

# สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช กับพอลิแลคติกแอซิดที่เติมเถ้าเปลือกทุเรียน

## The Mechanical Properties of Thermoplastic Starch/Poly (Lactic Acid) Blends Filled Durian Peel Ash

พีรวัส กองสง<sup>1\*</sup>, ศิริวรรณ หอกกิ่ง<sup>1</sup>, อนุสร วิวาสุ<sup>1</sup> และ มาหามะสุไฮมี มะแซ<sup>2</sup>

Peerawas Kongsong<sup>1\*</sup>, Siriwan Hokking<sup>1</sup>, Anusara Wiwasuk<sup>1</sup> and Mahamasuhaimi Masae<sup>2</sup>

Received: 13 April 2020, Revised: 4 May 2020, Accepted: 20 May 2020

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชกับพอลิแลคติกแอซิดที่ผสมด้วยเถ้าเปลือกทุเรียนในปริมาณ 0, 1.25, 2.50 และ 5.00 ร้อยละ โดยน้ำหนักของเถ้าเปลือกทุเรียนต่อพอลิเมอร์ผสม โดยนำเถ้าเปลือกทุเรียนไปบดด้วยลูกบอลแบบแพลเนต (Planetary ball mill) ซึ่งขนาดของเถ้าเปลือกทุเรียนลดลงจาก  $22.3 \pm 2.0$  ไมโครเมตร เป็น  $9.1 \pm 1.0$  ไมโครเมตร หลังจากบดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อัตราเร็ว 400 รอบต่อนาที ทำการผสมในเครื่องผสมแบบปิด แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปเพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล (การทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงและค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก) และศึกษาพื้นฐานวิทยา จากการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและร้อยละการยืด ณ จุดขาดของชิ้นทดสอบที่เติมเถ้าเปลือกทุเรียนในปริมาณ 1.25 ร้อยละ โดยน้ำหนัก มีค่าสูงที่สุด เมื่อเติมเถ้าเปลือกทุเรียนในปริมาณที่สูงขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลง ค่ายังสัมมูลและค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกมีค่าลดลงตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของเถ้าเปลือกทุเรียน การตรวจสอบพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมกับเถ้าเปลือกทุเรียนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชกับพอลิแลคติกแอซิดมีการเข้ากันได้ไม่ดีและเถ้าเปลือกทุเรียนมีการกระจายตัวได้ดีในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมากกว่าพอลิแลคติกแอซิด

<sup>1</sup> สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000

<sup>1</sup> Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Muang Nakhon Ratchasima, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

<sup>2</sup> สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา 90000

<sup>2</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang Songkhla, Songkhla 90000, Thailand.

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): physics\_psu@windowslive.com

**คำสำคัญ:** พอลิแลคติกแอซิด, เทอร์โมพลาสติกสตาซ์, เถ้าเปลือกทุเรียน, สมบัติเชิงกล

## ABSTRACT

The purpose of this research was to study the mechanical properties of thermoplastic starch and poly (lactic acid) combined with durian peel ash at 0, 1.25, 2.50 and 5.00 %wt/wt of durian peel ash to polymer blend. The durian peel ash was made by dry grinding with the planetary ball mill. It was found that the particle size of the durian peel ash decreased from  $29.21 \pm 2.46 \mu\text{m}$  to  $11.19 \pm 0.62 \mu\text{m}$  after grinding for 1 h at 400 rpm. Thermoplastic starch and poly (lactic acid) combined with durian peel ash were prepared using an internal mixer and the test specimens were molded using a compression molding machine. Mechanical and morphological properties of thermoplastic starch and poly (lactic acid) combined with durian peel ash were studied. The highest tensile strength and elongation at break were exhibited in the specimen which had 1.25 %wt/wt of durian peel ash. Tensile strength and elongation at break decreased with an increase of durian peel ash. Young's modulus and impact strength decreased with an increase of the amount of durian peel ash. The morphology of polymer blended with durian peel ash as captured by scanning electron microscopy (SEM) showed that thermoplastic starch and poly (lactic acid) were immiscible. Additionally, durian peel ash had a better distribution in thermoplastic starch than poly (lactic acid).

**Key words:** poly (lactic acid), thermoplastic starch, durian peel ash, mechanical properties

## บทนำ

ผลิตภัณฑ์พลาสติกถูกนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรม และในการดำรงชีวิตมาเป็นระยะเวลานาน โดยมีอัตราการผลิตและการใช้งานสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ปริมาณขยะพลาสติกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนานหลายร้อยปี การทำลายโดยการเผาทิ้งก็มีโอกาสทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางดิน น้ำ และอากาศ ก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกจนนำไปสู่ภาวะโลกร้อน (Pattanasupong *et al.*, 2015) โดยเฉพาะประเทศไทยถือว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการเพาะชำต้นกล้าในถุงหรือกระถางพลาสติกจำนวนมาก เมื่อต้นกล้าเจริญเติบโตเต็มที่ได้มีการเคลื่อนย้ายต้นกล้าออกจาก

ถุงหรือกระถางเพาะชำเพื่อลงแปลงปลูกนั้น เป็นขั้นตอนที่อาจทำให้รากต้นไม้มได้รับความเสียหาย ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช มากไปกว่านั้นหลังการใช้งานถุงหรือกระถางพลาสติกเหล่านี้ก็กลายเป็นขยะที่เป็นปัญหาคอรั้งแควดล้อม (Kunthadong *et al.*, 2020)

แนวทางการแก้ไขปัญหามลพิษพลาสติกดังกล่าวและกระแสด้านการตื่นตัวต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม พลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable polymer) จึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เช่น พอลิแลคติกแอซิด (Poly(lactic acid)) พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Poly(butylene succinate)) (Kunthadong *et al.*, 2020) ซึ่งเป็นพลาสติกที่มีการย่อยสลายโดยอาศัยการทำงานของ

จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น แบคทีเรีย รา และ สาหร่าย เป็นต้น (Suksawat and Pathom-aree, 2012) วัสดุธรรมชาติที่นำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพมีหลายชนิดส่วนใหญ่จะได้อาจมาจากแป้ง (Starch) ซึ่งแป้งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด ได้แก่ อะมิโลส (Amylose) และอะมิโลเพกทิน (Amylopectin) โดยแป้งจะมีสมบัติแบบเทอร์โมเซต (Thermoset polymer) จึงต้องมีการเปลี่ยนแป้งให้อยู่ในรูปเทอร์โมพลาสติกสตาρχ (Thermoplastic starch) ซึ่งจะมีการเติมพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) โดยพลาสติกไซเซอร์ที่นิยมใช้กันคือกลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งมีราคาถูก โดยกลีเซอรอลจะเข้าไปลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแป้งจึงทำให้แป้งสามารถหลอมขึ้นรูปได้ แต่เทอร์โมพลาสติกสตาρχมีสมบัติเชิงกลต่ำ (Tachaphiboonsap, 2013) มีงานวิจัยจำนวนมากได้พยายามปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาρχ โดยเทคนิคการผสมแบบเบรนด์ (Blend) ด้วยพอลิเมอร์ชีวภาพตัวอื่นๆ เช่น การผสมเทอร์โมพลาสติกสตาρχกับพอลิแลคติกแอซิด ซึ่งทำให้พลาสติกผสมมีความเหนียวมากขึ้น (Akramia *et al.*, 2016) นอกจากนี้ยังมีการเสริมแรงโดยเทคนิคการผสมแบบคอมโพสิต (Composite) โดยการผสมเส้นใยหรืออนุภาคลงไปในพลาสติกชีวภาพ (Kunthadong *et al.*, 2019) จากงานวิจัยพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี ได้นำอนุภาคของกลูเตนข้าวสาลีมาผสมกับพลาสติกชีวภาพ ทำให้เกิดการเชื่อมขวางของสายโซ่โปรตีนที่เกิดพันธะไดซัลไฟด์ ส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น (Kaewtatip, 2013) และมีการผสมเถ้าลอยลงในเทอร์โมพลาสติกสตาρχ พบว่า เทอร์โมพลาสติกสตาρχมีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น (Sunduma *et al.*, 2018) การผสมอนุภาคนาโนเคลย์เข้าไปในพอลิแลคติกแอซิด ทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทก และค่าความแข็งของพอลิแลคติกแอซิดมีแนวโน้ม

สูงขึ้น (Rattanapan, 2012) จะเห็นได้ว่าการเติมอนุภาคที่มีขนาดเล็กลงไปทำให้สมบัติทางกลของพลาสติกชีวภาพมีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้ก็มีการศึกษาเกี่ยวกับเถ้าจากเปลือกทุเรียน พบว่า เถ้าจากเปลือกทุเรียนมีองค์ประกอบของธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมากกว่าเถ้าชีวภาพจากวัสดุอื่นๆ (Quyen *et al.*, 2019) ดังนั้น การเติมอนุภาคที่มีขนาดเล็กจากเปลือกทุเรียนลงในพลาสติกชีวภาพ นอกจากจะเพิ่มสมบัติทางกลแล้วยังช่วยเพิ่มแร่ธาตุ ซึ่งธาตุดังกล่าวที่มีสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช และยังสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงสมบัติทางกลของพลาสติกชีวภาพระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาρχกับพอลิแลคติกแอซิด โดยการผสมเถ้าจากเปลือกทุเรียน เพื่อเป็นแนวทางการวิจัยสำหรับพัฒนาการผลิตพลาสติกชีวภาพที่ประยุกต์ใช้เป็นถุงสำหรับเพาะชำพืชหรือกระถางต้นไม้ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยกระบวนการฝังดินที่สามารถเพิ่มธาตุอาหารในดินได้

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. การเตรียมเถ้าจากเปลือกทุเรียน

1.1 นำเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองไปหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ และตากแดดเป็นเวลา 2 วัน เพื่อกำจัดความชื้นในเปลือกทุเรียนและเผาให้เป็นเถ้า

1.2 นำเถ้าที่ได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดคาร์บอนที่เหลือจากการเผา

1.3 นำเถ้าเปลือกทุเรียนที่ได้จากการเผา ไปบดด้วยลูกบอลแบบแพลเนต (Planetary ball mill, Pulverisette 7 ยี่ห้อ Fritsch) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยความเร็ว 400 รอบต่อนาที

1.4 นำผงเถ้าก่อนบดและหลังบดไปวัดขนาดด้วยเครื่องวิเคราะห์หาขนาดอนุภาค (Particle size

analyzer, รุ่น Analysette 22 Nanotec ยี่ห้อ Fritsch) และวิเคราะห์หาธาตุในอนุภาคของเถ้าโดยเทคนิคเอเนอร์จี ดิสเพอร์ซีฟ สเปกโทรสโกปี (Energy dispersive x-ray spectroscopy, EDS) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM, รุ่น JSM-7800F ยี่ห้อ Jeol)

## 2 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมด้วยเถ้าเปลือกทุเรียนกับพอลิแลคติกแอซิด

2.1 เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชได้มาจากแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอล (เกรด AR จากบริษัท QReC New Zealand) ที่อัตราส่วน 70 ต่อ 30 ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Ferri *et al.*, 2016) โดยเริ่มจากการนำแป้งมันสำปะหลังไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ผสมแป้งกับกลีเซอรอลโดยนำส่วนผสมใส่ในถุงร้อนโพลีโพรพิลีนแล้วเขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง และนำไปผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer, รุ่น MX500-D75L90 ยี่ห้อ Chareon) ที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที จากนั้นนำเถ้าจากเปลือกทุเรียนลงไปผสมต่อ 5 นาที โดยเถ้าเปลือกทุเรียนถูกนำไปอบก่อนทำการผสมที่อุณหภูมิ 70

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบด

2.2 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมด้วยเถ้าเปลือกทุเรียนกับพอลิแลคติกแอซิด ซึ่งเตรียมโดยใช้เครื่องผสมแบบปิดที่อัตราส่วน 30 ต่อ 70 ร้อยละโดยน้ำหนัก เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมด้วยเถ้าเปลือกทุเรียนและพอลิแลคติกแอซิดถูกนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ก่อนการผสม โดยใช้อุณหภูมิในการผสมเท่ากับ 170 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที เมื่ออุณหภูมิในการผสมคงที่แล้วเติมเถ้าเปลือกทุเรียนลงไป 0, 1.25, 2.50 และ 5.00 ร้อยละ โดยน้ำหนัก ผสมจนเข้ากันเป็นเวลา 20 นาที ซึ่งแสดงส่วนผสมดังตารางที่ 1

2.3 นำพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมด้วยเถ้าเปลือกทุเรียนกับพอลิแลคติกแอซิดเทใส่แม่พิมพ์ที่มีรูปร่างเป็นชิ้นงานสำหรับการทดสอบความต้านทานแรงดึงและความต้านทานต่อแรงกระแทก โดยทำการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการอัดเข้าแม่พิมพ์ โดยเครื่องขึ้นรูปแบบอัด (Compression molding, รุ่น PR2D-W300L350 PM-PCL-HMI ยี่ห้อ Chareon) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ความดัน 10 เมกะปาสคาล

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชกับพอลิแลคติกแอซิดที่ผสมด้วยเถ้าเปลือกทุเรียน

| ตัวอย่าง<br>ที่ | พอลิแลคติกแอซิด<br>(ร้อยละโดยน้ำหนัก) | เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช<br>(ร้อยละโดยน้ำหนัก) | เถ้าเปลือกทุเรียน<br>(ร้อยละโดยน้ำหนัก) |
|-----------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1               | 70                                    | 30                                         | 0.00                                    |
| 2               | 70                                    | 30                                         | 1.25                                    |
| 3               | 70                                    | 30                                         | 2.50                                    |
| 4               | 70                                    | 30                                         | 5.00                                    |

### 3. การทดสอบสมบัติทางกลและการวิเคราะห์สมบัติทางสัณฐานวิทยา

3.1 การทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D638 Type I ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine, UTM รุ่น LR 10K ยี่ห้อ LLOYD) เพื่อวัดค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Tensile Strength; TS) ร้อยละการยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break; EB) และค่ายังส์มอดูลัส (Young's modulus) โดยเตรียมชิ้นงานทดสอบที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร ยาว 165 มิลลิเมตร ระยะห่างตัวรองรับตัวอย่าง (Gauge length) 50 มิลลิเมตร ความกว้างช่วง Gauge length 13 มิลลิเมตร ความเร็วการทดสอบ (Crosshead speed) 50 มิลลิเมตรต่อนาที ใช้ตัววัดแรงดึง (Load cell) ขนาด 5 กิโลนิวตัน โดยทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดึงตัวอย่างละ 5 ชิ้น

3.2 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D256 ด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก (Impact tester, รุ่น 9050 ยี่ห้อ Instron) ทดสอบแบบไอซอด (Izod) โดยเตรียมชิ้นทดสอบขนาด  $64 \times 12.7 \times 3.2$  มิลลิเมตร แล้วนำผลพลังงานที่ถูกดูดซับมาคำนวณหาค่าการต้านทานแรงกระแทกในหน่วย กิโลจูลต่อตารางเมตร โดยทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกตัวอย่างละ 5 ชิ้น

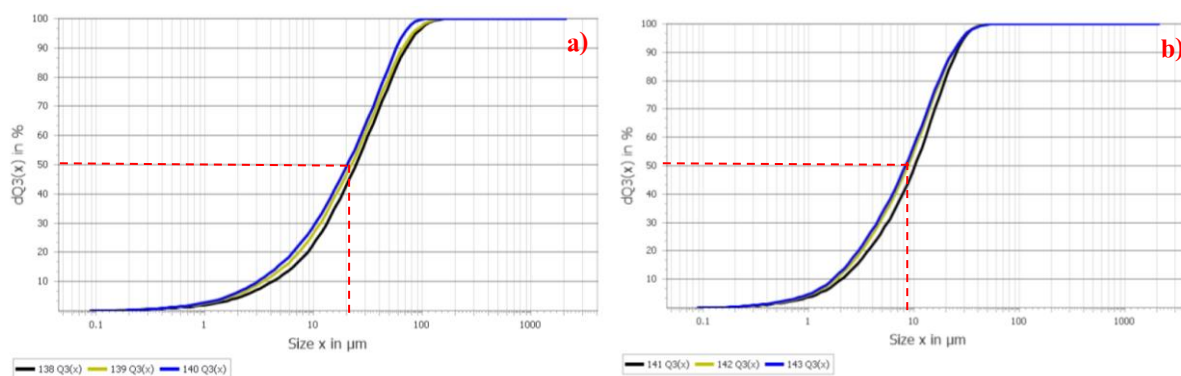
3.3 ศึกษาลักษณะพื้นผิวและพื้นผิวแตกหักของเทอร์โมพลาสติกสไตร์กับพอลิแลคติกแอซิดที่ผสมด้วยถั่วเปลือกทุเรียน โดยการนำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแรงกระแทก ตัดให้มีขนาดเหมาะสมกับสตัป ดิดชิ้นงานลงบนสตัปด้วยเทปคาร์บอนนำไปเคลือบผิวด้วยทอง ด้วยเครื่องเคลือบผิวตัวอย่าง

(รุ่น MP-19020NCTR ยี่ห้อ Neo coater) ทำการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy (SEM), รุ่น JSM-7800F ยี่ห้อ Jeol) ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 5 กิโลโวลต์

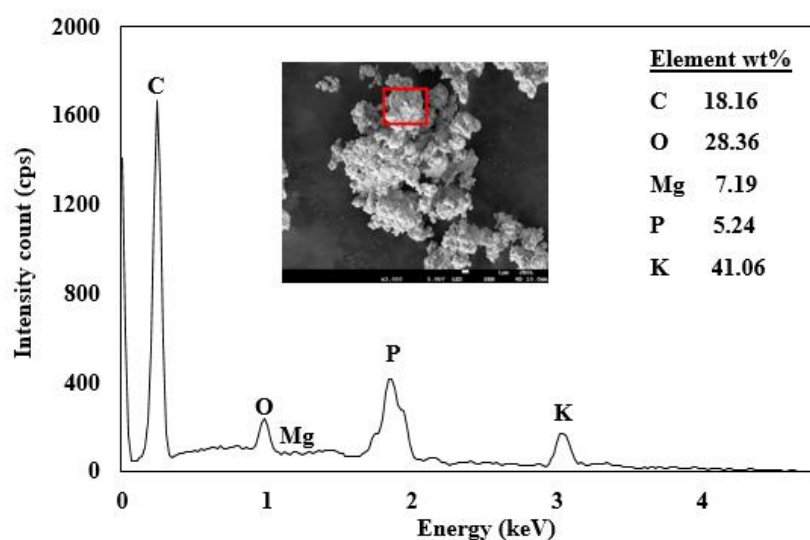
### ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

#### 1. ผลการตรวจวัดขนาดและปริมาณธาตุของถั่วเปลือกทุเรียน

จากการตรวจวัดขนาดของถั่วเปลือกทุเรียนก่อนบดและหลังบด โดยใช้เครื่องวิเคราะห์หาขนาดอนุภาค ผลการแจกแจงขนาดอนุภาคสะสมของถั่วเปลือกทุเรียนแสดงดังภาพที่ 1(a) โดยมีค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคถั่วเปลือกทุเรียนก่อนบด เท่ากับ  $22.3 \pm 2.0$  ไมโครเมตร เมื่อนำถั่วจากเปลือกทุเรียนไปบดด้วยลูกบอลแบบแพลเน็ต ที่อัตราเร็ว 400 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลแสดงดังภาพที่ 1(b) จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ขนาดอนุภาคถั่วเปลือกทุเรียนมีขนาดลดลง โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น  $9.1 \pm 1.0$  ไมโครเมตร เมื่อนำอนุภาคถั่วเปลือกทุเรียนไปตรวจสอบธาตุด้วยเครื่องเอเนอร์จี ดิสเพอร์ซีฟสเปกโทรสโกปี (แสดงดังภาพที่ 2) พบว่า ธาตุที่พบในองค์ประกอบของถั่วเปลือกทุเรียนมากที่สุด ได้แก่ โพแทสเซียม ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 41.06 เปอร์เซ็นต์ และยังพบออกซิเจน คาร์บอน แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส เท่ากับ 28.36, 18.16, 7.19 และ 5.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในถั่วเปลือกทุเรียนมีแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช



ภาพที่ 1 แสดงการแจกแจงขนาดอนุภาคสะสมของเถ้าเปลือกทุเรียนก่อนทำการบด (a) หลังทำการบด (b)



ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุของเถ้าเปลือกทุเรียนด้วยเทคนิคเอเนอร์จี ดิสเพอร์ซีฟ สเปกโทรสโกปี

## 2. ผลการศึกษาฐานฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

### 2.1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณพื้นผิว

ภาพที่ 3 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นทดสอบ ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า ลักษณะพื้นผิวจะเรียบและไม่เห็นเฟสเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชเนื่องจากพอลิแลคติกแอซิดจะเคลือบไว้ และพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการเติมเถ้าเปลือกทุเรียน มีลักษณะเป็นฟองอากาศขนาดเล็กในปริมาณมาก หลังจากผสมเถ้าเปลือกทุเรียนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จะ

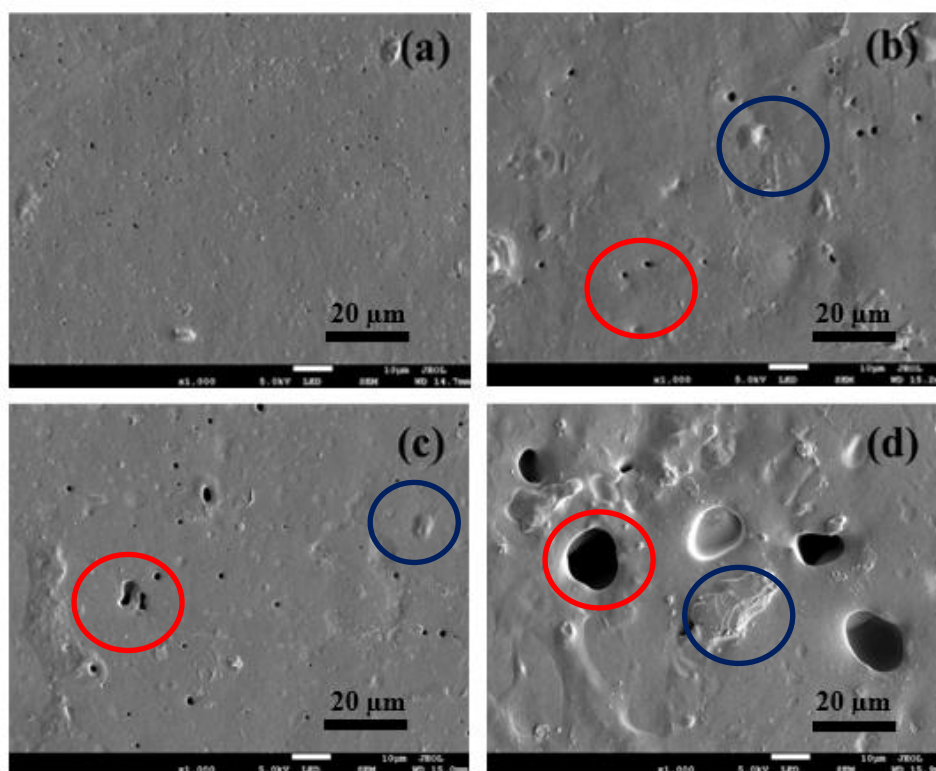
พบฟองอากาศขนาดใหญ่และมีปริมาณน้อยลง (วงสีแดงในภาพที่ 3 คือฟองอากาศที่เกิดขึ้น) อาจเป็นเพราะในเถ้าเปลือกทุเรียนมีความชื้น เมื่อเติมเถ้าเปลือกทุเรียนลงไปพอลิเมอร์ผสมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ความชื้นเพิ่มขึ้น ฟองอากาศเกิดการรวมตัวกัน จึงทำให้มีฟองอากาศขนาดใหญ่ขึ้น และยังเห็นเฟสของเถ้าจากเปลือกทุเรียนที่การกระจายตัวในโครงสร้างพอลิเมอร์ผสม (วงสีน้ำเงินในภาพที่ 3)

### 2.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของชิ้นงานจากการทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก

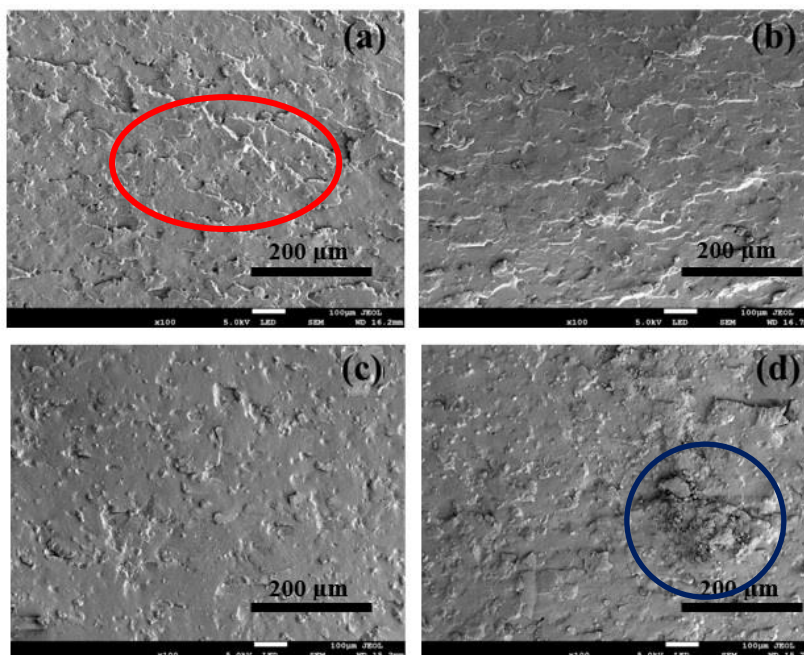
ภาพที่ 4 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่บริเวณพื้นผิวแตกหักของชิ้นทดสอบที่กำลังขยาย 100 เท่า พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการเติมเถ้าเปลือกทุเรียน ที่บริเวณพื้นผิวแตกหักจะมีลักษณะเป็นสันคลื่น (วงสีแดงในภาพที่ 4(a)) ซึ่งบ่งบอกถึงการแตกหักแบบเหนียว เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมเถ้าเปลือกทุเรียน ซึ่งมีลักษณะพื้นผิวแตกหักที่เรียบกว่า แต่ยังพบเถ้าที่เกาะกลุ่มกันขนาดเล็ก (วงสีน้ำเงินในภาพที่ 4(d)) อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ชิ้นทดสอบมีความเปราะเพิ่มขึ้น (Sunduma *et al.*, 2018)

2.3 ลักษณะความเข้ากันระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ผสมด้วยเถ้าเปลือกทุเรียน

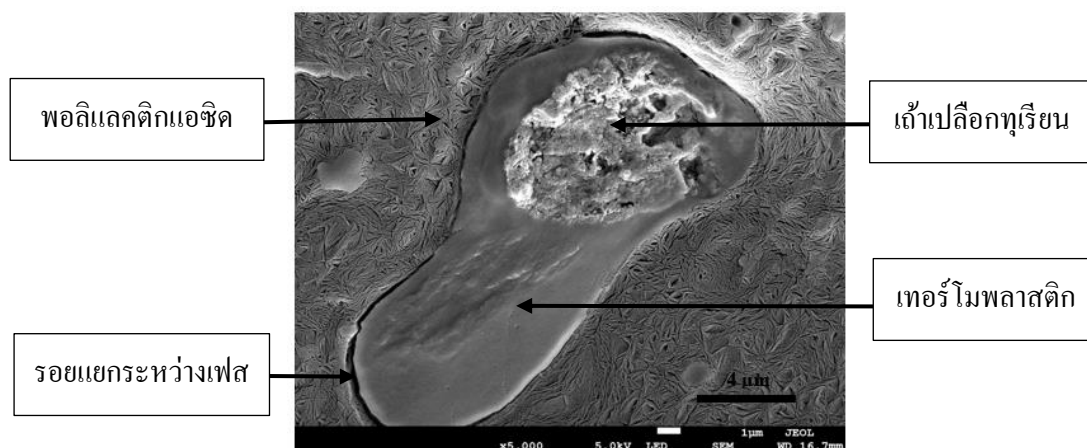
การตรวจสอบลักษณะความเข้ากันระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ผสมด้วยเถ้าเปลือกทุเรียนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (แสดงดังภาพที่ 5) จะเห็นได้ว่าพอลิแลคติกแอซิดกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลมีการแยกเฟสกันอย่างชัดเจน สังเกตได้จากรอยแยกระหว่างเฟส และยังพบเถ้าเปลือกทุเรียนในเนื้อของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่มีความเข้ากัน เนื่องจากไม่มีรอยแยกระหว่างเฟส ซึ่งในขั้นตอนการผสม ได้ทำการผสมเถ้าเข้ากับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลก่อน แล้วจึงนำไปผสมกับพอลิแลคติกแอซิด จึงทำให้พบเถ้าในเนื้อของเทอร์โมพลาสติกสตาโรล



ภาพที่ 3 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นทดสอบ ที่กำลังขยาย 1,000x  
a) 0, b) 1.25, c) 2.50 และ d) 5.00 ร้อยละ โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 4 การตรวจสอบลักษณะการแตกหักด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100x  
a) 0, b) 1.25, c) 2.50 และ d) 5.00 ร้อยละโดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 5,000x จากชิ้นทดสอบที่เติมเถ้าเปลือกทุเรียนในปริมาณ 1.25 ร้อยละโดยน้ำหนัก

### 3. ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

#### 3.1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง

ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ร้อยละการยืด ณ จุดขาด และค่ายังสัมมอดูลัสของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสไตร์กับพอลิแลคติกแอซิด และมีการผสมเถ้าเปลือกทุเรียนในปริมาณ 0, 1.25, 2.50 และ 5.00 ร้อยละโดย

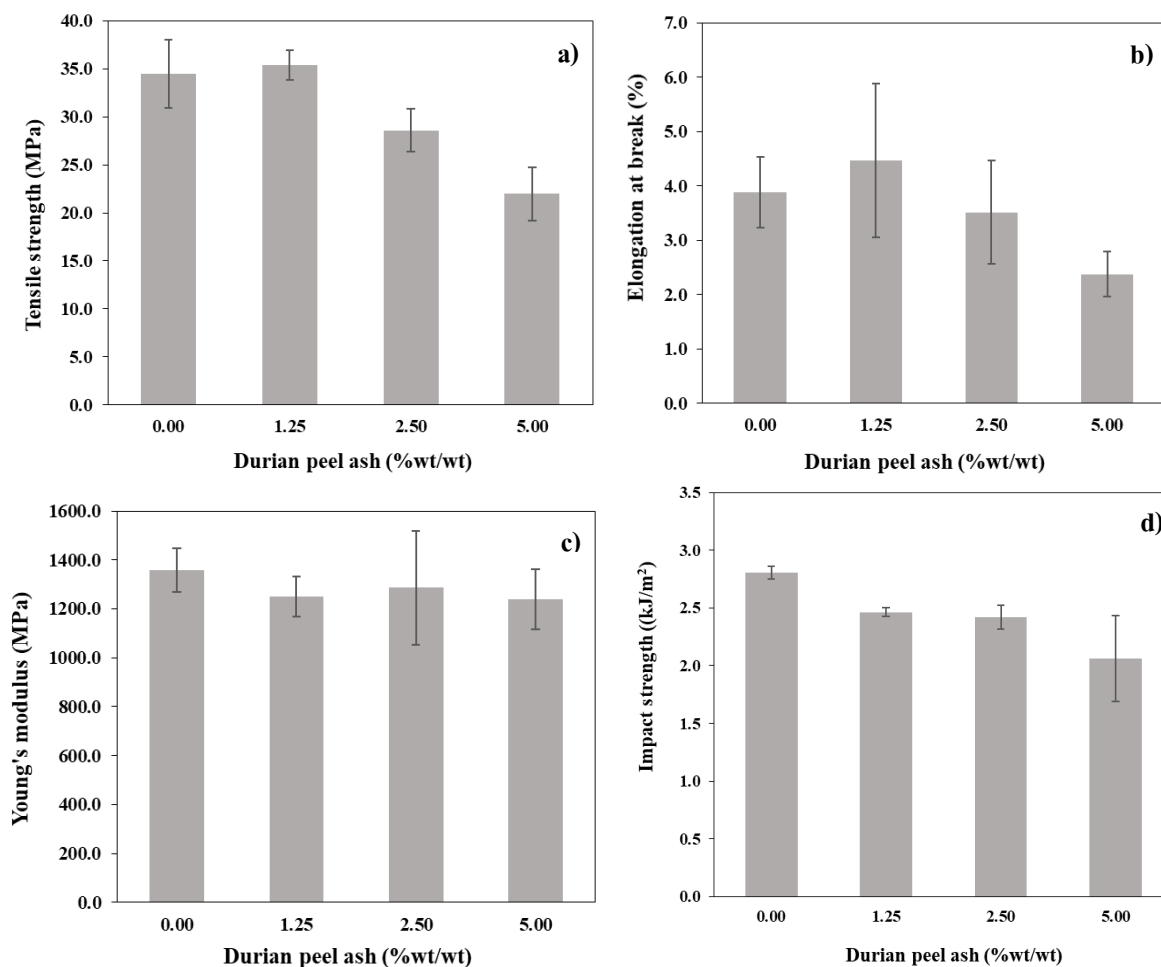
น้ำหนัก แสดงในภาพที่ 6(a), 6(b) และ 6(c) ตามลำดับ ชิ้นทดสอบพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมปริมาณเถ้าเปลือกทุเรียน 1.25 ร้อยละโดยน้ำหนัก แสดงค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และร้อยละการยืด ณ จุดขาดที่สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 35.40 เมกะปาสกาล และ 4.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อาจเป็นเพราะเมื่อเติมเถ้าเข้าไปในปริมาณที่เหมาะสม

อนุภาคเถ้าเปลือกทุเรียนจะเข้าไปแทรกระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์ผสมทำให้ช่องว่างระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์ผสมลดลง ส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ซึ่งค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และร้อยละการยืด ณ จุดขาดจะต่ำลงตามปริมาณการเติมเถ้าเปลือกทุเรียนที่สูงขึ้น เพราะการเติมเถ้าเปลือกทุเรียนในปริมาณที่สูงขึ้น จะทำให้อนุภาคของเถ้า เข้าไปขัดขวางสายโซ่โมเลกุล การจัดเรียงสายโซ่โมเลกุลตามแนวแรงจึงถูกยับยั้ง ทำให้การจัดเรียงตัวเกิดได้ยาก ส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลง (Sunduma *et al.*, 2018) ค่ายังสัมมอดูลัสของขึ้นทดสอบที่ไม่มีการเติมเถ้าเปลือกทุเรียน มีค่าเท่ากับ 1358.41 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่าสูงที่สุด เมื่อเติมเถ้าเปลือกทุเรียนในปริมาณต่างๆ ค่ามอดูลัสของยังมีค่าต่ำลง โดยปกติแล้วฟิลเลอร์ที่เติมลงไปจะช่วยเสริมแรงนั้น ต้องมีความเข้ากันได้หรือมีการเชื่อมต่อกันระหว่างโครงสร้างเมทริกซ์กับฟิลเลอร์ (Thammachot, 2015) ดังนั้นผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมเถ้าเปลือกทุเรียน เป็นผลมาจากลักษณะรูปร่าง ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของเถ้าเปลือกทุเรียน แล้ว

พบฟองอากาศที่บริเวณพื้นผิวของขึ้นทดสอบ จึงทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ลดลง (Sunthontem, 2012)

### 3.2 ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก

ภาพที่ 6(d) เป็นผลการทดสอบแรงกระแทกพบว่า พอลิแลคติกแอซิดที่ผสมกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช มีค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกที่  $2.74 \pm 0.17$  กิโลจูลต่อตารางเมตร เมื่อมีการเติมเถ้าของเปลือกทุเรียนที่ผ่านการบดด้วยลูกบอลลแบบแพลนดที่ปริมาณ 1.25, 2.50 และ 5.00 ร้อยละโดยน้ำหนัก พบว่าการเติมเถ้าเปลือกทุเรียนนั้น ส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานแรงกระแทกลดลงเหลือ  $2.54 \pm 0.05$ ,  $2.34 \pm 0.22$  และ  $1.91 \pm 0.50$  กิโลจูลต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกที่ลดลง สามารถบอกได้ถึงระดับความสามารถในการดูดซับพลังงานของวัสดุ ซึ่งวัสดุนั้นจะมีลักษณะเปราะขึ้นเมื่อได้รับแรงที่มากกระทบอย่างรวดเร็ว (Hunyeck, 2019) อาจเป็นเพราะเถ้าจากเปลือกทุเรียนเกิดการเกาะกลุ่มกัน (ภาพที่ 4(d) และ ฟองอากาศบนพื้นผิวของขึ้นทดสอบที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของเถ้าเปลือกทุเรียน (ภาพที่ 3(d))



ภาพที่ 6 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (a) ร้อยละการยืด ณ จุดขาด (b) ย้งสัมมอดูลัส (c) และความต้านทานต่อแรงกระแทก (d) ของพอลิเมอร์ผสมที่เติมเถ้าเปลือกทุเรียนในปริมาณต่างๆ

## สรุป

ผลการศึกษาพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า บริเวณพื้นผิวชั้นทดสอบที่ไม่เติมเถ้าเปลือกทุเรียนพบฟองอากาศขนาดเล็กที่บริเวณพื้นผิวในปริมาณมาก เมื่อเติมเถ้าเปลือกทุเรียนในปริมาณต่างๆ ฟองอากาศจะมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่มีปริมาณลดลง ลักษณะการแตกหักของชิ้นทดสอบที่ไม่มีการเติมเถ้าเปลือกทุเรียนมีลักษณะการแตกหักแบบเหนียว เมื่อเติมเถ้าเปลือกทุเรียนทำให้ชิ้นทดสอบมีความเปราะมากขึ้น และยังพบรอยแยกระหว่างเฟสของเทอร์โมพลาสติกสตาไรซ์กับพอลิแลคติกแอซิด ซึ่งแสดงถึงความไม่เข้ากัน เถ้าเปลือกทุเรียนมีความเข้ากันได้กับเทอร์โม

พลาสติกสตาไรซ์ และผลการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า เมื่อเติมเถ้าเปลือกทุเรียนลงในพอลิเมอร์ผสมที่ปริมาณ 1.25 ร้อยละโดยน้ำหนัก ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและร้อยละการยืด ณ จุดขาดมีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อเติมเถ้าเปลือกทุเรียนในปริมาณที่สูงขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และร้อยละการยืด ณ จุดขาดมีค่าต่ำลง ค่ายังสัมมอดูลัสของชิ้นทดสอบที่ไม่มีการเติมเถ้าเปลือกทุเรียนมีค่าสูงสุด และเมื่อเติมเถ้าเปลือกทุเรียน พบว่า ค่ายังสัมมอดูลัสมีค่าต่ำลง ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของชิ้นทดสอบมีค่าลดลงเมื่อเติมเถ้าเปลือกทุเรียนเพิ่มมากขึ้น

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สำหรับการ  
สนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- Akramia, M., Ghasemia, I., Azizia, H., Karrabia, M.  
and Mohammad, S. 2016. A new approach  
in compatibilization of the poly (lactic  
acid)/thermoplastic starch (PLA/TPS)  
blends. **Carbohydrate Polymers** 144:  
254-262.
- Ferri, J.M., Garcia, G.D., Sánchez, N.L., Fenollar,  
O. and Balart, R. 2016. The effect of  
maleinized linseed oil (MLO) on mechical  
performance of poly (lactic acid) thermoplastic  
starch (PLA-TPS) blends. **Carbohydrate  
Polymers** 147: 60-68.
- Hunyek, A. 2019. Mechanical, optical and electrical  
properties of copper oxide-polypropylene  
composite. **The Journal of King Mongkut's  
University of Technology North Bangkok**  
29(3): 527-538. (in Thai)
- Kaewtatip, K. 2013. Bioplastics from wheat gluten.  
**KKU Research Journal** 41(2): 309-319.  
(in Thai)
- Kunthadong, P., Peekoh, M. and Sindanjark, O.  
2019. Biocomposite films based on  
cassava starch reinforced with durian rind  
cellulose fibers. **RMUTP Research  
Journal** 13(1): 39-50. (in Thai)
- Kunthadong, P., Chankaew, C. and Chotichayapong, C.  
2020. Soil nutrient rich thermoplastic  
tapioca starch/water hyacinth bio-  
composite films. **The Journal of King  
Mongkut's University of Technology  
North Bangkok** 30(1): 104-117. (in Thai)
- Pattanasupong, A., Kahapana, C., Sompakdee, N.,  
Srasaengta, N., Tungsatitporn, S. and  
Bosuwan, K. 2015. Compost quality of  
poly lactic acid bio-plastic sheet  
disintegration in a pilot scale test according  
to ISO 16929:2013. **Songklanakarin  
Journal of Plant Science** 2(3): 35-40. (in  
Thai)
- Quyen, T.T.B, Toan, N.V., Nhan, T.C., Thien,  
D.V.H. and Thanh, L.H.V. 2019. A  
Simple and rapid preparation of activated  
carbons with highly surface area from  
durian shell ash. **International Journal of  
Scientific Engineering and Science** 3(4):  
65-68.
- Rattanapan, A. 2012. Mechanical properties and  
morphology of PLA filled with nanoclay.  
**The Journal of Industrial Technology**  
8(3): 69-77. (in Thai)
- Suksawat, S. and Pathom-aree, W. 2012. The role  
of bacteria on bioplastic. **Srinakharinwirot  
Science Journal** 28(2): 285-304. (in Thai)
- Sunduma, T., Szécsényi, K.M. and Kaewtatip, K.  
2018. Preparation and characterization of  
thermoplastic starch composites with fly  
ash modified by planetary ball milling.  
**Carbohydrate Polymers** 191: 198-204.

- Sunthontem, S. 2012. Silver nano/poly (lactic acid)/poly (butylene succinate) nanocomposite: preparation, compatibility and properties. Master of Science and Engineering, Silpakorn University. (in Thai)
- starch/poly (lactic acid) blends. Master of Engineering, Suranaree University of Technology. (in Thai)
- Tachaphiboonsap, S. 2013. Compatibility and toughness improvement of thermoplastic
- Thammachot, N. 2015. **Engineering Materials**. SE-Education, Bangkok. (in Thai)