

การหาค่าพารามิเตอร์ที่ทนทานสำหรับกระบวนการบรรจุก๊าซผลิตภัณฑ์ สเปรย์ระงับกลิ่นกายด้วยเทคนิคทากูชิ

นพศักดิ์ ป้องภักดี¹ ศรีสิทธิ์ เจียรบุตร^{2*}

^{1,2*} แขนงเทคโนโลยีการจัดการทางวิศวกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช,
นนทบุรี, ประเทศไทย

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล : srisit.chi@stou.ac.th

รับต้นฉบับ : 21 กรกฎาคม 2567; รับบทความฉบับแก้ไข : 25 ตุลาคม 2567; ตอบรับบทความ : 9 พฤศจิกายน 2567

เผยแพร่ออนไลน์ : 27 มิถุนายน 2568

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมเครื่องสำอางรวมถึงสเปรย์ระงับกลิ่นกายมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว มีการแข่งขันที่สูงขึ้นในธุรกิจ ทำให้ผู้ผลิตต้องปรับตัวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต โดยกระบวนการบรรจุก๊าซเป็นกระบวนการที่สำคัญเพราะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และต้นทุนในการผลิต งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ทนทานต่ออุณหภูมิเพื่อให้ค่ามวลบรรจุก๊าซอยู่ในช่วงเป้าหมาย แม้ว่าจะมีปัจจัยภายนอกมารบกวนโดยกระบวนการทดลองนี้ใช้เทคนิคทากูชิและได้ทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมประกอบด้วย 1) แรงดันบรรจุก๊าซ 2) ความเร็วในการบรรจุก๊าซ 3) ปริมาตรกระบอกบรรจุก๊าซ เป็นตัวแปรควบคุม 3 ปัจจัย 3 ระดับ และ 4) อุณหภูมิสภาพแวดล้อม เป็นปัจจัยรบกวน 1 ปัจจัย 3 ระดับ การทดลองได้เลือกรูปแบบการจัดวางลำดับแบบแนวฉากทำการออกแบบปัจจัยที่ควบคุมได้ อะเรียภายใน และปัจจัยรบกวน อะเรียภายนอกจากนั้นนำทั้งสองอะเรียมารวมกันโดยการไขว้เมื่อได้การออกแบบอะเรียไขว้ แล้วจึงทำการทดลองบรรจุก๊าซลงผลิตภัณฑ์ และใช้โปรแกรมมินิแทบ มาช่วยคำนวณ โดยได้เลือกใช้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ประเภทผลตอบสนองที่มีค่าตรงตามเป้าหมายเพื่อให้ค่ามวลอยู่ในช่วง 72 กรัมต่อกระป๋อง โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือ 1) แรงดันบรรจุก๊าซ 2.0 เมกะปาสกาล 2) ความเร็วในการบรรจุก๊าซ 65 กระป๋องต่อนาที 3) ปริมาตรกระบอกบรรจุก๊าซ 128 มิลลิลิตร ซึ่งผลลัพธ์หลังปรับปรุงเป้าหมายที่ได้อยู่ในช่วง 70.97–72.54 กรัมต่อกระป๋อง ลดลงจากเดิมร้อยละ 30.22 จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ส่งผลให้จำนวนของเสียและต้นทุนลดลงร้อยละ 52.20

คำสำคัญ : ผลิตภัณฑ์สเปรย์ระงับกลิ่นกาย กระบวนการบรรจุก๊าซ การหาค่าพารามิเตอร์ที่ทนทาน เทคนิคทากูชิ

Determination of Robust Parameters for Deodorant Spray Gas Filling Process Using the Taguchi Technique

Noppasak Pongpakdee¹ Srisit Chianrabutra^{2*}

^{1,2*}*Division of Engineering Management Technology, School of Science and Technology,
Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi, Thailand*

*Corresponding Author. E-mail address: srisit.chi@stou.ac.th

Received: 21 July 2024; Revised: 25 October 2024; Accepted: 9 November 2024

Published online: 27 June 2025

Abstract

The cosmetics industry, including deodorant sprays, is experiencing rapid growth, with increasing competition driving manufacturers to adapt and enhance the efficiency of their production processes. The gas filling process is particularly crucial, as it impacts both product quality and production costs. This research aims to determine parameters that are robust against temperature variations, ensuring that the gas filling mass stays within the target range, even in the presence of external disturbances. The experimental process employs the Taguchi technique, with the following parameters controlled: 1) gas filling pressure, 2) gas filling speed, and 3) cylinder volume, each as control variables with three levels. Additionally, 4) environmental temperature is considered a noise factor with three levels. The experiment utilized an orthogonal array to design the layout, with internal arrays for controlled factors and external arrays for noise factors, combined in a cross arrangement. After designing the crossed array, the gas filling experiment was conducted, and Minitab software was used to analyze the results. The signal-to-noise ratio was selected for a "target is best" response type to maintain the gas mass within the target range of 72 grams per can. The optimal parameters identified were 1) gas filling pressure of 2.0 MPa, 2) gas filling speed of 65 cans per minute, and 3) cylinder volume of 128 mL. After adjustments, the results achieved a target mass range of 70.97–72.54 grams per can, with a 30.22% reduction in standard deviation, leading to a 52.20% reduction in waste and costs.

Keywords: Deodorant spray products, Gas filling process, Robust parameter determination, Taguchi technique

1) บทนำ

อุตสาหกรรมเครื่องสำอางไทยโดยในปี พ.ศ. 2565 กลับมาเพิ่มขึ้นอีกครั้งหลังลดลงต่อเนื่องมาตั้งแต่เกิดโรค COVID-19 โดยเฉพาะตลาดหลักอย่างอาเซียน ออสเตรเลีย เกาหลีใต้ และจีน ซึ่งมีสัดส่วนตลาดรวมกันมากกว่าร้อยละ 50 ขยายตัวค่อนข้างดี สะท้อนว่า เครื่องสำอางของไทยเป็นที่ต้องการในตลาดต่างประเทศ ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนมีอุณหภูมิโดยทั่วไปค่อนข้างสูง ร่างกายจะมีการขับเหงื่อเพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลที่ตามมาคือกลิ่นกาย ปัจจุบันความต้องการผลิตภัณฑ์บำรุงสำหรับผิวกายและผิวหน้า ในเมืองไทยมีแนวโน้มการเติบโตที่ดี ซึ่งรวมถึงผลิตภัณฑ์ระงับกลิ่นกาย ทำให้ผู้บริโภคหันมาใส่ใจดูแลบุคลิกภาพมากขึ้น เมื่ออุตสาหกรรมผลิตสเปรย์ระงับกลิ่นกายมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว และมีการแข่งขันที่สูงขึ้น [1] ทำให้ผู้ประกอบการโรงงานในกรณีศึกษาจะต้องปรับตัวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต โดยกระบวนการบรรจุก๊าซเป็นกระบวนการที่สำคัญในการผลิตเพราะจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และรวมถึงต้นทุนในการผลิต เพราะถ้ามวลของก๊าซที่บรรจุไม่ได้ตามค่ามาตรฐานที่กำหนด จะทำให้สินค้าไม่ได้คุณภาพ ทำให้เสียต้นทุน เกิดของเสียในกระบวนการผลิตและเสียเวลาในกระบวนการปรับตั้งค่าเครื่องจักร ทำให้กระบวนการผลิตไม่มีประสิทธิภาพ

สำหรับที่มาของปัญหาที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในโรงงานผลิตสเปรย์ระงับกลิ่นกายแห่งหนึ่งเริ่มต้นจากกระบวนการบรรจุก๊าซ จากถังผสมก๊าซมายังห้องบรรจุก๊าซ โดยพนักงานจะทำการเปิดมอเตอร์และปั๊มเพิ่มแรงดันบรรจุก๊าซ (filling pressure) หน่วยที่ใช้เมกะปาสกาล ตัวแปรควบคุมที่ 1 เพื่อจ่ายก๊าซเข้าไปในห้องก๊าซจากนั้นก๊าซจะถูกจ่ายเข้ายังห้องบรรจุก๊าซ โดยพนักงานในห้องบรรจุก๊าซปรับความเร็วในการบรรจุก๊าซ (gas filling speed) หน่วยที่ใช้กระป๋องต่อนาที ตัวแปรควบคุมที่ 2 จากนั้นทำการปรับปริมาตรกระบอกบรรจุก๊าซ (volume of gas cylinder) หน่วยที่ใช้มิลลิลิตร ตัวแปรควบคุมที่ 3 โดยปัญหาสำคัญที่พบคือ เมื่อพนักงานเริ่มทำงานในเวลา 8.00 น. พนักงานบรรจุก๊าซจะทำการปรับตั้งค่าก่อนการบรรจุก๊าซ ปรับค่าตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปรทุกครั้งก่อนเริ่มงานโดยจะนำกระป๋องสเปรย์มาทำการทดสอบบรรจุก๊าซเพื่อให้ได้ค่าตามที่ต้องการ เมื่อได้ค่าที่ต้องการแล้ว พนักงานจะเริ่มเปิดสายพานลำเลียงกระป๋องเข้าสู่กระบวนการบรรจุก๊าซ โดยปัญหาจะเริ่มพบเมื่อผ่านไปค่ามวลที่บรรจุจะเปลี่ยนแปลงไปไม่ได้ค่าตามที่กำหนด หรือเมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมของวันนั้นเริ่ม

มีการเปลี่ยนแปลง และพนักงานจะต้องหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการปรับตั้งค่าเครื่องจักรใหม่อีกรอบ

หลักการสำคัญที่นำมาใช้ในเรื่องของการควบคุมกระบวนการบรรจุก๊าซ และการหาค่าที่ทนทานของปัจจัยที่ควบคุม คือ พยายามกำหนดค่าของปัจจัยที่ควบคุมได้ 1) แรงดันบรรจุก๊าซ 2) ความเร็วในการบรรจุก๊าซ และ 3) ปริมาตรกระบอกบรรจุก๊าซเป็นตัวแปรควบคุม 3 ปัจจัย ปัจจัยนี้จะเรียกว่า พารามิเตอร์ (parameter) เพื่อให้ทนทาน (robust) ต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้หรือปัจจัยรบกวน (noise factors) คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยรบกวน 1 ปัจจัย 3 ระดับ ที่ทำให้ความหนาแน่นของก๊าซเกิดการเปลี่ยนแปลง จึงนำไปสู่วิธีการออกแบบพารามิเตอร์ทนทาน (robust parameter design) โดยใช้เทคนิคทางสถิติ [2], [3] ซึ่งเป็นเทคนิคการแก้ปัญหาที่สะดวกสามารถลดจำนวนการทดลองทำให้มีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ต่ำ [4] ซึ่งต่างจากวิธีการควบคุมที่ใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ [5] หรือเทคนิคการควบคุมเชิงเส้น (proportional-integral-derivative control) [6] เพื่อลดความแปรปรวนและเพิ่มเสถียรภาพของกระบวนการ

จากนั้นดำเนินการทดลองด้วยวิธีทางสถิติเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ทนทาน ของแต่ละระดับของปัจจัย การทดลองนี้จะมี 3 ปัจจัย ควบคุมแบ่งเป็น 3 ระดับ และปัจจัยรบกวน มี 1 ปัจจัยแบ่งเป็น 3 ระดับ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกรูปแบบการทดลองแบบ Orthogonal Array L9 เนื่องจากมี 4 ปัจจัย 3 ระดับ โดยทำการจัดวางลำดับแบบแนวฉาก (orthogonal array) ทำการออกแบบปัจจัยที่ควบคุมได้ อยะเรย์ภายใน (inner array) และปัจจัยรบกวน อยะเรย์ภายนอก (outer array) จากนั้นนำทั้งสองอยะเรย์มารวมกันโดยการไขว้เรียกว่าการออกแบบอยะเรย์ไขว้ (crossed array design) เมื่อได้การออกแบบอยะเรย์ไขว้แล้ว จึงทำการทดลองและคำนวณเพื่อหาค่าตอบ และหาผลตอบสนองของความผันแปรซึ่งหาได้จากตัววัดทางสถิติ ซึ่งจะทำให้ความผันแปรโดยรวมของกระบวนการบรรจุก๊าซลดลง โดยงานวิจัยนี้ กำหนดให้การคำนวณเป็นค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-noise ratio: S/N) โดยได้เลือกใช้ค่า S/N ประเภทผลตอบสนองที่มีค่าตรงตามเป้าหมาย ค่ามวลที่บรรจุก๊าซ เข้าใกล้ค่ากลาง (nominal the best) สูตรที่ใช้คำนวณคือ $S/N = -\log(\frac{\bar{Y}^2}{S^2})$ ดังเช่น การประยุกต์วิธีการทางสถิติ เพื่อลดชิ้นงานเสียในกระบวนการประกอบแผ่นวงจรพิมพ์พีซีบี กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

[7] หรืองานวิจัยที่หาค่าที่ดีที่สุดของกระบวนการ โดยการนำเทคนิคทางสถิติเข้ามาช่วยปรับปรุงกระบวนการ [8], [9]

2) วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการบรรจุก๊าซเพื่อหาค่ามวลของก๊าซอยู่ในช่วงเป้าหมาย แม้ว่าจะมีปัจจัยภายนอกมารบกวน

2. เพื่อลดเวลาในการปรับตั้งค่าเครื่องจักรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

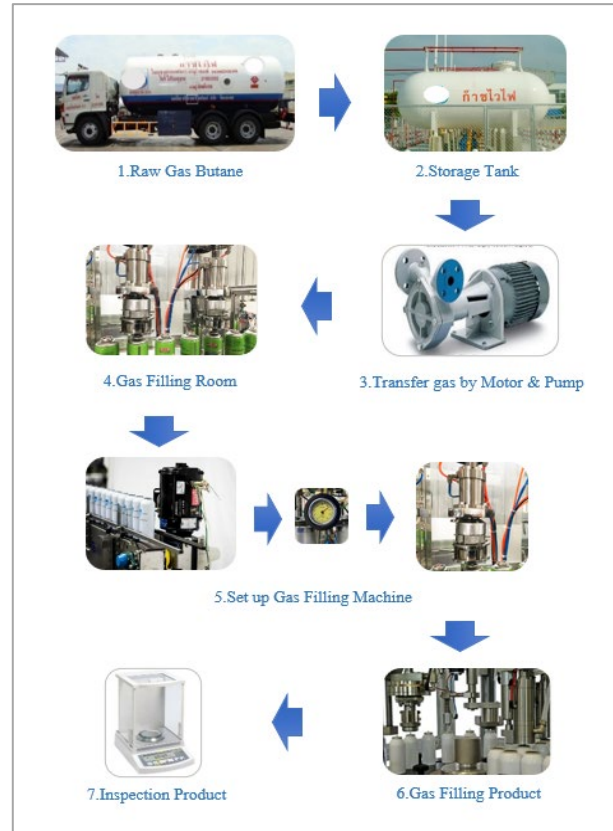
3. เพื่อลดของเสียและต้นทุนในกระบวนการผลิต

งานวิจัยนี้มีสมมติฐานว่า อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีผลต่อความหนาแน่นและมวลของก๊าซที่บรรจุลงผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาทฤษฎีของก๊าซ [10] และได้นำเทคนิคทางสถิติ การออกแบบพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เข้ามาปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพจากสภาวะปัจจุบัน โดยรวมทำให้ ค่ามวลบรรจุก๊าซอยู่ในค่าที่กำหนด ระยะเวลาปรับตั้งค่าลดลง และจำนวนของเสียลดลง

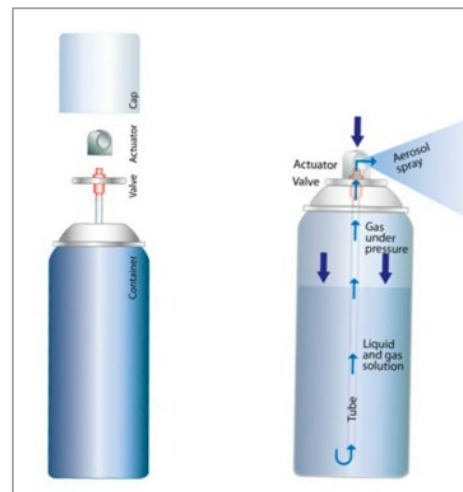
3) วิธีดำเนินการวิจัย

3.1) สภาวะปัจจุบันของกระบวนการ

โรงงานกรณีศึกษาในกลุ่มผลิตภัณฑ์ดูแลเส้นผม หนังสือระบร่างกาย และสเปรย์ระงับกลิ่นกาย โดยการศึกษาปัญหาในครั้งนี้ ได้ศึกษาผลิตภัณฑ์สเปรย์ระงับกลิ่นกาย ซึ่งมียอดการผลิตประมาณ 4,250,000 กระป๋องต่อปี และได้ทำการปรับปรุงในส่วนของการบรรจุก๊าซ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อสภาวะและส่งผลต่อการลดเวลาในการปรับตั้งค่าเครื่องจักร ยังช่วยลดจำนวนของเสียในกระบวนการบรรจุก๊าซ โดยรายละเอียดกระบวนการบรรจุก๊าซเริ่มต้นจาก 1) รถส่งก๊าซบิวเทน (Butane) มาส่งยังสถานที่เก็บก๊าซ 2) ทำการโหลดก๊าซบิวเทน มาเก็บยังถังเก็บก๊าซ (storage tank) 3) เมื่อก๊าซเก็บไว้แล้วพร้อมจ่ายก๊าซมายังห้องบรรจุ โดยทำการเพิ่มแรงดันบรรจุก๊าซ เพื่อจ่ายก๊าซมายังห้องบรรจุโดยใช้มอเตอร์และปั๊มทำหน้าที่จ่ายก๊าซ 4) เมื่อก๊าซถูกจ่ายมายังห้องบรรจุแล้ว 5) ทำการปรับตั้งค่าเครื่องจักร ความเร็วในการบรรจุก๊าซ ปรับตั้งค่าปริมาตรกระบอกบรรจุก๊าซ เพื่อให้ได้ค่ามวลของก๊าซตามค่ามาตรฐาน 6) จากนั้นทำการบรรจุก๊าซโดยปล่อยกระป๋องให้เข้าไปยังเครื่องบรรจุก๊าซ 7) หลังจากก๊าซถูกบรรจุลงกระป๋อง ทำการชั่งค่ามวลก๊าซเพื่อตรวจสอบคุณภาพให้ได้ตามค่าที่กำหนด หากไม่ได้ค่าที่กำหนด ให้ทำการปรับตั้งเครื่องจักรใหม่อีกรอบ จนกว่าจะได้ค่าตามที่กำหนด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 : กระบวนการบรรจุก๊าซ



รูปที่ 2 : ส่วนประกอบกระป๋องสเปรย์ [11]

ผลิตภัณฑ์สเปรย์ระงับกลิ่นกายมีส่วนประกอบส่วนผสมภายในแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) สารขับเคลื่อน (propellants) เป็นองค์ประกอบที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนสินค้าออกจากบรรจุภัณฑ์ 2) ตัวทำละลาย (solvent) ซึ่งมีหน้าที่เป็นตัวกลางทำลายให้ส่วนผสมของสินค้าเข้ากับสารขับเคลื่อน 3) ส่วนผสมสินค้า (active ingredient)

ส่วนผสมที่บรรจุอยู่ภายใน กระป๋องแอโรซอล (aerosols can) และอธิบายส่วนประกอบผลิตภัณฑ์สเปรย์ระงับกลิ่นกาย ดังรูปที่ 2

3.2) ศึกษาปัญหาของกระบวนการ

จากการศึกษาพบว่าในปัจจุบันในส่วนของกระบวนการบรรจุก๊าซมีการหยุดปรับตั้งค่าเครื่องจักรทำให้เสียเวลาและมีจำนวนของเสียเกิดขึ้นที่กระบวนการนี้ ทำให้ต้องทำการศึกษาและทำการแก้ไข ในการเริ่มต้นกระบวนการทำงานนั้นพนักงานจะทำการปรับตั้งค่ามวลก่อนการบรรจุก๊าซทุกครั้ง โดยจะนำกระป๋องสเปรย์มาทำการทดสอบบรรจุก๊าซเพื่อวัดค่าให้ได้ค่าตามมาตรฐานคือ ค่า 72.0 ± 1.0 กรัม/กระป๋อง เมื่อได้ค่าตามที่ต้องการแล้วพนักงานจะเริ่มเปิดสายพานลำเลียง (conveyor) ให้กระป๋องเข้าสู่กระบวนการบรรจุก๊าซ โดยปัญหาจะเริ่มพบเมื่อผ่านไปน้ำหนักของก๊าซที่บรรจุมีการเปลี่ยนแปลง โดยไม่ได้ค่ามวลตามที่กำหนดเนื่องจากสถานที่ปฏิบัติงานเริ่มจากถังจ่ายก๊าซมายังห้องบรรจุก๊าซทั้งบริเวณภายนอกและภายในห้องบรรจุก๊าซไม่ได้อยู่ในพื้นที่ปรับอากาศจึงทำให้อุณหภูมิ ความดัน ส่งผลต่อมวลของก๊าซโดยตรง จะพบว่าค่ามวลก๊าซของผลิตภัณฑ์ไม่ได้ตามค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ทำให้เกิดของเสียจากกระบวนการผลิต ส่งผลให้พนักงานต้องหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการปรับตั้งค่าเครื่องจักรใหม่อีกรอบซึ่งทำให้อุณหภูมิเสียเวลาระหว่างกระบวนการทำงาน

จากข้อมูลในอดีตเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2566 พบว่ากระบวนการการบรรจุก๊าซ ในแต่ละเดือนรวมมีเวลาที่สูญเสีย 4,638 นาที ในการปรับตั้งค่าเครื่องจักร และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพจำนวนทั้งหมด 16,671 กระป๋องที่เกิดจากค่ามวลก๊าซไม่ได้มาตรฐาน ดังตารางที่ 1 เพื่อนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาเปรียบเทียบและใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงครั้งนี้

ตารางที่ 1 : ข้อมูลกระบวนการบรรจุก๊าซ

เดือน	ยอดการผลิต (กระป๋อง)	เวลาหยุด เครื่องจักร (นาที)	จำนวน ของเสีย (กระป๋อง)	มูลค่า ของเสีย (บาท)
มกราคม	440,000	684	1,890	94,500
กุมภาพันธ์	350,000	380	1,530	76,500
มีนาคม	400,000	422	1,894	94,700
เมษายน	380,000	586	1,856	92,800
พฤษภาคม	350,000	369	1,653	82,650
มิถุนายน	420,000	495	1,564	78,200

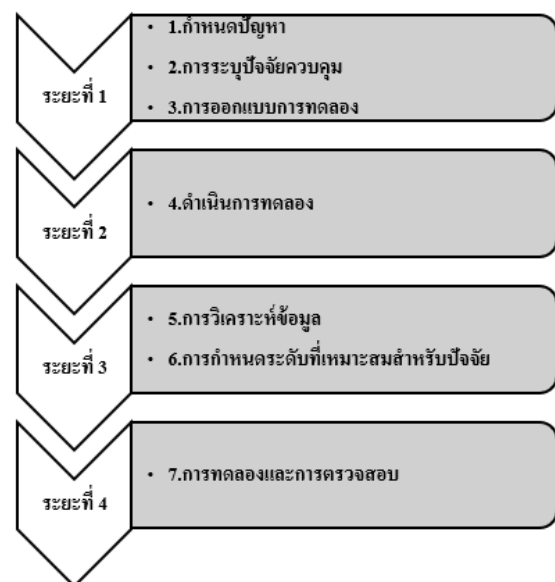
ตารางที่ 1 : ข้อมูลกระบวนการบรรจุก๊าซ (ต่อ)

เดือน	ยอดการผลิต (กระป๋อง)	เวลาหยุด เครื่องจักร (นาที)	จำนวน ของเสีย (กระป๋อง)	มูลค่า ของเสีย (บาท)
กรกฎาคม	380,000	442	1,465	73,250
สิงหาคม	412,000	420	1,695	84,750
กันยายน	422,000	430	1,715	85,750
ตุลาคม	422,000	410	1,409	70,450
รวม	3,976,000	4,638	16,671	833,550

โดยปัญหาที่ต้องทำการปรับปรุงแก้ไข คือค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้ค่ามวลอยู่ในช่วงเป้าหมายที่กำหนด โดยหลังการปรับปรุงจะส่งผลให้ เวลาในกระบวนการปรับตั้งค่าและจำนวนของเสียในกระบวนการลดลง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพหลังการปรับปรุงการผลิต

3.3) กำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา

การกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาในกระบวนการบรรจุก๊าซผลิตภัณฑ์สเปรย์ระงับกลิ่นกายด้วยเทคนิคทาคุชิ ได้กำหนดแผนการดำเนินงาน ตั้งแต่การเริ่มต้นกำหนดปัญหาของกระบวนการบรรจุก๊าซและได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตลอดจนถึงการทดลอง โดยได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินการ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 : ขั้นตอนในการดำเนินการ

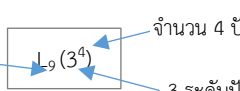
ตารางที่ 2 : พารามิเตอร์ระดับของปัจจัยในการทดลอง

ปัจจัย	พารามิเตอร์	ค่าของระดับ
ควบคุม	1.แรงดันบรรจุก๊าซ (MPa)	3 ระดับ : 1.6, 1.8, 2.0 เมกะปาสกาล
	2. ความเร็วในการบรรจุก๊าซ (can/minute)	3 ระดับ : 60, 65, 70 กระป๋องต่อนาที
	3. ปริมาตรกระบอกบรรจุก๊าซ (mL)	3 ระดับ : 128, 130, 132 มิลลิลิตร
รบกวน	1.อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C)	3 ระดับ : 1, 2, 3 ช่วงของ อุณหภูมิห้องเซลล์เชื้อเพลิง

ตารางที่ 3 : ตารางมาตรฐานทางสถิติ

จำนวน ปัจจัย	ระดับของปัจจัย			
	2	3	4	5
2	L4	L9	L16	L25
3	L4	L9	L16	L25
4	L8	L9	L16	L25
5	L8	L18	L16	L25
6	L8	L18	L32	L25
7	L8	L18	L32	L50
8	L12	L18	L32	L50
9	L12	L27	L32	L50
10	L12	L27	L32	L50
11	L12	L27	L32	L50
12	L16	L27	L32	L50
13	L16	L27	-	-
14	L16	36	-	-
15	L16	36	-	-
16	L32	36	-	-

L₉ จำนวนการทดลอง 9 การทดลอง



จำนวน 4 ปัจจัย
3 ระดับปัจจัย

ตารางที่ 4 : ผลการเปรียบเทียบรูปแบบการทดลอง

รูปแบบการทดลอง	จำนวนทดลอง (ครั้ง)	เวลาปรับตั้งค่า (นาฬิกา)	เวลาการทดลอง (นาฬิกา)	จำนวนตัวอย่าง (กระป๋อง)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
Full Factorial Design	81 (3 ⁴ = 81)	810 (81×10)	648 (81×8)	972 (81×12)	29,160 (972×30)
Taguchi Orthogonal Array L9	27 (จากตารางทางสถิติ L9)	270 (27×10)	216 (27×8)	324 (27×12)	9,720 (324×30)
ค่าที่ใช้สำหรับคำนวณ	จำนวนปรับพารามิเตอร์	10 นาที/ครั้งค่าเฉลี่ย	8 นาที/ครั้งค่าเฉลี่ย	12 กระป๋อง/ครั้ง	30 บาท/กระป๋อง

การศึกษาโดยเริ่มต้นจากกระบวนการเพิ่มแรงดันก๊าซเพื่อจ่ายก๊าซยังห้องบรรจุ ได้ทำการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อมวลก๊าซ สำหรับช่วงระดับของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมได้ทำการแบ่งออกเป็น 3 ช่วงดังนี้ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือระดับต่ำ (low) อุณหภูมิประมาณ 25–30 °C ระดับกลาง (middle) 31–35 °C และระดับสูง (high) อุณหภูมิประมาณ 36–40 °C ซึ่งเป็นช่วงของอุณหภูมิปฏิบัติงานจริงของบริเวณ ห้องบรรจุและสถานีจ่ายก๊าซ จากตารางที่ 2 แสดงปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทดลอง หากทำการทดลองแบบ Full Factorial Design จะต้องทำการทดลองทั้งสิ้น 3³×3¹ เท่ากับ 81 การทดลอง ซึ่งทำให้เสียเวลาและสูญเสียทรัพยากร เช่น วัสดุดิบ กระป๋องผลิตภัณฑ์สำหรับบรรจุก๊าซที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งไม่สามารถดำเนินการทดลองได้ทั้งหมดเนื่องจากกระทบกระบวนการผลิต

สำหรับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ จะต้องอาศัยในวันที่อุณหภูมิอยู่ในช่วงที่จะทำการทดลองจึงจะสามารถทำการทดลองในชุดข้อมูลนั้นได้ ในการกำหนดตารางแผนการทดลอง Matrix Experiment โดยใช้ตารางมาตรฐาน Orthogonal Array L9 มาใช้ในงานวิจัยนี้ พิจารณาจากจำนวนปัจจัยในการทดลอง และระดับของปัจจัย การทดลองนี้มีทั้งหมด 4 ปัจจัย ประกอบด้วย ปัจจัยควบคุม 3 ปัจจัย ปัจจัยรบกวน 1 ปัจจัย แต่ละปัจจัย มี 3 ระดับ จากมาตรฐาน Orthogonal Array ใช้สัญลักษณ์ L พิจารณาจากตารางมาตรฐานทางสถิติ (standard orthogonal array) ดังตารางที่ 3 สาเหตุที่เลือกใช้เทคนิคทางสถิติมาออกแบบเพื่อลดจำนวนการทดลองทำให้ช่วยประหยัดทรัพยากร เวลา และค่าใช้จ่าย โดยได้ทำการเปรียบเทียบ ดังตารางที่ 4 นอกจากนี้เทคนิคทางสถิติยังเหมาะสำหรับการหาค่าระดับของปัจจัยที่มีความทนทานต่อความแปรปรวนจากสภาพแวดล้อม ในการทดลองนี้ คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้จึงเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้เป็นอย่างมาก ในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูลได้นำโปรแกรม Minitab มาใช้เพื่อลดเวลาและความผิดพลาดจากการคำนวณค่าสถิติที่มีความซับซ้อน

3.4) ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

แนวทางในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาโดยใช้เทคนิคทางสถิติ และใช้โปรแกรม Minitab เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ เริ่มต้นด้วยการแบ่งกลุ่มปัจจัยออกเป็นสองกลุ่ม คือกลุ่มที่ 1 คือ ปัจจัยควบคุมได้ สำหรับกระบวนการนี้คือ 1) แรงดันบรรจุก๊าซ (filling pressure) หน่วยที่ใช้ เมกะปาสกาล (MPa)

2) ความเร็วในการบรรจุก๊าซ (gas filling speed) หน่วยที่ใช้
กระป๋องต่อนาที (can/minute) 3. ปริมาตรกระบอกบรรจุก๊าซ
(volume of gas cylinder) หน่วยที่ใช้มีลิลิตร (mL) ซึ่งเป็น
ปัจจัยที่ต้องควบคุมในขณะที่ทำการทดลองและเป็นค่าที่นำไปใช้
ในงานจริงในกระบวนการผลิต และกลุ่มที่ 2 ปัจจัยรบกวน ปัจจัย
นี้จะต้องสามารถควบคุมได้ขณะที่ทำการทดลอง แต่ไม่สามารถ
ควบคุมได้ขณะที่นำไปใช้ในกระบวนการผลิตคือ อุณหภูมิของ
สิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อก๊าซที่บรรจุ

จากนั้นทำการออกแบบการทดลองของแต่ละกลุ่มปัจจัยเป็น
2 ส่วนดังนี้ 1. ตารางการออกแบบสำหรับปัจจัยที่ควบคุมได้ หรือ
เรียกว่าอะเรียภายใน 2. ตารางการออกแบบสำหรับปัจจัยรบกวน
หรือเรียกว่า อะเรียภายนอก จากนั้นนำทั้งสองอะเรียมารวมกัน
โดยการไขว้เรียกว่า การออกแบบอะเรียไขว้ เมื่อได้การออกแบบ
อะเรียไขว้แล้วจึงทำการทดลอง ตามรูปแบบการออกแบบ โดยมี
ปัจจัยที่ควบคุมได้ 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ เมื่อได้ทำการ
กำหนดค่าของพารามิเตอร์ครบแล้ว ในส่วนของการเก็บข้อมูลและ
การทดลองนั้น จะต้องตรวจสอบว่า อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมในวัน
นั้นอยู่ใน Zone ไດ (Zone 1: 25–30 °C, Zone 2: 31–35 °C,
Zone 3: 36–40 °C) เช่น อุณหภูมิของวันที่ทำการทดลองอยู่ใน
ช่วง 27 องศาเซลเซียส จะอยู่ใน Zone 1 จะทำการทดลองและ
เก็บข้อมูลค่ามวลบรรจุก๊าซ เพื่อบันทึกข้อมูลลงในช่องของค่า
 Y_{11} , Y_{21} , Y_{31} , Y_{41} , Y_{51} , Y_{61} , Y_{71} , Y_{81} , และ Y_{91} โดยค่าที่ได้ คือ
ค่ามวลเฉลี่ย 6 หัวบรรจุ นำค่าที่ได้ทั้ง 6 หัวบรรจุ มาหาค่าเฉลี่ย
แล้วบันทึกลงในตารางการทดลอง พร้อมทั้งทำการปรับค่า
พารามิเตอร์ ตามค่า Run 1 ถึง Run 9 สำหรับใน Zone 2 และ
Zone 3 การเก็บข้อมูลทำรูปแบบเดียวกับการเก็บข้อมูล Zone 1
ดังตารางที่ 5

หลังจากได้ทำการเก็บข้อมูลลงในตาราง Orthogonal Array L9
จากนั้นวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมเทคนิคทากูชิ เพื่อหาค่าที่ทนทาน
สำหรับกระบวนการบรรจุก๊าซ และหาผลตอบสนองอิทธิพลของ
ตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความผันแปร ซึ่งจะทำให้ความผันแปรโดยรวม
ของกระบวนการบรรจุก๊าซลดลง กำหนดให้การคำนวณเป็นค่า
อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน โดยได้เลือกใช้ค่า S/N
ประเภทผลตอบสนองที่มีค่าตรงตามเป้าหมาย ค่ามวลที่บรรจุ
ก๊าซ เข้าใกล้ค่ากลาง (nominal the best) มากที่สุด

เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม แล้วนำ
ค่าที่ได้ไปทำการทดลองใช้ในกระบวนการเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์
ของค่ามวลบรรจุก๊าซว่า เมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละ

วันที่มีการผลิต ค่าที่ได้จะอยู่ในช่วงของค่ามาตรฐานหรือไม่ และ
เปรียบเทียบเวลาในการปรับตั้งค่า จำนวนครั้ง และจำนวนของ
เสียในกระบวนการผลิต

ตารางที่ 5 : รูปแบบตารางการเก็บข้อมูลการทดลอง

Run	Control Factors			Noise Factors		
	Pressure (MPa)	Speed (can/min)	Volume (mL)	Z.1 (°C)	Z.2 (°C)	Z.3 (°C)
1	1.6	60	128	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}
2	1.6	65	130	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}
3	1.6	70	132	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}
4	1.8	60	130	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}
5	1.8	65	132	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}
6	1.8	70	128	Y_{61}	Y_{62}	Y_{63}
7	2.0	60	132	Y_{71}	Y_{72}	Y_{73}
8	2.0	65	128	Y_{81}	Y_{82}	Y_{83}
9	2.0	70	130	Y_{91}	Y_{92}	Y_{93}

4) ผลการวิจัย

4.1) ดำเนินการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ทนทาน

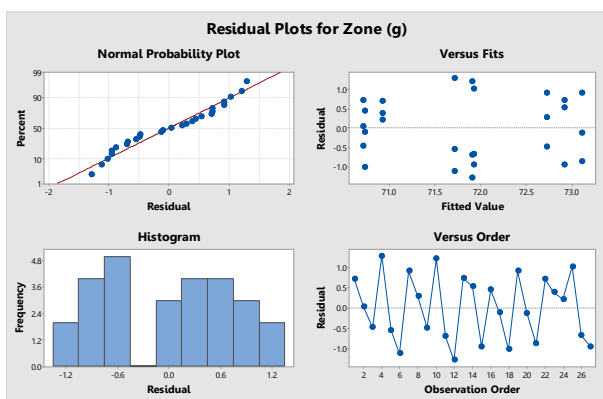
เริ่มทำการทดลองและเก็บข้อมูลในแต่ละช่วงของอุณหภูมิ
โดยแบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 3 Zone จากนั้นทำการบันทึกข้อ
มูลค่ามวลก๊าซแต่ละหัวบรรจุ ที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย เพื่อนำไปลง
ข้อมูลในตารางที่ 6 เพื่อจะนำค่าที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาค่า
ระดับของพารามิเตอร์ที่ทนทาน

ตารางที่ 6 : ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบอะเรียไขว้

Run	Control Factors			Noise Factors (°C)		
	MPa	Can/min	mL	Z. 1	Z. 2	Z. 3
1	1.60	60.00	128.00	71.43	70.74	70.24
2	1.60	65.00	130.00	73.00	71.16	70.59
3	1.60	70.00	132.00	73.63	73.00	72.23
4	1.80	60.00	130.00	73.12	71.21	70.62
5	1.80	65.00	132.00	73.64	73.45	71.97
6	1.80	70.00	128.00	71.18	70.62	69.70
7	2.00	60.00	132.00	74.02	72.98	72.23
8	2.00	65.00	128.00	71.63	71.31	71.14
9	2.00	70.00	130.00	72.96	71.24	70.97

4.2) วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab

นำค่าที่ได้จากตารางที่ 6 ไปทำการวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าปัจจัยที่ทนทาน เริ่มต้นจากการทวนสอบข้อมูลของกราฟที่ได้จะต้องมีการแจกแจงแบบปกติโดยวิเคราะห์กราฟ Residual Plots for Zone พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบสุ่มดังกราฟ Versus Order และมีการแจกแจงแบบปกติดังกราฟ Normal Probability Plot และ Histogram ในส่วนความผันแปรภายในกลุ่มย่อยมีค่าไม่แตกต่างกันจากกราฟ Versus Fits สรุปได้ว่า ข้อมูลชุดนี้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ต่อได้ กราฟทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 : กราฟแสดงส่วนตกค้างค่ามวลบรรจุภัณฑ์ทุกโซน

สำหรับค่าของแต่ละปัจจัยโดยใช้ค่า S/N ในการคำนวณเมื่อเรียงลำดับความสำคัญแล้ว (rank) พบว่าปัจจัย Volume มีอิทธิพลสูงสุด รองลงมาคือ ปัจจัย Pressure และปัจจัย Speed ตามลำดับ ดังตารางที่ 7 และ รูปที่ 5 ดังนั้น โดยหลักการแล้ว เพื่อให้ได้สภาวะที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ควบคุมไม่ได้จึงเลือกใช้ค่า S/N ที่มีค่าสูงสุดจากผลวิเคราะห์ ผลที่ได้ คือ ค่า Volume 128 mL, Pressure 2.0 MPa และ Speed 65 can/minute

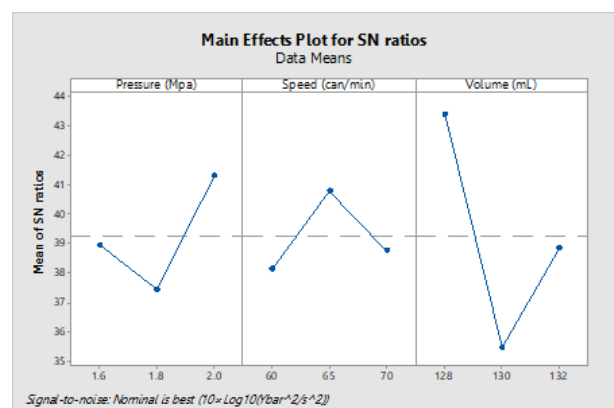
ผลที่วิเคราะห์ได้จากตารางที่ 8 และรูปที่ 6 พบว่าค่าอิทธิพลของ Volume มีอิทธิพลสูงสุดที่ระดับ 2 รองลงมา คือ ค่า Pressure ที่ระดับ 3 และ ค่า Speed ที่ระดับ 2 ตามลำดับ ดังนั้นค่าของ Volume มีค่าอิทธิพลสูงที่สุด รองลงมา คือ ค่า Pressure ที่ระดับ 3 และ ค่า Speed ที่ระดับ 2 ตามลำดับ ดังรูปที่ 7 และ รูปที่ 8 ซึ่งมีความสอดคล้องกับความเป็นจริง ตามทฤษฎีและจากประสบการณ์ทำงานโดยนำมาเปรียบเทียบกับตารางความสอดคล้องกับมวลบรรจุภัณฑ์ ดังตารางที่ 9

นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ผลจากกราฟปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละโซนที่ทำให้ค่าเข้าใกล้ค่าที่กำหนดมากที่สุด ได้ดังนี้

โซนที่ 1, 2, 3 ค่า Volume 128, 130 และ 132 mL ค่า Pressure 2.0, 2.0 และ 1.8 MPa ค่า Speed 65, 70 และ 65 can/minute ตามลำดับ ดังรูปที่ 9, 10 และ 11 ตามลำดับ

ตารางที่ 7 : ค่าอิทธิพลด้าน S/N ของแต่ละปัจจัย

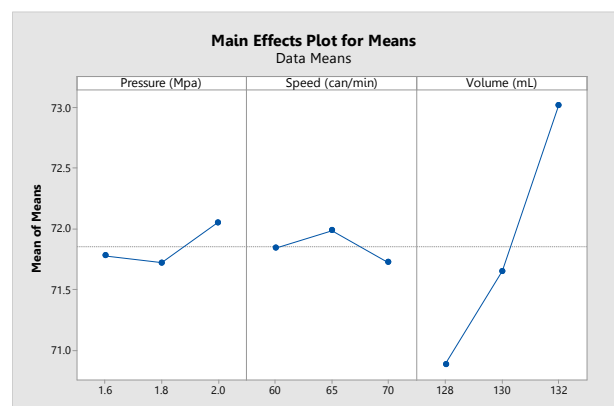
Level	Pressure (Mpa)	Speed (can/min)	Volume (mL)
1	38.94	38.13	43.40
2	37.43	40.79	35.45
3	41.31	38.76	38.84
Delta	3.88	2.66	7.95
Rank	2	3	1



รูปที่ 5 : กราฟแสดงค่าอิทธิพลด้าน S/N ของแต่ละปัจจัย

ตารางที่ 8 : ผลตอบสนองสำหรับค่าเฉลี่ย

Level	Pressure (Mpa)	Speed (can/min)	Volume (mL)
1	71.78	71.84	70.89
2	71.72	71.99	71.65
3	72.05	71.72	73.02
Delta	0.33	0.26	2.13
Rank	2	3	1



รูปที่ 6 : กราฟแสดงค่าอิทธิพลด้านค่าเฉลี่ย

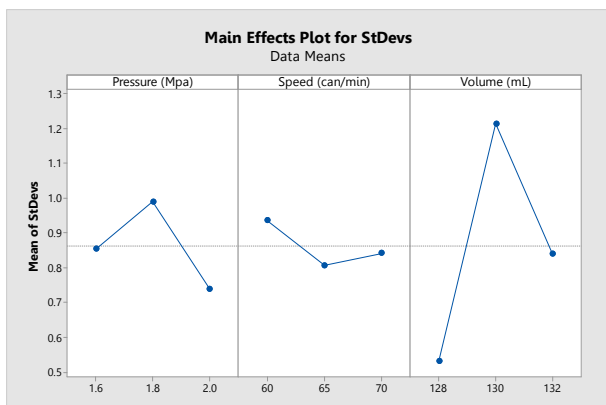
ตารางที่ 9 : ผลวิเคราะห์ความสอดคล้องค่าพารามิเตอร์กับค่ามวลบรรจุก๊าซ

ค่าพารามิเตอร์	การปรับค่า	ค่ามวล ก๊าซ	อัตราการเปลี่ยนแปลง
Pressure	มากขึ้น (+)	เพิ่มขึ้น (+)	แปรผันตรงกับค่ามวล ก๊าซ
	ลดลง (-)	ลดลง (-)	
Speed	มากขึ้น (+)	ลดลง (-)	แปรผกผันกับค่ามวล ก๊าซ
	ลดลง (-)	เพิ่มขึ้น (+)	
Volume	มากขึ้น (+)	เพิ่มขึ้น (+)	แปรผันตรงกับค่ามวล ก๊าซ
	ลดลง (-)	ลดลง (-)	

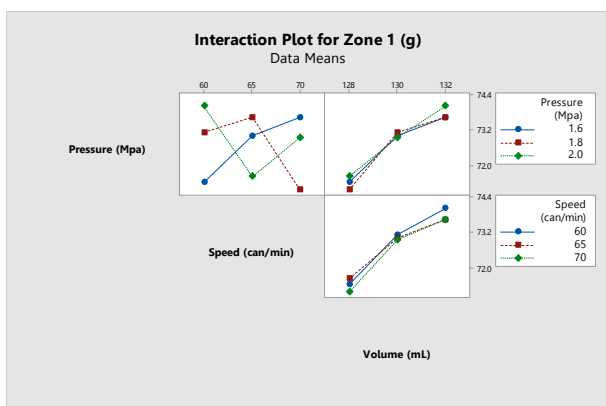
Response Table for Standard Deviations

Level	Pressure (Mpa)	Speed (can/min)	Volume (mL)
1	0.8547	0.9364	0.5309
2	0.9907	0.8072	1.2146
3	0.7403	0.8421	0.8401
Delta	0.2505	0.1292	0.6837
Rank	2	3	1

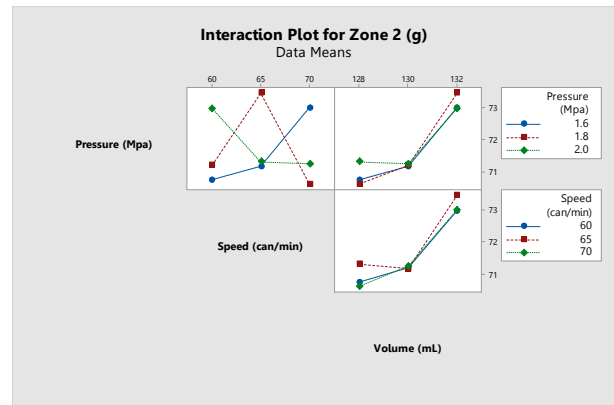
รูปที่ 7 : ผลตอบสนองสำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



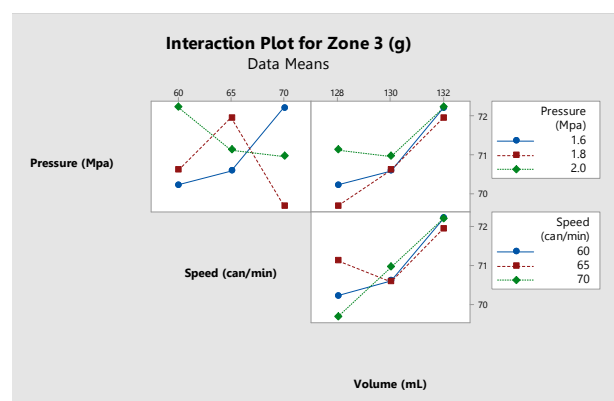
รูปที่ 8 : กราฟแสดงค่าอิทธิพลด้านค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 9 : กราฟปฏิสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยโซนที่ 1



รูปที่ 10 : กราฟปฏิสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยโซนที่ 2



รูปที่ 11 : กราฟปฏิสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยโซนที่ 3

4.3) ทำการทดลองและเก็บผลข้อมูลก่อนและหลังปรับปรุง

ขั้นตอนนี้จะทำการเก็บข้อมูลก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงหลังจากนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ คือ ค่า Volume ที่ระดับ 128 mL ค่า Pressure ที่ระดับ 2.0 MPa และค่า Speed ที่ระดับ 65 can/minute นำไปใช้ในกระบวนการเพื่อทำการปรับปรุงดังตารางที่ 10 และ 11 ตามลำดับ

ตารางที่ 10 : ข้อมูลก่อนปรับปรุง

วันที่	ยอดการผลิต (กระป๋อง)	หยุด ไลน์ (ครั้ง)	เวลา หยุด (นาที)	ของเสีย (กระป๋อง)	มวลก๊าซ เฉลี่ย (กรัม)
1	33,200	2	22	93	71.49
2	32,150	3	34	151	71.91
3	32,000	3	32	133	71.70
4	32,500	3	34	115	72.06
5	32,480	2	23	74	71.76
6	31,880	4	42	123	71.76
7	32,150	1	10	18	71.51

ตารางที่ 10 : ข้อมูลก่อนปรับปรุง (ต่อ)

วันที่	ยอดการผลิต (กระป๋อง)	หยุด ไลน์ (ครั้ง)	เวลา หยุด (นาฬิกา)	ของเสีย (กระป๋อง)	มวลก๊าซ เฉลี่ย (กรัม)
8	33,150	4	44	125	71.69
9	33,150	2	22	53	71.51
10	32,300	3	40	123	71.93
11	32,400	4	42	155	72.79
12	32,500	3	33	113	72.06
13	32,140	3	32	133	72.01
รวม	422,000	37	410	1,409	71.78

ตารางที่ 11 : ข้อมูลหลังปรับปรุง

วันที่	ยอดการผลิต (กระป๋อง)	หยุด ไลน์ (ครั้ง)	เวลา หยุด (นาฬิกา)	ของเสีย (กระป๋อง)	มวลก๊าซ เฉลี่ย (กรัม)
1	32,800	2	20	58	71.58
2	32,500	2	20	59	71.59
3	31,500	2	20	60	71.63
4	32,800	1	12	18	71.43
5	31,250	1	13	18	71.45
6	32,450	2	30	61	71.54
7	33,800	2	30	67	71.60
8	33,500	2	22	62	71.63
9	32,600	2	24	64	71.65
10	32,200	2	27	70	71.64
11	32,200	1	12	18	71.41
12	32,400	2	23	50	71.69
13	32,000	2	24	71	71.65
รวม	422,000	23	277	676	71.58

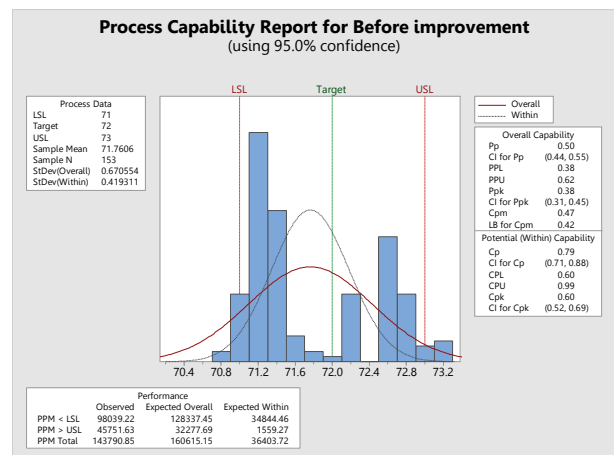
พบว่าหลังปรับปรุงค่าของ Cp และ Cpk มีค่าที่เพิ่มขึ้นดังนั้นค่าของความสามารถของกระบวนการดีขึ้น ดังตารางที่ 13 และรูปที่ 12 และรูปที่ 13

ตารางที่ 12 : ข้อมูลเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

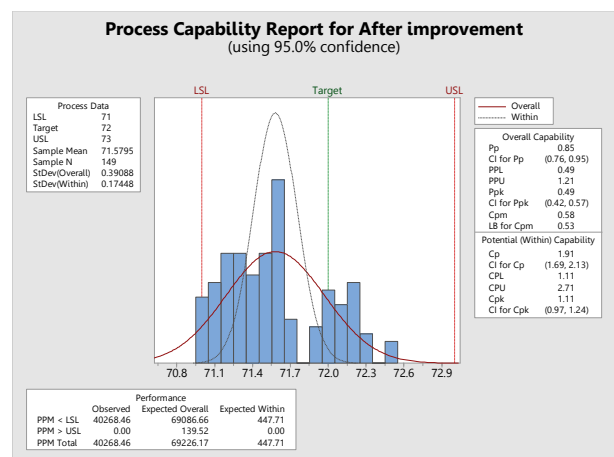
รายการเปรียบเทียบ (กรัม)	ก่อน ปรับปรุง	หลัง ปรับปรุง	เปรียบเทียบ (%)
ค่ามวลต่ำสุด-สูงสุด	70.87– 73.12	70.97– 72.54	30.22
ค่าพิสัย	2.25 g	1.57 g	30.22
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.67	0.39	41.79

ตารางที่ 13 : เปรียบเทียบค่าความสามารถของกระบวนการ

ค่าความสามารถ กระบวนการ	ก่อน ปรับปรุง	หลัง ปรับปรุง	เปรียบเทียบ (%)
Cp	0.79	1.91	141.77
Cpk	0.60	1.11	85



รูปที่ 12 : ค่าความสามารถกระบวนการก่อนปรับปรุง



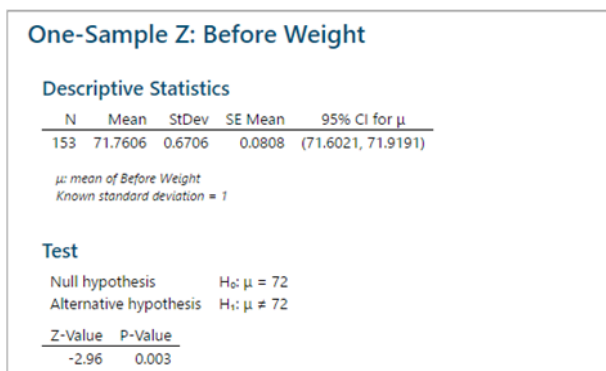
รูปที่ 13 : ค่าความสามารถกระบวนการหลังปรับปรุง

4.4) วิเคราะห์ผลหลังการปรับปรุง

หลังจากทำการปรับปรุง ส่งผลให้ลดเวลาการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์และจำนวนของเสียลดลง เมื่อนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับก่อนและหลังปรับปรุง โดยเก็บข้อมูลจำนวน 13 วันและยอดการผลิต 422,000 กระป๋อง ที่เท่ากัน ได้ค่าดังนี้ 1) ค่าค่ามวลสูงสุด-ต่ำสุด (กรัมต่อกระป๋อง) 2) ค่าพิสัย (กรัม) 3) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กรัม) พบว่าลดลง ตามลำดับทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น แต่ในส่วนของค่าเฉลี่ยมวลบรรจุภัณฑ์ที่ลดลง จะต้องทำการปรับปรุงเพื่อให้ค่าเข้าใกล้ค่ากลางที่ 72 กรัม ดังตารางที่ 12

เพื่อเป็นการตรวจสอบค่าความสามารถของกระบวนการ ได้ทำการวิเคราะห์ค่า Process Capability ได้ค่า Cp, Cpk ของค่ามวลบรรจุภัณฑ์ 72±1 กรัมต่อกระป๋องก่อนและหลังปรับปรุง

จากนั้นทำการทดสอบสมมติฐานว่ากระบวนการก่อนและหลังปรับปรุงดีขึ้นหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยได้ทำการทดสอบค่า z-value และค่า p-value พบว่า ค่าที่ได้ก่อนและหลังปรับปรุงมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ผลที่ได้ คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานทางเลือก H_1 เนื่องจากผลที่ได้มีค่าไม่เท่ากับค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 72 ทำให้ปฏิเสธสมมติฐานหลักทั้งคู่แต่หลังปรับปรุงพบว่ามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลง ดังรูปที่ 14 และ รูปที่ 15 ทำให้ต้องทำปรับปรุงกระบวนการต่อเพื่อให้ได้ค่าที่ยอมรับสมมติฐานหลัก H_0



รูปที่ 14 : ผลการทดสอบสมมติฐานก่อนปรับปรุง



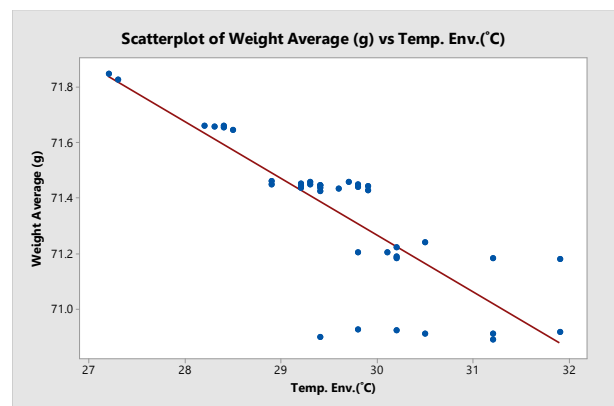
รูปที่ 15 : ผลการทดสอบสมมติฐานหลังปรับปรุง

5) อภิปรายผลและสรุปผล

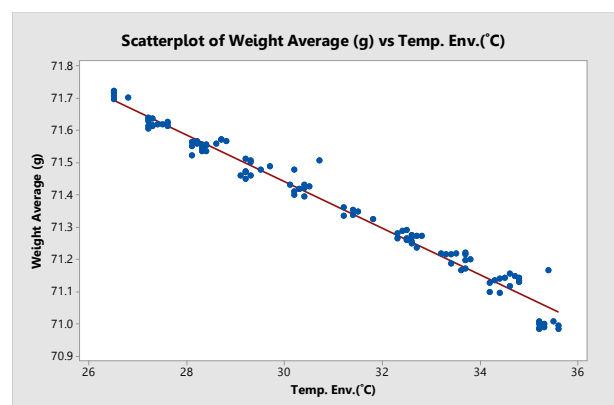
งานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการบรรจุก๊าซเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ทนทานสำหรับกระบวนการบรรจุก๊าซ ด้วยเทคนิคทาทุชิ โดยมีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยรบกวน ที่ทำให้ไม่ได้ค่ามาตรฐานตามที่กำหนดและ ใช้เทคนิคทาทุชิ ออกแบบตารางการทดลอง Orthogonal Array L9 และวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่มีอิทธิพลต่อปัจจัยด้วยโปรแกรม Minitab หลังจากได้ค่าทั้ง 3 ปัจจัย คือ 1) ปัจจัยปริมาตรบรรจุก๊าซที่ระดับ

128 mL 2) ปัจจัยแรงดันบรรจุก๊าซ ที่ระดับ 2.0 MPa และ 3) ปัจจัยความเร็วในการบรรจุก๊าซ ที่ระดับ 65 can/min ซึ่งเป็นค่าที่นำไปใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อให้ค่า อยู่ในช่วงเป้าหมายที่ตั้งไว้ คือ 71.00–73.00 g/can

เมื่อพิจารณาก่อนปรับปรุงพบว่า ที่อุณหภูมิประมาณ 29.4 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งมีความทนทานน้อยกว่าหลังปรับปรุงดังรูปที่ 16 หลังจากได้นำค่าพารามิเตอร์ไปใช้ในกระบวนการบรรจุก๊าซพบว่าค่าที่บรรจุ อยู่ในช่วงของค่าเป้าหมายในช่วงอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ 26.5–35.6 องศาเซลเซียส แต่หลังจากอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 35.6 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดดังรูปที่ 17



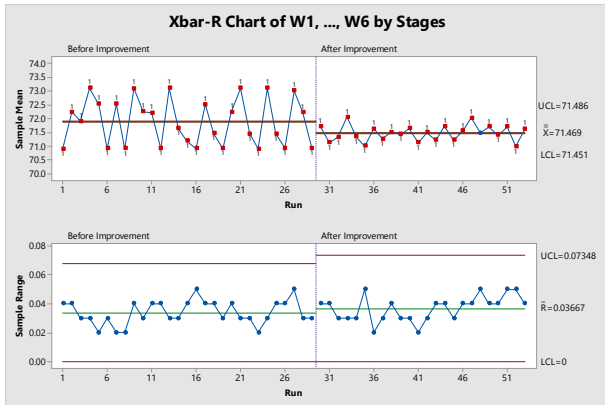
รูปที่ 16 : ค่ามวลบรรจุก๊าซและอุณหภูมิก่อนปรับปรุง



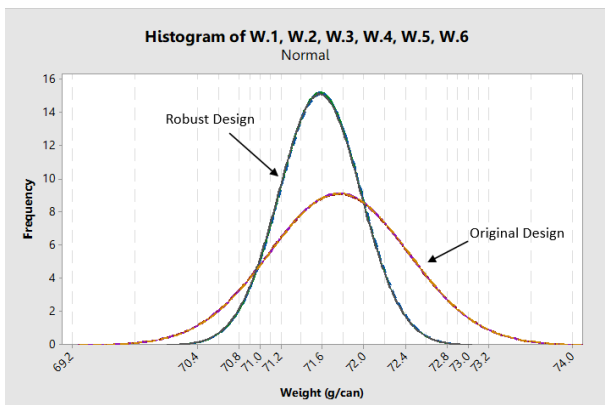
รูปที่ 17 : ค่ามวลบรรจุก๊าซและอุณหภูมิหลังปรับปรุง

หลังการปรับปรุงเมื่อค่ามวลบรรจุก๊าซต่ำกว่าค่ามาตรฐาน พนักงานบรรจุก๊าซจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ ค่าปริมาตรกระบอกบรรจุก๊าซ ที่ระดับ 130 mL จากเดิมที่ระดับ 128 mL ทำให้ค่ามวลบรรจุก๊าซได้ตามค่ามาตรฐานตามที่กำหนด ในช่วงของอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันที่มีการผลิต จาก

ข้อมูลหลังการปรับปรุง พบว่าค่าของ มวลก๊าซมีค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 70.97–72.54 g/can จากเดิมก่อนปรับปรุงที่มีช่วงค่ามวลที่กว้างกว่า คือ ช่วง 70.87–73.12 g/can ดังรูปที่ 18 และ รูปที่ 19



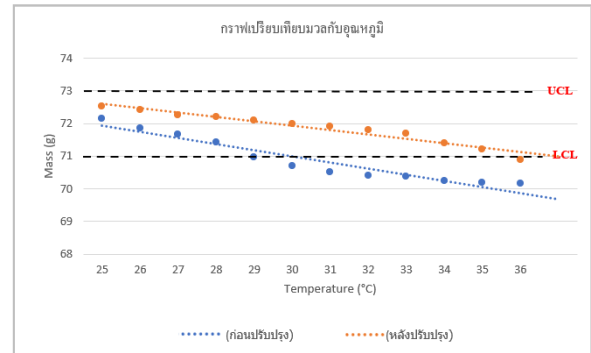
รูปที่ 18 : ค่ามวลก๊าซก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง



รูปที่ 19 : ค่ามวลก๊าซก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

สาเหตุที่ทำให้กระบวนการบรรจุก๊าซมีค่าที่ไม่คงที่เมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งส่งผลทำให้อุณหภูมิของก๊าซที่อยู่ในถังผสมและในท่อจ่ายก๊าซ มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ทำให้ปริมาตรและความหนาแน่นของก๊าซเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสอดคล้องกับ กฎของชาร์ล (Charles's Law) กล่าวว่า ปริมาตรของก๊าซที่มีมวลหนึ่ง ในความดันคงตัวจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาตรเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความหนาแน่นลดลงส่งผลให้ค่ามวลก๊าซลดลงด้วย และเมื่ออุณหภูมิลดลงปริมาตรลดลงทำให้ความหนาแน่นของก๊าซเพิ่มขึ้นส่งผลให้มวลเพิ่มขึ้น จากผลที่ได้หลังปรับปรุงโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ทนทาน พบว่าทำให้ค่ามีความทนทาน ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม เนื่องจากแรงดันที่ปรับเพิ่มขึ้น ช่วยทำให้ค่า

ความหนาแน่นมีค่าที่คงที่ในระดับที่ส่งผลให้การบรรจุก๊าซอยู่ในช่วงค่าเป้าหมายได้ แต่จากผลที่ได้พบว่ายังไม่สามารถทนทานต่อค่าของอุณหภูมิที่มากกว่า 35.6 องศาเซลเซียส ได้แสดงรูปภาพก่อนและหลังปรับปรุง โดยหลังปรับปรุงมีความทนทานมากขึ้น ดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 : กราฟเปรียบเทียบมวลกับอุณหภูมิก่อนและหลังปรับปรุง

สำหรับประโยชน์ในงานวิจัยนี้ สามารถนำหลักการและวิธีการไปใช้ในหน่วยงานที่มีกระบวนการผลิตที่คล้ายคลึงกับกระบวนการบรรจุก๊าซ เพื่อช่วยปรับปรุงกระบวนการให้ค่ามวลอยู่ในค่าเป้าหมาย อีกทั้งยังสามารถประยุกต์สร้างโมเดลสมการถดถอย (Regression Equation of Model) แบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้กับค่ามวลบรรจุก๊าซแต่ละผลิตภัณฑ์ที่มีค่าที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้ได้สร้างรูปแบบของสมการในแต่ละโซน ดังแสดงในสมการที่ (1), (2), และ (3)

โซนที่ 1: อุณหภูมิ 25 ถึง 30 องศาเซลเซียส

$$W = -2.83 + 0.499P - 0.271S + 0.5886V \quad (1)$$

โซนที่ 2: อุณหภูมิ 31 ถึง 35 องศาเซลเซียส

$$W = -2.10 + 0.520P - 0.0019S + 0.5620V \quad (2)$$

โซนที่ 3: อุณหภูมิ 36 ถึง 40 องศาเซลเซียส

$$W = 11.60 + 1.080P - 0.0062S + 0.4460V \quad (3)$$

โดยที่ W คือ มวลบรรจุก๊าซ

P คือ แรงดันบรรจุก๊าซ

S คือ ความเร็วบรรจุก๊าซ

V คือ ปริมาตรกระบอกบรรจุก๊าซ

จากนั้นเริ่มทำการทดสอบสมการเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเกินกว่าค่าที่ควบคุมได้ โดยการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สมการที่ได้ไปหาค่าในแต่ละโซนดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 : ค่าพารามิเตอร์ที่ทนทานต่อช่วงอุณหภูมิ

Temperature of Zone (°C)	Mass (g)	Parameter Setting		
		Pressure (MPa)	Speed (can/minute)	Volume (mL)
Zone 1	72.00	2.00	65.00	128.60
Zone 2	72.00	2.00	65.00	130.22
Zone 3	72.00	2.00	65.00	131.50

เมื่อได้ค่าแล้วจากนั้นทำการตรวจสอบว่าค่าที่ได้ใช้งานได้หรือไม่ทำการทดสอบ พบว่าค่ามวลที่บรรจุอยู่ในช่วงที่กำหนด ดังตารางที่ 15

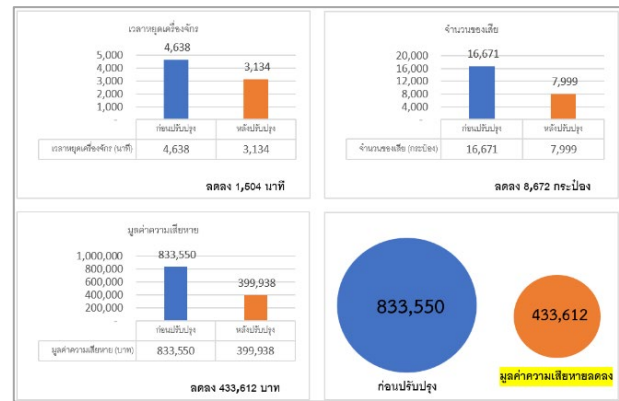
ตารางที่ 15 : ผลการทดสอบค่ามวลบรรจุภัณฑ์

Zone	Gas Filling Mass (g/can)						
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	Aver.
1	72.05	72.06	72.02	72.04	72.03	72.06	72.04
2	72.12	72.08	72.09	72.06	72.10	72.07	72.09
3	72.04	72.05	72.01	72.06	72.09	72.06	72.05

ซึ่งทำให้พนักงานในห้องบรรจุภัณฑ์ นำสมการนี้ไปใช้ปรับตั้งค่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิ ทำให้ช่วยลดการลงผิดลองถูก ส่งผลให้ระยะเวลาการคืนสภาพ (recovery time) และผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบลดลงดังตารางที่ 16 และเมื่อได้นำค่าร้อยละที่ลดลงหลังปรับปรุงไปเปรียบเทียบกับยอดการผลิตในอดีตที่ผ่านมา โดยคิดจาก 1) ยอดจำนวนของเสีย 2) เวลาปรับตั้งค่า และ 3) มูลค่าความเสียหาย ซึ่งช่วยให้สามารถประหยัดลงได้ 433,612 บาท ดังแสดงในรูปที่ 21

ตารางที่ 16 : ระยะเวลาการคืนสภาพก่อนและหลังปรับปรุง

ทดสอบครั้งที่	ระยะเวลาคืนสภาพ (นาท)		ผลิตภัณฑ์ทดสอบ (กระป๋อง)	
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
1	11.83	5.50	14	6
2	12.43	6.43	14	7
3	12.33	5.70	16	6
4	11.80	5.76	18	8
5	11.60	5.42	16	6
ค่าเฉลี่ย	12.00	5.76	15.60	6.60
ร้อยละ	52.00 หลังปรับปรุง		57.69 หลังปรับปรุง	



รูปที่ 21 : เปรียบเทียบมูลค่าความเสียหายที่ลดลง

สำหรับอุปกรณ์สำคัญในงานวิจัยครั้งนี้ คือ ค่าความดันของเครื่องจักรไม่สามารถเพิ่มเกิน 2.0 MPa ได้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพของเครื่องจักร ส่งผลให้ไม่สามารถทดสอบความสามารถในการทนต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นหากมีการทดลองเพิ่มเติมในอนาคต อาจจำเป็นต้องพิจารณาการเปลี่ยนเครื่องจักรเพื่อรองรับค่าความดันที่สูงขึ้น

ในด้านการแก้ไขปัญหา งานวิจัยนี้สามารถควบคุมน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดีผ่านการควบคุมพารามิเตอร์ในกระบวนการบรรจุภัณฑ์ ซึ่งสามารถทนต่อความแปรปรวนจากปัจจัยรบกวนของอุณหภูมิแวดล้อมได้ ทำให้มั่นใจว่ากระบวนการผลิตสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง อีกทั้งยังช่วยให้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้อย่างรวดเร็ว ลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร ทำให้ปริมาณการเติมก๊าซมีความสม่ำเสมอ ช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ ลดความสูญเสีย และเพิ่มประสิทธิภาพด้านต้นทุน

เทคนิคของทากูชิที่ใช้ในการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถแก้ไขปัญหาในกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ต้องลงทุนในเครื่องจักรใหม่ เพียงแค่ใช้การออกแบบการทดลองตามแนวทางของทากูชิเพื่อหาพารามิเตอร์ที่ทนทาน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการหรืออุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่ใกล้เคียงต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หลักสูตรเทคโนโลยีการจัดการทางวิศวกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช สนับสนุนโปรแกรม Minitab สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

REFERENCES

- [1] T. Wijit, "Business plan of cooling spray 'Cool time' for athlete," (in Thai), M.S. thematic paper, College Manage., Mahidol Univ., Bangkok, Thailand, 2019. [Online]. Available: <https://archive.cm.mahidol.ac.th/bitstream/123456789/3745/1/TP%20EM.033%202562.pdf>
- [2] K. Dehnad, *Quality Control, Robust Design, and the Taguchi Method*. Pacific Grove, CA, USA: Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software, 1989.
- [3] P. J. Ross, *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1988.
- [4] R. K. Roy, *A Primer on the Taguchi Method*, 2nd ed. Dearborn, MI, USA: Society of Manufacturing Engineers, 2010.
- [5] M. K. Ardakani, R. Noorossana, S. T. A. Niaki, and H. Lahijanian, "Robust parameter design using the weighted metric method - The case of 'the smaller the better'," *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.*, vol. 19, no. 1, pp. 59–68, 2009.
- [6] A.-W. A. Saif and M. A. Akram, "A Robust-Gain-Scheduled methodology for process parameter design and control with application to a carbonated beverage filling process," in *Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Eng. and Eng. Manage.*, Singapore, Dec. 2011, pp. 1670–1674.
- [7] S. Vongpeang and A. Prasanjai, "Application of Taguchi method for defect reduce assembly process on printed circuit board a case study of an electronics part factory," (in Thai), *J. Eng. Digit. Technol. (JEDT)*, vol. 7, no. 2, pp. 26–35, 2019.
- [8] S. Phutthasorn and P. Choungthong, "A study of optimized parameter for nickel based superalloys with abrasive waterjet cutting," *J. Eng. Digit. Technol. (JEDT)*, vol. 5, no. 1, pp. 1–4, 2017.
- [9] W. Chen, J. K. Allen, K.-L. Tsui, and F. Mistree, "A procedure for robust design: minimizing variations caused by noise factors and control factors," *J. Mech. Des.*, vol. 118, no. 4, pp. 478–485, 1996.
- [10] R. Chang, *General Chemistry*, 9th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2006.
- [11] European Aerosol Federation. "About Aerosols." AEROSOL.org. <https://www.aerosol.org/about-aerosols> (accessed Jul. 1, 2024).