การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับปิดผนึกถุงบรรจุข้าวสาร

Parameter Setting for Seal Process of the Rice Packaging

ชวลิต มณีศรี[1*] ชัยวัฒน์ พรรคพวก [2]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: chawalit.ma@spu.ac.th*

Chawalit Manisri[1*] Chaiwat Pukpugk[2]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Sripatum University
[2]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Sripatum University
E-mail: chawalit.ma@spu.ac.th*

บทคัดย่อ

ข้าวถือเป็นสินค้าเกษตรสำคัญของประเทศไทย มีการผลิตเพื่อจัดจำหน่ายในหลายรูปแบบ การผลิตข้าวสารบรรจุถุงขนาด 5 กิโลกรัมถือเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้รับความนิยมโดยเฉพาะผู้บริโภคในประเทศซึ่งมีมูลค่าตลาดสูงถึง 20,000 ล้านบาท ผู้ผลิตหลายรายเพิ่มกำลังการผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า อย่างไรก็ตามปัญหาคุณภาพของการบรรจุเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการเพิ่มผลผลิต โดยพบว่าลักษณะของเสียของถุง 2 ชนิดคือ ถุงหนา 110±12 µm และถุงบาง 90±20 µm ได้แก่ รอยปิดผนึกขาด รอยปิดผนึกไม่ติด และรอยปิดผนึกพับ มีสัดส่วนของเสียสูงรวมร้อยละ 80.26 การแก้ไขปัญหาเริ่มจากศึกษากระบวนการทำงานพร้อมหาสาเหตุด้วยแผนภาพแสดงเหตุและผล รวมทั้งทดสอบหาค่าความแข็งแรงของรอยปิดผนึกตามมาตรฐานวิธีการทดสอบสำหรับค่าความแข็งแรงของวัสดุ ASTM F88/F88M -06 เนื่องจากปัจจุบันทำการทดสอบด้วยการออกแรงดึงของพนักงาน ทำให้ไม่ทราบค่าที่แท้จริงและค่าที่เป็นเป็นมาตรฐานในการทำงาน จึงทำการคัดกรองปัจจัยด้วยวิธีระดมสมอง พบว่า ปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความแข็งแรงของรอยปิดผนึก คือ ความหนาของถุง เวลาความร้อน และเวลากดพร้อมเป่าลมเย็น และทำการออกแบบการทดลองด้วย 3^3 การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง พบว่า อันตรกิริยาระหว่าง ความหนากับเวลาความร้อน ความหนากับเวลากดพร้อมเป่าลมเย็น เวลาความร้อนกับเวลากดพร้อมเป่าลมเย็น และความหนากับเวลาความร้อนกับเวลากดพร้อมเป่าลมเย็น มีผลต่อค่าความแข็งแรงของรอยปิดผนึกที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและยืนยันผล พบว่า ไม่เกิดของเสีย และมีค่าความแข็งแรงของรอยปิดผนึกในแต่ละจุดเฉลี่ย 9.53 9.11 4.22 และ 3.62 กิโลกรัมแรงต่อความกว้าง 25.4 มิลลิเมตร

คำหลัก การออกแบบการทดลอง การกำหนดค่าพารามิเตอร์ ความแข็งแรงของรอยผนึก

Abstract

Rice is the main agricultural product of Thailand that has been produced for distributing in various formats. A 5-kilogram bag of rice is hugely popular in the consumer market, which is worth up to 20,000 million baht. Many manufacturers increased production to meet customer needs. However, the quality of the packaging is a major obstacle to productivity. It is found that defects of two types of rice bags, a thick bag with 110 ±12 µm and a slim bag with 90 ±20 µm are a torn seal, non bonding seal, and folded seal.

This totally causes 80.26 percent of waste. The problem is, therefore solved by studying the production line and then writing in a cause and effect diagram to find out causes. F88/F88M -06 standard test method for seal strength of flexible barrier materials or ASTM is also used instead of the testing by human that cannot provide accurate value or standard value. In addition to factor screening by brainstorming, it shows that factors affecting the seal strength are the thickness of bags, heating time, and pressing time with blowing cold air. The experimental design is a 3^3 full factorial design and repeated three times for each level. The findings reveal interaction of thickness with heating time, thickness with pressing time and blowing cold air, heating time with pressing time and blowing cold air, and all three main factors significantly affect to the seal strength at the level of 0.05 $(\alpha = 0.05)$. The appropriate parameters are set to test to confirm that there is no waste. The average seal strength at four testing points is 9.53, 9.11, 4.22, and 3.62 kgf/25.4 mm. width.

Keywords: Design of Experiment, Parameter Setting, Seal Strength

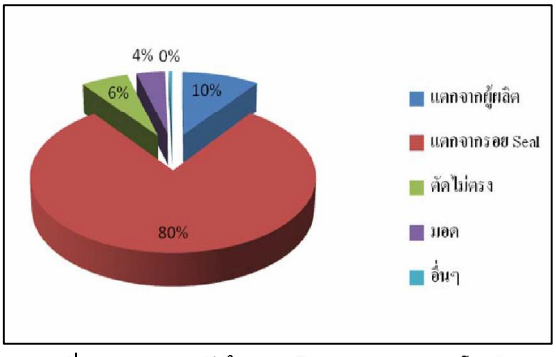
1. บทนำ

ข้าวเป็นอาหารหลักที่คนไทยมากกว่าร้อยละ 80 นิยมบริโภค ซึ่งพบว่ามีผู้บริโภคมากกว่าร้อยละ 70 นิยมซื้อข้าวสารบรรจุถุง เนื่องจากผู้บริโภคคำนึงถึงความสะดวก สะอาด คุณภาพที่ดี ความหลากหลายของชนิดข้าวและหาซื้อได้ง่าย โดยตลาดข้าวสารบรรจุถุงในประเทศของมีมูลค่าสูงถึง 20,000 ล้านบาท จากมูลค่าตลาดข้าวสารบรรจุถุงทั้งหมด 150,000 ล้านบาท จากความนิยมดังกล่าวจึงมีธุรกิจผลิตข้าวสารบรรจุถุงขึ้นโดยเฉพาะขนาด 5 กิโลกรัม เช่น ข้าวหอมมะลิ ข้าวหอมปทุม ข้าวขาวตาแห้ง และข้าวสาวไห้ เป็นต้น

กระบวนการผลิตเป็นระบบปิดเพื่อรักษาความสะอาดและคุณภาพของข้าวตั้งแต่เริ่มส่งข้าวบนสายพานไปจนถึงการบรรจุถุง เป็นการผลิตที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ซึ่งวัตถุดิบสำคัญนอกเหนือจากข้าวคือถุงพลาสติก ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุข้าวมีความหลากหลายถึงแม้ว่าจะใช้บรรจุปริมาณข้าวเท่ากัน ก็มีความแตกต่างกันทั้งที่มีมาจากหลายแหล่งและหลายรูปแบบตามความต้องการของลูกค้า จากการศึกษาข้อมูลของโรงงานตัวอย่างพบว่าของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการการผลิตข้าวสารบรรจุถุงขนาด 5 กิโลกรัม ด้วยถุงบรรจุที่มีความแตกต่างกัน 2 ชนิด คือ ชนิดหนา และชนิดบางตามข้อกำหนดของลูกค้า จำนวนทั้งหมด 3,375,000 ถุง มีของเสียเกิดขึ้น 12,971 ถุง ตารางที่ 1 และรูปที่ 1 คิดเป็นร้อยละ 0.38 ความสูญเสียส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากรอยผนึกที่ไม่สมบูรณ์ที่มีจำนวนถึง 10,381 ถุง หรือคิดเป็นร้อยละ 80 จากของเสียทั้งหมด มีผลต่อคุณภาพข้าวสารที่อาจต้องทิ้งไปถุงบรรจุ พลังงานและต้นทุนการผลิตซึ่งเกิดจากการทวนซ้ำกระบวนการผลิตอีกครั้ง เป็นต้น เมื่อคำนวณเป็นมูลค่าความสูญเสีย โดยให้ราคาขายเฉลี่ยคือ 150 บาทต่อถุง แล้ว โรงงานตัวอย่างสูญเสียรายได้อย่างน้อยปีละ 1,500,000 บาท

ตารางที่ 1 สัดส่วนของเสียในการผลิตข้าวถุงขนาด 5 กิโลกรัม

ชนิดของเสีย	จำนวนของเสีย (ถุง)
แตกจากผู้ผลิต	1,280
แตกจากรอย Seal	10,381
ตัดไม่ตรง	784
มอด	470
อื่นๆ	56



รูปที่ 1 สัดส่วนของเสียในการผลิตข้าวถุงขนาด 5 กิโลกรัม

การวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการปิดผนึกถุงบรรจุข้าวสาร ซึ่งจะทำให้สามารถ

ลดปริมาณของเสีย และช่วยประหยัดทรัพยากรทั้งพลังงาน ถุงบรรจุ และข้าวสารได้ โดยการนำหลักการการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ เพื่อให้มั่นใจว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้จะมีความเหมาะสมที่สุดในแต่ละลักษณะการบรรจุถุงข้าวสาร

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยเรื่องการกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับปิดผนึกถุงบรรจุข้าวสารนี้ ผู้วิจัยเริ่มจากการใช้เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (QC 7 Tools) [1] โดยเลือกใช้ 3 ชนิด คือ ใบตรวจสอบ (Check Sheet) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลความถี่ของชนิดของเสียที่เกิดขึ้น จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างเป็นแผนภูมิ พาเรโต (Pareto Chart) เพื่อเรียงลำดับและระบุชนิดของของเสียที่มีความสำคัญสูงสุดตามหลักการ 80-20 เมื่อเลือกปัญหา (ชนิดของเสีย) ได้แล้วจึงทำการวิเคราะห์วิเคราะห์หาสาเหตุด้วยผังเหตุและผล (Cause-Effect Diagram) ซึ่งนิยมวิเคราะห์หาสาเหตุแยกเป็น 4 กลุ่ม (4M) คือ สาเหตุจากคน (Man) สาเหตุจากวิธีการ (Method) สาเหตุจากเครื่องจักร (Method) และสาเหตุจากวัสดุ (Materials) ทำให้สามารถคาดการณ์ถึงปัจจัยหรือพารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณภาพของการปิดผนึกได้ โดยส่วนใหญ่แล้วการคัดกรองปัจจัย (Screening Factor) นิยมใช้ 2^k การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป (2^k Full Factorial Design) [2], [3] ที่มีประโยชน์เป็นอย่างมากต่อการออกแบบการทดลองในช่วงแรก เมื่อมีปัจจัยที่ต้องการศึกษาเป็นจำนวนมาก เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ทำให้เกิดการทดลองเป็นจำนวนน้อยโดยศึกษาถึงผลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดได้อย่างสมบูรณ์ ดังเช่นงานวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้ออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการบรรจุและปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ในการผลิตซอสผลไม้ที่ใช้เทคนิคดังกล่าวในการออกแบบการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัย 4 ปัจจัย คือ การปรับระยะกด อุณหภูมิแขนกดแนวนอน ความเร็วในการป้อมฟิล์ม และอุณหภูมิของซอสขณะบรรจุ ทำให้ทราบว่าการปรับระยะกดไม่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของรอยผนึก [4] และงานวิจัยเรื่องการพัฒนากระบวนการควบคุมการพิมพ์กล่องบรรจุภัณฑ์เพื่อลดความสูญเสีย [5] ซึ่งใช้ 2^k การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป ในการกรองปัจจัย 5 ปัจจัย คือ ค่า pH ของน้ำยาฟาวน์เทน ปริมาณแอลกอฮอล์ในน้ำยาฟาวน์เทน ระยะห่างแม่พิมพ์ จำนวนกระดาษซ้อมสีก่อนพิมพ์ และความเร็วการพิมพ์ ซึ่งพบว่ามี 3 ปัจจัยแรกเท่านั้นที่มีผลต่อคุณภาพของกระบวนการพิมพ์ อย่างไรก็ตามงานบางครั้งเพื่อลดค่าใช้จ่ายและลดเวลาในการดำเนินงานในการคัดกรองปัจจัยอาจใช้การระดมความสมอง (Brainstorms) จะผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องได้ เช่น งานวิจัยเรื่องการลดความสูญเสียจากกระบวนการตัดและปิดผนึกถุงพลาสติก โดยวิธีการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษาโรงงานผลิตถุงพลาสติกบรรจุภัณฑ์ [6] ที่ใช้การระดมสมองในการวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดของเสีย ซึ่งได้แก่ความเร็วในการป้อนแผนพลาสติก และอุณหภูมิของบาร์กด

เมื่อสามารถกำหนดปัจจัยที่จะทำการทดลองได้แล้ว ผู้วิจัยส่วนใหญ่นิยมที่จะใช้ 3^k การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป (3^k Full Factorial Design) [2], [3] ที่แต่ละปัจจัยจะมี 3 ระดับ คือ สูง กลาง และต่ำ เพื่อยืนยันผลการทดลองและนำไปสู่วิธีพื้นที่ผิวผลตอบสนอง (Response Surface Methods) ในการกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อไป ซึ่ง3^k Full Factorial Design เป็นวิธีที่ให้ความถูกต้องของผลดีมาก [5] แต่มีค่าใช้จ่ายและใช้เวลามากที่สุดเช่นกัน ซึ่งงานวิจัยที่กล่าวถึงข้างต้น [4], [5], [6] ได้ใช้เทคนิคดังกล่าวในการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมเช่นกัน

สำหรับคุณภาพของการปิดผนึกนั้นโดยทั่วไปแล้ววัสดุที่เป็นพลาสติกนิยมทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM F88/F88M -06 มาตรฐานวิธีการทดสอบสำหรับค่าความแข็งแรงของวัสดุปิดกั้นที่ยืดหยุ่น (Standard Test Method for Seal Strength of Flexible Barrier Material) [7] ความแข็งแรงของรอยผนึก คือ สัดส่วนของแรงต่อความกว้าง ซึ่งเป็นการวัดเชิงปริมาณ มีหน่วยเป็น “N/25.4 mm.” หรือ “kgf/25.4 mm.” โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การใช้มาตรฐานดังกล่าวในการทดสอบเพื่อพัฒนาค่าความแข็งแรงของรอยผนึกบรรจุภัณฑ์ซอสผลไม้ [4] ทำให้ทราบว่าควรกำหนดค่าอุณหภูมิแขนกด ความเร็วในการป้อนฟิล์ม และอุณหภูมิซอสขณะบรรจุให้เหมาะสมอย่างไรและลดต้นทุนของเสียที่เกิดขึ้นได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งใกล้เคียงกับการแก้ปัญหารอยปิดผนึกกันถุงยืด [4] โดยมี 2 ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของ

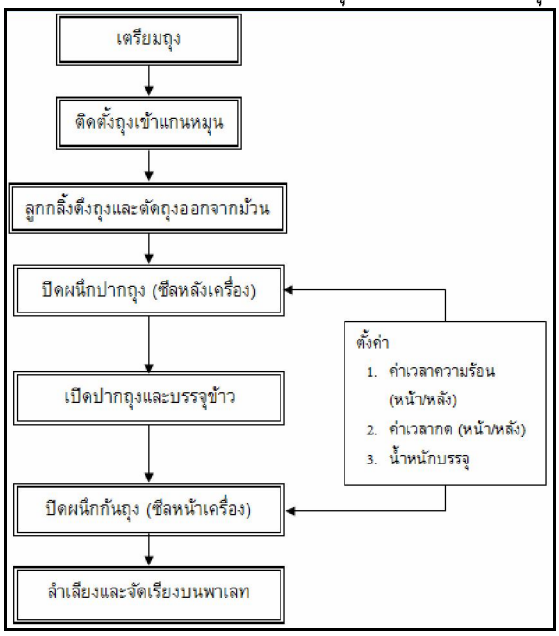
รอยผนึก คือ ความเร็วในการป้อนแผ่นพลาสติก และอุณหภูมิของบาร์กด ผลจากการดำเนินงานสามารถลดของเสียได้เช่นกัน รวมทั้งดุษฎีนิพนธ์เรื่องการหาแบบจำลองของตำแหน่งในการปริและลอก และเปรียบเทียบแรงปริและแรงลอกของถาดเครื่องมือแพทย์ [8] ที่ใช้มาตรฐานดังกล่าวเพื่อทดลองปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงลอก ปัจจัยละ 3 ระดับ คือ แรงกดในการผนึก, เวลาในการกด และอุณหภูมิในการผนึก และปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงปริ คือ ช่องว่างของแผ่นควบคุม และปริมาตรของถาด ความสูง อัตราส่วนของความยาวและความกว้าง

3. การดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้เริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิต เก็บข้อมูลและวิเคราะห์สาเหตุการเกิดของเสียจากรอยผนึกด้วย QC 7 Tools ทดสอบหาค่าความแข็งแรงของรอยปิดผนึกของการตั้งค่าเครื่องจักรแบบเดิม กำหนดปัจจัยและค่าพารามิเตอร์ที่จะทดลองและสรุปผลค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการตั้งค่าเครื่องจักร โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 กระบวนการผลิต

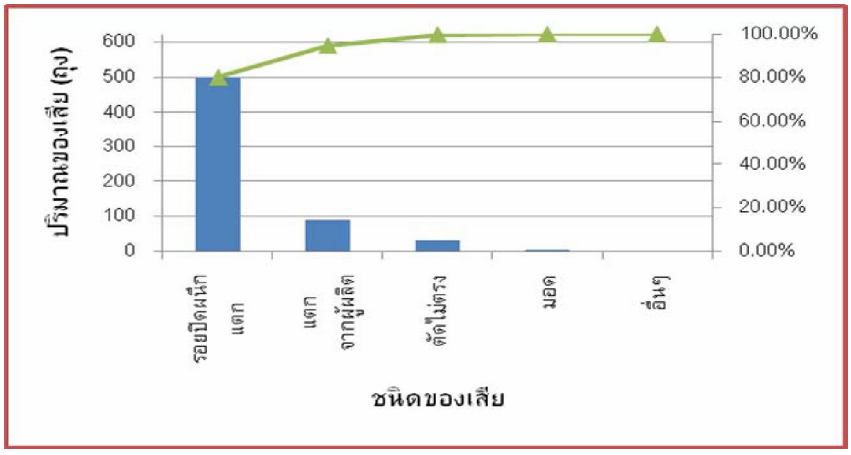
จากการศึกษาภาพรวมของกระบวนการผลิตทั้งหมดตั้งแต่การคัดแยกข้าวจนถึงข้าวบรรจุถุงเรียบร้อย พบว่า กระบวนการบรรจุข้าวสารบรรจุถุงมีผลต่อคุณภาพของรอยปิดผนึกโดยตรง มีรายละเอียดดังรูปที่ 2 ซึ่งเครื่องจักรในการผลิตมี 2 ลักษณะคือ อานาล็อกและดิจิตอล โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องแบบดิจิตอลในการทดลอง



รูปที่ 2 กระบวนการบรรจุข้าวสารบรรจุถุง

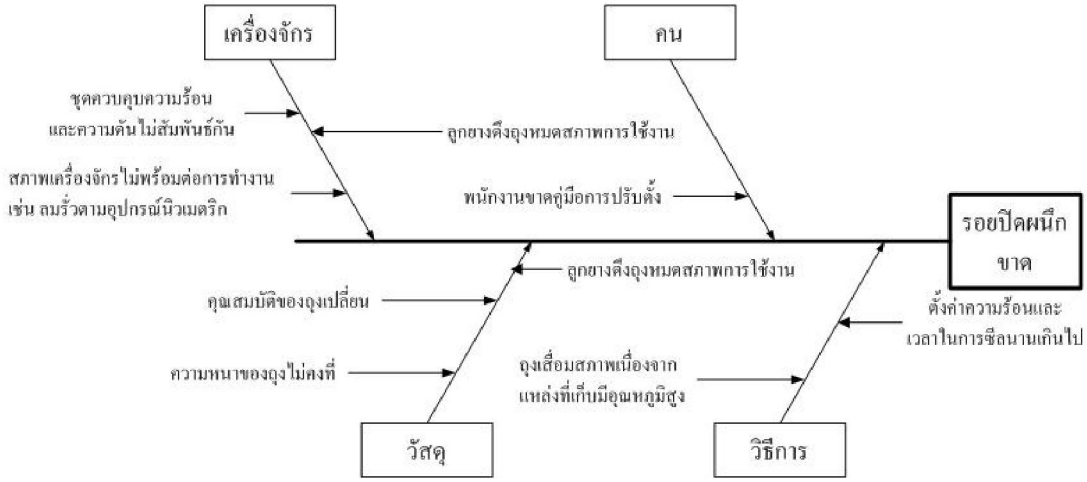
3.2 ข้อมูลของเสียและการวิเคราะห์สาเหตุ

จากการเก็บข้อมูลในเดือนสิงหาคม 2555 (โรงงานปิดตั้งแต่ตุลาคม 2554 และเปิดทำการมิถุนายน 2555 มีการเปลี่ยนเครื่องจักรใหม่ ทำให้ต้องเก็บข้อมลใหม่) และนำมาสร้างเป็นแผนภูมิพาเรโต้ ดังรูปที่ 3 พบว่ากว่าร้อยละ 80 ของจำนวนของเสียทั้งหมดเกิดจากปัญหารอยปิดผนึกแตก ซึ่งแบ่งเป็น 3 ปัญหาย่อยคือ รอยปิดผนึกขาด รอยปิดผนึกไม่ติด และรอยปิดผนึกพับ ดังรูปที่ 4 โดยวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยแผนผังเหตุและผล ดังรูปที่ 5-7

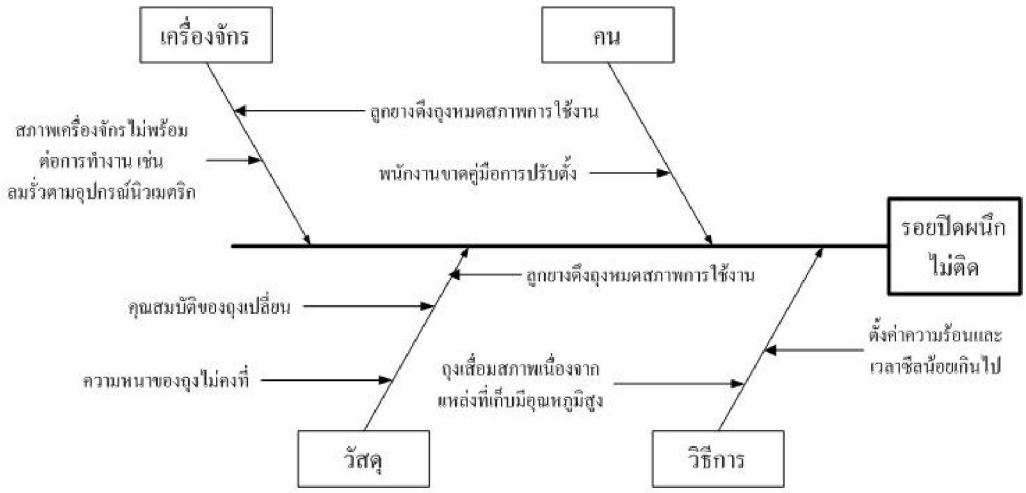


รูปที่ 3 แผนภูมิพาเรโตของเสียของข้าวบรรจุถุง

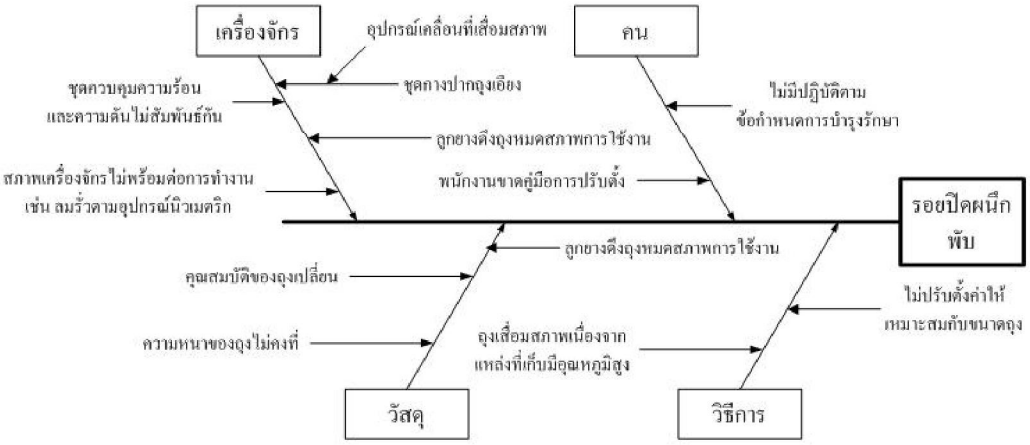
รูปที่ 4 ลักษณะปัญหารอยปิดผนึก



รูปที่ 5 แผนผังเหตุและผล (รอยปิดผนึกขาด)



รูปที่ 6 แผนผังเหตุและผล (รอยปิดผนึกไม่ติด)



รูปที่ 7 แผนผังเหตุและผล (รอยปิดผนึกพับ)

3.3 การทดสอบค่าความแข็งแรงของรอยปิดผนึก (เดิม)

ปัจจุบันโรงงานทดสอบคุณภาพของการบรรจุโดยการปล่อยถุงข้าวที่ผ่านกระบวนการบรรจุแล้วในแนวดิ่ง (Drop Test) และการใช้แรงดึงด้วยมือ ซึ่งเป็นวิธีที่มีความไม่แน่นอนทั้งระยะในการปล่อย แรงดึง และองศาการดึง ดังนั้นจึงทำการเก็บตัวอย่างถุงบรรจุข้าวซึ่งผ่านกระบวนการปิดผนึกเรียบร้อยแล้ว (ไม่ได้บรรจุข้าว) จำนวน 30 ตัวอย่างต่อขนาดความหนา ทดสอบที่ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย (ศบท.)ตามมาตรฐาน ASTM F88/F88M -06 มีผลการทดสอบดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความแข็งแรงของรอยปิดผนึก (เดิม)

ชนิดถุง	ตำแหน่งรอยปิดผนึก	ค่าความแข็งแรงของรอยปิดผนึก (kgf/25.4 mm. width)			
		ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
บาง (90±20 µm)	ปากถุง	4.66	3.93	2.54	0.35
	ก้นถุง	4.99	4.21	3.50	0.37
หนา (100±12 µm)	ปากถุง	8.97	7.99	6.38	0.68
	ก้นถุง	8.81	6.61	2.18	1.50

3.4 แนวทางในการออกแบบการทดลอง

เมื่อพิจารณาข้อมูลทางเทคนิคประกอบแผนภาพแสดงเหตุและผลร่วมกับผู้ที่เกี่ยวข้อง พบว่า ปัจจัยทั้งหมดที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของรอยปิดผนึกถุงข้าวสาร แสดงดังรูปที่ 8 โดยปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรเพื่อปิดผนึกถุงข้าวสารระหว่างปากถุงและก้นถุงเป็นอิสระต่อกัน เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ทำงานแยกจากกันอย่างชัดเจน

จากนั้นจึงวางแผนการทดลองโดยใช้ 3^3 การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปและในแต่ละวิธีปฏิบัติ (Treatment) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (Replications) กับถุงบรรจุ 2 ชนิด คือ ชนิดบาง และชนิดหนา รวมทั้งหมด 324 ตัวอย่าง เพื่อให้ได้ค่าที่น่าเชื่อถือและเหมาะสมกับค่าใช้จ่ายในการทดสอบความแข็งแรงของรอยปิดผนึก (Seal Strength) โดยกำหนดระดับของปัจจัยในการทดลอง ดังตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3 ระดับของปัจจัยในการทดลองหาค่าความแข็งแรงรอยปิดผนึกปากถุง (ถุงชนิดหนา)

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		
	ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (1)
ความหนา (µm)	110+10	110+12	110+15
ค่าเวลาความร้อน Seal หลัง (วินาที)	0.6	0.7	0.8
ค่าเวลากด+เป่าลมเย็นหลัง (วินาที)	0.4	0.5	0.6

รูปที่ 8 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าความแข็งแรงของรอยปิดผนึก

ตารางที่ 4 ระดับของปัจจัยในการการทดลองหาค่าความแข็งแรงรอยปิดผนึกปากถุง (ถุงชนิดบาง)

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		
	ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (1)
ความหนา (µm)	90+10	90+15	90+20
ค่าเวลาความร้อน Seal หลัง	0.35	0.45	0.55
ค่าเวลากด+เป่าลมเย็นหลัง	0.45	0.55	0.65

ตารางที่ 5 ระดับของปัจจัยในการทดลองหาค่าความแข็งแรงรอยปิดผนึกก้นถุง (ถุงชนิดหนา)

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		
	ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (1)
ความหนา (µm)	110+10	110+12	110+15
ค่าเวลาความร้อน Seal หลัง	0.55	0.65	0.75
ค่าเวลากด+เป่าลมเย็นหลัง	0.4	0.5	0.6

ตารางที่ 6 ระดับของปัจจัยในการทดลองหาค่าความแข็งแรงรอยผนึกปิดก้นถุง (ถุงชนิดบาง)

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		
	ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (1)
ความหนา (µm)	90+10	90+15	90+20
ค่าเวลาความร้อน Seal หลัง	0.32	0.42	0.52
ค่าเวลากด+เป่าลมเย็นหลัง	0.67	0.87	0.99*

*ค่าที่เครื่องตั้งได้สูงสุด

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

ก่อนที่จะนำผลการทดสอบ Seal Strength ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน จำเป็นต้องการตรวจสอบรูปแบบเหมาะสมของรูปแบบจำลองสำหรับทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป เพื่อยืนยันว่าค่าที่ได้มีความเหมาะสมเพียงพอ โดยผลการทดสอบเป็นไปดังตารางที่ 7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีความเหมาะสมกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไป

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบสมมุติฐานของค่าความผิดพลาด

ข้อสมมุติฐานของค่าความผิดพลาด	ถุงหนา		ถุงบาง	
	ปากถุง	ก้นถุง	ปากถุง	ก้นถุง
ค่าความผิดพลาดมีการกระจายแบบปกติ	✓ (P-Value = 0.244)	✓ (P-Value = 0.114)	✓ (P-Value = 0.051)	✓ (P-Value = 0.074)
ค่าความผิดพลาดมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์	✓	✓	✓	✓
ค่าความผิดพลาดมีความเป็นอิสระต่อกัน	✓	✓	✓	✓
ค่าความผิดพลาดมีค่าความแปรปรวนคงที่แต่ไม่ทราบค่า	✓	✓	✓	✓

✓ หมายถึง เป็นไปตามข้อสมมุติฐาน

แนวทางการวิเคราะห์ความแปรปรวนพิจารณาที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือพิจารณาจากค่า P-value ซึ่งถ้าปัจจัยใดมีค่าน้อยกว่า 0.05 ถือว่ามีผลกระทบต่อค่า Seal Strength และกรณีที่ผลกระทบร่วมของปัจจัยมีผลจะทำการพิจารณาค่าพารามิเตอร์จากความสัมพันธ์ดังกล่าวเท่านั้น ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม Minitab Release 15 สรุปได้ดังนี้

- ถุงหนา (ปากถุง) - ปัจจัยหลัก (ความหนาและเวลาความร้อน) และผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย (ความหนากับเวลาความร้อน, ความหนากับเวลากดและเป่าลมเย็น) มีผลต่อค่า Seal Strength

ANOVA: Seal Strength versus Thickness, Heat Time, Press Time

Factor	Type	Levels	Values
Thickness	fixed	3	120, 122, 125
Heat Time	fixed	3	0.6, 0.7, 0.8
Press Time	fixed	3	0.4, 0.5, 0.6

Analysis of Variance for Seal Strength

Source	DF	SS	MS	F	P
Thickness	2	1.00323	0.50162	12.25	0.000
Heat Time	2	0.28904	0.14452	3.53	0.036
Press Time	2	0.20919	0.10459	2.55	0.087
Thickness*Heat Time	4	0.54898	0.13724	3.35	0.016
Thickness*Press Time	4	0.58029	0.14507	3.54	0.012
Heat Time*Press Time	4	0.16231	0.04058	0.99	0.420
Thickness*Heat Time*Press Time	8	0.66957	0.08370	2.04	0.058
Error	54	2.21073	0.04094		
Total	80	5.67334			

S = 0.202335 R-Sq = 61.03% R-Sq(adj) = 42.27%

รูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของถุงหนา (ปากถุง)

- ถุงหนา (ก้นถุง) - ปัจจัยหลัก (ความหนา และเวลาความร้อน) ค่า Seal Strength เนื่องจากมีค่า P-Value < 0.05 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาที่ค่าความเชื่อมั่น 90% พบว่า และผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย (ความหนากับเวลาความร้อน) อาจมีผลต่อค่า Seal Strength เนื่องจากมีค่า P-Value < 0.10

ANOVA: Seal Strength versus Thickness, Heat Time, Press Time

Factor	Type	Levels	Values
Thickness	fixed	3	120, 122, 125
Heat Time	fixed	3	0.55, 0.65, 0.75
Press Time	fixed	3	0.4, 0.5, 0.6

Analysis of Variance for Seal Strength

Source	DF	SS	MS	F	P
Thickness	2	0.48687	0.24343	3.79	0.029
Heat Time	2	0.92936	0.46468	7.24	0.002
Press Time	2	0.30121	0.15060	2.34	0.106
Thickness*Heat Time	4	0.54098	0.13524	2.11	0.093
Thickness*Press Time	4	0.44666	0.11166	1.74	0.155
Heat Time*Press Time	4	0.15939	0.03985	0.62	0.650
Thickness*Heat Time*Press Time	8	0.41310	0.05164	0.80	0.602
Error	54	3.46807	0.06422		
Total	80	6.74562			

S = 0.253423 R-Sq = 48.59% R-Sq(adj) = 23.83%

รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของถุงหนา (ก้นถุง)

- ถุงบาง (ปากถุง) - ปัจจัยหลัก (ความหนาและเวลาความร้อน) ผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย (ความหนากับเวลาความร้อน ความหนากับเวลากดและเป่าลมเย็น เวลาความร้อนกับเวลากดและเป่าลมเย็น) และผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย (ความหนากับเวลาความร้อนกับเวลากดและเป่าลมเย็น) มีผลต่อค่า Seal Strength

ANOVA: Seal Strength versus Thickness, Heat Time, Press Time

Factor	Type	Levels	Values
Thickness	fixed	3	100, 105, 110
Heat Time	fixed	3	0.35, 0.45, 0.55
Press Time	fixed	3	0.45, 0.55, 0.65

Analysis of Variance for Seal Strength

Source	DF	SS	MS	F	P
Thickness	2	4.5618	2.2809	54.15	0.000
Heat Time	2	0.3725	0.1862	4.42	0.017
Press Time	2	0.2261	0.1130	2.68	0.077
Thickness*Heat Time	4	25.9421	6.4855	153.96	0.000
Thickness*Press Time	4	0.8258	0.2064	4.90	0.002
Heat Time*Press Time	4	0.7619	0.1905	4.52	0.003
Thickness*Heat Time*Press Time	8	1.1764	0.1470	3.49	0.003
Error	54	2.2747	0.0421		
Total	80	36.1412			

S = 0.205243 R-Sq = 93.71% R-Sq(adj) = 90.68%

รูปที่ 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของถุงบาง (ปากถุง)

- ถุงบาง (ก้นถุง) - ปัจจัยหลัก (ความหนาและเวลาความร้อน) และผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย (ความหนากับเวลาความร้อน) มีผลต่อค่า Seal Strength

ANOVA: Seal Strength versus Thickness, Heat Time, Press Time

Factor	Type	Levels	Values
Thickness	fixed	3	100, 105, 110
Heat Time	fixed	3	0.32, 0.42, 0.52
Press Time	fixed	3	0.67, 0.87, 0.99

Analysis of Variance for Seal Strength

Source	DF	SS	MS	F	P
Thickness	2	10.45722	5.22861	96.21	0.000
Heat Time	2	9.95360	4.97680	91.58	0.000
Press Time	2	0.06587	0.03293	0.61	0.549
Thickness*Heat Time	4	3.91353	0.97838	18.00	0.000
Thickness*Press Time	4	0.24558	0.06139	1.13	0.352
Heat Time*Press Time	4	0.17941	0.04485	0.83	0.515
Thickness*Heat Time*Press Time	8	0.48225	0.06028	1.11	0.372
Error	54	2.93467	0.05435		
Total	80	28.23213			

S = 0.233122 R Sq = 89.61% R Sq(adj) = 84.60%

รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของถุงบาง (กันถุง)

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังกล่าว นำไปสู่การวิเคราะห์ด้วยกราฟอันตรกิริยา (Interaction Plot) สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับปัจจัยที่ใช้ในการตั้งค่าเครื่องจักรที่ในการบรรจุถุงข้าวสารได้ดังตารางที่ 13 ภายหลังการทดลองใช้งาน โดยสุ่มทำการทดสอบ 10 ตัวอย่างในแต่ละชุดค่าพารามิเตอร์ พบว่า ไม่เกิดความบกพร่องที่รอยผนึกในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง คือ รอยปิดผนึกขาด รอยปิดผนึกไม่ติด และรอยปิดผนึกพับ

ตารางที่ 13 ค่าพารามิเตอร์สำหรับทดลองใช้งานและผลการทดลอง

รหัสทดลอง	ปัจจัย					จำนวนของเสีย (ถุง)	ค่า Seal Strength เฉลี่ย (kgf/25.4 mm. width)
	ความหนา Thickness (µm)	เวลาความร้อนหลัง (ปากถุง) Heat Time (วินาที)	เวลากดหลังพร้อมเป่าลม (ปากถุง) Press Time (วินาที)	เวลาความร้อนหน้า (กันถุง) Heat Time (วินาที)	เวลากดหน้าพร้อมเป่าลม (กันถุง) Press Time (วินาที)		
1	110+10	0.70	0.60	0.65	0.50	-	9.53 / 9.11
2	90+20	0.35	0.55	0.42	0.67	-	4.22 / 3.62

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงดึงของรอยปิดผนึกถุงข้าวสารที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ ผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย ได้แก่ ความหนากับเวลาความร้อน ความหนากับเวลากดและเป่าลมเย็น ความหนากับเวลาความร้อน และผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย ได้แก่ ความหนากับเวลาความร้อนกับเวลากดและเป่าลมเย็น จึงกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและทำการทดลองเพื่อยืนยัน ผลพบว่า ไม่เกิดของเสีย และมีค่าความแข็งแรงของรอยปิดผนึกในแต่ละจุดเฉลี่ย 9.53 9.11 4.22 และ 3.62 กิโลกรัมแรงต่อความกว้าง 25.4 มิลลิเมตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าพารามิเตอร์สำหรับใช้งานอยู่ภายใต้เงื่อนไขของความสมบูรณ์ของเครื่องจักร ซึ่งทำให้ความแข็งแรงและคุณภาพของรอยปิดผนึกมีความเสถียร สามารถเชื่อมั่นได้ว่าเป็นค่าที่ทำให้รอยปิดผนึกมีความแข็งแรงสูงสุด และมีความเฉลี่ยของความแข็งแรงสูงกว่าค่าที่ใช้ในปัจจุบัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม รวมทั้งได้รับการสนับสนุนวัสดุและเครื่องจักรในการทดลองจากบริษัท ข้าวแสนดี จำกัด

เอกสารอ้างอิง

[1] Montgomery, Douglas C. 2008. Introduction to Statistical Quality Control. 6th Edition, Wiley, USA.

[2] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2552. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง, สำนักพิมพ์ท้อป, กรุงเทพมหานคร.

[3] Montgomery, Douglas C. 2004. Design and Analysis of Experiments. 6th Edition, Wiley, USA.

[4] ชัยพร วงศ์พิศาล และคณะ. 2547.“การประยุกต์ใช้ออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการบรรจุและปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ในการผลิตซอสผลไม้.” หนังสือรวมบทความวิชาการการประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 13 พ.ศ.2547 : 1141-1148.

[5] ธีรเดช เรืองศรี. 2550. “การพัฒนากระบวนการควบคุมการพิมพ์กล่องบรรจุภัณฑ์เพื่อลดความสูญเสีย กรณีศึกษา: โรงงานผลิตกล่องบรรจุภัณฑ์.” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[6] กรวิชญ์ จุพะวนะพันธุ์ และ วิชัย รุ่งเรืองอนันต์. 2555. “การลดความสูญเสียจากกระบวนการตัดและปิดผนึกถุงพลาสติก โดยวิธีการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษาโรงงานผลิตถุงพลาสติกบรรจุภัณฑ์.” หนังสือรวมบทความวิชาการการประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 21 พ.ศ.2555: 944-950.

[7] ASTM International. 2006. F88/F88M-06 Standard Test Method for Seal Strength of Flexible Barrier Materials. USA.

[8] Pratricia Mays. 2008. “Seal Strength Models for Medical Device Trays”, Doctoral Dissertation, Industrial Engineering, Texas A&M University, USA.