

การลดข้อบกพร่องจากการใช้บรรจุภัณฑ์ลดน้ำหนัก ในกระบวนการบรรจุน้ำยาบ้วนปาก

Defective Reduction from Using Bottle Light Weight in Mouthwash Filling Line

ณัฐกานต์ ชูวงษ์วัฒนะ*, นภัสสงศ์ โอสธสิลป์

และประเสริฐ อัครประภมพวงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

Nattakarn Chuwongwattana*, Napassavong Osothsilp

and Prasert Akkharapathompong

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University,

Wangmai, Pathumwan, Bangkok 10330

Received: May 2, 2019; Accepted: May 25, 2019

บทคัดย่อ

การลดน้ำหนักขวดพลาสติกเพื่อลดต้นทุนการผลิตส่งผลให้ขวดพลาสติกบางลง เนื่องจากปริมาณพลาสติกที่น้อยลง ส่งผลให้มีข้อบกพร่องเกิดขึ้นเมื่อน้ำยาบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวไปเดินในสายการบรรจุ ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทฉลากเป็นฟองอากาศที่เกิดจากการใช้บรรจุภัณฑ์ลดน้ำหนักในกระบวนการบรรจุน้ำยาบ้วนปากขนาด 1 ลิตร ผู้วิจัยได้ใช้การออกแบบการทดลองแบบแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนเพื่อหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมขององศาใบปาดและระยะจ่ายฉลาก ซึ่งหลังการปรับปรุงพบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องฉลากเป็นฟองอากาศจาก 15 เป็น 1 %

คำสำคัญ : ขวดลดน้ำหนัก; แผ่นผึงก้างปลา; การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน

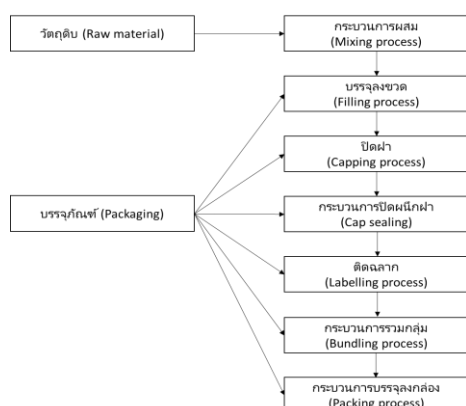
Abstract

Reducing weight of plastic bottles could reduce production costs since the plastic bottles become thinner due to less plastic content. This weight reduction resulted in defects in the filling process. In this research, the objective is to reduce the defective rate from the defect of the bubbles on label caused by the use of light weight package for 1 litre mouthwash filling process. This research studied factors including angles of wiper, label feeding distance, and use Box-Behnken design of experiment to find the significant factors and the appropriate setting of those factors. The result showed that the defective rate from bubble on label was reduced from 15 to 1 %.

Keywords: bottle light weight; fishbone diagram; Box-Behnken design

1. คำนำ

โรงงานกรณีศึกษาผลิตต้นทุนบรรจุภัณฑ์ โดย การลดปริมาณพลาสติกที่ใช้ในการขึ้นรูปขวด พลาสติก ซึ่งโรงงานกรณีศึกษาได้ทดลองใช้กับ ผลิตภัณฑ์ขวดพลาสติกของน้ำยاب้วนปากขนาด 1 ลิตร เป็นอันดับแรก โดยลดน้ำหนักขวดพลาสติก ประเภท PET จากเดิมหนัก 68 กรัม ลดลงเหลือ 62 กรัม ในการลดน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติกกล นั้น ส่งผลให้บรรจุภัณฑ์บางลง เมื่อนำเข้าสู่กระบวนการ บรรจุผ่านกระบวนการต่าง ๆ ที่มีแรงกระทำ ต่อขวด ทำให้เกิดข้อบกพร่องขึ้นบนบรรจุภัณฑ์ พลาสติกนั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากการ ใช้ขวดบรรจุภัณฑ์ลดน้ำหนักในกระบวนการบรรจุ น้ำยاب้วนปากให้อยู่ในเกณฑ์ระดับคุณภาพที่ ยอมรับได้ขององค์กรและผู้บริโภค



รูปที่ 1 แผนภาพกระบวนการบรรจุน้ำยاب้วนปาก ของโรงงานกรณีศึกษา

กระบวนการบรรจุน้ำยاب้วนปากเป็น กระบวนการบรรจุแบบต่อเนื่อง ประกอบด้วย 5 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการบรรจุและปิดฝา กระบวนการปิดผนึกฝาด้วยฟิล์ม กระบวนการติด

ฉลาก กระบวนการรวมกลุ่ม และกระบวนการบรรจุ ลงกล่อง ดังรูปที่ 1

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

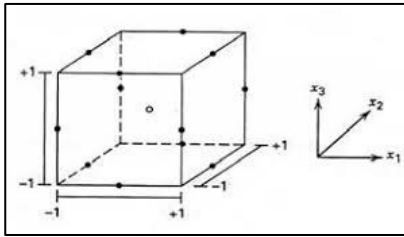
2.1 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (design of experimental, DOE) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการกำหนด แผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพ เพื่อหาสมการทาง คณิตศาสตร์ที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มี นัยสำคัญกับตัวแปรตอบสนอง สามารถศึกษาผล ของหลาย ๆ ปัจจัยในเวลาเดียวกัน และสามารถใช้ สมการความสัมพันธ์นั้นมาหาค่าที่เหมาะสมของ ปัจจัยนำเข้า เพื่อให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองเป็นไป ตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน (ปารเมศ, 2545)

2.2 การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน

การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box- Behnken design) เป็นการออกแบบ 3 ระดับ สำหรับ พิจารณาผิวตอบสนอง การออกแบบนี้สร้างขึ้นจาก การรวมการออกแบบแฟกทอเรียล 2k กับการ ออกแบบบล็อกไม่สมบูรณ์ ผลของการออกแบบมี ประสิทธิภาพในด้านจำนวนของการทดลองที่ ต้องการ และการออกแบบนี้ยังมีความสามารถในการ หมุนได้ เนื่องจากการออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน เป็นการออกแบบรูปทรงกลมที่ที่จุดวางอยู่บน รูปทรงกลมรัศมี 2 และไม่ได้รวมเอาจุดใด ๆ ที่เป็น จุดยอดของรูปลูกบาศก์ที่สร้างขึ้นจากขีดจำกัดบน และล่างของแต่ละตัวแปรเอาไว้ ดังรูปที่ 2

ซึ่งการออกแบบเช่นนี้มีประโยชน์มาก เมื่อจุดที่อยู่บนมุมลูกบาศก์เป็นการรวมเอาระดับ ของปัจจัย (factor-level combination) ที่แพงมาก หรือเป็นไปได้ที่จะทำการทดลองอันเนื่องมาจาก ข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรหรือด้านกายภาพของ กระบวนการ

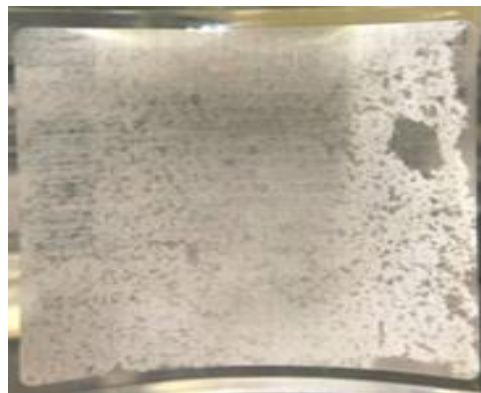
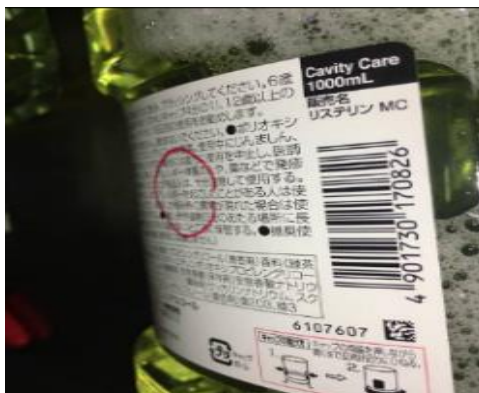


รูปที่ 2 การออกแบบบ็อกซ์-เบิร์ตเคน (ปารเมศ, 2545)

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การกำหนดปัญหา

ผู้วิจัยได้ทดสอบขวดน้ำยาบ้วนปากลดน้ำหนัขนาด 1 ลิตร เข้าไปเดินในกระบวนการบรรจุจริงแบบต่อเนื่อง เป็นเวลา 30 นาที สุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบจำนวน 200 ขวด พบว่ามีปัญหาฉลากเป็นฟองอากาศเกิดขึ้นในขั้นตอนการติดฉลาก 15 % เกินกว่าสัดส่วนของเสียที่ยอมรับได้ขององค์กรตามระบบ average outgoing quality limit (AOQL) คือ 4.7 % ซึ่งมีสัดส่วนของเสียฉลากเป็นฟองอากาศเกิดขึ้นมากกว่าก่อนใช้ขวดบรรจุภัณฑ์ลดน้ำหนักอีกด้วย โดยลักษณะฟองอากาศดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะข้อบกพร่องฉลากเป็นฟองอากาศ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องเรื่องฉลากเป็นฟองอากาศให้อยู่ในเกณฑ์ระดับคุณภาพที่ยอมรับได้ขององค์กรและผู้บริโภค

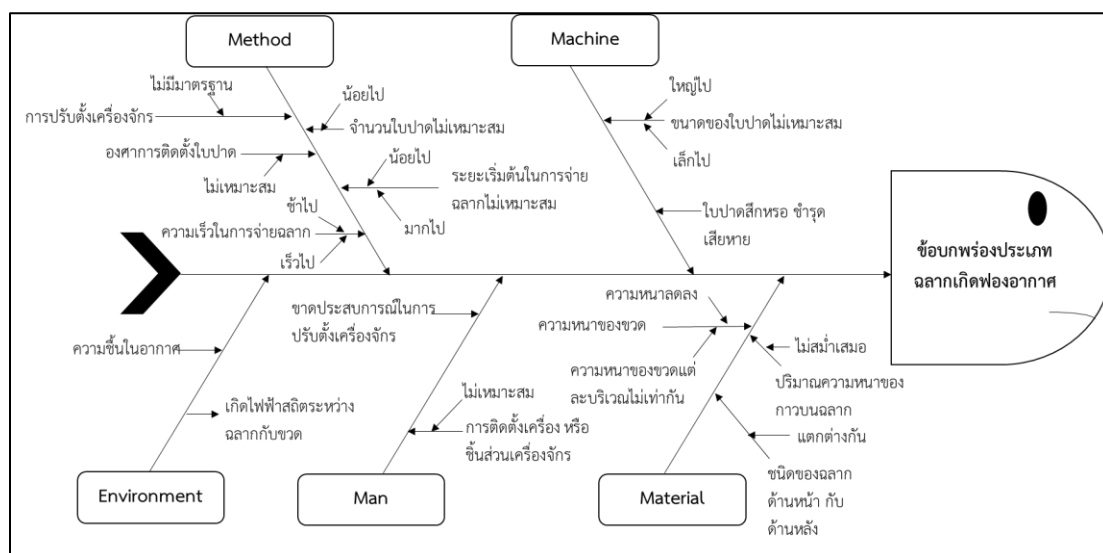
3.2 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

การวัดและวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเริ่มจากการระดมสมองของคณะทีมงานที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญในกระบวนการบรรจุน้ำยาบ้วนปากช่วยกันวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยอาศัยเครื่องมือในการวิเคราะห์ คือ แผนผังก้างปลา (fishbone diagram) โดยแบ่งการวิเคราะห์สาเหตุเป็น 5 หมวดหมู่ คือ 4M1E ได้แก่ สาเหตุจากคน

(man) สาเหตุจากเครื่องจักร (machine) สาเหตุจากวัตถุดิบ (material) สาเหตุจากวิธีปฏิบัติ (method) และสาเหตุจากสภาพแวดล้อม (environment)

ผู้วิจัยและคณะทีมงานระดมสมองวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดฉลากเป็นฟองอากาศ โดยอาศัยแผนผังก้างปลาในการวิเคราะห์ (รูปที่ 4) ดังนี้

3.2.1 สาเหตุจากคน (man) ได้แก่ การขาดประสบการณ์ในการปรับตั้งเครื่องจักรให้เหมาะสมกับขวดที่มีลักษณะบาง และการติดตั้งอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนประกอบของเครื่องจักรไม่เหมาะสม



รูปที่ 4 แผนผังก้างปลาของข้อบกพร่องฉลากเป็นฟองอากาศ

3.2.2 สาเหตุจากเครื่องจักร (machine) ได้แก่ ขนาดของใบพัดไม่เหมาะสม เครื่องจักรมีระบบที่ไม่ทันสมัย เครื่องจักรมีอายุการใช้งานยาวนาน และใบพัดสึกหรอชำรุดเสียหาย

3.2.3 สาเหตุจากวัตถุดิบ (material) ได้แก่ ขวดที่มีความหนาตลงทำให้ความหนาของขวดแต่ละบริเวณไม่เท่ากัน ปริมาณความหนาของกาวบนฉลากไม่สม่ำเสมอ ขวดที่มีลักษณะบางทำให้มีพื้นผิวสัมผัสต่างกัน ชนิดของฉลากด้านหน้ากับด้านหลังแตกต่างกัน

3.2.4 สาเหตุจากวิธีปฏิบัติ (method) ได้แก่ การไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องจักรกับขวดน้ำยาบ้วนปากลดน้ำหนัก องศาการติดตั้งใบพัดไม่เหมาะสม ความเร็วในการจ่ายฉลากไม่เหมาะสม จำนวนใบพัดไม่เหมาะสม และระยะเริ่มต้นในการจ่ายฉลากไม่เหมาะสม

3.2.5 สาเหตุจากสภาพแวดล้อม (environment) ได้แก่ ความชื้นในอากาศส่งผลให้ฉลากเกิดความไ้คงยากต่อการติดขวด และการเกิดไฟฟ้าสถิตระหว่างฉลากกับขวดทำให้ฉลากพลิวตัวในขณะที่จ่ายฉลาก

การวิเคราะห์สาเหตุการเกิดข้อบกพร่องฉลากเป็นฟองอากาศจากทั้งหมด 5 หมวดหมู่ที่ทีมงานลงคะแนนความเห็นเห็นว่าสาเหตุที่เป็นปัจจัยหลักมาจากวิธีการปฏิบัติงาน (method) เนื่องจากการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่ไม่เหมาะสม โดยเลือกพารามิเตอร์ที่จะนำมาเป็นปัจจัยนำเข้าในการทดลอง คือ องศาใบพัด และระยะในการจ่ายฉลาก

4. การปรับปรุงแก้ไขปัญหา

การวิเคราะห์สาเหตุการเกิดข้อบกพร่องฉลากเป็นฟองอากาศ ดังรูปที่ 4 ปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในทดลองแก้ไขปัญหฉลากเป็นฟองอากาศมี 2 ปัจจัย คือ ระยะจ่ายฉลาก และองศาใบพัด แต่เนื่องจากมีจำนวนใบพัดในกระบวนการบรรจุ 3 ตำแหน่ง ดังนั้นจึงมีปัจจัยในการทดลอง 4 ปัจจัย และมีระดับของแต่ละปัจจัยนำเข้า 3 ระดับ ดังตารางที่ 1 โดยมีตำแหน่งที่ตั้งของปัจจัยที่จะปรับตั้งค่าในการทดลอง ดังรูปที่ 5

4.2 ตัวแปรตอบสนอง

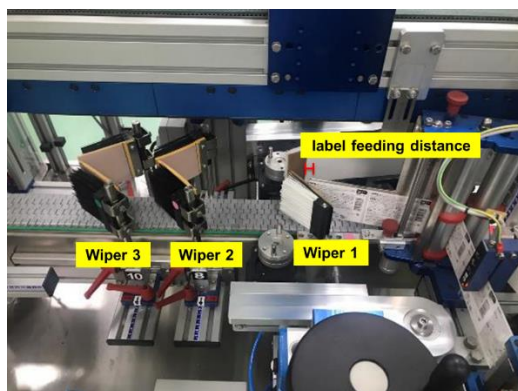
ตัวแปรตอบสนองของการปรับปรุงนี้ คือ

สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องฉลากเป็นฟองอากาศ

composite design) ที่มีจำนวนการทดลอง 31 การทดลอง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ปัจจัยนำเข้าและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัยนำเข้า	ระดับของปัจจัย		
	ต่ำ (-)	กลาง (0)	สูง (+)
องศาใบปาด ตำแหน่งที่ 1 : (A1) (Wiper 1), degree	30	40	50
องศาใบปาด ตำแหน่งที่ 2 : (A2) (Wiper 2), degree	30	40	50
องศาใบปาด ตำแหน่งที่ 3 : (A3) (Wiper 3), degree	30	40	50
ระยะจ่ายฉลาก : (B) (label feeding distance), mm.	2	3	4



รูปที่ 5 ตำแหน่งที่ตั้งของปัจจัยนำเข้าในการทดลอง

4.3 รูปแบบการทดลอง

ผู้วิจัยเลือกใช้ออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน เนื่องจากต้องการใช้จำนวนการทดลองที่น้อย เพราะมีข้อจำกัดในเรื่องต้นทุนในการทดลอง มีจำนวนการทดลองทั้งหมด 27 การทดลอง ซึ่งน้อยกว่าจำนวนการทดลองของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (central

ตารางที่ 2 รูปแบบและลำดับการทดลองของการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าเพื่อแก้ไขฉลากเป็นฟองอากาศ

Std. order	Run Order	A1	A2	A3	B
15	1	40	30	50	3
16	2	40	50	50	3
8	3	40	40	50	4
7	4	40	40	30	4
21	5	40	30	40	2
25	6	40	40	40	3
24	7	40	50	40	4
12	8	50	40	40	4
20	9	50	40	50	3
2	10	50	30	40	3
14	11	40	50	30	3
27	12	40	40	40	3
11	13	30	40	40	4
17	14	30	40	30	3
22	15	40	50	40	2
23	16	40	30	40	4
26	17	40	40	40	3
5	18	40	40	30	2
9	19	30	40	40	2
4	20	50	50	40	3
10	21	50	40	40	2
13	22	40	30	30	3
6	23	40	40	50	2
19	24	30	40	50	3
1	25	30	30	40	3
3	26	30	50	40	3
18	27	50	40	30	3

4.4 ผลการทดลอง

ผลการทดลองดังตารางที่ 3 แต่ละการทดลองใช้เวลาเดิน 30 นาที โดยสุ่มตัวอย่าง 200 ขวด เพื่อตรวจสอบดูสัดส่วนของเสีย

ตารางที่ 3 ผลการทดลอง

การทดลอง	ปัจจัยนำเข้า				ปัจจัยตอบสนอง
	A1	A2	A3	B	สัดส่วนของเสีย
1	40	30	50	3	8.5 %
2	40	50	50	3	6.5 %
3	40	40	50	4	13.0 %
4	40	40	30	4	13.0 %
5	40	30	40	2	3.0 %
6	40	40	40	3	7.5 %
7	40	50	40	4	12.5 %
8	50	40	40	4	11.5 %
9	50	40	50	3	4.5 %
10	50	30	40	3	5.5 %
11	40	50	30	3	6.0 %
12	40	40	40	3	6.5 %
13	30	40	40	4	16.0 %
14	30	40	30	3	10.0 %
15	40	50	40	2	2.5 %
16	40	30	40	4	14.0 %
17	40	40	40	3	5.5 %
18	40	40	30	2	2.5 %
19	30	40	40	2	4.0 %
20	50	50	40	3	4.5 %
21	50	40	40	2	1.5 %
22	40	30	30	3	8.5 %
23	40	40	50	2	3.0 %
24	30	40	50	3	11.0 %
25	30	30	40	3	12.0 %
26	30	50	40	3	11.0 %
27	50	40	30	3	4.5 %

4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

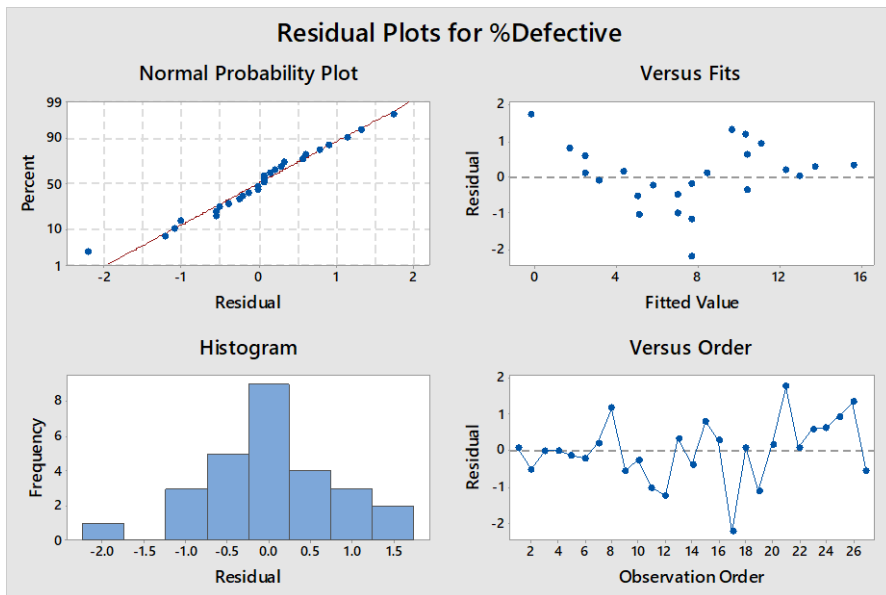
ผลการทดลองในตารางที่ 3 ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการวิเคราะห์ความถดถอย (regression analysis) โดยการตรวจสอบสมมติฐาน 3 แบบ คือ สมมติฐานการแจกแจงแบบปกติ สมมติฐานความเป็นอิสระ และสมมติฐานความมีเสถียรภาพของส่วนตกค้าง ซึ่งสามารถใช้โปรแกรม Minitab 18 ในการทดสอบสมมติฐานต่าง ๆ ดังนี้

4.5.1 การตรวจสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้างจาก normal probability plot ดังรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่ากราฟมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและมีค่า p-value จากการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้างเท่ากับ 0.138 สรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.5.2 การตรวจสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง จากกราฟความสัมพันธ์ของส่วนตกค้างกับลำดับในการทดลอง จะเห็นได้ว่าไม่มีรูปแบบที่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความเป็นอิสระต่อกัน

4.5.3 การตรวจสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างทำได้โดยการพิจารณาจากกราฟส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย ซึ่งจากกราฟรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่ากราฟความสัมพันธ์ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน สรุปได้ว่ามีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของส่วนตกค้าง

การทดสอบสมมติฐานทั้ง 3 แบบจำลองการวิเคราะห์ความถดถอยมีความเหมาะสมกับข้อมูล ซึ่งสามารถใช้เทคนิคอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม Minitab 18 ดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 การกระจายตัวค่าส่วนตกค้างของสัดส่วนของเสีย

Regression Analysis: %Defective versus A1, A2, B, A3

Stepwise Selection of Terms

α to enter = 0.05, α to remove = 0.05

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	427.375	142.458	179.13	0.000
A1	1	85.333	85.333	107.30	0.000
A2	1	6.021	6.021	7.57	0.011
B	1	336.021	336.021	422.51	0.000
Error	23	18.292	0.795		
Lack-of-Fit	21	16.292	0.776	0.78	0.704
Pure Error	2	2.000	1.000		
Total	26	445.667			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.891790	95.90%	95.36%	94.43%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	5.35	1.66	3.23	0.004	
A1	-0.2667	0.0257	-10.36	0.000	1.00
A2	-0.0708	0.0257	-2.75	0.011	1.00
B	5.292	0.257	20.56	0.000	1.00

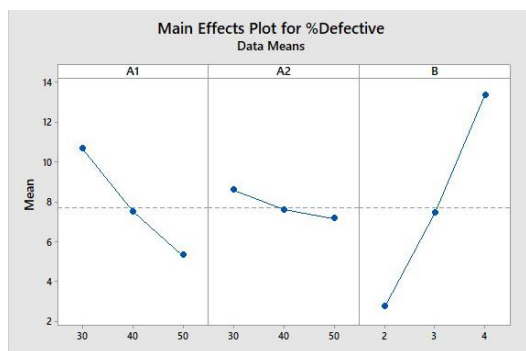
รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องฉลากเป็นฟองอากาศด้วยเทคนิค stepwise regression

รูปที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อฟองอากาศบนฉลาก โดย

ใช้เทคนิค stepwise regression สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % คือ ปัจจัย A1, A2 และ B นั่นคือ งบคาไปปาดตำแหน่งที่ 1, 2 และ ระยะจ่ายฉลาก ส่วนปัจจัย A3 หรืองบคาไปปาดตำแหน่งที่ 3 นั้นไม่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากผลการวิเคราะห์สถิติของปัจจัยแบบ full model ก่อนนำมาวิเคราะห์ stepwise regression นั้นแสดงค่า p-value ของปัจจัย A3 มากกว่า 0.05

โดยปัจจัยทั้งสามนี้มีความสัมพันธ์กับสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องฟองอากาศบนฉลาก ดังสมการ % Defective = $5.35 - 0.2667A1 - 0.0708 A2 + 5.292B$ แล้วผู้วิจัยได้พิจารณาความสมบูรณ์ของสมการนี้กับข้อมูลจากค่า R-square (adjust) ซึ่งมีค่าที่สูงเท่ากับ 95.36 % ซึ่งสรุปว่าสมการความสัมพันธ์นี้มีความสมบูรณ์กับข้อมูล ใช้อธิบายความผันแปรข้อมูลสัดส่วนของเสียเรื่องฉลากเป็นฟองอากาศได้ จากนั้นผู้วิจัยได้ศึกษาลักษณะความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัว

แปรตอบสนอง(สัดส่วนของเสียฉลากเป็นฟองอากาศ) จากแผนภาพผลปัจจัยหลักต่อค่าสัดส่วนของเสีย ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟวิเคราะห์ผลปัจจัยหลักของปัจจัยนำเข้ากับตัวแปรตอบสนองสัดส่วนของเสียฉลากเป็นฟองอากาศ

กราฟวิเคราะห์ผล (main effect plot) ดังรูปที่ 8 สามารถอธิบายว่าเมื่อองศาใบปาดตำแหน่งที่ 1 และ 2 อยู่ในระดับสูงส่งผลให้เกิดสัดส่วนของเสียฉลากเป็นฟองอากาศมากกว่าองศาใบปาดที่ระดับต่ำ เนื่องจากการที่องศาใบปาดมีค่ามากทำให้ใบปาดมีแรงกดฉลากให้ติดขวดได้ดีและไม่เกิดการสะดุดเวลาติดฉลากลงบนขวด จึงทำให้สัดส่วนของเสียฉลากเป็นฟองอากาศเกิดน้อย ส่วนอีกหนึ่งปัจจัย คือ ระยะจ่ายฉลาก เมื่อระยะจ่ายฉลากมาก สัดส่วนของเสียฉลากเป็นฟองอากาศจะมาก เนื่องจากถ้าฉลากยื่นออกมาจากแผ่น liner มากไป จะเกิดการปลิวตัวของฉลาก ทำให้ฉลากไม่คงตัวก่อนแตะไปที่ขวดและถูกใบปาดกดเกิดเป็นฟองอากาศได้ง่าย

4.6 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

เมื่อได้ปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญจึงทำการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งเครื่องจักร

ที่จะทำให้เกิดสัดส่วนของเสียน้อยที่สุด โดยใช้โปรแกรม Minitab ฟังก์ชัน Response Optimization ซึ่งได้ผลการหาค่าที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อให้เกิดสัดส่วนของเสียประเภทฟองอากาศบนฉลากน้อยที่สุด คือ (1) องศาของใบปาดตำแหน่งที่ 1 เท่ากับ 50 องศา (2) องศาของใบปาดตำแหน่งที่ 2 เท่ากับ 50 องศา และ (3) ระยะในการจ่ายฉลากเท่ากับ 2 มิลลิเมตร

5. การติดตามควบคุมกระบวนการหลังการปรับปรุง

เพื่อเป็นการทดสอบยืนยันผลว่าค่าระดับของค่าปัจจัยนำเข้านี้สามารถลดสัดส่วนของเสีย จึงได้ทดลองยืนยันผล โดยมีขั้นตอนปฏิบัติดังต่อไปนี้

5.1 การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรให้ได้ตามสภาวะเหมาะสมที่ได้จากการทดลอง

5.2 การทดลองผลิตจริงกับขวดน้ำยาบ้วนปากขนาด 1 ลิตร ทั้งหมด 40 ชั่วโมง หรือ 40 ลอต ซึ่งมีจำนวนขวดทั้งหมดเท่ากับ 216,000 ขวด

5.3 เก็บข้อมูลอย่างสุ่มจากทุกลอต โดยสุ่มเก็บลอตละ 200 ขวด ดังตารางที่ 4

การทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบค่าสัดส่วน เพื่อทดสอบว่าสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องฉลากเป็นฟองอากาศหลังปรับปรุงมีค่าน้อยกว่าสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องฉลากเป็นฟองอากาศก่อนปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้ two proportions Z-test ซึ่งมีสมมติฐานที่ทดสอบดังนี้

$$H_0: p_1 = p_2$$

$$H_1: p_1 > p_2$$

โดยที่ p_1 คือ สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องฉลากเป็นฟองอากาศก่อนปรับปรุงกระบวนการ; p_2 คือ สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องฉลากเป็นฟองอากาศหลังปรับปรุงกระบวนการ

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบยืนยันผล

ลวด	สัดส่วนของเสีย ฉลากเป็น ฟองอากาศ	ลวด	สัดส่วนของเสีย ฉลากเป็น ฟองอากาศ
1	1.5 %	21	0.5 %
2	1.0 %	22	0.0 %
3	1.5 %	23	1.5 %
4	2.5 %	24	0.0 %
5	1.0 %	25	0.0 %
6	0.0 %	26	1.0 %
7	2.0 %	27	1.0 %
8	1.5 %	28	0.0 %
9	1.0 %	29	0.5 %
10	1.0 %	30	0.5 %
11	1.5 %	31	0.5 %
12	0.5 %	32	1.5 %
13	1.0 %	33	0.0 %
14	1.5 %	34	1.0 %
15	0.0 %	35	2.5 %
16	1.0 %	36	1.0 %
17	0.5 %	37	1.0 %
18	0.0 %	38	1.5 %
19	2.0 %	39	1.5 %
20	1.0 %	40	1.0 %

ค่า p-value จากการทดสอบมีค่า < 0.0005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 ที่ว่าสัดส่วนก่อนปรับปรุงเท่ากับหลังปรับปรุงกระบวนการ จึงสรุปได้ว่าสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องฉลากเป็นฟองอากาศหลังการปรับปรุงกระบวนการมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

6. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบจากการนำบรรจุภัณฑ์ที่มีการลดน้ำหนักพลาสติกของขวดน้ำยาบ้วนปากมาใช้ในกระบวนการบรรจุ และดำเนินการจัดการลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องเรื่องฉลากเป็นฟองอากาศ หลังจากได้ระดมความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญทำให้ได้ปัจจัยที่จะทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยเพื่อลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น โดยมี 4 ปัจจัย ได้แก่ องศาใบปาดตำแหน่งที่ 1, 2, 3 และระยะจ่ายฉลาก จากการดำเนินการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน และใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอย พบว่าปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่องฉลากเป็นฟองอากาศ คือ องศาของใบปาดตำแหน่งที่ 1, องศาใบปาดตำแหน่งที่ 2 และระยะการจ่ายฉลาก และค่าปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมในการเดินขวดน้ำยาบ้วนปากขนาด 1 ลิตร เพื่อให้มีจำนวนฉลากเป็นฟองอากาศน้อยที่สุดเป็นไปตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมเพื่อลดสัดส่วนของเสียฟองอากาศบนฉลาก

ปัจจัยนำเข้า	ระดับที่เหมาะสม	หน่วย
องศาของใบปาดตำแหน่งที่ 1, degree (°)	50	degree (°)
องศาของใบปาดตำแหน่งที่ 2, degree (°)	50	degree (°)
ระยะการจ่ายฉลาก, mm	2	mm.

เมื่อเปรียบเทียบผลก่อนและหลังปรับปรุง พบว่าก่อนปรับปรุงมีสัดส่วนของเสียฉลากเป็นฟองอากาศ 15 % และหลังปรับปรุงสัดส่วนของเสียฉลากเป็นฟองอากาศเพียง 1 % ลดจำนวนของเสียจากฉลากเกิดฟองอากาศในกระบวนการบรรจุได้ถึง 93.3 %

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่เอื้อเฟื้อข้อมูลสำหรับใช้ในการวิจัย และขอขอบคุณแหล่งอ้างอิงทุกแหล่งที่ได้ใช้ในการวิจัยนี้ จนทำให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยด้วยดี

8. รายการอ้างอิง

จุฑาทิพย์ ทะประสพ, 2551, การลดของเสียในโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

จุฑามาศ รัตนกุล, 2554, การลดข้อบกพร่องของกระบวนการบรรจุภัณฑ์แปรรูปซูชิแช่แข็ง, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

จิตติมา ฤทธิ์ประเสริฐศรี, 2559, การลดเวลาสูญเสียในกระบวนการผลิตน้ำจิ้มโดยใช้แนวคิดลีนซิกซ์ซิกมา, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ปารเมศ ชูติมา, 2545, การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ภูริป อินทรักษ์, 2554, การลดเวลาสูญเสียในกระบวนการติดฉลาก, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

Carbone, T.A. and Tippett, D.D., 2004, Project risk management using the project risk FMEA, Eng. Manag. J. 16(4): 28-35.

Khajornpaisan, N. and Rojanarowan, N., 2014, The effect of oxidized white liquor on pulp brightness in peroxide bleaching in pulp mills, Adv. Mater. Res. 974: 230-234.

Khumkorn, S. and Osothsilp, N., 2014, Improvement of paint thickness in electro deposition painting process of truck manufacturing, Adv. Mater. Res. 1077: 270-275.

Montgomery, D.C., 2009, Design and Analysis of Experiments, 8th Ed., John Wiley & Sons, New York.

Sonphuak, W. and Rojanarowan, N., 2013, Strength improvement of fibre cement product, Int. J. Ind. Eng. Comput. 4: 505-519.

Wu, Y., Wu, W. and Ruan, J., 2013, The optimization analysis of the conditions for optimal parameter combination of husker capacity by response surface method, Appl. Mech. Mater. 433-435: 2203-2207.