ทั้ง 3 หมู่ ประกอบด้วย หมู่ไฮดรอกซิลปฐมภูมิ (Primary hydroxyl) 2 หมู่ และหมู่ไฮดรอกซิลทุติยภูมิ (Secondary hydroxyl) 1 หมู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 มีสูตรโมเลกุลคือ  $C_3H_8O_3$  กลีเซอรอลเป็นของเหลวใส คล้ายน้ำมัน ไม่มีกลิ่น มีน้ำหนักโมเลกุล 92.09 กรัมต่อโมล ความถ่วงจำเพาะ 1.2605 ค่าดัชนีการหักเหแสงเท่ากับ 1.4746 จุดหลอมเหลวเท่ากับ 17.9 องศาเซลเซียส และมีจุดเดือดเท่ากับ 290 องศาเซลเซียส สำหรับสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีพบว่า กลีเซอรอลละลายได้ดีทั้งในน้ำ เมทานอล เอทานอล ไอโซเมอร์ของโพรพานอล บิวทานอล รวมทั้งสารประกอบที่เป็นเอเทอร์ไอโซคลิก เป็นต้น ดังนั้นการที่กลีเซอรอลสามารถละลายได้ในสารหลายประเภท จึงถูกนำมาใช้เป็นตัวทำละลาย ทั้งด้านอุตสาหกรรมยา อาหาร และเครื่องสำอาง [12]



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของกลีเซอรอล [11]

## 2.14 สารต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ (Preservative)

สารต้านทานเชื้อจุลินทรีย์เป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่เติมลงไปในการผลิตอาหาร เพื่อให้มีความคงตัวอยู่ได้นานโดยที่สารกันเสียจะไปยับยั้งการทำงานของพวกจุลินทรีย์ต่าง ๆ คือ จะไปทำลายระบบการทำงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเอนไซม์ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และเชื้อรา หรือไปทำลายเยื่อหุ้มของพวกแบคทีเรีย เป็นต้น เพื่อป้องกันหรือชะลอการเปลี่ยนแปลงของอาหาร ในแง่ รส กลิ่น สี ความเหลว ตลอดจนคุณค่าของอาหาร เช่น ในอาหารประเภทเครื่องดื่มมักมีการเติมเบนโซอิก หรือซัลเฟอร์ ไดออกไซด์ลงไป เพื่อทำลายการทำงานของแบคทีเรียและฟังไจต่าง ๆ ที่จะเข้าไปเจริญเติบโตในอาหาร ทำให้อาหารเน่าเสีย เป็นต้น [13]

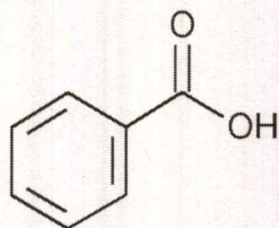
#### 2.14.1 สมบัติของสารต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ [13]

- 1) ไม่ควรออกฤทธิ์แค้บยั้ง แต่การออกฤทธิ์ทั้งฆ่าพวกแบคทีเรีย และเชื้อรา ได้อย่างกว้างขวาง โดยการใช้ในปริมาณที่ต่ำและมีอุณหภูมิในการเก็บรักษาทั่วไป
- 2) ควรออกฤทธิ์ได้ดีในช่วง พีเอช (pH) ของอาหาร
- 3) สารต้านทานเชื้อจุลินทรีย์พวกอีมัลชัน (Emulsion) และครีม ควรเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดีกว่าในน้ำมัน ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้สารกันเสียนั้นสูญหายเข้าไปในน้ำมันโดยไร้ประโยชน์ ซึ่งจะทำให้สารกันเสียออกฤทธิ์ได้น้อย
- 4) ในผลิตภัณฑ์ที่มีคาร์บอน ไนโตรเจนหรือกำมะถันซึ่งเชื้อโรคต่าง ๆ สามารถจะใช้เป็นอาหารได้ดีกว่าปกติ ดังนั้นในการเติมเข้าไปควรใช้ในปริมาณที่เหมาะสม
- 5) ควรใช้หลากหลายชนิดรวมกันเพราะว่าจะช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงของอาหารได้ดีขึ้น โดยสารกันเสียจะมีฤทธิ์ส่งเสริมกัน (Synergistic effect)
- 6) ไม่ควรมีรส สี กลิ่น เพราะจะทำให้ รส สี กลิ่น ของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงได้
- 7) ไม่ควรมีพิษต่อผู้ใช้ และจะต้องเป็นพวกที่ระเหย หรือสลายตัวได้ง่าย
- 8) ควรจะหาได้ง่าย

#### 2.14.2 กรดเบนโซอิก (Benzoic acid)

กรดเบนโซอิก หรืออาจจะอยู่ในรูป Benzoate มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว กลิ่นฉุนอ่อนๆ ความเป็นกรดและต่างอยู่ที่ 2.5-3.5 มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 122 องศาเซลเซียส จุดเดือดเท่ากับ 249 องศาเซลเซียส สูตรโมเลกุล คือ  $C_7H_6O_2$  โครงสร้างของกรดเบนโซอิกดังแสดงในรูปที่ 2.6 มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 122.12 กรัมต่อโมล กรดเบนโซอิกสามารถละลายได้ดีในน้ำมันพีช แอลกอฮอล์ พรอพิลีนไกลคอล อีเทอร์ และคลอโรฟอร์ม กรดเบนโซอิกจะต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีในสภาวะเป็นกรดต่ำ ดังนั้นจึงนิยมใช้มากสำหรับเป็นวัตถุกันเสียในอุตสาหกรรมอาหารที่มีความเป็นกรดสูง เช่น เครื่องดื่มชนิดต่าง ๆ น้ำผลไม้ อาหารหมักดอง อย่างเช่น ผักกาดดอง รวมถึงใช้สำหรับรักษาคุณภาพของเครื่องสำอาง และยาสีฟัน ด้านความปลอดภัย กรดเบนโซอิกไม่มีสะสมในร่างกาย เนื่องจากร่างกายสามารถกำจัดออกได้ดี แต่เนื่องจากเบนโซอิกมีฤทธิ์เป็นกรด สามารถระเหยกลายเป็นไอได้เมื่อถูกความร้อน หากมีการสัมผัสหรือสูดดมไอจะทำให้ระคายเคือง มีอาการแสบตา เยื่อบุทางเดินหายใจระคายเคือง ส่วนการรับประทานกรดเบนโซอิกในปริมาณมากทำให้เกิดอาการปวดท้อง ท้องเสีย คลื่นไส้ อาเจียน นอกจากนี้ ยังทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของตับ และไต ลดลง [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของกรดเบนโซอิก [16]

ตารางที่ 2.6 สมบัติของกรดเบนโซอิก [1]

สมบัติของกรดเบนโซอิก	
สูตรโมเลกุล	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>
มวลโมเลกุล	122.12 g /mol-1
จุดหลอมเหลว	122 °C
จุดเดือด	249 °C
pKa	4.20 ที่ 25 °C

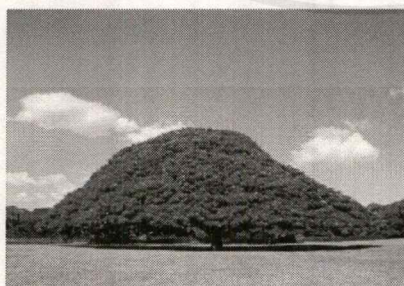
## 2.15 ไม้จามจรี (Rain tree)

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Samanea saman* (Jacq.) Merr.

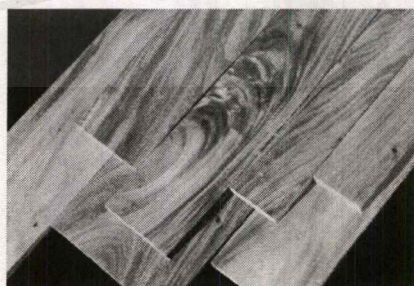
ชื่อสามัญ : จามจรี

ชื่อทางการค้า : Eastindian walnut, Raintree.

ชื่อพื้นเมือง : ก้ามกราม ก้ามกุ้ง ก้ามปู จามจรี (ภาคกลาง) ฉำฉา ลัง สารสา สำสา (ภาคเหนือ) ตืดตู่ (ตาก)



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.7 ไม้จามจรี (ก) ต้นจามจรี และ (ข) เนื้อไม้จามจรี [25-26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดประเภทของไม้ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ของกรมป่าไม้ ซึ่งจะแบ่งประเภทของไม้เป็น 3 ประเภท โดยถือเอาค่าความแข็งแรงในการตัดไม้แห้ง (ความชื้นประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์) และความทนทานตามธรรมชาติของไม้นั้นเป็นเกณฑ์ ซึ่งจะสามารถแบ่งได้เป็น

1. ไม้เนื้อแข็ง มีค่าความแข็งแรงในการตัด สูงกว่า 1,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความทนทานธรรมชาติสูงกว่า 6 ปี
2. ไม้เนื้อแข็งปานกลาง มีค่าความแข็งแรงในการตัด 600-1,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความทนทานธรรมชาติสูงกว่า 2 - 6 ปี
3. ไม้เนื้ออ่อน มีค่าความแข็งแรงในการตัดต่ำกว่า 600 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความทนทานธรรมชาติต่ำกว่า 2 ปี

จามจุรีจัดเป็นไม้เนื้อแข็งปานกลาง ที่มีความทนทานทางธรรมชาติต่ำ มีค่าความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์ ความถ่วงจำเพาะ 0.55 และมีความหนาแน่น 620 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความแข็งแรงการตัด (MOR = 60 mPa, MOE = 5110 mPa) มีความเหนียวคือ 0.82 กิโลกรัมต่อเมตร และมีความแข็ง (Hardness) คือ 3,290 กิโลกรัม [15]

ลักษณะทั่วไป เป็นไม้ผลัดใบโตเร็ว ยอดแผ่กว้างคล้ายรูปร่มสูงประมาณ 40 ฟุต สูง 20 ถึง 30 เมตร เปลือกไม้มีสีน้ำตาลสามารถแตกและร่อนออกได้ ลักษณะเนื้อไม้มีลวดลายสวยงามมีแก่นสีน้ำตาลเมื่อนำมาตากแห้งจะขึ้นเงาเป็นมันแวววาวนับเป็นพรรณไม้ที่มีลักษณะสวยงามตามธรรมชาติ มีลักษณะพิเศษคือค่าความแข็งแรงต่อการดัดงอ (Bending strength) สูงมาก และความชื้นในเนื้อไม้สูง [16]

ประโยชน์ ในปัจจุบันเนื้อไม้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมแกะสลักไม้ภาคเหนือ ซึ่งมีการดำเนินงานในรูปสหกรณ์หัตถกรรมไม้ วัตถุดิบ เนื่องจากไม้สักมีราคาแพง และหายากทำให้ไม้จามจุรีจึงมีบทบาทในการทดแทนไม้สักได้มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากไม้จามจุรีราคาถูก สามารถหาได้ง่ายกว่าไม้สัก เนื้อไม้มีแก่นสีน้ำตาลสวยงาม เมื่อขัดตกแต่งจะมีความมันเงาเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค และยังมีประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น

- 1) ไม้จามจุรีเป็นแม่ไม้ที่ใช้เลี้ยงครั้งได้ผลดีมากชนิดหนึ่ง โดยเฉพาะชนิดที่มีดอกสีชมพู เปลือกสีเทาดำ ใบเขียวเข้ม ครั่งจะจับได้ดี ไม้ชนิดนี้สามารถเลี้ยงครั้งทั้งรอบฤดูร้อนและฤดูฝน
- 2) เป็นอาหารสัตว์ ใบ และฝักมีคุณค่าประโยชน์มาก สำหรับ วัว ควาย ซึ่งมักจะชอบ กินใบเขียว และใบอ่อน ฝักจะมีเนื้อที่มีน้ำตาล
- 3) ปรับปรุงสภาพดินให้ดีขึ้น เนื่องจากเป็นพืชตระกูลถั่วจึงมีคุณสมบัติในการปรับปรุงคุณภาพของดินให้ดีขึ้น ใบใช้ทำปุ๋ยหมักได้ มีไนโตรเจนโดยเฉลี่ยถึงร้อยละ 3.25 [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.16.1 อารียา (2558) ได้ทำงานวิจัยที่มีผลของซีลี้อยจากไม้สะเดาที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) และเทอร์โมพลาสติกสตาาร์ชเอซีเทตจากแป้งมันสำปะหลัง (TPACS) เพื่อปรับปรุงสมบัติโดยใช้ซีลี้อยจากไม้สะเดาในปริมาณต่าง ๆ ได้แก่ 0, 10, 20 และ 30 phr และขนาดต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดน้อยกว่า 50, 50-100, 100-200 และมากกว่า 200 เมช ซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio) เท่ากับ 5.22, 5.82, 7.16 และ 7.36 ตามลำดับ นอกจากนี้ทำการศึกษาเชิงเปรียบเทียบเกี่ยวกับ TPACS ที่นำมาเสริมแรงด้วยซีลี้อยในปริมาณและขนาดที่แตกต่างกัน พบว่าสมบัติเชิงกลของ TPCS และ TPACS เมื่อทำการเพิ่มปริมาณซีลี้อยมากที่สุดที่ 30 phr มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง TPCS และ TPACS ที่ปริมาณ 30 phr พบว่า TPCS มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า TPACS นอกจากนี้ศึกษาผลของปริมาณความชื้น ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0, 50, และ 100 phr ตามลำดับ พบว่า มีสมบัติเชิงกลต่ำลงเมื่อความชื้นในบรรยากาศเพิ่มขึ้น การย่อยสลายพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีลี้อยทำให้การย่อยสลายช้าลง และ TPCS ที่ทำการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยด้วยปริมาณ 30 phr ที่ขนาด 100-200 เมช มีสมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากสมบัติเชิงกล สันฐานวิทยา สมบัติการดูดซับน้ำ และสมบัติทางความร้อน [2]

2.16.2 ทัชชา และคณะ (2560) ได้ศึกษาและปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทีเตรียมจากเทอร์โมพลาสติกสตาาร์ชจากแป้งข้าวโพด โดยศึกษาผลของส่วนเสริมแรงของชนิดซีลี้อยไม้เนื้ออ่อน ได้แก่ ไม้สัก และไม้เนื้อแข็ง ได้แก่ ไม้แดง ในอัตราส่วน 0, 10, 20 และ 30 phr โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ในอัตราส่วนผสมแบ่งกับกลีเซอรอลเท่ากับ 60 : 40 และศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาาร์ช ที่เสริมแรงด้วยอนุภาคของซีลี้อยโดยทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) และขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัดขึ้นรูป (Compression molding) จากนั้นนำเทอร์โมพลาสติกสตาาร์ชที่เตรียมได้ ไปศึกษาสมบัติต่าง ๆ จากการศึกษาการดูดซับความชื้น พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาาร์ชจากแป้งข้าวโพด (Thermoplastic corn starch, TPCS) เสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้เนื้ออ่อนและซีลี้อยไม้เนื้อแข็งในปริมาณที่ต่างกันมีความสามารถในการดูดซับความชื้นลดลง เนื่องจากซีลี้อยมีความไม่มีขั้วมากกว่าแป้ง เมื่อเพิ่มปริมาณซีลี้อยทำให้การดูดซับความชื้นลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ TPCS ที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อย ศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่า TPCS เสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้เนื้ออ่อน (Softwood sawdust) และซีลี้อยไม้เนื้อแข็ง (Hardwood sawdust) ในปริมาณ 30 phr มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบชนิดของซีลี้อยในปริมาณที่เท่ากัน พบว่า TPCS เสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้เนื้อแข็งมีสมบัติเชิงกลสูงกว่าซีลี้อยไม้เนื้ออ่อน เนื่องจากมีความเป็นผลึกมากกว่า [3]

2.16.3 Montero. *et al.* (2017) ศึกษาผลของนาโนเซลลูโลสเป็นสารตัวเติมของฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาาร์ชที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เตรียมได้จากแป้งมันฝรั่ง (Native potato starch) แป้งข้าวโพด (Corn starch) และแป้งถั่ว (Pea starch) ด้วยวิธีหล่อแบบโดยตัวทำละลาย (Solution casting) เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์อื่นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

casting method) โดยพบว่าสมบัติของแป้งที่ได้มีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดี และความต้านทานต่อการดูดซึมน้ำดี แต่ความแข็งต่ำ และเมื่อนำมารวมกับอนุภาคนาโนเซลลูโลสในปริมาณ 2 wt% และ 5 wt% พบว่าฟิล์มของเทอร์โมพลาสติกมีความแข็งแรงขึ้น รวมไปถึงเสถียรภาพทางความร้อนและการต้านทานต่อความชื้น หลังจากการตรวจสอบฟิล์มทั้งหมด พบว่าฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้จากแป้งมันฝรั่งและเสริมแรงด้วยนาโนเซลลูโลส 5 wt% เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้งาน เป็นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีความแข็งแรงมากที่สุด เสถียรภาพทางความร้อนและการต้านทานต่อความชื้นดีกว่าฟิล์มทั้งหมดที่เตรียมได้ [17]

2.16.4 Curvelo. *et al.* (2001) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาโดยใช้เส้นใยเซลลูโลสจากเยื่อ ยูคาลิปตัสเป็นส่วนเสริมแรงของคอมพอลิเมอร์เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช สำหรับการปรับปรุงสมบัติเชิงกล โดยเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวโพด มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และเสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลสสั้น ในปริมาณ 16% w/w ด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป (Compression molding) จากนั้นทำการทดสอบสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับ พบว่าเทอร์โม-พลาสติกสตาร์ช ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลส มีความแข็งแรงดี และมอดุลัสสูงกว่า และผลจากการทดสอบทางความร้อน พบว่าเกิดปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยเซลลูโลส กับ กลีเซอรอล เนื่องจากมี  $T_g$  ลดลง และผลจากการทดสอบการดูดความชื้นพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ใส่เส้นใยเซลลูโลส มีการดูดความชื้นน้อยกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่ใส่เส้นใยเซลลูโลส 2 เท่า [19]

2.16.5 แก้วตา และคณะ (2560) ได้จัดทำวิจัยเรื่องอิทธิพลของสารเติมชีวภาพต่อสมบัติของโพนแป้ง งานวิจัยนี้เลือกใช้แป้งมันสำปะหลัง และซีลี้อย่างพาราเป็นสารตัวเติม เพื่อปรับปรุงสมบัติของ เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (TPS) โดยเปรียบเทียบอิทธิพลของซีลี้อย่างพารากับเส้นใยเซลลูโลสทางการค้า การเตรียม TPS นั้น สามารถทำได้โดยผสมแป้งมันสำปะหลัง กลีเซอรอล และสารตัวเติมเข้าด้วยกัน และนำของผสมที่ได้มาขึ้นรูปด้วยเทคนิคการกดอัดขึ้นรูป (Compression molding) โดยใช้ปริมาณสารตัวเติมที่แตกต่างกันได้แก่ 2, 4, 6 และ 12 wt% ผลการทดลองจากเทคนิค Scanning electron microscopy (SEM) แสดงให้เห็นว่าซีลี้อย่างพารากับเส้นใยเซลลูโลสทางการค้าสามารถกระจาย และยึดเกาะกับเมทริกซ์แป้งได้ดี เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของซีลี้อย่างพารากับเส้นใยเซลลูโลสทางการค้าที่มีผลต่อสมบัติของ TPS พบว่าซีลี้อย่างพารามีประสิทธิภาพในการปรับปรุงค่าความต้านทานต่อแรงดึง และค่าการดูดซึมน้ำได้ดีกว่าเส้นใยเซลลูโลสทางการค้า เนื่องจากโครงสร้างของซีลี้อย่างพาราประกอบด้วยลิกนินที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ และมีลักษณะเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติส่งผลให้ขัดขวางไม่ให้โมเลกุลน้ำแทรกเข้าไปในเมทริกซ์แป้ง และเพิ่มความแข็งแรงให้กับ TPS ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าสามารถนำซีลี้อย่างพารามาใช้เป็นสารตัวเติมแทนเส้นใยเซลลูโลสทางการค้าได้ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด [20]

2.16.6 มณิศรา และคณะ (2559) ศึกษาคอมพอลิเมอร์โพนแป้งเตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลี้อย่างพารา และน้ำยางธรรมชาติผสมกันด้วยเครื่องช่วยผสม (Internal mixer) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และขึ้นรูปด้วยเทคนิคการอัดขึ้นรูป (Compression molding) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส แล้วศึกษาสมบัติต่าง ๆ จากการทดลองพบว่าความหนาแน่นของคอมพอสิตโฟมแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มผงซีลี้อยู่ในยางพารา และน้ำยางพารา การเพิ่มปริมาณผงซีลี้อยู่ในยางพาราสามารถเพิ่มสมบัติการรับแรงโค้งงอของคอมพอสิตโฟมแข็ง แต่การเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราทำให้สมบัติการรับแรงดัดของคอมพอสิตโฟมแข็งลดลง เนื่องจากความเป็นขั้วที่แตกต่างกัน ระหว่างน้ำยางพารากับแป้งมันสำปะหลัง ส่วนการดูดซับน้ำของคอมพอสิตโฟมแข็งที่มีผงซีลี้อยู่ในยางพารา และน้ำยางธรรมชาติจะมีค่าต่ำกว่าโฟมแข็ง การย่อยสลายด้วยเอนไซม์แอลฟาอะมิเลส พบว่าการเพิ่มผงซีลี้อยู่ในยางพาราทำให้การย่อยสลายของคอมพอสิตโฟมแข็งลดลง ดังนั้นผงซีลี้อยู่ในยางพารา และน้ำยางธรรมชาติสามารถปรับปรุงให้คอมพอสิตโฟมแข็งทนน้ำได้มากขึ้นแต่ทำให้การย่อยสลายเนื่องจากเอนไซม์เกิดช้าลง [9]

2.16.7 Castillo. et al. (2015) ได้ศึกษาการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร และทัลคัม (Talcum) เป็นสารตัวเติม และขึ้นรูปขึ้นงานเป็นแผ่นฟิล์มจากเทคนิคการอัดขึ้นรูป (Compression molding) มีอัตราส่วนในการใส่สารตัวเติม คือ 0, 1, 3 และ 5 phr ผลของฟิล์มที่ไม่เติมทัลคัม เมื่อนำไปวิเคราะห์ Scanning electron microscopy (SEM) พบว่าฟิล์มที่ได้มีลักษณะผิวเรียบ แต่ฟิล์มที่เติมทัลคัมมีภาพตัดขวางที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งแตกต่างจากฟิล์มที่ไม่เติมทัลคัม สำหรับภาพที่ได้จากการวิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) พบว่าฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ไม่มีการเติมทัลคัม มีการดูดกลืนแสงในช่วง 270-300 นาโนเมตร แต่เมื่อเพิ่มปริมาณทัลคัมสูงกว่า 3 phr สามารถลดการดูดกลืนแสงได้ จึงสรุปได้ว่า ฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่มีการเติมทัลคัม มากกว่า 3 phr ขึ้นไป ทำให้ฟิล์มมีความแข็งมากขึ้น สมบัติเชิงกลดีขึ้น และการดูดกลืนแสงลดลง [21]

2.16.8 รัตนา และคณะ (2548) งานวิจัยนี้ศึกษาผลของพลาสติกไซเซอรต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มโปรตีนถั่วเขียว (Mung bean protein) โดยใช้พลาสติกไซเซอร 3 ชนิด ได้แก่ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และพอลิเอทิลีนไกลคอล และเปลี่ยนอัตราส่วนปริมาณโปรตีนถั่วเขียวต่อปริมาณพลาสติกไซเซอร เป็น 3 ระดับ คือ 70 : 30, 60 : 40 และ 50 : 50 พบว่าฟิล์มที่ผลิตโดยใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลไม่สามารถขึ้นรูปได้ทุกอัตราส่วน ฟิล์มมีลักษณะเปราะแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขณะที่ฟิล์มซึ่งผลิตโดยใช้กลีเซอรอล และซอร์บิทอล สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ทุกอัตราส่วน เมื่อนำไปวัดความหนา การต้านแรงดึง การซึมผ่านของน้ำมัน และความสามารถในการละลาย พบว่าฟิล์มมีความหนาไม่แตกต่างกัน ค่าการต้านแรงดึงลดลงเมื่อปริมาณพลาสติกไซเซอรเพิ่มขึ้นสามารถต้านทานการซึมผ่านของน้ำมันได้มากกว่า 9 วัน ยกเว้นฟิล์มที่ผลิตด้วยอัตราส่วนผสมของโปรตีนถั่วเขียวต่อซอร์บิทอลที่ระดับ 50 : 50 สำหรับความสามารถในการละลายน้ำนั้น เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซอร และพบว่ากลีเซอรอล และซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอรที่สามารถใช้ในการผลิตฟิล์มโปรตีนถั่วเขียวได้ดีกว่าโพลีเอทิลีนไกลคอล ฟิล์มโปรตีนถั่วเขียวที่ผลิตได้มีสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันตามปริมาณ และชนิดของพลาสติกไซเซอรที่ใช้ การเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล และซอร์บิทอลส่งผลให้ฟิล์มสามารถละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น การต้านแรงดึงลดลง และการใช้กลีเซอรอลมีความสามารถในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายน้ำและการต้านแรงดึงของฟิล์มสูงกว่าการใช้ซอร์บิทอล และเมื่อใช้พลาสติกไซเซอร์เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 50 ฟิล์มทั้งสองชนิดมีค่าการต้านแรงดึงใกล้เคียงกัน แต่ฟิล์มกลีเซอรอลสามารถต้านทานการซึมผ่านของน้ำมันได้ดีกว่าฟิล์มซอร์บิทอล [8]

**2.16.9 ญัฐฐา และคณะ (2560)** งานวิจัยศึกษาผลของเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้งมันสำปะหลัง ด้วยกรดแลคติก ในอัตราส่วน 2 phr และเสริมแรงด้วยแคลบในอัตราส่วน 5, 10, 15 และ 20 phr ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) แล้วขึ้นรูปด้วยวิธีกดอัด (Compression molding) ผลจากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันพบว่า เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้น เมื่อเติมแคลบลงไป และเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) ขึ้น เมื่อเติมกรดแลคติก ผลจากการนำไปวิเคราะห์การเปื่อยเบนของรังสีเอ็กซ์ พบว่า แนวโน้มการมีผลึกเพิ่มขึ้นเมื่อเติมแคลบ ในทางกลับกัน แนวโน้มการมีผลึกลดลงเมื่อเติมกรดแลคติก เมื่อนำไปวิเคราะห์ Scanning electron microscopy (SEM) พบว่า TPCS ที่ได้มีลักษณะผิวเรียบขึ้น เมื่อเติมกรดแลคติก และแคลบกระจายตัวได้ดี สำหรับผลการดูดซับความชื้น และผลของสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อทำการปรับปรุง TPCS ด้วยแคลบ 20 phr พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นต่ำที่สุด และมีสมบัติเชิงกลดีที่สุด และผลของสมบัติทางความร้อน พบว่า TPCS มีเสถียรภาพทางความร้อนดีขึ้น และผลของการย่อยสลายพบว่าทุกสูตรเกิดการย่อยสลายได้จากสมบัติเชิงกลที่ลดลงหลังการฝังดิน แต่สูตรที่ปรับปรุง TPCS ด้วยกรดแลคติกเกิดการย่อยสลายเร็วที่สุด [22]

**2.16.10 รัฐพร และทิพา (2548)** งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการพัฒนาฟิล์มพอลิยูรีเทนให้มีฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์โดยการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มของกรดอินทรีย์ และเอสเทอร์ เช่น กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก เมทิลพาราเบนและสารที่ใช้ในทางการค้า (Ciba Irguard® H6000) ลงในพอลิยูรีเทน โดยทำการเตรียมฟิล์มพอลิยูรีเทนจากพอลิยูรีเทน (Prepolymer) ชนิด 1 องค์ประกอบแล้ว เติมตัวริเริ่มปฏิกิริยาเชื่อมโยงสายโซ่พอลิเมอร์ด้วยแสง (Photoinitiator) 0.5% โดยน้ำหนัก จากการทดสอบพบว่าฟิล์มที่ทำการเติมสารต้านจุลินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดด้วย ความเข้มข้นร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก สามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ *Escherichia coli* (*E. coli*) และ *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) มากกว่าร้อยละ 99 นอกจากนี้ยังทำการศึกษาค่าผลของสารต่อต้านจุลินทรีย์ต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิยูรีเทน โดยใช้เทคนิค Nanoindentation พบว่าฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมกรดเบนโซอิก และเมทิลพาราเบน สามารถเพิ่มความแข็ง และมอดูลัสยืดหยุ่นให้กับฟิล์มพอลิยูรีเทนได้และเมื่อทำการทดสอบความชอบน้ำของฟิล์มพอลิยูรีเทนด้วยการวัดมุมสัมผัสของน้ำ (Contact angle) ซึ่งสัมพันธ์กับความความสามารถในการยึดติดของจุลินทรีย์ (Adhesion) บนผิวฟิล์มพอลิยูรีเทน พบว่าการเติมกรดเบนโซอิก และ กรดซอร์บิกสามารถช่วยเพิ่มความชอบน้ำให้กับฟิล์มพอลิยูรีเทนได้อีกด้วย [23]

2.12.11 Majzooobi, M. Beparva, P. ทำการศึกษาอิทธิพลของกรดอะซิติก และกรดแลคติกที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพเคมีของแป้งสาลี (Native wheat starch) และแป้งสาลีที่มีการเชื่อมโยง (Cross-linked wheat starch) หลังการเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) โดยเริ่มจากปั่นกวนแป้ง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในน้ำกลั่นผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาปั่นกวน 30 นาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และหล่อเย็นอย่างรวดเร็วภายในเวลา 10 นาทีได้ลักษณะที่เป็นเจล เปรียบเทียบอิทธิพลของกรดทั้งสองชนิดเมื่อใส่ทั้งก่อนและหลังการเกิดเจลาติไนเซชัน พบว่าเมื่อใส่กรดแลคติกในแป้งสาลีที่มีการเชื่อมโยงส่งผลให้มีความต้านทานการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใส่กรดแลคติกในแป้งสาลี สายโซ่โมเลกุลสั้นลงเนื่องจากกรดแลคติกทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส นอกจากนี้พบว่ากรดแลคติกลดความเป็นผลึกของแป้งทำให้ดูดซับน้ำได้มากขึ้นและสามารถละลายน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อให้แป้งสาลีเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้น [26]



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 แป้งข้าวโพด (Corn starch) ตรากระต่าย ผลิตโดย บริษัท คิงส์ มิลลิ่ง จำกัด และองค์ประกอบของแป้งข้าวโพดดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของแป้งข้าวโพด

องค์ประกอบ	ร้อยละ
อะมิโลส	28.0
อะมิโลเพคติน	72.0
โปรตีน	10.0
ไขมัน	4.4
เส้นใย	2.2
เถ้า	1.2

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

- 3.1.2 ซี้เลื่อยไม้จามจรี จากอำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย
- 3.1.3 กลีเซอรอล (Glycerol) เกรดทางการค้า จากบริษัท Lab System
- 3.1.4 กรดเบนโซอิก (Benzoic acid) จากบริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด
- 3.1.5 น้ำมันซิลิโคน จากบริษัท ดาวีนเคมีคอล

#### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) : Banbender รุ่น PL 2000/PL 2001
- 3.2.2 เครื่องกดอัดขึ้นรูป (Compression molding) : บริษัทแมชกรุป (1992) จำกัด รุ่น MGL P 20AT
- 3.2.3 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine)
- 3.2.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)
- 3.2.5 เครื่องทดสอบทางความร้อน Thermogravimetric Analysis (TGA)
- 3.2.6 เครื่องมือวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR)

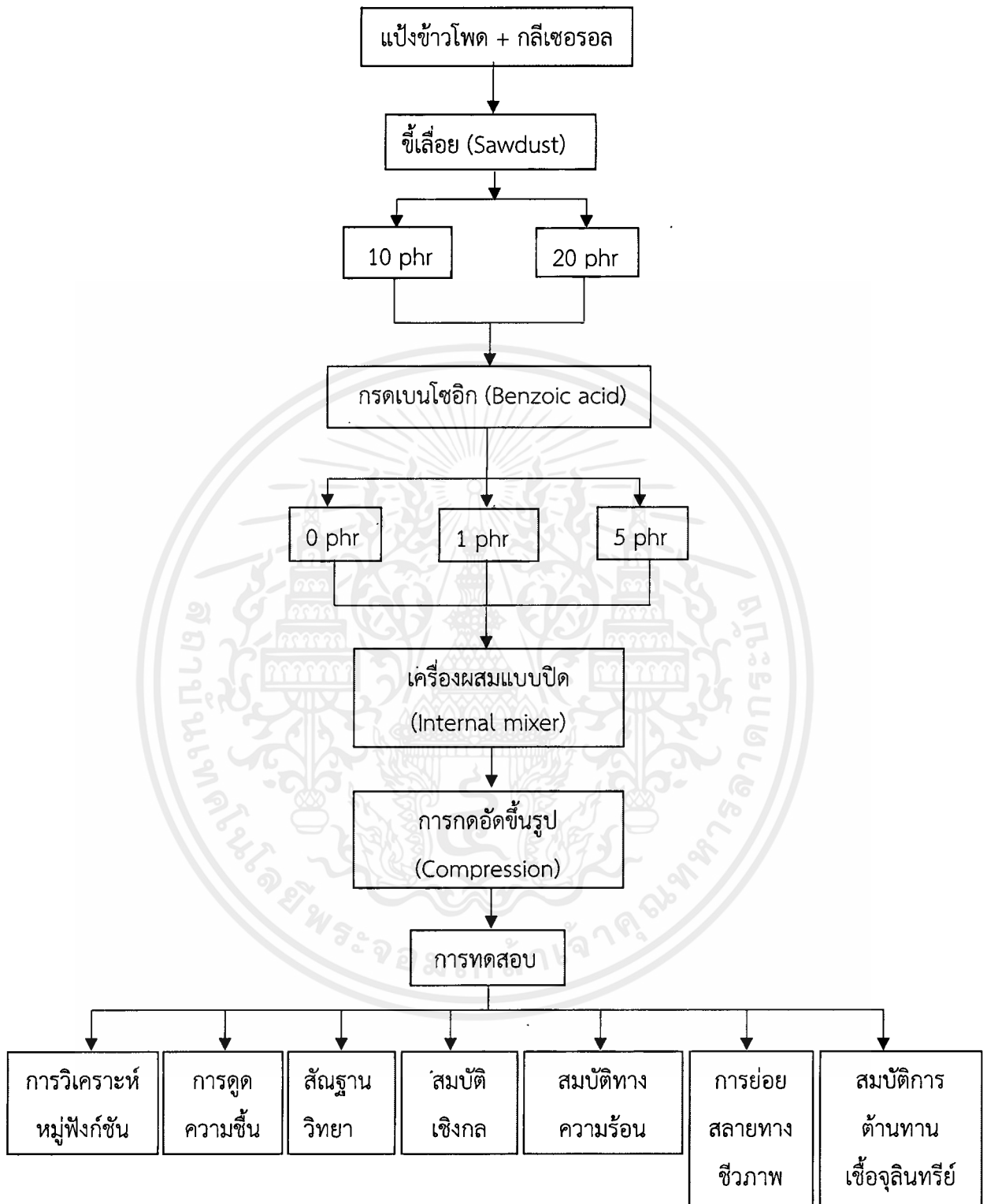
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.2.7 เครื่องบดละเอียด
- 3.2.8 เครื่องตัดชิ้นงานรูปดัมเบลล์ : CEAST รุ่น 6052
- 3.2.9 เครื่องชั่งแบบดิจิตอล ความละเอียด 2 ตำแหน่ง (g) : Precisa instrument
- 3.2.10 ตู้อบ
- 3.2.11 เครื่องร่อนแยกขนาด
- 3.2.12 ตะแกรงร่อนขนาด 100 และ 200 เมช
- 3.2.13 แม่พิมพ์หนา 2 มิลลิเมตร
- 3.2.14 ถูมือกันความร้อน
- 3.2.15 กล้องปิดสนิท
- 3.2.16 แผ่นใสถ่ายเอกสาร
- 3.2.17 ไมโครมิเตอร์
- 3.2.18 ถูชิปลีด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพแสดงขั้นตอนในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมซีลี้อย

3.3.1.1 บดซีลี้อยด้วยเครื่องบดละเอียด และนำไปผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 และ 200 เมช ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวในช่วง 0.150-0.075 มิลลิเมตร และมี Aspect ratio (L/D ratio) เท่ากับ  $3.33 \pm 0.86$  ตามลำดับ (ภาคผนวก ก)

3.3.1.2 นำซีลี้อยที่ผ่านการแยกขนาดแล้วเก็บใส่ถุงซิปล็อค และเก็บให้ห่างจากความชื้น เพื่อเตรียมทำการผสมต่อไป

#### 3.3.2 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งข้าวโพด

3.3.2.1 นำแป้งข้าวโพดผสมกับกลีเซอรอลในอัตราส่วนแป้งข้าวโพด 60 และกลีเซอรอล 40 phr ใช้เวลาหมัก 24 ชั่วโมง เพื่อให้กลีเซอรอลกระจายตัว และซึมเข้าสู่เนื้อแป้ง

3.3.2.2 ชั่งแป้งข้าวโพดหมัก 50 กรัม จากนั้นนำไปผสมในเครื่องผสมระบบปิด โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการผสมเท่ากับ 150 องศาเซลเซียส และใช้ความเร็วรอบของสกรูในการผสมเท่ากับ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

3.3.2.3 ทำการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งข้าวโพด ด้วยเครื่องอัดขึ้นอัดรูป โดยใช้แม่พิมพ์สี่เหลี่ยมหนา 2 มิลลิเมตร ทำความสะอาดแม่พิมพ์ก่อนจากนั้นทำการวางแผ่นใสลงบนแม่พิมพ์ และทาน้ำมันซิลิโคนในด้านที่สัมผัสกับเทอร์โมพลาสติกสตาบิล ก่อนทำการขึ้นรูป

3.3.2.4 ทำการขึ้นรูปชิ้นงานที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ที่ความดัน 1700 psi จากนั้นทำการหล่อเย็นเป็นเวลา 5 นาที

3.3.2.5 นำแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ขึ้นรูปเสร็จแล้วไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ

#### 3.3.3 การปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลด้วยซีลี้อยและกรดเบนโซอิก

3.3.3.1 นำแป้งข้าวโพดผสมกับกลีเซอรอลอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวโพด และกลีเซอรอล เท่ากับ 40 ต่อ 60 phr ใช้เวลาหมัก 24 ชั่วโมง เพื่อให้กลีเซอรอลกระจายตัวและซึมเข้าสู่เนื้อแป้ง

3.3.3.2 ชั่งแป้งข้าวโพดหมัก 50 กรัม จากนั้นนำมาผสมกับซีลี้อย และกรดเบนโซอิกในปริมาณต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของแป้งข้าวโพด กลีเซอรอล และซีลี้อยู่ที่ใช้ในการเตรียมคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

สูตร	แป้งข้าวโพด (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	ซีลี้อยู่ (กรัม)	กรดเบนโซอิก (กรัม)
TPCS	60	40	-	-
TPCS/10SD	60	40	10	-
TPCS/20SD	60	40	20	-
TPCS/1BA	60	40	-	1
TPCS/5BA	60	40	-	5
TPCS/10SD/1BA	60	40	10	1
TPCS/10SD/5BA	60	40	10	5
TPCS/20SD/1BA	60	60	20	1
TPCS/20SD/5BA	60	60	20	5

- 3.3.3.3 จากนั้นนำไปผสมในเครื่องผสมระบบปิดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วรอบสกรูผสมเท่ากับ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
- 3.3.3.4 ขึ้นรูปคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ด้วยเครื่องอัดขึ้นอัดรูป โดยใช้แม่พิมพ์สี่เหลี่ยมหนา 2 มิลลิเมตร ทำความสะอาดแม่พิมพ์ก่อนจากนั้นทำการวางแผ่นใสลงบนแม่พิมพ์และทาน้ำมันซิลิโคนในด้านที่สัมผัสก่อนทำการขึ้นรูป
- 3.3.3.5 ทำการขึ้นรูปชิ้นงานที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาทีที่ความดัน 1700 psi จากนั้นทำการหล่อเย็นเป็นเวลา 5 นาที
- 3.3.3.6 นำตัวอย่างที่เตรียมได้ ไปทดสอบสมบัติต่างๆ

### 3.4 การทดสอบสมบัติ

#### 3.4.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิคฟลูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectrometer ; FT-IR)

ทำการเตรียมตัวอย่างจากแผ่นคอมพอสิตเทอริโม่พลาสติคสตาร์ช ทำการกำจัดความชื้นด้วยการนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างประมาณ 2-3 มิลลิกรัม และโพแทสเซียมโบรไมด์ที่อบแห้งแล้วจำนวน 0.2-0.5 กรัม บดให้เข้าให้เข้ากัน และใส่ลงในแม่พิมพ์แล้วนำเข้าเครื่องอัดเม็ดภายใต้สภาวะความดัน  $10^{-4}$  kg/cm<sup>2</sup> เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำเม็ดตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟลูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์

#### 3.4.2 การดูดซับความชื้น (Moisture uptake)

ทดสอบการดูดซับความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM E 104 เตรียมตัวอย่างโดยการนำชิ้นงานอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส และบันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำชิ้นงานไปวางในบรรยากาศที่อิ่มตัวด้วยน้ำกลั่น (Distilled water) ที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์  $99 \pm 1$  และมีการบันทึกน้ำหนักของชิ้นงานทุกวันจนน้ำหนักคงที่ปริมาณการดูดซับความชื้นคำนวณได้จาก

$$M_t = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100$$

เมื่อ  $M_t$  คือ เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้น

$W_d$  คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนดูดซับความชื้น

$W_w$  คือ น้ำหนักของชิ้นงานหลังดูดซับความชื้น

#### 3.4.3 การทดสอบสัณฐานวิทยา (Morphology)

ทดสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อดูการกระจายตัวของอนุภาคขี้เลื่อย สารต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ และรอยต่อระหว่างวัฏภาคในชิ้นงาน การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM เพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) ซึ่งสามารถเตรียมชิ้นงานได้โดยการนำชิ้นงานแช่ในไนโตรเจนเหลว และหักชิ้นงานทันที จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มาเคลือบด้วยทองคำก่อนนำไปวิเคราะห์ผล

### 3.4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

นำตัวอย่าง TPCS/SD มาทดสอบสมบัติเชิงกล ตามมาตรฐาน ASTM D 638 โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal testing machine) ตามมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะเป็นรูปดัมเบลล์ดังแสดงในรูปที่ 3.2 จำนวน 10 ชิ้นต่อ 1 ตัวอย่าง โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ  $23 \pm 2$  องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์  $60 \pm 5$  เปอร์เซ็นต์ ตามสภาวะดังนี้

Test speed : 40 mm/min

Gauge length : 25 mm

Load cell : 1 kN

ตารางที่ 3.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของ TPCS/SD

สมบัติ	มาตรฐานที่เราใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (Stress at maximum load)	ASTM D 638	MPa
มอดุลัส (Young' modulus, E)	ASTM D 638	MPa
เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (Percentage Strain at maximum load)	ASTM D 683	%



รูปที่ 3.2 ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ [27]

ค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด ค่ามอดุลัส และความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด} = \frac{F}{A}$$

(Stress at maximum load)

$$\text{มอดุลัส (Young' modulus)} = \frac{F/A}{(L-L_0)/L_0}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด} = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100$$

(Percentage Strain at maximum load)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ในการดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง (N)  
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง ( $\text{mm}^2$ )  
 L คือ ระยะทางระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงยึดชิ้นงาน (mm)  
 L<sub>0</sub> คือ ระยะที่ชิ้นงานเริ่มต้นก่อนการดึงยึด (mm)

### 3.4.5 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน (Biodegradable properties)

เตรียมชิ้นงานโดยการตัดชิ้นงานเป็นรูปดัมเบลล์ จำนวน 5 ชิ้นงานต่อ 1 สูตร จากนั้นนำไปฝังดินลึกประมาณ 5 เซนติเมตร และควบคุมสภาพในดินให้มีความชื้น 5-10 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาในการฝังดินคือ 5 วัน และ 10 วัน แล้วนำชิ้นงานมาทดสอบสมบัติเชิงกล และเปรียบเทียบกับชิ้นงานตัวอย่างที่ไม่ได้ฝังดิน

### 3.4.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA)

การศึกษาสมบัติทางความร้อน และอุณหภูมิการสลายตัว ด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ โดยชั่งสารประมาณ 10-12 มิลลิกรัม แล้วนำมาวิเคราะห์ ด้วยเครื่อง TGA ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ที่ช่วงอุณหภูมิ 50–600 องศาเซลเซียส และมีอัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยวัดอุณหภูมิในช่วง 250-350 องศาเซลเซียส

### 3.4.7 การทดสอบการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ (Antimicrobial testing)

โดยทดสอบการบริเวณที่ยับยั้งเชื้อ (Zone of inhibition) ของตัวอย่างทรงกลมในอะการ์ที่เตรียมได้ในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ใช้ตัวทำละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethyl Sulfoxide, DMSO) ความเข้มข้น 1 phr และเอทานอลความเข้มข้น 95 phr เป็นสภาวะควบคุมใส่ชิ้นงานบนกระดาษกรองปราศจากเชื้อแล้วนำไปเพาะเลี้ยงร่วมกับเชื้อในจานเลี้ยงเชื้อ (Petri dish) โดยเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ คือ แบคทีเรียชนิด แกรมลบ *Esherichian coli* (*E.coli*) และชนิด แกรมบวก *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) เพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ที่มีอุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณที่เกิดการยับยั้งในหน่วยมิลลิเมตร

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลตจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติโดยการเสริมแรงด้วยซีลีเนียมและกรดเบนโซอิกในปริมาณต่าง ๆ โดยอัตราส่วนของซีลีเนียมเท่ากับ 0 10 และ 20 phr และ กรดเบนโซอิกเท่ากับ 1 และ 5 phr โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) หลังจากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัด (Compression molding) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และนำชิ้นงานมาทดสอบสมบัติต่าง ๆ ดังนี้ การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน สัณฐานวิทยา การดูดซับความชื้น สัณฐานวิทยาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติการย่อยสลายโดยการฝังดิน และสมบัติการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ของคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลตที่เตรียมได้

ตารางที่ 4.1 แสดงความหมายของอักษรย่อที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	สูตร/อักษรย่อที่ใช้	ความหมาย
1.	TPCS	คอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลตจากแป้งข้าวโพด
2.	TPCS/10SD	คอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลตจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียม 10 phr
3.	TPCS/20SD	คอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลตจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียม 20 phr
4.	TPCS/1BA	คอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลตจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิก 1 phr
5.	TPCS/5BA	คอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลตจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิก 5 phr
6.	TPCS/10SD/1BA	คอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลตจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียม 10 phr และ กรดเบนโซอิก 1 phr
7.	TPCS/10SD/5BA	คอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลตจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียม 10 phr และกรดเบนโซอิก 5 phr
8.	TPCS/20SD/1BA	คอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลตจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียม 20 phr และกรดเบนโซอิก 1 phr
9.	TPCS/20SD/5BA	คอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลตจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียม 20 phr และกรดเบนโซอิก 5 phr

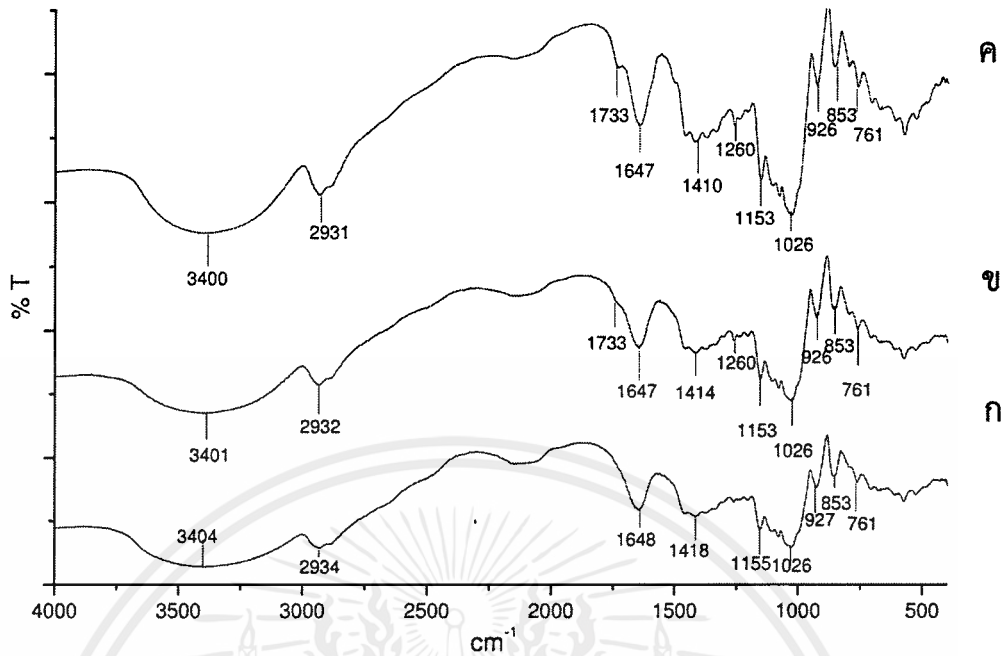
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 การทดสอบหมู่ฟังก์ชัน

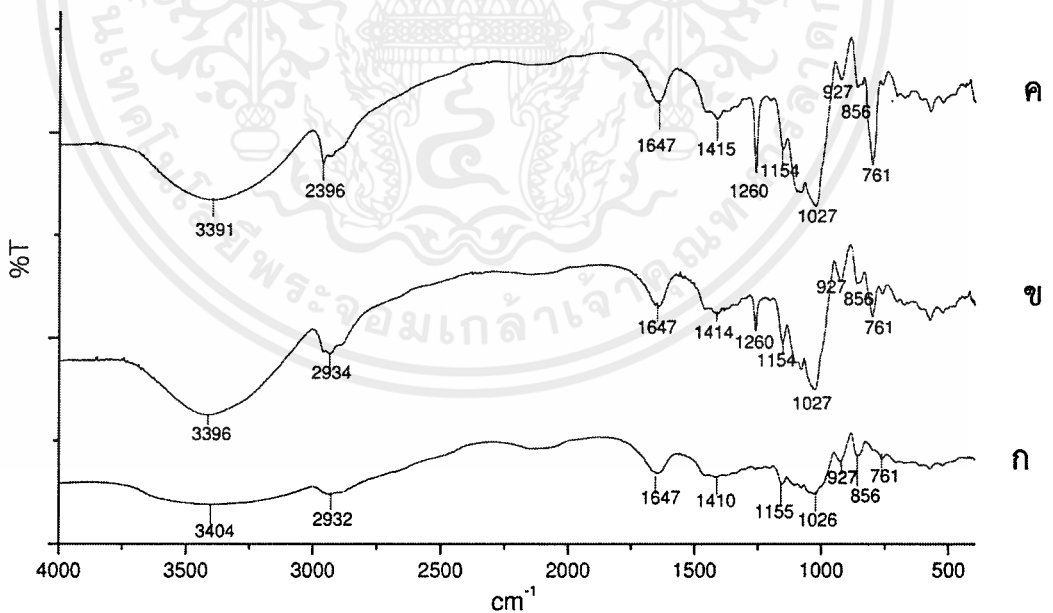
การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติ โดยใช้เครื่อง FT-IR พิกที่ปรากฏขึ้นมีลักษณะคล้ายกัน แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและลักษณะการสั่น [28]

เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )	ลักษณะการสั่น
3600-3200	O-H stretching
3000-2800	C-H stretching
1733	C=O stretching
1647	Bounded water
1485-1420	O-H bending
1300-1100	C-O stretching
1027	C-O-H bending
600-900	C-H out of plane bending

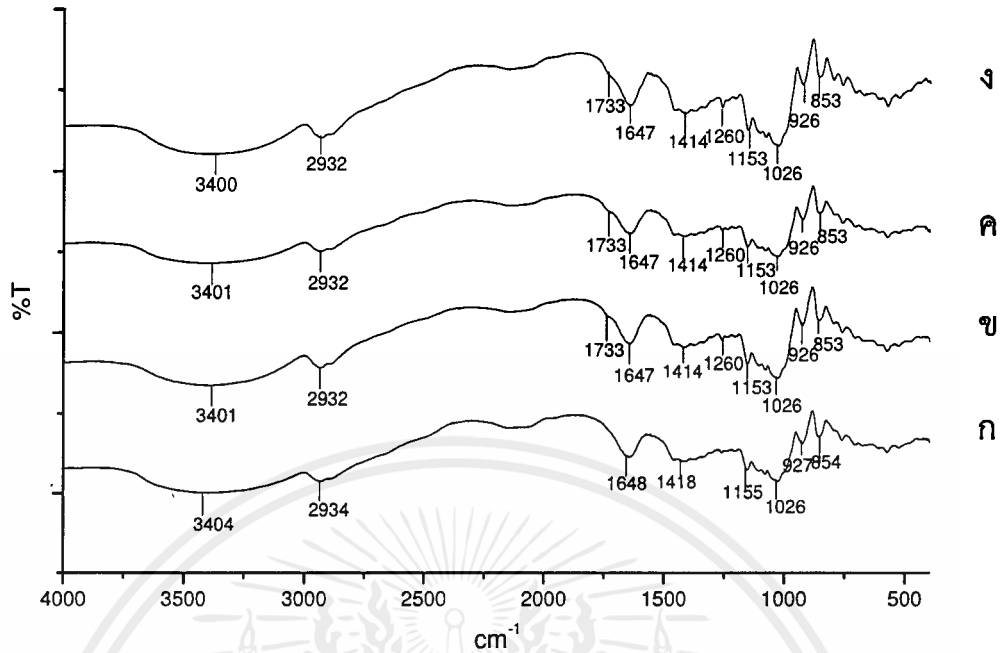


รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตเสริมแรงด้วยซีลีเนียมในอัตราส่วนต่าง ๆ (ก) TPCS (ข) TPCS/10SD และ (ค) TPCS/20SD

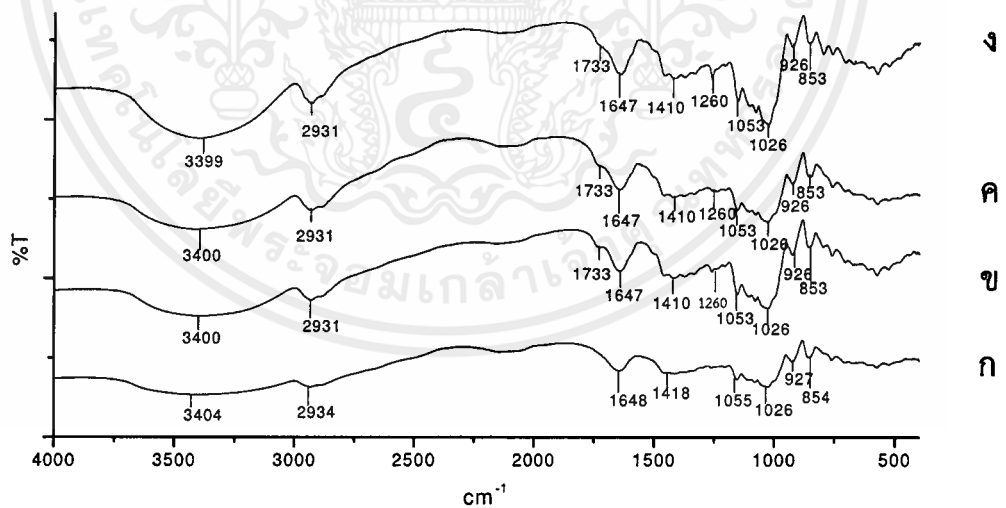


รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตโดยปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่าง ๆ (ก) TPCS (ข) TPCS/1BA และ (ค) TPCS/5BA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชโดยเสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ในอัตราส่วน 10 phr และกรดเบนโซอิก ในอัตราส่วนต่าง ๆ (ก) TPCS (ข) TPCS/10SD (ค) TPCS/10SD/1BA และ (ง) TPCS/10SD/5BA



รูปที่ 4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชโดยเสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ในอัตราส่วน 20 phr และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่าง ๆ (ก) TPCS (ข) TPCS/20SD (ค) TPCS/20SD/1BA และ (ง) TPCS/20SD/5BA

จากรูปที่ 4.1-4.4 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของร้อยละการส่งผ่านแสงของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีออยในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของทุกสูตรมีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ พบพีคในช่วงความยาวคลื่น  $3394-3404\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching จากแป้ง และกลีเซอรอล พีคในช่วงความยาวคลื่นที่  $2931-2934\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H stretching ของ  $\text{CH}_2$  และ  $\text{CH}_3$  จากแป้ง พีคที่ประมาณ  $1733\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นของ C=O stretching ของทั้งหมู่คาร์บอกซิลิก และหมู่เอสเทอร์ในโมเลกุลของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินที่มีอยู่ในซีลีออยจากไม้จามจรี พีคในช่วงความยาวคลื่น  $1647-1648\text{ cm}^{-1}$  เกิดจากน้ำในโมเลกุลของแป้ง พีคที่ความยาวคลื่นที่  $1418-1410\text{ cm}^{-1}$  แสดงถึงลักษณะการสั่นแบบ O-H bending พีคที่ความยาวคลื่น  $1153-1155\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-O-C stretching จากแป้ง ตำแหน่งพีคที่ช่วงความยาวคลื่น  $1026\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-O-H bending และที่ช่วงความยาวคลื่น  $600-900\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H bending [28]

จากผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันความแตกต่างระหว่าง TPCS กับ TPCS/SD ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีออย รูปที่ 4.1 (ก)-(ค) พบว่าพีคที่ช่วง  $3400-3404\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching และพีคที่ช่วง  $1410-1418\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นของ O-H bending ของแป้ง นอกจากนี้เมื่อมีการผสมซีลีออยในปริมาณที่เพิ่มขึ้น พบว่าพีคของ O-H stretching และ O-H bending พีคมีการเปลี่ยนแปลงโดยเกิดการเคลื่อน (Shift) ไปยังเลขคลื่นที่ลดลงตามปริมาณซีลีออยที่เพิ่มขึ้น แสดงถึงพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นใหม่ระหว่างแป้งกับซีลีออย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ หัซซา และคณะ ที่ศึกษาคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งข้าวโพดเสริมแรงด้วยซีลีออยจากไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้ออ่อน ในอัตราส่วนต่างๆ [3]

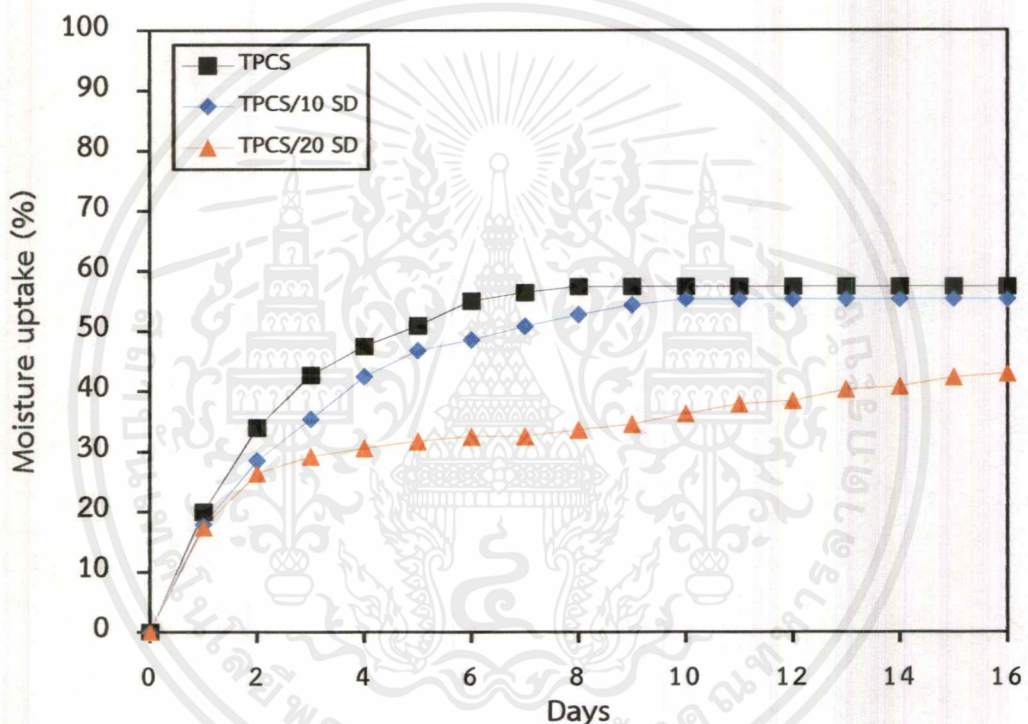
นอกจากนี้รูปที่ 4.1 (ข) และ 4.1 (ค) ยังพบตำแหน่งพีคความยาวคลื่น  $1733\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ C=O stretching ของซีลีออย ซึ่งมาจากหมู่คาร์บอกซิล และหมู่เอสเทอร์ของโมเลกุลเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินที่มีอยู่ในอนุภาคซีลีออย [3]

จากผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันความแตกต่างระหว่าง TPCS กับ TPCS/BA รูปที่ 4.2 (ก)-(ค) พบว่า เมื่อเติมกรดเบนโซอิกพบความเข้มตำแหน่งพีคที่  $1261\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นลักษณะการสั่นของ C-O stretching มากขึ้นตามปริมาณของกรดเบนโซอิกที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐธา และคณะ ที่ศึกษาคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังด้วยกรดแลคติกและเสริมแรงด้วยแคลบ [22]

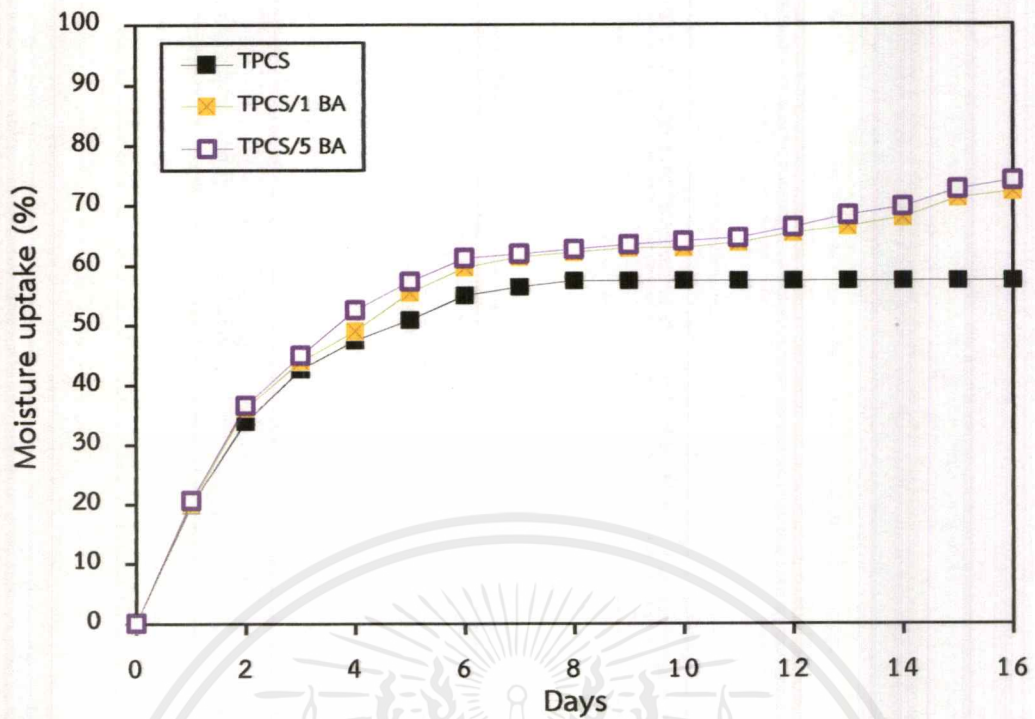
จากรูปที่ 4.3-4.4 เปรียบเทียบสเปกตรัมของ TPCS และ TPCS/SD/BA ของซีลี้อยู่ทั้งสอง ปริมาณ (10 และ 20 phr) พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมมีลักษณะของพีคที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งจะพบ พีคความยาวคลื่น  $1733\text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ C=O stretching จากซีลี้อยู่

## 4.2 การดูดซับความชื้น (Moisture uptake)

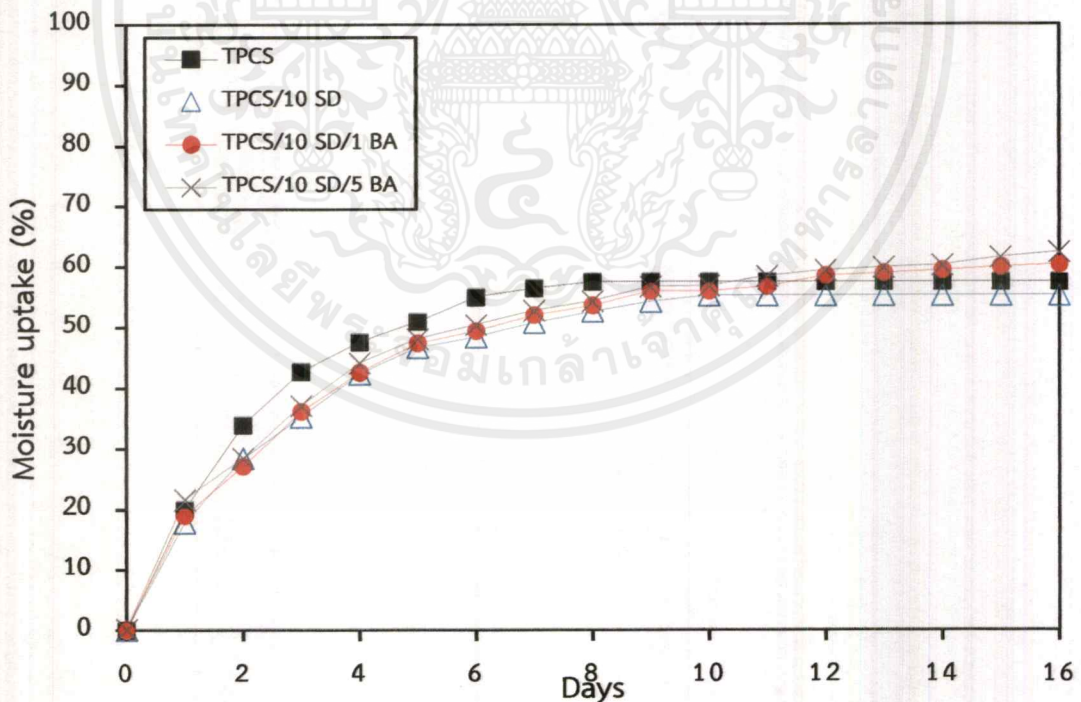
การดูดซับความชื้นของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติโดย เสริมแรงด้วยซีลี้อยู่และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่าง ๆ ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์  $99\pm 1$  เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ  $30\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 16 วัน ได้ผลการทดลองแสดงไว้ ในรูปที่ 4.5-4.8 และภาคผนวก ง



รูปที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งข้าวโพดที่ ปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ในอัตราส่วน 10 และ 20 phr

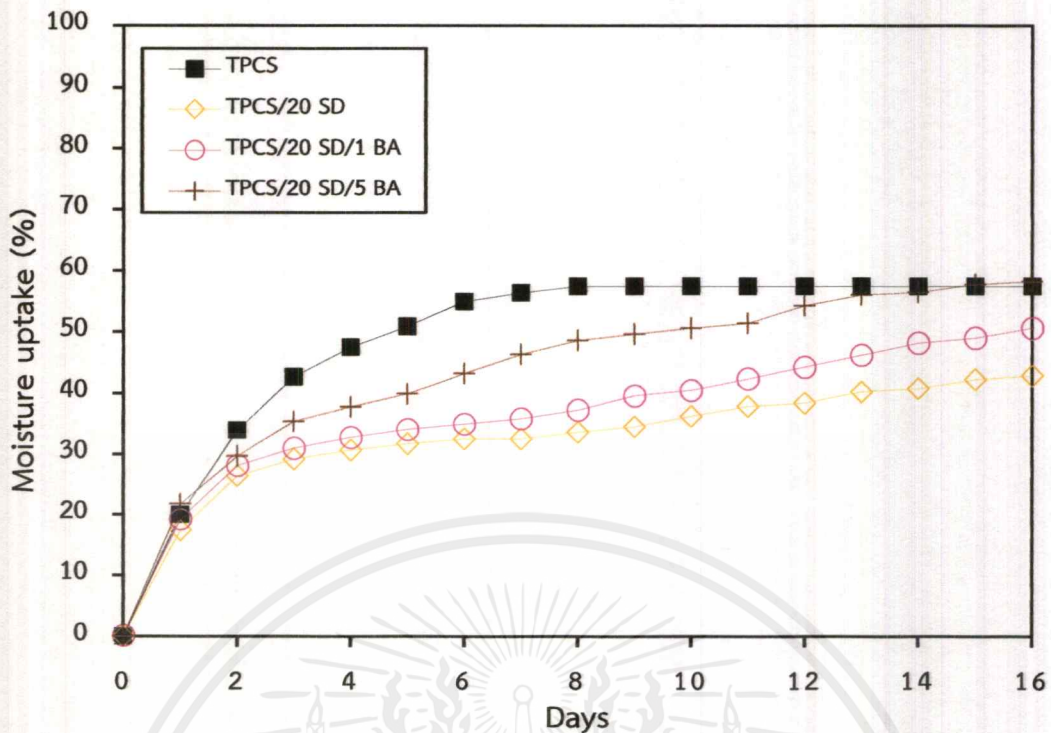


รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr



รูปที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงด้วยเสริมแรงโดยซีลี้อยู่ในอัตราส่วน 10 phr และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 เปรอ์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติคสตาร์ชจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงด้วยเสริมแรงโดยซีลี้อยในอัตราส่วน 20 phr และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr

จากรูปที่ 4.5-4.8 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติคสตาร์ชจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลี้อย และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 16 วัน พบว่าชิ้นงานทุกสูตรมีการดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 6 วันแรก หลังจากนั้นการดูดซับความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนกระทั่งอิ่มตัว เมื่อทดสอบการดูดซับความชื้น ณ วันที่ 16 พบว่าเกิดเชื้อราขึ้นบนชิ้นงานปรับปรุงสมบัติเสริมแรงด้วยซีลี้อยทุกสูตร จึงหยุดการทดสอบในวันที่ 17 ของการศึกษาการดูดซับความชื้น แต่ชิ้นงานที่ปรับปรุงด้วยกรดเบนโซอิกยังไม่เกิดราขึ้นบนชิ้นงาน

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.5 การศึกษาผลจากปริมาณซีลี้อยที่แตกต่างกันพบว่าคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติคสตาร์ชจากแป้งข้าวโพดที่เสริมแรงด้วยซีลี้อยมีค่าการดูดซับความชื้นน้อยกว่าเทอร์โมพลาสติคสตาร์ชที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ นอกจากนี้เมื่อใส่ปริมาณซีลี้อยเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การดูดซับความชื้นมีค่าลดลงตามลำดับ โดย TPCS/20SD ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นที่น้อยที่สุด เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของซีลี้อยประกอบไปด้วยเซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นสายโซ่ตรงระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และมีปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลอิสระน้อยกว่าแป้ง ดังนั้นจึงมีการดูดซับน้ำลดลงและในองค์ประกอบของซีลี้อยมีลิกนินซึ่งมีโครงสร้างเป็น

วงอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน แสดงถึงความไม่มีขั้ว จึงมีสมบัติความชอบน้ำลดลง ส่งผลให้คอมพอลิเมอร์โพลาสติกสตาร์ชดูดซับความชื้นน้อยลง [2]

จากรูปที่ 4.6 แสดงถึงเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr พบว่าเมื่อเติมกรดเบนโซอิกทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของคอมพอลิเมอร์โพลาสติกสตาร์ชมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้น โดย TPCS/5BA มีค่ามากที่สุด เนื่องจากกรดเบนโซอิกสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับแป้ง (pKa 4.20) [35] จึงทำให้สายโซ่แป้งสั้นลง และทำให้ความชื้นสามารถแทรกเข้าไประหว่างสายโซ่ของแป้งได้ดี ส่งผลให้มีความชอบน้ำสูงขึ้น [22]

และจากรูปที่ 4.7-4.8 แสดงผลการดูดซับความชื้นของคอมพอลิเมอร์โพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยในอัตราส่วน 10 และ 20 phr และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr ตามลำดับ พบว่าแสดงผลสอดคล้องกับ TPCS/SD และ TPCS/BA คือ เมื่อปริมาณซีลี้อยเพิ่มขึ้นส่งผลให้การดูดซับความชื้นมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากผลความไม่มีขั้วของซีลี้อย และเมื่อเพิ่มปริมาณกรดเบนโซอิกพบว่าการดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับแป้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ญัฐธา และคณะ ซึ่งศึกษาถึงการดูดซับความชื้นของคอมพอลิเมอร์โพลาสติกสตาร์ชของกรดแลคติกกับแป้ง พบว่ามีการดูดน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณกรดแลคติก [22]

จากงานวิจัยนี้พบว่าคอมพอลิเมอร์โพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติเสริมแรงด้วยซีลี้อย 20 phr (TPCS/20SD) มีการดูดซับความชื้นน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ พบว่าการเติมซีลี้อยลงในคอมพอลิเมอร์โพลาสติกสตาร์ชทำให้ดูดซับน้ำน้อยลง [2, 3, 22] นอกจากนี้การปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิก 5 phr (TPCS/5BA) มีค่าการดูดซับความชื้นมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กัญญาภรณ์ แทนเพชร และคณะ ที่ศึกษาเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังปรับปรุงด้วยกรดซิตริก และกรดมาลิก ซึ่งพบว่าเมื่อเติมกรดซิตริก และกรดมาลิกมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น [25] สำหรับ TPCS ที่ทำการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยในอัตราส่วน 20 phr ร่วมกับกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr (TPCS/20SD/5BA) พบว่าการดูดซับความชื้นต่ำกว่า TPCS ที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงสมบัติ

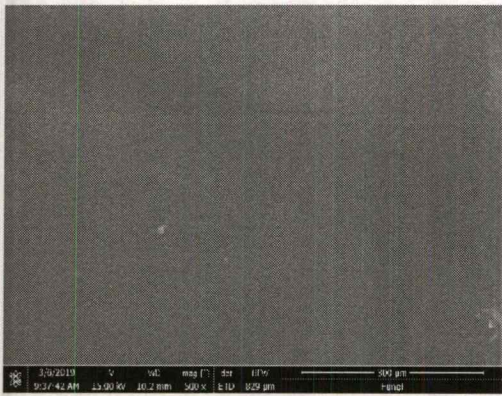
#### 4.3 สัณฐานวิทยา (Morphology)

จากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาโดยพิจารณาขนาดของอนุภาค การกระจายตัว และความเข้ากันได้ของคอมพอลิเมอร์โพลีพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลี้อย และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่าตามลำดับ ให้ผลการทดลองดังนี้

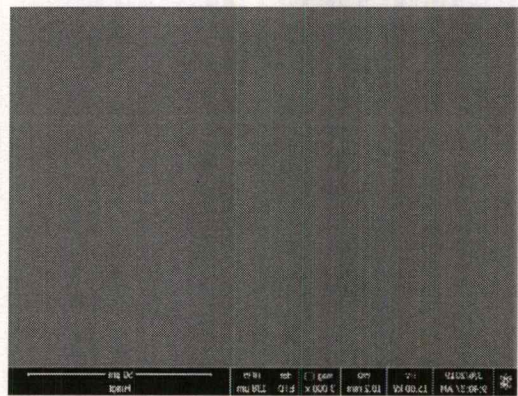


รูปที่ 4.9 ลักษณะสัณฐานวิทยาของซีลี้อย เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า

จากรูปที่ 4.9 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของซีลี้อย เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่า ซีลี้อยมีลักษณะรูปร่างไม่แน่นอนมีความยาวเฉลี่ยประมาณ  $412.12 \pm 74.27$  ไมโครเมตร และมีความกว้างเฉลี่ยประมาณ  $129.97 \pm 34.75$  ไมโครเมตร จาก 20 ตัวอย่าง และเมื่อนำไปคำนวณหาค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (L/D ratio) มีค่าเท่ากับ  $3.33 \pm 0.86$  ไมโครเมตร (ภาคผนวก ค)



(ก) TPCS, 500X



(ข) TPCS, 3000X

รูปที่ 4.10 (ก)-(ข) ลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวโพดที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 3000 เท่า



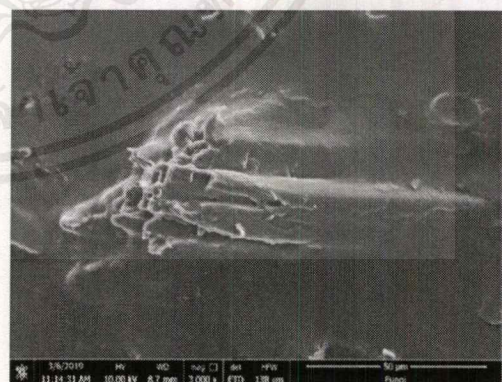
(ก) TPCS/10SD, 500X



(ข) TPCS/10SD, 3000X



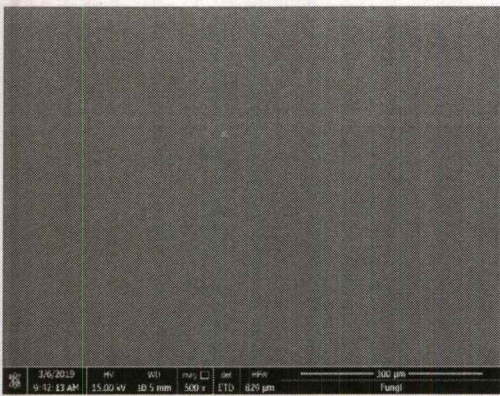
(ค) TPCS/20SD, 500X



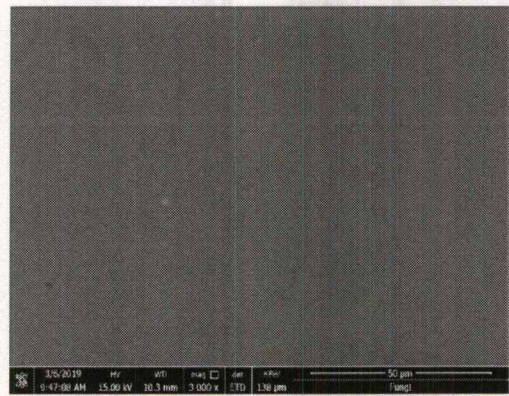
(ง) TPCS/20SD, 3000X

รูปที่ 4.11 (ก)-(ง) ลักษณะสัณฐานวิทยาของ TPCS ปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลีออยในอัตราส่วน 10 และ 20 phr เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ กำลังขยาย 500 เท่า และ 3000 เท่า

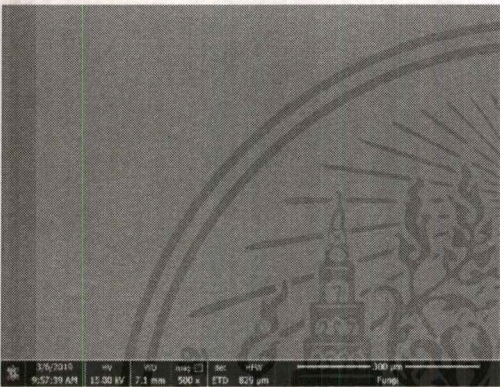
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



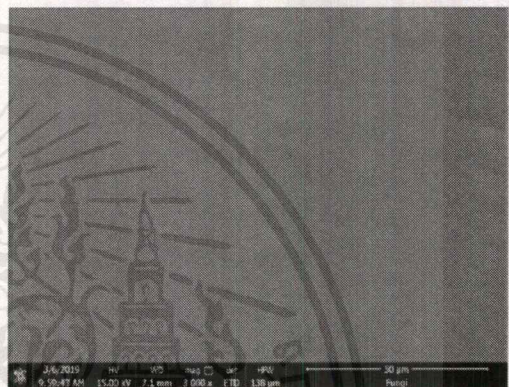
(ก) TPCS/1BA, 500X



(ข) TPCS/1BA, 3000X

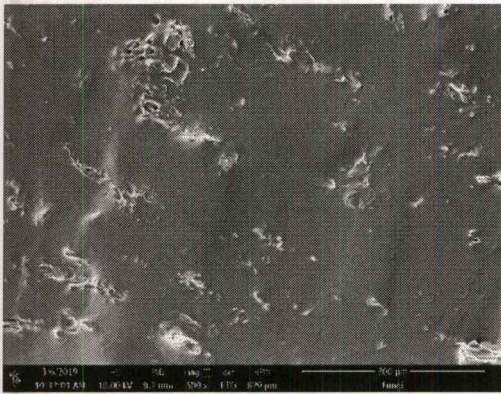


(ค) TPCS/5BA, 500X

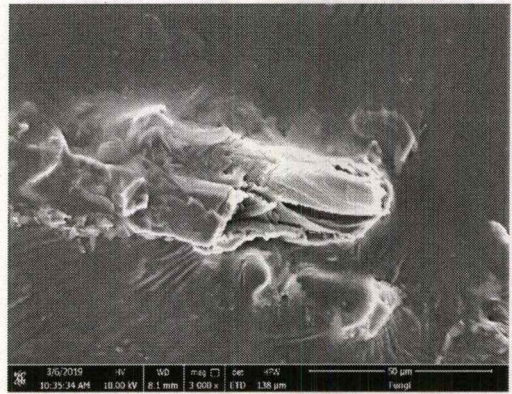


(ง) TPCS/5BA, 3000X

รูปที่ 4.12 (ก)-(ง) ลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 3000 เท่า



(ก) TPCS/10SD/1BA, 500X



(ข) TPCS/10SD/1BA, 3000X

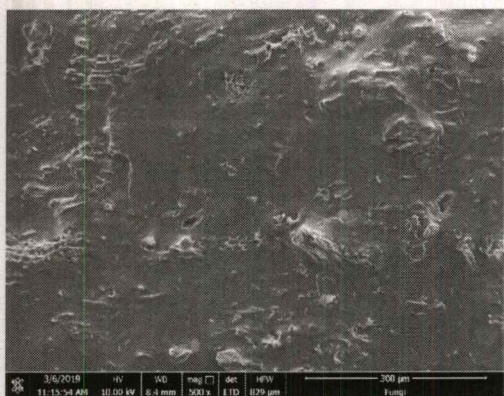


(ค) TPCS/10SD/5BA, 500X

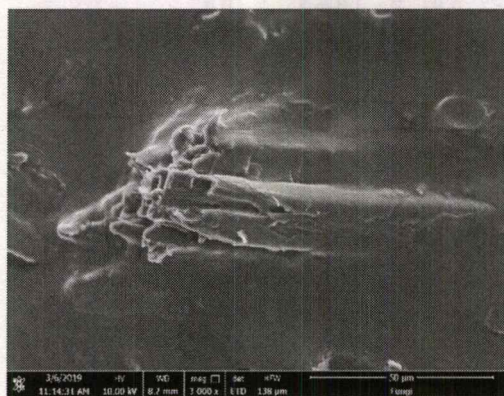


(ง) TPCS/10SD/5BA, 3000X

รูปที่ 4.13 (ก)-(ง) ลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 3000 เท่า



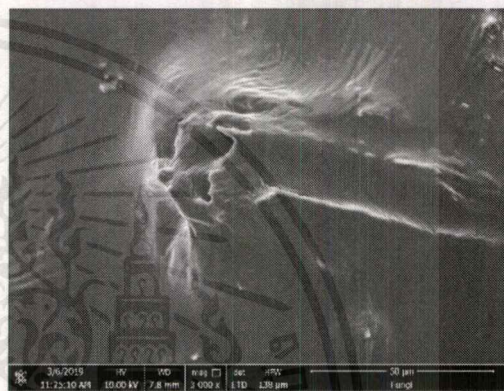
(ก) TPCS/20SD/1BA, 500X



(ข) TPCS/20SD/1BA, 3000X



(ค) TPCS/20SD/5BA, 500X



(ง) TPCS/20SD/5BA, 3000X

**รูปที่ 4.14** (ก)-(ง) ลักษณะสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงโดยเสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ในอัตราส่วน 10 และ 20 phr และกรดเบนโซอิก ในอัตราส่วน 1 และ 5 phr เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 3000 เท่า

จากรูปที่ 4.11 แสดงสัณฐานวิทยาของ TPCS/SD ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ในปริมาณ 10 และ 20 phr พบว่า รูปที่ 4.11 (ก) และ (ข) ที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า ตามลำดับ เมื่อใช้กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าซีลี้อย่างกระจายตัวบนเมทริกซ์ของแป้ง และมีการฝังเข้าไปในเมทริกซ์ของแป้งได้ดี และไม่มีรอยต่อที่เป็นช่องว่างระหว่างวัฏภาคแสดงให้เห็นถึงการยึดเกาะระหว่างวัฏภาคได้ดี มีเมทริกซ์ของแป้งปกคลุมที่พื้นผิวของซีลี้อยู่ (Surface wetting) พื้นผิวของซีลี้อยู่ถูกปกคลุมด้วยแป้ง ซึ่งแสดงถึงความเข้ากันได้ของวัฏภาคแป้งและซีลี้อยู่ เมื่อใช้กำลังขยาย 3000 เท่า สามารถมองเห็นวัฏภาคระหว่าง TPCS และซีลี้อยู่ พบว่าซีลี้อยู่มีความเข้ากันได้ดีกับวัฏภาค ของ TPCS

เนื่องจากแป้ง และซีลี้อยู่มีองค์ประกอบเป็นพอลิแซคคาไรด์ มีหมู่ฟังก์ชันเป็นไฮดรอกซิลในโครงสร้าง ซึ่งแสดงถึงความมีขั้วเหมือนกันทำให้มีความสามารถเกิดการยึดเกาะ และเข้ากันได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับผล FT-IR (รูปที่ 4.1) โดยพีคที่  $3394\text{-}3404\text{ cm}^{-1}$  และ  $1414\text{ cm}^{-1}$  แสดงลักษณะการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

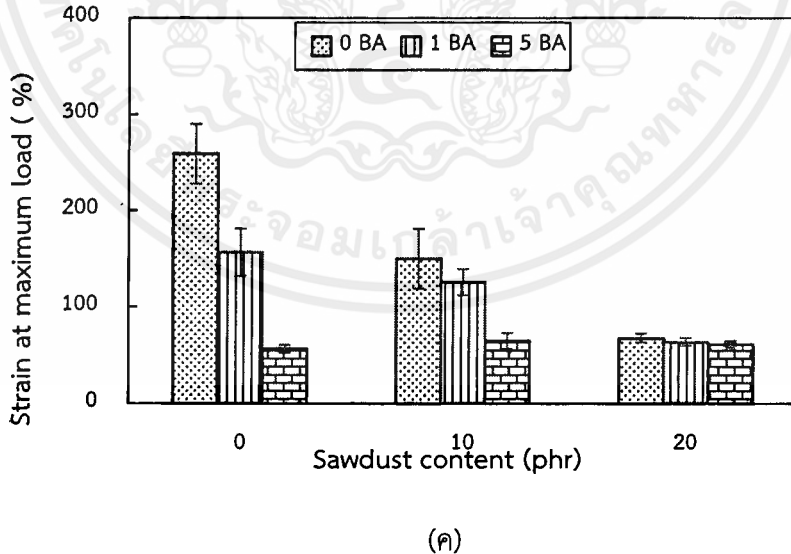
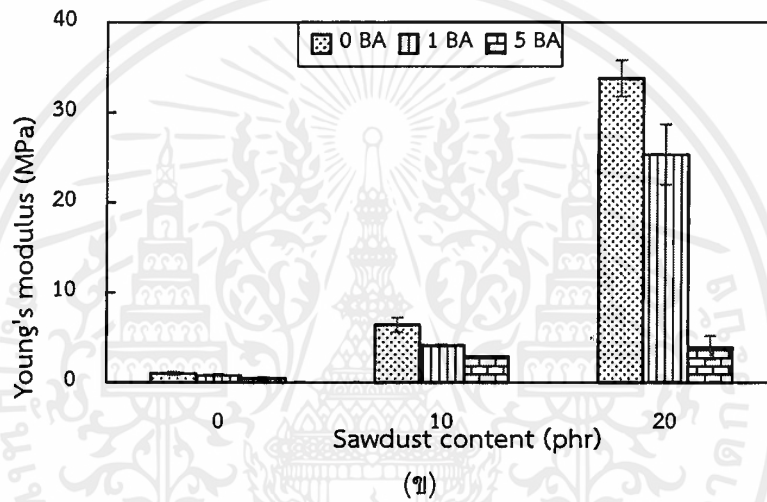
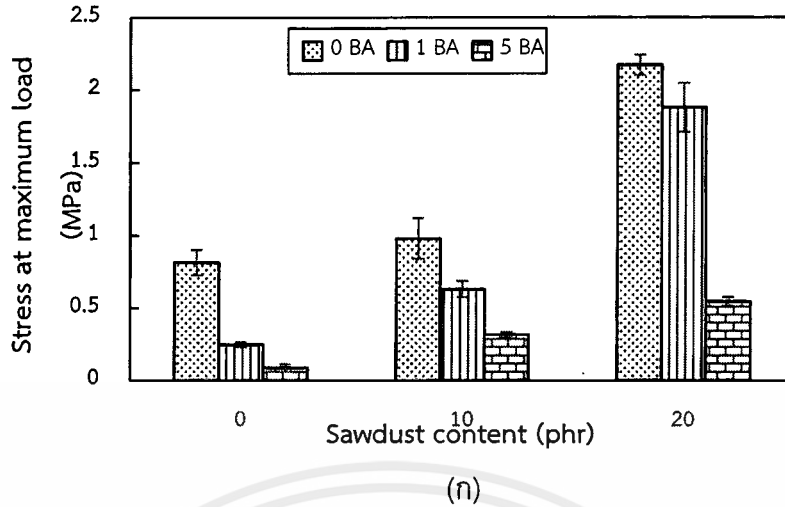
สั่นแบบ O-H stretching และ O-H bending เกิดการเคลื่อนไปยังเลขคลื่นที่ลดลง แสดงถึงอันตรกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างแป้งกับซีลี้อย [2]

จากรูปที่ 4.12 แสดงสัณฐานวิทยาของ TPCS ที่เติมกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr ที่กำลังขยาย 500 และ 3,000 เท่า ตามลำดับ พบลักษณะภาคตัดขวาง มีลักษณะผิวเรียบ ไม่เห็นถึงอนุภาคของกรดเบนโซอิก เนื่องจากกรดเบนโซอิกเกิดปฏิกิริยากับแป้งได้ดี และสามารถเข้ากับวัฏภาคของ TPCS ได้ดีจึงทำให้ไม่มีรอยต่อระหว่างวัฏภาคเกิดขึ้น เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของกรดเบนโซอิกพบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชไม่มีความแตกต่างกัน โดยมีลักษณะผิวเรียบ

นอกจากนี้รูปที่ 4.13 - 4.14 แสดงลักษณะภาคตัดขวาง ของ TPCS ที่เสริมแรงด้วยซีลี้อยในอัตราส่วน 10 และ 20 phr และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr ตามลำดับ พบว่าลักษณะภาคตัดขวางมีลักษณะคล้ายกัน ซีลี้อยมีการกระจายตัวบนเมทริกซ์แป้งและมีการฝังเข้าไปในเมทริกซ์ของแป้งได้ดี แสดงถึงความเข้ากันได้ดี และไม่สามารถมองเห็นอนุภาคของกรดเบนโซอิกได้เนื่องจากไม่มีรอยต่อที่เป็นช่องว่างระหว่างวัฏภาคแสดงถึงความเข้ากันได้ระหว่างแป้งซีลี้อยและกรดเบนโซอิก เนื่องจากซีลี้อยมีโครงสร้างที่มีขั้วเช่นเดียวกับแป้ง

#### 4.4 สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

การศึกษาสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลี้อยในปริมาณต่างๆ และสารต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ โดยเครื่อง Universal Testing Machine ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 ทำการศึกษาดังต่อไปนี้ ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด และมอดุลัส ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.15 และภาคผนวก จ



รูปที่ 4.15 สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีเลื่อยในอัตราส่วน 10 และ 20 phr และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr (ก) ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (ข) มอดุลัส และ (ค) เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 แสดงสมบัติเชิงกลของ TPCS ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อย และกรดเบนโซอิก พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อย (TPCS/SD) เมื่อใส่ซีลี้อยในปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สมบัติเชิงกลในด้านความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดและมอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากหมู่ไฮดรอกซิลของ TPCS กับ ซีลี้อยเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนขึ้นได้ ส่งผลให้โมเลกุลของแป้งมีความแข็งแรงมากขึ้น [2] จึงสามารถรับและส่งผ่านแรงกระทำในขณะดึงยึดได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับผลของการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน (รูปที่ 4.1) และผลจากการทดสอบการดูดซับความชื้นที่ลดลง (รูปที่ 4.5) และลักษณะสัณฐานวิทยาที่แสดงถึงความเข้ากันได้ของวัฏภาค TPCS กับซีลี้อย (รูปที่ 4.11) ส่งผลให้ TPCS/SD มีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อาริยา หาญชนะ ที่ทำการศึกษาเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยซีลี้อยจากไม้สะเดาในปริมาณต่างๆ [2]

จากการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิก (TPCS/BA) พบว่าสมบัติเชิงกลในด้านความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด และมอดุลัสมีแนวโน้มที่ต่ำกว่า TPCS ที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิก แต่ค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดมากขึ้น นอกจากนั้นเมื่อใส่กรดเบนโซอิกมากขึ้นทำให้ค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด และมอดุลัสลดลง ตามลำดับ เนื่องจากโครงสร้างของกรดเบนโซอิกเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับแป้งได้ ทำให้สายโซ่โมเลกุลของแป้งสั้นลง ดังนั้นความสามารถในการรับแรงดึงจึงลดลงตามแนวโน้มของปริมาณกรดเบนโซอิกเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Majzoubi, Beparva ที่ศึกษาถึงเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของกรดอะซิติก และกรดแลคติก พบว่ามีการดึงยึดสูงขึ้นจากการเติมกรดแลคติก [26]

และเมื่อวิเคราะห์ผลของ TPCS/SD/BA พบว่าผลเป็นไปตามแนวโน้มของ TPCS/SD และ TPCS/BA กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณซีลี้อยส่งผลให้ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด และมอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อเพิ่มกรดเบนโซอิกทำให้ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด และมอดุลัสมีแนวโน้มลดลง

จากงานวิจัยนี้พบว่า TPCS/20SD มีสมบัติเชิงกลที่สูงที่สุด คือ มีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด เท่ากับ  $2.17 \pm 0.06$  MPa และค่ามอดุลัส เท่ากับ  $33.77 \pm 2.01$  MPa ส่วน TPCS/5BA มีสมบัติเชิงกลที่ต่ำที่สุด คือ มีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด เท่ากับ  $0.09 \pm 0.03$  MPa และค่ามอดุลัส เท่ากับ  $0.47 \pm 0.14$  MPa แต่พบว่า TPCS ที่ทำการปรับปรุงสมบัติโดยซีลี้อยและกรดเบนโซอิก ร่วมกันทำให้ได้สมบัติเชิงกลโดยรวมที่สูงกว่า TPCS ที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง

#### 4.5 สมบัติการย่อยสลายโดยการฝังดิน (Biodegradation properties)

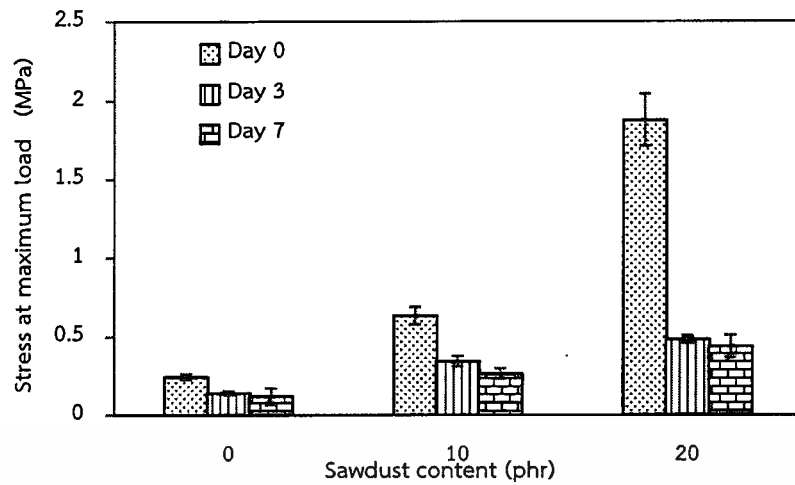
สมบัติการย่อยสลายโดยการฝังดินสามารถทำได้โดยนำคอมพอสทิทเทอร์โมพลาสติกสตาซจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลีเยอ และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่าง ๆ มาฝังดิน และควบคุมความชื้นของดินที่ 5-10 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 7 วัน ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.16, 4.17 และภาคผนวก ฉ

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลหลังจากนำชิ้นงานไปฝังดิน พบว่าสมบัติเชิงกลหลังการฝังดินของคอมพอสทิทเทอร์โมพลาสติกสตาซจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลีเยอ และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด โมดูลัส และความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ TPCS ที่ไม่ได้ทำการฝังดิน ดังรูปที่ 4.16 และ 4.17 เนื่องจากคอมพอสทิทเทอร์โมพลาสติกสตาซมีส่วนประกอบของแป้งซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบหลัก จึงส่งผลให้คอมพอสทิทเทอร์โมพลาสติกสตาซมีสมบัติความชอบน้ำจึงสามารถดูดความชื้นจากดินได้ อีกทั้งการย่อยสลายจากเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินส่งผลให้คอมพอสทิทเทอร์โมพลาสติกสตาซมีลักษณะนิ่ม และอ่อนตัวมากขึ้นง่ายต่อการฉีกขาดเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนฝังดินจึงทำให้สมบัติเชิงกลมีค่าลดลงอย่างชัดเจน

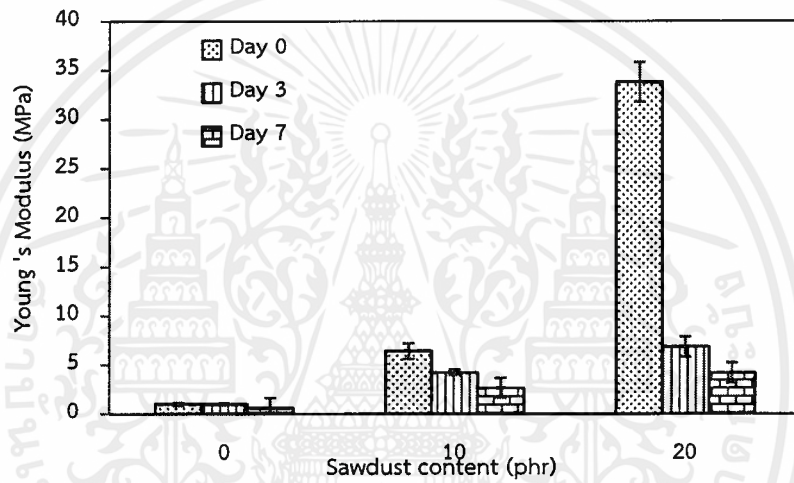
เมื่อพิจารณาผลของการเสริมแรงด้วยซีลีเยอพบว่า TPCS/SD เมื่อเพิ่มปริมาณของซีลีเยอทำให้ความสามารถในการย่อยสลายโดยการฝังดินลดลง เนื่องจากซีลีเยอมีองค์ประกอบของลิกนินซึ่งมีสมบัติไม่ชอบน้ำทำให้การดูดซับน้ำของ TPCS ลดลงส่งผลให้ย่อยสลายได้ช้าลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อารียา หาญชนะ [2] และผลของการดูดซับความชื้นในหัวข้อที่ 4.2 ที่พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีลีเยอมากขึ้น TPCS/SD มีการดูดซับความชื้นลดลง

และเมื่อพิจารณาผลของกรดเบนโซอิก พบว่า TPCS/BA เมื่อปริมาณของกรดเบนโซอิกเพิ่มขึ้น พบว่าความสามารถในการย่อยสลายสูงกว่า TPCS ที่ไม่เติมกรดเบนโซอิก เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลงส่งผลทำให้ TPCS มีหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้นทำให้ TPCS สามารถดูดความชื้นได้เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้เกิดการย่อยสลายเร็วขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลของการดูดซับความชื้นและสมบัติเชิงกล

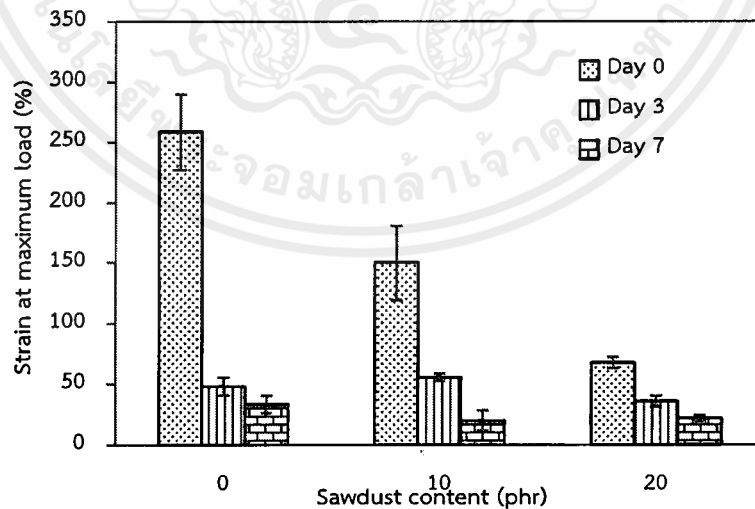
และเมื่อพิจารณาผลจากการเติมซีลีเยอร่วมกับกรดเบนโซอิก (TPCS/SD/BA) พบว่ามีการย่อยสลายที่ช้ากว่า TPCS ที่เติมกรดเบนโซอิกเพียงอย่างเดียว (TPCS/BA) ซึ่งสอดคล้องกับผลของการดูดซับความชื้น เนื่องจากผลของการเติมซีลีเยอซึ่งส่งผลให้มีความชอบน้ำลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่เติมซีลีเยอเพียงอย่างเดียวพบว่าการย่อยสลายที่เร็วกว่า เนื่องจากผลของการเติมกรดเบนโซอิกทำให้ชิ้นงานมีความชอบน้ำเพิ่มขึ้น



(ก)

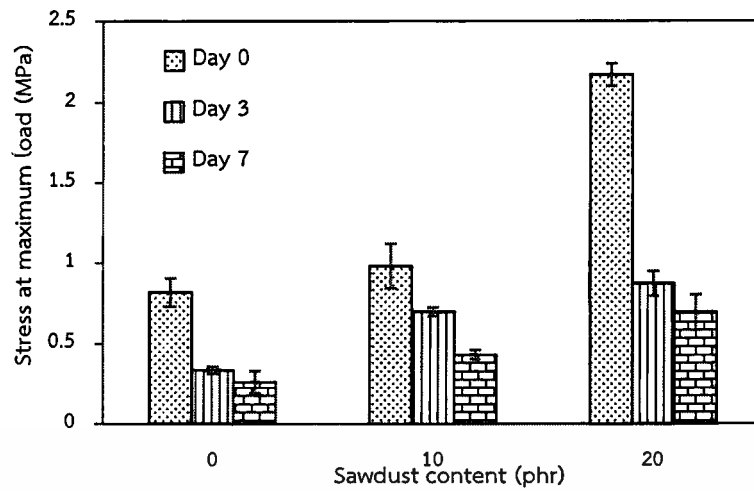


(ข)

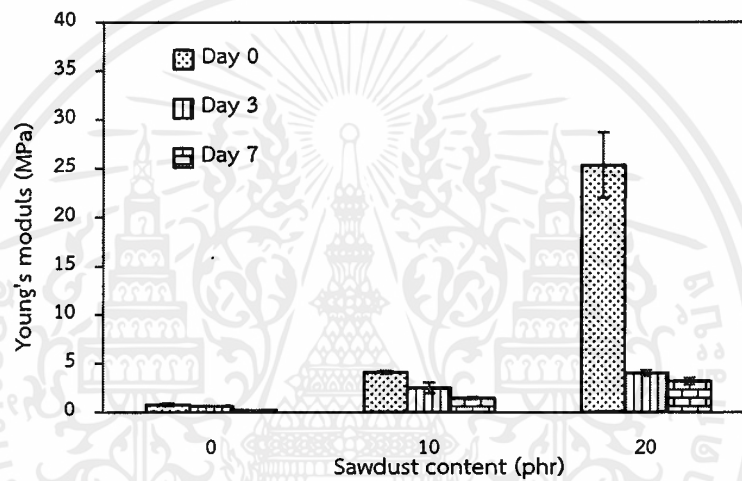


(ค)

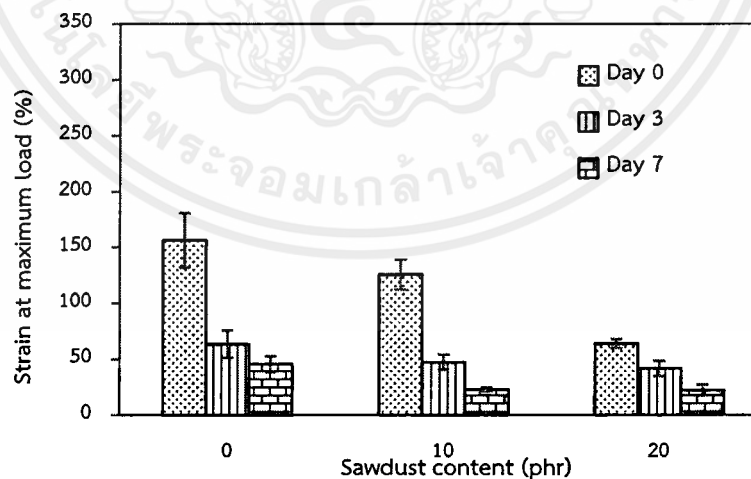
รูปที่ 4.16 สมบัติเชิงกลก่อน และหลังฝังดินของคอมพอลิสมะพร้าว-เทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จากแป้งข้าวโพด เสริมแรงด้วยขี้เลื่อยในปริมาณต่าง ๆ (ก) ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (ข) โมดูลัส และ (ค) เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด



(ก)



(ข)



(ค)

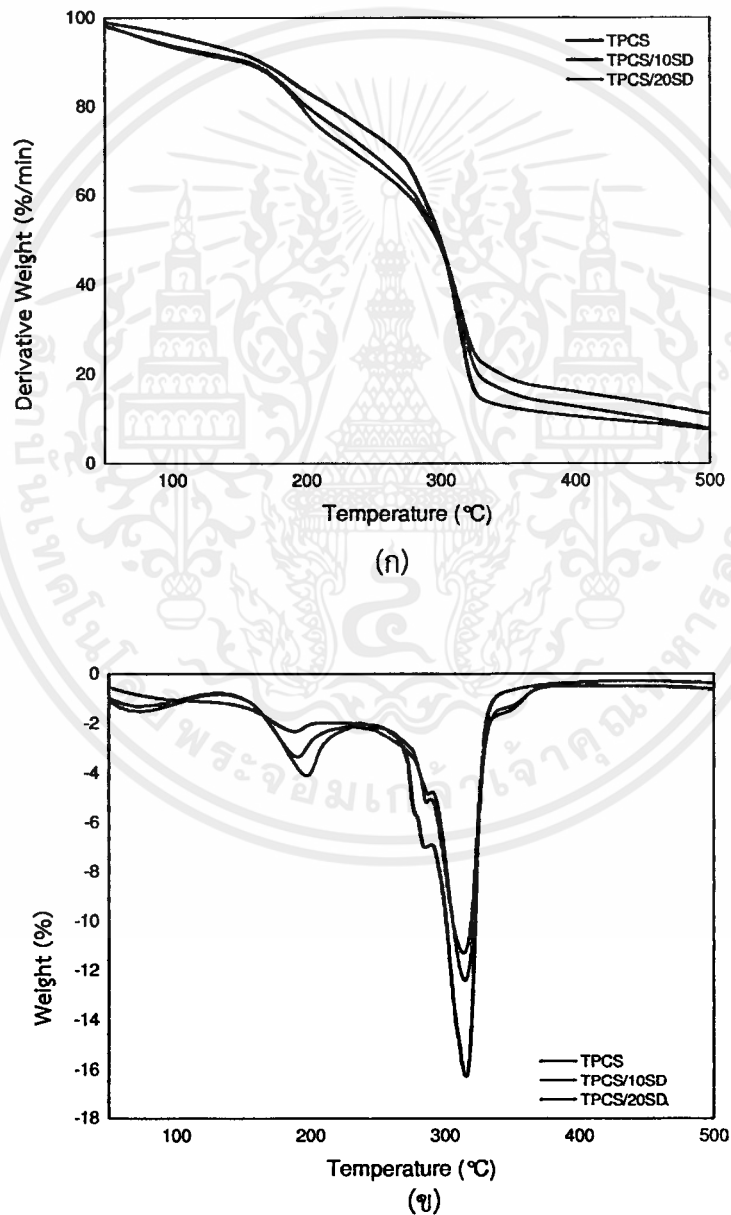
รูปที่ 4.17 สมบัติเชิงกลก่อนและหลังฝังดินของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวโพด และเสริมแรงด้วยซีลื้อยในอัตราส่วนต่างๆ และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 phr (ก) ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (ข) โมดูลัส และ (ค) เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 สมบัติทางความร้อน (Thermal properties)

อุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อน (Degradation temperature) ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลี้อยและกรดเบนโซอิก ในอัตราส่วนต่าง ๆ สมบัติที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิการสลายตัว (Degradation temperature) และน้ำหนักที่หายไป (Weight loss) ซึ่งผลการทดลองดังนี้

ผลของปริมาณซีลี้อยที่มีผลต่อคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเรชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อย ในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังแสดงตามรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 เทอร์โมแกรมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้ง ข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติเสริมแรงด้วยซีลี้อยในอัตราส่วนต่าง ๆ โดย (ก) TG และ (ข) DTG

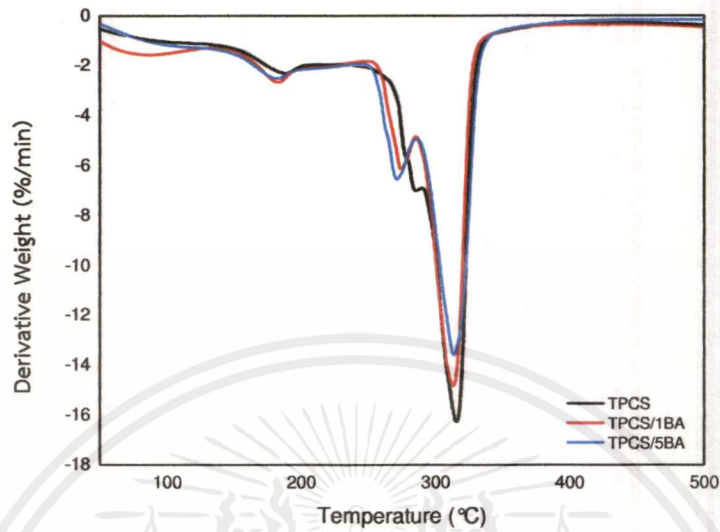
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิการสลายตัว (°C) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของ TPCS ปรับปรุงสมบัติ ด้วยซีลี้อยในปริมาณ 10 และ 20 phr

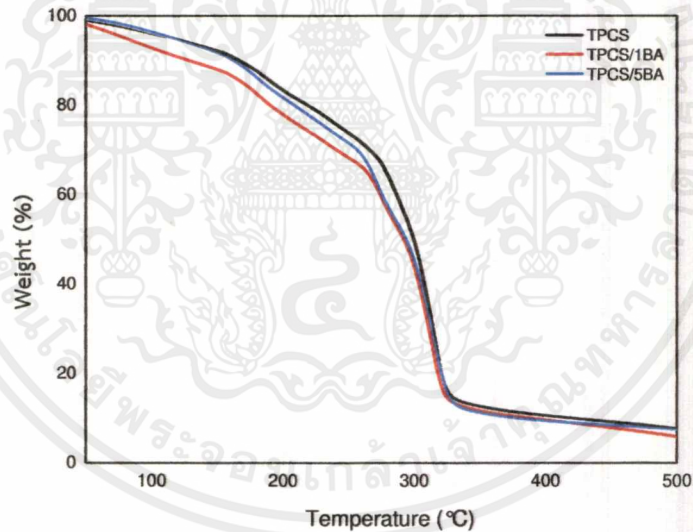
สูตร	อุณหภูมิการสลายตัว °C				% น้ำหนักที่หายไปของแข็ง
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ช่วงที่ 4	
	กลีเซอรอล	แข็งที่เสถียรภาพจากความร้อน	แข็ง	ซีลี้อย	
TPCS	195.20	284.71	313.66	-	39.78
TPCS/10SD	196.52	276.57	314.52	356.48	28.00
TPCS/20SD	190.52	286.27	313.87	358.93	25.99

จากตารางที่ 4.3 และ รูปที่ 4.18 และภาคผนวก ข ตามลำดับ พบว่า เมื่อ TPCS และ TPCS/SD มีอุณหภูมิการสลายตัวปรากฏขึ้น 4 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของกลีเซอรอลในช่วง 190.52-196.52 องศาเซลเซียส [30] ช่วงที่ 2 เป็นช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของแข็งที่เสถียรภาพจากความร้อนในช่วง 284.71-286.27 ช่วงที่ 3 เป็นช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของแข็งในช่วง 313.66-314.52 องศาเซลเซียส และช่วงที่ 4 เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของซีลี้อยในช่วง 356.48-358.93 [29] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอารีญา หาญชนะ, ทักษิ และคณะ ที่ศึกษาผลของซีลี้อยจากไม้สะเดาที่ปริมาณ และขนาดต่างกันที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของเทอร์โมพลาสติกสไตรซ์จากแข็งมันสำปะหลัง และศึกษาผลของชนิดแข็งที่มีผลต่อสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสไตรซ์จากแข็งข้าวโพดเสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้ออ่อน ตามลำดับ โดยพบว่า TPCS เสริมแรงด้วยซีลี้อยด้วยไม้เนื้อแข็งเมื่อเพิ่มปริมาณซีลี้อย ส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวของแข็งไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน นอกจากนี้ปริมาณซีลี้อยส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของแข็งพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีลี้อยส่งผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปมีแนวโน้มลดลง โดยพิจารณาในช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของแข็ง ซึ่งแสดงถึงเสถียรภาพทางความร้อนของ TPCS ที่ดีขึ้น [3]

ผลของปริมาณกรดเบนโซอิกที่มีผลต่อคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิกในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังแสดงตามรูปที่ 4.19



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.19 เทอร์โมแกรมของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้ง ข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิกอัตราส่วนต่าง ๆ โดย (ก) TG และ (ข) DTG

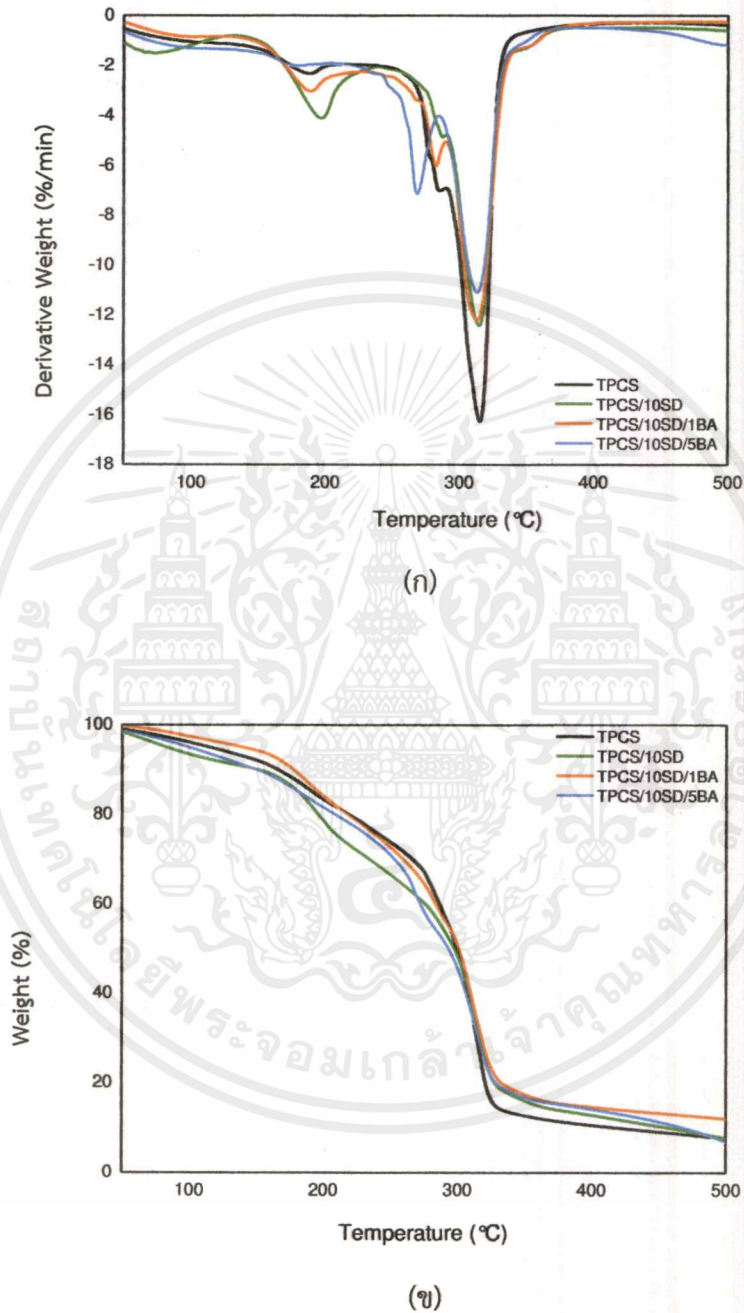
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิการสลายตัว (°C) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของ TPCS ที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีออยและปรับปรุงด้วยกรดเบนโซอิกในปริมาณ 1 และ 5 phr

สูตร	อุณหภูมิการสลายตัว °C				% น้ำหนักที่หายไปของแป้ง
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ช่วงที่ 4	
	กลีเซอรอล	แป้งที่เสียหายจากความร้อน	แป้ง	ซีลีออย	
TPCS	195.20	284.71	313.66	-	39.78
TPCS/1BA	182.33	274.00	312.90	-	34.67
TPCS/5BA	180.93	270.83	313.49	-	36.07

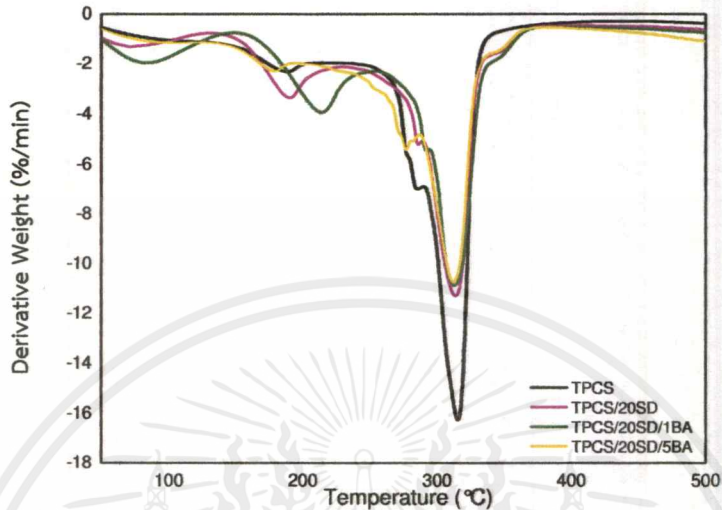
จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.19 พบว่า TPCS/BA มีอุณหภูมิการสลายตัว 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของกลีเซอรอลในช่วง 180.93-195.20 องศาเซลเซียส [32] ช่วงที่ 2 เป็นช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งที่เสียหายจากความร้อนในช่วง 270.83-284.71 องศาเซลเซียส และช่วงที่ 3 เป็นช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งในช่วง 312.66-313.66 องศาเซลเซียส [3] โดยพบว่า TPCS ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิก ส่งผลให้อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งไม่เปลี่ยนแปลง และพบว่าเมื่อเติมกรดเบนโซอิก ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของแป้งมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แสดงว่า TPCS ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิกมีเสถียรภาพทางความร้อนดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงสมบัติ

ผลของปริมาณกรดเบนโซอิกที่มีผลต่อคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย  
ซีลีเนียมในปริมาณ 10 phr และปรับปรุงด้วยกรดเบนโซอิกในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังแสดงตาม  
รูปที่ 4.20

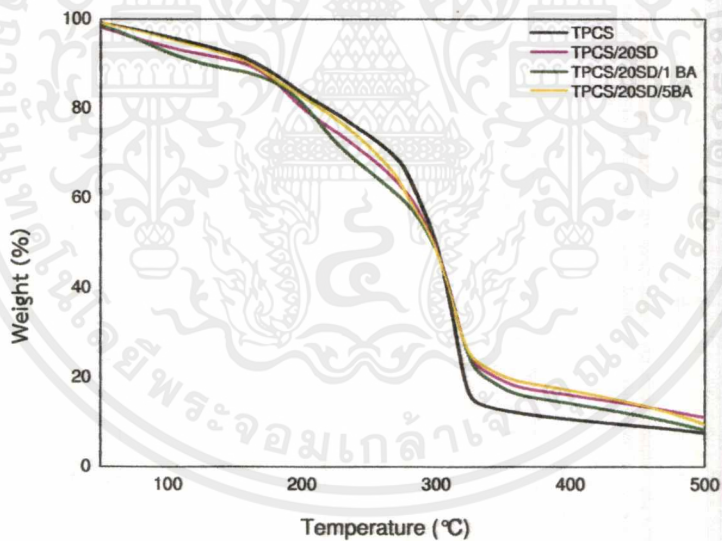


รูปที่ 4.20 เทอร์โมแกรมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์จากแป้ง ข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติ  
เสริมแรงโดยซีลีเนียมในอัตราส่วน 10 phr และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่าง ๆ โดย  
(ก) TG และ (ข) DTG

ผลของปริมาณกรดเบนโซอิกที่มีผลต่อคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมในปริมาณ 20 phr และปรับปรุงด้วยกรดเบนโซอิกในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังแสดงตามรูปที่ 4.21



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.21 เทอร์โมแกรมของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้ง ข้าวโพด ที่ปรับปรุงสมบัติเสริมแรงโดยซีลีเนียมในอัตราส่วน 20 phr และกรดเบนโซอิกอัตราส่วนต่าง ๆ โดย (ก) TG และ (ข) DTG

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิการสลายตัว ( $^{\circ}\text{C}$ ) ของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์จากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่างๆ

สูตร	อุณหภูมิการสลายตัว $^{\circ}\text{C}$				% น้ำหนักที่หายไปของแป้ง
	กลีเซอรอล	แป้งที่เสียดสภาพจากความร้อน	แป้ง	ซีลี้อยู่	
TPCS	195.20	284.71	313.66	-	39.78
TPCS/10SD	196.52	276.57	314.52	356.48	28.00
TPCS/10SD/1BA	188.95	282.09	313.88	357.39	32.36
TPCS/10SD/5BA	185.63	272.02	316.86	361.04	32.25
TPCS/20SD	190.52	286.27	313.87	358.93	25.99
TPCS/20SD/1BA	189.02	288.68	315.00	359.79	24.96
TPCS/20SD/5BA	178.11	277.41	312.19	353.15	28.86

จากรูปที่ 4.20-4.21 และตารางที่ 4.5 แสดงคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ร่วมกับกรดเบนโซอิก พบว่ามีอุณหภูมิการสลายตัว 4 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของกลีเซอรอลในช่วง 178.11-196.52 องศาเซลเซียส [32] ช่วงที่ 2 เป็นช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งที่เสียดสภาพจากความร้อนในช่วง 272.02-288.68 องศาเซลเซียส ช่วงที่ 3 เป็นช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งในช่วง 313.66-316.86 องศาเซลเซียส และช่วงที่ 4 เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของซีลี้อยู่ในช่วง 353.15-361.04 องศาเซลเซียส [29] โดยพบว่าช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งไม่มีการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ TPCS ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ร่วมกับกรดเบนโซอิกทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของแป้งมีแนวโน้มลดลงน้อยกว่า TPCS ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่เพียงอย่างเดียว แสดงว่าซีลี้อยู่มีแนวโน้มที่จะปรับปรุงเสถียรภาพทางความร้อนของ TPCS ได้ดีกว่าการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ร่วมกับกรดเบนโซอิก

## 4.7 สมบัติการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์

สมบัติการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติคสตาร์ชจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติเสริมแรงโดยซีลี้อยู่ และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่างๆ โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่ แกรมลบ *Esherichian coli* (*E.coli*) และชนิดแกรมบวก *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติคสตาร์ชจาก

แป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติเสริมแรงด้วยซีลี้อยู่ และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่าง ๆ

ตัวอย่าง	บริเวณเกิดการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ (mm)		Activity
	<i>E.coli</i>	<i>S.aureus</i>	
TPCS	-	-	Inactive
TPCS/10SD	-	-	Inactive
TPCS/20SD	-	-	Inactive
TPCS/1BA	-	-	Inactive
TPCS/5BA	19.8	20.2	Active
TPCS/10SD/1BA	-	-	Inactive
TPCS/10SD/5BA	19.3	20.5	Active
TPCS/20SD/1BA	-	-	Inactive
TPCS/20SD/5 BA	20.0	19.8	Active

หมายเหตุ Active คือ มีฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ทดสอบ

Inactive คือ ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ทดสอบ

จากตารางที่ 4.4 พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติคสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติเสริมแรงโดยซีลี้อยู่ ไม่สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ แต่เมื่อปรับปรุงสมบัติคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติคสตาร์ชด้วยกรดเบนโซอิก พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติคสตาร์ชสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดได้ดี ในปริมาณของสารต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ 5 phr แสดงถึงประสิทธิภาพของการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากกรดเบนโซอิกเข้าไปทำลายและยับยั้งกลไกบนเยื่อหุ้มเซลล์ [31] จึงทำให้ชิ้นงานที่ปรับปรุงด้วยกรดเบนโซอิกสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ แต่ในทางกลับกัน พบว่าเมื่อใช้สารต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ในอัตราส่วน 1 phr ไม่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณของสารต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่สูงพอที่จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รัฐพร ทองกุม และทิพา อัครวิรัช ที่ศึกษาผลของสารต้านทานจุลินทรีย์ของกรดเบนโซอิก ในปริมาณ ร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก พบว่ากรดเบนโซอิกสามารถต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ *Esherichian coli* (*E.coli*) และ *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) ได้ [23]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาผลของปริมาณซีลีเนียม และกรดเบนโซอิกที่มีผลต่อสมบัติของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งข้าวโพดที่มีกลีเซอรอลเป็น พลาสติกไซเซอร์ ทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด แล้วขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องกดอัด ซึ่งสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 จากการศึกษาการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เมื่อทำการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมและกรดเบนโซอิกลงไป ทำให้พีคที่ตำแหน่ง  $3394-3404\text{ cm}^{-1}$  แสดงลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching จากแป้งและกลีเซอรอลเกิดการเคลื่อน (Shift) ไปยังเลขคลื่นที่ลดลงและเมื่อใส่ซีลีเนียมลงไปทำให้เกิดพีคที่ตำแหน่ง  $1733\text{ cm}^{-1}$  แสดงลักษณะการสั่นแบบ C=O stretching ของซีลีเนียมและพบว่าเมื่อปริมาณของซีลีเนียมเพิ่มขึ้น พีคที่ตำแหน่งของ O-H Stretching และ O-H Bending เคลื่อนไปยังเลขคลื่นที่ลดลง

5.1.2 จากการศึกษาการดูดซับความชื้นพบว่าคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลีเนียม พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นมีแนวโน้มลดลง แต่คอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิกมีเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่ปรับปรุงด้วยซีลีเนียมร่วมกับกรดเบนโซอิก ทำให้การดูดซับความชื้นที่น้อยกว่าคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง ซึ่งคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่ปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลีเนียมในอัตราส่วน 20 phr มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นที่น้อยที่สุดและคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 5 phr มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นที่มากที่สุด

5.1.3 จากการศึกษาสัณฐานวิทยา คอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่ปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลีเนียม พบว่า มีลักษณะซีลีเนียมกระจายตัวทั่วโพลีเอสเตอร์ และไม่มีรอยแยกระหว่างภูมิภาคขององค์ประกอบระหว่างซีลีเนียม มีการกระจายตัวของซีลีเนียมในชิ้นงานที่ดี นอกจากนี้ยังพบว่าคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิกมีลักษณะพื้นผิวเรียบเป็นเนื้อเดียวกันกับโพลีเอสเตอร์ และเมื่อปรับปรุงสมบัติของโพลีเอสเตอร์ที่เสริมแรงด้วยซีลีเนียม และกรดเบนโซอิก พบว่าลักษณะทางสัณฐานที่ได้ไม่แตกต่างจากคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่ได้จากการเสริมแรงด้วยซีลีเนียม

5.1.4 จากการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่าคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลีออยมีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด และมอดุลัส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการซีลีออยที่เพิ่มขึ้น และคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิกมีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดและมอดุลัส มีแนวโน้มลดลงเมื่อกรดเบนโซอิกเพิ่มขึ้น โดยคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ปรับปรุงสมบัติเสริมแรงด้วยซีลีออยในอัตราส่วน 20 phr มีความแข็งแรงดึงสูงสุด และคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ปรับปรุงมีสมบัติด้วยกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 5 phr ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสต่ำที่สุด

5.1.5 จากการศึกษาสมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดิน พบว่าคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรซทุกสูตรสามารถย่อยสลายโดยการฝังดินได้ แต่เทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลีออยมีการย่อยสลายช้ากว่าสูตรที่ไม่ได้มีการปรับปรุงสมบัติและคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิก พบว่ามีการย่อยสลายที่เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ปรับปรุงด้วยกรดเบนโซอิก

5.1.6 จากการศึกษาสมบัติทางความร้อน พบว่าคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลีออย มีอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของแป้งคองที่ และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปมีค่าลดลง เช่นเดียวกับคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ปรับปรุงด้วยกรดเบนโซอิก ซึ่งมีอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของแป้งคองที่ ส่วนคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ (TPCS) มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปมากที่สุด แสดงถึงการมีเสถียรภาพทางความร้อนน้อยที่สุด และคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิก และเสริมแรงด้วยซีลีออย 20 phr (TPCS/20SD/1BA) มีเสถียรภาพทางความร้อนมากที่สุด

5.1.7 จากการศึกษาสมบัติการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลีออย ไม่สามารถต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดได้ แต่คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ปรับปรุงสมบัติซีลีออยในอัตราส่วนต่างๆ ด้วยกรดเบนโซอิกในปริมาณ 5 phr (TPCS/10SD/5BA, TPCS/20SD/5BA) พบว่า สามารถต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ *Esherichian coli* (*E.coli*) และ *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) ทั้งสองชนิดได้ดี

5.1.8 สูตรที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้ คือ คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลีออยในอัตราส่วน 20 phr โดยพิจารณาได้จาก สมบัติเชิงกลที่สูงที่สุดและดูดซับความชื้นน้อยที่สุด ส่วนคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 5 phr สมบัติเชิงกลต่ำที่สุด และการดูดซับความชื้นที่มากที่สุด แต่มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบเป็นเนื้อเดียวกัน การย่อยสลายได้เร็วที่สุด และการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ดีที่สุด แต่พบว่าเมื่อ

คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงโดยซีเล็อย และกรดเบนโซอิกร่วมกันให้สมบัติเชิงกล การดูดซับความชื้น การต้านทานจุลินทรีย์ที่ดีกว่า คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงสมบัติ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ศึกษาสารต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำมาจากธรรมชาติ เช่น ข่า เพื่อความปลอดภัยยิ่งขึ้น
- 5.2.2 ศึกษาวิธีการขึ้นรูปที่เหมาะสมในการผลิตชิ้นงานรูปแบบต่างๆ เช่น การฉีดขึ้นรูป การหล่อแบบ เป็นต้น
- 5.2.3 ศึกษาวิธีการหมักแป้ง กับกลีเซอรอลที่เหมาะสม เช่น เครื่องช่วยผสมแป้ง เพื่อลดเวลาของการทำงาน



## เอกสารอ้างอิง

- [1] National Metal and Materials Technology Center (MTEC). 2550. **พลาสติกย่อยสลายได้**. [online]. Available : [http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable\\_plastic/type\\_de\\_plas.html](http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/type_de_plas.html).
- [2] อาริยา หาญชนะ. 2558. “ผลของซีลีเนียมจากไม้สะเดาที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชและเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชแอซิเตดจากแป้งมันสำปะหลัง”. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] ทักษิชา บุญกานนท์, ปริญญาพร พลอยแก้ว และศิริขวัญ ภาณุวัน. 2560. “ผลของชนิดซีลีเนียมที่มีผลต่อสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวโพดเสริมแรงด้วยซีลีเนียม”. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] คีนจันทร์ ณ นคร. 2552. “ผลของปริมาณอะไมโลส และสภาวะการผลิตต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนท์”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [5] จุฑากานต์ บุญมี. 2555. “พลาสติกชีวภาพทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม”. *วารสารสิ่งแวดล้อม* 16(2) : 15-19.
- [6] กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. **เทคโนโลยีของแป้ง**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [7] Sciencetific Psychic. 2009. **Chemical structure**. [Online]. Available : <http://www.sciencetificpsychic.com/fitness/carbohydrates.html>
- [8] รัตนา จินดาพรรณ และวิไลลักษณ์ ไผ่เพชร. 2548. “อิทธิพลของพลาสติกไซเซอร์ต่อการต้านแรงดึงการซึมผ่านของน้ำมันและความสามารถในการละลายของฟิล์มโปรตีนถั่วเขียว”. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*. 1(1) : 45-52
- [9] มณิศา พิริยวิรุฒม์ และบำรุง เลิศลอยกุลชัย. 2559. “ผลของผงซีลีเนียมและน้ำยาล้างจานต่อสมบัติของคอมพอสิตโฟมแป้งมันสำปะหลัง”. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขา วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี)*. 14 : 40-53.
- [10] วันชัย เลิศวิจิตรจรัส อำนาจ สิทธิธรรมกุล และเจกิตาน์ แก้วพาร. 2551. “ศักยภาพการผลิตเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมจากแป้ง”. *วารสารส่งเสริมเทคโนโลยี*. 35(200) : 56-64.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] อรุณศักดิ์ โสภณธรรมภาณ. 2551. **พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) การปนเปื้อนจากบรรจุภัณฑ์สู่อาหาร**. [Online]. Available : <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cach>.
- [12] ภิกษก รุ่งโรจน์ชัยพร. 2557. “กลีเซอรอล : การใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตแก๊สไฮโดรเจน”. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*. 23(2) : 141-142.
- [13] ศิวาพร ศิวเวชช. 2529. **สารกันเสียการสุขาภิบาลโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [14] Lück, E., Jager, M., and Raczek, N. 2005. **Sorbic acid**. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- [15] กรมป่าไม้. 2548. **ไม้เนื้อแข็งของประเทศไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สุขุมวิท มาเก็ดติ้ง.
- [16] องค์การสวนพฤกษศาสตร์. 2554. **จามจุรี**. [Online]. Available : [http://www.qsbg.org/Database/Botanic\\_Book%20full%20option/search\\_detail.asp?botanic\\_id=231](http://www.qsbg.org/Database/Botanic_Book%20full%20option/search_detail.asp?botanic_id=231).
- [17] Montero, B., Rico, M., Rodriguez-Llamazares, S., Barral, L., and Bouza, R. 2017. “Effect of nanocellulose as a filler on biodegradable thermoplastic starch films from tuber, cereal and legume.” *Carbohydrate Polymer*. 157 : 1094-1104.
- [18] Majzoubi, M. and Beparva, P. 2014. “Effects of acetic acid and lactic acid on physicochemical characteristics of native and cross-linked wheat starches.” *Food Chemistry*. 147 : 312-317.
- [19] Curvelo, A.A.S., Carvalho, A.J.F., and Agnelli, J.A.M. 2001. “Thermoplastic starch ± cellulosic @bers composites: preliminary results.” *Carbohydrate Polymer*. 45 : 183-188.
- [20] แก้วตา แก้วตาทิพย์ สอาด ริยะจันทร์ และชลิกา ฉะฉันทน์. 2560. “อิทธิพลของซีลี้อยไม้ยางพาราที่มีผลต่อสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง”. *มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์*
- [21] Castillo, L., Garia, L., Villar, M.A., Zaritzky, M., Lopez, N., and Barbosa, S. 2015. “Talc Nanoparticles Influence On Thermoplastic Corn Starch Film Propertie”. *Procedia Materials Science*. 8 : 338-345
- [22] ณัฐรา ปัญญวัฒน์กุล นวภูมิ พลัง และพรกนก พุสามป็อก 2560. “อิทธิพลของกรดแลคติกที่มีผลต่อสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วย

ซีเลื่อย.” ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

- [23] รัฐพร ทองกุ่ม และทิพา อัครวัรกิจ 2555. “ฟิล์มพอลิยูรีเทนที่มีฤทธิ์ต่อต้านแบคทีเรีย.” *Veridian E-Journal (กัญยาณ- ธันวาคม)*. 15:477-491
- [24] Hirashima, M., Takahashi, R., and Nishinari, K. 2005. “Effects of adding acids before and after gelatinization on the viscoelasticity of cornstarch pastes.” *Food Hydrocolloids*. 19 : 909-914.
- [25] กัญญาภรณ์ แทนเพชร, ขวัญชนก มโนภาพ และจินตมาศ สรรพทรัพย์ศิริ. 2557. “สมบัติต่างๆของฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาρχจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริก และกรดมาลิก.” ครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [26] Majzoubi, M. and Beparva, P. 2014. “Effects of acetic acid and lactic acid on physicochemical characteristics of native and cross-linked wheat starches.” *Food Chemistry*. 147 : 312-317.
- [27] Deniz, Y. 2017. **Effect of Specimen Geometry on Tensile Testing Results.** [Online]. Available : <https://www.admet.com/effect-specimen-geometry-tensile-testing-results/>
- [28] Allen, C. F. H., and VanAllan, J. 1944 . **Benzoic acid.** Organic Syntheses. [Online]. Available : <http://orgsyn.org/demo.aspx?prep=cv3p0783>.
- [29] Canovas, R. 2017. **Samanea saman.** [Online]. Available : <http://www.jardimcor.com/catalogo-de-especies/samanea-saman/>
- [30] Cook, C. 2013. **Golden Brazilian RainTree Lumber.** [Online]. Available : <https://www.cookwoods.com/blogs/articles/golden-brazilian-rain-tree-lumber>
- [31] William, R. 2013. **Infrared spectroscopy.** [Online]. Available : <https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/VirtTxtJml/Spectrpy/InfraRed/infrared.htm>
- [32] Matheus, P., Ademir J.Z., Maria Forte M.C., and Ruth Santana M.C., 2012. “Thermal decomposition of wood: Influence of wood components and cellulose crystallite size”. *Bioresource Technology*, 109 148–153.

- [33] Nancy L.G., Laura R., Alain D., Mirta A., and Silvia G., 2011. "Effect of glycerol on the morphology of nanocomposites made from thermoplastic starch and starch nanocrystals", *Carbohydrate Polymers*, 84 (1) 203–210.
- [34] กลุ่มพัฒนาระบบวัสดุอันตราย สำนักควบคุมเครื่องสำอางและวัตถุอันตราย สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2558. **สารต้านเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในบ้านหรือทางสาธารณสุข**. กรุงเทพฯ : กระทรวงสาธารณสุข
- [35] Haynes, W.M. 2010. *CRC Handbook of chemistry and physics*. Boca Raton,FL: CRC Press Inc.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

สัณฐานวิทยาของซีลี้อย ที่มีขนาดอนุภาค 100-200 เมช พื้นที่ผิวกำลังขยาย 500 เท่า

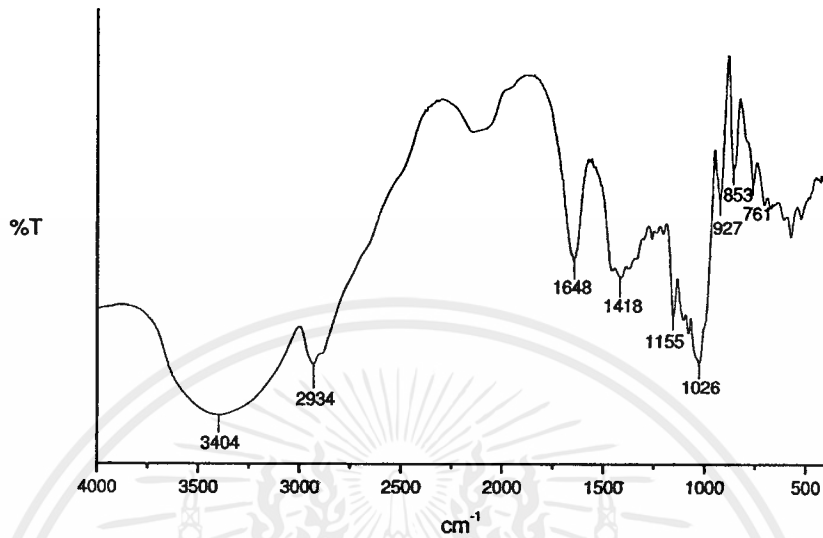


ตารางแสดงอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (L/D ratio) ของซีลี้อย

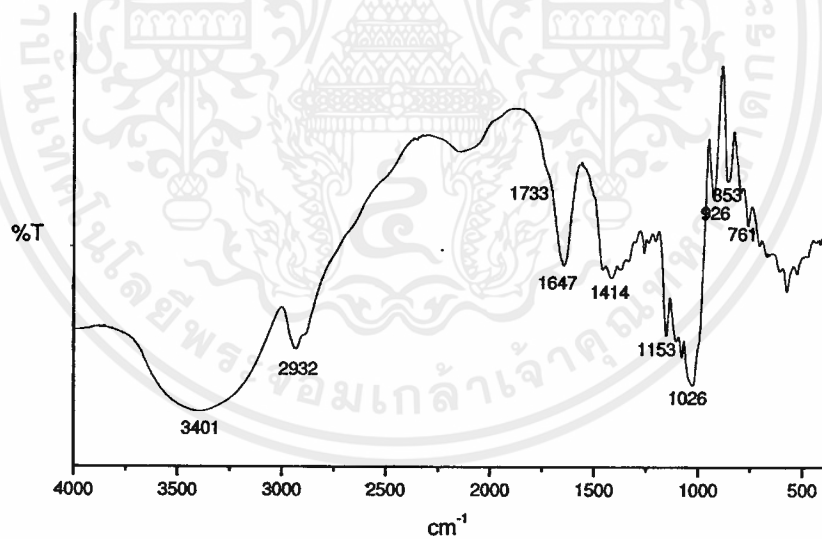
	ความยาว(L)	ความกว้าง (D)	L/D ratio
1	349.00	86.41	4.04
2	453.40	123.00	3.69
3	420.10	150.20	2.80
4	375.10	62.82	5.97
5	412.40	192.10	2.15
6	413.40	91.07	4.54
7	473.10	132.70	3.57
8	579.20	140.30	4.13
9	447.60	184.30	2.43
10	323.80	96.86	3.34
11	384.80	137.00	2.81
12	524.00	176.30	2.97
13	456.70	161.10	2.83
14	317.30	104.30	3.04
15	351.30	118.00	2.98
16	369.50	142.70	2.59
17	358.40	97.72	3.67
18	520.90	161.70	3.22
19	300.30	110.80	2.71
20	412.12	129.97	3.17
ค่าเฉลี่ย	412.12±74.27	129.97±34.75	3.33±0.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

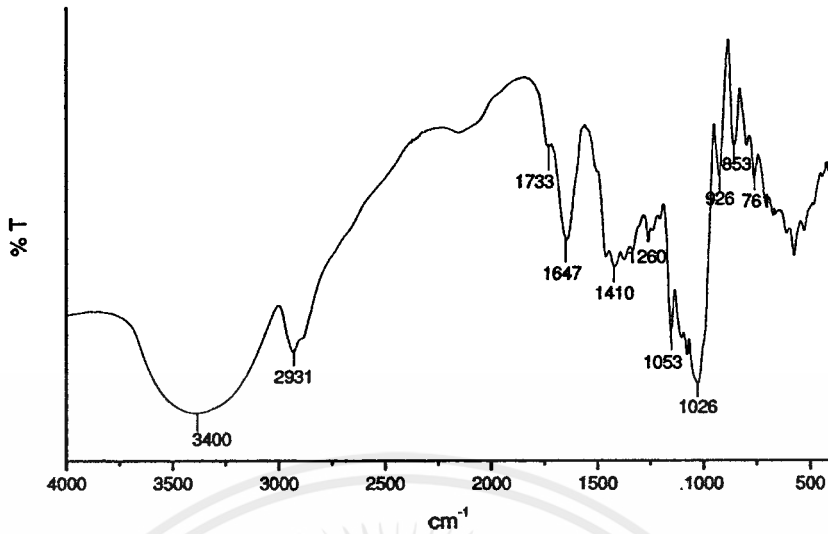


(ก) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

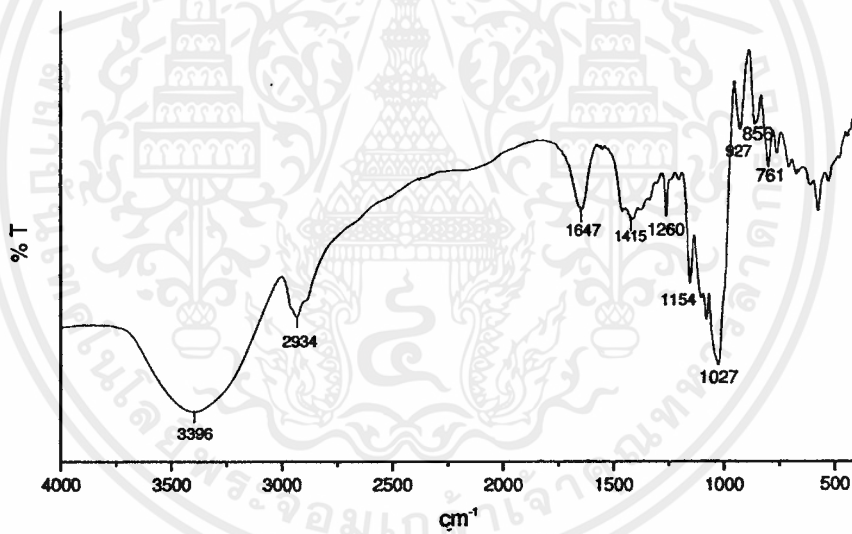


(ข) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงโดยซีลีเยอ 10 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

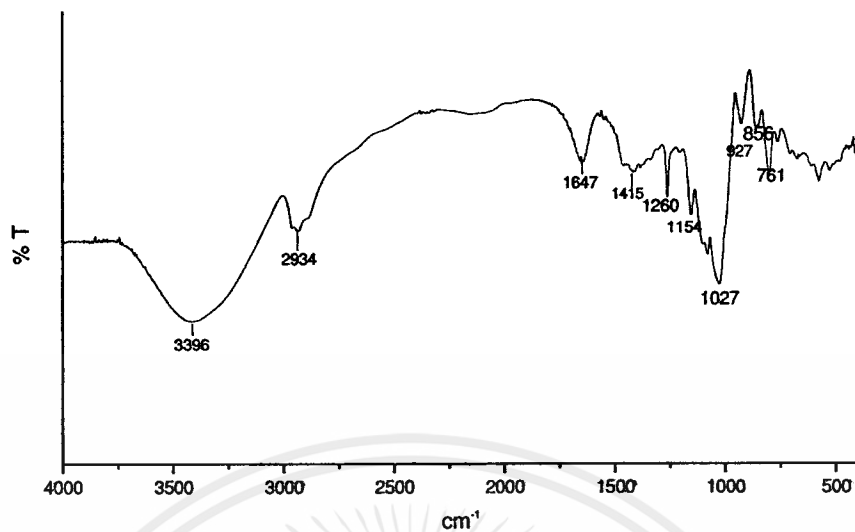


(ค) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงโดยซีลี้อยู่ 20 phr

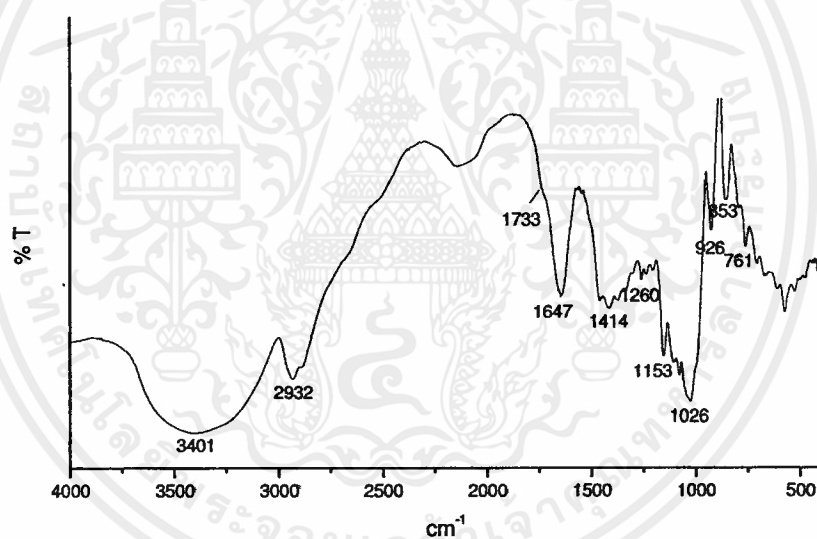


(ง) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิก 1 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

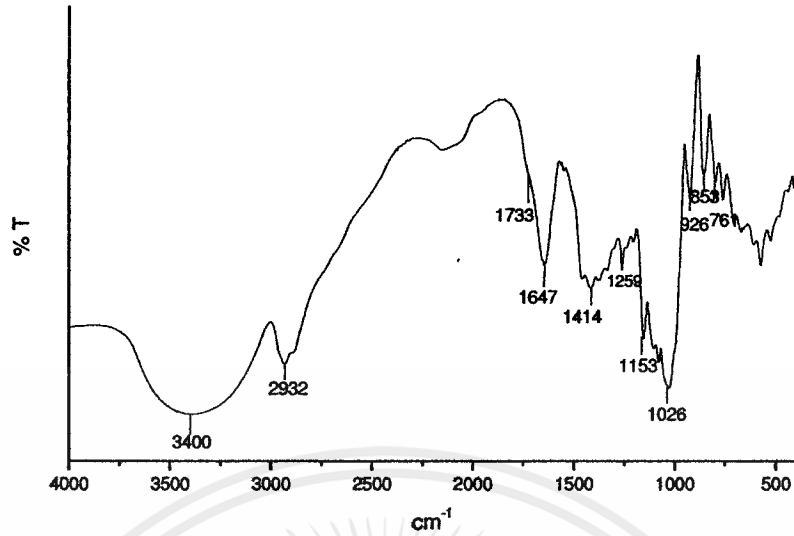


(จ) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเบนโซอิก 5 phr

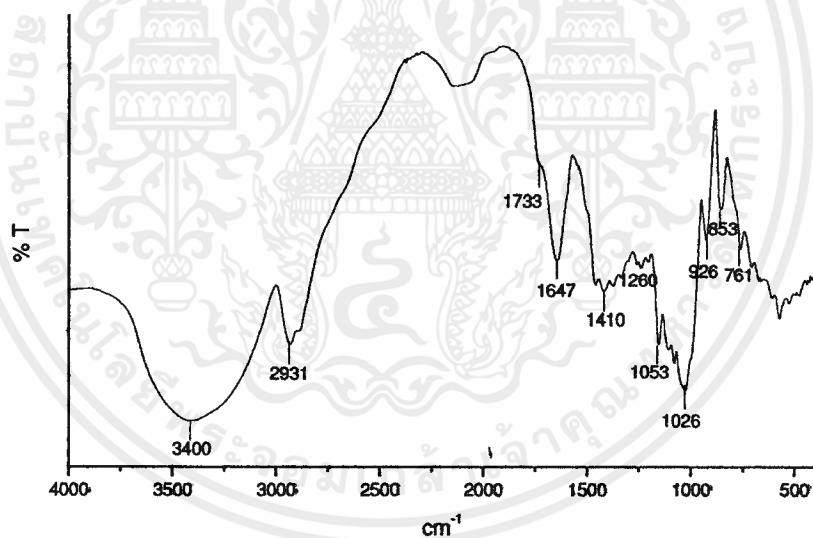


(ฉ) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติเสริมแรงโดยซีลี้อยู่ 10 phr และกรดเบนโซอิก 1 phr

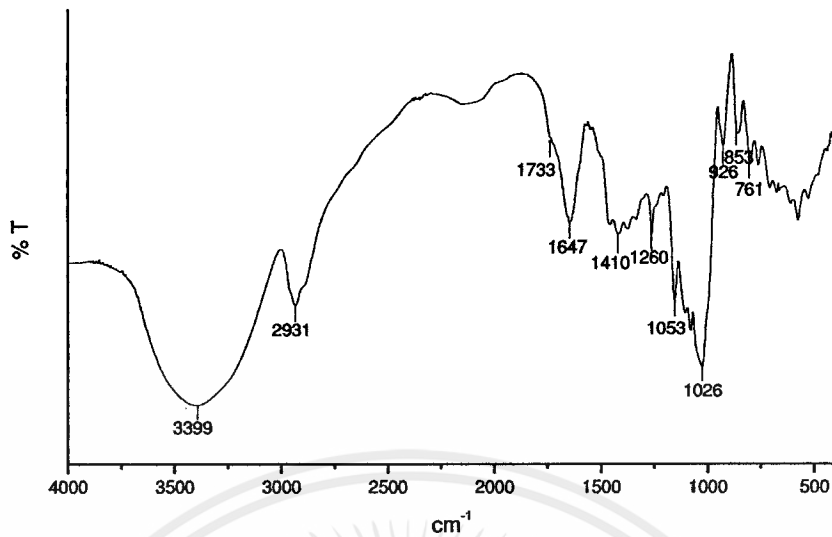
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติเสริมแรงโดยซีลี้อยู่ 10 phr และกรดเบนโซอิก 5 phr



(ค) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติเสริมแรงโดยซีลี้อยู่ 20 phr และกรดเบนโซอิก 1 phr

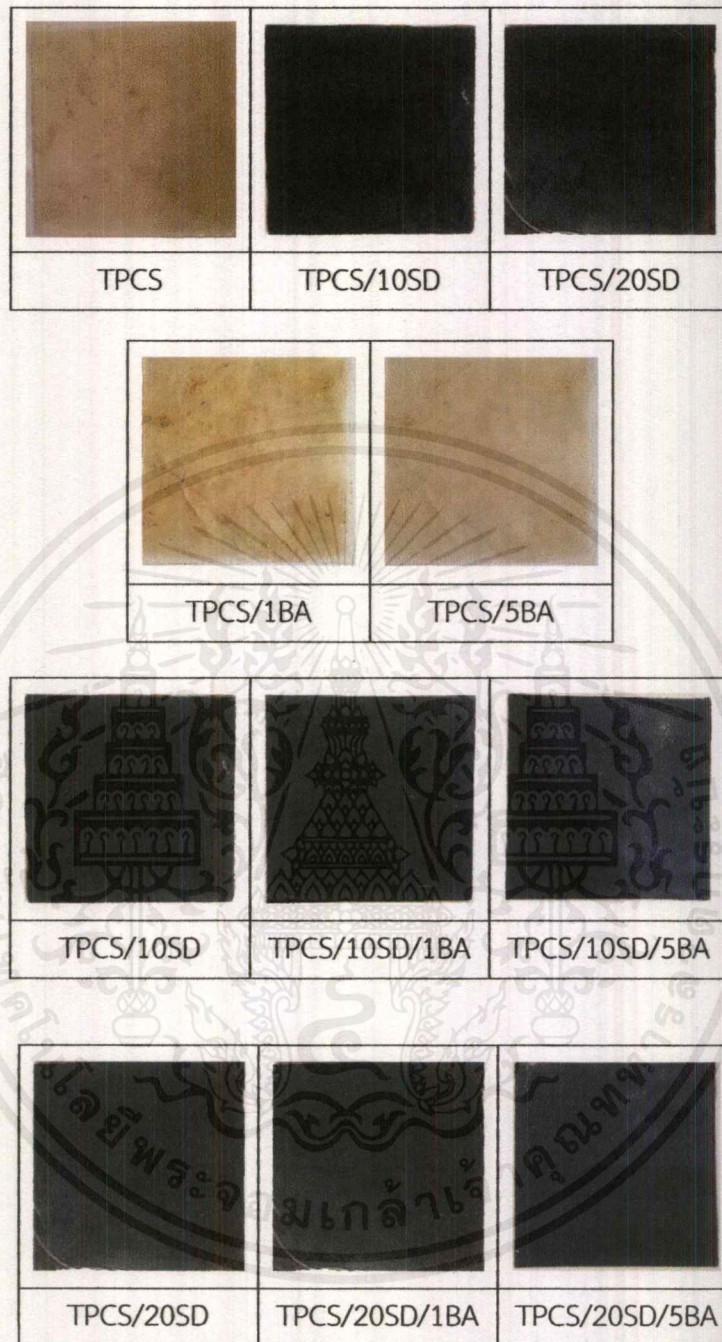


(ฉ) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงสมบัติเสริมแรงโดยซีลี้อยู่ 20 phr และกรดเบนโซอิก 5 phr

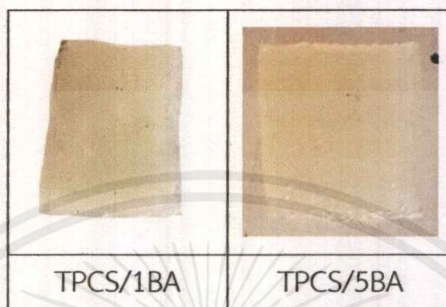
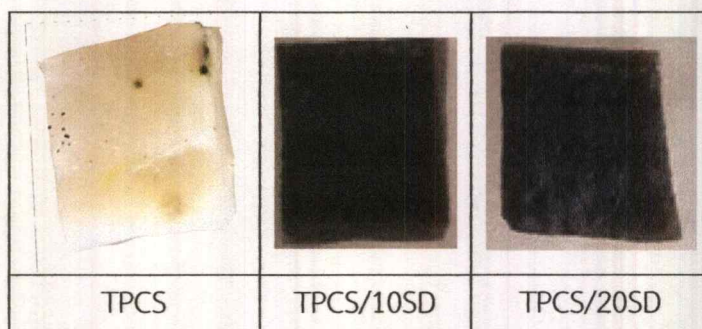


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค



- (ก) ลักษณะชิ้นงานคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งข้าวโพดโดยเสริมแรงด้วยซีลื้อย และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่างๆ ก่อนการทดสอบด้วยการดูดซับความชื้น



(ข) ลักษณะชิ้นงานคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งข้าวโพดโดยเสริมแรงด้วยซีลื้อย และ กรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่างๆ หลังการทดสอบด้วยการดูดซับความชื้น

(ก) เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นที่ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์  $99\pm 1$  เปอร์เซ็นต์ ของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลีออยในอัตราส่วน 10 และ 20 phr และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr ในสูตรต่าง ๆ

วันที่	เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้น				
	TPCS	TPCS/10SD	TPCS/20SD	TPCS/1BA	TPCS/5BA
0	0	0	0	0	0
1	19.96±1.31	17.78±2.39	17.31±3.80	20.03±0.62	20.5±0.56
2	33.90±7.58	28.36±8.81	26.30±5.83	36.14±2.47	36.53±2.28
3	42.67±8.22	35.23±13.53	29.10±8.37	43.90±7.47	44.87±6.73
4	47.50±1.40	42.30±9.60	30.50±7.65	48.90±6.20	52.40±4.22
5	50.90±2.45	46.60±7.98	31.60±5.30	55.30±4.83	57.20±6.46
6	54.99±9.00	48.37±10.60	32.37±4.80	59.57±5.22	61.10±9.19
7	56.40±5.60	50.70±11.20	32.40±5.60	61.30±8.47	61.80±10.22
8	57.45±8.67	52.60±10.02	33.50±5.00	62.07±3.12	62.57±3.39
9	*	54.20±9.97	34.40±8.13	62.75±5.33	63.30±1.29
10	*	55.21±10.52	36.16±6.57	62.79±3.76	63.94±2.05
11	*	*	37.80±9.77	63.70±1.37	64.49±2.92
12	*	*	38.31±9.62	65.30±3.14	66.27±4.18
13	*	*	40.19±10.13	66.37±3.92	68.26±5.15
14	*	*	40.71±10.64	67.84±2.98	69.66±5.14
15	*	*	42.22±12.18	71.07±6.86	72.5±5.89
16	*	*	42.85±12.37	72.11±7.00	73.97±6.49

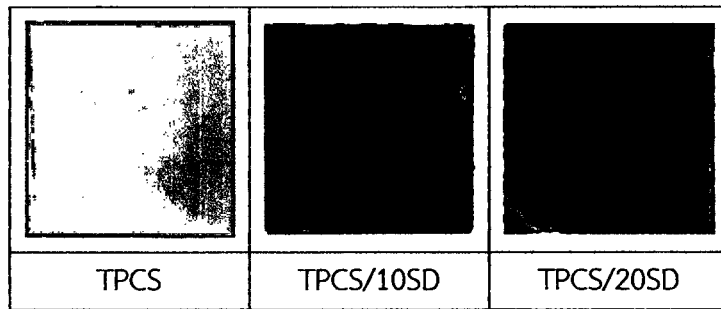
หมายเหตุ “\*” ตัวอย่างมีราเกิดขึ้น ไม่สามารถวัดปริมาณความชื้นได้

(ข) เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นที่ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์  $99\pm 1$  เปอร์เซ็นต์ ของคอมพอสิต เทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งข้าวโพดปรับปรุงสมบัติโดยเสริมแรงด้วยซีลีออย และกรดเบนโซอิกใน สูตรต่างๆ

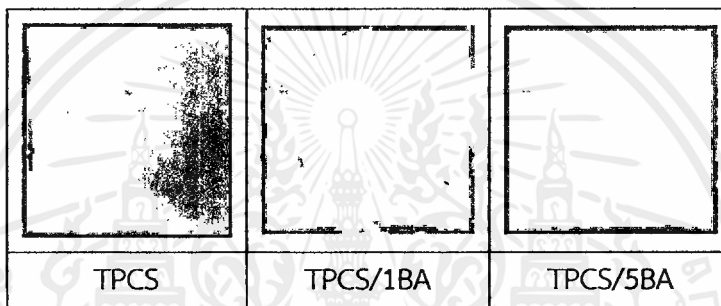
วันที่	เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้น				
	TPCS	TPCS/10SD/1BA	TPCS/10SD /5BA	TPCS/20SD /1BA	TPCS/20D/5BA
0	0	0	0	0	0
1	19.96±1.31	18.91±4.44	21.47±2.67	19.15±6.85	21.69±0.83
2	33.90±7.58	27.00±5.19	28.35±0.86	28.01±2.75	29.63±3.01
3	42.67±8.22	36.06±3.90	37.05±8.99	30.85±4.26	35.33±11.21
4	47.50±1.40	42.50±4.12	44.00±4.18	32.59±4.57	37.70±10.34
5	50.90±2.45	47.30±9.97	48.00±5.67	33.90±4.80	39.80±13.03
6	54.99±9.00	49.35±0.64	50.33±0.38	34.83±3.23	43.19±12.67
7	56.40±5.60	52.00±3.20	52.70±0.96	35.70±4.17	46.30±11.83
8	57.45±8.67	53.57±2.32	54.29±3.42	37.17±2.43	48.59±11.89
9	*	55.90±4.15	56.60±0.97	39.50±3.31	49.60±12.67
10	*	55.93±3.01	56.75±4.99	40.41±2.12	50.54±12.62
11	*	56.71±2.86	58.39±5.10	42.30±1.89	51.37±12.32
12	*	59.30±3.64	60.49±7.15	44.21±2.21	54.25±13.33
13	*	60.88±3.60	62.84±8.61	46.18±2.05	56.03±12.74
14	*	62.74±3.79	64.78±9.25	48.15±2.51	56.44±11.28
15	*	64.15±3.81	66.42±10.39	48.98±2.48	57.74±11.93
16	*	65.08±3.61	68.59±9.14	50.53±2.23	58.22±11.68

หมายเหตุ “\*” ตัวอย่างมีราเกิดขึ้น ไม่สามารถวัดปริมาณความชื้นได้

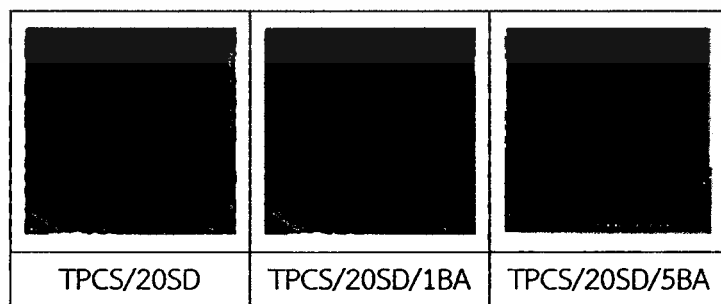
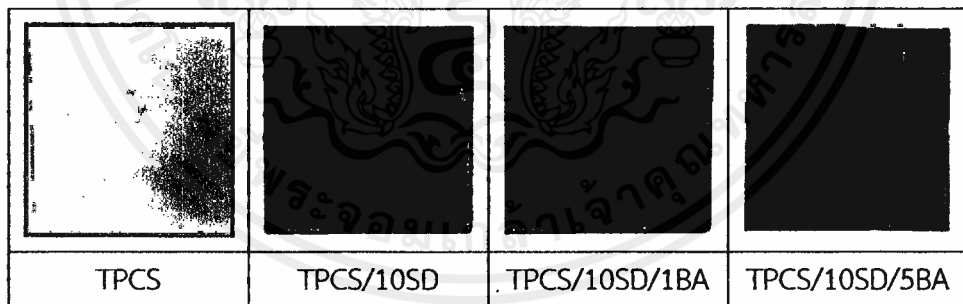
## ภาคผนวก ง



(ก) ลักษณะชิ้นงานคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่เสริมแรงด้วยซีเลื่อยในอัตราส่วน 10 และ 20 phr ที่เตรียมได้



(ข) ลักษณะชิ้นงานคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่ปรับปรุงสมบัติโดยกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr ที่เตรียมได้



(ค) ลักษณะชิ้นงานคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งข้าวโพดที่เสริมแรงด้วยซีเลื่อยในอัตราส่วน 10 และ 20 phr และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วน 1 และ 5 phr ที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรซจากแป้งข้าวโพดโดยเสริมแรงด้วยซีลี้อย และกรดเบนโซอิกในอัตราส่วนต่างๆ

### ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด

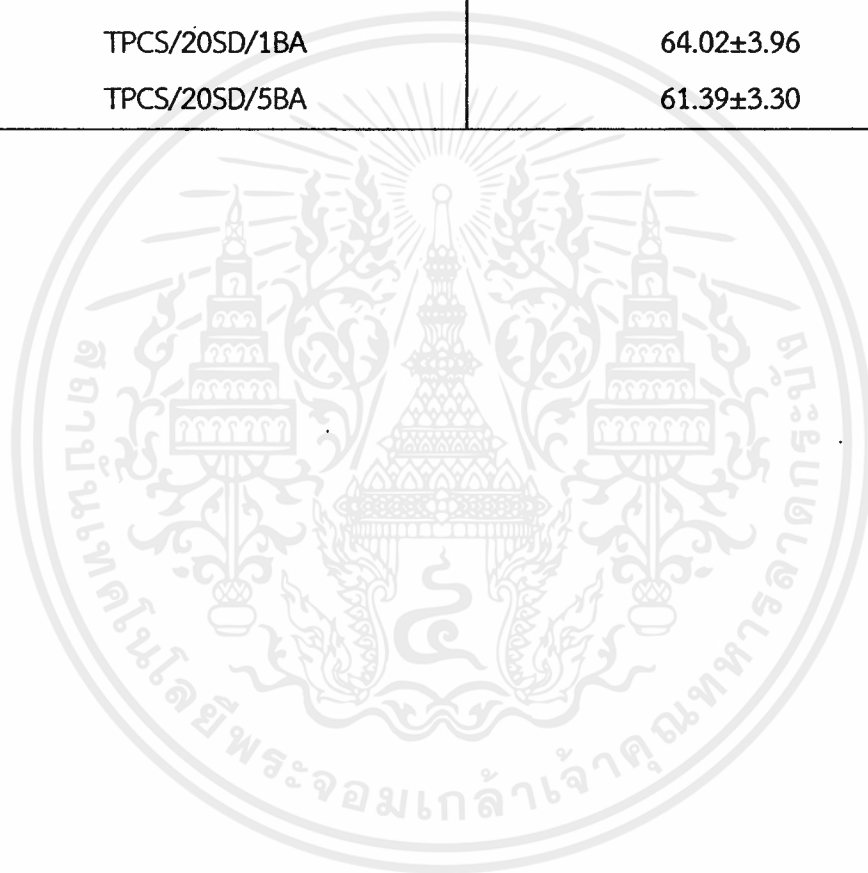
ตัวอย่าง	Stress at maximum load (MPa)
TPCS	0.82±0.09
TPCS/10SD	0.98±0.14
TPCS/20SD	2.17±0.07
TPCS/1BA	0.25±0.02
TPCS/5BA	0.09±0.03
TPCS/10SD/1BA	0.63±0.06
TPCS/10SD/5BA	0.32±0.02
TPCS/20SD/1BA	1.88±0.17
TPCS/20SD/5BA	0.55±0.03

### มอดุลัส

ตัวอย่าง	Young's modulus (MPa)
TPCS	1.01±0.15
TPCS/10SD	6.38±0.81
TPCS/20SD	33.77±2.01
TPCS/1BA	0.78±0.13
TPCS/5BA	0.47±0.14
TPCS/10SD/1BA	4.13±0.14
TPCS/10SD/5BA	2.89±0.05
TPCS/20SD/1BA	25.33±3.35
TPCS/20SD/5BA	3.86±1.31

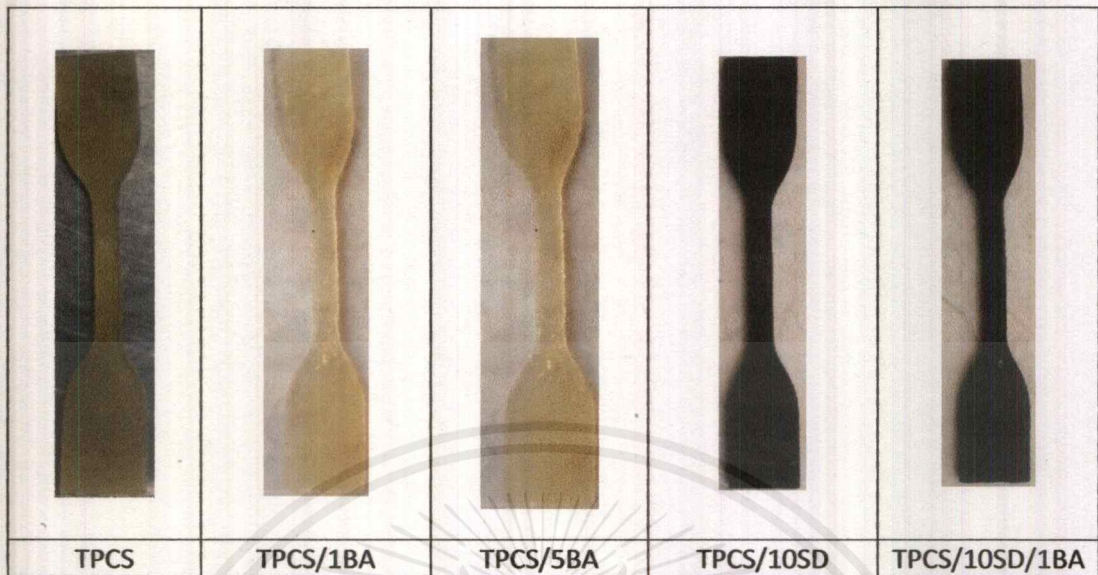
ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด

ตัวอย่าง	Strain at maximum load (%)
TPCS	258.67±31.33
TPCS/10SD	150.05±30.90
TPCS/20SD	67.95±4.54
TPCS/1BA	156.35±24.70
TPCS/5BA	56.67±3.98
TPCS/10SD/1BA	125.42±13.42
TPCS/10SD/5BA	64.78±8.38
TPCS/20SD/1BA	64.02±3.96
TPCS/20SD/5BA	61.39±3.30

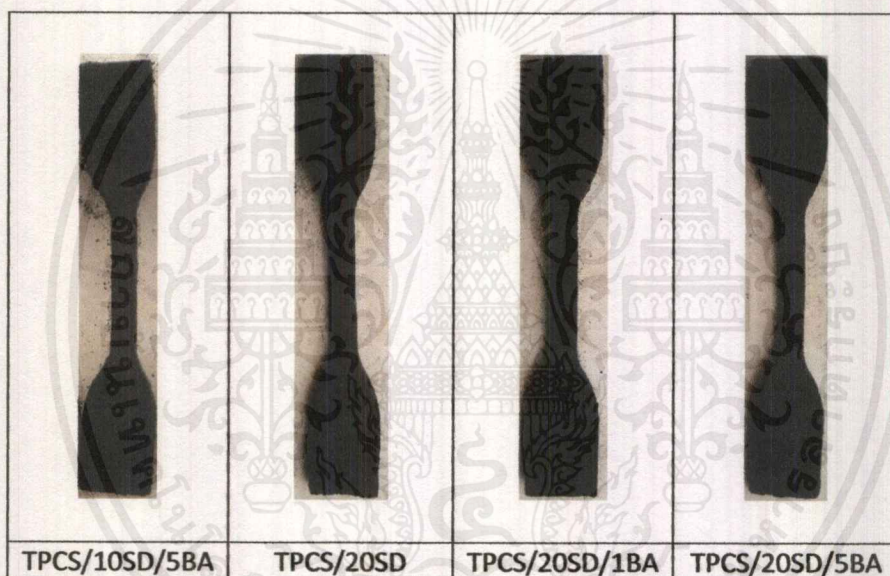
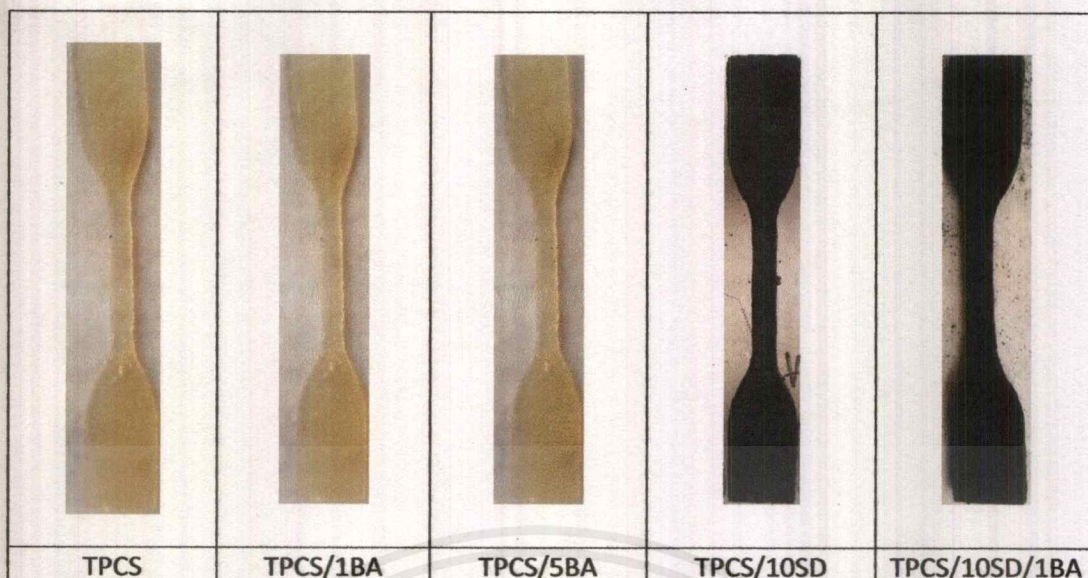


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ฉ



(ก) ลักษณะชิ้นงานคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งข้าวโพดโดยเสริมแรงด้วยซีลี้อย และกรดเบนโซอิกในสูตรต่าง ๆ ก่อนการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดิน



(ข) ลักษณะชิ้นงานคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสไตรซ์จากแป้งข้าวโพดโดยเสริมแรงด้วยซี่เลื่อย และกรดเบนโซอิกในสูตรต่างๆ หลังการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลหลังทำการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดินเป็นเวลา 7 วัน ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวโพดโดยเสริมแรงด้วยซีลี้อย และ กรดเบนโซอิกในสูตรต่างๆ

**ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด**

ตัวอย่าง	Stress at maximum load (MPa)
TPCS	0.26±0.07
TPCS/10SD	0.43±0.03
TPCS/20SD	0.69±0.11
TPCS/1BA	0.12±0.05
TPCS/5BA	-
TPCS/10SD/1BA	0.26±0.03
TPCS/10SD/5BA	-
TPCS/20SD/1BA	0.44±0.07
TPCS/20SD/5BA	-

**มอดุลัส**

ตัวอย่าง	Young's modulus (MPa)
TPCS	0.61±0.04
TPCS/10SD	2.63±0.07
TPCS/20SD	4.16±0.06
TPCS/1BA	0.23±0.02
TPCS/5BA	-
TPCS/10SD/1BA	1.46±0.16
TPCS/10SD/5BA	-
TPCS/20SD/1BA	3.15±0.34
TPCS/20SD/5BA	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด

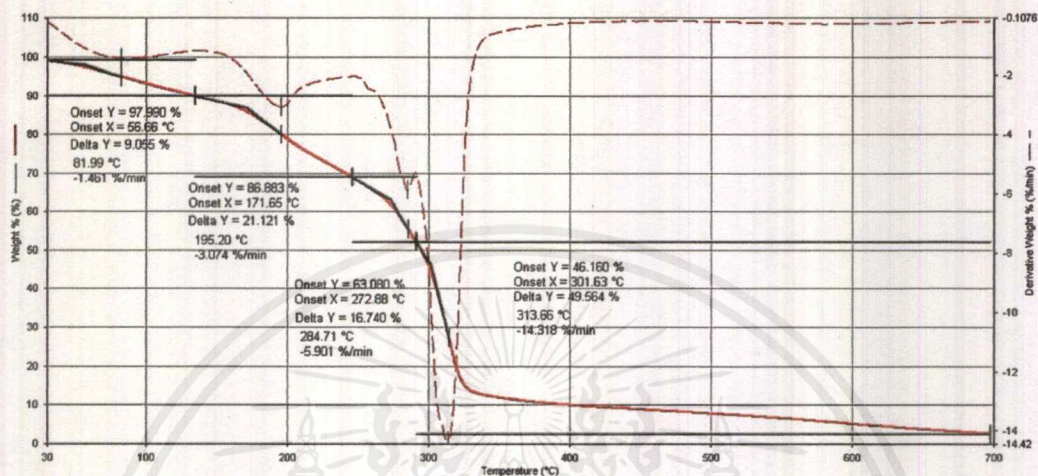
ตัวอย่าง	Strain at maximum load (%)
TPCS	33.25±7.13
TPCS/10SD	20.20±8.13
TPCS/20SD	21.94±2.48
TPCS/1BA	45.72±5.15
TPCS/5BA	-
TPCS/10SD/1BA	22.79±1.78
TPCS/10SD/5BA	-
TPCS/20SD/1BA	22.25±5.07
TPCS/20SD/5BA	-



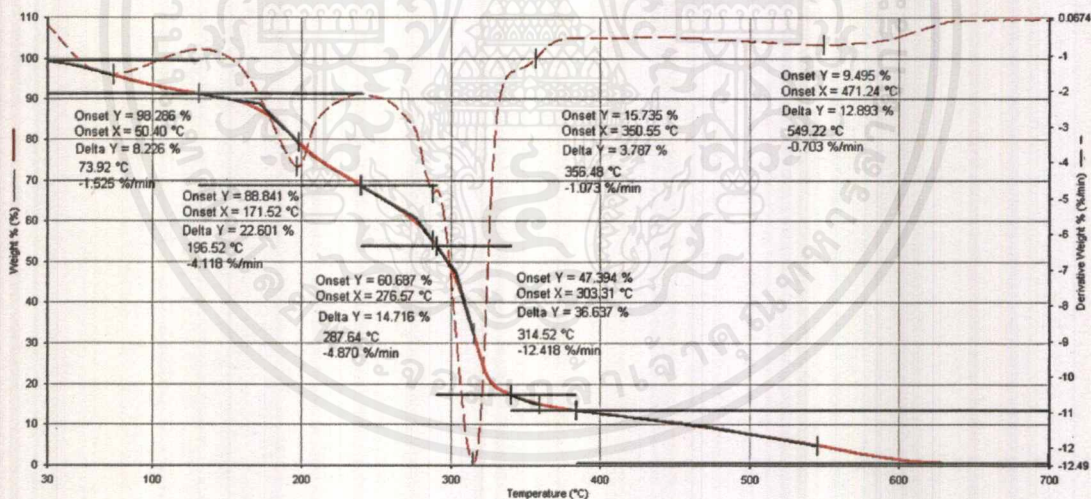
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

TG และ DTG เทอร์โมแกรมของคอมพอลิเมอร์คอมพอลิเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งข้าวโพดโดยเสริมแรงด้วยซีลีเนียม และกรดเบนโซอิกในสูตรต่างๆ

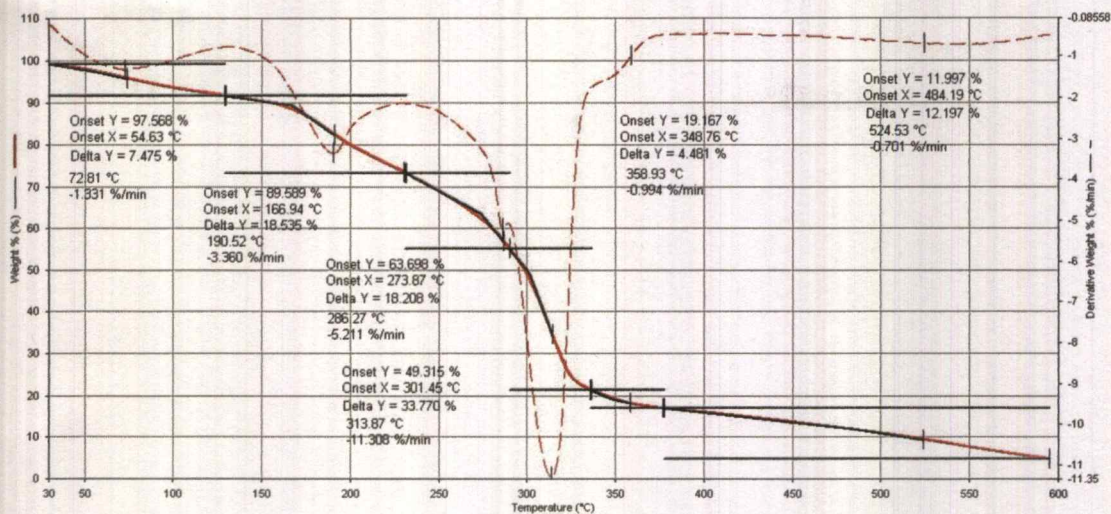


(ก) TG และ DTG ของ TPCS

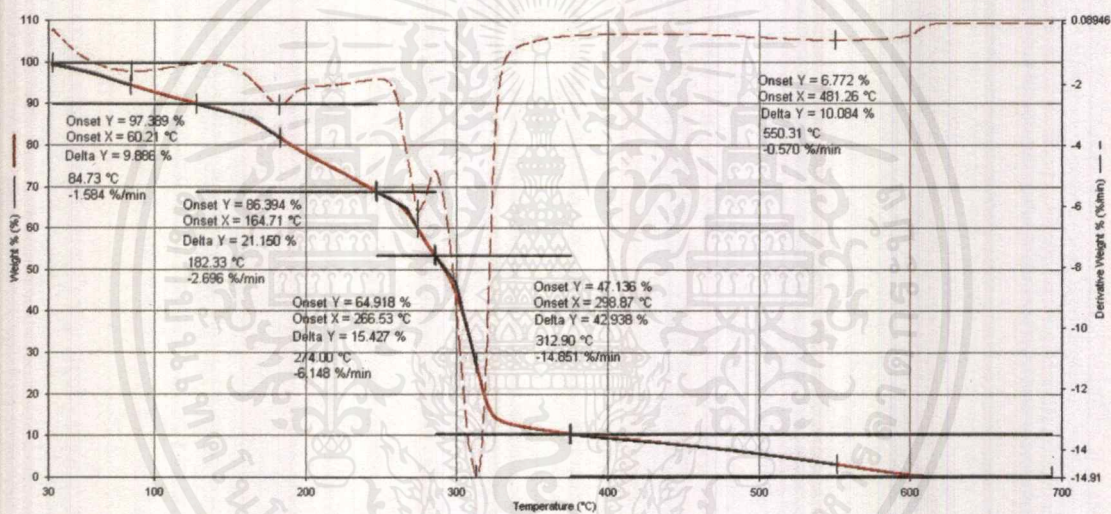


(ข) TG และ DTG ของ TPCS/10SD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

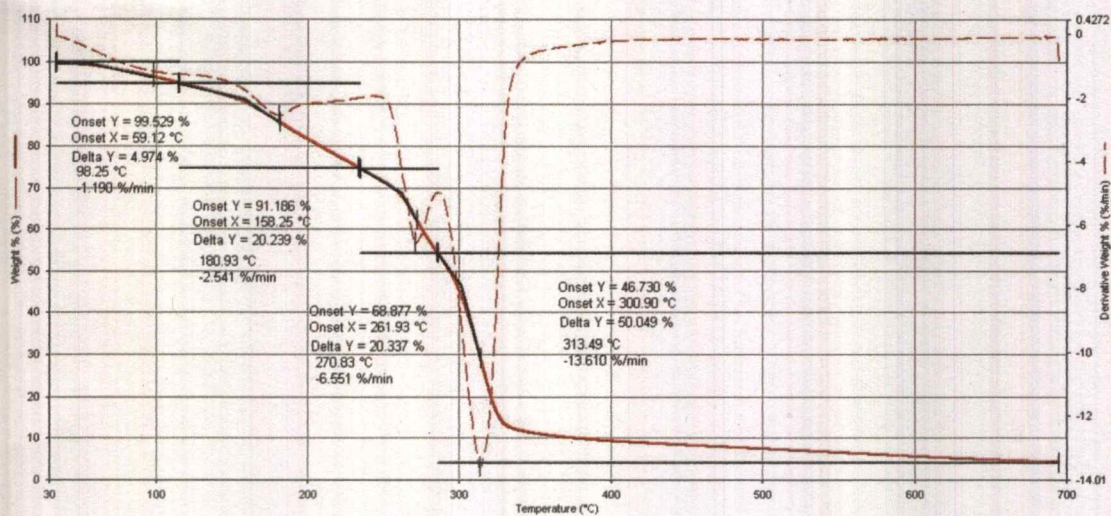


(ค) TG และ DTG ของ TPCS/20SD

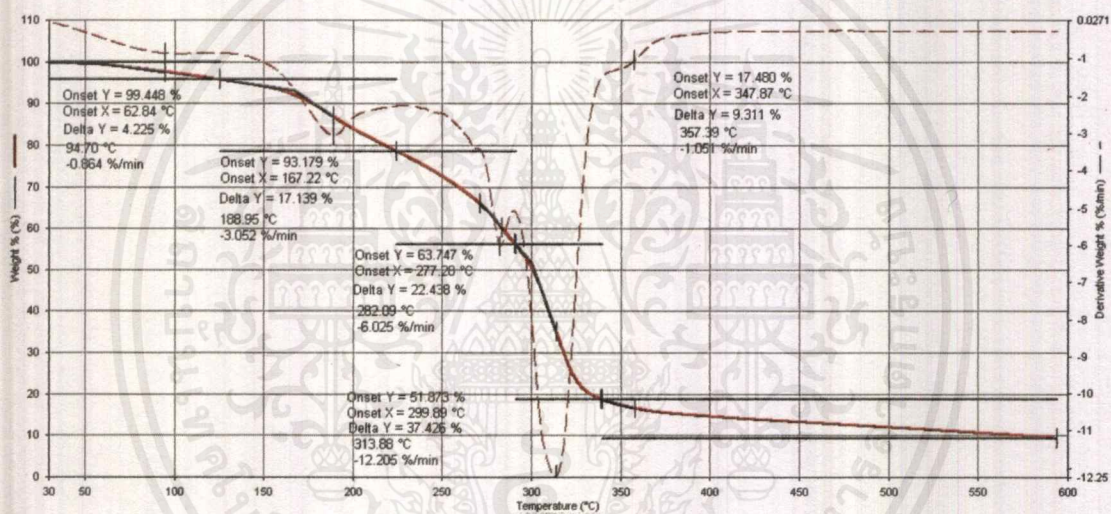


(ง) TG และ DTG ของ TPCS/1BA

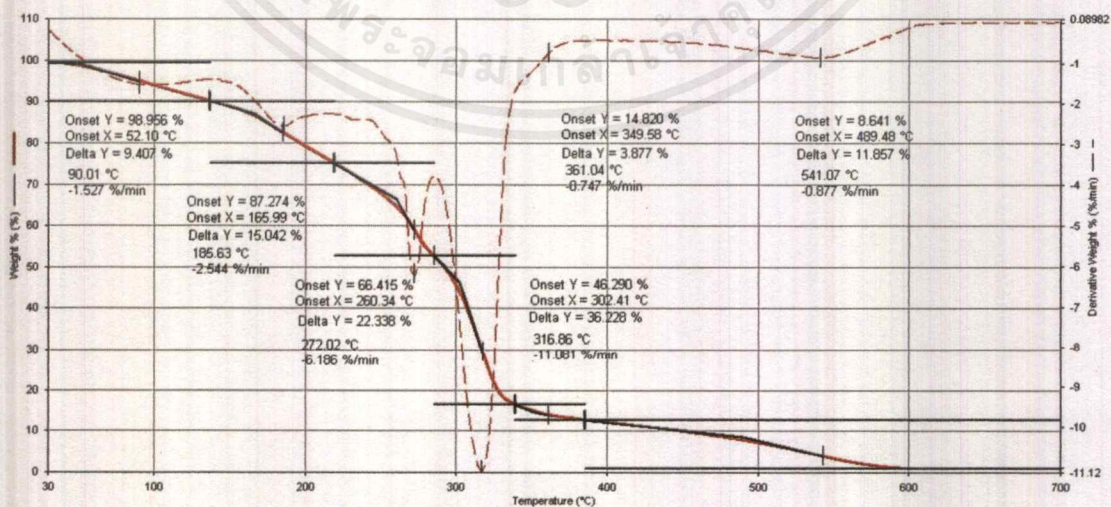
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) TG และ DTG ของ TPCS/5BA

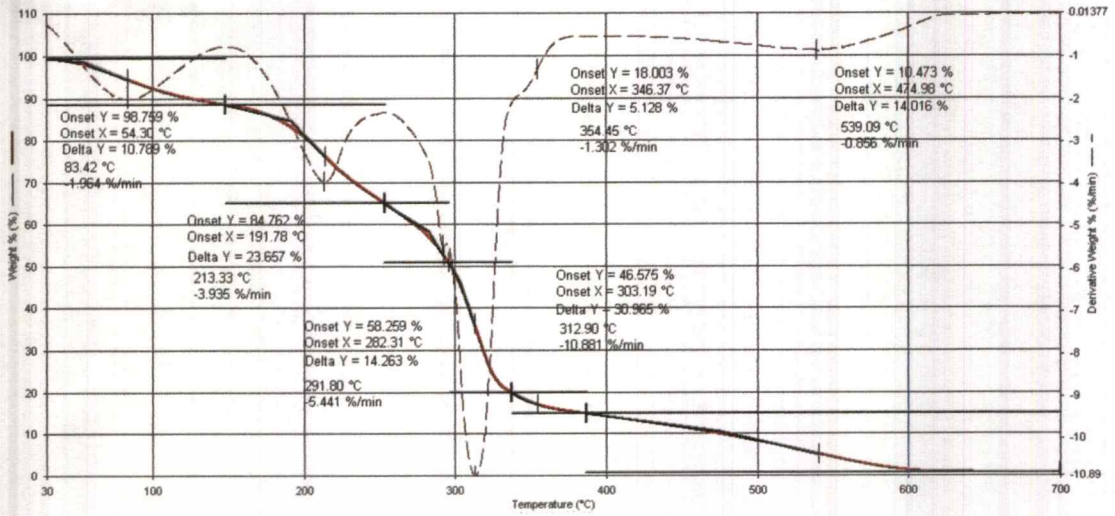


(ฉ) TG และ DTG ของ TPCS/10SD/1BA

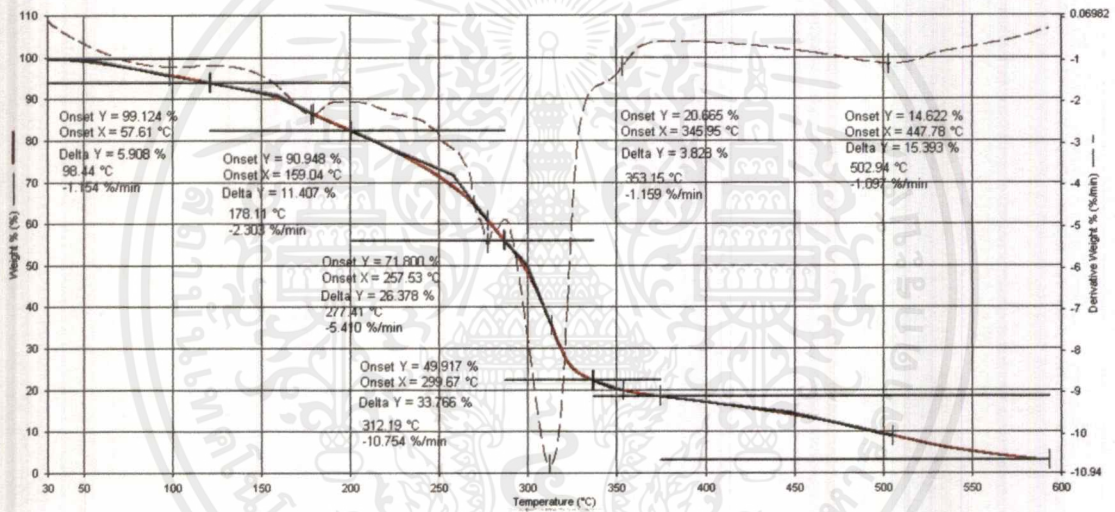


(ช) TG และ DTG ของ TPCS/10SD/5BA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) TG และ DTG ของ TPCS/20SD/1BA



(ฉ) TG และ DTG ของ TPCS/20SD/5BA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

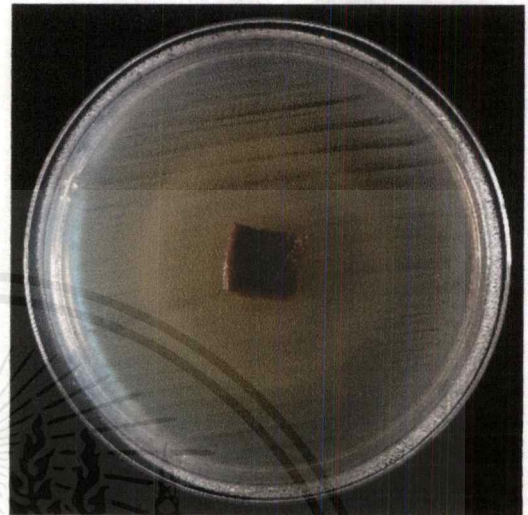
## ภาคผนวก ข

ผลการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติก ในสูตรต่างๆ

(ก) ภาพการทดสอบผลของการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ *Escherichia coli* (E.coli)



(ก) TPCS



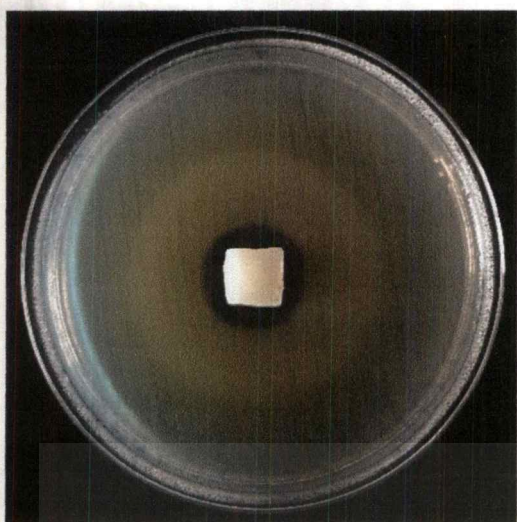
(ข) TPCS/10SD



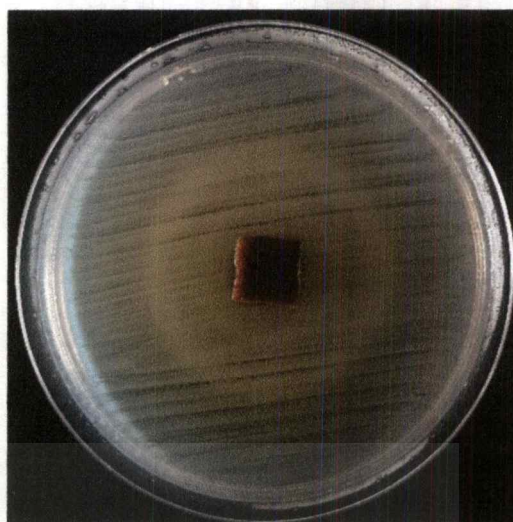
(ค) TPCS/20SD



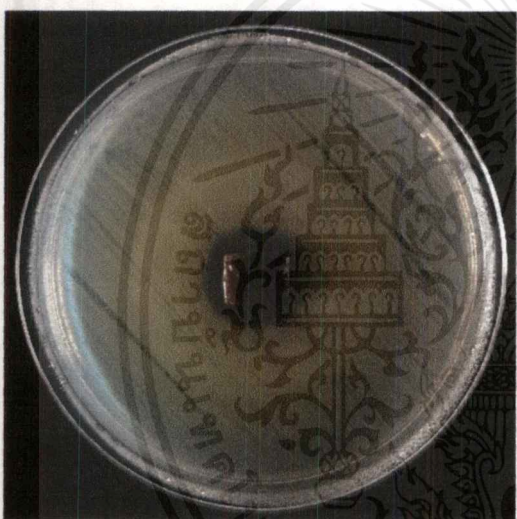
(ง) TPCS/1BA



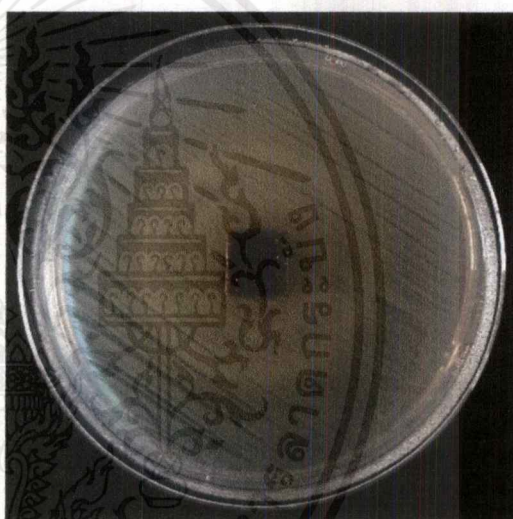
(จ) TPCS/5BA



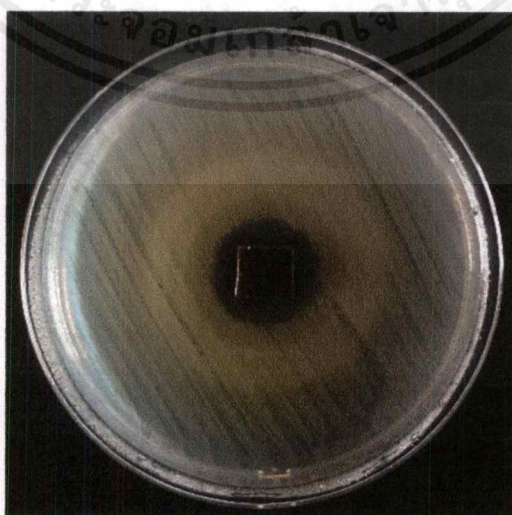
(ฉ) TPCS/10SD/1BA



(ช) TPCS/10SD/5BA



(ฌ) TPCS/20SD/1BA



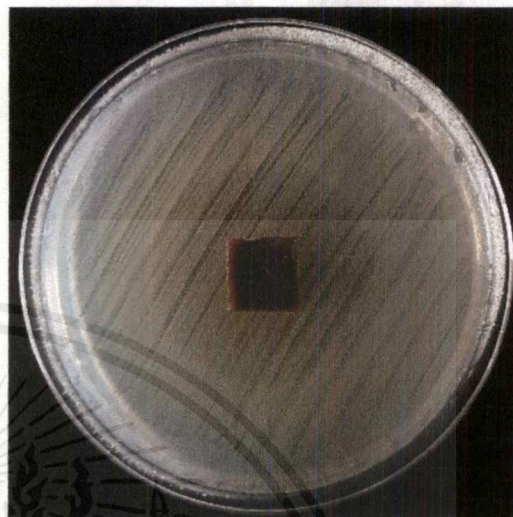
(ฉ) TPCS/20SD/5BA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) ภาพการทดสอบผลของการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ *Staphylococcus aureus*  
(*S.aureus*)



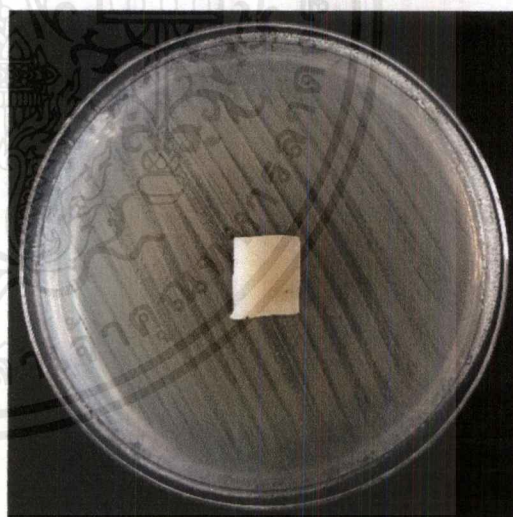
(ก) TPCS



(ข) TPCS/10SD

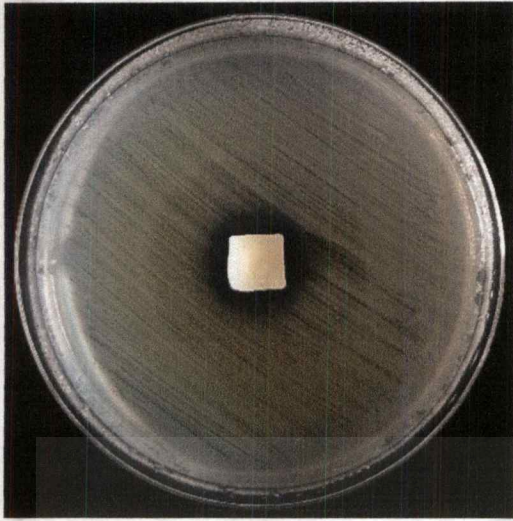


(ค) TPCS/20SD

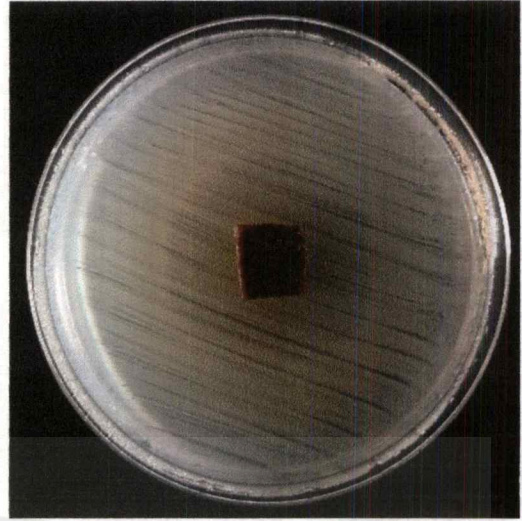


(ง) TPCS/1BA

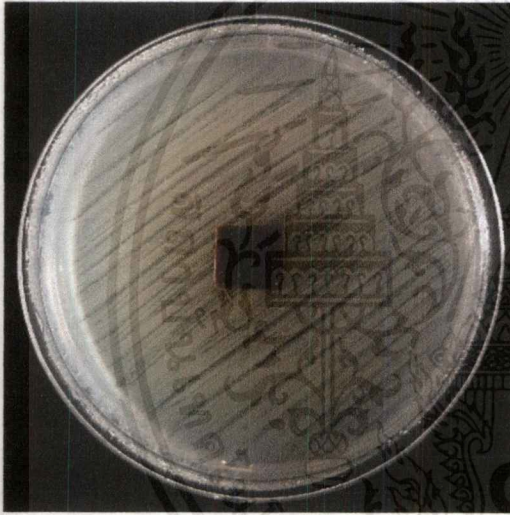
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



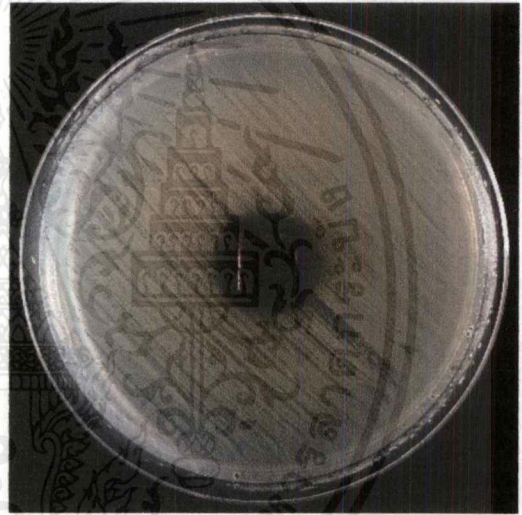
(จ) TPCS/5BA



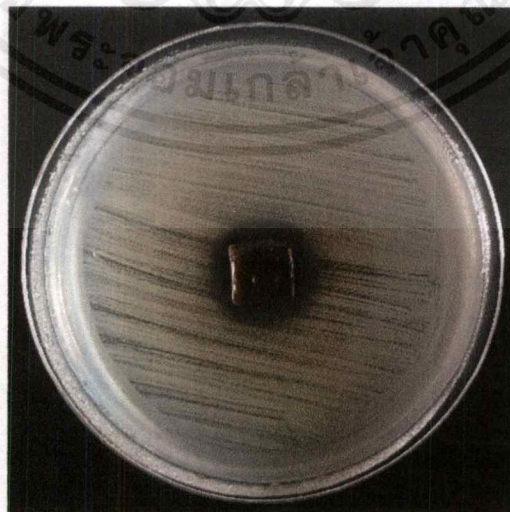
(ข) TPCS/10SD/1BA



(ค) TPCS/10SD/5BA



(ง) TPCS/20SD/1BA



(ฉ) TPCS/20SD/5BA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้