

การปรับปรุงสมบัติของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจาก
แป้งมันสำปะหลังและเส้นใยนุ่น โดยกรดทาร์ทาริก

PROPERTY MODIFICATION OF THERMOPLASTIC
CASSAVA STARCH/KAPOK FIBER COMPOSITES BY
TARTARIC ACID



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2565 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROPERTY MODIFICATION OF THERMOPLASTIC
CASSAVA STARCH/KAPOK FIBER COMPOSITES BY
TARTARIC ACID



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การปรับปรุงสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและเส้นใยนุ่น โดยกรดทาร์ทาริก
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชนิสรา ปัญญาพัฒนา รหัสนักศึกษา 62050261 นางสาวศุภาพิชญ์ สารีท้าว รหัสนักศึกษา 62050333
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวารการ

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ ศึกษาถึงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง (Thermoplastic cassava starch, TPCS) ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยนุ่น (KP) กับกรดทาร์ทาริก (TA) โดยผสมแป้งมันสำปะหลังกับกลีเซอรอลในอัตราส่วน 70 : 30 และเสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่นและปรับปรุงสมบัติร่วมกับกรดทาร์ทาริกในปริมาณ 0 5 10 15 และ 20 phr โดยเตรียมแป้งมันสำปะหลังกับกลีเซอรอลผสมกับเส้นใยนุ่นและกรดทาร์ทาริกปริมาณต่างๆ ด้วยเครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) และขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัด (Compression molding) จากการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันพบพีคของ O-H stretching และ O-H bending เกิดการเคลื่อนที่ไปยังเลขคลื่นที่ลดลง เมื่อเติมเส้นใยนุ่นหรือเส้นใยนุ่นร่วมกับกรดทาร์ทาริก แสดงให้เห็นถึงการสร้างพันธะไฮโดรเจนใหม่นอกจากนี้พบพีคใหม่ที่ตำแหน่ง 1743 cm^{-1} แสดงลักษณะการสั่นของ C=O stretching ของลิกนินในเส้นใยนุ่น จากการศึกษาสัณฐานวิทยาพบว่า เส้นใยนุ่นมีการกระจายตัวที่ดีบนเมทริกซ์แป้งและเมื่อเติมกรดทาร์ทาริกทำให้พื้นผิวมีความเรียบมากขึ้น นอกจากนี้พบว่า TPCS/KP มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นต่ำที่สุด มีความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดและมอดุลัสสูงที่สุด แต่เมื่อเติมกรดทาร์ทาริก 20 phr พบว่ามีความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดและมอดุลัสต่ำที่สุด จากการย่อยสลายทางชีวภาพพบว่า ตัวอย่างทุกสูตรสามารถย่อยสลายได้ และ TPCS/KP/20TA มีการย่อยสลายเร็วที่สุด

นอกจากนี้การเติมเส้นใยนุ่นและกรดทาร์ทาริกส่งผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของแป้งเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากนัก อย่างไรก็ตามการเติมเส้นใยนุ่นและเส้นใยนุ่นลดลง สำหรับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้น

โยนุ่นไม่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ แต่เมื่อเติมเส้นโยนุ่นร่วมกับกรดทาร์ทริกสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*S.aureus*) และแบคทีเรียแกรมลบ (*E.coli*) ได้

คำสำคัญ : กรดทาร์ทริก คอมพอลิเมอร์โพลีแลคติกสตาร์ช แป้งมันสำปะหลัง เส้นโยนุ่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Property Modification of Thermoplastic Cassava Starch/Kapok Fiber Composites by Tartaric Acid
Student	Miss Kanisara Panjapornpattana Student ID 62050261 Miss Supapich Sareethao Student ID 62050333
Degree	Beachelor of Science (Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
School	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Acaemic	2022
Advisor	Assoc.Prof.Dr. Jutarat Prachayawarakorn

Abstract

This special project studied on properties of thermoplastic cassava starch (TPCS) modified properties with kapok fibers (KP) and tartaric acid (TA). Cassava starch and glycerol were mixed at the weight ratio of 70:30 and reinforced by KP and modified by TA at the contents of 5 10 15 and 20 phr. Different TPCS/KP/TA samples were compounded by an internal mixer and shaped by a compression molding machine. From functional groups analysis, it was found that the peak positions of O-H stretching and O-H bending shifted to lower wavenumbers with the addition of KP or KP/TA, indicating of the new hydrogen bond formation. Moreover, the new IR peak position at 1743 cm^{-1} , attributed to C=O stretching of lignin from KP was observed. From the study of morphology, KP was well dispersed into TPCS matrix. With the addition of TA, smoother surface was obtained. In addition, TPCS/KP sample showed the lowest moisture absorption and the highest stress at maximum load and Young's modulus. However, when 20 phr of TA was added, it caused the lowest stress at maximum load and Young's modulus. From biodegradation, all samples could biodegrade and TPCS/KP/20TA presented the fastest biodegradability. Moreover, the addition of KP and TA resulted in the improvement of thermal stability. Furthermore, TPCS/KP exhibited no antibacterial activity. Nevertheless, the addition of KP and TA increased the weight

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

loss percentage of starch but decreased the temperature of starch and fiber activity against gram-positive (*S.aureus*) and gram-negative (*E.coli*) bacteria.

Keywords : Cassava starch, Kapok fiber, Tartaric acid, Thermoplastic starch composites,



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากได้รับคำแนะนำ คำปรึกษา ข้อคิดเห็น ต่างๆ ตลอดจนความร่วมมือของทุกๆ ท่าน อันเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรีชญาวรากร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่กรุณาให้ คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ เกี่ยวกับการทำโครงการพิเศษนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ปานไพลิน สีหาราช และ ดร. อำนวย เพิ่มทรัพย์สกุล ที่กรุณาเป็น กรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ตลอดจนให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นในการทำโครงการนี้ให้ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคาร ฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือและ อุปกรณ์ต่างๆ และให้ความช่วยเหลือตลอดการดำเนินโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือ เจ้าหน้าที่ธุรการ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จไป ด้วยดี

ขอขอบพระคุณพี่ๆ ปริญาโท และปริญาเอกทุกท่าน ที่สละเวลาในการช่วยตรวจทาน ให้ คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดีในการทำโครงการพิเศษจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้ได้รับการศึกษา คอยอบรม เลี้ยงดู เป็นกำลังใจ และเป็นแรงผลักดันที่ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงเพื่อนๆ และ บุคคลที่ไม่ได้กล่าว ณ ที่นี้สำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำต่างๆ รวมถึงการเป็นกำลังใจที่สำคัญใน การดำเนินงาน คณะผู้จัดทำขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

ชนิสรา ปัญญาพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ศุภาพิชญ์ สารีท้าว

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 พลาสติกย่อยสลาย.....	5
2.1.1 ปัญหาจากสภาพแวดล้อมของพลาสติก.....	5
2.2 ประเภทของพลาสติก.....	6
2.2.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic).....	6
2.2.2 เทอร์โมเซตติง (Thermosetting).....	7
2.3 พลาสติกย่อยสลายได้.....	7
2.3.1 การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation).....	7
2.3.2 การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation).....	7
2.3.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation degradation).....	7
2.3.4 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic degradation).....	7
2.3.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation).....	7
2.4 Thermoplastic starch (TPS).....	8
2.5 แป้งที่สังเคราะห์ขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า	9

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สสารบัญญัติ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของแป้ง.....	9
2.5.2 สมบัติของแป้ง.....	11
2.5.2.1 การดูดซับน้ำของแป้ง.....	11
2.5.2.2 สมบัติความหนืดของแป้ง.....	11
2.5.2.3 สมบัติเจลาตินในเซชันของแป้ง.....	13
2.5.2.4 การคั่นตัวของแป้งสุก รีโทรเกรเดชัน.....	13
2.6 แป้งมันสำปะหลัง.....	13
2.6.1 องค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลัง.....	14
2.6.2 การใช้ประโยชน์แป้งมันสำปะหลัง.....	15
2.6.2.1 การบริโภคในครัวเรือน.....	15
2.6.2.2 อุตสาหกรรมแป้งตัดแปรร.....	15
2.6.2.3 ใช้ทำผงชูรสและไลซีน.....	15
2.6.2.4 สารให้ความหวาน.....	15
2.6.2.5 อุตสาหกรรมไม้อัดและกาว.....	15
2.7 เส้นใยนุ่น.....	15
2.7.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์.....	16
2.8 พลาสติกไซเซออร์.....	16
2.9 ก्लीเซอรอล.....	17
2.10 สารหล่อลื่น.....	18
2.11 แมกนีเซียมสเตียเรท.....	18
2.12 น้ำมันซิลิโคน.....	18
2.13 กรดทาร์ทาริก.....	18
2.13.1 การผลิตกรดทาร์ทาริก.....	20
2.13.1.1 การสังเคราะห์ทางเคมี และชีวเคมี.....	20
2.13.2 กระบวนการทางชีวภาพ.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส.2.13.2.1 กระบวนการทางเอนไซม์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.13.2.2 กระบวนการหมักด้วยแบคทีเรีย.....	20
2.13.2.3 การสังเคราะห์ในพืช.....	20
2.14 การคอมปาวด์ (Compounding).....	21
2.14.1 การคอมปาวด์แบบไม่ต่อเนื่อง (Batch compounding).....	21
2.14.1.1 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill).....	21
2.14.1.2 เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer).....	21
2.14.2 การคอมปาวด์แบบต่อเนื่อง (Continuous compounding).....	22
2.14.2.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder).....	22
2.14.2.2 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder).....	22
2.15 กระบวนการกดอัดด้วยความร้อน (Compression molding).....	23
2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	31
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	31
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	33
3.3 การทดลอง.....	36
3.3.1 การเตรียมเส้นใย.....	36
3.3.2 การเตรียมคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์จากแป้งมันสำปะหลัง.....	36
3.3.3 การเตรียมคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์จากแป้งมันสำปะหลัง ที่เสริมแรงด้วยเส้นใย.....	36
3.3.4 การเตรียมคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์จากแป้งมันสำปะหลัง ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยและกรดทาร์ทาริก.....	37
3.4 การตรวจวิเคราะห์และการทดสอบสมบัติต่างๆ.....	38
3.4.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน.....	38
3.4.2 การทดสอบสัณฐานวิทยา.....	38
3.4.3 การดูดซับความชื้น.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 3.4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลที่การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ การค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.5 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน.....	40
3.4.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	40
3.4.7 การทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย.....	40
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	41
4.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน.....	43
4.2 การทดสอบสัณฐานวิทยา (Morphology).....	46
4.3 การดูดซับความชื้น.....	50
4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	52
4.5 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน.....	53
4.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	57
4.7 การทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย.....	59
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	62
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	62
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	63
เอกสารอ้างอิง.....	64
ภาคผนวก.....	70
ภาคผนวก ก.....	71
ภาคผนวก ข.....	72
ภาคผนวก ค.....	76
ภาคผนวก ง.....	77
ภาคผนวก จ.....	80
ภาคผนวก ฉ.....	81
ภาคผนวก ช.....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน.....	10
2.2 องค์ประกอบในหัวมันสำปะหลัง.....	14
2.3 องค์ประกอบในเนื้อมันสำปะหลัง.....	14
2.4 องค์ประกอบของเส้นใยนุ่น.....	16
2.5 สมบัติต่างๆของกลีเซอรอล.....	17
2.6 สมบัติทั่วไปของทาร์ทริก.....	19
2.7 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill).....	21
2.8 เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer).....	21
2.9 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder).....	22
2.10 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder).....	22
3.1 องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลัง.....	31
3.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยนุ่น.....	31
3.3 องค์ประกอบของกรดทาร์ทริกจากบริษัทเคมีภัณฑ์.....	32
3.4 อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง กลีเซอรอล แมกนีเซียมสเตียเรท ที่เสริมแรงด้วย เส้นใยนุ่นและกรดทาร์ทริก.....	37
3.5 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกล.....	39
4.1 อักษรย่อของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	41
4.2 หมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้.....	43
4.3 อุณหภูมิการสลายตัว และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติก สตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่น ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทริก ในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr.....	58
4.4 ระยะเวลาต้านเชื้อแบคทีเรียของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่น ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทริกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างเทอร์โมพลาสติกสตาโรล.....	9
2.2 โครงสร้างอะไมโลส.....	10
2.3 โครงสร้างอะไมโลเพกติน.....	11
2.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งระหว่างการต้มสุก.....	12
2.5 โครงสร้างของกลีเซอรอล.....	17
2.6 โครงสร้าง L-tartaric acid.....	19
3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย.....	35
3.2 ลักษณะชิ้นงานรูปดัมเบลล์ที่ใช้ในการทดลอง.....	39
4.1 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการปรับปรุงสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติก สตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังและเส้นใยถั่ว โดยกรดทาร์ทาริก.....	42
4.2 อินฟราเรดของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วย เส้นใยถั่ว ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณต่างๆ.....	44
4.3 (ก) – (ข) ลักษณะสัญญาณวิทยาของเส้นใยถั่วเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราดด้วยกำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า.....	46
4.4 (ก) – (ข) ลักษณะสัญญาณวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ ไม่ได้ ปรับปรุงสมบัติ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดด้วยกำลัง ขยาย 500 และ 3000 เท่า.....	47
4.5 (ก) – (ข) ลักษณะสัญญาณวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยเส้นใยถั่ว 10 phr เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ด้วยกำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า.....	47
4.6 (ก) – (ข) ลักษณะสัญญาณวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยเส้นใยถั่วร่วมกับกรดทาร์ทาริกปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr เมื่อส่อง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดด้วยกำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า.....	48
4.7 สมบัติการดูดซับความชื้นของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยเส้นใยถั่ว ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 5 10 15 และ 20	

เอกสารนี้เป็น phr การที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรง ด้วยเส้นใยไผ่ และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr.....	52
4.9 สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรง ด้วยเส้นใยไผ่ ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr ภายหลังการฝังดินเป็นระยะเวลา 2 วัน.....	54
4.10 เทอร์โมแกรมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรง ด้วยเส้นใยไผ่ ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr (ก) TGA และ (ข) DTG.....	57
4.11 สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้ง มันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
KP	เส้นใยนุ่น
TA	กรดทาร์ทาริก
TPCS	คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จากแป้งมันสำปะหลัง
TPCS/KP	คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่นปริมาณ 10 phr
TPCS/KP/5TA	คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่นปริมาณ 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 5 phr
TPCS/KP/10TA	คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่นปริมาณ 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 10 phr
TPCS/KP/15TA	คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่นปริมาณ 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 15 phr
TPCS/KP/20TA	คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่นปริมาณ 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 20 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการใช้พลาสติกเพิ่มมากขึ้นตามความต้องการของมนุษย์และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยพลาสติกสังเคราะห์ส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการปิโตรเคมี นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ยังก่อให้เกิดมลภาวะในระบบนิเวศน์ เนื่องจากพลาสติกส่วนใหญ่เกิดการย่อยสลายได้ยากและใช้เวลานาน ส่งผลต่อปริมาณขยะพลาสติกที่เพิ่มสูงขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาด้านการจัดการและกำจัดขยะ แม้ว่าการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) จะสามารถช่วยแก้ปัญหาได้เพียงส่วนหนึ่งก็ตาม แต่ไม่สามารถแก้ปัญหาได้โดยสมบูรณ์ จึงทำให้การสังเคราะห์พลาสติกที่มาจากวัสดุธรรมชาติถือเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม การเลือกใช้วัสดุที่ย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ เช่น พอลิแซ็กคาไรด์ เซลลูโลส แป้ง เพกติน ไคโตซาน เป็นต้น โดยพลาสติกชีวภาพย่อยสลายนี้ได้รับความสนใจอย่างยิ่งต่อนักวิทยาศาสตร์ ตลอดจน นักอุตสาหกรรมทั่วโลก โดยพลาสติกชีวภาพผลิตขึ้นมาจากวัตถุดิบที่สามารถผลิตทดแทนได้ (Renewable resources) ใช้พลังงานในการผลิตต่ำ สามารถย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้ด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ โดยพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้นั้น มีสมบัติในการใช้งานเทียบเท่าพลาสติกจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี สามารถทดแทนการใช้งานที่มีอยู่ได้ [1]

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและมีความอุดมสมบูรณ์มีการผลิตแป้งจากข้าวและหัวต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตแป้งจากมันสำปะหลังเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร แป้งมันสำปะหลังเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติและสามารถทดแทนได้ ย่อยสลายได้ง่าย มีความบริสุทธิ์สูง ราคาถูก นำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารมากมาย เช่น เป็นตัวให้ความข้นหนืด สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมอาหารหลักและอาหารรองในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ข้าวเกรียบขนมไทยซอสปรุงรส เป็นต้น นอกจากนี้แป้งมันสำปะหลังยังมีสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ที่เหมาะสมและเฉพาะตัว จึงเป็นทางเลือกใหม่ในการผลิตพลาสติกทดแทนปิโตรเคมี [2]

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch หรือเรียกย่อว่า TPS) โดยทั่วไปสตาร์ชในรูปของเม็ดแป้งไม่สามารถเปลี่ยนแปลงหรือขึ้นรูปโดยเทคโนโลยีที่ใช้กับพอลิเมอร์ประเภท

เทอร์โมพลาสติกได้เนื่องจากอุณหภูมิหลอมเหลวของเม็ดแป้ง ($T_m \sim 220-240^\circ\text{C}$) สูงกว่าอุณหภูมิ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญ่าตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สลายนตัว ($T_d \sim 220^\circ\text{C}$) ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชสลายตัวก่อนที่จะหลอมเหลว การผสมเม็ดสตาร์ชกับ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุแต่สิ่งบางอย่างที่ต้องอย่างองเงงใจของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติกไซเซอร์ (เช่น น้ำ กليسอรอล และซอร์บิทอล เป็นต้น) ในสถานะที่มีการให้ความร้อน ความดัน และแรงเฉือน จะทำให้คอมพอลิโธสามารถขึ้นรูปได้โดยกระบวนการหลอมหรือการใช้ความร้อน และแรงเฉือนเข้าช่วย อย่างไรก็ตามเทอร์โมพลาสติกสตาซยังมีข้อจำกัดในเรื่องของความว่องไวต่อ ความชื้น ความยืดหยุ่นหรือความอ่อนตัว สมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลที่ต่ำ [3] จึงมีการ ปรับปรุงสมบัติ โดยใช้เส้นใยธรรมชาติชนิดต่างๆ เช่น เส้นใยฝ้าย (Cotton Fibers) [4] เส้นใยปอ (Jute Fibers) [5] เส้นใยไหม (Silk Fibers) [6] หรือเส้นใยนุ่น (Kapok Fibers) [7] โดยผลนุ่นมีรูป ยาวรี รูปทรงกระบอกกลวง ผนังบาง เรียบ และเปราะ เส้นใยนุ่นที่อยู่ข้างในมักไม่นิยมนำมาใช้ใน อุตสาหกรรมสิ่งทอเหมือน เส้นใยฝ้าย เพราะมีความฟูและเบาจำนวนมากใหญ่มักนำไปใช้กับวัสดุกัน กระแทก เช่น ใส่ในหมอนฟู ที่นอน เป็นต้น เส้นใยนุ่นมีสมบัติพิเศษกว่าเส้นใยพืชอื่นๆ คือ เป็นวัสดุที่ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมไม่ก่อให้เกิดอาการภูมิแพ้ ปราศจากกลิ่นลอยน้ำได้ เป็นฉนวนควบคุม อุณหภูมิได้ดีเยี่ยม ไม่ดูดซับน้ำแต่สามารถซึมซับคราบน้ำมันได้เป็นอย่างดีมีสมบัติไวไฟเผาไหม้ได้ รวดเร็ว ง่าย และราคาถูก [8] จึงได้นำเส้นใยนุ่นมาใช้ปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาซ ซึ่งสามารถลดการดูดซับความชื้น และนำมาใช้เป็นส่วนเสริมแรงได้ นอกจากนี้การดูดซับความชื้นได้ดี ในเทอร์โมพลาสติกสตาซส่งผลต่ออายุการใช้งานที่สั้นลง เสี่ยงต่อการเกิดเชื้อราและแบคทีเรีย จึงมี การนำสารต้านเชื้อแบคทีเรีย เช่น กรดมาลิก (Malic acid) [9] ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) [7] เป็นต้น มาใช้ เพื่อปรับปรุงสมบัติดังกล่าวเพิ่มเติมอีกด้วย

กรดทาร์ทาริก (Tartaric acid) เป็นกรดอินทรีย์ (Organic acid) ชนิดหนึ่งที่พบตามธรรมชาติ ในผลไม้บางชนิด เช่น องุ่น มะขามและเป็นกรดที่พบในไวน์ มีสูตรทางเคมีคือ $C_4H_6O_6$ อยู่ในรูป L-Tartaric acid อาจเรียกว่า L-2,3-Dihydroxysuccinic acid หรือ L-2,3-Dihydroxybutanedioic กรดทาร์ทาริกในธรรมชาติพบมากในมะขามโดยเฉพาะมะขามเปรี้ยว และกรดนี้ใช้เป็นส่วนผสมของ ผงฟู (Baking powder) ทำหน้าที่เสริมฤทธิ์กันหินจับอนุมลโลหะ (Sequestrant) อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) และ ปรับความเป็นกรดในอาหาร และเครื่องดื่ม [10] นอกจากนี้พบว่ากรดทาร์ทาริก สามารถต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งแบคทีเรียและรักษาโรคเชื้อราบนผิวหนังได้ [11]

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า เมื่อปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาซด้วยเส้นใยนุ่น (Kapok fiber) และเส้นใยปอ (Jute fiber) ส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกสตาซมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นและ มีการดูดซับน้ำลดลง [5] จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การเติมกรดมาลิก (Malic acid) ลง ในเทอร์โมพลาสติกสตาซที่ปรับปรุงสมบัติด้วยขี้เลื่อยไม้สัก (Teak sawdust) ทำให้คอมพอลิโธ เทอร์โมพลาสติกสตาซมีสมบัติเชิงกลลดลงและมีการดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกรดแต่

เอกสารนี้คอมพอลิโธเทอร์โมพลาสติกสตาซที่มีการใส่กรดมาลิกมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นต่ำกว่า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมพลาสติกสตาρχที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัตินอกจากนี้ยังพบว่าการใช้กรดมาลิกสำหรับคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาρχ สามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* แต่ไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli* ได้ [9]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดเพื่อทำการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาρχจากแป้งมันสำปะหลัง (Thermoplastic cassava starch, TPCS) โดยนำมาเสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่น (Kapok Fibers) ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน ไขมัน และเถ้า โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์และใส่กรดทาร์ทาริกในปริมาณต่างกัน โดยเตรียมชิ้นงานโดยใช้เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัด (Compression molding) โดยคาดหวังว่าเทอร์โมพลาสติกสตาρχจะมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ความสามารถในการดูดซับความชื้นน้อยลง สามารถย่อยสลายได้โดยการฝังดินรวมถึงมีความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาρχจากแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ใช้เส้นใยนุ่นเป็นส่วนเสริมแรงและใช้กรดทาร์ทาริกสำหรับต้านเชื้อแบคทีเรีย
2. เพื่อตรวจวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่างๆของเทอร์โมพลาสติกสตาρχจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติโดยเส้นใยนุ่นและกรดทาร์ทาริก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาρχจากแป้งมันสำปะหลัง เส้นใยนุ่นและกรดทาร์ทาริก
2. ศึกษาปริมาณของกรดทาร์ทาริกที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาρχและการต้านเชื้อแบคทีเรีย
3. วิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่างๆของเทอร์โมพลาสติกสตาρχ ได้แก่
 - 3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชัน (Attenuated total reflection spectroscopy, ATR)
 - 3.2 สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron Microscope, SEM)
 - 3.3 การดูดซับความชื้น (Water absorption)
 - 3.4 สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)
 - 3.5 ความสามารถในการย่อยสลายโดยการฝังดิน (Soil burial test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ การทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 สมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA)

3.7 การต้านเชื้อแบคทีเรีย (Antibacterial activity)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. วัสดุที่เตรียมได้สามารถลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมและสามารถทดแทนวัสดุที่ได้จากพอลิเมอร์
2. ส่งเสริมการนำวัสดุธรรมชาติที่หาง่าย ราคาถูก นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
3. สามารถนำผลการศึกษาที่ได้มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้ เพื่อให้เกิดประโยชน์ตรงตามความต้องการของตลาดโลกปัจจุบันมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติกย่อยสลาย

พลาสติกเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น เนื่องจากมีสมบัติเด่นในด้านความทนทาน น้ำหนักเบา และราคาถูก ในปัจจุบันจึงเห็นอุปกรณ์เครื่องใช้ที่ทำมาจากพลาสติก รวมไปถึงเครื่องใช้ในบ้านหรือผลิตภัณฑ์บรรจุอาหาร เช่น จาน ช้อน ส้อม มีด แก้วน้ำ ถ้วยพลาสติก และแผ่นฟิล์มสำหรับบรรจุอาหาร แต่อย่างไรก็ตามความทนทานของพลาสติกกลับเป็นข้อเสียในการกำจัด กล่าวคือพลาสติกย่อยสลายได้ยากในกระบวนการธรรมชาติ พลาสติกที่ใช้แล้วอาจก่อให้เกิดปัญหาอย่างต่อเนื่องต่อสิ่งแวดล้อมถ้าขาดการจัดการกำจัดอย่างเหมาะสม เช่น เกิดการตกค้างของพลาสติกในสิ่งแวดล้อมตามพื้นดิน และในแหล่งน้ำซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณนั้น เกิดการอุดตันในท่อระบายน้ำ การใช้พื้นที่ในการฝังกลบมาก นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งมลภาวะทางสายตา [12]

2.1.1 ปัญหาจากสภาพแวดล้อมของพลาสติก

1. ปัญหาการไม่ย่อยสลายของพลาสติก เนื่องจากพลาสติกเป็นสารที่สลายตัวได้ยากไม่ว่าจะเป็นกระบวนการทางเคมี เช่น การละลายน้ำ อิทธิพลทางความร้อน แสงหรือสารเคมี กระบวนการทางกายภาพ เช่น การสีกกร่อนโดยลม หรือกระบวนการทางชีวภาพ เช่น การย่อยสลายของแบคทีเรียหรือเชื้อรา หากไม่มีการกำจัดอย่างเหมาะสมอาจก่อให้เกิดการตกค้างของขยะพลาสติกในสิ่งแวดล้อม

2. ปัญหาต่อระบบกำจัดพลาสติก เนื่องจากพลาสติกเป็นสารที่ย่อยสลายได้ยากจึงกำจัดได้ด้วยวิธีการฝังกลบหรือการเผา ต่อมาวิธีการฝังกลบเริ่มมีปัญหา เนื่องจากมีความต้องการใช้พื้นที่จำนวนมาก ทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกเป็นสารที่ย่อยสลายได้ยาก เมื่อฝังใต้ดินจะทำให้สารที่กำจัดหมดอายุการใช้งานได้เร็วขึ้นจึงต้องหาที่กำจัดใหม่อยู่บ่อยครั้ง นอกจากนี้การย่อยสลายพลาสติกในหลุมฝังกลบจะเป็นไปอย่างช้าๆ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการชะล้างสารเคมีหรือโลหะหนักที่เติมเข้าไปในพลาสติก

3. ก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำจากการเพิ่มของค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biological oxygen demand, BOD) และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical oxygen demand, COD) อันเนื่องมาจากการมีปริมาณสารอินทรีย์ หรือสารอาหารในแหล่งน้ำในปริมาณสูง ทำให้จุลินทรีย์มีความต้องการใช้ออกซิเจนในน้ำสูงขึ้นด้วย ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศทางน้ำ

4. เกิดการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายของพลาสติกย่อยสลายได้ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจทำให้สารเติมแต่งต่างๆรวมถึง สีพลาสติคไซเซออร์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ตกค้าง รั่วไหลและปนเปื้อนไปกับแหล่งน้ำใต้ดินและบนดิน ซึ่งสารบางชนิดอาจมีความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์

5. เกิดมลภาวะจากขยะอันเนื่องมาจากการใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ถูกทิ้งหรือตกลงในสิ่งแวดล้อมที่มีสภาวะไม่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย เช่น ถูกลมพัดและติดค้างอยู่บนกิ่งไม้ ซึ่งมีปริมาณจุลินทรีย์ไม่มากพอที่จะไม่สามารถย่อยสลายได้ดี นอกจากนี้การใช้พลาสติกย่อยสลายได้ อาจทำให้ผู้บริโภคเข้าใจผิดว่า จะสามารถกำจัดได้ง่ายและรวดเร็ว ทำให้มีการใช้งานเพิ่มขึ้นและพลาสติกย่อยสลายได้บางชนิดอาจใช้เวลาหลายปีในการย่อยสลายทางชีวภาพอย่างสมบูรณ์ และก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์ที่กลืนกินพลาสติกเข้าไป เนื่องจากไม่สามารถย่อยสลายได้ภายในกระเพาะของสัตว์

6. ความเป็นพิษของคอมโพสท์ที่ได้จากการหมักพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เนื่องจากการมีสารตกค้าง หรือใช้สารเติมแต่งที่มีความเป็นพิษ และส่งผลกระทบต่อพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในดิน เช่น ไส้เดือน ดังนั้นจึงต้องศึกษาความเป็นพิษ (Toxicity) ของคอมโพสท์ด้วย ชิ้นส่วนที่เกิดจากการหักเป็นชิ้นเล็กๆ เกิดการสะสมอยู่ในดินที่ใช้ทางการเกษตร ในปริมาณเล็กน้อยจะช่วยให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศได้ดี จึงนิยมใช้ในสวนดอกไม้ไร้ร่อง และใส่ในกระถางเพื่อทำหน้าที่ปรับสมบัติของดิน แต่อย่างไรก็ตามอาจเกิดการสะสมของเศษพลาสติกในดินมากเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของดินและปริมาณผลิตผลที่เพาะปลูกได้

การใช้งานพลาสติกก่อให้เกิดผลกระทบ ในวงกว้างทั้งต่อทั้งต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมทำให้มีการค้นคว้าและพัฒนากระบวนการผลิตใหม่ๆ เพื่อลดปัญหาสุขภาพที่อาจเกิดกับผู้บริโภค รวมถึงปัญหาสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันจึงมีการผลิตพลาสติกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) เป็นพลาสติกที่ผลิตขึ้นจากวัสดุ ธรรมชาติซึ่งส่วนใหญ่เป็นพืชสามารถย่อยสลายได้ (Biodegradable) เช่น เซลลูโลส (Cellulose) คอลลาเจน (Collagen) เคซีน (Casein) พอลิเอสเทอร์ (Polyester) แป้ง (Starch) และโปรตีนจากถั่ว (Soy protein) เป็นต้น โดยแป้งเป็นวัสดุธรรมชาติที่นิยม นำมาผลิตพลาสติกชีวภาพมากที่สุด เนื่องจากหาได้ ง่าย มีปริมาณมากและราคาถูกสำหรับประเทศไทย พืชที่นิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกชีวภาพ คือ มันสำปะหลัง เนื่องจากเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีปริมาณมากและราคาถูก [13]

2.2 ประเภทของพลาสติก

2.2.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

พอลิเมอร์ประเภทนี้มีโครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์เป็นแบบเส้นตรงหรือแบบกิ่งสั้นๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวางไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและหลอมเหลวเป็นไม่ว่างกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเหลวหนืดเนื่องจาก โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่พันกันอยู่สามารถเคลื่อนที่ผ่านกันไปได้ง่ายขึ้นเมื่อได้รับความร้อน และเมื่อเย็นตัวลงก็จะแข็งตัว ซึ่งการหลอมเหลวและเย็นตัวนี้ สามารถเกิดกลับไปกลับมาได้โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ หรือโครงสร้างของพอลิเมอร์เปลี่ยนไปมากนัก

2.2.2 เทอร์โมเซตติง (Thermosetting)

พอลิเมอร์ประเภทนี้มีโครงสร้างเป็นแบบร่างแห ซึ่งจะหลอมเหลวได้ในขั้นตอนการขึ้นรูปครั้งแรกเท่านั้น ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ทำให้พอลิเมอร์มีรูปร่างที่ถาวร ไม่สามารถหลอมเหลวได้อีกเมื่อได้รับความร้อนและหากได้รับความร้อนสูงเกินไป จะทำให้พันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลแตกออก ได้สารที่ไม่มีสมบัติของความเป็นพอลิเมอร์ต่อไป

2.3 พลาสติกย่อยสลายได้

2.3.1 การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ที่มีพันธะเคมีไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เมื่อพลาสติกสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะมีปริมาณขยะหนาแน่น หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มืด หรือแม้กระทั่งพลาสติกที่มีการเคลือบด้วยสารที่หนามากบนพื้นผิว

2.3.2 การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation) โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ

2.3.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative degradation) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ โดยมีความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกลที่เป็นปัจจัยร่วมก่อให้เกิดเป็นสารประกอบของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกล ข้อดีของการย่อยพลาสติกด้วยวิธีนี้คือสามารถย่อยสลายได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด หรือการเติมเกลือของโลหะทรานสิชัน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและย่อยสลายได้ในที่สุด

2.3.4 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic Degradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิคาร์บอเนต และ

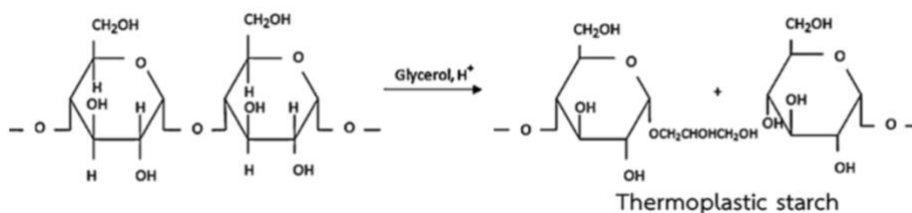
พอลิยูริเทน ซึ่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา (Non-catalytic hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External catalytic degradation) และแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกมี 2 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase Lipase esterase และ Glycohydrolase และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอลคาไลด์ (Alkaline metal) เบส (Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อมในธรรมชาติ สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

2.3.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของเอนไซม์และจุลินทรีย์ในธรรมชาติ โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนแรกเป็นการย่อยสลายทำให้เกิดการแตกออกจากกันตัวของโมเลกุล (Depolymerisation) โดยเกิดขึ้นภายนอกเซลล์เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอ จะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือ แร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (Biomass) [9,14]

2.4 Thermoplastic starch (TPS)

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch) เป็นพลาสติกชีวฐาน (Bio-based plastic) จัดอยู่ในกลุ่มที่มาจากธรรมชาติโดยตรง ไม่เป็นพิษ ย่อยสลายได้โดยการฝังกลบและโดยการกระทำของจุลินทรีย์และหาใหม่ทดแทนได้ พืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง และถั่วต่างๆ พืชเหล่านี้มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักและเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช โดยทั่วไปแล้วแป้งไม่สามารถขึ้นรูปได้โดยกระบวนการทางความร้อนเหมือนพลาสติกทั่วไป เนื่องจากเกิดการไหม้และเสื่อมสภาพก่อนหลอม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาแป้งให้เป็นเทอร์โมพลาสติกเพื่อให้สามารถขึ้นรูปได้โดยกระบวนการเดียวกับพลาสติกทั่วไป [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช [15]

การพัฒนาแป้งให้เป็นเทอร์โมพลาสติกเพื่อให้สามารถขึ้นรูปได้โดยกระบวนการทางความร้อนทำได้โดยการเติมพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ลงในสตาร์ชด้วยสภาวะที่เหมาะสม เพื่อทำลายอันตรกิริยาของโมเลกุลแป้งภายใต้ความร้อนและแรงเฉือน กระบวนการนี้เรียกว่าเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) พลาสติกไซเซอร์ที่มีการใช้ทั่วไปในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช เช่น น้ำ กลีเซอรอล (Glycerol) ไกลคอล (Glycol) ซอร์บิทอล (Sorbital) ยูเรีย (Urea) ฟอรัมาไมด์ (Formamide) [15-17]

2.5 แป้ง

แป้ง ถูกสะสมไว้ในส่วนต่างๆที่เป็นแหล่งเก็บอาหารของพืช เช่น หัว ราก เมล็ด ลำต้น และผล แป้งที่มีสิ่งเจือปนอื่นๆผสม เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ เรียกว่า ฟลาวัวร์ (Flour) แต่ถ้าสกัดสิ่งเจือปนอื่นๆออกจนได้แป้งบริสุทธิ์เรียกว่าสตาร์ช (Starch) ในประเทศไทยอุตสาหกรรมแป้งเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปทางการเกษตรหลักของประเทศ ส่วนใหญ่ผลิตแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี และแป้งข้าวเหนียว เพื่อจำหน่ายหรือนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ วิธีการผลิตแป้งเป็นการนำส่วนต่าง ๆ ของพืชได้แก่เมล็ด,หัว,รากและลำต้นมาสกัดด้วยวิธีการโม่ ทำให้บริสุทธิ์ด้วยการแยกแป้งออกจากองค์ประกอบอื่นๆ ของพืช เช่น เยื่อใยโปรตีน น้ำตาลและเกลือ จนได้เม็ดแป้ง (starch granule) ที่บริสุทธิ์ถึง 98-99.5% [18]

2.5.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของแป้ง

แป้งมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีโครงสร้างที่ประกอบด้วย คาร์บอน : ไฮโดรเจน : ออกซิเจน ในอัตราส่วน 6 : 10 : 5 อนุพันธ์ของแป้งเกิดจากการรวมกันของกลูโคสเป็นพอลิเมอร์สายยาว โดยมีหน่วยของน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic linkage) ภายใน

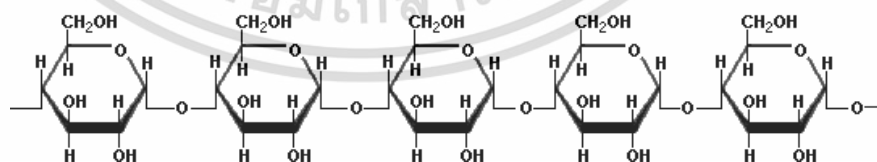
เม็ดแป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ อะไมโลสและอะไมโลเพกทิน แป้งแต่ละชนิดมีเอกลักษณ์เป็นเอกลักษณ์สูงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า สัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินที่แตกต่างกัน [19]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน [19]

สมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพกติน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะ กันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	α -1,4	α -1,4 และ α -1,6
ขนาด	200-2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับ ไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับ ตัวเป็นก้อนหรือเป็นแผ่น	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

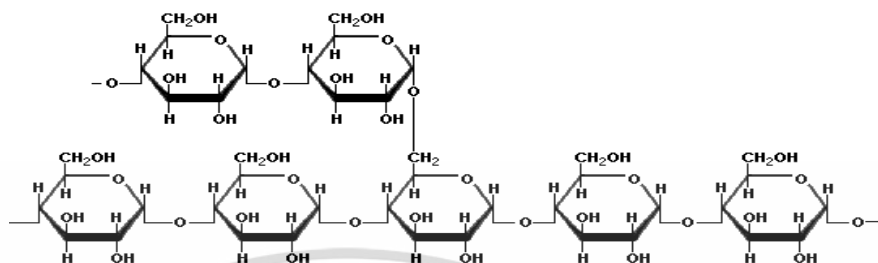
อะไมโลส (Amylose) เป็นคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) โมเลกุลของอะไมโลส เป็นพอลิเมอร์สายตรงของน้ำตาลดี-กลูโคส (D-glucose) ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) ชนิด แอลฟา 1,4 ประมาณ 200-2,000 หน่วย มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 150,000 ถึง 1,000,000 โดยจะผันแปรไปตามชนิดของสตาร์ช ขนาดและน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลส มีผลมาจาก Degree of Polymerization (DP) ของอะไมโลสที่แตกต่างกัน อะไมโลสในสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลังมี DP ของอะไมโลสอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 จะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าในสตาร์ชข้าวโพดและข้าวสาลี ที่มี DP ของอะไมโลสอยู่ในช่วง 200 ถึง 1,200 สตาร์ชชนิดที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มของการคืนตัวหรือการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ต่ำลง [20]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างอะไมโลส [20]

อะไมโลเพกติน (Amylopectin) คือ พอลิแซ็กคาไรด์ประเภทโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (homopolysaccharide) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเม็ดสตาร์ช (Starch granule) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส (Glucose) ที่จัดเรียงตัวเป็นสายตรงและสายแขนง โดยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic) ไม่ว่าจะชนิดใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

bond) สองแบบ คือส่วนที่เป็นพันธะสายตรง เป็นพันธะ ชนิดแอลฟา-1-4 เหมือนกับอะไมโลส และ ส่วนที่เป็นสายแขนงเชื่อมต่อด้วยพันธะแอลฟา-1-6 อะไมโลเพกทินจัดเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ น้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลเพกทินมากกว่าอะไมโลสประมาณ 100 เท่า [20]



รูปที่ 2.3 โครงสร้างอะไมโลเพกทิน [20]

2.5.2 สมบัติของแป้ง

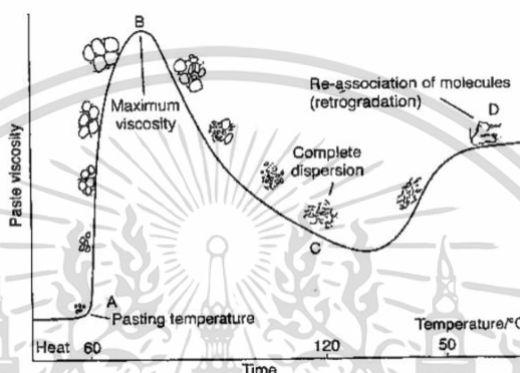
2.5.2.1 การดูดซับน้ำของแป้ง

ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและการละลายของแป้ง คือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรงของโครงสร้าง ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตและลักษณะโครงสร้างร่างแหภายในเม็ดแป้ง การละลายของเม็ดแป้งแต่ละชนิดมีรูปแบบที่แตกต่างกัน แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลิ่งไนซ์ เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนในหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่ใกล้เคียงกันเชื่อมต่อกัน แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำแป้งสูงกว่าอุณหภูมิเจลลิ่งไนซ์พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลายทำให้โมเลกุลของน้ำเชื่อมต่อกับหมู่ไฮดรอกซิลอย่างอิสระ เม็ดแป้งจึงพองตัวและละลายน้ำได้ ส่งผลให้ความหนืดของแป้งเพิ่มขึ้น แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง เช่น แป้งจากธัญพืช ได้แก่ แป้งข้าวโพดและแป้งสาลี โครงสร้างร่างแหภายในเม็ดแป้งมีความแข็งแรงมาก ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้น้อย ส่วนแป้งจากรากหรือกลางลำต้น เช่น แป้งมันสำปะหลัง อุณหภูมิเจลลิ่งไนซ์ต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช ทำให้มีการพองตัวและการละลายที่ดีกว่า และแป้งจากส่วนหัว เช่น แป้งมันฝรั่ง การพองตัวของเม็ดแป้งดีที่สุด เนื่องจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอ และมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตที่ทำให้เกิดแรงผลักดันทางไฟฟ้า ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำ [18]

2.5.2.2 สมบัติความหนืดของแป้ง

ความหนืด เกิดจากน้ำแป้งได้รับความร้อน จนถึงอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (Pasting temperature) เม็ดแป้งจึงเริ่มเกิดความหนืด ต่อจากนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเม็ดแป้งจะไม่ว่ากรณใดๆ ทั้งสิ้น ยกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดซึมน้ำและพองตัวได้ดี ปริมาณน้ำรอบเม็ดแป้งลดน้อยลงทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงที่สุด (Peak viscosity) คือจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ ขณะที่อุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้นอีก โดยมีแรงกวนอย่างสม่ำเสมอ ทำให้อะไมโลสและอะไมโลเพกทินภายในเม็ดแป้งแตกออกจนมีความหนืดลดลง ต่อมาเมื่ออุณหภูมิลดลงจึงเกิดการจัดเรียงโครงสร้างใหม่ของโมเลกุลอะไมโลสที่หลุดออกมาจากเม็ดแป้ง ให้ความหนืดเพิ่มขึ้นอีกครั้ง เรียกกระบวนการนี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) [18]



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งระหว่างการต้มสุก [18]

เมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อนพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของสตาร์ชในเม็ดแป้งจะถูกทำลายสายพอลิเมอร์ของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินที่อยู่ในเม็ดแป้งจะคลายตัวและรวมกับน้ำที่ล้อมรอบ ทำให้เม็ดแป้งพองตัวและมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้นจนถึงความหนืดสูงที่สุดเนื่องจากเม็ดแป้งมีการพองตัวมากที่สุด ความหนืด (Viscosity) ความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัว และแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้งเมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า Pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุดจากนั้นอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้งค่าความหนืดของน้ำแป้งสุกจะเป็นผลมาจากการพองตัวของเม็ดแป้งและการแตกหักของเม็ดแป้ง ร่วมกับการละลายออกมาของโมเลกุลแป้งเมื่อลดอุณหภูมิลง โมเลกุลอิสระที่ กระจัดกระจายออกมา (โดยเฉพาะส่วนของอะไมโลส) ถ้ามีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมคือไม่สั้นและยาวเกินไปก็จะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกันและกักน้ำไว้ได้ ให้ความหนืดสูงขึ้นอีกความหนืดที่กลับสูงขึ้นนี้อีกนี้เรียกว่า setback และปรากฏการณ์นี้ก็คือการคืนตัวของแป้ง (Retrogradation) ปัจจัยที่มีผลต่อ

ความหนืดได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาค สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกทิน ฯลฯ [18]
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.3 สมบัติเจลาตินในเซชันของแป้ง

เม็ดแป้งเมื่อได้รับความร้อนทำให้เกิดการพองตัว จนถึงความร้อนระดับหนึ่งเม็ดแป้งจะแตกออก อะไมโลสและอะไมโลเพกทินในเม็ดแป้งหลุดออกมา สารละลายน้ำแป้งที่ได้มีความข้นหนืดมากขึ้นจนเป็นแป้งเปียก (starch paste) เรียกกระบวนการนี้ว่า เจลาตินในเซชัน (Gelatinization) และอุณหภูมิเริ่มต้น การพองตัวของเม็ดแป้งคือ อุณหภูมิเจลาตินในเซชัน (Gelatinization temperature) เม็ดแป้งขนาดเล็กเกิด เจลาตินในเซชันได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเม็ดแป้งขนาดใหญ่ อุณหภูมิเจลาตินในเซชันระบุเป็นช่วงอุณหภูมิ [21]

2.5.2.4 การคืนตัวของแป้งสุก รีโทรเกรเดชัน

กระบวนการรีโทรเกรเดชัน เป็นกระบวนการจัดเรียงตัวใหม่ของสายอะไมโลสที่หลุดออกมาจากเม็ดแป้งโดยจัดเรียงตัวแบบคู่ขนานของสายอะไมโลสที่สร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของอะไมโลสอีก ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง เมื่อสารละลายแป้งเกิดการจัดเรียงตัวอย่างซ้ำๆ ทำให้ได้แป้งเปียกที่ข้นและเกิดตะกอนขนาดใหญ่ แต่ถ้าแป้งเปียกถูกทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วทำให้เกิดเจลที่มีความยืดหยุ่นของสายอะไมโลส ส่วนสายของอะไมโลเพกทินไม่เกิดรีโทรเกรเดชัน เนื่องจากไม่สามารถจัดเรียงตัวคู่ขนานกันได้ การเกิดกระบวนการรีโทรเกรเดชันในแป้งส่งผลต่อการผลิตอาหาร เช่น การไม่ขึ้นฟูของเค้ก การแยกชั้นของครีมและการแห้งแข็งของขนมปัง [22]

2.6 แป้งมันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง (Tapioca หรือ Cassava) เป็นพืชหัวชนิดหนึ่งที่เก็บสะสมอาหารไว้ในราก จัดอยู่ในตระกูล Euphorbiaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz มีลักษณะเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก ปลูกง่าย ทนทานต่อความแห้งแล้ง สามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ประเทศไทยถือเป็นผู้ผลิตมันสำปะหลังที่สำคัญของโลก โดยพื้นที่ที่ปลูกมันสำปะหลังมากที่สุด คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มันสำปะหลังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย นิยมนำมาบริโภคเป็นอาหาร เนื่องจากเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ และนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลัง ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง (Tapioca starch) มันอัดเม็ด (Tapioca pellets) มันเส้น (Tapioca chips) [23]

แป้งมันสำปะหลังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากมันสำปะหลัง มีลักษณะเป็นผงละเอียด มีสีขาว มีความบริสุทธิ์สูง มีสิ่งเจือปนต่ำเมื่อนำเม็ดแป้งไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าลักษณะของเม็ดแป้งมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างเป็นเม็ดกลมหรือรูปไข่ อาจจะมีรอยบุ๋มที่ปลายด้านหนึ่งของเม็ดแป้ง ขนาดของเม็ดแป้งจะอยู่ในช่วง 3-40 ไมครอน [24]

2.6.1 องค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่เก็บสะสมอาหารไว้ในราก เมื่อพืชมีการสร้างอาหารจากใบและส่วนที่เป็นสีเขียวแล้วจะสะสมในรูปของคาร์โบไฮเดรตความสามารถในการสร้างและสะสมแป้งในรากมีความแตกต่างกันบ้าง เนื่องจากพันธุ์ของมันสำปะหลังอายุเก็บเกี่ยวปริมาณน้ำฝนในช่วงแรกก่อนการเก็บเกี่ยวและปัจจัยอื่นๆจึงทำให้ส่วนประกอบของหัวมันอาจจะแตกต่างกันไปองค์ประกอบของมันสำปะหลังแสดงได้ดังตาราง 2.2 และ 2.3

ตาราง 2.2 องค์ประกอบในหัวมันสำปะหลัง [25]

องค์ประกอบในหัวมันสำปะหลัง	ปริมาณ (ร้อยละ)
น้ำ	60.21-75.32
เปลือก	4.08-14.08
เนื้อ (แป้ง)	25.87-41.88
ไซยาไนด์ (ppm)	2.85-39.27

ตาราง 2.3 องค์ประกอบในเนื้อมันสำปะหลัง [7]

องค์ประกอบในเนื้อมันสำปะหลัง	ปริมาณ (ร้อยละ)
อะไมโลส	16.04-26.95
อะไมโลเพกทิน	67.36-81.13
โปรตีน	0.37-0.61
เส้นใย	0.33-0.46
เถ้า	0.14-0.23
ไขมัน	0.03-0.17
ความชื้น	5.50-6.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การใช้ประโยชน์แป้งมันสำปะหลัง

2.6.2.1 การบริโภคในครัวเรือน

แป้งมันสำปะหลังถูกใช้มากที่สุดในการบริโภคโดยคนไทยบริโภคแป้งมันสำปะหลังประมาณ 7 กิโลกรัม/คน/ปี ซึ่งจะเป็นการปรุงอาหารประจำวันในบ้านหรือร้านค้าทั่วไป

2.6.2.2 อุตสาหกรรมแป้งตัดแปรร

แป้งมันสำปะหลังเหมาะสมมากสำหรับการผลิตเป็นแป้งตัดแปรรเพราะมีความบริสุทธิ์สูง โดยแป้งที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับปฏิกิริยาเคมี เพื่อให้แป้งมีคุณสมบัติพิเศษ เช่น ทนความร้อนทนกรดดีขึ้น เหนียวขึ้น

2.6.2.3 ใช้ทำผงชูรสและไลซีน

ผงชูรสและไลซีนเป็นกรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของโปรตีนการผลิตผงชูรสมีการใช้แป้งในการผลิตคิดเป็นปริมาณสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอุตสาหกรรมอื่นๆ ส่วนไลซีนใช้ผสมในอาหารสัตว์ ซึ่งทั้งชูรสและไลซีนต้องใช้ปริมาณแป้งมากกว่า 2 แสนตันต่อปี

2.6.2.4 สารให้ความหวาน

การใช้แป้งในการผลิตสารให้ความหวานในแต่ละปีมีปริมาณมากกว่าหนึ่งแสนตัน สารให้ความหวาน เช่น น้ำเชื่อมฟรักโทส น้ำเชื่อมกลูโคส ซอร์บิทอลและอื่นๆ ได้จากการย่อยแป้งให้มีขนาดเล็กลงเป็นหน่วยของน้ำตาลต่างๆ มีความจำเป็นต้องใช้ในอุตสาหกรรมขนมหวาน ลูกกวาด ยาสีฟัน และยา

2.6.2.5 อุตสาหกรรมไม้อัดและกาว

แป้งจะใช้ผสมกับสารเคมีต่างๆ เพื่อเป็นกาวติดกระดาษ เช่น กระดาษลูกฟูก รวมทั้งใช้ในอุตสาหกรรมไม้อัดด้วย มีปริมาณการใช้ประมาณ 3 หมื่นตันต่อปี [25]

2.7 เส้นใยนุ่น

นุ่นเป็นเส้นใยพืชชนิดหนึ่งที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแอฟริกา มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ceiba Pentandra Gaerth*. จัดอยู่ในตระกูล Bombaceae [26] เส้นใยนุ่นมีลักษณะรูปยาวรี รูปทรงกระบอก กลวง ผนังบาง เรียบและเปราะ ไม่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอพวกปั่นด้าย เนื่องจากฟูและเบามาก เส้นใยไม่หยิกหรือหยักที่จะช่วยให้เป็นกลุ่มเส้นใยจับตัวกันได้ดีเมื่อปั่นเป็นเส้นด้าย มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 14 เท่าของน้ำ มีสมบัติอ่อนนุ่มและเบา ไม่ดูดซับน้ำ แต่ดูดซับน้ำมัน สามารถรับน้ำหนักตัวได้ 30 เท่าตัวในน้ำทะเล [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลักษณะของต้นนุ่น ลำต้นสูงใหญ่ประมาณ 10-30 เมตร ทรงยอดแผ่เป็นพุ่มกว้างต้นกลมสีเขียว และมีหนามขึ้นอยู่ทั่วไปบริเวณโคนต้น

ลักษณะของใบนุ่น เป็นใบประกอบแบบนิ้วมือ มีใบย่อยประมาณ 5-11 ใบลักษณะของใบย่อยเป็นรูปขอบขนานแกมใบหอกหรือรูปหอกเรียวแหลมปลายใบและโคนใบเรียวแหลม ขอบใบเรียบ ใบมีขนาดกว้างประมาณ 1-1.5 นิ้วและยาวประมาณ 2-5 นิ้ว ใบเป็นสีเขียวก้านใบและเส้นก้านใบเป็นสีแดงอมน้ำตาล

ลักษณะของดอกนุ่น ออกดอกเป็นช่อกระจุกมีดอกย่อยมีจำนวนมาก หรือช่อหนึ่งมีดอกประมาณ 1-5 ดอก ลักษณะของดอกเป็นรูปถ้วย ปลายดอกแยกออกเป็นกลีบ 5 กลีบ ยาวประมาณ 1-1.5 นิ้ว กลีบดอกเป็นสีขาวแกมเหลือง กลีบดอกติดกันที่ฐานกลีบด้านนอกเป็นสีขาวนวลและมีขน กลีบด้านในเป็นสีเหลือง

ลักษณะของผลนุ่น เป็นรูปยาวรี ปลายและโคนผลแหลมเปลือกแข็ง เมื่อแห้งจะแตกออกได้เป็น 5 พู ภายในจะมีนุ่นสีขาวเป็นปุยและมีเมล็ดจำนวนมากลักษณะของเมล็ดนุ่น เมล็ดเป็นสีดำ มีเส้นใยสีขาวคล้ายเส้นไหมยาวหุ้มเมล็ดอยู่ [28]
ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของเส้นใยนุ่น [4]

องค์ประกอบ	ร้อยละ
เซลลูโลส (Cellulose)	53.4
เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	29.6
ลิกนิน (Lignin)	20.7
แว็กซ์ (Waxes)	5.3
เถ้า (Ash)	0.5

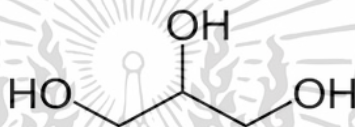
2.8 พลาสติไซเซอร์

พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) เป็นสารเติมแต่ง (Additive) ที่นิยมใช้กันมากในพอลิเมอร์หรือพลาสติก เติมลงไปเพื่อเพิ่มความอ่อนตัวและความยืดหยุ่นให้ดีขึ้น โดยพลาสติไซเซอร์จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลสายโซ่ของพอลิเมอร์ ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอ่อนลงและอุณหภูมิ

การเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) ลดลง มีความอ่อนตัว ยืดหยุ่นสูง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ทุนต่ออุณหภูมิ ช่วยให้กระบวนการขึ้นรูปง่าย [9]
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ก्लीเซอรอล

กลีเซอรอล (Glycerol) อาจจะเรียกว่ากลีเซอริน (Glycerine) เป็นแอลกอฮอล์ที่มี -OH 3 หมู่ (Trihydric alcohol) มีสูตรโมเลกุลทางเคมีคือ $C_3H_8O_3$ โครงสร้างของกลีเซอรอลแสดงดังรูปที่ 2.5 กลีเซอรอลเป็นของเหลวไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความหนืด มีรสหวาน สามารถละลายได้ดีในน้ำและแอลกอฮอล์ แต่ไม่ละลายในไขมัน กลีเซอรอลสามารถสังเคราะห์ได้จากโพรพิลีน (Propylene) และหมักจากน้ำตาลด้วยโซเดียมไบซัลไฟต์ (Sodium bisulfite) และยีสต์ (Yeast) และมีการผลิตเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล กลีเซอรอลถูกใช้อย่างกว้างขวางเป็นสารละลาย สารเพิ่มความหวาน ลูกอม สบู่เหลว เครื่องสำอาง สารให้ความชุ่มชื้น สารตั้งต้นทางปิโตรเคมีต่าง ๆ เป็นต้น กลีเซอรอลมีสมบัติต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.4 [29]



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของกลีเซอรอล [29]

ตารางที่ 2.5 สมบัติต่างๆของกลีเซอรอล [29]

สมบัติ	ข้อมูล
สถานะ	ของเหลวหนืด
สี	ไม่มีสี
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
จุดหลอมเหลว/ช่วงการหลอมละลาย	18.2 องศาเซลเซียส
จุดเดือด/ช่วงการเดือด	290 องศาเซลเซียส
จุดวาบไฟ	160 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิที่ลุกติดไฟเองได้	400 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น @ 20°C	1.26 g/cm ³
ความดันไอ @ 20°C	< 0.1 hPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 สารหล่อลื่น

สารหล่อลื่น (Lubricants) เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อช่วยในกระบวนการขึ้นรูป ช่วยลดแรงเสียดทาน ลดความฝืดของชิ้นส่วนในเครื่องจักร ทำให้การผสมง่ายขึ้น ช่วยให้ผลิตภัณฑ์หรือชิ้นงานไม่ติดแม่พิมพ์ สารหล่อลื่นแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. สารหล่อลื่นภายนอก (External Lubricants) ทำหน้าที่ช่วยในการไหลและลดความฝืดระหว่างผิวของพลาสติกกับผิวของโลหะหรือวัสดุของเครื่องจักรและแม่พิมพ์
2. สารหล่อลื่นภายใน (Internal Lubricants) ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดความฝืดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ [30]

2.11 แมกนีเซียมสเตียเรท

แมกนีเซียมสเตียเรท (Magnesium stearate) ซึ่งสามารถเรียกว่า กรดออกเตเดคะโนอิก (Octadecanoic acid) หรือเกลือแมกนีเซียม (Magnesium salt) มีสูตรทางเคมีคือ $Mg(C_{18}H_{35}O_2)_2$ เป็นเกลือของกรดสเตียริก (Stearic acid) กับแมกนีเซียม (Mg^{2+}) มีลักษณะเป็นของแข็งผงสีขาวที่อุณหภูมิห้อง มีจุดหลอมเหลวที่ 120 องศาเซลเซียส ไม่ละลายน้ำ ได้รับการรับรองจาก FDA's Subcommittee ว่าปลอดภัยสำหรับมนุษย์ และจัดเป็นสารที่อยู่ในกลุ่ม GRAS (generally recognized as safe) สามารถบริโภคได้ไม่เกิน 2,500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน แมกนีเซียมสเตียเรทนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยา หรือที่รู้จักในนามสารเติมแต่งอาหาร E572 [31]

2.12 น้ำมันซิลิโคน

น้ำมันซิลิโคน (Silicone oil) มีสูตรทางเคมีคือ $C_2H_8O_2Si$ เป็นซิลิโคนเหลว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและไม่มีการสลายตัวในสภาวะความชื้นได้ในทั้งอุณหภูมิสูงและต่ำ ทนทานต่อการเสียดทานทางกลศาสตร์ สามารถนำความร้อนได้ดี ไม่ติดไฟง่าย นิยมใช้เป็นสารหล่อลื่นในรถยนต์ ตัวกลางการถ่ายเทความร้อนในระบบไฮดรอลิก (Hydraulic fluid) สารหล่อลื่นกันกระแทก สารขัดผิว สารเคลือบเงา สารขัดเบ้า หลอมแม่พิมพ์ และเหมาะใช้กับพื้นผิวที่เป็นยาง โลหะ แก้ว และพลาสติก [32]

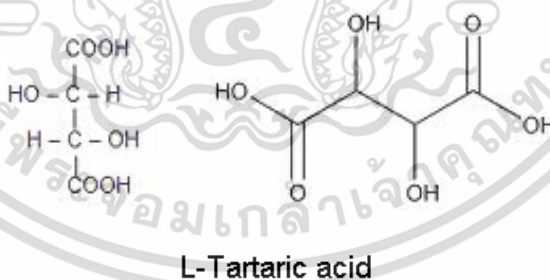
2.13 กรดทาร์ทาริก

กรดทาร์ทาริกเป็นกรดอินทรีย์ที่เป็นผลึกสีขาวซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติในผลไม้หลายชนิด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้แบบฝึกหัดการเขียนเท่านั้น ไม่สามารถนำมาใช้เพื่อประโยชน์ใดๆ โดยเฉพาะในขณะนี้ยังพบในกล้วยมะขามและส้มด้วยเกลือโพแทสเซียมไบทาร์ทหรือที่เรียกกันไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั่วไปว่าครีมออฟทาร์ทาร์ที่มีการพัฒนาตามธรรมชาติในกระบวนการหมักโดยทั่วไปจะผสมกับโซเดียมไบคาร์บอเนตและขายเป็นผงฟูที่ใช้เป็นหัวเชื้อในการเตรียมอาหารกรดนั้นถูกเติมเข้าไปในอาหารในฐานะสารต้านอนุมูลอิสระ E334 และเพื่อให้มีรสเปรี้ยวที่โดดเด่นกรดทาร์ทาริกที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติเป็นวัตถุดิบที่มีประโยชน์ในการสังเคราะห์สารเคมีอินทรีย์กรดทาร์ทาริกเป็นกรดอัลฟา-ไฮดรอกซี-คาร์บอกซิลิกมีลักษณะเป็นกรดแบบไดโพรติกและอัลตาริกและเป็นอนุพันธ์ไดไฮดรอกซิลของกรดซัคซินิก [33]

ตารางที่ 2.6 สมบัติทั่วไปของทาร์ทาริก [33-34]

CAS Number	526-83-0
ชื่อทางเคมี	กรดทาร์ทาริก (Tartaric acid)
ชื่ออื่นๆ	2,3 - Dihydroxysuccinic acid
สูตรทางเคมี	$C_4H_6O_6$
น้ำหนักโมเลกุล	150.09 กรัม/โมล
ลักษณะทางกายภาพ	ผงผลึกสีขาว ใส มีรสเปรี้ยว
จุดเดือด	275 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	173.625 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น	1.984 กรัม/มล. (ที่ 18 องศาเซลเซียส)
ค่า pKa ที่ 25 องศาเซลเซียส	2.93 - 2.98



รูปที่ 2.6 โครงสร้าง L-tartaric acid [10]

L-tartaric acid มีชื่อเรียกทางเคมี คือ L-2,3-dihydroxybutanedioic acid เป็นกรดที่พบได้ทั่วไปในผลไม้หลายชนิด ซึ่งอาจพบในรูปแบบกรดอิสระหรือจับรวมกับเกลือหลายชนิด เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม เป็นต้น กรดทาร์ทาริกชนิดนี้ มีจุดหลอมเหลวในช่วง 168-170 องศาเซลเซียส ($^{\circ}C$) สามารถละลายได้ในตัวทำละลายหลายชนิดเช่นน้ำ แอลกอฮอล์ เมทานอล คีโตน และอีเทอร์ [10] ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.1 การผลิตกรดทาร์ทาริก

2.13.1.1 การสังเคราะห์ทางเคมี และชีวเคมี

ในปัจจุบันกรดทาร์ทาริกชนิด L-tartaric acid ถือเป็นกรดทาร์ทาริกที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมมากที่สุด และเป็นชนิดกรดทาร์ทาริกที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุดกระบวนการผลิต L-tartaric acid จะใช้ผลพลอยได้จากกระบวนการหมักมาเป็นวัตถุดิบหลัก คือ โพแทสเซียมไบทาร์เทรต (Potassium bitartrate ; $\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$) จากนั้นนำมาทำปฏิกิริยากับ ปูนขาว (Ca(OH)_2) จนได้เป็น แคลเซียมทาร์เทรต (calcium tartrate ; $\text{CaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$) จากนั้น นำแคลเซียมทาร์เทรตเข้าทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) จนได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดทาร์ทาริก [33]

2.13.2 กระบวนการทางชีวภาพ

2.13.2.1 กระบวนการทางเอนไซม์ แบ่งเป็น 2 วิธี คือ

1. โดยใช้แบคทีเรียที่สามารถไฮโดรไลซ์ Cis-epoxysuccinate จนได้กรดชนิด L-tartaric acid โดยกระบวนการนี้ แบคทีเรียอาจเจริญบนอาหารที่มี Cis-epoxysuccinate ผสมอยู่ หรือเจริญบนอาหารเหลวที่มีเอนไซม์เร่งปฏิกิริยาผสมอยู่ ซึ่งจะใช้วิธีการตรึงด้วยเซลล์ที่ทำการล้างแล้ว
2. การผลิตกรดทาร์ทาริกด้วยเอนไซม์ Cis-epoxysuccinate hydrolase ได้โดยตรงในการเปลี่ยน Cis-epoxysuccinate ให้เป็นกรดทาร์ทาริก ซึ่งกระบวนการจะมีการควบคุม pH ให้อยู่ในระหว่าง 6-10 และอุณหภูมิ 20-60 องศาเซลเซียส

2.13.2.2 กระบวนการหมักด้วยแบคทีเรีย

แบคทีเรีย Acetobacter ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สามารถผลิต 5-ketogluconate ที่สามารถเปลี่ยนต่อไปเป็นกรดทาร์ทาริกได้ นอกจากนั้น ยังใช้แบคทีเรีย Gluconobacter suboxydans ที่สามารถออกซิไดซ์น้ำตาลกลูโคสให้เป็น 5-Ketogluconate ด้วยกรด Gluconic จากนั้น ค่อยเปลี่ยน 5-Ketogluconate ให้เป็นกรดทาร์ทาริก และกรดไกลโกลิก (Glycolic acid) โดยหากใช้น้ำตาลกลูโคส 100 กรัม จะสามารถผลิตกรดทาร์ทาริกได้ 30 กรัม หรือที่ร้อยละ 30 ของกลูโคสที่ใช้ทั้งหมด

2.13.2.3 การสังเคราะห์ในพืช

ในพืชหลายชนิดจะมีกรดทาร์ทาริกเป็นองค์ประกอบ โดยเฉพาะพืชผัก ผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว เช่น มะขาม มะนาว ส้ม แอปเปิ้ล และองุ่น เป็นต้น [35]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 การคอมปาวด์ (Compounding)

การคอมปาวด์เป็นการผสมสารเติมแต่งชนิดต่างๆกับพลาสติกโดยพลาสติกจะถูกให้ความร้อนจนอยู่ในสภาวะหลอมจากนั้นสารเติมแต่งและพลาสติกหลอมจะถูกนวดผสม ให้เป็นเนื้อเดียวกันเทคนิคการคอมปาวด์พลาสติกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ การคอมปาวด์แบบไม่ต่อเนื่อง (Batchcompounding)และการคอมปาวด์แบบต่อเนื่อง (Continuouscompounding)

2.14.1 การคอมปาวด์แบบไม่ต่อเนื่อง (Batch compounding)

2.14.1.1 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)

เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เป็นเครื่องผสมที่สามารถผสมได้สารเคมีกับยางและพลาสติก โดยลูกกลิ้งทำจากโลหะเคลือบผิว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1-36 นิ้วและมีความยาว 7-8 ฟุต ทำหน้าที่บดผสม ซึ่งลูกกลิ้งจะหมุนสวนทางกันเพื่อให้เกิดการบดผสม สามารถปรับความเร็วการหมุนได้ให้ความร้อนผ่านลูกกลิ้ง



รูปที่ 2.7 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) [36]

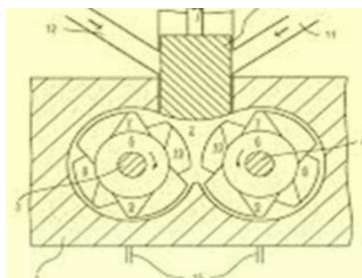
ข้อดีของเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งคือ ระวังผสมสามารถมองเห็นลักษณะการผสมและระดับการผสมได้ ทำความสะอาดง่าย ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแผ่น ข้อเสียคือ ผู้ผสมต้องมีทักษะสูงในการผสม มีการสูญเสียสารเคมีบางส่วนเนื่องจากเป็นระบบเปิด และอาจมีสิ่งปนเปื้อนได้ง่าย

2.14.1.2 เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer)

เครื่องผสมแบบปิดหรือเครื่องผสมภายใน (Internal mixer) นิยมใช้ผสมเตรียมพวกฟิล์มและแผ่นของอะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene, ABS) พอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) เครื่องผสมแบบนี้ประกอบด้วยโรเตอร์ (Rotor) เป็นการผสมในระบบปิด โดยโรเตอร์ภายในห้องผสมจะหมุนสวนทางกันด้วยความเร็วในการหมุนที่สามารถปรับได้ การหมุนของโรเตอร์ทำให้เกิดแรงเฉือนภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากภาควิชาฯ ถือว่าผิดกฎหมาย

ห้องผสมสูงมากเพื่อผสมสารเคมีและพลาสติกเข้าด้วยกัน นอกจากนี้มีการควบคุมอุณหภูมิในห้องผสมด้วยระบบหล่อเย็นด้วยสารหล่อเย็นหรือน้ำ



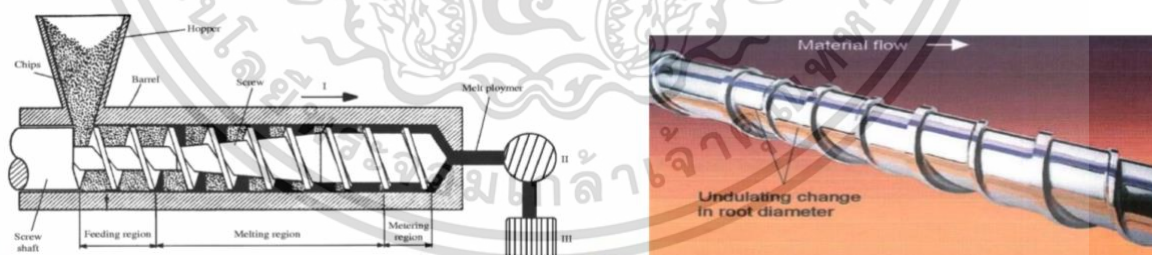
รูปที่ 2.8 เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) [36]

ข้อดีของเครื่องผสมแบบนี้คือผสมสารได้เร็ว ผู้ผสมไม่ต้องมีทักษะสูง ไม่มีการสูญเสียวัสดุหรือเกิดการปนเปื้อน ประสิทธิภาพการผสมสูง ขนาดและความสม่ำเสมอของการผสมในแต่ละครั้งค่อนข้างแน่นอน ข้อเสียของเครื่องผสมแบบนี้คือไม่สามารถมองเห็นการผสมได้ และทำความสะอาดยาก [36]

2.14.2 การคอมปาวด์แบบต่อเนื่อง (Continuous compounding)

2.14.2.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder)

เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว จะใช้แรงเหวี่ยงของเกลียวหนอนเดี่ยวขับเคลื่อนด้วยความร้อนทำให้พลาสติกถูกบิดเหวี่ยงเพื่อผสมกับสารต่างๆ โดยการหมุนของเกลียวหนอนเดี่ยวไม่ก่อให้เกิดแรงเหวี่ยงมากนัก จึงมักผสมไม่ดี เครื่องผสมจะใช้งานผสมทั่วไป ไม่พิถีพิถันมาก



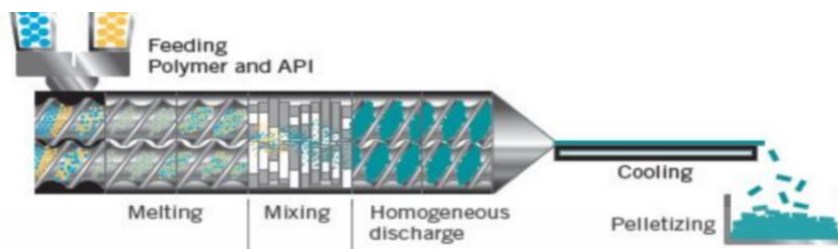
รูปที่ 2.9 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) [36]

2.14.2.2 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder)

เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่มีประสิทธิภาพการผสมมากกว่าเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว เนื่องจากมีแรงเหวี่ยงจากการหมุนของเกลียวหนอนเข้าหากันหรือหมุนตามกัน ทำให้สารผสมได้ดีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะที่ได้มักเป็นเนื้อเดียวกัน เครื่องผสมนี้นิยมใช้ในทางอุตสาหกรรมและงานวิจัย เพราะมีความต่อเนื่องในการผสมปริมาณที่มาก ๆ ได้ดี [36]



รูปที่ 2.10 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหอนคู่ (Twin screw extruder) [36]

2.15 กระบวนการกดอัดด้วยความร้อน (Compression molding)

การขึ้นรูปโดยใช้กระบวนการกดอัดด้วยความร้อนได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวางในการนำมาใช้เป็นเทคนิคการขึ้นรูป TPS โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการนำไปใช้เป็นภาชนะบรรจุประเภทโฟม ซึ่งโดยทั่วไป เกี่ยวข้องกับเจลลาตินในเซชันของสตาร์ช การขยายตัวและการทำแห้ง ส่วนผสมในสูตรนอกจากจะประกอบด้วย สารช่วยการเกิดเจลลาตินในเซชันแล้ว ยังจำเป็นต้องมีสารช่วยปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (Mold release) เช่น แมกนีเซียมสเตียเรท หรือกรดสเตียริกอีกด้วย เพื่อป้องกันการติดของสตาร์ชกับแม่พิมพ์

การทำให้พองโดยการระเบิด (Explosion puffing) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการผลิตโฟมสตาร์ชกันมายาวนานโดยผลิตจากวัตถุดิบสตาร์ชที่มีความชื้นต่ำ ตัวอย่างของกระบวนการนี้ คือการทำป๊อบคอร์น การระเบิดเมล็ดข้าวโพดเกิดขึ้นโดยธรรมชาติที่มีอุณหภูมิประมาณ $177\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในสถานะที่มีความชื้นเพียง 10-15% เพื่อให้มีปริมาณมากที่สุดการทำให้พองโดยการระเบิดสามารถผลิตโฟมสตาร์ชที่มีความหนาแน่นต่ำภายในช่วงเวลาหลายวินาที อย่างไรก็ตามสมบัติของโฟมที่ได้ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ

วิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อนอีกวิธีหนึ่งสำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทโฟมสตาร์ชคือเทคนิคการอบ (Baking technique) ซึ่งคล้ายกับเทคนิคที่ใช้สำหรับการทำคุกกี้เวเฟอร์ วัสดุคล้ายแป้งโดที่มีความชื้นปริมาณ 70-80% และมีปริมาณแน่นนอนนำไปวางในแม่พิมพ์ที่ถูกร้อน จากนั้นไอน้ำที่ถูกสร้างขึ้นโดย ความชื้นที่มีในโดทำหน้าที่เป็นสารฟู (Blowing agent) เพื่อสร้างโฟม ปริมาณความชื้นสูงของโดทำให้ต้องใช้ เวลาในการขึ้นรูปนานขึ้น (ประมาณ 1-2 นาที) เมื่อเปรียบเทียบกับ

เวลาที่ใช้สำหรับการผลิตภาชนะบรรจุ ประเภทโฟมจากพอลิเมอร์ทั่วไป อย่างไรก็ตามปริมาณไอน้ำที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากเกินไปในตัวอย่างทำให้เกิดช่องว่างตลอดทั่วทั้งเมทริกซ์ของโพลีเมอร์ สมบัติของผลิตภัณฑ์สตาร์ชที่ผลิตโดยวิธีการอบนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น ชนิดของสตาร์ชและสารเติมแต่งที่ใช้

นอกจากนี้ได้มีการเตรียมสตาร์ชโดยการใช้อัตราการอัดด้วยความดัน-การระเบิด (Compression- explosion process) วัตถุดิบสตาร์ชถูกอัดในแม่พิมพ์ที่ถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 230 °C ภายใต้แรงบีบอัดแม่พิมพ์ (Clamping force) 3.5 MPa เป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นแรงถูกปลดปล่อยทำให้วัสดุขยายตัวเป็นโพลีเมอร์ ซึ่งอาจเติมช่องว่างบางส่วนของแม่พิมพ์เติมพอลิเมอร์หรือเกินช่องว่างของแม่พิมพ์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณ ความชื้นของวัตถุดิบ ข้อดีของวิธีการนี้คือ สามารถผลิตโพลีเมอร์สตาร์ชที่มีสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพ ใกล้เคียงกับบรรจุภัณฑ์อาหารที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ทั่วไป [37]

2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นฤกรและนฤมล (2016) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวโพด (TPCS) ทำการปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยถั่ว (KP) และซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่ปริมาณ 1 3 และ 5 phr ทำการผสมในเครื่องผสมแบบปิดและขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัดขึ้นรูป จากการศึกษาการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันพบว่าเกิดพีคใหม่เป็นการสั่นแบบ C=O stretching ของเส้นใยถั่วที่ตำแหน่ง 1735 cm^{-1} และพบพีค O-H stretching เกิดการเคลื่อนที่ไปยังเลขคลื่นที่ลดลง จากการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า TPCS ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยถั่วและซิงค์ออกไซด์ มีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด และมอดูลัสสูงขึ้น มีการดูดซับน้ำลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีความสามารถในการย่อยสลายโดยการฝังดิน แต่ไม่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* และแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli* ได้ [38]

ราชริตาและคณะ (2020) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและปรับปรุงสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) เสริมแรงด้วยเส้นใยถั่ว (KP) และทำการปรับปรุงสมบัติด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) และซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่มีอนุภาคขนาดไมโครและนาโนซิงค์ออกไซด์ (n-ZnO) ในปริมาณ 0 5 10 และ 15 phr โดยทำการผสมในเครื่องผสมแบบปิดและขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัด จากการศึกษาการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า TPCS/KP ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย TiO_2 ZnO และ n-ZnO มีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดและมอดูลัสเพิ่มขึ้น แต่มีเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดต่ำลง โดย TPCS/KP/ TiO_2 มีสมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด

เอกสารนี้จากการศึกษาการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันพบว่าพบพีคการสั่นแบบ C=O stretching ของเส้นใยถั่วและไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบพีค O-H bending เคลื่อนไปยังเลขคลื่นที่ลดลง นอกจากนี้เมื่อเติม TiO₂ และ ZnO พบพีค Ti-O stretching และ Zn-O stretching ตามลำดับอีกด้วย จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนพบว่า TPCS/KP ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย TiO₂ และ ZnO มีอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนสูงขึ้น และมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปลดลง มีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีขึ้นและเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้พบว่า TPCS/KP ที่ปรับปรุงสมบัติด้วย TiO₂ และ ZnO มีการย่อยสลายที่ช้า จากการศึกษาสมบัติการต้านเชื้อจุลินทรีย์พบว่า TPCS/KP/ZnO และ TPCS/KP/TiO₂ ไม่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ แต่ TPCS/KP/n-ZnO มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* แต่ไม่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli* ได้จึงสรุปได้ว่า TPCS ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยนุ่นและไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีอนุภาคขนาดไมโครเป็นสูตรที่ดีที่สุดเนื่องจากมีสมบัติเชิงกลที่ดีสูง นอกจากนี้มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นต่ำ สามารถย่อยสลายได้โดยการฝังดิน แต่ไม่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ [7]

เมธาพรและคณะ (2021) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและปรับปรุงสมบัติของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลัง (TPCS) เสริมแรงด้วยซีลีเนียม (SD) ในปริมาณ 10 phr และทำการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดมาลิก (MA) ในปริมาณ 0 0.25 0.50 0.75 1.00 1.25 1.50 และ 2.00 phr โดยทำการผสมในเครื่องผสมแบบปิดและขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัดขึ้นรูป (Compression molding) จากการศึกษาการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันพบว่าพบพีคการสั่นแบบ C=O stretching พบพีคการสั่นแบบ O-H stretching และ O-H bending เคลื่อนไปยังเลขคลื่นที่ลดลง สำหรับ TPCS/SD ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดมาลิกมีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด โมดูลัสและเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดลดลงตามปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้น TPCS/SD ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดมาลิก มีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีขึ้นและเมื่อเพิ่มปริมาณกรดส่งผลให้เสถียรภาพทางความร้อนดีขึ้นเช่นกัน ส่วน TPCS/SD ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดมาลิก มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาสมบัติการย่อยสลายโดยการฝังดินพบว่า TPCS/SD ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดมาลิก มีการย่อยสลายที่เร็วขึ้น นอกจากนี้ TPCS/KP ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดมาลิกสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* แต่ไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli* ได้ [9]

Jutarat. et al. (2013) งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสมบัติเชิงกลและการดูดซับน้ำของแป้งมันสำปะหลังเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (TPCS) เสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลส 2 ประเภท คือ เส้นใยนุ่น (Kapok fiber) และเส้นใยปอ (Jute fiber) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างแป้งกับกลีเซอรอล คือ 1:1:1 นำไปอัดขึ้นรูปและศึกษาสมบัติต่างๆ พบว่า การดูดซับน้ำของ TPCS ที่ใส่เส้นใยนุ่น และ

TPCS ที่ใส่เส้นใยปอ มีค่าลดลงอย่างชัดเจน ในขณะที่ค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดและมอดุลัสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของ TPCS ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยปอมีแนวโน้มลดลง แต่อุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของ TPCS ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยปอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น [5]

Ahmed. et al. (2017) ศึกษาสมบัติทางกายภาพ ความร้อน และโครงสร้างวัสดุผสมจากแป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch, CS) /เส้นใยต้นตาล (Sugar palm fiber, SPF) วัสดุผสมเตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง และเส้นใยต้นตาล โดยใช้เทคนิคการหล่อแบบ (Casting) โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นเมทริกซ์และฟรุกโตสเป็นพลาสติกไซเซอร์ เติมเส้นใยต้นตาลในปริมาณที่แตกต่างกันที่ 2 4 6 และ 8% โดยน้ำหนักของแป้ง พบว่าการเพิ่มปริมาณเส้นใยต้นตาลมีผลอย่างมากต่อสมบัติทางกายภาพ มีความหนาเพิ่มขึ้นแต่ค่าความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำลดลงอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้พบว่า การเติมเส้นใยต้นตาลช่วยเพิ่มความเป็นผลึกได้ถึง 47% และมีอุณหภูมิสลายตัวลดลงเล็กน้อย จาก SEM พบว่าเส้นใยต้นตาลกระจายตัวในเมทริกซ์ฟิล์มได้ดี นอกจากนี้เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยต้นตาลแสดงให้เห็นพื้นผิวที่แตกต่างกันมากขึ้น สรุปได้ว่าการเติม SPF ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของฟิล์ม [39]

Siddesh. et al. (2017) งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติทางกลของคอมพอสิตชีวภาพจากแป้งข้าวโพด (Corn starch) ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยป่านครนารายณ์ (Sisal fibers) โดยใช้แป้งข้าวโพดเป็นเมทริกซ์หลัก และใช้เส้นใยป่านครนารายณ์ขนาด 3 4 และ 5 มิลลิเมตร ในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นขึ้นรูปด้วยเทคนิคแบบกดอัด (Compression molding) จากการทดสอบแรงดึง (Tensile strength) พบว่าเส้นใยป่านครนารายณ์ขนาด 5 มิลลิเมตร มีความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 5.3 MPa ในขณะที่เส้นใยป่านครนารายณ์ขนาด 3 มิลลิเมตร มีความแข็งแรงดึงต่ำสุดที่ 3.7 MPa และเมื่อทดสอบแรงกระแทก (Impact strength) พบว่าเส้นใยป่านครนารายณ์ขนาด 5 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงกระแทกสูงสุดที่ 4.7 MPa ในขณะที่เส้นใยป่านครนารายณ์ขนาด 3 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงกระแทกต่ำสุดที่ 4.2 MPa จากการทดสอบแรงดึงและแรงกระแทก พบว่าเมื่อขนาดของเส้นใยเพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการถ่ายโอนแรงได้อย่างต่อเนื่องในวัสดุคอมพอสิต [40]

Fauziah. et al. (2019) งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติของแป้งมันสำปะหลัง (Thermoplastic cassava starch, TPCS) เสริมแรงด้วยเส้นใยไม้ไผ่ (Bamboo fiber) เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยที่ไม่ผ่านการบำบัดกับเส้นใยที่ผ่านการบำบัดทางเคมีการบำบัดเส้นใยไผ่มี 2 วิธีคือ การบำบัดด้วยอัลคาไลน์ และการบำบัดด้วยเปอร์แมงกานेट โดยใช้อัตราส่วนเส้นใย : แป้งมันสำปะหลัง คือ 0.1 : 1

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการผสมแป้งมันสำปะหลัง น้ำ PVA กลีเซอรอล และเส้นใยไม้ไผ่ 20 กรัม ด้วยเครื่องผสมและขึ้นรูปด้วยกระบวนการทำด้วยมือ (Hand lay-up process) จากการทดสอบสมบัติแรงดึง (Tensile strength) และสมบัติการต้านการดัดงอ (Flexural strength) พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยไม้ไผ่ที่ได้รับการบำบัดด้วยอัลคาไลน์มีค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสสูงที่สุดการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังดินพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปตัวอย่างทั้งหมดมีน้ำหนักลดลง อัตราการย่อยสลายไม่แตกต่างกันมากคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยไม้ไผ่ที่ได้รับการบำบัดด้วยเปอร์แมงกาเนตมีอัตราการย่อยสลายดีที่สุด ทั้งนี้ปัจจัยการย่อยสลายขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ปริมาณดิน จำนวนจุลินทรีย์ และความสามารถในการดูดซับน้ำของวัสดุ [41]

Mochamad. et al. (2019) งานวิจัยนี้ ทำการศึกษาความต้านทานความชื้นของแป้งมันสำปะหลังคอมพอสิตชีวภาพ (Tapioca starch) เสริมแรงด้วยเซลลูโลสชานอ้อย (Sugarcane baggasse cellulose) โดยการผสมน้ำกลั่นกับแป้งมันสำปะหลัง และกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยเซลลูโลสชานอ้อยในปริมาณที่แตกต่างกันที่ 0 2 4 6 และ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อสารละลาย (Solution casting) พบว่าวัสดุคอมพอสิตที่ไม่มี การเติมเส้นใยเซลลูโลสชานอ้อยมีร้อยละการดูดซับความชื้นมากกว่าคอมพอสิตที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยเซลลูโลสชานอ้อย และเมื่อเพิ่มเส้นใยเซลลูโลสชานอ้อย พบว่ามีร้อยละการดูดซับความชื้นลดลง เนื่องจากเส้นใยชานอ้อยมีสมบัติความชอบน้ำน้อยกว่าแป้งมันสำปะหลัง ทำให้โมเลกุลของน้ำแทรกเข้าไปได้ยาก จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน พบพีคของ O-H stretching ที่เลขคลื่น 3429 cm^{-1} เกิดการเคลื่อน (Shift) ไปตำแหน่งที่ลดลง และพบพีคการดูดซับน้ำที่เลขคลื่น $1650\text{-}1600\text{ cm}^{-1}$ เป็นตัวบ่งชี้ว่ามีเซลลูโลสอยู่ในเมทริกซ์ของแป้งมันสำปะหลังและเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ ทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำเปลี่ยนไป [42]

Xiuting. et al. (2019) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของฟิล์มคอมพอสิตจากแป้งข้าวโพด (Corn starch) ที่มีสมบัติต้านจุลชีพและปรับปรุงสมบัติด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์-ไคโตซาน (ZnO-Chitosan nanoparticles) ที่ปริมาณต่างกัน 1 2 3 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ (Casting) จากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าฟิล์มคอมพอสิตที่ได้รับการปรับปรุงสมบัติและไม่ได้รับการปรับปรุงสมบัติมีความเรียบและต่อเนื่องกัน จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม พบว่าค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ ZnO-Chitosan nano particles ที่อนุภาคนาโนที่ปริมาณตั้งแต่ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักขึ้นไป มีค่าการดึงยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) ลดลงตามลำดับ

นอกจากนี้เมื่อใส่อนุภาคนาโนที่ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าการซึมผ่านของไอน้ำลดลงมากที่สุด จากการทดสอบการต้านจุลชีพ โดยทดสอบกับแบคทีเรียแกรมบวก *S.Aureus* และแบคทีเรียแกรมลบ *E.Coli* พบว่า พิล์มคอมพอลิที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอนุภาคนาโนตั้งแต่ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักขึ้นไป มีสมบัติในการต้านจุลชีพที่ดี และที่อนุภาคนาโนที่ปริมาณตั้งแต่ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักขึ้นไปมีฤทธิ์ต้านจุลชีพแบคทีเรียแกรมบวกได้อย่างสมบูรณ์ [43]

Patra. et al. (2020) ศึกษาผลของกากมะพร้าว (Coir fibres, CF) ที่ใช้เป็นส่วนเสริมแรงต่อประสิทธิภาพของเมทริกซ์ที่เตรียมจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง (Thermoplastic cassava starch, TPS) กรดพอลิแลคติก (Poly(Lactic Acid), PLA) ที่มีอัตราส่วน TPS : PLA ที่ 60 : 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และกากมะพร้าวที่ 2.7 5.5 8.2 และ 10.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การผสมทำได้โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin-screw extruder) จากนั้นฉีดขึ้นรูป (Injection molding) พบว่าคอมพอลิที่มีความเป็นผลึกและความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับพันธะไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้น ระหว่างแป้งกับ PLA หรือ แป้งกับกากมะพร้าว นอกจากนี้การใช้ CF ทำให้ความสามารถในการยึดตัว และความต้านทานแรงกระแทกต่ำกว่า ความสามารถในการหลอมลดลง ความหนืดเพิ่มขึ้น และแรงเฉือนลดลง คอมพอลิชีวภาพ TPS/ PLA/ CF ที่เกิดขึ้นอาจนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์แม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปแบบชีวภาพและย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [44]

Maocheng. et al. (2021) งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติทางกล การดูดซับน้ำ ความเสถียรทางความร้อน และการย่อยสลายทางชีวภาพของคอมพอลิแป้งข้าวโพด (Corn starch) ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยป่านครนารายณ์ (Sisal fibers, SF) ที่ผ่านการบำบัดด้วยอัลคาไลน์ที่ความยาวเฉลี่ย 5 mm. ใช้เอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol, EG) และกลีเซอรอลเป็นพลาติไซเซอร์คอมพอลิเตรียมได้จากการผสมแป้งข้าวโพด : EG : กลีเซอรอลในอัตราส่วน 10 : 1 : 2 จากนั้นปรับปรุงสมบัติด้วยสารตัวเติมที่แตกต่างกันได้แก่ แป้งฝุ่น (Talcum powder, TP) แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3 , CC) และผงเปลือกไข่ (Eggshell powder, EP) ที่อัตราส่วนของแป้ง : เส้นใยที่ผ่านการบำบัดแล้ว : สารตัวเติมเท่ากับ 2 : 1 : 1 ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการกดอัด (Hot press machine) เปรียบเทียบสมบัติกับคอมพอลิที่ไม่มีสารตัวเติม พบว่าความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงกระแทก มีค่าเพิ่มขึ้น โดยคอมพอลิ CC มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดที่ 10 MPa รองลงมา คือ คอมพอลิ EP และ TP ตามลำดับเมื่อเทียบกับคอมพอลิที่ไม่มีสารตัวเติมความสามารถในการดูดซับน้ำของคอมพอลิ TP CC และ EP ลดลงใกล้เคียงกันที่ประมาณ 7.5% นอกจากนี้คอมพอลิที่มีสารตัวเติมมีเสถียรภาพทาง

ความร้อนที่ดีกว่าคอมพอลิที่ไม่มีสารตัวเติมโดยคอมพอลิ CC มีค่าสูงที่สุดรองลงมา คือ EP และ TP
 เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ และผู้ดูแลระบบเว็บไซต์ หาก
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ คอมพอสิต EP มีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพมากกว่า CC และ TP โดยคอมพอสิต EP สูญเสียมวลไป 67% หลังจากฝังดิน 30 วัน [45]

Ridhwan. et al. (2021) งานวิจัยนี้ศึกษาโครงสร้างสัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันฝรั่ง (Thermoplastic potato starch, TPPS) เสริมแรงด้วยเส้นใยอ้อย (Sugarcane fiber, SF) ในอัตราส่วนแป้งมันฝรั่ง : กลีเซอรอล ที่ 80 : 20 ผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer) จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดร้อน (Hot press machine) จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน พบว่ามีการสลายตัว 2 ช่วง คือ การสลายตัวของความชื้นที่ 30-100 องศาเซลเซียส และการสลายตัวขององค์ประกอบ TPPS และคอมพอสิต TPPS/SF ที่ 150-380 องศาเซลเซียส พบว่าคอมพอสิต TPPS/SF 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีเสถียรภาพทางความร้อนสูงกว่า TPPS จากการทดสอบความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงดัดงอ พบว่าความแข็งแรงดึงการดัดงอ และมอดุลัสเพิ่มขึ้นที่ผลการวิเคราะห์ของ TPPS/SF 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักพบว่าความแข็งแรงดัดงอและมอดุลัสของความแข็งแรงดัดงอมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญซึ่งอาจเป็นผลมาจากการกระจายตัวของเส้นใยอ้อยในเมทริกซ์ที่ไม่สม่ำเสมอจากการวิเคราะห์โครงสร้างสัณฐานวิทยาของคอมพอสิตพบว่า TPPS มีลักษณะพื้นผิวที่เรียกว่า TPPS/SF แสดงให้เห็นว่าการผสมแป้งกับกลีเซอรอลช่วยเพิ่มความเป็นพลาสติกของแป้ง นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นใยอ้อยบางส่วนถูกดึงออกจากเมทริกซ์แป้ง ในระหว่างการแตกหักซึ่งทำให้เกิดช่องว่างในพื้นที่แตกหัก [46]

Walid. et al. (2022) งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติของฟิล์มแป้งข้าวโพด (Corn starch, CS) ผสมเส้นใยเมล็ดเทียนดำ (Black seed, BS) ใช้กากมันสำปะหลัง (Cassava bagasse, CB) เป็นวัสดุเสริมแรง วัสดุคอมพอสิตเตรียมได้จากแป้งข้าวโพด : BS : กลีเซอรอลที่อัตราส่วน 10 : 9 : 0.3 จากนั้นใช้กากมันสำปะหลังเป็นส่วนเสริมแรงในปริมาณที่ต่างกันที่ 3 6 9 % โดยน้ำหนัก จากนั้นขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคการหล่อสารละลาย (Casting) เปรียบเทียบกับคอมพอสิตที่ไม่มีส่วนเสริมแรง พบว่าฟิล์มเสริมแรงมีโครงสร้างที่กะทัดรัดและค่อนข้างเรียบและไม่มีรูพรุน ค่าความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นจาก $34.6 \pm 1.6\%$ เป็น $38.8 \pm 2.1\%$ ความแข็งแรงดึงและมอดุลัสเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกากมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงดึงสูงที่สุดเมื่อเสริมแรงด้วยกากมันสำปะหลังที่ 9% โดยน้ำหนักแต่ความสามารถในการดูดซับความชื้นลดลง นอกจากนี้การเพิ่มกากมันสำปะหลังช่วยเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนและอัตราการย่อยสลายสูงซึ่ง หลังจากการฝังดินเป็นเวลา 12 วัน [47]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aburpa.et al. (2022) การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกล และความร้อนของเทอร์โมพลาสติกแป้งมันสำปะหลัง (Thermoplastic cassava starch, TPCS) เสริมด้วยเส้นใยใบตอง (Banana Leaf Fibre, BLF) ที่ปริมาณแตกต่างกันตั้งแต่ 10 ถึง 80% โดยน้ำหนักขึ้นรูปด้วยการกดอัดพบว่า ความแข็งแรงดัดงอและความแข็งแรงดึงของวัสดุเพิ่มขึ้นโดยการเสริมแรงด้วยเส้นใยใบตองที่ 50% โดยน้ำหนักมีความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 20.86 MPa ความแข็งแรงดัดงอ 32 MPa การเพิ่มเส้นใยใบตองช่วยเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุ การทดสอบทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่ามีการกระจายของเส้นใยใบตองอย่างสม่ำเสมอ และเมทริกซ์มีการยึดเกาะกันอย่างแข็งแรง ซึ่งช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตชีวภาพ การทดสอบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) พบพันธะ O-H ที่แสดงถึงพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของ TPCS และเส้นใยใบตอง [48]

Zatil.et al. (2022) ศึกษาผลของเส้นใยตะไคร้ (Cymbopogon citratus fibre, CCF) ต่อสมบัติทางกล ความร้อน ความชื้น และการย่อยสลายทางชีวภาพ ของเทอร์โมพลาสติกแป้งมันสำปะหลัง (Thermoplastic cassava starch, TPCS) โดยการผสมแป้ง 65 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กลีเซอรอล 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไขมันปาล์ม (Palm wax) 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการเปลี่ยนแปลงเส้นใยตะไคร้ในปริมาณ 10 20 30 40 50 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผสมโดยใช้เครื่องผสมแห้ง (Dry mixer) จากนั้นใช้เครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกไฮดรอลิก (Plastic hydraulic moulding press) พบว่า TPC/CCF ที่ปริมาณ CCF 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด การเติม CCF ช่วยเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุคอมพอสิต ในขณะที่เดียวกันการใช้ CCF ทำให้การย่อยสลายทางชีวภาพของคอมพอสิตช้าลงจากการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่า มีการกระจายตัวที่ดีของเส้นใยตะไคร้ในเมทริกซ์ และมีการยึดเกาะที่ดีสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับความชื้นของวัสดุลดลง นอกจากนี้อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของวัสดุลดลงอย่างมาก [49]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

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

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง [9]

องค์ประกอบ	ร้อยละ
อะไมโลเพกติน	83
อะไมโลส	17
ความชื้น	12.59
โปรตีน	0.1
ไขมัน	0.1
เถ้า	0.2
ฟอสฟอรัส	0.01

3.1.2 เส้นใยนุ่น (Kapok fiber) อำเภอเมืองสมุทรสงคราม จังหวัดสมุทรสงคราม

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยนุ่น [4]

องค์ประกอบ	ร้อยละ
เซลลูโลส	53.4
เฮมิเซลลูโลส	29.6
ลิกนิน	20.7
แว็กซ์	5.3
เถ้า	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 กรดทาร์ทาริก (Tartaric acid) เกรดอาหาร บริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด
ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบของกรดทาร์ทาริกจากบริษัทเคมีภัณฑ์

CERTIFICATE OF ANALYSIS and SPECIFICATION			
	SPECIFICATION		RESULT
	British Pharmaceutical standard	United State Pharmaceutical standard	
Content	More than 99.5%	99.70%-100.5%	99.6%
Identification	A: Solution is strongly acid B: it gives the reaction for tartrates	A: Identification Tests B: Infrared Absorption	Pass Pass
Impurities			
Residue on Ignition	Less than 0.10%	Less than 0.10%	0.045%
Chloride and Sulfate	Less than 100 ppm	No turbidity is produced	Pass
Specific Tests			
Optical Rotation	12.0-12.8	12.0-13.0	Pass
Loss on drying	Less than 0.20%	Less than 0.50%	0.15%
Oxalate(C ₂ O ₄)	Less than 350 ppm	No turbidity is produced	Pass
Others			
Calcium	Less than 200 ppm	-	Pass
Heavy metal	Less than 10 ppm	-	Pass
Arsenic	Less than 2 ppm	-	Pass
Lead	Less than 2 mg/kg	-	Pass
Mesh size	40-100		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
หมายเหตุ : ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยี่ห้อยี่ห้อที่มีเห็นแต่เพียงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.1.4 กลีเซอรอล (Glycerol) เกรดทางการค้า บริษัท Lab system จำกัด
- 3.1.5 แมกนีเซียมสเตียเรท(Magnesium stearate) บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด
- 3.1.6 น้ำมันซิลิโคน (Silicone oil) บริษัท ดาวนเคมิคอล จำกัด

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 3.2.1 เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) :Banbender รุ่น PL 2000/PL ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.2.2 เครื่องกดอัดขึ้นรูป (Compression molding) : Mach Group (1992) Co., Ltd. รุ่น MGLP-20AT M/C NO. 223 ประเทศไทย
- 3.2.3 ตู้อบลมร้อน (Oven) : Memmert รุ่น UF 260 ประเทศเยอรมนี
- 3.2.4 เครื่องตัดชิ้นงานรูปดัมเบลล์ : CEAST รุ่น 6052 ประเทศอิตาลี
- 3.2.5 เครื่องทดสอบบอเนกประสงค์ (Universal testing machine ; UTM) : NTS technology Co., Ltd. รุ่น LRK-2KNประเทศไทย
- 3.2.6 เครื่องวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน (Attenuated total reflection spectroscopy ; ATR) : Shimadzu Co., Ltd. รุ่นIRTracer-100 ประเทศญี่ปุ่น
- 3.2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope ; SEM) : FEI รุ่น QUAMTA 250 ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.2.8 เครื่องทดสอบทางความร้อน (Thermogravimetric analysis ; TGA) : Mettler-Toledo รุ่น TGA/DSC 3+ STAR^e System ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- 3.2.9 เครื่องชั่งแบบดิจิทัล ความละเอียด 2 ตำแหน่ง (g): Mettler Toledo รุ่น NewClassic MF ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- 3.2.10 กรรไกร
- 3.2.11 ถูพลาสติก
- 3.2.12 ถูชิปลือค
- 3.2.13 ภาตสแตนเลส
- 3.2.14 แม่พิมพ์โลหะขนาด120x120x2 มิลลิเมตร
- 3.2.15 ถูมือกันความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 3.2.16 ไมโครมิเตอร์ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

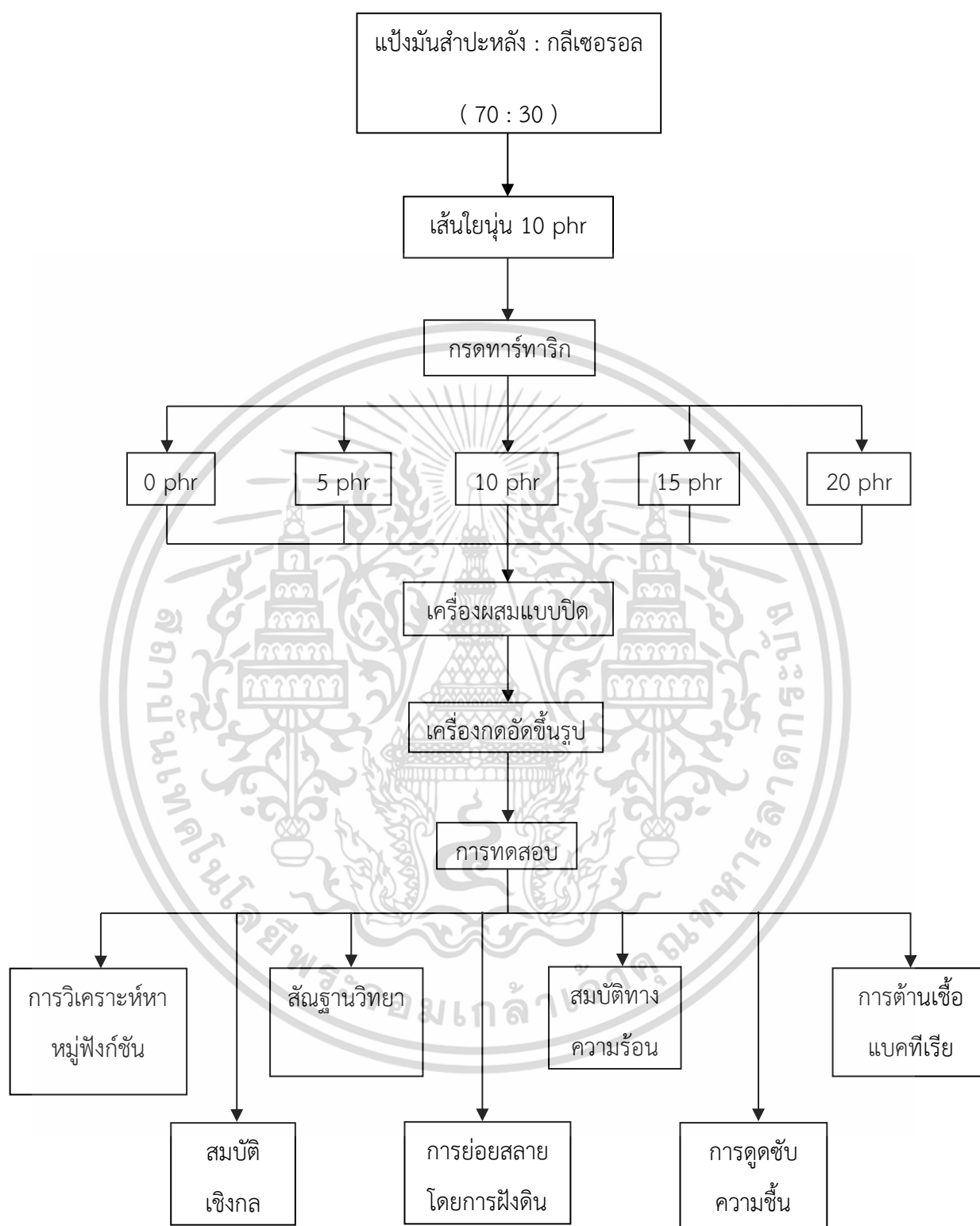
3.2.17 แผ่นฟิล์มใสสำหรับถ่ายเอกสารทำจากแผ่นพอลิเอสเตอร์ (Polyester)

3.2.18 เกรียง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนการดำเนินงาน แสดงดังรูปที่ 3.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัยให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดลอง

3.3.1 การเตรียมเส้นใยนุ่น

3.3.1.1 ตัดเส้นใยนุ่นให้มีความยาว 1-2 มิลลิเมตร

3.3.1.2 นำเส้นใยนุ่นที่ทำการตัดแล้วไปอบในเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.1.3 นำเส้นใยนุ่นออกจากตู้อบลมร้อนและบรรจุไว้ในถุงซิปล็อค

3.3.2 การเตรียมคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง

3.3.2.1 ผสมแป้งมันสำปะหลังกับกลีเซอรอลในอัตราส่วน 70 และ 30 ตามลำดับ ผสมแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอลให้เข้ากัน จากนั้นหมักทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้กลีเซอรอลซึมเข้าสู่เนื้อแป้ง

3.3.2.2 นำแป้งมันสำปะหลังที่ทำการผสมกับกลีเซอรอลแล้ว มาชั่งน้ำหนักปริมาณ 40 กรัม และผสมกับแมกนีเซียมสเตียเรท 2 phr

3.3.2.3 นำส่วนผสมทั้งหมดทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 40 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 5 นาที

3.3.2.4 จากนั้นนำเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัดขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์สี่เหลี่ยมที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรทำน้ำมันซิลิโคนบนแม่พิมพ์ด้านที่สัมผัสกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ

3.3.2.5 ขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ที่ความดันเฉลี่ย 1100 psi จากนั้นหล่อเย็น เป็นเวลา 5 นาที

3.3.2.6 นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์และเก็บไว้ในถุงซิปล็อค เพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆต่อไป

3.3.3 การเตรียมคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่น

3.3.3.1 ผสมแป้งมันสำปะหลังกับกลีเซอรอลในอัตราส่วน 70 และ 30 ตามลำดับ ผสมแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอลให้เข้ากัน จากนั้นหมักทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้กลีเซอรอลซึมเข้าสู่เนื้อแป้ง

3.3.3.2 นำแป้งมันสำปะหลังที่ทำการผสมกับกลีเซอรอลแล้ว มาชั่งน้ำหนักปริมาณ 40

กรัม ผสมกับแมกนีเซียมสเตียเรท 2 phr และเส้นใยนุ่น 10 phr

นำหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.3 นำส่วนผสมทั้งหมดทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 40 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 5 นาที

3.3.3.4 จากนั้นนำเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัดขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์สี่เหลี่ยมที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรทาน้ำมันซิลิโคนบนแม่พิมพ์ด้านที่สัมผัสกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

3.3.3.5 ขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ที่ความดันเฉลี่ย 1100 psi จากนั้นหล่อเย็น เป็นเวลา 5 นาที

3.3.3.6 นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์และเก็บไว้ในถุงซิปล็อค เพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆต่อไป

3.3.4 การเตรียมคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยุ่นและกรดทาร์ทาริก

3.3.4.1 ผสมแป้งมันสำปะหลังกับกลีเซอรอลในอัตราส่วน 70 และ 30 ตามลำดับ ผสมแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอลให้เข้ากัน จากนั้นหมักทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้กลีเซอรอลซึมเข้าสู่เนื้อแป้ง

3.3.4.2 นำแป้งมันสำปะหลังที่ทำการผสมกับกลีเซอรอลแล้ว มาชั่งน้ำหนักปริมาณ 40 กรัม ผสมกับแมกนีเซียมสเตียเรท 2 phr และเส้นใยุ่น 10 phr

3.3.4.3 จากนั้นทำการเติมกรดทาร์ทาริกในปริมาณต่างๆ ดังตารางที่ 3.4 และนำส่วนผสมทั้งหมดทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 40 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 5 นาที

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง กลีเซอรอล แมกนีเซียมสเตียเรท ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยุ่นและกรดทาร์ทาริก

แป้งมันสำปะหลัง (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)	แมกนีเซียมสเตียเรท (กรัม)	เส้นใยุ่น (กรัม)	กรดทาร์ทาริก (กรัม)
70	30	2	0	0
70	30	2	10	0
70	30	2	10	5
70	30	2	10	10
70	30	2	10	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ 30 เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป 10 ประโยชน์อื่นใด 20 ราคา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.4 จากนั้นนำเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัดขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์สี่เหลี่ยมที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ทาน้ำมันซิลิโคนบนแม่พิมพ์ด้านที่สัมผัสกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

3.3.4.5 ขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ที่ความดันเฉลี่ย 1100 psi จากนั้นหล่อเย็น เป็นเวลา 5 นาที

3.3.4.6 นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์และเก็บไว้ในถุงซิปล็อค เพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆต่อไป

3.4 การตรวจวิเคราะห์และการทดสอบสมบัติต่างๆ

3.4.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน

การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันในชิ้นงานตัวอย่างด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy) เตรียมชิ้นงานตัวอย่างโดยการนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่าง 2-3 มิลลิกรัม และโพแทสเซียมโบรไมด์ที่อบแห้ง 0.2-0.5 กรัม มาผสมและบดรวมกัน จากนั้นใส่ลงแม่พิมพ์ แล้วนำเข้าเครื่องอัดเม็ดภายใต้ความดัน 10^{-4} kg/cm² เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำตัวอย่างออกจากแม่พิมพ์และนำไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน

3.4.2 การทดสอบสัณฐานวิทยา

การศึกษาลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างที่อุณหภูมิต่างๆ (Cryogenic fracture) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) โดยทำการหักชิ้นงานตัวอย่างด้วยการแช่ไนโตรเจนเหลว จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างที่หักได้มาวิเคราะห์การกระจายตัวของเส้นใยในคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช และรอยต่อระหว่างวัฏภาคในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช รวมถึงการหาอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D ratio) ของเส้นใย

3.4.3 การดูดซับความชื้น

การทดสอบการดูดซับความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM E 104 โดยนำชิ้นงานตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำการจดบันทึกน้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่าง จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างวางไว้ในบรรยากาศที่อิ่มตัวด้วยน้ำกลั่น (Distilled water) ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 99 ± 1 เปอร์เซ็นต์ และจดบันทึกน้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่างทุกวัน เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นคำนวณได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ M_t คือ เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้น

W_w คือ น้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่างก่อนดูดซับความชื้น

W_d คือ น้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่างหลังดูดซับความชื้น

3.4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติเชิงกล ตามมาตรฐาน ASTM D 638 ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine ; UTM) ดังแสดงในตาราง 3.3 โดยชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ จะตัดให้มีลักษณะเป็นรูปดัมเบลล์ ดังแสดงในรูป 3.2 เป็นจำนวน 10 ชิ้น ต่อ 1 สูตรตัวอย่าง

ตาราง 3.5 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกล

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วย
ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (Stress at maximum load)	ASTM D638	MPa
ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (Strain at maximum load)	ASTM D638	%
มอดุลัส (Young's modulus)	ASTM D638	MPa



รูปที่ 3.2 ลักษณะชิ้นงานรูปดัมเบลล์ที่ใช้ในการทดลอง [22]

ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 60 ± 5 เปอร์เซ็นต์ ตามสภาวะดังนี้

Test speed : 40 mm/min

Gauge length : 25 mm

Load cell : 2 kN

โดยความเค้น ความเครียด มอดุลัส สามารถคำนวณได้ดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(Stress at maximum load)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

(Strain at maximum load)

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

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ในการดึงยึดชิ้นงานทดสอบ (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบ (mm²)

L คือ ความยาวสุดท้ายของชิ้นงานทดสอบ (mm)

L₀ คือ ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงานทดสอบ (mm)

3.4.5 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน

ทำการทดสอบโดยการตัดชิ้นงานตัวอย่างเป็นรูปดัมเบลล์จำนวน 5 ชิ้น ต่อ 1 สูตรตัวอย่าง ไปฝังในดินลึกประมาณ 5 เซนติเมตร ควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในช่วง 5-10 เปอร์เซ็นต์ ทำการฝังดินเป็นระยะเวลา 3-5 วัน จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลเปรียบเทียบกับชิ้นงานตัวอย่างที่ไม่ได้ฝังดิน

3.4.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

การทดสอบทางความร้อน อุณหภูมิการสลายตัว (Degradation temperature) ของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ โดยชั่งสารตัวอย่าง 5-10 มิลลิกรัม ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องทดสอบทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis ; TGA) ทดสอบภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนที่ช่วงอุณหภูมิ 50-600 องศาเซลเซียสและอัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่ออนาที

3.4.7 การทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย

ทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย ตามมาตรฐาน ASTM F895-11 (Agar diffusion method) โดยทดสอบหาบริเวณยับยั้งเชื้อ (Zone of Inhibition) ของชิ้นงานตัวอย่างในอะการ์ที่เตรียมขนาด 1x1 เซนติเมตร ใช้ตัวทำละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethyl sulfoxide, DMSO) ความเข้มข้น 1% และเอทานอล (Ethanol) ความเข้มข้น 95% เป็นสถานะควบคุม นำชิ้นงานตัวอย่างวางบนกระดาษกรองปราศจากเชื้อ จากนั้นนำไปเพาะเลี้ยงร่วมกับเชื้อแบคทีเรียในจานเพาะ (Petri dish) โดยเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ คือ แบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* (ATCC 25923) และแบคทีเรียแกรมลบ *E.coil* (ATCC 25922) เพาะเลี้ยงในสถานะที่มีออกซิเจน อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งเชื้อ (Inhibition zone) ในหน่วยมิลลิเมตร เพื่อประเมินการต้านเชื้อแบคทีเรียโดยทำซ้ำ 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

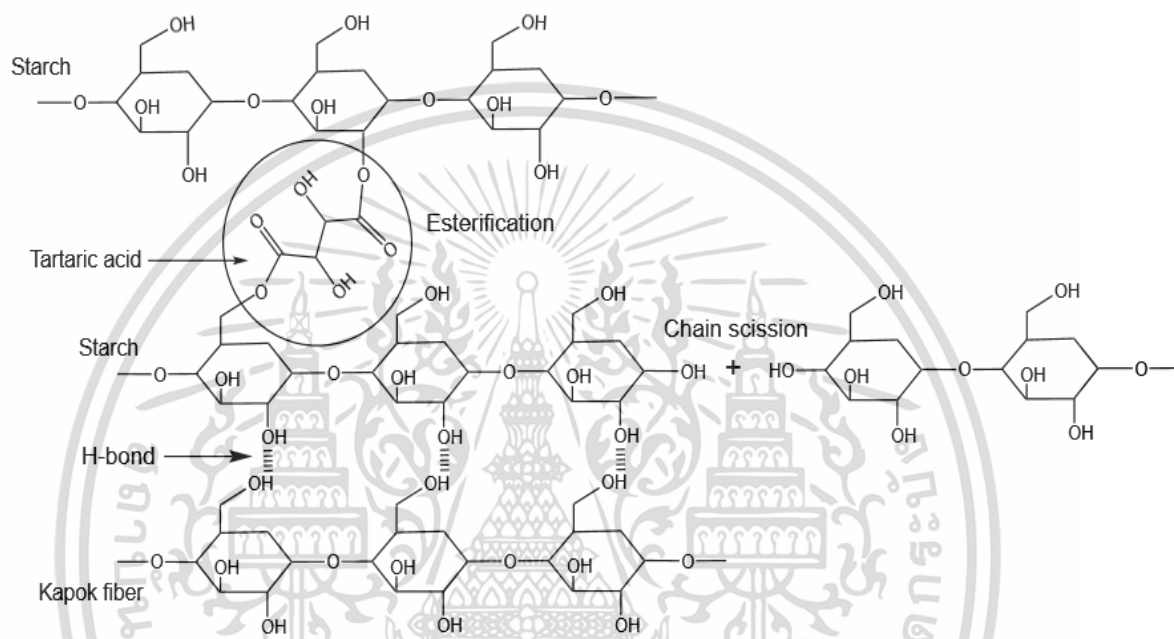
งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาซจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ที่ปริมาณ 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกที่ปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr ซึ่งมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) จากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัดขึ้นรูป (Compression molding) และนำชิ้นงานที่เตรียมได้มาทดสอบสมบัติดังนี้ การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน การทดสอบสัณฐานวิทยา การดูดซับความชื้น การทดสอบสมบัติเชิงกล การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน การทดสอบสมบัติทางความร้อน และการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย

ตารางที่ 4.1 อักษรย่อของเทอร์โมพลาสติกสตาซที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ลำดับ	สูตร/อักษรย่อที่ใช้	ความหมาย
1	TPCS	คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาซจากแป้งมันสำปะหลัง
2	TPCS/KP	คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาซจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ปริมาณ 10 phr
3	TPCS/KP/5TA	คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาซจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ปริมาณ 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 5 phr
4	TPCS/KP/10TA	คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาซจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ปริมาณ 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 10 phr
5	TPCS/KP/15TA	คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาซจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ปริมาณ 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 15 phr
6	TPCS/KP/20TA	คอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาซจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ปริมาณ 10 phr ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 20 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพอลิเมอร์โพลอสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยุ่น และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริก อาจทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งเส้นใยุ่น และกรดทาร์ทาริก โดยโมเลกุลของแป้งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนใหม่กับเส้นใยุ่น อีกทั้งการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างแป้งกับกรด หรืออาจเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน [9] นอกจากนี้การปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกยังสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับแป้งได้อีกด้วย โดยอันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการเตรียมคอมพอลิเมอร์โพลอสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยุ่น โดยกรดทาร์ทาริกกรดทาร์ทาริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

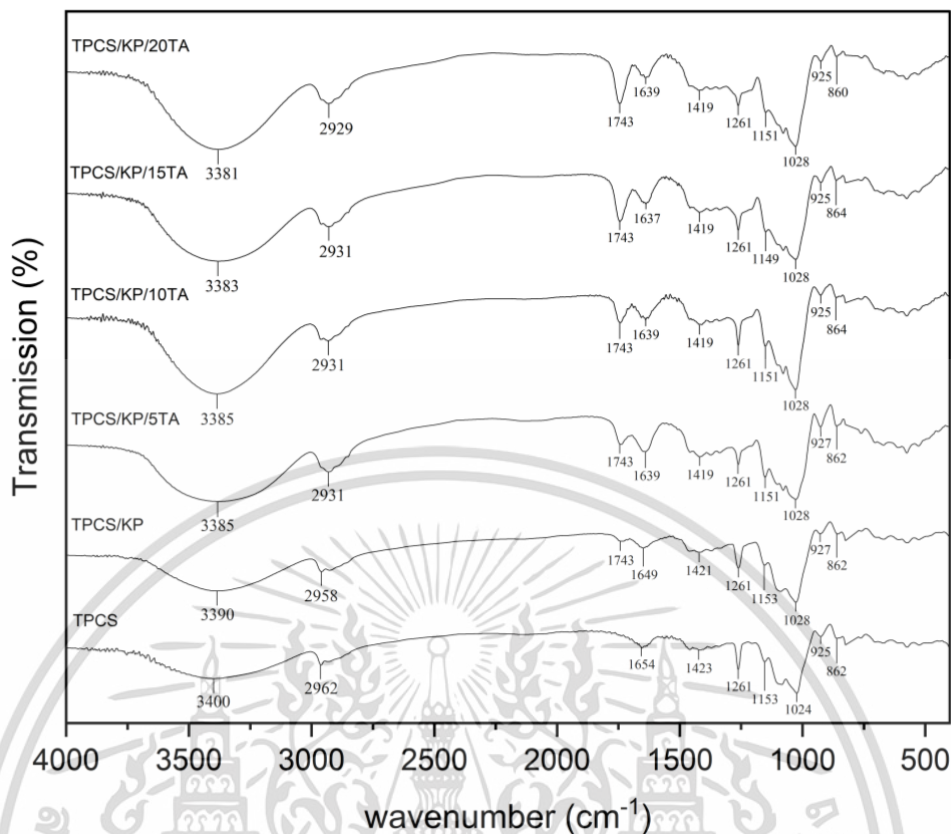
4.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน

การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของคอมพอลิเมอร์เทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซเซอร์จากแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr ทดสอบ ด้วยเครื่อง ATR (Attenuated total reflection spectroscopy) โดยพีคที่ปรากฏมีลักษณะ คล้ายกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 หมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏในเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซเซอร์ที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้ [54]

เลขคลื่น (cm^{-1})	ลักษณะการสั่น
3600-3200	O-H stretching
3000-2800	C-H stretching
1734-1730	C=O stretching of carboxylic acid
1750-1735	C=O stretching of ester
1647	Bound water
1456-1419	O-H bending
1300-1100	C-O stretching
1028-1024	C-O-H bending
900-600	C-H out of plane bending

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 อินฟราเรดของคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยุ่นปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 และภาคผนวก ข แสดงผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของ TPCS, TPCS/KP, TPCS/KP/5TA, TPCS/KP/10TA, TPCS/KP/15TA และ TPCS/KP/20TA พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมที่ปรากฏของทุกสูตรมีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือพบพีคในช่วงความยาวคลื่น 3400-3381 cm^{-1} แสดงลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching จากแป้งและกลีเซอรอล พีคในช่วงความยาวคลื่นที่ 2962-2929 cm^{-1} แสดงลักษณะการสั่นแบบ C-H stretching ของ CH_2 และ CH_3 ของแป้ง พีคในช่วงความยาวคลื่นที่ 1654-1639 cm^{-1} แสดงลักษณะการสั่นของน้ำในโมเลกุลของแป้ง พีคในช่วงความยาวคลื่นที่ 1456-1419 cm^{-1} แสดงลักษณะการสั่นแบบ O-H bending พีคในช่วงความยาวคลื่นที่ 1153-1149 cm^{-1} แสดงลักษณะการสั่นแบบ C-O stretching พีคในช่วงความยาวคลื่นที่ 1024-1028 cm^{-1} แสดงลักษณะการสั่นแบบ C-O-H bending และพีคในช่วงความยาวคลื่นที่ 900-600 cm^{-1} แสดงลักษณะการสั่นแบบ C-H out of plane bending [51]

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันระหว่าง TPCS และ TPCS/KP พบว่าการเสริมแรงด้วยเส้นใยุ่นส่งผลให้พีคของ O-H stretching และ O-H bending ของแป้งเกิดการเคลื่อนที่ (Shift) ไปยังเลขคลื่นที่ลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการสร้างพันธะไฮโดรเจนใหม่ระหว่างแป้งกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในประเด็นด้านการค้า
ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับสมการของแพลงก์ (Planck's Law) จึงทำให้พีคเกิดการเคลื่อนที่ไปยังเลขคลื่นที่ลดลง และพบพีคช่วงความยาวคลื่นที่ 1743 cm^{-1} ลักษณะการสั่นแบบ C=O stretching ของหมู่คาร์บอกซิลิกและหมู่เอสเทอร์ของลิกนินที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยนุ่น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของราชิดา วงศ์ไพรัตน์ และคณะที่ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังและเส้นใยนุ่นโดยซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ [7]

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่น และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr พบว่าพีคลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching และ O-H bending เกิดการเคลื่อนที่ (Shift) ไปยังเลขคลื่นที่ลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการสร้างพันธะไฮโดรเจนใหม่ระหว่างแป้งกับเส้นใยนุ่น และพบพีคลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching มีความเข้มของพีคเพิ่มขึ้น [53] เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ระหว่างแป้งกับกรด เกิดการตัดสายโซ่ของแป้งให้สั้นลง ส่งผลให้เกิดหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบพีคที่ช่วงความยาวคลื่น 1743 cm^{-1} ลักษณะการสั่นแบบ C=O stretching ของหมู่คาร์บอกซิลิกและหมู่เอสเทอร์ของลิกนินที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยนุ่น หรืออาจเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยเปรียบเทียบระหว่าง TPCS/KP กับ TPCS/KP/5TA พบว่าพีคที่ช่วงความยาวคลื่น 1743 cm^{-1} มีความเข้มของพีคเพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจินตภา แท้มสีคราม ที่ศึกษาสมบัติของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เชื่อมโยงด้วยกรดซิตริก กรดแลคติก และกรดมาลิก พบว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เชื่อมโยงด้วยกรดมาลิกในปริมาณที่ต่างกัน มีพีคที่ช่วงความยาวคลื่น 1739 cm^{-1} แสดงลักษณะการสั่นแบบ C=O stretching ของหมู่เอสเทอร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมกรดมาลิกลงในฟิล์มแป้งมันสำปะหลังทำให้เกิดการเชื่อมโยงหรือปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างโมเลกุลของแป้งกับกรด [50]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบสัณฐานวิทยา (Morphology)

การทดสอบสัณฐานวิทยาของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์พลาสติกสตาบิลิซเซอร์ชนิดต่าง ๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่าเพื่อทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา ลักษณะการกระจายตัวและความเข้ากันได้ของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์พลาสติกสตาบิลิซเซอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ร่วมกับกรดทาร์ทาริก ที่ปริมาณ 5 10 และ 15 phr แสดงสัณฐานวิทยา ดังนี้



(ก) เส้นใยไผ่, 500x

(ข) เส้นใยไผ่, 3000x

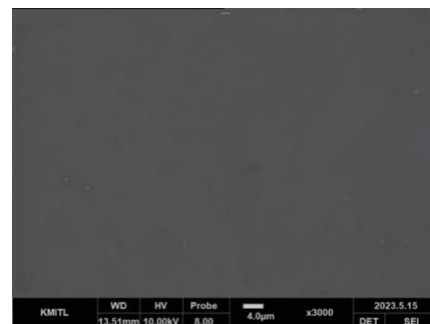
รูปที่ 4.3 (ก) – (ข) ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยไผ่เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดด้วยกำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า

จากรูปที่ 4.3 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยไผ่ ที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า พบว่าเส้นใยไผ่มีลักษณะเส้นใยทรงกระบอกและมีช่องกลวงตามความยาวของเส้นใย จากตัวอย่าง 20 ตัวอย่างภาคผนวก ค พบว่า เส้นใยไผ่มีความยาวเฉลี่ย ประมาณ 397.50 ± 142.89 ไมโครเมตร และความกว้างเฉลี่ยประมาณ 21.63 ± 5.03 ไมโครเมตร และเมื่อคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (L/D ratio) มีค่าเท่ากับ 18.47 ± 5.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) TPCS, 500x



(ข) TPCS, 3000x

รูปที่ 4.4 (ก) – (ข) ลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า



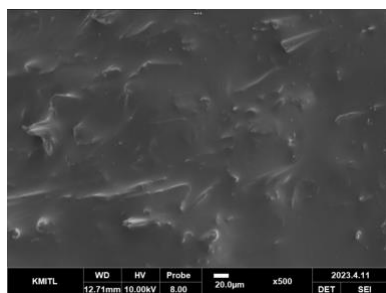
(ก) TPCS/KP, 500x



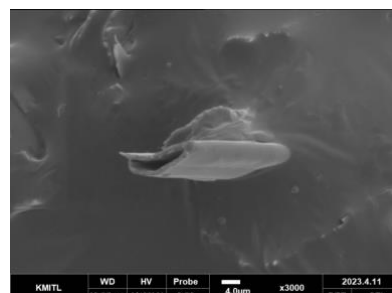
(ข) TPCS/KP, 3000x

รูปที่ 4.5 (ก) – (ข) ลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่น 10 phr เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า

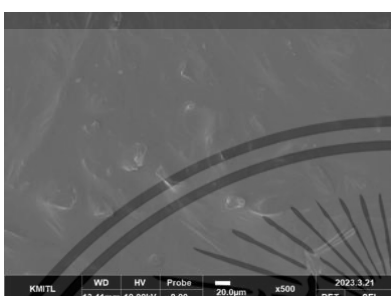
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



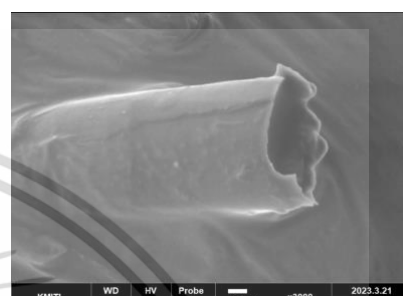
(ก) TPCS/KP/5TA, 500x



(ข) TPCS/KP/5TA, 3000x



(ค) TPCS/KP/10TA, 500x



(ง) TPCS/KP/10TA, 3000x



(จ) TPCS/KP/15TA, 500x



(ฉ) TPCS/KP/15TA, 3000x



(ช) TPCS/KP/20TA, 500x



(ซ) TPCS/KP/20TA, 3000x

รูปที่ 4.6 (ก) - (ซ) สัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยุ่นร่วมกับกรดทาร์ทาริกปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 แสดงภาคตัดขวางของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ ที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า โดยพบว่าพื้นผิวมีลักษณะ เรียบ และมีความเป็นเนื้อเดียวกัน

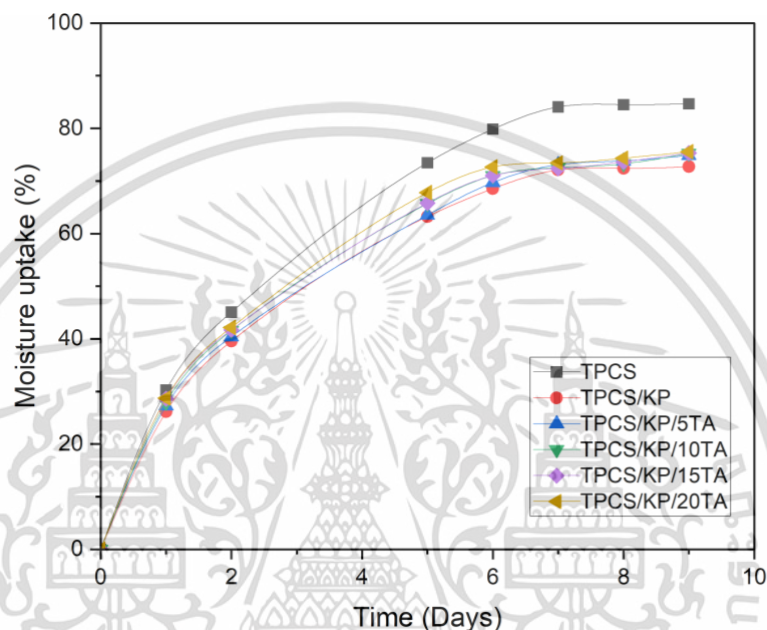
จากรูปที่ 4.5 แสดงภาคตัดขวางของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยนุ่น ที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า พบว่าเส้นใยนุ่นมีการฝังตัวอยู่ในเมทริกซ์ของแป้ง และไม่พบรอยต่อระหว่างแป้งและเส้นใยนุ่น แสดงถึงการยึดเกาะระหว่างวัฏภาคได้ดี เนื่องจากเส้นใยนุ่นมีโครงสร้างเป็นเซลลูโลสโดยมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบหลักและมีความมีขั้วเช่นเดียวกับแป้ง ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน โดยพบพีคที่เลขคลื่น $3400-3381\text{ cm}^{-1}$ แสดงลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching และ $1456-1419\text{ cm}^{-1}$ แสดงการสั่นแบบ O-H bending เกิดการเคลื่อนที่ไปยังเลขคลื่นที่ลดลง แสดงถึงการเกิดอันตรกิริยาทางเคมีระหว่างแป้งกับเส้นใยนุ่น

จากรูปที่ 4.6 แสดงภาคตัดขวางของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยนุ่นร่วมกับกรดทาร์ทาริกปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr ที่กำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า พบว่าเส้นใยนุ่นมีการกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอ และไม่พบอนุภาคของกรดทาร์ทาริก เมื่อปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้คอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์มีลักษณะผิวที่เรียบมากขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยพันธะบางส่วนถูกทำลายสายโซ่ของโมเลกุลแป้งสั้นลง ทำให้ลักษณะพื้นผิวเรียบมากขึ้น นอกจากนี้ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยากับแป้งได้ดี จึงสามารถเข้ากันได้ดีกับเทอร์โมพลาสติกอสตาร์ช ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของราชธิดา วงศ์ไพรัตน์ และคณะ ที่ทำการศึกษาสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและเส้นใยนุ่น โดยซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่าอนุภาคโลหะออกไซด์ทั้ง 2 ชนิด มีการกระจายตัวบนเนื้อเมทริกซ์ของเทอร์โมพลาสติกอสตาร์ชได้ดี [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การดูดซับความชื้น

การทดสอบการดูดซับความชื้นของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยเส้นใยถั่ว ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr โดยการนำ ชิ้นงานตัวอย่างวางไว้ในบรรยากาศที่อิ่มตัวด้วยน้ำกลั่น ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 99 ± 1 เปอร์เซ็นต์ ที่ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 9 วัน ให้ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 สมบัติการดูดซับความชื้นของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จาก แป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยเส้นใยถั่ว ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr

จากรูปที่ 4.7 และภาคผนวก ง แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของ TPCS, TPCS/KP, TPCS/KP/5TA, TPCS/KP/10TA, TPCS/KP/15TA และ TPCS/KP/20TA พบว่าชิ้นงานทุกสูตรมี เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 6 วันแรก เมื่อเวลาผ่านไปการดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนกระทั่งอิ่มตัว โดยการทดสอบการดูดซับความชื้น ณ วันที่ 6 พบว่า เกิดเชื้อราบนชิ้นงาน TPCS และ TPCS/KP วันที่ 7 เกิดเชื้อราบนชิ้นงานของ TPCS/KP/5TA TPCS/KP/10TA TPCS/KP/15TA และ TPCS/KP/20TA

จากการทดสอบพบว่า TPCS มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นสูงสุดเนื่องจากแป้งมีโครงสร้างที่เป็นหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้ว มีความชอบน้ำ จึงสามารถดูดซับความชื้นได้ดี [52] นอกจากนี้เมื่อเสริมแรงคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ด้วยเส้นใยถั่วพบว่า มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นลดลง เนื่องจากเส้นใยถั่วมีองค์ประกอบหลัก คือ เซลลูโลส ซึ่งมีหมู่

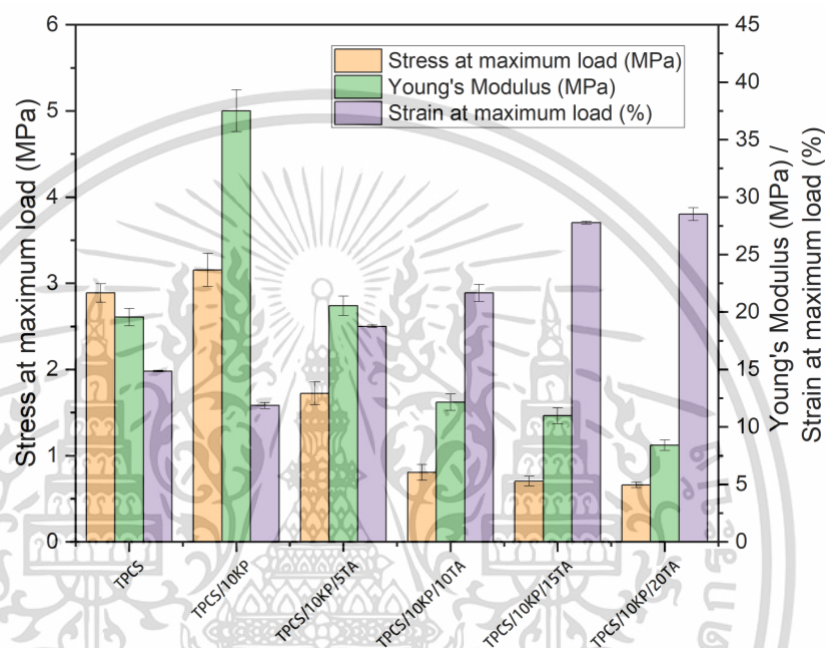
ไฮดรอกซิลน้อยกว่าแป้งและมีความเป็นผลึก [52] จึงทำให้โมเลกุลของน้ำแทรกเข้าไปในโครงสร้างได้ยากกว่า นอกจากนี้ เส้นใยนุ่นยังมีองค์ประกอบของลิกนินซึ่งมีโครงสร้างเป็นวงอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และแว็กซ์ที่มีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว ซึ่งแสดงสมบัติความไม่มีขั้วและไม่ชอบน้ำ [51] อีกทั้งการเสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่นยังเป็นการทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างแป้งกับเส้นใยนุ่น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของ TPCS/KP ที่แสดงให้เห็นถึงพีค O-H stretching และ OH bending ของแป้งเกิดการ Shift ไปยังเลขคลื่นที่ลดลง แสดงให้เห็นถึงการสร้างพันธะไฮโดรเจนใหม่ของแป้งกับเส้นใยนุ่น ซึ่งทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งลดลง จึงทำให้ TPCS/KP มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนินาง ธนกิจพูนทรัพย์ และคณะที่ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังและเส้นใยนุ่น โดยนาโนซิงค์ออกไซด์ พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง เมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยนุ่น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นลดลง [51]

จากการทดสอบการดูดซับความชื้นคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่น และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นมากกว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่นเล็กน้อย เนื่องจาก กรดทาร์ทาริกเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับแป้ง เกิดการตัดสายโซ่ของแป้งให้สั้นลง อีกทั้งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เป็นน้ำร่วมด้วย ส่งผลให้ความชื้นสามารถแทรกเข้าไประหว่างสายโซ่ของแป้งได้ ทำให้มีความชอบน้ำสูงขึ้น นอกจากนี้พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณกรดทาร์ทาริกเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเมธาพร มานพจันทร์โรจน์ และคณะที่ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและขี้เลื่อยไม้สัก โดยกรดมาลิก พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง ปรับปรุงสมบัติด้วยขี้เลื่อยไม้สักและกรดมาลิก ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากกรดมาลิกเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับแป้ง และพบว่าเมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้นส่งผลให้การดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาซจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr ทดสอบชิ้นงานตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM D 638 ด้วยเครื่อง Universal testing machine เพื่อทำการศึกษาค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด โมดูลัส และเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด ทำการทดสอบโดยใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้นต่อ 1 สูตร แสดงผลการทดสอบดังรูปที่ 4.8 และภาคผนวก จ



รูปที่ 4.8 สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาซจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr

จากรูปที่ 4.8 แสดงสมบัติเชิงกลของ TPCS, TPCS/KP, TPCS/KP/5 TA, TPCS/KP/10TA, TPCS/KP/15TA และ TPCS/KP/20TA เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบสมบัติเชิงกลระหว่าง TPCS กับ TPCS/KP พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาซที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่มีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดและโมดูลัสเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดลดลง เนื่องจากองค์ประกอบหลักของเส้นใยไผ่ คือ เซลลูโลสที่มีความแข็งแรงและความเปราะสูง [7] สามารถเสริมแรงให้กับเทอร์โมพลาสติกสตาซจากแป้งมันสำปะหลังโดยเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน (รูปที่ 4.2) และลักษณะสัณฐานวิทยาที่แสดงถึงความเข้ากันของเมทริกซ์แป้งกับเส้นใยไผ่ (รูปที่ 4.5) จึงส่งผลให้ TPCS/KP มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Prachayawarakorn, J. และ

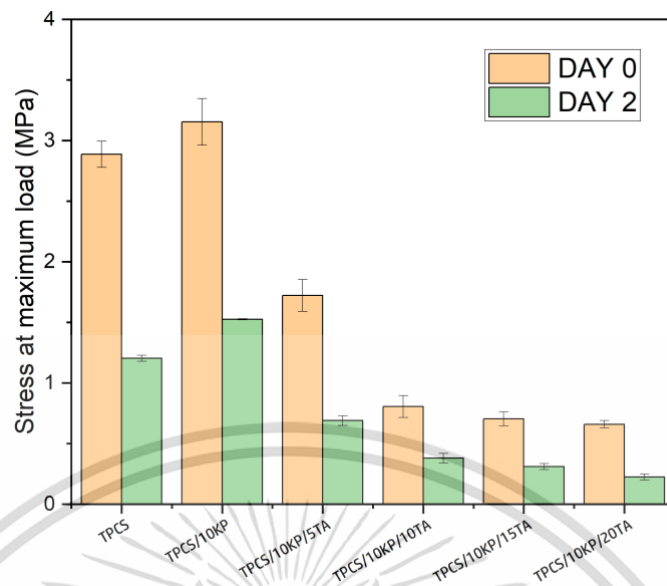
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 คณะที่ศึกษาสมบัติต่างๆของ เทอร์โมพลาสติกสตาซคอมพอสิตจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วย
 ไม่ว่างานใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยปอและขนุน พบว่าเมื่อเสริมแรงด้วยเส้นใยขนุน ส่งผลให้เทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดอัตรากิริยาระหว่างแบงกับเส้นใย [5]

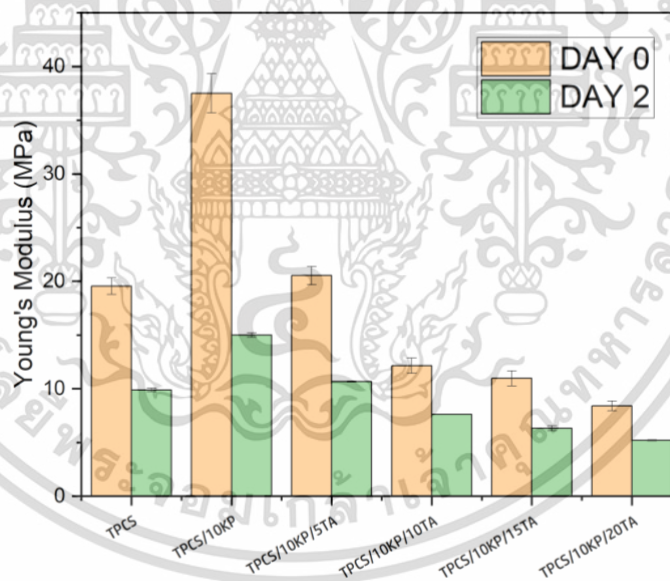
จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้เสริมแรงด้วยเส้นใยขนุน ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr พบว่า ค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดและมอดุลัสลดลง แต่เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้น เนื่องจากกรดสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับแบง เกิดการตัดสายโซ่ของแบงให้สั้นลง ทำให้ความสามารถในการรับและส่งผ่านแรงลดลง ส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลงเมื่อปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกอาจเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับแบงได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเมธาพร มานพจันทรโรจน์ และคณะที่ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้จากแบงมันสำปะหลังและซีลีโอไมล์ โดยกรดมาลิก พบว่าคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้จากแบงมันสำปะหลัง ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีโอไมล์และกรดมาลิก ส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลง เนื่องจากกรดมาลิกสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในโมเลกุลของแบง เกิดการตัดสายโซ่ของแบงให้สั้นลง จึงทำให้ความสามารถในการรับและส่งผ่านแรงลดลง และพบว่าเมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลงเช่นเดียวกัน [9]

4.5 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน

การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดินของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้จากแบงมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนุน ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr โดยการนำมาฝังดินเป็นเวลา 2 วัน มีการควบคุมความชื้นของดินให้คงที่อยู่ที่ 3% จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด นำมาเปรียบเทียบกับชิ้นงานตัวอย่างที่ไม่ได้ฝังดิน ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.9 และภาคผนวก ฉ

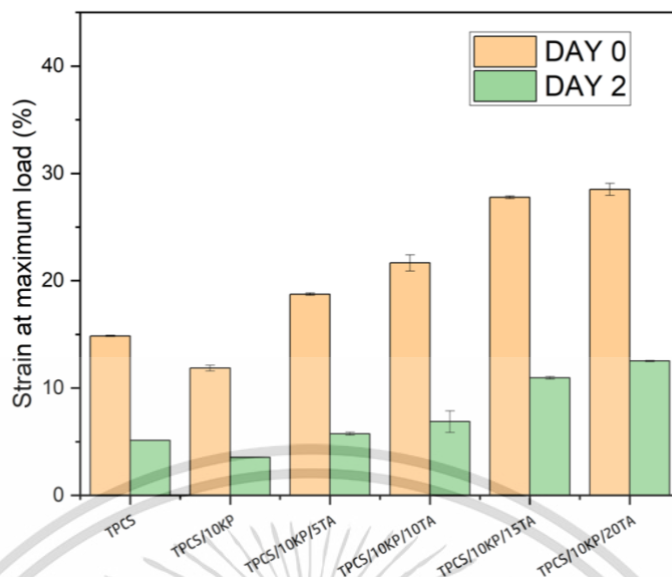


(ก) ค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด



(ข) มอดุลัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด

รูปที่ 4.9 สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยุ่น ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr ภายหลังจากฝังดินเป็นระยะเวลา 2 วัน

จากรูปที่ 4.9 และภาคผนวก ฉ แสดงสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยุ่น และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกในปริมาณต่างๆ ที่ฝังดินระยะเวลา 2 วัน พบว่า TPCS มีสมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด โมดูลัส และเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดลดลง เนื่องจากแป้งมีโครงสร้างที่เป็นหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ซึ่งมีสมบัติความชอบน้ำ จึงดูดซับความชื้นจากดินได้ง่าย ส่งผลให้ความแข็งแรงลดลง เมื่อเสริมแรงคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชด้วยเส้นใยุ่น พบว่าสมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด โมดูลัส และเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากเส้นใยุ่นมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส ซึ่งมีความแข็งแรงและความเปราะสูง ทำให้โมเลกุลของน้ำแทรกเข้าไปในโครงสร้างได้ยาก นอกจากนี้ยังมีแร็คซ์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีสมบัติความไม่ชื้นและไม่ชอบน้ำ [51] ส่งผลให้การดูดซับความชื้นต่ำกว่า TPCS จึงทำให้ TPCS/KP มีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดและ โมดูลัสสูงกว่า และเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดต่ำกว่า TPCS

เมื่อเปรียบเทียบเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยุ่นร่วมกับกรดทาร์ทาริก พบว่ามีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดและโมดูลัสลดลง แต่ค่าความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดไม่ต่ำกว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

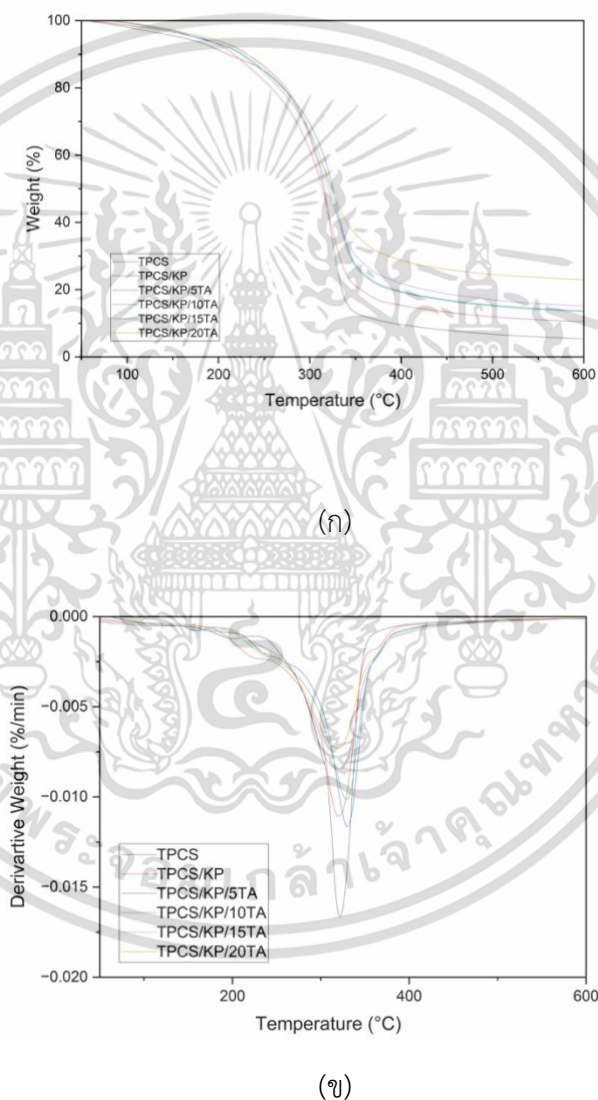
เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงที่ลดลงและการยึดตัวของชั้นงานที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากภายในดินมีความชื้น และโครงสร้างของแอมันสำปะหลังมีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลที่มีความเป็นขี้ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความชอบน้ำ ดูดซับน้ำและสามารถกักเก็บความชื้นไว้ในโครงสร้างแล้วเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับโมเลกุลของแอมัน จึงเกิดการขาดได้ง่ายขึ้น และกรดที่เพิ่มเข้าไปช่วยเพิ่มการย่อยสลายหรือทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมากขึ้น อีกทั้งในดินยังมีจุลินทรีย์ [50] ช่วยเพิ่มการย่อยสลายทำให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มต่ำลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

การทดสอบสมบัติทางความร้อนของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยถั่วเขียว ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr ทำการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์การทดสอบทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis ; TGA) ทดสอบภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนในช่วงอุณหภูมิ 50-600 องศาเซลเซียสและอัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.10 ตารางที่ 4.3 และภาคผนวก



รูปที่ 4.10 เทอร์โมแกรมของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยถั่วเขียว ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr (ก) TGA และ (ข) DTG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิการสลายตัว และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของคอมพอลิเมอร์โพลีเอทิลีน เทฟทาเรทจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยถั่วเขียว ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริก ในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)				เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของแป้ง
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ช่วงที่ 4	
	น้ำ	กลีเซอรอล	แป้ง	เส้นใยถั่วเขียว	
TPCS	95.7	198.8	322.5	-	5.4
TPCS/KP	93.4	219.5	320.2	379.2	19.3
TPCS/KP/5TA	94.0	236.5	326.9	376.5	24.6
TPCS/KP/10TA	93.5	234.7	325.5	375.7	25.4
TPCS/KP/15TA	92.2	231.9	324.6	374.5	27.5
TPCS/KP/20TA	89.0	230.8	324.6	373.8	32.8

จากรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบสมบัติทางความร้อนของ TPCS, TPCS/KP, TPCS/KP/5TA, TPCS/KP/10TA, TPCS/KP/15TA และ TPCS/KP/20TA จากผลการทดสอบพบว่าชิ้นงานทุกสูตรมีอุณหภูมิการสลายตัว 4 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของน้ำที่ 89.00-95.67 องศาเซลเซียส ช่วงที่ 2 เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของกลีเซอรอลที่ 198.83-236.50 องศาเซลเซียส ช่วงที่ 3 เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งที่ 320.17-326.93 องศาเซลเซียส และช่วงที่ 4 เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยถั่วเขียวที่ 373.83-379.23 องศาเซลเซียส

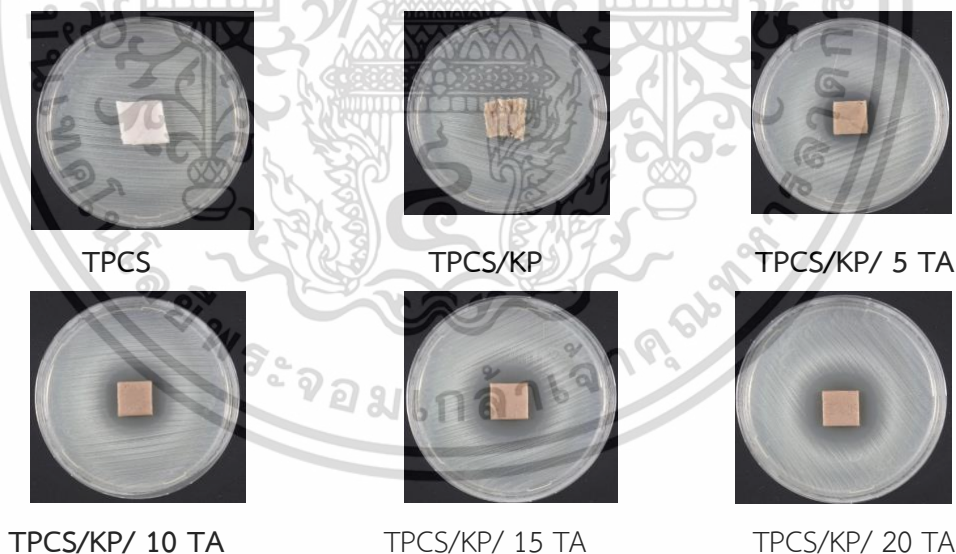
เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิการสลายตัวระหว่าง TPCS และ TPCS/KP พบว่าที่ TPCS มีอุณหภูมิสลายตัว 3 ช่วง และที่ TPCS/KP มีอุณหภูมิสลายตัว 4 ช่วง โดยพบอุณหภูมิสลายตัวของเส้นใยถั่วเขียวที่ 378.93 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของแป้งที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยถั่วเขียวมีแนวโน้มลดลง คาดว่าเกิดจากความเป็น Hydrophobic ของเส้นใยถั่วเขียว เนื่องจากเส้นใยถั่วเขียวมีองค์ประกอบเป็นลิกนิน กับแว็กซ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อารีญา หาญชนะ และคณะ ที่ทำการศึกษาสมบัติต่างๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิซเซอร์จากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วย เส้นใยปอและเส้นใยถั่วเขียว ที่ปริมาณ 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งผลการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อนพบว่า อุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของแป้งมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยถั่วเขียวเพิ่มขึ้น [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาซซ์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยนุ่มกับเทอร์โมพลาสติกสตาซซ์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยนุ่มร่วมกับกรดทาร์ทาริก พบว่ามีอุณหภูมิสลายตัว 4 ช่วง จากผลการทดลองพบว่า การเติมกรดทำให้มีอุณหภูมิสลายตัวเพิ่มขึ้น เมื่อใส่เส้นใยนุ่มและกรดทาร์ทาริกทำให้อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิสลายตัวของแป้งลดลง ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของแป้งเพิ่มขึ้นด้วย อาจเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างแป้งกับกรดทาร์ทาริก นอกจากนี้ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิสลายตัวของเส้นใยนุ่มลดลง อาจเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เนื่องจากกรดมีค่า pKa ต่ำ ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับแป้งและเส้นใยนุ่มได้

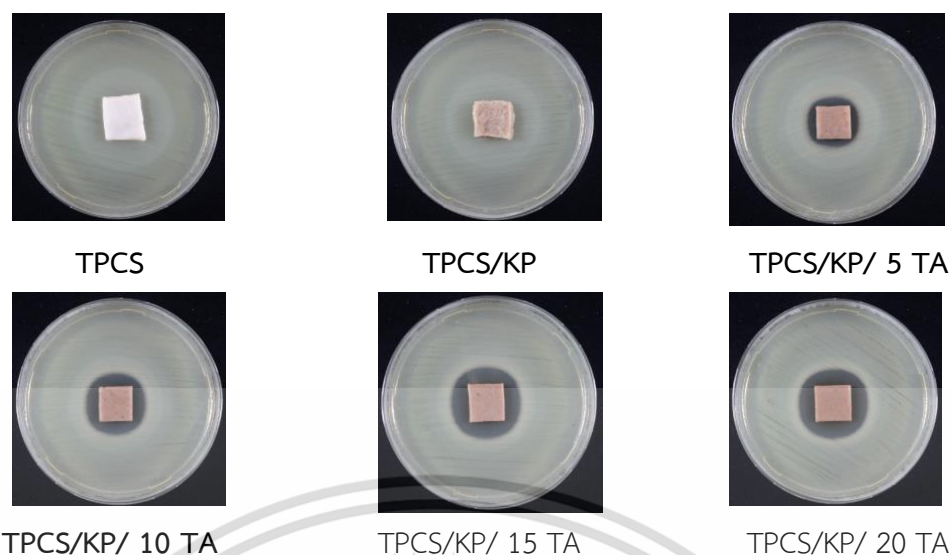
4.7 การทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย

การทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาซซ์จากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่ม ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr ทดสอบโดยใช้เชื้อแบคทีเรีย คือ แบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* และแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli* เพื่อหาบริเวณยับยั้งเชื้อ (Zone of Inhibition) ของชิ้นงานตัวอย่าง ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่



(ก) ระยะเวลาการต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ระยะการต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli*

รูปที่ 4.11 สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยถั่ว ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr

ตารางที่ 4.4 ระยะการต้านเชื้อแบคทีเรียของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยถั่ว ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr

ตัวอย่าง	บริเวณเกิดการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (.มม)		Activity
	<i>S.aureus</i>	<i>E.coli</i>	
TPCS	-	-	Inactive
TPCS/KP	-	-	Inactive
TPCS/KP/5TA	26.0	24.3	Active
TPCS/KP/10TA	28.8	28.4	Active
TPCS/KP/15TA	33.2	31.6	Active
TPCS/KP/20TA	33.3	32.7	Active

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย และภาคผนวก พบว่า TPCS และ TPCS/KP ไม่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 แกรมได้ แต่เมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยนุ่น ร่วมกับกรดทาร์ทาริกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr พบว่าคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* และ แบคทีเรียแกรมลบ *E. coli* ได้ เนื่องจากโมเลกุลของกรดสามารถเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียและทำลายเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์จนไม่สามารถจับตัวกันได้ เมื่อกลไกการทำงานของแบคทีเรียผิดปกติไป แบคทีเรียจึงไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ นอกจากนี้เมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้บริเวณการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้นด้วย

จากตารางจะเห็นได้ว่าเทอร์โมพลาสติกสไตรซ์ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่นร่วมกับกรดทาร์ทาริก สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* ได้มากกว่าเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli* เนื่องจากผนังเซลล์มีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากกว่าแบคทีเรียแกรมบวก นอกจากนี้ภายในเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบประกอบด้วย Outer membrane ซึ่งเป็นส่วนป้องกันสารพิษ [7] ทำให้สารต้านเชื้อมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมลบน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยถั่ว และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกที่ปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr ซึ่งมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัดขึ้นรูป และนำชิ้นงานที่เตรียมได้มาทดสอบสมบัติต่างๆ ซึ่งสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. จากการศึกษาการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน พบพีคลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching และ O-H bending เกิดการเคลื่อนที่ (Shift) ไปยังเลขคลื่นที่ลดลง แสดงให้เห็นถึงการสร้างพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่างแป้งกับเส้นใยถั่ว และพบพีคใหม่ที่มีความยาวคลื่น 1743 cm^{-1} ลักษณะการสั่นแบบ C=O stretching ของหมู่คาร์บอกซิลิกและหมู่เอสเตอร์ของลิกนินที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยถั่ว หรืออาจเกิดจากปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันระหว่างแป้งกับกรด

2. จากการศึกษาสัณฐานวิทยา พบว่าคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลังมีพื้นผิวมีลักษณะค่อนข้างเรียบและเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนเทอร์โมพลาสติกที่เสริมแรงด้วยเส้นใยถั่วพบว่าเส้นใยถั่วมีการกระจายตัวบนเมทริกซ์แป้งและฝังเข้าไปในเมทริกซ์แป้งได้ และการปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลังด้วยเส้นใยถั่วร่วมกับกรดทาร์ทาริกพบลักษณะสัณฐานวิทยาเช่นเดียวกัน โดยพบการกระจายตัวของเส้นใยถั่ว บนเมทริกซ์ของแป้งพบความเข้ากันได้ระหว่างวัฏภาคของแป้งและเส้นใยถั่ว

3. จากการศึกษาการดูดซับความชื้น พบว่าคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยถั่วมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นลดลง แต่เมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยถั่วร่วมกับกรดทาร์ทาริก พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้น โดย TPCS/KP/20TA มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นมากที่สุด แต่คอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยถั่วร่วมกับกรดมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นต่ำกว่าคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ

4. จากการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่าคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยถั่วมีค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดและมอดุลัสเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดลดลง เมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยถั่วร่วมกับกรดทาร์ทาริกส่งผลให้ค่าความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดและมอดุลัสลดลง แต่เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้น ตามปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้น

5. จากการศึกษาการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่าคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากเอกสารนี้แป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยถั่วและปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกที่ปริมาณต่างๆ ทุกๆ ไม่่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรสามารถย่อยสลายได้ โดยคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยุ่นมีการย่อยสลายช้าที่สุด และคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยุ่นและปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกที่ปริมาณ 20 phr มีการย่อยสลายเร็วที่สุด

6. จากการศึกษาสมบัติทางความร้อน พบว่าคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยุ่นและกรดทาร์ทาริก มีอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งและมีค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของแป้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของแป้งเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิสลายตัวของแป้งลดลง

7. จากการศึกษาการต้านเชื้อแบคทีเรีย พบว่าคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยุ่นไม่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้ แต่เมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยุ่นร่วมกับกรดทาร์ทาริกในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* และแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli* ได้ และพบว่าระยะการต้านเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้น

8. จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า คอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยุ่น และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกที่ปริมาณ 5 phr ให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด โดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นต่ำที่สุด สมบัติเชิงกลสูงที่สุด สามารถย่อยสลายโดยการฝังดิน และสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* และแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli* ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการปรับปรุงคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาโรซควรลดปริมาณกรดที่ใช้ เนื่องจากปริมาณกรดที่มากทำให้ชิ้นงานเหนียวติดแม่พิมพ์ แกะออกจากแม่พิมพ์ได้ยาก การลดปริมาณกรดเพื่อให้ชิ้นงานมีความคงตัวง่ายต่อการขึ้นรูป และเพื่อหาปริมาณที่ต่ำที่สุดที่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 แกรมได้

2. ศึกษาสารต้านจุลินทรีย์จากธรรมชาติ เช่น กานพลู ทับทิม เนื่องจากพืชจำพวกนี้มีองค์ประกอบของ eugenol ที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย [55]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เปรมฤทัย เกตุแห่ง, พาขวัญ ต้นเฮง และสุปรียา กนกวิบูลย์ศรี. 2556. “สมบัติต่างๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยอะคาร์”. วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] ยศธร ธเนสรุ่งโรจน์. 2557. “ผลของชนิดของแป้งต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ”. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] อาริยา หาญชนะ. 2558. “ผลของซีลีอัสจากไม้สะเดาที่มีต่อสมบัติต่างๆของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซและเทอร์โมพลาสติกสตาโรซแอซีเทตจากแป้งมันสำปะหลัง”. วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมีสาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] วิภาวรรณ พิตรพิศุทธิกุล. 2558. “การปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังด้วยเพคตินเสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย และเส้นใยนุ่น”. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [5] Prachayawarakorn, J.Chaiwatyothin, S.Mueangta, S. and Hanchana, A. 2013. “Effect of jute and kapok fibers on properties of thermoplastic cassava starchcomposites”. *Materials and Design*. 47 : 309–315.
- [6] แพรวลลิตา บุญกัณหา, ศรีกัลยา ศรีปาน และสุธาสิณี พันธุ์ประชา. 2553. “การปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองโดยใช้เส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง”. วิทยาศาสตร์บัณฑิต(เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [7] ราชิดา วงศ์ไพรัตน์, สุวนันท์ นุ่นงาม และสุอารยา ภูหมื่นไวย์. 2563. “การปรับปรุงสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังและเส้นใยนุ่น โดยซิงค์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์”. วิทยาศาสตร์บัณฑิต(เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [8] Chaichana, J. 2555. “Effects of Fiber type and weaving structures on the Puncture Resistance” A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Master of Engineering in Materials Engineering Prince of Songkla University.
- [9] เมธาพร มานพจันทโรจณ์, รัศมี สุขสำราญ และวราภรณ์ คะละ. 2564. “การปรับปรุงสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์จากแป้งมันสำปะหลังและซีลื้อยไม้สัก โดยกรดมาลิก”. วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [10] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์. 2553. **Tartaric acid / กรดทาร์ทาริก**. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1352/tartaric-acid-กรดทาร์ทาริก>.
- [11] Gao, Z. Shao, J. Sun, H. Zhong, W. Zhuang, W. and Zhang, Z. 2012. “Evaluation of different kinds of organic acids and their antibacterial activity in Japanese Apricot fruits”. *African Journal of Agricultural Research*. 7(35) : 4911-4918.
- [12] สุภาวดี สาระวัน. 2562. **พลาสติกย่อยสลาย**. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.Scimath.org/article-chemistry/item/10624-2019-09-02-01-39-49>.
- [13] ศุภิพร, ปัทมาและ ปริณดา พรหมหิตาธร. 2556. ผลกระทบของพลาสติกต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม. *วารสารพิษวิทยาไทย*. 28(1).
- [14] กัญพิชญ์ นิลธนพันธ์, จุฑามณี เป้าประเสริฐ และรวีรัตน์ เรียบร้อย. 2564. “การศึกษาฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยไฮดรอกซีพอร์พอลิเมทิลเซลลูโลสและเชื่อมขวางด้วยกรดซิตริก”. วิทยาศาสตร์บัณฑิต(เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [15] รังรอง ยกถ่าน. 2557. **พลาสติกชีวฐาน** : โครงสร้างสมบัติการแปรรูปและการใช้ประโยชน์. กรุงเทพฯ. บริษัท Asia Digital การพิมพ์จำกัด.
- [16] สุจารี เตชะพิบูลย์ทรัพย์. 2556. “การปรับปรุงความเข้ากันได้และความเหนียวของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์กับพอลิแลกติกแอซิด”. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [17] Buléona, A.Colonnaa, P.Planchota, V.Ball, S. 1998. “ Starch granules: structure and biosynthesis” . *International Journal of Biological Macromolecules*. 23(2) : 85-112.
- [18] กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. **เทคโนโลยีของแป้ง**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [19] พิมพ์เพ็ญ, เกียรติคุณ และ นิธิยา. **สตาร์ช/Starch**. 2565. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0501/starch-สตาร์ช>.
- [20] สุทธิณี สีสังข์. 2563. **คุณสมบัติของแป้งที่มีผลต่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ**. กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง.
- [21] นิธิยา รัตนาปนนท์.2553. **เคมีอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- [22] ชนิตา หันสวาสดี.2551. **เคมีของแป้งและแป้งดัดแปร**. พิษณุโลก. สำนักพิมพ์คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [23] กลุ่มสารสนเทศอิเล็กทรอนิกส์. 2561. **มันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์ (Tapioca and products)**. ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- [24] วิลาสินี เกิดเกลื่อน. 2553. “การเตรียมและการนำแป้งครอสลิงค์ชนิดฟอสเฟตไปใช้ประโยชน์”. วิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [25] กล้าณรงค์ ศรีรอด,เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ และวัชร เลิศมงคล. 2542. **การแปรรูปและการใช้ประโยชน์มันสำปะหลัง: เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ ฉบับที่ 5 ชุด โครงการเพื่อบรรเทาผลกระทบทางสังคมเนื่องจากวิกฤติการณ์ทางเศรษฐกิจ**. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรภาควิชาพืชไร่.
- [26] วิหารินทร์ ตั่งดี. 2557. “การศึกษาสมบัติการดูดซับเสียงของผ้าไม่ทอจากเส้นใยพอลิเอสเทอร์ผสมเส้นใยนุ่น”. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [27] Kasettambon. 2564. **ประโยชน์และสรรพคุณของดินนุ่นหรือจ้าว**. [Online]. เข้าถึงได้จาก

<https://www.kasettambon.com/ประโยชน์และสรรพคุณของดินนุ่น>.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น มิใช่ข้อมูลที่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [28] Khasamsakmueangson. 2564. **นุ่น**. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://rspg.kku.ac.th/p=5902>.
- [29] เคมีภัณฑ์. 2562. **กลีเซอริน (เกรดอาหาร) (Glycerine (Food Grade)) A : 100g. (80ml.)M**. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.chemipan.com/a/th-th/244-สินค้า/328-เคมีทั่วไป/991-กลีเซอริน-วีจี-vegetable-glycerine-vg-a-100g-80ml-m.html>.
- [30] Deemark. 2565. **ส่วนประกอบสำคัญในอุตสาหกรรมพลาสติก**. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.deemarkthailand.com/ส่วนประกอบของพลาสติก/>.
- [31] เคมีภัณฑ์. 2565. **Magnesium Stearate (แมกนีเซียม สเตียเรท) 1kg**. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.chemipan.com/a/th-th/244-สินค้า/328-เคมีทั่วไป/5336-magnesium-stearate-แมกนีเซียม-สเตียเรท-1kg.html>.
- [32] กรุงเทพเคมี. 2562. **Silicone Oil 1000 : ซิลิโคน ออยล์ 1000**. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://กรุงเทพเคมี.com/index.php?route=product/product&product_id=561.
- [33] ไม่ปรากฏชื่อผู้จัดทำเว็บไซต์. 2565. **กรดทาร์ทาริกTartaric acid**. [Online]. เข้าถึงได้จาก https://en.m.wikipedia.org/wiki/Tartaric_acid.
- [34] European Chemicals Regency. 2013. **Potassium hydrogen tartrate**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://echa.europa.eu/registration-dossier/-/registereddossier/11349/4/22>.
- [35] siamroommate. 2565. **กรดทาร์ทาริก (Tartaric acid) ชนิด ประโยชน์ การผลิต และพิษต่อร่างกาย**. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://siamroommate.com/กรดทาร์ทาริก/>.
- [36] วรศักดิ์ เพชรโรทัย. 2562. การคอมปาวด์พลาสติก. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [37] ดร.รชนีพัช ธรรมาร. 2556. เทคโนโลยีกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [38] นฤศิริภัทรวิบูลย์ และนฤมล สุทธิประภา. 2559. “ผลของซิงค์ออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาเรชจากแป้งข้าวโพดเสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่น”. วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [39] Edhirej, A. Sapuan, S.M.Jawaid, M. andZahari, N.I. 2017. “Cassava/sugar palm fiber reinforced cassava starch hybrid composites: Physical, thermal and structural properties”. *International Journal of Biological Macromolecules* 101 : 75-83.ใช้

- [40] Naik, V.S. Prabhakara, S.S. and Raghvendra, S. 2017. “Mechanical Properties of Sasal Fiber Reinforced Thermoplastic Starch Bio-composites”. *International Journal of Mechanical and Material Sciences Research*. 7(1) : 1-7.
- [41] Yusof, F.M. Wahab, N. Rahman, N.A. Kalam, A. Jumahat, A. and Taib, C.F.M. 2019. “Properties of treated bamboo fiber reinforced tapioca starch biodegradable composite”. *Material Today Proceedings*. 16(4) : 2367-2373.
- [42] Asrofi, M. Sujito, S. and Syafri, E. 2019. “Moisture Resistance of Sugarcane Bagasse Cellulose Filled Tapioca Starch Biocomposites: Effect of Cellulose Loading”. *Internationa Journal of Progressive Sciences and Technologies*. 18(1) : 01-04
- [43] Hu, X. Jia, X. Zhi, C. jin, Z and Miao, M. 2019. “Improving the properties of starch – based anti microbial composite films using ZnO-Chitosan nanoparticles” *Carbohydrate polymers*. 210 : 204-209.
- [44] Chotiprayon, P. Chaisawad, B. and Yoksan, R. 2020. “Thermoplastic Cassava Starch/Poly(Lactic Acid) Blend Reinforced with Coir Fibres”. *International Journal of Biological Macromolecules*. 156 : 960–968.
- [45] Ji, M. Li, F. Li, J. Li, J. Zhang, C. Sun, K. and Guo, Z. 2021. “Enhanced mechanical properties, water resistance, thermal stability, and biodegradation of the starch-sisal fibre composites with various fillers”. *Materials and Design*. 198 : 109373.
- [46] Jumaidin, R. Zainel, S.N.M. Adam, N.W. Hussin, M.S.F. Ghani, A.F.A. Taha, M.M. Mansor, M.R. Yaakob, M.Y. Ahmad, M.N. Maidin, N.A. Wahid, M.K. Yatim, N.A.M. Rahman, M.H.A. and Osman, M.H. 2021. “Thermal Degradation and Mechanical Characteristics of Sugarcane Bagasse Reinforced Biodegradable Potato Starch Composites”. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*. 78(1) : 157-166.
- [47] Abotbina, W. Sapuan, S.M. Ilyas, R.A. Sultan, M.T.H. and Alkbir, M.F.M. 2022. “Preparation and Characterization of Black Seed/Cassava Bagasse Fiber-Reinforced Cornstarch-Based Hybrid Composites”. *Sustainability*. 14: 12042.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [48] Sivakumar, A.A. Canales, C. Roco-Videla, Á. And Chávez, M. 2022. “Development of Thermoplastic Cassava Starch Composites with Banana Leaf Fibre” . *Sustainability*. 14 : 12732.
- [49] Kamaruddin, Z.H. Jumaidin, R. Ilyas, R.A. Selamat, M.Z. Alamjuri, R.H. and Yusof, F.A.M. 2022. “ Biocomposite of Cassava Starch-Cymbopogon Citratus Fibre: Mechanical, Thermal and Biodegradation Properties” . *Polymers*. 14 : 514.
- [50] จินตภา แต้มสีคราม. 2559. สมบัติของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เชื่อมโยงด้วยกรดซिटริก กรดแลกติก และกรดมาลิก. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [51] นินาง ธนกิจพูนทรัพย์. 2564. การปรับปรุงสมบัติของของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตา์ชที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังและเส้นใยขนุน โดยนาโนซิงค์ออกไซด์. วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [52] นารณัญญา ช่างเจริญ, นรินทร์รัตน์ สิริรัมย์ และอัจฉรา คำดี. 2560. ผลของกรดซिटริกที่มีผลต่อสมบัติของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งท้าวยาย้ม้อมเสริมแรงด้วยเส้นใยขนุน. วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [53] Roberts, J.D. and Caserio, M.C. 1977. Basic Principles of Organic Chemistry. 2nd ed. California : W. A. Benjamin, Inc.
- [54] Arthur Winter, PhD. 2016. IR Spectroscopy of Carboxylic acid. Organic Chemistry I For Dummies.
- [55] วรยุทธ ยอดบุญ ประเวทย์ ต้อยเต็มวงศ์ และ ชรณี ต้อยเต็มวงศ์. 2555. ผลของสารสกัดสมุนไพรในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในอาหาร. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

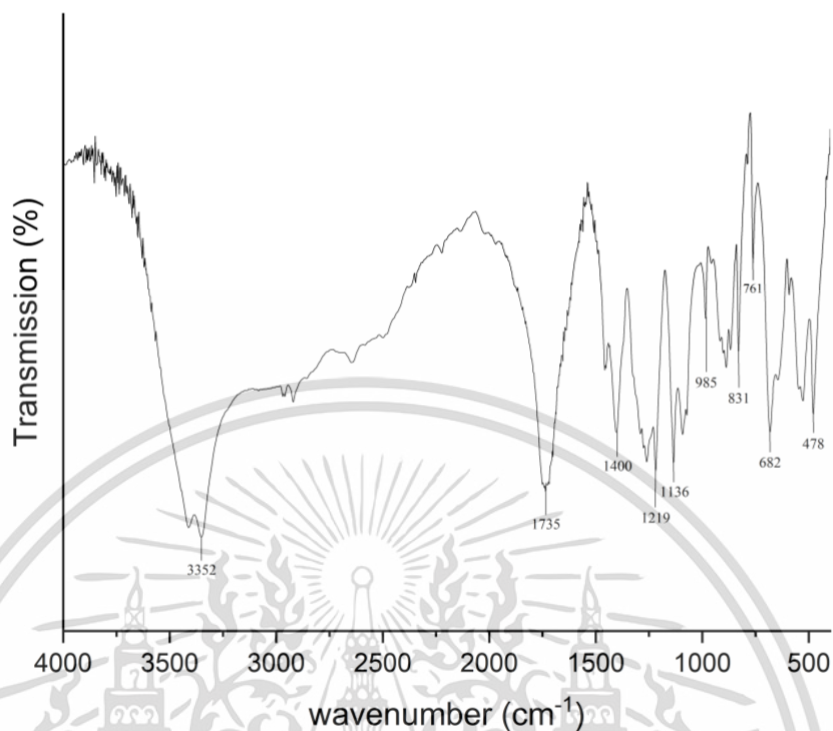
ภาคผนวก ก

ลักษณะชิ้นงานของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยถั่วเขียว ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกในปริมาณต่างๆ



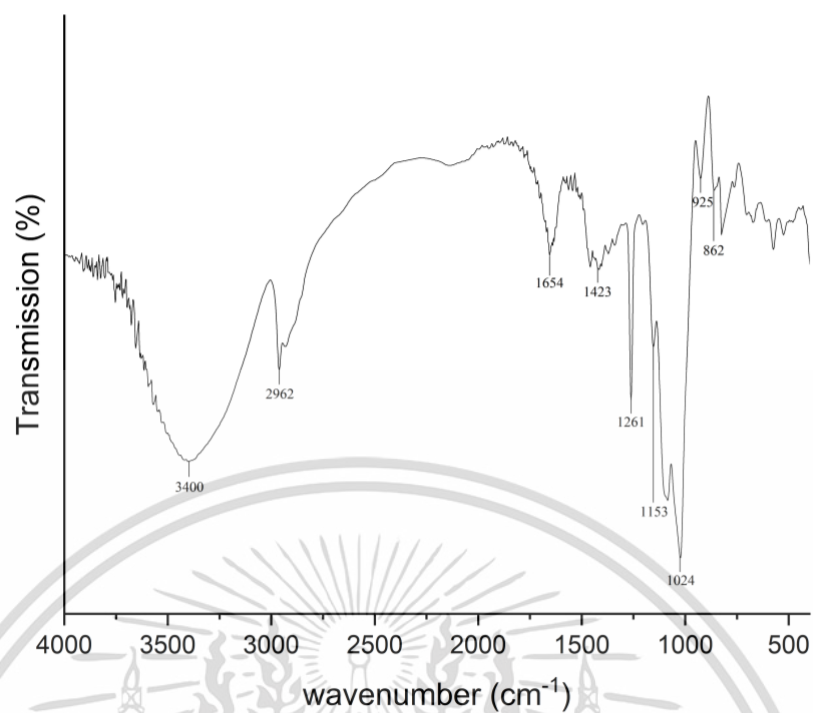
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

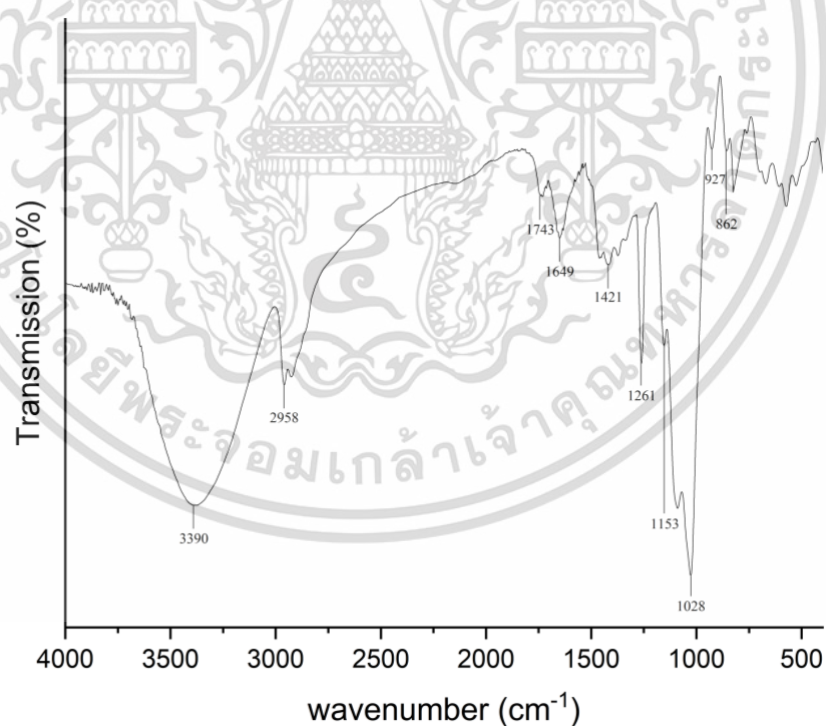


รูปที่ ข.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของกรดทาร์ทาริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

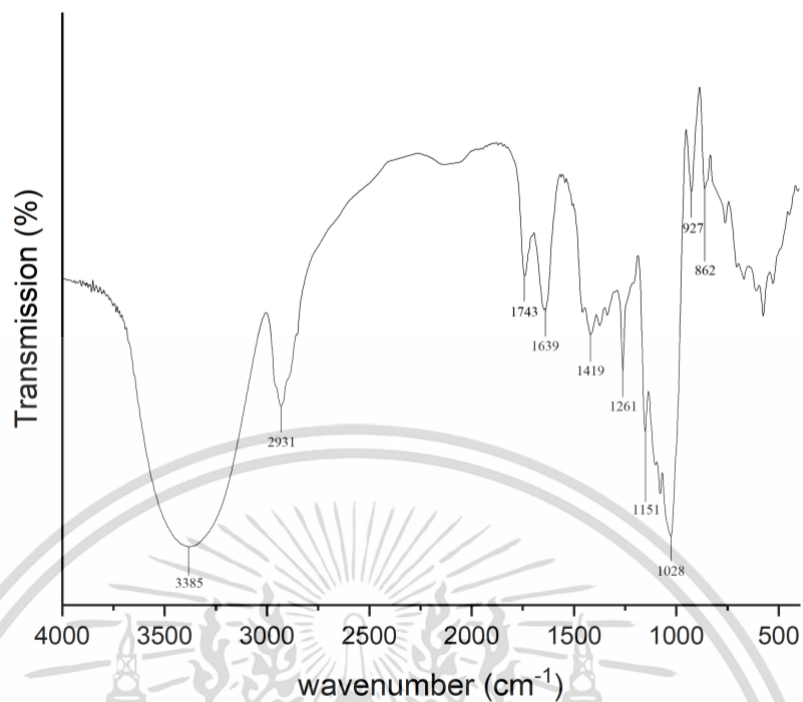


รูปที่ ข.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของ TPCS

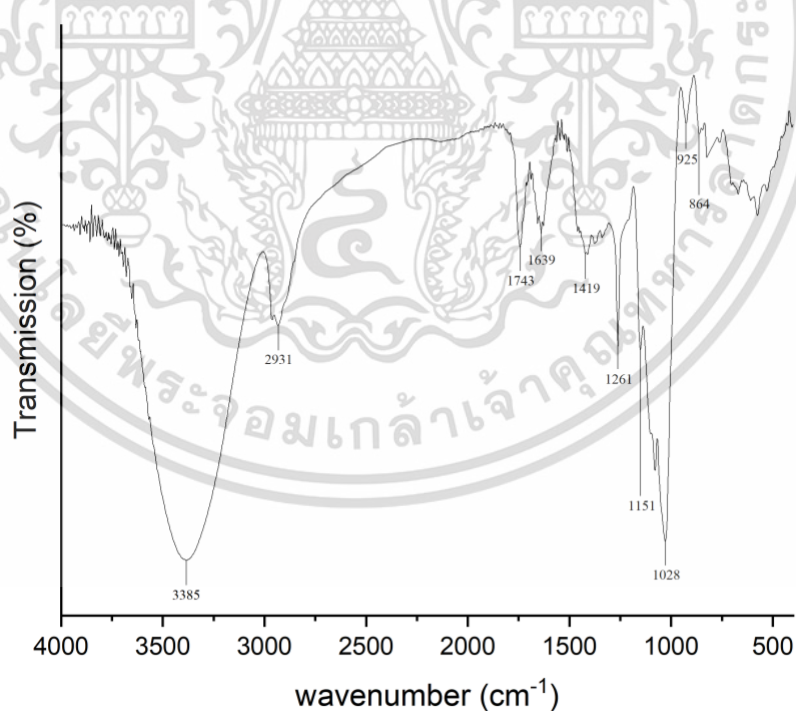


รูปที่ ข.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของ TPCS/KP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

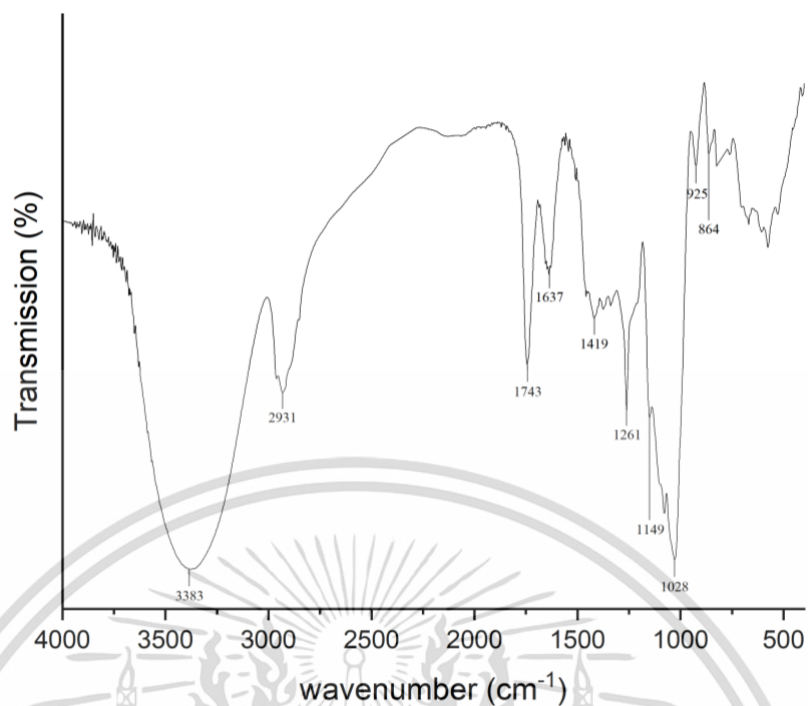


รูปที่ ข.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของ TPCS/KP/5TA

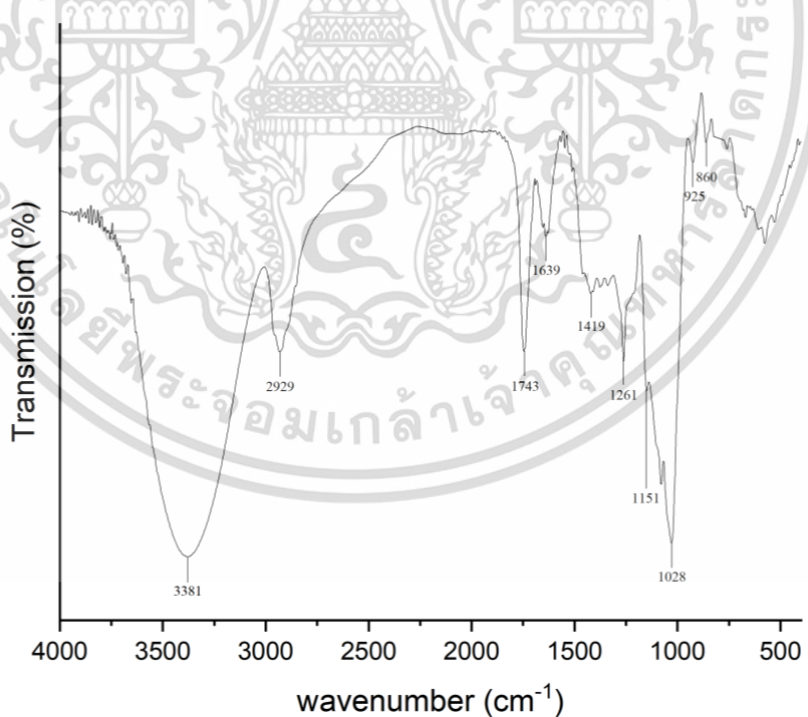


รูปที่ ข.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของ TPCS/KP/10TA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของ TPCS/KP/15TA



รูปที่ ข.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของ TPCS/KP/20TA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค





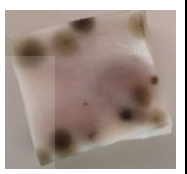
ตารางที่ ค.1 แสดงอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (L/D ratio) ของเส้นใยนุ่น

ตัวอย่างที่	ความยาว (L)	ความกว้าง (D)	อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง (L/D ratio)
1	286	19.3	14.8
2	456	23.7	19.2
3	429	21.2	20.2
4	333	15.4	21.6
5	605	21.3	28.4
6	461	23.8	19.4
7	615	26.1	23.6
8	355	17.7	20.1
9	556	37.6	14.8
10	195	21.3	9.2
11	514	20.2	25.4
12	531	18.5	28.7
13	290	15.4	18.8
14	634	26.5	23.9
15	241	20.7	11.6
16	186	13.4	13.9
17	284	19.5	14.6
18	225	23.8	9.5
19	295	22.8	12.9
20	459	24.4	18.8
ค่าเฉลี่ย	397.50±142.89	21.63±5.03	18.47±5.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง.1 ลักษณะชิ้นงานที่ทดสอบการดูดซับความชื้นของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจาก
แป้ง มันสำปะหลังที่ความชื้นสัมพัทธ์ 99 ± 1 เปอร์เซ็นต์


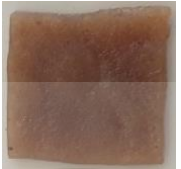


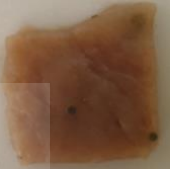















สูตร	รูปชิ้นงานทดสอบการดูดซับความชื้น				
TPCS					
	0	1	5	7	9

ตารางที่ ง.2 ลักษณะชิ้นงานที่ทดสอบการดูดซับความชื้นของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจาก
แป้ง มันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยุ่นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 99 ± 1 เปอร์เซ็นต์

สูตร	รูปชิ้นงานทดสอบการดูดซับความชื้น				
TPCS/KP					
	0	1	5	7	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 ลักษณะชิ้นงานที่ทดสอบการดูดซับความชื้นของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาซจาก
 แป้ง มันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่น และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกที่
 ปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 99±1 เปอร์เซ็นต์

สูตร	รูปชิ้นงานทดสอบการดูดซับความชื้น				
TPCS/KP/5TA					
	0	1	5	7	9
TPCS/KP/10TA					
	0	1	5	7	9
TPCS/KP/15TA					
	0	1	5	7	9
TPCS/KP/20TA					
	0	1	5	7	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.4 เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ 99 ± 1 เปอร์เซ็นต์ของคอมพอลิทีเทอร์ โมพลาสติกสตาโรซจากแป้ง มันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยนุ่น และปรับปรุงสมบัติ ด้วยกรดทาร์ทาริกที่ปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้น (%)							
	0	1	2	5	6	7	8	9
TPCS	0.00	30.24	45.08	73.47	79.85	84.06	84.50	84.67
TPCS/KP	0.00	26.16	39.58	63.24	68.57	72.09	72.37	72.72
TPCS/KP/5TA	0.00	27.28	40.42	63.52	69.73	73.08	73.80	74.87
TPCS/KP/10TA	0.00	27.92	41.56	65.67	71.02	72.52	73.27	75.23
TPCS/KP/15TA	0.00	28.61	41.71	65.81	71.03	72.37	73.63	75.32
TPCS/KP/20TA	0.00	28.72	42.16	67.81	72.66	73.43	74.34	75.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ตารางที่ ง.4 สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยุ่น และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกที่ปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr

ตัวอย่าง	สมบัติเชิงกล		
	ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (MPa)	มอดุลัส (MPa)	ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (%)
TPCS	2.89±0.11	19.56±0.76	14.86±0.06
TPCS/KP	3.16±0.19	37.51±1.82	11.86±0.27
TPCS/KP/5TA	1.72±0.13	20.54±0.85	18.75±0.12
TPCS/KP/10TA	0.81±0.09	12.15±0.72	21.66±0.76
TPCS/KP/15TA	0.70±0.06	10.96±0.70	27.78±0.13
TPCS/KP/20TA	0.66±0.03	8.39±0.46	28.51±0.56

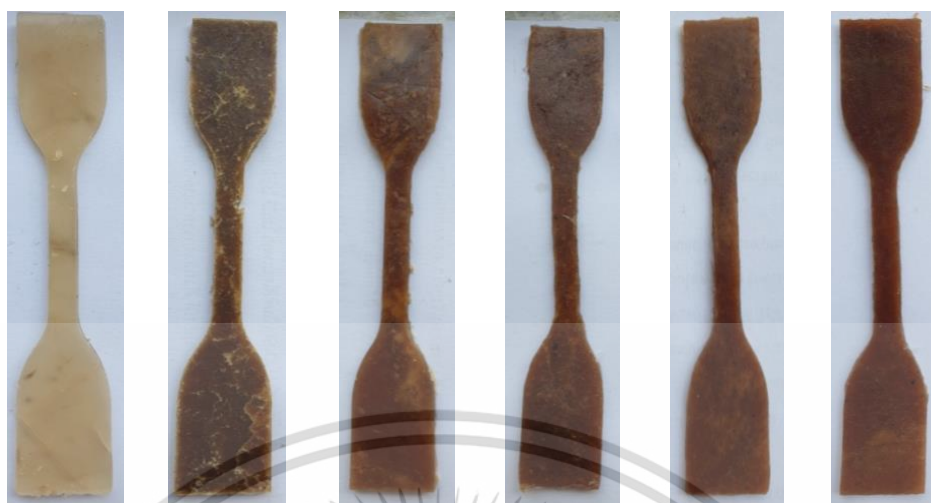
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ตารางที่ ฉ.1 สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ และปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกที่ปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr ภายหลังจากฝังดินเป็นระยะเวลา 2 วัน

สมบัติเชิงกล	ตัวอย่าง	จำนวนวันในการทดสอบ	
		0	2
ความเค้น ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (MPa)	TPCS	2.89±0.11	1.21±0.02
	TPCS/KP	3.16±0.19	1.53±0.01
	TPCS/KP/5TA	1.72±0.13	0.69±0.04
	TPCS/KP/10TA	0.81±0.09	0.38±0.04
	TPCS/KP/15TA	0.70±0.06	0.31±0.03
	TPCS/KP/20TA	0.66±0.03	0.23±0.03
มอดุลัส (MPa)	TPCS	19.56±0.76	9.89±0.17
	TPCS/KP	37.51±1.82	15.00±0.20
	TPCS/KP/5TA	20.54±0.85	10.68±0.05
	TPCS/KP/10TA	12.15±0.72	7.63±0.01
	TPCS/KP/15TA	10.96±0.71	6.32±0.22
	TPCS/KP/20TA	8.39±0.46	5.20±0.06
ความเครียด ณ จุดรับแรงดึงสูงสุด (%)	TPCS	14.86±0.06	5.13±0.04
	TPCS/KP	11.86±0.27	3.56±0.03
	TPCS/KP/5TA	18.75±0.12	5.75±0.15
	TPCS/KP/10TA	21.66±0.76	6.87±1.01
	TPCS/KP/15TA	27.78±0.13	10.95±0.12
	TPCS/KP/20TA	28.51±0.56	12.52±0.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ) (ฉ)

รูปที่ ๑.1 สมบัติเชิงกลของ (ก) TPCS (ข) TPCS/KP (ค) TPCS/KP/5TA (ง) TPCS/KP/10TA (จ) TPCS/KP/15TA และ (ฉ) TPCS/KP/20TA ก่อนฝังดิน

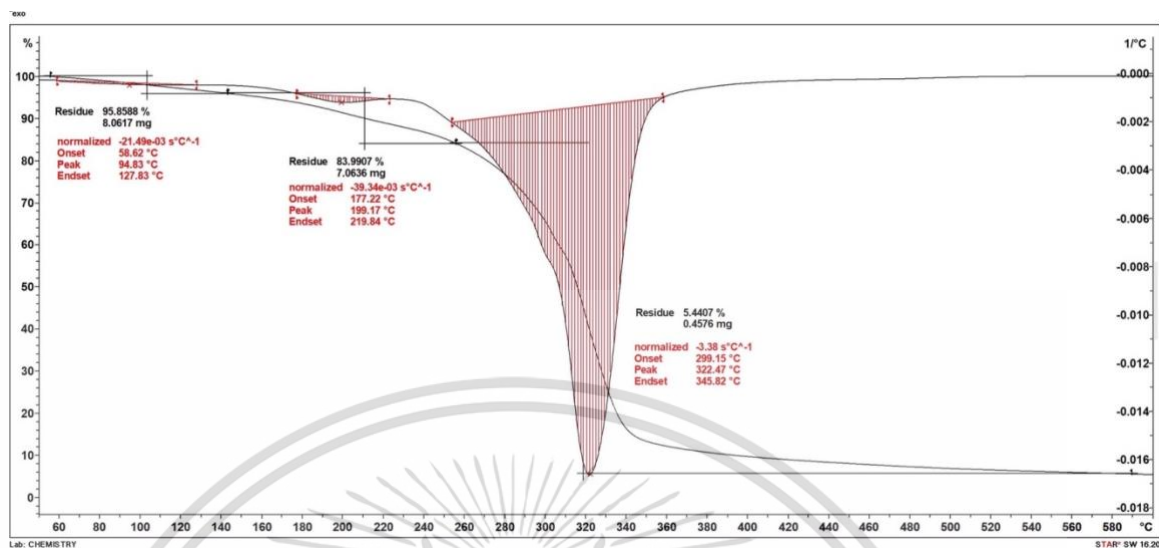


(ก) (ข) (ค) (ง) (จ) (ฉ)

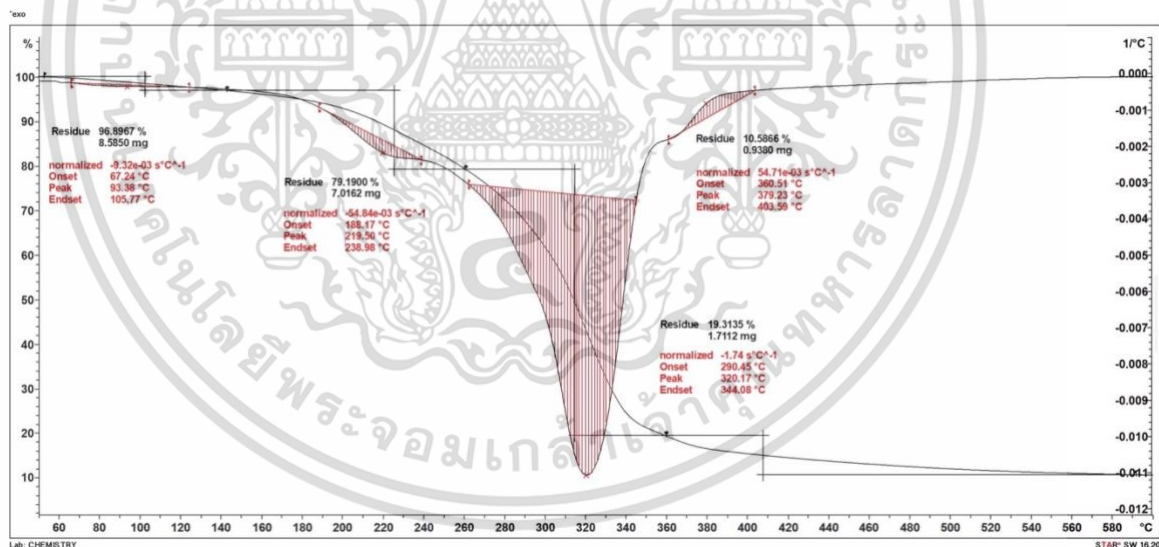
รูปที่ ๑.2 สมบัติเชิงกลของ (ก) TPCS (ข) TPCS/KP (ค) TPCS/KP/5TA (ง) TPCS/KP/10TA (จ) TPCS/KP/15TA และ (ฉ) TPCS/KP/20TA หลังฝังดิน 2 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

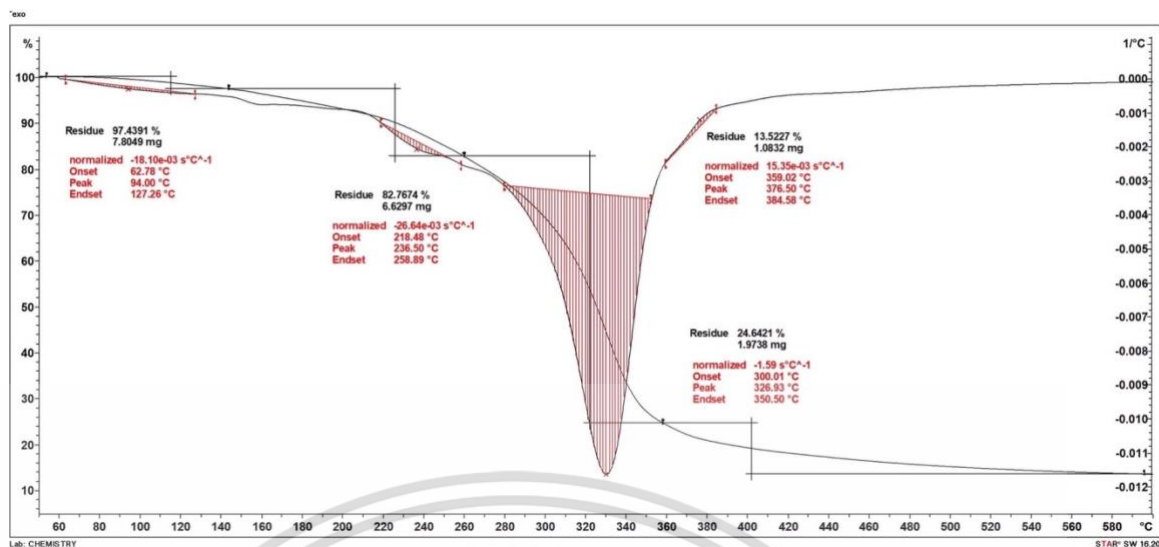


รูปที่ ข.1 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลัง
ที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ

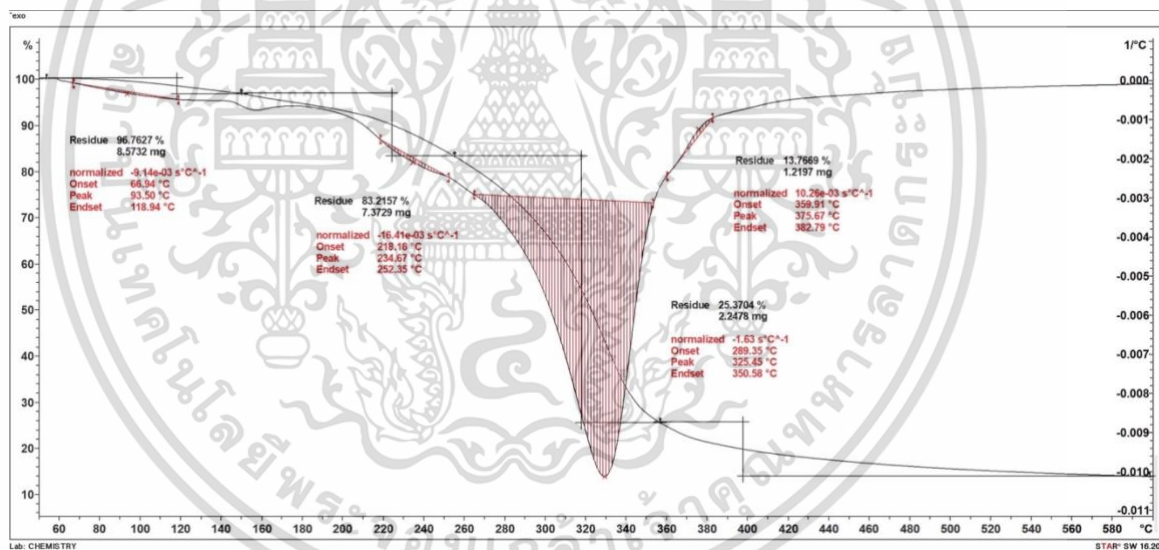


รูปที่ ข.2 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของคอมพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลัง
เสริมแรงด้วยเส้นใยถั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

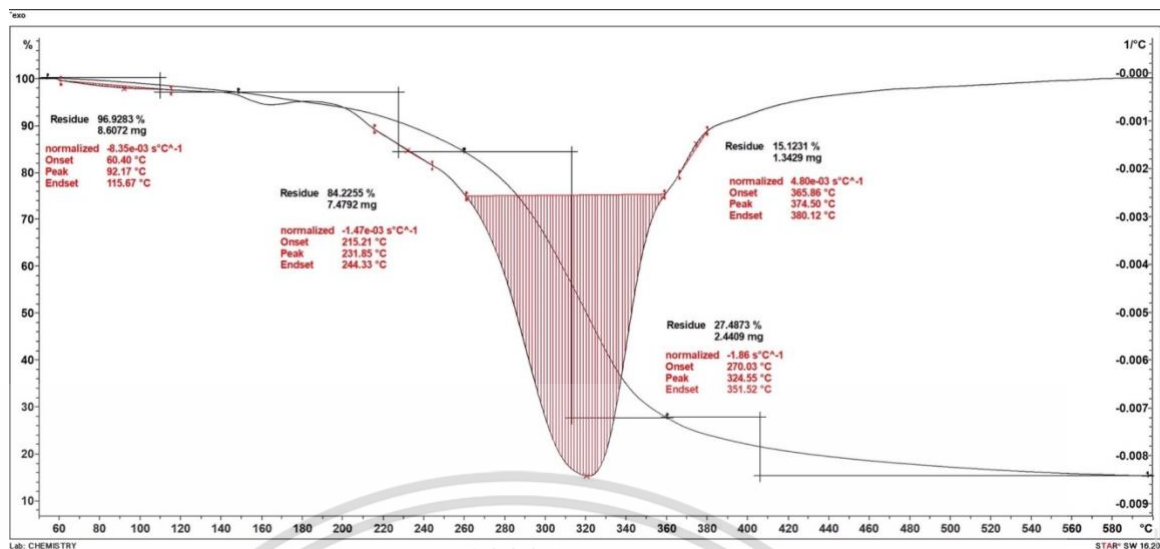


รูปที่ ข.3 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยเส้นใยขนุน ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 5 phr

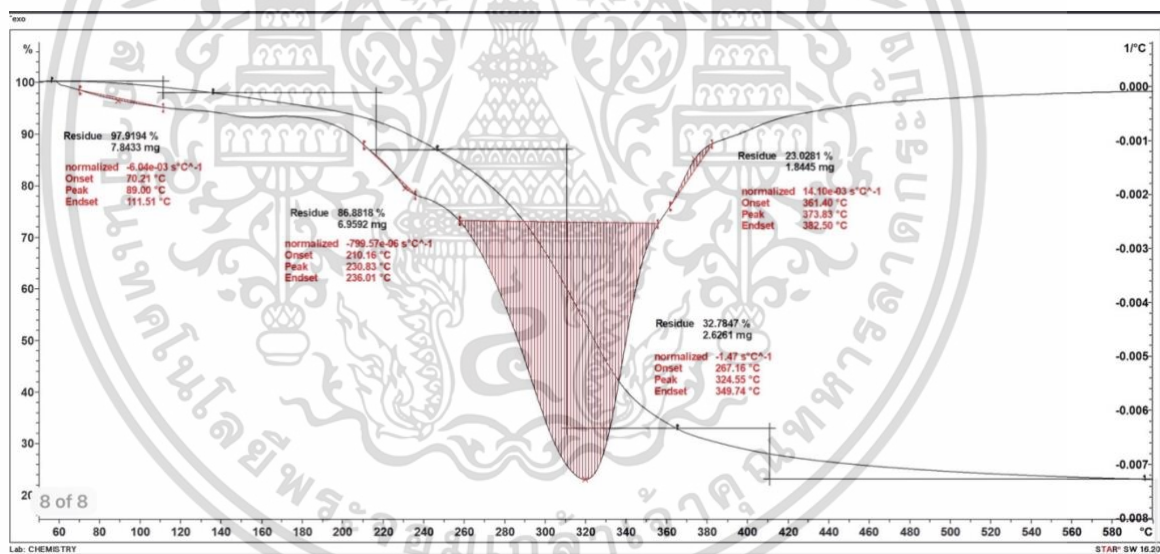


รูปที่ ข.4 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยเส้นใยขนุน ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 10 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยเส้นใยขนุน ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 15 phr



รูปที่ ข.6 TGA และ DTG เทอร์โมแกรมของคอมพอสิตเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลัง เสริมแรงด้วยเส้นใยขนุน ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดทาร์ทาริกปริมาณ 20 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 24 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2566

ข้าพเจ้า นางสาวชนิสรา ปัญจกรพัฒนา รหัสประจำตัว 62050261

นางสาวศุภาพิชญ์ สารีท้าว รหัสประจำตัว 62050333

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี ขอรับรองว่า
โครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การปรับปรุงสมบัติของคอมพอลิทีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง
และเส้นใยนุ่น โดยกรดทาร์ทาริก

ชื่อภาษาอังกฤษ Property Modification of Thermoplastic CassavaStarch/Kapok Fiber
Composites by Tartaric Acid

ปีการศึกษา 2565

เป็นผลงานวิจัยที่ได้ตัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความ
ซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจาก
เล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 5.39%

ลงชื่อ...ชนิสรา ปัญจกรพัฒนา..... ลงชื่อ...ศุภาพิชญ์ สารีท้าว.....

(นางสาวชนิสรา ปัญจกรพัฒนา) (นางสาวศุภาพิชญ์ สารีท้าว)

นักศึกษา

นักศึกษา

ข้าพเจ้า รศ.ดร จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบ
โครงการพิเศษของนักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหา
สมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อจุฑารัตน์.....

(รศ.ดร จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้