

การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการกะเทาะเปลือกกุ้งแห้ง

ANALYSIS OF OPTIMAL PARAMETER IN DRY SHRIMP PEELING PROCESS

เอกพล ทับพร¹ อภิชาติ ไชยพร² จิรศักดิ์ ส่งบุญแก้ว^{3*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

²สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันโคเซ็นแห่งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

³สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

Ekkapol Tubpond¹ Apichat Chaiyaporn² Jirasak Songbunkaew³

¹Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Thonburi University

²Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, KOSEN of King Mongkut's Institute of Technology

Ladkrabang

E-mail: ¹ekkapol_ie@thonburi-u.ac.th, ²apichat.cha@kmitl.ac.th, ³jirasak@thonburi-u.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการแกะสำเร็จของเปลือกกุ้งแห้งและเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการคัดแยกเปลือกกุ้งแห้งภายใต้การทดสอบด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกกุ้งแห้ง โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของรากเหง้าปัญหาและคัดกรองปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น จากการระดมสมองได้กำหนดปัจจัยที่ใช้ศึกษา 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ คือ ความเร็วรอบใบกวน เท่ากับ 115-120, 145-150 และ 175-180 RPM ค่าความชื้น <19, 19-21, >21 % และรูปทรงใบกวน 3 แบบ ได้แก่ แบบเพลาทรงกระบอก แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า แบบผสมผสาน จากผลการวิจัยพบว่า ถ้าต้องการค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดหรือค่าอัตราการแกะสำเร็จของกุ้งแห้งที่มากที่สุดเท่ากับ $y = 292.33$ PCS ควรกำหนดค่าพารามิเตอร์หรือปัจจัยและระดับของปัจจัยดังนี้ คือ ความเร็วรอบใบกวนอยู่ในช่วงเท่ากับ 145-150 RPM ค่าความชื้นอยู่ในช่วงเท่ากับ 19-21 % และรูปทรงใบกวนควรใช้แบบที่ 3 คือ แบบผสมผสาน โดยมีค่าช่วงของความเชื่อมั่น 95% CI ความน่าจะเป็นของค่าเฉลี่ยจากอัตราการแกะสำเร็จของกุ้งแห้งจะตกอยู่ในช่วง 280.83 - 303.84 เท่ากับ 95%

คำสำคัญ: กุ้งแห้ง, การออกแบบการทดลอง, กระบวนการกะเทาะเปลือกกุ้งแห้ง

Abstract

This research aims to analyze the factors influencing the peeling efficiency of dried shrimp shells and determines the optimal parameters for the shell separation process using a dried shrimp peeling machine. A 3-level factorial experimental design was applied to identify root causes and screen factors potentially affecting the outcomes. Based on brainstorming, three factors were selected for investigation, each with three levels: impeller speed at 115–120, 145–150, and 175–180 RPM; moisture content at <19%, 19–21%, and >21%; and three impeller shapes, namely cylindrical, rectangular, and hybrid designs. The research findings show that the highest peeling efficiency of dried shrimp, at $y = 292.33$ PCS, can be achieved with the following optimal parameters: motor speed (S_p) of 145–150 RPM, moisture content (M_o) of 19–21%, and impeller shape (S_h) type 3 (hybrid design). The 95% confidence interval (CI) indicates that the mean peeling efficiency is likely to fall within the range of 280.83 to 303.84, with a 95% probability.

Keywords: dried shrimp, experimental design, dry shrimp peeling process

บทนำ

ปัจจุบันกุ้งแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ประมงพื้นเมืองที่สำคัญสำหรับการบริโภคในประเทศและส่งออก โดยในปี 2566 การส่งออกกุ้งแห้งของไทยมีปริมาณรวม 109,663 ตัน คิดเป็นมูลค่า 36,284 ล้านบาท โดยตลาดส่งออกหลัก ได้แก่ ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย ฮองกงและแคนาดา ปริมาณการส่งออกลดลง 9% และมูลค่าลดลง 14% เมื่อเทียบกับปี 2565 สาเหตุหลักมาจากเศรษฐกิจโลกที่ชะลอตัว และการแข่งขันในตลาดโลกที่รุนแรงขึ้น จากข้อมูลกรมโรงงานอุตสาหกรรมระบุว่า มีโรงงานแปรรูปกุ้งแห้งขึ้นทะเบียนในประเทศไทย 79 แห่ง แต่ละแห่งมีพนักงานเฉลี่ย 40-50 คน โรงงานเหล่านี้ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์กุ้งและสนับสนุนตลาดในประเทศและส่งออก วิธีการผลิตกุ้งแห้งแต่เดิมได้รับการเรียนรู้ และถ่ายทอดจากบรรพบุรุษ ไม่มีมาตรฐานการผลิตที่แน่นอน ทำให้กุ้งแห้งมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ กุ้งที่นำมาผลิตกุ้งแห้งจะเป็นกุ้งที่อยู่ในตระกูลเพนารีดี (Penaeidae) และพาลีโมนิดี (Palaemolide) เป็นกุ้งที่มีขนาดเล็ก กุ้งแห้งที่จำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาดมี 2 แบบคือแบบแยกเปลือกและแบบไม่แยกเปลือก การผลิตกุ้งแห้งในประเทศไทย จะต้มกุ้งในน้ำเดือดประมาณ 10 นาที ซึ่งโดยแท้จริงแล้วเวลาต้มกุ้งจะไม่แน่นอน (Sun และคณะ, 2022) ขึ้นอยู่กับปริมาณกุ้งที่ใช้ต้มแต่ละรอบการผลิต ก่อนอบแห้งหรือนำไปตากแดดโดยจะใช้อุณหภูมิในช่วง 60-100 องศาเซลเซียส (Om และคณะ, 2019) ซึ่งภายหลังจากกระบวนการลดความชื้นให้เนื้อกุ้งแห้ง จะส่งผลต่อค่าความชื้นซึ่งค่าความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการแกะเปลือกกุ้งแห้ง ควรอยู่ที่ประมาณ 18-22% เพื่อให้เปลือกมีความแข็งพอเหมาะ สามารถแยกออกจากเนื้อได้ง่าย โดยไม่ทำให้เปลือกแตกละเอียดเกินไปหรือเนื้อกุ้งเปื่อยจนเสียหาย ถ้าความชื้นมีค่าต่ำกว่า 18% กุ้งจะมีลักษณะแข็งและเปราะเปลือกอาจแตกหักยากต่อการแยกและทำให้เกิดเศษเล็ก ๆ ปะปน ในขณะที่ถ้าความชื้นสูงกว่า 22% เนื้อกุ้งจะนุ่ม เปลือกอาจติดกับเนื้อทำให้แกะยากและเสียหาย โดยค่าความชื้นเพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับกุ้งแห้งอยู่ที่ประมาณ 20-25% โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่น การบริโภคโดยตรง ค่าความชื้นควรต่ำกว่า 25% เพื่อป้องกันการเน่าเสียหรือการเกิดเชื้อราหรือการแปรรูปเพิ่มเติม อาจต้องลดความชื้นลงต่ำกว่า 20% เพื่อให้กุ้งมีความกรอบมากขึ้นและเหมาะสำหรับการแปรรูปในขั้นถัดไป

การคัดแยกหรือการแกะเปลือกกุ้งแห้งในแบบชาวประมงแบบเดิมจะนำเนื้อกุ้งแห้งไปคัดแยกเปลือกโดยวิธีการทุบโดยขึ้นตอนทั้งหมดจะต้องใช้แรงงานจากคนเป็นส่วนใหญ่ จะใช้เวลาในการปฏิบัติงานสูง เพื่อให้เปลือกกุ้งแห้งหลุดออก อีกทั้งยังเกิดการเสียหายกับตัวเนื้อกุ้ง เพราะหากใช้แรงในการทุบมากเกินไป จะทำให้เนื้อกุ้งแตกออกจากกันได้หากนำไปจำหน่ายอาจจะได้ราคาต่ำเพราะกุ้งเนื้อไม่เต็ม จึงนำไปสู่การปรับปรุงและพัฒนามาเป็นเครื่องแกะเปลือกกุ้งแห้งในปัจจุบัน ดังแสดงดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2 เป็นเครื่องจักรพิเศษที่ออกแบบมาเพื่อทำให้กระบวนการแกะเปลือกกุ้งแห้งเป็นไปโดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและสุขอนามัยในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเลได้อย่างมาก เทคโนโลยีนี้เกิดขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการกุ้งแปรรูปที่เพิ่มมากขึ้นและความท้าทายที่เกี่ยวข้องกับวิธีการแกะเปลือกแบบดั้งเดิมที่ใช้แรงงานคน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำเครื่องแกะเปลือกกุ้งอัตโนมัติมาใช้จะช่วยผลิตสูงขึ้นและต้นทุนการดำเนินงานลดลง (Nanan และคณะ, 2023) (Alfiya และคณะ, 2022) แต่เนื่องจากเครื่องดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ทักษะ ความรู้ ความเชี่ยวชาญจากผู้ใช้ในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ความเร็วรอบใบกวน (Speed of spindle) 3 ระดับ ได้แก่ 115-120, 145-150, 175-180 RPM ซึ่งถ้าการแกะเปลือกกุ้งในแต่ละครั้งถ้าใช้ความเร็วรอบสูงเกินไปจะทำให้ตัวเนื้อกุ้งเกิดความเสียหาย แต่ถ้าความเร็วรอบต่ำไปจะทำให้เปลือกกุ้งไม่หลุดออกค่าความชื้น (Moisture) 3 ระดับ ได้แก่ <19, 19-21, >21 ซึ่งถ้ากำหนดค่าความชื้นของเนื้อกุ้งไม่เหมาะสมกุ้งจะมีลักษณะแข็งและเปราะเปลือกอาจแตกหักยากต่อการแยกและทำให้เกิดเศษเล็ก ๆ หรือ และรูปทรงใบกวน (Shape of the impeller) 3 แบบ ถ้าเลือกไม่เหมาะสมจะส่งผลกระทบต่ออัตราการแกะสำเร็จ (Peeling Efficiency) (Gringer และคณะ, 2018)



ภาพที่ 1 การประกอบเครื่องแกะทေးเปลือกกุ้งแห้ง



ภาพที่ 2 เครื่องแกะทေးเปลือกกุ้งแห้ง

ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้วิจัย จึงต้องการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของกุ้งแห้งและเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการคัดแยกเปลือกกุ้งแห้ง โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางด้านวิศวกรรมและการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และคัดกรองปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกุ้งแห้ง (Peeling Efficiency) เพื่อสามารถช่วยให้แยกเนื้อกุ้งออกจากเปลือกได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผลต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกุ้งแห้งและหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการคัดแยกเปลือกกุ้งแห้ง

ขอบเขตของการวิจัย

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกุ้งแห้งและหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการคัดแยกเปลือกกุ้งแห้ง มีขอบเขตของการวิจัยประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

1. เครื่องกะเทาะเปลือกกุ้งแห้ง ขนาด $0.8 \times 1.0 \times 1.50$ m ขับเคลื่อนด้วยใบกวนกระแสดิสขนาด 90 วัตต์ ผ่านเกียร์ตรอบขนาด 1 : 7.5 กะเทาะเปลือกกุ้งแห้งด้วยระบบการเสียดสีระหว่างชุดใบกวน (Shape of the impeller) เปลือกกุ้งแห้งกับถังกวนและเป่าเศษเปลือกกุ้งแห้งที่กะเทาะแล้วออกจากเครื่องด้วยโบเวอร์ขนาด 20 วัตต์
2. ปัจจัยทดสอบประกอบด้วย 3 ปัจจัย มีรายละเอียดดังนี้ คือ
 - A = ความเร็วรอบใบกวน (Speed of spindle ; Sp)
 - ระดับของการทดสอบ 3 level ได้แก่ 115-120, 145-150, 175-180 RPM
 - B = ค่าความชื้น (Moisture ; Mo) ระดับของการทดสอบ 3 level ได้แก่ <19, 19-21, >21 %
 - C = รูปร่างใบกวน (Shape of the impeller ; Sh) ระดับของการทดสอบ 3 level ได้แก่ 1, 2, 3
 - Y = อัตราการแกะสำเร็จของกุ้งแห้ง (Peeling Efficiency ; y)
 - จำนวนการทดสอบซ้ำ (Replicates ; n) = 3 ครั้ง
3. ศึกษาอัตราการแกะสำเร็จของกุ้งแห้งภายใต้การทดสอบด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกกุ้งแห้ง โดยควบคุมขนาดของกุ้งแห้งที่นำมาทดสอบในแต่ละรอบการทดสอบจำนวน 300 pcs/kg และยังไม่ได้กะเทาะเปลือกกุ้งแห้งออก
4. ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 19 มาช่วยในการดำเนินการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ระดมความคิดเห็นเพื่อกำหนดปัจจัย

การระดมความคิดเห็นเพื่อกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยจากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต การออกแบบ การรวบรวมข้อมูลและการศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น พบว่าอัตราการแกะสำเร็จของกุ้งแห้ง (Peeling Efficiency) เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบใบกวน (Speed of spindle) 3 ระดับ ได้แก่ 115-120, 145-150 และ 175-180 RPM ค่าความชื้น (Moisture) 3 ระดับ ได้แก่ <19, 19-21, >21 และรูปร่างใบกวน (Shape of the impeller) 3 แบบ ได้แก่ แบบเพลททรงกระบอก แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า แบบผสมผสวนดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

การปรับค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวเป็นค่าที่ไม่คงที่ ซึ่งถ้าใช้ความเร็วรอบสูงเกินไปจะทำให้ตัวเนื้อกุ้งเกิดความเสียหาย แต่ถ้าความเร็วรอบต่ำไปจะทำให้เปลือกกุ้งไม่หลุดออก โดยปัจจัยดังกล่าวเป็นตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของกุ้งแห้ง ซึ่งผู้วิจัยมองว่าการกำหนดพารามิเตอร์ในลักษณะนี้มีลักษณะการลองผิดลองถูก (Trial and Error) หรือการใช้การทดลองปรับตั้งค่าของกระบวนการทีละค่า (One Factor At a Time) จากผู้ควบคุมสายการผลิตเพื่อให้ชิ้นงานมีคุณภาพ (Muralidharan และคณะ, 2019) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

เพราะฉะนั้นผู้วิจัยจึงได้นำปัจจัยดังกล่าวมาใช้ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และคัดกรองปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง ในขั้นตอนนี้จะกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกุ้งแห้ง (Peeling Efficiency) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 19 มาช่วยในการดำเนินการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) เพื่อคัดแยกปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญออกไป

ตารางที่ 1 แสดงปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ศึกษา

Factor	Units	Level		
		Low	Medium	High
ความเร็วรอบใบกวน (Speed of spindle ; Sp)	RPM	A (115-120)	B (145-150)	C (175-180)
ค่าความชื้น (Moisture ; Mo)	%	D (< 18)	E (19-21)	F (> 22)
รูปทรงใบกวน (Shape of the impeller ; Sh)	Type	1	2	3

ตารางที่ 2 ลักษณะใบกวน (Shape of the impeller ; Sh)

แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3

2. การกำหนดสมมติฐานการทดลอง

การตั้งสมมติฐานนั้นจะตั้งโดยใช้หลักการทางสถิติ ซึ่งจะวิเคราะห์ปัจจัยหลัก (Main Effect) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหรือปัจจัยร่วม (Interaction) ที่มีผลตอบสนองต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง (Peeling Efficiency) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยสามารถพิจารณาแบบจำลองการวิเคราะห์ความแปรปรวน 3 ปัจจัย ได้ดังสมการที่ 1

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} \tag{1}$$

โดยที่ y คือ อัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง μ คือค่าเฉลี่ยรวม (Grand mean) α_i คือ ความเร็วรอบใบกวน β_j คือ ค่าความชื้น γ_k คือ ลักษณะใบกวน และ $(\alpha\beta)_{ij}$, $(\alpha\gamma)_{ik}$, $(\beta\gamma)_{jk}$, $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ คือ ปัจจัยร่วมหรือปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างตัวแปร

- สมมติฐานที่ 1 อิทธิพลของความเร็วรอบใบกวนมีผลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง
 $H_0: \alpha_i = 0$ ทุกๆค่า i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, a$: ปัจจัย Sp ไม่มีผลต่อ Y
 $H_1: \alpha_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า i : ปัจจัย Sp มีผลต่อ Y
- สมมติฐานที่ 2 อิทธิพลของค่าความชื้นมีผลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง

- $H_0: \beta_j = 0$ ทุกๆค่า j เมื่อ $j = 1, 2, \dots, b$: ปัจจัย M_0 ไม่มีผลต่อ Y
 $H_1: \beta_j \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า j : ปัจจัย M_0 มีผลต่อ Y
3. สมมติฐานที่ 3 อิทธิพลของลักษณะใบกวนมีผลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง
- $H_0: \gamma_k = 0$ ทุกๆค่า k เมื่อ $k = 1, 2, \dots, c$: ปัจจัย S_h ไม่มีผลต่อ Y
 $H_1: \gamma_k \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า k : ปัจจัย S_h มีผลต่อ Y
4. สมมติฐานที่ 4 อิทธิพลของร่วมของความเร็รรอบใบกวนและค่าความชื้นมีผลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง
- $H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0$ ทุกๆค่า i และ j เมื่อ $i = 1, 2, \dots, a$ และ $j = 1, 2, \dots, b$
 $H_1: (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า i และ j
5. สมมติฐานที่ 5 อิทธิพลของร่วมของความเร็รรอบใบกวนและลักษณะใบกวนมีผลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง
- $H_0: (\alpha\gamma)_{ik} = 0$ ทุกๆค่า i และ k เมื่อ $i = 1, 2, \dots, a$ และ $k = 1, 2, \dots, c$
 $H_1: (\alpha\gamma)_{ik} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า i และ k
6. สมมติฐานที่ 6 อิทธิพลของร่วมของค่าความชื้นและลักษณะใบกวนมีผลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง
- $H_0: (\beta\gamma)_{jk} = 0$ ทุกๆค่า j และ k เมื่อ $j = 1, 2, \dots, b$ และ $k = 1, 2, \dots, c$
 $H_1: (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า j และ k
7. สมมติฐานที่ 7 อิทธิพลของร่วมของความเร็รรอบใบกวน ค่าความชื้นและลักษณะใบกวนมีผลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง
- $H_0: (\alpha\beta\gamma)_{ijk} = 0$ ทุกๆค่า i, j และ k
 $H_1: (\alpha\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า i, j และ k

3. การออกแบบการทดลองและการเก็บข้อมูล

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเพื่อค้นหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) ที่ประกอบด้วย k ปัจจัย ในระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบ โดยปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับ โดยนำปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีผลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง มาทำการทดลองทั้งหมด $3 \times 3 \times 3 \times \dots \times 3 = 3^k$ การทดลองการออกแบบการทดลอง โดยกำหนดให้ปัจจัย (Factors) คือเท่ากับ 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (Replicates) ได้ทั้งหมด (Total runs) เท่ากับ 81 ครั้ง แสดงดังภาพที่ 3 โดยมีผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 19 แสดงเป็นตารางข้อมูลดังภาพที่ 3

Multilevel Factorial Design

Design Summary

Factors: 3	Replicates: 3
Base runs: 27	Total runs: 81
Base blocks: 1	Total blocks: 1
Number of levels: 3, 3, 3	

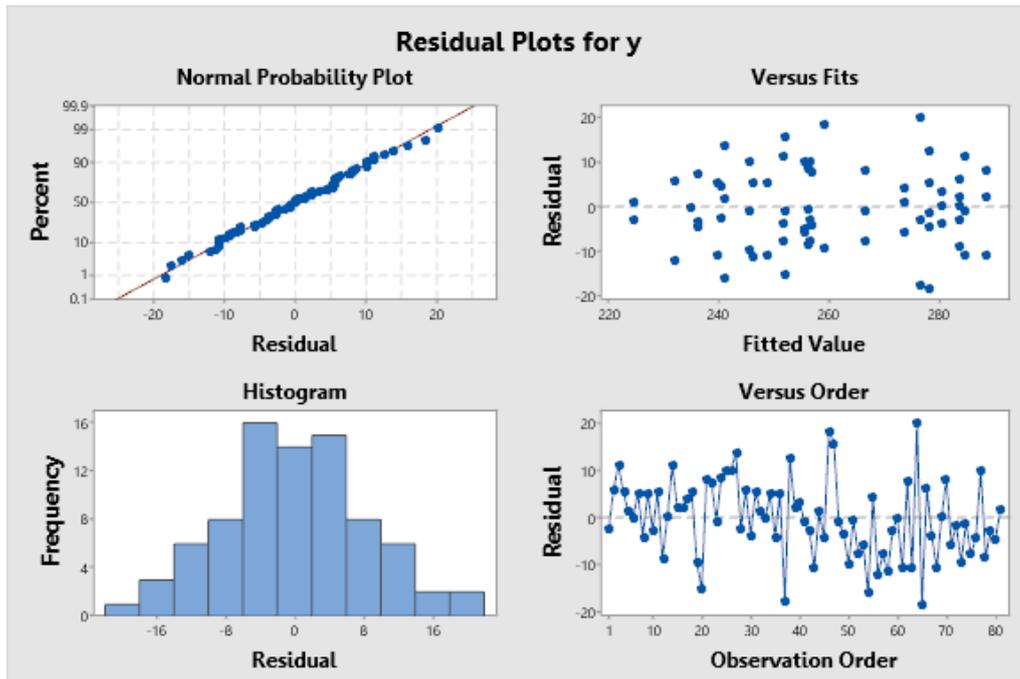
ภาพที่ 3 Multilevel Factorial Design

ตารางที่ 3 แสดงผลข้อมูลจากการออกแบบการทดลอง

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Sp	Mo	Sh	y
1	1	1	1	A	D	1	238
2	2	1	1	A	D	2	238
3	3	1	1	A	D	3	263
4	4	1	1	A	E	1	252
5	5	1	1	A	E	2	226
6	6	1	1	A	E	3	235
7	7	1	1	A	F	1	245
8	8	1	1	A	F	2	253
*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*
74	74	1	1	C	D	2	251
75	75	1	1	C	D	3	259
76	76	1	1	C	E	1	232
77	77	1	1	C	E	2	256
78	78	1	1	C	E	3	248
79	79	1	1	C	F	1	254
80	80	1	1	C	F	2	251
81	81	1	1	C	F	3	243

ผลการออกแบบการทดลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking) วิเคราะห์เงื่อนไขความพอเพียงจากกราฟ การวิเคราะห์ความพอเพียงของข้อมูลจากกราฟ 4 ใน 1 (Four in one) ดังแสดงภาพที่ 4 จากกราฟการกระจาย (Normal Probability Plot) ของค่าส่วนตกค้างโดยพิจารณาจากการกระจายตัวของข้อมูล ซึ่งการกระจายตัวของข้อมูลมีการกระจายตัวรอบเส้นตรงแบบปกติ ซึ่งแสดงได้ว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ จากกราฟ (Versus Fits) แสดงการตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) จาก พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างมีการกระจายตัวที่เป็นแบบอิสระ ไม่เป็นรูปแบบแน่นอนแสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกันทั้งด้านบวกและด้านลบไม่เป็นลักษณะของรูปแบบลำโพงปากเปิดด้านใดด้านหนึ่ง จึงอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ข้อมูลพิจารณาได้จากกราฟฮิสโตแกรม (Histogram) แสดงลักษณะข้อมูลที่อยู่ทั้งสองฝั่งซึ่งเป็นการกระจายตัวในรูปแบบปกติ โดยจะมีลักษณะเป็นรูปแบบการกระจายแบบระฆังคว่ำแสดงได้ว่าข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวแบบปกติ จากกราฟการกระจายตัวแบบสุ่ม (Versus Order) ใช้ตรวจสอบข้อมูลว่ามีการกระจายตัวแบบสุ่มหรือไม่ จากลักษณะของข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนการกระจายตัวที่ดี เนื่องจากเนื่องจากอยู่ภายใต้การควบคุมที่ดีแสดงว่าข้อมูลมีลักษณะแบบสุ่ม



ภาพที่ 4 กราฟ 4 ใน 1 (Four in one)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากการนำข้อมูลการออกแบบการทดลองไปใช้ในการปรับตั้งค่าที่เครื่องกะเทาะเปลือกกุ้งแห้ง เพื่อทดลองหาอัตราการแกะสำเร็จของกุ้งแห้ง (Peeling Efficiency) ภายใต้เงื่อนไขการทดลองแล้วจึงนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะอ่านค่า P-value ที่ได้จากรายการสรุป ANOVA โดยถ้าค่า P-value $> \alpha$ (0.05) จะยอมรับสมมติฐาน H_0 และปฏิเสธสมมติฐาน H_1 ตรงกันข้ามถ้าค่า P-value $\leq \alpha$ (0.05) จะปฏิเสธสมมติฐานสมมติฐาน H_0 และจะยอมรับสมมติฐาน H_1

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบจะทำให้ทราบผลของอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) และปัจจัยร่วม (Interaction) ที่มีผลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกุ้งแห้ง (Peeling Efficiency) และสามารถวิเคราะห์หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดได้จากการวิเคราะห์จาก Main Effect และ Interaction Plot เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดได้ตามต้องการ โดยมีผลจากรายการ (ANOVA) ดังนี้

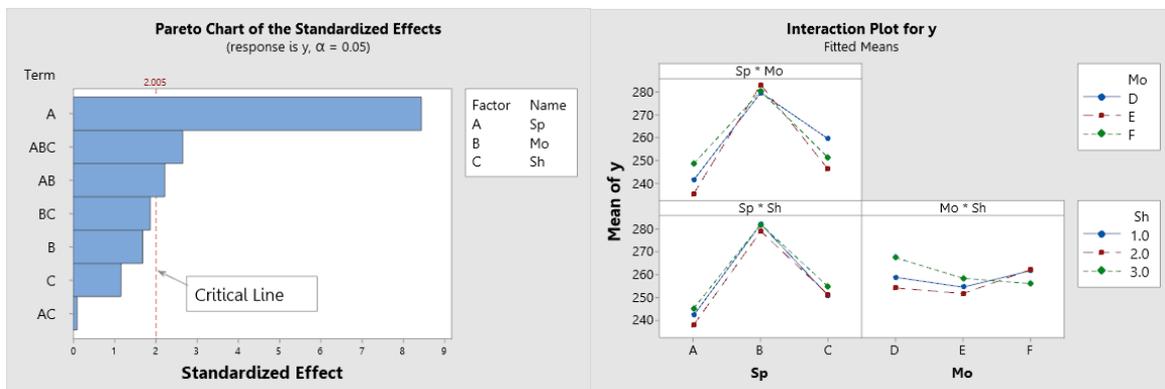
ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลจากการออกแบบการทดลอง

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	26	27491.4	1057.4	10.57	0.000
Linear	6	23037.5	3839.6	38.38	0.000
Sp	2	22268.5	11134.2	111.29	0.000
Mo	2	484.2	242.1	2.42	0.099
Sh	2	284.8	142.4	1.42	0.250
2-Way Interactions	12	2180.9	181.7	1.82	0.069
Sp*Mo	4	1153.5	288.4	2.88	0.031
Sp*Sh	4	91.9	23.0	0.23	0.921

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Mo*Sh	4	935.5	233.9	2.34	0.067
3-Way Interactions	8	2273.0	284.1	2.84	0.010
Sp*Mo*Sh	8	2273.0	284.1	2.84	0.010
Error	54	5402.7	100.0		
Total	80	32894.0			

Model Summary				
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	
10.0025	83.58%	75.67%	63.04%	

จากตาราง ANOVA พบว่า ปัจจัย Sp มีค่า P-value < 0.05 แสดงว่ามีอิทธิพลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง และเมื่อพิจารณาร่วมกันแบบ 2 ปัจจัย พบว่า Sp*Mo (2-way Interaction) มีค่า P-value = 0.031 แสดงว่ามีอิทธิพลของร่วมของความเร็รรอบไบกวนและค่าความชื้นมีผลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง และเมื่อพิจารณาร่วมกันแบบ 3 ปัจจัย พบว่า Sp*Mo*Sh (3-way Interaction) มีค่า P-value = 0.010 แสดงว่าอิทธิพลของร่วมของความเร็รรอบไบกวนค่าความชื้นและลักษณะไบกวนมีผลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง และเมื่อพิจารณา Model Summary พบว่า ปัจจัยทั้ง 3 มีอิทธิพลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้งคิดเป็น 83.58% ค่า R ที่ปรับแล้วคิดเป็น 75.67 % ค่าของการพยากรณ์อิทธิพลต่ออัตราการแกะสำเร็จได้เท่ากับ 63.04% และจากภาพที่ 5 พบว่าที่บริเวณเส้นวิกฤตแสดงให้เห็นว่า ปัจจัย A, AB, ABC มีผลตอบสนองมากกว่าปัจจัย B, C, BC และ AC



ภาพที่ 5 Pareto Chart and Interaction Plot

จากกราฟ interaction Plot แสดงอิทธิพลร่วมกันระหว่างตัวแปร โดยลักษณะของเส้นกราฟมีทิศทางตัดกันแสดงว่ามีอิทธิพลร่วมกันระหว่างตัวแปร ผู้วิจัยจึงการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ส่งผลอัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง (Peeling Efficiency) ด้วยการ ใช้ Response Optimizer มาทำการวิเคราะห์เพื่อยืนยันผลจากโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านสถิติ Minitab Version 19

ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลจากการทดลอง

Response Optimization: y						
Parameters						
Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
y	Maximum	220	297		1	1

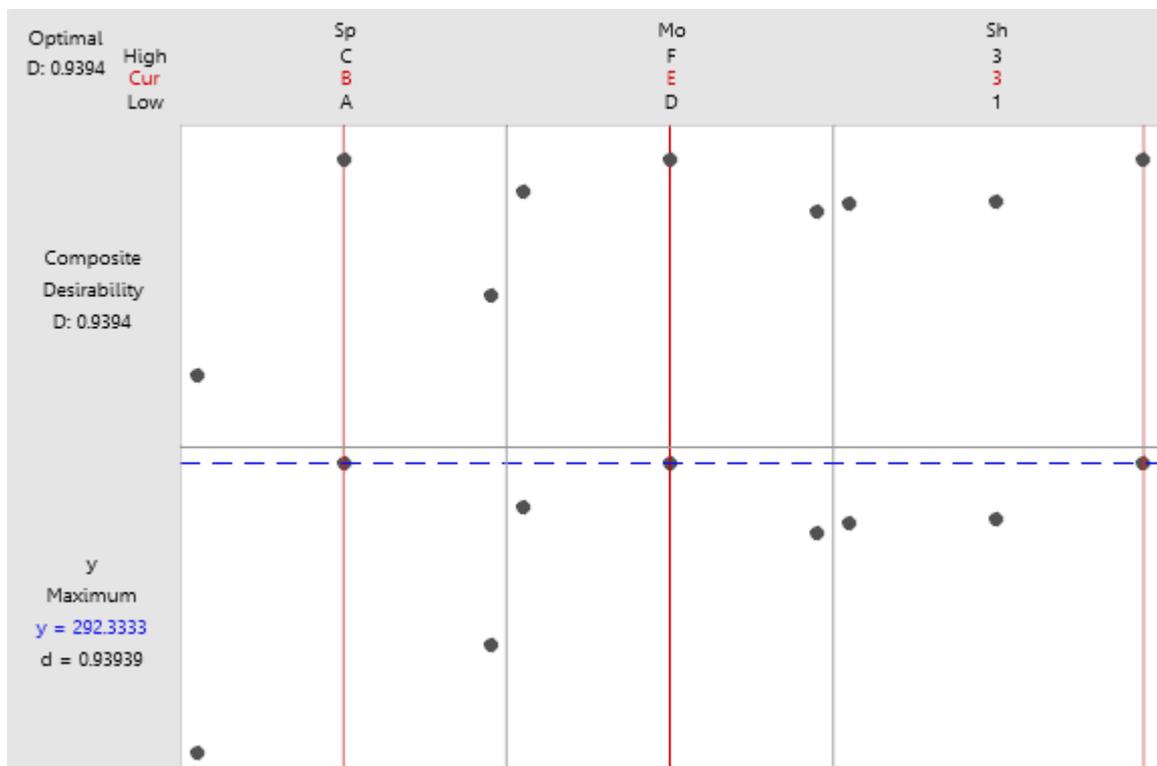
Solution					
Solution	Sp	Mo	Sh	y Fit	Composite Desirability
1	B	E	3	292.333	0.939394

Multiple Response Prediction				
Variable	Setting			
Sp	B			
Mo	E			
Sh	3			
Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
y	292.33	5.74	(280.83, 303.84)	(269.32, 315.34)

จากตาราง Parameters แสดงค่าการเลือกเป้าหมายที่ต้องการหาผลลัพธ์ของการตอบสนองในที่นี้ คือ อัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง (Peeling Efficiency) โดยข้อมูลมีค่าสูงสุด (Maximum) คือ 297 มีค่าต่ำสุด (Lower) คือ 220

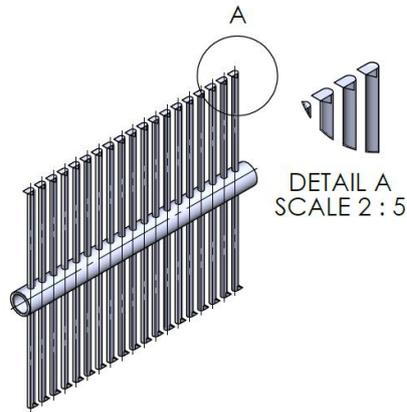
จากตาราง Solution แสดงผลลัพธ์ปัจจัยที่เหมาะสม คือ ความเร็วรอบใบกวน (Speed of spindle ; Sp) เท่ากับ 145-150 RPM ค่าความชื้น (Moisture ; Mo) เท่ากับ 19-21 % และรูปทรงใบกวน (Shape of the impeller ; Sh) ควรใช้แบบที่ 3 โดยมีค่าช่วงของความเชื่อมั่น (Confidence Interval) 95% CI คือมีการทดลองแบบเดิมซ้ำๆกับประชากรกลุ่มเดิม ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จะอยู่ในช่วง 280.83 - 303.84 เท่ากับ 95%

ที่ 95% PI เป็นช่วงการทำนาย (Prediction Interval) คือ ถ้าทดลองแบบเดิมซ้ำๆกับประชากรกลุ่มเดิมความน่าจะเป็นที่จะได้ผลลัพธ์จะตกอยู่ในช่วง 269.32 - 315.34 เท่ากับ 95%



ภาพที่ 5 Response Optimizer

จากภาพที่ 5 พบว่าจากผลการวิเคราะห์ด้วย Response Optimizer ถ้าต้องการค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดหรือค่าอัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง (Peeling Efficiency) ที่มากที่สุด เท่ากับ $y = 292.33$ PCS ควรกำหนดค่าพารามิเตอร์หรือปัจจัยและระดับของปัจจัยดังนี้ คือ ความเร็วรอบใบกวน (Speed of spindle ; Sp) อยู่ในช่วงเท่ากับ 145-150 RPM ค่าความชื้น (Moisture ; Mo) อยู่ในช่วงเท่ากับ 19-21 % และรูปทรงใบกวน (Shape of the impeller ; Sh) ควรใช้แบบที่ 3 คือ แบบผสมผสานแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ลักษณะใบกวนแบบผสมผสาน

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง (Peeling Efficiency) และเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการคัดแยกเปลือกกึ่งภายใต้การทดสอบด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกกึ่งแห้ง โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ เพื่อวิเคราะห์และคัดกรองปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางด้านวิศวกรรมและการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลมาช่วยวิเคราะห์ ซึ่งจากการระดมความคิดเห็นเพื่อกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัย พบว่าอัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง (Peeling Efficiency) เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบใบกวนใบกวน (Speed of spindle) 3 ระดับ ได้แก่ 115-120, 145-150 และ 175-180 RPM ค่าความชื้น (Moisture) 3 ระดับ ได้แก่ <19, 19-21, >21 และรูปทรงใบกวน (Shape of the impeller) 3 แบบ ได้แก่ แบบเพลาทรงกระบอก แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ผู้วิจัยจึงได้ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 19 กำหนดให้ปัจจัย (Factors) คือ เท่ากับ 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (Replicates) ได้ทั้งหมด (Total runs) เท่ากับ 81 ครั้ง โดยมีผลการออกแบบการทดลอง คือ จากตาราง ANOVA พบว่า ปัจจัย Sp มีค่า P-value < 0.05 แสดงว่ามีอิทธิพลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง และเมื่อพิจารณาร่วมกันแบบ 2 ปัจจัย พบว่า $Sp*Mo$ (2-way Interaction) มีค่า P-value = 0.031 แสดงว่ามีอิทธิพลของร่วมของความเร็วรอบใบกวนและค่าความชื้นมีผลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง และเมื่อพิจารณาร่วมกัน แบบ 3 ปัจจัย พบว่า $Sp*Mo*Sh$ (3-way Interaction) มีค่า P-value = 0.010 แสดงว่าอิทธิพลของร่วมของความเร็วรอบใบกวนค่าความชื้นและลักษณะใบกวนมีผลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง และเมื่อพิจารณา Model Summary พบว่าปัจจัยทั้ง 3 มีอิทธิพลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้งคิดเป็น 83.58% ค่า R ที่ปรับแล้วคิดเป็น 75.67 % ค่าของการพยากรณ์อิทธิพลต่ออัตราการแกะสำเร็จได้เท่ากับ 63.04%

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง

จากการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางด้านวิศวกรรมและการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3k Factorial Design) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และคัดกรองปัจจัย พบว่าปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีอิทธิพลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง คือ ปัจจัยความเร็วรอบใบกวน และปัจจัยร่วมกันแบบ 2 ปัจจัย (2-way Interaction) พบว่า ปัจจัยความเร็วรอบใบกวนและค่าความชื้นมีผลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง และเมื่อพิจารณาร่วมกัน แบบ 3 ปัจจัย (3-way Interaction) พบว่า ปัจจัยความเร็วรอบใบกวน ค่าความชื้นและรูปทรงใบมีผลต่ออัตราการแกะสำเร็จของกึ่งแห้ง ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ถ้าต้องการค่าพารามิเตอร์หรือค่าอัตราการแกะสำเร็จของกุ้งแห้ง (Peeling Efficiency) ที่มากที่สุด เท่ากับ $y = 292.33$ PCS. ควรกำหนดค่าพารามิเตอร์หรือปัจจัยและระดับของปัจจัยดังนี้ คือ ความเร็วรอบใบกวน (Speed of spindle ; Sp) อยู่ในช่วงเท่ากับ 145-150 RPM ค่าความชื้น (Moisture ; Mo) อยู่ในช่วงเท่ากับ 19-21 % และรูปทรงใบกวน (Shape of the impeller ; Sh) ควรใช้แบบที่ 3 คือ แบบผสมผสาน

ข้อเสนอแนะ

เครื่องแกะทะเลเปลือกกุ้งแห้งสามารถนำเทคโนโลยีเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เข้ามาประยุกต์ใช้จะช่วยเพิ่มความรวดเร็วในการปฏิบัติงาน ลดต้นทุนแรงงานรวมถึงการควบคุมพลังงาน เพื่อให้เครื่องทำงานได้อย่างคุ้มค่าและลดการสิ้นเปลืองพลังงานและยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์

เอกสารอ้างอิง

- Alfiya, P. v., Rajesh, G. K., Murali, S., Aniesrani Delfiya, D. S., Samuel, M. P., & Prince, M. v. (2022). Quality evaluation of solar and microwave dried shrimps – A comparative study on renewable and dielectric heating methods. *Solar Energy*, 246. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.09.048>
- Gringer, N., Dang, T. T., Orlie, V., Olsen, K., Boknaes, N., & Jessen, F. (2018). A quantitative method to measure and evaluate the peelability of shrimps (*Pandalus borealis*). *LWT*, 94. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.022>
- Hu, M., Xue, Y., Zhao, L., Liu, Q., & Cao, R. (2022). Comparison of Flavor Substances in Dried Shrimp Products Processed by *Litopenaeus Vannamei* from Two Aquaculture Patterns. *Journal of Ocean University of China*, 21(6). <https://doi.org/10.1007/s11802-022-5239-0>
- Muralidharan, K., Romero, M., Wüthrich, K., Uthrich, K. W., Andrews, I., Armstrong, T., Bharadwaj, P., Chandrasekhar, A., de Chaise-Martin, C., Dahl, G., Dellavigna, S., Duflo, E., Elliott, G., Goldstein, M., Humphreys, M., Kaido, H.-R., Katz, L., Kolesar, M., Kwon, S., & Vera, D. (2019). *Factorial Designs, Model Selection, and (Incorrect) Inference in Randomized Experiments Factorial designs, model selection, and (incorrect) inference in randomized experiments*. Retrieved from <http://www.nber.org/data-appendix/w26555>
- Nanan, K., Eiamsa-ard, S., Chokphoemphun, S., Kumar, M., Pimsarn, M., & Chuwattanakul, V. (2023). Influence of bed height and drying temperature on shrimp drying characteristics using a fluidized-bed dryer. *Case Studies in Thermal Engineering*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103144>
- Om, A., Ak, B., Fo, O., & Ge, Z. (2019). Effects of Drying Methods on Quality Attributes of Shrimps. *J Food Process Technol*, 10(1).
- Sun, W., Ji, H., Zhang, D., Zhang, Z., Liu, S., & Song, W. (2022). Evaluation of Aroma Characteristics of Dried Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Prepared by Five Different Procedures. *Foods*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/foods11213532>