

การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่เสริมแรงด้วยเส้นใยปาล์มน้ำมัน

Development of Biocomposite Made from Reinforced Wheat Gluten with Oil Palm Fiber

กัลทิมา เชาว์ชาญชัยกุล* และ อัจฉา กระจำแจ้ง

สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

E-mail: kantima.c@rmutp.ac.th

Kantima Chaochanchaikul* and Atcha Krajangjeang

Division of Industrial Materials Science, Faculty of Science and Technology,

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Wongsawang, Bang Sue, Bangkok 10800, Thailand

E-mail: kantima.c@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีโดยใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันเป็นสารเสริมแรงเพื่อให้มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานบรรจุภัณฑ์แบบใช้ครั้งเดียว เนื่องจากทั้งกลูเตนและเส้นใยปาล์มเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ สำหรับขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบ กลูเตนจากข้าวสาลีถูกผสมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันด้วยเครื่องผสมระบบปิดและขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบโดยใช้เครื่องอัดด้วยความดัน ผลของปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ถูกปรับเปลี่ยน ตั้งแต่ 0 – 15% โดยน้ำหนัก ถูกประเมินด้วยการทดสอบแรงดึง แรงกระแทก การหาค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว การดูดซับน้ำ และการตรวจสอบทางสัณฐานวิทยา กลีเซอรอล ปริมาณ 30% โดยน้ำหนักของกลูเตนถูกใช้เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ ผลการทดลอง พบว่าการเพิ่มปริมาณเส้นใยปาล์มมีผลทำให้ค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึง ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ค่าความต้านทานแรงกระแทก และค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลง เส้นใยปาล์มมีประสิทธิภาพในการเสริมแรงให้กับกลูเตนเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยปาล์มน้ำมันกับพันธะเปปไทด์ของกลูเตนจากข้าวสาลี การมีอยู่ของเส้นใยปาล์มน้ำมันในวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีช่วยขัดขวางการดูดซับน้ำให้มีปริมาณลดลง วัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่มีการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมัน 15% โดยน้ำหนักเป็นสูตรที่ดีที่สุดเมื่อพิจารณาจากสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป

คำสำคัญ: กลูเตน; เส้นใยปาล์มน้ำมัน; สมบัติทางกล; สมบัติทางกายภาพ; วัสดุเชิงประกอบชีวภาพ

Abstract

This work aimed to develop wheat gluten (WG) based biocomposite by using oil palm fiber (OPF) as reinforcement for suitable single-use packaging applications. Because both WG and OPF are biodegradable materials. For specimen preparation, WG was melt-blended with OPF in an internal mixer and specimens were formed by using compression molding. The effects of OPF loading, varying from 0 to 15 wt% , were evaluated by tensile and impact testing, glass transition temperature (T_g) measurement, water absorption and morphological analysis. A 30 wt% of glycerol based on WG acts as a plasticizer. The increase in OPF loading resulted in the increases in tensile modulus, ultimate tensile stress, impact strength and T_g value whereas %elongation at break tended to decrease. The reinforcing effectiveness of OPF was attributed to the hydrogen bonding between the hydroxyl group of OPF and the peptide bond of WG. The water absorption of WG was interfered by the presence of OPF. WG based biocomposite containing OPF content of 15 wt% was the optimum formulation by consideration of changed properties.

Keyword: Gluten; Oil palm fiber; Mechanical properties; Physical properties; Biocomposite

1. บทนำ

ขยะพลาสติกถือเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่ทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยเริ่มให้ความสำคัญในการแก้ไขปัญหาเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะขยะพลาสติกส่วนใหญ่เป็นขยะที่มาจากบรรจุภัณฑ์แบบใช้ครั้งเดียวและส่วนใหญ่ผลิตมาจากพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยาก และหากมีการจัดการกับขยะพลาสติกที่ไม่ถูกวิธีอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง แนวทางหนึ่งในการลดปัญหาขยะพลาสติก คือ การส่งเสริมให้เกิดการนำพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biodegradable plastic) มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์แบบใช้ครั้งเดียว

กลูเตน (Gluten) เป็นโปรตีนที่ได้มาจากพืช เช่น ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวไรท์ ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโพด เป็นต้น [1] การนำกลูเตนมาเติมสารพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) มีผลทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วลดลง และช่วยทำให้กลูเตนสามารถขึ้นรูปได้ง่ายมากขึ้น กลูเตนที่มีการเติมสารพลาสติกไซเซอร์สามารถขึ้นรูปได้ด้วยการบวมขึ้นรูปของเทอร์โมพลาสติก [2] นอกจากนี้กลูเตนยังสามารถย่อยสลายได้ง่ายด้วยวิธีการทางชีวภาพโดยไม่มีการปลดปล่อยสารพิษ และมีราคาที่ไม่แพง [2-3] กลูเตนจึงถือว่าเป็นวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมในการนำมาทำเป็นพลาสติกชีวภาพเพื่อนำมาใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์แบบใช้ครั้งเดียว กลูเตนจากข้าวสาลีเกิดจากการรวมตัวกันของโปรตีนกลูเตนิน (Glutenin) และไกลอะดิน (Gliadin) โดยการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ (Disulfide bond) ระหว่างกัน [1] กลูเตนมีสมบัติเป็นวิสโคอิลาสติก (Viscoelastic) เนื่องจากกลูเตนินมีสมบัติยืดหยุ่น (Elastic properties) ในขณะที่ไกลอะดินแสดงสมบัติไหลหนืด (Viscous properties) [4] กลูเตนจากข้าวสาลีจึงสามารถถูกนำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มและพลาสติกได้ แต่อย่างไรก็ตาม กลูเตนมีความสามารถในการขึ้นรูปได้ค่อนข้างยาก

มีสมบัติค่อนข้างเปราะ และทนต่อแรงกระแทกได้ต่ำ เนื่องจากมีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, Tg) สูง จากงานวิจัยจำนวนหนึ่ง แสดงให้เห็นว่า การเติมสารพลาสติกไซเซอร์ลงในกลูเตนมีส่วนช่วยในการปรับปรุงความสามารถในการขึ้นรูป และเพิ่มความเหนียว แต่มีผลทำให้ค่ามอดูลัส และความแข็งแรงทางกลลดลง [3, 5-7] จากงานวิจัยที่ผ่านของผู้วิจัย [7] เป็นการศึกษาผลของการเติมกลีเซอรอล (Glycerol) และยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized Natural Rubber, ENR) ลงในพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติ จากงานวิจัยพบว่า ทั้งกรณีการเติมกลีเซอรอล และการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ปริมาณเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ค่าความทนแรงกระแทก และค่าการยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่มีผลทำให้ค่ามอดูลัสและความต้านทานแรงดึงลดลง และการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ยังมีผลทำให้สมบัติความทนต่อน้ำเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอีกจำนวนหนึ่งที่ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงสมบัติทางกลและความทนต่อน้ำของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนที่มีการเติมสารพลาสติกไซเซอร์ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การเติมสารเสริมแรง [8-9] หรือการปรับสภาพความเป็นกรด-เบสในระหว่างการผลิต [8, 10] เป็นต้น Cortés-Triviño และคณะ [8] ได้ศึกษาพบว่า การเติมนาโนเคลย์ (nanoclay) และการปรับสภาพความเป็นกรด-เบสในระหว่างการผลิตให้มีค่ามากกว่า 10 มีผลทำให้พลาสติกชีวภาพจากกลูเตนที่มีการเติมกลีเซอรอลและน้ำกลั่นเป็นสารพลาสติกไซเซอร์มีค่ามอดูลัส และค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น และค่าการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากสถานะที่เป็นด่างช่วยทำให้นาโนเคลย์แยกชั้นและกระจายตัวได้ดีขึ้น จากงานวิจัยของ Chantapet และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาผลของเติมลิกนินคราฟท์ (Kraft Lignin) ลงในพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่มีการเติมกลีเซอรอลเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ พบว่า ลิกนินคราฟท์มีส่วนช่วยปรับปรุงสมบัติการรับแรงดึง โดยมีผลทำให้ค่ามอดูลัสและความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และช่วยลดค่าการดูดซึมน้ำให้มีค่าลดลง Jiménez-Rosado และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาพบว่า การปรับค่าความเป็นกรด-เบสในระหว่างการผลิตให้มีค่าเท่ากับ 9 มีผลทำให้พลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่มีการเติมกลีเซอรอลและน้ำกลั่นเป็นสารพลาสติกไซเซอร์มีค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากสถานะด่างมีผลทำให้กลูเตนเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Crosslinking) สำหรับในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีแนวคิดในการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนที่มีการเติมสารพลาสติกไซเซอร์โดยการเสริมแรงด้วยการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมัน (Oil palm fiber) เนื่องจากเส้นใยปาล์มน้ำมันเป็นเส้นใยที่มีความเหนียว เป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีการทางชีวภาพ ราคาถูก และเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่สามารถหาได้ง่ายในประเทศไทย นอกจากนี้เส้นใยปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบหลัก คือเซลลูโลส [11] ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) กับพันธะเปปไทด์ (Peptide bond) ในโมเลกุลของโปรตีนกลูเตนได้ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้สูงที่การส่งผ่านแรงระหว่างกลูเตนไปยังเส้นใยปาล์มน้ำมันจะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งอาจมีส่วนช่วยเพิ่มค่ามอดูลัสหรือความคงรูปที่ลดลงไปจากผลของการเติมสารพลาสติกไซเซอร์ และช่วยเพิ่มความเหนียวหรือความทนแรงกระแทกให้กับพลาสติกชีวภาพจากกลูเตน โดยสมบัติทั้งสองประการนี้ถือเป็นสมบัติที่มีความสำคัญต่อการนำพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนไปใช้ในงานบรรจุภัณฑ์ควบคู่ไปกับการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมันยังมีส่วนช่วยลดต้นทุนในการผลิตอีกด้วย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการปรับปรุงสมบัติทางกล และทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่เสริมแรงด้วยเส้นใยปาล์มน้ำมัน โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันและทำการประเมินผลการวิจัยจากการทดสอบแรงดึงและแรงกระแทก การหาค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว การดูดซับน้ำ และการตรวจสอบทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่เสริมแรงด้วยเส้นใยปาล์มน้ำมัน

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี

วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 1) กลูเตนข้าวสาลี จัดจำหน่ายโดย บริษัท เจ.เอ็น.พี.ไอ. อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด โดยมีองค์ประกอบดังนี้ คือ มีปริมาณโปรตีน 79.4% ปริมาณสตาร์ชที่หลงเหลือ 6.3% ไขมัน 6.0% เส้นใย 4.4% และสารเจือปนอื่นๆ 3.9% 2) เส้นใยปาล์มน้ำมัน จากบริษัท วิจิตรภัณฑ์ปาล์มออกส์ จำกัด (มหาชน) โดยในงานวิจัยได้มีการเตรียมเส้นใยก่อนนำมาผสมกับกลูเตน โดยการล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ และทำการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในตู้อบลมร้อน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการตัดเส้นใยปาล์มน้ำมันให้มีขนาดความยาวเส้นใยที่ 0.5 เซนติเมตร และ 3) กลิเซอรอลของบริษัท Ajax Finechem Pty จำกัด ทำหน้าที่เป็นสารพลาสติกไซเซอร์

2.2 ขั้นตอนการผสมและขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและวัสดุเชิงประกอบชีวภาพกลูเตนข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมัน

สำหรับขั้นตอนการดำเนินงานในหัวข้อนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการผสมวัตถุดิบด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) เพื่อให้กลีเซอรอลและเส้นใยปาล์มถูกกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ และหลังจากนั้นนำของผสมที่ได้มาทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดด้วยความดัน (Compression molding)

2.2.1 ขั้นตอนการผสมกลูเตนข้าวสาลี เส้นใยปาล์มน้ำมัน และกลีเซอรอล

ขั้นตอนการผสมถูกเริ่มต้นจากนำเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ผ่านการเตรียมเส้นใยแล้วมาทำการอบไล่ความชื้นอีกครั้ง ก่อนนำมาผสมกับกลูเตน และกลีเซอรอล ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักของที่ หลังจากนั้นนำกลูเตน เส้นใยปาล์ม น้ำมัน กลีเซอรอลมาทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด รุ่น MX75-TQ ของบริษัท เจริญทัศน์ จำกัด โดยมีการปรับเปลี่ยนปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมัน ตั้งแต่ 0 – 15% โดยน้ำหนัก และมีการเติมกลีเซอรอล 30%โดยน้ำหนักของกลูเตน สภาวะที่ใช้ในการผสมด้วยเครื่องระบบปิด คือ ผสมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และความเร็วของโรเตอร์ 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันได้

2.2.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมัน

ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบเริ่มต้นจากการนำของผสมที่ผ่านการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิดมาทำการอบไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำของผสมมาทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดด้วยความดัน ยี่ห้อ Cometechn รุ่น QC-601T ของบริษัท Cometechn ประเทศไต้หวัน ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 150 องศาเซลเซียส ด้วยความดัน 2500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 10 นาที และหล่อเย็นชิ้นงานด้วยน้ำเย็น เป็นเวลา 10 นาที แม่พิมพ์ที่ใช้มีรูปทรงเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D638 และ ASTM D256 เพื่อใช้ในการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึง และชิ้นงานทดสอบแรงกระแทก ตามลำดับ

2.3 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติของชิ้นงานทดสอบพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมัน

2.3.1 สมบัติทางกล

สมบัติทางกลของชิ้นงานทดสอบพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมันถูกทดสอบด้วยวิธีการทดสอบการรับแรงดึง และแรงกระแทก อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM สำหรับการทดสอบแรงดึงทำการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D638 ชิ้นงานทดสอบรูปทรงแบบดรัมเบล แบบ Type IV และทำการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบ Universal testing ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AG-x plus ของบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ คือ ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหัวจับชิ้นงาน 50 มิลลิเมตรต่อนาที และทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สำหรับการทดสอบแรงกระแทกทำการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบแรงกระแทก แบบ Izod อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D256 ด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก ยี่ห้อ Zwick Roell รุ่น Hit5.5P ประเทศเยอรมัน สำหรับการทดสอบแรงดึงและแรงกระแทกจำนวนชิ้นงานทดสอบที่ใช้ในแต่ละสูตรที่มีการปรับเปลี่ยนปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมัน คือ 7 ชิ้นงานทดสอบ

2.3.2 การหาค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว

ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของกลูเตนในชิ้นงานทดสอบพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมันถูกทำการตรวจสอบด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter, DSC) รุ่น TGA/DSC3+ ของบริษัท Mettler-Toledo (ประเทศไทย) จำกัด ช่วงอุณหภูมิการทดสอบ คือ -20 ถึง 160 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มความร้อน 10 องศาเซลเซียส/นาที และทำการทดสอบภายใต้สภาวะก๊าซไนโตรเจน

2.3.3 การทดสอบการดูดซับน้ำ

การทดสอบการดูดซับน้ำของชิ้นงานทดสอบพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมันถูกทดสอบ โดยเริ่มต้นจากการนำชิ้นงานทดสอบที่มีขนาด 13 มม. x 64 มม. x 3 มม. มาทำการอบไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำ

ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบไล่ความชื้นมาทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล แบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง และนำชิ้นงานที่ผ่านการอบไล่ความชื้นมาแช่ในน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นทำการเก็บตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านเวลาแช่น้ำต่างๆ กัน ตั้งแต่ 0 – 7,200 นาที เพื่อทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงานเปียก โดยนำชิ้นงานทดสอบออกจากน้ำ และทำการซับด้วยกระดาษซับก่อนชั่งน้ำหนักทันที และทำการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ ดังสมการที่ (1) จำนวนชิ้นงานทดสอบที่ใช้ในแต่ละสูตรที่มีการปรับเปลี่ยนปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมัน คือ 3 ชิ้นงานทดสอบ

$$\% \text{ water absorption} = \frac{W_t - W_o}{W_o} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ W_t คือ น้ำหนักของชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการแช่น้ำ ณ เวลา t (กรัม)

W_o คือ น้ำหนักของชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบไล่ความชื้น (กรัม)

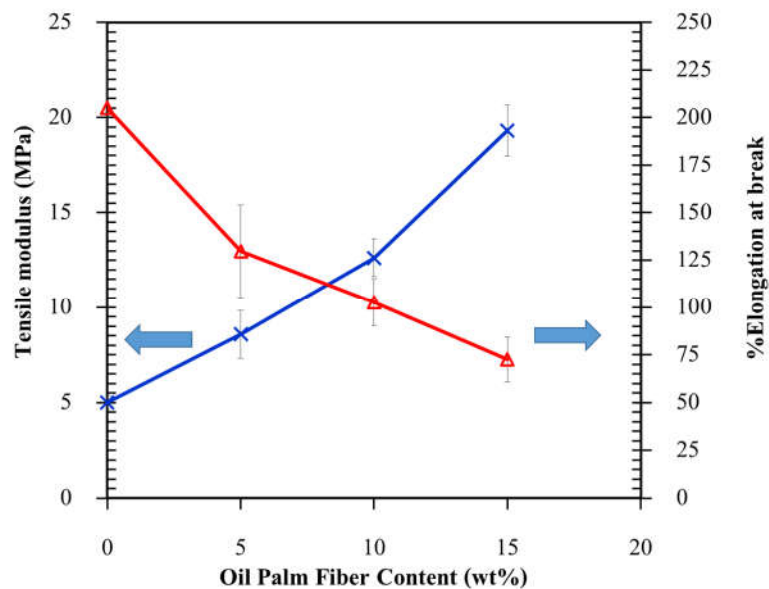
2.3.4 การตรวจสอบทางสัณฐานวิทยา

การตรวจสอบการยึดเกาะระหว่างเฟสของกลูเตนและเส้นใยปาล์มน้ำมันถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แบบ Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ Jeol รุ่น JSM-6610LV ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ความต่างศักย์ 15 กิโลโวลต์ ทำการตรวจสอบที่บริเวณรอยแตกหักของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแรงกระแทก โดยมีการเคลือบทองคำบริเวณรอยแตกหักด้วยวิธีการสปัตเตอริง (sputtering) ก่อนการนำมาตรวจสอบ

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

รูปที่ 1 แสดงผลของปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันที่มีผลต่อค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึง และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่มีการปรับเปลี่ยนปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมัน ตั้งแต่ 0 ถึง 15% โดยน้ำหนัก จากรูปที่ 1 พบว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันมีส่วนช่วยปรับปรุงความคงรูปร่าง โดยพบว่า ค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันเพิ่มมากขึ้น กรณีวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่มีปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมัน 15% โดยน้ำหนัก มีค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด โดยมีค่าสูงขึ้นประมาณ 285% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเส้นใยปาล์มน้ำมันมีความคงรูปสูงกว่ากลูเตนข้าวสาลี เพราะเส้นใยปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบหลัก คือ เซลลูโลสซึ่งมีความเป็นผลึกสูงซึ่งเป็นผลมาจากเซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นแบบเส้นตรง และมีแรงดึงดูดระหว่างกันสูงด้วยพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลใน โครงสร้างจึงเกิดการจัดเรียงตัวเป็นผลึกได้สูง [11-12] และการมีอยู่ของเส้นใยปาล์มน้ำมันอาจจะไปดูดซับกลีเซอรอลซึ่งทำหน้าที่เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ จึงมีผลทำให้การทำหน้าที่ของกลีเซอรอลในการแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของกลูเตนข้าวสาลีมีประสิทธิภาพลดลง สำหรับผลของปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่า การเพิ่ม

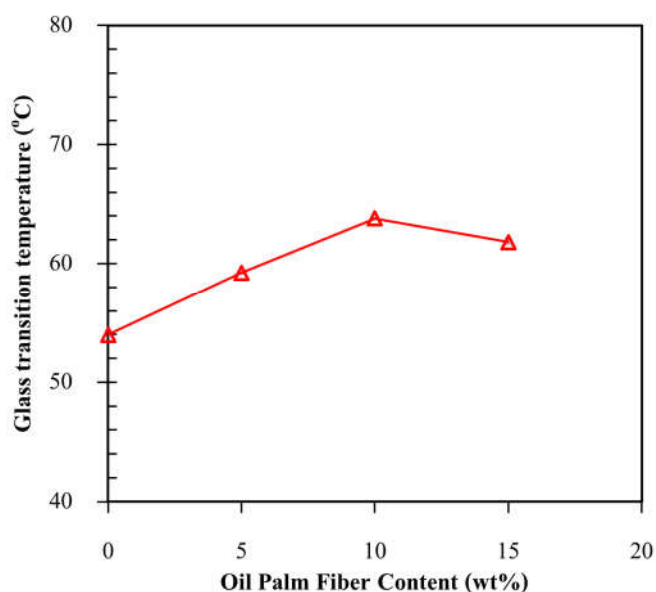
ปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันมีผลทำให้ค่าความสามารถในการยึดตัวของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี และเส้นใยปาล์มน้ำมันมีค่าที่ลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะการเพิ่มปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันมีผลทำให้สัดส่วนของวัสดุที่สามารถยึดตัวได้ง่าย (พลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี) มีสัดส่วนที่ลดลง และอาจเป็นเพราะเส้นใยปาล์ม น้ำมันไปดูดซับกลีเซอรอลไว้บางส่วนจึงมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการทำหน้าที่เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ของกลีเซอรอลนั้นลดลง



รูปที่ 1 ค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี และวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมัน

รูปที่ 2 แสดงผลของปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันที่มีต่อค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของกลูเตนข้าวสาลีในพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมัน จากผลการทดลองในรูปที่ 2 พบว่า อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วมีแนวโน้มมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของกลูเตนข้าวสาลีที่มีค่าต่ำที่สุด คือ 53.97 องศาเซลเซียส ถูกพบในกรณีพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี และค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของกลูเตนข้าวสาลีที่มีค่าสูงสุด คือ 63.81 องศาเซลเซียส ถูกพบในกรณีวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่มีปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมัน 10% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของกลูเตนข้าวสาลีใกล้เคียงกับกรณีวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่มีปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมัน 15% โดยน้ำหนัก ผลดังกล่าวนี้มีส่วนช่วยในการสนับสนุนคำอธิบายเกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการทำหน้าที่เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ของกลีเซอรอลมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากเส้นใยปาล์มและกลีเซอรอลมีหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างทางเคมีด้วยกันทั้งคู่ จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างกันได้ที่ตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิลของสารทั้งสองชนิด ดังนั้นกลีเซอรอลบางส่วนจึงถูกดูดซับไว้ด้วยเส้นใยปาล์ม

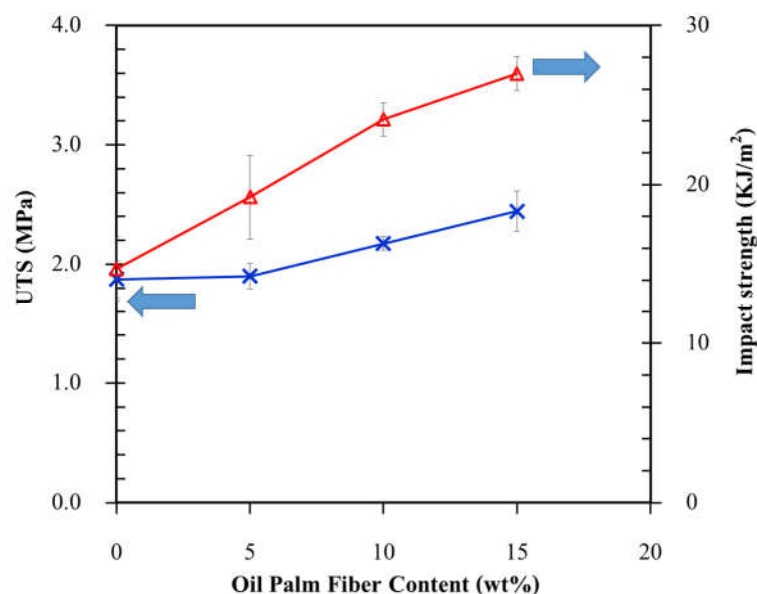
น้ำมัน จึงส่งผลทำให้มีปริมาณกลีเซอรอลที่หลงเหลือในการทำน้ำที่เป็นสารพลาสติกไซเซอร์มีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2 ผลของปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของกฏเดนข้าวสาลีในพลาสติกชีวภาพจากกฏเดนข้าวสาลีและวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกฏเดนข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมัน

การเติมเส้นใยปาล์มน้ำมันมีผลในการเสริมแรงให้กับพลาสติกชีวภาพจากกฏเดนข้าวสาลีทั้งในกรณีการรับแรงดึงและแรงกระแทก ผลเป็นดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่า ทั้งค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่าความต้านทานแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะหมู่ไฮดรอกซิลที่มีอยู่ในเซลลูโลสของเส้นใยปาล์มน้ำมันสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group, C=O) และหมู่อะมิโน (amino group, -NH) ตรงบริเวณพันธะเปปไทด์ของโปรตีนกฏเดนจึงมีผลทำให้การส่งผ่านแรงจากกฏเดนเมทริกซ์ไปยังเส้นใยปาล์มน้ำมันเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การเพิ่มความสามารถในการรับแรงของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพอาจเป็นผลเนื่องมาจากน้ำมันปาล์มที่หลงเหลือในเส้นใยปาล์มอาจมีส่วนช่วยในการเพิ่มความเข้ากันได้ของเส้นใยปาล์มน้ำมันกับกฏเดนจากข้าวสาลี เนื่องจากหมู่เอสเทอร์ (ester group, -COO-) ที่มีอยู่ในน้ำมันสามารถทำหน้าที่เปรียบเสมือนเป็นสารคู่ควบ (coupling agent) [13] รูปที่ 4 แสดงการยึดเกาะระหว่างเฟสของพลาสติกชีวภาพกฏเดนจากข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมัน โดยรูปที่ 4(ก) และ 4(ข) เป็นภาพบริเวณรอยแตกหักของชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกฏเดนข้าวสาลีที่มีปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมัน 5 และ 15% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ภายหลังจากการทดสอบแรงกระแทก จากรูปที่ 4(ก) และ 4(ข) พลาสติกชีวภาพจากกฏเดนโดยส่วนใหญ่สามารถแยกผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในบริเวณรอยต่อระหว่างเฟสที่ถูกทำเครื่องหมายวงกลมเอาไว้ในภาพ แต่อย่างไรก็ตาม มีบางบริเวณของรอยต่อระหว่างเฟสเกิดเป็นช่องว่างขึ้น

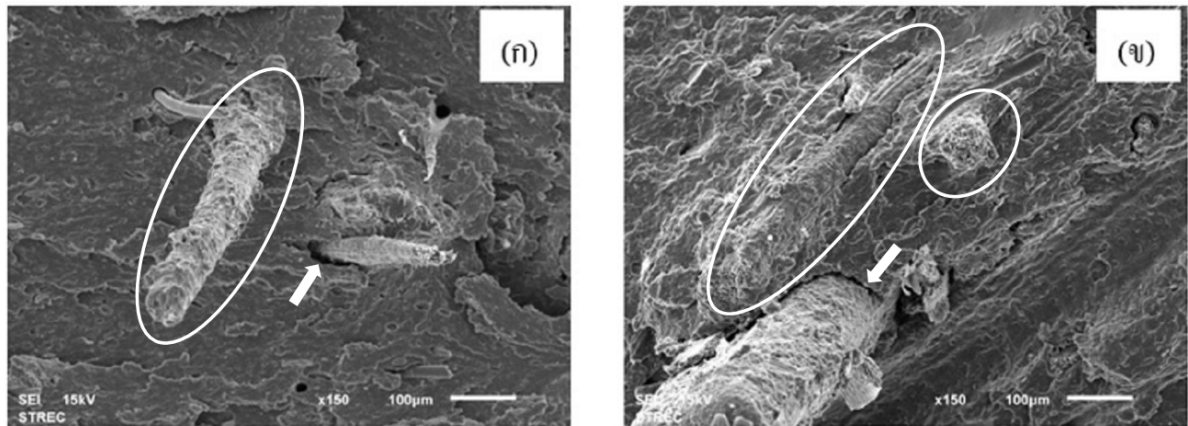
ซึ่งถูกชี้ด้วยเครื่องหมายลูกศร ดังแสดงในรูปที่ 4(ก) และ 4(ข) ความสามารถในการเปื่อยผิวนของเมทริกซ์บนสารเสริมแรงบ่งบอกถึงความเข้ากันได้ทางเคมีระหว่างเมทริกซ์และสารเสริมแรง ความสามารถในการเปื่อยผิวนของเมทริกซ์บนผิวสารเสริมแรงมีผลโดยตรงต่อการส่งถ่ายแรงจากเมทริกซ์สู่สารเสริมแรง ดังนั้นถ้าต้องการให้ประสิทธิภาพการส่งผ่านแรงระหว่างพลาสติกชีวภาพกลูเตนไปยังเส้นใยปาล์มน้ำมันได้ดียิ่งขึ้นอาจต้องมีการนำเส้นใยปาล์มน้ำมันมาทำการปรับปรุงผิวเส้นใย เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่าความต้านทานแรงกระแทก เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมัน พบว่า ค่าความชันของเส้นกราฟค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีค่ามากกว่าค่าความชันของเส้นกราฟค่าความต้านทานแรงกระแทก ทั้งนี้เพราะเส้นใยปาล์มน้ำมันไปดูดซับกลีเซอรอลไว้บางส่วน จึงมีผลทำให้ความยืดหยุ่น (Elasticity) ของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่มีปริมาณเส้นใยปาล์มเพิ่มมากขึ้นมีแนวโน้มลดลง ซึ่งผลดังกล่าวนี้มีความสอดคล้องกับผลของค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของกลูเตนข้าวสาลี ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 3 ผลของการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมันที่มีต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่าความต้านทานแรงกระแทกของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมัน

ผลของการดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมันถูกแสดง ดังรูปที่ 5 พบว่า ในช่วงเวลาเริ่มต้นของการแช่น้ำ ค่าการดูดซับน้ำของทั้งกรณีพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเวลาในการแช่น้ำเพิ่มมากขึ้น หลังจากนั้นค่าการดูดซับน้ำเริ่มมีค่าลดลงและมีค่าคงที่ ณ เวลาการแช่น้ำที่ 96 ชั่วโมง การเพิ่มขึ้นของค่าดูดซับน้ำในช่วงเริ่มต้นเนื่องมาจากทั้งกลูเตนจากข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมันมีสมบัติที่ชอบน้ำจึงสามารถดูดซับน้ำได้ แต่จากการพิจารณาผลของการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมัน พบว่า ปริมาณเส้นใยปาล์มยิ่งมากขึ้นยิ่งมีผลทำให้การดูดซับน้ำในช่วงเริ่มต้นลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลูเตนข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมันมีแรงกระทำ

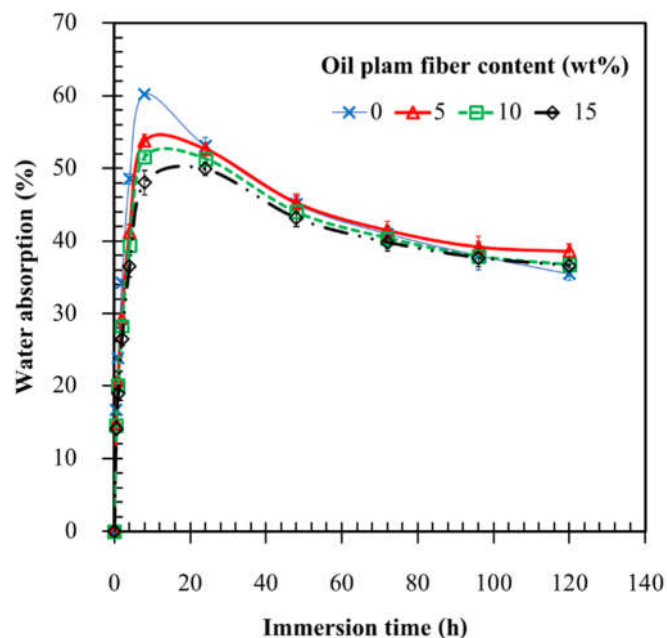
ระหว่างกันด้วยพันธะไฮโดรเจน จึงอาจไปขัดขวางการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างน้ำกับกลูเตนข้าวสาลี การมีอยู่ของเส้นใยปาล์มจึงมีส่วนช่วยลดการดูดซับน้ำ ส่วนการลดลงของค่าการดูดซับน้ำเมื่อเวลาในการแช่น้ำนานขึ้น อาจเป็นไปได้ว่ากลูเตนข้าวสาลีบางส่วนในชิ้นงานทดสอบถูกทำให้สลายตัวหลุดออกไปจากชิ้นงานเนื่องจากน้ำ



รูปที่ 4 ภาพสัณฐานวิทยา ณ บริเวณรอยแตกของชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ผ่านการทดสอบแรงกระแทกและทำการตรวจสอบด้วยกล้อง SEM ณ กำลังขยาย 150 เท่า

(ก) วัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่มีปริมาณเส้นใยปาล์ม 5% โดยน้ำหนัก

(ข) วัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่มีปริมาณเส้นใยปาล์ม 15% โดยน้ำหนัก



รูปที่ 5 ผลการดูดซับน้ำของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมันที่เวลาในการแช่น้ำต่างๆ กัน

4. สรุปผลการทดลอง

สำหรับการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมัน โดยทำการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันที่มีต่อสมบัติทางกล และทางกายภาพ เนื่องจากสมบัติดังกล่าวนี้มีส่วนสำคัญต่อการนำวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและเส้นใยปาล์มน้ำมันมาทำเป็นบรรจุภัณฑ์แบบใช้ครั้งเดียวจากผลการทดลอง สามารถสรุปผลได้ดังนี้ เส้นใยปาล์มน้ำมันสามารถช่วยปรับปรุงความสามารถในการรับแรงดึงและแรงกระแทกได้เป็นอย่างดี แต่มีผลทำให้ค่าความสามารถในการยืดตัวมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้การเติมเส้นใยปาล์มน้ำมันยังมีส่วนช่วยลดค่าการดูดซึมน้ำให้มีค่าลดลงด้วย ดังนั้นการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมันจึงมีแนวโน้มช่วยเสริมแรงทำให้พลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีสามารถนำมาใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์แบบใช้ครั้งเดียวได้ดียิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม จากผลการตรวจสอบทางสัณฐานวิทยา พบว่า การส่งผ่านแรงระหว่างพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนไปยังเส้นใยปาล์มน้ำมันนั้นยังคงมีประสิทธิภาพที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นแนวทางการวิจัยต่อไปในอนาคตควรศึกษาเกี่ยวกับวิธีการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันที่เหมาะสม เพื่อให้เส้นใยปาล์มน้ำมันสามารถทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยในโครงการวิจัยที่ได้รับการจัดสรรงบประมาณผ่านกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2563 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เลขที่สัญญา 63017

เอกสารอ้างอิง

- [1] แก้วตา แก้วตาพิพย์, “พลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี,” วารสารวิทยาศาสตร์ มข., ปีที่ 41, ฉบับที่ 2, 2556, หน้า 309–319.
- [2] D. Gómez-Martínez, P. Partal, I. Martínez and C. Gallegos, “Gluten-based bioplastics with modified controlled-release and hydrophilic properties,” Industrial Crops and Product, Vol. 43, No. 1, 2013, pp. 704-710.
- [3] L.S. Zárate-Ramírez, A. Romero, I. Martínez, C. Bengoechea, P. Partal and A. Guerrero, “Effect of aldehydes on thermomechanical properties of gluten-based bioplastics,” Food and Bioproducts Processing, Vol. 92, No. 1, 2014, pp. 20-29.
- [4] R. Auvergne, M.H. Morel, P. Menut, O. GianI, S. Guilbert and J.J. Robin, “Reactivity of wheat gluten protein during mechanical mixing: radical and nucleophilic reactions for the addition of molecules on sulfur,” Biomacromolecules, Vol. 9, No. 2, 2008, pp. 664-671.

- [5] Y. Song and Q. Zheng, “Improved tensile strength of glycerol-plasticized gluten bioplastic containing hydrophobic liquids,” *Bioresource Technology*, Vol. 99, No. 16, 2008, pp. 7665-7671.
- [6] X. Zhang, M.D. Do, L. Kurniawan and G.G. Qiao, “Wheat gluten-based renewable and biodegradable polymer materials with enhanced hydrophobicity by using epoxidized soybean oil as a modifier,” *Carbohydrate Research*, Vol. 345, No. 15, 2010, pp. 2174-2182.
- [7] K. Chaochanchaikul, “Improvement of mechanical properties and water absorption in wheat gluten by epoxidized natural rubber,” *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 891, 2019, pp. 163-168.
- [8] E. Coretés-Troviño and I. Martínez, “Wheat gluten/montmorillonite biocomposites: Effect of pH on the mechanical properties and clay dispersion,” *Express Polymer Letters*, Vol. 12, No. 7, 2018, pp. 616-627.
- [9] P. Chantapet, T. Kunanopparat, P. Menut and S. Siri wattanavotin, “Extrusion Processing of wheat gluten bioplastic: effect of the addition of kraft lignin,” *Journal of Polymers and the Environment*, Vol. 21, 2013, pp. 864-873.
- [10] M. Jiménez-Rosado, L. S. Zarate-Ramírez, A. Romero, C. Bengoechea, P. Partal and A. Guerrero, “Bioplastics based on wheat gluten processed by extrusion,” *Journal of Cleaner Production*, Vol. 239, 2019, 117994.
- [11] Y.C. Ching and T.S. Ng, “Effect of preparation conditions on cellulose from oil palm empty fruit bunch fiber,” *BioResources*, Vol. 9, No. 4, 2014, pp. 6373-6385.
- [12] R.M. Rowell, R. Pettersen, J.S. Han, J.S. Rowell and M.A. Tshabalala, “Cell wall chemistry,” In *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, R.M. Rowell (Ed.), CRC Press, Boca Raton, 2012, pp. 37-39.
- [13] S. Shinoj, S.R. Visvanathan, S. Panigrahi and M. Kochubabu, “Oil palm fiber (OPF) and its composites: a review,” *Industrial Crops and Product*, Vol. 33, No. 1, 2011, pp. 7-22.