

โครงสร้างและสมบัติของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีเสริมแรงด้วยเถ้าไม้ยางพารา

Structure and Properties of Wheat Gluten/Rubber Wood Ash Biocomposites

มัลลิกา บุตรกลัด¹ Katalin Meszaros Szecsenyi² และแก้วตา แก้วตาทิพย์^{3*}
Munlika Bootklad¹, Katalin Meszaros Szecsenyi² and Kaewta Kaewtatip^{3*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีเสริมแรงด้วยเถ้าไม้ยางพาราในอัตราส่วน 5 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของกลูเตนข้าวสาลี และใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัดทางความร้อนที่ความดัน 250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ศึกษาอิทธิพลของเถ้าไม้ยางพาราที่มีผลต่อโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง และเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ ตามลำดับ พบว่าวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่ผสมเถ้าไม้ยางพาราในอัตราส่วน 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีความต้านทานแรงดึงสูงสุดคือ 4.19 เมกกะปาสกาล แต่พบว่าเมื่อปริมาณของเถ้าไม้ยางพาราเพิ่มขึ้น ค่าระยะยืด ณ จุดขาด มีค่าลดลง และนอกจากนี้เถ้าไม้ยางพาราสามารถปรับปรุงเสถียรภาพทางความร้อนของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี

คำสำคัญ: วัสดุเชิงประกอบชีวภาพ กลูเตนข้าวสาลี เถ้าไม้ยางพารา ความเสถียรทางความร้อน

Abstract

Biocomposites from wheat gluten plasticized with glycerol and using rubber wood ash (RWA) as a filler (0, 5, 10, 15 and 20 wt.%) were prepared by compression molding at 130°C for 10 min with a pressure of 250 kg/cm². Effects of RWA on morphology, mechanical properties and thermal decomposition temperatures of the biocomposites were investigated using Scanning electron microscope (SEM), Universal Testing Machine and Thermogravimetric analyzer (TGA), respectively. It was found that the maximum tensile strength (4.19 MPa) of wheat gluten/RWA biocomposites was obtained at a RWA content of 20 wt.% whereas, the elongation at break decreased with increasing of the RWA content. Moreover, thermal stability of the wheat gluten matrix was improved by addition RWA.

Keywords: Biocomposites, Wheat Gluten, Rubber Wood Ash, Thermal Stability

¹ นักศึกษาปริญญาโทสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

² Prof., Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia

³ ผศ.ดร., ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

* Corresponding author: e-mail: kaewta.k@psu.ac.th Tel. 074-288382

บทนำ

การเพิ่มขึ้นของขยะพลาสติกสังเคราะห์ในปัจจุบันนี้ เป็นปัญหาที่ทั่วโลกให้ความสนใจอย่างมาก การใช้พลาสติกชีวภาพเป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งพลาสติกชีวภาพเป็นพลาสติกที่ใช้วัสดุจากธรรมชาติในการผลิต เช่น แป้ง โปรตีนจากพืช และเส้นใยธรรมชาติ เป็นต้น ข้อดีของวัสดุจากธรรมชาติ คือ ราคาถูก มีปริมาณมาก สามารถปลูกใหม่ทดแทนได้ ย่อยสลายได้ง่ายในธรรมชาติ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นกลูเตนข้าวสาลีเป็นวัตถุดิบหนึ่งที่น่าสนใจอย่างมากในการผลิตพลาสติกชีวภาพ โดยกลูเตนข้าวสาลีเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตแป้งสาลี โครงสร้างทั่วไปประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด แต่กรดอะมิโนที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างและสมบัติของกลูเตนข้าวสาลี คือ ซิสทีน (cystine) เนื่องจากซิสทีนประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันไทออล (SH group) ที่สามารถสร้างพันธะไดซัลไฟด์ทั้งภายในและภายนอกสายโซ่ของโปรตีนหรือเกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โปรตีน โดยการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โปรตีนจะส่งผลต่อสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โปรตีน เช่น อุณหภูมิในการขึ้นรูป ปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ ชนิดและปริมาณของสารตัวเติม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมการเกิดการเชื่อมขวางของสายโซ่โปรตีนให้มีปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้ได้พลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่มีสมบัติที่ดีและสม่ำเสมอเหมาะแก่การนำไปใช้งาน แม้ว่าในปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาการเตรียมพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี แต่พลาสติกชีวภาพที่เตรียมได้ก็ยังคงมีข้อเสียอยู่นั่นคือ มีลักษณะที่เปราะ ขึ้นรูปยาก สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนต่ำ จากข้อเสียดังกล่าวจึงมีงานวิจัยที่สนใจศึกษาหาแนวทางในการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี โดยแนวทางที่ได้รับความสนใจมากที่สุดคือ การเตรียมเป็นวัสดุเชิงประกอบ (composites) โดยการผสมสารเสริมแรงเพื่อปรับปรุงสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี สารเสริมแรงที่นิยมใช้ เช่น เส้นใย (fiber) [1-2] ดินเหนียว (clay) [3] และแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) [4] เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่ตามมาคือ สารเสริมแรงบางชนิดจะเข้าไปขัดขวางการเกิดการเชื่อมขวางของสายโซ่โปรตีน ส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลง นอกจากนี้พบว่าสารเสริมแรงบางชนิดไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติและมีราคาแพง ดังนั้นการใช้สารเสริมแรงที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากธรรมชาติ นั่นคือ เถ้าไม้ยางพารา จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี

ไม้ยางพารา เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคใต้ในประเทศไทย ซึ่งมีปริมาณมาก โดยหลังจากที่ต้นยางพาราให้ผลผลิตแล้ว น้ำยางหมด หรืออายุของต้นยางพาราประมาณ 25-30 ปี ก็จะมีการตัดไม้ยางพารา โดยไม้ยางพาราเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น อุตสาหกรรมไม้อัด เฟอร์นิเจอร์ หรือนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งในขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้าจะมีเถ้าไม้ยางพาราซึ่งเป็นผลพลอยได้ (by product) ปริมาณมากหลงเหลืออยู่ โดยการกำจัดเถ้าไม้ยางพาราเหล่านี้จะเป็นปัญหามากเนื่องจากมีขนาดอนุภาคขนาดเล็ก มีลักษณะเบา สามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย [5] แต่อย่างไรก็ตามเถ้าไม้ยางพาราเหล่านี้จะมีข้อดี เช่น มีลักษณะที่เป็นผงละเอียด อนุภาคขนาดเล็ก ความหนาแน่นที่ต่ำ ราคาถูก มีปริมาณมาก ค่าความเป็นกรดต่ำที่สูง และสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย ดังนั้นจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้เถ้าไม้ยางพาราเป็นสารเสริมแรงในพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี โดยจากการค้นคว้างานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าผู้วิจัยใช้เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหิน เป็นสารเสริมแรงในการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (thermoplastic starch) [6] พลาสติกชีวภาพ (biodegradable plastic) เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (poly(vinyl alcohol) [7] พอลิเออร์สังเคราะห์ เช่น พอลิเอเธเรเธอร์ไคโตน (poly(etheretherketone)) [8] และเรซินพอลิเอสเตอ์ไม่อิ่มตัว (unsaturated Polyester resin) [9] และนอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (thermoelastic elastomer) [10] สำหรับการนำไปใช้งานนั้นยังคงมีข้อจำกัดอยู่ เนื่องจากเถ้าไม้ยางพารานั้นจะมีค่าความเป็นกรดต่ำที่สูง ดังนั้นจึงยังไม่สามารถที่จะผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สัมผัสอาหาร แต่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านเกษตร

งานวิจัยนี้สนใจที่จะเตรียมวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีเสริมแรงด้วยเถ้าไม้ยางพารา และศึกษาอิทธิพลของเถ้าไม้ยางพาราที่มีผลต่อลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพ

วิธีการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

กลูเตนข้าวสาลี (Wheat Gluten) จากบริษัท Anhui Ante Food นำไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในตู้อบ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บในกล่องดูดความชื้นจนกว่าจะนำมาใช้งาน

เถ้าไม้ยางพารา (Rubber Wood Ash) เป็นเถ้าที่ได้จากการนำเศษไม้ยางพารามาใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน ยะลากรีน ต.พร่อน อ.เมือง จ.ยะลา โดยนำไปบดด้วยครกบดสาร และผ่านการร่อนด้วยตะแกรกร่อนให้ได้ขนาดอนุภาค 250 ไมโครเมตร นำไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในตู้อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บในกล่องดูดความชื้นจนกว่าจะนำมาใช้งาน

กลีเซอรอล (Glycerol) จากบริษัท Ajax Finechem ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์

การเตรียมวัสดุเชิงประกอบชีวภาพ

กลูเตนข้าวสาลี กลีเซอรอล (30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) และเถ้าไม้ยางพาราอัตราส่วน 0 5 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของกลูเตนข้าวสาลี (wt.%) ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill mixer) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 นาที จะได้ของผสมที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นของผสมจะถูกเตรียมเป็นแผ่น (13 ซม. × 13 ซม. × 1.5 มม.) ผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัดทางความร้อน (Compression molding) ที่ความดัน 250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

การศึกษาลักษณะเฉพาะและสมบัติของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพ

โครงสร้างทางสัณฐานวิทยา

ศึกษารอยแตกหักที่บริเวณผิวหน้า (surface fracture) ของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) (Quanta 400, FEI)

สมบัติเชิงกล

ทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (Instron model 3365, USA) load cell ขนาด 100 นิวตัน ความเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อนาที

สมบัติทางความร้อน

วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของตัวอย่างด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) (TGA7, Perkin Elmer, USA) โดยให้ความร้อนจากอุณหภูมิ 50 ถึง 600 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อนเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้สภาวะก๊าซไนโตรเจน

การวัดค่าความเป็นกรดต่าง

ตัดชิ้นตัวอย่างขนาด 15×15 ตารางมิลลิเมตร นำไปแช่ในน้ำกลั่นปริมาตร 40 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 วัน วัดค่าความเป็นกรดต่างของน้ำที่แช่ตัวอย่างด้วยเครื่อง pH meter (pH meter FE20/ FG2)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

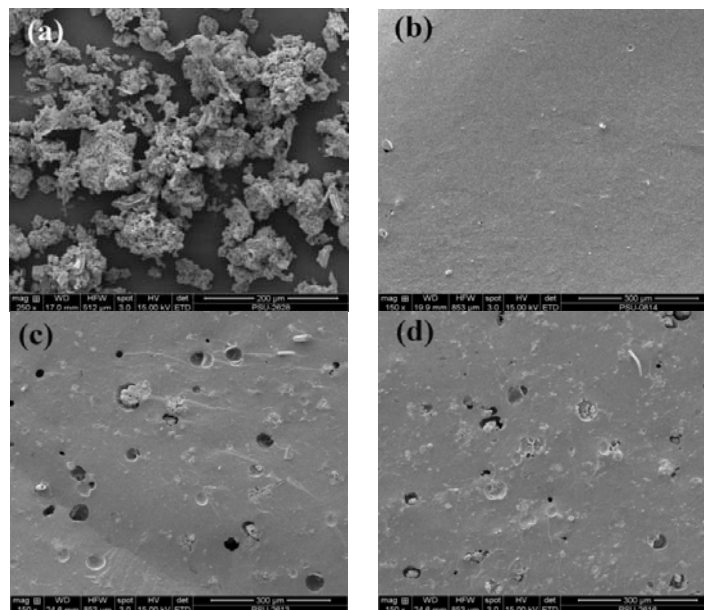
โครงสร้างทางสัณฐานวิทยา

ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี และกลูเตนข้าวสาลีที่ผสมเถ้าไม้ยางพาราแสดงในภาพที่ 1 พบว่าลักษณะผงเถ้าไม้ยางพาราเกิดการเกาะกลุ่มกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ พื้นผิวมีลักษณะที่หยาบ และขรุขระ (ภาพที่ 1(a)) สำหรับพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่ไม่ผสมเถ้าไม้ยางพารา (ภาพที่ 1(b)) พบว่าพื้นผิวมีลักษณะเรียบ และเป็นเนื้อเดียวกัน

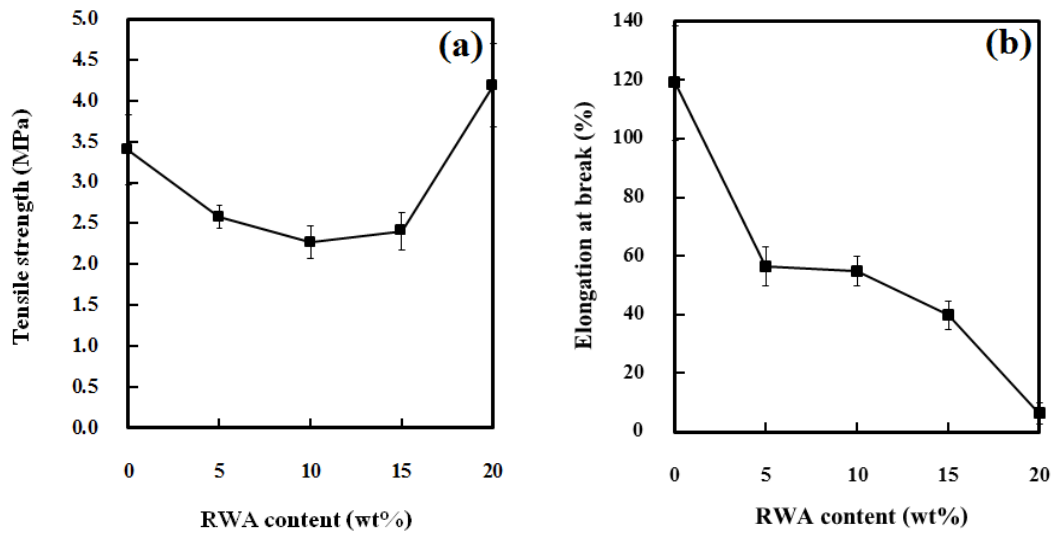
โครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของกลูเตนข้าวสาลีผสมถั่วเหลืองในอัตราส่วน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ภาพที่ 1(c)) พื้นผิวมีลักษณะขรุขระ และรูพรุนจำนวนมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการหลุดออกของถั่วเหลืองที่เกาะกลุ่มกัน แต่เมื่อผสมถั่วเหลืองในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น คือ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ภาพที่ 1(d)) พบว่าปรากฏรูพรุนที่บริเวณพื้นผิวมีจำนวนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนของถั่วเหลือง 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และนอกจากนี้พื้นผิวบางส่วนแสดงให้เห็นถึงอนุภาคของถั่วเหลืองที่ฝังอยู่ในเมทริกซ์ของกลูเตนข้าวสาลี ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการยึดติดกันที่ตรงระหว่างถั่วเหลืองและเมทริกซ์ของกลูเตนข้าวสาลี

สมบัติเชิงกล

ภาพที่ 2 แสดงอิทธิพลของถั่วเหลืองที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี การศึกษาความต้านทานแรงดึง (ภาพที่ 2(a)) พบว่าพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีมีความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 3.40 เมกะปาสคาล และค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีผสมถั่วเหลืองมีค่าสูงขึ้น เมื่อปริมาณของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นโดยเมื่อปริมาณของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นเป็น 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นเป็น 4.19 เมกะปาสคาล ทั้งนี้เนื่องจากถั่วเหลืองมีความเป็นกรดต่างสูง (pH) ดังนั้นเมื่อนำไปผสมกับกลูเตนข้าวสาลี ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดต่างของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 3) ซึ่งค่าความเป็นกรดต่างที่สูงนี้มีอิทธิพลอย่างมากต่อการเกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โปรตีนของกลูเตนข้าวสาลีผ่านกลไกนิวคลีโอฟิลิก (Nucleophilic mechanism) (ภาพที่ 4) หรือซัลเฟอร์ไอออน (Sulfur anion, S⁻) โดยกลไกดังกล่าวสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีภายใต้สภาวะที่มีค่าความเป็นกรดต่างที่สูง [11]

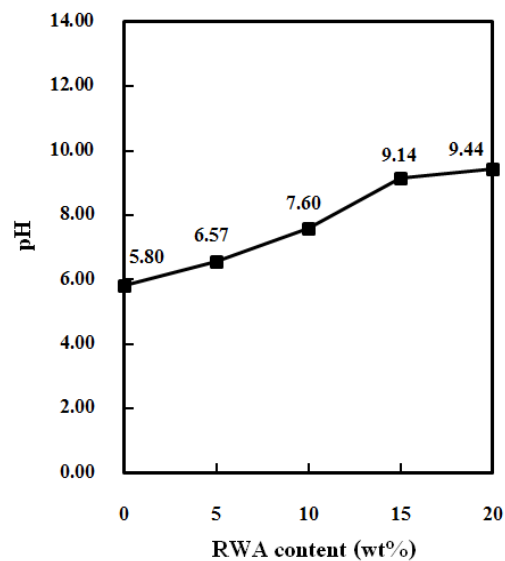


ภาพที่ 1 โครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของ (a) ถั่วเหลือง (b) พลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี (c) กลูเตน ข้าวสาลีผสมถั่วเหลือง 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ (d) กลูเตนข้าวสาลีผสมถั่วเหลือง 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

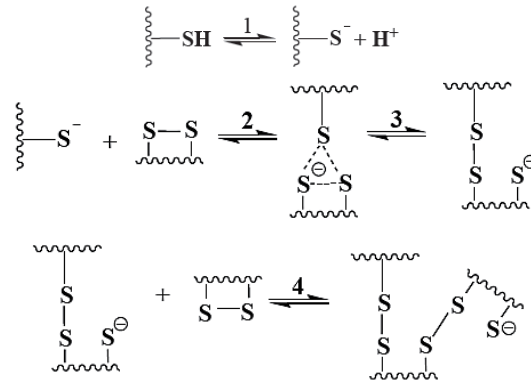


ภาพที่ 2 (a) ค่าความต้านทานแรงดึง และ (b) ระยะยืด ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพที่เสริมแรง ด้วยเส้นใยยางพารา

สำหรับค่าระยะยืด ณ จุดขาด (ภาพที่ (2b)) ของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีเท่ากับ 118.99 เปอร์เซ็นต์ และกลูเตนข้าวสาลีผสมเส้นใยยางพาราในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น พบว่าค่าระยะยืด ณ จุดขาด มีค่าลดลง เนื่องจากการผสมเส้นใยยางพารา จะเพิ่มการเกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โปรตีนของกลูเตนข้าวสาลี ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบชีวภาพมีความยืดหยุ่นลดลง



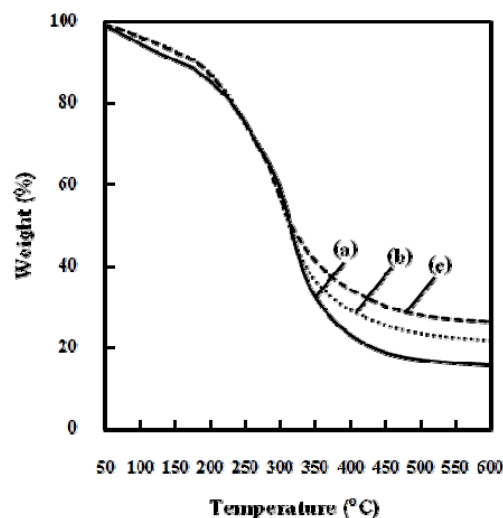
ภาพที่ 3 ค่าความเป็นกรดต่างของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากไม้ยางพารา



ภาพที่ 4 การเชื่อมขวาง (crosslink) ระหว่างสายโซ่โปรตีนผ่านกลไกนิวคลีโอฟิลิก (nucleophilic mechanism) [12]

สมบัติทางความร้อน

เทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส (Thermogravimetric Analysis, TGA) เป็นเทคนิคที่มีความแม่นยำในการวิเคราะห์อุณหภูมิในการเสื่อมสภาพและความเสถียรทางความร้อนของวัสดุ ภาพที่ 5 แสดง TGA เทอร์โมแกรมของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีและกลูเตนข้าวสาลีผสมถั่วเหลืองในอัตราส่วน 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่า ทุกตัวอย่างปรากฏช่วงอุณหภูมิของการสลายตัว 3 ขั้นคือ ขั้นแรกช่วงระหว่างอุณหภูมิ 50 ถึง 150 องศาเซลเซียส เป็นการระเหยของน้ำที่อยู่ในตัวอย่าง ขั้นที่สองระหว่างช่วงอุณหภูมิ 200 ถึง 260 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของกลีเซอรอล [13] และขั้นที่สามช่วงอุณหภูมิ 270 ถึง 360 องศาเซลเซียส เป็นการเสื่อมสภาพของกลูเตนข้าวสาลี โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี และกลูเตนข้าวสาลีผสมถั่วเหลืองในอัตราส่วน 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีค่า 82.81 76.29 และ 71.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นสรุปได้ว่าความเสถียรทางความร้อนของกลูเตนข้าวสาลีสามารถปรับปรุงได้โดยใช้ถั่วเหลืองเป็นสารเสริมแรง



ภาพที่ 5 TGA เทอร์โมแกรมของ (a) พลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี (b) กลูเตนข้าวสาลีผสมถั่วเหลือง 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และ (c) กลูเตนข้าวสาลีผสมถั่วเหลือง 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีโดยใช้เส้นใยพาราเป็นสารเสริมแรงพบว่าเมื่อผสมเส้นใยพาราอัตราส่วน 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เส้นใยพาราจะกระจายตัวและยึดเกาะกับเมทริกซ์ของกลูเตนข้าวสาลีได้ดี และมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด (4.19 เมกกะปาสคาล) และนอกจากนี้เส้นใยพารายังสามารถปรับปรุงเสถียรภาพทางความร้อนของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และโรงไฟฟ้า กัลปายะลากรีน จำกัด ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณ ดร.สิริญญา จันทรักษ์ ที่ให้คำปรึกษาทางด้านภาษาอังกฤษ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kunanopparat, T., Menut, P., Morel, M. -H. and Guilbert, S. (2008a). "Plasticized wheat gluten reinforcement with natural fibers: Effect of thermal treatment on the fiber/matrix adhesion", **Composites: Part A**. 39, 1787-1792.
- [2] Muensri, P., Kunanopparat, T., Menut, P. and Sriwattanayotin, S. (2011). "Effect of lignin removal on the properties of coconut coir fiber/wheat gluten biocomposite", **Composites: Part A**. 42, 173-179.
- [3] Tunc, S., Angellier, H., Cahyana, Y., Chalier, P., Gontard, N. and Gastaldi, E. (2007). "Functional properties of wheat gluten/montmorillonite nanocomposite films processed by casting", **Journal of Membrane Science**. 289, 159-168.
- [4] Zuo, M., Lai, Z., Song, Y. and Zheng, Q. (2008). "Preparation and properties of gluten/calcium carbonate composites", **Chinese Chemical Letters**. 19, 992-995.
- [5] 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.
- [6] Ma, X.F., Yu, J.G., Wang, N. (2007). "Fly ash-reinforced thermoplastic starch composites", **Carbohydrate Polymers**. 67, 32-39.
- [7] Nath, D.C.D., Bandyopadhyaya, S., Campbell, J., Yu, A., Blackburn, D. and White, C. (2010). "Surface-coated fly ash reinforced biodegradable poly(vinyl alcohol) composite films: part 2-analysis and characterization", **Applied Surface Science**. 257, 1216-1221.
- [8] Rahail Parvaiz, M., Mohanty, S., Sanjay Nayak, K. and Mahanwar, P.A. (2011). "Effect of surface modification of fly ash on the mechanical, thermal, electrical and morphological properties of polyetheretherketone composites", **Materials Science and Engineering A**. 528, 4277-4286.
- [9] Satheesh Raja, R., Manisekar, K. and Manikandan, V. (2014). "Study on mechanical properties of fly ash impregnated glass fiber reinforced polymer composites using mixture design analysis", **Materials and Design**. 55, 499-508.

- [10] Satapathy, S., Nag, A. and Bihari Nando, G. (2010). "Thermoplastic elastomers from waste polyethylene and reclaim rubber blends and their composites with fly ash", **Process Safety and Environmental Protection**. 88, 131-141.
- [11] Kaewtatip, K. (2013). "Bioplastics from Wheat gluten", **KKU Science Journal**. 41(2), 309-319.
- [12] Auvergne, R., Morel, M. -H., Menut, P., Gianl, O., Guilbert, S. and Robin, J. -J. (2008). "Reactivity of wheat gluten protein during mechanical mixing: Radical and Nucleophilic reactions for the addition of molecules on sulfur", **Biomacromolecules**. 9, 664-671.
- [13] Sun, S., Song, Y. and Zheng, Q. (2007). "Morphologies and properties of thermo-molded biodegradable plastics based on glycerol-plasticized wheat gluten", **Food Hydrocolloids**. 21, 1005-1013.