Engng.J.CMU.(2020) 27 (2), 66-77

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

การบริหารจัดการและควบคุมความเสี่ยงเชิงคุณภาพสำหรับบรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติกที่มีการลดน้ำหนัก

Quality Risk Management and Control for Plastic Bottle Weight Reduction

ณัฐกานต์ ชูวงษ์วัฒนะ* นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ และ ประเสริฐ อัครประถมพงศ์

Nattakarn Chuwongwattana, Napasssavong Osothsilp and Prasert Akkharaprathomphong

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Chulalongkorn University, Phayathai Road, Patumwan, Bangkok 10330, Thailand
E-mail: Nattakarn.C@student.chula.ac.th*, napasssavong.o@chula.ac.th and prasert.a@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การลดน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติกเพื่อประหยัดต้นทุนวัตถุดิบนั้น ส่งผลให้บรรจุภัณฑ์บางลง เมื่อนำเข้าสู่กระบวนการบรรจุผ่านกระบวนการต่างๆที่มีแรงมากระทำต่อขวด ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ไม่คาดคิดจำนวนมากขึ้นบนบรรจุภัณฑ์พลาสติกนั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาประเด็นข้อบกพร่อง ประเมินและบริหารจัดการความเสี่ยงเชิงคุณภาพเบื้องต้น รวมทั้งดำเนินการจัดการลดข้อบกพร่องเชิงคุณภาพที่เกิดขึ้นจากการใช้บรรจุภัณฑ์ลดน้ำหนักในกระบวนการบรรจุ เพื่อให้องค์กรบรรลุเป้าหมายการลดต้นทุนอย่างมีประสิทธิภาพภายใต้ระดับคุณภาพที่องค์กรและลูกค้ายอมรับได้ โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้หลักการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยง ใช้เทคนิคเครื่องมือการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของกระบวนการและผลกระทบ และการออกแบบการทดลองแบบ Faced Central Composite (FCC) เพื่อหาปัจจัยหลักและค่าปรับตั้งที่เหมาะสมต่อการใช้บรรจุภัณฑ์ลดน้ำหนักในกระบวนการบรรจุ ซึ่งผลการดำเนินงานวิจัยสามารถลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากการใช้ขวดบรรจุภัณฑ์ลดน้ำหนักได้ โดยก่อนปรับปรุงพบสัดส่วนข้อบกพร่อง 11% และหลังปรับปรุงพบสัดส่วนข้อบกพร่องเพียง 0.06% สามารถลดจำนวนข้อบกพร่องในกระบวนการบรรจุได้ถึง 99%

คำสำคัญ: ขวดลดน้ำหนัก แรงในการปิดฝา การประเมินความเสี่ยง การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ แผนผังก้างปลา การออกแบบการทดลอง แผนการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิต

ABSTRACT

Reducing weight of plastic bottle help to reduce production costs, the plastic bottles become thinner due to less plastic content. Resulting in defects that occurs when the packaging light weight is carried in the filling line. In this research, the objectives are to do the risk analysis and assessment to evaluate the defects that might happen and to reduce the defects caused by the use of packaging light weight in the mouthwash filling process. The researcher used the principle of risk analysis and assessment, Process Failure Mode and Effect Analysis (PFMEA) and Faced Central Composite (FCC) design of experiment to find the main factors and the appropriate settings to reduce defects that generated by the use of light weight mouthwash bottles in the filling process. The result of this research can reduce

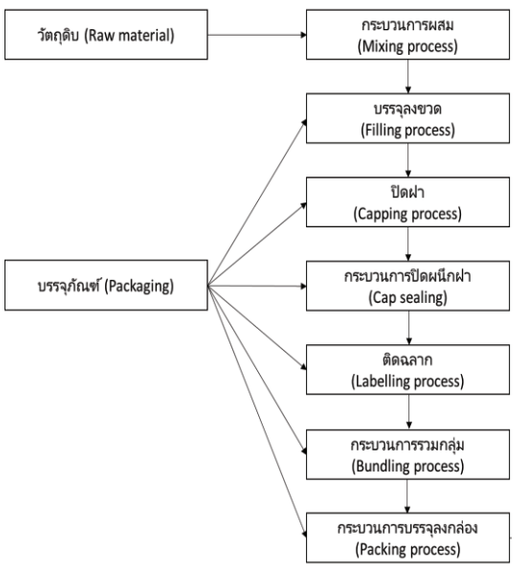
Received 18 April 2019
Revised 13 November 2019
Accepted 4 December 2019

the percentage of defect causing by the use light weight packaging in filling process from 11% to 0.06% that mean the defects is decreased 99% in the filling process.
Keywords: Bottle weight reduction, Closing torque, Risk analysis and assessment, Process Failure Mode and Effect Analysis (PFMEA), Fishbone diagram, Design of Experiment(DOE), Faced Central Composite (FCC)

1. บทนำ

โรงงานกรณีศึกษาทำการลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์ โดยการลดปริมาณพลาสติกที่ใช้ในการขึ้นรูปขวดพลาสติก ซึ่งโรงงานกรณีศึกษาได้ทดลองใช้กับผลิตภัณฑ์ขวดพลาสติกของน้ำยาบ้วนปากขนาด 1 ลิตรเป็นอันดับแรก โดยลดน้ำหนักขวดพลาสติกประเภท PET จากเดิมหนัก 68 กรัม ลดลงเหลือ 62 กรัม ในการลดน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติกลงนั้น ส่งผลให้บรรจุภัณฑ์บางลง เมื่อนำเข้าสู่กระบวนการบรรจุผ่านกระบวนการต่างๆที่มีแรงมากระทำต่อขวด ทำให้อาจเกิดข้อบกพร่องขึ้นบนบรรจุภัณฑ์พลาสติกนั้นได้

กระบวนการบรรจุน้ำยาบ้วนปาก เป็นกระบวนการบรรจุแบบต่อเนื่อง ประกอบด้วย 5 กระบวนการ ดังนี้ 1. กระบวนการบรรจุและปิดฝา 2.กระบวนการปิดผนึกฝาด้วยฟิล์ม 3.กระบวนการติดฉลาก 4.กระบวนการรวมกลุ่ม 5.กระบวนการแพ็คลงกล่อง แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพกระบวนการบรรจุน้ำยาบ้วนปากของโรงงานกรณีศึกษา

ดังนั้นงานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อค้นหา ประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ บริหารจัดการความเสี่ยงและลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากการใช้ขวดพลาสติกลดน้ำหนักในกระบวนการบรรจุน้ำยาบ้วนปาก รวมทั้งหาค่าปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสมต่อการนำขวดลดน้ำหนัก ไปใช้บรรจุผลิตภัณฑ์เพื่อให้มีคุณภาพอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

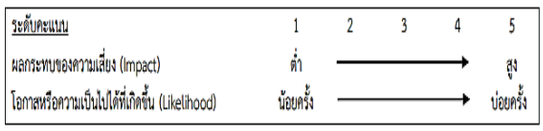
การดำเนินงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้หลักการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยง (Risk analysis and assessment) และใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการแก้ไขข้อบกพร่อง โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.1 การระบุประเด็นความเสี่ยงและประเมิน

มีขั้นตอนในการระบุและประเมินความเสี่ยง[1][2] ดังนี้

1) รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์สภาพแวดล้อมการเปลี่ยนแปลง เพื่อบ่งชี้เหตุการณ์ที่มีความเสี่ยง รวบรวมเป็นรายการความเสี่ยงองค์การ (Risk register)

2) ให้คะแนนความเป็นไปได้ (likelihood) และผลกระทบ (Impact) ของความเสี่ยงนั้น โดยมีระดับคะแนนของทั้ง 2 เกณฑ์ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ระดับคะแนนของเกณฑ์การพิจารณาระดับความเสี่ยง

ตารางที่ 1 เกณฑ์มาตรฐานระดับโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยง (likelihood)

ระดับ	โอกาสที่เกิด	คำอธิบาย
5	สูงมาก	โอกาสเกิดสูงมาก จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นเกินกว่าระดับที่ยอมรับได้
4	สูง	โอกาสเกิดอยู่ในระดับสูง เกิดขึ้นได้บ่อย แต่จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นค่อนไปทางมากของเกณฑ์ที่ยอมรับได้ 75-100%AQL
3	ปานกลาง	โอกาสเกิดอยู่ในระดับปานกลาง เกิดขึ้นได้บ้าง เป็นบางโอกาส จำนวนของเสียอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ 50-75%AQL
2	น้อย	โอกาสเกิดน้อยครั้ง จำนวนของเสียที่เกิดมีปริมาณน้อยอยู่ในช่วง 25-50% AQL
1	น้อยมาก	โอกาสเกิดไม่มี หรือ เกิดน้อยมาก เกิดขึ้นได้เฉพาะสถานการณ์ผิดปกติ จำนวนของเสียอยู่ในช่วง 0-25%AQL

ตารางที่ 2 เกณฑ์มาตรฐานระดับความรุนแรงของผลกระทบจากความเสี่ยง (Impact)

ระดับ	ผลกระทบ	คำอธิบาย
5	รุนแรงที่สุด	องค์กรไม่สามารถยอมรับผลกระทบที่เกิดขึ้นได้ เช่น ส่งผลต่อภาพลักษณ์ขององค์กร ผลกระทบด้านการเงินในระดับรุนแรง เกิดของเสียขึ้นต้องรีเจคของทั้งล็อต เป็นต้น
4	ค่อนข้างรุนแรง	ผลกระทบค่อนข้างรุนแรง เช่น เครื่องจักรหยุด /ชะลอการทำงาน ผลกระทบส่งผลต่อการใช้งานของผลิตภัณฑ์
3	ปานกลาง	เสียเวลาในการดำเนินงานค่อนข้างมาก ผลกระทบที่เกิดขึ้นต้องมีการควบคุมเป็นพิเศษ งานล็อตนั้นต้องถูกนำมาตรวจสอบ 100%
2	น้อย	เสียเวลาในการดำเนินงานน้อย งานล็อตนั้นถูกนำมาตรวจสอบเพียงบางส่วน
1	น้อยมาก	ส่งผลกระทบน้อยมาก ผลกระทบที่เกิดขึ้นไม่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องกับการดำเนินงานและคุณภาพของสินค้า

3) จัดระดับความเสี่ยงโดยพิจารณาจากผลคูณของคะแนนความเป็นไปได้และผลกระทบซึ่งระดับความเสี่ยงแบ่งออกเป็น 4 ระดับดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงระดับความเสี่ยง

ระดับความเสี่ยง	ระดับคะแนน	ความหมาย
สูงมาก	20-25	ระดับที่ไม่สามารถยอมรับได้ จำเป็นต้องเร่งจัดการแก้ไขทันที
สูง	10-19	ระดับที่ไม่สามารถยอมรับได้ โดยต้องจัดการความเสี่ยงเพื่อให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ต่อไป
ปานกลาง	4-9	ระดับที่ยอมรับได้แต่ต้องควบคุมเพื่อป้องกันไม่ให้ความเสี่ยงเคลื่อนย้ายไปยังระดับที่ยอมรับไม่ได้
น้อย	1-3	ระดับที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องควบคุมความเสี่ยง ไม่ต้องมีการจัดการเพิ่มเติม

4) หาแนวทางในการจัดการความเสี่ยงที่อยู่ในระดับที่ไม่สามารถยอมรับได้

2.2 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE)

การออกแบบการทดลอง คือ การดำเนินการทดลองอย่างเป็นระบบและมีการควบคุม มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลหลักและอันตรกริยาที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองที่สนใจ ประโยชน์ของ DOE คือ เป็นเครื่องมือที่ช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำการทดลอง ในขณะที่ผลลัพธ์มีความน่าเชื่อถือสูง สามารถนำไปใช้ในการปรับตั้งค่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญ เพื่อให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองตามเป้าหมายที่ต้องการ [3]

3. การดำเนินการวิจัย

ก่อนการนำขวดน้ำยาบ้วนปากลดน้ำหนักมาใช้ในกระบวนการบรรจุ คณะทีมงานดำเนินงานวิจัยได้ระดมสมองเพื่อทำการค้นหาและประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุ แสดงผลการประเมินความเสี่ยง ดังนี้

ตารางที่ 4 ความเสี่ยงและผลการประเมินระดับความเสี่ยง

ความเสี่ยง	โอกาสเกิด (L)	ผลกระทบ (I)	คะแนนความเสี่ยง (L x I)	ระดับความเสี่ยง
ขวดบุบจากการขนส่ง	1	3	3	น้อย
ขวดเป็นรอยขูดขีดขนาดมากกว่า $10mm^2$	2	1	2	น้อย
คอขวดบุบ หรือ ยุบจากการปิดฝา	1	4	4	ปานกลาง
ขวดบิดเป็นรอย จากการปิดฝา	5	3	15	สูง
ฉลากเกิดฟองอากาศ	5	2	10	สูง
ฉลากยับย่น	3	2	6	ปานกลาง
ฉลากเผยอ	3	3	9	ปานกลาง
ขวดบุบจากเครื่องรีเจค	3	3	9	ปานกลาง
ขวดบุบจากเครื่อง Auto case packer	1	3	3	น้อย
ขวดบุบจากการเรียงซ้อนแพลเลท	1	3	3	น้อย

จากตารางที่ 4 ผลจากการประเมินความเสี่ยงแสดงให้เห็นว่าการนำขวดน้ำยาบ้วนปากลดน้ำหนักเข้าไปใช้ในกระบวนการบรรจุมีความเสี่ยงที่จะเกิดข้อบกพร่องขวดเป็นรอยจากขั้นตอนการปิดฝา และฉลากเป็นฟองอากาศในขั้นตอนการติดฉลาก

3.1 การกำหนดข้อบกพร่อง

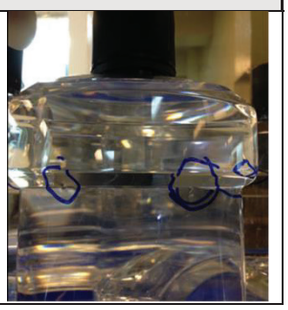
ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบขวดลดน้ำหนักเข้าไปเดินในกระบวนการบรรจุจริงแบบต่อเนื่อง เป็นเวลา 30 นาที สุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบสอบจำนวน 200 ขวด พบว่ามีข้อบกพร่องการเกิดขวดเป็นรอย และฉลากเป็นฟองอากาศเกิดขึ้นเกินกว่าจำนวนที่ยอมรับได้ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากการทดสอบเดินขวดน้ำยาบ้วนปากลดน้ำหนักในกระบวนการบรรจุจริง

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ลักษณะข้อบกพร่อง	% ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น	% ข้อบกพร่องที่ยอมรับได้ AOQL
ขั้นตอนการปิดฝา (Capping process)	ขวดเป็นรอย	11.0%	4.7%
ขั้นตอนติดฉลาก (Labelling process)	ฉลากเป็นฟองอากาศ	15.0%	4.7 %

ในการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยและคณะทำงานเลือกข้อบกพร่องขวดเป็นรอยมาดำเนินการทดลองแก้ไขในงานวิจัยนี้ก่อน เนื่องจากคณะทำงานวิจัยได้ลงความเห็นว่าข้อบกพร่องนี้เกิดขึ้นในกระบวนการปิดฝา ซึ่งเป็นขั้นตอนช่วงต้นของกระบวนการบรรจุก่อนส่งไปยังขั้นตอนการติดฉลาก และขวดเป็นรอยนี้อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลไปยังขั้นตอนการติดฉลากได้ ดังนั้นจึงควรทำการแก้ไขข้อบกพร่องขวดเป็นรอยในขั้นตอนการปิดฝาก่อน เพื่อลดปัจจัยที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องในขั้นตอนการติดฉลากต่อไป ส่วนข้อบกพร่องฉลากเป็นฟองอากาศ ในขั้นตอนการติดฉลาก ผู้วิจัยจะดำเนินการแก้ไขในงานวิจัยชิ้นต่อไป โดยลักษณะข้อบกพร่องขวดเป็นรอยที่เกิดขึ้นอธิบายดังตารางที่ 6 ดังนี้

ตารางที่ 6 คำอธิบายประเภทของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์จากการใช้ขวดลดน้ำหนัก

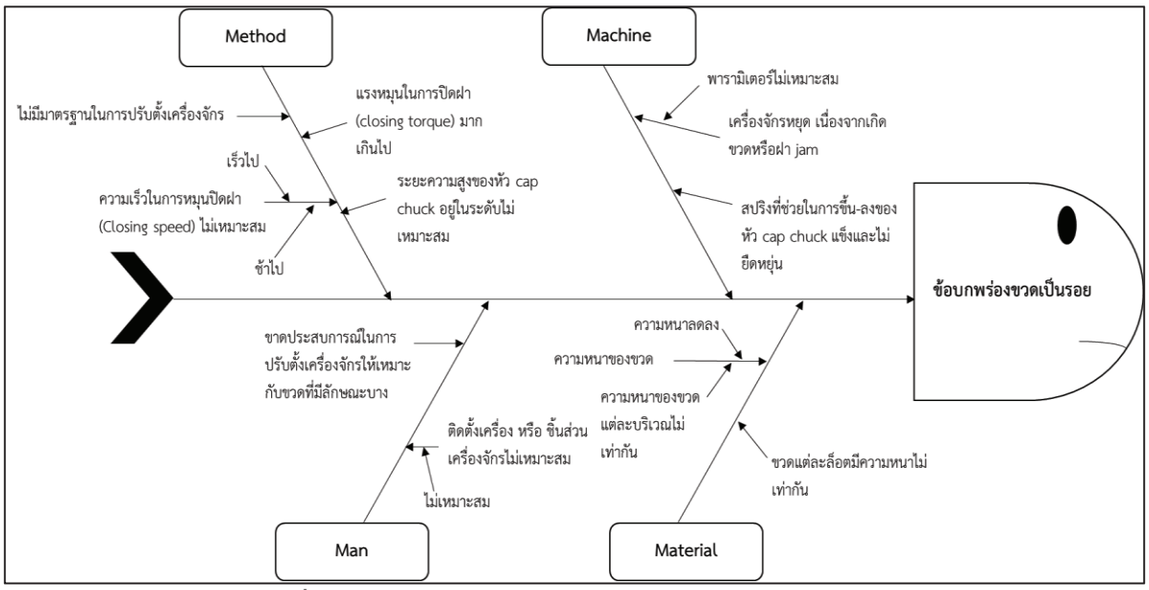
ข้อบกพร่อง	คำอธิบาย	ลักษณะตัวอย่าง
ขวดเป็นรอย	เกิดรอยบุบที่ขวดลักษณะเป็นเส้นตามมุมของขวด 2-4 จุดต่อขวด	

3.2 การวัดและวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่อง

ในการวัดและวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่อง เริ่มจากการระดมสมองของคณะทีมงานที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญในกระบวนการบรรจุน้ำยาบ้วนปาก ช่วยกันวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่องโดยอาศัยเครื่องมือในการวิเคราะห์ คือ แผนผังก้างปลา (Fishbone diagram) โดยแบ่งการวิเคราะห์สาเหตุออกเป็น 5 หมวดหมู่ คือ 4M1E ได้แก่ สาเหตุจากคน (Man) สาเหตุจากเครื่องจักร (Machine) สาเหตุจากวัตถุดิบ (Material) สาเหตุจากวิธีปฏิบัติ (Method) และสาเหตุจากสภาพแวดล้อม (Environment) [4]

ผู้วิจัยและคณะทีมงานระดมสมองวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดขวดเป็นรอยจากกระบวนการปิดฝา โดยอาศัยแผนผังก้างปลาในการวิเคราะห์ ดังนี้

1. สาเหตุจากคน (Man) ได้แก่ ขาดประสบการณ์ในการปรับตั้งเครื่องจักรให้เหมาะสมกับขวดที่มีลักษณะบาง ติดตั้งอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนประกอบของเครื่องจักรไม่เหมาะสม
2. สาเหตุจากเครื่องจักร (Machine) ได้แก่ สปริงเดิมของหัว cap chuck แข็งไม่ยืดหยุ่น ทำให้มีแรงกดขวดมากเกินไป และเครื่องจักรหยุดเนื่องจากการแจมของขวดหรือฝา
3. สาเหตุจากวัตถุดิบ (Material) ได้แก่ ขวดที่มีความหนาลดลง ความหนาของขวดแต่ละบริเวณไม่เท่ากัน ขวดแต่ละล็อตมีความหนาไม่เท่ากัน
4. สาเหตุจากวิธีปฏิบัติ (Method) ได้แก่ ไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องจักรกับขวดน้ำยาบ้วนปากลดน้ำหนัก ค่าแรงในการปิดฝา (Closing torque) มากเกินไป ค่าความเร็วในการปิดฝา (Closing speed) มากเกินไป ระดับความสูงของ cap chuck ไม่เหมาะสม



รูปที่ 3 แผนผังก้างปลาของข้อบกพร่องขวดเป็นรอยจากการปิดฝา

จากสาเหตุที่วิเคราะห์แผนผังก้างปลา ทีมงานลงคะแนนความเห็นว่าสาเหตุที่เป็นปัจจัยหลักมาจากวิธีการปฏิบัติ เนื่องจากการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่ไม่เหมาะสมมากที่สุด จากนั้นนำปัจจัยทั้งหมดหรือค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดของเครื่องจักรมาทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของกระบวนการและผลกระทบ (Process Failure Mode and Effect Analysis, PFMEA) อ้างอิงตามมาตรฐาน AIAG เพื่อจัดลำดับความสำคัญของอิทธิพลของแต่ละปัจจัยโดยพิจารณาจากผลรวมของลำดับความเสี่ยง (RPN : Risk

Priority Number) ซึ่งจะคัดเลือกปัจจัยที่มีค่าลำดับความเสี่ยง (RPN) สูง มาใช้ในการดำเนินการแก้ไขข้อบกพร่องและหาค่าที่เหมาะสม

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

แต่ละเกณฑ์มีคะแนน 1-10 ตามระดับจากน้อยไปมาก ซึ่ง

S คือ ค่าความรุนแรงของข้อขัดข้อง (Severity of Failure)

คะแนน = 1 คือ ความรุนแรงน้อยที่สุดของผลกระทบเมื่อเกิดข้อบกพร่องขึ้น

คะแนน = 10 คือ ความรุนแรงมากที่สุดของผลกระทบเมื่อเกิดข้อบกพร่องขึ้น

O คือ ความถี่ในการเกิดสาเหตุของข้อขัดข้อง (Occurrence)

คะแนน = 1 คือ ความถี่น้อยที่สุดของการเกิดข้อบกพร่องขึ้น

คะแนน = 10 คือ ความถี่มากที่สุดของการเกิดข้อบกพร่องขึ้น

และ D คือ ความเป็นไปได้ในการตรวจพบได้ (Detection)

คะแนน = 1 คือ ความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่องได้ดีที่สุด

คะแนน = 10 คือ ความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่องได้แย่ที่สุด

ได้ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของกระบวนการและผลกระทบ (PFMEA) ของขวดเป็นรอยดังตารางที่ 7 ดังนี้

ตารางที่ 7 ผลวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (PFMEA) ของข้อบกพร่องขวดเป็นรอย

พารามิเตอร์	สภาพข้อบกพร่อง	ผลกระทบ	S	O	D	RPN
ตำแหน่ง star wheel	ปรับตำแหน่งไม่ดีทำให้ชนกันขวด	ขวดขัดกันหรือชนกับขอบ star wheel เป็นรอย	7	1	7	49
Cap Chuck	ยางจับฝาที่ cap chuck เสื่อม	ฝาปิดไม่สนิทหรือปิดไม่ตรงทำให้บิดขวดเป็นรอย	7	1	2	14
แรงในการปิดฝา	ค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม	ขวดบิดเป็นรอย	7	3	8	168
ความเร็วในการปิดฝา	ค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม	ขวดบิดเป็นรอย	7	3	8	168

ในการเลือกปัจจัยนำเข้าที่จะนำมาดำเนินงานวิจัยนั้น อ้างอิงตามมาตรฐาน AIAG จะพิจารณาจากข้อบกพร่องที่มีความรุนแรงมาก (คะแนน 9-10) มาวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาก่อน จากนั้นจึงเลือกจาก RPN ที่สูง (ค่า RPN มากกว่า 100 คะแนน) มาดำเนินการวิเคราะห์และแก้ไขก่อน แต่ถ้ามีค่า RPN และ ค่าความรุนแรง (S) เท่ากัน จะเลือกข้อบกพร่องที่มีความเป็นไปได้ในการเกิดมากกว่ามาดำเนินการแก้ไข ดังนั้นจากตารางที่ 7 ปัจจัยที่จะทำการศึกษาผลกระทบต่อการเกิดขวดเป็นรอยของขวดน้ำยาบ้วนปากลดน้ำหนักในกระบวนการปิดฝา คือ แรงที่ใช้ในการปิดฝา (Closing Torque) และ ความเร็วในการปิดฝา (Closing speed)

4. การปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง

4.1 ปัจจัยนำเข้า

จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของกระบวนการและผลกระทบ (PFMEA) ของข้อบกพร่องขวดเป็นรอยในตารางที่ 5 ปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในทดลอง

แก้ไขข้อบกพร่องขวดเป็นรอยในขั้นตอนปิดฝามี 2 ปัจจัย คือ แรงในการปิดฝา (closing torque) และ ความเร็วในการหมุนปิดฝา (closing speed) และมีระดับของปัจจัยนำเข้า 3 ระดับ ดังตารางที่ 8-9

ตารางที่ 8 ปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัยที่นำมาศึกษา	หน่วย
แรงที่ใช้ในการปิดฝา (Closing Torque)	Nm
ความเร็วในการปิดฝา (Closing speed)	rpm

ตารางที่ 9 ระดับการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		
	ต่ำ (-)	กลาง (0)	สูง (+)
แรงในการปิดฝา (closing torque), Nm	1.2	1.4	1.6
ความเร็วในการปิดฝา (Closing speed), rpm	110	120	130

4.2 ตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองของการปรับปรุงนี้ คือ สัดส่วนการเกิดขวดเป็นรอยจากขั้นตอนการปิดฝา

4.3 รูปแบบการทดลอง

ผู้วิจัยได้เลือกใช้การออกแบบการทดลองส่วนประสมกลาง (CCD) แบบ face centered เนื่องจากปัจจัยนำเข้าทั้งสองนั้นสามารถปรับระดับปัจจัยได้เพียง 3 ระดับเท่านั้น โดยมีระดับ $\alpha = \pm 1$ การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้า อาศัยข้อมูลการปรับตั้งจากผู้เชี่ยวชาญหรือพนักงานฝ่ายผลิต[5] ได้ระดับของปัจจัยนำเข้าดังแสดงในตารางที่ 9 เมทริกซ์การออกแบบการทดลองดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 เมทริกซ์การออกแบบการทดลอง

Std Order	Run Order	A	B
5	1	1.2	120
2	2	1.6	110

ตารางที่ 10 (ต่อ) เมทริกซ์การออกแบบการทดลอง

Std Order	Run Order	A	B
1	3	1.2	110
6	4	1.6	120
12	5	1.4	120
9	6	1.4	120
8	7	1.4	130
7	8	1.4	110
13	9	1.4	120
4	10	1.6	130
11	11	1.4	120
3	12	1.2	130
10	13	1.4	120

กำหนดให้

A คือ แรงที่ใช้ในการปิดฝา (Closing torque, Nm)

B คือ ความเร็วในการปิดฝา (Closing speed, rpm)

ผู้วิจัยใช้ขนาดตัวอย่างจำนวน 200 ชิ้นงานต่อ 1 การทดลอง ซึ่งจะใช้จำนวนชิ้นงานทั้งหมด 2,600 ชิ้นงาน สำหรับการทดลองทั้งหมด 13 รูปแบบ ที่กำลังของการทดสอบ (Power of test) เท่ากับ 0.9 และระดับความเชื่อมั่น 95%

4.4 ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 11 โดยแต่ละการทดลองใช้เวลาเดิน 30 นาที ทำการสุ่มตัวอย่าง 200 ขวด เพื่อตรวจสอบดูสัดส่วนของเสียขวดเป็นรอย

ตารางที่ 11 ผลการทดลอง

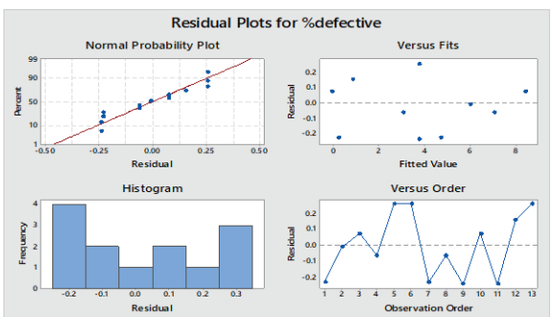
การทดลอง	ปัจจัยนำเข้า		ปัจจัยตอบสนอง
	A (kgf.cm)	B (rpm)	สัดส่วนของเสียขวดเป็นรอย (%)
1	1.2	120	0.0
2	1.6	110	6.0
3	1.2	110	0.0
4	1.6	120	7.0
5	1.4	120	4.0
6	1.4	120	4.0
7	1.4	130	4.5
8	1.4	110	3.0

ตารางที่ 11 (ต่อ) ผลการทดลอง

การทดลอง	ปัจจัยนำเข้า		ปัจจัยตอบสนอง
	A (kgf.cm)	B (rpm)	สัดส่วนของเสียขวดเป็นรอย (%)
9	1.4	120	3.5
10	1.6	130	8.5
11	1.4	120	3.5
12	1.2	130	1.0
13	1.4	120	4.0

4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองในตารางที่ 11 ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองและความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยการตรวจสอบสมมติฐาน 3 ข้อ คือ สมมติฐานการแจกแจงแบบปกติ สมมติฐานความเป็นอิสระ และสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าส่วนตกค้างระหว่างค่าจริงและค่าฟิต ซึ่งสามารถใช้โปรแกรม Minitab 18 ในการทดสอบสมมติฐานต่างๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 4 การกระจายตัวค่าส่วนตกค้างของสัดส่วนของเสียขวดเป็นรอย

1. การตรวจสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติ เป็นการตรวจสอบว่าค่าส่วนตกค้างมีคุณสมบัติการแจกแจงแบบปกติ โดยดูจากกราฟ Probability Plot ว่าค่าส่วนตกค้างที่ได้มีการกระจายตัวในลักษณะเป็นเส้นตรงหรือมีแนวโน้มใกล้เคียงเส้นตรงหรือไม่ และสามารถพิจารณาจากค่า P-value ของการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งผลการตรวจสอบการแจกแจงปกติของค่าส่วนตกค้างแสดงได้ตามรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่ากราฟมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง มีค่า P-value เท่ากับ 0.352 สรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. การตรวจสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง โดยพิจารณาจากค่าส่วนตกค้างของข้อมูลกับลำดับในการทดลอง ซึ่งกราฟส่วนตกค้างกับลำดับการทดลองดังรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่ามีการกระจายอย่างสุ่ม ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างที่ได้จากการทดลองนั้นมีความเป็นอิสระต่อกัน

3. การตรวจสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล ทำได้โดยการพิจารณาจากข้อมูลส่วนตกค้างกับค่าฟิตของตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย ซึ่งจากกราฟรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่ากราฟส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองไม่มีรูปแบบที่แน่นอน สรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้มีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล

จากการทดสอบสมมติฐานเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง แสดงให้เห็นว่าค่าส่วนตกค้างที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของข้อมูล สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเหมาะสมที่จะนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ได้

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม Minitab 18 แสดงได้ดังรูปที่ 5

Response Surface Regression: %defective versus A, B

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	74.8415	14.9683	224.73	0.000
Linear	2	74.2083	37.1042	557.08	0.000
A	1	70.0417	70.0417	1051.60	0.000
B	1	4.1667	4.1667	62.56	0.000
Square	2	0.0706	0.0353	0.53	0.610
A*A	1	0.0248	0.0248	0.37	0.561
B*B	1	0.0665	0.0665	1.00	0.351
2-Way Interaction	1	0.5625	0.5625	8.45	0.023
A*B	1	0.5625	0.5625	8.45	0.023
Error	7	0.4662	0.0666		
Lack-of-Fit	3	0.1662	0.0554	0.74	0.582
Pure Error	4	0.3000	0.0750		
Total	12	75.3077			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.258080	99.38%	98.94%	97.73%

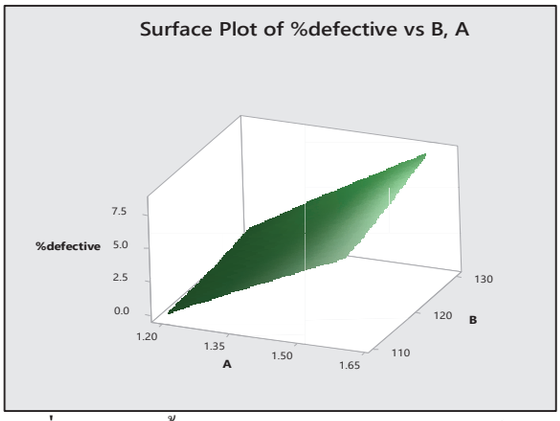
รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดขวดเป็นรอย

จากรูปที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดรอยที่ขวดในกระบวนการปิดฝา โดยพิจารณาได้จากค่า P-value ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยทั้งสองนั้นคือ แรงในการปิดฝา (A) และความเร็วในการปิดฝา(B) ส่งผลต่อการเกิดรอยที่ขวดในกระบวนการปิดฝาอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยปัจจัยทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กับสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องขวดเป็นรอยดังสมการที่ 2 จากนั้นผู้วิจัยจึงได้พิจารณาความสมรูปของสมการนี้กับข้อมูลจากค่า R-square (adjusted) ซึ่งมีค่าสูงเท่ากับ 99.06% จึงสรุปได้ว่าสมการความสัมพันธ์นี้มีความสมรูปกับข้อมูล สามารถใช้อธิบายความผันแปรข้อมูลสัดส่วนของเสียขวดเป็นรอยได้

และรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าเทอมที่มีนัยสำคัญต่อ ค่าสัดส่วนของเสียขวดเป็นรอยคือ ผลหลักของค่าแรงในการปิดฝา และความเร็วในการปิดฝา และอันตรกริยาของปัจจัยทั้งสอง

จากการวิเคราะห์ด้านเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวน สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\%Defective = 3.8 + 3.417A + 0.833B + 0.375A*B \quad (2)$$

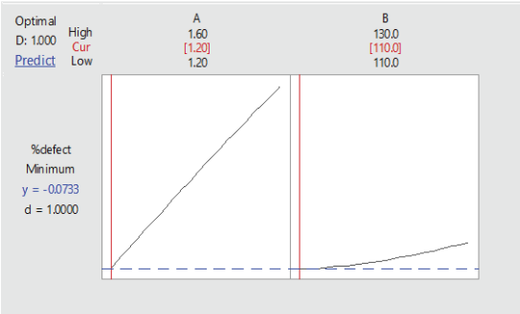


รูปที่ 6 แผนภูมิพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้ากับตัวแปรตอบสนอง

จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดสามารถอธิบายได้ว่า ปัจจัยนำเข้าทั้งสอง คือ แรงที่ใช้ในการปิด (Closing torque) และ ความเร็วของการปิดฝา (Closing speed) มีผลต่อการเกิดของเสียขวดเป็นรอยจากขั้นตอนการปิดฝา โดยที่ถ้าแรงและความเร็วในการปิดฝามาก จะส่งผลให้มีแรงหมุนปิดฝามากกว่าที่ตัวขวดจะต้านทานได้ทำให้ขวดบิดไปตามแรงและเมื่อปิดฝาเสร็จขวดคืนตัวกลับมาทำให้เกิดรอยที่ขวด ส่วนอันตรกิริยาของทั้งสองปัจจัยแปรผันตรงต่อการเกิดของเสียขวดเป็นรอยเช่นกัน แต่จากรูปที่ 6 อธิบายเพิ่มเติมได้ว่าเมื่อความเร็วในการปิดฝาเพิ่มขึ้นแต่แรงในการปิดฝาต่ำ จะมีการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนของเสียขวดเป็นรอยน้อยกว่าเมื่อใช้ความเร็วในการปิดฝาเพิ่มขึ้นที่แรงในการปิดฝาสูง ดังนั้นเพื่อลดแรงที่กระทำกับตัวขวดและลดรอยที่เกิดขึ้นบนขวดจากการบิดจึงต้องใช้ค่าแรงปิดฝาและความเร็วในการปิดฝาที่ค่าน้อยที่สุดที่ยังสามารถทำให้ฝาปิดสนิทได้

4.7 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

เมื่อได้ปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญจึงทำการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งเครื่องจักร ที่จะทำให้เกิดสัดส่วนของเสียน้อยที่สุด โดยใช้โปรแกรม Minitab ฟังก์ชัน Response Optimization [6] ตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการปรับตั้งค่าปัจจัย

ซึ่งได้ค่าที่เหมาะสมในการปรับตั้งของแต่ละปัจจัย คือ ค่าแรงในการปิดฝา (Closing torque) เท่ากับ 1.2 Nm. และค่าความเร็วในการปิดฝา (Closing speed) เท่ากับ 110 rpm

5. การติดตามควบคุมกระบวนการหลังการปรับปรุง

เพื่อเป็นการทดสอบยืนยันผลว่าค่าระดับของปัจจัยนำเข้านี้สามารถลดสัดส่วนของเสียได้ จึงได้ทำการทดลองโดยมีขั้นตอนปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. ปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรให้ได้ตามสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง
2. ทดลองผลิตจริงกับขวดน้ำยาบ้วนปากขนาด 1 ลิตร ทั้งหมด 40 ชั่วโมง หรือ 40 ล็อต ซึ่งมีจำนวนขวดทั้งหมดเท่ากับ 216,000 ขวด
3. เก็บข้อมูลอย่างสุ่มจากทุกล็อต โดยจะสุ่มเก็บล็อตละ 200 ขวด

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบสัดส่วนของเสียขวดเป็นรอย

ล็อต	% ขวดเป็นรอย	ล็อต	% ขวดเป็นรอย
1	0	21	0
2	0	22	0
3	0	23	0
4	0	24	0
5	0	25	0
6	0	26	0

ตารางที่ 12 (ต่อ) ผลการทดสอบสัดส่วนของเสียขวดเป็นรอย

ล็อต	% ขวดเป็นรอย	ล็อต	% ขวดเป็นรอย
7	1	27	1
8	0	28	0
9	0	29	0
10	0	30	0
11	0	31	0
12	0	32	0
13	0	33	0.5
14	0	34	0
15	0	35	0
16	0	36	0
17	0	37	0
18	0	38	0
19	0	39	0
20	0	40	0

ทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนเพื่อทดสอบว่าสัดส่วนข้อบกพร่องขวดเป็นรอยหลังปรับปรุงมีค่าน้อยกว่าสัดส่วนข้อบกพร่องขวดเป็นรอยก่อนปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้ Two Proportions Test [7] ซึ่งมีสมมติฐานที่ทำการทดสอบเป็นดังนี้

H_0: $p_1 = p_2$

H_1: $p_1 > p_2$

โดยที่

p_1 คือ สัดส่วนของเสียจากขวดบิดเป็นรอยก่อนปรับปรุงกระบวนการ

p_2 คือ สัดส่วนของเสียจากขวดบิดเป็นรอยหลังปรับปรุงกระบวนการ

Test and CI for Two Proportions

Method

p_1: proportion where Sample 1 = Event
p_2: proportion where Sample 2 = Event
Difference: $p_1 - p_2$

Descriptive Statistics

Sample	N	Event	Sample p
Sample 1	200	22	0.110000
Sample 2	8000	5	0.000625

Estimation for Difference

Difference	95% CI for Difference
0.109375	(0.066008, 0.152742)

CI based on normal approximation

Test

Null hypothesis H_0: $p_1 - p_2 = 0$
Alternative hypothesis H_1: $p_1 - p_2 \neq 0$

Method	Z-Value	P-Value
Normal approximation	4.94	0.000
Fisher's exact		0.000

รูปที่ 8 ผลการทดสอบความแตกต่างสัดส่วนปัญหาก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการปิดฝา

จากรูปที่ 8 ค่า p-Value จากการทดสอบมีค่า <0.0005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ $(\alpha) = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 ที่ว่าสัดส่วนก่อนปรับปรุงเท่ากับหลังปรับปรุงกระบวนการ จึงสรุปได้ว่าสัดส่วนหลังการปรับปรุงกระบวนการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากการทดลองผลิตงานจริงหลังการดำเนินการทดสอบโดยปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม พบว่าสัดส่วนของเสียขวดเป็นรอยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0625% เทียบกับก่อนปรับปรุงที่มีสัดส่วนของเสียขวดเป็นรอยเท่ากับ 11% ซึ่งสามารถลดของเสียขวดบิดเป็นรอยได้จากก่อนดำเนินการปรับตั้งค่าที่เหมาะสมได้

ในการควบคุมค่าปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่ได้จากงานวิจัยและเพื่อให้มั่นใจว่าผลลัพธ์ที่ดีขึ้นเป็นไปอย่างยั่งยืน ผู้วิจัยและทีมงานจึงได้จัดทำเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงานเพื่อใช้ในการควบคุมค่าการปรับตั้งปัจจัยนำเข้าเพื่อให้พนักงานปฏิบัติงานดำเนินงานได้อย่างถูกต้อง

6. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบจากการนำบรรจุภัณฑ์ที่มีการลดน้ำหนักพลาสติกของขวดน้ำยาบ้วนปากมาใช้ในกระบวนการบรรจุ และดำเนินการจัดการลดข้อบกพร่องเชิงคุณภาพที่เกิดขึ้น โดยทำการศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องกับผลิตภัณฑ์ในกระบวนการบรรจุโดยการระดมความคิดเห็นจากผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการบรรจุเพื่อกำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการดำเนินการทดลองเพื่อลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ซึ่งจากการนำขวดน้ำยาบ้วนปากลดน้ำหนักไปใช้ในกระบวนการบรรจุพบว่ามีของเสียเรื่องขวดเป็นรอยเกิดขึ้นจากกระบวนการปิดฝา หลังจากได้ทำการระดมความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญทำให้ได้ปัจจัยที่จะทำการทดลองเพื่อลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการปิดฝา 2 ปัจจัย ได้แก่ แรงในการปิดฝา (Closing torque) และ ความเร็วในการปิดฝา (Closing speed) จากการดำเนินการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ Face Central Composite (FCC) พบว่าปัจจัยทั้งสองส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องขวดเป็นรอยในขั้นตอนการปิดฝาในกระบวนการบรรจุน้ำยาบ้วนปาก และค่าปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมในการเดินขวดน้ำยาบ้วนปากขนาด 1 ลิตร เพื่อให้มีจำนวนขวดเป็นรอยน้อยที่สุดคือ มีแรงในการปิดฝา เท่ากับ 1.2 kgf.cm และ ความเร็วในการปิดฝา เท่ากับ 110 rpm สามารถลดจำนวนขวดเป็นรอยได้จากการสุ่มตัวอย่าง 200 ขวดในกระบวนการบรรจุก่อนและหลังปรับปรุง โดยก่อนปรับปรุงพบจำนวนขวดเป็นรอย 11% และหลังปรับปรุงพบจำนวนขวดเป็นรอยเพียง 0.06% ลดจำนวนของเสียขวดเป็นรอยจากขั้นตอนการปิดฝาในกระบวนการบรรจุได้ถึง 99%

เอกสารอ้างอิง

[1] คณะกรรมการจัดการความเสี่ยง สวทช. *คู่มือบริหารความเสี่ยง สวทช. ตามกรอบมาตรฐานการบริหารความเสี่ยง*. ISO 3100:2009, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2560.

[2] สุพรรณิการ์ ธรรมนิทัศนา. การประยุกต์ใช้มาตรฐานการบริหารความเสี่ยงสำหรับองค์กรอุตสาหกรรมการผลิต. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

[3] ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2545.

[4] Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons, New York, 2009.

[5] จุฑามาศ รัตนกุล. การลดข้อบกพร่องของกระบวนการบรรจุกุ้งแปรรูปซูชิแช่แข็ง. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

[6] ภูธิป อินทรักษ์. การลดเวลาสูญเสียในกระบวนการติดฉลาก. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

[7] ฐิติมา ฤทธิ์ประเสริฐศรี. การลดเวลาสูญเสียในกระบวนการผลิตน้ำจิ้มโดยใช้แนวคิดลีน ซิกซ์ ซิกมา. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559.