

การลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์
ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว
Reducing Defects in Packaging by Applying Experimental
Results: A Case Study of A Snack Company

บุญชัย แซ่ลิว^{1*} และณัฐธยาน์ โสกุล²

¹ สาขาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
110/1-4 ถ.ประชาชื่น เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210 โทรศัพท์ 08-4642-4983 E-mail : Bunchai.sae@dpu.ac.th

² สาขาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
110/1-4 ถ.ประชาชื่น เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียจากกระบวนการบรรจุที่เกิดจากอาการซองรั่ว โดยศึกษาระดับปัจจัยในการปรับตั้งค่าเครื่องจักรให้เหมาะสม โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k ในการออกแบบการทดลองซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าประกอบด้วย 4 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ความเร็วรอบ อุณหภูมิ แรงกด และเวลาในการซีล โดยทำการทดลองซ้ำแบบละ 3 ครั้ง จำนวนผลการทดลองทั้งสิ้น 48 การทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าระดับปัจจัยในการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสม คือ ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 157 องศาเซลเซียส แรงกด 6 bar และเวลาในการซีล 0.5 วินาที เมื่อนำผลจากการวิจัยมาใช้ในการกระบวนการทำงานจริงพบว่า มูลค่าของเสียที่เกิดจากอาการซองรั่ว ลดลงจากเดิม 855,571.72 บาท เหลือ 596,482.21 บาท คิดเป็นอัตราการลดลงร้อยละ 30.29

คำสำคัญ : การออกแบบการทดลอง, การควบคุมคุณภาพ, แฟคทอเรียล ดีไซน์

Abstract

The objective of this research was to reduce the number of defects arising during the packing process through adjusting machine parameters. Using a factorial 2^k experimental design, 4 major factors were found: the speed of packing, temperature, pressure and sealing time. In each setup, 3 tests were conducted, giving a total of 48 results. The most successful parameters for packaging were 60 RPM, 157°C, 6 bars of pressure and 0.5 seconds to seal. The results were used in actual production and the lost value through scrap production was reduced from 855,571.72 THB to 596,482.21 THB, or a reduction of 30.29%.

Keywords : Design of Experiments, Quality Control, Factorial Designs

1. บทนำ

ในกระบวนการทางธุรกิจทั้งภาคการผลิต และภาคบริการล้วนมีจุดประสงค์เช่นเดียวกัน คือ ทำอย่างไรให้สามารถผลิตแล้วสามารถขายได้ โดยความสามารถในการขายได้ของผลิตภัณฑ์

จะขึ้นอยู่กับผู้ซื้อหรือผู้ใช้ผลิตภัณฑ์โดยจะอาศัยการพิจารณาเพื่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์หรือไม่จาก “คุณภาพ” ของผลิตภัณฑ์เป็นสำคัญ (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2551) การควบคุมคุณภาพและการลดความสูญเสียในกระบวนการผลิต ถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำหรับประเภทความสูญเสียเปล่า 7 ประการที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต (ปฐมพงษ์ หอมศรี และจักรพรรณ คงชนะ, 2557) ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำเนินธุรกิจ นอกจากจะสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการผลิตแล้วยังส่งผลกระทบต่อต้นทุนในกระบวนการผลิตอีกด้วย

จากการศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานที่เป็นกรณีศึกษา เป็นโรงงานผลิตขนมขบเคี้ยว มีขั้นตอนในกระบวนการผลิตคือ ผสม ขึ้นรูป อบไล่ความชื้น เคลือบ อบแห้ง บรรจุซอง และบรรจุลัง พบว่ามีของเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนกระบวนการผลิต เป็นจำนวนมากที่เกิดจากกระบวนการบรรจุซอง บรรจุลัง และนำส่ง เมื่อพิจารณาถึงที่มาแล้วทำให้พบว่าของเสียที่พบส่วนมากในกระบวนการเกิดจากเครื่องบรรจุระบบอัตโนมัติ อาการที่พบมากที่สุดคือซองรั่ว ซึ่งขนมภายในซองที่เกิดจากอาการดังกล่าวไม่สามารถนำกลับมาบรรจุได้ใหม่ เนื่องจากความกรอบ และรสชาติของขนมเปลี่ยนไป ไม่ตรงตามมาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนด โดยในเดือน มิถุนายน 2558 มีมูลค่าของเสียที่เกิดจากอาการดังกล่าว 855,571.72 บาท คิดเป็นร้อยละ 2.08

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากอาการซองรั่วพบในกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

2.2 เพื่อศึกษาระดับปัจจัยในการปรับตั้งเครื่องจักรที่มีผลต่อปริมาณของเสียที่เกิดจากอาการซองรั่วพบในกระบวนการบรรจุ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การออกแบบการทดลอง (V. L. Anderson and R. A. McLean, 1974) เป็นการตรวจสอบว่าปัจจัย (Factor) ไหนหรือตัวแปรใดที่มีผลต่อสิ่งที่สนใจ (Response) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ พิสูจน์ข้อเท็จจริงหรือความเชื่อหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต และเพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการ

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) มีขั้นตอนทั่วไปของการออกแบบการทดลอง (D.C. Montgomery, 2001) เป็นดังนี้

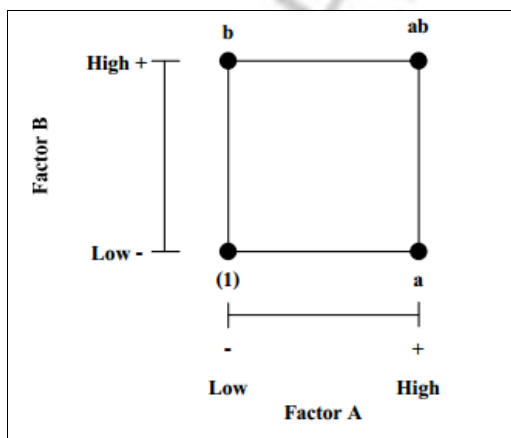
1. กำหนดปัญหา (Problem Identification)
2. เลือกตัวแปรที่ใช้วัด (Define Response Variables)
3. กำหนดปัจจัย (Factors Identification)
4. ออกแบบการทดลอง (Design Experiment)
5. วิเคราะห์ข้อมูล (Analyze Data)
6. สรุปผล (Conclusion)

(โสภิตา ท่วมมี และอรรถกร เก่งพล, 2550) ชนิดและรูปแบบของการทดลองนั้นมีให้เลือกหลายรูปแบบเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาซึ่งหลักเกณฑ์ในการพิจารณาว่าเราควรที่จะเลือกรูปแบบการทดลองแบบไหนนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่างเช่น เวลาที่มีให้ในการวิเคราะห์ระดับความถูกต้องในการวิเคราะห์ งบประมาณในการออกแบบการทดลอง เป็นต้น

ตารางที่ 1 รูปแบบการทดลองที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

รูปแบบการทดลอง	ลักษณะการทดลอง	เวลาในการวิเคราะห์	ความถูกต้อง	งบประมาณ
Single Factor	การทำการทดลองสำหรับหนึ่งปัจจัย โดยปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่คาดว่าจะมีผลกระทบสูงสุดต่อปัญหา	รวดเร็ว	ปานกลาง	น้อย
Factorial Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ	ใช้เวลานาน	มากที่สุด	มาก
2^k Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบแต่กำหนดระดับของแต่ละปัจจัยอยู่ที่ปัจจัยละ 2 ระดับเท่านั้น	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
2^{k-p} Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยแต่ไม่ทำการทดลองแบบเต็มรูปแบบทั้งหมด (ลดรูป)	รวดเร็ว	น้อย	น้อย

ในการการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ระดับ หมายถึงการทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ๆ การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k เป็นการออกแบบการทดลองในกรณีมีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้จะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพ ซึ่งจะแทนด้วยระดับสูงและต่ำ



ภาพที่ 1 การทดลองร่วมปัจจัยของการออกแบบ 2^2

(ปริญา คุณมี, 2554) จากภาพ 2 ผลของ A ที่ระดับต่ำของ B คือ $[a-(1)]/n$ และผลของ A ที่ระดับสูงของ B คือ $[ab-b]/n$ นำค่าทั้งคู่นี้มาเฉลี่ยจะได้ผลหลักของปัจจัย A คือ

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{2n} \{[ab-b] - [a-(1)]\} \\ &= \frac{1}{2n} [ab+a-b(1)] \end{aligned} \quad (1)$$

ค่าเฉลี่ยของผลหลักของปัจจัย B หาได้จากผลของ B ที่ A ระดับต่ำ คือ $[b-(1)]/n$ และที่ A ระดับสูง คือ $[ab-a]/n$ ซึ่งเขียนได้เป็น

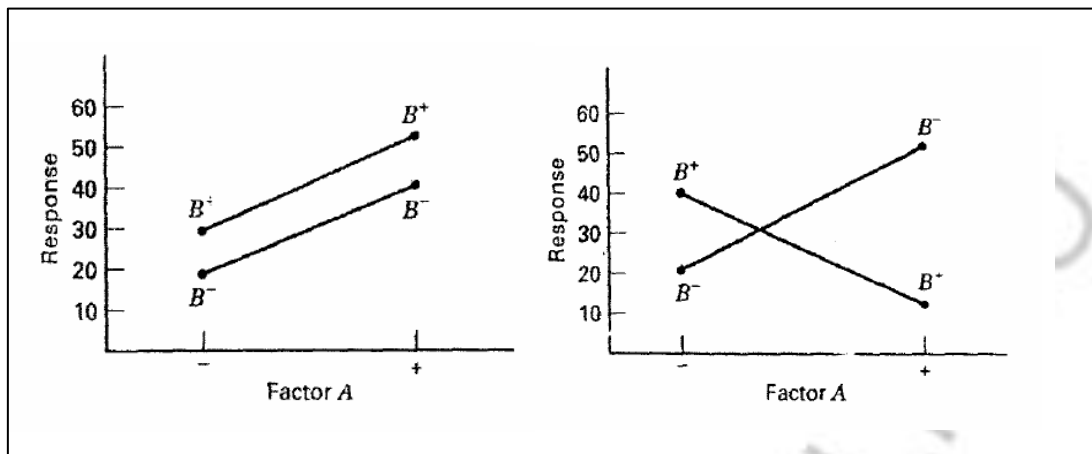
$$\begin{aligned} B &= \frac{1}{2n} \{[ab-a] + [b-(1)]\} \\ &= \frac{1}{2n} [ab+b-a(1)] \end{aligned} \quad (2)$$

ผลของอันตรกิริยาของ AB คือ ค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างผลของ A ที่ B ระดับสูง กับผลของ A ที่ B ระดับต่ำ

$$\begin{aligned} AB &= \frac{1}{2n} \{[ab-b] - [a-(1)]\} \\ &= \frac{1}{2n} [ab+(1)-a-b] \end{aligned} \quad (3)$$

โดยมากแล้วเมื่อจำนวนปัจจัยในการออกแบบ 2^k เพิ่มขึ้น จะทำให้จำนวนการทดลองสำหรับแฟกทอเรียลที่สมบูรณ์เพิ่มมากขึ้นเกินกว่าทรัพยากรที่มีอยู่จะรองรับได้ (เช่น เวลา หรือค่าใช้จ่าย เป็นต้น เช่น ใน 2^6 แฟกทอเรียลที่สมบูรณ์ของการออกแบบ 26 จะต้องมีการทดลองทั้งหมด 64 การทดลองในการออกแบบนี้แค่ 6 ตัว จากระดับขั้นความเสรี 63 ตัวเท่านั้นที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลัก ระดับขั้นความเสรี 15 ตัว จะเกี่ยวข้องกับปัจจัยร่วมแบบสองปัจจัย และระดับขั้นความเสรีที่เหลืออีก 42 ตัว จะเกี่ยวข้องกับปัจจัยร่วมแบบสามปัจจัยและมากกว่า

ผู้ทดลองสามารถตั้งสมมติฐานอย่างมีเหตุผลได้ว่า ปัจจัยร่วมขั้นสูงบางตัวสามารถละเลยได้ ในกรณีนี้ปัจจัยหลักและกิริยาร่วมขั้นต่ำอาจหาได้โดยการออกแบบการทดลองเพียงแค่เศษส่วนของ การทดลองเชิงแฟคทอเรียลอย่างสมบูรณ์เท่านั้น การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (Fractional Factorial Design) จัดได้ว่าเป็นการออกแบบที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการ นอกจากนั้นแล้วยังใช้ช่วยในการหาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการอีกด้วย การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลถูกนำมาใช้มากในการกรองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกล่าวคือ ในการทดลองหนึ่งอาจจะมีปัจจัยมากมายที่กำลังอยู่ในความสนใจ จะใช้การออกแบบเช่นนี้เพื่อค้นหาว่าปัจจัยตัวใดบ้างเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ การทดลองเพื่อกรองปัจจัยนี้ส่วนมากจะใช้ในตอนเริ่มต้นโครงการ เนื่องจากโดยมากแล้วในขณะนั้นจะมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลน้อยหรือไม่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองที่กำลังพิจารณาอยู่หลังจากทำการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเสร็จสิ้นแล้ว ปัจจัยที่มีอิทธิพลจะถูกนำไปทำการทดลองอย่างละเอียดในการทดลองต่อไป ที่จะตามมาในอนาคตในการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่สองปัจจัย นอกจากจะเกิดอิทธิพลของปัจจัยหลักที่สนใจแล้วยังอาจเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม คือ ผลที่เกิดขึ้นจากการที่ปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปแล้ว มีผลทำให้อิทธิพลของอีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงด้วย ดังตัวอย่างที่เกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วมหรือ ปฏิสัมพันธ์ (Interaction) แสดงได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 แสดงอิทธิพลของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม

ในการทดสอบสมมติฐาน การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบ 2^k (พารามิเตอร์ ชุดิมา, 2544) สมมติฐานทางสถิติ คือ ประโยค หรือข้อความที่กล่าวเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของการแจกแจงความน่าจะเป็นซึ่งอาจจะเป็นจริงหรือเท็จก็ได้ การทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_n$$

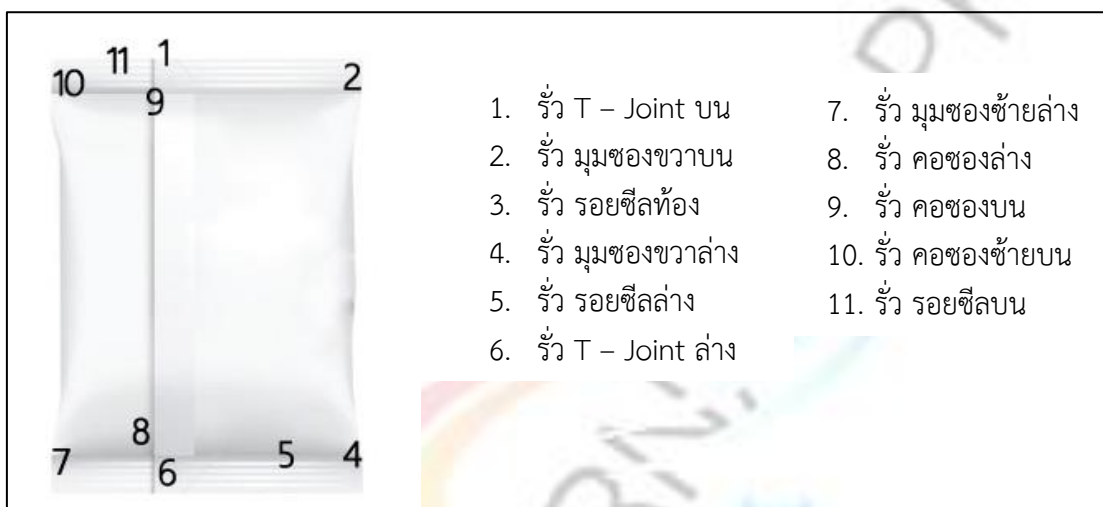
$$H_1 : \text{มี } \mu_i \neq \mu_j \text{ อย่างน้อย 1 คู่ : } i \neq j$$

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบ 2^k (พารามิเตอร์ ชุดิมา, 2544)

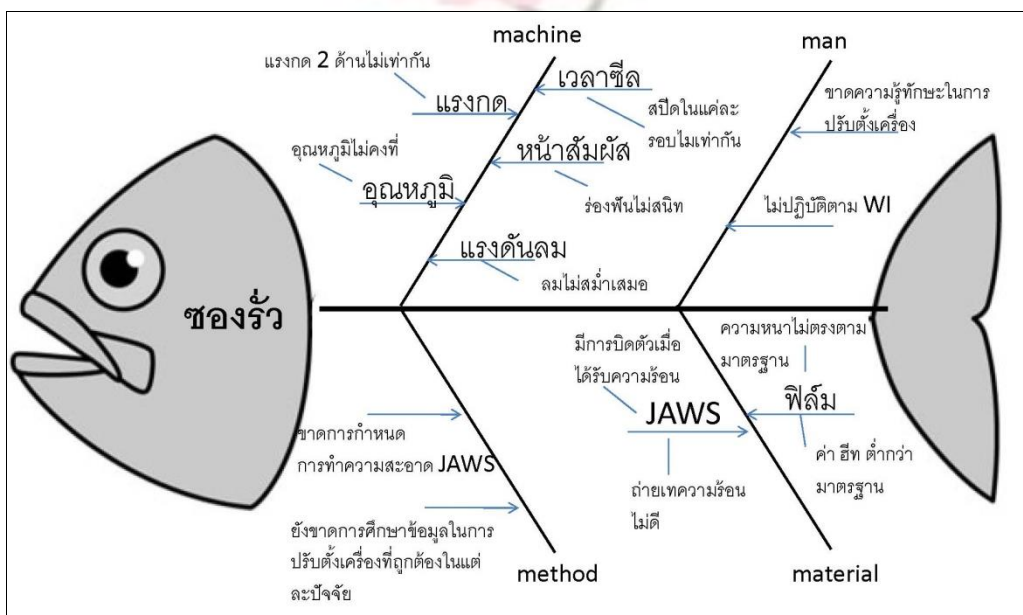
แหล่งที่มา	ผลบวกกำลังสอง	องศาเสรี
K main effects		
A	SSA	1
B	SSB	1
.	.	.
.	.	.
K	SSK	1
$\binom{k}{2}$ two – factor interactions		
AB	SS _{AB}	1
AC	SS _{AC}	1
.	.	.
.	.	.
JK	SS _{JK}	1

3.1 กำหนดปัญหา (Problem Identification)

จากข้อมูลของทางโรงงานที่เป็นกรณีศึกษาของเสียที่เกิดขึ้นตอนกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมากจากกระบวนการบรรจุของ บรรจุลัง และการนำส่ง เมื่อพิจารณาถึงที่มาแล้วทำให้พบว่าของเสียที่พบส่วนมากในกระบวนการเกิดจากเครื่องบรรจุระบบอัตโนมัติ โดยอาการที่พบมากที่สุดคือซองรั่ว ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมของเสียในส่วนข้อมูลของซองรั่วที่พบในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสรุปถึงตำแหน่งที่พบอาการซองรั่วได้ 11 จุด ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ลักษณะอาการซองรั่วที่พบในกระบวนการผลิต



ภาพที่ 4 การวิเคราะห์ผังก้างปลา

3.2 กำหนดปัจจัย (Factors Identification)

จากการวิเคราะห์ห้วงกว้างปลาสรุปได้ว่าปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดอาการของรั่ว มากที่สุดเกิดจากเครื่องจักร ทางผู้วิจัยได้ทำการระดมสมองในการกำหนดปัจจัยที่ส่งผลกระทบสามารถสรุปออกมาได้ดังนี้ คือความเร็ว อุณหภูมิ แรงกด และเวลาซีล ซึ่งเป็นปัจจัยในการปรับตั้ง ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการปรับตั้งเครื่องจักร

3.3 ออกแบบการทดลอง (Design Experiment)

ทางทีมผู้วิจัยจึงได้แนะนำ เทคนิคในการออกแบบการทดลอง Design of Experiments (DOE) เพื่อหาปัจจัยในการปรับตั้งเครื่องจักร ที่เหมาะสมที่สุด การปรับตั้งเครื่องจักร จึงได้ร่วมประชุมเพื่อกำหนดปัจจัย และระดับของปัจจัยในการออกแบบการทดลอง โดยการทดลองนี้ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k โดยการทำซ้ำ 3 ครั้ง รวมจำนวนทั้งสิ้น 48 การทดลอง โดยการทดลองจะเป็นการทดลองแบบสุ่ม ซึ่งปัจจัยในการทดลองจะเป็นดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปัจจัย และค่าที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับปัจจัย		หน่วย
	ต่ำ (-)	สูง (+)	
ความเร็ว	50	60	รอบ/นาที
อุณหภูมิ	175	163	องศาเซลเซียส
แรงกด	5	6	บาร์
เวลาซีล	0.4	0.5	วินาที

ตารางที่ 4 ตัวอย่างผลการทดลอง โดยการสุ่มลำดับการทดลอง

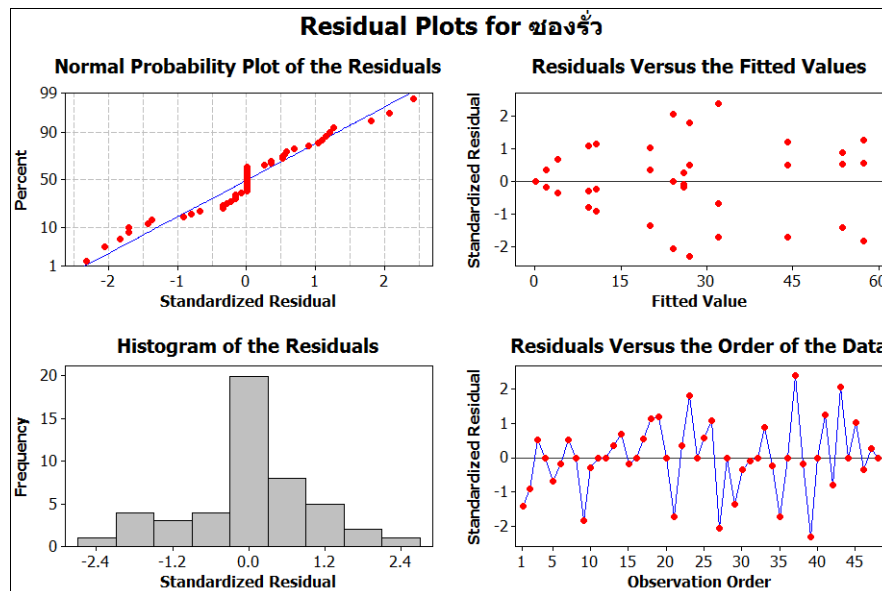
ลำดับการสุ่ม	เงื่อนไข (Condition)				STD : > 1,000 g/15 mm			Seal S. : Maximum Load			ช่องรั่ว
	อุณหภูมิ (C°)	ความเร็ว (rpm)	แรงกด (bar)	เวลาซีล (sec)	Lบน (g/mm)	Cบน (g/mm)	Rบน (g/mm)	Lล่าง (g/mm)	Cล่าง (g/mm)	Rล่าง (g/mm)	
15	157	50	5	0.40	4905.6	4979.2	4239.6	4815.0	4350.0	4530.0	37
7	157	50	5	0.50	5069.4	5161.4	4503.3	4432.1	4813.1	4776.0	0
3	157	50	6	0.40	5143.5	4816.9	5077.7	4694.8	4726.9	3835.3	50
5	157	50	6	0.50	4976.5	4608.4	4769.0	4554.6	4289.0	4904.9	0
8	157	60	5	0.40	4721.5	4268.2	4561.6	4604.7	4175.3	4131.3	24
23	157	60	5	0.40	4945.4	5042.8	4960.5	5103.4	4275.5	4692.9	0
9	157	60	6	0.50	4335.1	4492.5	4796.9	4806.7	4405.2	4895.2	33
19	157	60	6	0.40	5016.2	4446.1	4573.7	4729.9	4969.1	4702.5	0

ตารางที่ 4 ตัวอย่างผลการทดลอง โดยการสั้บลำดับการทดลอง (ต่อ)

ลำดับการสั้บลำดับการทดลอง	เงื่อนไข (Condition)				STD : > 1,000 g/15 mm Seal S. : Maximum Load						
	อุณหภูมิ (C°)	ความเร็ว (rpm)	แรงกด (bar)	เวลาชั้ล (sec)	Lบน (g/mm)	Cบน (g/mm)	Rบน (g/mm)	Lล่าง (g/mm)	Cล่าง (g/mm)	Rล่าง (g/mm)	ช่องรั่ว
12	163	50	5	0.50	4461.9	4342.4	4146.8	4475.5	3829.6	4550.9	36
1	163	50	5	0.40	5439.5	3700.6	5458.7	4534.6	5070.1	4947.6	6
15	157	50	5	0.40	4905.6	4979.2	4239.6	4815.0	4350.0	4530.0	37
7	157	50	5	0.40	5069.4	5161.4	4503.3	4432.1	4813.1	4776.0	0
3	157	50	6	0.50	5143.5	4816.9	5077.7	4694.8	4726.9	3835.3	50
5	157	50	6	0.40	4976.5	4608.4	4769.0	4554.6	4289.0	4904.9	0
8	157	60	5	0.50	4721.5	4268.2	4561.6	4604.7	4175.3	4131.3	24
23	157	60	5	0.40	4945.4	5042.8	4960.5	5103.4	4275.5	4692.9	0
9	157	60	6	0.40	4335.1	4492.5	4796.9	4806.7	4405.2	4895.2	33
19	157	60	6	0.40	5016.2	4446.1	4573.7	4729.9	4969.1	4702.5	0
12	163	50	5	0.50	4461.9	4342.4	4146.8	4475.5	3829.6	4550.9	36
1	163	50	5	0.40	5439.5	3700.6	5458.7	4534.6	5070.1	4947.6	6
25	163	50	6	0.50	4832.2	4493.7	4828.6	4622.9	5495.6	4781.2	24
30	163	50	6	0.40	4774.7	4946.5	4530.5	4788.9	4378.0	5126.9	0
28	163	60	5	0.50	4625.2	4011.5	4875.2	4816.1	5014.0	3804.1	24
9	163	60	5	0.50	4804.9	4851.9	4566.6	4994.2	3971.8	5077.0	12
17	163	60	6	0.40	4837.6	4408.5	4820.9	4718.8	4223.5	4503.8	24
6	163	60	6	0.50	4763.5	4611.6	4938.2	3929.6	3907.1	4445.7	0
17	157	50	5	0.40	4464.6	4282.1	4632.8	5133.1	4563.2	3794.4	60
26	157	50	5	0.50	4779.2	4365.9	4688.3	3807.1	4383.8	3884.8	24
22	157	50	6	0.40	4823.6	4185.3	4611.9	4590.1	4181.6	4099.8	58
2	157	50	6	0.40	5503.6	4791.6	5161.0	4702.7	2706.3	4737.8	0
27	157	60	5	0.50	4412.6	4058.5	4802.0	4709.1	4154.6	4919.1	12
24	157	60	5	0.40	4581.5	4469.5	4931.7	4158.9	4584.3	4930.9	6

3.4 วิเคราะห์ข้อมูล (Analyze Data)

การวิเคราะห์ผลการทดลอง ทางผู้วิจัยได้ทำการใช้โปรแกรม Minitab Release 14 โดยรูปแบบของผลการทดลอง ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 การวิเคราะห์สัดส่วนข้อมูล

จากการวิเคราะห์สัดส่วนข้อมูลจะเห็นว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) (โสภิตา ท้วมมี และอรรถกร เก่งพล, 2550) พบว่าการกระจายแบบปกติลักษณะจุดตกค้างเรียงตัวกันบนเส้นมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง มีความเป็นอิสระต่อกัน และกราฟระหว่างค่าของส่วนตกค้างกับลำดับการทดลองไม่มีลักษณะที่เป็นแนวโน้ม ดังนั้นสามารถที่จะสรุปได้ว่าเป็นแบบอิสระต่อกันไม่ขึ้นอยู่กับ การทดลอง จึงถือว่าการทดลองนี้ถูกต้อง การทดสอบโดย Histogram เมื่อพิจารณาการกระจายของข้อมูลบนแผนภูมิ พบว่าการกระจายตัวของ Residual มีรูปแบบที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนหรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงให้เห็นว่าค่า Residual มีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent) และในภาพที่ 6 (จิตรลดา เลิศกิตติกุล และนันทชัย กานตานันทะ, 2014) ในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียจะเริ่มจากการพิจารณาอันตรกิริยาที่มีค่า P-value พบว่าอันตรกิริยาที่มีผลต่อการเกิดของเสียอย่างมีนัยสำคัญคือ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน จากภาพพบว่า ปัจจัยทั้ง 4 ที่นำมาวิเคราะห์นั้น ต่างมีผลต่อตัวแปร ที่ระดับนัยสำคัญน้อยกว่า 0.05 มีค่า P-Value และพบว่าปัจจัยอย่างน้อย 2 ปัจจัยขึ้นไปยังส่งผลอันตรกิริยา (Interaction) ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากมี ค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งมีผลต่อลักษณะข้อบกพร่องเช่นเดียวกันดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ

General Linear Model: ซองร้ว versus อุณหภูมิ , ความเร็ว , แรงกด , เวลา ซील

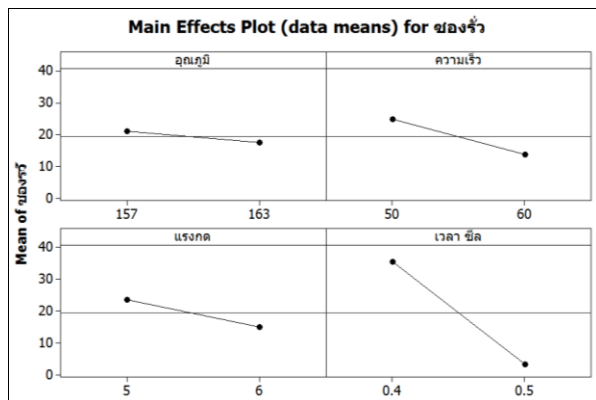
Factor	Type	Levels	Values
อุณหภูมิ	fixed	2	157,163
ความเร็ว	fixed	2	50,60
แรงกด	fixed	2	5,6
เวลาซีล	fixed	2	0.4,0.5

Analysis of Variance for ซองร้ว , using Adjusted SS for Tests

(Source) ข้อมูล	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
อุณหภูมิ	1	154.1	154.1	154.1	0.76	0.390
ความเร็ว	1	1452.0	1452.0	1452.0	7.17	0.012
แรงกด	1	867.0	867.0	867.0	4.28	0.047
เวลาซีล	1	12480.8	12480.8	12480.8	61.59	0.000
อุณหภูมิ*ความเร็ว	1	8.3	8.3	8.3	0.04	0.841
อุณหภูมิ*แรงกด	1	33.3	33.3	33.3	0.16	0.688
อุณหภูมิ*เวลาซีล	1	168.8	168.8	168.8	0.83	0.368
ความเร็ว*แรงกด	1	630.8	630.8	630.8	3.11	0.087
ความเร็ว*เวลาซีล	1	675.0	675.0	675.0	3.33	0.077
แรงกด *เวลาซีล	1	48.0	48.0	48.0	0.24	0.630
อุณหภูมิ *ความเร็ว *แรงกด	1	184.1	184.1	184.1	0.91	0.348
อุณหภูมิ *ความเร็ว *เวลา ซีล	1	0.0	0.0	0.0	0.00	1.000
อุณหภูมิ *แรงกด *เวลาซีล	1	27.0	27.0	27.0	0.13	0.718
ความเร็ว *แรงกด *เวลาซีล	1	168.8	168.8	168.8	0.83	0.368
อุณหภูมิ *ความเร็ว *แรงกด *เวลา ซีล	1	270.8	270.8	270.8	1.34	0.256
Error	32	6484.7	6484.7	202.6		
Total	47	23653.3				

S = 14.2354 R-Sq = 72.58% R-Sq (adj) = 59.73%

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออาการซองร้วที่พบ โดยใช้โปรแกรม Minitab พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่ออาการซองร้วอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คือ ความเร็ว แรงกด และเวลาซีล จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (สุรพงศ์ บางพาน, 2557) สามารถแสดงเป็นแผนภาพของอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบที่ทำให้เกิดอาการซองร้ว ได้ดังภาพที่ 10 และแผนภาพความสำคัญของอิทธิพลร่วมสองปัจจัยดังภาพที่ 6

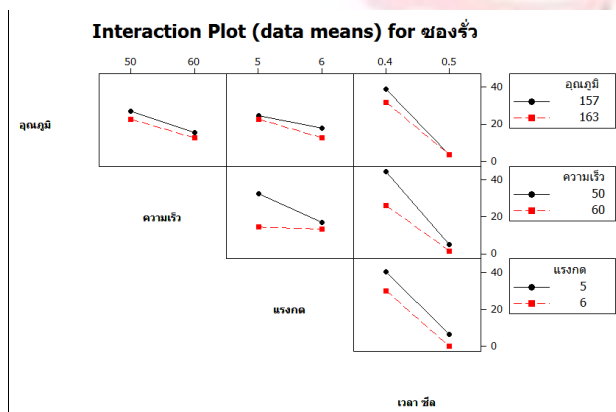


ภาพที่ 6 การวิเคราะห์ Main Effects Plot อาการชองร้าว

จากภาพที่ 6 เมื่อพิจารณาปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่ออาการชองร้าว ดังนี้
อุณหภูมิ พบว่ากราฟมีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง ซึ่งหมายความว่าไม่จำเป็นที่จะปรับตั้งค่าอุณหภูมิสูง หรือ ต่ำ อาการชองร้าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นอุณหภูมิจึงไม่มีผลต่อจำนวนชองร้าวที่พบ
ความเร็ว พบว่า เส้นกราฟมีลักษณะชันลง ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยความเร็ว 60 รอบต่อวนาที่ นั้น ส่งผลกระทบต่ออาการชองร้าวลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ

แรงกด พบว่า เส้นกราฟมีลักษณะชันลง ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยแรงกด 6 bar นั้น ส่งผลกระทบต่ออาการชองร้าวลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ

เวลาซิล พบว่า เส้นกราฟมีลักษณะชันลงมาก ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยเวลาซิล 0.5 วินาที นั้น ส่งผลกระทบต่ออาการชองร้าวลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 7 การวิเคราะห์ Interaction Plot อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย

ในภาพที่ 7 จากการพิจารณารูปอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยความเร็ว และเวลาซิล มีผลต่อปริมาณชองร้าวอย่างมีนัยสำคัญอย่างชัดเจน เนื่องจากการปรับตั้งค่าความเร็วสูง และเวลาในการซิลสูง จะส่งผลให้ปริมาณชองร้าวที่พบในกระบวนการบรรจุอยู่ในระดับต่ำ เมื่อมีการปรับตั้งค่าความเร็วต่ำ และเวลาในการซิลต่ำ จะส่งผลให้ปริมาณชองร้าวที่พบในกระบวนการบรรจุอยู่ในระดับสูง

4. สรุปผลและอภิปรายผล

จากการวิจัย การลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตขนมขี้เี่ยว โดยการออกแบบการทดลอง เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีปัจจัยส่งผลกระทบต่ออาการของรั่วที่พบในกระบวนการบรรจุ เพื่อที่จะนำไปเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงาน จากการออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลองพร้อมวิเคราะห์ผลของตัวแปรตอบสนอง สามารถสรุปผลการวิจัยที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ได้ดังนี้ อุณหภูมิ ความเร็ว แรงกด และเวลาซีล

จากผลการทดลองการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย (สิทธิชัย สุรัตน์ชัยการ และอรรถกร เก่งพล, 2555) โดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimization (Pak J Pharm Sci, 2015) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย ใช้วัดความพึงพอใจ โดยรวบรวมผลตอบสนอง (Composite Desirability :D) โดยค่าความพึงพอใจของผลจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 ซึ่งหมายถึงถ้าค่า D ที่ได้ มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงว่าผลตอบสนองนั้นเหมาะสมที่สุดของปัจจัย

Response Optimization						
Parameters						
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
ซองรั่ว Minimum	0	0	1	1	1	
Global Solution						
อุณหภูมิ	= 157.000					
ความเร็ว	= 60.000					
แรงกด	= 6.000					
เวลา ซีล	= 0.500					
Predicted Responses						
ซองรั่ว	= 0.00000,desirability = 1.00000					
Composite Desirability = 1.00000						

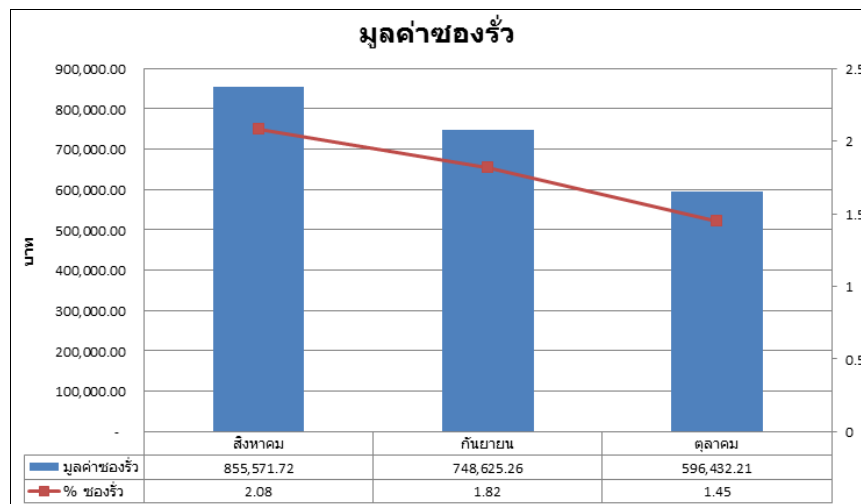
ภาพที่ 8 ค่าผลตอบที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์

จากผลการทดลองการวิเคราะห์หาระดับปัจจัยในการปรับตั้งเครื่องจักร เพื่อลดของเสียที่เกิดจากอาการของรั่วในกระบวนการบรรจุ โดยอาศัยการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k โดยปัจจัยที่เหมาะสมสามารถสรุปได้ตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 6 ผลการทดลองการวิเคราะห์หาระดับปัจจัย

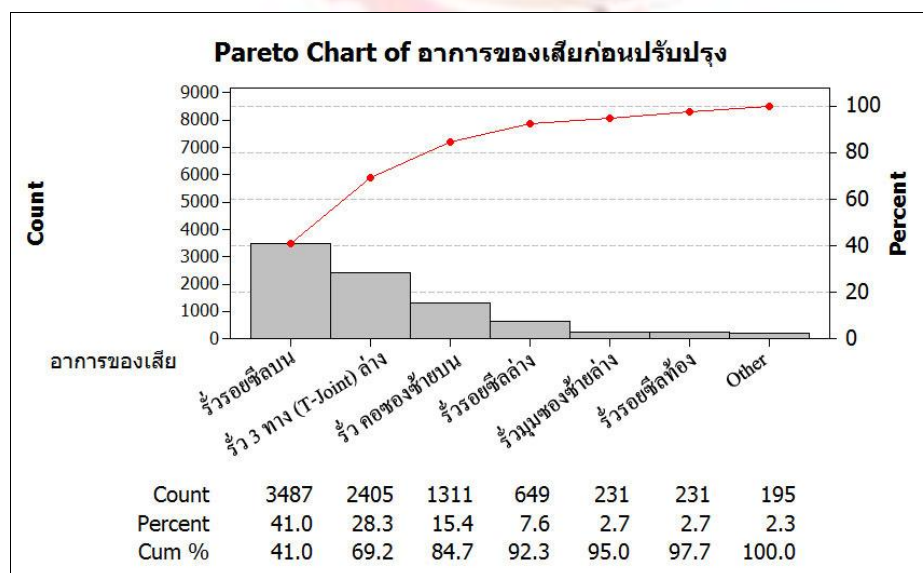
ปัจจัย	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ความเร็วรอบ	50 รอบต่อนาที	60 รอบต่อนาที
อุณหภูมิ	155 °C	157 °C
แรงกด	5.5 bar	6 bar
เวลาในการซีล	0.5 วินาที	0.5 วินาที

เมื่อนำผลการวิจัยที่ได้นี้ไปใช้ในการผลิต ผลการทดลองในเครื่องบรรจุ A สามารถลดอาการของเสียในกระบวนการบรรจุ ในส่วนของของรั่วได้ดังภาพที่ 10 ดังนี้



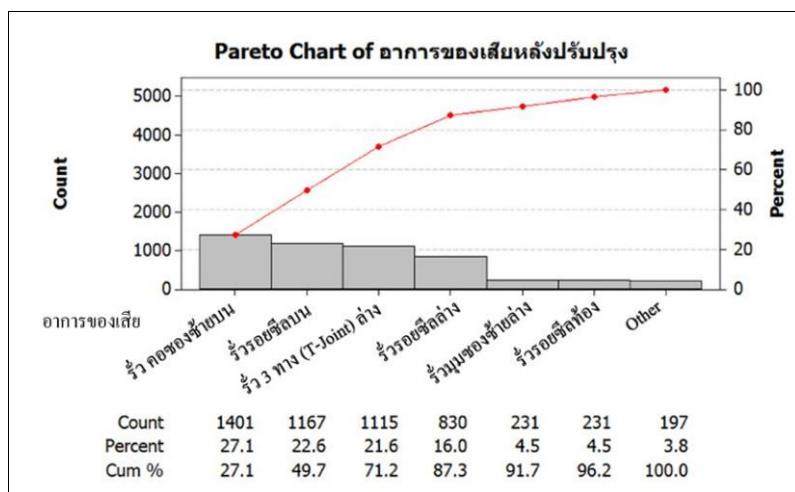
ภาพที่ 9 มูลค่าของเสียที่เกิดจากอาการของรั่ว

โดยก่อนปรับปรุงมูลค่าของรั่วที่เกิดจากเครื่องจักร A คิดเป็นเงิน 855,517.72 บาท หรือ ร้อยละ 2.08 หลังการทดลองในเดือนตุลาคม มูลค่าของเสียที่เกิดจากอาการของรั่วคิดเป็นเงิน 596,432.21 บาท หรือร้อยละ 1.45 คิดเป็นอัตราการลดลงร้อยละ 30.29



ภาพที่ 10 แผนภูมิแสดงอาการของเสียที่เกิดจากของร่วก่อนปรับปรุง

ก่อนปรับปรุงอาการของเสียที่เกิดจากของรั่วที่ได้จากการเก็บข้อมูล 3 อันดับแรก ได้แก่ รอยซีลบน ร้อยละ 41, รั่ว 3 ทาง (T-Joint) ล่าง ร้อยละ 28.3 และรั่ว คอของช้ายบน ร้อยละ 15.4



ภาพที่ 11 แผนภูมิแสดงอาการของเสียที่เกิดจากช่องรั่วหลังปรับปรุง

โดยหลังปรับปรุงพบว่าอาการของเสียที่เกิดจากช่องรั่วที่ได้จากการเก็บข้อมูล 3 อันดับแรก ได้มีการเปลี่ยนแปลง ดังนี้ รั่วคอกของซ้ายบนร้อยละ 27.1 รั่วรอยซีลบนร้อยละ 22.6 และรั่ว 3 ทาง (T-Joint) ล่างร้อยละ 21.6

5. ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบสมมติฐานระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียอาการของรั่วที่พบในกระบวนการบรรจุ เครื่องจักร A 4 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ ความเร็ว แรงกด และเวลาซีล ในการทดสอบสมมติฐานโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ดีไซน์แบบ 2^K โดยยังมีประเด็นที่นำจะศึกษาเพิ่มเติมได้ดังนี้

5.1 การทำวิจัยครั้งนี้ได้ตั้งสมมติฐานปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออาการของรั่ว 4 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบ อุณหภูมิ แรงกด และเวลาในการซีล จากการทดลองในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบการปรับตั้งค่าในปัจจัยต่าง ๆ ในเครื่องบรรจุ A เพียงหนึ่งเครื่อง จึงแนะนำให้ทางโรงงานที่เป็นกรณีศึกษาได้ทำการขยายผลการทดลองไปยังเครื่องบรรจุเครื่องอื่น ๆ ที่เป็นกรณีศึกษาได้ทำการขยายผลการทดลองไปยังเครื่องบรรจุเครื่องอื่น ๆ เพิ่มเติม

5.2 ควรจัดให้มีการกำหนดมาตรฐานวิธีการทำงาน การปรับตั้งเครื่องจักรให้ถูกต้องในทุกเครื่อง และทุกแผนก

5.3 การจัดทำแผนบำรุงรักษาเครื่องจักร โดยกำหนดเป็นการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ทำการกำหนดจุดที่จะตรวจสอบ และซ่อมบำรุงเครื่องจักร ก่อนที่จะมีการชำรุดโดยพนักงานผู้ควบคุมเครื่องเป็นผู้ตรวจสอบก่อนใช้งานทุกครั้ง

5.4 ควรมีการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุเพิ่มเติม เช่น ประเภทลักษณะฟันของ Jaws Seat, ระยะห่างระหว่างเครื่องจักรกับระบบสนับสนุนการผลิต (เครื่องอัดอากาศ) ความหนาของบรรจุภัณฑ์ การติดตั้งอุปกรณ์เสริมลมเป่า เป็นต้น

5.5 ในการเพิ่มเครื่องจักรควรพิจารณาถึงศักยภาพของระบบสนับสนุนการผลิตต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตทุกครั้ง

6. เอกสารอ้างอิง

- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2551). **หลักการควบคุมคุณภาพ**. (พิมพ์ครั้งที่ 2) กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- จิตรลดา เลิศกิตติกุล และนันทชัย กานตานันทะ. (2554). การลดของเสียของบรรจุภัณฑ์ด้วยการออกแบบการทดลอง. **วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น**.
- ชูศรี วงศ์รัตน์. (2544). **เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย**. (พิมพ์ครั้งที่ 8) กรุงเทพฯ : เทพเนรมิตการพิมพ์.
- ปฐมพงษ์ หอมศรี และจักรพรรณ คงชนะ. (2557). การพัฒนาระบบการจัดการสินค้าคงคลัง : กรณีศึกษาบริษัทติดตั้ง และบำรุงรักษาเครื่องจักรของโรงงาน SME. **วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2557, หน้า 42-56**.
- ปริญญา คุณมี. (2554). **การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้ตะกรันเหล็กเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีต**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปารเมศ ชุตินา. (2544). **การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดุชนิ บุญธรรม วาทีดวงษ์ ดอกไม้ และพงศ์เทพ กุลชาติชัย. (2556). การศึกษาแนวทางการเพิ่มผลิตภาพในกระบวนการตัดชิ้นงานโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม, **การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม**.
- สิทธิชัย สุรัตนชัยการ และอรรถกร เก่งพล. (2555). การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมในการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องบรรจุยา. **การประชุมวิชาการ ช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม 17 - 19 ตุลาคม 2555**.
- โสภิตา ท่วมมี และอรรถกร เก่งพล. (2550). การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่น โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา บริษัทในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก. **มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550**.
- สุรพงศ์ บางพาน. (2557). การประยุกต์วิธีการทางสถิติสำหรับกระบวนการที่ดีที่สุดโดยศึกษาค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต. **วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2557**.
- Pak J Pharm Sci. (2015). **The optimization research of the multi-response problems based on the SUR**. Nanchang University, Jiangxi Province, China.
- V. L. Anderson and R. A. McLean, (1974). **Design of Experiment: a Realistic Approach**. New York: Dekker.