



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การหาปัจจัยที่เหมาะสมของการขึ้นรูปภาชนะจากใบสับประรดด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ

Determining the optimal factors for forming containers from pineapple leaves using full factorial design of experiments

กนกพร รัตนวัน¹ ศุภกรณ์ บัวเพ็ง¹ รัชนีวรรณ สันลาด² ศิวศิษฐ์ ปิจมิตร³ นทีทิพย์ สวัสดิ์รักษา⁴ อนาวิน ทิพย์บุญราช^{1*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 52000

² สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 50300

³ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก 63000

⁴ สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 52000

Kanokphorn Rattanawan¹ Suphakon Buapeng¹ Ratchaneewan Sanlad² Siwasit Pitjamit³

Nateetip Sawatraksa⁴ Anawin Thipboonraj^{1*}

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang, Thailand 52000

² Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Mai, Thailand, 50300

³ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Thailand, 63000

⁴ Department of Plant science, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang Thailand 52000

* Corresponding author

E-mail: anawin@rmutl.ac.th; Telephone: 081 414 6951

วันที่รับบทความ 20 กุมภาพันธ์ 2568 ; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 17 พฤษภาคม 2568; วันที่ตอบรับบทความ 8 มิถุนายน 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปภาชนะจากใบสับประรดพันธุ์ปัตตาเวีย โดยใช้การออกแบบการทดลอง 2³ แฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ และการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คือ การรั่วซึมน้ำ ซึ่งเป็นการต่อยอดจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ไม่ได้กำหนดอัตราส่วนที่แน่ชัด ในกระบวนการทดลอง ได้ศึกษาปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัย ที่ส่งผลต่อการขึ้นรูป ได้แก่ อัตราส่วนของเส้นใยใบสับประรดต่อสารเชื่อมประสาน อุณหภูมิ และแรงดันในการขึ้นรูป แต่ละปัจจัยมีจำนวน 2 ระดับ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม Minitab ในการวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผล เพื่อศึกษาผลกระทบจาก 3 ปัจจัยหลัก และหาผลกระทบหลัก ผลกระทบร่วมเพื่อยืนยันผลความมีนัยสำคัญของปัจจัย จากการทดลองพบว่า ปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการขึ้นรูปภาชนะจากใบสับประรด คือ อัตราส่วนของเส้นใยใบสับประรดต่อสารเชื่อมประสาน 1:1 อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส แรงดัน 8 บาร์ และมีค่าด้านการรั่วซึมน้ำได้ดีที่สุด ปัจจัยที่มีผลต่อการรั่วซึมน้ำ ได้แก่ อัตราส่วนของเส้นใยใบสับประรดต่อสารเชื่อมประสาน (A) และผลกระทบร่วมระหว่างอุณหภูมิ (B) และแรงดัน (C) เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติตามลำดับ สามารถสร้างแบบจำลองถดถอยที่ลดรูปของ $\hat{y}$ เท่ากับ $89.58 + 59.42 A - 13.00 B + 13.83 C - 28.08 B \times C$ ผลของค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 73.11% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการถดถอยดังกล่าวสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ในระดับที่น่าพอใจ

คำสำคัญ

ภาชนะจากใบสับปะรด การออกแบบการทดลอง แพลทฟอร์มเรียลไทม์รูป

Abstract

This study aims to determine the optimal factors for molding containers from Pattawia pineapple leaves using a 2³ full factorial design and evaluating the physical property of water leakage resistance. It builds upon previous studies that did not specify a precise material ratio. The experiment investigated three factors affecting the molding process: the ratio of pineapple leaf fiber to binder, molding temperature, and molding pressure. Each factor had two levels, and the experiments were repeated three times at a significance level of 0.05. Minitab software was used for experimental planning and result analysis, focusing on the main effects and interaction effects of the three key factors. The purpose was to verify the statistical significance of these factors. The results showed that the optimal conditions for molding containers from pineapple leaves were a 1:1 fiber-to-binder ratio, a temperature of 130°C, and a pressure of 8 bar, which provided the best resistance to water leakage. Statistically significant factors affecting water leakage resistance were the fiber-to-binder ratio (A) and the interaction between temperature (B) and pressure (C). A reduced regression model was developed as $\hat{y} = 89.58 + 59.42 A - 13.00 B + 13.83 C - 28.08 B \times C$. The R² value of 73.11% indicates that the regression model satisfactorily explains the variance in the data.

Keywords

containers from pineapple leaves; experimental design; full factorial

1. คำนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีประชากรเพิ่มขึ้นและแนวโน้มในการใช้ทรัพยากรจำนวนมาก เป็นผลให้มีขยะเพิ่มขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2566 มีขยะมูลฝอยเกิดขึ้นประมาณ 26.95 ล้านตัน หรือเฉลี่ยวันละ 73,840 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2565 ประมาณ 5% ของขยะมูลฝอยบางส่วนถูกนำไปกำจัดอย่างไม่ถูกวิธี โดยการเทกอง การเผากลางแจ้ง ซึ่งการกำจัดด้วยวิธีการเผานั้นไม่มีระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ ส่งผลมาจากประชาชนบางส่วนขาดความสนใจและความเข้าใจในการคัดแยกขยะ การนำวัสดุที่มีประโยชน์กลับมาใช้ใหม่ [1]

ตำบลบ้านเสด็จ อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง เป็นแหล่งปลูกสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียแหล่งสำคัญในจังหวัดลำปาง จากข้อมูล ณ วันที่ 2 พฤษภาคม 2566 ของระบบทะเบียนเกษตรกร กรมส่งเสริมการเกษตร พบว่า สับปะรดในอำเภอเมือง จังหวัดลำปาง มีปริมาณการปลูกสับปะรดถึง 915 ครัวเรือน หรือมีพื้นที่ 16,739 ไร่ [2] เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตออกขายสู่ท้องตลาด จะพบว่าใบสับปะรดที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก และบางครัวเรือนได้เลือกวิธีการเผาทำลาย เนื่องจากสะดวกและรวดเร็วในการกำจัดใบสับปะรด เป็นผลให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก คิวิน เชม่า และซีเถ้า กระจายอยู่ทั่ว

อากาศทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ ดังนั้นเพื่อลดปริมาณขยะเหล่านี้ จึงได้รณรงค์ให้คัดแยกขยะอย่างถูกวิธี เช่น ลดการใช้พลาสติก หรือการเชิญชวนผู้คนให้เลือกใช้วัสดุที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติมาทดแทน เนื่องจากปัจจุบันวัสดุธรรมชาติได้ถูกนำมาพัฒนาใช้ในการผลิตภาชนะใส่ของและบรรจุอาหาร เพราะมีความปลอดภัยจากสารเคมีที่เป็นอันตรายส่งผลต่อร่างกายมนุษย์และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ รวมไปถึงการนำวัสดุจากท้องถิ่นมาสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรในชุมชน [3,4]

จากงานวิจัยการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ในการปั๊มขึ้นรูปภาชนะจากใบสับปะรด มีวัตถุประสงค์การออกแบบสร้างแม่พิมพ์ในการปั๊มขึ้นรูป โดยเครื่องปั๊มขึ้นรูปมีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ โครงสร้างเครื่องขึ้นรูป ชุดแม่พิมพ์ตัวผู้และตัวเมีย ปั๊มลม กระบอกลมนิวเมติกส์ และชุดลดความเร็ว เพื่อสร้างภาชนะบรรจุอาหารจากใบสับปะรด การขึ้นรูปภาชนะใช้วิธีการสุ่มในการขึ้นรูป โดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 6 นาที และแรงดัน 8 บาร์ สามารถผลิตได้ 75 ชิ้นต่อวัน จากผลการทดสอบโดยทำการทดสอบทั้งหมด 30 ตัวอย่าง พบว่าแรงดึงมีค่าเฉลี่ย 45.63 นิวตัน การทดสอบการซึมของน้ำมีค่าเฉลี่ย 42.77 วินาที และการทดสอบสารปนเปื้อน (โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง ผลที่ได้ คือ ไม่มีสารโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ [5]

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อต่อยอดจากงานวิจัยที่กล่าวมา โดยการหาปัจจัยที่เหมาะสมของการขึ้นรูปภาชนะจากใบสับปะรดด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ เนื่องจากงานวิจัยที่กล่าวมาไม่ได้ระบุอัตราส่วนที่แน่ชัดและใช้วิธีการสุ่มในการทดลองขึ้นรูปภาชนะ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของภาชนะที่ได้ไม่สม่ำเสมอ เกิดความไม่แน่นอนในผลลัพธ์ของการทดลองและยากต่อการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงมีการควบคุมปัจจัยที่อาจจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการ ปัจจัยที่ควบคุมได้มี 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยคงที่ คือ ลักษณะใบที่เป็นใบสด และเวลาในการขึ้นรูป ปัจจัยผันแปร คือ อัตราส่วนของเส้นใยใบสับปะรดต่อสารเชื่อมประสาน อุดหนุน และแรงดันในการขึ้นรูป ส่วนการทดสอบคุณสมบัติของภาชนะ คือ การทดสอบการรั่วซึมน้ำ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพภาชนะจากใบสับปะรดในแต่ละอัตราส่วน นอกจากนี้การนำใบสับปะรดมาทำการทดลองเพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเลือกใช้ภาชนะจากธรรมชาติ ลดจำนวนขยะรวมถึงการจัดการอย่างมีประสิทธิภาพและเพิ่มมูลค่าให้แก่ใบสับปะรด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

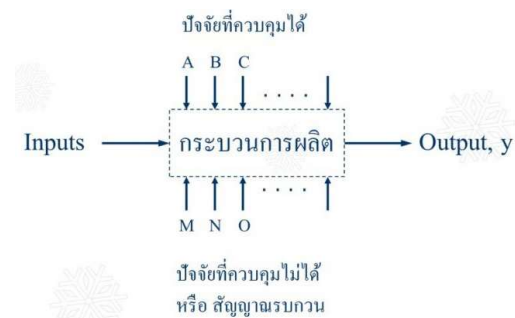
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบแผนการทดลอง (Design of experiments) หมายถึง กระบวนการวางแผนและดำเนินการทดลองอย่างเป็นระบบ เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input variables) ที่มีต่อค่าผลลัพธ์ (Outputs หรือ Responses) ของระบบหรือกระบวนการที่สนใจ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำความเข้าใจและระบุสาเหตุที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ดังกล่าว ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controllable variables หรือ Design variables) หมายถึง ตัวแปรที่สามารถปรับเปลี่ยนหรือกำหนดค่าได้ตามที่ต้องการ ในระหว่างการทดลอง และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable variables หรือ Noise variables) หมายถึง ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ

ระบบหรือกระบวนการแต่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้โดยตรง

กระบวนการนี้สามารถดำเนินการเป็นการทดลองเพียงครั้งเดียวหรือเป็นการทดลองต่อเนื่อง เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และพัฒนาความเข้าใจในระบบหรือกระบวนการที่ศึกษาอย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 1 [6,7]



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการผลิตที่มา; <https://www.bigqtraining.in.th/introduction-design-of-experiment-doe/>

2.1.2 การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ

เป็นการทดลองที่ทำขึ้นสำหรับศึกษาปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปได้ทุกกรณีที่เป็นไปได้ สามารถศึกษาผลกระทบหลัก (Main effect) ซึ่งเป็นผลกระทบของปัจจัยเดียวและผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย จำนวนวิธีปฏิบัติทั้งหมดที่เป็นไปได้ (จำนวนการทดลองโดยไม่ทำซ้ำ) มีค่าเท่ากับ a^k โดยที่ a คือ จำนวนระดับของแต่ละปัจจัยที่ศึกษา k คือ จำนวนปัจจัยในกรณีศึกษา 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยศึกษาที่ 2 ระดับ จำนวนของวิธีปฏิบัติทั้งหมด คือ 2^3 ซึ่งจะเรียกแผนการทดลองว่าการทดลอง 2^3 แฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (2^3 Full factorial experiment) ตารางที่ 1 แผนการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบมีข้อดี คือ ความเป็นออร์ทอกอนัล (Orthogonality) ไม่มีโครงสร้างที่ซ้ำซ้อน ศึกษาได้ทั้งปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมได้ทั้งหมด ส่วนข้อเสีย คือ ค่าใช้จ่ายสูงต้องใช้เวลาและทรัพยากรมาก เนื่องจากจำนวนการทดลองที่ใช้แปรผันตามจำนวนระดับของปัจจัยและจำนวนปัจจัยที่ศึกษา [6-8]

ตารางที่ 1 แผนการทดลอง 2^3 แฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ

Run	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
4	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
5	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

2.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

เป็นวิธีการพื้นฐานทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลอง โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง (Response) หรือลักษณะทางคุณภาพ (Quality characteristics) สนใจศึกษาหรือปรับปรุงของผลิตภัณฑ์ (ผลลัพธ์, Output) จากระบบหรือกระบวนการในการวิเคราะห์จะแยกสาเหตุของความแตกต่างออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

1) ความแตกต่างที่สามารถอธิบายได้ (Explained variation) คือ ความแตกต่างหรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปัจจัยหรือวิธีปฏิบัติที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง บางครั้งอาจถูกเรียกว่าความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

2) ความแตกต่างที่ไม่สามารถอธิบายได้ (Unexplained variation) คือ ความแตกต่างหรือการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถอธิบายได้เนื่องจากขาดความรู้ หรือความรู้เกี่ยวกับระบบยังไม่มากพอ ซึ่งในบางครั้งอาจเกิดจากกรณีที่ผู้ศึกษาทราบถึงปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ไม่สามารถควบคุมได้ ในการทดลอง (Noise factors) ซึ่งในการวิเคราะห์ความแปรปรวนกล่าวถึงความแตกต่างในรูปของความผิดพลาดหรือส่วนที่ยังไม่สามารถอธิบายได้ (Error or Residuals) ถ้าผู้ทดลองมีความรู้หรือความสามารถในการควบคุมการทดลองมากขึ้นความผิดพลาดส่วนนี้จะลดลง [6]

2.1.3 การทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐาน (Test of Hypothesis) เป็นกระบวนการตัดสินใจเพื่อยืนยันความเชื่ออย่างใดอย่างหนึ่งเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่อธิบายสถานะที่เกิดขึ้นจริงและเรียก

ข้อความที่แสดงถึงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่หมายถึงสถานะที่เกิดขึ้นจริงว่าสมมติฐานเชิงสถิติ (Statistical hypothesis) ได้แก่ สมมติฐานหลัก (Null hypothesis, H_0) และสมมติฐานอื่น (Alternative hypothesis: H_1) โดยสมมติฐานหลัก คือ สมมติฐานที่เชื่อว่าเป็นสถานะที่เกิดขึ้นจริงและต้องทำการทดสอบเพื่อที่จะปฏิเสธสมมติฐานนี้ ส่วนสมมติฐานอื่น คือ สถานะที่ต้องการยืนยันด้วยเหตุผลและการตัดสินใจ [9,10]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่อง สถานะการขึ้นรูปที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตภาชนะบรรจุอาหารจากไบโมันสำปะหลัง โดยใช้การออกแบบ Box-Behnken และวิธีพื้นผิวตอบสนอง [11] โดยศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ แรงดัน และระยะเวลาในการอัดร้อนต่อสมบัติของภาชนะ ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิขึ้นรูปในช่วง 170-190 องศาเซลเซียส ทำให้แรงอัดในแนวตั้งและแรงต้านการทิ่มทะลุลดลงอย่างช้าๆ ขณะที่การใช้แรงดันสูงขึ้นในช่วง 1,500-2,200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ช่วยเพิ่มแรงอัดในแนวตั้งได้อย่างชัดเจน แต่กลับลดแรงต้านการทิ่มทะลุลง นอกจากนี้ การเพิ่มระยะเวลาการอัดขึ้นรูปในช่วง 5-9 นาที ทำให้ระยะเวลาการดูดซึมน้ำนานขึ้น แต่ระยะเวลาในช่วง 5-6.5 นาที อาจทำให้แรงต้านการทิ่มทะลุลดลงเล็กน้อย จากผลการทดลองที่ได้ สามารถสรุปสถานะการขึ้นรูปที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส แรงดัน 1,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และระยะเวลา 6 นาที

อีกหนึ่งงานวิจัยเรื่อง การออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากไบบั่ว เพื่อออกแบบสร้างเครื่องและหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปไบบั่ว [12] โดยทำการทดสอบคุณสมบัติทางกล คือ การทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D828-97 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คือ การทดสอบการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ISO 535 (1991) และทดสอบทางความร้อน โดยจากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปภาชนะทั้งหมด 81 การทดลอง จากผลการทดลองพบว่า การขึ้นรูปเป็นภาชนะที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที แรงกด 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และใช้ไบบั่วจำนวน 3 ชั้น และ 4 ชั้น สามารถขึ้นรูปเป็นภาชนะได้โดยไม่แตกหักและเสียรูปทรง

และงานวิจัยเรื่อง ศึกษาการผลิตบรรจุภัณฑ์จากฟางข้าว และชานอ้อยโดยใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบผิวเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการกันน้ำและความแข็งแรง [13] งานวิจัยดังกล่าวใช้สารเชื่อมประสานจากแป้งมันสำปะหลัง และพบว่าปริมาณเส้นใย 200 กรัมและสารเชื่อมประสาน 50 กรัมเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ การเคลือบผิวด้วยไคโตซานหลังการขึ้นรูปช่วยลดการซึมน้ำได้ถึง 4.26% สำหรับฟางข้าว และ 8.52% สำหรับชานอ้อย ความต้านทานแรงดึงสูงสุด 15.8 เมกะปาสคาล สำหรับฟางข้าว และ 10.6 เมกะปาสคาล สำหรับชานอ้อย ตามลำดับ ดังนั้นบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้แทนพลาสติกสำหรับใส่อาหารทั้งแห้งและเปียกได้

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในวิธีการดำเนินการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการต่างๆ ที่ผู้วิจัยเลือกใช้ใช้เป็นแผนการดำเนินงาน ซึ่งสามารถแบ่งลำดับขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหา

ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบแผนการทดลองเบื้องต้น

1) การเลือกปัจจัยและระดับปัจจัย

2) การกำหนดค่าผลตอบสนอง

3) การเลือกแบบแผนการทดลอง

4) การสร้างแผนการทดลองเบื้องต้น โดย Minitab

ขั้นตอนที่ 3 การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการทดลอง

1) การออกแบบการทดลองแบบ 2k แฟคทอเรียลแบบเต็มรูป

ขั้นตอนที่ 4 การกำหนดสมมติฐานทางสถิติ

ขั้นตอนที่ 5 การทำการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ขั้นตอนที่ 6 การยืนยันผลการทดลอง

ขั้นตอนที่ 7 การสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

3.1 ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหา

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ดำเนินการขึ้นรูปภาชนะจากไบสับปะรด พบว่าไม่มีการกำหนดอัตราส่วนที่แน่ชัด อีกทั้งยังใช้วิธีการสุ่มในการกำหนดเงื่อนไขการทดลอง ส่งผลให้คุณภาพ

ของภาชนะที่ได้ขาดความสม่ำเสมอ โดยเฉพาะในด้านความสามารถในการต้านทานการรั่วซึมน้ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญสำหรับการใช้งานจริงของภาชนะบรรจุของเหลวหรืออาหารที่มีความชื้น

การรั่วซึมน้ำเป็นประเด็นหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพและความเชื่อมั่นของผู้บริโภคในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการรั่วซึมน้ำของภาชนะจากไบสับปะรด เพื่อปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มความสามารถในการใช้งานของผลิตภัณฑ์ โดยใช้การออกแบบการทดลองอย่างเป็นระบบ เพื่อให้สามารถระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลและกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการขึ้นรูปภาชนะอย่างมีประสิทธิภาพ

3.2 การออกแบบแผนการทดลองเบื้องต้น

การเลือกปัจจัยและระดับปัจจัยในการทดลอง เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขึ้นรูปภาชนะจากไบสับปะรด ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกศึกษาปัจจัยจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัย คือ อัตราส่วนของเส้นใยไบสับปะรดต่อสารเชื่อมประสาน อุณหภูมิ และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูป ซึ่งส่งผลต่อการรั่วซึมน้ำของภาชนะมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับปัจจัยของการออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับสูง (1)	ระดับต่ำ (-1)	หน่วย
อัตราส่วนของเส้นใยไบสับปะรดต่อสารเชื่อมประสาน	A	1:1	1:0	-
แรงดันในการขึ้นรูป	B	8	5	บาร์
อุณหภูมิในการขึ้นรูป	C	150	130	°C

หมายเหตุ กำหนดเวลาในการขึ้นรูปเป็น 6 นาที

3.2.1 การกำหนดค่าผลตอบสนอง

ค่าผลตอบสนอง (Response variables) ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของภาชนะจากไบสับปะรด คือ การรั่วซึมน้ำ โดยนำภาชนะวางลอยในน้ำที่เตรียมไว้ จากนั้นเริ่มจับเวลาและสังเกตการรั่วซึมของภาชนะ เมื่อพบว่ามีน้ำรั่วซึมเข้าสู่ภายใน ให้หยุดเวลาและบันทึกผลที่ได้

3.2.2 การเลือกแบบแผนการทดลอง

แผนการทดลองพิจารณาจากปัจจัยและระดับปัจจัยที่สนใจศึกษา ซึ่งใช้แบบแผน 2^3 แฟคทอเรียลเต็มรูป ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ใช้โปรแกรม Minitab ในการวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผล เพื่อศึกษาผลกระทบจาก 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ อัตราส่วนของเส้นใยใบสับปรดต่อสารเชื่อมประสาน อุณหภูมิ และแรงดันในการขึ้นรูป รวมถึงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย เพื่อยืนยันผลความมีนัยสำคัญของปัจจัย

3.2.3 การสร้างแผนการทดลองเบื้องต้น โดย Minitab

เพื่อกำหนดเงื่อนไขและปัจจัยต่างๆ ที่ต้องการศึกษาผ่านโปรแกรม Minitab ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยวิเคราะห์ข้อมูลและออกแบบการทดลองอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการสร้างแผนการทดลองเบื้องต้นใน Minitab มุ่งเน้นการกำหนดโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์และหาข้อสรุป ซึ่งมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 24 การทดลอง

3.3 การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการทดลอง

3.3.1 การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลแบบเต็มรูป

การทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียลแบบเต็มรูป มีปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ อัตราส่วนของเส้นใยใบสับปรดต่อสารเชื่อมประสาน อุณหภูมิ และแรงดันในการขึ้นรูป แต่ละปัจจัยมีจำนวน 2 ระดับ ดังตารางที่ 2 หลักการในการทดลอง คือ หลักการสุ่ม แต่ละการทดลอง ทำซ้ำ 3 ครั้ง และการบล็อกเพื่อความแปรปรวนในการทดลองและหาค่าที่เหมาะสมในแต่ละปัจจัย [8] โดยมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 24 การทดลอง ดังตารางที่ 1 จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์ระบบการวัดของแต่ละปัจจัยเพื่อทำให้การดำเนินการควบคุมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

3.4 การกำหนดสมมติฐานทางสถิติ

เพื่อศึกษาอัตราส่วนของเส้นใยใบสับปรดต่อสารเชื่อมประสาน อุณหภูมิ และแรงดันในการขึ้นรูป มีผลกระทบหรือไม่ มีผลกระทบต่อค่าการรั่วซึมของภาชนะจากใบสับปรด รวมถึงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยต่างๆ

3.4.1 สมมติฐานทางสถิติ

H_0 : อัตราส่วนของเส้นใยใบสับปรดต่อสารเชื่อมประสาน ไม่มีผลกระทบต่อค่าการรั่วซึม

H_1 : อัตราส่วนของเส้นใยใบสับปรดต่อสารเชื่อมประสาน มีผลกระทบต่อค่าการรั่วซึม

3.4.2 ระดับนัยสำคัญ (α) และวิธีการทดสอบ

1) ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05

2) ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

3.4.3 เกณฑ์การตัดสินใจ

1) หาก $p\text{-value} < 0.05$: ปฏิเสธ H_0 และสรุปว่าปัจจัยหรือผลกระทบร่วมมีผลอย่างมีนัยสำคัญ

2) หาก $p\text{-value} \geq 0.05$: ไม่สามารถปฏิเสธ H_0 ได้ และสรุปว่าปัจจัยหรือผลกระทบร่วมไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ

3.5 การทำการทดลองและการทดสอบคุณสมบัติ

3.5.1 การเตรียมเส้นใย

ทำการย่อยใบสับปรดให้เป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำไปต้มร่วมกับน้ำที่ผสมด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 15 ของน้ำ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อย่อยปรับสภาพให้เส้นใยอ่อนตัว จากนั้นนำเส้นใยที่ผ่านการต้มมาล้างน้ำจนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกจากเส้นใยจนหมด แล้วทำการบีบน้ำออกจนหมด นำไปชั่งน้ำหนักโดยกำหนดให้ใช้น้ำหนักของวัสดุที่จะขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์แต่ละชิ้นเป็น 200 กรัม (โดยน้ำหนักเปียก) [13]

3.5.2 การเตรียมสารเชื่อมประสาน

การเตรียมสารเชื่อมประสาน ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยนำแป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:4 (โดยน้ำหนัก) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ค่อยๆ กวนเป็นเวลา 20 นาที จนได้กาวแป้งสำหรับใช้เป็นสารเชื่อมประสานที่มีความใสและหนืด นำเส้นใย 200 กรัม มาผสมกับสารเชื่อมประสานตามอัตราส่วน 1:0 และ 1:1 (โดยน้ำหนักของใย) และเติมน้ำลงไป 1.6 ลิตร ทำให้การปั่นง่ายขึ้นใยแตกตัวได้ดี ทำให้เส้นใยผสมกับสารเชื่อมประสานได้ดีขึ้น ปั่นให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ 2 ตัวอย่างการเตรียมสารเชื่อมประสาน

3.5.3 การทำแผ่นเนื้อเยื่อ

นำเส้นใยที่ได้จากการต้มและผสมสารเชื่อมประสาน ปริมาณ 200 กรัม ใส่ลงบนแผ่นตะแกรง จากนั้นทำการเกลี่ยเส้นใยให้ทั่วตะแกรงจนได้เป็นแผ่นเนื้อเยื่อที่มีผิวเรียบสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 3 หลังจากนั้นนำตากจนแห้ง



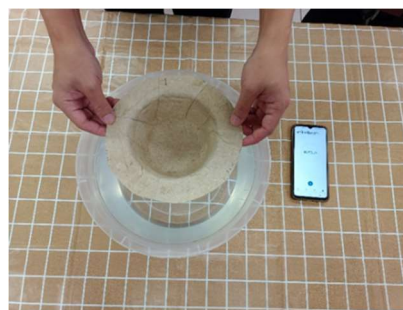
รูปที่ 3 เกลี่ยเส้นใยให้ทั่วตะแกรง

3.5.4 การอัดขึ้นรูปภาชนะ

ใช้เครื่องอัดขึ้นรูปภาชนะ โดยนำแผ่นเยื่อกระดาษ ขนาด 35x35 เซนติเมตร มาทำการอัดขึ้นรูปที่แรงดัน 5 และ 8 บาร์ ที่อุณหภูมิ 130 และ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที

3.5.5 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คือ การรั่วซึมน้ำ โดยนำภาชนะวางลอยในน้ำที่เตรียมไว้ ดังแสดงในรูปที่ 4 จากนั้นเริ่มจับเวลาและสังเกตการรั่วซึมของภาชนะ เมื่อพบว่า มีน้ำรั่วซึมเข้าสู่ภายใน ให้หยุดเวลาและบันทึกผลที่ได้



รูปที่ 4 ทดสอบการรั่วซึมน้ำ

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบการรั่วซึมน้ำของภาชนะจากใบสับปะรด

เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของภาชนะจากใบสับปะรด ในการทนทานต่อการรั่วของของเหลว โดยทำการทดสอบทั้งหมด 24 การทดสอบดังตารางที่ 2

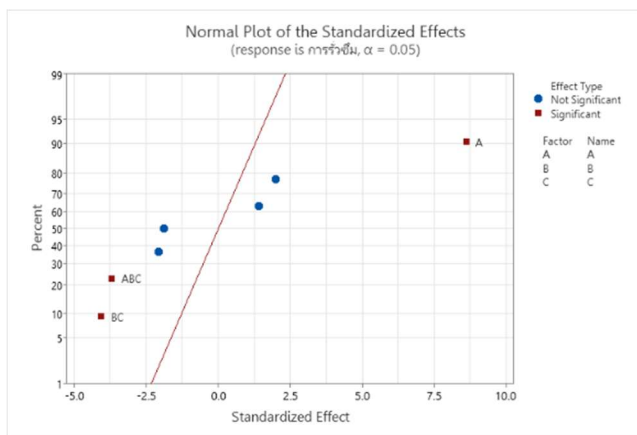
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการรั่วซึมน้ำของภาชนะจากใบสับปะรด

Std Order	Run Order	ปัจจัย			ค่าการรั่วซึม (วินาที)
		อัตราส่วน (A)	อุณหภูมิ (B)	แรงดัน (C)	
16	1	1	1	1	61
2	2	1	-1	-1	123
14	3	1	-1	1	308
7	4	-1	1	1	37
20	5	1	1	-1	199
22	6	1	-1	1	258
18	7	1	-1	-1	62
11	8	-1	1	-1	46
21	9	-1	-1	1	39
19	10	-1	1	-1	14
6	11	1	-1	1	195
24	12	1	1	1	63
12	13	1	1	-1	124
3	14	-1	1	-1	30
15	15	-1	1	1	24
5	16	-1	-1	1	21
9	17	-1	-1	-1	13
4	18	1	1	-1	132
10	19	1	-1	-1	112
13	20	-1	-1	1	46
1	21	-1	-1	-1	32

4.2 การคัดกรองปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้านทานการรั่วซึม

4.2.1 Normal plot of the standardized effects

ผลกระทบของปัจจัยแสดงในรูปที่ 5 กราฟ Normal probability plot of effects ผลกระทบที่มีนัยสำคัญจะมีค่าเฉลี่ยไม่เท่ากับศูนย์และอยู่ห่างจากเส้นตรง ผลกระทบที่มีนัยสำคัญมากจะอยู่ห่างออกจากเส้นตรงมาก จากการวิเคราะห์ผลกระทบที่มีนัยสำคัญพบว่าผลกระทบหลัก คือ A และผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย คือ B×C และ A×B×C พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าการรั่วซึม เรียงตามลำดับความสำคัญ คือ A B×C และ A×B×C ตามลำดับ [14]

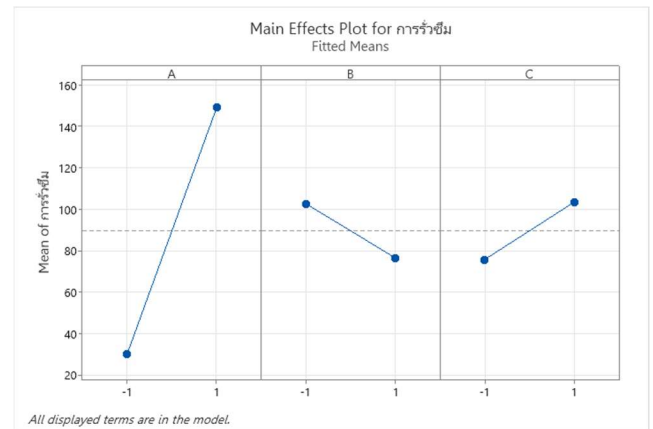


รูปที่ 5 กราฟ Normal plot of the standardized effects

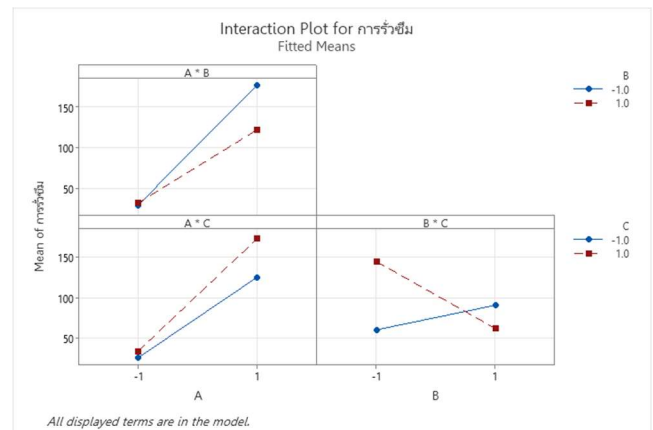
4.2.2 Main effects and interactions plots

ผลกระทบหลัก ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าเส้นกราฟของ A B และ C มีลักษณะสูงขึ้นแสดงว่าเป็นผลกระทบที่มีนัยสำคัญ ผลกระทบร่วม ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่าผลกระทบร่วม A×B และ A×C และ B×C มีลักษณะ เส้นกราฟที่ไม่ขนานกัน แสดงความสัมพันธ์แบบสองทาง (Two-way interaction) ระหว่างผลกระทบหลัก A กับ B และ A กับ C และ B กับ C เกิดค่อนข้างมาก ชี้ให้เห็นถึงผลกระทบร่วมของปัจจัยที่มีต่อค่าการรั่วซึมน้ำ โดยปัจจัย B กับ C มีผลกระทบร่วมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแรงดันที่เพิ่มขึ้นช่วยลดการรั่วซึมน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพเฉพาะเมื่ออุณหภูมิอยู่ในระดับสูง ส่วนปัจจัย A (อัตราส่วนของเส้นใยต่อสารเชื่อมประสาน) แสดงผลกระทบร่วมกับทั้ง B และ C โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้สารเชื่อมประสาน (อัตราส่วน 1:1) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและ

แรงดันจะส่งผลต่อค่าการรั่วซึมชัดเจนกว่ากรณีที่ไม่มีสารเชื่อมประสาน [15,16]



รูปที่ 6 Main effects plot



รูปที่ 7 Interaction plot

4.2.3 แบบจำลองการถดถอยของค่าต้านการรั่วซึม

แสดงผลกระทบที่คาดและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยพร้อมกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าทางสถิติ และความน่าจะเป็น สำหรับผลกระทบหลักและผลกระทบร่วม ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งหาได้จากวิธีตัวแปรยกกำลังสองที่มีค่าน้อยที่สุดแบบจำลองการถดถอยใน Uncoded units ระหว่างค่า $\hat{y}$ กับตัวแปรแต่ละตัว แสดงดังสมการที่ (1)

$$\hat{y} = 89.58 + 59.42A - 13.00B + 13.83C - 14.33A \times B + 9.83A \times C - 28.08B \times C - 25.58A \times B \times C$$

ตารางที่ 4 ผลกระทบโดยประมาณและค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองการถดถอยของค่าการรั่วซึม

Term	Effect	Coef SE	Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		89.58	6.91	12.96	0.000	
A	118.83	59.42	6.91	8.60	0.000	1.00
B	-26.00	-13.00	6.91	-1.88	0.078	1.00
C	27.67	13.83	6.91	2.00	0.063	1.00
AxB	-28.67	-14.33	6.91	-2.07	0.055	1.00
AxC	19.67	9.83	6.91	1.42	0.174	1.00
BxC	-56.17	-28.08	6.91	-4.06	0.001	1.00
AxBxC	-51.17	-25.58	6.91	-3.70	0.002	1.00

เมื่อตัดทอนที่ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ เทอมที่มีค่า P-value มากกว่า 0.05 สามารถสร้างแบบจำลองถดถอยที่ลดรูป ดังสมการที่ (2) และแสดงดังตารางที่ 5

$$\hat{y} = 89.58 + 59.42A - 13.00B + 13.83C - 28.08B \times C \quad (2)$$

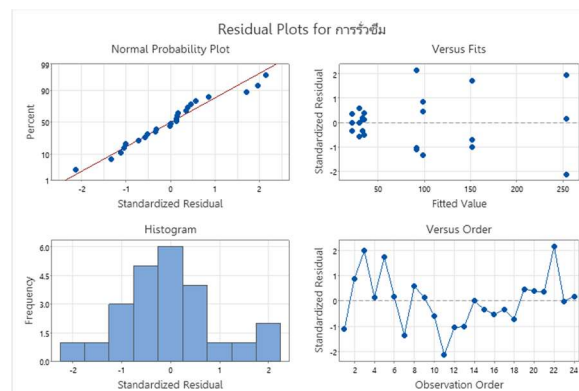
ตารางที่ 5 ผลกระทบโดยประมาณและค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองการถดถอยที่ลดรูป

Term	Effect	Coef SE	Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		89.58	6.91	12.96	0.000	
A	118.83	59.42	6.91	8.60	0.000	1.00
B	-26.00	-13.00	6.91	-1.88	0.078	1.00
C	27.67	13.83	6.91	2.00	0.063	1.00
BxC	-56.17	-28.08	6.91	-4.06	0.001	1.00

4.2.4 การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของการทดลองที่ลดรูป

ในการทดลองมักจะมีปัจจัยที่ไม่ได้ควบคุมจำนวนมากและปัจจัยเหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนของการทดลอง จึงวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนจากกราฟ Residual plot

ดังแสดงในรูปที่ 8 ตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติจากกราฟ Normal probability plot พบว่ากราฟเป็นเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ ตรวจสอบความแปรปรวนคงที่จากกราฟ Residual กับ Fitted value ไม่พบสิ่งผิดปกติ และตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลจากกราฟ Residual กับ Order พบการกระจายแบบไม่มีรูปแบบ แสดงว่าข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน [9]

**รูปที่ 8** กราฟ Residual plot

4.2.5 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองที่ลดรูป

ความเหมาะสมของแบบจำลองการถดถอยที่ลดรูปสำหรับค่า $\hat{y}$ ในสมการ (2) พบว่าค่า R^2 ของแบบจำลองเท่ากับ 73.11% แสดงว่ามีเพียงแค่ 26.89% ของความแปรปรวนรวมที่ไม่ได้ถูกอธิบายด้วยแบบจำลอง ความแตกต่างระหว่าง R^2 และ $R^2(\text{adj})$ (67.45%) มีค่าเท่ากับ 5.66% แสดงว่ามีโอกาสน้อยมากที่เทอมที่ไม่มีนัยสำคัญจะรวมอยู่ในแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าความเหมาะสมของแบบจำลองการถดถอยที่ลดรูป

Model Summary			
S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
46.6278	73.11%	67.45%	57.09%

5. การอภิปรายผล

ผลการทดลองในงานวิจัยนี้พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อความสามารถในการต้านการรั่วซึมน้ำของภาชนะจากใบสับปะรด ได้แก่ อัตราส่วนของเส้นใยใบสับปะรดต่อสารเชื่อมประสาน (A) และผลกระทบร่วมระหว่าง อุณหภูมิ (B) และแรงดัน (C) ซึ่งสอดคล้องกับหลักการด้านวัสดุศาสตร์ที่ว่า ความหนาแน่นและการจับตัวของเส้นใยขึ้นอยู่กับทั้งโครงสร้างวัสดุและสภาวะในการขึ้นรูปโดยเฉพาะอย่างยิ่ง การใช้ อัตราส่วนของเส้นใยใบสับปะรดต่อสารเชื่อมประสาน 1:1 ส่งผลให้ค่าการรั่วซึมน้ำลดลงอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการใช้สารเชื่อมประสาน 1:0 ซึ่งสอดคล้องกับงานของ จันทิมา ชั่งสิริพร และคณะ (2565) ที่พบว่า การเติมแป้งมันสำปะหลังในปริมาณที่เหมาะสมช่วยเพิ่มความแข็งแรงและลดการซึมผ่านของภาชนะจากวัสดุธรรมชาติ

สำหรับปัจจัยด้านอุณหภูมิและแรงดัน พบว่า แม้ปัจจัยเดียวของอุณหภูมิจะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในระดับ 0.05 แต่เมื่อพิจารณาพร้อมกับแรงดัน พบว่าทั้งสองปัจจัยมีผลกระทบร่วมอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ แรงดันที่เพิ่มขึ้นจะช่วยลดการรั่วซึมได้อย่างมีประสิทธิภาพ เฉพาะในกรณีที่อุณหภูมิสูงเพียงพอ ซึ่งแสดงถึงลักษณะของ interdependent effect ที่ไม่สามารถพิจารณาแต่ละปัจจัยแยกจากกันได้ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานของชาติรี หอมเขียว และคณะ (2568) ซึ่งศึกษาเงื่อนไขการขึ้นรูปภาชนะจากใบมันสำปะหลัง โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken และวิเคราะห์ด้วย RSM พบว่า อุณหภูมิ แรงดัน และเวลาในการอัดร้อนส่งผลต่อคุณสมบัติของภาชนะอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะการเพิ่มแรงดันจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงในแนวตั้ง และส่งผลต่อพฤติกรรมดูดซึมน้ำอย่างชัดเจน แม้ในงานวิจัย [11] จะใช้วัสดุตั้งต้นที่ต่างกัน (ใบมันสำปะหลัง) รวมถึงวิธีการออกแบบการทดลองคนละรูปแบบ แต่ผลการศึกษาแสดงออกในแนวทางเดียวกันว่า การควบคุมปัจจัยกระบวนการอย่างเป็นระบบช่วยให้สามารถปรับปรุงคุณภาพของภาชนะได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่แสดงถึงคุณค่าของการใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองในงานพัฒนาวัสดุทางเลือกจากธรรมชาติ

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ต่อยอดใช้วิธีการสุ่มกำหนดอัตราส่วนในการขึ้นรูป โดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

แรงดัน 8 บาร์ เป็นระยะเวลา 6 นาที พบว่าค่าการซึมน้ำร้อยละ 289.47 โดยไม่มีการปนเปื้อนของสารเคมี เช่น โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ งานวิจัยนี้สามารถกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมได้อย่างมีหลักการมากขึ้น โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบสามารถระบุเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตภาชนะจากใบสับปะรดได้อย่างเป็นระบบ โดยพบว่าอัตราส่วนของเส้นใยใบสับปะรดต่อสารเชื่อมประสาน 1:1 อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส แรงดัน 8 บาร์ และเวลา 6 นาที เป็นเงื่อนไขที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เงื่อนไขดังกล่าวส่งผลให้ภาชนะที่ผลิตได้มีค่าการซึมน้ำลดลงเหลือร้อยละ 32.28 ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นของผลิตภัณฑ์

6. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการออกแบบการทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปภาชนะจากใบสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ซึ่งใช้การทดลอง 2^3 แฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ มีปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ อัตราส่วนของเส้นใยใบสับปะรดต่อสารเชื่อมประสาน อุณหภูมิ และแรงดันในการขึ้นรูป แต่ละปัจจัยมีจำนวน 2 ระดับ ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ใช้โปรแกรม Minitab ในการวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผล เพื่อศึกษาผลกระทบจาก 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ อัตราส่วนของเส้นใยใบสับปะรดต่อสารเชื่อมประสาน อุณหภูมิ และแรงดันในการขึ้นรูป รวมถึงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย เพื่อยืนยันผลความมีนัยสำคัญของปัจจัยผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนที่มีค่าต้านการรั่วซึมน้ำได้ดีที่สุด คือ อัตราส่วนของเส้นใยใบสับปะรดต่อสารเชื่อมประสาน 1:1 อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส แรงดัน 8 บาร์ เวลา 6 นาที ปัจจัยที่มีผลต่อการรั่วซึมน้ำ ได้แก่ อัตราส่วนของเส้นใยใบสับปะรดต่อสารเชื่อมประสาน (A) และผลกระทบร่วมระหว่าง อุณหภูมิ (B) และแรงดัน (C) เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติตามลำดับ สามารถสร้างแบบจำลองถดถอยที่ลดรูปของ $\hat{y}$ เท่ากับ $89.58 + 59.42 A - 13.00 B + 13.83 C - 28.08 B \times C$ ผลของค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 73.11% ซึ่งอยู่ในระดับที่น่าพอใจ

ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทดลองอื่นๆ เช่น ส่วนผสม แรงดัน และอุณหภูมิในการขึ้นรูป ที่แตกต่างกัน

ออกไป และวัตถุดิบตั้งต้นใบสับปะรดสามารถหาได้ตลอดทั้งปี ยิ่งในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม จะเป็นฤดูเก็บเกี่ยว ผลผลิต ใบสับปะรดจะมีปริมาณมาก ทำให้สามารถหาได้ง่าย และมีราคาต้นทุนถูกลง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา ลำปาง และกลุ่มแผนงานได้รับพระบารมี มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2566. เข้าถึงได้จาก : www.pcd.go.th/ebook/book18/PCD%202024.html [เข้าถึงเมื่อ 31 พฤษภาคม 2568]
- [2] กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. รายงานการประชุมการบริหารจัดการการผลิตและการตลาดสินค้าสับปะรด ครั้งที่ 2/2566. เข้าถึงได้จาก: <https://www.opsmoac.go.th/lampang-dwl-files-452791791004> [เข้าถึงเมื่อ 31 พฤษภาคม 2568]
- [3] กิตติศักดิ์ เมืองกลาง, ณัฐพงษ์ รักด่านกลา, ณัฐวุฒิ ดงกระโทก, ทักษิณัย จันทินอก, ธรรมธร ชิดการ. เครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติ. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์*. 2566;6(2):65-76.
- [4] สมเกียรติ สุทธิยาพิวัฒน์, ธมยันตี ประยูรพันธ์, มณฑนา กระโหมวงศ์. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารจากกากหมากเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มที่นำสู่ความเข้มแข็งของชุมชนและเศรษฐกิจฐานราก. 2561. เข้าถึงได้จาก: https://elibrary.tsri.or.th/fullP/RDG60T0105/RDG60T0105_full.pdf [เข้าถึงเมื่อ 31 พฤษภาคม 2568]
- [5] ธนวัฒน์ คำหนัก, วุฒิสัทธี จิตรหมั่น, อนุสรณ์ มะลิโว. การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ในการขึ้นรูปภาชนะจากใบสับปะรด [ปริญญา นีพนธ์ไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง; 2566.
- [6] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อปจำกัด; 2551.
- [7] ศุภชัย นาทะพันธ์. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองขั้นพื้นฐาน. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น; 2559.
- [8] ภัทรสินี ภัทรโกศล. สถิติเพื่อการวิจัยทางวิทยาศาสตร์. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2550.
- [9] ปรัชญา พละพันธ์. คู่มือวิเคราะห์และจัดการข้อมูลสถิติด้วย Minitab ฉบับมีอาชีฟ. นนทบุรี: โอดีซี พรีเมียร์; 2560.
- [10] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรมเล่ม 2 (ประมวลผลด้วย MINITAB). กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); 2547.
- [11] ชาตรี หอมเขียว, ชัยณรงค์ ศรีวัชรบุตร, วรพงศ์ บุญช่วย. สภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตภาชนะบรรจุอาหารจากใบมันสำปะหลัง. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม*. 2568;18(1):63-65.
- [12] ไกรสร วงษ์ปู่, ปรีดา จิ๋วปัญญา. การออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากใบบัว. *RMUTL Engineering Journal*. 2564;6(1):19-27.
- [13] จันทิมา ชั่งสิริพร, พงศกรยา พงศ์ยี่หล้า, นิธนา ชัยฤกษ์. การผลิตบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากฟางข้าวและชานอ้อยโดยใช้โคโตะซานเคลือบผิว. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 2565;27(1):20-30.
- [14] ขวีสภา เชื้อแป้น, พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์. การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซับเมทิลีนบลูด้วย MCM-41 ที่ผ่านการดัดแปรด้วยเอทิลอะซิเตต โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ. *Engineering and Technology Horizons*. 2559;33(2):84-91.
- [15] Chang SH, Teng TT, Ismail N. Screening of factors influencing Cu(II) extraction by soybean oil-based organic solvents using fractional factorial design. *Journal of Environmental Management*. 2011;92(10):2580-2585.
- [16] Montgomery DC. *Design and Analysis of Experiments*. 10th ed. United States of America: John Wiley & Sons Inc; 2019.