ผลของกลูเตนข้าวสาลี และเถ้าไม้ยางบด ที่มีผลต่อสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง

ธัญจิรา สั้นดำ[1], แก้วตา แก้วตาทิพย์[2]

[1,2]ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของกลูเตนข้าวสาลี และกลูเตนข้าวสาลีผสมเถ้าไม้ยางบดที่มีผลต่อสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง กลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ และขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคการกดอัดทางความร้อน โดยผสมกลูเตนข้าวสาลีและเถ้าไม้ยางบด 10 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ การทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึงพบว่าเมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลีส่งผลให้พลาสติกชีวภาพจากแป้งมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลีกับเถ้าไม้ยางบดพลาสติกชีวภาพจากแป้งมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่า กลูเตนข้าวสาลีปรับปรุงการไวต่อความชื้นของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเพียงเล็กน้อยและไม่มีอิทธิพลต่อกระบวนการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง แต่ค่าการดูดซับความชื้นของพลาสติกชีวภาพจากแป้งลดลงเมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลีกับเถ้าไม้ยางบด เนื่องจากเถ้าไม้ยางบดมีความเป็นกรดด่างสูง ซึ่งสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โปรตีนกลูเตนข้าวสาลี ส่งผลให้ขัดขวางการซึมผ่านของน้ำและความชื้นเข้าไปยังเมทริกซ์แป้ง จากการศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงให้เห็นลักษณะทางสัณฐาณวิทยาของพลาสติกชีวภาพจากแป้งที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลี และกลูเตนข้าวสาลีกับเถ้าไม้ยางบด

คำสำคัญ : พลาสติกชีวภาพจากแป้ง, กลูเตนข้าวสาลี, เถ้าไม้ยาง

Effects of Wheat Gluten and Milled Rubber Wood Fly Ash on the Properties of Starch-based Bioplastics

Tanjira Sundum[1], Kaewta Kaewtatip[2]

[1,2]Department of Materials Science and Technology, Faculty of Science, Prince of Songkla University

ABSTRACT

The objectives of this work were to investigate and compare the changes produced in the properties of thermoplastic starch by loadings of wheat gluten and a combination of wheat gluten and milled rubber wood fly ash. Glycerol was used as a plasticizer and the samples were prepared by compression moulding. The wheat gluten and milled rubber wood fly ash loadings were fixed at 10 and 2.5 wt.%, respectively. Tensile tests showed that the addition of wheat gluten increased the flexibility of the thermoplastic starch, while a loading of combined wheat gluten and milled rubber wood fly ash enhanced its rigidity. Moisture adsorption and the degradation process did not vary to any significant extent in response to wheat gluten alone, but both were reduced by the addition of wheat gluten and milled rubber wood fly ash combined. This was ascribed to the effect of the milled rubber wood fly ash, which altered the basic environment of the thermoplastic starch matrix induced wheat gluten crosslinking, thereby hindering the penetration of water. SEM images revealed that the morphology of the thermoplastic starch changed as a function of variations in its composition.

Keywords : Starch-based bioplastics, Wheat gluten, Rubber wood fly ash

บทนำ

ปัจจุบันสภาวะโลกร้อน (global warming) มีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น เนื่องจากปัญหาขยะจากพลาสติกสังเคราะห์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ ส่งผลให้พลาสติกชีวภาพได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น พลาสติกชีวภาพส่วนใหญ่ผลิตมาจากวัตถุดิบที่สามารถผลิตทดแทนได้ใหม่ในธรรมชาติ (renewable resource) โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลาสติกชีวภาพที่เตรียมได้จากแป้ง (starch) ที่มีข้อดีหลายประการคือ ใช้พลังงานในกระบวนการผลิตต่ำ ย่อยสลายได้ง่าย และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Chanakorn et al., 2011) โดยทั่วไปแป้งไม่สามารถขึ้นรูปโดยกระบวนการทางความร้อนเช่นเดียวกับพลาสติกทั่วไปที่มาจากปิโตรเลียม ดังนั้นเพื่อให้แป้งสามารถขึ้นรูปได้โดยการผสมกับพลาสติไซเซอร์ เช่น น้ำ ซอร์บิทอลกลีเซอรอล และ/หรือ เอทิลีนไกลคอล (Ratana, and Wilailuk, 2005) เป็นต้น แต่พลาสติกจากชีวภาพจากแป้งมีข้อด้อย คือ ดูดซับความชื้นสูง สมบัติเชิงกลต่ำ และมีความสามารถในการทนต่อความร้อนต่ำ (Lawtona et al., 2004; Shey et al., 2006; Nattapon et al., 2012) ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน จึงมีงานวิจัยที่สนใจหาแนวทางเพื่อที่จะปรับปรุงสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้งให้ดีขึ้น งานวิจัยก่อนหน้านี้ได้ปรับปรุงสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้งโดยเตรียมเป็นพอลิเมอร์ผสมกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พอลิแลคติคแอซิด (polylactic acid) (Müller et al., 2012) พอลิคาโปรแลกโทน (polycaprolactone) (Luc et al., 2000) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) (Majdzadeh. et al., 2010) หรือผสมสารตัวเติม เช่น ทัลค์ (talc) ดินเหนียว (clay) ซิลิกา (silica) และเส้นใยเซลลูโลส (cellulose fiber) (Robert et al., 2012) แต่พอลิเมอร์ และสารตัวเติมบางชนิดมีราคาแพง บางชนิดไม่มีขั้ว หรือมีความหนืดที่แตกต่างกับแป้ง ส่งผลให้เกิดการแยกเฟส และไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ

กลูเตนข้าวสาลี (wheat gluten) เป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติที่น่าสนใจ เนื่องจากมีราคาถูก และมีปริมาณมาก กลูเตนข้าวสาลีเป็นผลพลอยได้ (by product) จากกระบวนการผลิตแป้งสาลี (wheat starch) โครงสร้างทั่วไปของกลูเตนข้าวสาลีประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด โดยซีสทีน (cystine) เป็นกรดอะมิโนที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างและสมบัติของกลูเตนข้าวสาลี เนื่องจากซีสทีนประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันไทออล์ (-SH group) ที่สามารถสร้างพันธะไดซัลไฟด์ทั้งภายในและภายนอกสายโซ่ของโปรตีน หรือเกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โปรตีนผ่านกลไกนิวคลีโอฟิลิก (nucleophilic mechanism) และกลไกแรดิคัล (radical mechanism) (Keawta, 2013)

ไม้ยางพารา (para rubber wood) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคใต้ เมื่อต้นยางให้น้ำยางหมดจะถูกนำไปแปรรูปเป็นเฟอร์นิเจอร์ บางส่วนจะถูกนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า และจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ก่อให้เกิดเถ้าไม้ยาง (rubber wood fly ash) ที่มีน้ำหนักเบา และมีขนาดเล็กประมาณ 1-200 ไมโครเมตร มีปริมาณมากถึงร้อยละ 80-85 ของเถ้าไม้ยางที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งการกำจัดเถ้าไม้ยางเหล่านี้ทำได้ยาก เนื่องจากเถ้าไม้ยางสามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย และมีน้ำหนักเบา (Dasaesamoh et al., 2011) นอกจากนี้เถ้าไม้ยางมีความเป็นด่างสูง ไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานด้านอาหาร (Munlika, 2015)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาผลของกลูเตนข้าวสาลี และเถ้าไม้ยางบดที่มีผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกล การดูดซับความชื้น และการเสื่อมสภาพของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง

ระเบียบวิธีการวิจัย

การเตรียมวัสดุเชิงประกอบชีวภาพ

อบแป้งมันสำปะหลังชนิดพลีเจลาทิไนซ์และกลูเตนข้าวสาลีในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บไว้ในกล่องดูดความชื้นจนกว่าจะนำไปใช้งาน ผสมแป้งมันสำปะหลังและกลูเตนข้าวสาลี 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นผสมเถ้าไม้ยางบด 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และผสมกลีเซอรอล 45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นำของผสมที่ได้มาขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัดทางความร้อน (compression molding)

การศึกษาลักษณะเฉพาะและสมบัติของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพ

1. การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

ทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง (tensile strength) และระยะยืด ณ จุดขาด (elongation at break) ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (Instron model 3365, USA) โดยใช้ load cell ขนาด 100 นิวตัน ด้วยความเร็ว 50 มม./นาที โดยเตรียมชิ้นตัวอย่างเป็นรูปดัมเบล จำนวน 12 ชิ้น

2. ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา(Morphology)

ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Quanta 400, FEI) โดยใช้ตัวอย่างที่ได้จากการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง

3. ศึกษาการดูดความชื้น (Moisture Content; MC)

เก็บตัวอย่างไว้เป็นเวลา 7 วัน และ 30 วัน ที่อุณหภูมิห้อง %RH = 65% ตัดชิ้นตัวอย่างขนาด 15×15×2 มม. จำนวน 3 ชิ้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก จากนั้น นำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง แล้วนำค่าที่ได้ คำนวณหาปริมาณการดูดซับความชื้นจากสมการ (1)

$$\text{Moisture absorption (\%)} = [(W_1-W_2)/W_2] \times 100 \quad .....(1)$$

โดย W_1 คือ น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

4. ศึกษาการเสื่อมสภาพด้วยเครื่องเร่งสภาวะ (Accelerated weathering)

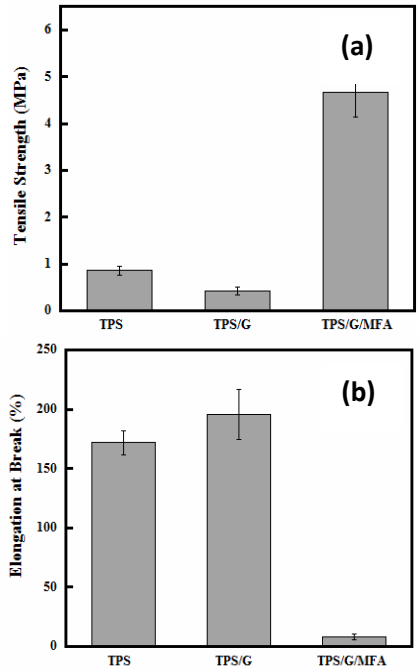
ศึกษาการเสื่อมสภาพของตัวอย่างด้วยเครื่องเร่งสภาวะ (The QUV®Accelerated Weathering Tester, Model QUV/spray) ตามมาตรฐาน ASTM G154 mode cycle 2 เป็นเวลา 192 ชั่วโมง

ผลการวิจัย

จากการศึกษาค่าความต้านทานต่อแรงดึง (ภาพที่ 1 (a)) พบว่า พลาสติกชีวภาพจากแป้งมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงเท่ากับ 0.86 เมกกะปาสคาล เมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลีที่ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่ามีค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลงเท่ากับ 0.42 เมกกะปาสคาล แต่เมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลีที่ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและเถ้าไม้ยางบดที่ปริมาณ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่า ความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นเป็น 4.66 เมกกะปาสคาล เนื่องจากเถ้าไม้ยางมีความเป็นกรดด่างสูง ซึ่งมีผลให้สายโซ่โปรตีนของกลูเตนข้าวสาลีเกิดการเชื่อมขวางผ่านกลไกนิวคลีโอฟิลิก (nucleophilic mechanism) เนื่องจากซัลเฟอร์แอนไอออน (sulfur anion; S^-) สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรดด่างสูง (Keawta, 2013; Marion et al., 2005)

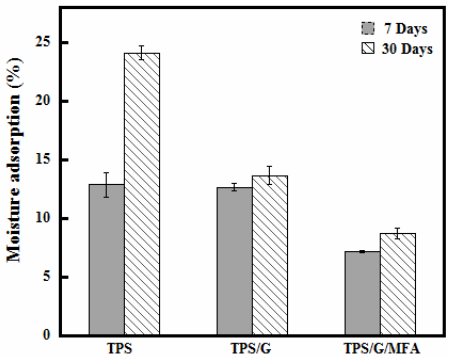
ค่าระยะยืด ณ จุดขาดของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง (ภาพที่ 1 (b)) มีค่าเท่ากับ 171.85 เปอร์เซ็นต์ พบว่า เมื่อมีการผสมกลูเตนข้าวสาลีส่งผลให้ ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของ

พลาสติกชีวภาพจากแป้งเพิ่มขึ้นเป็น 195.42 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากกลูเตนข้าวสาลีประกอบด้วยไกลอะดินซึ่งมีสมบัติที่เหนียว (toughness) และเมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลีกับเถ้าไม้ยางบด พบว่าค่าระยะยืด ณ จุดขาดลดลงเท่ากับ 8.19 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากการเชื่อมขวางของสายโซ่โปรตีนของกลูเตนข้าวสาลีเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความยืดหยุ่นมีค่าลดลง



ภาพที่ 1 ค่าความต้านทานแรงดึง (a) และระยะยืด ณ จุดขาด (b) ของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง (TPS) พลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลี (TPS/G) และพลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลีและเถ้าไม้ยางบด (TPS/G/MFA)

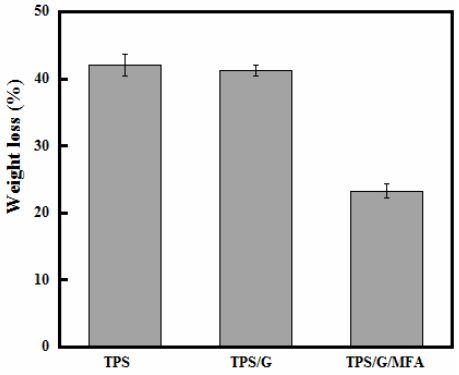
จากภาพที่ 2 พบว่าพลาสติกชีวภาพจากแป้งมีค่าการดูดซับความชื้นหลังจากเก็บเป็นระยะเวลา 7 และ 30 วันเท่ากับ 12.87 และ 24.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าพลาสติกชีวภาพจากแป้งมีความไวต่อความชื้น เนื่องจากแป้งเป็นพอลิเมอร์ที่มีความชอบน้ำ (hydrophilic) เพราะมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่ในโมเลกุลแป้งทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ง่าย ในขณะที่เมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลีค่าการ ดูดซับความชื้นหลังจากเก็บเป็นระยะเวลา 7 และ 30 วันเท่ากับ 12.66 และ 13.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลี พลาสติกชีวภาพจากแป้งมีเสถียรภาพมากขึ้น เนื่องจากเมื่อเก็บชิ้นงานไว้เป็นเวลา 30 วัน ค่าการดูดซับความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลีและเถ้าไม้ยางบดค่าการดูดซับน้ำลดลงเท่ากับ 7.20 และ 8.73 เปอร์เซ็นต์ภายหลังจากเก็บเป็นเวลา 7 และ 30 วัน ตามลำดับ เนื่องจากความเป็นกรดด่างสูงของเถ้าไม้ยางเพิ่มการเชื่อมขวางภายในโครงสร้างของกลูเตนข้าวสาลีผ่านกลไกนิวคลีโอฟีลิก (Keawta, 2013) ส่งผลให้ขัดขวางการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่เมทริกซ์ (matrix) ของแป้ง และพลาสติกชีวภาพจากแป้งมีเสถียรภาพเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน



ภาพที่ 2 ค่าการดูดซับความชื้นของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง พลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลีและพลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลีและเถ้าไม้ยางบด ที่ทำการทดสอบภายหลังจากเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 7 และ 30 วัน

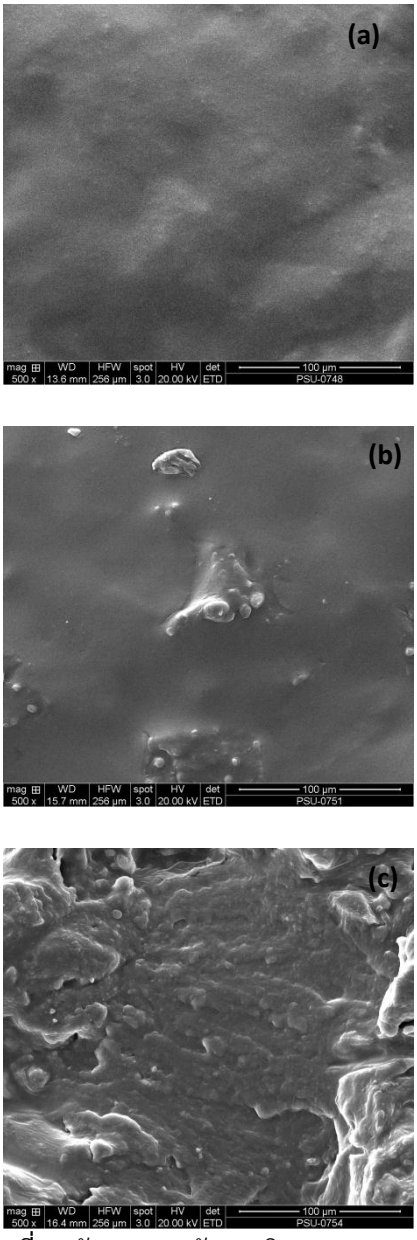
ค่าน้ำหนักที่หายไปหลังจากการทดสอบด้วยเครื่องเร่งสภาวะเกิดจากแสงยูวีและความชื้น

จากภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่าพลาสติกชีวภาพจากแป้ง และพลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลี มีค่าน้ำหนักที่หายไปค่อนข้างสูงคือ 42.02 และ 41.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากทั้งแป้งและกลูเตนข้าวสาลีเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติ จึงย่อยสลายได้ง่าย ว่องไวต่อแสงแดด และความชื้น แต่เมื่อผสมเถ้าไม้ยางบด พบว่าค่าน้ำหนักที่หายไปมีค่าลดลงเป็น 23.28 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเถ้าไม้ยางมีความเป็นกรดด่างสูง ส่งผลให้การเชื่อมขวางของสายโซ่โปรตีนของกลูเตนข้าวสาลีเกิดได้ดีขึ้น จึงขัดขวางการซึมผ่านของน้ำ และป้องกันการเสื่อมสภาพผ่านปฏิกิริยา photo-oxidative ที่เกิดจากการได้รับแสงยูวี ส่งผลให้น้ำหนักที่หายไปลดลง



ภาพที่ 3 น้ำหนักที่หายไปของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง พลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลี พลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลีและเถ้าไม้ยางบด ที่ทำการทดสอบการเสื่อมสภาพด้วยเครื่องเร่งสภาวะเป็นเวลา 192 ชั่วโมง

ภาพที่ 4 (a) แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง พบว่ามีลักษณะเรียบและเป็นเนื้อเดียวกัน เป็นการยืนยันว่าเม็ดแป้งแตกตัวได้หมดภายใต้อุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการทดลองนี้ สำหรับพลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลี แสดงในรูปที่ 4 (b) พบว่ากลูเตนข้าวสาลีกระจายอยู่ในเมทริกซ์ของแป้ง และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลีและเถ้าไม้ยางบด มีลักษณะผิวที่หยาบมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชีวภาพจากแป้ง และพลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลี ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Corradini และคณะ (2011) ที่รายงานว่าพอลิเมอร์ผสมที่แต่ละองค์ประกอบมีความหนืดต่างกัน ส่งผลให้มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมมีลักษณะที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง (a) พลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลี (b) และพลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลีและเถ้าไม้ยางบด (c)

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากลูเตนข้าวสาลีสามารถปรับปรุงความยืดหยุ่นของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง โดยค่าระยะยืด ณ จุดขาดของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเพิ่มขึ้นจาก 171.85 เป็น 195.42 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผสมกลูเตน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่กลูเตนข้าวสาลีปรับปรุงการไวต่อความชื้นของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเพียงเล็กน้อย และไม่มีอิทธิพลต่อกระบวนการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง และเมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลี และเถ้าไม้ยางบดพบว่าพลาสติกชีวภาพจากแป้ง มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุดเท่ากับ 4.66 เมกกะปาสคาล เนื่องจากเถ้าไม้ยางมีความเป็นกรดด่างสูง ซึ่งมีผลทำให้การเชื่อมขวางกับสายโซ่โปรตีนของ กลูเตนข้าวสาลีผ่านกลไกนิวคลีโอฟิลิกเกิดได้ดีขึ้น การเชื่อมขวางของสายโซ่โปรตีนของกลูเตนข้าวสาลีที่เกิดขึ้นยังช่วยขัดขวางการซึมผ่านของน้ำ และความชื้นเข้าไปยังเมทริกซ์แป้ง ส่งผลให้พลาสติกชีวภาพจากแป้งมีความไวต่อความชื้นลดลง และสามารถหน่วง และชะลอการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง ซึ่งมีประโยชน์สำหรับเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการควบคุมการย่อยสลาย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และโรงไฟฟ้า กัลฟ์ยะลากรีน จำกัด ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและเถ้าไม้ยางพารา และขอบคุณบริษัท Siam Modified Starch Co., Ltd. ที่ให้ความอนุเคราะห์แป้งมันสำหลัง

References

Chanakorn, Y. and Rangrong, Y. (2011). **Effect of amphiphilic molecules on characteristics and tensile properties of thermoplastic starch and its blends with poly(lactic acid).** Carbohydrate Polymers. 83, 22-11.

Corradini, E., Marconcinib, J. M., Agnellia J. A. M. and Mattosob L. H. C. (2011**). Thermoplastic blends of corn gluten meal/starch (CGM/Starch) and corn gluten meal/polyvinyl alcohol and corngluten meal/poly(hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate)(CGM/PHB-V).** Carbohydrate Polymers. 83. 959–965.

Dasaesamoh, A., Mamin, J., Radeang, N. and Awae, Y. (2011). **Physical properties and mechanical properties of Para Rubber Wood Fly Ash Brick.** Journal of Yala Rajabhat University. 6, 25-35.

Keawta, K. (2013). **Bioplastics from Wheat gluten.** KKU Science Journal. 41(2), 309-319.

Lawtona, J. W., Shogrena, R. L. and Tiefenbacherb, K. F. (2004). **Aspen fiber addition improves the mechanical properties of baked cornstarch foams.** Industrial Crops and Products. 19(1), 41–48.

Luc, A., Laurence, M., Patrice, D. and Christophe, F. (2000). **Properties of thermoplastic blends:starch-polycaprolactone.** Polymer. 41, 4157–4167.

Majdzadeh, A. K. and Nazari, B. (2010). **Improving the mechanical properties of thermoplastic starch/poly(vinyl alcohol)/clay nanocomposites.** Composites Science and Technology. 70(10), 1557–1563.

Marion, P., Andréas, R., Stéphane, G. and Marie, H. M. (2005). **Intrinsic influence of various plasticizers on functional properties and reactivity of wheat gluten thermoplastic materials.** Journal of Cereal Science. 42, 81-91.

Müller, C. M. O., Pires, A. T. N. and Yamashitaa, F. (2012). **Characterization of thermoplastic starch/poly (lactic acid) blends obtained by extrusion and thermopressing.** Journal of the Brazilian Chemical Society. 23(3), 426-434.

Munlika, B., Katalin, M. S. and Kaewta, K. (2015) **Structure and properties of wheat gluten/ rubber wood ash biocomposites.** Journal Thaksin, 18(3), 50-55.

Nattapon, K., Orapin, K, and Natta, L. (2012). **Biodegradable foam tray from cassava starch blended with natural fiber and chitosan.** Industrial Crops and Products. 37(1), 542-546.

Ratana, C. and Wilailuk, F. (2005). **Effects of plasticizers on tensile strength, oil resistance and solubility of mung bean protein films.** Journal of Siam University. 2(1), 36-44.

Robert, S. and Ing, K. (2012). **Thermoplastic Starch.** Thermoplastic Elastomers, 95-116.

Shey, J., Imam, S., Glenn, G. and Orts W. (2006). **Properties of baked starch foam with natural rubber latex.** Industrial Crops and Products. 24, 34–40.