การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยต้นสาคู

Production of Biodegradable Plastics from Sago Fibers

สุทธิษา ก้อนเรือง[1*] การะเกด แก้วใหญ่[1] ธวัฒน์ชัย เทพนวล[2] และมาริสา เชษฐวรรณสิทธิ์[3]

Sutthisa Konruang[1*], Karakade Kaewyai[1], Thawatchai Tepnual[2] and Marisa Chatwannasit[3]

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการใช้วัสดุพอลิเมอร์อย่างกว้างขวางเนื่องจากมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น น้ำหนักเบา ความแข็งแรงสูงและทนต่อสารเคมี อย่างไรก็ตามพอลิเมอร์เหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเพราะส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ดังนั้นโครงงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตและสมบัติของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยต้นสาคูโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ตัวอย่างถูกเตรียมโดยวิธีการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 °C ความดัน 500 psi ใช้เวลาในการอัด 15 นาที อัตราส่วนของเส้นใยต้นสาคูต่อตัวประสาน 1:1 6:4 7:3 8:2 9:1 และ 1:0 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพ พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นความหนาแน่นและความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างลดลง ที่อัตราส่วนเส้นใยต่อน้ำแป้งมันสำปะหลังเป็น 1:1 ความต้านทานแรงดึงมีค่าสูงสุดคือ 4.24 ± 0.92 MPa ในทางตรงกันข้ามการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเส้นใยทำให้เกิดช่องว่างในตัวอย่าง ขณะที่ความแข็งมีค่าใกล้เคียงกัน และจากการทดสอบการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพด้วยวิธีการฝังกลบดินเป็นเวลา 28 วัน พบว่าตัวอย่างที่เตรียมจากอัตราส่วนของเส้นใยต่อตัวประสานเป็น 1:0 โดยน้ำหนัก มีความสามารถในการย่อยสลายสูงสุด จากการศึกษาสรุปได้ว่าเส้นใยสาคูสามารถนำมาใช้เตรียมพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับการประยุกต์ใช้ในอนาคตได้

คำสำคัญ: พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ วิธีการอัดขึ้นรูป เส้นใยสาคู แป้งมันสำปะหลัง

Abstract

Nowadays, polymeric materials have been widely used due to their advantage properties such as lightweight, high strength, and chemical resistance. However, the polymers cause environmental pollution problem because most of them are non-biodegradable. Therefore, this research purposed to investigate the production and properties of biodegradable plastic produced from sago fibers using the commercial cassava starch as a binder. The biodegradable plastic was produced by hot compression process at

[1] อ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

[2] ผศ.ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

[3] นิสิตปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์) สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

[1] Lecturer, Dr., Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210, Thailand

[2] Asst. Prof. Dr., Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210, Thailand

[3] Undergraduate Student, Program in Bachelor of Science (Physics), Department of Physics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung, 93210, Thailand

* Corresponding author: Tel.: 074-609607 ext. 2547. E-mail address: sutthisa@tsu.ac.th

(Received: April 21, 2020; Revised: June 9, 2020; Accepted: June 16, 2020)

temperature of 150 °C with 500 psi pressure and holding for 15 min. The ratios between sago fibers and the binder were 1:1, 6:4, 7:3, 8:2, 9:1, and 1:0 by weight. The mechanical and physical properties of all samples were characterized. The results indicated that the fiber content increase, density and tensile strength decreased. The sago fibers to binder at the ratio of 1:1 by weight showed the optimum tensile strength of 4.24 ± 0.92 MPa. In contrast, water absorption of the fibers increased due to the fiber created the voids in the samples, while the hardness of all samples were similar. In addition, the samples were in landfills for 28 days in order to biodegradability test. The sample prepared form sago fibers to binder ratio of 1:0 by weight exhibited the highest degradability. From the study, it can be concluded that sago fibers can be prepared as biodegradable plastic for the future application.

Keywords: Biodegradable Plastic, Compression Process, Sago Fibers, Cassava Starch

บทนำ

ปัจจุบันพลาสติกสังเคราะห์ซึ่งมาจากกระบวนการผลิตน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวันของมนุษย์ การใช้งานพลาสติกเหล่านี้ทำให้เกิดขยะพลาสติกจำนวนมาก เนื่องจากพลาสติกใช้เวลาในการย่อยสลายนานและกระบวนการกำจัดยังก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม [1] ดังนั้นจึงมีการวิจัยและพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable Plastics) มาใช้ทดแทนวัตถุดิบสำหรับผลิตพลาสติกดังกล่าวได้จากธรรมชาติ เช่น แป้งและเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งจัดเป็นวัสดุหมุนเวียนและมีราคาถูก [2] อย่างไรก็ตาม แป้งมีข้อเสียคือการดูดซับความชื้นสูงและสมบัติเชิงกลต่ำ ซึ่งปรับปรุงได้ด้วยการผสมแป้งเข้ากับวัสดุอื่น เช่น เส้นใย วัสดุอนินทรีย์ และพอลิเมอร์ เป็นต้น [3] โดยเส้นใยส่วนใหญ่ได้มาจากพืช เช่น สับปะรด ฟางข้าว ปอ นุ่น กล้วย อ้อย และมะพร้าว เป็นต้น [1-7] งานวิจัยของ Prachayawarakorn *et al*., (2013) [2] ได้ศึกษาสมบัติของวัสดุคอมโพสิตที่เตรียมจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง (Thermoplastic Cassava Starch, TPCS) ผสมกับเส้นใยปอกระเจาและเส้นใยนุ่นโดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ พบว่าค่ามอดูลัสของยังของวัสดุคอมโพสิตเพิ่มขึ้น และงานวิจัยของ Guimarães *et al*., (2010) [7] ที่ได้ศึกษาการเตรียมวัสดุคอมโพสิตจากแป้งข้าวโพดกับเส้นใยจากก้านกล้วยและเส้นใยชานอ้อยร่วมกับกลีเซอรีนและกลีเซอรอล พบว่าค่ามอดูลัสของยังของวัสดุคอมโพสิตสูงขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น

ภาคใต้ของประเทศไทยมีพื้นที่ปาล์มสาคูประมาณ 3,000 เฮกตาร์ [8] ซึ่งจัดเป็นพืชท้องถิ่นที่นำไปใช้ประโยชนได้หลากหลาย เช่น หน่ออ่อนใช้รับประทานสด และใบใช้เป็นวัสดุมุงหลังคาโรงเรือน เป็นต้น นอกจากนี้ต้นสาคูที่มีอายุ 9 ปีขึ้นไปจะมีแป้งสะสมในลำต้นปริมาณมากสามารถนำมาผลิตแป้งสาคูได้ [9] อย่างไรก็ตามมีสิ่งที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต คือ เส้นใยจากลำต้น ซึ่งมีการนำไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเส้นใยจากลำต้นสาคูซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นวัตถุดิบสำหรับการเตรียมพลาสติกชีวภาพ และการวิจัยนี้เลือกใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน เนื่องจากราคาถูก หาได้ง่าย และสมบัติการเป็นตัวประสานที่ดี โดยใช้วิธีการขึ้นรูปแบบอัดขึ้นรูป (Compression Molding) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ง่ายและนิยมใช้ในการผลิตภาชนะในเชิงพาณิชย์ [3] ผลการวิจัยนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพต่อไป

วิธีดำเนินการ

1. วัสดุ

เส้นใยต้นสาคูซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้มาจากตำบลทะเลน้อย อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง เป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตแป้งสาคู และแป้งมันสำปะหลังดิบ (Native Cassava Starch) ยี่ห้อปลาไทย 5 ดาว ใช้เป็นตัวประสาน

2. การเตรียมเส้นใยต้นสาคู

เส้นใยต้นสาคูถูกมาล้างแล้วอบที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำเส้นใยไปบดละเอียดให้มีขนาด 0.5 mm ด้วยเครื่องบดตัวอย่าง รุ่น SK300 ยี่ห้อ Retsch ผลิตโดยบริษัทไซแอนติฟิคโปรโมชั่นจำกัด แล้วอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นนำไปเก็บรักษาไว้ในถุงซิปล็อค เพื่อรอเข้าสู่กระบวนการผสมและอัดขึ้นรูป

3. การเตรียมพลาสติกชีวภาพด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป

การหาปริมาณที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปใช้แป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำที่ผ่านการกรองด้วยระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO) อัตราส่วน 1:4 แล้วผสมเส้นใยต้นสาคูกับตัวประสาน (น้ำแป้งมันสำปะหลัง) ในอัตราส่วน 1:1 และ 1:0 ด้วยเครื่องผสมอาหารเป็นเวลา 15 นาที นำส่วนผสมปริมาณต่างกัน คือ 140 150 160 และ 170 g ใส่ในแม่พิมพ์ขนาด 20 cm × 20 cm × 3 mm แล้วนำไปอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 °C ความดัน 500 psi เป็นเวลา 10 นาที เมื่อทราบปริมาณที่เหมาะสมได้แล้วทำการเตรียมพลาสติกชีวภาพเพื่อศึกษาสมบัติต่าง ๆ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเส้นใยสาคูกับน้ำแป้งมันสำปะหลังเป็น 1:1 6:4 7:3 8:2 9:1 และ 1:0 โดยน้ำหนัก

4. การศึกษาสมบัติของพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ความหนาแน่นของตัวอย่างวัดโดยเครื่องวัดความหนาแน่น รุ่น BSA Series ยี่ห้อ Sartorius ผลิตโดยบริษัทเพอร์เคมจำกัด ขนาดตัวอย่างที่ใช้ทดสอบคือ 2.5 × 2.5 cm^2 ทำการทดสอบเงื่อนไขละ 3 ตัวอย่าง

ความแข็งของตัวอย่างทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง รุ่น GX-02 ยี่ห้อ TECLOCK ผลิตโดยบริษัทเพอร์เคมจำกัด ขนาดตัวอย่างที่ใช้ทดสอบคือ 2.5 × 2.5 cm^2 ทำการทดสอบเงื่อนไขละ 3 ตัวอย่าง

การต้านทานแรงดึงถูกวัดด้วยเครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง ผลิตโดยบริษัทเพอร์เคมจำกัด ขนาดตัวอย่างที่ใช้ทดสอบคือ 125 × 25.4 cm^2 ทำการทดสอบเงื่อนไขละ 5 ตัวอย่าง

การทดสอบการซึมน้ำของตัวอย่างทำโดยตัดตัวอย่างให้ได้ขนาด 2.5 cm × 2.5 cm เงื่อนไขละ 5 ตัวอย่าง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนทดสอบ (W_0) จากนั้นนำตัวอย่างแช่ในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 วินาที แล้วนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ (W_1) และคำนวณหาค่าร้อยละการซึมน้ำจาก (1) [10]

$$\text{Water absorption (\%)} = \left(\frac{W_1 - W_0}{W_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

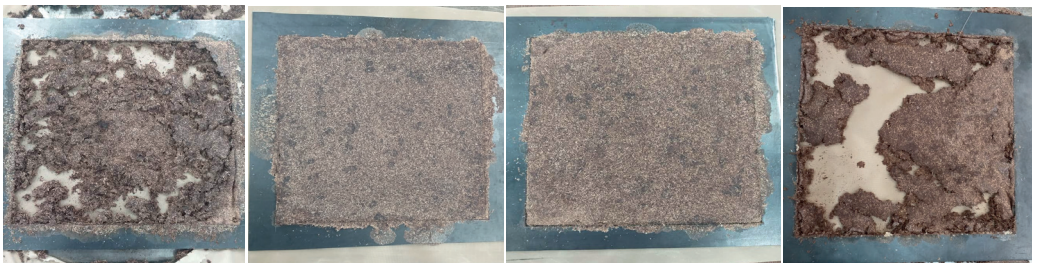
การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพทำโดยการตัดตัวอย่างขนาด 3.5 cm × 3.5 cm เงื่อนไขละ 3 ตัวอย่าง นำไปอบที่อุณหภูมิ 55 °C จากนั้นชั่งน้ำหนักเริ่มต้น (A_0) แล้วฝังในกระถางที่ระดับความลึก 10 cm กลบด้วยดินสำเร็จรูปสำหรับปลูกไม้ดอกไม้ประดับ เป็นเวลา 28 วัน จากนั้นนำมาทำความสะอาด อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 15 นาที แล้วชั่งน้ำหนัก (A_1) คำนวณหาการย่อยสลายดังสมการ (2) [11]

$$\text{Biodegradation}(\%) = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100 \quad (2)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ปริมาณตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปพลาสติกชีวภาพ

ตัวอย่างที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนเส้นใยต้นสาคูต่อน้ำแป้งมันสำปะหลัง 1:1 สามารถอัดขึ้นรูปได้ดีที่ปริมาณ 150 และ 160 g แต่ไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้ที่ปริมาณ 140 และ 170 g เนื่องจากส่วนผสมปริมาณ 140 g น้อยเกินไปไม่สามารถกระจายตัวได้เต็มปริมาตรของแม่พิมพ์ ขณะที่ปริมาณส่วนผสม 170 g มากเกินไป ขณะอัดที่อุณหภูมิสูงเกิดการระเหยของไอน้ำอย่างรวดเร็ว เมื่อทำการปิดแม่พิมพ์ไอน้ำภายในเนื้อวัสดุจะดันตัวออกมามากทำให้ตัวอย่างเสียหาย [12] ดังแสดงภาพในที่ 1 ขณะที่ตัวอย่างที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนสาคูต่อน้ำแป้งมันสำปะหลัง 1:0 สามารถอัดขึ้นรูปได้ทุกปริมาณ เนื่องจากเส้นใยสาคูตัวอย่างมีความหนาแน่นต่ำเมื่อชั่งน้ำหนักตัวอย่างเท่ากันกับอัตราส่วน 1:1 จะได้ปริมาณมากกว่าและเพียงพอต่อการอัดในแม่พิมพ์ ดังนั้นปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการทดลองคือ 150 g เพราะเป็นปริมาณที่น้อยที่สุดที่สามารถอัดขึ้นรูปได้

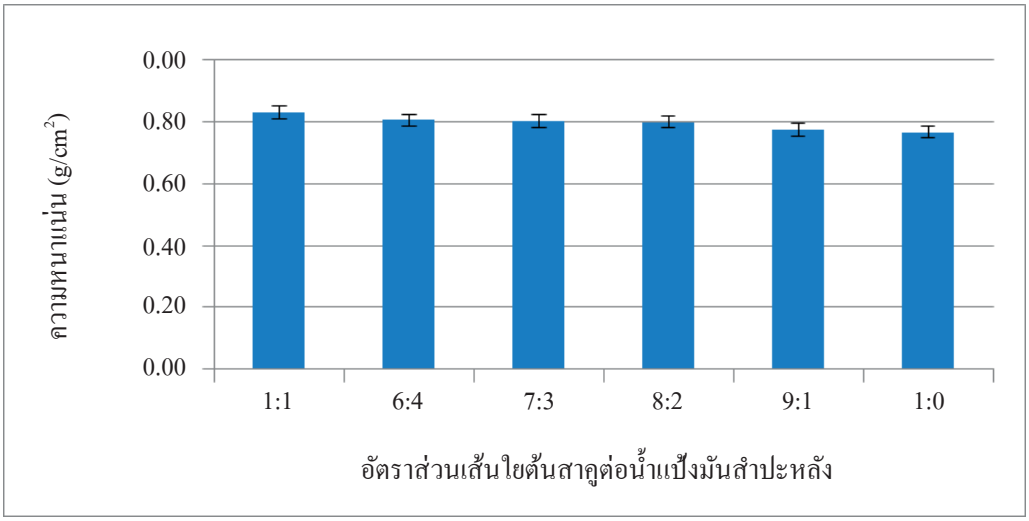


(a) (b) (c) (d)

ภาพที่ 1 ตัวอย่างที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนเส้นใยต้นสาคูต่อน้ำแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก โดยใช้ปริมาณต่างกัน (a) 140 g (b) 150 g (c) 160 g และ (d) 170 g

2. ผลการศึกษาความหนาแน่น

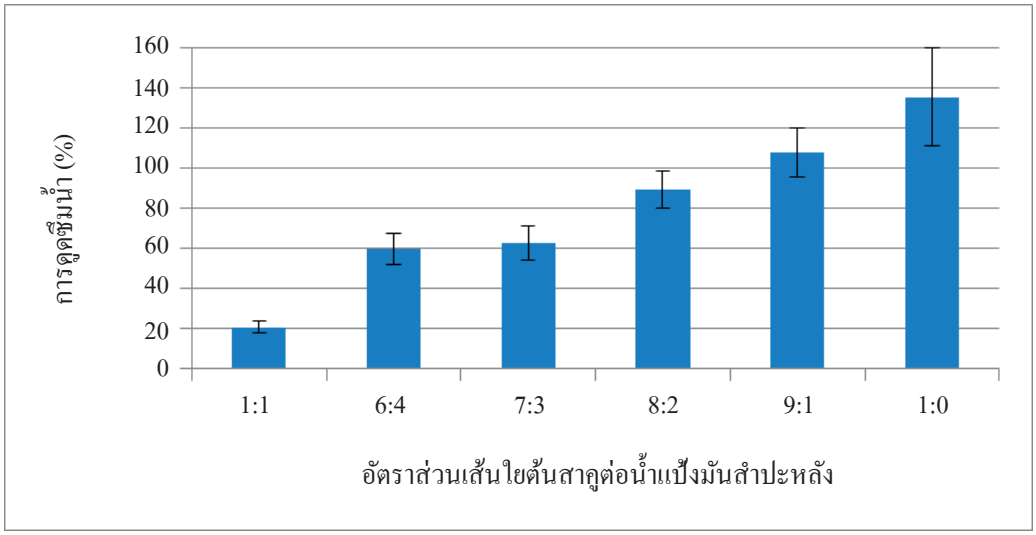
จากการทดลองหาความหนาแน่นของพลาสติกชีวภาพที่เตรียมจากเส้นใยต้นสาคูและน้ำแป้งมันสำปะหลัง พบว่าความหนาแน่นของตัวอย่างมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อปริมาณของเส้นใยมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยความหนาแน่นมีค่ามากที่สุดที่อัตราส่วน 1:1 คือ 0.83g/cm^3 และมีค่าน้อยที่สุดที่อัตราส่วน 1:0 คือ 0.76 g/cm^3 เนื่องจากตัวอย่างที่มีปริมาณเส้นใยมากจะเกิดช่องว่างภายในตัวอย่างสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Schmidt *et al*., (2010) [13]



ภาพที่ 2 ความหนาแน่นของพลาสติกชีวภาพที่เตรียมจากเส้นใยต้นสาคูและน้ำแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนต่าง ๆ

3. สมบัติการดูดซึมน้ำ

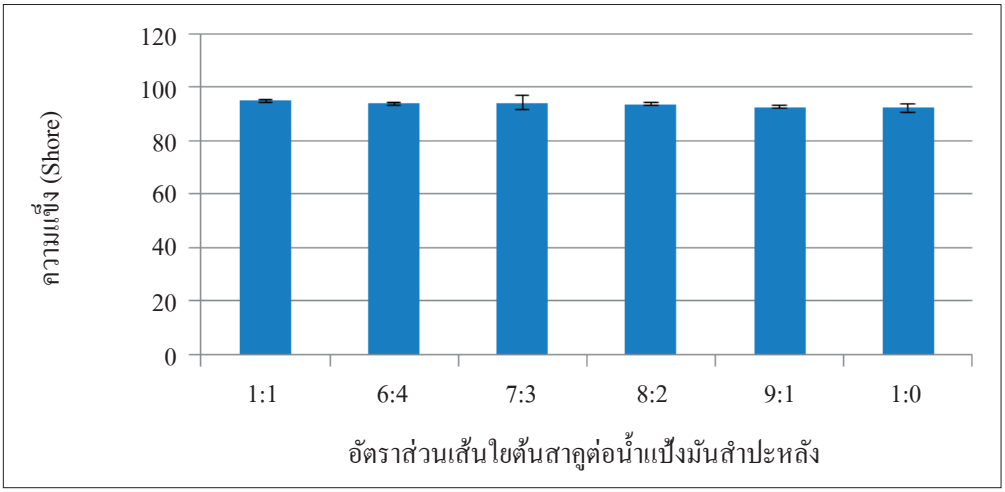
สมบัติการดูดซึมน้ำเป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญอย่างหนึ่งของพาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จากการศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำ พบว่าร้อยละของการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยในตัวอย่างเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยดูดซึมได้มากที่สุดที่อัตราส่วน 1:0 คือ 135.5 % และน้อยที่สุดที่อัตราส่วน 1:1 คือ 20.7 % เนื่องจากปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดช่องว่างภายในตัวอย่างมากขึ้น น้ำแทรกซึมผ่านเข้าไปสู่ตัวอย่างได้มาก [2] ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาความหนาแน่นของตัวอย่าง



ภาพที่ 3 การดูดซึมน้ำของพลาสติกชีวภาพที่เตรียมจากเส้นใยต้นสาคูและน้ำแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนต่าง ๆ

4. การทดสอบความแข็ง

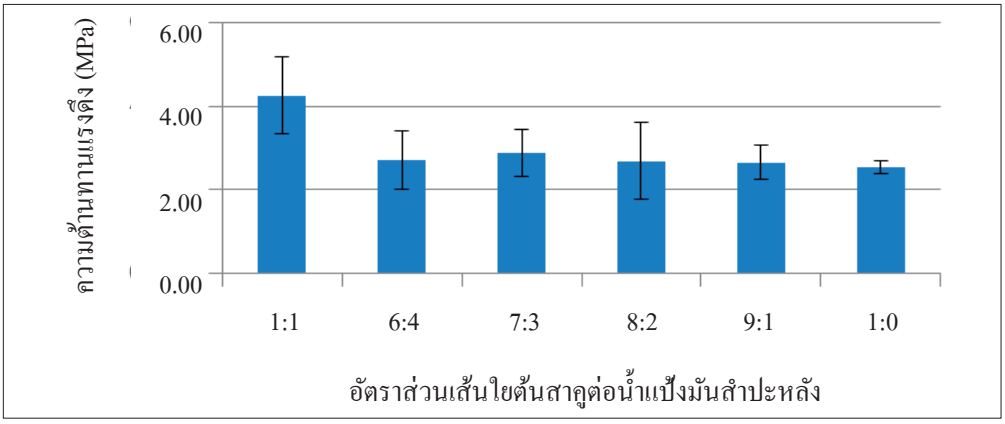
จากการทดสอบความแข็งของตัวอย่างพบว่าปริมาณของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งของตัวอย่าง ตัวอย่างทั้งหมดมีค่าความแข็งใกล้เคียงกัน คือ 92-94 ShoreA ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ความแข็งของพลาสติกชีวภาพที่เตรียมจากเส้นใยต้นสาคูและน้ำแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน

5. การทดสอบการต้านทานแรงดึง

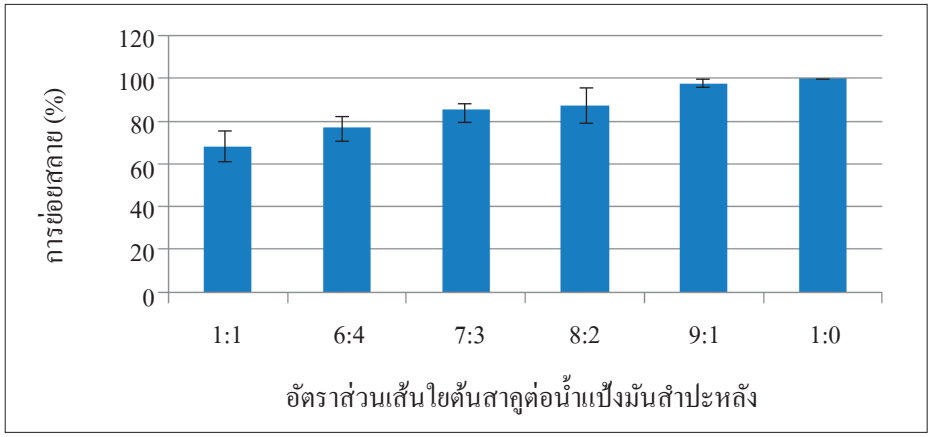
ความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างแสดงในภาพที่ 5 ความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยต้นสาคูเพิ่มขึ้น โดยความต้านทานแรงดึงสูงสุดและต่ำสุดได้จากตัวอย่างที่เตรียมจากอัตราส่วน 1:1 และ 1:0 คือ 4.24 ± 0.92 MPa และ 2.53 ± 0.16 MPa ตามลำดับ การลดลงของความต้านทานแรงดึงนี้เนื่องมาจากการเกิดช่องว่างภายในตัวอย่างเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย



ภาพที่ 5 ค่าการต้านทานแรงดึงของพลาสติกชีวภาพที่เตรียมจากเส้นใยต้นสาคูและน้ำแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนต่าง ๆ

6. การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ

ทดสอบการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพด้วยวิธีการฝังกลบดิน พบว่าร้อยละการย่อยสลายของตัวอย่างสูงขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นส่งผลให้โครงสร้างภายในมีความพรุนสูง สามารถดูดซับน้ำจากดินได้มาก [11,14] ส่งผลให้ตัวอย่างมีการบวมน้ำมากขึ้น นำไปสู่การสูญเสียมวลในระหว่างการสลายตัวของพอลิเมอร์ [15] ในตัวอย่างที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนเส้นใยต้นสาคูต่อน้ำแป้งมันสำปะหลังเป็น 1:0 ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ 100 % ในเวลา 28 วัน แสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพที่เตรียมจากเส้นใยต้นสาคูและน้ำแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนต่าง ๆ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยต้นสาคูซึ่งใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน พบว่าปริมาณที่เหมาะสมของส่วนผสมในการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C ความดัน 500 Psi ในแม่พิมพ์ขนาด 20 cm × 20 cm × 3 mm คือ 150 g ซึ่งเป็นปริมาณน้อยที่สุดที่ขึ้นรูปได้ จากการศึกษาสมบัติของตัวอย่าง พบว่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างลดลง เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ขณะที่การดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเส้นใยทำให้เกิดช่องว่างในตัวอย่าง อย่างไรก็ตามความแข็งไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ และการทดสอบการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพด้วยวิธีการฝังกลบดิน พบว่าตัวอย่างย่อยสลายได้มากขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่อัตราส่วน 1:0 สามารถย่อยสลายได้หมด จากการศึกษาสรุปได้ว่าเส้นใยสาคูเป็นวัสดุทางเลือกที่สามารถนำมาพัฒนาเพื่อใช้ทดแทนพอมิเมอร์สังเคราะห์ได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยโครงการวิจัยเงินรายได้ มหาวิทยาลัยทักษิณ กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ประเภททุนวิจัยพื้นฐาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ และขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณสำหรับความอนุเคราะห์เครื่องมือการทดลองและวิเคราะห์ตัวอย่าง

References

[1] Silva-Guzmán, J. A., Anda, R. R., Fuentes-Talavera, F. J., Manríquez-González, R., & Lomelí-Ramírez, M. G. (2018). Properties of thermoplastic corn starch based green composites reinforced with barley (*Hordeum vulgare* L.) straw particles obtained by thermal compression. *Fibers and Polymers*, *19*(9), 1970–1979.

[2] Prachayawarakorn, J., Chaiwatyothin, S., Mueangta, S., & Hanchana, A. (2013). Effect of jute and kapok fibers on properties of thermoplastic cassava starch composites. *Materials and Design*, *47*, 309–315.

[3] Corradini, E., de Carvalho, A. J. F., da Silva Curvelo, A. A., Agnelli, J. A. M., Mattoso, L. H. C. (2007). Preparation and characterization of thermoplastic starch/zein blends. *Materials Research*, *10*(3), 227–231.

[4] Jaafar, J., Siregar, J. P., Oumer, A. N., Hamdan, M. H. M., Tezara, C., & Salit, M. S. (2018).Experimental investigation on performance of short pineapple leaf fiber reinforced tapioca biopolymer composites. *BioResources*, *13*(3), 6341–6355.

[5] Lu, D. R., Xiao, C. M., & Xu, S. J. (2009). Starch-based completely biodegradable polymer materials. *eXPRESS Polymer Letters*, *3*(6), 366–375. DOI:10.3144/expresspolymlett.2009. 46.

[6] Kaushik, A., Singh, M., & Verma, G. (2010). Green nanocomposites based on thermoplastic starch and steam exploded cellulose nanofibrils from wheat straw. *Carbohydrate Polymers*, *82*(2), 337–345.

[7] Guimarães, J.L., Wypych, F., Saul, C.K., Ramos, L.P., & Satyanarayana, K.G. (2010). Studies of the processing and characterization of corn starch and its composites with banana and sugarcane fibers from Brazil. *Carbohydrate Polymers*, *80*(1), 130–138.

[8] Flach, M. (1997). *Sago Palm:* (*Metroxylon Sagu* Rottb.). Rome: International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).

[9] Markphan, W., Chankaew, S., & Tiprug, U. (2016). An economic evaluation of the direct use of Sago Palm in Phatthalung province and Trang province. *Thaksin University Journal*, *19*(2), 99–108.

[10] Lui, F., Chiou, B. -S., Avena-Butsillos, R. J., Zhang, Y., Li, Y., McHugh, T. H., & Zhong, F. (2017). Study of combined effects of glycerol and transglutaminase on properties of gelatin films. *Food Hydrocolloids*, *65*, 1–9.

[11] Riyajan, S.A. (2015). Robust and biodegradable polymer of cassava starch and modified natural rubber. *Carbohydrate Polymers*, *134*, 267–277.

[12] Lomeli-Ramírez, M. G., Kestur, S. G., Manriquez-González., R., Iwakiri, S., de Muniz, G. B. d., & Flores-Sahagun, T. S. (2014). Bio-composites of cassava starch-green coconut fiber: Part II-structure and properties. *Carbohydrate Polymers*, *102*, 576–583.

[13] Schmidt, V. C. R., & Laurindo, J. B. (2010). Characterization of foams obtained from cassava starch, cellulose fibres and dolomitic limestone by a thermopressing process, *Brazilian Archives of Biology and Technology, 53*(1), 185–192.

[14] Sanhawong, W., Banhalee, P., Boonsang, S., & Kaewpirom, S. (2017). Effect of concentrated natural rubber latex on the properties and degradation behavior of cotton-fiber-reinforced cassava starch biofoam. *Industrial Crops and Products*, *108*, 756–766.

[15] Riyajan, S., & Patisat, S. (2018). A novel packaging film from cassava starch and natural rubber. *Journal of Polymers and the Environment, 26*(7), 2845–2854.