

## การผลิตภาชนะบรรจุจากลำต้นมันสำปะหลัง

### Production of food container from cassava stalk

นที ฐานัน และ ทวีช จิตรสมบูรณ์\*

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถนนมหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

\*ติดต่อ: E-mail: tawit.boon@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 0-4422-4414, เบอร์โทรสาร 0-4422-4613

#### บทคัดย่อ

ปัจจุบันนี้มนุษย์มีความห่วงใยสิ่งแวดล้อมมากขึ้น และเริ่มให้ความสนใจกับภาชนะบรรจุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพซึ่งมักนิยมผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตร ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อผลิตภาชนะบรรจุย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากลำต้นมันสำปะหลังสดด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป โดยการนำต้นมันสำปะหลังสดมาบดละเอียด และเติมสารเกาะยึด เช่น หัวมันสำปะหลังสด และแป้งมันสำปะหลัง เพื่อปรับสมบัติให้ใช้งานได้ในการบรรจุอาหาร แบ่งกระบวนการอัดขึ้นรูปเป็น 2 จังหวะ คือ อุ่นวัตถุดิบในแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยไม่ให้ความดันเป็นเวลา 5 นาที และอัดด้วยความดัน 500 psi-g ที่อุณหภูมิเดียวกันเป็นเวลา 15 นาที ผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ พบว่า ปริมาณของสารเกาะยึดที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อความหนาของชิ้นทดสอบ เมื่อปริมาณของน้ำแป้งเพิ่มสูงขึ้น ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบจะลดลงและการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณหัวมันสำปะหลังนั้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบเพิ่มสูงขึ้นและการดูดซึมน้ำลดลงเล็กน้อยในทุกสูตรผสมล้วนแต่มีค่าการต้านทานแรงดัดโค้งและค่ามอดูลัสการดัดโค้งที่สูงพอควร ผลสำเร็จที่ได้จากการศึกษานี้มีโอกาสนำไปใช้แทนโฟมโพลิสไตรีนได้

**คำหลัก:** ภาชนะบรรจุย่อยสลายได้ทางชีวภาพ, วัสดุชีวฐาน, ลำต้นมันสำปะหลัง, สารเกาะยึด

#### Abstract

Human has recently expressed more concerns for the environment and thus is searching for biodegradable food containers, made from agricultural material. The objective of this work was to produce biodegradable food containers from fresh cassava stalk by a compression process without using any chemical additives. Fresh cassava stalk was grinded and blended with binders, such as grinded fresh cassava tuber and cassava starch before being hot-pressed into a container. A pre-pressing was initially performed at 150 °C for 5 min in order to eliminate water by evaporation, followed by a pressing step of 15 min at 500 psig at the same temperature. The results showed the addition of binder did not affect the thickness of resulting samples. The addition of starch batter decreased the density and increased the water absorption capacity of samples. While increasing in the amount of fresh cassava root with increased the density and slightly decreased the water absorption capacity. All formulations showed high flexural strength and flexural modulus, these materials represent an alternative to the expanded polystyrene foam.

**Keywords:** Biodegradable food container, Bio-based material, Cassava stalk, Binder.

## AMM-2012

### 1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ปฏิเสธไม่ได้ว่าผลิตภัณฑ์จำพวกพลาสติกและโฟมได้ถูกใช้งานอย่างกว้างขวางเนื่องจากผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีน้ำหนักเบา มีสมบัติทางกลที่ดี ทนต่อความชื้น และง่ายต่อการขึ้นรูป [7] แต่ขยะพลาสติกและโฟมเหล่านี้ใช้เวลาในการย่อยสลายหลายชั่วอายุคน ในหลายประเทศจึงรณรงค์ให้หันมาใช้พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่พลาสติกชีวภาพยังมีราคาที่สูงกว่าพลาสติกปกติ ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงการนำพอลิเมอร์จากธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้มาผสมลงในพลาสติกสังเคราะห์เหล่านั้น [2, 12, 17] เพื่อลดต้นทุนในการผลิต และต่อมาจึงมีการนำพอลิเมอร์จากธรรมชาติมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเป็นภาชนะบรรจุย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยตรง [6, 9, 10, 13]

แป้งที่สกัดได้จากวัตถุดิบจากภาคการเกษตร เช่น มันสำปะหลัง จะถูกนำไปขึ้นรูปเป็นวัสดุชีวฐาน (Bio-based materials) ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยกรรมวิธีการผลิตวัสดุย่อยสลายได้จากแป้งนั้นมีหลักการที่คล้ายกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกจากปิโตรเคมี [6] สามารถทำได้หลายวิธี เช่น กระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression molding) กระบวนการอัดรีด (Extrusion process) กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) หรืออบด้วยแม่แบบร้อน (Baking in hot mold) [2, 5, 9, 10, 12, 14] แต่ภาชนะบรรจุย่อยสลายได้แบบชีวฐานที่ใช้แต่แป้งเพียงอย่างเดียวไม่มีสมบัติทางกลที่เปราะ แตกหักง่าย และมีข้อจำกัดอย่างมากด้านการต้านทานน้ำ [16] นักวิจัยหลายท่านจึงได้เติมเส้นใย หรือสารเติมแต่งต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติของภาชนะบรรจุ

การปรับปรุงสมบัติทางกลทั้งความแข็งแรงและความยืดหยุ่น กระทำโดยการเติมเส้นใยจากธรรมชาติต่าง ๆ เช่น เส้นใยแอสเพน (Aspen fiber) เส้นใยเซลลูโลส และเยื่อกระดาษ เป็นต้น โดยที่ Lawton et al. (2004) กล่าวว่า ถาดโฟมแป้งข้าวโพดจะมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น เมื่อ

เติมเส้นใยแอสเพนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Kaisangsri et al. (2012) พบว่าการเติมเยื่อกระดาษร้อยละ 30 และความเข้มข้นของไคโตแซนร้อยละ 4 ทำให้ได้โฟมแป้งมันสำปะหลังที่มีสมบัติใกล้เคียงกับโฟมพอลิสไตรีนที่สุด และในบางงานวิจัยได้กล่าวถึงอิทธิพลของขนาดเส้นใยต่อสมบัติทางกลของโฟมแป้งอีกด้วย [5]

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีปริมาณการผลิตติด 1 ใน 5 ของโลก โดยที่จังหวัดนครราชสีมาเป็นศูนย์กลางหลักในการผลิตมันสำปะหลังของประเทศ [3] เกษตรกรมักจะขยายการเพาะปลูกโดยใช้ท่อนพันธุ์จากลำต้น ทำให้มีเศษลำต้นเหลือทิ้งจำนวนมาก นอกจากนี้ลำต้นมันสำปะหลังนั้นมีส่วนประกอบของเซลลูโลส 56.4% เฮมิเซลลูโลส 20.2% ลิกนิน 17.4% และอื่น ๆ อีก 6.0% [11] ซึ่งเซลลูโลสที่เป็นส่วนประกอบหลักนั้นมีหน้าที่สร้างความแข็งแรงแก่เส้นใย

ในหัวมันสำปะหลังนั้นนอกจากน้ำแล้วจะมีแป้งเป็นส่วนประกอบหลักมีปริมาณสูงถึง 70-85% [1] จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาทำเป็นสารเกาะยึดแทนแป้งมัน ซึ่งหากทำได้จะทำให้ต้นทุนในกระบวนการผลิตลงไปได้อีกมาก อย่างไรก็ตามการใช้หัวมันสำปะหลังสดนั้นเป็นแนวความคิดใหม่ที่ยังไม่มีนักวิจัยท่านใดได้ทดลองใช้มาก่อนเนื่องจากงานวิจัยจำพวกนี้จะใช้แป้งมันเป็นส่วนประกอบหลัก

แม้ว่าในปัจจุบันจะมีการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของภาชนะบรรจุได้ใกล้เคียงกับภาชนะบรรจุพลาสติกจากปิโตรเคมีแล้ว แต่ภาชนะบรรจุดังกล่าวมีส่วนผสมของแป้งในปริมาณมาก ยังผลให้มีต้นทุนค่อนข้างสูงในการผลิตระดับอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังใช้สารเติมแต่งที่สังเคราะห์จากกระบวนการทางเคมีอีกด้วย ดังนั้น ในงานศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการผลิตภาชนะบรรจุย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากลำต้นมันสำปะหลังสดด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน โดยมีแป้งมันสำปะหลังและหัวมันสำปะหลังสดเป็นสารเกาะยึดอย่างผสมผสานกัน

## AMM-2012

### 2. วัสดุและวิธีการทดสอบ

#### 2.1 วัสดุ

มันสำปะหลัง (พันธุ์ห้วยบง 60 อายุประมาณ 9 เดือน) ได้จากแปลงทดลองของฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เลือกใช้ช่วงกลางของลำต้นโดยวัดขึ้นมาจากพื้นประมาณ 20 เซนติเมตร ยาวประมาณ 100-120 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.0-3.5 เซนติเมตร นำไปแช่ทำความสะอาดและบดลดขนาดจนได้ขนาดอนุภาคน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร ส่วนหัวมันสำปะหลังจะใช้ทั้งหัวโดยนำไปแช่ทำความสะอาดและบดละเอียด สำหรับแป้งมันสำปะหลังผลิตโดย บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด



รูปที่ 1 ลำต้นมันสำปะหลังบด

#### 2.2 การเตรียมและการผลิตชิ้นทดสอบด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป

สารเกาะยึดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ น้ำแป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch batter; CS) และหัวมันสำปะหลังสด (Cassava root; CR) ซึ่งน้ำแป้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้ที่อัตราส่วนของน้ำที่ผ่านการกรองด้วยระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO) ต่อแป้งมันสำปะหลังเป็น 4:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดจากการทดสอบความเหนียวของกาวแป้งจากธรรมชาติในงานวิจัยก่อนหน้านี้ (งานวิจัยของนักศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมเครื่องกล มทส.)

สารเกาะยึดปริมาณต่าง ๆ (ตามตารางที่ 1) จะถูกผสมเข้ากับต้นมันสำปะหลัง 500 กรัม เป็นเวลา

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบที่ใช้เตรียมวัสดุย่อยสลายได้จากลำต้นมันสำปะหลังสด หัวมันสำปะหลังสด และแป้งมันสำปะหลัง

| สูตร    | ต้นมัน<br>สำปะ<br>หลังสด<br>(กรัม) | หัวมัน<br>สำปะ<br>หลังสด<br>(กรัม) | แป้งมัน<br>สำปะ<br>หลัง<br>(กรัม) | น้ำ RO<br>(กรัม) |
|---------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| CONTROL | 500                                | -                                  | -                                 | -                |
| CS25    | 500                                | -                                  | 25                                | 100              |
| CS50    | 500                                | -                                  | 50                                | 200              |
| CS75    | 500                                | -                                  | 75                                | 300              |
| CS100   | 500                                | -                                  | 100                               | 400              |
| CR125   | 500                                | 125                                | -                                 | -                |
| CR250   | 500                                | 250                                | -                                 | -                |
| CR375   | 500                                | 375                                | -                                 | -                |
| CR500   | 500                                | 500                                | -                                 | -                |

5 นาที หลังจากนั้นซึ่งส่วนผสมที่ได้แต่ละสูตรประมาณ 150-175 กรัม นำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (GOTECH, model GT-7014-A30, GOTECH Testing Machines Inc.) ในแม่พิมพ์ขนาด 190 x 190 x 3 มิลลิเมตร

แผ่นประกบแม่พิมพ์ทั้งด้านบนและล่างจะรองด้วยแผ่นเทฟลอนเพื่อป้องกันการยึดติดระหว่างชิ้นทดสอบและแผ่นประกบ การเริ่มต้นของกระบวนการอัดจะให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์เปล่าที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิคงที่ จากนั้นจึงนำของผสมมาอุ่นภายในแม่พิมพ์โดยไม่ให้ความดันเป็นเวลา 5 นาที เพื่อทำการระเหยน้ำออกจากของผสม จากนั้นเพิ่มความดันอย่างช้าๆ จนถึง 500 psi-g และคงไว้ที่อุณหภูมิและความดันดังกล่าวเป็นเวลา 15 นาที เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการอัด ชุดแม่พิมพ์จะถูกปล่อยให้เย็นตัวภายใต้อุณหภูมิห้อง ก่อนทำการแกะชิ้นทดสอบออกจากแม่พิมพ์เป็นเวลา 1 นาที เพื่อป้องกันชิ้นทดสอบบิดงอ จากนั้นชิ้นทดสอบที่ได้จะถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่าง

## AMM-2012

น้อย 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบสมบัติทั้งทาง  
กายภาพและทางกล



รูปที่ 2 ชิ้นทดสอบ

### 2.3 การศึกษาสมบัติของชิ้นทดสอบ

#### 2.3.1 การทดสอบความหนา

ชิ้นทดสอบจะถูกตรวจวัดด้วยเวอร์เนียร์  
คาลิเปอร์ (Digimatic, Mitutoyo, Japan) โดยทำการ  
วัดความหนาและหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างละ 3 ตำแหน่ง  
จาก 10 ชิ้นทดสอบในแต่ละสูตรผสมที่ทดลอง

#### 2.3.2 การทดสอบความหนาแน่น

การทดสอบหาความหนาแน่นจะคำนวณจาก  
ความสัมพันธ์ระหว่างมวลและปริมาตร [15] โดยทำ  
การหาค่าเฉลี่ยจาก 10 ชิ้นทดสอบในแต่ละสูตรผสม

#### 2.3.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

เตรียมชิ้นทดสอบขนาด 2.5 x 5 เซนติเมตร  
ซึ่งนำชิ้นทดสอบก่อนนำไปแช่น้ำปราศจาก  
ไอออนเป็นเวลา 60 วินาที หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักส่วนเกิน  
ด้วยกระดาษชั่งและชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ค่าปริมาตร  
การดูดซึมน้ำจะคำนวณจากมวลของน้ำที่ชิ้นทดสอบ  
ดูดซึมไว้หารด้วยน้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ [8]  
โดยทำการหาค่าเฉลี่ยจาก 3 ชิ้นทดสอบในแต่ละสูตร

#### 2.3.4 การทดสอบแรงดัดโค้ง

เตรียมชิ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยตัด  
แต่งขนาดตามมาตรฐาน ASTM D790-10 ด้วยเครื่อง  
เลื่อยสายพาน แล้วขัดผิวชิ้นทดสอบที่ผ่านการตัดด้วย  
กระดาษทรายที่มีค่าความละเอียดระดับต่าง ๆ กัน  
ทำการทดสอบแรงดัดโค้งด้วยเครื่องทดสอบ  
เอนกประสงค์ (Universal Testing Machine,

INSTRON, model 5565) ภาระกรรมสูงสุด 5 kN  
ระยะห่างแท่นวางชิ้นทดสอบ 48 มิลลิเมตร ความเร็ว  
ที่ใช้ในการกดชิ้นงาน 1.3 mm/min โดยทำการหา  
ค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 5 ชิ้นทดสอบในแต่ละสูตร

### 3. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

#### 3.1 ผลการศึกษากระบวนการอัดขึ้นรูป

ปริมาณของผสมที่เติมลงในแม่พิมพ์และได้เป็น  
ชิ้นงานที่รูปร่างสมบูรณ์ คือ ประมาณ 150-175 กรัม  
ซึ่งสำหรับปริมาณที่ใช้ดันมันสำปะหลังล้วน คือ  
150 กรัม และปริมาณของผสมที่ใช้จะเพิ่มมากขึ้นตาม  
ปริมาณของสารเกาะยึดที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารเกาะ  
ยึดนั้นมีความชื้นสูง ความหนาแน่นของของผสมจึงมี  
มากกว่าสูตรที่ใช้ดันมันสำปะหลังล้วน [10] ถ้าของ  
ผสมที่เติมในแม่พิมพ์มีปริมาณที่น้อยเกินไปจะพบว่า  
นอกจากชิ้นงานจะไม่เป็นแผ่นสมบูรณ์แล้วผิวหน้าของ  
ชิ้นงานบริเวณขอบจะไม่เป็นผิวเรียบอีกด้วย เนื่องจากการ  
ใส่ของผสมนั้นจะใส่บริเวณตรงกลางของแม่พิมพ์  
เมื่อให้แรงดัน ของผสมจะไหลไปไม่ถึงขอบแม่พิมพ์  
แรงดันที่ให้แก่วัตถุจะเกิดแค่บริเวณตรงกลางเท่านั้น  
ถ้าหากปริมาณของผสมที่เติมในแม่พิมพ์มีปริมาณที่  
มากจนเกินไป จะมีปริมาณของครีบเหลือทิ้งและน้ำที่  
ต้องระเหยออกจากกระบวนการเป็นจำนวนมาก ส่งผล  
ให้กระบวนการอัดร้อนจะใช้เวลานานมากขึ้น  
นอกจากนี้ น้ำส่วนเกินนั้นจะทำลายชิ้นงานในขณะเปิด  
แม่พิมพ์ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lawton  
et al. (2004)

กระบวนการอัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น  
2 จังหวะ คือ อุณหภูมิของผสมในแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิ  
ประมาณ 150 องศาเซลเซียส โดยไม่ให้ความดันเป็น  
เวลา 5 นาที และอัดด้วยความดัน 500 psi-g ที่  
อุณหภูมิเดียวกันนั้นเป็นเวลา 15 นาที ในกระบวนการ  
อัดที่แบ่งเป็น 2 จังหวะนั้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ  
Salgado et al. (2008) โดยสาเหตุที่แบ่งออกเป็น  
2 จังหวะ เนื่องจากของผสมมีปริมาณของน้ำที่ต้อง  
ระเหยสูง และขณะที่ให้ความดันแก่แม่พิมพ์นั้นจะไม่มี  
รูระบายไอน้ำซึ่งจะส่งผลให้น้ำส่วนเกินจะทำลาย



## AMM-2012

ชิ้นงานในขณะที่เปิดแม่พิมพ์ดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น จึงจำเป็นต้องระเหยน้ำส่วนเกินจากการอุ่นในแม่พิมพ์ ก่อนเป็นเวลา 5 นาที หากเกินกว่านี้จะทำให้ผิวหน้าของชิ้นงานไหม้และแข็ง และของผสมที่อยู่บริเวณกลางแผ่นที่ยังคงมีความชื้นอยู่นั้นระเหยออกมาไม่ได้ จนกลายเป็นชิ้นงานที่ไม่เป็นแผ่นสมบูรณ์ได้

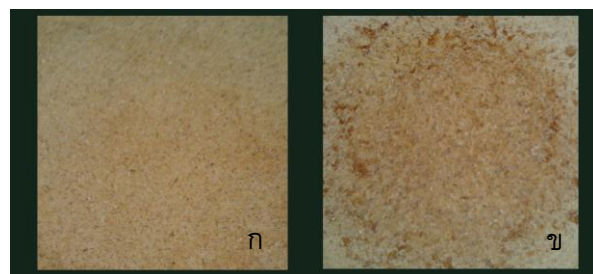
สำหรับเวลาที่ใช้ในกระบวนการอัดของงานวิจัยนี้ คือ 15 นาที ถือว่าสูงมากเมื่อเทียบกับงานวิจัยของนักวิจัยท่านอื่นที่ใช้เวลาในการอัด 1-7 นาที [5, 9, 13, 14] เนื่องจากงานวิจัยเหล่านั้นใช้อุณหภูมิที่สูงประมาณ 200-250 องศาเซลเซียส และแม่พิมพ์มีรูระบายไอน้ำตลอดเวลาคลายกับที่ออกแบบรังผึ้งทำให้สามารถกำจัดไอน้ำส่วนเกินได้ในเวลาอันสั้น สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (ประมาณ 150 องศาเซลเซียส) เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอัดชิ้นงานให้เป็นแผ่นสมบูรณ์เนื่องจากมีอุณหภูมิที่สูงเกินอุณหภูมิเจลลิตีในซ้ของแป้งแล้ว คือ ประมาณ 70 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำแป้งเกิดเป็นเจลแป้งและกลายเป็นสารเกาะยึดแก่ชิ้นงานได้ ซึ่งหากใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 150 องศาเซลเซียส ชิ้นงานที่เป็นต้นมันสำปะหลังล้วนจะไม่สามารถเกาะเป็นแผ่นได้ และจะใช้เวลานานขึ้นในกระบวนการอัด แต่หากใช้อุณหภูมิที่สูงกว่านี้จะต้องใช้เวลาในการอุ่นแม่พิมพ์เปล่าจนกว่าอุณหภูมิจะคงที่ที่นานยิ่งขึ้น และผิวหน้าของชิ้นงานที่ได้จะไหม้ทั้งนี้กระบวนการอัดที่อุณหภูมิสูง ๆ ยังเป็นข้อจำกัดของเครื่องมือที่มีอยู่อีกด้วย

### 3.2 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของชิ้นทดสอบ

เส้นใยจากลำต้นมันสำปะหลังในชิ้นทดสอบกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ บางจุดบนชิ้นงานอาจจะมีเส้นใยอยู่น้อยเนื่องจากเป็นธรรมชาติของกระบวนการอัด กล่าวคือไม่มีทิศทางการไหลที่แน่นอนในเครื่องอัด ทำให้การจัดเรียงตัวของเส้นใยจะเป็นแบบสุ่ม (Random) ตามทิศทางการไหล [10] ที่ผิวหน้าของชิ้นทดสอบที่ใช้แป้งเป็นสารเกาะยึด (รูปที่ 3ก) จะมีความเข้ากันได้มากกว่าชิ้นทดสอบที่ใช้หัวมันสำปะหลังเป็นสารเกาะยึด (รูปที่ 3ข) เนื่องจากน้ำแป้งสามารถแทรกซึมไปทั่วทั้งแม่พิมพ์ได้ดีกว่า

แต่ผิวหน้าของชิ้นทดสอบที่มีปริมาณของน้ำแป้งสูง ๆ จะมีผิวหน้าที่ราบเรียบน้อยกว่าที่ปริมาณน้ำแป้งต่ำกว่า เนื่องจากการกำจัดน้ำส่วนเกินนั้นจะทำลายผิวหน้าของชิ้นงาน

รูปที่ 3ข แสดงจุดสีน้ำตาลเข้มบนผิวหน้าของชิ้นทดสอบซึ่งเป็นจุดที่หัวมันสำปะหลังจับกลุ่มเป็นก้อนเมื่อโดนความร้อนจึงเกิดเป็นเจลและไหม้ ซึ่งอาจจะเกิดจากเวลาที่ใช้ในกระบวนการผสมของผสมเพียง 5 นาที นั้นยังไม่เพียงพอที่จะทำให้หัวมันสำปะหลังแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยต้นมันสำปะหลังได้อย่างทั่วถึง



รูปที่ 3 ชิ้นทดสอบที่มี (ก) น้ำแป้ง และ (ข) หัวมันสำปะหลัง เป็นสารเกาะยึด

### 3.3 การวิเคราะห์ความหนาและความหนาแน่น

ความหนาและความหนาแน่นของชิ้นทดสอบแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งเห็นได้ชัดว่าความหนาของชิ้นทดสอบมีค่าประมาณ 3.16-3.40 มม. โดยที่การเปลี่ยนแปลงในแต่ละสูตรผสมนั้นไม่ส่งผลต่อความหนาของชิ้นงานในทางสถิติ ส่วนความหนาแน่นของชิ้นทดสอบมีค่าประมาณ 0.4595-0.6453 g/cm<sup>3</sup> เมื่อปริมาณน้ำแป้งเพิ่มสูงขึ้น ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบจะลดต่ำลงเนื่องจากน้ำแป้งที่แทรกซึมอยู่ในเนื้อวัสดุนั้นจะพองตัวและระเหยออกเมื่อถูกความร้อน และไอน้ำที่เกิดขึ้นจะมีพฤติกรรมเป็นสารพองตัว (Blowing agent) ก่อให้เกิดรูพรุนภายในชิ้นทดสอบซึ่งเป็นลักษณะของโฟม [9] แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของหัวมันสำปะหลังพบว่าความหนาแน่นจะเพิ่มสูงขึ้นจากการที่หัวมันสำปะหลังนั้นเข้าไปเติมเต็มช่องว่างระหว่างอนุภาคของเส้นใยต้นมันสำปะหลังได้ดีขึ้นโดยไม่เกิดการพองตัว

## AMM-2012

ตารางที่ 2 แสดงความหนา และความหนาแน่นในแต่ละสูตรของชั้นทดสอบจากลำต้นมันสำปะหลังสด น้ำแป้งมันสำปะหลัง และหัวมันสำปะหลังสด

| สูตร    | ความหนา (mm) | ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> ) |
|---------|--------------|----------------------------------|
| CONTROL | 3.16 ± 0.11  | 0.5136 ± 0.0645                  |
| CS25    | 3.30 ± 0.09  | 0.6068 ± 0.0250                  |
| CS50    | 3.19 ± 0.08  | 0.4712 ± 0.0116                  |
| CS75    | 3.19 ± 0.06  | 0.4978 ± 0.0122                  |
| CS100   | 3.40 ± 0.07  | 0.4595 ± 0.0107                  |
| CR125   | 3.25 ± 0.06  | 0.5530 ± 0.0245                  |
| CR250   | 3.32 ± 0.05  | 0.5867 ± 0.0200                  |
| CR375   | 3.26 ± 0.06  | 0.6175 ± 0.0162                  |
| CR500   | 3.16 ± 0.09  | 0.6453 ± 0.0260                  |

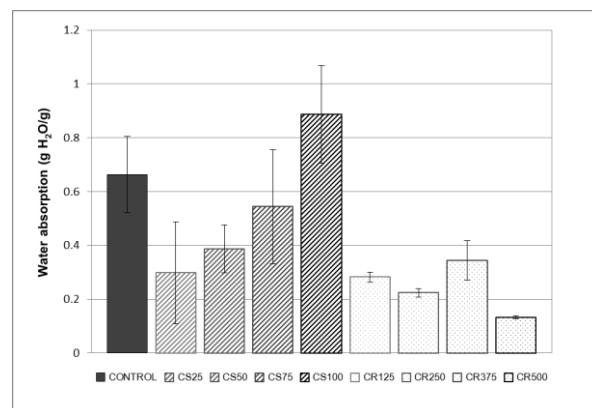
หมายเหตุ ข้อมูลแสดงในรูปของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าความหนาแน่นในงานวิจัยนี้สูงกว่าค่าความหนาแน่นของโฟมพอลิสไตรีน (EPS) คือ 0.05-0.09 g/cm<sup>3</sup> [9] เนื่องจากปริมาณของต้นมันจำนวนมากจะป้องกันการฟองตัวและขยายตัวของน้ำแป้ง นอกจากนี้ความหนาแน่นในงานวิจัยยังสูงกว่าค่าความหนาแน่นของถาดโฟมแป้งมันสำปะหลังที่ผสมน้ำยางธรรมชาติและโคโคแชน คือ 0.13-0.15 g/cm<sup>3</sup> [9] อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ค่าความหนาแน่นที่ได้้นั้นมีความใกล้เคียงกับถาดโฟมแป้งมันสำปะหลังที่ผสมโปรตีนดอกทานตะวันและเส้นใยเซลลูโลส คือ 0.456-0.587 g/cm<sup>3</sup> [13]

### 3.4 การวิเคราะห์การดูดซึมน้ำ

ค่าการดูดซึมน้ำของชั้นทดสอบมีค่าประมาณ 14-88% หลังการแช่น้ำเป็นเวลา 1 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยที่ชั้นทดสอบจากต้นมันสำปะหลังล้วนมีค่าการดูดซึมน้ำที่ประมาณ 66% และจะลดต่ำลงเมื่อเติมสารเกาะยึดเข้าไปในส่วนประกอบ ยกเว้นสูตรผสมที่ใช้ต้นมันสำปะหลังต่อน้ำแป้งเป็น 1:1 (CS100) และจากรูปที่ 4 พบว่าเมื่อเติมน้ำแป้งในปริมาณที่เพิ่ม

สูงขึ้น จะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้นด้วย เนื่องจากแป้งมีสมบัติที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) [16] และชั้นทดสอบมีความหนาแน่นที่ต่ำกว่า น้ำจึงแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างภายในชั้นทดสอบได้มากกว่า



รูปที่ 4 การดูดซึมน้ำของชั้นทดสอบที่เตรียมจากต้นมันสำปะหลัง น้ำแป้งมันสำปะหลัง และหัวมันสำปะหลัง

แต่ในทางตรงกันข้าม ชั้นทดสอบที่ใช้หัวมันสำปะหลังเป็นสารเกาะยึดโดยเฉพาะสูตรผสม CR125, CR250 และ CR375 นั้นมีค่าการดูดซึมน้ำที่ไม่แตกต่างกัน คือ ประมาณ 22-34% และมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุดคือ ที่อัตราส่วนของต้นมันสำปะหลังต่อหัวมันสำปะหลังเป็น 1:1 (CR500) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้หัวมันสำปะหลังเป็นสารเกาะยึดนั้นจะมีความหนาแน่นที่สูงกว่าการใช้แป้ง ช่องว่างภายในชั้นทดสอบจะมีน้อยกว่า จึงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าต่ำกว่า หากพิจารณาที่อัตราส่วนเดียวกัน การใช้หัวมันสำปะหลังเป็นสารเกาะยึดจะมีค่าการดูดซึมน้ำที่น้อยกว่าใช้แป้ง

สำหรับการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำในงานวิจัยนี้จะทดสอบด้วยการแช่น้ำเพียง 1 นาที แต่ค่าการดูดซึมน้ำที่ได้ถือว่าสูงพอควร แม้วัสดุนี้จะมีข้อด้อยเรื่องการซึมน้ำ แต่ก็ยังสามารถใช้ได้ดีในการบรรจุอาหารแห้ง (เช่น อาหารทอด ปิ้งย่าง ผัดไทย) แต่หากต้องการใช้กับอาหารที่ชุ่มน้ำ หรือเป็นน้ำ (เช่น กระจ่างปลา ราดหน้า หรือ ก๋วยเตี๋ยว) คงจำเป็นต้องปรับปรุงสมบัติด้วยการเคลือบผิวชั้นงานหรือการเติม

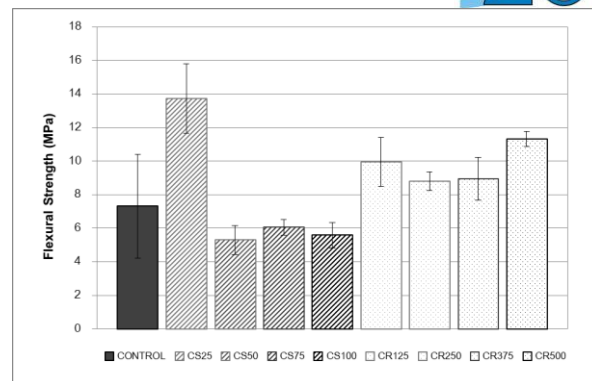
## AMM-2012

สารเติมแต่งอื่น ๆ ที่มีความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ลงไป เช่น น้ำยางธรรมชาติ หรือน้ำมัน เป็นต้น [14] อย่างไรก็ตามการดูดซึมน้ำที่ได้จากการทดสอบในงานวิจัยนี้มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Salgado et al. (2008) กล่าวคือกรดไขมันอิ่มตัวที่ผสมโปรตีนดอกทานตะวันและเส้นใยเซลลูโลส คือ ประมาณ 28-40%

### 3.5 การวิเคราะห์การทดสอบแรงดัดโค้ง

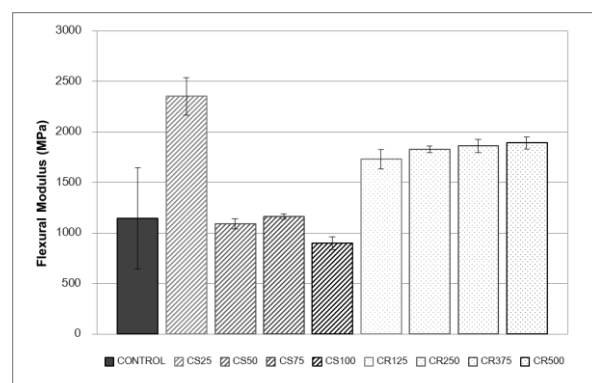
การต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural strength) และค่ามอดูลัสแรงดัดโค้ง (Flexural modulus) ของชิ้นทดสอบแสดงดังรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ ซึ่งค่าการต้านทานแรงดัดโค้งมีค่าประมาณ 5.31-13.72 MPa ชิ้นทดสอบที่เป็นต้นมันสำปะหลังล้วนมีค่าเฉลี่ยที่ประมาณ 7.31 MPa แต่มีช่วงของความผิดพลาดสูงมากเนื่องจากว่าไม่มีสารเกาะยึดเนื้อวัสดุ ส่งผลให้ชิ้นทดสอบไม่เป็นเนื้อเดียวกันแบบสม่ำเสมอ สมบัติของชิ้นทดสอบจึงมีความไม่สม่ำเสมอ และชิ้นทดสอบที่ใช้ น้ำแป้งสูตรผสม CS25 จะมีค่าการต้านทานแรงดัดโค้งสูงที่สุดที่ 13.72 MPa ส่วนอัตราส่วนที่เหลือนั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยมีค่าประมาณ 5.31-6.06 MPa และชิ้นทดสอบที่ใช้หัวมันสำปะหลังเป็นสารเกาะยึดมีค่าการต้านทานแรงดัดโค้งที่ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าประมาณ 8.96-11.31 MPa อย่างไรก็ตามการต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นทดสอบในงานวิจัยนี้ล้วนมีค่าที่สูงกว่าโฟมพอลิสไตรีนที่มีค่าประมาณ 1.3 MPa เท่านั้น ดังนั้นชิ้นงานที่ผลิตได้นั้นมีโอกาสนำไปใช้แทนโฟมพอลิสไตรีนได้ในกรณีที่ต้องการแรงดัดโค้งสูง และเป็นอาหารแห้ง เช่น กรณีคนวัยรุนนิยมซื้อผัดไทยรับประทานขณะขับรถจักรยานยนต์ที่มีลมพัดตีรุนแรง ซึ่งอาจทำให้จานโฟมเบี้ยวบิดแบบโค้งงอจนเกิดการเสียหายได้ และก่อให้เกิดอุบัติเหตุการจราจร

ค่ามอดูลัสการดัดโค้งมีค่าประมาณ 900-2350 MPa (รูปที่ 6) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพลาสติกสตาร์ช (Starch plastic) ที่ได้จากการอัดขึ้นรูปเย็นของโฟม



รูปที่ 5 การต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นทดสอบที่เตรียมจากต้นมันสำปะหลัง น้ำแป้งมันสำปะหลัง และหัวมันสำปะหลัง

ข้าวสาลี คือ 1032 MPa [6] สำหรับชิ้นทดสอบที่ได้จากต้นมันสำปะหลังล้วนมีค่าประมาณ 1143 MPa แต่มีช่วงความผิดพลาดที่สูงมากเช่นเดียวกับค่าการต้านทานแรงดัดโค้ง สำหรับชิ้นทดสอบที่ใช้ น้ำแป้งเป็นสารเกาะยึดจะมีค่ามอดูลัสการดัดโค้งสูงที่สุดที่สูตรผสม CS25 คือประมาณ 2350 MPa ส่วนอัตราส่วนที่เหลือนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่าประมาณ 900-1160 MPa แต่ชิ้นทดสอบที่ใช้หัวมันสำปะหลังเป็นสารเกาะยึดนั้นค่าที่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ และมีค่าที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับการใช้น้ำแป้งในอัตราส่วนเดียวกันโดยมีค่าประมาณ 1730-1890 MPa



รูปที่ 6 ค่ามอดูลัสการดัดโค้งของชิ้นทดสอบที่เตรียมจากต้นมันสำปะหลัง น้ำแป้งมันสำปะหลัง และหัวมันสำปะหลัง

## AMM-2012

หากพิจารณาแค่การต้านทานแรงดัดโค้งสำหรับชิ้นงานที่จะนำไปใช้งานจริงสามารถเลือกใช้ได้ในทุกอัตราส่วน กล่าวคือมีค่าที่สูงกว่าโพรพอลิสไตรีนอยู่พอควร แต่ถ้าพิจารณาถึงการคงรูปต่อชิ้นงานแล้วนั้นจะพิจารณาถึงค่ามอดูลัสซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแข็งแรงของวัสดุ โดยที่ใช้น้ำแบ่งสูตรผสม CS25 จะคงรูปได้ดีที่สุด รองลงมาจะเป็นการใช้หุ้มสำหรับเป็นสารเกาะยึดโดยสามารถเลือกใช้ได้ในทุกอัตราส่วน ข้อจำกัดในงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกลและปริมาณความชื้นต่อชิ้นทดสอบ

### 4. บทสรุป

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการผลิตภาชนะบรรจุอาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพซึ่งใช้วัตถุดิบหลักเป็นลำต้นมันสำปะหลังสดด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน โดยมีน้ำแบ่งมันสำปะหลังและหุ้มสำหรับเป็นสารเกาะยึดเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่เป็นแผ่นสมบูรณ์

ผิวหน้าของชิ้นทดสอบที่ใช้น้ำแบ่งเป็นสารเกาะยึดในปริมาณที่มากกว่ามีผิวหน้าเรียบน้อยกว่าจากการระเหยน้ำส่วนเกิน ส่วนชิ้นทดสอบที่ใช้หุ้มสำหรับเป็นสารเกาะยึดอาจมีรอยไหม้เป็นจุดจากการจับกลุ่มเป็นก้อนเจลซึ่งอาจส่งผลต่อความไม่สม่ำเสมอของสมบัติของชิ้นทดสอบ

การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารเกาะยึดไม่ส่งผลต่อความหนาของชิ้นทดสอบ แต่ความหนาแน่นจะลดต่ำลงและการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นหากเพิ่มปริมาณน้ำแบ่ง ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณหุ้มสำหรับเป็นสารเกาะยึดนั้นส่งผลให้ความหนาแน่นสูงขึ้นและการดูดซึมน้ำลดต่ำลงเล็กน้อย และเมื่อเทียบที่อัตราส่วนเดียวกันพบว่าที่ปริมาณสารเกาะยึดสูง ๆ ค่าการต้านทานแรงดัดโค้งและค่ามอดูลัสการดัดโค้งของชิ้นทดสอบที่ใช้หุ้มสำหรับเป็นสารเกาะยึดจะมีค่าสูงกว่าการใช้น้ำแบ่ง

สรุปว่าวัสดุเหล่านี้สามารถเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะทดแทนโพรพอลิสไตรีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสูตร CR500 ที่มีค่าการต้านทานแรงดัดโค้งสูงและค่าการ

ดูดซึมน้ำต่ำที่สุด สามารถลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนหุ้มสำหรับเป็นแบ่งได้มาก เหมาะกับการใช้งานสำหรับอาหารที่ค่อนข้างแห้งน้ำ และมีความต้องการแรงดัดโค้งสูง ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในกระบวนการอัดยังนับว่านานพอควรสำหรับการผลิตในเชิงพาณิชย์ อาจจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบของแม่พิมพ์ให้มีระบายไอน้ำส่วนเกินเพื่อลดเวลาในกระบวนการอัดต่อไป

### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนสถานที่ อุปกรณ์ และสาธารณูปโภคที่ใช้ในการวิจัยเพื่อการวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทของผู้แต่งลำดับที่ 1 โดยมีได้คิดมูลค่า

### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. (2543). องค์ประกอบหุ้มสำหรับเป็นแบ่ง, [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.tapiocathai.org/D.html>, เข้าดูเมื่อวันที่ 15 พฤษภาคม 2556.
- [2] รังสิมา ชลคุป, ชลธิชา นุ่มหอม และ กล้าณรงค์ ศรีรอด. (2541). ผลของปริมาณแบ่งมันสำปะหลังต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติการย่อยสลายได้ของแบ่ง/polycaprolactone เบลนด์. ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36, กรุงเทพฯ, หน้า 247.
- [3] สมาคมการค้ามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. (2553). ปริมาณผลผลิตหุ้มสำหรับเป็นแบ่งฤดูการผลิตปี 2553/54, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา : <http://www.thailandtapiocastarch.net/download/download-th-33.pdf>, เข้าดูเมื่อวันที่ 15 พฤษภาคม 2556.
- [4] ASTM D790-10. (2010). *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. In Annual Book of ASTM Standards.
- [5] Carr, L.G., Parra, D.F., Ponce, P., Lugao, A.B., Buchler, P.M. (2006). *Influence of fibers on*



## AMM-2012

*the mechanical properties of cassava starch foams.* Journal of Polymers and the Environment, Vol. 14, pp. 179-183.

[6] Glenn, G.M., Hsu, J. (1997). *Compression-formed starch-based plastic.* Industrial Crops and Products, Vol. 7, pp. 37-44.

[7] Glenn, G.M., Orts, W.J. (2001). *Properties of starch-based foam formed by compression/explosion processing.* Industrial Crops and products, Vol. 13, pp. 135-143.

[8] ISO 535. (1991). *Paper and board - Determination of water absorptiveness - Cobb method.*

[9] Kaisangsri, N., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N. (2012). *Biodegradable foam tray from cassava starch blended with natural fiber and chitosan.* Industrial Crops and Products, Vol. 37, pp. 542-546.

[10] Lawton, J.W., Shogren, R.L., Tiefenbacher, K.F. (2004). *Aspen fiber addition improves the mechanical properties of baked cornstarch foams.* Industrial Crops and Products, Vol. 19, pp. 41-48.

[11] Magesh, A., Preetha, B., Viruthagiri, T. (2011). *Simultaneous saccharification and fermentation of tapioca stem var.226 White Rose to ethanol by cellulose enzyme and Saccharomyces cerevisiae.* International Journal of Chemtech Research, Vol. 3, pp. 1821-1829.

[12] Petnamsin, C., Termvejsayanon, N., Sriroth, K. (2000). *Effect of particle size on physical properties and biodegradability of cassava starch/polymer blend.* Kasetsart Journal: Natural Science, Vol. 34, Issue 2, pp. 254-261.

[13] Salgado, P.R., Schmidt, V.C., Ortiz, S.E.M., Mauri, A.N., Laurindo, J.B. (2008). *Biodegradable foam based on cassava starch*

*sunflower proteins and cellulose fibers obtained by a baking process.* Journal of Food Engineering, Vol. 85, pp. 435-443.

[14] Shey, J., Imam, S.H., Glenn, G.M., Orts, W.J. (2006). *Properties of baked starch foam with natural rubber latex.* Industrial Crops and Products, Vol. 24, pp. 34-40.

[15] Shogren, R.L., Lawton, J.W., Doane, W.M., Tiefenbacher, K.F. (1998). *Structure and morphology of baked starch foams.* Polymer, Vol. 39(25), pp. 6649-6655.

[16] Shogren, R.L., Lawton, J.W., Tiefenbacher, K.F. (2002). *Baked starch foams: starch modifications and additives improve process parameters, structure and properties.* Industrial Crops and Products, Vol. 16, pp. 69-79.

[17] Teixeira, E.M., Curvelo, A.A.S., Correa, A.C., Marconcini, J.M., Glenn, G.M., Mattoso, L.H.C. (2012). *Properties of thermoplastic starch from cassava bagasse and cassava starch and their blends with poly (lactic acid).* Industrial Crops and Products, Vol. 37, pp. 61-68.