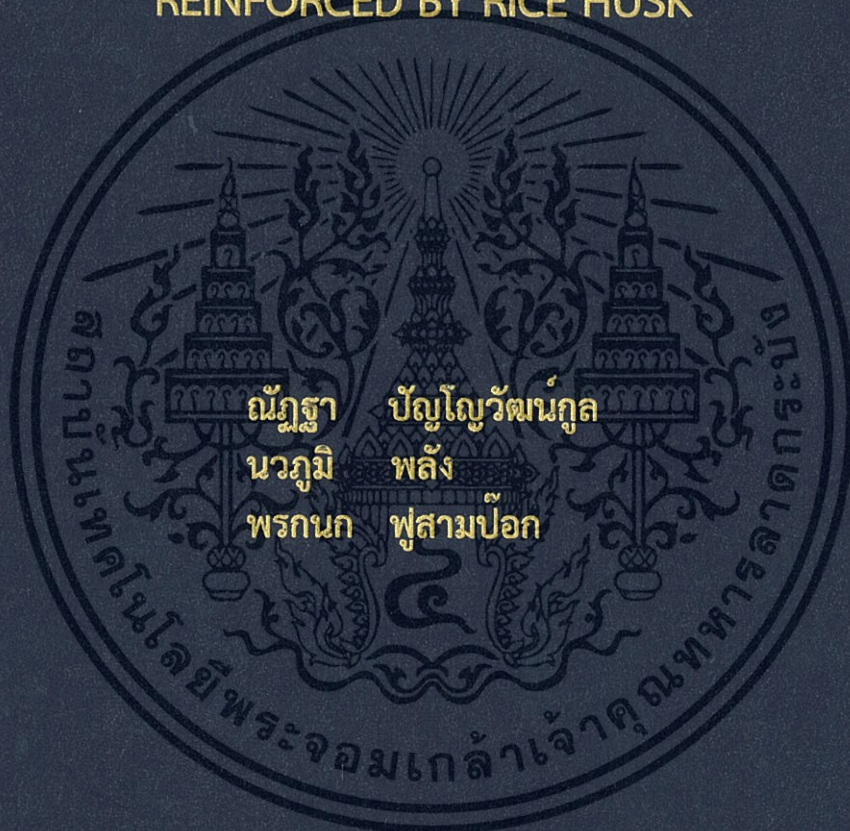


อิทธิพลของกรดแลคติกที่มีผลต่อสมบัติของคอมพอลิทีท
เทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งมันสำปะหลัง
เสริมแรงด้วยแกลบ

EFFECT OF LACTIC ACID ON PROPERTIES OF
THERMOPLASTIC CASSAVA STARCH COMPOSITES
REINFORCED BY RICE HUSK



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

อิทธิพลของกรดแลคติกที่มีผลต่อสมบัติของคอมพอลิธ
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง
เสริมแรงด้วยแกลบ

EFFECT OF LACTIC ACID ON PROPERTIES OF
THERMOPLASTIC CASSAVA STARCH COMPOSITES
REINFORCED BY RICE HUSK



โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF LACTIC ACID ON PROPERTIES OF
THERMOPLASTIC CASSAVA STARCH COMPOSITES
REINFORCED BY RICE HUSK



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
(INDUSTRIAL CHEMISTRY)

DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

อิทธิพลของกรดแลคติกที่มีผลต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติก
คอมพอสิตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยแกลบ
Effect of lactic acid on properties of thermoplastic
cassava starch composites reinforced by rice husk

ชื่อนักศึกษา

นางสาวณัฐฐา ปัญญาวัฒน์กุล รหัสนักศึกษา 57050406
นายนวนภูมิ พลัง รหัสนักศึกษา 57050431
นางสาวพรกนก พุสสามปือก รหัสนักศึกษา 57050464

ปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2560

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
(เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2560

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

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	อิทธิพลของกรดแลคติกที่มีผลต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกคอมพอสิตสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยแกลบ
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณัฐธา ปัญญาวัฒนกุล รหัสนักศึกษา 57050406 นายนวนภูมิ พลัง รหัสนักศึกษา 57050431 นางสาวพรกนก พุสามปोक รหัสนักศึกษา 57050464
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรีชญาวารากร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง (Thermoplastic cassava starch, TPCS) ด้วยกรดแลคติกและเสริมแรงด้วยแกลบ (Rice husk, RH) ในปริมาณต่าง ๆ กัน โดยทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัด (Compression molding) จากการศึกษาการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันพบว่า การสั่นแบบ O-H Stretching และ O-H Bending มีตำแหน่งของเลขคลื่นเคลื่อนไปยังตำแหน่งที่ลดลงเมื่อเติมแกลบ แสดงให้เห็นว่ามีพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นใหม่ระหว่างแป้งกับแกลบ และยังคงพบพีคที่ตำแหน่ง 1739 cm^{-1} และ 1742 cm^{-1} ปรากฏขึ้นเมื่อเติมแกลบและกรดแลคติก แสดงให้เห็นปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) ที่เกิดขึ้น จากการศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์พบว่า แนวโน้มความเป็นผลึกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเติมแกลบ แต่มีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเติมกรดแลคติก นอกจากนี้การเติมกรดแลคติกทำให้พื้นผิวของ TPCS เรียบขึ้น และอนุภาคของแกลบสามารถกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอและเข้ากันได้ดีกับ TPCS จากทดสอบการดูดซับความชื้นพบว่า คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยแกลบ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (TPCS/20RH) มีการดูดความชื้นต่ำที่สุด และสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด ในส่วนของค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด และมอดูลัส คือ TPCS/20RH และคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยกรดแลคติก (TPCS/2LA) มีการย่อยสลายได้เร็วที่สุดและลักษณะพื้นผิวที่เรียบเป็นเนื้อเดียวกัน และนอกจากนี้พบว่า TPCS ทุกสูตรแสดงให้เห็นถึงการย่อยสลายเกิดขึ้นจากสมบัติเชิงกลที่ลดลงหลังการฝังดิน และการศึกษาสมบัติทางความร้อน พบว่า TPCS ที่มีการปรับปรุงสมบัติ มีเสถียรภาพทางความร้อนที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : กรดแลคติก แกลบ แป้งมันสำปะหลัง เทอร์โมพลาสติกสตาโรซ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Effect of lactic acid on properties of thermoplastic cassava starch composites reinforced by rice husk
Students	Miss Nattha Panyowatkoon Student ID 57050406 Mr. Nawapoom Palang Student ID 57050431 Miss Pornkanok Fusampok Student ID 57050464
Degree	Bachelor of Science (Industrial chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2017
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Jutarat Prachayawarakorn

Abstract

This research reported on property improvement of thermoplastic cassava starch (TPCS) composites using various contents of lactic acid (LA) and rice husk (RH). Internal mixer and compression molding were used to compound and shape different TPCS composites, respectively. It was found from FT-IR spectra that new hydrogen bonds were formed by the shift of O-H stretching and bending peaks when RH was added into TPCS matrix. The additional peak positions were arisen at 1739 cm^{-1} and 1742 cm^{-1} by the incorporation of RH and LA into TPCS matrix, respectively; showing the evidence of esterification. From x-ray diffraction, the degree of crystallinity increased when RH was added. On the other hand, the crystallinity was reduced by the addition of LA. Moreover, the addition of LA caused smoother surface morphology and RH particles were well compatible and distributed into TPCS matrix. The lowest moisture uptake was found for TPCS composite modified by 2 phr LA and 20 phr RH. In terms of mechanical properties, the highest stress at maximum load and Young's modulus were obtained for TPCS composite with 20 phr RH. The fastest degradation and the most smooth surface texture was found in TPCS composite modified by 2 phr of LA. All TPCS composites showed biodegradability,

determined by the decrease of mechanical properties after burial in soil. Finally, the improvement of thermal stability for different TPCS composites was observed.

Keywords : lactic acid, rice husk, cassava starch, thermoplastic starch



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษเป็น
อย่างสูงที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และการช่วยเหลือในการทำงานโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงไป
ได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปานไพลิน สีหาราช และ ดร.กิตติมนตรี จิระกิตติคุณ ที่กรุณาเป็น
กรรมการ ตลอดจนให้คำแนะนำเพื่อให้โครงการพิเศษนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และ คุณสุดใจ สอนสะอาด ที่ได้ให้ความรู้
และข้อแนะนำดีๆ เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัยโครงการพิเศษให้สำเร็จ
ลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมทั้งผู้ที่ให้โอกาสต่อคณะผู้จัดทำ จนทำให้
ประสบความสำเร็จในการศึกษา

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ณัฐา ปัญญาวัฒน์กุล
นาวภูมิ พลัง
พรกนก พุสามปือก

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 พลาสติก.....	5
2.1.1 เทอร์โมพลาสติก.....	5
2.1.2 เทอร์โมเซตติง.....	5
2.2 วัสดุคอมพอสิต.....	5
2.2.1 การแบ่งชนิดของคอมพอสิต.....	6
2.2.1.1 คอมพอสิตแบบเส้นใย.....	6
2.2.1.2 คอมพอสิตแบบแผ่นหรือลามิเนต.....	6
2.2.1.3 คอมพอสิตแบบเป็นก้อน.....	6
2.2.2 การประยุกต์ใช้วัสดุคอมพอสิต.....	6
2.2.3 ข้อดีและข้อเสียของคอมพอสิต.....	6
2.3 แป้ง.....	7
2.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดแป้ง.....	7
2.3.1.1 แป้ง.....	7
2.3.1.2 ไขมัน.....	10
2.3.1.3 โปรตีน.....	11
2.3.1.4 ฟอสฟอรัส.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.5	ถ้ำและสารอนินทรีย์.....	11
2.3.1.6	ความชื้น.....	11
2.3.2	โครงสร้างของเม็ดแป้ง.....	11
2.3.3	สมบัติของแป้ง.....	13
2.3.3.1	การพองตัวและการละลาย (Swelling and solubility)	13
2.3.3.2	รีโทรเกรดชัน (Retrogradation)	14
2.3.3.3	ความหนืด (Viscosity).....	14
2.3.4	การไฮโดรไลซ์สตาร์ช.....	15
2.3.4.1	การเจลาติไนซ์ (Gelatinization)	15
2.3.4.2	การเกิดลิเควอร์แฟกชัน (Liquefaction).....	15
2.3.4.3	การเกิดแซ็กคาริฟิเคชัน (Saccharification).....	15
2.4	แป้งมันสำปะหลัง	15
2.4.1	ลักษณะรูปร่าง และขนาดของเม็ดแป้ง.....	17
2.4.2	ประโยชน์ของแป้งมันสำปะหลัง	19
2.4.2.1	อุตสาหกรรมสิ่งทอ	19
2.4.2.2	อุตสาหกรรมไม้อัด.....	19
2.4.2.3	อุตสาหกรรมกระดาษ.....	19
2.4.2.4	อุตสาหกรรมกาว.....	19
2.4.2.5	อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม	20
2.4.2.6	วัสดุย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ	20
2.4.2.7	อุตสาหกรรมสารให้ความหวาน	20
2.5	กรดแลคติก	20
2.5.1	สมบัติกรดแลคติก	21
2.5.2	การนำไปใช้ประโยชน์.....	21
2.5.2.1	อุตสาหกรรมอาหาร	21
2.5.2.2	อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง	22
2.5.2.3	อุตสาหกรรมอื่นๆ.....	22
2.5.3	การผลิตกรดแลคติก.....	22
2.5.3.1	การสังเคราะห์ทางเคมี	22
2.5.3.2	การใช้จุลินทรีย์	23
2.6	แอลกอฮอล์.....	23
2.6.1	องค์ประกอบทางเคมีของแอลกอฮอล์.....	23
2.6.2	สมบัติของแอลกอฮอล์.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 การใช้ประโยชน์จากแคลบ	24
2.7 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	24
2.7.1 กลไกการย่อยสลายของพลาสติก.....	25
2.7.1.1 การย่อยสลายได้โดยใช้แสง	25
2.7.1.2 การย่อยสลายทางกล	25
2.7.1.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน	25
2.7.1.4 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส	26
2.7.1.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ.....	26
2.7.2 การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้.....	26
2.7.2.1 การใช้งานทางการแพทย์.....	26
2.7.2.2 สารเคลือบกระดาษ หรือโฟม	27
2.7.2.3 फिल्मคลุมดิน และวัสดุสำหรับการเกษตร.....	27
2.7.2.4 ถังสำหรับใส่ของ.....	27
2.7.2.5 फिल्म และถังสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร.....	27
2.7.2.6 บรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค.....	27
2.7.2.7 โฟมเม็ดกันกระแทก	28
2.8 การวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย.....	28
2.8.1 การวิเคราะห์สมมูลคาร์บอน.....	28
2.8.2 การวิเคราะห์น้ำหนักที่หายไป.....	29
2.8.3 การวิเคราะห์ลักษณะจากกล้องจุลทรรศน์.....	29
2.8.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปกโทรสโคปีชนิดแสงอินฟราเรด	30
2.8.5 การวิเคราะห์ด้วยความร้อน.....	30
2.8.5.1 การศึกษาโดยใช้ DSC.....	30
2.8.5.2 การศึกษาโดยใช้ TGA.....	30
2.8.6 การทดสอบโดยการฝังดิน.....	30
2.9 พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer).....	30
2.9.1 กลไกของพลาสติกไซเซชัน	31
2.9.2 กลีเซอรอล (Glycerol)	31
2.10 สารหล่อลื่น (Lubricants).....	32
2.11 แมกนีเซียมสเตียเรท (Magnesium stearate)	33
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	38
3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือ	40
3.3 การทดลอง	42
3.3.1 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลัง	42
3.3.2 การเตรียมแคลบ	42
3.3.3 การเตรียมคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงด้วยกรดแลคติก... และเสริมแรงด้วยแคลบ	42
3.4 การทดสอบสมบัติต่างๆ	43
3.4.1 การหาโครงสร้าง และหมู่ฟังก์ชันโดย FTIR	43
3.4.2 การทดสอบการวัดค่าความหนืด	43
3.4.3 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction).....	43
3.4.4 การดูดซับความชื้น	44
3.4.5 การทดสอบสัมฐานวิทยา	44
3.4.6 การทดสอบสมบัติเชิงกล	44
3.4.7 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน	46
3.4.8 การทดสอบสมบัติทางความร้อน	46
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	47
4.1 การทดสอบหมู่ฟังก์ชัน (FT-IR).....	47
4.2 การทดสอบการวัดค่าความหนืด	50
4.3 การทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction, XRD).....	51
4.4 สัมฐานวิทยา.....	54
4.5 การดูดซับความชื้น (Moisture uptake).....	57
4.6 สมบัติเชิงกล (Mechanical properties).....	59
4.7 การย่อยสลายโดยการฝังดิน (Biodegradation properties).....	63
4.8 สมบัติทางความร้อน (Thermal properties)	67
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	71
5.1 สรุปผลการวิจัย	71
5.2 ข้อเสนอแนะ	73
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก.....	80
ภาคผนวก ก	81
ภาคผนวก ข	82
ภาคผนวก ค.....	83

ภาคผนวก ง	84
ภาคผนวก จ	88
ภาคผนวก ฉ	90
ภาคผนวก ช	94
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ	97



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน	8
2.2 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ	9
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของอะไมโลสและสีของสารประกอบเชิงซ้อนของ อะไมโลสกับไอโอดีน	9
2.4 ลักษณะโครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิด	13
2.5 องค์ประกอบในหัวมัน.....	17
2.6 องค์ประกอบในเนื้อมัน	17
2.7 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมัน	18
2.8 การกระจายขนาดอนุภาคของเม็ดแป้งดิบของแป้งมันสำปะหลัง	19
2.9 องค์ประกอบของแกลบ	24
2.10 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอล	32
3.1 องค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลัง	38
3.2 ใบรับรองการวิเคราะห์ของกรดแลคติก.....	39
3.3 อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง, กลีเซอรอล, แมกนีเซียมสเตียเรท และกรดแลคติก ที่ใช้ในการเตรียมคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช	42
3.4 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ เตรียมได้.....	45
4.1 ค่าเฉลี่ยของปริมาณองค์ประกอบในแกลบ.....	47
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและลักษณะการสั่น.....	48
4.3 ปริมาณผลึกของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุง สมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และแกลบในอัตราส่วนต่างๆ.....	53
4.4 เปอร์เซ็นต์สมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนแปลงของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยแกลบ.....	60
4.5 เปอร์เซ็นต์สมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนแปลงของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยกรดแลคติก.....	60
4.6 เปอร์เซ็นต์สมบัติเชิงกลที่ลดลงของตัวอย่างหลังการฝังดิน	64
4.7 อุณหภูมิการสลายตัว (°C) ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมัน สำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และแกลบ	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของอะไมโลส	8
2.2 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน	10
2.3 X-ray diffraction ของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน	12
2.4 การพองตัวของเม็ดแป้ง	14
2.5 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน	15
2.6 ลักษณะของเม็ดแป้งของแป้งมันสำปะหลัง	18
2.7 โครงสร้างทางเคมีของกรดแลคติก	21
2.8 ลักษณะภายใน และภายนอกของแกลบ	23
2.9 วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	28
2.10 โครงสร้างทางเคมีของกลีเซอรอล	31
3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน	41
3.2 ลักษณะชิ้นงานดัมเบลล์ที่ใช้ทดสอบ	45
4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของแกลบ	48
4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชโดยไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรง..... ด้วยแกลบในอัตราส่วนต่างๆ โดย (ก) TPCS/2LA (ข) TPCS/2LA/10RH..... (ค) TPCS/20RH.....	49
4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรง..... ด้วยแกลบในอัตราส่วนต่างๆ โดย (ก) TPCS/2LA (ข) TPCS/2LA/10RH (ค) TPCS/2LA/20RH	49
4.4 ดิฟแฟรกโตแกรมของแกลบ.....	51
4.5 ดิฟแฟรกโตแกรมของแป้งมันสำปะหลัง.....	51
4.6 ดิฟแฟรกโตแกรมของ (ก) TPCS (ข) TPCS/10RH และ (ค) TPCS/20RH.....	52
4.7 ดิฟแฟรกโตแกรมของ (ก) TPCS/2LA (ข) TPCS/2LA/10RH และ (ค)	53
TPCS/2LA/20RH	53
4.8 สันฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติโดย	55
ใช้และไม่ใช้กรดแลคติก ที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 1000 เท่า	55
4.9 สันฐานวิทยาของแกลบ ที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 1000 เท่า.....	55
4.10 สันฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติโดยแกลบ 10 และ	56
20 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11	สัญญาณวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก..... และเสริมแรงด้วยแคลบ ที่กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า	57
4.12	เปอร์เซ็นต์การดูดซับความของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจาก แป้งมันสำปะหลังโดยไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในอัตราส่วนต่างๆ.....	58
4.13	เปอร์เซ็นต์การดูดซับความของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจาก..... แป้งมันสำปะหลังโดยใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในอัตราส่วนต่างๆ.....	58
4.14	สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังโดย ใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในปริมาณต่างๆ	61
4.15	สมบัติเชิงกลก่อนและหลังฝังดินของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจาก..... แป้งมันสำปะหลังโดยไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในปริมาณต่างๆ	65
4.16	สมบัติเชิงกลก่อนและหลังฝังดินของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจาก..... แป้งมันสำปะหลังโดยใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในปริมาณต่างๆ	66
4.17	(ก) TG และ (ข) DTG เทอร์โมแกรมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจาก แป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยไม่ใช้กรดแลคติก และแคลบในอัตราส่วนต่างๆ.....	68
4.18	(ก) TG และ (ข) DTG เทอร์โมแกรมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจาก แป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก และแคลบในอัตราส่วนต่างๆ.....	69

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
CS	แป้งมันสำปะหลัง
RH	เกลือ
TPCS	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ
TPCS/5RH	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ใช้กรดแลคติก เสริมแรงด้วยเกลือ 5 phr
TPCS/10RH	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ใช้กรดแลคติก เสริมแรงด้วยเกลือ 10 phr
TPCS/15RH	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ใช้กรดแลคติก เสริมแรงด้วยเกลือ 15 phr
TPCS/20RH	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ใช้กรดแลคติก เสริมแรงด้วยเกลือ 20 phr
TPCS/2LA	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแลคติก
TPCS/2LA/5RH	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ใช้กรดแลคติก เสริมแรงด้วยเกลือ 5 phr
TPCS/2LA/10RH	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ใช้กรดแลคติก เสริมแรงด้วยเกลือ 10 phr
TPCS/2LA/15RH	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ใช้กรดแลคติก เสริมแรงด้วยเกลือ 15 phr
TPCS/2LA/20RH	เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ใช้กรดแลคติก เสริมแรงด้วยเกลือ 20 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันพลาสติกมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้ง่าย มีน้ำหนักเบา ราคาถูก และมีความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง จึงนำมาใช้ประโยชน์แทนโลหะ ไม้ หรือวัสดุธรรมชาติอื่นๆ พลาสติกนั้นได้จากการนำวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ เช่น น้ำมันปิโตรเลียมมาแยกเป็นสารประกอบบริสุทธิ์หลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบระหว่างคาร์บอนกับก๊าซไฮโดรเจน เมื่อนำเอาสารประกอบแต่ละชนิดมาทำปฏิกิริยาให้มีลักษณะต่อกันเป็นเส้นยาวมาก ๆ จะได้วัสดุที่มีสมบัติเป็นพลาสติก จากที่มีการผลิตพลาสติกที่เพิ่มมากขึ้นนั้นจึงมีขยะจากพลาสติกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งพลาสติกย่อยสลายทางธรรมชาติได้ยาก และใช้เวลานานในการย่อยสลาย หากต้องการทำลายพลาสติกในระยะเวลาน้อยอาจต้องใช้การทำลายโดยการเผาไหม้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และปัญหาดังกล่าวนี้จึงได้ทำการคิดค้นและพัฒนาพลาสติกที่มาจากชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถย่อยสลายในระยะเวลาน้อย [1]

พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) เป็นพลาสติกที่ผลิตขึ้น จากวัสดุธรรมชาติและสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ ช่วยลดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม วัสดุธรรมชาติที่นำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพมีหลายชนิดส่วนใหญ่ได้มาจากพืช เช่น เซลลูโลส คอလာเจน แป้ง โปรตีนจากถั่ว และข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติที่นิยมนำมาผลิตพลาสติกชีวภาพมากที่สุด เพราะหาได้ง่าย พบเจอในปริมาณมากและราคาถูก เนื่องจากสามารถหาได้จากพืชชนิดต่างๆ เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี มันฝรั่ง มันเทศ มันสำปะหลัง เป็นต้น สำหรับประเทศไทยพืชที่นิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกชีวภาพคือ ข้าวโพด และมันสำปะหลัง เนื่องจากเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีปริมาณมากและราคาถูก [2]

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสามารถแบ่งตามแหล่งกำเนิดวัตถุดิบได้ 2 ประเภท คือ พลาสติกซึ่งสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี (Petroleum-based biodegradable plastics) และพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบมวลชีวภาพ (Bio-based biodegradable plastics) ซึ่งในปัจจุบันพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบมวลชีวภาพกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สามารถสร้างทดแทนใหม่ได้ (Renewable) เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า ในบรรดาชีวมวลจากธรรมชาติทั้งหลาย แป้ง (Starch) จัดเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงและได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากมีปริมาณมาก หาง่าย ราคาถูก และสามารถย่อยสลายได้ [3] โดยสามารถนำแป้งมาทำให้เป็นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชได้

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch; TPS) หมายถึง การนำแป้งมาใช้ในการผลิตพลาสติก ซึ่งมีข้อจำกัด คือ โครงสร้างผลึกในแกรนูลของแป้ง (Starch granule) มีความแข็งแรงมาก แกรนูลแป้งโดยธรรมชาติไม่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก จึงไม่สามารถหลอมเหลวได้ หากให้ความร้อนแก่แป้งที่ปราศจากความชื้น การหลอมเหลวของแกรนูลแป้งจะเกิดการเผาไหม้และสลาย การเติมสารเติมแต่ง (Additive) ที่เรียกว่า พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) จะช่วยทำให้แกรนูลของแป้งเกิดการหลอมเหลวได้ ภายใต้สภาวะที่มีความร้อนและแรงกล (Mechanical energy) [3] ในงานวิจัยนี้จะทำการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง (Thermoplastic cassava starch, TPCS)

แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch) ทำมาจากหัวมันสำปะหลัง มีลักษณะเป็นผงสีขาวผิวสัมผัสของแป้งจะเนียนลื่นมือ เมื่อทำให้สุกจะเหลวเหนียวหนืด เมื่อพักให้เย็นจะมีลักษณะเหนียวคงตัว นิยมนำมาผสมอาหารที่ต้องการความเหนียวหนืดใส โดยหัวมันสำปะหลังสดจะมีแป้งเป็นองค์ประกอบประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ [4] แป้งมันสำปะหลังเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่สามารถปลูกทดแทนได้ ย่อยสลายได้ง่าย มีความบริสุทธิ์สูง ราคาถูก มีสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ที่เหมาะสมเฉพาะตัวจึงเป็นทางเลือกใหม่ในการนำมาใช้ในการผลิตพลาสติกทดแทนการใช้ผลิตภัณฑ์ทางปิโตรเลียม เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีสมบัติเชิงกลต่ำและดูดซับความชื้นสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการปรับปรุงข้อเสียของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช โดยใช้กรดแลคติก ซึ่งเป็นการปรับปรุงสมบัติทางเคมี (Chemical modification) ของแป้ง และเสริมแรงด้วยแกลบ ซึ่งเป็นการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ (Physical modification) ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

กรดแลคติก (Lactic acid) มีชื่อทางเคมี คือ 2-hydroxypropanoic acid มีสูตรโมเลกุล คือ $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$ เป็นสารที่ผลิตได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีหรือการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์ มีลักษณะเป็นของเหลวไม่มีสี ละลายในน้ำ และตัวทำละลายได้ดี กรดแลคติกที่มีความบริสุทธิ์สูงจะสามารถเกิดผลึกได้ในแบบมอนอคลินิก มีลักษณะเป็นผลึก ไม่มีสี ละลายน้ำได้ดี แต่ระเหยยาก มักใช้มากในภาคอุตสาหกรรม [5] ทั้งยังใช้ในการปรับแต่งรสชาติอาหาร เช่น โยเกิร์ต ชีส ซึ่งกรดแลคติกเป็นส่วนทำให้เกิดรสเปรี้ยว สำหรับการผลิตกรดแลคติกในเชิงพาณิชย์ จะได้มาจากการหมักคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) เช่น น้ำตาลทราย กลูโคส และแลคโตส ซึ่งได้มาจาก ข้าวโพด หัวบีท อ้อย เป็นต้น [6]

แกลบ (Rice husk) ทำหน้าที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวอยู่ภายนอก ใต้จากการสีข้าว เป็นสารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอนและซิลิกอนไดออกไซด์หรือซิลิกา เมื่อพิจารณาแกลบให้ชัดขึ้น โดยนำมาสองดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะมีลักษณะผิวเปราะเรียงกัน และผิวแกลบมีความพรุนมาก แกลบมีส่วนประกอบที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยสารอนินทรีย์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์ โดยมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีขนาดเล็กระดับนาโนเมตรมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าและไม่นำความร้อน [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าการเติมกรดแลคติกทำให้เม็ดแป้งเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ส่งผลให้แป้งสาลีมีความหนืด และความเป็นผลึกลดลง [8] นอกจากนี้พบว่าการเติมกรดซิตริกและกรดมาลิกในแป้งมันสำปะหลังทำให้การดัดยัดและการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาarch จากแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น [9] สมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาarch สามารถปรับปรุงได้โดยใช้เส้นใยหลายชนิด ได้แก่ เส้นใยฝ้าย [10] เส้นใยไหม [10] เส้นใยขนุน [11] และเส้นใยจากชานอ้อย [12] พบว่าเส้นใยเซลลูโลสต่างๆ เหล่านี้ ทำให้สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาarch เพิ่มขึ้น ลดการดูดซับความชื้นลงได้อย่างมาก และจากการศึกษาผลของแถบที่มีต่อสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาarch จากแป้งมันสำปะหลัง พบว่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด และมอดุลัสเพิ่มขึ้น การดูดซับความชื้นลดลง [13] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำงานวิจัยดังกล่าวมาเป็นแนวทางในการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาarch จากแป้งมันสำปะหลังโดยเปรียบเทียบการใส่และไม่ใส่กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแถบในปริมาณ 0 5 10 15 และ 20 phr มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) จากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัด (Compression molding) เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาarch จากแป้งมันสำปะหลัง ทำการทดสอบสมบัติเชิงกล การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน การวัดค่าความหนืด การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ สันฐานวิทยา การดูดซับความชื้น การย่อยสลาย และสมบัติทางความร้อน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อเตรียมคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาarch จากแป้งมันสำปะหลัง (Thermoplastic cassava starch) โดยมีกลีเซอรอล (Glycerol) เป็นพลาสติกไซเซอร์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงสมบัติคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาarch โดยกรดแลคติกและเสริมแรงด้วยแถบ
- 1.2.3 เพื่อทดสอบสมบัติต่างๆ ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาarch จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก และแถบ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 เตรียมคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาarch จากแป้งมันสำปะหลัง และกลีเซอรอล
- 1.3.2 ศึกษาการใช้กรดแลคติก และปริมาณแถบที่เหมาะสมที่ทำให้สมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาarch ที่เตรียมได้ดีขึ้น
- 1.3.3 ทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน การวัดค่าความหนืด การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ สันฐานวิทยา การดูดซับความชื้น สมบัติเชิงกล สมบัติการย่อยสลายโดยการฝังดิน และสมบัติทางความร้อนของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาarch ที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถใช้กรดแลคติกและกลีบในการปรับปรุงสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชได้

1.4.2 สามารถใช้ทดแทนพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยาก เพื่อลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น โดยการนำวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ เช่น น้ำมันปิโตรเลียมมาแยกเป็นสารประกอบบริสุทธิ์หลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบระหว่างคาร์บอนกับก๊าซไฮโดรเจน เมื่อนำเอาสารประกอบแต่ละชนิดมาทำปฏิกิริยาให้มีลักษณะต่อๆ กันเป็นสายยาวมากๆ ก็จะได้วัสดุที่มีสมบัติเป็นพลาสติก พลาสติกที่เกิดจากสารประกอบที่ต่างกันมักมีสมบัติแตกต่างกันไปด้วย และพลาสติกบางชนิดอาจเกิดจากสารประกอบมากกว่า 1 ชนิด ซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ แทนโลหะไม้ หรือวัสดุธรรมชาติอื่นๆ เช่น ทำเส้นใยสำหรับผลิตสิ่งทอ หล่อเป็นลำเรือ และชิ้นส่วนของยานยนต์อากาศยาน และบรรจุภัณฑ์ต่างๆ รวมทั้งอุปกรณ์และเครื่องใช้อื่นๆ ปัจจุบันพลาสติกมีบทบาทอย่างยิ่งในชีวิตประจำวัน เราจะพบเห็นพลาสติกในรูปของผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย [14]

พลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท โดยอาศัยลักษณะของพลาสติกเมื่อถูกความร้อน

2.1.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์เป็นแบบเส้นตรงหรือแบบกิ่งสั้นๆ สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัว และหลอมเหลวเป็นของเหลวหนืด เนื่องจากโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่พันกันอยู่สามารถเคลื่อนที่ผ่านกันไปได้ง่ายขึ้นเมื่อได้รับความร้อน และเมื่อเย็นตัวลงโมเลกุลจะแข็งตัว ซึ่งการหลอมเหลวและเย็นตัวนี้สามารถเกิดกลับไปกลับมาได้โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพหรือโครงสร้างของพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลงไป

2.1.2 เทอร์โมเซตติง (Thermosetting)

พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างเป็นแบบร่างแห ซึ่งจะหลอมเหลวได้ในขั้นตอนการขึ้นรูปครั้งแรกเท่านั้น ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ทำให้ พอลิเมอร์มีรูปร่างที่แน่นอน ไม่สามารถหลอมเหลวได้อีกเมื่อได้รับความร้อน และหากได้รับความร้อนสูงเกินไปจะทำให้พันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลแตกออก ได้สารที่ไม่มีสมบัติของความเป็นพอลิเมอร์ต่อไป [15]

2.2 วัสดุคอมพอสิต

วัสดุคอมพอสิต คือวัสดุที่ประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 ส่วน หรือมากกว่า ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน อยู่ด้วยกันและเสริมแรงกัน องค์ประกอบ 2 ส่วนของคอมพอสิต ได้แก่

1. ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) คือ ส่วนที่เป็นโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงแก่วัสดุคอมพอสิต วัสดุเสริมแรงจะมีความแข็งแรงและมอดุลัสสูง ตัวอย่างของส่วนเสริมแรงได้แก่ เส้นใยเอกซาร์เป็นเอกซาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Fiber) ชนิดต่างๆ เช่น เส้นใยแก้ว (Glass fiber) เส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) หรือเส้นใยเคพลาร์ (Kevlar® fibers) เป็นต้น โดยส่วนเสริมแรงทำหน้าที่เป็นส่วนรับแรงหลักของวัสดุคอมพอสิต

2. เมทริกซ์ (Matrix) เป็นวัสดุที่ทำหน้าที่ยึดส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกันให้อยู่ในตำแหน่งและการเรียงตัวที่กำหนดโดยจะล้อมรอบและปกป้องส่วนเสริมแรงจากการเสียหายเนื่องจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งเมทริกซ์เป็นองค์ประกอบที่มีความต่อเนื่อง (Continuous phase) จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายเทแรงที่ได้รับ (Load transfer medium) ไปยังส่วนเสริมแรง [16]

2.2.1 การแบ่งชนิดของคอมพอสิต

สามารถแบ่งชนิดของคอมพอสิตได้ดังนี้

2.2.1.1 คอมพอสิตแบบเส้นใย (Fibrous composites) คือ คอมพอสิตที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใย (Fibers) อาจเป็นเส้นใยสั้นหรือเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Continuous fibers) มักเป็นเส้นใยขนาดเล็ก มีความแข็งแรง และมอดุลัสสูง ทำให้มีความแข็งแรงตามแนวการจัดเรียงตัวของเส้นใยสูงกว่าแนวอื่นๆ

2.2.1.2 คอมพอสิตแบบแผ่นหรือลามิเนต (Laminar composites) คือ คอมพอสิตที่ประกอบด้วยชั้นหรือแผ่นของวัสดุที่ยึดติดกันด้วยตัวเชื่อมเมทริกซ์ มีลักษณะเป็นชั้นๆ คล้ายแผ่นประกบ (Sandwich) หรือเป็นโครงสร้างคล้ายรังผึ้ง (Honeycomb)

2.2.1.3 คอมพอสิตแบบเป็นก้อน (Particulate composites) คือ คอมพอสิตที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเม็ด (Bead) แผ่น (Flake) หรือผง (Powder) ที่มีขนาดเล็ก [17]

2.2.2 การประยุกต์ใช้วัสดุคอมพอสิต

สมบัติของวัสดุคอมพอสิตสามารถออกแบบได้จากวัสดุองค์ประกอบ สัดส่วนระหว่างวัสดุองค์ประกอบ ความเข้ากันได้ระหว่างวัสดุองค์ประกอบ การเรียงตัวของสารเสริมแรงและการกระจายตัวของสารเสริมแรงในเมทริกซ์ การควบคุมปัจจัยเหล่านี้มีส่วนทำให้สมบัติของวัสดุคอมพอสิตเป็นไปตามต้องการ ทำให้วัสดุคอมพอสิตสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายครอบคลุมตั้งแต่วัสดุสำหรับการใช้งานทั่วไปจนกระทั่งวัสดุสำหรับใช้ในงานเฉพาะกิจที่ต้องการสมบัติพิเศษ [18]

2.2.3 ข้อดีและข้อเสียของคอมพอสิต

วัสดุคอมพอสิตมีมากมายหลายชนิดและมีสมบัติเด่นหลายประการ นอกจากนี้ยังสามารถออกแบบโครงสร้างของวัสดุคอมพอสิตให้เหมาะสมกับการใช้งานต่างๆ ซึ่งข้อดีของวัสดุคอมพอสิตมีดังนี้

- มีสมบัติต่อน้ำหนักหรือความหนาแน่น (Properties to weight/density ratio) สูง เช่น ความแข็งแรงจำเพาะ (Specific strength) มอดุลัสจำเพาะ (Specific modulus) ความเหนียวจำเพาะ (Specific stiffness) ฯลฯ เนื่องจากวัสดุคอมพอสิตมีความหนาแน่นต่ำมีน้ำหนักเบา

- มีสมบัติที่หลากหลาย สามารถสร้างวัสดุคอมพอสิตให้มีสมบัติตามต้องการ (Tailor-made properties) ให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น เลือกชนิดเส้นใยและเมทริกซ์ที่เหมาะสม กำหนดปริมาณเส้นใยในคอมพอสิต การจัดเรียงเส้นใยตัวตามแนวแรงกระทำ ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีอายุการใช้งานยาวนาน มักมีสมบัติความต้านทานต่อการสึกกร่อนดี
- มีสมบัติการรับแรงและแดมป์ (Damping) ดี
- ความทนทานต่อการล้า (Fatigue resistance) ดี
- มีเสถียรภาพต่อรูปร่าง (Dimensional stability) สูง

อย่างไรก็ดีวัสดุคอมพอสิตมีข้อเสีย และเครื่องมือการขึ้นรูปคอมพอสิต มักมีสมบัติแต่ละทิศทางไม่เท่ากันทำให้มีสมบัติและข้อจำกัดบางประการ คือ

- ต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากราคาของวัตถุดิบ
- แอนไอโซโทรปี (Anisotropy) เนื่องจากการจัดเรียงตัวของส่วนเสริมแรง เป็นสาเหตุ

ให้คอมพอสิตไม่แข็งแรงในแนวตั้งฉากกับแนวการเรียงตัว

- ยากในการต่อ (Attaching) หรือเชื่อมติดกับวัสดุอื่น
- ยากในการทำสายและนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิล (Recycle) [17]

2.3 แป้ง

แป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปเม็ดแป้งขนาด 1-100 ไมครอน เมื่อตรวจดูลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา (Microscope) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) พบว่าเม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง [3]

2.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดแป้ง

โดยทั่วไปเม็ดแป้ง (Starch granule) ประกอบด้วยโมเลกุลของแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังมี โปรตีน ไขมัน ฟอสฟอรัส สารอนินทรีย์อื่นๆ และน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน ขึ้นกับชนิดของพืช

2.3.1.1 แป้ง (Starch)

แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่มีสูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งมีหน่วยพื้นฐานเป็นหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (Anhydroglucose unit) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ (α -glycosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ถัดไป ด้านปลายของโมเลกุลแป้งจะมี (Anomeric carbon, C1) ซึ่งว่างอยู่ไม่ได้จับกับโมเลกุลอื่นๆ ดังนั้นแต่ละโมเลกุลของแป้งจะมีด้านปลายที่มีคุณสมบัติรีดิวซ์ (Reducing end) นั่นคือ แป้งหนึ่งโมเลกุลจะมีตำแหน่งด้านปลายที่มีสมบัติรีดิวซ์ (Reducing end) 1 ตำแหน่ง โมเลกุลแป้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ ตามขนาดโมเลกุลและลักษณะการจัดเรียงตัว คือ อะไมโลสซึ่งมีขนาดเล็กและมีกิ่งก้านสาขาเพียงเล็กน้อย และอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดใหญ่และมีกิ่งก้านสาขามากมาย นอกจากนี้ยังพบโมเลกุลแป้งอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลสแต่เล็กกว่าอะไมโลเพคติน เรียกว่า วัสดุขั้นกลาง (Intermediate material) แต่พบในปริมาณไม่มากนัก อะไมโลสและอะไมโลเพคตินมีสมบัติที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.1 [3]

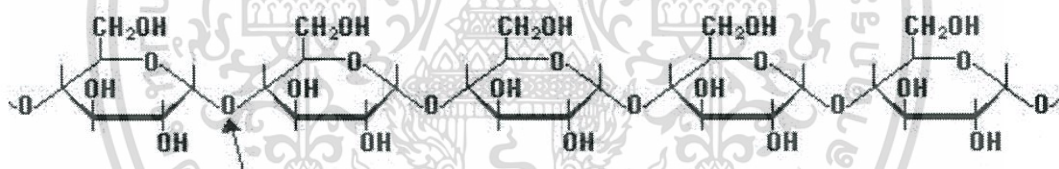
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน [3]

อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α -1,4	1. โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 และมีการแตกกิ่งด้วยพันธะ α -1,6
2. ประกอบด้วยกลูโคส 200-6000 หน่วย	2. แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
3. ละลายน้ำได้น้อยกว่า	3. ละลายน้ำได้ดีกว่า
4. เมื่อต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อย	4. ข้นหนืดมากและใส
5. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	5. ให้สีม่วงแดงหรือสีน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน
6. ต้มแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็งได้	6. ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง

2.3.1.1.1 อะไมโลส (Amylose)

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,000-6,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,4 ไกลโคซิดิก (α -1,4-glycosidic linkage) อาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะไมโลสได้บ้างในปริมาณเล็กน้อย



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของอะไมโลส [9]

โดยทั่วไปแบ่งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 22-30% ส่วนแบ่งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาหร่ายมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่า คือ ประมาณ 18-24% น้ำหนักโมเลกุลอะไมโลสอยู่ในช่วง 105 ถึง 106 ดาลตัน โดย อะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีองศาของการเกิดปฏิกิริยา (Degree of polymerization, DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมี DP ของอะไมโลสอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีซึ่งมี DP ของอะไมโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีสายของอะไมโลส ยาวมากจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรดชัน (Retrogradation) ลดลง ปริมาณของอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2.2 [3]

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ [3]

แป้ง	ปริมาณอะไมโลส (% น.น. แห้ง)
ข้าวสาลี	28.8
ข้าวโพด	29.4
ข้าวเจ้า	25.0
ข้าวบาร์เลย์	25.5
มันฝรั่ง	36.0
มันสำปะหลัง	23.5
พุทธรักษา	43.2
ถั่วเขียว	37.9

อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนและสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น บิวทานอล (Butanol), กรดไขมัน (Fatty acid), สารลดแรงตึงผิว (Surfactant), ฟีนอล (Phenol) และไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้จะไม่ละลายในน้ำโดย อะไมโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ อะไมโลสที่มีความยาวสายโซ่มากกว่า 45 หน่วยกลูโคสเมื่อรวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงินม่วง ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบและใช้ในการตรวจสอบปริมาณอะไมโลสในแป้ง [3]

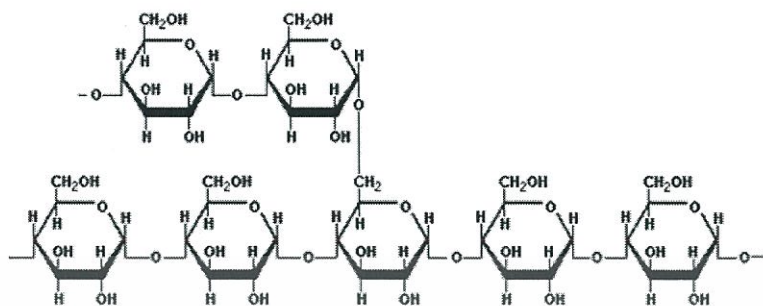
ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของอะไมโลสและสีของสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสกับไอโอดีน [3]

ความยาวของสายโซ่ (Chain length, glucose unit)	จำนวนรอบของการพันเกลียว (Number of helix turns)	สี (color)
12	2	ไม่มีสี
12-15	2	สีน้ำตาล
20-30	3-5	สีแดง
35-40	6-7	สีม่วง
>45	9	สีฟ้า

2.3.1.1.2 อะไมโลเพคติน (Amylopectin)

อะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,4 ไกลโคซิดิก และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,6 ไกลโคซิดิก เอกลักษณ์ของอะไมโลเพคตินคือมีกิ่งสาขาที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,6 ไกลโคซิดิก อย่างไรก็ตาม เอกลักษณ์ของอะไมโลเพคตินคือมีกิ่งสาขาที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,6 ไกลโคซิดิก เอกลักษณ์ของอะไมโลเพคตินคือมีกิ่งสาขาที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,6 ไกลโคซิดิก เอกลักษณ์ของอะไมโลเพคตินคือมีกิ่งสาขาที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,6 ไกลโคซิดิก

สายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,6 ไกลโคซิดิก (α -1,6-glycosidic linkage)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน [8]

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะแอลฟา 1,6 ไกลโคซิดิก มีอยู่ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพคตินทั้งหมด อะไมโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส คือ ประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน และมีการคืนตัวต่ำเนื่องจากอะไมโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง อะไมโลเพคตินทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของเม็ดแป้ง ดังนั้นเมื่อมีอะไมโลเพคตินเพียงอย่างเดียวจึงยังสามารถรวมตัวเป็นเม็ดแป้งได้ [3]

2.3.1.2 ไขมัน (Lipid)

ไขมันที่สกัดได้จากเม็ดแป้งอาจเป็นไขมันที่เป็นส่วนหนึ่งของเม็ดแป้ง หรือมาจากเนื้อเยื่อส่วนอื่นๆ และมาจับอยู่กับเม็ดแป้งในขณะที่ทำการสกัดแป้ง แป้งจากเอนโดสเปิร์มของพวกธัญพืชจะมีลักษณะเฉพาะ คือ มีไขมันเป็นส่วนหนึ่งของเม็ดแป้ง (Integral components) ในขณะที่เม็ดแป้งจากมันฝรั่ง เม็ดถั่วประเภทต่างๆ หรือจากส่วนอื่นๆ ของธัญพืชไม่พบไขมันที่จับอยู่กับเม็ดแป้งนี้ แป้งได้เป็น 2 ประเภทคือ ไขมันที่มาจากเนื้อเยื่ออื่นๆ เช่น จากเมมเบรน และสเฟียร์โรโซมซึ่งจะจับอยู่กับเม็ดแป้งแบบหลวมๆ ประกอบด้วยไขมันพวกไตรกรีเซอไรด์ (Triglyceride) ไดเอซิลไกลโคไลปิด (Diethyl glycolipid) และฟอสโฟไลปิด (Phospholipid) ระหว่างการเจริญของเมล็ดข้าวจะเกิดการย่อยสลายไขมันบางส่วนได้กรดไขมัน (Fatty acid) และโมนอเอซิลกรีเซอไรด์ (Monoacylglyceride) ในขณะที่สกัดแป้งแม้ว่าเม็ดแป้งจะพองตัวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่กรดไขมันและโมนอเอซิลไลปิดเหล่านี้สามารถถูกดูดซึมเข้าไปในบริเวณชั้นผิวของเม็ดแป้งได้ (Starch surface lipids) ส่วนไขมันที่เป็นส่วนหนึ่งของเม็ดแป้งอย่างแท้จริงจะพบอยู่ภายในเม็ดแป้ง ในแป้งข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลีพบว่าไขมันประเภทไลโซฟอสโฟไลปิด (Lysophospholipid) ทั้งหมด ในขณะที่ในแป้งข้าวเจ้า ข้าวโอต และข้าวโพดพบว่าเป็นกรดไขมันประมาณ 30-60 เปอร์เซ็นต์ แป้งข้าวเหนียว ข้าวโพดเหนียว ข้าวบาร์เลย์เหนียวและข้าวสาลีเหนียวซึ่งมีอะไมโลสต่ำมาก พบว่ามีปริมาณไขมันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากเช่นกัน และแบ่งจากข้าวเหล่านี้เมื่อกลายเป็นไขมัน อะไมโลสสูงก็จะพบไขมันในปริมาณมากด้วย แบ่งข้าวโอตมีไขมัน อะไมโลสและฟอสฟอรัสสูงกว่าแบ่งจากธัญพืชอื่นๆ [3]

2.3.1.3 โปรตีน (Protein)

โปรตีนที่สกัดได้จากเมล็ดแบ่งก็แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มเช่นเดียวกัน คือ เป็นโปรตีนที่จับอยู่ที่ผิวของเมล็ดแบ่ง (Surface protein) ซึ่งสกัดออกได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลาตินซ์ และโปรตีนที่เป็นส่วนหนึ่งของเมล็ดแบ่ง (Integral protein) ซึ่งการสกัดต้องใช้อุณหภูมิใกล้เคียงหรือสูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลาตินซ์ โปรตีนที่อยู่ในแบ่งจะเกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดกลิ่นรสและการเกิดฟองในแบ่ง ในแบ่งสาลีโปรตีนตัวหนึ่งที่สนใจศึกษากันมาก คือ โปรตีนเฟรียบิลิน (Friabilin) เนื่องจากเป็นโปรตีนที่เชื่อว่าเกี่ยวข้องกับความแข็งของข้าว [3]

2.3.1.4 ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

ฟอสฟอรัสในแบ่งจากธัญพืชมักพบในรูปของฟอสโฟไลปิด (Lysophospholipid) ในขณะที่แบ่งจากรากและหัวมีฟอสฟอรัสในปริมาณที่ต่ำและอยู่ในรูปของฟอสเฟต แบ่งมันฝรั่งเป็นแบ่งจากหัวที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟตเอสเทอร์ (phosphate ester) สูง ปริมาณหมู่ฟอสเฟต (Phosphate group) ในแบ่งมันฝรั่งมีประมาณ 1 หมู่ต่อ 200-400 หน่วยของน้ำตาลกลูโคส (200-800 ppm) โดยหมู่ฟอสเฟตทำให้แบ่งมีคุณสมบัติเป็น (Polyelectrolyte) ทำให้เมล็ดแบ่งกระจายตัวในน้ำและพองตัวได้ดี เนื่องจากโมเลกุลแบ่งผลักรากันเอง [3]

2.3.1.5 เถ้าและสารอนินทรีย์อื่นๆ (Ash & inorganic components)

สารอนินทรีย์อื่นๆ ในแบ่ง เช่น แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี พบในปริมาณเล็กน้อย ปริมาณของสารเหล่านี้หาได้จากสิ่งที่เหลือจากการเผาที่อุณหภูมิเฉพาะ แบ่งมันฝรั่งมีหมู่ฟอสเฟตในรูปของเกลือที่มีอยู่ในมันฝรั่งเองหรือได้จากกระบวนการล้างน้ำ ปริมาณเถ้าของแบ่งมันฝรั่งเท่ากับปริมาณหมู่ฟอสเฟต ปริมาณเถ้าบางส่วนในแบ่งธัญพืชคือปริมาณฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) ปริมาณเถ้าของแบ่งที่ใช้ในทางการค้าโดยทั่วไปคือ สารประกอบโลหะของโซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม [3]

2.3.1.6 ความชื้น (Moisture)

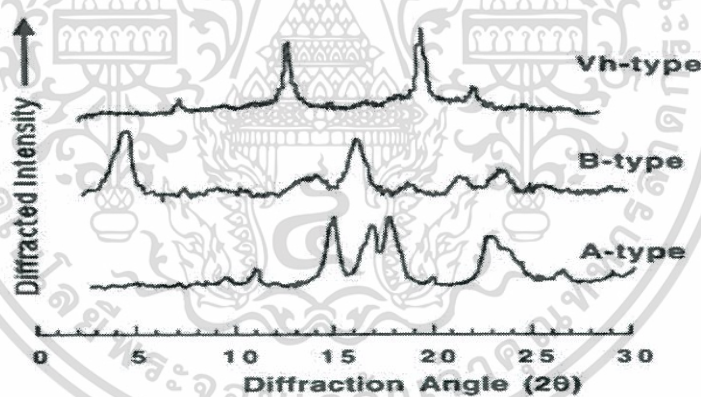
ปริมาณความชื้นของแบ่งขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขณะที่เก็บผลิตภัณฑ์ (Relative humidity; RH) ถ้ามีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำแบ่งจะมีความชื้นต่ำด้วย ถ้าความชื้นสูงเมล็ดแบ่งจะดูดซับน้ำไว้มาก ปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) ของแบ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแบ่ง ภายใต้สภาวะอากาศปกติแบ่งโดยทั่วไปจะมีความชื้น 10-20% (w/w) [3]

2.3.2 โครงสร้างของเมล็ดแบ่ง

เมล็ดแบ่งมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบขึ้นอยู่กับลักษณะในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้ามีการเรียงตัวหนาแน่นมากและมีปริมาณน้ำต่ำจะจัดเป็นผลึกแบบ A (แบ่งจากธัญพืชต่างๆ) ถ้ามีการเรียงตัวกันหลวมๆ และมีปริมาณน้ำสูงจะจัดเป็นผลึกแบบ B (แบ่งจากพืชหัว) ถ้ามีการเรียงตัวทั้งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C (แบ่งจากพีชตระกูลถั่ว) สารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสกับโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีหัวมีรูปแบบผลึกเป็นแบบ V

โครงสร้างของผลึกที่ต่างกันทำให้ลักษณะการกระจายตัวของแสงต่างกัน ซึ่งสามารถตรวจสอบชนิดโครงสร้างของเม็ดแป้งได้โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (Wide angle x-ray diffraction, WAXS) แป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกันให้รูปแบบของการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ต่างกัน แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A ให้พีคที่ 17° 18° และพีคเดี่ยวที่ 23° แต่ไม่มีพีคที่ 5.6° แบ่งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวเจ้า มีลักษณะผลึกแบบ A แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ B ให้พีคที่ 5.6° และ 17° แต่ไม่มีพีคที่ 18° และมีพีคคู่ (Doublet) ที่ 22° และ 24° ซึ่งได้แก่ แป้งจากพืชหัวและแป้งที่มีอะไมโลสสูง เช่น มันฝรั่ง เป็นต้น แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ C ให้ลักษณะร่วมกันระหว่างผลึกแบบ A และ B กล่าวคือ มีพีคที่ 5.6° และ 17.9° ตัวอย่างเช่น แป้งจากพืชตระกูลถั่ว ราก ลำต้นและแป้งผลไม้บางชนิด แป้งบางชนิดอาจให้ลักษณะของผลึกได้มากกว่า 1 ชนิด เช่น แป้งมันสำปะหลังซึ่งสามารถตรวจพบลักษณะผลึกทั้งแบบ A และ C โครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งดิบในธรรมชาติอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับการปฏิบัติ (Treatment) ต่อเม็ดแป้ง เช่น แป้งมันฝรั่งขึ้นที่ถูkb่มไว้นานที่อุณหภูมิสูง (110°C , 30 นาที : Heat moisture treatment) มีชนิดของผลึกเปลี่ยนจากเดิมที่เป็นชนิด B ไปเป็นชนิด A ลักษณะโครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 2.4 [3]



รูปที่ 2.3 X-ray diffraction ของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน [3]

ตารางที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิด [3]

ชนิดแป้ง	ความเป็นผลึก (%)	อุณหภูมิการเกิด เจลลิตีไนเซชัน (°C)	ปริมาณ อะไมโลส (%)
โครงสร้าง A			
ข้าวโอ๊ต	33	60.7	23
ข้าวสาลี	36	63.5	23
ข้าวเหนียว	37	64.5	-
ข้าวฟ่าง	37	72.2	25
ข้าวเจ้า	38	70.0	17
ข้าวโพด	40	71.3	27
โครงสร้าง B			
ข้าวโพดตัดแปร	15-22	86.0	55-75
สาคุ	26	70.5	28
มันฝรั่ง	28	67.3	22
โครงสร้าง C			
มันเทศ	38	70.0	20
มันสำปะหลัง	38	66.0	18

2.3.3 สมบัติของแป้ง

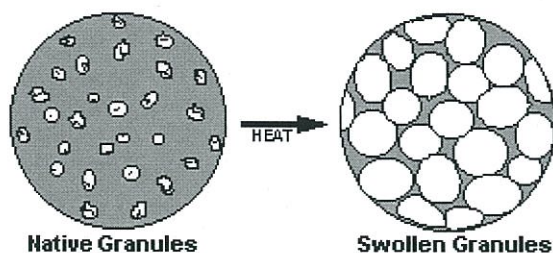
2.3.3.1 การพองตัวและการละลาย (Swelling and solubility)

เมื่อเติมน้ำลงในแป้งที่อุณหภูมิห้อง เม็ดแป้งจะเกิดการดูดซับน้ำเข้าไปภายใต้สภาวะบรรยากาศของห้อง จนกระทั่งความชื้นภายในเม็ดแป้งกับน้ำและความชื้นในสภาวะบรรยากาศสมดุลกัน ปริมาณน้ำที่เม็ดแป้งดูดซับจะขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

น้ำในเม็ดแป้งจะแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ น้ำในผลึก น้ำในรูปที่ไม่อิสระ (Bound water) และน้ำในรูปที่อิสระ (Free water) ซึ่งมีการจับกับแป้งแน่นตามลำดับ และแป้งที่มีความชื้นต่ำประมาณ 8 ถึง 10% สามารถจับกับน้ำได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูงจากการจับของหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสกับน้ำ

น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลิตีไนเซชันจะไม่สามารถละลายแป้งดิบได้ เนื่องจากโมเลกุลของแป้งมีพันธะไฮโดรเจนที่เกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลเชื่อมต่อกับแป้งโมเลกุลอื่นอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของผสมสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิเจลลิตีไนเซชัน พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้งจะถูกทำลายโมเลกุลของน้ำจะเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลแทน เม็ดแป้งเกิดการพองตัว ทำให้การละลาย ความใสและความหนืดเพิ่มขึ้น ชนิดของเม็ดแป้ง ความแข็งแรง และลักษณะร่างแหภายในเม็ดแป้ง คือปัจจัยที่มีผลต่อ

การพองตัวของเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตในเม็ดแป้ง ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง รูปแบบการพองตัว และการละลายของเม็ดแป้งจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของเม็ดแป้ง [3]



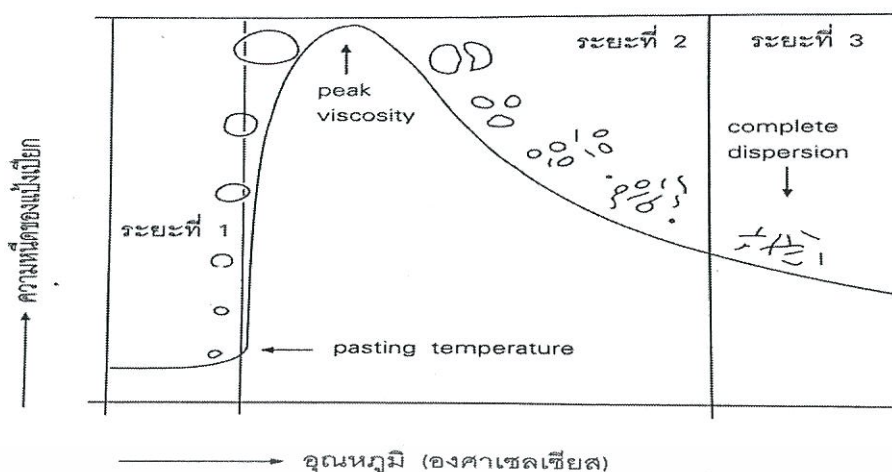
รูปที่ 2.4 การพองตัวของเม็ดแป้ง [3]

2.3.3.2 รีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

เมื่อให้ความร้อนแป้งจนถึงอุณหภูมิเจลาติไนซ์แล้วให้ความร้อนต่อไป เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวเพิ่มขึ้นจนแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสจะกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง และเมื่อเย็นตัวลงโมเลกุลของอะไมโลสที่อยู่ใกล้เคียงกันจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน เป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ โครงสร้างนี้อุ้มน้ำได้แต่จะไม่มี การดูดน้ำเข้าไปเพิ่ม ความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดเป็นฟิล์มหรือผลึก ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation) การจัดเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง โมเลกุลของน้ำอิสระจะถูกบีบออกนอกเจล เรียกว่า ซิเนอร์ซิส (Syneresis) ซึ่งทั้งสองปรากฏการณ์นี้จะทำให้เจลมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีสีขาวขุ่น [3]

2.3.3.3 ความหนืด (Viscosity)

เป็นสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับน้ำ แป้งทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและมีความหนืดมากขึ้น ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวและแตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็วทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่าอุณหภูมิที่แป้งเริ่มเกิดเจลาติไนซ์ (Pasting temperature) ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนสูงที่สุด (Peak viscosity) จากนั้นความหนืดอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง การที่แป้งมีความหนืดสูงสุดเนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้นและมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้นความหนืดจะเริ่มลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเมื่ออยู่ในช่วงการหุงต้มที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นค่าความหนืดของน้ำแป้งสุกจะเป็นผลมาจากการพองตัวของเม็ดแป้งและการแตกหักของเม็ดแป้งร่วมกับการละลายออกมาของโมเลกุลแป้ง [3]



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน [3]

2.3.4 การไฮโดรไลซ์สตาร์ช

การไฮโดรไลซ์สตาร์ช (Starch hydrolysis) เป็นการย่อยสลายโมเลกุลของสตาร์ช (Starch) ให้มีสายพอลิเมอร์สั้นลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ สตาร์ชไฮโดรไลเสต (Starch hydrolysate) เช่น น้ำเชื่อมกลูโคส (Glucose syrup)

การไฮโดรไลซ์สตาร์ช ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

2.3.4.1 การเจลลิตไนซ์ (Gelatinization) เป็นขั้นตอนทำให้เม็ดสตาร์ช (Starch granule) พองตัวดูดน้ำเข้าไปเต็มที่ โดยให้ความร้อนน้ำสตาร์ชจนถึงอุณหภูมิเจลลิตไนซ์ (Gelatinization temperature)

2.3.4.2 การเกิดลิเควอร์แฟกชัน (Liquefaction) เป็นการลดความหนืดของสตาร์ช ภายหลังจากเกิดเจลลิตไนซ์ (Gelatinization) ทำให้โมเลกุลสตาร์ชมีสายสั้นลง ด้วยการตัดพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic linkage) ที่เชื่อมระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสซึ่งปัจจุบัน ทำได้ด้วยการใช้เอนไซม์ แอลฟา-อะไมเลส (Alpha-amylase) แทนการย่อยโดยใช้กรดที่อุณหภูมิสูงกว่า 160 องศาเซลเซียส

2.3.4.3 การเกิดแซ็กคาริฟิเคชัน (Saccharification) เป็นการไฮโดรไลซ์โมเลกุลของสตาร์ช ให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว คือ น้ำตาลกลูโคส (Glucose) น้ำตาลโมเลกุลคู่ คือ น้ำตาลมอลโทส (Maltose) ด้วยการใช้อินไซม์ เช่น อะไมเลส (Amylase), อะไมโลกลูโคซิเดส (Amyloglucosidase) [30]

2.4 แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch)

มันสำปะหลังเป็นพืชหัวชนิดหนึ่งมีชื่อเรียกกันทั่วไปในภาษาอังกฤษว่า แคสซาวา (Cassava) หรือ ทาปิโอก้า (Tapioca) ประเทศแถบแอฟริกา เรียกชื่อ ภาษาฝรั่งเศส ว่า แมนนิอค (Manioc) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มันสำปะหลังมีถิ่นกำเนิดในอเมริกาใต้ เช่น ประเทศเปรู เม็กซิโก กัวเตมาลา ฮอนดูรัส และบราซิล ซึ่งมีการปลูกมันสำปะหลังมา 3,000 ถึง 7,000 ปีแล้ว ต่อมาได้ขยายไปสู่แหล่งอื่นๆ ของโลกโดยชาวโปรตุเกส และสเปน นำมันสำปะหลังจากเม็กซิโก มายังฟิลิปปินส์ และชาวฮอลแลนด์ นำไปยังอินโดนีเซีย

นักวิทยาศาสตร์ได้จัดมันสำปะหลังไว้เป็นหมวดหมู่ ดังนี้

ORDER : GERANIALES OR EUPHORBIALES

CLASS : DICOTYLEDONEA

SUBCLASS : ARCHICHLAMYDEAE

FAMILY : EUPHORBIACEAE

TRIBE : MANIHOTEAE

GENUS : MANIHOT

SPECIES : ESCULENTA [19]

หัวมันสำปะหลังสดมีแป้งเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 20 แป้งมันสำปะหลังที่สกัดจากหัวมัน สำปะหลังและไม่มีการเปลี่ยนรูปเรียกว่าแป้งดิบ (Tapioca starch, Native starch)

แป้งดิบที่สกัดเอาเส้นใยออกแล้วใช้เป็นอาหารมนุษย์ อาหารทารก เป็นเครื่องปรุงอาหารหลายชนิด ใช้ ทำวุ้นเส้น ทำเบียร์ และใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นตัวทำให้สารติดแน่น คงรูปร่าง ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมชกกรีต อุตสาหกรรมทำกระดาษ แป้งเปียก แอลกอฮอล์ อะซีโตน ยา กลูโคส และแป้งแปรรูปโดยสามารถแบ่งได้ตามลักษณะการผลิตเป็น 2 ประเภท คือ

1. แป้งดิบหรือแป้งมันสำปะหลังดิบ (Native starch) เป็นแป้งที่ได้จากหัวมันสดด้วยขบวนการแยกกากโปรตีน ฯลฯ ปัจจุบันมีโรงงานประมาณ 85 โรง แต่ทำการผลิตจริงเพียง 49 โรงงาน กำลังการผลิตรวมทั้งสิ้น 2-2.5 ล้านตันต่อปี ผลผลิตเฉลี่ยทั้งอุตสาหกรรม (ผลิตได้จริง) ประมาณ 1.76 ล้านตันต่อปี

2. แป้งมันสำปะหลังดัดแปร (Modified starch) คือ แป้งซึ่งได้จากการนำแป้งมันสำปะหลังดิบมาเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีหรือฟิสิกส์เพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยปกติการผลิตแป้งมันสำปะหลังแปรรูปใช้อัตราแป้งดิบ 1 กิโลกรัมต่อแป้งแปรรูป 0.93 กิโลกรัม [4]

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบในหัวมัน [19]

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

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบในเนื้อมัน [19]

องค์ประกอบในเนื้อมัน	ปริมาณ (ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งเนื้อมัน)
แป้ง	71.9 – 85.0
- อะไมโลส	15.9 – 22.4
- อะไมโลเพคติน	61.59 – 83.0
โปรตีน	1.57 – 5.78
เส้นใย	1.77 – 3.98
เถ้า	1.20 – 2.80
ไขมัน	0.06 – 0.43
คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง	3.59 – 8.66

จะเห็นว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ในหัวมัน นอกจากน้ำแล้วคือแป้ง ซึ่งมีถึงร้อยละ 70-80 จึงถือว่ามันสำปะหลังเป็นพืชที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานกับคนและสัตว์ได้ดีที่สุด โดยปกติหัวมันสำปะหลังที่มีปริมาณแป้งสูง ปริมาณน้ำจะน้อยและความหนาแน่นของหัวจะมีสูง ฉะนั้นในการตรวจสอบหรือวัดปริมาณแป้ง (เชื้อแป้ง) อย่างเร็วที่นิยมทำกัน คือ การตรวจสอบความหนาแน่น โดยการชั่งน้ำหนักหัวมันในน้ำ ถ้าน้ำหนักหัวมันในน้ำน้อย แสดงว่าหัวมันมีปริมาณน้ำมาก และมีแป้งน้อย ในกรณีกลับกันถ้าน้ำหนักหัวมันในน้ำมากแสดงว่าหัวมันมีปริมาณน้ำน้อยและมีแป้งมาก [19]

2.4.1 ลักษณะรูปร่าง และขนาดของเม็ดแป้ง

ผลการวิเคราะห์รูปร่างลักษณะของเม็ดแป้งมันสำปะหลังด้วยกล้อง SEM พบว่าแป้งมันสำปะหลัง มีลักษณะรูปร่างกลม ส่วนปลายด้านหนึ่งจะมีลักษณะเว้า หรือคล้ายรอยตัด [20]



รูปที่ 2.6 ลักษณะของเม็ดแป้งของแป้งมันสำปะหลัง [21]

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมัน [20]

ส่วนประกอบ (%)	
ความชื้น	10
โปรตีน	2.5
ไขมัน	0.75
เส้นใย	3.70
เถ้า	3.70
แคลเซียม	0.12
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.05
กรดอะมิโน (%)	
ไลซีน	0.09
เมทไทโอนีน	0.03
เมทไทโอนีน + ซีستีน	0.06
ทริปโตเฟน	0.02
ทรีโอนีน	0.07
ไอโซลูซีน	0.07
อาร์จินีน	0.12
ลูซีน	0.12
เพนิลอะลานีน+ไทโรซีน	0.12
ฮิสติดีน	0.03
วาเลีน	0.09
ไกลซีน	0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 การกระจายขนาดอนุภาคของเม็ดแป้งดิบของแป้งมันสำปะหลัง [13]

ชนิดแป้ง	ขนาดของ เม็ดแป้ง (μm)	ขนาดของ เม็ดแป้งเฉลี่ย (μm)	การกระจายตัวของเม็ดแป้ง (%)		
			<1 μm	1-<10 μm	>10 μm
แป้งมัน สำปะหลัง	0.044 - 27.39	12.93 \pm 5.591	2.06	24.64	73.30

2.4.2 ประโยชน์ของแป้งมันสำปะหลัง

2.4.2.1 อุตสาหกรรมสิ่งทอ

อุตสาหกรรมสิ่งทอนั้นจะต้องใช้แป้งมันสำปะหลังด้วย โดยด้ายที่จะใช้ทอผ้านั้นจะต้องผ่านการชุบแป้งก่อน ด้ายจึงจะลื่นและเรียบไม่มีขนและเป็นตัวหล่อลื่นไม่ให้เส้นด้ายติดกันระหว่างการเคลื่อนที่ของหูกทอผ้า นอกจากนี้ในขั้นตอนการพิมพ์ลายผ้า แป้งจะช่วยทำให้พิมพ์ลายได้สม่ำเสมอ การใช้แป้งมันสำปะหลังในการทอผ้านั้น บางโรงงานยังใช้แป้งดัดแปรที่สั่งเข้ามาจากต่างประเทศ เพราะสมบัติเหมาะสมกว่า [22]

2.4.2.2 อุตสาหกรรมไม้อัด

แป้งมันสำปะหลังถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมไม้อัด เนื่องจากลักษณะการผลิตไม้อัด คือ การนำไม้มาประกบติดกันโดยใช้กาว ซึ่งแป้งมันสำปะหลังถูกนำมาเป็นส่วนผสมในการทำกาว เพราะแป้งมันสำปะหลังมีสมบัติเป็นกาวอยู่แล้ว เพื่อให้ไม้อัดติดกันเป็นแผ่นหนาแข็งแรงและทนทาน นอกจากนี้การใช้แป้งเป็นส่วนผสมยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตกาว เพราะกาวที่ผลิตได้นั้นใช้แป้งเป็นส่วนผสมถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และแป้งมันสำปะหลังยังมีคุณสมบัติพิเศษกว่าแป้งประเภทอื่นๆ คือ เนื้อแป้งมีความละเอียด ทำให้ไม่มีการตกตะกอนเมื่อนำมาใช้ผสมทำกาว นอกจากนี้มีราคาถูกกว่า [22]

2.4.2.3 อุตสาหกรรมกระดาษ

การทำกระดาษนั้นต้องใช้เยื่อกระดาษที่ทำจากไม้ต่างๆ เช่น ไม้สน ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส เป็นต้น ทำให้เป็นเยื่อเล็กๆ แล้วนำเยื่อกระดาษเหล่านั้นมาเรียงเป็นแผ่น จะต้องมีการฉาบผิวด้วยแป้งเพื่อทำให้กระดาษเรียบ และยังเข้าไปอยู่ตามรูของใยกระดาษ ช่วยทำให้กระดาษไม่ซีมหึก เวลาเขียนด้วยน้ำหมึก หรือพิมพ์สี นอกจากนั้นกาวจากแป้งยังช่วยทำให้กระดาษเหนียวยิ่งขึ้น [22]

2.4.2.4 อุตสาหกรรมกาว

แป้งมันสำปะหลังมีสมบัติพิเศษ คือ เมื่อถูกความร้อน หรือถูกสารเคมีจะมีความเหนียว และมีสมบัติสามารถรักษาสภาพความเหนียวได้เหมือนเดิมไม่มีการคืนตัว แป้งมันสำปะหลังที่จะใช้ทำกาวจะต้องเป็นแป้งบริสุทธิ์ มีความเป็นกรดต่ำ ซึ่งก็คือ แป้งประเภทเด็กซ์ทริน กาวเหล่านี้ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการผลิตของจดหมาย สติกเกอร์ [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.5 อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม

สมบัติสำคัญของแป้ง คือ เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต แต่ยังมีสมบัติอื่นที่ทำให้แป้งมันสำปะหลังเข้ามามีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร คือ เป็นตัวช่วยทำให้เกิดความข้น (Thickener) ในอาหาร ช่วยให้อาหารเกิดความคงตัว (Stabilizer) ช่วยให้อาหารเกาะตัวกันดีขึ้น (Binder) และช่วยในการเสริมแต่ง (Filler) นอกจากนี้ แป้งยังเป็นสิ่งที่หาได้ง่าย และราคาค่อนข้างถูก ผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้งาน เช่น กลูโคส (Glucose) เด็กซ์โทรส (Dextrose) อาหารเด็ก ผลิตภัณฑ์ขนมปัง ขนมหวานสำเร็จรูป ใส้ขนมพาย อาหารกระป๋อง บะหมี่ เครื่องดื่ม ไอศกรีม แยม ผลไม้กระป๋อง นมเปรี้ยว ไส้กรอก กุนเชียง ซอส และโซดาทำขนม [22]

2.4.2.6 วัสดุภัณฑ์ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

นำแป้งมันสำปะหลังมาแปรรูปกลายเป็นพลาสติก ซึ่งเมื่อเติมสารพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ก็จะทำให้เกิดเป็นสารผสมที่สามารถนำไปทำเป็นวัสดุภัณฑ์เพื่อใช้ทดแทนพลาสติก [22]

2.4.2.7 อุตสาหกรรมสารความหวาน

ทำน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส แดร์ริคโตส ซอลบิทอล และใช้แทนน้ำตาลซูโครสในผลไม้ กระป๋อง แยม และอื่นๆ [22]

2.5 กรดแลคติก (Lactic acid)

กรดแลคติก (Lactic acid) เป็นกรดที่ผลิตได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีหรือการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์ มีลักษณะเป็นของเหลวไม่มีสี ละลายในน้ำ และตัวทำละลายได้ดี สามารถตกผลึกได้หากมีความเข้มข้นสูง มักใช้มากในภาคอุตสาหกรรม

กรดแลคติก มีชื่อทางเคมี คือ 2-hydroxypropanoic acid มีสูตรโมเลกุล $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

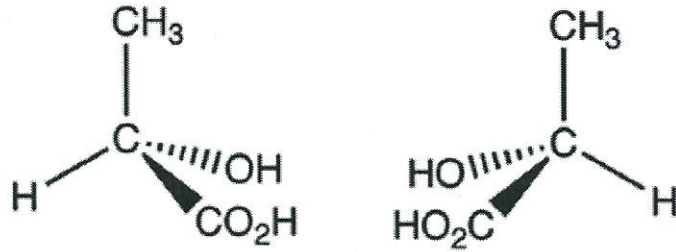
1. ชนิด L+ ผลิตได้จากการสังเคราะห์ จุลินทรีย์ และในร่างกายมนุษย์
2. ชนิด D- ผลิตได้จากการสังเคราะห์ และจุลินทรีย์
3. ชนิด DL ผลิตได้จากการสังเคราะห์ และจุลินทรีย์

ชนิด L+ และ D- เป็นไอโซเมอร์ของกรดแลคติก ซึ่งเป็นอแนนทิโอเมอร์ (Enantiomer) ที่มีความไวต่อแสงต่างกัน กล่าวคือ มีการจัดเรียงตัวในสามมิติต่างกันและมีการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ในทิศทางต่างกัน ซึ่งในธรรมชาติส่วนใหญ่พบในชนิด L+ หรือ DL

กรดแลคติกที่ทำให้เกิดโรคเก๊าต์หรือข้ออักเสบในคนเราเกิดจากกรดแลคติกทั้ง 3 ชนิด โดยชนิด L+ เป็นชนิดเดียวที่สามารถเกิดขึ้นในร่างกายคนเราได้ และจะสะสมมากหากมีความบกพร่องของเอนไซม์ L- แลคเตตดีไฮโดรจีเนส ส่วนชนิด D- และ DL ร่างกายคนเราจะได้รับและสะสมจากการกินอาหารที่มีกรดจำพวกนี้อยู่มาก การสะสมของกรดแลคติกทั้ง 3 ชนิดนี้จึงเป็นสาเหตุของโรคในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อ กระดุก และกล้ามเนื้อตามมา กรดแลคติกที่มีความบริสุทธิ์สูงจะสามารถเกิดผลึกได้ในแบบ โมโนคลินิก (Monoclinic) มีลักษณะเป็นผลึก ไม่มีสี ละลายน้ำได้ดี แต่ระเหยยาก



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของกรดแลคติก ชนิด (ก) D- และ (ข) L+ [5,60]

2.5.1 สมบัติกรดแลคติก

2.5.1.1 มวลโมเลกุล 90.08

2.5.1.2 จุดหลอมเหลว

– ชนิด D-, L+ ในช่วง 52.8-54.0 องศาเซลเซียส

– DL ในช่วง 16.8-33.0 องศาเซลเซียส (ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสม)

2.5.1.3 จุดเดือดในรูปการผสม D และ L ประมาณ 82.0 องศาเซลเซียส (0.5 มม.ปรอท)

2.5.1.4 ค่าคงที่การแตกตัว (25 องศาเซลเซียส) 1.37×10^{-4}

2.5.1.5 ความร้อน 1361 kJ/mol

2.5.2 การนำไปใช้ ประโยชน์

2.5.2.1 อุตสาหกรรมอาหาร

อุตสาหกรรมอาหารถือเป็นอุตสาหกรรมที่นำกรดแลคติกมาใช้ประโยชน์มากที่สุด ซึ่งสามารถผลิตขึ้นได้เองหรือการเติมในกระบวนการหมักอาหารในอุตสาหกรรมหลายชนิด อาทิ นมเปรี้ยว โยเกิร์ต ขนมปัง เบียร์ เนยเทียม ผักผลไม้ดอง ไส้กรอก และเครื่องดื่มบางชนิด นอกจากนี้ยังใช้เติมในอาหารเพื่อให้มีกลิ่น และรสเปรี้ยวที่นำมารับประทานหรือเพื่อป้องกันการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์อื่นที่ทำให้อาหารบูดเน่า และใช้กรดแลคติกผสมในเครื่องดื่มนิยมใช้ในรูปแคลเซียมแลคเตทเพื่อเสริมเกลือแร่ และแคลเซียมสำหรับการถนอมอาหารอาจมีการใช้กรดแลคติกร่วมกับกรดอะซิติกสำหรับป้องกันการเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้กรดแลคติกเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดแลคติกในรูปของเกลือสำหรับป้องกันการบูดเน่า เช่น โซเดียมและโพแทสเซียมแลคเตท ทำให้มีรสเค็มเล็กน้อย นิยมใช้ในอาหารประเภทเนื้อต่างๆ อาทิ เนื้อไก่ เนื้อปลา อาหารทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.2 อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง

- ผลิภัณฑ์บำรุงผิว เช่น กรดแลคติก แลคเตท แคลเซียมแลคเตท โซเดียมแลคเตท เพื่อเป็นสารเร่งการผัดผิวใหม่ ให้ความชุ่มชื้น ลดการเกิดสิว ควบคุมความเป็นกรด-ด่าง
- ผลิภัณฑ์สำหรับช่องปาก เช่น แคลเซียมแลคเตท เพื่อป้องกันฟันผุ และยับยั้งการก่อตัวของหินปูน ในรูปของส่วนผสมของยาสีฟัน และน้ำยาบ้วนปาก
- ผลิภัณฑ์บำรุงเส้นผม โดยใช้กรดแลคติกเป็นส่วนผสมเพื่อทำหน้าที่เคลือบให้เส้นผมเงางาม
- ผลิภัณฑ์ทำความสะอาดร่างกาย โดยใช้แคลเซียมแลคเตทเป็นส่วนผสมเพื่อทำหน้าที่ให้ความชุ่มชื้น และขัดเซลล์ผิว อาทิ ครีมอาบน้ำ สบู่ก้อน สบู่เหลว โลชั่นทาผิว ยาสระผม และทำหน้าที่รักษาความชุ่มชื้นให้กับผลิภัณฑ์

2.5.2.3 อุตสาหกรรมอื่นๆ

มีการใช้กรดแลคติกในอุตสาหกรรมด้านอื่นๆ ได้แก่

- การผลิตพลาสติกที่มีคุณสมบัติย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เช่น การผลิตพลาสติก
- ใช้สำหรับปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิ อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมผลิตเส้นใย อุตสาหกรรมยานยนต์ การผลิตเครื่องมือทางการแพทย์
- เป็นสารตั้งต้นผลิตสารอื่นๆ เช่น ผลิตกรดโฟสไฟโนอิก กรดอะซิติก และกรดอะไซลิก
- เอทิลแลคเตท ใช้เป็นตัวทำละลายของไนโตเซลลูโลสและเซลลูโลสอะซิเตรท [5]

2.5.3 การผลิตกรดแลคติก

2.5.3.1 การสังเคราะห์ทางเคมี

ขั้นที่ 1 นำกรดไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) มาทำให้เกิดปฏิกิริยากับอะซีทัลดีไฮด์ (Acetaldehyde) จึงกลายเป็นแลคโตไนไตรล์ (Lactonitrile)

ขั้นที่ 2 นำแลคโตไนไตรล์ (Lactonitrile) มาทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) จนได้กรดแลคติก เกลือแอมโมเนียม และสารประกอบอื่น

ขั้นที่ 3 นำกรดแลคติกมาทำให้บริสุทธิ์ ด้วยการทำให้กลายเป็นอนุพันธ์เอสเทอร์ เมทิลแลคเตท (Methyl lactate) แล้วกลั่นเอาเอสเทอร์ออก ตามด้วยการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส จนกลายเป็นกรดแลคติกบริสุทธิ์ โดยระหว่างกระบวนการจะกำจัดเมทานอล ไฮโดรเจนไซยาไนด์ และสารอื่นออกด้วย

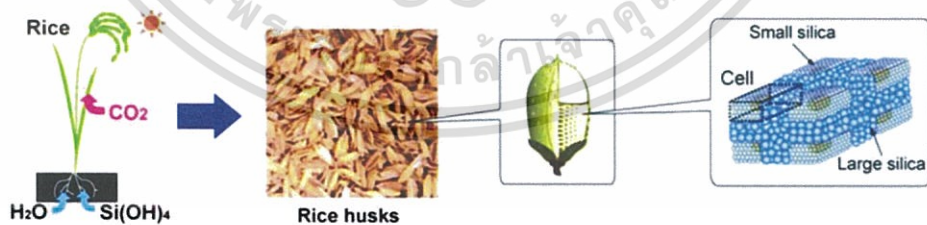
2.5.3.2 การใช้จุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตกรดแลคติกได้จะอยู่ในกลุ่มแลคโตบาซิลลัส (Lactobacillus) ด้วยกระบวนการหมักน้ำตาลกลูโคสด้วยจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิมากกว่า 40 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ผลผลิต คือ กรดแลคติก เอทานอล กลีเซอรอล และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปฏิกริยาการหมักเพื่อให้เกิดกรดแลคติกแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. ปฏิกริยาที่ทำให้เกิดแลคเตทเพียงอย่างเดียว เรียกว่า โฮโมเฟออร์เมนเททิฟ (Homofermentative)
2. ปฏิกริยาที่ทำให้เกิดแลคเตทร่วมกับสารอื่น เรียกว่า เฮเทอโรเฟออร์เมนเททิฟ (Heterofermentative) [5]

2.6 แกลบ (Rice husk)

แกลบ (Local name: Aman rice husk; Scientific name: *Oryza sativa*) [45] คือ เปลือกแข็งของเมล็ดข้าวที่ได้จากการสีข้าว เช่น ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า ข้าวสาลี เป็นต้น เมล็ดมีลักษณะเป็นรูปทรงรี เม็ดยาวสีเหลืองอมน้ำตาลหรือเหลืองนวล แล้วแต่ภูมิภาคที่มีการปลูกข้าว [23] มีค่าอัตราส่วนของความกว้างและความสูง (Aspect ratio) ที่กว้าง มีน้ำหนักประมาณ 22.5-25.2 เปอร์เซ็นต์ของข้าวเปลือก [24] แกลบมีค่าความร้อนเฉลี่ย 3880 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม [25] เป็นส่วนหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่เหลือใช้จากการเกษตรในกระบวนการผลิตข้าวที่มีราคาถูก และถูกแยกออกจากข้าวในระหว่างการสีข้าว ซึ่งในทุกๆ ต้นของการผลิตข้าวจะให้แกลบออกมาประมาณ 0.23 ตัน ซึ่งเป็นปัญหาของชาวนาในการกำจัดทิ้ง เนื่องจากแกลบทนต่อการเสื่อมสภาพ และย่อยสลายยากเมื่อทิ้งไว้ตามพื้นดิน และยังมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำไม่เหมาะสำหรับใช้เลี้ยงสัตว์ [26]



รูปที่ 2.8 ลักษณะภายใน และภายนอกของแกลบ [27]

2.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของแกลบ

แกลบมีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์และส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์ โดยมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) เป็นองค์ประกอบหลัก [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 องค์ประกอบของแกลบ [26]

องค์ประกอบของแกลบ	เปอร์เซ็นต์
เซลลูโลส (Cellulose)	31.12
เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	22.48
ลิกนิน (Lignin)	22.34
เถ้า (Mineral ash)	13.87
- ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂)	12.91
- โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	0.53
- แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0.12
- อลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	0.11
- แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	0.10
- ไอออน(III)ออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.08
น้ำ (Water)	7.86
สารแทรก (Extractives)	2.33

2.6.2 สมบัติของแกลบ

แกลบมีความหนาแน่นต่ำ มีน้ำหนักเบา ไม่ละลายในน้ำ ซิลิกาในแกลบสามารถเพิ่มสมบัติเชิงกลของวัสดุได้ จึงทนทานต่อแรงกระทำสูง มีศักยภาพในการเป็นวัสดุทนความร้อน ทนต่อสภาพอากาศ เหนียว และมีความคงตัวทางเคมี

2.6.3 การใช้ประโยชน์จากแกลบ

ด้านเกษตร ใช้ผสมเพื่อปรับสภาพดิน ใช้ทำปุ๋ยหมัก และใช้กันความชื้นในคอกสัตว์

ด้านการก่อสร้าง เป็นส่วนผสมในการทำอิฐเมื่อเผาเป็นถ่านแล้วเพิ่มสารเคมีบางประเภทใช้เป็นวัสดุถมในงานถนนได้ และใช้เป็นส่วนผสมการผลิตซีเมนต์

ด้านพลังงาน และอุตสาหกรรม ใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาเป็นถ่านขาวจนมีคุณสมบัติเป็นต่างใช้เป็นส่วนผสมของสบู่มาก ยาสระผม และน้ำยาล้างจาน เป็นต้น ใช้ทำแท่งถ่านอัดซีเถ้าแกลบ เพื่อเป็นเชื้อเพลิงใช้ดูดซับก๊าซจากกระบวนการผลิตทางด้านอุตสาหกรรม [46]

2.7 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ พลาสติกที่มีการย่อยสลายด้วยเอนไซม์จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียที่มีอยู่ในธรรมชาติ ซึ่งเมื่อย่อยสลายหมดแล้ว จะเหลือเพียงน้ำ มวลชีวภาพ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการย่อยสลายทางชีวภาพจะมีกระบวนการหลักๆ อยู่ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะเป็นการย่อยสลายพอลิเมอร์ที่มีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งการย่อยสลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งแรกนี้จะเกิดขึ้นภายนอกเซลล์ โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้เอนไซม์ที่ทำงานภายในเซลล์ (Endo-enzyme) หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบใช้เอนไซม์ที่ทำงานภายนอกเซลล์ (Exo-enzyme) หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะที่ละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอก็จะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปย่อยสลายครั้งที่ 2 ภายในเซลล์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate biodegradation) นี้คือพลังงานและสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือ แร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (Biomass) [29]

2.7.1 กลไกการย่อยสลายของพลาสติกเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.7.1.1 การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้อาจไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะกองคอมโพสท์ หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีมืด หรือแม้กระทั่งชั้นพลาสติกที่มีการด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2.7.1.2 การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation) โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ

2.7.1.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative degradation) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจน และความชื้น แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติม สารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานซิชัน ซึ่งทำหน้าที่เร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1.4 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic degradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิแอนไฮดริด พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา (Non-Catalytic Hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกโมเลกุลของ พอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External catalytic degradation) และแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกมี 2 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase lipase esterase และ Glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอลคาไลด์ (Alkaline metal) เบส (Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) ของหมู่เอสเทอร์หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

2.7.1.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้เอนไซม์ที่ทำงานภายในเซลล์ (Endo-enzyme) หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบใช้เอนไซม์ที่ทำงานภายนอกเซลล์ (Exo-enzyme) หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะที่ละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือแร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (Biomass) [47]

2.7.2 การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้

2.7.2.1 การใช้งานทางการแพทย์

พลาสติกย่อยสลายได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการผลิตวัสดุทางการแพทย์ เช่น ผิวนั่งเทียม ยาที่ถูกรอกแบบมาให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยตัวยาอย่างช้าๆ ภายในร่างกาย ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หรือไหมละลาย อุปกรณ์ประเภทสกรู และแผ่นตามกระดูกที่ได้รับการผ่าตัดและฝังอยู่ในร่างกายที่สามารถย่อยสลายได้เองภายหลังจากการทำหน้าที่ตามที่ได้รับ การออกแบบไว้แล้วเสร็จสิ้น ทำให้ไม่ต้องทำการผ่าตัดซ้ำเพื่อนำวัสดุที่ใช้ในการรักษาเสร็จแล้วออกจากร่างกายผู้ป่วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2.2 สารเคลือบกระดาษ หรือโฟม

ปัจจุบันมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้งานเป็นสารเคลือบกระดาษสำหรับห่อแอมเบอร์เกอร์ หรือถ้วยน้ำชนิดใช้แล้วทิ้ง

2.7.2.3 फिल्मคลุมดิน และวัสดุสำหรับการเกษตร

ฟิล์มคลุมดินสำหรับการเกษตรเป็นอุปกรณ์ทางการเกษตรที่สำคัญในการเพาะปลูกพืชบางชนิด เช่น มะเขือเทศ ซึ่งแผ่นฟิล์มจะช่วยป้องกันการเติบโตของวัชพืช และรักษาความชื้นในดิน การใช้ฟิล์มสามารถผลิตได้จากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะช่วยลดขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์มภายหลังเสร็จสิ้นการใช้งาน เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการไถพรวนลงดินได้โดยตรง ช่วยป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุและสารอาหารบริเวณหน้าดินซึ่งมักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์ม นอกจากนี้ยังมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้เป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญ เช่น ตัวยา ปุ๋ย สารเคมีสำหรับการเกษตร วัสดุกักเก็บน้ำสำหรับการเพาะปลูกพืชในทะเลทราย รวมถึงถุงหรือกระถางสำหรับเพาะต้นกล้า

2.7.2.4 ถุงสำหรับใส่ของ (Shopping bag)

ถุงพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ได้รับความนิยมในการใช้งานมากขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลให้มีสัดส่วนอยู่ในขยะในปริมาณสูงและยังไม่ได้ได้รับความนิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนักเนื่องจากมีความยุ่งยากในขั้นตอนการคัดแยกและทำความสะอาด รวมถึงมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง ทำให้ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ พลาสติกย่อยสลายได้จึงเป็นพลาสติกที่มีศักยภาพในการนำมาใช้แทนพลาสติกทั่วไปเพื่อผลิตเป็นถุงและฟิล์มในบางโอกาส

2.7.2.5 ฟิล์ม และถุงสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร (Food waste film and bags)

ฟิล์มและถุงพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร เหมาะสำหรับสถานที่ที่มีระบบการกำจัดขยะอินทรีย์ด้วยวิธีการคอมโพสท์ กำลังได้รับความนิยมในต่างประเทศ เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการนำมาทำคอมโพสท์พร้อมขยะอินทรีย์อื่นๆ ทำให้เกิดความสะอาดไม่ต้องแยกทิ้ง ปัจจุบันมีความต้องการใช้ถุงพลาสติกย่อยสลายได้สูงขึ้นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น ในหลายเมืองของประเทศอิตาลี ได้ใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใส่ขยะเศษอาหารตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 โดยมีบริษัท Novamont ซึ่งเป็นผู้ผลิตหลักให้กับประเทศในสหภาพยุโรป ทำการผลิตถุงย่อยสลายได้ในสภาวะคอมโพสท์ 10,000 ตันต่อปี ถุงที่ผลิตขึ้นนี้สามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ภายใน 8-10 สัปดาห์ภายใต้สภาวะการหมักในโรงงานคอมโพสท์เชิงอุตสาหกรรม

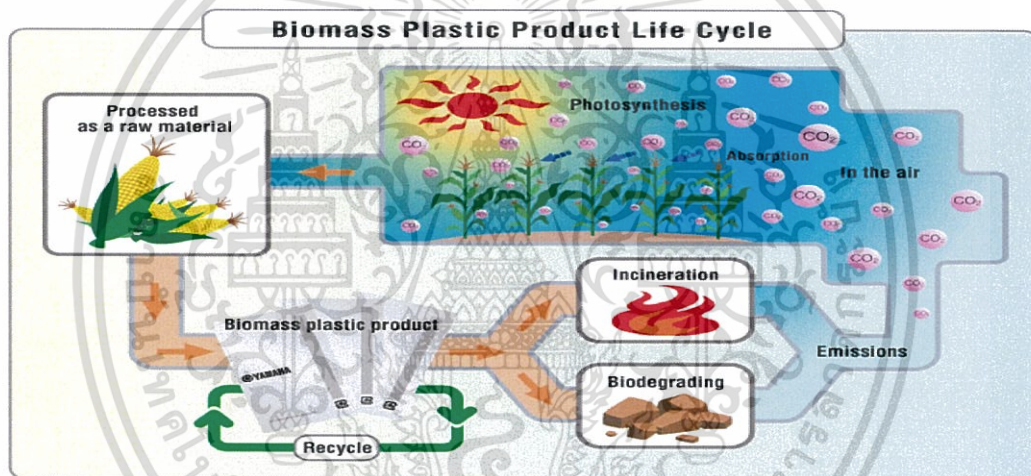
2.7.2.6 บรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค (Consumer packaging materials)

ศักยภาพหนึ่งในการใช้งานพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ การใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ ซึ่งตามปกติการใช้บรรจุภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากพลาสติกทั่วไปมักไม่ได้ได้รับความนิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนัก เนื่องจากมีการปนเปื้อนสูง ทำให้ไม่สะดวกต่อการเก็บและทำความสะอาด การนำพลาสติกย่อยสลายได้มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เช่น ถาดย่อยสลายได้สำหรับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารสำเร็จรูปและอาหารจานด่วน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาด้านการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์ลงได้

2.7.2.7 โฟมเม็ดกันกระแทก (Loose fill)

โฟมเม็ดกันกระแทกโดยทั่วไปผลิตจากพอลิสไตรีน (PS) เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการขนส่งสินค้า มีข้อดีคือ มีความยืดหยุ่นสามารถป้องกันสินค้าจากแรงกระแทกระหว่างการเคลื่อนย้ายและขนส่งได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบาทำให้การขนส่งสินค้าเป็นไปได้อย่างสะดวกและประหยัดเชื้อเพลิง แต่ปัญหาคือ พอลิสไตรีน เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยากและใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บเพื่อการกำจัดสูง ในกรณีที่ต้องกำจัดด้วยการฝังกลบต้องใช้เนื้อที่ในบ่อฝังกลบมาก แม้ว่าจะนำรีไซเคิลใช้ใหม่ได้แต่ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากนัก ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตโฟมเม็ดกันกระแทกจากแป้งและพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่ละลายน้ำและย่อยสลายได้ทางชีวภาพขึ้น ทำให้ง่ายต่อการใช้งานและสะดวกในการกำจัดเมื่อสิ้นสุดการใช้งานแล้ว [30]



รูปที่ 2.9 วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [4]

2.8 การวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย

2.8.1 การวิเคราะห์สมดุลคาร์บอน

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์ของจุลินทรีย์ จะได้พอลิเมอร์คาร์บอนที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ (Soluble) ในรูปจุลินทรีย์ (Microbial) และในสภาวะก๊าซ ซึ่งสามารถคำนวณพอลิเมอร์ทั้งหมดที่ย่อยสลายได้จากการเพิ่มปริมาณคาร์บอนในสภาวะดังกล่าว ปริมาณคาร์บอนสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ใช้ในการคำนวณหาพื้นที่แห่ง สมดุลของคาร์บอนที่ถูกย่อยสลาย สามารถแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_d = C_g + C_s + C_m$$

เมื่อ C_g คือ คาร์บอนในสภาวะก๊าซ

C_s คือ คาร์บอนที่ละลายได้

C_m คือ คาร์บอนในรูปจุลินทรีย์

ดังนั้น ร้อยละการย่อยสลายได้ของพอลิเมอร์ (%f) สามารถคำนวณได้จาก

$$\%f = \frac{C_d}{C_i} \times 100$$

เมื่อ C_i คือ คาร์บอนเริ่มต้นในพอลิเมอร์ก่อนการย่อยสลาย

2.8.2 การวิเคราะห์น้ำหนักที่หายไป

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทำให้เกิดการสูญเสียมวลหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแร่ธาตุ (Mineralization) ดังนั้นการวิเคราะห์ถึงน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่หายไป จะทำให้ทราบถึงระดับการถูกย่อยสลายของพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ โดยพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของพอลิเอทิลีนกับแป้งในปริมาณสูงจะถูกย่อยสลายได้เร็วกว่าพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของแป้งในปริมาณต่ำ นอกจากนี้วัสดุที่ประกอบด้วยพอลิเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ แต่พอลิเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถถูกย่อยสลายได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน

2.8.3 การวิเคราะห์ลักษณะจากกล้องจุลทรรศน์

2.8.3.1 การใช้กล้องจุลทรรศน์

เมื่อสังเกตพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้ง ที่ฝังดินเป็นเวลา 6 เดือน ก่อนที่จะล้างนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบเส้นใยของเชื้อราเจริญอยู่บนพอลิเมอร์และเมื่อนำมาล้างและสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบรูเล็กๆในพอลิเมอร์ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งจากพอลิเมอร์ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์

2.8.3.2 การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

SEM ใช้ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยใช้กำลังขยายที่สูงมาก โดยจะได้ภาพในลักษณะสามมิติ ซึ่งจะพบว่าพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนกับแป้งทั้งไว้ในดินมีสีที่เปลี่ยนแปลงไป และมีขนาด เล็กลง เนื่องจากมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในส่วนที่เป็นแป้ง นอกจากนี้ยังพบว่าชั้นพอลิเมอร์มีจุดดำ และเป็นทางสีขาว ซึ่งแสดงว่าแป้งถูกย่อยสลายเหลือเพียงส่วนของพอลิเอทิลีน นอกจากนี้การใช้ SEM ที่มีกำลังขยายสูงยังสามารถแสดงถึงการสร้างโคโลนีของจุลินทรีย์บนพอลิเมอร์ เมื่อนำมาฝังดินไว้ 6 เดือนมาตรวจสอบปริมาณไนโตรเจน พบว่าปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งมาจากกรดอะมิโนของจุลินทรีย์ที่ตายอยู่บนพอลิเมอร์ นั่นคือจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและสร้างโคโลนีบนพอลิเมอร์ เมื่อ C_g คือ คาร์บอนในสภาวะก๊าซ C_s คือ คาร์บอนที่ละลายได้ C_m คือ คาร์บอนในรูปจุลินทรีย์ เมื่อ C_i คือ คาร์บอนเริ่มต้นใน พอลิเมอร์ก่อนการย่อยสลายพอลิเมอร์ และย่อยสลายส่วนที่เป็นแป้งบนพอลิเมอร์โดยจะย่อยสลายพอลิเอทิลีนเพียงเล็กน้อยหรือไม่ย่อยสลายเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปกโทรสโคปีชนิดแสงอินฟราเรด

สเปกโทรสโคปีชนิดแสงอินฟราเรด (Infrared spectroscopy) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดลักษณะทางเคมีของวัสดุพอลิเมอร์ ปฏิกิริยาส่วนแสงอินฟราเรดของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในพอลิเมอร์จะทำให้เกิด การดูดซับความยาวคลื่นในช่วงดังกล่าวที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของโมเลกุลหรือกลุ่มอะตอมในโมเลกุล ความหนาแน่นของการดูดซับ และความยาวคลื่นจะทำให้เกิดแถบสเปกตรัม ซึ่งมีลักษณะของแถบที่เฉพาะตัว ไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทั้งหมดของพอลิเมอร์ สเปกโทรสโคปีชนิดแสงอินฟราเรด ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแบ่งที่หายไปในระหว่างการย่อยสลายพอลิเมอร์ นอกจากนี้จุลินทรีย์ย่อยสลายแบ่งจะเกิดรูที่บริเวณพื้นผิวพอลิเมอร์ที่รูเหล่านี้จะมีคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น ซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากสเปกโทรสโคปีชนิดแสงอินฟราเรด

2.8.5 การวิเคราะห์ด้วยความร้อน

วิธีวิเคราะห์ด้วยความร้อนมีหลายวิธี ได้แก่ การวิเคราะห์จุดหลอมเหลวผลึก โดยเครื่องวิเคราะห์สมบัติความแตกต่างทางความร้อนของสสาร (Differential Thermal Analysis, DTA) หรือ เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter, DSC) การวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียโดยใช้ การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนของวัสดุต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Thermal Gravimetric Analysis, TGA)

2.8.5.1 การศึกษาโดยใช้ DSC พบว่าในระหว่างการย่อยสลาย ลักษณะอสัณฐานของพอลิเมอร์จะลดลง โดยส่วนอสัณฐานของพอลิเอทิลีนจะถูกย่อยด้วยจุลินทรีย์ได้มากกว่าส่วนที่เป็นผลึก

2.8.5.2 การศึกษาโดยใช้ TGA เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว ใช้การศึกษาการย่อยสลายแบ่งในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแบ่ง โดยใช้วิเคราะห์ปริมาณแบ่งก่อนและหลังการย่อยสลาย

2.8.6 การทดสอบโดยการฝังดิน

การทดสอบจะต้องตัดวัสดุที่ต้องการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหลายๆ ตัวอย่างฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร เมื่อครบกำหนดทุกเดือนให้ขุดตัวอย่างออกมา การทดลองใช้เวลาประมาณ 7 เดือน การเก็บตัวอย่างต้องทำด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากตัวอย่างจะกระจายไปกับดินทำการเปรียบเทียบเศษวัสดุที่เหลือเมื่อเวลาต่างๆ [3]

2.9 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers)

พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) เป็นสารที่ใส่ในพอลิเมอร์ (Polymer) หรือผลิตภัณฑ์พลาสติก เพื่อลดจุดหลอมที่ทำให้เกิดการไหล (Flexing temperature) ของพลาสติกทำให้เม็ดพลาสติกมีความยืดหยุ่นและอ่อนนุ่มขึ้น สะดวกต่อการดึง รีด ฉาบ หรือหล่อแบบและยังเป็นตัวรักษาความอ่อนนุ่มไม่ให้เสียไปโดยง่าย อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าทนต่อกรดต่าง น้ำมันและผงซักฟอก โดยจะใส่ประมาณ 20-40% โดยน้ำหนัก พลาสติไซเซอร์จึงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกอย่างยิ่ง [34]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1 กลไกของพลาสติกไซเซชัน (Mechanism of plasticization)

พลาสติกประกอบด้วยโมเลกุลพอลิเมอร์ (Polymer molecules) แต่ละโมเลกุลเชื่อมต่อกันด้วยแรงแวนเดอร์วาล (Van der waals forces) โดยที่พลาสติกไซเซอร์ไม่ได้เกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์แต่จะแทรกตัวเองอยู่ระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์โดยไปทำให้แรงแวนเดอร์วาลลดลง [31]

แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

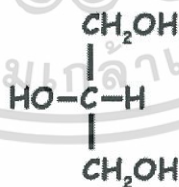
1. พลาสติกไซเซอร์ปฐมภูมิ (Primary plasticizers) เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่มีคุณภาพสูงใช้ได้โดยตรงแต่มีราคาแพง

2. พลาสติกไซเซอร์ทุติยภูมิ (Secondary plasticizers) เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่มีคุณภาพค่อนข้างต่ำกว่าประเภทแรก นำไปใช้โดยตรงไม่ได้จะต้องใช้ควบคู่กับพลาสติกไซเซอร์ปฐมภูมิ แต่พลาสติกไซเซอร์ทุติยภูมิเพิ่มสมบัติเฉพาะอย่างได้ดีกว่า [35]

2.9.2 กลีเซอรอล (Glycerol)

กลีเซอรอล (Glycerol) อาจเรียกว่า กลีเซอริน (Glycerine หรือ Glycerin) มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นพอลิออล (Polyol) เป็นสารที่เป็นของเหลวใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีรสหวานเล็กน้อย โมเลกุลมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) 3 หมู่ จึงทำให้ละลายน้ำได้ดี มีสมบัติในการจับกับน้ำได้ดี (Hydroscopic) กลีเซอรอลเป็นส่วนประกอบหลักในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งได้จากการรวมตัวของกลีเซอรอล 1 โมเลกุลกับกรดไขมัน (Fatty acid) 3 โมเลกุล

กลีเซอรอลเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทแอลกอฮอล์ พอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ (Polyhydric alcohol) ที่มีคาร์บอน (C) 3 อะตอม และมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ทั้ง 3 หมู่ มีสูตรโมเลกุลคือ $C_3H_8O_3$ กลีเซอรอลเป็นของเหลวใส คล้ายน้ำมัน ไม่มีกลิ่น มีน้ำหนักโมเลกุล 92.09 ทางอุตสาหกรรมใช้เป็นตัวถ่ายเทความร้อน ใช้วัดจุดเดือด อันตรายของกลีเซอรอลคือจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบหายใจหรือผิวหนัง [35]



รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของกลีเซอรอล [36]

ตารางที่ 2.10 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอล [36]

สมบัติทางกายภาพ และทางเคมี	สมบัติทางกายภาพ และทางเคมี
สูตรทางเคมี	$\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$ หรือ $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$
น้ำหนักโมเลกุล	92.09 g/mol
สถานะ และสี	ของเหลว ไม่มีสี
ความถ่วงจำเพาะ	1.2605
ค่าดัชนีหักเหแสง	1.4746
จุดหลอมเหลว	17.9 °C
จุดเดือด	290 °C
สมบัติการละลายใน 100 ส่วน น้ำ	ละลายดีมาก
แอลกอฮอล์	ละลายดีมาก
อีเทอร์	ไม่ละลาย
ความร้อนของการหลอมเหลวที่ 18.07 °C	47.49 cal/g
ความหนืดของกลีเซอรอลในเหลวที่	
ความบริสุทธิ์ 100%	10 cP
ความบริสุทธิ์ 50%	25 cP
การแพร่กระจายใน i-Amyl alcohol	$0.12 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$
เอทานอล	$0.56 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$
น้ำ	$0.94 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$

สำหรับสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอล แสดงในตารางที่ 2.10 พบว่า กลีเซอรอลละลายได้ดีทั้งในน้ำ เมทานอล เอทานอล ไอโซเมอร์ของโพรพานอล บิวทานอล เพนทานอล รวมทั้งฟินอล โกลคอลโพรเพนไดออลเอมีน และสารประกอบที่เป็นเฮเทอโรไซคลิก ไดเอทิลอีเทอร์ เอทิลเอสเทอร์และไดออกเซน ไม่ละลายในตัวทำละลายจำพวกฮาโลเจน เช่น คลอโรฟอร์ม เป็นต้น ดังนั้นการที่กลีเซอรอลละลายได้ในสารหลายประเภทจึงถูกใช้เป็นตัวทำละลาย ที่มีประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมหลายชนิดเช่น อุตสาหกรรมยา อาหาร และเครื่องสำอาง เป็นต้น [36]

2.10 สารหล่อลื่น (Lubricants)

เป็นสารที่ช่วยลดความฝืดในเครื่องจักรทำให้การผสมง่ายขึ้น ตลอดจนทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ติดแม่พิมพ์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สารหล่อลื่นภายนอก (External lubricants) เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อลดความฝืดระหว่างผิวของพลาสติกกับผิวของโลหะหรือวัสดุที่ใช้ทำเครื่องจักรและแม่พิมพ์

2. สารหล่อลื่นภายใน (Internal lubricants) เป็นสารที่ช่วยลดความฝืดภายในเนื้อพลาสติก กล่าวคือเป็นตัวช่วยลดความฝืดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์

สารหล่อลื่นบางชนิดมีสมบัติอื่นอยู่ด้วย เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวให้พลาสติก หรือเป็นพลาสติกไซเซอร์ได้ด้วย สารหล่อลื่นมีอยู่ 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. สารไฮโดรคาร์บอน
2. กรดไขมันและอนุพันธ์ของกรดไขมัน
3. ก्लीเซอรอล และแอลกอฮอล์
4. ไซซ์นธรรมชาติ

เรซินบางชนิดมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นตัวเอง (Self lubricants) [37]

2.11 แมกนีเซียมสเตียเรท (Magnesium stearate)

แมกนีเซียมสเตียเรท (Magnesium stearate) อาจเรียกว่า เกลือแมกนีเซียม (magnesium salt) มีลักษณะเป็นผงสีขาวเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง มีสูตรทางเคมี คือ $Mg(C_{18}H_{35}O_2)_2$ ซึ่งเป็นเกลือของกรดสเตียริก (Stearic acid) กับแมกนีเซียม (Mg^{2+}) แมกนีเซียมสเตียเรทมีจุดหลอมเหลวที่ 120 องศาเซลเซียส ไม่ละลายในน้ำได้รับการพิจารณาโดย คณะกรรมการอาหารและยา (FDA's Subcommittee) ว่าปลอดภัยสำหรับมนุษย์ ปริมาณการบริโภคไม่เกิน 2,500 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัมต่อวัน [48]

ประโยชน์ด้านต่างๆ

- ทางเภสัชกรรม ทำงานเป็นสารหล่อลื่น สารเชื่อม หรือสารปลดปล่อยสีในยาเม็ดที่ผ่านการอัด
- ทางผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ทำงานเป็นสารหล่อลื่น สารเชื่อม หรือสารปลดปล่อยสีในเครื่องสำอางใช้ผสมกับแป้งเพื่อป้องกันหน้าแห้ง ทำให้หน้าดูเป็นธรรมชาติ
- ทางอาหาร ทำงานเป็นสารหล่อลื่น สารเชื่อม หรือสารปลดปล่อยสีในอาหาร [38]

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.12.1 Majzooobi, M. Beparva, P. ทำการศึกษาอิทธิพลของกรดอะซิติก และกรดแลคติก ที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพเคมีของแป้งสาลี (Native wheat starch) และแป้งสาลีที่มีการเชื่อมโยง (Cross-linked wheat starch) หลังการเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) โดยเริ่มจาก ปั่นกวนแป้ง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในน้ำกลั่นผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาปั่นกวน 30 นาทีที่ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และหล่อเย็นอย่างรวดเร็วภายในเวลา 10 นาทีได้ลักษณะที่เป็นเจล เปรียบเทียบอิทธิพลของกรดทั้งสองชนิดเมื่อใส่ทั้งก่อนและหลังการเกิดเจลาติไนเซชัน พบว่า เมื่อใส่ แอ็กสารเป็นแอ็กสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดแลคติกในแป้งสาลีที่มีการเชื่อมโยงส่งผลให้มีความต้านทานการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใส่กรดแลคติกในแป้งสาลี สายโซ่โมเลกุลสั้นลงเนื่องจากกรดแลคติกทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส นอกจากนี้พบว่ากรดแลคติกลดความเป็นผลึกของแป้งทำให้ดูดซับน้ำได้มากขึ้นและสามารถละลายน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อให้แป้งสาลีเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้น [8]

2.12.2 กัญญาภรณ์ แทนเพชร และคณะ ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังด้วยกรดซิตริกและกรดมาลิก โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด และขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังปรับปรุงสมบัติด้วยกรดซิตริกและมาลิกมีความเครียด ณ จุดดึงสูงสุดเพิ่มมากขึ้น สำหรับการดูดซับน้ำ เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังปรับปรุงด้วยกรดซิตริกและมาลิกมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมากขึ้น จึงส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชปรับปรุงด้วยกรดซิตริกและมาลิกมีการย่อยสลายโดยการฝังดินเร็วกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยกรด [9]

2.12.3 วัลลดา หวานเสนาะ ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชด้วยเส้นใยฝ้าย เส้นใยตาล เส้นใยไหม เส้นใยพอลิเอสเทอร์ และเส้นใยไพลอน พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชแสดงให้เห็นว่าสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยโดยที่ปริมาณเส้นใย 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด ส่วนการดูดซับความชื้นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมเส้นใยชนิดต่างๆ ทำให้ความสามารถในการดูดซับความชื้นลดลง และเมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นว่าเส้นใยมีการกระจายตัวที่ดีและสามารถเข้ากับเมทริกซ์แป้งได้ นอกจากนี้พบว่าเสถียรภาพทางความร้อนมีค่าสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชสำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยการฝังดินเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีแนวโน้มลดลงเมื่อผสมเส้นใยชนิดต่างๆ และจากการศึกษานี้เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีสมบัติโดยรวมดีที่สุด คือ เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมด้วยเส้นใยฝ้าย [10]

2.12.4 Prachayawarakorn, J. และคณะ ได้ศึกษาผลของปริมาณและขนาดของเส้นใยเซลลูโลสต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ในอัตราส่วน 65:35 เส้นใยเซลลูโลส ได้แก่ เส้นใยปอและเส้นใยนุ่น โดยใช้ในอัตราส่วน 0 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งและกลีเซอรอล โดยเริ่มจากการเตรียมแป้งมันสำปะหลังกับกลีเซอรอลและผสมเส้นใยต่างๆ ด้วยเครื่องผสมระบบปิดแล้วนำไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูป เมื่อทำการทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นจากการเติมเส้นใยเซลลูโลส อุณหภูมิการสลายตัวของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมปริมาณเส้นใยปอ แต่มีแนวโน้มอุณหภูมิการสลายตัวลดลง เมื่อเติมปริมาณเส้นใยนุ่น สำหรับการดูดซับน้ำพบว่าเมื่อผสมเส้นใยเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังมีค่าการดูดซับน้ำลดลง [11]

2.12.5 Vallejos, M. E. และคณะ ได้ทำการศึกษาวัสดุคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยเส้นใยจากชานอ้อยที่ถูกสกัดแยกด้วยเอทานอล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และน้ำโดยมีแป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลังเป็นเมทริกซ์ และใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ จากนั้นทำการผสมเส้นใยลงไปในส่วน 0 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้ง แล้วทำการผสมโดยใช้เครื่อง Rheomix 600 จากนั้นกดด้วยแผ่นเพลตร้อนเพื่อขึ้นรูปเป็นชิ้นงานสำหรับทดสอบ จากผลการทดสอบพบว่า ชิ้นงานที่มีการใส่เส้นใย 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น 44 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแป้งข้าวโพด และ 47 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแป้งมันสำปะหลัง ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Elastic modulus) และมอดูลัสสะสม (Storage modulus) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเส้นใยเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันค่าการยืดตัว และการดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่าการใส่เส้นใยลงไปในส่วนผสมพอลิเมอร์สามารถปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้นได้ [12]

2.12.6 จิรวัดน์ สูเสณ และคณะ ศึกษาผลของปริมาณฟางข้าว และแกลบที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้งมันสำปะหลัง โดยกำหนดอัตราส่วนของฟางข้าว และแกลบ เท่ากับ 0 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัด พบว่าฟางข้าว และแกลบ มีลักษณะเป็นอนุภาคมีการกระจายตัว และเข้ากันได้ดีกับเทอร์โมพลาสติกสตาเรช นอกจากนี้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดในด้านความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด และมอดูลัส คือ เทอร์โมพลาสติกสตาเรชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแกลบ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เทอร์โมพลาสติกสตาเรชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแกลบ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีการดูดซับความชื้นน้อยที่สุด สมบัติเชิงกลหลังการย่อยสลายด้วยการฝังดินลดลง และพบว่าอุณหภูมิในการสลายตัวทางความร้อนของเทอร์โมพลาสติกสตาเรชลดลงเมื่อเติมฟางข้าว แต่เมื่อเติมแกลบทำให้อุณหภูมิในการสลายตัวทางความร้อนของเทอร์โมพลาสติกสตาเรชไม่เปลี่ยนแปลง [13]

2.12.7 Hirashima, M. และคณะ ทำการศึกษาอิทธิพลของการเติมกรดก่อนและหลังการเกิดกระบวนการเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) ในแป้งข้าวโพดที่มีสมบัติไหลหนืด (Viscoelasticity) นำแป้งข้าวโพดผสมกับน้ำกลั่นหรือสารละลายที่มีสภาพเป็นกรด บั่นกวนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาจนถึงอุณหภูมิ 97 องศาและหล่อเย็นอย่างรวดเร็ว ใส่กรดในช่วงพีเอช (pH) 3.5-5.6 เป็นช่วงที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด นำกรดที่พีเอชน้อยกว่า 4 ใส่ลงในแป้งข้าวโพดซึ่งกรดเข้าไปในเม็ดแป้งและเกิดไฮโดรไลซิสที่สายโซ่ของกลูโคสส่งผลให้ความหนืดนั้นลดลงและจำนวนของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่อยู่ในสายพอลิเมอร์ลดลง แต่ที่พีเอช มากกว่า 4 ไม่มีผลต่อความหนืดและจำนวนโดยประมาณของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่อยู่ในสายพอลิเมอร์ จากนั้นนำกรดที่พีเอช 3 4 5 และ 6 มาทำการเปรียบเทียบโดยเครื่องทดสอบเชิงพลวัต (Dynamic oscillatory measurements) การให้ความถี่คงที่และศึกษามอดูลัสสะสม พบว่าทุกพีเอชมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน แต่ที่พีเอช 4 และ 5 นั้นมีค่ามอดูลัสสะสมสูงกว่า พีเอช 3 และ 6 นอกจากนี้ผลของการเพิ่มกรดนั้นส่งผลต่อการไฮโดรไลซิส สายโซ่ของกลูโคสทำให้มีความหนืดที่ลดลง [31]

2.12.8 Teixeira, E. M. และคณะ ทำการศึกษาเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้งมันสำปะหลังที่ใช้เซลลูโลสนาโนไฟบริลจากกากมันสำปะหลัง (Cassava bagasse) เป็นสารตัวเติม และใช้กลีเซอรอลหรือของผสมระหว่างกลีเซอรอลกับซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ทำการขึ้นรูปด้วยเอ็กสตรูชันเป็นเอกสตรูชันที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression molding) เป็นฟิล์มนาโนคอมพอสิตโดยมีอัตราส่วนในการใส่สารตัวเติม คือ 0 5 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแบงก์แห้ง ผลการวิเคราะห์ของสารตัวเติมที่เติมลงไปในเรื่องเมทริกซ์ของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ ตรวจสอบด้วยการวิเคราะห์สมบัติทางกลเชิงไดนามิก (Dynamical- mechanical test; DMA) และการทดสอบแรงดึง (Tensile test) ซึ่งพบว่าผลจากการวิเคราะห์ที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับพลาสติกไซเซออร์ที่ใช้ เนื่องจากในระหว่างกระบวนการสกัดแบงก์ด้วยกรดทำให้ได้น้ำตาลจากการไฮโดรไลซิสแบงก์ ซึ่งน้ำตาลทำหน้าที่เป็น พลาสติกไซเซออร์ด้วย นอกจากนี้ยังพบการลดลงของอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของแบงก์ และการเพิ่มขึ้นของค่าการดัดยัด ณ จุดขาดในทางกลับกันนาโนคอมพอสิตที่มีการเติมของผสมระหว่างกลีเซอรอลกับซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ ทำให้เกิดช่องว่างการเกิดผลึกของอะไมโลเพกทินบนพื้นผิวของเซลลูโลสไมโครไฟบริลที่เป็นสารตัวเติม นอกจากนี้การเติมเซลลูโลสนาโนไฟบริลลงในเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ ทำให้มีความชอบน้ำที่ลดลง [39]

2.12.9 Kaushik, A. และคณะ ทำการศึกษาวัสดุคอมพอสิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่เตรียมจากเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์จากแป้งข้าวโพด เสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลสขนาดนาโนที่ผลิตโดยการสกัดฟางข้าวสาลีด้วยแรงดันไอน้ำ (Steam explosion) โดยเริ่มจากการสกัดเส้นใยเซลลูโลสขนาดนาโนจากฟางข้าวสาลีโดยใช้แรงดันไอน้ำ แล้วทำการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก และการใช้แรงเชิงกลเส้นใยขนาดนาโนถูกทำให้กระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์ของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์โดยใช้เครื่องผสมแรงเฉือนสูง (Fluko high shear mixer) และใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ จากนั้นขึ้นรูปขึ้นงานออกมาในรูปของฟิล์มหล่อ (Cast film) พบว่าสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใยและสมบัติในการต้านการซึมผ่านดีขึ้นเมื่อมีการเติมเส้นใยลงไป 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่สมบัติมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเติมเส้นใยที่มากเกินไป เนื่องจากเส้นใยเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนเกิดการกระจายตัวไม่ดี ซึ่งทดสอบได้จากการศึกษาสัณฐานวิทยา (SEM) และการศึกษาสมบัติเชิงกล (DMA) นอกจากนี้การศึกษาศมบัติทางความร้อนพบว่า อุณหภูมิในการสลายตัวเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น และการเกิดอันตรกิริยาระหว่างเส้นใยเซลลูโลสขนาดนาโนและพลาสติกไซเซออร์ซึ่งเกิดการขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่ ทำให้อุณหภูมิสลายตัวของผลึก (Enthalpy temperature) และการดูดซึมน้ำลดลง [40]

2.12.10 Prachayawarakorn, J. และคณะ ศึกษาพอลิเมอร์ย่อยสลายได้จากเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์และพอลิเอทิลีนโดยมีเส้นใยธรรมชาติเป็นสารเสริมแรงซึ่งทำการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์โดยใช้แป้งข้าวเจ้ามาเป็นส่วนผสมหลักใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ในอัตราส่วนผสมกลีเซอรอลกับแป้งเป็น 1:1 ทำการเตรียมด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง จากนั้นนำไปผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิดที่อุณหภูมิและความเร็วรอบ 170 องศาเซลเซียส และ 40 รอบต่อนาที แล้วนำไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปทำการปรับปรุงสมบัติพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและเติมสารช่วยผสมมาลิกแอคไซด์กราฟท์พอลิเอทิลีนและไวนิลไตรเมทอกซีไซเลน พบว่ามาลิกแอคไซด์กราฟท์ พอลิเอทิลีนช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลดีกว่าการใช้ไวนิลไตรเมทอกซีไซเลนแต่การใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาลิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิเอทิลีนและไวนิลไตรเมทอกซีไซเลน ทำให้การย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลมีแนวโน้มลดลง [41]

2.12.11 จันจิรา จันท์แจ้ และคณะ ศึกษาสมบัติของพลาสติกย่อยสลายที่เตรียมจากเทอร์โมพลาสติกสตาโรล จากแป้งท้าวยายม่อม โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และทำการเสริมแรงด้วยเส้นใยป่าน โดยใช้กรดสเตียริกในปริมาณที่แตกต่างกันด้วยเครื่องผสมระบบปิด และขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป พบว่าเส้นใยป่านมีการกระจายตัวและเข้ากันได้ดีกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรล ในขณะที่การใช้กรดสเตียริกทำให้ได้สัณฐานวิทยาที่ไม่เข้ากัน นอกจากนี้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดในด้านแรงดึง ความแข็งแรงดึง ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด และมอดุลัส คือเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่เสริมแรงด้วยเส้นใยป่านร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่เสริมแรงด้วยเส้นใยป่านร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก มีการดูดซับความชื้นน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่เสริมแรงด้วยเส้นใยป่านร้อยละ 20 โดยน้ำหนักและปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีการย่อยสลายได้เร็วที่สุด และพบว่าการเพิ่มปริมาณของกรดสเตียริกไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อน [42]

2.12.12 Hunga, P.V. และคณะ ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพเคมีในการย่อยสลายของแป้งมันฝรั่ง (Potato starch) และแป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch) โดยใช้กรดแลคติก ความร้อน และความชื้นปรับปรุงสมบัติ นำมันสำปะหลัง (Cassava root) และมันฝรั่ง (Potato tuber) ใส่สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (NaHSO_3) พบว่าแป้งมันสำปะหลังที่ใส่เฉพาะกรดแลคติกมีขนาดโมเลกุลเล็กลง ส่วนแป้งมันสำปะหลังที่ใส่กรด ให้ความร้อน และความชื้น พบว่าโครงสร้างของเม็ดแป้งมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งส่งผลต่อสมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และการย่อยสลายของแป้งมันสำปะหลัง การย่อยสลายของแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยกรดแลคติก ให้ความร้อน และความชื้นนั้น ทำให้แป้งมันสำปะหลังย่อยสลายช้ากว่าแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ (Native cassava starch) และจากผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction, XRD) พบว่าแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแลคติก ความร้อน และความชื้น มีโครงสร้างผลึกเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากการเกิดแรงระหว่างอนุภาคและพันธะคู่ของเม็ดแป้ง [43]

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch) ตรา ปลาไทย 5 ดาว ผลิตจาก บริษัท อี. ที. ซี. เอเย่บตงจัน จำกัด

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลัง

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	12.27±0.13
โปรตีน	0.11±0.01
ไขมัน	0.07±0.02
เส้นใย	0.12±0.03
เถ้า	0.25±0.03
แป้ง	
- อะไมโลส	15.9-22.4
- อะไมโลเพคติน	61.59-83.0

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

3.1.2 กรดแลคติก (Lactic acid) เกรดอาหาร จากบริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด

ตารางที่ 3.2 ใบรับรองการวิเคราะห์ของกรดแลคติก

Parameters not tested in all lots but validated through In-process or final testing		
Test	Units	Specification
Colour after 6 months, 25C	APHA	<=50
Odour		Characteristic
Taste		Acid
Stereochemical purity (L-isomer)	%	>=97
Sulphated ash LA	%	<=0.1
Heavy metals total	ppm	<=10
Iron	ppm	<=10
Lead	ppm	<=0.5
Mercury	ppm	<=1
Cyanide	ppm	<=1
Citric,oxalic,phosphoric,tartaric acid		Passes test
Arsenic	ppm	<=1
Positive test for acid		Passes test
Positive test for lactate		Passes test
Density (20°C)	g/ml	1.20 – 1.22
Calcium	ppm	<=20
Chloride	ppm	<=10
Sulphate	ppm	<=20
Sugers		Passes test
Volatile Fatty acids		Passes test
Ether insoluble	%ww	<=0.7
Methanol	%	<=0.20
Form		Syrupy liquid

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

3.1.3 แกลบ จากโรงสีพิฆานวรกิจ 1999

3.1.4 กลีเซอรอล (Glycerol) เกรดทางการค้า จากบริษัท Lab System

3.1.5 แมกนีเซียมสเตียเรท (Magnesium stearate) จากบริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 น้ำมันซิลิโคน จากบริษัท Dow Corning Corporation

3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือ

3.2.1 เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer): Brabender รุ่น PL 2000/PL 2001

3.2.2 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding): บริษัท แมช กรุ๊ป (1992) จำกัด รุ่น MGLP 20 AT

3.2.3 เครื่องบดละเอียด: Retsch รุ่น ZM 100

3.2.4 เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal testing machine; UTM) บริษัท LLOYD Instrument จำกัด รุ่น LR 5K

3.2.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM): LEO รุ่น 1450k

3.2.6 เครื่องทดสอบทางความร้อน (Thermogravimetric Analyzer; TGA): Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 TGA HT

3.2.7 เครื่องวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer; FT-IR): Perkin Elmer รุ่น FT-IR spectrum GX

3.2.8 เครื่องตัดชิ้นงานรูปดัมเบลล์: CEAST รุ่น 6052

3.2.9 เครื่องชั่งแบบดิจิทัล ความละเอียด 2 ตำแหน่ง (g): Precisa Instrument

3.2.10 เครื่องปั่นเนกประสงค์: Sharp รุ่น EM-44A

3.2.11 ตู้บลมร้อน: Memmert รุ่น UF 55

3.2.12 แม่พิมพ์หนา 2 มิลลิเมตร

3.2.13 ถูมือกันความร้อน

3.2.14 เกรียง

3.2.15 กล่องปิดสนิท

3.2.16 แผ่นใสถ่ายเอกสาร

3.2.17 ไมโครมิเตอร์

3.2.18 ถูซิล

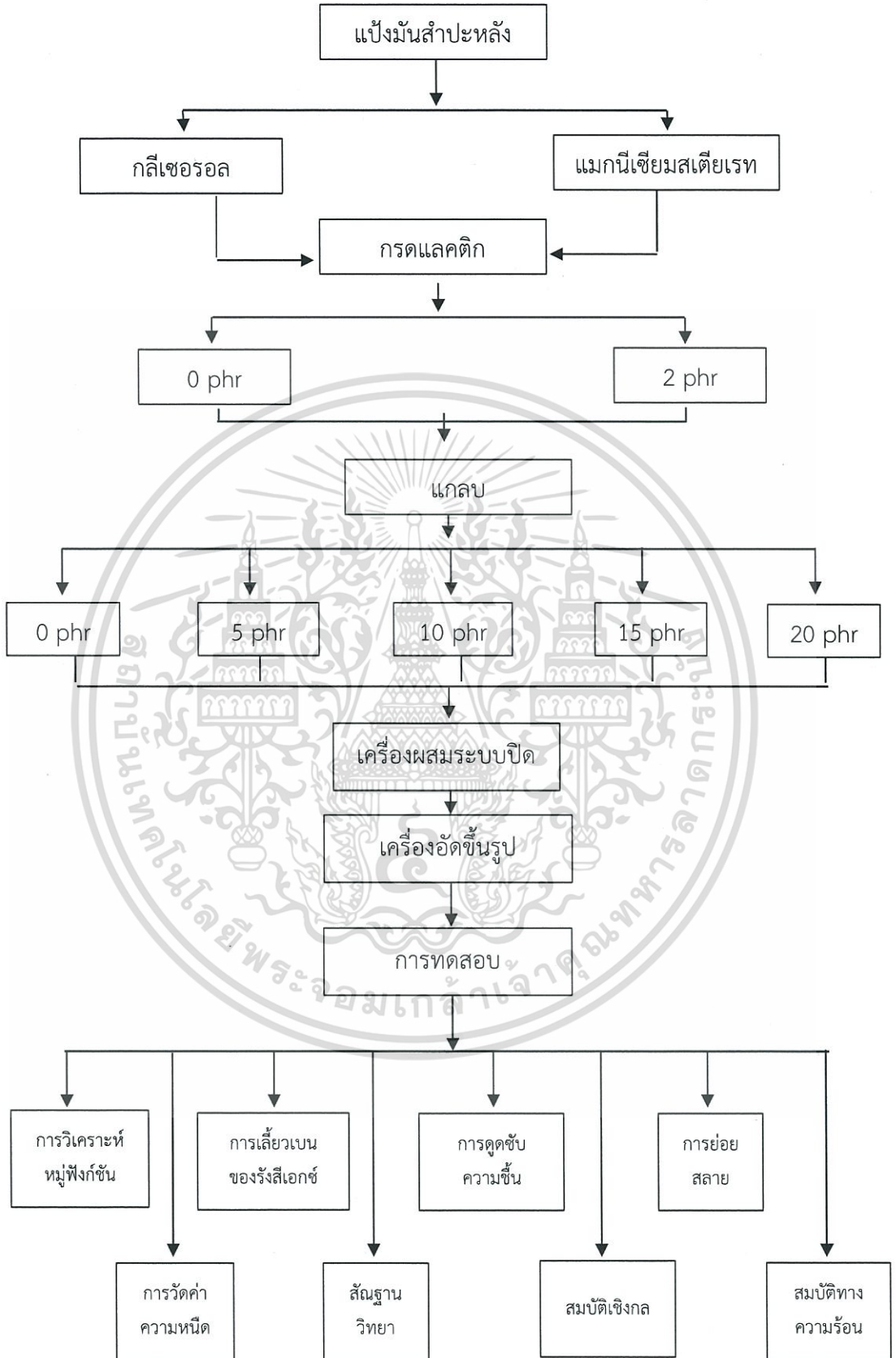
3.2.19 กรรไกร

3.2.20 เวอร์เนียคาลิปเปอร์

3.2.21 เครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์ (Brook filed viscometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัยในโครงการพิเศษนี้ แสดงได้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดลอง

3.3.1 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกคอมพอลิฮิสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง

3.3.1.1 นำแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอลมาชั่งในอัตราส่วน 65:35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3.3.1.2 จากนั้นนำมาหมักรวมกันและทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.1.3 ชั่งน้ำหนักแป้งที่หมักเตรียมไว้ในปริมาณ 50 กรัม จากนั้นนำมาผสมกับแมกนีเซียมสเตียเรท 1 กรัมของแป้ง

3.3.1.4 นำส่วนผสมทั้งหมดผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที ระยะเวลาในการผสม 5 นาที

3.3.2 การเตรียมเกลบ

3.3.2.1 นำเกลบไปอบให้แห้ง ในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.3.2.2 จากนั้นนำเกลบไปบดด้วยเครื่องบดละเอียด และร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 เมช ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวเท่ากับ 0.150 มิลลิเมตร

3.3.2.3 นำเกลบที่ทำการบดแล้ว เก็บในกล่องที่มีฝาปิดสนิท

3.3.3 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกคอมพอลิฮิสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยกรดแลคติกและเสริมแรงด้วยเกลบ

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง กลีเซอรอล แมกนีเซียมสเตียเรท กรดแลคติก และเกลบ ที่ใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกคอมพอลิฮิสตาร์ช

แป้งมัน สำปะหลัง (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	แมกนีเซียมสเตียเรท (กรัม)	กรดแลคติก (กรัม)	เกลบ (กรัม)
65	35	2	0	0
65	35	2	0	5
65	35	2	0	10
65	35	2	0	15
65	35	2	0	20
65	35	2	2	0
65	35	2	2	5
65	35	2	2	10
65	35	2	2	15
65	35	2	0	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.1 นำเทอร์โมพลาสติกคอมพอสิตส์ที่ปรับปรุงด้วยกรดแลคติกและแคลบผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็ว 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้กรดแลคติก และแคลบ ดังแสดงในตารางที่ 3.3

3.3.3.2 จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ที่ความดัน 1700 psi หลังจากนั้นหล่อเย็นเป็นเวลา 5 นาที

3.3.3.3 นำเทอร์โมพลาสติกคอมพอสิตส์ที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ หมายเหตุ สำหรับสูตรที่ใส่แคลบ ใช้เวลาในการใส่แคลบเพิ่มเติมอีก 20 วินาที

3.4 การทดสอบสมบัติต่างๆ

3.4.1 การหาโครงสร้าง และหมู่ฟังก์ชันโดย FT-IR

วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในสารตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared spectroscopy) ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำสารตัวอย่างไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำสารตัวอย่างมา 2-3 มิลลิกรัม มาบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ที่อบแห้งแล้วจำนวน 0.2 - 0.5 กรัม ให้เข้ากัน ใส่ลงในแม่พิมพ์ และนำเข้าเครื่องอัดเม็ด ภายใต้ความดัน 10^{-4} kg/cm² นาน 5 นาที แล้วนำเม็ดออกจากแม่พิมพ์ และนำไปวิเคราะห์จะได้สเปกตรัมของสารตัวอย่าง

3.4.2 การทดสอบการวัดค่าความหนืด

วิเคราะห์หาค่าความหนืดของสารตัวอย่าง โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Brook field Viscometer) โดยนำสารตัวอย่างจำนวน 50 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวัดค่าความหนืด โดยใช้เข็มเบอร์ 1 ความเร็วรอบ 12 รอบต่อนาที ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง

3.4.3 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction)

วิเคราะห์หาโครงสร้างของผลึก และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของพอลิเมอร์ผสมที่มุมต่างๆ กัน โดยกำหนดขอบเขตของการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟในส่วนบริเวณผลึกที่มุม $10-30^{\circ}$ และบริเวณพื้นที่ทั้งหมดที่มุม $5-60$ องศาเหมือนกันในทุกตัวอย่าง เพื่อระบุวิภาคองค์ประกอบของพอลิเมอร์ผสม โดยนำพอลิเมอร์ผสมมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer โดยเตรียมสารตัวอย่างที่มีความหนา $200 \mu\text{m}$ และขนาดของมุมตกกระทบที่ใช้ (2θ) ในช่วง $5-60^{\circ}$ ด้วยอัตราเร็ว 1° / นาที แล้วปล่อยรังสีเอกซ์ (Cu-K α) เข้าขึ้นงานตัวอย่าง โดยใช้ Step time 5 นาที เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Crystallinity (\%)} = \frac{I_{\text{Crystalline}}}{(I_{\text{Crystalline}} + I_{\text{Amorphous}})} \times 100$$

เมื่อ $I_{\text{Crystalline}}$ คือ พื้นที่ใต้กราฟบริเวณที่เป็นผลึก

$I_{\text{Amorphous}}$ คือ พื้นที่ใต้กราฟบริเวณอสัณฐาน

3.4.4 การดูดซับความชื้น

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E 104 นำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จดน้ำหนักไว้ จากนั้นนำไปวางในบรรยากาศที่อิ่มตัวด้วยน้ำกลั่น (Distilled water) ซึ่งให้ความชื้นสัมพัทธ์ 99 ± 1 เปอร์เซ็นต์โดยนำชิ้นงานขึ้นมาบันทึกทุกๆวัน ปริมาณการดูดซับความชื้นสามารถคำนวณได้จาก

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

เมื่อ M_t คือ เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้น

W_d คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนดูดซับความชื้น

W_w คือ น้ำหนักชิ้นงานหลังดูดซับความชื้น

3.4.5 การทดสอบสัณฐานวิทยา

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) ใช้ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) ทำการเตรียมตัวอย่างที่ได้ โดยนำชิ้นงานตัวอย่างมาหักหลังจากแช่ไนโตรเจนเหลว จากนั้นนำตัวอย่างเคลือบด้วยทอง และนำเข้าเครื่อง SEM ต่อไป โดยศึกษาภาพตัดขวางของตัวอย่างผสมในสูตรต่างๆ เพื่อการกระจายตัว และรอยต่อระหว่างวัฏภาค นอกจากนี้นำมาใช้หาค่า Aspect ratio (L/D ratio) ของเกลบ

3.4.6 การทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของคอมโพสิทเทอร์โมพลาสติกสตา์ชท์ที่เตรียมได้

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
ความแข็งแรงดึง ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (Stress at maximum load)	ASTM D 638	MPa
มอดุลัส (Young's Modulus)	ASTM D 638	MPa
การดึงยืด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (Strain at maximum load)	ASTM D 638	%

3.4.6.1 ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และมอดุลัส

ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 พร้อมทั้งใช้โปรแกรม NEXYGEN ซึ่ในงานที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะเป็นรูปดัมเบลล์ จำนวน 8 ชิ้นต่อ 1 สูตร โดยทำการควบคุมชิ้นงานที่จะใช้ในการทดสอบ ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามสภาวะดังนี้

Test Speed:	40 mm/min
Gauge length:	25 mm
Load cell:	1 kN



รูปที่ 3.2 ลักษณะชิ้นงานดัมเบลล์ที่ใช้ทดสอบ

ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ความเค้น} &= \frac{F}{A} \\ \text{มอดุลัส} &= \frac{F/A}{(L - L_0)/L_0} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ความเครียด} = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100$$

- เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง (N)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (mm²)
 L คือ ระยะทางระหว่างจุดสองจุด หลังทำการดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง (mm)
 L₀ คือ ระยะทางที่ชิ้นงานตัวอย่างแคบที่สุด และพื้นที่หน้าตัดขนาดกัน (mm)

3.4.7 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน

ตัดชิ้นงานเป็นรูปดัมเบลล์ สูตรละ 8 ชิ้น ฝังดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร โดยควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในช่วง 5 – 10 เปอร์เซ็นต์ ทำการฝังดินเป็นระยะเวลา 3 วัน จากนั้นนำมาทดสอบสมบัติเชิงกลเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ฝังดิน

3.4.8 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

ศึกษาสมบัติทางความร้อน และอุณหภูมิการสลายตัว (Degradation temperature) ของเทอร์โมพลาสติกคอมพอลิฮิสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง ด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก แอนนาไลเซอร์ (Thermogravimetric Analyzer, TGA) ทำได้โดยชั่งสารตัวอย่างประมาณ 10 – 12 มิลลิกรัม และนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA สภาวะที่ใช้ทดสอบคือ อัตราการให้ความร้อน 10°C/min ใช้ช่วงอุณหภูมิ 50 – 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของกรดแลคติกที่มีผลต่อสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยแคลบ โดยกำหนดอัตราส่วนของปริมาณแคลบเท่ากับ 0 5 10 15 และ 20 phr โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) หลังจากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัด (Compression molding) และนำชิ้นงานทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้ การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน การวัดค่าความหนืด การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ฐานฐานวิทยา การดูดซับความชื้น สมบัติเชิงกล สมบัติการย่อยสลายโดยการฝังดิน และสมบัติทางความร้อนของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตา์ชที่เตรียมได้ โดยองค์ประกอบต่าง ๆ ของแคลบแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของปริมาณองค์ประกอบในแคลบ [26]

องค์ประกอบของแคลบ	เปอร์เซ็นต์
เซลลูโลส (Cellulose)	31.12
เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	22.48
ลิกนิน (Lignin)	22.34
เถ้า (Mineral ash)	13.87
- ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)	12.91
- โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	0.53
- แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0.12
- อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	0.11
- แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	0.10
- ไออน(III)ออกไซด์ (Fe_2O_3)	0.08
น้ำ (Water)	7.86
สารแทรก (Extractives)	2.33

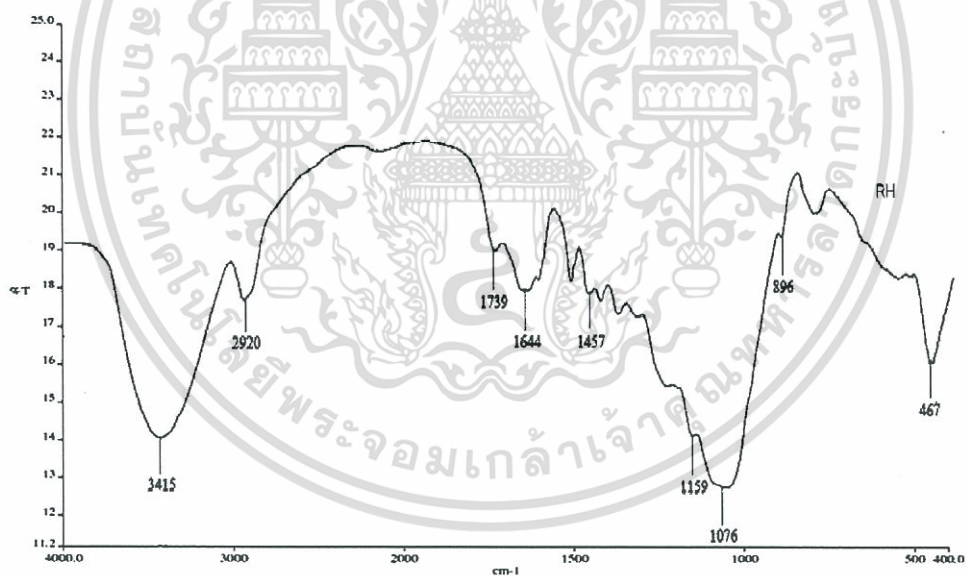
4.1 การทดสอบหมู่ฟังก์ชัน (FT-IR)

การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยการใช่และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในปริมาณต่าง ๆ โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) พิกที่ปรากฏขึ้นมีลักษณะคล้ายกัน แสดงดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

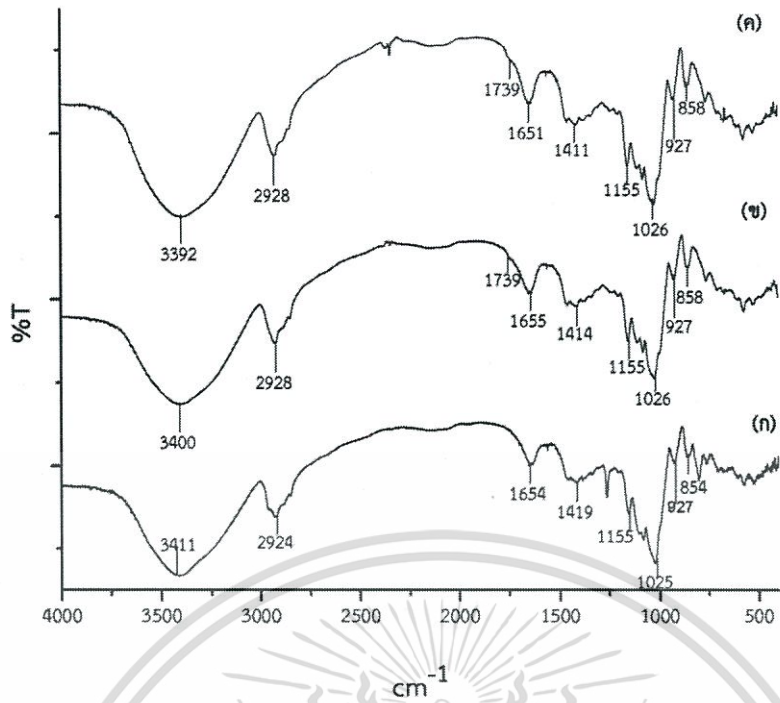
ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นและลักษณะการสั่น [49]

เลขคลื่น (cm^{-1})	ลักษณะการสั่น
3600-3200	O-H stretching
3000-2800	Alkanes C-H stretching
1750	C=O stretching
1640	Bounded water
1485-1420	O-H bending
1300-1100	C-O stretching
1200-1000	C-O-H bending
940-900	C-H out of plane bending
860-800	C-H out of plane bending
770-735	C-H out of plane bending
600	C-H ของ CH_2 rocking

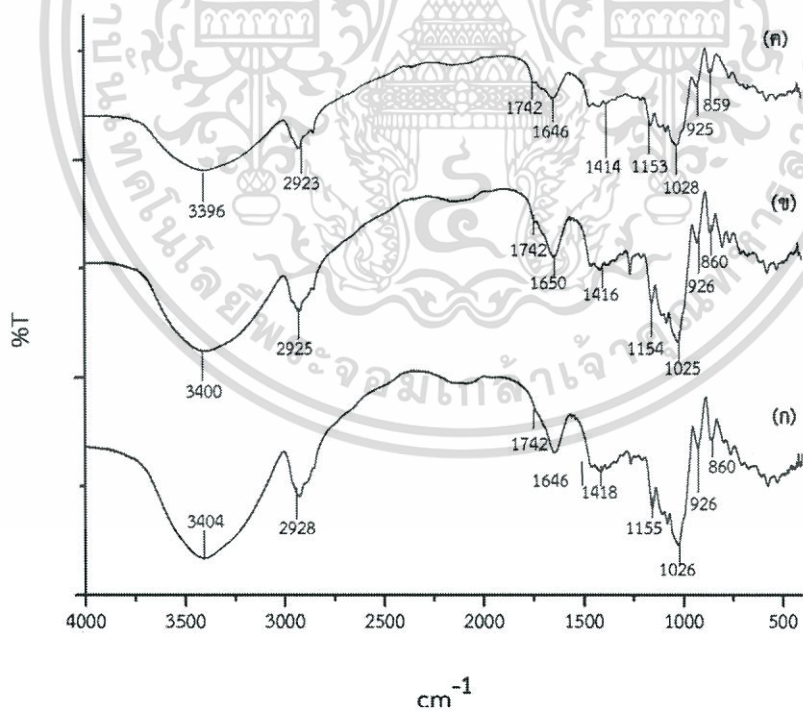


รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของแกลบ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนไกลคอลโดยไม่มีกรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในอัตราส่วนต่าง ๆ โดย (ก) TPCS (ข) TPCS/10RH และ (ค) TPCS/20RH



รูปที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนไกลคอลที่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในอัตราส่วนต่าง ๆ โดย (ก) TPCS/2LA (ข) TPCS/2LA/10RH และ (ค) TPCS/2LA/20RH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 (ก) แสดงสเปกตรัมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ พบว่า ปรากฏช่วงความยาวคลื่นที่ 3411 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบ O-H Stretching ของแป้งและกลีเซอรอล ช่วงความยาวคลื่นที่ 2924 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบ C-H Stretching ของแป้งและกลีเซอรอล ซึ่งที่ช่วงความยาวคลื่น 1654 cm^{-1} เกิดจากน้ำโมเลกุลของแป้ง ช่วงความยาวคลื่น 1155 cm^{-1} มีลักษณะการสั่นแบบ C-O Stretching จากแป้ง ตำแหน่งความยาวคลื่นที่ 1419 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบ O-H Bending ช่วงความยาวคลื่น 1025 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบ C-O-H Bending และที่ช่วงความยาวคลื่น 927 และ 854 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบ C-H Bending [50-51]

จากรูปที่ 4.2 (ก)- 4.3 (ก) เปรียบเทียบสเปกตรัมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก พบว่า สเปกตรัมมีลักษณะของพีคที่คล้ายกัน แต่สเปกตรัมของรูปที่ 4.3 (ก) พบตำแหน่งความยาวคลื่น 1742 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบ C=O Stretching ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) ระหว่างโมเลกุลของแป้งกับโมเลกุลของกรดแลคติก [54]

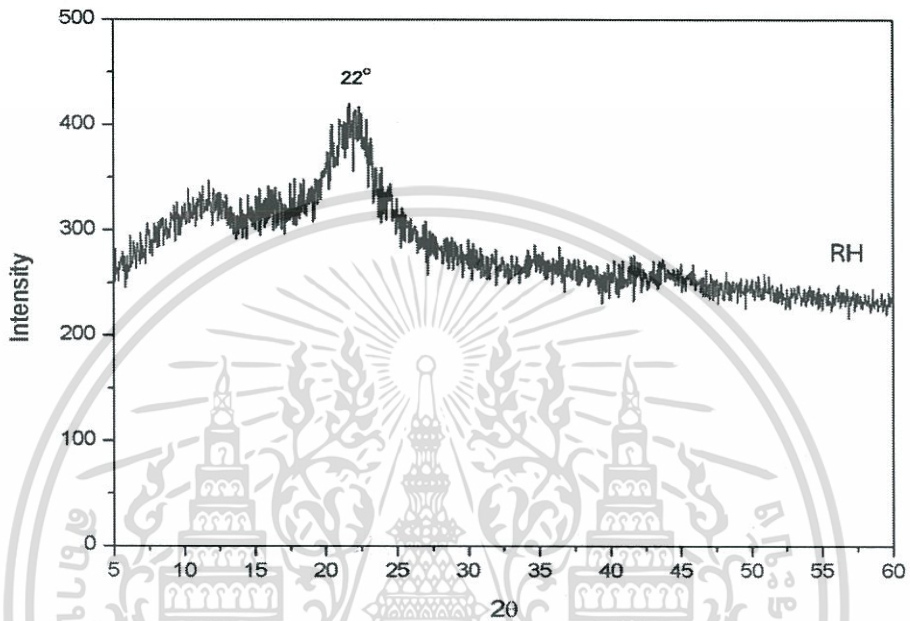
เมื่อเติมแอลกอฮอล์ในส่วนต่างๆ ดังรูป 4.2 (ข)-(ค) ได้สเปกตรัมที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับแป้ง เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังและแอลกอฮอล์มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายคลึงกัน พบว่าช่วงความยาวคลื่นที่ $3392-3400\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นแบบ O-H Stretching และตำแหน่งความยาวคลื่นที่ $1411-1419\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นแบบ O-H Bending ของแป้ง ซึ่งมีตำแหน่งของเลขคลื่นที่ลดลง เมื่อมีปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นใหม่ระหว่างแป้งกับแอลกอฮอล์ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Prachayawarakorn, J. and Pattanasin, W. [44] นอกจากนี้เกิดการซ้อนทับกับเลขคลื่น 1739 cm^{-1} และ 1742 cm^{-1} ที่เกิดจากการสั่นของ C=O Stretching ที่พบในแอลกอฮอล์ และการสั่นของ C=O Stretching ที่จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างแป้งและกรดแลคติก ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ข)-(ค)

4.2 การทดสอบการวัดค่าความหนืด

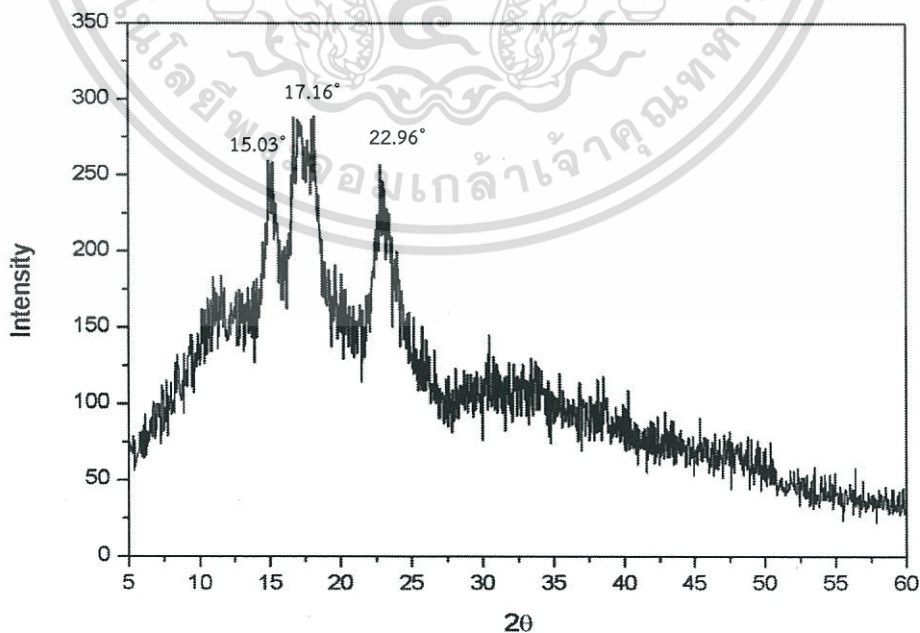
การวิเคราะห์หาค่าความหนืดโดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Brook field viscometer) ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก โดยใช้เข็มเบอร์ 1 ความเร็วรอบ 12 รอบต่อนาที ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง พบว่า คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก มีความหนืดเท่ากับ $225\text{ mPa}\cdot\text{s}$ และ $25\text{ mPa}\cdot\text{s}$ ตามลำดับ จากผลการทดสอบ ความหนืดลดลง เมื่อใส่กรดแลคติก เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างแป้งกับกรดแลคติก ทำให้สายโซ่โมเลกุลของแป้งสั้นลง [54] ความหนืดจึงลดลง

4.3 การทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction, XRD)

การวิเคราะห์หาโครงสร้าง และปริมาณผลึกของคอมพอลิเมอร์โพลีสไตรีนจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในอัตราส่วนต่าง ๆ ทำได้โดยใช้เครื่อง X-ray diffractometer ขนาดของมุมตกกระทบที่ใช้ (2θ) คือช่วง $5-60^\circ$ และกำหนดขอบของการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟในบริเวณผลึกที่มุม $10-30^\circ$ ด้วยอัตราเร็ว $1^\circ/\text{นาท}$ ผลที่ได้มีดังนี้



รูปที่ 4.4 ดิฟแฟร็กโตแกรมของแคลบ [13]



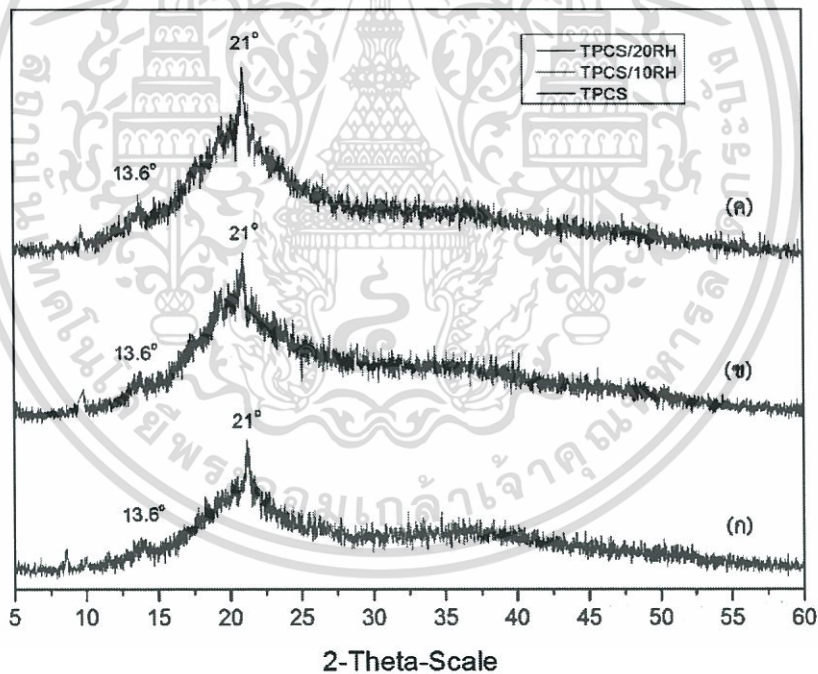
รูปที่ 4.5 ดิฟแฟร็กโตแกรมของแป้งมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

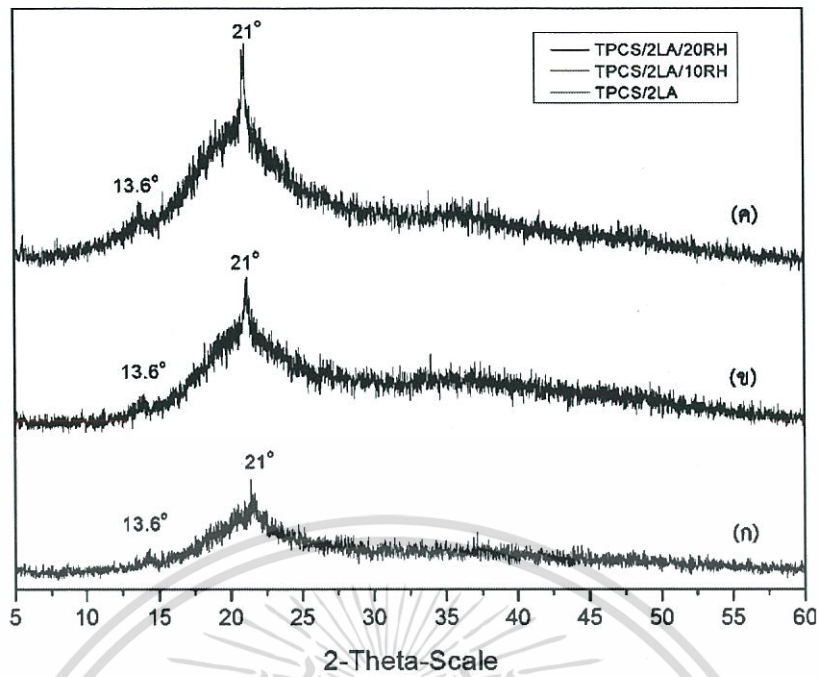
จากรูปที่ 4.4 แสดงโครงสร้างผลึกของแกลบ พบพีคที่มุม 2θ เท่ากับ 22° ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกของเซลลูโลสและซิลิกา [13,61]

จากรูปที่ 4.5 แสดงโครงสร้างผลึกของแป้งมันสำปะหลัง พบว่า มีโครงสร้างผลึกแบบ C-type พบพีคที่มุม 2θ เท่ากับ 15.03° 17.16° และ 22.96° ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mello, L. R. P. F. และคณะ [52]

รูปที่ 4.6-4.7 แสดงโครงสร้างผลึกของคอมพอลิเมอร์โพลีพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง ที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแกลบในอัตราส่วนต่าง ๆ พบพีคที่มุม 2θ เท่ากับ 13.6° และ 21° [53] ซึ่งพีคที่ทำมุม 21° เกิดจากองค์ประกอบของคอมพอลิเมอร์โพลีพลาสติกสตาโรลโดยมีลักษณะเป็นแบบ V_h -type ทั้งหมด ซึ่งเกิดจากการนำแป้งมันสำปะหลัง ผสมกับกาลีเซอรอลที่เป็นพลาสติกไซเซอรอลผ่านการใช้ความร้อนและแรงเฉือน เพื่อทำเป็นเทอร์โมพลาสติกสตาโรล ทำให้ความเป็นผลึกของแป้งถูกทำลายและทำให้ลักษณะของผลึกเปลี่ยนไป เกิดเป็นผลึกแบบ V_h -type [44]



รูปที่ 4.6 ดิฟแฟร็กโตแกรมของ (ก) TPCS (ข) TPCS/10RH และ (ค) TPCS/20RH



รูปที่ 4.7 ดิฟแฟร็กโตแกรมของ (ก) TPCS/2LA (ข) TPCS/2LA/10RH และ (ค) TPCS/2LA/20RH

ตารางที่ 4.3 ปริมาณผลึกของคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในอัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	ความเป็นผลึก (%)
TPCS	41.61
TPCS/10RH	45.14
TPCS/20RH	47.52
TPCS/2LA	40.35
TPCS/2LA/10RH	43.68
TPCS/2LA/20RH	47.01

จากตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณความเป็นผลึกของคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า คอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก มีความเป็นผลึกลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรไม่ใช้กรดแลคติก เนื่องจากกรดแลคติกเข้าไปทำลายพันธะแอลฟา 1,6 กลูโคซิดิกของอะไมโลเพกตินในส่วนของอสัณฐาน ก่อนทำลายพันธะแอลฟา 1,4 กลูโคซิดิกของอะไมโลส ซึ่งเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้สายโซ่โมเลกุลของแป้งสั้นลง และยังสามารถ

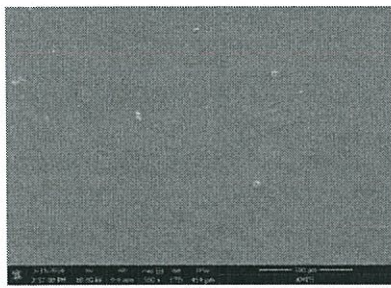
เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เนื่องจากโครงสร้างของแป้งประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิล และแม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดแลคติกประกอบไปด้วยหมู่คาร์บอกซิลิก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจินตภา แต่มีสีครามที่ศึกษาสมบัติของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เชื่อมโยงด้วยกรดซิตริก กรดแลคติก และกรดมาลิกและพบว่าเมื่อใส่กรดแลคติก ทำให้ฟิล์มมีความเป็นผลึกลดลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้ความเป็นผลึกลดลง [54]

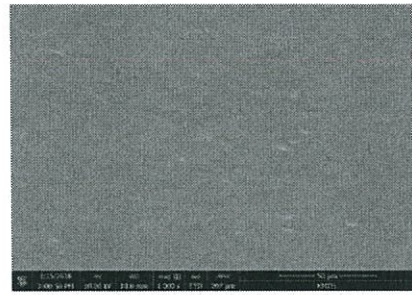
เมื่อพิจารณาความเป็นผลึกของคอมพอลิเมอร์โพลิเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงแคลบในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า TPCS/20RH มีความเป็นผลึกสูงสุด รองลงมาคือ TPCS/2LA/20RH ,TPCS/10RH , TPCS/2LA/10RH ,TPCSและTPCS/2LA ตามลำดับ ซึ่งพบว่าสูตรที่มีการเสริมแรงด้วยแคลบในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ความเป็นผลึกมีแนวโน้มที่สูงขึ้น เพราะในแคลบมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีความเป็นผลึกมากกว่าแป้ง และยังสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับแป้งได้ และเมื่อพิจารณาดีแฟกต์แกรมของคอมพอลิเมอร์โพลิเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในอัตราส่วนต่างๆ (รูปที่ 4.5-4.6) พบว่าเมื่อปริมาณของแคลบเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น และคอมพอลิเมอร์โพลิเอสเตอร์ที่ปรับปรุงสมบัติโดยแคลบ 20 phr (TPCS/20RH) มีปริมาณความเป็นผลึกมากที่สุด ส่วนคอมพอลิเมอร์โพลิเอสเตอร์ที่ปรับปรุงสมบัติโดยกรดแลคติก (TPCS/2LA) มีปริมาณความเป็นผลึกน้อยที่สุด

4.4 สัณฐานวิทยา (Morphology)

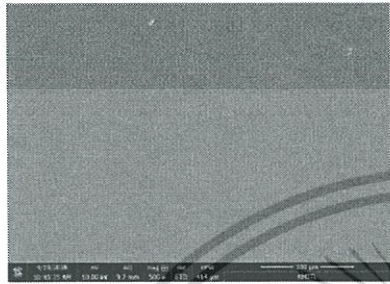
จากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาโดยพิจารณาขนาดของอนุภาค การกระจายตัว และความเข้ากันได้ของคอมพอลิเมอร์โพลิเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในอัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่าตามลำดับ ให้ผลการทดลองดังนี้



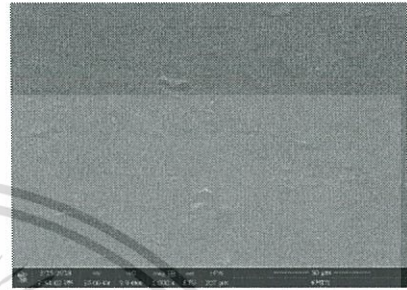
(ก) TPCS, 500X



(ข) TPCS, 1000X



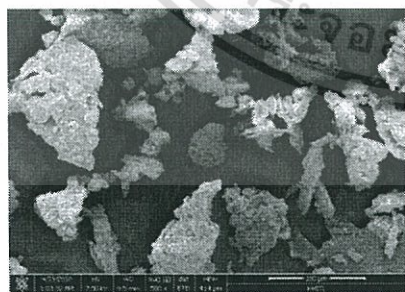
(ค) TPCS/2LA, 500X



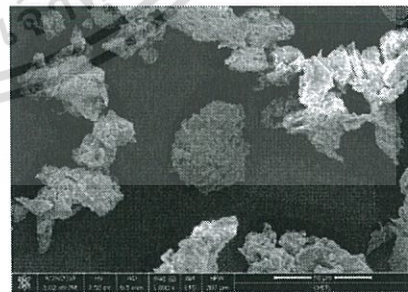
(ง) TPCS/2LA, 1000X

รูปที่ 4.8 ลักษณะสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 1000 เท่า

จากรูปที่ 4.8 (ก)-(ข) แสดงลักษณะภาพตัดขวางของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ ที่กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า ตามลำดับ พบว่ามีลักษณะพื้นผิวเรียบและเป็นเนื้อเดียวกันน้อยกว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงโดยกรดแลคติก



(ก) RH, 500X



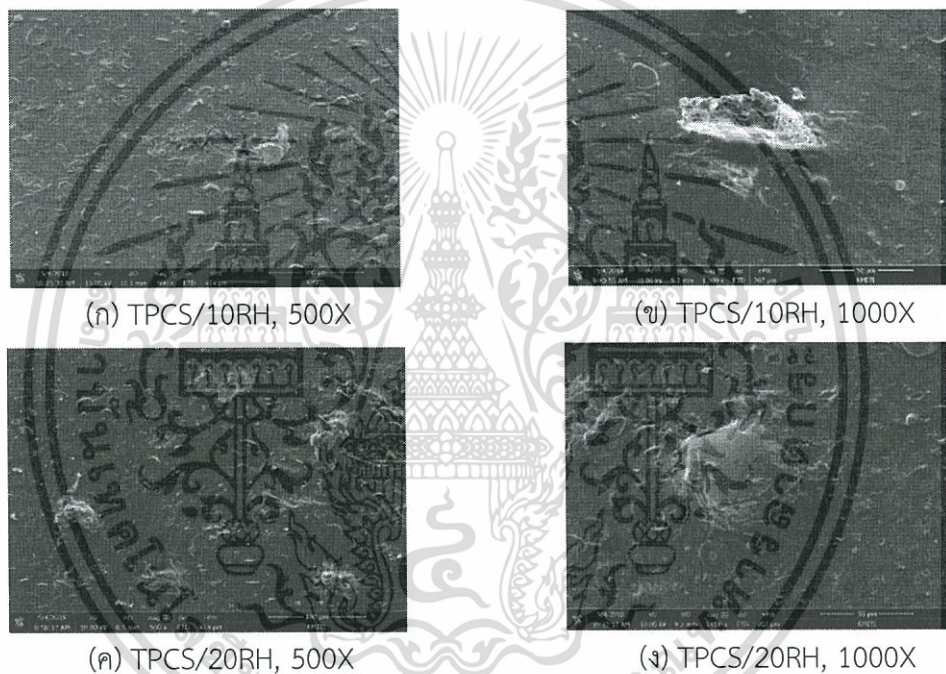
(ข) RH, 1000X

รูปที่ 4.9 ลักษณะสัณฐานวิทยาของแกลบ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 1000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของแกลบ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 1000 เท่า ตามลำดับ พบว่า แกลบมีลักษณะรูปร่างไม่แน่นอนมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 54.18 ± 27.10 ไมโครเมตร และมีความกว้างเฉลี่ยประมาณ 31.65 ± 9.30 ไมโครเมตร จาก 30 ตัวอย่าง และเมื่อนำไปคำนวณหาค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (L/D ratio) มีค่าเท่ากับ 1.79 ± 0.90 ไมโครเมตร

จากรูปที่ 4.11 ลักษณะภาพตัดขวางของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแกลบในอัตราส่วน 10 และ 20 phr ที่กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า ตามลำดับ พบว่าคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก มีลักษณะพื้นผิวเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน และมีสีที่ขาวขึ้นมากกว่าสูตรที่ไม่ได้ใส่กรดแลคติก

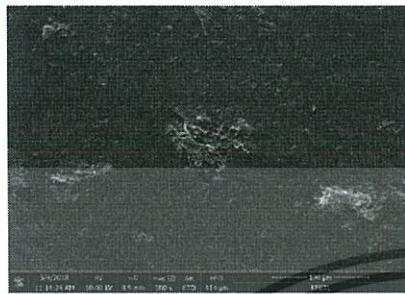


รูปที่ 4.10 ลักษณะสัณฐานวิทยาของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยแกลบในอัตราส่วน 10 และ 20 phr เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า

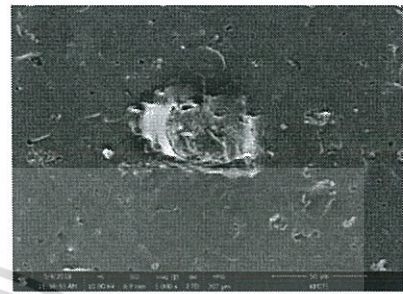
จากรูปที่ 4.10-4.11 คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแกลบในอัตราส่วน 10 และ 20 phr มีลักษณะแกลบกระจายตัวอยู่ทั่วเมทริกซ์ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช แต่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช และไม่มีรอยแยกระหว่างภูมิภาคขององค์ประกอบของแกลบและเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ซึ่งแสดงถึงความเข้ากันได้ระหว่างภูมิภาคของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชกับแกลบ เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชกับแกลบ

มีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายคลึงกัน คือ มีหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างเหมือนกัน จึงเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนเป็นเอกลักษณ์ที่ส่งผลให้วัสดุเกิดการแข็งตัวเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน (รูปที่ 4.1-4.2) และนอกจากนี้ยังพบว่า คอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์โพลีเอสเตอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแคลบในปริมาณที่มากขึ้น มีสีเข้มขึ้น และมีปริมาณของอนุภาคแคลบกระจายตัวอยู่บนพื้นผิวของโพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลังมากขึ้นด้วย



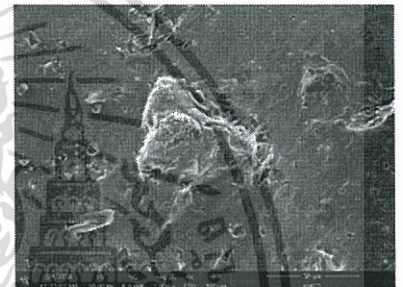
(ก) TPCS/2LA/10RH, 500X



(ข) TPCS/2LA/10RH, 1000X



(ค) TPCS/2LA/20RH, 500X

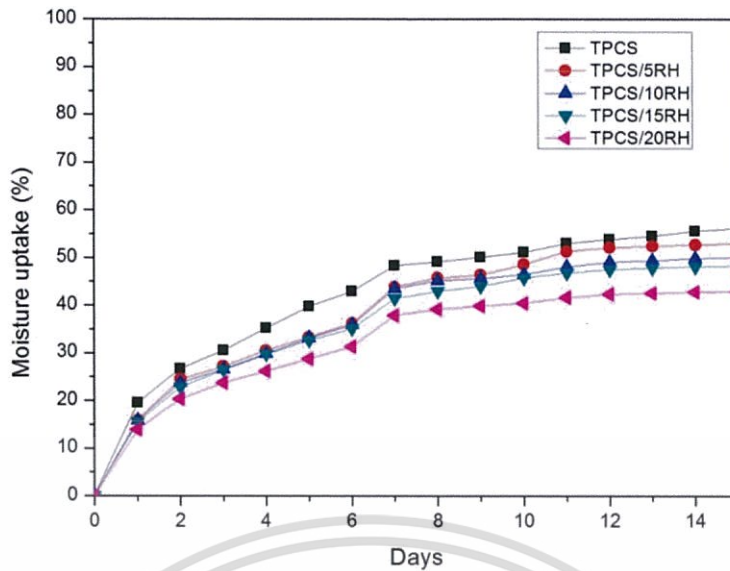


(ง) TPCS/2LA/20RH, 1000X

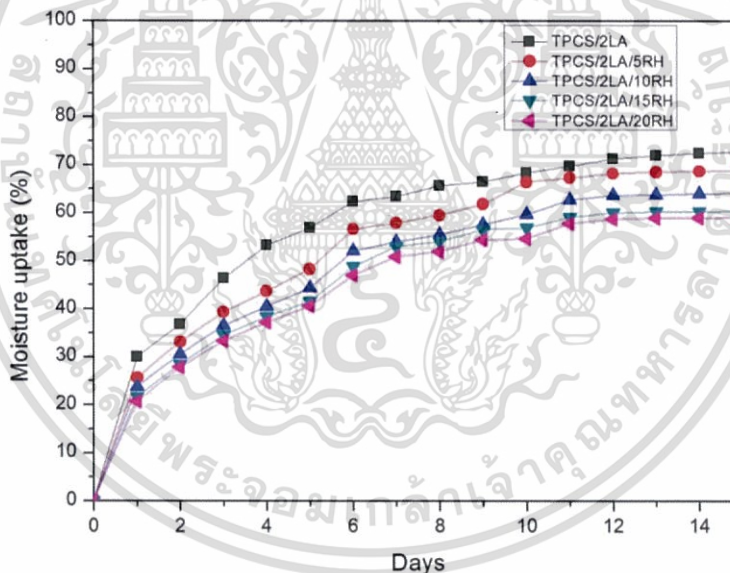
รูปที่ 4.11 ลักษณะสัณฐานวิทยาของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในอัตราส่วน 10 และ 20 phr เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า

4.5 การดูดซับความชื้น (Moisture uptake)

การดูดซับความชื้นของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในอัตราส่วนต่างๆ ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 99 ± 1 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ $30 \pm 3^\circ\text{C}$ ได้ผลการทดลองแสดงไว้ ในรูปที่ 4.12-4.13 และภาคผนวก ง



รูปที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยแคลบในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในอัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.12-4.13 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบอัตราส่วนที่ใช้ คือ 0 5 10 15 และ 20 phr ภายในระยะเวลา 15 วัน พบว่าชิ้นงานมีการดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดของทุกตัวอย่างในช่วง 7 วันแรก จากนั้นการดูดซับความชื้นมีแนวโน้มคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่าคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนพลาสติคสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก พบว่า เมื่อใส่กรดแลคติกทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากกรดแลคติกเกิดอันตรกิริยากับแป้งมันสำปะหลังเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันหรือไฮโดรไลซิส ทำให้ความชอบน้ำของแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจินตภา แต้มนสีคราม นอกจากนี้เมื่อเพิ่มปริมาณของแกลบ ส่งผลให้การดูดซึมน้ำลดลงตามลำดับเนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของแกลบประกอบไปด้วยเซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นสายโซ่ตรง ระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และมีปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลอิสระน้อยกว่าแป้ง ดังนั้นจึงมีการดูดซึมน้ำลดลง และในองค์ประกอบของแกลบมีลิกนินซึ่งมีโครงสร้างเป็นวงอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน แสดงความไม่มีขั้ว ส่งผลให้ความชอบน้ำลดลง ทำให้การดูดซึมน้ำน้อยลง [57]

คอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนพลาสติคสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติโดยแกลบ 20 phr (TPCS/20RH) มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด เนื่องจากปริมาณแกลบที่เพิ่มขึ้น ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแกลบเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระของแป้งมันสำปะหลังทำให้แป้งมันสำปะหลังมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระลดลง ส่งผลให้การดูดซึมน้ำน้อยลงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจิรวุฒิน์ สู่เสน และคณะ ที่ทำการศึกษาผลของปริมาณฟางข้าวและแกลบที่มีต่อคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนพลาสติคสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแกลบส่งผลให้การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดลง [13] จากการทดลอง พบว่า คอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนพลาสติคสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก มีการดูดซึมน้ำมากที่สุด คือ 72.01 ± 1.68 เปอร์เซ็นต์ และคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนพลาสติคสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติโดยแกลบ 20 phr มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดคือ 43.02 ± 2.19 เปอร์เซ็นต์

เมื่อทดสอบการดูดซึมน้ำถึงวันที่ 16 พบว่าเกิดเชื้อราขึ้นบนชิ้นงาน จึงหยุดการทดสอบในวันที่ 15 ของการศึกษาดูดซึมน้ำ

4.6 สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

การศึกษาสมบัติเชิงกลของคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนพลาสติคสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยการใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแกลบในปริมาณต่างๆ โดยเครื่อง Universal Testing Machine ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 ทำการศึกษาดังต่อไปนี้ ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด และมอดุลัส ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.14 ตารางที่ 4.4-4.5 และภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์สมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนแปลงของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาซจากแบ่ง
มันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแคลบในอัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์สมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนแปลง (%)		
	ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด	มอดุลัส	ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด
TPCS	0	0	0
TPCS/5RH	+19.23	+86.64	-108.87
TPCS/10RH	+50.43	+94.36	-357.23
TPCS/15RH	+53.85	+95.59	-701.72
TPCS/20RH	+66.67	+95.80	-1114.26

หมายเหตุ เครื่องหมาย “+” หมายถึงสมบัติเชิงกลที่เพิ่มขึ้น

เครื่องหมาย “-” หมายถึงสมบัติเชิงกลที่ลดลง

เปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลของ TPCS

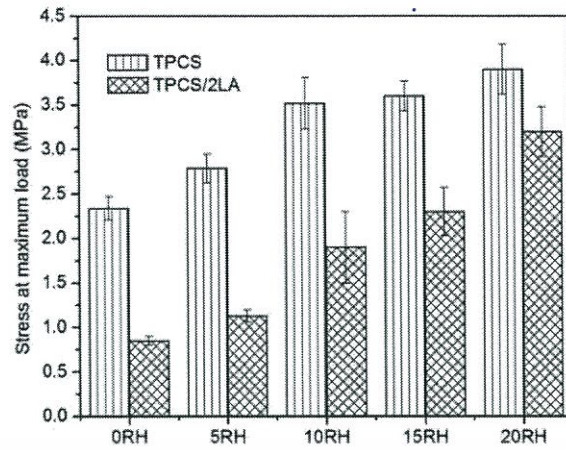
ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์สมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนแปลงของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาซจากแบ่ง
มันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก และแคลบในอัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์สมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนแปลง (%)		
	ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด	มอดุลัส	ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด
TPCS/2LA	0	0	0
TPCS/2LA/5RH	32.94	91.79	-135.06
TPCS/2LA/10RH	123.53	95.77	-359.33
TPCS/2LA/15RH	170.59	96.99	-686.82
TPCS/2LA/20RH	276.47	97.64	-1156.46

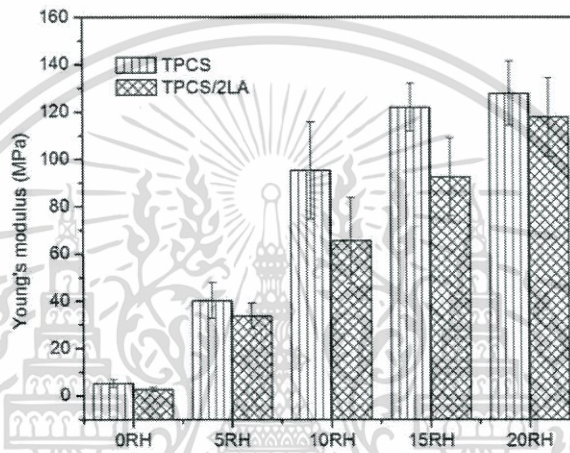
หมายเหตุ เครื่องหมาย “+” หมายถึงสมบัติเชิงกลที่เพิ่มขึ้น

เครื่องหมาย “-” หมายถึงสมบัติเชิงกลที่ลดลง

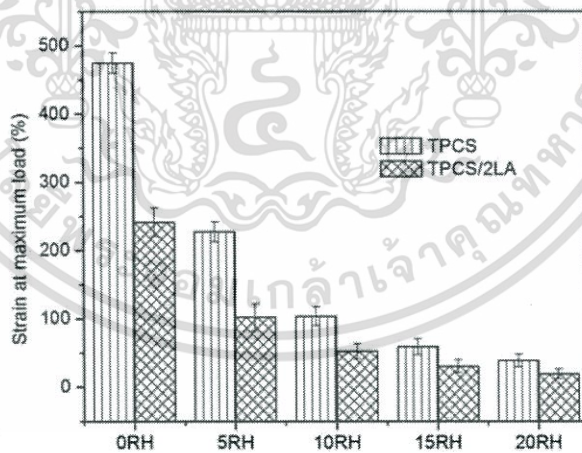
เปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลของ TPCS/2LA



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.14 สมบัติเชิงกลของคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยเส้นใยในอัตราส่วนต่างๆ (ก) ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (ข) โมดูลัส และ (ค) ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 (ก-ค) และตารางที่ 4.4-4.5 แสดงสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในอัตราส่วน 0 5 10 15 และ 20 phr พบว่า คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก มีความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด และมอดุลัส มีแนวโน้มลดลง แต่ในทางตรงกันข้ามความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

จากการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก พบว่า สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก มีแนวโน้มที่ต่ำกว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติโดยกรดแลคติก เนื่องจากโครงสร้างของกรดแลคติกสามารถเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันหรือไฮโดรไลซิสกับแป้งได้ ทำให้สายโซ่โมเลกุลของแป้งสั้นลง ดังนั้นความสามารถในการรับแรงดึงจึงลดลงซึ่งสัมพันธ์กับผลของ FT-IR (รูปที่ 4.2) แสดงให้เห็นความยาวคลื่นที่ 1742 cm^{-1} เป็นการสั่นของ C=O Stretching จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Majzoubi, M. and Beparva, P. [8] ซึ่งพบว่ากรดแลคติกสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับแป้งมันสำปะหลัง ทำให้สายโซ่โมเลกุลของแป้งสั้นลง จึงส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลที่ลดลง

จากรูปที่ 4.14 (ก-ค) และตารางที่ 4.4-4.5 เมื่อเปรียบเทียบกับคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยแคลบ และไม่เสริมแรงด้วยแคลบ พบว่า คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยแคลบในปริมาณ 5 10 15 และ 20 มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นตามลำดับ เนื่องจาก ปริมาณของแคลบส่งผลให้ มีความเป็นผลึกที่สูงขึ้น ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากผลของ XRD (รูปที่ 4.6-4.7) และยังสัมพันธ์กับผลของ FT-IR (รูปที่ 4.2-4.3) แสดงให้เห็นว่าการสั่นแบบ O-H Stretching และ O-H Bending ของแป้งมีการยับยั้งตำแหน่งของเลขคลื่นที่ลดลง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของจิรวัดน์ สุเสน และคณะ [13] ซึ่งพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแคลบ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดในด้านความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด และมอดุลัส

จากผลการทดลองพบว่า TPCS/20RH มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด คือ มีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด เท่ากับ $3.90 \pm 0.28\text{ MPa}$ และค่ามอดุลัส เท่ากับ $127.96 \pm 13.51\text{ MPa}$ และ TPCS/2LA มีค่าความเค้นและมอดุลัสต่ำที่สุด คือ มีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด เท่ากับ $0.85 \pm 0.05\text{ MPa}$ และค่ามอดุลัส เท่ากับ $2.78 \pm 0.90\text{ MPa}$

จากการขึ้นรูปชิ้นงานที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแคลบ 20 phr พบว่า ในการผสมในเครื่องผสมระบบปิดส่วนของแป้งและแคลบมีลักษณะเกาะกันเป็นก้อนได้น้อยลงและเห็นแคลบที่บริเวณพื้นผิวมากขึ้น ซึ่งแสดงถึงความเข้ากันได้ลดลง เมื่อพิจารณาหากใส่ปริมาณแคลบที่มากขึ้น อาจทำให้ส่วนของแป้งและแคลบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และไม่สามารถขึ้นรูปได้

4.7 การย่อยสลายโดยการฝังดิน (Biodegradation properties)

สมบัติการย่อยสลายทดสอบโดยการฝังดินและสามารถทำได้โดยนำคอมพอสทิทเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จากแป้งมันสำปะหลังปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในปริมาณต่าง ๆ มาฝังดินและควบคุมความชื้นของดินที่ 5-10 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 3 วัน ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.15-4.16 และภาคผนวก ฉ

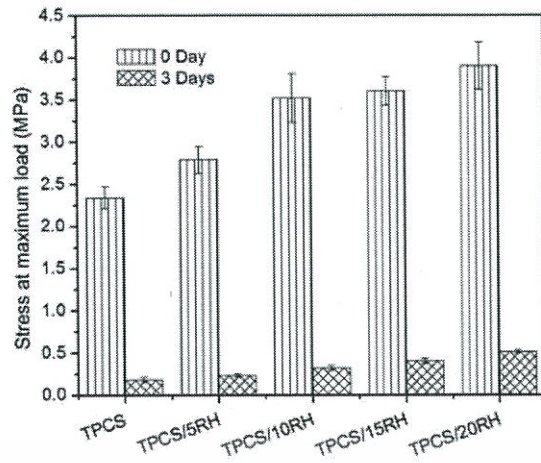
ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลหลังจากนำชิ้นงานไปฝังดิน พบว่า สมบัติเชิงกลหลังฝังดินลดลงทั้งค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด โมดูลัส และความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด ของทั้งคอมพอสทิทเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในปริมาณต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนฝังดินอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 4.15-4.16) เนื่องจากคอมพอสทิทเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์มีส่วนประกอบของแป้งซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบคอมพอสทิทเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จึงสามารถดูดความชื้นจากดินได้ รวมทั้งการย่อยสลายของในดินซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์ [55] ส่งผลให้คอมพอสทิทเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์มีลักษณะอ่อนตัว นิ่มมากขึ้นง่ายต่อการฉีกขาดเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนฝังดิน จึงทำให้สมบัติเชิงกลมีค่าลดลงอย่างชัดเจน

เมื่อพิจารณาผลของกรดแลคติก พบว่าคอมพอสทิทเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์ที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก มีแนวโน้มของสมบัติเชิงกลต่ำกว่าคอมพอสทิทเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์ที่ปรับปรุงสมบัติโดยไม่ใช้กรดแลคติกทั้งก่อนและหลังฝังดิน เนื่องจากกรดแลคติกทำอันตรกิริยากับแป้งมันสำปะหลัง เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เกิดสายโซ่กึ่งขวางการจัดเรียงผลึก และอาจเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลง ทำให้ดูดความชื้นมาก สมบัติเชิงกลต่ำลง จึงมีการย่อยสลายเร็วกว่าคอมพอสทิทเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์ที่ปรับปรุงสมบัติโดยไม่ใส่กรดแลคติก โดยมีสังเกตได้จากเปอร์เซ็นต์สมบัติเชิงกลที่ลดลงของตัวอย่างที่ใช้กรดแลคติก มีค่าลดลงมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้ (ตารางที่ 4.6)

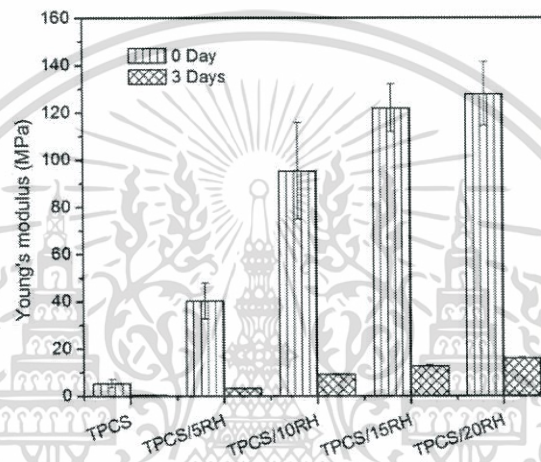
ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์สมบัติเชิงกลที่ลดลงของตัวอย่างหลังการฝังดิน

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์สมบัติเชิงกลที่ลดลง (%)		
	ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด	มอดุลัส	ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด
TPCS	92.31	92.57	73.72
TPCS/5RH	91.76	91.89	69.73
TPCS/10RH	90.91	90.30	63.58
TPCS/15RH	88.89	89.52	47.93
TPCS/20RH	86.92	87.53	36.35
TPCS/2LA	97.65	94.96	74.30
TPCS/2LA/5RH	93.80	92.97	70.30
TPCS/2LA/10RH	92.10	91.76	61.50
TPCS/2LA/15RH	90.87	90.02	48.73
TPCS/2LA/20RH	87.19	89.86	38.44

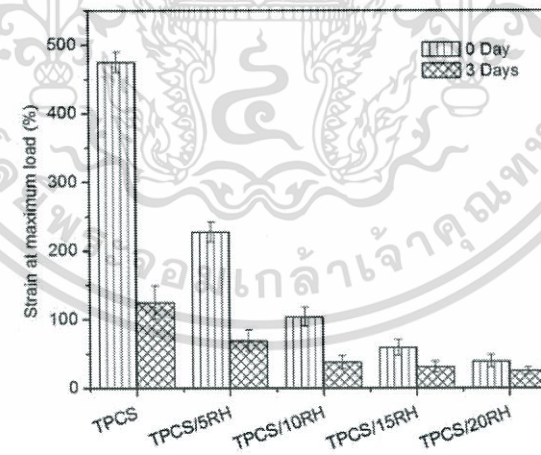
และเมื่อพิจารณาผลของแกลบ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแกลบ มีแนวโน้มของสมบัติเชิงกลที่มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ใส่แกลบ เนื่องจากแกลบเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับแป้งมันสำปะหลังและแกลบมีผลึกสูง ทำให้สมบัติเชิงกลสูงขึ้น มีการดูดความชื้นลดลง จึงมีการย่อยสลายที่ช้ากว่าสูตรที่ไม่ใส่แกลบ โดยสังเกตได้จากเปอร์เซ็นต์สมบัติเชิงกลที่ลดลงของตัวอย่างที่ใส่แกลบ ค่าลดลงน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ใส่ (ตารางที่ 4.6)



(ก)



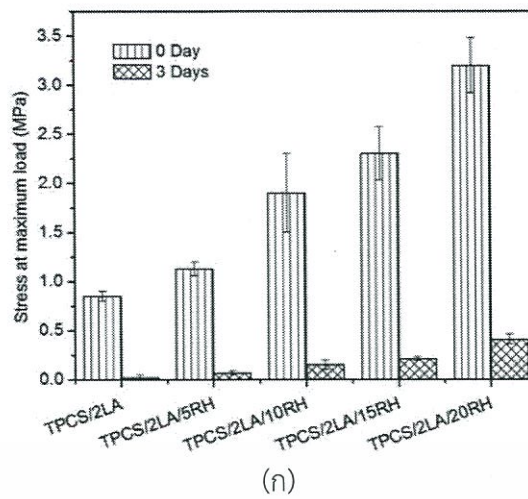
(ข)



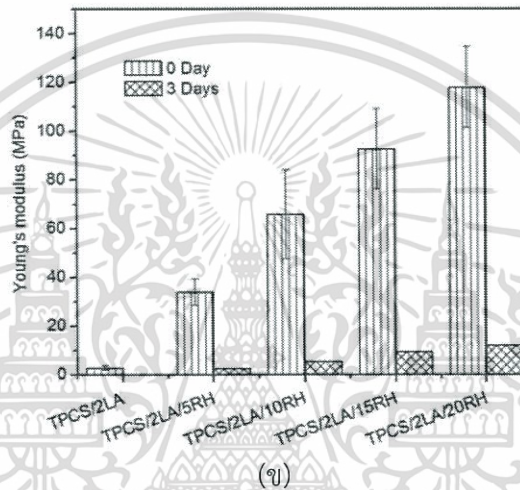
(ค)

รูปที่ 4.15 สมบัติเชิงกลก่อนและหลังฝังดินของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังโดยไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในปริมาณต่าง ๆ (ก) ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (ข) มอดุลัส และ (ค) ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด

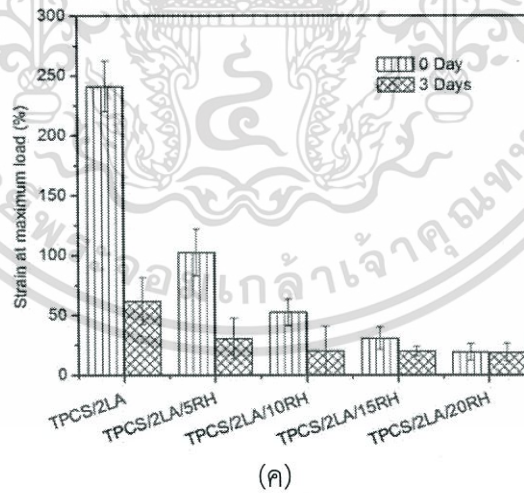
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.16 สมบัติเชิงกลก่อนและหลังฝังดินของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยกลบในปริมาณต่างๆ (ก) ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (ข) มอดุลัส และ (ค) ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด

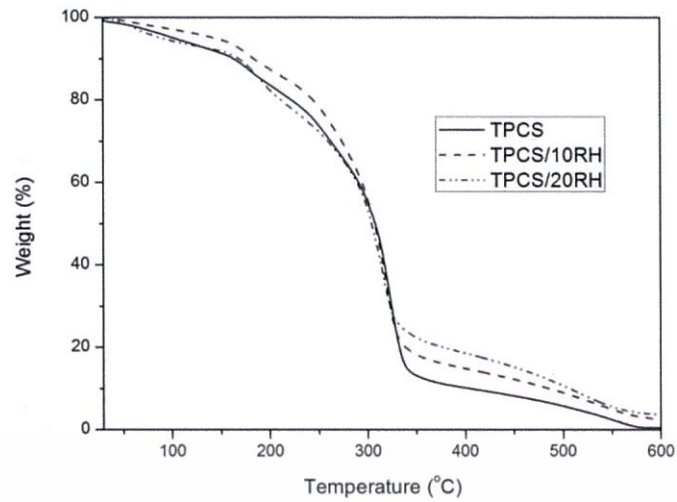
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 สมบัติทางความร้อน (Thermal properties)

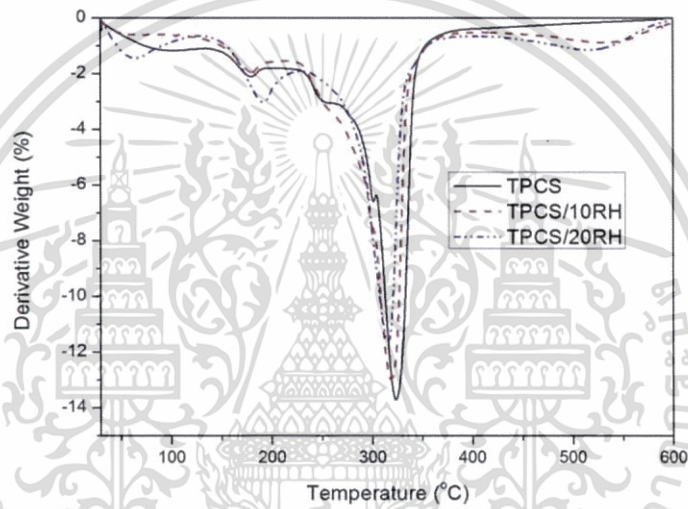
อุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อน (Degradation temperature) ของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และแคลบ ในอัตราส่วนต่างๆ สมบัติที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิการสลายตัว (Degradation temperature) และน้ำหนักที่หายไป (weight loss) ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้

จากรูปที่ 4.17-4.18 และตารางที่ 4.5 พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ และคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงสมบัติโดยกรดแลคติก มีอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อน 2 ช่วง โดยช่วงที่ 1 เป็นอุณหภูมิในการสลายตัวของกลีเซอรอล และช่วงที่ 2 เป็นอุณหภูมิในการสลายตัวของแป้ง ซึ่งคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ มีช่วงที่ 1 ณ อุณหภูมิ 178.50 องศาเซลเซียส และช่วงที่ 2 ณ อุณหภูมิ 323.10 องศาเซลเซียส ส่วนคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงสมบัติโดยกรดแลคติก มีช่วงที่ 1 ณ อุณหภูมิ 193.26 องศาเซลเซียส และช่วงที่ 2 ณ อุณหภูมิ 321.73 องศาเซลเซียส จากผลการทดลอง พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงสมบัติโดยกรดแลคติก มีอุณหภูมิการสลายตัวลดลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างกรดแลคติกกับแป้ง ทำให้สายโซ่โมเลกุลของแป้งสั้นลง อุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนจึงลดลง และน้ำหนักที่หายไปมีค่าลดลง แสดงถึงการมีเสถียรภาพทางความร้อนดีขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างแป้งกับกรดแลคติก ทำให้มีปริมาณของหมู่ข้างเคียงมากขึ้น จึงสามารถกักเก็บความร้อนได้ดีขึ้น [63]

จากรูปที่ 4.17-4.18 และตารางที่ 4.5 พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงสมบัติโดยแคลบ มีอุณหภูมิการสลายตัว 3 ช่วง โดยช่วงที่ 1 เป็นอุณหภูมิในการสลายตัวของกลีเซอรอล ช่วงที่ 2 เป็นอุณหภูมิในการสลายตัวของแป้ง และช่วงที่ 3 เป็นอุณหภูมิในการสลายตัวของลิกนินที่เป็นองค์ประกอบในแคลบ [13] นอกจากนี้คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงสมบัติโดยแคลบ มีอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนลดลง เนื่องจากในแคลบมีปริมาณของเซลลูโลสมาก ซึ่งเซลลูโลสมีอุณหภูมิการสลายตัวต่ำกว่าแป้ง [64] และมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงสมบัติโดยไม่ใส่แคลบ เนื่องจากในแคลบมีองค์ประกอบของซิลิกา เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของซิลิกากับแป้ง [57] ส่งผลให้สลายตัวได้ยากขึ้น



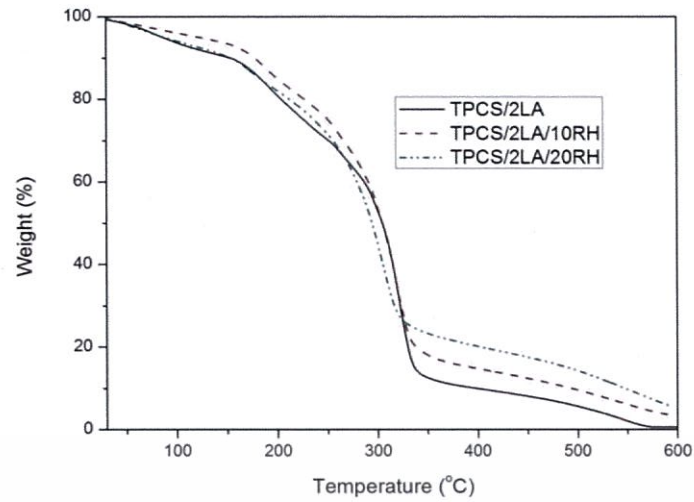
(ก)



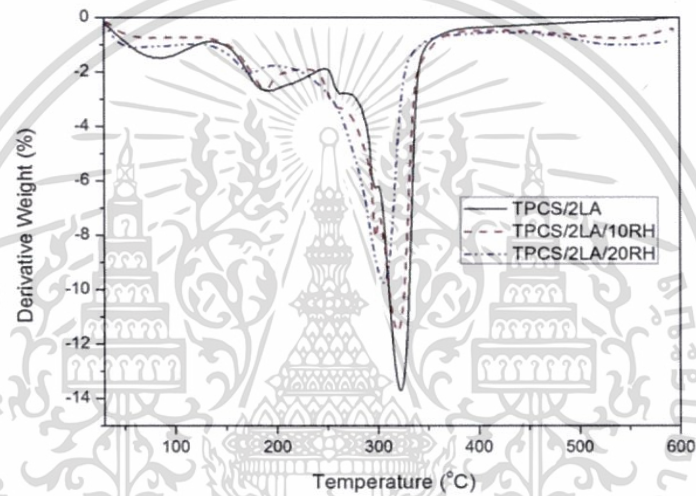
(ข)

รูปที่ 4.17 (ก) TG และ (ข) DTG เทอร์โมแกรมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยไม่ใช้กรดแลคติกและเสริมแรงด้วยกลบในอัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.18 (ก) TG และ (ข) DTG เทอร์โมแกรมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก และแคลบในอัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 อุณหภูมิการสลายตัว ($^{\circ}\text{C}$) ของคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนสไตรีนจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และแกลบ ในอัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัว ($^{\circ}\text{C}$)			น้ำหนักที่ หายไป (phr)
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	
	(กลีเซอรอล)	(แป้ง)	(แกลบ)	
TPCS	178.50	323.10	-	53.13
TPCS/10RH	180.73	319.75	502.86	41.90
TPCS/20RH	191.74	315.00	500.17	37.13
TPCS/2LA	193.26	321.73	-	49.51
TPCS/2LA/10RH	190.03	318.52	500.48	40.26
TPCS/2LA/20RH	174.17	307.54	501.47	36.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของกรดแลคติก และปริมาณแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด แล้วขึ้นรูปขึ้นงานด้วยเครื่องกดอัด ซึ่งสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 จากการศึกษาการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน สเปกตรัมที่ได้ พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก (TPCS/2LA) มีพีคที่ตำแหน่งประมาณ 1742 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบ C=O Stretching ส่วนเทอร์โมพลาสติกคอมพอสิตสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแอลกอฮอล์ (TPCS/RH) พบพีคที่ตำแหน่ง 1739 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบ C=O Stretching นอกจากนี้พบว่าพีคที่ตำแหน่งของ O-H Stretching และ O-H Bending มีตำแหน่งเลขคลื่นที่ลดลง เมื่อใส่แอลกอฮอล์

5.1.2 จากการศึกษาการหาค่าความหนืด พบว่า คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก (TPCS/2LA) มีค่าความหนืดลดลง เมื่อเทียบกับคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ (TPCS)

5.1.3 จากการศึกษาการวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึก และปริมาณความเป็นผลึก พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยกรดแลคติก (TPCS/2LA) มีความเป็นผลึกน้อยกว่าสูตรที่ไม่ใช้กรดแลคติก และคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแอลกอฮอล์ในปริมาณที่มากขึ้น (TPCS/RH) ส่งผลให้ความเป็นผลึกมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ซึ่งคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแอลกอฮอล์ 20 phr (TPCS/2ORH) มีเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกที่สูงที่สุด

5.1.4 จากการศึกษาสัญญาณวิทยา พบว่า มีลักษณะแถบกระจายตัวอยู่ทั่วเมทริกซ์ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ แต่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ และไม่มีรอยต่อระหว่างวัฏภาคขององค์ประกอบของแอลกอฮอล์และเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ นอกจากนี้ยังพบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงสมบัติโดยกรดแลคติก (TPCS/2LA) มีลักษณะพื้นผิวเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน และมีสีที่ขาวมากกว่าสูตรที่ไม่ได้ใส่กรดแลคติก ส่วนคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแอลกอฮอล์ (TPCS/RH) ในปริมาณที่มากขึ้น มีสีเข้มขึ้น และมีปริมาณของอนุภาคแอลกอฮอล์กระจายตัวอยู่บนพื้นผิวของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซมากขึ้นด้วย

5.1.5 จากการศึกษาการดูดซับความชื้น พบว่า คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก (TPCS/2LA) เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้แอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(TPCS/RH) มีเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นมีแนวโน้มลดลง ซึ่งคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้แคลบ 20 phr (TPCS/20RH) มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นที่น้อยที่สุด และคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก (TPCS/2LA) มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นที่มากที่สุด

5.1.6 จากการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่า คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแลคติก (TPCS/2LA) มีสมบัติเชิงกลลดลง และเทอร์โมพลาสติกคอมพอสิตสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแคลบ (TPCS/RH) มีสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น เมื่อใส่แคลบมากขึ้น ส่วนคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแคลบ 20 phr (TPCS/20RH) มีความแข็งแรงมากที่สุด และคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงมีสมบัติโดยกรดแลคติก (TPCS/2LA) มีสมบัติเชิงกลต่ำที่สุด จากการขึ้นรูปชิ้นงานที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแคลบ 20 phr พบว่า ในการผสมในเครื่องผสมระบบปิด ส่วนของแป้งและแคลบมีลักษณะเกาะกันเป็นก้อนได้น้อยลงและเห็นแคลบที่บริเวณพื้นผิวมากขึ้น ซึ่งแสดงถึงความเข้ากันได้น้อยลง เมื่อพิจารณาหากใส่ปริมาณแคลบที่มากขึ้น อาจทำให้ส่วนของแป้งและแคลบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และไม่สามารถขึ้นรูปได้

5.1.7 จากการศึกษาสมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดิน พบว่า คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงสมบัติโดยกรดแลคติก (TPCS/2LA) มีแนวโน้มของสมบัติเชิงกลต่ำกว่าสูตรที่ไม่ใช้กรดแลคติกทั้งก่อนและหลังฝังดิน และคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแคลบ (TPCS/RH) มีแนวโน้มของสมบัติเชิงกลที่มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ใส่แคลบ

5.1.8 จากการศึกษาสมบัติทางความร้อน พบว่า คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดแลคติก (TPCS/2LA) มีอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของแป้งและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปมีค่าลดลง เช่นเดียวกับคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแคลบ (TPCS/RH) มีอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของแป้งและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปมีค่าลดลง ส่วนเทอร์โมคอมพอสิตพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ (TPCS) มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปมากที่สุด แสดงว่ามีเสถียรภาพทางความร้อนน้อยที่สุด และคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงสมบัติโดยกรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบ 20 phr (TPCS/2LA/20RH) มีเสถียรภาพทางความร้อนมากที่สุด

5.1.9 สูตรที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้ คือ คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแคลบ 20 phr (TPCS/20RH) โดยสามารถพิจารณาได้จากเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกที่สูงที่สุด สมบัติเชิงกลที่สูงที่สุด และดูดความชื้นน้อยที่สุด ส่วนคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดแลคติก (TPCS/2LA) มีเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกต่ำที่สุด สมบัติเชิงกลต่ำที่สุด และการดูดซับความชื้นที่มากที่สุด แต่การย่อยสลายได้เร็วที่สุดและมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบเป็นเนื้อเดียวกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาการขึ้นรูปด้วยวิธีอื่น เช่น การฉีดขึ้นรูป การอัดรีดขึ้นรูป เป็นต้น เพื่อศึกษาวิธีการขึ้นรูปที่เหมาะสมในการผลิตชิ้นงานในรูปแบบต่างๆ

5.2.2 ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลด้วยอนุภาคอื่นๆ เช่น ซีเมนต์ แกลบ เนื่องจากซีเมนต์แกลบมีองค์ประกอบของซิลิกามากกว่าแกลบ มีลักษณะสีขาว เนื้อซีเมนต์แกลบแตกหักเป็นผงขนาดเล็ก

5.2.3 ศึกษาการปรับปรุงสมบัติให้วัสดุดูดซับความชื้นให้น้อยลง โดยการปรับปรุงพื้นผิวของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลด้วยสารอื่น เช่น ไฮเลนหรือกรดสเตียริก เป็นต้น

5.2.4 ศึกษา และปรับปรุงคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลให้มีความทนทานต่อการเกิดเชื้อรามากขึ้น โดยการเติมสารป้องกันเชื้อรา เช่น แคลเซียมโพรฟิไอเนต เป็นสารกันเชื้อราในผลิตภัณฑ์ขนมปัง ซึ่งเป็นเกลือของกรดโพรฟิไอเนต [62]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ไพศาล นาคพิพัฒน์. 2547. “พลาสติกกับชีวิตในปัจจุบัน.” สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. เล่มที่ 28 : 231-263.
- [2] อิศรา เพ็ชรยิ้ม. 2557. พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ. “บทความวิทยุกระจายเสียงรายการ วันนี้กับวิทยาศาสตร์ ครั้งที่ ๗๖.” กรุงเทพฯ : สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย
- [3] กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์เทคโนโลยี มหวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2559. อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง. [Online]. Available : http://web.sut.ac.th/cassava/?name=10cas_technology&file=readknowledge&id=13. สืบค้นข้อมูล วันที่ 11/พ.ย./60.
- [5] Siamchemi. กรดแลคติก. [Online]. Available : <http://www.siamchemi.com/กรดแลคติก/>. สืบค้นข้อมูลวันที่ 11/พ.ย./60.
- [6] สถาบันพลาสติกสนับสนุนโดยสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2558. กรดแลคติก. [Online] Available : <http://asp.plastics.or.th:8001/>. สืบค้นข้อมูล วันที่ 12/พ.ย./60.
- [7] มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี. 2553. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง. [Online]. Available : <http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/6170/9/Chapter2.pdf>. สืบค้นวันที่ 13/พ.ย./60.
- [8] 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.
- [9] กัญญาภรณ์ แทนเพชร, ขวัญชนก มโนภาพ และจินตมาศ สรรพทรัพย์ศิริ. 2557. “สมบัติต่างๆของฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยกรดซิตริก และกรดมาลิก.”โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [10] วัลลดา หวานเสนาะ. 2553. “สมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชคอมโพสิตจากแป้งข้าวเจ้า เสริมแรงด้วยเส้นใยต่างชนิด.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] Prachayawarakorn, J. Chaiwatyothin, S. and Hanchana, A. 2013. "Effect of jute and kapok fibers on thermoplastic cassava starch composite." *Material and Design*. 61 : 309-315.
- [12] Vallejos, E.V. Curvelo, A.A.S. Teixeira, E.M. Mendes, F.M. Carvalho, A.J.F. Felissia, F.E. and Area, M.C. 2011. "Composite materials of thermoplastic starch and fibers from the ethanol-water fractionation of bagasse." *Industrial Crops and Products*. 33 : 739-746.
- [13] จิรวัดน์ สู่เสน, พียรยากร สีสัน และศศิตา ปิยทัสสกร. 2559. "ผลของปริมาณฟางข้าวและ แกลบที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิทเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง. โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [14] ไพศาล นาคพิพัฒน์. "พลาสติกกับชีวิตในปัจจุบัน." 2547. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. เล่มที่ 28 : 231-263.
- [15] สมจิตต์ ตั้งชัยวัฒนา. 2558. ชนิดของพลาสติก. กรุงเทพฯ : โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
- [16] หฤหัทธ์ กิรติเสวี, ฉัตรชัย วีระนิติสกุล และอภิรัตน์ เล่าห์บุตรี. 2552. "ภาพรวมของวัสดุเชิง ประกอบ." *วิศวกรรมสาร มก.* 22(70) : 18-32
- [17] อิทธิพล แจ่มชัด. 2554. "พอลิเมอร์คอมโพสิต." เอกสารประกอบการสอนวิชาพอลิเมอร์ คอมโพสิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.
- [18] หฤหัทธ์ กิรติเสวี, ฉัตรชัย วีระนิติสกุล และอภิรัตน์ เล่าห์บุตรี. 2552. "ภาพรวมของวัสดุเชิง ประกอบ." *วิศวกรรมสาร มก.* ฉบับที่ 70 ปีที่ 22
- [19] Whistler, R.L. Bemiller, J.N. and Paschall, E.F. 1984. *Starch : chemistry and technology*. 2nd ed. Florida : Academic Press.
- [20] มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. 2559. องค์ประกอบหัวมันสำปะหลัง. [Online]. Available : [http:// www. tapiocathai. org/ D. html](http://www.tapiocathai.org/D.html) . สืบค้นเมื่อวันที่ 16/พ.ย./60.
- [21] Fineartamerica. 2559. ลักษณะของเม็ดแป้งของแป้งมันสำปะหลัง. [Online]. Available: [https:// fineartamerica.com / featured /1-cassava-starch-granules-tsem-scimat.html](https://fineartamerica.com/featured/1-cassava-starch-granules-tsem-scimat.html). สืบค้นเมื่อวันที่ 20/พ.ย./60.
- [22] มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. 2559. อุตสาหกรรมมันสำปะหลัง. [Online]. Available: http://kasetinfo.arda.or.th/arda/cassava/?page_id=256. สืบค้นเมื่อวันที่ 20/พ.ย./60.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [23] กลุ่มระบบงานวิจัย กองแผนงาน ร่วมกับกลุ่มวิจัยและพัฒนาอินทรีย์วัตถุเพื่อการเกษตร สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. 2559. การไกลบตอซังเพื่อปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิต ข้าว. [Online]. Available : [http:// www.ddd.go.th/ menu_moc/ POSTER_/rice /rice.htm](http://www.ddd.go.th/menu_moc/POSTER_/rice /rice.htm). สืบค้นเมื่อวันที่ 21/พ.ย./60
- [24] Kaewtatip, K. and Thongmee, J. 2012. “Studies on the structure and properties of thermoplastic starch/luffa.” *Material and Design*. 40 : 314-318.
- [25] บุญรักษ์ กาญจนวรวณิษฐ์. 2559. สารน่ารู้ : เล้าแกลบ ของเหลือสารพัดประโยชน์. [Online]. Available : [https:// www.mtec. or. th / academic - servicesmtec-knowledge / 865](https://www.mtec.or.th/academic-servicesmtec-knowledge/865) . สืบค้นเมื่อวันที่ 21/พ.ย./60
- [26] Prachayawarakorn, J. and Yaembunying, N. 2005. “Effect of recycling on properties of rice husk-filled-polypropylene.” *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 27(2) : 343-352
- [27] Seiichiro, T. Horonori, L. Takeshi, H. and Shinichiro, Y. 2016. Hierarchical porous carbon from cell assemblies of rice husk for in vivo applications. [Online]. Available : [http:// pubs.rsc.org /en /content / articlehtml / 2010 / md / c0md00011f](http://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2010/md/c0md00011f). สืบค้นเมื่อวันที่ 21/พ.ย./60.
- [28] Prachayawarakorn, J. and Hwansanoet, W. 2012. “ Effect of silk protein fibers on properties of thermoplastic rice starch.” *Fibers and Polymers*. 13(5) : 606-612.
- [29] จุมพล เหมะคีรินทร์. 2559. พลาสติกย่อยสลายได้นวัตกรรมเพื่อโลก. [Online]. Available: [http:// nstda.or.th / rural / public / 100%20articles-stkc /39. pdf](http://nstda.or.th/rural/public/100%20articles-stkc/39.pdf). สืบค้นเมื่อวันที่ 25/พ.ย./60.
- [30] แพรววี เคหะสุวรรณ พนาวัลย์ เสนีวงศ์ ณ อยุธยา และอนุสรณ์ มูลป้อม. 2556. “พลาสติกชีวภาพสำหรับการประยุกต์ใช้ในด้านการตลาดของการเกษตรกรในเขตปฏิรูปที่ดิน.” *เอกสารวิชาการ*. 2556(132) : 40-41.
- [31] 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.
- [32] Arham, R. Mulyati, M.T. Metusalach, M. and Salengke, S. 2016. “Physical and mechanical properties of edible film from cassava starch mixed with polysaccharide.” *International Food Research Journal*. 23 : 1669-1675.
- [33] Department of chemical technology, faculty of science, Chulalongkorn University. 2016. X-Ray Diffraction Analysis (XRD). [Online]. Available, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อใดๆ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- http://www.chemtech.sc.chula.ac.th/facilities_detail.php?categoryid=17&categorysubid=29&detailid=256. สืบค้นเมื่อวันที่ 25/พ.ย./60.
- [34] สุภาณี หิรัญธนกิจจากุล. 2538. ความรู้เกี่ยวกับสิ่งเป็นพิษ ตอนที่10. กรุงเทพมหานคร กระทรวงสาธารณสุข.
- [35] ไพศาล นาคพิพัฒน์. 2547. พลาสติกกับชีวิตในปัจจุบัน. ส่วนประกอบสำคัญในอุตสาหกรรมพลาสติก. [Online]. Available : <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=28&chap=8&page=t28-8-infodetail05.html>. สืบค้นเมื่อวันที่ 26/พ.ย./60.
- [36] ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร. 2557. “กลีเซอรอล: การใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตแก๊สไฮโดรเจน.” *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*. 23(2) : 141-142.
- [37] สำนักนวัตกรรมแห่งชาติ. ม.ป.พ. บทที่ 3 เทคโนโลยีของประเทศผู้นำด้านพลาสติกย่อยสลายได้ ทางชีวภาพ.
- [38] สงวนชัยเคมี. 2559. Magnesium Stearate (octadecanoic acid /magnesium salt) (FACI BRAND) : แมกนีเซียม สเตียเรท / แป้งลีน / เกลือแมกนีเซียม. [Online]. Available : <http://saguanchaichem.com/ProductDetails/Magnesiuearate.html>. สืบค้นเมื่อวันที่ 26/พ.ย./60.
- [39] Teixeira, E. M. Pasquini, D. Curvelo, A. A. S. Corradini, E. Belgacem, M. N. and Dufresne, A. 2009. “Cassava bagasse cellulose nanofibrils reinforced thermoplastic cassava starch.” *Carbohydrate Polymers*. 78 : 422-431.
- [40] Kaushik, A. Singh, M. and Verma, G. 2010. “Green nanocomposites based on thermoplastic starch and steam exploded cellulose nanofibrils from wheat straw.” *Carbohydrate Polymers*. 82 : 337-345.
- [41] Prachayawarakorn, J. Sangnitivej, P. and Boonpasith, P. 2010. “Properties of thermoplastic rice starch composites reinforced by cotton fiber or low density polyethylene.” *Carbohydrate Polymers*. 81(2) : 425-433.
- [42] จันจิรา จันท์แจ่ม, เพียงฟ้า สิงห์อุดม และศศิกร ภูมิแก้ว. 2558. “การปรับปรุงสมบัติของคอมโพสิตย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งท้าวยาม่อมเสริมแรงด้วยเส้นใยุ่นและปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก.” *โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*.
- [43] Hunga, P.V. Nguyen, T.M.H. Nguyen, T.L.P. and Nguyen, N.T.T. 2017. “Physicochemical characteristics and in vitro digestibility of potato and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

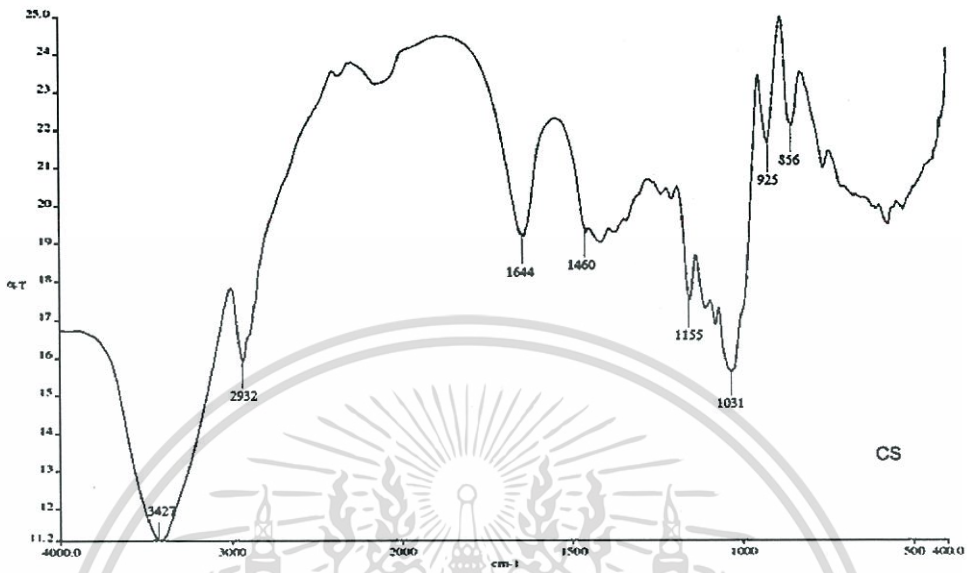
- cassava starches under organic acid and heat-moisture treatments.” *International Journal of Biological Macromolecules*. 95 : 299-305.
- [44] Prachayawarakorn, J. and Pattanasin, W. 2016. “Effect of pectin particles and cotton fibers on properties of thermoplastic cassava starch composites.” *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 38(2) : 129-136.
- [45] Luna, I. Z. Dam, K. C. Sarwaruddin, C. Gafur, M. A. and Ruhul A. K. 2015. “ Mechanical and spectroscopic properties of rice husk reinforced polypropylene composites: effect of sodium hydroxide.” *International Journal of Composite Materials*. 5(6) : 162-166
- [46] Ngah, W.S. and Hanafiah, M. A. K. M. 2008. “ Removal of heavy metal from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents. ” *Bioresource Technology*. 99(10) : 3935-3948.
- [47] สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2553. **พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ**. กรุงเทพฯ : สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- [48] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตน์าปนนท์. 2559. **แมกนีเซียมสเตียเรต**. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/6894/magnesium-stearate> สืบค้นข้อมูลวันที่ 28/พ.ย./60
- [49] Joao, F. M. Dana, K. and Rui, L. R. 2003. “Thermal properties of thermoplastic starch /synthetic polymer blends with potential biomedical applicability.” *Journal of materials science: materials in medicine*. 14 : 127-135.
- [50] Lomli-Ramirez, M. G. Barrios-Guzman, A. J. Garcia-Enriquez, S. Rivera-Prado, J. J. and Manriquez-Gonzalez, R. 2014. “Chemical and mechanical evaluation of bio-composites based on thermoplastic starch and wood particles prepared by thermal compression.” *BioResources*. 9(2) : 2960-2974.
- [51] เย็นหทัย แน่นหนา. 2549. **สเปกโทรสโกปีสำหรับเคมีอินทรีย์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [52] Mello, L. R. P. F. and Mali, S. 2014. “Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch.” *Industrial Crops and Products*. 55 : 187-193.
- [53] Mendes, J. F. Paschoalin, R. T. Carmona, V. B. Neto, A. R. S. Marques, A. C. P. Marco, J. M. Mattoso, L. H. C. Medeiros, E. S. and Oliveira, J. E. 2016. “Biodegradable polymer blends based on corn starch and thermoplastic chitosan processed by extrusion.” *Carbohydrate Polymers*. 137 : 452-458.

- [54] จินตภา แต้มสีคราม. 2558. “สมบัติของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เชื่อมโยงด้วยกรดซิตริก กรดแลคติกและกรดมาลิก.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [55] Munlika, B. and Kaewtatip, K. 2013. “Biodegradation of thermoplastic starch / eggshell powder composites.” *Carbohydrate Polymers*. 97(2) : 315-320.
- [56] Wei, J. and Meyer, C. 2016. “Utilization of rice husk ash in green natural fiber reinforced cement composites: Mitigating degradation of sisal fiber,” *Cement and Concrete Research*. 81:94-111.
- [57] Zakharov, A. I. Belyakov, A. V. and Tsvignov, A. N. 1993. “Forms of extraction of silicon compounds in rice husks.” *Glass and Ceramics*. 50 : 420-425.
- [58] Prachayawarakorn, J. and Tamseekram, J. 2017 “Chemical modification of biodegradable cassava starch films by natural mono-, di- and tri-carboxylic acids.” *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. Online articles
- [59] Reddy, N. and Yang, Y. 2010. “Critic acid cross-linking of starch films.” *Food Chemistry*. 118 : 702-711.
- [60] สถาบันพลาสติก สนับสนุนโดยสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2558. กรดแลคติก. [Online]. Available : http://asp.plastics.or.th :8001/Article_Detail.aspx?id=53 สืบค้นข้อมูลวันที่ 20/ม.ค./61.
- [61] Nallathambi, G. Ramachandran, T. Rajendran, V. and Palanivel, R. 2011. “Effect of silica nanoparticles and BTCA on physical properties of cotton fabrics.” Department of Textile Technology, Anna University, Chennai, 6000025, Tamilnadu, India
- [62] สุรินทร์ อยู่ยง. 2557. “สารกันราในขนมปัง.” ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่องวัตถุเจือปนอาหาร. (84) : 43-47.
- [63] Zhu, J. Li, X. Huang, C. Chen, L. and Li, L. 2013 “Plasticization effect of triacetin on structure and properties of starch ester film.” *Carbohydrate Polymers*. 94 : 874-881
- [64] Draman, S. F. S. Daik, R. Latif, F. A. and El-Sheikh, S. M. 2014. “Characterization and thermal decomposition kinetics of kapok (*Ceiba pentandra L.*)-based cellulose.” *Bioresources*. 9(1), 8-23.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้






ภาคผนวก ก



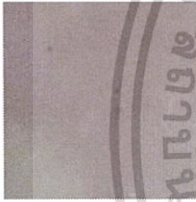



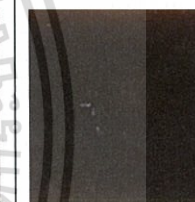
(ก) อินฟราเรดสเปกตรัมของแอมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

				
TPCS	TPCS/5RH	TPCS/10RH	TPCS/15RH	TPCS/20RH

(ก) ลักษณะชิ้นงานคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยเกลบในปริมาณต่างๆ ที่เตรียมได้

				
TPCS/2LA	TPCS/2LA/ 5RH	TPCS/2LA/ 10RH	TPCS/2LA/ 15RH	TPCS/2LA/ 20RH

(ข) ลักษณะชิ้นงานคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยเกลบในปริมาณต่างๆ ที่เตรียมได้





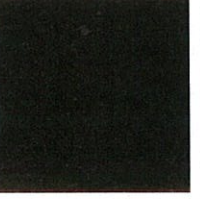
ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของแกลบ (L/D ratio)


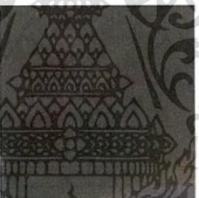
	ความยาว (L)	ความกว้าง (D)	L/D ratio
1	94.24	45.07	2.09
2	73.96	54.77	1.35
3	44.52	39.93	1.11
4	177.6	30.97	5.73
5	36.32	22.94	1.58
6	38.08	25.36	1.50
7	34.26	32.38	1.06
8	58.55	35.88	1.63
9	39.94	29.68	1.35
10	58.87	22.72	2.59
11	71.61	26.86	2.67
12	36.15	24.29	1.49
13	63.01	36.41	1.73
14	34.81	30.22	1.15
15	36.69	22.93	1.60
16	42.94	32.65	1.32
17	41.49	16.62	2.50
18	53.3	17.61	3.03
19	38.34	29.49	1.30
20	44.41	19.54	2.27
21	33.46	20.78	1.61
22	51.8	33.46	1.55
23	63.69	39.67	1.61
24	55.59	42.9	1.30
25	47.85	29.08	1.65
26	57.2	42.09	1.36
27	51.54	43.71	1.18
28	42.84	23.66	1.81
29	52.63	36.14	1.46
30	49.64	41.55	1.19
	54.18±27.10	31.65±9.30	1.79±0.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง






				
TPCS	TPCS/5RH	TPCS/10RH	TPCS/15RH	TPCS/20RH

(ก) ลักษณะชิ้นงานคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังโดยไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยเส้นใยต่างๆ ก่อนการทดสอบด้วยการดูดซับความชื้น

				
TPCS	TPCS/5RH	TPCS/10RH	TPCS/15RH	TPCS/20RH

(ข) ลักษณะชิ้นงานคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังโดยไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยเส้นใยต่างๆ หลังการทดสอบด้วยการดูดซับความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

				
TPCS/2LA	TPCS/2LA/ 5RH	TPCS/2LA/ 10RH	TPCS/2LA/ 15RH	TPCS/2LA/ 20RH

(ค) ลักษณะชิ้นงานคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยเส้นใยต่างๆ ก่อนการทดสอบด้วยการดูดซับความชื้น

				
TPCS/2LA	TPCS/2LA/ 5RH	TPCS/2LA/ 10RH	TPCS/2LA/ 15RH	TPCS/2LA/ 20RH

(ง) ลักษณะชิ้นงานคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยเส้นใยต่างๆ หลังการทดสอบด้วยการดูดซับความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นที่ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 99 ± 1 เปอร์เซ็นต์ ของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยเกลบในปริมาณต่างๆ

วันที่	เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้น				
	TPCS	TPCS/5RH	TPCS/10RH	TPCS/15RH	TPCS/20RH
0	0	0	0	0	0
1	19.5±1.56	15.9±1.38	15.8±1.20	15.5±1.63	14±1.37
2	26.7±1.74	24.5±1.75	23.8±1.41	22.8±1.85	20.4±1.59
3	30.5±1.98	27.2±1.42	26.5±1.63	26.4±2.02	23.8±1.83
4	35.2±1.47	30.5±1.74	29.8±1.97	29.7±1.39	26.2±1.94
5	39.8±0.92	33.3±1.30	33.1±1.49	32.6±2.66	28.8±1.47
6	42.9±2.62	36.3±1.46	35.9±1.08	35.1±2.29	31.3±2.05
7	48.3±2.06	43.9±1.83	43.5±1.89	41.4±1.90	37.9±0.94
8	49.2±1.28	45.8±2.52	45.2±1.39	43±1.48	39.2±1.48
9	50.1±1.53	46.4±1.30	45.6±1.97	44±1.33	39.9±1.87
10	51.1±1.67	48.6±1.62	46.5±1.99	45.7±2.14	40.5±1.03
11	53±2.13	51.3±1.65	48.1±1.38	46.8±2.64	41.7±2.11
12	53.8±1.99	52.1±1.39	49±1.76	47.5±1.58	42.4±1.96
13	54.5±1.52	52.4±1.73	49.4±1.36	47.9±3.00	42.6±1.74
14	55.6±2.55	52.7±1.29	49.8±1.77	48.1±3.15	42.8±1.95
15	56.1±2.83	52.9±1.72	50.1±1.95	48.3±3.92	43±2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นที่ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 99 ± 1 เปอร์เซ็นต์ ของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังปรับปรุงสมบัติโดยกรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในปริมาณต่างๆ

วันที่	เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้น				
	TPCS/2LA	TPCS/2LA/ 5RH	TPCS/2LA/ 10RH	TPCS/2LA/ 15RH	TPCS/2LA/ 20RH
0	0	0	0	0	0
1	30.1±1.62	25.6±1.83	23.7±1.93	21.6±1.40	20.7±1.84
2	36.8±1.36	33.1±1.34	30.5±1.28	28.4±1.73	27.8±1.04
3	46.3±1.93	39.3±1.85	36.5±1.39	34.5±1.86	33.3±1.88
4	53.2±1.38	43.7±1.96	40.5±1.96	38.4±0.94	37.2±1.76
5	56.9±1.42	48.3±2.23	44.3±2.01	41.6±1.72	40.6±2.06
6	62.3±2.04	56.6±2.02	52±1.37	48.8±1.97	47±1.89
7	63.4±1.75	57.9±1.85	53.9±1.64	53±1.79	50.9±1.67
8	65.6±1.57	59.5±1.42	55.4±1.97	54±1.73	51.9±1.58
9	66.4±0.98	61.8±1.94	57.5±1.37	56.5±2.39	54.4±2.51
10	68.3±1.63	66.4±2.37	59.6±1.58	56.9±2.73	54.6±2.19
11	69.7±1.79	67.3±1.23	62.7±1.93	59.1±1.58	57.8±1.34
12	71.2±1.84	68.2±2.11	63.6±2.05	60±2.41	58.7±1.42
13	71.9±1.37	68.5±2.18	63.8±2.43	60.2±1.96	58.9±1.27
14	72.4±1.64	68.7±1.96	64±1.04	60.3±1.73	59±1.11
15	72.8±1.60	68.9±2.64	64.1±1.36	60.4±3.26	59.1±2.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของคอมโพสิทโพลีเมอริกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยแคลบในปริมาณต่างๆ

ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด

ตัวอย่าง	Stress at maximum load (MPa)
TPCS	2.34±0.13
TPCS/5RH	2.79±0.16
TPCS/10RH	3.52±0.29
TPCS/15RH	3.60±0.17
TPCS/20RH	3.90±0.28
TPCS/2LA	0.85±0.05
TPCS/2LA/5RH	1.13±0.07
TPCS/2LA/10RH	1.90±0.40
TPCS/2LA/15RH	2.30±0.27
TPCS/2LA/20RH	3.20±0.28

มอดุลัส

ตัวอย่าง	Young's modulus (MPa)
TPCS	5.38±1.70
TPCS/5RH	40.28±7.57
TPCS/10RH	95.38±20.49
TPCS/15RH	122.02±10.09
TPCS/20RH	127.96±13.51
TPCS/2LA	2.78±0.90
TPCS/2LA/5RH	33.85±5.36
TPCS/2LA/10RH	65.76±18.23
TPCS/2LA/15RH	92.55±16.46
TPCS/2LA/20RH	117.84±16.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

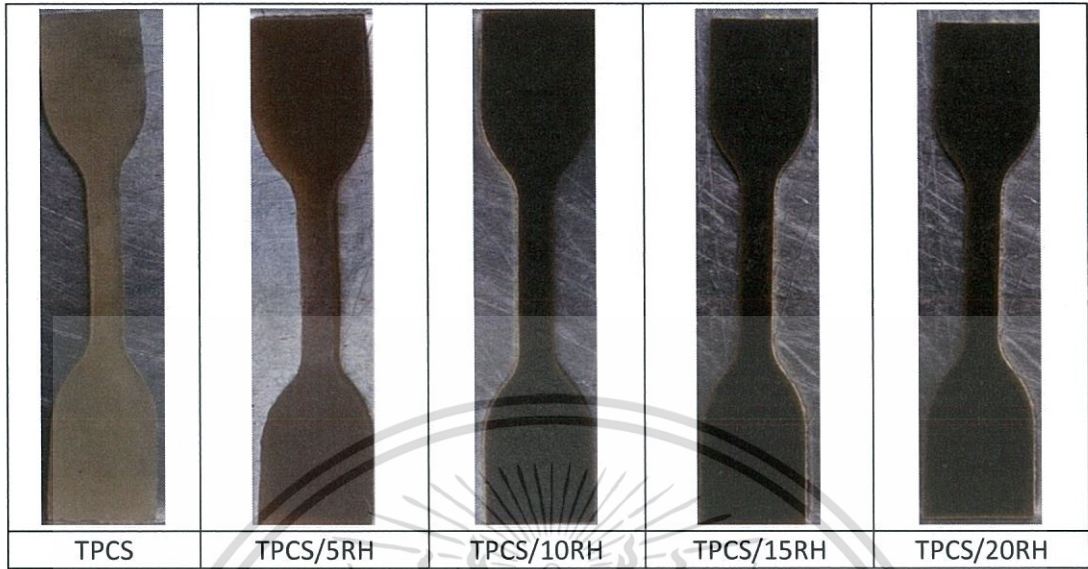
ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด

ตัวอย่าง	Strain at maximum load (%)
TPCS	475.02±14.78
TPCS/5RH	227.42±14.54
TPCS/10RH	103.89±14.00
TPCS/15RH	59.25±11.73
TPCS/20RH	39.12±9.35
TPCS/2LA	241.24±21.02
TPCS/2LA/5RH	102.63±19.49
TPCS/2LA/10RH	52.52±11.05
TPCS/2LA/15RH	30.66±9.55
TPCS/2LA/20RH	19.20±7.03

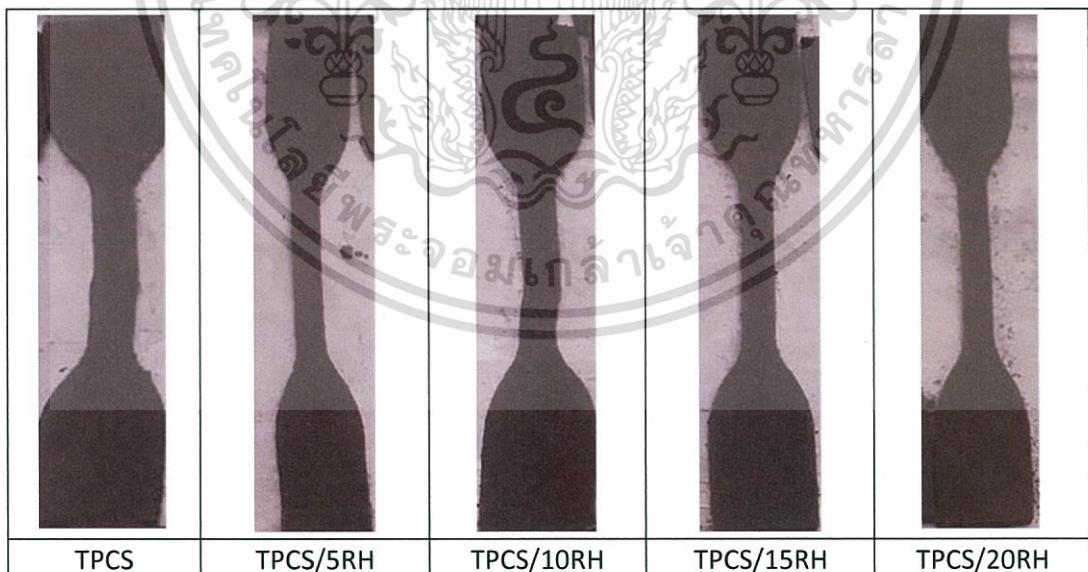


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

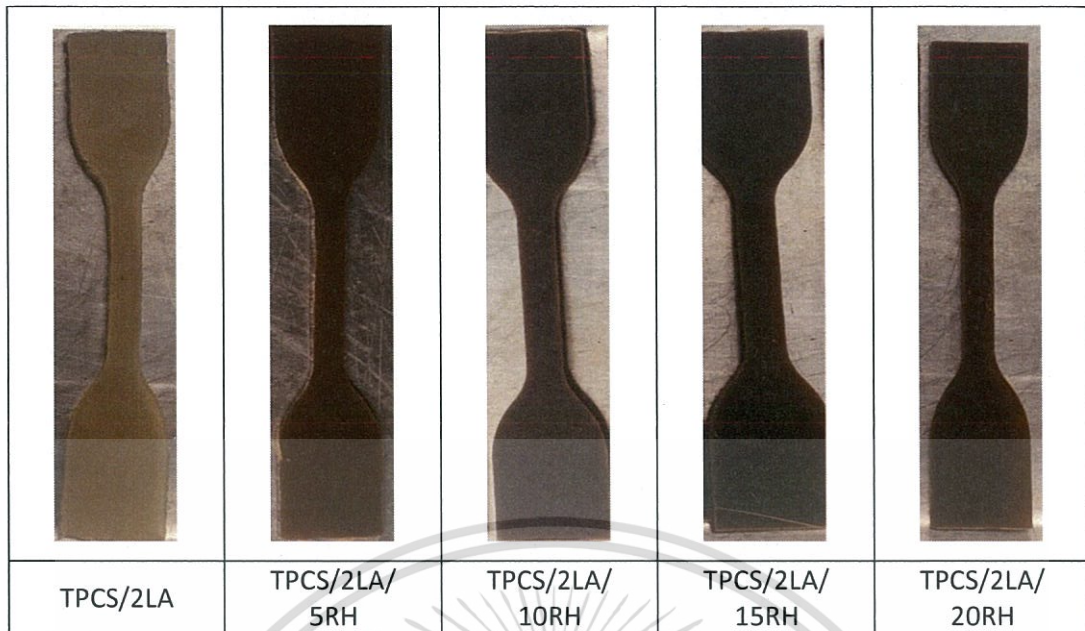


(ก) ลักษณะของชิ้นงานคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์จากแป้งมันสำปะหลังโดยไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติต่างๆ ก่อนการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดิน

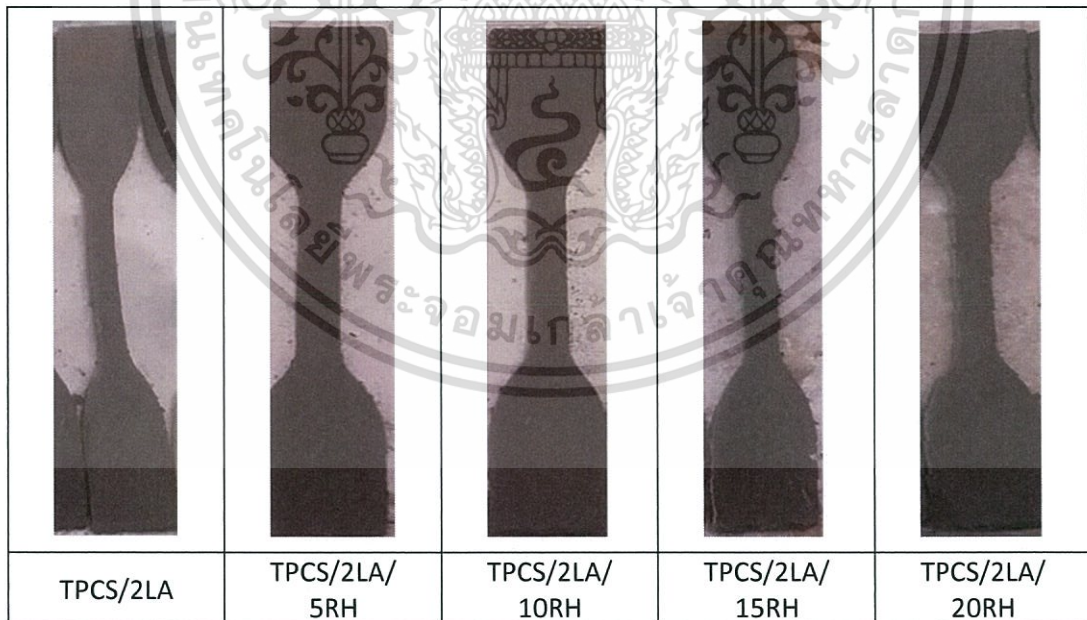


(ข) ลักษณะของชิ้นงานคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์จากแป้งมันสำปะหลังโดยไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติต่างๆ หลังการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ลักษณะของชิ้นงานคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติต่างๆ ก่อนการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดิน



(ง) ลักษณะของชิ้นงานคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติต่างๆ หลังการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลหลังทำการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดินเป็นเวลา 3 วัน ของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังใช้และไม่ใช้กรด และเสริมแรงด้วย แกลบในปริมาณต่างๆ

ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด

ตัวอย่าง	Stress at maximum load (MPa)
TPCS	0.18±0.03
TPCS/5RH	0.23±0.02
TPCS/10RH	0.32±0.03
TPCS/15RH	0.4±0.03
TPCS/20RH	0.51±0.02
TPCS/2LA	0.02±0.03
TPCS/2LA/5RH	0.07±0.02
TPCS/2LA/10RH	0.15±0.05
TPCS/2LA/15RH	0.21±0.02
TPCS/2LA/20RH	0.41±0.05

มอดุลัส

ตัวอย่าง	Young's modulus (MPa)
TPCS	0.40±0.04
TPCS/5RH	3.27±0.08
TPCS/10RH	9.25±0.11
TPCS/15RH	12.79±0.21
TPCS/20RH	15.95±0.25
TPCS/2LA	0.14±0.03
TPCS/2LA/5RH	2.38±0.01
TPCS/2LA/10RH	5.42±0.02
TPCS/2LA/15RH	9.24±0.10
TPCS/2LA/20RH	11.95±0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด

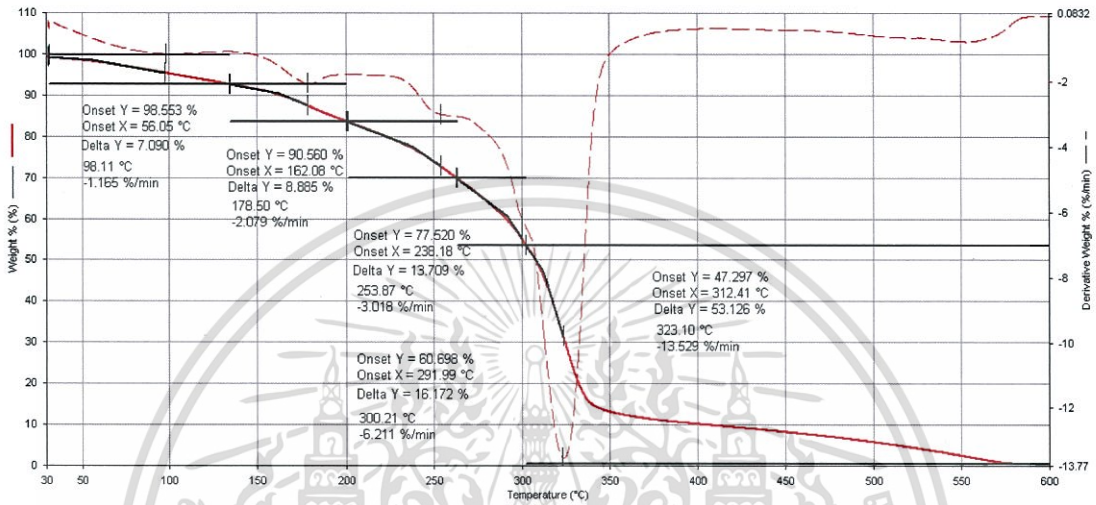
ตัวอย่าง	Strain at maximum load (%)
TPCS	124.83±24.31
TPCS/5RH	68.84±15.56
TPCS/10RH	37.84±9.77
TPCS/15RH	30.85±8.23
TPCS/20RH	24.90±5.28
TPCS/2LA	62.00±19.43
TPCS/2LA/5RH	30.48±16.88
TPCS/2LA/10RH	20.22±20.18
TPCS/2LA/15RH	19.84±3.87
TPCS/2LA/20RH	19.06±7.30



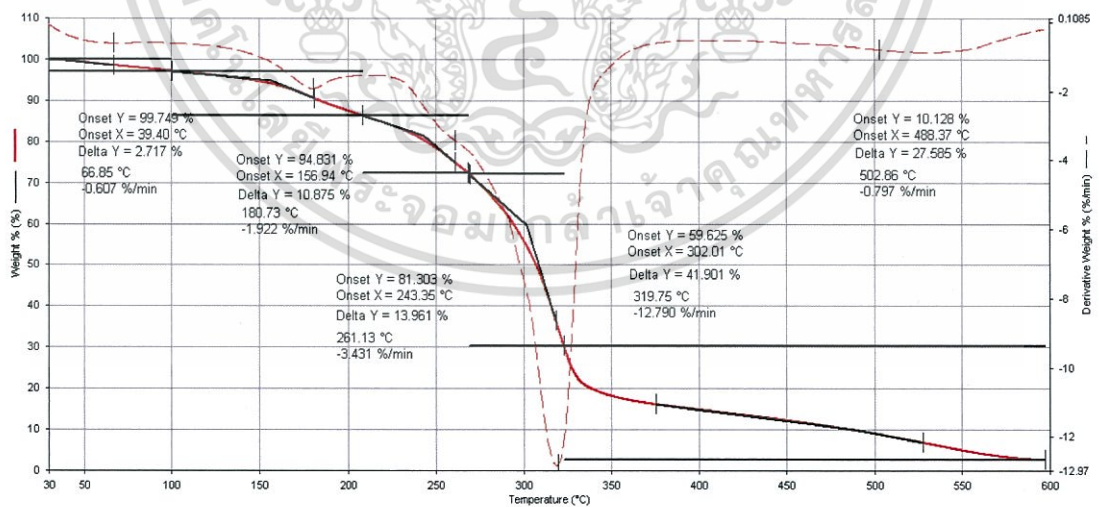
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

TG และ DTG เทอร์โมแกรมของคอมพอลิเมอร์เทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังใช้และไม่ใช้กรดแลคติก และเสริมแรงด้วยเกลบสูตรต่างๆ

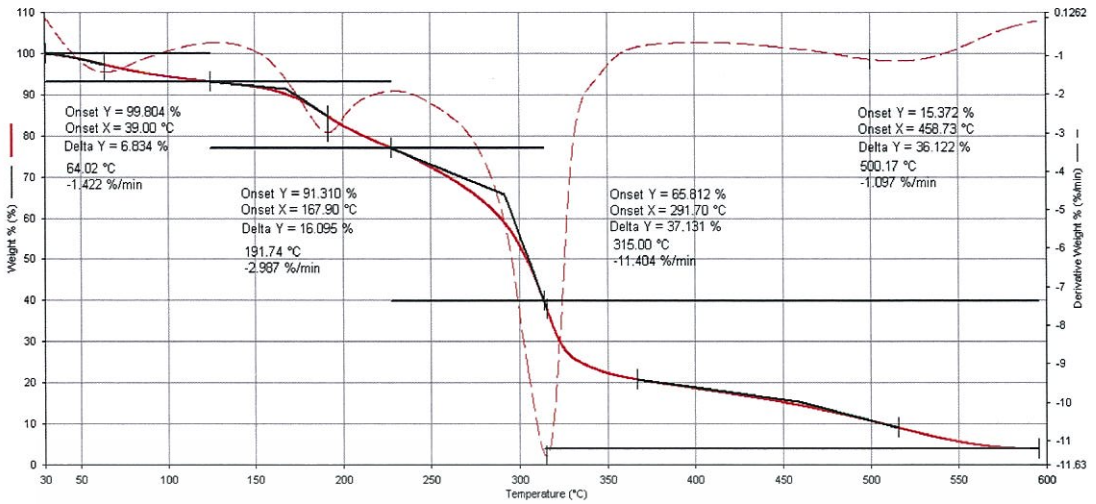


(ก) TG และ DTG ของ TPCS

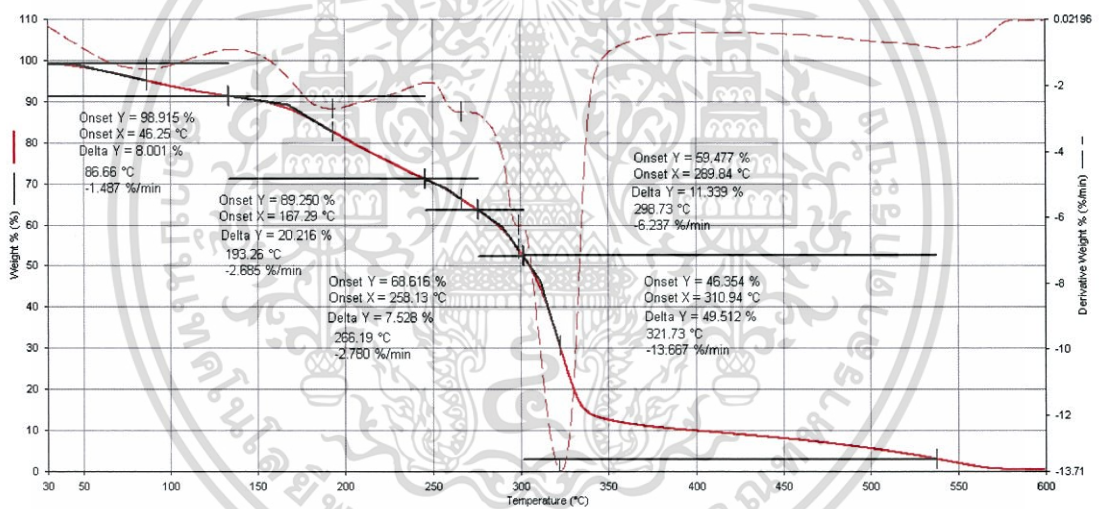


(ข) TG และ DTG ของ TPCS/10RH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

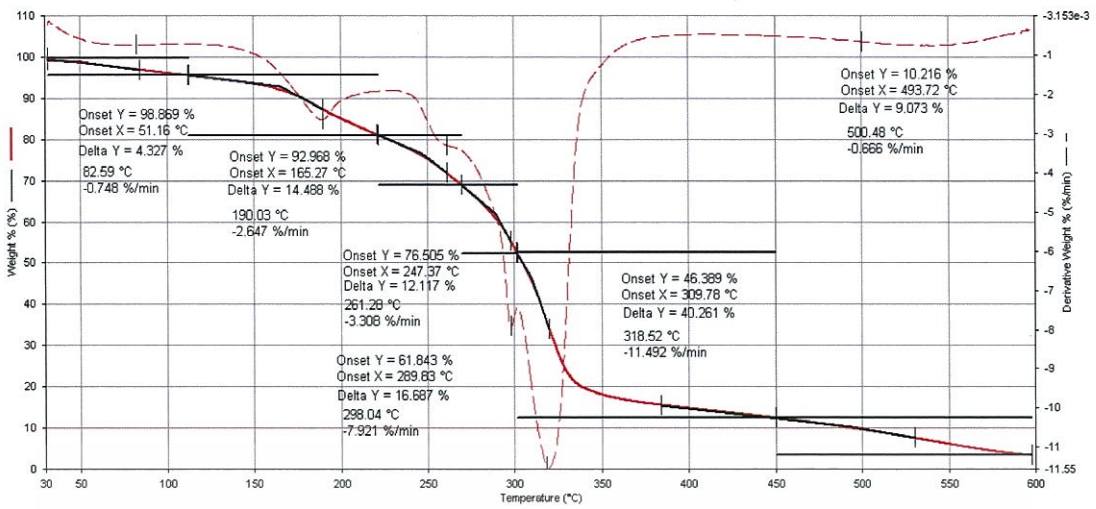


(ค) TG และ DTG ของ TPCS/20RH

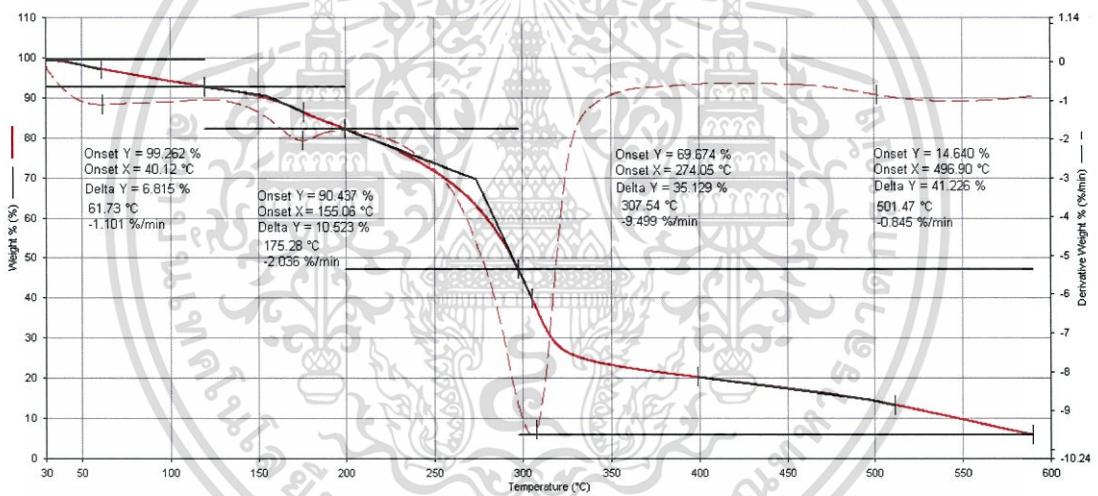


(ง) TG และ DTG ของ TPCS/2LA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) TG และ DTG ของ TPCS/2LA/10RH



(ฉ) TG และ DTG ของ TPCS/2LA/20RH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 29 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2561

ข้าพเจ้า นางสาว ณิชฐา ปัญญาวัฒน์กุล รหัสประจำตัว 57050406
นาย นวภูมิ พลัง รหัสประจำตัว 57050431
นางสาว พรกนก พุสามปือก รหัสประจำตัว 57050464

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชา เคมี

ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย อิทธิพลของกรดแลคติกที่มีผลต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกคอมพอสิตฮาสตาร์ชจากแป้ง
มันสำปะหลังเสริมแรงด้วยแกลบ

ชื่อภาษาอังกฤษ Effect of lactic acid on properties of thermoplastic cassava starch composites
reinforced by rice husk

ปีการศึกษา 2560

เป็นผลงานวิจัยที่ได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้
แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว
โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 4.08 %

ลงชื่อ.....ณิชฐา ปัญญาวัฒน์กุล..... ลงชื่อ.....นวภูมิ พลัง..... ลงชื่อ.....พรกนก พุสามปือก.....
(นางสาว ณิชฐา ปัญญาวัฒน์กุล) (นาย นวภูมิ พลัง) (นางสาว พรกนก พุสามปือก)
นักศึกษา นักศึกษา นักศึกษา

ข้าพเจ้า รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญารากร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษ ของนักศึกษา
ข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....จ.ดร.จุฑารัตน์.....
(รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญารากร)
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้