

การพัฒนาจานข้าวครวจากวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปต้นกล้าข้าวเหนียว สันป่าตอง

นภัสภ์ จันทรมี¹ สุภาพร ดาวทอง² และ จิตินันท์ รัตนพรหม^{3*}

^{1,2}คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

^{1,2}หน่วยวิจัยวัสดุผสมและการสร้างต้นแบบโดยใช้การพิมพ์สามมิติ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

³คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

^{1,2,3} 63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

รับบทความ 19 มิถุนายน 2565 แก้ไขบทความ 12 มิถุนายน 2566 ตอรับบทความ 29 มิถุนายน 2566

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากเศษเหลือทิ้งจากการแปรรูปเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจ
หมุนเวียนได้รับความสนใจอย่างมาก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มคุณค่าเศษใบข้าวเหลือทิ้งจากการแปรรูปต้น
กล้าข้าวเหนียวสันป่าตองโดยการนำมาเป็นส่วนผสมในการผลิตจานข้าวครวจากโฟมแข็งที่ประกอบด้วยวิธีการกดอัดทาง
ความร้อน ปริมาณเศษใบข้าวเหลือทิ้งไม่เกินร้อยละ 14 โดยน้ำหนักของปริมาณแป้ง สภาวะการอัดคืออุณหภูมิของ
แม่พิมพ์ 170 องศาเซลเซียส ความดัน 14 เมกกะปาสคาล ได้จานข้าวครวขนาดพื้นที่ 144 ตารางเซนติเมตร ความหนา
1 – 2 มิลลิเมตร น้ำหนักเบา มีความหนาแน่น 0.20 – 0.46 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นไม่ขึ้นกับปริมาณ
ของเศษใบข้าวเหลือทิ้ง มีความต้านทานแรงดัด 3.2 – 3.5 เมกกะปาสคาล ซึ่งยังคงต่ำกว่าจานข้าวครวที่มีขายใน
ท้องตลาดปัจจุบัน (4.18 ± 0.45 เมกกะปาสคาล) ความสามารถในการดูดซับน้ำของจานข้าวครวจากโฟมแข็งลดลงเมื่อ
เพิ่มปริมาณเกล็ดในส่วนผสมและปริมาณน้ำยางพาราไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของปริมาณแป้ง การเคลือบผิว
หน้าจานข้าวครวด้วยพอลิแลคติกแอซิดช่วยลดอัตราการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่ชิ้นงานได้

คำสำคัญ : เศษใบข้าวเหลือทิ้งจากการแปรรูป; จานข้าวครว; โฟมแข็ง; น้ำยางพารา

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +669 2694 1539, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: tithinun@mju.ac.th

Development of Single-use Plate from waste of Sanpatong Seedling

Napat Chantaramee¹ Supaporn Daotong² and Tithinun Rattanaplome^{3*}

^{1,2}Faculty of Science, Maejo University

^{1,2}Composite Materials and 3D Prototyping Research Unit, the Office of Agricultural Research and Extension, Maejo University

³Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University

^{1,2,3} 63 Moo 4, Nongharn, Sunsai, Chiangmai, 50290

Received 19 June 2022; Revised 12 June 2023; Accepted 29 June 2023

Abstract

Recently, it has been of great interest involving to mitigate the environmental impact by changing the plant processing waste towards the circular economy concept. This research was aimed to add value to waste from processing of Sanpatong sticky rice seedling. Disposable plate was made from starch foam mixed with waste from processing of Sanpatong sticky rice seedling by compression molding. The content of rice seedling waste was not more than 14 weight percent of starch foam. The compression condition is 170 °C with the pressure of 14 MPa. The area, the thickness, and the density of disposable container are 144 cm², 1-2 mm. and 0.20-0.46 g/cm³, respectively. The disposable plate is light and the density does not depend on the content of waste of rice seedling. The flexural strength of disposable plate is about 3.2-3.5 MPa which is lower than that of commercial one. The water adsorption of disposable plate decreased when adding not more than 10 wt% of kaolin and latex rubber in starch foam. Coating with polylactic acid on disposable container can also reduce the water adsorption.

Keywords : Waste from processing or rice seedling; Disposable plate; Starch foam; Latex rubber

* Corresponding Author. Tel.: +662 694 1539, E-mail Address: tithinun@mju.ac.th

1. บทนำ

งานแบบชั่วคราวแบบใช้แล้วทิ้ง (Single-use plate) ที่ทำจากพอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) ก่อให้เกิดปัญหาขยะที่เป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก โฟมแข็งถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนโฟมจากพลาสติกสังเคราะห์ เพราะแหล่งวัตถุดิบสามารถปลูกซ้ำใหม่ได้อีก (Renewable sources) และวัตถุดิบนี้สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable) แต่อย่างไรก็ตามโฟมแข็งยังมีข้อจำกัดในการใช้งาน คือ มีสมบัติเชิงกลที่ต่ำ เพราะและไวต่อความชื้น

งานวิจัยมากมายได้ทดลองทำโฟมแข็ง เสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลส การผสมยางพารา และสารอินทรีย์ที่ไม่ชอบน้ำเช่น พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid: PLA) ก็ช่วยป้องกันภาชนะโฟมแข็งสัมผัสกับน้ำได้ง่าย เช่น โฟมแข็งที่เสริมแรงด้วยเส้นใยบาร์เลย์ Lopez-Gila et.al., 2015 [1] โฟมแข็งมันสำปะหลังผสมเส้นใยเซลลูโลส และการทำภาชนะโฟมแข็งจากมันฝรั่งเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ [2] N. H. P. Rodrigues et. al. [2] ใช้ Xanthan gum เป็นพลาสติกไซเซอร์ ได้ภาชนะสี่เหลี่ยม มีการดูดซับน้ำสูงสุดเมื่อเติม Xanthan gum และเส้นใยไผ่ร้อยละ 20 ทำให้การดูดซับน้ำสูงสุด และเมื่อเติม Xanthan gum และเส้นใยไผ่ร้อยละ 15 จะมีความทนแรงดึงสูงสุดประมาณ 0.42 MPa ส่วนความหนาแน่นของภาชนะที่ได้ อยู่ใน ช่วง 0.84-1.87 g/cm³ Manangan and Shawaphun [3] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการเคลือบกระดาษชานอ้อยเพื่อใช้บรรจุอาหารด้วยพอลิแลคติกแอซิด โดยใช้กระบวนการจุ่มเคลือบ จากผลการทดลองพบว่า ตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับ PLA คือ เอทิลอะซิเตท ปริมาณพอลิเมอร์ที่เกาะติดบนกระดาษชานอ้อยจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นของพอลิเมอร์มากขึ้นและระยะเวลาในการจุ่มนานขึ้น ความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ 8%w/v และเวลาที่เหมาะสมคือ 20 นาที ทั้งนี้กระดาษที่เคลือบผิว มีคุณสมบัติที่ดีกว่ากระดาษที่

ไม่เคลือบผิว เช่น ความเรียบของพื้นผิว การลดการซึมผ่านของอากาศ ความต้านทานการซึมผ่านของน้ำและน้ำมัน Soykeabkaew et.al. [4] ได้เขียนบทความเรียบเรียงงานวิจัยเกี่ยวกับการทำโฟมแข็งรายงานว่ามีโฟมแข็งไม่แข็งแรง และดูดความชื้นได้ง่าย เพื่อปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคให้ดีขึ้น ขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น มีความทนต่อน้ำ เบาล จึงมีการปรับปรุงสมบัติของโฟมแข็งโดยการปรับปรุงโครงสร้างทางเคมี (Chemical modification of starches), ผสมกับพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Blending with various biodegradable polymers), เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลส (Incorporation of natural fibers) การเติมพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) เช่นน้ำ และ กลีเซอรอล ก็จะทำให้โฟมแข็งขึ้นรูปง่ายขึ้น และได้ผลิตภัณฑ์ที่ยืดหยุ่นในการขึ้นรูปโฟมแข็งด้วยการอบ Sanhawong et. al.[5] ได้ศึกษาผลของน้ำยางขึ้นต่อสมบัติบางประการและการเสื่อมสภาพของโฟมแข็งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย เพื่อพัฒนาโฟมแข็งให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น การดูดซับน้ำลดลง งานวิจัยนี้จึงได้ขึ้นรูปขึ้นงานด้วยวิธีการอัดด้วยความร้อน และใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย สารช่วยการขึ้นรูป และสารก่อฟอง จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางขึ้นถึง 5 phr การดูดซับน้ำลดลง มีความไม่ชอบน้ำมากขึ้น (Hydrophobicity) แสดงว่าโฟมแข็งที่ได้ทนต่อความชื้น ไม่เสียรูปง่าย เมื่อปริมาณน้ำยางขึ้นมีประมาณ 2.5 phr ระยะยืดเมื่อขาดเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 24 แต่ค่ามอดูลัสลดลงเพียงร้อยละ 2.2 จาก การทดสอบการเสื่อมสภาพทางชีวภาพโดยการฝังดิน พบว่าการใส่น้ำยางขึ้นทำให้การเสื่อมสภาพช้าลง Bergel et. al. [6] ได้ศึกษาการเคลือบ PLA ลงบนโฟมแข็งจากมันฝรั่งเพื่อลดการดูดซับความชื้นของโฟมแข็งพบว่าการเคลือบด้วย PLA ปริมาณ 6%w/v ทำให้การดูดซับน้ำลดลง และทำให้ความหนาแน่น ความทนแรงดึง และความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น

ต้นกล้าข้าวเหนียวสันป่าตองซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของจังหวัดเชียงใหม่ กระบวนการนำมาผลิตเป็น

เครื่องต้มเชิงหน้าที่ที่อุดมไปด้วยสารพฤกษเคมี จะมีเศษเหลือทิ้งจากการคั้นเครื่องต้มเชิงหน้าที่ งานวิจัยนี้จึงทดลองนำมาแปรรูปเป็นภาชนะชั่วคราวสำหรับใส่อาหารจะทำให้ได้ภาชนะที่ผลิตจากวัสดุทางธรรมชาติ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าและเป็นการทำให้ขยะจากการแปรรูปเครื่องต้มเชิงหน้าที่เป็นขยะเหลือศูนย์ (Zero waste) โดยส่วนผสมของงานชั่วคราวจึงประกอบด้วยเศษเหลือทิ้งจากการผลิตผงพฤกษเคมีของต้นกล้าข้าวเหนียวสันป่าตองมาผสมในโฟมแข็ง น้ำยางพาราและเคลือบด้วย PLA เพื่อลดการดูดความชื้น โดยศึกษาหาส่วนผสมที่มีความทนแรงดัดโค้งเคียงกับงานชั่วคราวในท้องตลาดและสามารถใช้ประโยชน์เป็นภาชนะใส่อาหารได้ โดยพิจารณาสมบัติกายภาพอื่นๆ ร่วมด้วยเช่นลักษณะโครงสร้างเซลล์ของโพรงหรือฟองอากาศที่เกิดภายในความหนาแน่น การดูดซับน้ำ การคงรูปร่างหลังการดูดซับน้ำ รวมถึงความสะอาดของงานชั่วคราว

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 ขั้นตอนการวิจัย

2.1.1 สารเคมีที่ใช้

เศษใบข้าวเหลือทิ้งจากการแปรรูปต้นกล้าข้าวเหนียวสันป่าตอง (แสดงดังรูปที่ 1) แป้งมันสำปะหลังซื้อจากบริษัทบางกอกอินเตอร์ฟู้ดจำกัด น้ำยางธรรมชาติซื้อจากบริษัทคึกคักไฟร์ กลีเซอรอล แมกนีเซียมสเตียเรต ไซฟิงธรรมชาติ ซื้อจากบริษัทยูเนี่ยน ชายน์ จำกัด กัวร์กัม จาก Wendt-Chemie เกาหลินจาก Imerys ส่วนพอลิแลคติกแอซิด เกรด 2003D จาก Nature work และเอทิลอะซิเตท ยี่ห้อ J T Baker ซื้อจากบริษัทเอทีชายน จำกัด

2.1.2 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง

นำใบข้าวเหลือทิ้งจากการแปรรูปต้นกล้าข้าวเหนียวสันป่าตอง ตากแดด อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้น

ย่อยบั่นลดขนาดด้วยเครื่องบั่นละเอียดแบบแห้งแล้วนำเศษใบข้าวเหลือทิ้งดังกล่าวผสมกับส่วนผสมอื่นๆ โดยส่วนผสมหลักประกอบด้วยส่วนผสมที่แปรผัน และส่วนผสมที่คงที่ เช่น ส่วนผสมที่แปรผันเป็นส่วนผสมระหว่างเศษใบข้าวเหลือทิ้ง เกาหลิน และยางพารา โดยที่ AR หมายถึงเศษใบข้าวเหลือทิ้ง K หมายถึงเกาหลิน R หมายถึงน้ำยางพารา ส่วนตัวเลขข้างหลังหมายถึงจำนวนกรัมที่ผสม เช่น AR6 K15 R10 หมายถึงเศษใบข้าวเหลือทิ้งร้อยละ 6 เกาหลิน ร้อยละ 15 น้ำยางพารา ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง 100 ส่วน และทุกสูตรมีส่วนผสมที่คงที่ ได้แก่ น้ำ 100 ส่วน กลีเซอรอล 5 ส่วน กัวร์กัม 1 ส่วน และ แมกนีเซียมสเตียเรต 2 ส่วน โดยผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมอาหารแบบมือจับ จากนั้นอัดขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัดทางความร้อนด้วยเครื่องอัด CT Compression Molding ที่อุณหภูมิ 150 – 200 องศาเซลเซียส ความดัน 10 – 14 เมกะปาสคาล เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้แม่พิมพ์โลหะสแตนเลส เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผสมและเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบความต้านทานแรงดัดรูปสไลด์เปลี่ยนผืนผ้าที่มีความกว้าง 40 มิลลิเมตร หนา 230 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร ตัวอย่างโฟมแข็งจากการขึ้นรูปเก็บในตู้ควบคุมความชื้นอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40 เป็นเวลา 5 วัน ก่อนนำไปทดสอบความต้านทานแรงดัด



รูปที่ 1 เศษใบข้าวเหลือทิ้งจากการแปรรูปต้นกล้าข้าวเหนียวสันป่าตอง

2.1.3 การทดสอบสมบัติของโฟมแข็ง

1. ลักษณะโครงสร้างเซลล์ของโฟมหรือฟองอากาศที่เกิดภายใน และการกระจายของเศษใบข้าวเหลือทิ้งในชิ้นงาน ทำโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM -IT300

2. ความต้านทานแรงดัด ทำการทดสอบด้วยวิธี Three point bending method ด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ NRI-TS-500-10B ใช้โหลดเซลล์ 10 กิโลนิวตัน อัตราเร็วในการกด 2 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ 4 เซนติเมตร ทำการทดสอบอย่างน้อยสุตรละ 10 ชิ้น เพื่อแสดงผลการทดสอบเป็นค่าเฉลี่ย วิเคราะห์ผลโดยใช้สถิติการวิเคราะห์

3. ความหนาแน่น ทำการทดสอบโดยคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและปริมาตร โดยใช้เครื่องชั่งยี่ห้อ BONITA รุ่น BMB224 ความละเอียด 4 ตำแหน่ง และดิจิตอลเวอร์เนียร์ความละเอียด 0.01 มิลลิเมตรในการวัดขนาดของตัวอย่าง การทดสอบทำซ้ำ 3 ตัวอย่างในแต่ละสูตร

4 การวัดปริมาณการดูดซับน้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้วิธีการที่ปรับมาจากรายละเอียดในมาตรฐาน ISO 535 (1991) ที่ใช้สำหรับทดสอบการดูดซึมน้ำของกระดาษและบอร์ด ซึ่งทำโดยตัดตัวอย่างขนาดประมาณ 2.5 เซนติเมตร × 2.5 เซนติเมตร × 0.3 เซนติเมตร และชั่งน้ำหนักก่อนแช่น้ำ จากนั้นจุ่มลงในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิห้องประมาณ 28 องศาเซลเซียส นาน 60 วินาที ชีบน้ำออกจากตัวอย่างและนำไปชั่งน้ำหนักหลังการแช่น้ำ ค่าปริมาณการดูดซับน้ำคำนวณจากน้ำหนักของน้ำที่ตัวอย่างดูดซึมไว้หารด้วยน้ำหนักของตัวอย่างก่อนแช่น้ำ

5 การทดสอบความสามารถในการคงรูปร่างหลังการดูดซับน้ำ ทำโดยแช่ตัวอย่างขนาดประมาณ 2.5 เซนติเมตร × 2.5 เซนติเมตร × 0.3 เซนติเมตร ในน้ำปราศจากไอออน ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 28 องศา

แล้วบันทึกภาพการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ด้วยกล้องดิจิตอล เมื่อเวลาผ่านไป 0 30 และ 60 นาที

2.1.4 การขึ้นรูปต้นแบบงานชั่วคราวและการทดสอบ

ทำโดยใช้เครื่องอัด CT Compression Molding PR1D-W300L300 และแม่พิมพ์โลหะเป็นงานรูปทรงสี่เหลี่ยมตามแม่พิมพ์ (รูปที่ 2) แล้วนำไปทดสอบดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 แม่พิมพ์โลหะสำหรับขึ้นรูปงานชั่วคราว

1. การทดสอบความสะอาดของงานชั่วคราว ด้วยชุดตรวจเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรียขั้นต้น SI-2 จากกองสุขาภิบาลอาหาร กรมอนามัย ซึ่งประกอบด้วยไม้ปั่นสำลี 1 อัน และน้ำยา SI-2 จำนวน 1 ขวด (รูปที่ 3) สำหรับการทดสอบงานชั่วคราว 5 ชิ้น ที่เมื่ออัดขึ้นรูปแล้วเก็บในตู้ควบคุมความชื้นอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40 เพื่อป้องกันการดูดซึมน้ำจากความชื้นจากสิ่งแวดล้อม การทดสอบเริ่มจากการทำความสะอาดมือผู้ทดสอบ และชุดอุปกรณ์การทดสอบด้วยแอลกอฮอล์ 70% เพื่อฆ่าเชื้อแบคทีเรียปนเปื้อนจากแหล่งอื่น หลังจากนั้นทำการจุ่มไม้ปั่นสำลีในขวดน้ำยา SI-2 บิดน้ำยาส่วนเกินออก แล้วป้ายไม้ปั่นสำลีบนผิวงาน จากนั้นจุ่มไม้ปั่นสำลีลงในขวดน้ำยาอีกครั้ง บิดน้ำยาส่วนเกินออกอีกครั้ง นำไปป้ายงานชิ้นต่อไปจนครบ 5 ชิ้น จากนั้นหักไม้ปั่นสำลีกับปากขวด โดยดึงไม่ให้พื้นปากขวดประมาณครึ่งหนึ่งแล้วหักไม้ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 – 48 ชั่วโมง แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีสารละลาย

2. การทดสอบคุณสมบัติของเหลวบนผิวงานชั่วคราว เป็นการทดสอบพื้นผิวที่ไม่เคลือบพอลิแลคติกแอซิด เปรียบเทียบกับที่เคลือบด้วยพอลิแลคติกแอซิด การทดสอบเตรียมตัวอย่างโดยการตัดชิ้นงานให้มีขนาด 1 เซนติเมตร x 1 เซนติเมตร และจัดวางชิ้นงานกับปลายเข็มหยดน้ำห่างกันประมาณ 3 เซนติเมตร หยดน้ำลงบนชิ้นงานแล้วถ่ายภาพ ตามกำหนดเวลาดังนี้ คือ หลังหยดน้ำทันทีเป็นนาที่ที่ 0 นาที่ที่ 5 และนาที่ที่ 10 และวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำกับชิ้นงานด้วย โปรแกรม Image J



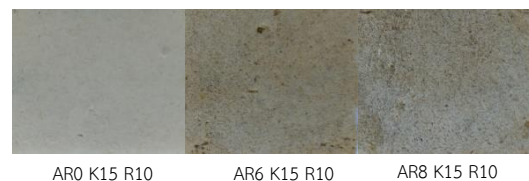
รูปที่ 3 ขวดตรวจเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรียขั้นต้น SI-2

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

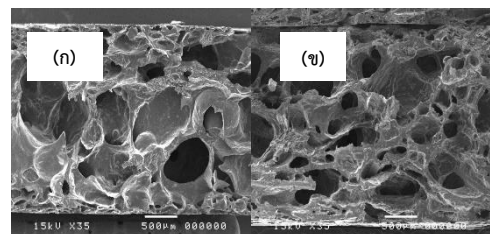
3.1 ผลการทดสอบลักษณะโครงสร้างเซลล์ของโพรงหรือฟองอากาศที่เกิดภายใน

โฟมแข็งที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัดทางความร้อน อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ความดัน 14 เมกกะปาสคาล เป็นระยะเวลา 5 นาที ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 4 มีผิวเรียบ ส่วนภายในประกอบด้วยเซลล์รูพรุนขนาดต่างๆ เกิดจากน้ำที่ผสมในแป้งระเหยกลายเป็นไอ โดยขณะที่แป้งอยู่ในแม่พิมพ์ที่ร้อนจะเกิดเป็นเจลด้วยกระบวนการเจลลาติไนเซชัน ความหนืดเพิ่มขึ้น ความดันภายในแม่พิมพ์เพิ่มขึ้น ความดันของไอน้ำที่อยู่ภายในแม่พิมพ์จึงเกิดการขยายตัวดันแป้งให้เป็นโพรงอากาศพร้อมกับดันเนื้อวัสดุผสมเต็มแม่พิมพ์ ส่วนเกินจะระบายออกทางช่องด้านข้างของแม่พิมพ์เมื่อไอน้ำระเหยออกจนหมดชิ้นงานแห้งจะได้โฟมแข็งที่มีเซลล์รูพรุน

สำหรับโฟมแข็งสูตร ARO K15 R10 (เศษใบข้าวเหลือทิ้ง 0 กรัม เกลือ 15 กรัม น้ำยางพารา 10 กรัม) มีลักษณะสีขาว การเติมเศษใบข้าวเหลือทิ้งทำให้สีของโฟมแข็งเป็นสีน้ำตาลเนื่องจากการสะสมของปริมาณเศษใบข้าวเหลือทิ้งมากขึ้น อย่างไรก็ตาม สังเกตด้วยตาเปล่าไม่พบการกระจายตัวของเศษใบข้าวเหลือทิ้งอย่างชัดเจนตัวอย่างลักษณะโพรงอากาศที่เกิดขึ้นภายในเนื้อโฟมแข็ง ตามรูปที่ 5 ประกอบไปด้วยเซลล์รูพรุนที่มีขนาดใหญ่ ขนาดเล็กปะปนกัน บริเวณผิวบนและล่างปรากฏเซลล์รูพรุนแบบเซลล์ปิดที่มีขนาดเล็กกว่าบริเวณตอนกลางของตัวอย่าง อาจเป็นเพราะบริเวณผิวใกล้แม่พิมพ์มีความร้อนสูงน้ำเดือดเร็ว ระเหยง่าย ทำให้เซลล์โฟมไม่สามารถขยายตัวได้ ลักษณะเซลล์โฟมที่คล้ายกันพบในงานโฟมแข็งจากมันสำปะหลัง [7] และโฟมแข็งผสมก้านอุน [8] รูปที่ 5 (ก) มีขนาดเซลล์โฟมที่แตกต่างจากรูปที่ 5 (ข) อาจเป็นเพราะมีปริมาณเศษใบข้าวเหลือทิ้งมากกว่าขัดขวางการขยายตัวของเซลล์โฟมซึ่งจะสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นแสดงในตารางที่ 4



รูปที่ 4 ผิวหน้าของโฟมแข็งบางสูตรที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัดทางความร้อน 170 องศาเซลเซียส ความดัน 13.8 เมกกะปาสคาล เป็นระยะเวลา 5 นาที



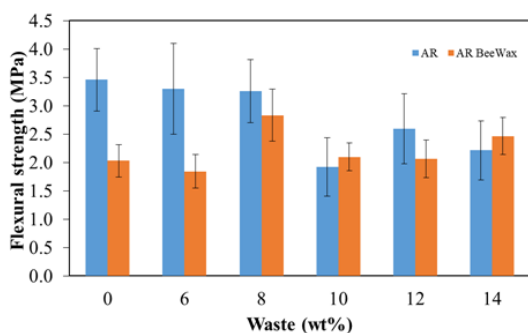
รูปที่ 5 ภาพตัดขวางของโฟมแข็งแสดงลักษณะโพรงอากาศ (ก) ARO K15 R10 และ (ข) AR8 K15 R10

3.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัด

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดด้วยวิธี

Three point bending method ของจานชั่วคราว
จำหน่ายในท้องตลาดซึ่งใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิง จำนวน
10 ชิ้น มีค่า 4.176 ± 0.452 เมกะปาสคาล และผล
การทดสอบความต้านทานแรงดัดของตัวอย่างใน
งานวิจัยนี้แสดงผลเปรียบเทียบในรูปที่ 6 และตารางที่ 1

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan
สามารถสรุปผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความต้านทาน
แรงดัดของโฟมแข็งสูตรที่ไม่ผสมไขขี้ผึ้ง (AR) และผสม
ไขขี้ผึ้ง (AR BeeWax) ได้ดังตารางที่ 1 จากข้อมูล
ดังกล่าว การใช้ไขขี้ผึ้งเป็นส่วนผสมส่งผลให้โฟมแข็งมี
ค่าความต้านทานแรงดัดต่ำกว่า จึงเลือกที่จะไม่ใช้ไขขี้ผึ้ง
เป็นส่วนผสม และโฟมแข็งกลุ่มที่ไม่ผสมไขขี้ผึ้ง AR0
K15 R10, AR6 K15 R10 และ AR8 K15 R10 มี
ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดัดไม่แตกต่างกันทางสถิติ
โดยมีค่าในช่วง 3.2 – 3.5 เมกะปาสคาล แต่เมื่อผสม
เศษใบข้าวเหลือทิ้งมากกว่าร้อยละ 8 ค่าความต้านทาน
แรงดัดลดลง อาจเป็นเพราะเศษใบข้าวเป็นพวกชอบน้ำ
มักดูดซึมความชื้นค่าความต้านทานแรงดัดจึงลดลง ซึ่ง
ผลไปในทางเดียวกับงานวิจัยของ J. B. Engel et. al.
[8] ที่มีการผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและก้านองุ่น
ร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 6 แสดงค่าความต้านทานแรงดัดของโฟมแข็งสูตร
ที่มีการปรับเปลี่ยนปริมาณเศษใบข้าวเหลือทิ้งขณะที่
ปริมาณเกล็นร้อยละ 15 และน้ำยางพาราร้อยละ 10

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความต้านทาน
แรงดัดของโฟมแข็งแต่ละสูตร

กลุ่ม	สูตร	ค่าเฉลี่ย (MPa)	ความแปรปรวน (MPa)
AR	AR0 K15 R10	3.4611 ^a	0.5498
	AR6 K15 R10	3.3016 ^a	0.8002
	AR8 K15 R10	3.2592 ^a	0.5592
	AR10 K15 R10	1.9220 ^b	0.5145
	AR12 K15 R10	2.5957 ^c	0.6147
	AR14 K15 R10	2.2149 ^{bc}	0.5183
AR BeeWax (ผสมไขขี้ผึ้ง)	AR0 K15 R10	2.0307 ^a	0.2858
	AR6 K15 R10	1.8452 ^a	0.2963
	AR8 K15 R10	2.8325 ^b	0.4591
	AR10 K15 R10	2.1002 ^a	0.2479
	AR12 K15 R10	2.0674 ^a	0.3309
	AR14 K15 R10	2.4649 ^c	0.3274

* ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน หมายความว่า ค่าเฉลี่ยมีค่าแตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความต้านทาน
แรงดัดของโฟมแข็งที่ไม่ผสมไขขี้ผึ้งแต่ละสูตร

สูตร	ค่าเฉลี่ย MPa	ความแปรปรวน MPa
AR8 K0 R10	2.6994 ^{ab}	0.3657
AR8 K5 R10	3.1364 ^{bc}	0.8628
AR8 K10 R10	2.4154 ^a	0.5758
AR8 K15 R10	3.2592 ^c	0.5592
AR8 K20 R10	2.6175 ^{ab}	0.4686
AR8 K15 R5	4.1907 ^a	1.3518
AR8 K15 R10	3.2592 ^a	0.5592
AR8 K15 R20	1.8850 ^b	0.3776

* ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน หมายความว่า ค่าเฉลี่ยมีค่าแตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดัดของโฟม
แข็งที่คงปริมาณเศษใบข้าวเหลือทิ้งที่ร้อยละ 8 น้ำ
ยางพาราคงที่ร้อยละ 10 แปรปริมาณเกล็นร้อยละ 0
– 20 และการวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย
วิธี Duncan สามารถสรุปผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

ความต้านทานแรงดัดของโฟมแป่งสูตรที่แปรปริมาณ เกลือ และยางพาราได้ดังตารางที่ 2

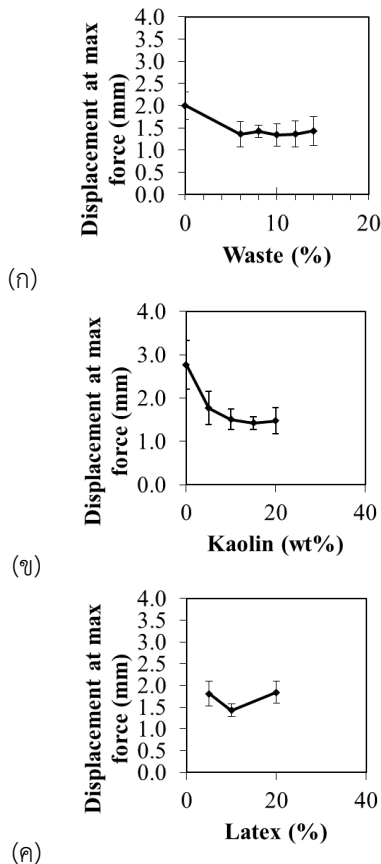
จากข้อมูลตามตารางที่ 2 โฟมแป่งสูตร AR8 K10 R10, AR8 K15 R10, AR8 K15 R5, AR8 K15 R10 มีค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดัดไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามสูตร AR8 K15 R10 ที่ผสมเกลือร้อยละ 15 มีค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดัดสูงกว่าสูตรอื่น ๆ ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดัดของโฟมแป่งที่คงปริมาณเศษใบข้าวเหลือทิ้งคงที่ร้อยละ 8 ปริมาณเกลือร้อยละ 15 ปรับปริมาณน้ำยางพาราร้อยละ 5 10 และ 20 พบว่าโฟมแป่งสูตร AR8 K15 R20 มีค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดัดแตกต่างจากสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ แต่สำหรับโฟมแป่งสูตร AR8 K15 R5 และ AR8 K15 R10 มีค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดัดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดัดของโฟมแป่ง ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า โฟมแป่งเติมเศษใบข้าวเหลือทิ้งที่ร้อยละ 8 (งานวิจัยนี้) ถึงแม้ว่าจะมีความต้านทานแรงดัดที่ต่ำกว่ากรณีงานชั่วคราวจำหน่ายในท้องตลาด แต่ก็ยังจัดว่ามีค่าความต้านทานแรงดัดสูงกว่าโฟมแป่งที่เติมเส้นใยป่าน หรือน้ำมันปาล์ม หรือกากกาแฟ [7]-[9]

ความยืดหยุ่นของตัวอย่างจากการทดสอบ แสดงเป็นกราฟระหว่างการโก่งตัวของโฟมแป่งที่ค่าแรงดัดสูงสุด แสดงเปรียบเทียบไว้ในรูปที่ 7 ขณะที่ตัวอย่างอ้างอิงมีระดับการโก่งตัว 2.103 ± 0.272 มิลลิเมตร จากรูปที่ 7 (ก) ความยืดหยุ่นของโฟมแป่งลดลงหรืออีกนัยหนึ่งคือความสามารถในการต้านทานแรง (Stiffness) เพิ่มขึ้นเมื่อมีการผสมเศษใบข้าวเหลือทิ้ง แต่ปริมาณการผสมเศษใบข้าวเหลือทิ้งร้อยละ 6 – 14 ยังไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความยืดหยุ่น ผลการทดลองเป็นไปตามแนวโน้มเช่นเดียวกับงานวิจัยโฟมแป่งซึ่งเตรียมจากแป้งมันฝรั่ง (Potato starch) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มี

การผสมเศษเส้นใยข้าวโพดของ Cinelli P. et. al. [12] ที่พบว่าความยืดหยุ่นของโฟมแป่งลดลงเมื่อมีการผสมเศษเส้นใยข้าวโพด อย่างไรก็ตามความยืดหยุ่นของโฟมแป่งในงานศึกษานี้มีค่าต่ำกว่าที่ระบุในงานวิจัยของ Cinelli P. et. al. [12] ซึ่งหมายความว่าการใช้ส่วนผสมในงานศึกษานี้ทำให้โฟมแป่งมีความสามารถในการต้านทานแรงที่ดีกว่าระบบแป้งมันฝรั่งผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเศษเส้นใยข้าวโพด สำหรับรูปที่ 7 (ข) ความยืดหยุ่นของโฟมแป่งลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมีการผสมเกลือ โดยความยืดหยุ่นค่อนข้างคงที่เมื่อผสมเกลือร้อยละ 15 – 20 และจากรูปที่ 7 (ค) ความยืดหยุ่นของโฟมแป่งค่อนข้างใกล้เคียงกันเมื่อผสมน้ำยางพาราระหว่างร้อยละ 5 – 20

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดัดของโฟมแป่ง

โฟมแป่ง	ค่าความต้านทานแรงดัด (MPa)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
งานชั่วคราวจำหน่ายในท้องตลาด	4.18 ± 0.45	n/a
โฟมแป่งผสมเศษใบข้าวเหลือทิ้งที่ร้อยละ 8 (งานวิจัยนี้)	3.2 – 3.5	0.20 – 0.46
โฟมแป่งผสมก้านอุน์ร้อยละ 7 [8]	2.5 ± 0.4	0.18 ± 0.002
โฟมแป่งมันสำปะหลัง [8]	2.9 ± 0.6	0.21 ± 0.002
โฟมพอลิสไตรีน [8]	0.57 ± 0.06	0.031 ± 0.003
โฟมแป่งผสมเส้นใยป่าน [9]	2.19 – 2.52	0.242
โฟมแป่งผสมเส้นใยคราฟ [10]	2.5 – 5.3	n/a
โฟมแป่งผสมน้ำมันปาล์ม [10]	0.3 – 1.1	n/a
โฟมแป่งผสมกากกาแฟที่ร้อยละ 10 [11]	2.98	0.15 – 0.26



รูปที่ 7 การโค้งตัวของโฟมแข็งที่ค่าแรงดัดสูงสุด เมื่อ (ก) ปริมาณเกลินร้อยละ 15 น้ำยางร้อยละ 10 แปร ปริมาณเศษใบข้าว (ข) ปริมาณเศษใบข้าวร้อยละ 8 น้ำ ยางร้อยละ 10 แปรปริมาณเกลิน (ค) ปริมาณเศษใบ ข้าวร้อยละ 8 เกลินร้อยละ 15 แปรปริมาณน้ำยาง

3.3 ผลการทดสอบความหนาแน่น

ความหนาแน่นของโฟมแข็งสรุปในตารางที่ 4 ซึ่งในภาพรวมพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.20 - 0.46 กรัมต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของโฟมแข็งมีค่า ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเศษใบข้าวเหลือทิ้งเพิ่มขึ้น ความ หนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขนาดเซลล์โฟมลดลง (รูปที่ 5) โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณเศษใบข้าวเหลือทิ้งเพิ่ม จากร้อยละ 0 ในสูตร AR0 K15 R10 เป็นร้อยละ 12 ใน สูตร AR0 K15 R10 ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น 50% จาก 0.303 เป็น 0.459 สำหรับกรณีโฟมแข็งที่ผสมเศษใบ

ข้าวเหลือทิ้งและน้ำยางพาราปริมาณคงที่นั้น ค่าความ หนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมเกลินที่มาก ขึ้น แต่ในปริมาณการเติมเกลินร้อยละ 15 และ 20 ค่า ความหนาแน่นใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaewtatip K. et. al. [13] ซึ่งได้ศึกษาผลของปริมาณ เกลินในโฟมแข็งที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัดทางความ ร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความดัน 6.89 เมกกะปาสคาล เป็นเวลา 5 นาที ที่พบว่าโฟมแข็งมี ค่าความหนาแน่น 0.21 0.23 0.24 0.25 0.27 และ 0.29 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณเกลิน จากร้อยละ 0 เป็น ร้อยละ 3 6 9 12 และ 15 โดย น้ำหนัก ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบความหนาแน่นของโฟม แข็งแต่ละสูตร

กลุ่ม	สูตร	ความหนาแน่น g/cm ³
AR	AR0 K15 R10	0.303 ± 0.016
	AR6 K15 R10	0.395 ± 0.023
	AR8 K15 R10	0.446 ± 0.026
	AR10 K15 R10	0.338 ± 0.035
	AR12 K15 R10	0.459 ± 0.009
	AR14 K15 R10	0.413 ± 0.009
AR8 K(x) R10	AR8 K0 R10	0.167 ± 0.017
	AR8 K5 R10	0.259 ± 0.048
	AR8 K10 R10	0.235 ± 0.020
	AR8 K15 R10	0.446 ± 0.026
	AR8 K20 R10	0.352 ± 0.013
AR8 K15 R(x)	AR8 K15 R5	0.436 ± 0.037
	AR8 K15 R10	0.446 ± 0.026
	AR8 K15 R20	0.290 ± 0.009

ในกรณีโฟมแข็งที่ผสมเศษใบข้าวเหลือทิ้งและ เกลินในปริมาณคงที่ พบว่า เมื่อใช้น้ำยางพาราปริมาณ ร้อยละ 5 และ 10 โฟมแข็งมีค่าความหนาแน่นใกล้ เคียงกัน แต่กลับลดลงเมื่อปริมาณน้ำยางพาราเพิ่มเป็น

ร้อยละ 20 เนื่องจากการเติมน้ำยาฟาราในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้สัดส่วนของของแข็ง (Solid content) ลดต่ำ ทั้งยังเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำที่จะทำให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวภายในเนื้อวัสดุมากขึ้นไปอีกด้วย ซึ่งส่งผลกลับมายังค่าความต้านทานแรงดัดที่มีแนวโน้มลดต่ำลงเช่นกัน ค่าความหนาแน่นที่ลดลง เมื่อมีปริมาณน้ำมากสอดคล้องกับงานวิจัยโฟมแข็งผสมก้านอ่อนที่อธิบายว่าปริมาณน้ำมาก ความหนืดของส่วนผสมต่ำ ทำให้มีการขยายตัวของเซลล์โฟมได้ดี ผนังเซลล์บาง เซลล์โฟมมีขนาดใหญ่ ความหนาแน่นจึงต่ำ ค่าความหนาแน่นในตารางที่ 4 เป็นค่าที่อยู่ในช่วงเดียวกันกับงานวิจัยโฟมแข็งต่างๆ ดังที่แสดงเปรียบเทียบในตารางที่ 3 และมีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นของโฟมแข็งผสมฝ้ายและน้ำยาวัลคาไนซ์จากงานวิจัยของ Sanhawong et al. [5] ซึ่งได้ค่าระหว่าง 0.28 – 0.44 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือจากงานวิจัยของ Vercelheze et al. [14] ที่รายงานความหนาแน่นโฟมแข็งผสมเส้นใยชานอ้อย 0.25 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เช่นกัน

3.4 ผลการวัดปริมาณการดูดซับน้ำที่อุณหภูมิห้อง

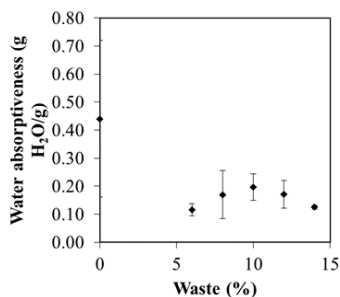
จากปริมาณการดูดซับน้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีการใช้เกลิน (รูปที่ 9(ข)) กรณิโฟมแข็งที่ผสมเกลินและน้ำยาฟาราปริมาณคงที่ (รูปที่ 9 (ก)) ความสามารถในการดูดซับน้ำลดลงเมื่อมีการใช้เศษใบข้าวเหลือทิ้งในปริมาณที่มากขึ้น อาจเป็นเพราะลักษณะเส้นใยทำให้ชิ้นงานไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ซึ่งสอดคล้องกับงานของ N. H. P. Rodrigues et. al [2] แต่ปริมาณเศษใบข้าวเหลือทิ้งร้อยละ 6 – 14 ยังไม่ส่งผลต่อระดับความสามารถในการดูดซับน้ำแตกต่างกันอย่างชัดเจน การดูดซับน้ำที่ลดลงซึ่งเป็นผลมากจากการลดลงของปริมาณแข็งในสัดส่วนผสมที่ทำให้

ปริมาณการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซีของสายโซ่แบ่งกับหมู่ไฮดรอกซีของน้ำน้อยลง แต่ในกรณีโฟมแข็งที่ผสมเศษใบข้าวเหลือทิ้งและเกลินในปริมาณคงที่ พบว่า เมื่อใช้น้ำยาฟาราปริมาณร้อยละ 5 และ 10 ระดับความสามารถในการดูดซับน้ำไม่ต่างกัน แต่เมื่อใช้น้ำยาฟาราปริมาณร้อยละ 20 ความสามารถในการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปได้ว่าปริมาณน้ำในสัดส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณน้ำยาส่งผลให้มีโอกาสเกิดโพรงอากาศภายในเนื้อโฟมแข็งมากกว่าสูตรอื่นในกลุ่มเดียวกันจึงทำให้มีโอกาสดูดซับน้ำได้มากกว่า สอดคล้องกับความหนาแน่นที่ลดลงเมื่อปริมาณน้ำยาที่เพิ่มขึ้นในตารางที่ 4 และงานวิจัยโฟมแข็งผสมก้านอ่อน [8]

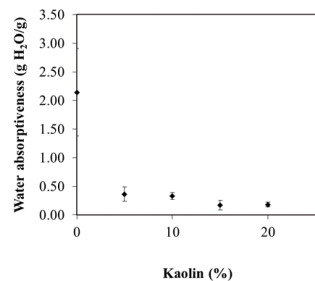
3.5 ผลการทดสอบความสามารถในการคงรูปร่างหลังการดูดซับน้ำ

ผลการทดสอบความสามารถในการคงรูปร่างหลังการดูดซับน้ำก่อนและหลังการแช่ตัวอย่างในน้ำปราศจากไอออน ที่เวลา 30 และ 1 ชั่วโมง แสดงด้วยภาพเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในตารางที่ 5 พบว่า โฟมแข็งส่วนใหญ่สามารถคงรูปร่างได้ภายในเวลา 30 นาที ยกเว้นสูตร AR0 K15 R10, และ กลุ่มสูตร AR8 K(x) R10 ที่มีปริมาณเกลินต่ำกว่า 15 ที่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่สังเกตได้ โดยขอบชิ้นงานพองและยุบ เวลาภายหลังทดสอบการดูดซับน้ำ 30 นาที จึงเหมาะกับการใช้งานกับอาหารที่แห้ง ยังไม่เหมาะกับการใช้กับอาหารที่มีปริมาณน้ำมาก

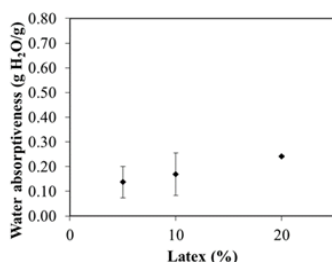
ตัวอย่างงานชั่วคราวขึ้นรูปโดยใช้อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ความดัน 13.8 เมกกะปาสกาล แสดงในรูปที่ 9 ซึ่งเตรียมจากสูตร AR0 K15 R10 ร่วมกับ AR8 K15 R10 ซึ่งผสมขึ้นรูปเป็นงานชั่วคราวในลักษณะสองสี รูปที่ 10 งานชั่วคราวมีผิวหน้าเรียบรูปสี่เหลี่ยมขนาด 12 เซนติเมตร x 12 เซนติเมตร และหนา 1 – 2 มิลลิเมตร



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 8 ปริมาณการดูดซับน้ำของโฟมแบ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 วินาที เมื่อ (ก) ปริมาณกาลีนร้อยละ 15 น้ำยางร้อยละ 10 แปรปริมาณเศษใบข้าว (ข) ปริมาณเศษใบข้าวร้อยละ 8 น้ำยางร้อยละ 10 แปรปริมาณกาลีน (ค) ปริมาณเศษใบข้าวร้อยละ 8 กาลีน ร้อยละ 15 แปรปริมาณน้ำยาง



รูปที่ 9 ตัวอย่างงานชั่วคราว เตรียมจากโฟมแบ่งสูตร ARO K15 R10 โชนสีเข้ม ร่วมกับ AR8 K15 R10 โชนสีอ่อน

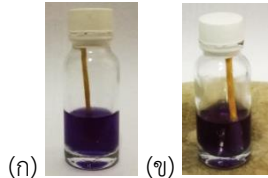
ตารางที่ 5 ความสามารถในการคงรูปร่างหลังการดูดซับน้ำของตัวอย่างบางสูตร

ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ 30 นาที	หลังแช่น้ำ 1 ชั่วโมง
ARO K15 R10		
AR14 K15 R10		
AR8 K0 R10		
AR8 K5 R10		
AR8 K15 R10		

3.6 ผลการตรวจสอบความสะอาดของงานชั่วคราว

ผลการตรวจสอบความสะอาดของงานชั่วคราวด้วยชุดตรวจเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรียขั้นต้น SI-2 สังเกตจากการเปลี่ยนสีของสารตรวจ เมื่อครบ 48 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 11 โดยเปรียบเทียบสีของสารตรวจที่ 0 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง พบว่า สีของสารตรวจเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง ยังคงเป็นสีม่วง แสดงผลเป็นลบ คือ ไม่มีเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ดังนั้นงานที่ผลิตขึ้นมีความสะอาดไม่ปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินอาหาร อาจเป็นเพราะมีการขึ้นรูปผ่านความร้อน และเก็บในตู้ดูดความชื้นทำให้ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ดังนั้นการเก็บรักษาภาชนะชั่วคราวก่อนการใช้งานควรเก็บในที่แห้ง

มีสารดูดความชื้น และบรรยากาศควรมีความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกินร้อยละ 40 เพราะถ้าตัวอย่างดูดความชื้นเข้าไปอาจส่งเสริมให้เกิดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้

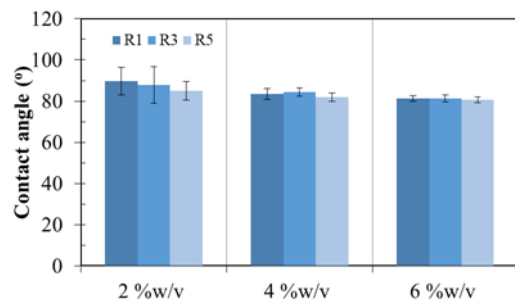


รูปที่ 10 การเปรียบเทียบสีของสารตรวจเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรีย เมื่อเวลา (ก) 0 ชั่วโมง และ (ข) 48 ชั่วโมง

3.7 ผลการทดสอบคุณสมบัติของของเหลวบนผิวงานชั่วคราว

ภาพถ่ายมุมสัมผัสของหยดน้ำบนชิ้นงานไม้เคลือบและเคลือบด้วยพอลิแลคติกแอซิด ที่เตรียมโดยการละลายพอลิแลคติกแอซิดในเอทิลอะซิเตท เป็นความเข้มข้นสารเคลือบ 3 ระดับ คือ 2, 4 และ 6 %w/v โดยเคลือบด้วยจำนวนรอบ 1, 3 และ 5 รอบ (แทนด้วย R1 R3 และ R5 ตามลำดับ) และระยะเวลาของหยดน้ำสัมผัสกับชิ้นงานนาที่ 0, 5 และ 10 นาที่ แสดงดังตารางที่ 6 ผลของความเข้มข้นของพอลิแลคติกแอซิดกับมุมสัมผัสหยดน้ำที่เวลา 0 นาที่ และผลของจำนวนรอบการเคลือบพอลิแลคติกแอซิดกับมุมสัมผัสหยดน้ำแสดงในรูปที่ 11-12 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า เมื่อเคลือบผิวหน้าด้วยพอลิแลคติกแอซิดความเข้มข้น 2 %w/v หรือ 4 %w/v หรือ 6 %w/v มุมสัมผัสหยดน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่เคลือบ แสดงถึงการเคลือบทำให้พื้นผิวชิ้นงานมีความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นอย่างไรก็ตามความเข้มข้นของพอลิแลคติกแอซิดที่เพิ่มขึ้นกลับให้ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำลดลงใกล้เคียงกับชิ้นงานที่ไม่เคลือบ และจากข้อมูลตามรูปที่ 11 พบว่า เมื่อใช้พอลิแลคติกแอซิดความเข้มข้น 2 %w/v ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำลดลงค่อนข้างมากเมื่อรอบการเคลือบเพิ่มขึ้น ส่วนการใช้พอลิแลคติกแอซิดความเข้มข้น 4 %w/v ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำลดลงเช่นกันเมื่อรอบการเคลือบเพิ่มขึ้นแต่อัตราการลดลง

น้อยกว่าของความเข้มข้น 2 %w/v ทั้งนี้จำนวนรอบของการเคลือบไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุมสัมผัสหยดน้ำคือมุม $80^{\circ} - 83^{\circ}$ เมื่อใช้ความเข้มข้นพอลิแลคติกแอซิด 6 %w/v ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานพฤติกรรมความไม่ชอบน้ำของพอลิเมอร์ประเภทพอลิแลคติกแอซิดอยู่ในช่วง $75^{\circ} - 85^{\circ}$ ตามรายงานของ Ratner [15] และ Burg et al. [16]



รูปที่ 11 มุมสัมผัสหยดน้ำของชิ้นงานเคลือบด้วยพอลิแลคติกแอซิด ความเข้มข้น 2, 4 และ 6 %w/v ด้วยจำนวนรอบการเคลือบ 1 3 และ 5 รอบ ที่เวลา 0 นาที่

ดังนั้นการเคลือบผิวชิ้นงานด้วยพอลิแลคติกแอซิดโดยใช้ความเข้มข้นสารเคลือบ 2 - 6 %w/v เคลือบจำนวน 1 รอบ เพียงพอต่อการช่วยลดและชะลออัตราการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่ชิ้นงานได้ สำหรับผลของระยะเวลากับมุมสัมผัสหยดน้ำ แสดงในรูปที่ 12 พบว่าการเคลือบด้วยพอลิแลคติกแอซิดทุกความเข้มข้น เมื่อระยะเวลาผ่านไป 10 นาที่ มุมสัมผัสหยดน้ำของชิ้นงานเคลือบพอลิแลคติกแอซิด มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าชิ้นงานไม่เคลือบอย่างชัดเจน แสดงถึงการเคลือบทำให้พื้นผิวของชิ้นงานไม่ชอบน้ำและช่วยลดอัตราการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่ชิ้นงานได้

การเคลือบด้วยพอลิแลคติกแอซิดช่วยลดการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่ชิ้นงาน เก็บรักษาชิ้นงานได้นานขึ้น ลดความเสี่ยงในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่พอลิแลคติกแอซิดยังมีราคาแพง Chaireh et. al [17] ได้เสนอให้มีการเคลือบโพลีเอสเตอร์จากผักตบชวาด้วยไข่ผึ้งธรรมชาติ ซึ่งราคาถูกกว่าพบว่าชิ้นงานคงรูปร่าง

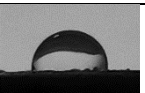
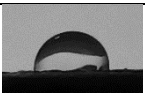
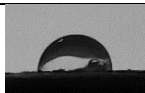
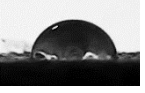
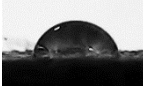
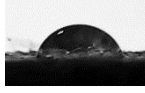
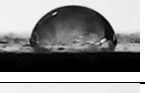
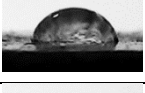
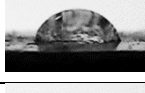
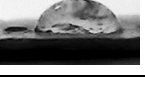
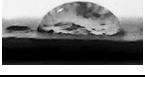
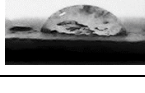
เมื่อจุ่มน้ำกลั่นได้นานขึ้น ความสามารถในการละลายน้ำลดลง งานวิจัยนี้ไม่ได้ใช้ไซซีฟิ๊งเพราะทำให้ความต้านทานแรงดัดลดลง

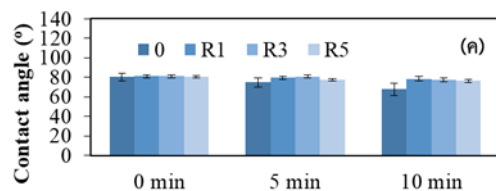
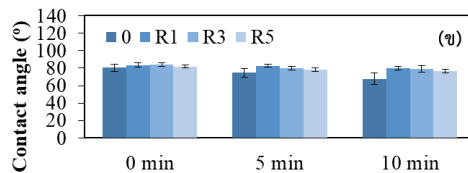
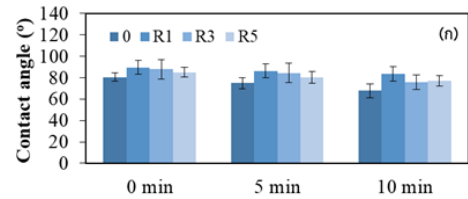
4. สรุป

การทดลองนี้พัฒนาจานชั่วคราวจากวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปต้นกล้าข้าวเหนียวสันป่าตอง โดยนำเศษใบข้าวเหลือทิ้งจากการแปรรูปต้นกล้าข้าวเหนียวสันป่าตองมาผสมกับแป้งมันสำปะหลัง เกาหลินและน้ำยางพารา และสารตัวเติมอื่นๆ

ความต้านทานแรงดัดเป็นข้อมูลสำคัญที่จะบ่งบอกถึงการเสียรูปขณะใช้งานได้อย่างชัดเจน เศษใบข้าวเหลือทิ้งจากการแปรรูปต้นกล้าข้าวเหนียวสันป่าตองไม่ช่วยเพิ่มค่าความต้านทานแรงดัดของโฟมแป้งโดยเฉพาะอย่างยิ่งหากมีการใช้ผสมในสัดส่วนที่มากกว่าร้อยละ 8 จะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดัดต่ำลง การใช้เกาหลินผสมในสัดส่วนร้อยละ 15 – 20 ส่งผลให้โฟมแป้งแสดงความสามารถในการต้านทานแรงในช่วงอิลาสติกลิมิตได้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 6 ลักษณะหยดน้ำสัมผัสชิ้นงานบางสูตรที่ระยะเวลาต่างๆ

ชิ้นงาน	ระยะเวลาหยดน้ำบนชิ้นงาน (นาท)		
	0	5	10
ไม่เคลือบ (0)			
2%w/v R1			
2%w/v R5			
6%w/v R1			
6%w/v R5			



รูปที่ 12 มุมสัมผัสหยดน้ำของชิ้นงานที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วยพอลิแลคติกแอซิด ความเข้มข้น (ก) 2 %w/v (ข) 4 %w/v และ (ค) 6 %w/v ที่จำนวนรอบการเคลือบ 1, 3 และ 5 รอบ ที่เวลา 0 – 15 นาที

การใช้น้ำยางพาราเป็นส่วนผสมในสัดส่วนร้อยละ 5 – 20 ทำให้โฟมแป้งมีค่าความต้านทานแรงดัดลดลงขณะที่มีความยืดหยุ่นระดับใกล้เคียงกัน ดังนั้นสูตรที่ดีที่สุดคือเศษใบข้าวร้อยละ 8 เกาหลินร้อยละ 15 และน้ำยางพารา ร้อยละ 10 (AR8 K15 R10)

ความต้านทานน้ำเป็นตัวแปรสำคัญต่อการพิจารณาการนำโฟมแป้งไปประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากโฟมแป้งมีความไวต่อความชื้น เมื่อเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซีของสายโซ่แป้งกับหมู่ไฮดรอกซีของน้ำจะลดความแข็งแรงของโฟมลง ถึงแม้ว่าความสามารถในการดูดซับน้ำลดลงเมื่อมีการใช้เศษใบข้าวเหลือทิ้งในปริมาณที่มากขึ้นหรือเมื่อมีการใช้ปริมาณเกาหลินเพิ่มขึ้น แต่โฟมแป้งยังคงไวต่อความชื้นจึงต้องอาศัยการเคลือบผิวหน้าจานโฟมแป้งด้วยพอลิแลคติกแอซิด ซึ่งการเคลือบจำนวน 1 รอบ โดยใช้ความเข้มข้นสารเคลือบ 2 – 6 %w/v เคลือบจำนวน 1 รอบ เพียงพอ

ต่อการช่วยลดและชะลออัตราการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่ชิ้นงานได้ โฟมแป้งผสมเศษใบข้าวเหลือทิ้งจากการแปรรูปต้นกล้าข้าวเหนียวสันป่าตองในงานวิจัยนี้จึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้เป็นงานชั่วคราวสำหรับอาหารแห้งหรือกึ่งแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 ตัวอย่างการใช้งานงานชั่วคราวจากเศษเหลือทิ้งจากการผลิตผงฟอกเคมีของต้นกล้าข้าวเหนียวสันป่าตองมาผสมในโฟมแป้ง น้ำยางพาราเคลือบด้วย PLA

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแหล่งทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ปีงบประมาณ 2562 รหัสโครงการย่อย มจ.1-62-01-02.3 ตลอดจนสาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และสาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้สถานที่และเครื่องมือในการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Lopez-Gila, F. Silva-Bellucci, D. Velasco, M. Ardanuy, and M. A. Rodriguez-Pereza, "Cellular structure and mechanical properties of starch-based foamed blocks reinforced with natural fibers and produced by microwave heating" *Industrial Crops and Products*, Vol. 66, pp. 194-205, Mar 2015.
- [2] N. H. P. Rodrigues, J. T. Souza, R. L. Rodrigues, M. H. Giovanetti Canteri, S. M. K. Tramontin, and A. C. Francisco, "Starch-based foam packaging developed from a by-product of potato industrialization (*Solanum tuberosum* L.)" *Applied Science*, Vol.10, pp.2235-2346, 2020.
- [3] T. Manangan and S. Shawaphun, "PHB and PLA coated bagasse paper for biodegradable food packaging" *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, Vol. 20 no. 2, pp. 215-223, 2010.
- [4] N. Soykeabkaew, C. Thanomsilp, and O. Suwantong, (2015). "A review: Starch-based composite foams". *Composites: Part A*, Vol. 78, pp. 246-243, 2015.
- [5] W. Sanhawong, P. Banhalee, A. Boonsang and S. Kaewpirom, "Effect of concentrated natural rubber latex on the properties and degradation behavior of cotton-fiber-reinforced cassava starch biofoam" *Industrial Crops and Products*, Vol. 108, pp. 756-766, 2017.
- [6] F. B. Bergel, L. Machado da Luz, and R. M. C. Santana "Effect of poly(lactic acid) coating on mechanical and physical properties of thermoplastic starch foams from potato starch", *Progress in Organic Coatings*, Vol. 118, pp. 91-96, 2018.

- [7] M. Jarpa-Parra and L. Chen, “Applications of plant polymer-based solid foams: current trends in the food industry”. *Applied Science*, Vol.11, 9605, 2021.
- [8] J. B. Engel, A. Ambrosi and I. C. Tessaroa, “Development of biodegradable starch-based foams incorporated with grape stalks for food packaging”, *Carbohydrate polymers*, Vol 225, 115234, 2019.
- [9] J. C. Benezet, A. Stanojlovic-Davidovic , A. Bergeret, L. Ferry. and A. Crespy, “Mechanical and physical properties of expanded starch, reinforced by natural fibres” *Industrial Crops and Products*, Vol. 37, pp. 435-440, 2012.
- [10] N. Kaisangsri, O. Kerdchoechuen and N. Laohakunjit, “Characterization of cassava starch based foam blended with plant proteins, kraft fiber, and palm oil” *Carbohydrate Polymers*, Vol. 110, pp. 70-77, 2014.
- [11] K. Trongchuen, S. Kethaew, K. Kamwilaisak, P. Kasemsiri and K. Saengprachatanarug, “Characterization of cassava starch foam composite containing spent coffee grounds” *KKU Research Journal (graduate study)* Vol. 17 no. 1 pp. 81-91, Jan 2017.
- [12] P. Cinelli, E. Chiellini, J. W. Lawton and S. H., Imam, “Foamed articles based on potato starch, corn fibers and poly(vinyl alcohol)”. *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 91, pp. 1147-1155, 2006.
- [13] K. Kaewtatip, V. Tanrattanakul and W. Phetrat “Preparation and characterization of kaolin/starch foam” *Applied Clay Science*, Vol. 80-81, pp. 413-416, 2013.
- [14] A. E. S. Vercelheze, A. L. M. Oliveira, M. I. Rezende and C. M. O. Muller, F. Yamashita and S. Mali “Physical properties, photo- and bio-degradation of baked foams based on cassava starch, sugarcane bagasse fibers and montmorillonite” *Polymers and the Environment*, Vol 21, pp. 266-274, 2013.
- [15] B. D. Ratner, “Surface modification of polymers: chemical, biological and surface analytical challenges” *Biosensors and Bioelectronics*, Vol.10, pp. 797-804, 1995.
- [16] K. J. L Burg, W. D Holder, C. R Culberson, R. J Beiler, K. G Greene, A. B Loeb sack, W. D Roland, D. J Mooney, C. R Halberstadt “Parameters affecting cellular adhesion to polylactide films”. *Journal of Biomaterials Science Polymer Edition*, Vol. 10, pp.147-161, 1999.
- [17] S. Chaireh, P. Ngasatool, and K. Kaewtatip “Novel composite foam made from starch and water hyacinth with beeswax coating for food packaging applications”, *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol 165, Part A, pp. 1382-1391, 2020.