บทความวิจัย

ผลของปริมาณชานอ้อยต่อคุณภาพของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากกระบวนการกดอัดด้วยความร้อนสำหรับงานสาน

โสภิดา วิศาลศักดิ์กุล*
สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์
สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 9584 7952 อีเมล: sopida_w@rmutt.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.07.001
รับเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2564 แก้ไขเมื่อ 5 เมษายน 2564 ตอบรับเมื่อ 7 เมษายน 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 6 กรกฎาคม 2564
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณชานอ้อยที่เหมาะสมในการผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ศึกษาการอัดขึ้นรูปแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อย และศึกษาแนวทางการนำแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อยไปใช้ในงานสาน โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลัง แปรเป็น 6 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ของปริมาณแป้งมันสำปะหลัง ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จะได้ทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง นำสิ่งทดลองที่ได้มาศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) เพื่อนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อยในกระบวนการกดอัดด้วยความร้อน แล้วนำสิ่งทดลองไปศึกษาค่าความชื้น ค่าแรงดึงสูงสุด และลักษณะที่ปรากฏโดยทดสอบการสานลายขัด ผลการศึกษาวิจัยพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการกดอัดด้วยความร้อนเท่ากับ 220 องศาเซลเซียส และสิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำหลังร้อยละ 10 มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในงานสานมากที่สุด ซึ่งมีค่าความชื้นร้อยละ15 ค่าแรงดึงสูงสุด 6.50 นิวตัน และค่าความยืดตัวที่จุดขาดร้อยละ 16.75 เมื่อนำมาทดสอบสานลายขัดพบว่า มีความเหมาะสมในการนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์จากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อย

คำสำคัญ: ชานอ้อย เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช การกดอัดด้วยความร้อน งานสาน แป้งมันสำปะหลัง

การอ้างอิงบทความ: โสภิดา วิศาลศักดิ์กุล และ อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์, "ผลของปริมาณชานอ้อยต่อคุณภาพของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากกระบวนการกดอัดด้วยความร้อนสำหรับงานสาน," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 33, ฉบับที่ 1, หน้า 257–268, ม.ค.–มี.ค. 2566.

Research Article

Effect of Bagasse Quantity on Quality of Thermoplastic Starch from Compression Molding Process for Woven Product

Sopida Wisansakkul*
Program in Home Economics, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, Thailand
Orawan Oupathumpanont
Program in Food and Nutrition, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 9584 7952, E-mail: sopida_w@rmutt.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.07.001
Received 9 February 2021; Revised 5 April 2021; Accepted 7 April 2021; Published online: 6 July 2021
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research study aims to study the right amount of bagasse in the production of starch thermoplastics. Study the extrusion of starch thermoplastic sheet with bagasse and study how to use thermoplastic sheet with bagasse in weave. Factor studied was the amount of bagasse substitutes cassava starch, which varied into 6 levels: 0, 10, 20, 30, 40 and 50 percent of bagasse in cassava starch. The test plan was Completely Randomized Design (CRD), which resulted in a total of 6 treatments. The experiments were conducted to study thermal properties with Differential Scanning Calorimetry (DSC) techniques to form thermoplastic starch sheets with bagasse in the process of compression molding, and then take the experiment to study moisture content, maximum tensile strength, and appearance by abrasive weave test. The results showed that the optimum temperature for pressing with heat was 220°C, and treatment with 10 percent of bagasse in cassava starch were most suitable for use in woven product with a moisture content of 15%. maximum tensile strength of 6.50 N and elongation at the break of 16.75%. When tested for weaving patterns, it was found that the result was suitable for developing a product from bagasse mixed thermoplastic starch.

Keywords: Bagasse, Thermoplastic Starch, Compression Molding Process, Weaving Application, Cassava Starch

Please cite this article as: S. Wisansakkul and O. Oupathumpanont, "Effect of bagasse quantity on quality of thermoplastic starch from compression molding process for woven product," *The Journal of KMUTNB*, vol. 33, no. 1, pp. 257–268, Jan.–Mar. 2023 (in Thai).

1. บทนำ

ชานอ้อย คือ ส่วนของลำต้นอ้อยมีลักษณะเป็นเส้นใยที่หีบเอาน้ำอ้อยหรือน้ำตาลออกแล้ว เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล ซึ่งในแต่ละปีจะมีชานอ้อยเหลือจากกระบวนการผลิตมากถึง 53.20 ล้านตัน/ปี และยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นในทุกปี [1] ปัจจุบันได้มีการศึกษาการสร้างประโยชน์ และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับชานอ้อยที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำตาลหรือการหีบน้ำอ้อยเพื่อจำหน่าย ซึ่งชานอ้อยเป็นวัสดุชีวภาพทางการเกษตรที่มีองค์ประกอบของเส้นใยประมาณร้อยละ 49.00 [2] โดยเส้นใยชานอ้อยมีคุณสมบัติช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกล สมบัติการแพร่ผ่านของก๊าซ และมีความทนต่อน้ำ [3] จากคุณสมบัติดังกล่าวของชานอ้อย มีความเหมาะสมในการนำชานอ้อยไปใช้เป็นส่วนประกอบในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชโดยทั่วไปเป็นการใช้สตาร์ชจากวัตถุดิบในธรรมชาติ พบได้ในธัญพืช (เช่น ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว) พืชหัว (เช่น มันฝรั่ง) และพืชตระกูลถั่ว (เช่น ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วลันเตา) นอกจากนี้สตาร์ชยังถูกใช้เป็นสารเติมแต่งสำหรับพลาสติก เพื่อเพิ่มเนื้อพลาสติกหรือลดต้นทุนการผลิตพลาสติก และปรับปรุงสมบัติการแตกสลายได้ทางชีวภาพของพลาสติกชีวภาพด้วย [4]

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic Starch; TPS) เป็นพลาสติกชีวฐาน (Bio-based Plastic) จัดอยู่ในกลุ่มที่มาจากธรรมชาติโดยตรง ไม่เป็นพิษ ย่อยสลายได้โดยการฝังกลบ ผลิตขึ้นจากพืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง และถั่วต่างๆ [5] โดยในประเทศไทยการผลิตเทอร์โมพลาติกสตาร์ชกำลังเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะการผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากประเทศไทยมีผลผลิตมันสำปะหลังเป็นอันดับ 2 ของโลกรองลงมาจากประเทศไนจีเรีย มีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังมากถึง 8.7 ล้านไร่ ปัจจุบันมีโรงงานแป้งมันสำปะหลังในไทยจำนวนทั้งสิ้น 102 โรงงาน และโรงงานแป้งมันสำปะหลังดัดแปร 14 โรงงาน [6] จึงทำให้มีวัตถุดิบแป้งมันสำปะหลังเป็นจำนวนมากในการนำมาแปรรูปเป็นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช แต่ในกระบวนการผลิตมักมีการปรับคุณสมบัติให้ได้ตรงตามความต้องการมากขึ้น โดยใช้สารเติมแต่งต่างๆ มาใช้เป็นสารตัวเติมในการผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช [4] โดยการผสมวัตถุดิบสตาร์ชกับสารเติมแต่ง และพลาสติกไซเซอร์อื่นๆ เพื่อเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปและปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ พลาสติกไซเซอร์ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ น้ำ และกลีเซอรอล ซึ่งในกระบวนการขึ้นรูปแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชสามารถทำได้อย่างหลากหลายรูปแบบ เช่น กระบวนการกดอัดด้วยความร้อนที่ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวางในการนำไปใช้เป็นเทคนิคการขึ้นรูป TPS [4] โดยในกระบวนการดังกล่าวผู้ผลิตควรทราบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

ดังนั้นนักวิจัยจึงสนใจศึกษากระบวนการนำชานอ้อยในปริมาณที่เหมาะสมมาใช้ในการผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช โดยเริ่มต้นศึกษาสมบัติทางความร้อนที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูป เพื่อนำไปใช้ผลิตเป็นเส้นพลาสติกสำหรับสานขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่างๆ ทดแทนการใช้เส้นพลาสติกสังเคราะห์ ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณชานอ้อยที่เหมาะสมในการผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ศึกษาการอัดขึ้นรูปแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อย และศึกษาแนวทางการนำแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อยไปใช้ในงานสานต่อไป

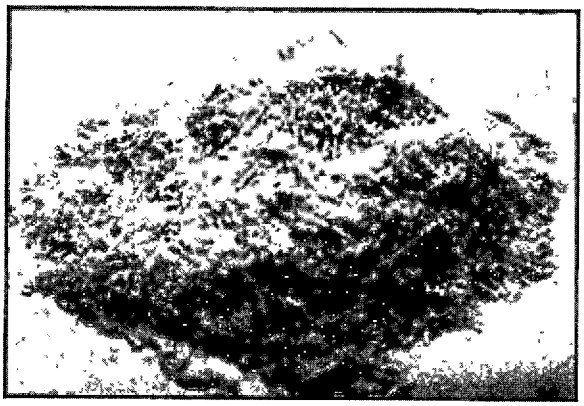
2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

แป้งมันสำปะหลัง (ตราปลาไทย 5 ดาว จาก บริษัท อี.ที.ซี. เอี๊ยบตงจั่น จำกัด) ชานอ้อย (ร้านจำหน่ายน้ำอ้อยบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี) กลีเซอรอล (เกรด AR ยี่ห้อ KemAus/Australia จาก บริษัท ทีทีไนซ์ทีไนซ์ จำกัด) น้ำกลั่น (DI Water จาก หจก.กุญชรเทคโนโลยี)

2.2 การเตรียมวัตถุดิบ

นำชานอ้อยที่หีบน้ำอ้อยออกหมดแล้ว มีลักษณะไม่ขึ้นรา และไม่มีกลิ่นบูด มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาดเพื่อ



รูปที่ 1 ชานอ้อยบดละเอียด

ขจัดฝุ่นละอองและคราบสกปรกออก แล้วตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ประมาณ 2 นิ้ว เพื่อนำไปอบโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง แล้วนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียดที่ความเร็ว 23,000 รอบต่อนาที ร่อนผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 60 (60 Mesh) เพื่อให้ได้ผงชานอ้อยที่มีความละเอียด 250 ไมครอน (ดังแสดงในรูปที่ 1)

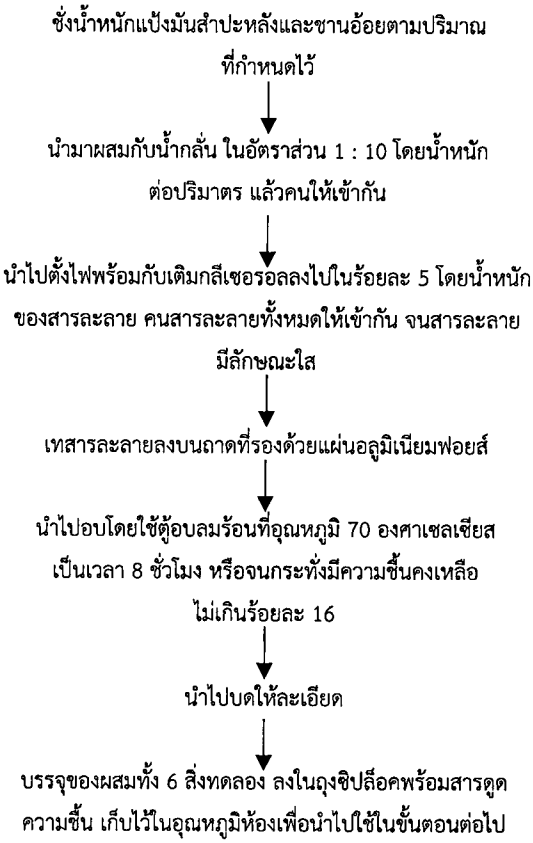
นำชานอ้อยบดละเอียดมาคำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ (% Yield) และวิเคราะห์ค่าความชื้นตามมาตรฐาน ASTM D3173 ดังสมการที่ (1)

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(A-B)}{A} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)
B = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

2.3 การศึกษาปริมาณชานอ้อยที่เหมาะสมในการผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

ในการศึกษาปริมาณชานอ้อยที่เหมาะสมในการผลิตของผสมสำหรับนำไปขึ้นรูปโดยการกดอัดด้วยความร้อน ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลัง แปรเป็น 6 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ของปริมาณแป้งมันสำปะหลัง น้ำหนักรวม 100 กรัม ทำการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จะได้ทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง ทำการเตรียมของผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับชานอ้อยตามกระบวนในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตของผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและชานอ้อย

2.3.1 ศึกษาลักษณะที่ปรากฏ

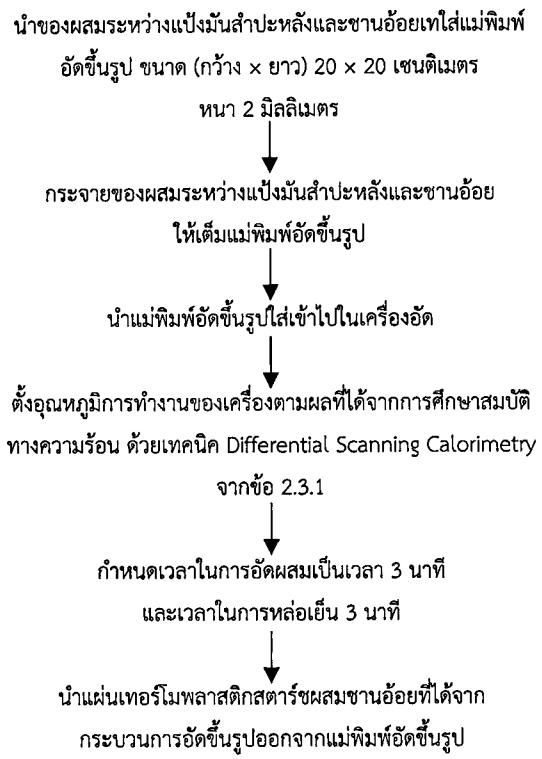
ทำการศึกษาลักษณะที่ปรากฏของของผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและชานอ้อยทั้ง 6 สิ่งทดลอง ด้วยวิธีการสังเกตแล้วบันทึกผลที่ได้

2.3.2 การศึกษาค่าความชื้น

ทำการศึกษาค่าความชื้นของของผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและชานอ้อยทั้ง 6 สิ่งทดลอง ตามมาตรฐาน ASTM D6980-12

2.3.3 การศึกษามบัติทางความร้อน

ทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนที่ส่งผลต่อของผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและชานอ้อยด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) โดยกำหนดอุณหภูมิในการ



รูปที่ 3 กระบวนการอัดขึ้นรูปแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อย

วิเคราะห์อยู่ระหว่าง 30–300 องศาเซลเซียส ควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิในการทดสอบ 30 องศาเซลเซียสต่อนาที และนำผลการทดลองที่ได้ไปใช้ในการอัดขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อยโดยใช้กระบวนการกดอัดด้วยความร้อน (Compression Molding) ต่อไป

2.4 การอัดขึ้นรูปแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อย

ทำการอัดขึ้นรูปของผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและชานอ้อยทั้ง 6 สิ่งทดลอง ที่ได้จากกระบวนการในรูปที่ 2 โดยการกดอัดด้วยความร้อน ตามกระบวนการในรูปที่ 3

นำแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อยทั้ง 6 สิ่งทดลองมาศึกษาคุณภาพ ดังนี้

2.4.1 ค่าความชื้น

ทำการศึกษาค่าความชื้นของแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อยทั้ง 6 สิ่งทดลอง ตามมาตรฐาน ASTM D6980-12

2.4.2 ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุด และค่าความยืดที่จุดขาด

ทำการศึกษาค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุด และค่าความยืดที่จุดขาดของแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อยทั้ง 6 สิ่งทดลอง ตามมาตรฐาน ASTM D 638-14 ด้วยเครื่อง INSTRON Machine Type 5966 โดยเตรียมชิ้นงานทดสอบเป็นรูปทรง Dumbbell กำหนดค่าความเร็วในการทดสอบ 50 มิลลิเมตรต่อนาที วัดช่วงความยาวประมาณ 250 มิลลิเมตร ทำการยืดชิ้นงานด้วยอัตราการดึงที่คงที่ แล้วบันทึกผลการทดสอบที่ได้

2.4.3 ศึกษาแนวทางการนำแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อยไปใช้ในงานสาน

ทำการศึกษาแนวทางการนำไปใช้ในงานสาน โดยนำแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อยที่ได้จากการกดอัดด้วยความร้อน ไปตัดเป็นเส้นขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร นำทดสอบการสานเป็นลายขัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า สังเกตลักษณะที่ปรากฏและการหักงอของสิ่งทดลองเมื่อนำมาทดสอบสานเป็นลายขัด แล้วทำการบันทึกผลที่ได้จากการสังเกตลักษณะที่ปรากฏสิ่งทดลอง

ดำเนินการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากผลการศึกษาค่าความชื้น ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุด ค่าความยืดที่จุดขาดของแผ่นเทอร์โมพลาสติกผสมชานอ้อย โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ถ้าพบนัยสำคัญทางสถิติจะคำนวณค่าความแตกต่าง เพื่อทดสอบหาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) และทำการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมจากการบันทึกผลลักษณะที่ปรากฏจากการนำสิ่งทดลองมาทดสอบการสานเป็นลายขัด

3. ผลการทดลอง

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

จากการศึกษาการเตรียมวัตถุดิบพบว่า การเตรียมชานอ้อยบดละเอียดจากชานอ้อยที่ผ่านการหีบน้ำอ้อยออกเป็นที่เรียบร้อยแล้ว มีลักษณะสีเหลืองนวล เป็นผงละเอียด

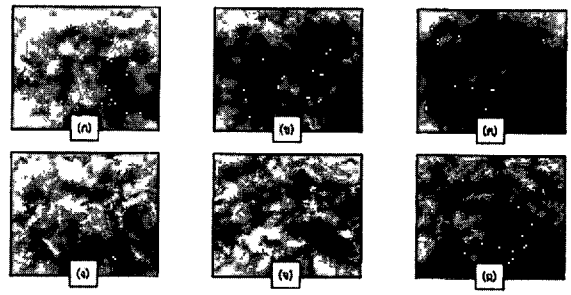
ไม่จับตัวเป็นก้อน แห้ง และฟู มีกลิ่นเล็กน้อย และปราศจากสิ่งแปลกปลอม ร่อนผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 60 ซึ่งเป็นขนาดที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช และการควบคุมขนาดของผงชานอ้อยจะส่งผลต่อความสม่ำเสมอและความเข้ากันได้ของวัตถุดิบระหว่างแป้งมันสำปะหลังและชานอ้อย จากการคำนวนค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ (% Yield) พบว่า ได้ผลผลิตร้อยละ 12.75 ของน้ำหนักชานอ้อยสด และผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นพบว่า ผงชานอ้อยบดละเอียดมีค่าความชื้นร้อยละ 4.75 ซึ่งจากงานวิจัยของ เถลิงราช และคณะ [7] ได้กล่าวว่าในกระบวนการการอบแห้งจะเกิดการระเหยของน้ำอิสระที่ผิวของวัสดุ เมื่อระยะเวลาในการอบแห้งที่เหมาะสมน้ำที่อยู่ภายในโครงสร้างจะออกมายังอากาศแวดล้อมทำให้ความชื้นของวัตถุดิบลดลง และในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2772/2560 ที่ได้กำหนดให้ชีวมวลประเภทไม่ได้ทำจากไม้ (Non-woody Biomass) มีค่าความชื้นได้ไม่เกินร้อยละ 15 เพื่อลดการทำลายวัตถุดิบจากเชื้อรา และป้องกันมอดที่จะมากัดกินวัตถุดิบ [8]

3.2 การศึกษาปริมาณชานอ้อยที่เหมาะสมในการผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

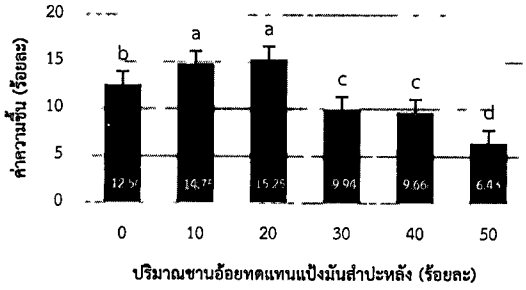
3.2.1 การศึกษาลักษณะที่ปรากฏ

ในการศึกษาลักษณะที่ปรากฏของของผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและชานอ้อยทั้ง 6 สิ่งทดลอง ด้วยวิธีการสังเกตได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4

จากรูปที่ 4 พบว่า ลักษณะของของผสมที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 สิ่งทดลองมีการจับตัวกันเป็นก้อนเมื่อนำไปบด เนื่องจากมีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบอยู่จำนวนมากจึงทำให้สิ่งทดลองมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์ม และมีความยืดหยุ่นสูง เกิดการจับตัวกันเป็นก้อน แต่เมื่อนำชานอ้อยมาทดแทนแป้งมันสำปะหลังที่ร้อยละ 40 และ 50 สิ่งทดลองมีลักษณะร่วนไม่จับตัวกันเป็นก้อน และของผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและชานอ้อยที่ได้มีลักษณะเป็นสีเหลืองอ่อนจนกระทั่งถึงสีน้ำตาลตามปริมาณชานอ้อยที่ใส่ทดแทนแป้งมันสำปะหลัง



รูปที่ 4 ลักษณะที่ปรากฏของของผสมที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังในระดับต่างๆ (ก) ร้อยละ 0 (ข) ร้อยละ 10 (ค) ร้อยละ 20 (ง) ร้อยละ 30 (จ) ร้อยละ 40 และ (ฉ) ร้อยละ 50



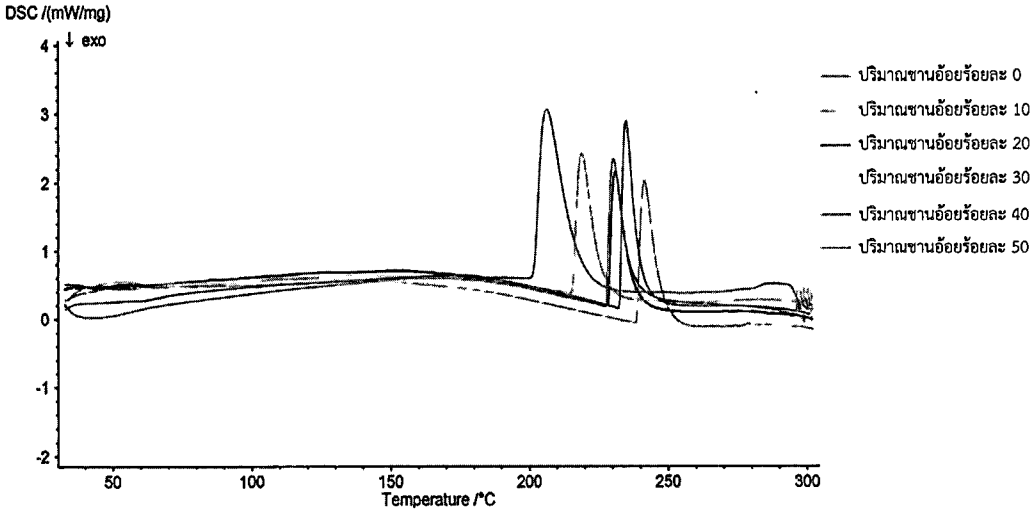
รูปที่ 5 ผลการศึกษาค่าความชื้นของของผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและชานอ้อย

ลงไป เนื่องจากผงชานอ้อยบดละเอียดที่นำไปใช้เป็นส่วนผสมทดแทนแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอ่อน

3.2.2 การศึกษาค่าความชื้น

ในการศึกษาค่าความชื้นของของผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและชานอ้อยทั้ง 6 สิ่งทดลอง ตามมาตรฐาน ASTM D6980-12 ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 5

จากรูปที่ 5 พบว่า ค่าความชื้นของของผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและชานอ้อยทั้ง 6 สิ่งทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งค่าความชื้นมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 0, 10 และ 20 เนื่องจากเส้นใยจากชานอ้อยสามารถดูดซึมน้ำได้หลายเท่าของน้ำหนัก [9] สิ่งทดลองจึงมีค่าความชื้นอยู่ในระดับเพิ่มมากขึ้น แต่



รูปที่ 6 เทอร์โมกราฟของของผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและชานอ้อย

เมื่อสิ่งทดลองมีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 30, 40 และ 50 สิ่งทดลองมีค่าความชื้นลดลงตามลำดับ และมีลักษณะไม่เกาะตัวกันเป็นแผ่นฟิล์มดังปรากฏในรูปที่ 4 สำหรับสิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 0 มีค่าความชื้นต่ำกว่าสิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 10 และ 20 เป็นผลมาจากสิ่งทดลองดังกล่าวมีเพียงแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมระหว่างน้ำ และกลีเซอรอล ซึ่งจากการศึกษาวิจัยของ Sanyang และคณะ [10] พบว่า การใช้กลีเซอรอลกับแป้งมันสำปะหลังทำให้ฟิล์มมีความชื้นเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากหมู่ไฮดรอกซิลในกลีเซอรอลเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ดีกับโมเลกุลน้ำ จึงทำให้กลีเซอรอลเป็นสารอุ้มน้ำไว้ภายในเมทริกซ์ได้ดี

3.2.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

ในการศึกษาสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลัง และชานอ้อย ด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) พบว่า ของผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลัง และชานอ้อยทั้ง 6 สิ่งทดลอง แสดงปฏิกิริยาการดูดความร้อน (Endothermic) ซึ่งแสดงถึงการใช้พลังงานเข้าไปหลอมละลายผนึกของของผสม ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลาติไนเซชัน (T_o) อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาติไนเซชัน (T_p) อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลาติไนเซชัน (T_c) และพลังงานในการเกิดเจลาติไนเซชัน (ΔH) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1

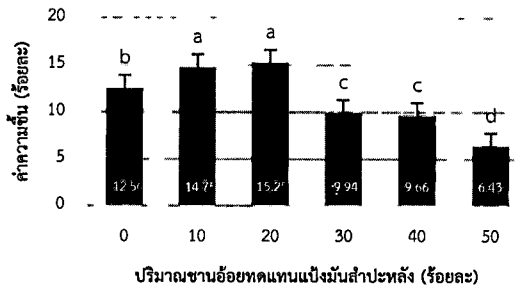
ตารางที่ 1 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและชานอ้อย

ปริมาณชานอ้อย	อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน (°ซ)			พลังงานในการเกิดเจลาติไนเซชัน (ΔH) (J/g)
	T_o	T_p	T_c	
ร้อยละ 0	200.30^{e}	204.60^{e}	215.80^{e}	151.70^{a}
ร้อยละ 10	237.40^{a}	240.00^{a}	246.30^{a}	56.69^{d}
ร้อยละ 20	228.40^{c}	230.90^{c}	237.10^{bc}	69.78^{c}
ร้อยละ 30	214.10^{d}	217.30^{d}	224.40^{d}	81.72^{b}
ร้อยละ 40	232.00^{b}	234.20^{b}	239.20^{b}	84.07^{b}
ร้อยละ 50	226.80^{c}	229.30^{c}	235.20^{c}	80.39^{b}

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 1 พบว่า อุณหภูมิ T_p ของสิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 0 มีค่าจุดหลอมเหลวอยู่ในระดับต่ำที่สุด เนื่องจากสิ่งทดลองดังกล่าวมีเพียงแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมอย่างเดียว ซึ่งในกระบวนการเกิดเจลาติไนเซชันทำให้แป้งเกิดการพองตัว

มีความหนืดเพิ่มขึ้น [11] ประกอบกับสิ่งทดลองดังกล่าวไม่มีชานอ้อยเป็นส่วนผสมจึงส่งผลให้มีค่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันได้ต่ำ แต่มีค่าพลังงานในการเกิดเจลาติไนเซชันสูง (ΔH) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Fredriksson และคณะ [12] รายงานว่าสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลเพกตินสูงกว่า (อะมิโลสต่ำกว่า) จะใช้พลังงานในการเกิดเจลาติไนเซชันสูง โดยแป้งมันสำปะหลังมีอะมิโลสเป็นองค์ประกอบโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 17.0 [13] และเมื่อเพิ่มเป็นปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังในระดับร้อยละ 10 ขึ้นไป สิ่งทดลองจะมีค่า T_p ที่สูงขึ้น และลดลงมาเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงสิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 40 ซึ่งสิ่งทดลองดังกล่าวจะมีค่า T_p สูงอีกครั้ง ซึ่งลักษณะการเกิดอุณหภูมิเจลาติไนเซชันดังกล่าวจะเกิดขึ้นกับสิ่งทดลองทั้ง 6 สิ่งทดลอง ทั้งในค่าอุณหภูมิ T_o และค่าอุณหภูมิ T_c โดยทุกสิ่งทดลองมีค่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน 200 องศาเซลเซียสขึ้นไปในทุกช่วง ซึ่งอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันมักขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ของสิ่งทดลอง เช่น สัดส่วนของอะมิโลสและ อะมิโลเพคติน ปริมาณไขมัน รวมทั้งการจัดเรียงตัวของโมเลกุลในเม็ดแป้ง การพองตัว การแตกตัว และการละลายหลอมรวมกัน [11] ซึ่งสิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังในระดับที่สูงขึ้นสิ่งทดลองจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะความร้อน เนื่องจากชานอ้อยมีรูปร่างเป็นเซลไฟเบอร์ยาวคล้ายทรงกระบอก เช่นเดียวกับเยื่อไม้ ส่งผลให้สิ่งทดลองที่มีชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 มีค่าสมบัติทางความร้อนที่สูงขึ้นกว่าสิ่งทดลองแรก โดยสิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 10, 20 และ 30 ค่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันจะเรียงลำดับจากสูงมาต่ำ และมีค่าอุณหภูมิสูงขึ้นอีกครั้งในสิ่งทดลองที่ปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 40 และ 50 เนื่องจากสิ่งทดลองมีลักษณะกระจายตัวกันเป็นผงละเอียดไม่จับตัวกันเป็นก้อน จึงส่งผลให้มีค่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันสูง และสิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังตั้งแต่ร้อยละ 10 ขึ้นไป มีค่าพลังงานในการเกิดเจลาติไนเซชัน (ΔH) น้อยกว่าสิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 0 ทุกสิ่งทดลอง เนื่องจากมีส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นอะมิโลสลดลง



รูปที่ 7 ผลการศึกษาค่าความชื้นของแผ่นเทอร์โมพลาสติกผสมชานอ้อย

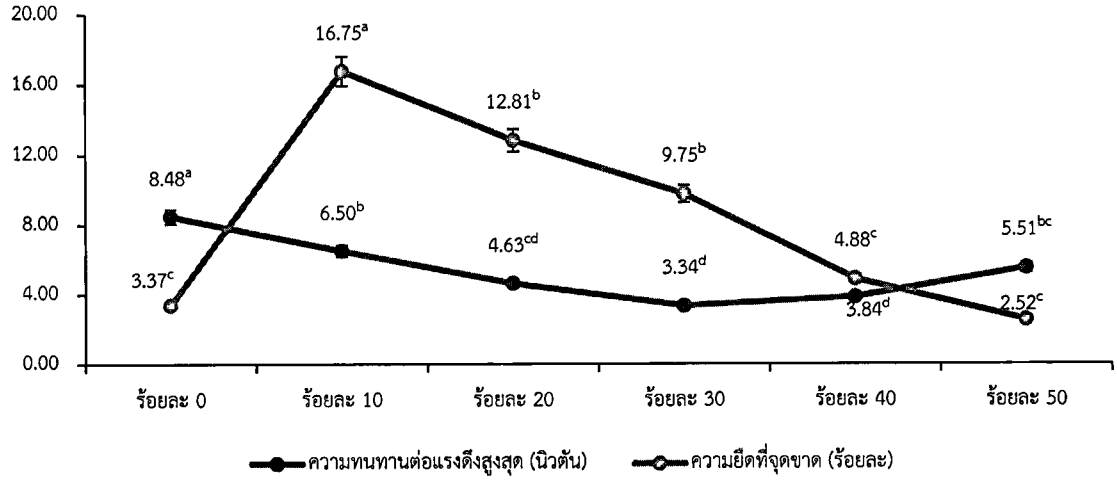
3.3 การอัดขึ้นรูปแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อย

จากการอัดขึ้นรูปแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อย ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป Compression Molding โดยใช้อุณหภูมิในการกดอัดความร้อน 220 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปใกล้เคียงกับการศึกษาวิจัยของ Soykeabkaew และคณะ [14] ที่ศึกษาการขึ้นรูปโฟมแป้งมันสำปะหลังเสริมด้วยเส้นใยปอกระเจาและเส้นใยป่านที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เมื่อขึ้นรูปแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อยทั้ง 6 สิ่งทดลอง แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพ ได้ผลการศึกษาดังนี้

3.3.1 ค่าความชื้น

ในการศึกษาค่าความชื้นของแผ่นเทอร์โมพลาสติกผสมชานอ้อยที่ได้จากกระบวนการกดอัดความร้อนทั้ง 6 สิ่งทดลอง ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 7

จากรูปที่ 7 พบว่า ค่าร้อยละความชื้นของแผ่นเทอร์โมพลาสติกผสมชานอ้อยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลัง สิ่งทดลองจะมีค่าร้อยละความชื้นสูงกว่าสิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 0 เนื่องจากชานอ้อยเป็นเส้นใยเซลลูโลสที่ใช้เติมแต่งในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้ง มีคุณสมบัติ



รูปที่ 8 ผลการศึกษาค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุด และค่าความยืดที่จุดขาดของแผ่นเทอร์โมพลาสติกผสมชานอ้อย

ในการช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของสิ่งทดลอง เมื่อสิ่งทดลองมีส่วนผสมของชานอ้อยจะเกิดความพรุนในเนื้อ และผิวหน้าของสิ่งทดลองมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งช่องว่างความพรุนนี้ทำให้น้ำซึมเข้าไปภายในได้ง่ายขึ้น [15] ส่งผลให้สิ่งทดลองมีค่าความชื้นสูงขึ้นจากการกระจายตัวของปริมาณไอน้ำในแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อย ซึ่งสิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังระหว่างร้อยละ 20–40 มีค่าความชื้นสูงเป็นผลมาจากการที่สิ่งทดลองได้มีการดูดซึมน้ำเข้าไปจำนวนมาก และอัตราการระเหยน้ำออกเมื่อทำการอัดขึ้นรูปจะมีน้ำคงเหลือในสิ่งทดลองส่งผลให้มีค่าความชื้นสูง สำหรับสิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 40–50 มีค่าความชื้นลดลงตามลำดับ เนื่องจากมีอัตราส่วนของชานอ้อย และแป้งมันสำปะหลังที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งน้ำที่ดูดซึมเข้าไปในสิ่งทดลองสามารถระเหยออกไปได้เป็นจำนวนมากเมื่อผ่านกระบวนการกดอัดด้วยความร้อน จึงทำให้มีค่าความชื้นคงเหลือลดน้อยลง

3.3.2 ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุด และค่าความยืดที่จุดขาด

ในการศึกษาค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุด และค่าความยืดที่จุดขาดทั้ง 6 สิ่งทดลอง ตามมาตรฐาน ASTM D 638-14 ของแผ่นเทอร์โมพลาสติกผสมชานอ้อยที่ได้จากกระบวนการกดอัดความร้อนทั้ง 6 สิ่งทดลอง ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 8

จากรูปที่ 8 พบว่า สิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 0 มีค่าแรงดึงสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด เท่ากับ 8.48 นิวตัน แต่มีค่าร้อยละความยืดจุดขาดอยู่ในระดับน้อยที่สุด เท่ากับ 3.37 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับสิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 40 และ 50 เนื่องจากสิ่งทดลองดังกล่าวไม่มีชานอ้อยเป็นส่วนผสม และการใช้แป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวจะส่งผลให้สิ่งทดลองมีความยืดหยุ่นได้น้อย เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเมื่อได้รับความร้อนจะมีค่ากำลังการพองตัวสูง จึงทำให้ความหนืดสูง แต่เมื่อทำให้เย็นลงจะมีความหนืดต่ำ เนื่องจากมีอะมิโลสค่อนข้างต่ำ ทำให้เกิดการจับกันของหมู่ไฮดรอกซิลของอะมิโลสในระหว่างเย็นตัวต่ำ (Retrogradation) [11] เมื่อเพิ่มปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลัง สิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 10, 20 และ 30 มีค่าแรงดึงสูงสุดลดลงตามลำดับ เนื่องจากผลของความร้อนในระหว่างกระบวนการอัดขึ้นรูปจะทำให้เกิดการสลายตัวที่ผิวของเส้นใย ซึ่งสามารถหลอมละลายรวมกับแป้งมันสำปะหลังได้ นอกจากนี้การจัดเรียงตัวของเส้นใยส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของวัสดุอีกด้วย [16] สำหรับสิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้ง

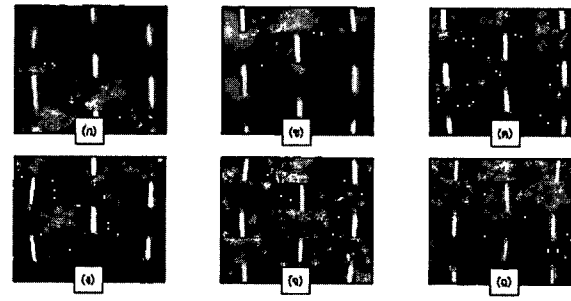
มันสำปะหลังร้อยละ 40 และ 50 เริ่มมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้น ด้วยลักษณะของชานอ้อยที่มีความเรียวของเส้นใยสูง มักเกิดการประสานตัวเกาะก่ายกันระหว่างเส้นใยได้ดี ส่งผลให้แผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ได้มีค่าความแข็งแรงอยู่ในระดับที่สูงขึ้น

สำหรับค่าร้อยละความยืดที่จุดขาดสิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 10 มีค่าความยืดที่จุดขาดอยู่ในระดับสูงที่สุด เนื่องจากสิ่งทดลองดังกล่าวมีการนำชานอ้อยมาทดแทนแป้งมันสำปะหลังในปริมาณเหมาะสม ซึ่งชานอ้อยมีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำและช่วยการเกาะตัวประสานกันระหว่างเส้นใยให้แผ่นเทอร์โมพลาสติกมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นจากสิ่งทดลองที่ไม่มีชานอ้อยเป็นส่วนผสมทดแทน

3.3.3 การศึกษาแนวทางการนำแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อยไปใช้ประโยชน์

จากการนำของผสมจากแป้งมันสำปะหลัง และชานอ้อยมากดอัดด้วยความร้อน จะได้แผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อยทั้ง 6 สิ่งทดลอง เมื่อนำมาทดสอบสานเป็นลายขัด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 9

จากรูปที่ 9 พบว่า สิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 0 มีลักษณะนิ่มแต่ขาดความยืดหยุ่น เมื่อเพิ่มปริมาณชานอ้อยในระดับที่สูงขึ้น สิ่งทดลองจะมีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น และสามารถโค้งงอได้ สอดคล้องกับผลการศึกษาค่าแรงดึงสูงสุดพบว่า สิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำหลังมากกว่าร้อยละ 10 สิ่งทดลองจะมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดอยู่ในระดับที่เหมาะสม และมีค่าร้อยละความยืดที่จุดขาดสูงที่สุด เนื่องจากสิ่งทดลองมีการใช้กลีเซอรอลในส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง และชานอ้อย ซึ่งจะช่วยลดแรงระหว่างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้แผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อยมีความยืดหยุ่น (Flexibility) มีความยืดตัว (Elongation) และความเหนียว (Toughness) [17] ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังในระดับที่สูงมาก จึงส่งผลให้สิ่งทดลองมีความแข็ง และเปราะแตกได้ง่าย เนื่องจากชานอ้อยเป็นเส้นใยเซลลูโลสมักติดกับสารลิกนินหรือเพคติน ทำให้เส้นใยที่ได้มีลักษณะค่อนข้างใหญ่ และหยาบกระด้าง [18] สามารถดูดซึมน้ำได้หลายเท่าของน้ำหนักมัน ซึ่งส่งผลให้สิ่งทดลองมีลักษณะแห้ง แข็ง เปราะแตกได้ง่าย ซึ่งไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในงานสาน เนื่องจากในการนำเส้นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อยไปใช้ในงานสาน วัตถุดิบควรมีความยืดหยุ่นและสามารถดัดโค้งได้ง่าย ดังจะเห็นได้จากสิ่งทดลองมีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำปะหลังสูงกว่าร้อยละ 10 ลักษณะพื้นผิวของแผ่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อยจะเห็นลักษณะของเส้นใยชานอ้อยที่เป็นส่วนผสมอยู่ภายในและผิวมีลักษณะแห้ง หยาบกระด้าง ไม่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการสานเพื่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เนื่องจากตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 20/2546 ผลิตภัณฑ์จักสานเส้นพลาสติก ได้กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการของเส้นพลาสติกสำหรับงานสานไว้ว่าต้องไม่ขาดแตก ไม่เป็นขุย เรียบ มีความเหนียว และคงทน [19]



รูปที่ 9 ลักษณะที่ปรากฏของแผ่นเทอร์โมพลาสติกผสมชานอ้อยในอัตราส่วนต่างๆ (ก) ร้อยละ 0 (ข) ร้อยละ 10 (ค) ร้อยละ 20 (ง) ร้อยละ 30 (จ) ร้อยละ 40 และ (ฉ) ร้อยละ 50

4. อภิปรายผลและสรุป

จากการการศึกษาปริมาณชานอ้อยต่อคุณภาพของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากกระบวนการกดอัดด้วยความร้อน สำหรับงานสานพบว่า สิ่งทดลองที่มีปริมาณชานอ้อยทดแทนแป้งมันสำหลังร้อยละ 10 มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในงานสานมากที่สุด ซึ่งสิ่งทดลองที่ได้เกิดจากกระบวนการกดอัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ใช้เวลา

ในการอัดผสม 3 นาที และเวลาในการหล่อเย็น 3 นาที มีความหนา 2 มิลลิเมตร มีค่าความชื้นร้อยละ 15 มีค่าแรงดึงสูงสุด 6.50 นิวตัน และค่าความยืดตัวที่จุดขาดร้อยละ 16.75 เมื่อนำมาทดสอบสานลายขัดสิ่งทดลองมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานทดแทนเส้นพลาสติกสังเคราะห์ในการนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สินค้าจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อยต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ที่ให้การสนับสนุนทุนในการดำเนินโครงการวิจัย เรื่อง การพัฒนาเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชผสมชานอ้อยเพื่อประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์งานจักสาน เลขที่สัญญา IRF63A0301A.1 และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Biological Industry Promotion Group, *Electricity and Steam Generation of the Cane and Sugar Industry*, Office of the Cane and Sugar Board, 2018 (in Thai).

[2] O. L. Chiparus, "*Bagasse fiber for production of nonwoven materials*," LSU Doctoral Dissertations, LSU Digital Commons, Louisiana State University, 2004.

[3] L. Averous and E. Pollet "Nanobiocomposites based on plasticized starch," *Starch Polymers*. Elsevier, 2014, pp. 211–239.

[4] Plastics Institute of Thailand. (2018). Thermoplastic Starch: TPS. King Mongkut's University of Technology North Bangkok. Bangkok, Thailand [Online] (in Thai). Available: http://asp.plastics.or.th:8001/files/article_file/20180624234022u.pdf.

[5] Plastics Institute of Thailand. (2019, August). *Thermoplastic Starch: TPS*. [Online] (in Thai). Available: http://asp.plastics.or.th:8001/Article_Detail.aspx?id=69

[6] C. Sowcharoensuk, (2020, May). *Business/Industry Outlook 2020–2022: Cassava*. [Online] (in Thai). Available: https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/Agriculture/Cassava/IO/io-cassava-20

[7] T. Ninchuewong, A. Ekphon, S. Tirawanichakul, and Y. Tirawanichakul, "Drying of air dried sheet rubber using hot air dryer and solar dryer for small entrepreneurs and small rubber cooperatives," *Burapha Science Journal*, vol. 17, no. 2, pp. 50–59, 2012 (in Thai).

[8] Industrial Product Standards, "Solid biomass pellet fuel, TIS 2772/2017," *Thai Industrial Standards Institute (TISI)*, Bangkok, Thailand, 2017 (in Thai).

[9] P. Surin, "Studies of process and properties of thermal insulation boards produced from bagasse," M.S. thesis, Department of Tool and Materials Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 2001 (in Thai).

[10] M. L. Sanyang, S. M. Sapuan, M. Jawaid, M. R. Ishak, and J. Sahari, "Effect of glycerol and sorbitol plasticizers on physical and thermal properties of sugar palm starch based films," presented at 13th International Conference on Environment, Ecosystems, and Development (EED '15), Kuala Lumpur, Malaysia, April, 2015.

[11] U. Apichachan, "The quality improvement of donut cakes using rice flour and pregelatinized rice flour to substitute for wheat flour," M.S.

thesis, Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University, 2014 (in Thai).

[12] H. J. Fredriksson, J. Silverio, R. Anderson, A. C. Eliasson, and P. Aman, "The influence of amylose and amylopectin çharacteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches," *Carbohy Poly*, vol. 35, no. 3–4, pp. 119–134, 1998.

[13] R. Pongsawatmanit, P. Thanasukarn, and S. Ikeda, "Effect of sucrose on RVA viscosity parameters, water activity and freezable water fraction of cassava starch suspensions," *Science Asia*, vol. 28, no. 2, pp. 129–134, 2002.

[14] N. Soykeabkaew, P. Supaphol, and R. Rujiravanit, "Preparation and characterization of jute- and flax-reinforced starch-based composite foams," *Carbohydrate Polymers*, vol. 58, no. 1, pp. 53–63, 2004.

[15] N. Panlai, P. Khamput, and K. Suweero, "Product of cement-bonded bagasse fiber board," *Journal of Innovative Technology Research*, vol. 3, no. 2, pp. 59–69, 2019 (in Thai).

[16] P. V. Joseph, K. Josepha, and S. Thomas, "Effect of processing variables on the mechanical properties of sisal- fiber-reinforced polypropylene composites," *Composite Science and Technology*, vol. 59, no. 11, pp. 1625–1640, 1999.

[17] R. Sothornvit, *Biopolymer Films and Coatings for Food System*, 2nd Edition, Bangkok: Kasetsart University Press, 2016 (in Thai).

[18] S. Ujjin, K. Khucharoenphaisan, and V. Kit-preechavanich, *Final report of the research project for higher utilization of forestry and agricultural plant materials in Thailand (HUFA) 1996-2001; Volume II.* Bangkok: Kasetsart University, Effect of Humicola lanuginosa on bagasse storage. Bangkok (Thailand): Japan International Cooperation Agency, Tokyo (Japan). 2002, pp. 781 (in Thai).

[19] *Plastic Woven Products*, Thai Community Product Standards.20/2003, Thai Industrial Standards Institute (TISI), 2003.