

การศึกษาคุณลักษณะของโฟมแป้งมันสำปะหลังคอมพอสิต ที่ประกอบด้วยกากกาแฟ

Characterization of Cassava Starch foam Composite Containing Spent Coffee Grounds

ขวัญฤทัย ตรงชื่น (Khuanruthai Trongchuen)* สุรเชษฐ์ เกตุแก้ว (Surachade Ketkaew)*
ดร.ขนิษฐา คำวิลัยศักดิ์ (Dr.Khanita Kamwilaisak)** ดร.พรนภา เกษมศิริ (Dr.Pornnapa Kasemsiri)**
ดร.ขวัญตรี แสงประชานารักษ์ (Dr.Khwantri Saengprachatanarug)***

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ กากกาแฟได้ถูกนำมาใช้ในการเตรียมโฟมแป้งคอมพอสิตที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ผลของปริมาณการเติมกากกาแฟต่อสมบัติทางกลและกายภาพของโฟมได้ศึกษารวมด้วย จากผลการทดลองพบว่าความต้านทานแรงดัดโค้งของโฟมแป้งคอมพอสิตเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากกาแฟ โฟมแป้งที่เติมกากกาแฟร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านทานแรงดัดโค้งสูงที่สุด การเติมกากกาแฟลงในเนื้อแป้งส่งผลต่อการขยายตัวของเซลล์และสมบัติโดยรวม นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาสมบัติการต้านทานน้ำในรูปของดัชนีการดูดซึมน้ำและดัชนีการละลายน้ำ พบว่าดัชนีการดูดซึมน้ำและดัชนีการละลายน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 6.68 - 7.41 และ 4.33 - 12.77 ตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีทั้งสองลดลงตามปริมาณกากกาแฟที่เพิ่มขึ้น เห็นได้ว่าการเติมกากกาแฟช่วยปรับปรุงสมบัติทางกลและการต้านทานน้ำของโฟมแป้งคอมพอสิต ดังนั้นโฟมแป้งคอมพอสิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมนี้สามารถนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง

ABSTRACT

In this study, spent coffee grounds was used to prepare biodegradable starch foam composites. The effect of spent coffee grounds content on physical and mechanical properties of the samples was observed. Based on the results, the flexural strength of starch foam composite increased with increasing spent ground coffee content. The highest flexural strength value was observed at the addition of 10 wt% of spent ground coffee. The incorporation of spent coffee grounds into starch matrix resulted in cell expansion of foam and overall properties. Furthermore, water resistance properties in terms of water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) were also investigated. The WAI and WSI were found in range of 6.68 - 7.41 and 4.33 - 12.77, respectively. Both WAI and WSI values decreased with increasing spent coffee grounds content. The addition of spent coffee grounds improved the mechanical property and water resistance of starch foam composite. The obtained environmentally friendly foam composite can be applied as an alternative packaging for dry materials.

คำสำคัญ: โฟมย่อยสลายได้ทางชีวภาพ กากกาแฟ แป้งมันสำปะหลัง

Keywords: Biodegradable foam, Spent coffee grounds, Cassava starch

¹correspondent author: pornkas@kku.ac.th

* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



บทนำ

ในปัจจุบันมีการใช้พลาสติกจากปิโตรเลียมอย่างแพร่หลายเช่น โฟม (expanded polystyrene: EPS) เนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำ สมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี มีสมบัติทางกลที่ดี และราคาถูก [1] แต่ยังคงมีข้อเสียคือไม่สามารถย่อยสลายได้หรือใช้ระยะเวลาหลายร้อยปี เมื่อนำไปกำจัดด้วยวิธีการเผาหรือฝังกลบจะส่งผลให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม [2] ด้วยเหตุนี้บรรจุก๊าซที่ย่อยสลายได้ทางธรรมชาติจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ในการนำมาใช้แทนโฟมมาตรฐานทางการค้าพอลิสไตรีนจากปิโตรเลียม โดยการใช้พอลิเมอร์ทางธรรมชาติ เช่น ไคโตซาน [3-4] แป้งมันสำปะหลัง [3-5] เส้นใยธรรมชาติ [3-4, 6-7] ซึ่งข้อดีของการใช้พอลิเมอร์ทางธรรมชาติคือสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ราคาไม่สูง [4, 8] จากงานวิจัยของ Vercelheze และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาการเติมเส้นใยธรรมชาติ โดยทำทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังกลบของโฟมแป้งที่เติมด้วยเส้นใยขานอ้อยและแรมอนท์มอริสในท์ พบว่าโฟมแป้งที่เติมเส้นใยขานอ้อยที่ 20 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว สามารถย่อยสลายได้ถึง 74 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งการเติมเส้นใยธรรมชาติช่วยเพิ่มสมบัติทางกลของโฟมคอมพอสิต เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Kaisangsri และคณะ [3] ได้ศึกษาโฟมแป้งมันสำปะหลังผสมเส้นใยธรรมชาติและไคโตซาน เมื่อการทดสอบแรงดึงของโฟมแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซาน และเส้นใยยูคาลิปตัส พบว่าการเพิ่มปริมาณของเส้นใยยูคาลิปตัสและปริมาณไคโตซานทำให้เพิ่มค่าแรงดึงมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าโฟมคอมพอสิตจากเส้นใยธรรมชาติมีสมบัติทางกลใกล้เคียงหรือมากกว่าโฟมทางการค้า จากความโดดเด่นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของโฟมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ทำให้ได้รับความสนใจที่จะพัฒนาศักยภาพเพื่อการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น กาแฟเป็นหนึ่งในเครื่องดื่มที่เป็นที่นิยมมากที่สุด และเป็นผลิตภัณฑ์ทางการตลาดอันดับสองของโลกจากปิโตรเลียม ของเสียหลักที่เกิดจากอุตสาหกรรมนี้คือ กากกาแฟ (Spent Coffee Grounds : SCG) ในรอบปีมีปริมาณกากกาแฟที่เกิดขึ้นประมาณ 6 ล้านตันทั่วโลก ปัจจุบันส่วนใหญ่ของเสียกากกาแฟจะถูกนำมาทิ้งในสภาพแวดล้อมทั่วไปหรือใช้วิธีการเผาเพื่อที่จะกำจัดทิ้ง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในงานวิจัยที่ผ่านมา มีงานวิจัยหลายงานที่ศึกษาทางเลือกของการลดมลพิษจากการกำจัดกากกาแฟ โดยนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ใช้ผลิตอาหารสัตว์ ใช้ในการผลิตเป็นสารอินทรีย์ ผลิตเป็นสารเชื้อเพลิงอินทรีย์ เช่น เชื้อเพลิงอัดเม็ด ถ่านกัมมันต์ หรือนำมาใช้ในการผลิตเอทานอล ไบโอดีเซล ใช้สังเคราะห์พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอท (Polyhydroxyalkanoates : PHA) และยังสามารถนำมาสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ [10-11] โดยจะพบสารในกลุ่มของกรดฟีนอลิก ยกตัวอย่างเช่น กรดคลอโรจีนิก และกรดคาเฟอิก [11] ซึ่งในงานวิจัยของ Almeida และคณะ [12] พบว่าสารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถที่จะต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* นอกจากนี้ยังได้มีการนำกากกาแฟมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรง Garcia และคณะ [10] ได้ศึกษาไม่ประกอบที่ผสมกากกาแฟ พบว่า การเติมกากกาแฟส่งผลให้เสถียรภาพทางความร้อนมีค่าเพิ่มสูงขึ้น กากกาแฟที่ปรับแต่งด้วย Palmitoyl chloride จะช่วยลดการดูดซึมน้ำของวัสดุไม่ประกอบได้ อีกทั้งงานวิจัยของ Wu [13] ซึ่งได้ศึกษาวัสดุคอมพอสิตที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพของกรดพอลิแลคติก (PLA) เสริมแรงด้วยกากกาแฟที่ปรับแต่งด้วยเตตระเอทิลออร์โทซิลิเกต (Tetraethyl orthosilicate : TEOS) พบว่า กากกาแฟที่ได้รับการปรับแต่งด้วย TEOS สามารถช่วยลดความหนืดในระหว่างการขึ้นรูป และเมื่อทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพชี้ให้เห็นว่าวัสดุคอมพอสิตที่ได้สามารถย่อยสลายได้ดีกว่า PLA จะเห็นได้ว่ากากกาแฟมีศักยภาพที่สามารถนำมาเพิ่มมูลค่าใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในพอลิเมอร์คอมพอสิต

ในหลายปีที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับโฟมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเติมเส้นใยธรรมชาติมากมาย แต่ยังไม่มียานวิจัยที่นำกากกาแฟมาเป็นวัสดุเสริมแรงในโฟมย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาผลการเติมกากกาแฟในโฟมแป้งมันสำปะหลังที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยศึกษาสมบัติทาง

กล คือความต้านทานแรงดัดโค้ง และทางกายภาพ คือดัชนีการดูดซึมน้ำและดัชนีการละลายน้ำ รวมทั้งความหนาแน่นของโฟมแข็งมันสำปะหลังที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

1. การเตรียมวัตถุดิบ

นำกากกาแฟขนาด 250 ไมโครเมตร อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเวลา 24 ชั่วโมง ทำการเตรียมพอลิเมอร์เมทริกซ์ในอัตราส่วนของน้ำกับแป้งมันสำปะหลัง 1:1 โดยน้ำหนัก ทำการผสมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยใส่แป้งมันสำปะหลังและน้ำลงบีกเกอร์ และกวนเป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นใส่กากกาแฟปริมาณ ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมอาหารแบบมือจับรุ่น HM2000 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำเข้าเครื่องบีบอัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ความดัน 700 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 8 นาที และนำมาวางทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ทำการทดสอบสมบัติของโฟมจากแป้งมันสำปะหลังที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

2. การตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติ

การทดสอบสมบัติทางกล

2.1 ความต้านทานแรงดัดโค้ง

โมดูลัสความต้านทานแรงดัดโค้งอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D790-10 โดยเครื่องทดสอบอินสตรอนรุ่น 5567 โหลดเซลล์ 10 กิโลนิวตัน โดยทำการทดสอบแรงดัดแบบ 3 จุดด้วยระยะห่างระหว่างจุดรองรับที่ปลายทั้งสองด้านเท่ากับ 48 มิลลิเมตรและความเร็วในการทดสอบ 1.2 มิลลิเมตรต่อวินาที ขนาดของแต่ละชิ้นงานเท่ากับ 12.7×60×3.2 ลูกบาศก์มิลลิเมตร

การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

2.2 ดัชนีการดูดซึมน้ำ (Water Absorption Index, WAI) และดัชนีการละลายน้ำ (Water Solubility Index, WSI)

นำตัวอย่างชิ้นงานประมาณ 1 กรัมแช่ในน้ำกลั่น 30 มิลลิตรใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยงวางทิ้งไว้เวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงแยกตะกอนรุ่น Rotofix 32A ยี่ห้อ Hettich ที่ความเร็ว 3500 รอบต่อวินาทีเป็นเวลา 30 นาที เติสารละลายส่วนใส (Supernatant) ใส่ถ้วยอะลูมิเนียมแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเวลา 24 ชั่วโมง การดูดซึมน้ำและการละลายน้ำสามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$WAI = \frac{W_1 - W_2}{W} \quad (1)$$

โดยที่ W_1 คือ น้ำหนักของชิ้นงานและหลอดปั่นเหวี่ยงหลังการเหวี่ยงแยก [3]

W_2 คือ น้ำหนักของหลอดปั่นเหวี่ยงก่อนการเหวี่ยงแยก

W คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนการดูดซึมน้ำ [3]

$$WSI = \frac{W_{A1} - W_{A2}}{W} \times 100 \quad (2)$$



โดยที่ W_{A1} คือ น้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียมกับสารละลายหลังอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเวลา 24 ชั่วโมง

W_{A2} คือ น้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียม

W คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนการดูดซึมน้ำ [3]

2.3 ความหนาแน่น

นำตัวอย่างชิ้นงานที่ตัดมาชั่งน้ำหนักและหาปริมาตรโดยวัดความกว้าง ความยาวและความหนาของชิ้นงาน เมื่อได้ค่าน้ำหนักและปริมาตรแล้วนำไปหาค่าความหนาแน่นสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3 ดังนี้

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ (หน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

m คือ มวลรวมของวัตถุ (หน่วยกิโลกรัม)

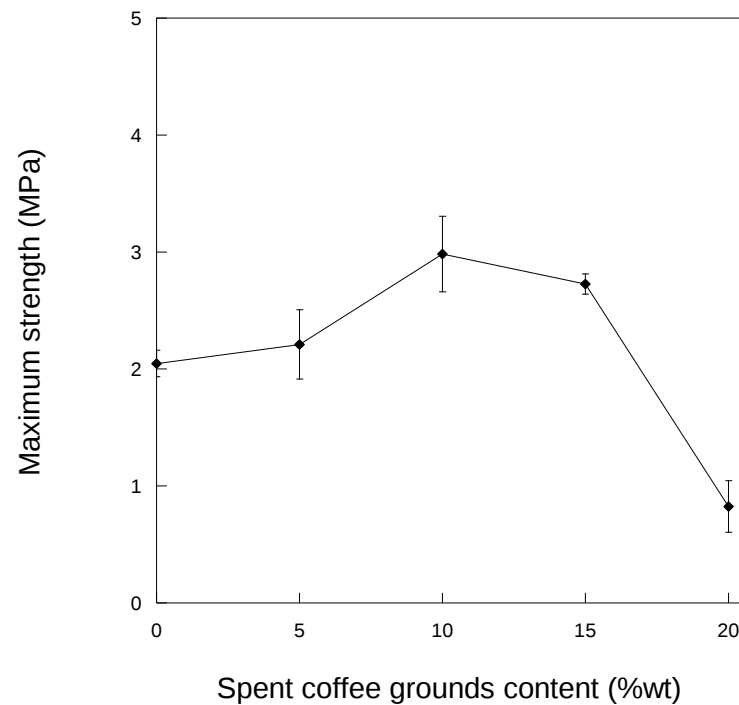
V คือ ปริมาตรรวมของวัตถุ (หน่วยลูกบาศก์เมตร)

ผลและอภิปรายผลงานวิจัย

1. สมบัติทางกลของโฟมเป่ามันสำปะหลังคอมพอสิตที่ประกอบด้วยกากกาแฟ

ความต้านทานแรงดัดโค้งเป็นปัจจัยหลักที่บ่งบอกถึงลักษณะการเสวยรูปของโฟมบรรจุภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน ดังนั้นการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้ง จึงเป็นตัวบ่งชี้การเสวยรูปของโฟม ซึ่งเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงภายใน และลักษณะของฟองโฟมด้วย [14]

ภาพที่ 1 แสดงถึงค่าความต้านทานแรงดัดโค้งของโฟมเป่ามันสำปะหลังเติมกากกาแฟ ค่ารับแรงดัดโค้งอยู่ในช่วง 0.83-2.98 เมกะปาสกาล เมื่อเติมกากกาแฟในแป้งร้อยละ 0-20 โดยน้ำหนัก โฟมจากแป้งมันสำปะหลังเติมกากกาแฟที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความต้านทานแรงดัดโค้งมากที่สุดที่ 2.98 เมกะปาสกาล เนื่องจากมีแรงกระทำที่ดีระหว่างเส้นใยเซลลูโลสและแป้งเมตริกซ์ [3, 15] กากกาแฟทำหน้าที่ช่วยในการรับแรงภายในเนื้อวัสดุทำให้ค่าความต้านทานแรงดัดโค้งมีค่าสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shogren และคณะ [16] ที่ได้ศึกษาการเติมเส้นใยไม้เนื้ออ่อนลงในโฟมเป่าข้าวโพด พบว่า การเติมเส้นใยดังกล่าวช่วยเพิ่มความแข็งแรงของโฟมเป่า ทั้งที่สภาวะความชื้นต่ำและความชื้นสูง อีกทั้งงานวิจัยของ Glenn และคณะ [17] ศึกษาการเติมเส้นใยไม้เนื้ออ่อนลงในโฟมเป่ามันฝรั่ง พบว่า โฟมเป่าที่เติมเส้นใยไม้เนื้ออ่อนมีความยืดหยุ่นและกำลังรับแรงดึงสูงขึ้น แต่ในปริมาณการเติมกากกาแฟในแป้งร้อยละ 15-20 โดยน้ำหนัก ค่ารับแรงดัดโค้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเพราะการเติมกากกาแฟลงในแป้งมันสำปะหลังในสัดส่วนที่มากเกินไป ส่งผลให้ กระจายตัวของกากกาแฟในเมตริกซ์แป้งมันสำปะหลังไม่สม่ำเสมอ ทำให้ค่ารับแรงดัดโค้งลดลง [1]



ภาพที่ 1 ค่าความต้านทานแรงดัดโค้งของโฟมแข็งมันสำปะหลังเติมกากกาแฟในปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบความต้านทานแรงดัดโค้งกับงานวิจัยอื่น

โฟมตัวอย่าง	ค่ารับแรงดัดโค้ง (เมกะปาสกาล)
โฟมมาตรฐานทางการค้าพอลิสไตรีน [4]	1.61
โฟมแข็งเติมเส้นใยป่าน [7]	2.19 – 2.52
โฟมแข็งเติมเส้นใยกาแฟ [4]	2.5 – 5.30
โฟมแข็งเติมน้ำมันปาล์ม [4]	0.3 – 1.1
โฟมแข็งเติมกากกาแฟที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (งานวิจัยนี้)	2.98

จากการเปรียบเทียบความต้านทานแรงดัดโค้งของโฟมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพพบว่า โฟมแข็งมันสำปะหลังเติมกากกาแฟมีค่าสูงกว่าโฟมทางการค้าอย่างเห็นได้ชัด และค่าอยู่ในช่วงเดียวกับโฟมย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ในงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น โฟมแข็งเติมเส้นใยป่านมีค่ารับแรงดัดโค้งอยู่ที่ 2.19 – 2.52 เมกะปาสกาล [7] โฟมแข็งเติมเส้นใยกาแฟมีค่ารับแรงดัดโค้งอยู่ที่ 2.5 – 5.30 เมกะปาสกาล [4] โฟมแข็งเติมน้ำมันปาล์มมีค่ารับแรงดัดโค้งอยู่ที่ 0.3 – 1.1 เมกะปาสกาล [4] ดังแสดงในตารางที่ 1

2. การทดสอบสมบัติทางกายภาพของโฟมแข็งมันสำปะหลังคอมพอสิตที่ประกอบด้วยกากกาแฟ

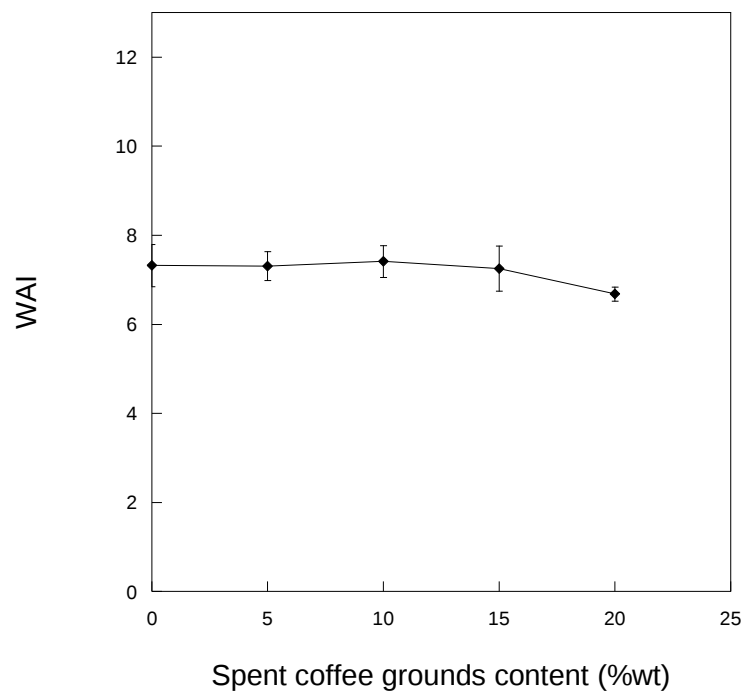
2.1 ความสามารถในการต้านทานน้ำ

ความต้านทานน้ำ เป็นตัวแปรที่สำคัญต่อการพิจารณาการประยุกต์ใช้ โฟมแข็งมีความไวต่อความชื้น เมื่อโดนน้ำ โมเลกุลของน้ำโจมตีพันธะไฮโดรเจนของแป้งและลดคุณสมบัติการทำงานของโฟม [4, 18] การบวมและความ

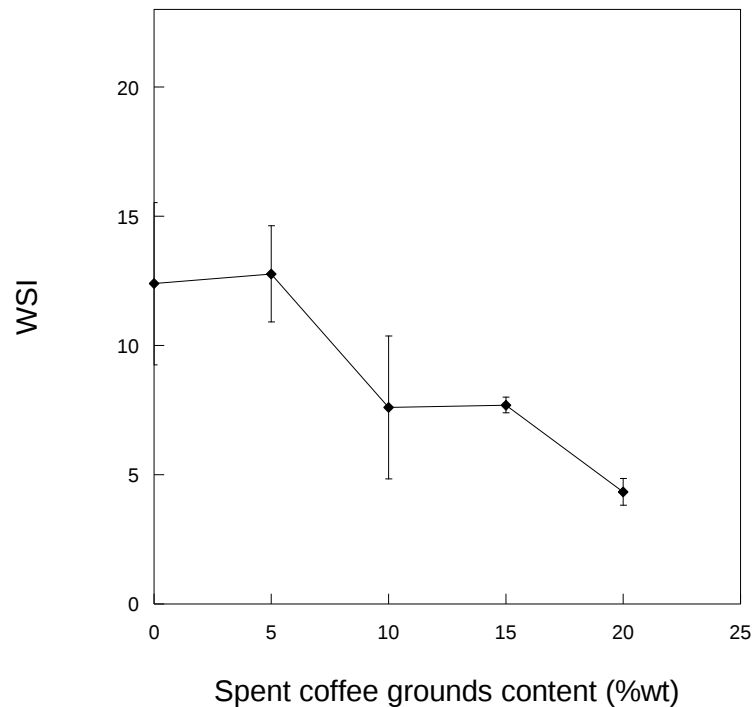


เสียบายในระดับโมเลกุลของแป้งจะถูกวัดในรูปค่าดัชนีการดูดซึมน้ำ (WAI) และค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) โดยการวิเคราะห์ค่าดัชนีการดูดซึมน้ำของโพมแป้งมันสำปะหลังเดิมกากกาแฟ แสดงในรูปที่ 1.2 พบว่าค่าดัชนีการดูดซึมน้ำ (WAI) มีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณกากกาแฟ ค่าดัชนีการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 6.68 ถึง 7.41 เนื่องมาจากกากกาแฟเข้าไปแทนที่รูพรุนในเนื้อวัสดุ ทำให้รูพรุนในเนื้อวัสดุลดลง ซึ่งช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการดูดซึมน้ำ [19]

Polat และคณะ [6] ศึกษาผลของการเติมเส้นใยข้าวโพด คินขาว และจีฟี่ลงในโพมแป้งข้าวโพด พบว่าการเติมเส้นใยช่วยลดค่าดัชนีดูดซึมน้ำ เนื่องจากเกิดการกีดขวางของโครงข่ายสามมิติของไฮโดรเจนบอนด์ ระหว่างคาร์โบไฮเดรตที่แตกต่างกัน อีกทั้ง Funke และคณะ [20] ได้ศึกษาลักษณะของโพมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้ง พบว่าการดูดซึมน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเติมเส้นใยเซลลูโลสที่มีขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Kaisangsri และคณะ [3] ศึกษาถาดโพมย่อยสลายทางชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเติมเส้นใยธรรมชาติและไคโดซาน พบว่าการเติมเส้นใยธรรมชาติ แสดงให้เห็นถึงดัชนีการดูดซึมน้ำของโพมแป้งคอมพอสิตลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยธรรมชาติ เนื่องมาจากเกิดโครงข่ายสามมิติระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับแป้งเมทริกซ์



ภาพที่ 2 ผลดัชนีการดูดซึมน้ำของโพมแป้งมันสำปะหลังเดิมกากกาแฟในปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 3 ผลดัชนีการละลายน้ำของโฟมแป้งมันสำปะหลังเติมกากกาแฟในปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก

ภาพที่ 3 แสดงค่าดัชนีการละลายน้ำ (WSI) ของโฟมแป้งมันสำปะหลังเติมกากกาแฟในปริมาณต่างๆ จากรูปจะเห็นว่าค่าดัชนีการละลายน้ำของโฟมแป้งมันสำปะหลังเติมกากกาแฟ มีค่าลดลงเมื่อเติมกากกาแฟร้อยละ 5 - 20 โดยน้ำหนัก ซึ่งการเติมกากกาแฟร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก สามารถลดการละลายน้ำได้ถึงร้อยละ 4.33 ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิดแรงกระทำขององค์ประกอบกากกาแฟภายในวัสดุคอมพอสิต ส่งผลให้มีความสามารถด้านการละลายน้ำได้ดี

ค่าดัชนีการละลายน้ำของโฟมแป้งมันสำปะหลังจะลดลงตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น ในการศึกษาของ Kaisangsri และคณะ [3] พบว่าโฟมแป้งมันสำปะหลังจะให้ค่าดัชนีการละลายน้ำที่สูงที่สุด ที่ร้อยละ 15.77 ส่วนโฟมแป้งมันสำปะหลังที่เติมเส้นใยร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก จะมีค่าดัชนีการละลายน้ำที่ต่ำที่สุด ที่ร้อยละ 9 การเติมเส้นใยลงในโฟมแป้งมันสำปะหลังจะลดค่าดัชนีการละลายน้ำ เนื่องจากเกิดโครงข่ายสามมิติระหว่างเส้นใยและแป้ง

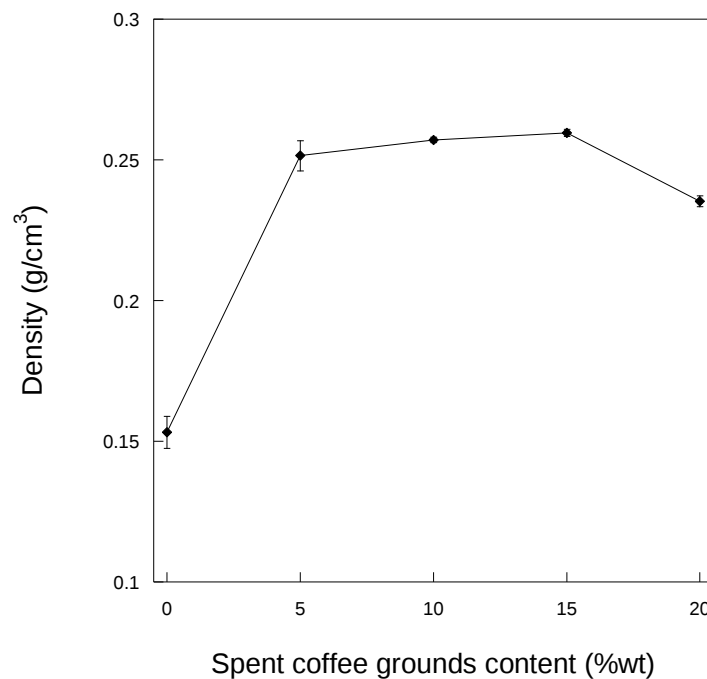
2.2 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นเป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของโฟมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4 ค่าความหนาแน่นของโฟมแป้งมันสำปะหลังเติมกากกาแฟ พบว่ามีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.15 - 0.26 กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร ความหนาแน่นของโฟมแป้งมันสำปะหลังมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมกากกาแฟที่มากขึ้น แต่ในปริมาณการเติมกากกาแฟในโฟมแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณความหนาแน่นลดลง เนื่องจากการเติมกากกาแฟลงในแป้งมันสำปะหลังในสัดส่วนที่มากเกินไป ส่งผลให้ในระหว่างการขึ้นรูปโฟมแป้งมันสำปะหลังคอมพอสิตเกิดฟองอากาศแทรกตัวภายในเนื้อวัสดุมากเกินไป ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นลดลง [18]

การเติมกากกาแฟในแป้งส่งผลให้ความหนืดของโฟมในขณะขึ้นรูปมีค่าสูงขึ้นและโฟมขยายตัวได้น้อยลง นอกจากนี้ขนาดที่เล็กของกากกาแฟยังมีส่วนต่อการเพิ่มความหนาแน่นให้กับโฟมคอมพอสิต [17] ความหนาแน่นของโฟมแป้งมันสำปะหลังที่ได้มีค่าสูงกว่าโฟมทางการค้าที่มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วงระหว่าง 0.05 - 0.09 กรัมต่อ



ลูกบาศก์เซนติเมตร [17] อย่างไรก็ตามค่าความหนาแน่นของโฟมแข็งมันสำปะหลังเดิมกากกาแฟ มีค่าต่ำกว่าโฟมจากแป้งที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่นๆ เช่น จากผลของการเติมเส้นใยเซลลูโลสและเส้นใยป่าน พบว่าสามารถลดอัตราการขยายตัวของโฟมคอมพอสิตจากแป้งได้ เนื่องจากเส้นใยทั้ง 2 ชนิด สามารถเพิ่มความหนืดของคอมพาวด์จากแป้ง ทำให้ความสามารถในการขยายตัวของเซลล์ลดลง ทำให้การเติมเส้นใยป่านมีค่าความหนาแน่นสูงที่สุดที่ 0.242 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [7] ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นของการเติมเส้นใยเปลือกข้าวโพดอยู่ที่ 0.26 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [6] การเติมเส้นใยชานอ้อย 0.25 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [21] และการเติมเส้นใยยูคาลิปตัส 0.15 ลูกบาศก์เซนติเมตร [3] อีกทั้งค่าความหนาแน่นจากโฟมคอมพอสิตที่เติมด้วยกากข้าวโมลต์ ยังมีค่าความหนาแน่นอยู่ที่ 0.415 – 0.450 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [6]



ภาพที่ 4 ค่าความหนาแน่นของโฟมแข็งมันสำปะหลังเดิมกากกาแฟในปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก

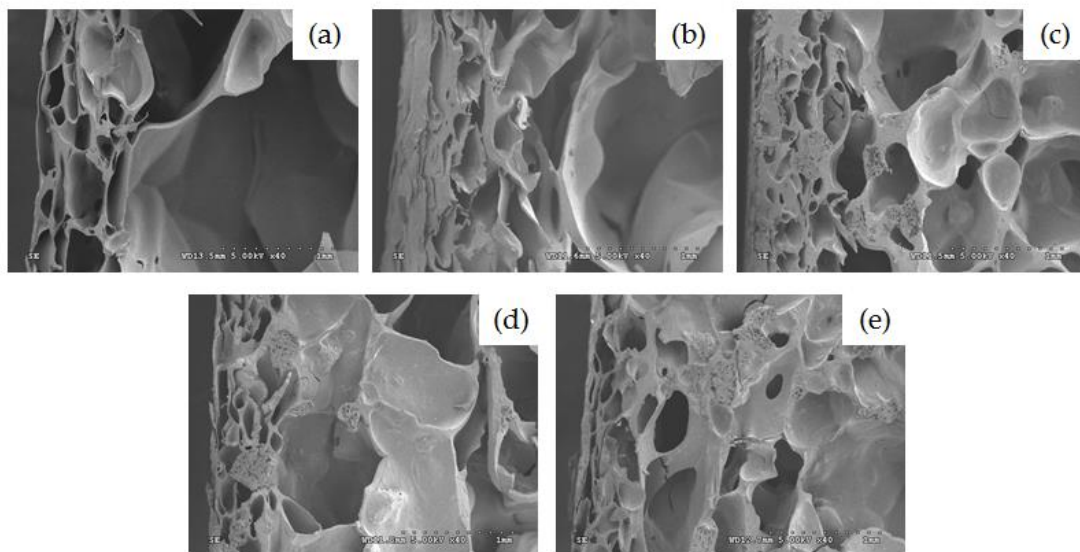
ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นกับงานวิจัยอื่น

ชนิดของเส้นใย	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
โฟมพอลิสไตรีน [3]	0.05 – 0.09
โฟมแป้งเสริมแรงด้วยเส้นใยป่าน [7]	0.242
โฟมแป้งผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพด [6]	0.26
โฟมแป้งเติมเส้นใยชานอ้อย [21]	0.25
โฟมแป้งเสริมแรงด้วยเส้นใยยูคาลิปตัส [3]	0.15
โฟมแป้งเติมกากข้าวโมลต์ [6]	0.415 – 0.450
โฟมแป้งมันสำปะหลังเดิมกากกาแฟ (งานวิจัยนี้)	0.15-0.26

จากการเปรียบเทียบความหนาแน่นของโฟมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพพบว่า โฟมแข็งมันสำปะหลังเติมกากกาแฟมีค่าสูงกว่าโฟมทางการค้าอย่างเห็นได้ชัด และค่าอยู่ในช่วงเดียวกับโฟมย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จากงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น การเติมเส้นใยป่านมีความหนาแน่นสูงที่สุดที่ 0.242 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [7] ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นของการเติมเส้นใยเปลือกข้าวโพดอยู่ที่ 0.26 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [6] การเติมเส้นใยชานอ้อย 0.25 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [21] และการเติมเส้นใยยูคาลิปตัส 0.15 ลูกบาศก์เซนติเมตร [3] อีกทั้งค่าความหนาแน่นจากโฟมคอมพอสิตที่เติมด้วยกากข้าวโมลต์ ยังมีค่าความหนาแน่นอยู่ที่ 0.415 – 0.450 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [6] ดังแสดงในตารางที่ 2

ลักษณะของโฟม

จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดตัดขวางของโฟมคอมพอสิตแสดงในภาพที่ 5 แสดงให้เห็นถึงลักษณะ โครงสร้างเป็นแซนวิช ซึ่งผนังด้านนอกของโฟมคอมพอสิตมีความหนาแน่นสูง และเซลล์รูพรุนมีขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับด้านในของโฟมคอมพอสิตที่มีขนาดของเซลล์รูพรุนขนาดใหญ่ และมีผนังเซลล์รูพรุนบาง โดยลักษณะโครงสร้างดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Vercelheze และคณะ [9] Kasemsiri และคณะ [22] และ Cinelli และคณะ [23] ได้ศึกษาโฟมจากแป้งมันฝรั่งเติมเส้นใยข้าวโพดและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และศึกษาโฟมแป้งมันสำปะหลังเติมเส้นใยชานอ้อย และแรมอนมอลิโดไนท์ ตามลำดับ พบว่าโฟมควบคุมมีลักษณะโครงสร้างเป็นแซนวิช โดยมีผนังเซลล์ด้านนอกที่หนา มีขนาดของเซลล์รูพรุนเล็กเมื่อเทียบกับด้านใน ในขณะที่โฟมคอมพอสิตที่เติมเส้นใย พบว่า มีขนาดของเซลล์รูพรุนที่เล็ก และความหนาแน่นของเซลล์รูพรุนสูง ซึ่งเมื่อศึกษาโฟมคอมพอสิตที่เติมกากกาแฟ พบว่ากากกาแฟเข้าไปขัดขวางขณะกระบวนการขึ้นรูปโฟมคอมพอสิต ส่งผลให้ขนาดของเซลล์รูพรุนมีขนาดเล็ก และเซลล์รูพรุนมีความหนาแน่นสูง เมื่อเทียบกับโฟมควบคุม ดังแสดงในภาพที่ 5 (b) ในกรณีที่มีการเติมกากกาแฟเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้การกระจายตัวของเมทริกซ์โฟมเป็นไปได้ยาก และลดขนาดของเซลล์รูพรุนเล็กลงตามไปด้วย ดังแสดงในภาพที่ 1.5 (c) (d) และ (e) ซึ่งสอดคล้องกับผลความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณกากกาแฟที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 5 ภาพกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของชิ้นงานขนาดกำลังขยาย 40 เท่า:

- (a) โฟมแป้ง (b) โฟมแป้งเติมกากกาแฟร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (c) โฟมแป้งเติมกากกาแฟร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (d) โฟมแป้งเติมกากกาแฟร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก (e) โฟมแป้งเติมกากกาแฟร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก



สรุปผลงานวิจัย

จากงานวิจัยนี้ได้พัฒนาคุณสมบัติของโฟมแป้งมันสำปะหลังสำหรับนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารแห้ง การเติมกากกาแฟร้อยละ 0.5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก พบว่าการเติมปริมาณกากกาแฟร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ให้ค่ารับแรงดัดโค้งสูงสุด เนื่องจากการเติมกากกาแฟร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก กระจายตัวได้ดีในเนื้อวัสดุ อีกทั้งการเติมกากกาแฟร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ให้ค่าดัชนีการดูดซึมน้ำและดัชนีการละลายน้ำ อยู่ที่ 7.41 และ 7.61 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าโฟมควบคุม และนอกจากนี้พบค่าความหนาแน่นของโฟมแป้งมันสำปะหลังที่เติมกากกาแฟมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.15 – 0.26 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าโฟมทางการค้าที่มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.05 – 0.09 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แต่อย่างไรก็ตามค่าความหนาแน่นของโฟมแป้งมันสำปะหลังเติมกากกาแฟ มีค่าใกล้เคียงกับโฟมแป้งมันสำปะหลังที่เติมเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่นๆ

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

1. Soykeabkaew N, Supaphol P, Rujiravanit R. Preparation and characterization of jute- and flax-reinforced starch-based composite foams. *Carbohydrate Polymers*. 2004; 58: 53-63.
2. Hu G, Chen J, Gao J. Preparation and characteristics of oxidized potato starch films. *Carbohydrate Polymers*. 2009; 76: 291-298.
3. Kaisangsri N, Kerdchoechuen O, Laohakunjit N. Biodegradable foam tray from cassava starch blended with natural fiber and chitosan. *Industrial Crops and Products*. 2012; 37: 542-546.
4. Kaisangsri N, Kerdchoechuen O, Laohakunjit N. Characterization of cassava starch based foam blended with plant proteins, kraft fiber, and palm oil. *Carbohydrate Polymers*. 2014; 110: 70-77.
5. Mello L RPF, Mali S. Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch. *Industrial Crops and Products*. 2014; 55: 187-193.
6. Polat S, Uslu MK, Aygun A, Certel M. The effects of the addition of corn husk fibre, kaolin and beeswax on cross-linked corn starch foam. *Journal of Food Engineering*. 2013; 116: 267-276.
7. Benezet JC, Stanojlovic-Davidovic A, Bergeret A, Ferry L, Crespy A. Mechanical and physical properties of expanded starch, reinforced by natural fibres. *Industrial Crops and Products*. 2012; 37: 435-440.
8. Tharanathan RN. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in Food Science & Technology*. 2003; 14: 71-78.
9. Ana Elisa S. Vercelheze, Vercelheze AES, Oliveira ALM, Rezende MI, Muller CMO, Yamashita F, Mali S. Physical Properties, Photo- and Bio-degradation of Baked Foams Based on Cassava Starch, Sugarcane Bagasse Fibers and Montmorillonite. *Polymers and the Environment*. 2013; 21: 266-274.

10. García-García D, Carbonell A, Samper MD, Garcia-Sanoguera A, Balart R. Green composites based on polypropylene matrix and hydrophobized spend coffee ground (SCG) powder. *Composites Part B: Engineering*. 2015; 78: 256-265.
11. Yen WJ, Wang BS, Chang LW, Duh PD. Antioxidant Properties of Roasted Coffee Residues. *J. Agric. Food Chem*. 2005; 53: 2658–2663.
12. Almeida AA, Farah A, Silva DA, Nunan EA, Gloria MB. Antibacterial Activity of Coffee Extracts and Selected Coffee Chemical Compounds against Enterobacteria. *J. Agric. Food Chem*. 2006; 54: 8738–8743.
13. Wu CS. Renewable resource-based green composites of surface-treated spent coffee grounds and polylactide: Characterisation and biodegradability. *Polymer Degradation and Stability*. 2015; 121: 51-59.
14. Pilla S (2011) *Handbook of bioplastics and biocomposites engineering applications*. Wiley, New York
15. Gilfillan WN, Nguyen DMT, Sopade PA, Doherty WOS. Preparation and characterisation of composites from starch and sugar cane fibre. *Industrial Crops and Products*. 2012; 40: 45-54.
16. Shogren RL, Lawton JW, Tiefenbacher KF. Baked starch foams: starch modifications and additives improve process parameters, structure and properties. *Industrial Crops and Products*. 2002; 16: 69-79.
17. Glenn GM, Orts WJ, and Nobes GAR. Starch, fiber and CaCO₃ effects on the physical properties of foams made by a baking process. *Industrial Crops and Products*. 2001; 14: 201-212.
18. Mali S, Debiagi F, Grossmann MVE, Yamashita F. Starch, sugarcane bagasse fibre, and polyvinyl alcohol effects on extruded foam properties: A mixture design approach. *Industrial Crops and Products*. 2010; 32: 353-359.
19. Armando CF, Oregano essential oils: Antimicrobial activity and its application to films based on cornstarch and glycerol. *Academia Journal of Microbiology Research*. 2014; 2: 043-053.
20. Funke U, Berghaller W, Lindhauer MG. Biodegradable Polymers and Macromolecules Processing and characterization of biodegradable products based on starch. *Polymer Degradation and Stability*. 1998; 59: 293-296.
21. Vercelheze AES, Oliveira ALM, Rezende MI, Muller CMO, Yamashita F, Mali S. Physical Properties, Photo- and Bio-degradation of Baked Foams Based on Cassava Starch, Sugarcane Bagasse Fibers and Montmorillonite. *Polymers and the Environment*. 2013; 21: 266-274.
22. Kasemsiri P, Dulsang N, Pongsa U, Hiziroglu S, Chindaprasirt P. Optimization of Biodegradable Foam Composites from Cassava Starch, Oil Palm Fiber, Chitosan and Palm Oil Using Taguchi Method and Grey Relational Analysis. *Journal of Polymers and the Environment*. 2016; -: 1-13.
23. Cinelli P, Chiellini E, Lawton JW, Imam SH. Foamed articles based on potato starch, corn fibers and poly(vinyl alcohol). *Polymer Degradation and Stability*. 2006; 91: 1147-1155.