Engng.J.CMU.(2019) 26 (2), 86-98

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

ผลกระทบของปัจจัยในกระบวนการบรรจุที่มีต่อปริมาตรเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

Effects of Factors in Packaging Process on Volume of Carbon Dioxide Mixed Beverage

ชานิดา กัมพลานนท์* และ นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์

Chanida Kampalanon* and Napassavong Osothsilp

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Chulalongkorn University, Phayathai Road, Patumwan, Bangkok 10330 Thailand
E-mail: chanida.kampalanon@gmail.com*, Napassavong.O@chula.ac.th

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มได้ให้ความสำคัญกับปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่ถูกบรรจุลงภายในบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในบรรจุภัณฑ์จะส่งผลต่อปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบหลักของปัจจัย และผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องโดยมีปัจจัยที่ทำการทดลอง 5 ปัจจัยได้แก่ 1. ความยาวของท่อระบาย 2. ระดับของวาล์วปิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 3. ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 4. ค่าความดันภายในถังเก็บ และ 5. ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้แบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางชนิด Faced Central Composite (CCF) ซึ่งมีจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 32 การทดลอง ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบหลักต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง คือ ความยาวท่อระบาย ส่วนปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง ได้แก่ 1. ความยาวของท่อระบายกับระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 2. ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับค่าความดันภายในถังเก็บ และ 3. ค่าความดันภายในถังเก็บกับค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ

ABSTRACT

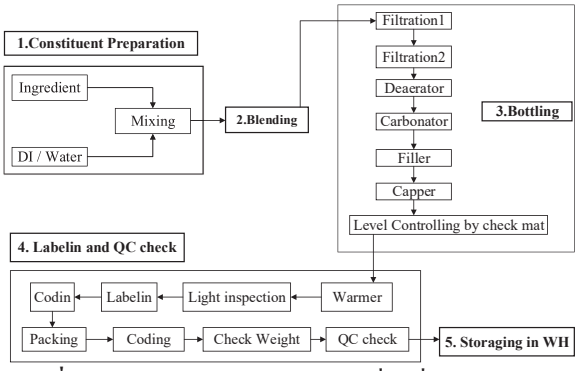
The beverage industry has focused on the volume of product water within packaging because it affects the amount of waste that occurs in the packaging process. This research aims to study the main effects and interaction effects of factors of the volume of product water within the can. Five factors were studied, which are the length of vent tube, the level of the CO_2 diaphragm valve, the level of the drain valve, the pressure inside the tank, and the product level inside the tank. The researcher applied the experimental design technique of the Central Composite Face-Centered (CCF) design type to investigate the effects. The results showed that the length of vent tube had significant effect on the volume of product water. Moreover, the significant interaction effects were the interactions between the length of vent tube and the level of the drain valve, the level of the drain valve and the pressure inside the tank, and the pressure inside the tank and product level inside the tank.

Received 10 April 2018
Revised 15 May 2018
Accepted 18 May 2018

1. บทนำ

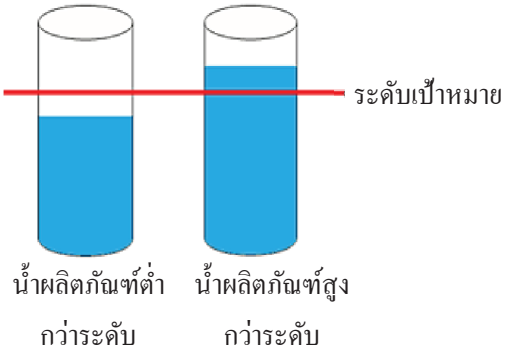
อุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่มีส่วนผสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอุตสาหกรรมที่มีแนวโน้มการเติบโตของธุรกิจในทิศทางที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะมีความต้องการของผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้น และปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่มีส่วนผสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีการแข่งขันทางการตลาดที่สูงทำให้โรงงานผลิตต้องวางแผนการเพิ่มคุณภาพสินค้า และลดต้นทุนการผลิตควบคู่กันเพื่อสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันทางการตลาด

กระบวนการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่มีส่วนผสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะประกอบด้วย 5 กระบวนการ ได้แก่ 1. กระบวนการเตรียมส่วนประกอบ 2. กระบวนการกวน 3. กระบวนการบรรจุ และปิดฝา 4. กระบวนการติดฉลากภาษีอากรและตรวจสอบผลิตภัณฑ์ และ 5. กระบวนการจัดเก็บ กระบวนการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของโรงงานกรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพกระบวนการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่มีส่วนผสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ปัจจุบันกระบวนการบรรจุของโรงงานกรณีศึกษามีมูลค่าความสูญเสียคิดเป็นร้อยละ 80.92 ของมูลค่าความสูญเสียรวมทั้งกระบวนการผลิต ซึ่งความสูญเสียในกระบวนการบรรจุเกิดจากปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่บรรจุลงในกระป๋องไม่ตรงตามค่าเป้าหมาย ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการบรรจุได้สองกรณี คือ น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (Under filled) และน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (Overfilled) รูปที่ 2 แสดงกรณีการเกิดของเสียในกระบวนการบรรจุทั้งสองกรณี



รูปที่ 2 กรณีการเกิดของเสียในกระบวนการบรรจุ

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบหลักของปัจจัย และผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง โดยกระบวนการบรรจุนั้นแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

1. ขั้นตอนการไล่อากาศออกจากกระป๋อง (Deaerator)

ขั้นตอนการไล่อากาศออกจากกระป๋องเริ่มจากอากาศภายในกระป๋องถูกไล่ออกจากกระป๋องโดยใช้แรงดันจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มาจากถังเก็บน้ำผลิตภัณฑ์ (Ring bowl) โดยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะไหลมาทางท่อระบาย (Vent tube) ลงสู่กระป๋อง และไล่อากาศออกจากกระป๋องผ่านทางวาล์วไล่อากาศ

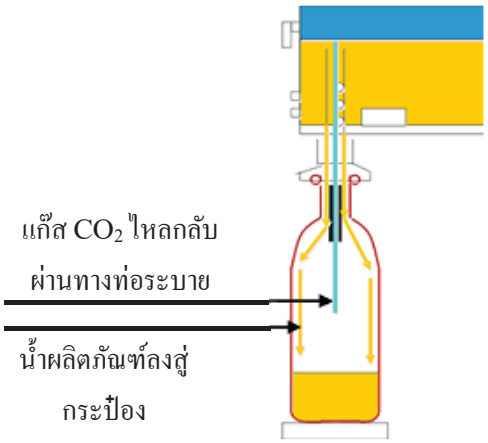
2. ขั้นตอนการเติมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbonator)

ขั้นตอนการเติมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเข้าสู่กระป๋องผ่านทางท่อระบายเพื่อเป็นการไล่อากาศออกจากกระป๋อง และเพื่อเป็นการปรับความดันภายในกระป๋องให้พร้อมเข้าสู่กระบวนการเติม

3. ขั้นตอนการเติม (Filler)

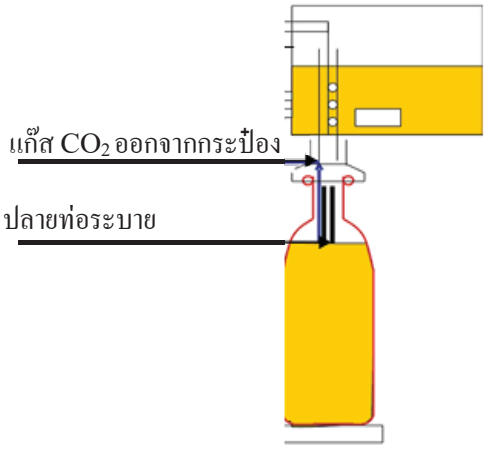
ขั้นตอนการเติมเริ่มจากความดันภายในกระป๋องน้อยกว่าความดันภายในถังเก็บน้ำผลิตภัณฑ์ทำให้

น้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บถูกดันด้วยแรงดันเป็นผลให้น้ำผลิตภัณฑ์ไหลเข้าสู่กระป๋อง และเมื่อน้ำผลิตภัณฑ์ไหลเข้าสู่กระป๋องแล้ว น้ำผลิตภัณฑ์จะเข้าไปแทนที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต้องไหลกลับไปยังถังเก็บน้ำผลิตภัณฑ์ผ่านทางท่อระบายเช่นเดิม ขั้นตอนการเติมน้ำผลิตภัณฑ์เข้าสู่บรรจุภัณฑ์แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการเติมน้ำผลิตภัณฑ์เข้าสู่บรรจุภัณฑ์

นอกจากนั้นลักษณะเครื่องบรรจุของโรงงานกรณีศึกษามีลักษณะระบบการบรรจุประเภทบรรจุจนถึงระดับที่กำหนด (Level-sensing filler) ทำให้เมื่อน้ำผลิตภัณฑ์ถูกบรรจุจนถึงปลายท่อระบายซึ่งเป็นระดับที่กำหนด ระบบควบคุมจะปิดการไหลของน้ำผลิตภัณฑ์ทันที [1] เมื่อน้ำผลิตภัณฑ์หยุดไหลลงสู่กระป๋อง วาล์วปิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะทำหน้าที่ปิดทางท่อระบายเพื่อปิดการไหลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างภายในกระป๋องกับภายในถังเก็บน้ำผลิตภัณฑ์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ยังคงเหลืออยู่ภายในกระป๋องจะถูกปล่อยออกทางวาล์วไล่อากาศ ซึ่งในขั้นตอนนี้วาล์วไล่อากาศทำหน้าที่เป็นวาล์วไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยขั้นตอนดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 4 และสุดท้ายหลังจากกระป๋องบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์เรียบร้อยแล้วจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องปิดฝาต่อไป



รูปที่ 4 น้ำผลิตภัณฑ์บรรจุถึงปลายท่อระบายและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากกระป๋อง

4. ขั้นตอนการตรวจสอบระดับน้ำผลิตภัณฑ์ (Level Controlling)

ขั้นตอนการตรวจสอบระดับน้ำผลิตภัณฑ์นั้นมีเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบ คือ Check mat เป็นเครื่องเซนเซอร์ตรวจสอบระดับน้ำผลิตภัณฑ์ของแต่ละกระป๋อง ถ้าพบกระป๋องที่มีระดับน้ำผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าเกณฑ์ระดับที่กำหนด กระป๋องนั้นจะถูกคัดออกจากสายการผลิตกลายเป็นของเสีย (Reject)

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบรรจุก่อนหน้านี้ ได้แก่ กระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม กระบวนการบรรจุครีมยืดผม กระบวนการบรรจุนม และกระบวนการบรรจุปุ๋ย พบว่าสาเหตุที่ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ไม่ตรงตามค่าเป้าหมายแบ่งออกเป็น 5 หมวดหมู่ดังแสดงในตารางที่ 1

สาเหตุที่แสดงในตารางที่ 1 รวบรวมจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบรรจุก่อนหน้านี้ คือ งานวิจัยของ Dewa ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดของเสียในกระบวนการบรรจุของเหลวและกระบวนปิดฝาเพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพ

ตารางที่ 1 สาเหตุที่ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ไม่ตรงตามค่าเป้าหมาย

หมวดหมู่	สาเหตุ
คน	พนักงานจดค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ภายในบรรจุภัณฑ์ไม่ถูกต้อง
	พนักงานยอมรับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน
	พนักงานตั้งค่าพารามิเตอร์ผิด
	พนักงานไม่ได้รับการอบรม
เครื่องจักร	หัวบรรจุชำรุด
	ท่อระบายชำรุด
	การสึกหรอของสกรู
	วาล์วชำรุด
	ไม่มีการบำรุงซ่อมแซมเครื่องจักร
วิธีการ	การตั้งค่าความดันไม่เหมาะสม
	อัตราการป้อนเข้าสู่เครื่องบรรจุไม่เหมาะสม
	ความเร็วในการบรรจุผลิตภัณฑ์ไม่เหมาะสม
	ความยาวท่อระบายไม่เหมาะสม
	การเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่บรรจุบ่อย
	อุณหภูมิในการบรรจุไม่เหมาะสม
วัสดุ	ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ไม่คงที่
	อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ไม่คงที่
	ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน
การวัด	เครื่องวัดไม่มีการสอบเทียบ
	ระบบการวัดไม่เที่ยงตรง
	เครื่องวัดไม่ได้ทำความสะอาด
	เครื่องวัดไม่ได้รับการซ่อมบำรุง
สภาพแวดล้อม	ปริมาณฝุ่นละอองมาก
	อากาศไม่ถ่ายเท

โดยใช้แผนผังสาเหตุและผลเพื่อระบุสาเหตุที่ส่งผลให้เกิดของเสียในกระบวนการบรรจุ โดยสาเหตุที่วิเคราะห์ได้แบ่งออกเป็น 5 หมวดหมู่ ได้แก่ คน เครื่องจักร วิธีการ วัสดุ และการวัด [2] ส่วนงานวิจัยของ Baía จะศึกษาการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการบรรจุปุ๋ยเกินน้ำหนักโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา และใช้แผนผังสาเหตุและผลเพื่อระบุหาสาเหตุที่ส่งผลให้เกิดของเสียในกระบวนการบรรจุ แต่สาเหตุที่วิเคราะห์ได้จะมีความแตกต่างกับงานวิจัยของ Dewa เล็กน้อย เนื่องจากงานวิจัยของ Baía เป็นกระบวนการบรรจุของแข็ง โดยสาเหตุที่วิเคราะห์ได้แบ่งออกเป็น 4 หมวดหมู่ ได้แก่ คน เครื่องจักร การวัด และสภาพแวดล้อม [3] นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยของ Desai ที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา เพื่อปรับปรุงกระบวนการบรรจุนม เนื่องจากเกิดปัญหาน้ำหนักนมในกล่องมีค่าปริมาตรไม่ตรงตามค่าเป้าหมาย ซึ่งใช้แผนผังสาเหตุและผลในการวิเคราะห์สาเหตุ โดยสาเหตุที่วิเคราะห์ได้แบ่งออกเป็น 5 หมวดหมู่ ได้แก่ คน เครื่องจักร วิธีการ วัสดุ และ การวัด [4] และงานวิจัยของ วศินพันธ์เมฆากุล ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความผันแปรของน้ำหนักบรรจุภายในขวดที่บรรจุด้วยเครื่องบรรจุ Filpac งานวิจัยนี้ใช้แผนผังสาเหตุและผลในการหาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่จะส่งผลต่อความผันแปรของน้ำหนักบรรจุภายในขวด และออกแบบการทดลอง 2^k แฟกทอเรียล เพื่อหาผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยที่ส่งผลต่อน้ำหนักบรรจุภายในขวด ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อน้ำหนักบรรจุภายในขวดอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ความเร็วดูด และความเร็วบรรจุ [5] และสุดท้ายงานวิจัยของ หทัยชนก พรหมศร ที่ศึกษาเกี่ยวกับการลดปริมาณของเสียในกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับเส้นผมของโรงงานกรณีศึกษา โดยใช้หลักการซิกซ์ ซิกมาในการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาได้ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ คือ แผนผังสาเหตุและผล สามารถสรุปสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดได้ 4 หมวดหมู่ คือ คน เครื่องจักร วัสดุ และวิธีการ [6]

งานวิจัยนี้นำปัจจัย 2 ปัจจัยที่ได้จากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้าคือ ความยาวของท่อระบาย และค่าความดันภายในถังเก็บมาวิเคราะห์ เนื่องจากผู้วิจัยพบว่าปัจจัยที่

ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ไม่ตรงตามค่าเป้าหมายในงานวิจัยก่อนหน้านั้นมีเพียงปัจจัย 2 ปัจจัยดังกล่าวที่สอดคล้องกับลักษณะการทำงานของเครื่องบรรจุที่ทางโรงงานกรณีศึกษาใช้ดำเนินการบรรจุ โดยเครื่องบรรจุของทางโรงงานกรณีศึกษามีลักษณะเป็นแบบบรรจุจนถึงระดับที่กำหนด และระดับที่กำหนดคือปลายท่อระบาย ทำให้ความยาวของท่อระบายจึงอาจมีผลกระทบอย่างมากต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง และขั้นตอนการเติมของเครื่องบรรจุที่ทางโรงงานกรณีศึกษาใช้ดำเนินการบรรจุนั้นใช้ความดันภายในถังเก็บทำให้น้ำผลิตภัณฑ์ไหลเข้าสู่กระป๋อง ค่าความดันภายในถังเก็บจึงอาจจะมีผลกระทบอย่างมากต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง ส่วนปัจจัยอื่นในหมวดหมู่วิธีการ ในงานวิจัยก่อนหน้าที่ไม่ได้นำมาวิเคราะห์ เนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

1. อัตราการป้อนเข้าสู่เครื่องจักรไม่ได้นำมาวิเคราะห์ เพราะเครื่องบรรจุของโรงงานกรณีศึกษาจะป้อนน้ำผลิตภัณฑ์เข้าสู่ถังเก็บน้ำผลิตภัณฑ์ให้ถึงระดับที่กำหนดก่อนจะเริ่มกระบวนการบรรจุ ปัจจัยอัตราการป้อนเข้าสู่เครื่องจักรจึงไม่มีผลกระทบต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

2. ความเร็วในการบรรจุผลิตภัณฑ์ไม่ได้นำมาวิเคราะห์ เพราะเครื่องบรรจุของโรงงานกรณีศึกษานั้นจะมีความเร็วในการบรรจุผลิตภัณฑ์มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความดันภายในถังเก็บ ฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงไม่ศึกษาปัจจัยเรื่องความเร็วในการบรรจุ เนื่องจากได้ศึกษาปัจจัยเรื่องความดันภายในถังเก็บแล้ว

3. การเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่บรรจุบ่อยไม่ได้นำมาวิเคราะห์ เพราะการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่บรรจุบ่อยเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ ขึ้นอยู่กับการต้องการของตลาด การจัดตารางการผลิต เป็นต้น

4. อุณหภูมิในการบรรจุไม่ได้นำมาวิเคราะห์ เพราะโรงงานกรณีศึกษาเคยทำการศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมแล้ว และกำหนดค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการบรรจุผลิตภัณฑ์ ปัจจัยนี้จึงไม่นำมาวิเคราะห์ในงานวิจัย

ส่วนปัจจัยในหมวดหมู่อื่นที่ไม่นำมาวิเคราะห์ เนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

1. หมวดหมู่คน ไม่นำมาวิเคราะห์ เนื่องจากพนักงานของโรงงานกรณีศึกษาได้รับการอบรมเกี่ยวกับกระบวนการบรรจุ และปฏิบัติงานได้ตามวิธีการที่กำหนดแล้ว

2. หมวดหมู่เครื่องจักร เนื่องจากเครื่องจักรของโรงงานกรณีศึกษาได้รับการบำรุง ซ่อมแซม และตรวจสอบการชำรุดอย่างสม่ำเสมอ

3. หมวดหมู่วัสดุ เนื่องจากทางโรงงานกรณีศึกษามีฝ่ายตรวจสอบ และควบคุมคุณสมบัติของน้ำผลิตภัณฑ์ก่อนการบรรจุให้มีความคงที่ในทุก ๆ รอบการผลิต

4. หมวดหมู่การวัด เนื่องจากกระบวนการวัดในกระบวนการบรรจุของโรงงานกรณีศึกษาผ่านการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่น่าเชื่อถือ

5. หมวดหมู่สภาพแวดล้อม เนื่องจากกระบวนการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษาเป็นระบบปิด สภาพแวดล้อมจึงไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการบรรจุ

ปัจจัยในหมวดหมู่ คน เครื่องจักร วัสดุ การวัด และสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเกิดปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่ตรงตามค่าเป้าหมายน้อย งานวิจัยนี้จึงเลือกปัจจัยความยาวของท่อระบาย และปัจจัยค่าความดันภายในถังเก็บมาวิเคราะห์ผลกระทบหลักของปัจจัยและผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง และได้ศึกษาปัจจัยที่ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ไม่ตรงตามค่าเป้าหมายเพิ่มเติมที่แตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้าอีก 3 ปัจจัย คือ ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ และระดับของวาล์วปิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจาก

กระบวนการบรรจุของโรงงานกรณีศึกษาเป็นการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จึงเป็นเหตุผลทำให้สาเหตุที่มีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ไม่ตรงตามค่าเป้าหมายแตกต่างจากกระบวนการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีส่วนผสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยผู้วิจัยและคณะทีมงานผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการบรรจุซึ่งประกอบด้วย วิศวกรฝ่ายผลิตและควบคุมเครื่องจักร วิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุง และวิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพ ประชุมระดมความคิดและพบว่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยอาจจะมีผลกระทบอย่างมากต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง โดยปัจจัยระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นั้น ถ้าระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เปิดแคบไป ทำให้ขั้นตอนการไล่อากาศภายในกระป๋องยังมีปริมาณอากาศซึ่งมีแก๊สออกซิเจนปะปนอยู่ อาจส่งผลต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์และคุณภาพน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง ในทางกลับกันถ้าระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เปิดกว้างเกินไปในขั้นตอนการไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อาจทำให้มีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ซึ่งอยู่ในรูปแบบฟองถูกไล่ออกจากกระป๋องมาก ส่งผลให้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องน้อยกว่าปริมาตรเดิม ส่วนปัจจัยค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บนั้น ถ้าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ในถังเก็บมากเกินไป จะส่งผลให้มีแรงดันในการเติมน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องมาก น้ำผลิตภัณฑ์จึงเคลื่อนที่ลงมาสู่กระป๋องอย่างรวดเร็ว ทำให้กระบวนการบรรจุมีค่าความเร็วในการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องสูงเป็นผลให้น้ำผลิตภัณฑ์เกิดฟอง และฟองไปแตะท่อระบายก่อนที่ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์จะเท่ากับ 250 มิลลิลิตร ในทางกลับกันถ้าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ในถังเก็บต่ำเกินไป จะส่งผลให้มีแรงดันในการเติมน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องน้อย น้ำผลิตภัณฑ์จึงเคลื่อนที่ลงมาสู่กระป๋องค่อยข้างช้า ส่งผลถึงปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องและความเร็วในการบรรจุผลิตภัณฑ์ของกระบวนการบรรจุ และปัจจัยระดับของวาล์วปิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นั้น วาล์วปิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทำหน้าที่ปิดการไหลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างถังเก็บกับภายในกระป๋อง ถ้ากรณีที่ความดันภายในถังเก็บสูงกว่าภายในกระป๋องแล้วระดับของวาล์วปิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ระดับต่ำ จะทำให้วาล์วปิดไม่สนิท อาจมีโอกาสที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะไหลเพิ่มเติมมาจากถังเก็บ ทำให้ภายในกระป๋องนั้นมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มาก เมื่อปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มาก จึงทำให้ปริมาณฟองมากด้วย ส่งผลให้ในขั้นตอนสุดท้ายที่มีการไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อาจทำให้มีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ซึ่งอยู่ในรูปแบบฟองถูกไล่ออกจากกระป๋องไปด้วย ส่งผลให้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ในกระป๋องน้อยกว่าปริมาตรเดิม แต่ถ้าในกรณีความดันภายในถังเก็บต่ำกว่าภายในกระป๋องแล้วระดับวาล์วปิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ระดับสูงจะทำให้วาล์วปิดสนิทส่งผลให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถที่จะไหลจากกระป๋องไปยังถังเก็บได้ ทำให้ภายในกระป๋องนั้นมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มาก เมื่อปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากจึงทำให้ปริมาณฟองมากด้วย ส่งผลให้ในขั้นตอนสุดท้ายที่มีการไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อาจทำให้มีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ ซึ่งอยู่ในรูปแบบฟองถูกไล่ออกจากกระป๋องไปด้วย ส่งผลให้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ในกระป๋องน้อยกว่าปริมาตรเดิม ดังนั้นจากการระดมความคิดของผู้วิจัยและคณะทีมงานผู้เชี่ยวชาญจึงทำให้งานวิจัยนี้เลือกระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ และระดับของวาล์วปิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มาวิเคราะห์ผลกระทบหลักของปัจจัยและผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

งานวิจัยนี้จึงมีปัจจัย 5 ปัจจัยที่จะทำการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบหลักของปัจจัยและผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง ได้แก่ ความยาวของท่อระบาย ค่าความดันภายในถังเก็บ ระดับของวาล์วปิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ระดับ

ของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ

3. วิธีการ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบหลักของปัจจัยและผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง และหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

3.1 รูปแบบการทดลอง

ผู้วิจัยเลือกการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางชนิด Faced Central Composite (CCF) แบบครึ่งหนึ่งในการออกแบบการทดลองเนื่องด้วยเหตุผล ดังต่อไปนี้

1. การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลาง แบบครึ่งหนึ่งจะมีจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 32 การทดลอง ซึ่งน้อยกว่าการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน ที่มีจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 46 การทดลอง

2. การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางแบบครึ่งหนึ่ง โดยมีจำนวนปัจจัยนำเข้าเท่ากับ 5 ปัจจัยจะคำนวณค่า α ได้จากสมการที่ 1 [7]

$$\alpha = (2^{k-p})^{\frac{1}{4}} \qquad (1)$$

กำหนด k เท่ากับ 5 และ p เท่ากับ 1

จากสมการที่ 1 สามารถคำนวณค่า α ได้เท่ากับ 2 ทำให้ต้องมีการปรับระดับปัจจัยแต่ละปัจจัยเท่ากับ 5 ระดับ คือ $\pm 2, \pm 1$ และ 0 แต่ในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัด คือ ปัจจัยนำเข้า 2 ปัจจัย ได้แก่ ระดับของวาล์วปิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถปรับระดับปัจจัยเท่ากับ 5 ระดับได้ เนื่องจากทั้งสองปัจจัยนำเข้านั้นสามารถปรับระดับปัจจัยได้เพียงแค่ 3 ระดับเท่านั้น ดังนั้นจึงไม่สามารถทำการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางได้ ทางผู้วิจัยจึงออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางชนิด Faced Central Composite แบบครึ่งหนึ่ง โดยการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางชนิด Faced Central Composite จะกำหนดค่า $\alpha = 1$ [8], [9] นอกจากนั้น การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางชนิด Faced Central Composite แบบครึ่งหนึ่งยังให้รายละเอียดความสัมพันธ์ของผลกระทบ (Resolution) เท่ากับระดับ V ซึ่งรายละเอียดความสัมพันธ์ของผลกระทบเท่ากับระดับ V หมายความว่าผลกระทบหลักของปัจจัยจะไม่ปะปนกับผลกระทบหลักของปัจจัยอื่น ๆ และไม่ปะปนกับผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัย และผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยก็จะไม่ปะปนกันเอง แต่ผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยจะปะปนกับผลกระทบร่วมระหว่างสามปัจจัย ซึ่งผลกระทบร่วมระหว่างสามปัจจัย เป็นผลกระทบที่ไม่พิจารณาเนื่องจากมีโอกาสสูงที่จะไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสามารถยอมรับได้ทั้งระดับรายละเอียดความสัมพันธ์ของผลกระทบและจำนวนการทดลอง อีกทั้งการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางชนิด Faced Central Composite แบบครึ่งหนึ่งมีการทดลองซ้ำที่จุดศูนย์กลาง (Center Runs) โดยมีจำนวนการทดลองซ้ำขึ้นอยู่กับค่า k หรือจำนวนปัจจัย ในงานวิจัยนี้มีจำนวนปัจจัยเท่ากับ 5 ปัจจัย จำนวนการทดลองจุดศูนย์กลางจึงทดลองซ้ำเป็นจำนวน 6 การทดลอง โดยการทดลองที่จุดศูนย์กลางนั้นจะสามารถทำให้เห็นความสัมพันธ์แบบเส้นโค้ง (Curvature) ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนองได้ ในกรณีที่ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนองไม่เป็นเส้นตรง (Non-Linear) และสามารถหาค่าประมาณความผิดพลาด (random error) ของการทดลองได้ งานวิจัยนี้ไม่ได้มีการทำซ้ำที่ส่วนการทดลองแฟกทอเรียล (Factorial runs) และส่วนของจุดแกน (Axial runs) เนื่องจากสามารถประมาณค่าความผิดพลาดได้จากการทดลองซ้ำที่จุดศูนย์กลางแล้ว อีกทั้งในแต่ละการทดลองของการทดลองแฟกทอเรียล และการทดลองที่

จุดแกนจะมีการเก็บตัวอย่าง 100 กระป๋อง จึงทำให้สามารถเห็นค่าผิดปกติ (Outlier) ในแต่ละการทดลองได้

3.2 ปัจจัยนำเข้า

ปัจจัยนำเข้ามีทั้งหมด 5 ปัจจัย โดยสัญลักษณ์แทนปัจจัย และระดับที่ทำการทดลองจะแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่จะทำการทดลอง

ปัจจัย	ระดับที่ทำการทดลอง		
	-1	0	1
ความยาวของท่อระบาย (A) หน่วย มิลลิเมตร	106	107	108
ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 (B) หน่วย ระดับ	1	2	3
ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 (C) หน่วย ระดับ	1	2	3
ค่าความดันภายในถังเก็บ (D) หน่วย บาร์	2.5	3.0	3.5
ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ (E) หน่วย เปอร์เซ็นต์	25	35	45

3.3 ตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองในงานวิจัยนี้ คือ ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

3.4 วิธีการทดลอง

งานวิจัยจะทำการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง โดยในแต่ละการทดลองจะมีการตั้งค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยแตกต่างกันตามการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางชนิด Faced Central Composite และในแต่ละการทดลองจะมีการเก็บผลการทดลองโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำกระป๋องที่สุ่มเก็บไปชั่งน้ำหนัก หน่วยเป็นกรัม และคำนวณน้ำหนักของน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องได้จากการนำน้ำหนักรวมทั้งหมดของน้ำผลิตภัณฑ์และกระป๋องลบด้วยน้ำหนักของกระป๋องเปล่า และน้ำหนักของฝากระป๋อง โดยกระป๋องเปล่าและฝากระป๋องมีน้ำหนักรวมกันเท่ากับ 11.56 กรัม

2. แปลงน้ำหนักน้ำผลิตภัณฑ์เป็นปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์สามารถแปลงได้จากการนำน้ำหนักน้ำผลิตภัณฑ์หารด้วยความหนาแน่นของน้ำผลิตภัณฑ์โดยทางโรงงานกำหนดให้ค่าความหนาแน่นของน้ำผลิตภัณฑ์ในทุกรอบการผลิตมีค่าอยู่ในช่วง 1.0094-1.010 กรัม/มิลลิลิตร ผู้วิจัยจึงใช้ความหนาแน่นเฉลี่ยซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.0097 กรัม/มิลลิลิตรในการคำนวณหาปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ซึ่งแบบการทดลองและผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แบบการทดลองและผลการทดลอง

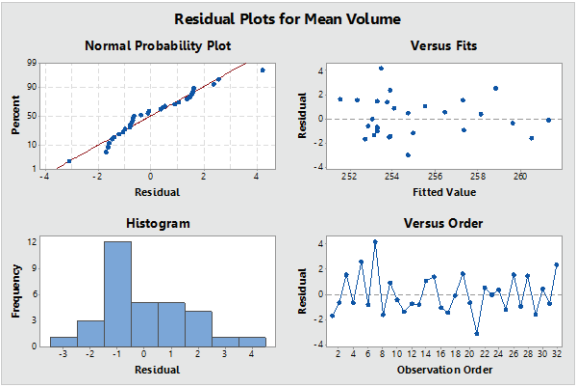
Std Order	Run Order	Factors					Mean Volume
		A	B	C	D	E	
1	25	-1	-1	-1	-1	1	253.73
2	5	1	-1	-1	-1	-1	261.39
3	27	-1	1	-1	-1	-1	256.35
4	22	1	1	-1	-1	1	256.97
5	8	-1	-1	1	-1	-1	258.86
6	19	1	-1	1	-1	1	253.13
7	24	-1	1	1	-1	1	258.48
8	17	1	1	1	-1	-1	252.42
9	26	-1	-1	-1	1	-1	253.89
10	14	1	-1	-1	1	1	256.58
11	9	-1	1	-1	1	1	254.93
12	29	1	1	-1	1	-1	252.26
13	18	-1	-1	1	1	1	261.22
14	23	1	-1	1	1	-1	252.95
15	10	-1	1	1	1	-1	259.23
16	30	1	1	1	1	1	255.17
17	3	-1	0	0	0	0	258.85
18	21	1	0	0	0	0	251.64
19	16	0	-1	0	0	0	252.21
20	28	0	1	0	0	0	254.73
21	1	0	0	-1	0	0	250.98
22	32	0	0	1	0	0	256.24
23	15	0	0	0	-1	0	255.09
24	2	0	0	0	1	0	252.17
25	7	0	0	0	0	-1	257.65
26	11	0	0	0	0	1	251.72
27	4	0	0	0	0	0	252.59
28	6	0	0	0	0	0	252.48
29	13	0	0	0	0	0	252.47
30	20	0	0	0	0	0	252.58
31	12	0	0	0	0	0	252.56
32	31	0	0	0	0	0	252.52

4. ผลการศึกษาและวิเคราะห์

จากผลการทดลองในตารางที่ 3 ผู้วิจัยได้นำข้อมูลไปวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง โดยใช้โปรแกรมมินิแทป (Minitab) และเลือกใช้ Stepwise Regression แบบวิธีการลดตัวแปรอิสระ (Backward Elimination) ในการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองเริ่มจากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองว่าผลการทดลองมีความเหมาะสมที่จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ในการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยหรือไม่ โดยการกระจายตัวส่วนตกค้างของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์แสดง ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การกระจายตัวส่วนตกค้างของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์

จากรูปที่ 5 สรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องได้ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption) จะสามารถดูได้จากกราฟ Normal Probability Plot ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) ที่จัดเรียงตัวอยู่ตามแนวเส้นตรง และมีค่า P-value ของการทดสอบการแจกแจงแบบปกติเท่ากับ 0.096 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ

2. การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability) จะสามารถดูได้จากกราฟ Residual Versus Fitted Value ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างรอบแนวแกนศูนย์ และข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้ม หรือรูปแบบที่คล้ายกรวยปากเปิด จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีค่าความแปรปรวนคงที่

3. กราฟฮิสโตแกรมจะแสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ ซึ่งสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ

4. การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Residual) จะสามารถดูได้จากกราฟ Residual Versus Observation Order ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่ไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้ม หรือรูปร่างที่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน

4.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมมินิแทปดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าเทอมที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 หรือเทอมของปัจจัยที่มีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 ประกอบด้วย A, A^2, AC, CD และ DE โดยสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องแสดงในสมการที่ 2 ซึ่งสมการนี้มีค่า R-Sq เท่ากับ 72.97 เปอร์เซ็นต์ และค่า R-Sq (adj) เท่ากับ 63.56 เปอร์เซ็นต์

$$\text{Mean Volume} = 253.29 - 1.28A + 0.59C - 0.45D - 0.17E + 2.72\,A^2 - 2.03\,AC + 1.03\,CD + 1.02\,DE \quad (2)$$

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมมินิแทป

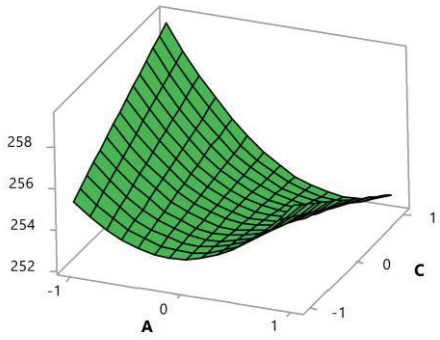
Term	Coef	SE. Coef	P- Value
Constant	253.285	0.479	0.000
A	-1.279	0.422	0.005
A^2	2.718	0.638	0.000
AC	-2.027	0.448	0.000
CD	1.029	0.448	0.030
DE	1.018	0.448	0.032

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นว่าเทอมของผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง ทำให้สามารถใช้กราฟพื้นผิวตอบตอบ (Surface Plot) ในการอธิบายความสัมพันธ์ของเทอมปัจจัย AC, CD และ DE ได้ ส่วนเทอมปัจจัย A และ A^2 เนื่องจากมีการอธิบายปัจจัย A ในเทอมของผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย A และ C แล้ว ฉะนั้นจึงไม่จำเป็นต้องอธิบายผลกระทบหลักของ A

4.3 ผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัย

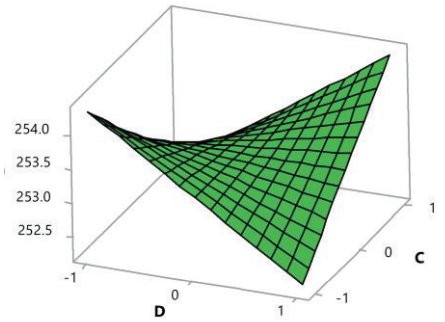
เทอมของผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยระหว่าง A และ C จะใช้กราฟพื้นผิวตอบดังรูปที่ 6 ในการอธิบายความสัมพันธ์พบว่า เมื่อระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 (C) อยู่ที่ระดับต่ำ เมื่อความยาวท่อระบาย (A) เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปปานกลาง จะส่งผลกระทบให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องลดลง เนื่องจากเมื่อระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำ จะมีช่องว่างให้ปริมาณแก๊ส CO_2 และน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองออกจากกระป๋องมาก ซึ่งความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้มีระยะเวลาในการเติมน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องมากกว่าเมื่อความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับปานกลาง จึงทำให้มีโอกาสที่ปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์และปริมาณฟองภายในกระป๋องมีค่ามากกว่า ดังนั้นหลังจากผ่านขั้นตอนการไล่แก๊ส CO_2 ที่ระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำ ปริมาณฟองภายในกระป๋องที่ความยาวท่อระบายระดับปานกลางจะมีปริมาณน้อยกว่าที่ความยาวท่อระบายระดับต่ำ เมื่อเวลาผ่านไปฟองเหล่านั้นจะกลายเป็นน้ำผลิตภัณฑ์ทำให้เมื่อระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำ และมีความยาวท่อระบายที่ระดับต่ำจะส่งผลกระทบให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องสูงกว่าที่ความยาวท่อระบายระดับปานกลาง และที่ระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำ เมื่อความยาวท่อระบายเปลี่ยนแปลงจากระดับปานกลางไปสูง จะส่งผลกระทบให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเพิ่มขึ้น เนื่องจากความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับสูง จะทำให้มีระยะเวลาในการเติมน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องน้อยกว่าเมื่อความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับปานกลาง จึงทำให้มีปริมาณฟองภายในกระป๋องน้อย ดังนั้นหลังจากผ่านขั้นตอนการไล่แก๊ส CO_2 ที่ระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำ ที่ความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับสูง จึงสูญเสียปริมาณฟองภายในกระป๋องน้อยมาก จึงทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง เมื่อระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำ ที่ความยาวท่อระบายระดับสูงจึงมีค่ามากกว่าที่ความยาวท่อระบายระดับปานกลาง แต่ในทางกลับกันเมื่อระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง เมื่อความยาวท่อระบายเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปปานกลางจะส่งผลกระทบให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากเมื่อระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง จะมีช่องว่างให้ปริมาณแก๊ส CO_2 และน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองออกจากกระป๋องน้อยมาก ซึ่งความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้มีระยะเวลาในการเติมน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องมากกว่าเมื่อความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับปานกลาง จึงทำให้เมื่อความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำมีโอกาสที่มีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์และปริมาณฟองภายในกระป๋องมากกว่า ดังนั้นหลังจากผ่านขั้นตอนการไล่แก๊ส CO_2 ที่ระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง ปริมาณฟองภายในกระป๋องที่ความยาวท่อระบายระดับต่ำจะมีปริมาณมาก เพราะมีปริมาณฟองเพียงเล็กน้อยที่ออกจากกระป๋อง และเมื่อเวลาผ่านไปฟองเหล่านั้นจะกลายเป็นน้ำผลิตภัณฑ์ทำให้เมื่อระดับวาล์วไล่อากาศ

และไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง เมื่อความยาวท่อระบายระดับต่ำมีค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องสูงกว่าที่ความยาวท่อระบายระดับปานกลางอย่างชัดเจน และที่ระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง เมื่อความยาวท่อระบายเปลี่ยนแปลงจากระดับปานกลางไปสูง จะส่งผลกระทบให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับสูงจะทำให้มีระยะเวลาในการเติมน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องน้อยกว่า จึงทำให้มีปริมาณฟองภายในกระป๋องน้อย ดังนั้นหลังจากผ่านขั้นตอนการไล่แก๊ส CO_2 ที่ระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง ที่ความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับปานกลางจึงสูญเสียปริมาณฟองภายในกระป๋องมากกว่าที่ความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับสูงเพียงเล็กน้อย เพราะระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง จะมีช่องว่างให้ปริมาณแก๊ส CO_2 และน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองออกจากกระป๋องน้อยมาก ดังนั้นค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเมื่อระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง ที่ความยาวท่อระบายระดับสูงจึงมีค่ามากกว่าที่ความยาวท่อระบายระดับปานกลางเพียงเล็กน้อย



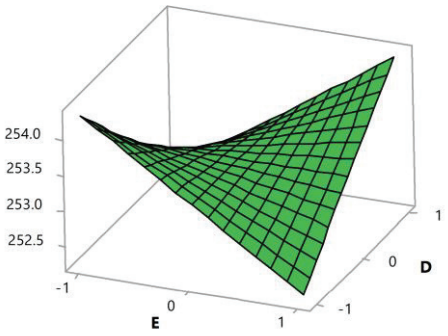
รูปที่ 6 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงความสัมพันธ์ของเทอมปัจจัยระหว่าง A และ C ที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

เทอมของผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยระหว่าง C และ D จะใช้กราฟพื้นผิวตอบดังรูปที่ 7 ในการอธิบายความสัมพันธ์พบว่า เมื่อระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 (C) อยู่ที่ระดับต่ำ เมื่อความดันภายในถังเก็บ (D) เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูง จะส่งผลกระทบให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องลดลง เนื่องจากเมื่อวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำ จะมีช่องว่างให้ปริมาณแก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องมาก ทำให้มีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองออกไปจากกระป๋องจำนวนมาก ส่งผลให้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจึงน้อย ซึ่งถ้าความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับที่สูงก็จะส่งผลให้เกิดปริมาณฟองในกระป๋องมากกว่าความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับที่ต่ำ เมื่อปริมาณฟองมากจึงทำให้ในขั้นตอนการไล่แก๊ส CO_2 มีการสูญเสียปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองมาก จึงสรุปได้ว่า ที่ระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำ ความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับต่ำ จะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องสูงกว่าความดันภายในถังเก็บที่ระดับสูง แต่เมื่อระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง เมื่อความดันภายในถังเก็บเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูง จะส่งผลกระทบให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง จะมีช่องว่างให้ปริมาณแก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องน้อย ทำให้มีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองออกไปจากกระป๋องจำนวนน้อย ส่งผลให้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจึงมาก ซึ่งถ้าความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับที่สูง ก็จะส่งผลให้เกิดปริมาณฟองในกระป๋องมากกว่าความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับที่ต่ำ แต่น้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองไม่ได้ออกจากกระป๋องในปริมาณที่มาก เพราะระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง ทำให้เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งฟองจะเปลี่ยนเป็นน้ำผลิตภัณฑ์ เป็นผลให้ที่ระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง ความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูง จะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องสูงกว่าความดันภายในถังเก็บที่ระดับต่ำ



รูปที่ 7 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงความสัมพันธ์ของเทอมปัจจัยระหว่าง C และ D ที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

เทอมของผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยระหว่าง D และ E จะใช้กราฟพื้นผิวตอบดังรูปที่ 8 ในการอธิบายความสัมพันธ์พบว่า เมื่อระดับความดันภายในถังเก็บ (D) อยู่ที่ระดับต่ำ เมื่อระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ (E) เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูง จะส่งผลกระทบให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องลดลง เนื่องจากที่ระดับความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับต่ำจะส่งผลต่อความเร็วในการบรรจุให้มีค่าต่ำ ทำให้ปริมาณการเกิดฟองน้อยเป็นผลให้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่ามาก ซึ่งระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บที่ระดับต่ำจะทำให้ความเร็วในการบรรจุต่ำกว่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บที่ระดับสูง ฉะนั้นระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บที่ระดับต่ำ จึงมีปริมาณฟองน้อยกว่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บที่ระดับสูง จึงสามารถสรุปได้ว่าที่ระดับความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับต่ำนั้น ระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บที่ระดับต่ำจะมีค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมากกว่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บที่ระดับสูง ในทางกลับกัน เมื่อระดับความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูง เมื่อระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูง จะส่งผลกระทบให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อระดับความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงจะส่งผลต่อความเร็วในการบรรจุให้มีค่าสูง ประกอบกับเมื่อระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บมีค่าสูงด้วยจึงทำให้มีความเร็วในการบรรจุมาก เมื่อความเร็วในการบรรจุมากก็ทำให้ในขณะบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋อง ฟองที่เกิดจากการบรรจุด้วยความเร็วมากจะเคลื่อนที่ไปอยู่บริเวณขอบรอบ ๆ กระป๋อง เป็นผลให้สิ่งที่สัมผัสปลายของท่อระบาย คือ น้ำผลิตภัณฑ์ ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจึงมีค่ามาก แต่เมื่อระดับความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงแต่ระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บมีค่าต่ำจะทำให้ความเร็วในการบรรจุไม่มากพอที่จะเป็นผลให้ฟองที่เกิดจากการบรรจุด้วยความเร็วเคลื่อนที่ไปอยู่บริเวณขอบรอบ ๆ กระป๋อง ดังนั้นฟองที่เกิดขึ้นจึงลอยอยู่บนน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง ทำให้สิ่งที่สัมผัสปลายของท่อระบาย คือ ฟอง ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจึงมีค่าน้อย จึงสามารถสรุปได้ว่าที่ระดับความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงนั้นระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บที่ระดับสูงจะมีค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมากกว่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บที่ระดับต่ำ



รูปที่ 8 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงความสัมพันธ์ของเทอมปัจจัยระหว่าง D และ E ที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

5. สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบหลักของปัจจัยและผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง และหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง เนื่องจากปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลกระทบต่อมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุ โดยปัจจัยที่นำมาศึกษา

พิจารณาจากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้าที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุที่ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ไม่ตรงตามค่าเป้าหมาย และพิจารณาจากการระดมความคิดของผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการบรรจุ ทำให้ปัจจัยที่ทำการทดลองมี 5 ปัจจัย ได้แก่ ความยาวของท่อระบาย ระดับของวาล์วปิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าความดันภายในถังเก็บ และค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ จากผลการศึกษาผลกระทบหลักของปัจจัยและผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องพบว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบหลักต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง คือ ความยาวท่อระบาย (A) ส่วนปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง ได้แก่ ความยาวของท่อระบายกับระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (AC) ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับค่าความดันภายในถังเก็บ (CD) และค่าความดันภายในถังเก็บกับค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ (DE) และเนื่องจากงานวิจัยนี้ศึกษาเพียงว่าปัจจัยใดมีผลต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง ทางผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะให้ในอนาคตมีการศึกษาหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องตรงตามค่าเป้าหมาย เพื่อเป็นการลดของเสียในกระบวนการบรรจุของโรงงานผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่มีส่วนผสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทางโรงงานกรณีศึกษา ผู้จัดการโรงงาน และพนักงานทุกคนที่ให้ข้อมูล และให้ทำการทดลองในกระบวนการบรรจุ รวมทั้งให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Yam, K.L. The Wiley encyclopedia of packaging technology. John Wiley & Sons, New York, 2010.

[2] Dewa, M., Naicker, A. and Singh, R. Root Cause Analysis for Reduction of Waste on Bottle Filling and Crowning Operations. SAIIE25 Proceedings, 9th – 11th July 2013, Stellenbosch, South Africa, 2013: 568-1-568-11.

[3] Baía, A.P. Achieving Customer Specifications Through Process Improvement Using Six Sigma: Case Study of Nutrisoil – Portugal. Quality Management Journal, 2015; 22(2): 48-60.

[4] Desai, D., Kotadiya, P., Makwana, N. and Patel, S. Curbing Variations in Packaging Process Through Six Sigma Way in a Large-Scale Food-Processing Industry. Springer, 2014; 11: 119-129.

[5] วศิน พันธ์เมฆากุล. การลดความผันแปรของน้ำหนักบรรจุผลิตภัณฑ์ขวด ของเครื่องบรรจุ Filpac โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2552.

[6] หทัยชนก พรหมศร. การลดปริมาณของเสียในกระบวนการบรรจุครีมยืดผมแบบกระปุก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559.

[7] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. สำนักพิมพ์ท้อป: กรุงเทพมหานคร, 2551.

[8] ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพมหานคร, 2545.

[9] Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments. Edit 8th , John Wiley & Sons, New York, 2009.