บทความวิจัย

การศึกษาการเตรียมและสมบัติของวัสดุคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่มีเส้นใยใบสับปะรดเป็นวัสดุเสริมแรง

รัตนาภรณ์ พรหมจริยากุล* ธีรพล พงษ์พฤกษ์ มุนา เนียมตะเคียน และ นฤทธิ์ ชุ่มชอบ
สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมวัสดุและกระบวนการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 09 4485 2795 อีเมล: rattanaporn.m@eat.kmutnb.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2023.03.006
รับเมื่อ 2 พฤศจิกายน 2565 แก้ไขเมื่อ 4 มกราคม 2566 ตอบรับเมื่อ 12 มกราคม 2566 เผยแพร่ออนไลน์ 28 มีนาคม 2566
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียมและสมบัติของวัสดุคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปร (Thermoplastic Modified Starch; TPMS) ที่มีเส้นใยใบสับปะรด (Pineapple Leaf Fiber; PALF) เป็นวัสดุเสริมแรงที่ 0, 2, 4, 6 และ 8 phr ตามลำดับ ด้วยเครื่องผสมแบบปิด (Internal Mixer) จากนั้นขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องกดอัดแบบร้อน (Compression Molding Machine) โดยศึกษาผลของปริมาณการเติมเส้นใยใบสับปะรดที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกล ดัชนีการไหล และสมบัติทางสัณฐานวิทยาพบว่า คอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และค่ายังมอดุลัสเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยใบสับปะรด อย่างไรก็ตาม ค่าร้อยละการรยืด ณ จุดขาด และค่าความต้านทานต่อการกระแทกมีค่าลดลง เมื่อพิจารณาที่ค่าดัชนีการไหลพบว่า คอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรมีค่าดัชนีการไหลต่ำกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่ไม่เติมเส้นใยใบสับปะรด นอกจากนั้น คอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรจะมีค่าดัชนีการไหลลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยใบสับปะรด จากการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM) พบว่า เส้นใยใบสับปะรดสามารถยึดติดกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรได้ดีจึงส่งผลให้มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และค่ายังส์มอดุลัสเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: คอมโพสิตสีเขียว เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช แป้งดัดแปร เส้นใยใบสับปะรด สมบัติเชิงกล

การอ้างอิงบทความ: รัตนาภรณ์ พรหมจริยากุล, ธีรพล พงษ์พฤกษ์, มุนา เนียมตะเคียน และ นฤทธิ์ ชุ่มชอบ, "การศึกษาการเตรียมและสมบัติของวัสดุคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่มีเส้นใยใบสับปะรดเป็นวัสดุเสริมแรง," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 2566, doi: 10.14416/j.kmutnb.2023.03.006.

Research Article

Preparation and Properties of Pineapple Leaf Fiber Based Thermoplastic Modified Starch Composite

Rattanaporn Promjariyakoon*, Theerapon Pongpruek, Muna Niamtakian and Narit Chumchob
Material and Process Engineering and Technology, Faculty of Engineering and Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 09 4485 2795, E–mail: rattanaporn.m@eat.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2023.03.006
Received 2 November 2022; Revised 4 January 2022; Accepted 12 January 2022; Published online: 28 March 2023
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The purpose of this research was to study the preparation and properties of Pineapple Leaf Fiber (PALF) based Thermoplastic Modified Starch (TPMS) composites with pineapple leaf fiber content at 0, 2, 4, 6, and 8 phr respectively by using an internal mixer. The test specimens were prepared by compression molding machine. Mechanical properties, Melt Flow Index (MFI) and morphological properties of thermoplastic modified starch combined with pineapple leaf fiber content were studied. The results showed that tensile strength and young's modulus increased with an increasing of PALF content. However, elongation at break (%) and impact strength decreased with an increasing of PALF content. The Melt Flow Index showed that non-reinforced TPMS had a higher MFI than the thermoplastic modified starch composites. Moreover, the MFI of thermoplastic modified starch composites decreased with the increasing PALF content. The morphology of thermoplastic modified starch composites as captured by Scanning Electron Microscopy (SEM) illustrated that PALF had a good adhesion with thermoplastic modified starch. Therefore, the results showed tensile strength and young's modulus increased.

Keywords: Green Composite, Thermoplastic Starch, Modified Starch, Pineapple Leaf Fiber, Mechanical Properties

Please cite this article in press as: R. Promjariyakoon, T. Pongpruek, M. Niamtakian, and N. Chumchob, "Preparation and properties of pineapple leaf fiber based thermoplastic modified starch composite," *The Journal of KMUTNB*, 2023 (in Thai), doi: 10.14416/j.kmutnb.2023.03.006.

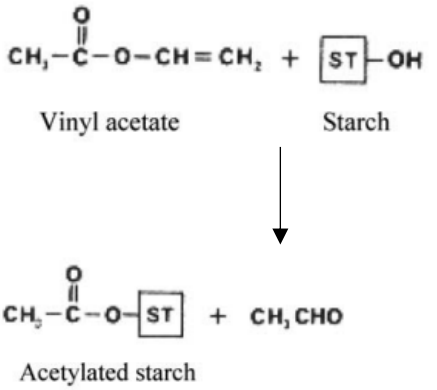
1. บทนำ

ปัจจุบันการคิดค้นและพัฒนาพลาสติกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารกำลังมีบทบาทสำคัญ เนื่องจากพลาสติกที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยใช้วัตถุดิบจากแหล่งปิโตรเลียมกำลังส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม และส่งผลต่อความยั่งยืนของทรัพยากรของโลกในอนาคต [1] ดังนั้นนักวิจัยในหลายๆประเทศจึงคิดค้น และพัฒนาพลาสติกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อนำมาทดแทนการใช้พลาสติกจากปิโตรเลียม สำหรับพลาสติกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่นักวิจัยให้ความสนใจพัฒนากันอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันคือ วัสดุคอมโพสิตสีเขียว (Green Composite) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบของพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นวัสดุหลัก (Matrix) เสริมแรง (Reinforced) ด้วยสารตัวเติมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเนื่องจากวัสดุคอมโพสิตสีเขียวมีคุณสมบัติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ย่อยสลายได้ และยั่งยืน [2], [3]

แป้ง (Starch) จัดเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง ที่ได้จากทรัพยากรหมุนเวียน ต้นทุนต่ำ ไม่เป็นพิษ และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ส่งผลให้แป้งถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการพัฒนาเป็นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic Starch) อย่างไรก็ตาม ในระหว่างกระบวนการเปลี่ยนแป้งให้เป็นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจะต้องใช้ทั้งความร้อนและแรงเฉือน [2] จึงต้องเติมสารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) เพื่อไม่ให้แป้งเกิดการเสื่อมสภาพก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช เพราะแป้งมีอุณหภูมิในการสลายตัว (Decomposition Temperature) ต่ำกว่าอุณหภูมิในการหลอมเหลว (Melting Temperature) [4] สำหรับสารเสริมสภาพพลาสติกที่นิยมใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช คือ กลีเซอรอล (Glycerol) เนื่องจากกลีเซอรอลสามารถเข้าไปช่วยลดแรงเสียดทาน (Friction) ระหว่างโมเลกุลของแป้งได้อย่างดีเยี่ยม [2]

จากงานวิจัยที่ผ่านมา เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชถูกนำมาใช้ในการศึกษาและพัฒนาเพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากมาย แต่ด้วยข้อจำกัดในเรื่องของความเป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) และมีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดี [2], [4]–[6] นักวิจัยจึงศึกษาการนำเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมาผสมกับพลาสติกชนิดอื่นเพื่อลดความเป็นไฮโดรฟิลิก และ/หรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้ดียิ่งขึ้นโดยการเติมสารเสริมแรง [2]–[10] และอีกหนึ่งวิธีที่สามารถปรับปรุงสมบัติของแป้งได้คือ การดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลของแป้ง โดยการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลที่มีความเป็นไฮโดรฟิลิก ด้วยหมู่ฟังชันอย่างอื่นมีความเป็นไฮโดรโฟบิก (Hydrohobic) โดยผ่านปฏิกิริยา เช่น ปฏิกิริยาแอซิทิลเลชัน (Acetylation) ปฏิกิริยาเชื่อมขวาง (Crosslinking) และปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) เป็นต้น [11]–[13]

เส้นใยใบสับปะรด (Pineapple Leaf Fiber) เป็นเส้นใยที่ได้จากใบสับปะรด ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร มีความแข็งแรงสูง น้ำหนักเบา เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และย่อยสลายได้ จึงทำให้นักวิจัยให้ความสนใจนำเส้นใยใบสับปะรดไปใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตกันอย่างแพร่หลาย [3], [14]–[16] อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่พบงานวิจัยที่ใช้เส้นใยใบสับปะรดเป็นวัสดุเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรจะมีก็แต่ใช้เส้นใยใบสับปะรดเป็นวัสดุเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรโครงสร้างทางเคมี นอกจากนี้ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับแป้งมันสำปะหลังและลดปัญหาการเกิดก๊าซเรือนกระจกเนื่องจากการเผากำจัดขยะจากใบสับปะรดของเกษตรกร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการเตรียมและสมบัติของวัสดุคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่มีเส้นใยใบสับปะรดเป็นวัสดุเสริมแรง โดยเริ่มจากผสมแป้งดัดแปร (ซึ่งเป็นแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการเตรียมโดยผ่านปฏิกิริยาแอซิทิลเลชัน แสดงดังรูปที่ 1 ส่งผลให้หมู่แอซิติลเข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลภายในโมเลกุลของแป้ง ทำให้แป้งทนความร้อน และแรงเฉือนได้ดีขึ้น) กับกลีเซอรอล (ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเสริมสภาพพลาสติก) และเส้นใยใบสับปะรดที่อัตราส่วนต่างๆ จากนั้นศึกษาผลของปริมาณการเติมเส้นใยใบสับปะรดที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกล ดัชนีการไหล และสมบัติทางสัณฐานวิทยาของวัสดุคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่มีเส้นใยใบสับปะรดเป็นสารเสริมแรง



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาแอซิทิลเลชันระหว่างแป้งกับไวนิลแอซิเตท [17]

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุและสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย แป้งมันสำปะหลังดัดแปร (Modified Starch) จากบริษัท สำปะหลังพัฒนา จำกัด กลีเซอรอล (Glycerol) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 จากบริษัท Sigma-Aldrich และใบสับปะรด (Pineapple Leaf) สายพันธุ์ปัตตาเวีย อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง

2.2 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยใบสับปะรด

นำใบสับปะรดสด (ลักษณะของใบมีสีเขียวเข้มทั้งใบ) มาทำความสะอาดแล้วตัดตามขวางขนาด 6 มิลลิเมตร นำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นแยกกากด้วยความเร็วรอบ 7,700 รอบต่อนาที จากนั้นเป่าแห้งด้วยเครื่องเป่าลมร้อนและปั่นด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง 25,000 รอบต่อนาที ทำการแยกเส้นใยใบสับปะรดและกากใบสับปะรดด้วยตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช เส้นใยใบสับปะรดที่ได้มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 0.1 มิลลิเมตร ลักษณะของเส้นใยที่ได้อ้างอิงตามงานวิจัยก่อนหน้านี้ [18]

2.3 ขั้นตอนการเตรียมคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

คอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชถูกเตรียมโดยนำแป้งมันสำปะหลังดัดแปรไปอบเพื่อกำจัดความชื้นก่อนผสมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น ผสมแป้งมันสำปะหลังดัดแปร กลีเซอรอล และเส้นใยใบสับปะรดเบื้องต้นด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง (High Speed Mixer) ใช้เวลา 10 วินาที ผสมกลีเซอรอลที่ร้อยละ 35 โดยน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อแป้งดัดแปร และผสมเส้นใยใบสับปะรดที่ 0, 2, 4, 6 และ 8 phr ตามลำดับ (อัตราส่วนผสมในการเตรียมคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรแสดงดังตารางที่ 1) และนำส่วนผสมที่ได้ไปผสมอีกครั้งด้วยเครื่องผสมแบบปิด (Internal Mixer, รุ่น MX500-D75L90-TQ ยี่ห้อ Chareon Tut) โรเตอร์ชนิด Intermeshing ผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ใช้เวลาผสม 6 นาที เมื่อผสมเสร็จแล้วนำไปบดลดขนาดด้วยเครื่องบด (Crusher Machine) คอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ได้แสดงดังรูปที่ 2 จากนั้น นำเม็ดพลาสติกที่ได้ไปขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องกดอัดแบบร้อน (Compression Molding Machine, รุ่น PD2D- W300L350-PM-WCL-HMI ยี่ห้อ Chareon Tut) ที่อุณหภูมิ170 องศาเซลเซียส ความดัน 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ใช้เวลา 10 นาที จากนั้นทดสอบสมบัติเชิงกล ดัชนีการไหล และสมบัติทางสัณฐานวิทยา

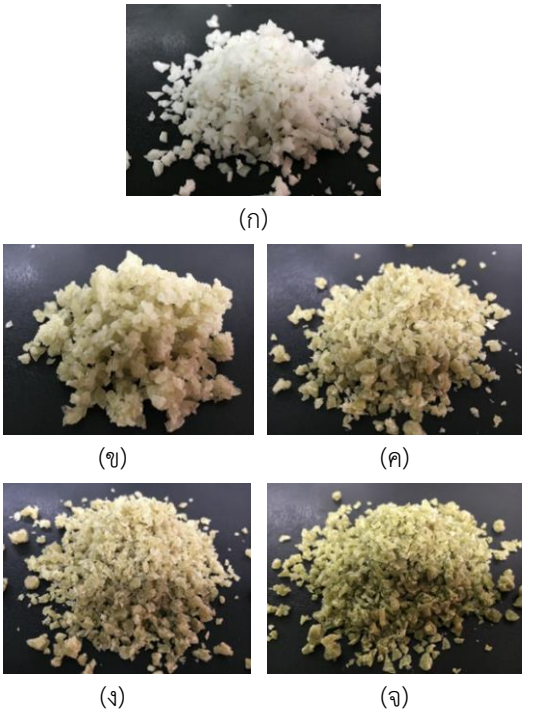
ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมในการเตรียมคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปร [2]

ตัวอย่าง	แป้งดัดแปร (wt%)	กลีเซอรอล (wt%)	เส้นใยใบสับปะรด (phr)
TPMS-PALF0	65	35	0
TPMS-PALF2	65	35	2
TPMS-PALF4	65	35	4
TPMS-PALF6	65	35	6
TPMS-PALF8	65	35	8

TPMS คือ เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปร
PALF คือ เส้นใยใบสับปะรด

2.4 ทดสอบสมบัติเชิงกล

ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Properties) ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชและคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชตามมาตรฐาน ASTM D638 Type I ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine,



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

รูปที่ 2 คอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่อัตราส่วนการผสมเส้นใยใบสับปะรด (ก) 0 (ข) 2 (ค) 4 (ง) 6 และ (จ) 8 phr ตามลำดับ

รุ่น M350-10CT ยี่ห้อ Testometric) โหลดเซลล์ขนาด 10 กิโลนิวตัน ความเร็วในการทดสอบ 50 มิลลิเมตรต่อนาที และทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Properties) ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชและคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชตามมาตรฐาน ASTM D256 ด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก (Impact Tester, รุ่น IT504 ยี่ห้อTinius Olsen) ทดสอบแบบไอซอด (Izod) ใช้ค้อนขนาด 2.778 จูล โดยก่อนการทดสอบจะต้องบากชิ้นงานก่อน จากนั้นนำผลพลังงานที่ถูกดูดซับมาคำนวณหาค่าการต้านทานแรงกระแทก ทดสอบชิ้นทดสอบอย่างน้อย 5 ชิ้น ทดสอบและหาค่าเฉลี่ย

2.5 ทดสอบหาดัชนีการไหล

ทดสอบหาค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index; MFI) ด้วยเครื่องวัดอัตราการหลอมไหลของพลาสติก (Melt Flow Index Tester) เพื่อดูอัตราการหลอมไหลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชและคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรตามมาตรฐาน ASTM D1238 ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส ใช้น้ำหนักกด 2.16 กิโลกรัม โดยก่อนการทดสอบจะอบเม็ดคอมโพสิตที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

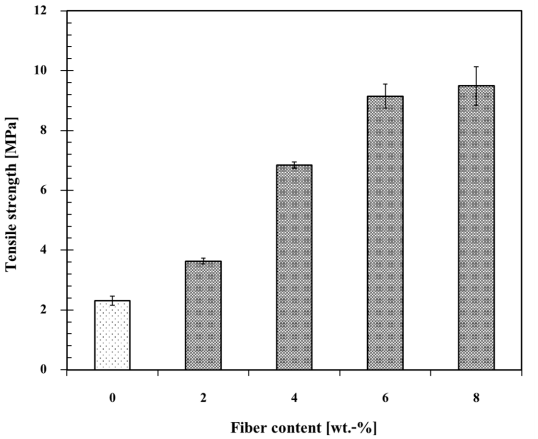
2.6 ทดสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยา

วิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของเส้นใยใบสับปะรดและการยึดติดกันของเส้นใยใบสับปะรดกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชในคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM, รุ่น LEO 1450VP ยี่ห้อ Zeiss) เตรียมตัวอย่างโดยการนำชิ้นงานแช่ในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นหักชิ้นงาน และเคลือบชิ้นงานตัวอย่างด้วยทองก่อนทดสอบบริเวณพื้นผิวที่แตกหัก

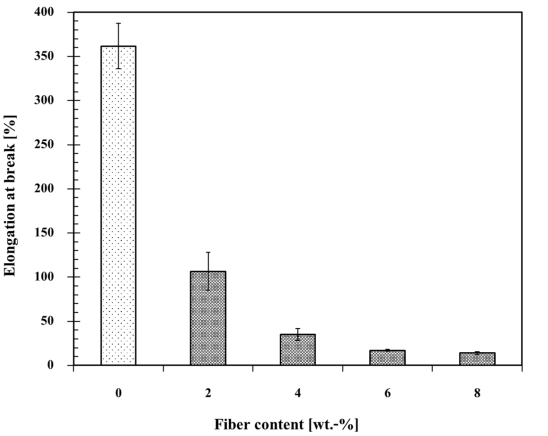
3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 สมบัติเชิงกล

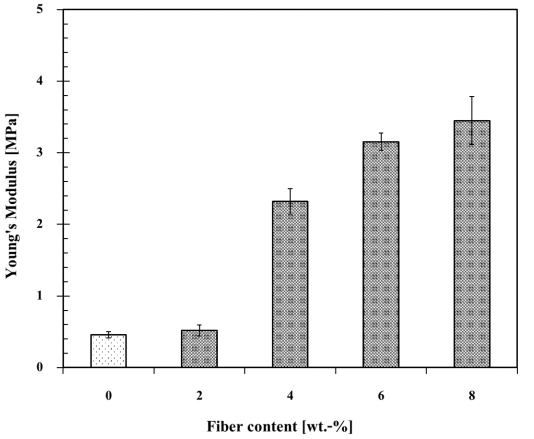
จากกราฟค่าความต้านทานต่อแรงดึง ค่ายังส์มอดุลัส ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด และค่าความต้านทานต่อการกระแทกของคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่เติมเส้นใยใบสับปะรดที่ 0, 2, 4, 6 และ 8 phr ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3–6 พบว่า เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่ไม่เติมเส้นใยใบสับปะรดมีค่าความต้านทานต่อแรงดึง และค่ายังส์มอดุลัสต่ำกว่าคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปร และเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยใบสับปะรดลงในคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปร ส่งผลให้ ค่าความต้านทานต่อแรงดึง และค่ายังส์มอดุลัสเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด และค่าความต้านทานต่อการกระแทกของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรมีค่าสูงกว่าของคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปร แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยใบสับปะรดลงไปในคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกจากแป้งดัดแปร ส่งผลให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด และ ค่าความต้านทานต่อการกระแทกลดลง เนื่องจากเส้นใยใบสับปะรดที่มีความ



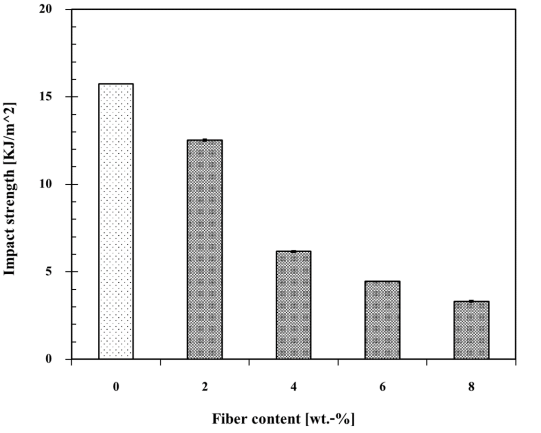
รูปที่ 3 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่เติมเส้นใยใบสับปะรดอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 5 แสดงค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของวัสดุคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่เติมเส้นใยใบสับปะรดอัตราส่วนต่างๆ

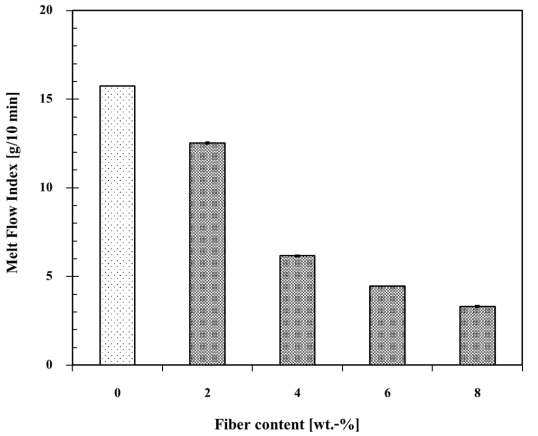


รูปที่ 4 แสดงค่ายังส์มอดุลัสของวัสดุคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่เติมเส้นใยใบสับปะรดอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 6 แสดงค่าความต้านทานการกระแทกของวัสดุคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่เติมเส้นใยใบสับปะรดอัตราส่วนต่างๆ

แข็งแรงมากกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปร สามารถยึดติดกันได้ดีกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช เมื่อชิ้นงานทดสอบได้รับแรงจึงถ่ายโอนแรงไปยังเส้นใยใบสับปะรด [19] ส่งผลให้ คอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรมีค่าความต้านทานต่อแรงดึง และค่ายังส์มอดุลัสสูงกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่ไม่เติมเส้นใยใบสับปะรด อย่างไรก็ตาม การเติมเส้นใยใบสับปะรดลงในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชทำให้เกิดการรวมกลุ่มก้อนของเส้นใยใบสับปะรด ซึ่งแสดงเป็นจุดบกพร่องในชิ้นงานทดสอบ ดังนั้น เมื่อชิ้นงานทดสอบได้รับแรงดึงหรือแรงกระแทก จึงทำให้ไวต่อการแพร่กระจายของรอยแยก [20] ส่งผลให้ ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด และค่าความต้านทานต่อการกระแทกของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรมีค่าสูงกว่าของคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปร



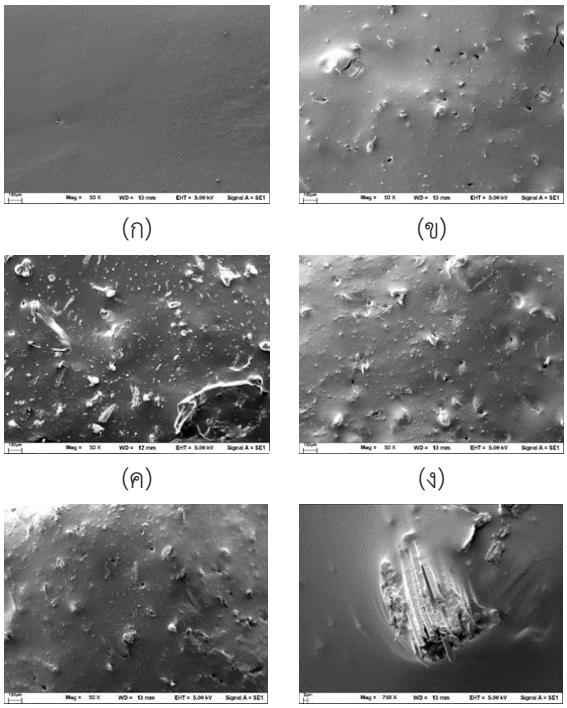
รูปที่ 7 แสดงค่าดัชนีการไหลของวัสดุคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่เติมเส้นใยใบสับปะรดอัตราส่วนต่างๆ

3.2 ดัชนีการไหล

จากกราฟค่าดัชนีการไหลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชและคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่เติมเส้นใยใบสับปะรดที่ปริมาณต่างๆ แสดงดังรูปที่ 7 พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่ไม่เติมเส้นใยใบสับปะรดจะมีค่าดัชนีการไหลสูงกว่าคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปร อย่างไรก็ตาม ค่าดัชนีการไหลของคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยใบสับปะรด เนื่องจาก เส้นใยใบสับปะรดไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จึงลดความสามารถในการไหลของวัสดุคอมโพสิต [21]

3.3 สมบัติทางสัณฐานวิทยา

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวบริเวณที่หักของชิ้นงานตัวอย่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชและคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่เติมเส้นใยใบสับปะรดที่ปริมาณต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM แสดงดังรูปที่ 8 พบว่า เมื่อพิจารณากรณีที่ไม่เติมเส้นใยใบสับปะรด แสดงดังรูปที่ 8 (ก) พบว่าพื้นผิวบริเวณที่หักชิ้นงานตัวอย่างมีความเรียบ แต่เมื่อ



รูปที่ 8 SEM Micrograph ของคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่อัตราส่วนการผสมเส้นใยใบสับปะรดที่ (ก) 0 (ข) 2 (ค) 4 (ง) 6 และ (จ) 8 phr ที่กำลังขยาย 50x ตามลำดับ และ (ฉ) คอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่เติมเส้นใยใบสับปะรดที่ 8 phr ที่กำลังขยาย 750x

พิจารณากรณีที่เติมเส้นใยใบสับปะรดลงในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่ปริมาณต่างๆ แสดงดังรูปที่ 8 (ข)–(จ) พบว่า เส้นใยใบสับปะรดเกิดการรวมกลุ่มก้อนที่เล็กบ้างใหญ่บ้าง และกระจายตัวอยู่ในเนื้อเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่เป็นเมทริกซ์ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณารูปที่ 8 (ข)–(ฉ) พบว่า พื้นผิวของเส้นใยใบสับปะรดกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรสามารถยึดติดกันได้ดี สังเกตุได้จากไม่พบร่องรอยการหลุดออกของเส้นใยใบสับปะรด เนื่องจากเส้นใยใบสับปะรดและเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรมีความเป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) เหมือนกันจึงมีความเข้ากันได้

4. อภิปรายผลและสรุป

การเพิ่มมูลค่าให้กับแป้งมันสำปะหลังและช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการเผาใบสับปะรดของเกษตรกรอย่างยั่งยืน ด้วยการเตรียมวัสดุคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรพบว่า การเติมเส้นใยใบสับปะรดลงในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่ 0, 2, 4, 6 และ 8 phr ตามลำดับ ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และค่ายังส์มอดุลัสเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยใบสับปะรด อย่างไรก็ตาม ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด และค่าความต้านทานต่อการกระแทกมีค่าลดลง เนื่องจากเส้นใยใบสับปะรดสามารถยึดติดกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรได้ดี จึงช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรส่งผลให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาที่ค่าดัชนีการไหลพบว่าคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรมีค่าดัชนีการไหลต่ำกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรที่ไม่เติมเส้นใยใบสับปะรด และเมื่อเพิ่มปริมาณการเติมเส้นใยใบสับปะรดลงในคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรจะส่งผลให้ค่าดัชนีการไหลลดลง แสดงให้เห็นว่าการเติมเส้นใยใบสับปะรดลงในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งดัดแปรจะทำให้วัสดุคอมโพสิตที่ได้มีความสามารถในการนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดรีด (Extrusion) ได้ยากขึ้น เนื่องจากเส้นใยไปขัดขวางการไหลของวัสดุขณะทำการขึ้นรูป จากสมบัติของคอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้ พบว่า คอมโพสิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีสมบัติเชิงกลที่ดี ควรนำไปศึกษาต่อในสมบัติด้านอื่นๆ เพื่อต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์บรรจุอาหารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท สำปะหลังพัฒนา จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์แป้งมันสำปะหลังดัดแปรเพื่อดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] A. K. Mohanty, M. Misra, and L. T. Drzal, "Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world," *Journal of Polymers and the Environment*, vol 10, no. 1, pp. 19–26, 2002.

[2] A. Wattanakornsiri, K. Pachana, S. Kaewpirom, M. Traina, and C. Migliaresi, "Preparation and properties of green composites based on tapioca starch and differently recycled paper cellulose fibers," *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 20, no. 3, pp. 801–809, 2012.

[3] S. Kaewpirom, and C. Worrarat, "Preparation and properties of pineapple leaf fiber reinforced poly (*lactic acid*) green composites," *Fibers and Polymers*, vol. 15, no. 7, pp. 1469–1477, 2014.

[4] M. Akrami, I. Ghasemi, H. Azizi, M. Karrabi, and M. Seyedabadi, "A new approach in compatibilization of the poly (*lactic acid*)/ thermoplastic starch (PLA/TPS) blends," *Carbohydrate Polymers*, vol. 144, pp. 254–262, 2016.

[5] V. P. Cyras, L. B. Manfredi, M. T. Ton-That, and A. Vázquez, "Physical and mechanical properties of thermoplastic starch/montmorillonite nanocomposite film," *Carbohydrate Polymers*, vol. 73, no. 1, pp. 55–63, 2008.

[6] S. Wangtueai, T. Chaiyaso, P. Rachtanapun, P. Jantrawut, W. Ruksiriwanich, P. Seesuriyachan, and K. Jantanasakulwong, "Thermoplastic cassava starch blend with polyethylene-grafted-maleic anhydride and gelatin core-shell structure compatibilizer," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 197, pp. 49–54, 2022.

[7] R. Yoksan, A. Boontanimitr, N. Klompong,

and T. Phothongsurakun, "Poly (lactic acid)/ thermoplastic cassava starch blends filled with duckweed biomass," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 203, pp. 369–378, 2022.

[8] C. Ge, B. Lansing, and C. L. Lewis, "Thermoplastic starch and poly (vinyl alcohol) blends centered barrier film for food packaging applications," *Food Packaging and Shelf Life*, vol. 27, pp. 100610, 2021.

[9] K. M. Dang, R. Yoksan, E. Pollet, and L. Avérous, "Morphology and properties of thermoplastic starch blended with biodegradable polyester and filled with halloysite nanoclay," *Carbohydrate Polymers*, vol. 242, pp. 116392, 2020.

[10] P. Jariyasakoolroj, R. Supthanyakul, A. Laobuthee, A. Lertworasirikul, R. Yoksan, S. Phongtamrug, and S. Chirachanchai, "Structure and properties of in situ reactive blend of polylactide and thermoplastic starch," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol 182, pp. 1238–1247, 2021.

[11] X. Zhao, X. Wang, L. Zeng, Q. Huang, J. Zhang, X. Wen, S. Xiong, T. Yin, and B. Zhang, "Effects of oil-modified crosslinked/acetylated starches on silver carp surimi gel: Texture properties, water mobility, microstructure, and related mechanisms," *Food Research International*, vol. 158, pp. 111521, 2022.

[12] J. Zanela, A. P. Bilck, M. O. Reis, M. V. E. Grossmann, and F. Yamashita, "Modified starches on the properties of extruded biodegradable materials of starch and polyvinyl alcohol," *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 28, no. 12, pp. 3211–3220, 2020.

[13] P. Wongphan, T. Panrong, and N. Harnkarnsujarit, "Effect of different modified starches on physical, morphological, thermomechanical, barrier and biodegradation properties of cassava starch and polybutylene adipate terephthalate blend film," *Food Packaging and Shelf Life*, vol. 32, pp. 100844, 2022.

[14] M. L. Rinawa, P. Chauhan, A. K. Sharma, H. K. Singh, and M. S. Karuna, "Water absorption studies of pineapple leaf fiber/nano rice husk powder reinforced epoxy matrix hybrid composites," in *Materials Today: Proceedings*, 2022, pp. 1498–1502.

[15] S. S. Kumar, R. Muthalagu, and C. N. Chakravarthy, "Effects of fiber loading on mechanical characterization of pineapple leaf and sisal fibers reinforced polyester composites for various applications," *Materials Today: Proceedings*, 2021, pp. 546–553.

[16] S. S. Todkar, and S. A. Patil, "Review on mechanical properties evaluation of pineapple leaf fibre (PALF) reinforced polymer composites," *Composites Part B: Engineering*, vol. 174, pp. 106927, 2019.

[17] C. S. Raina, S. Singh, A. S. Bawa, and D. C. Saxena, "Some characteristics of acetylated, cross-linked and dual modified Indian rice starches," *European Food Research and Technology*, vol. 223, no. 4, pp. 561–570, 2006.

[18] R. Promjariyakoon, and S. Kongiang, "Effect of compatibilizer on the mechanical and cure properties of Pineapple Leaf Fiber (PALF) reinforced Natural Rubber (NR) composites,"

The Journal of KMUTNB, vol. 30, no. 4, pp. 612–619, 2020 (in Thai).

[19] J. P. López, P. Mutjé, A. J. F. D. Carvalho, A. A. D. S. Curvelo, and J. Gironès, "Newspaper fiber-reinforced thermoplastic starch biocomposites obtained by melt processing: Evaluation of the mechanical, thermal and water sorption properties," *Industrial Crops and Products*, vol. 44, pp. 300–305, 2013.

[20] A. J. F. De Carvaho, A. A. S. Curvelo, and J. A. M. Agnelli, "Wood pulp reinforced thermoplastic starch composites," *International Journal of Polymeric Materials*, vol. 51, no. 7, pp. 647–660, 2002.

[21] W. N. Ota, S. C. Amico, and K. G. Satyanarayana, "Studies on the combined effect of injection temperature and fiber content on the properties of polypropylene-glass fiber composites," *Composites Science and Technology*, vol. 65, no. 6, pp. 873–881, 2005.