การลดความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแบบกระป๋อง

นางสาวชานิดา กัมพลานนท์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REDUCTION OF LOSS FROM VOLUME OF CANNED DRINK PRODUCT

Miss Chanida Kampalanon

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแบบกระป๋อง
โดย	นางสาวชานิดา กัมพลานนท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฒิไชย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญวา ธรรมพิทักษ์กุล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชานิดา กัมพลานนท์ : การลดความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแบบกระป๋อง (REDUCTION OF LOSS FROM VOLUME OF CANNED DRINK PRODUCT) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์, 222 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ภายในกระป๋อง และหาค่าการปรับตั้งปัจจัยของเครื่องบรรจุที่เหมาะสมเพื่อให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุน้อยลง

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาในงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องมือแผนผังสาเหตุและผล และเลือกใช้เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลในการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรบรรจุ ในขั้นตอนการปรับปรุงได้ทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย โดยอาศัยวิธีการพื้นผิวตอบสนองแบบส่วนประสมกลางชนิดแบบ Faced Central Composite Design: CCF จากนั้นจึงทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุมีค่าน้อยที่สุด พบว่าค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ความยาวของท่อระบายเท่ากับ 106 มิลลิเมตร ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 เท่ากับระดับ 1 ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 เท่ากับระดับ 3 ค่าความดันภายในถังเก็บเท่ากับ 3.5 บาร์ และค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บเท่ากับ 45 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นทางผู้วิจัยได้จัดทำวิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการตรวจสอบลักษณะของโอริง และสร้างแผ่นตรวจสอบลักษณะกระป๋องก่อนเข้ากระบวนการบรรจุ

หลังจากปรับปรุงพบว่าค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง และมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุหลังการปรับปรุงต่อ 1 รอบการผลิตมีค่าเท่ากับ 254.63 มิลลิลิตร 1.37 มิลลิลิตร และ 3,978 บาท ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากก่อนปรับปรุง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจากก่อนปรับปรุง ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุลดลงจากก่อนปรับปรุงเท่ากับ 6,679 บาทต่อ 1 รอบการผลิต คิดเป็นความสูญเสียที่ลดลง 62.67 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคาดว่าสามารถลดความสูญเสียได้ 3,205,920 บาทต่อปี สุดท้ายทางผู้วิจัยได้จัดทำแผนควบคุม และวิธีการปฏิบัติงานใหม่ของการตั้งค่าเครื่องบรรจุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2560

5970146721 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS: CANNED DRINK PRODUCT, FILLING MACHINE, BOTTLING PROCESS, RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

CHANIDA KAMPALANON: REDUCTION OF LOSS FROM VOLUME OF CANNED DRINK PRODUCT. ADVISOR: ASST. PROF. NAPASSAVONG OSOTHSILP, Ph.D., 222 pp.

This research has the objective to study the factors affecting the volume of fruit brandy canned products and determine appropriate factor setting of the filling machine to minimize the total loss in the filling process.

The Cause and Effect Diagram was used to analyze the causes of the problem and the Cause and Effect Matrix was used to prioritize factors affecting the mean and variation of the filled volume. In the improvement phase, the Faced Central Composite Design: CCF was employed to find out the equation of relationship between the total loss in filling process and significant factors. Then, the optimal levels of these factors were determined. The optimal setting was at the vent tube of 106 mm., the level of the CO_2 diaphragm valve at level 1, the level of the drain valve at level 3, the pressure inside the tank at 3.5 bar, and the product level inside the tank at 45 percent. In addition, the researcher has developed a work instruction for checking the condition of O-ring and created a check sheet of can condition before entering the filling process.

After improvement, it was found that the average volume of canned products was 254.63 ml., the standard deviation was 1.37 ml. and the total loss cost per 1 batch was 3,978 baht. In conclusion, the average volume was increased but the standard deviation was decreased, leading to the total loss reduction of 6,679 bath per batch, equivalent to 62.67 percent reduction. It is expected the total loss will be reduced by 3,205,920 baht per year. Finally, the researcher has developed a control plan and created the work instruction for setting up the filling machine.

Department:	Industrial Engineering	Student's Signature	.....
Field of Study:	Industrial Engineering	Advisor's Signature	.....
Academic Year:	2017		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาตลอดจนแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฒิไชย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญวา ธรรมพิทักษ์กุล กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ให้โอกาสผู้วิจัยเข้าไปทำการศึกษาวิจัย และให้ความร่วมมือในการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี ตลอดจนคณะทำงานที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมไปถึงพนักงานและเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาทุกท่าน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจ รวมทั้งขอบคุณสำหรับกำลังใจจากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในงานวิจัยทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงมา ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูปภาพ ..... ฑ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 รายละเอียดของกระบวนการผลิต 3
1.3 การศึกษาสภาพปัญหาและความสำคัญของปัญหาในปัจจุบัน 8
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 22
1.5 ขอบเขตงานวิจัย 22
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 23
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 23
1.8 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน 23
1.9 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย 26
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 27
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 28
2.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับซิกซ์ ซิกมา 28
2.1.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 33
2.1.2.1 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ 33
2.1.2.2 แผนผังสาเหตุและผล 37

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.1.2.3 เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล 39
2.1.2.4 การออกแบบการทดลอง 40
2.1.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการบรรจุของเหลว 50
2.1.3.1 ประเภทของการบรรจุของเหลวลงสู่บรรจุภัณฑ์ 50
2.1.3.2 วิธีการบรรจุของเหลว 50
2.1.3.3 ระบบการบรรจุผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวลงสู่บรรจุภัณฑ์ 51
2.1.3.4 ประเภทของเครื่องบรรจุผลิตภัณฑ์ของเหลว 55
2.1.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับโอริง 56
2.1.4.1 ประเภทของความเสียหายหรือชำรุดของโอริง 57
2.2 งานวิจัยเกี่ยวข้อง 59
2.2.1 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับซิกซ์ ซิกมา 59
2.2.2 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง 62
2.2.3 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับเมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล 66
2.2.4 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับกระบวนการบรรจุ 68
2.2.5 การนำงานวิจัยไปประยุกต์ใช้งาน 71
บทที่ 3 การวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้า 73
3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา 73
3.2 ขั้นตอนการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก 78
3.3 สรุปการวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้า 101
บทที่ 4 การปรับปรุงกระบวนการ 102
4.1 แนวทางการจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน และแผนควบคุมของโอริง 102
4.1.1 จัดทำวิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการตรวจสอบลักษณะของโอริงและติดตั้งโอริง 102

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

4.1.2 แผนควบคุมลักษณะของโอริง 105
4.2 แนวทางการสร้างแผ่นตรวจสอบลักษณะกระป๋อง 105
4.3 การทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย 113
4.3.1 ปัจจัยนำเข้า 113
4.3.2 ตัวแปรตอบสนอง 119
4.3.3 ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล 119
4.3.4 รูปแบบการทดลอง 122
4.3.5 วิธีการทดลอง 128
4.3.6 ผลการทดลอง 129
4.3.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 134
4.3.7.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง .. 139
4.3.7.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำ ผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง 154
4.3.7.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ 167
4.3.8 การหาค่าระดับที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยนำเข้า 182
บทที่ 5 การทดลองเพื่อยืนยันผล และควบคุมผล 192
5.1 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง 192
5.1.1 ขั้นตอนในการทดลองเพื่อยืนยันผล 192
5.1.2 ผลการทดลองการยืนยันผล 193
5.2 การติดตามและควบคุมผล 209
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 215
6.1 บทสรุปงานวิจัย 215
6.2 ข้อจำกัดงานวิจัย 217

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

6.3 ข้อเสนอแนะงานวิจัย 217

รายการอ้างอิง 218

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 222

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ปริมาณและมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 – พฤษภาคม พ.ศ. 2561 9

ตารางที่ 1.2 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง 12

ตารางที่ 2.1 บทบาทและความรับผิดชอบของบุคลากร 29

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การประเมินความสามารถของกระบวนการ 37

ตารางที่ 2.3 รูปแบบของเมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล 39

ตารางที่ 2.4 สรุปข้อเด่น ข้อด้อยของแบบการทดลองต่าง ๆของการออกแบบพื้นผิวผลตอบ 49

ตารางที่ 2.5 ประเภทของความเสียหายหรือชำรุดของโอริง 57

ตารางที่ 2.6 เครื่องมือที่ใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์แบบ DMAIC 59

ตารางที่ 2.7 เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล 61

ตารางที่ 2.8 ระดับของปัจจัยนำเข้าแต่ละปัจจัย 63

ตารางที่ 2.9 ระดับของปัจจัยนำเข้าแต่ละปัจจัย 64

ตารางที่ 2.10 ระดับของปัจจัยนำเข้าแต่ละปัจจัย 65

ตารางที่ 2.11 เกณฑ์การให้คะแนนสาเหตุหรือปัจจัยนำเข้า 67

ตารางที่ 2.12 สาเหตุการเกิดของเสียในกระบวนการบรรจุและกระบวนการปิดฝา 68

ตารางที่ 2.13 สาเหตุของการเกิดการบรรจุน้ำหนักปุ๋ยเกิน 69

ตารางที่ 2.14 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของน้ำหนักบรรจุขวดและค่าปรับตั้งของปัจจัย 70

ตารางที่ 2.15 สาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการบรรจุ 70

ตารางที่ 2.16 ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับเส้นผมขนาดต่าง ๆ ก่อนและหลังการปรับปรุง 71

ตารางที่ 2.17 การนำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไปการประยุกต์ใช้ 72

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3.1 สาเหตุทั้งหมดจากแผนผังสาเหตุและผลที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก 76

ตารางที่ 3.2 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง 79

ตารางที่ 3.3 ผลคะแนนของปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อย 80

ตารางที่ 3.4 ผลคะแนนของปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก 83

ตารางที่ 3.5 ผลคะแนนรวมของทั้งปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยและปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก 86

ตารางที่ 3.6 ปัจจัยที่มีคะแนนรวมมากอย่างชัดเจนเรียงลำดับจากมากไปน้อย และแนวทางการปรับปรุงปัจจัย 88

ตารางที่ 3.7 ผลกระทบของปัจจัยที่นำมาทดสอบสมมติฐานต่อตัวชี้วัดต่างๆ และแนวทางการปรับปรุง 91

ตารางที่ 3.8 ค่าใช้จ่ายในการปรับตั้งค่าระดับของปัจจัยต่างๆในวิธีการออกแบบการทดลอง 100

ตารางที่ 4.1 วิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการตรวจสอบลักษณะของโอริงและติดตั้งโอริง 103

ตารางที่ 4.2 แผนควบคุมลักษณะของโอริง 108

ตารางที่ 4.3 แผ่นตรวจสอบของการตรวจสอบลักษณะโอริง 109

ตารางที่ 4.4 แผ่นตรวจสอบลักษณะกระป๋อง 110

ตารางที่ 4.5 ปัจจัยที่จะนำมาทดสอบสมมติฐานที่ส่งผลต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง.. 115

ตารางที่ 4.6 ปัจจัยที่นำมาทดสอบสมมติฐานและผลกระทบของปัจจัยต่อตัวชี้วัดต่าง ๆ 116

ตารางที่ 4.7 จำนวนกระป๋องที่น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในแต่ละช่วงเวลาของกระบวนการบรรจุ 121

ตารางที่ 4.8 การออกแบบการทดลอง 126

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลอง 131

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงโดยวิธี Box-Cox transformation 170

ตารางที่ 4.11 ปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ 180

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองเมื่อระดับปัจจัยนำเข้าเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไประดับสูง 181

ตารางที่ 4.13 ค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลมีค่ามากที่สุด 184

ตารางที่ 4.14 ค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่ทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด 188

ตารางที่ 4.15 ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรตอบสนองเมื่อปรับปรุงกระบวนการบรรจุด้วยแนวทางต่างๆ 191

ตารางที่ 5.1 ค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยของเครื่องบรรจุ 192

ตารางที่ 5.2 ผลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในแต่ละรอบการผลิต 194

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองในแต่ละรอบการผลิต 199

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าตัวแปรตอบสนองต่อ 1 รอบการผลิตระหว่างก่อนปรับปรุงกระบวนการบรรจุ กับหลังปรับปรุงกระบวนการบรรจุ 200

ตารางที่ 5.5 แผนควบคุมการตั้งค่าเครื่องบรรจุ 210

ตารางที่ 5.6 วิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการบรรจุ 211

ตารางที่ 5.7 แผ่นตรวจสอบการตั้งค่าเครื่องบรรจุ 213

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 แผนผังกระบวนการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ของโรงงานกรณีศึกษา 5

รูปที่ 1.2 ท่อระบาย 6

รูปที่ 1.3 วาล์วปิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 6

รูปที่ 1.4 จานป้อนเข้า 7

รูปที่ 1.5 เครื่องบรรจุแบบโรตารี 7

รูปที่ 1.6 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุปัจจุบัน 14

รูปที่ 1.7 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ เมื่อค่าเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงขีดจำกัดล่างของกระบวนการ 16

รูปที่ 1.8 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ เมื่อค่าเฉลี่ยมีค่าห่างจากขีดจำกัดล่างของ 16

รูปที่ 1.9 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ เมื่อค่าเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงขีดจำกัดล่างของกระบวนการและค่าระดับความผันแปรน้อย 17

รูปที่ 1.10 ผลของมูลค่าความสูญเสีย เมื่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเปลี่ยนไปแต่ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคงที่ 19

รูปที่ 1.11 ผลของมูลค่าความสูญเสีย เมื่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเปลี่ยนไปแต่ค่าเฉลี่ยคงที่ 19

รูปที่ 1.12 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติของปริมาตรน้ำภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุ 21

รูปที่ 1.13 ผลการประเมินความสามารถของกระบวนการบรรจุ 21

รูปที่ 2.1 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ในวิธีการ DMAIC 32

รูปที่ 2.2 โครงสร้างแผนผังสาเหตุและผล แยกสาเหตุตามหมวดหมู่ 5M 38

รูปที่ 2.3 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ 41

รูปที่ 2.4 ตารางระดับความละเอียดในผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอรียล 43

รูปที่ 2.5 จุดที่ตัวแปรตอบสนองมีค่าสูงที่สุด 46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 2.6 จุดที่ตัวแปรตอบสนองมีค่าต่ำที่สุด 47
รูปที่ 2.7 จุดที่ตัวแปรตอบสนองอยู่ที่ระดับที่ต้องการ 47
รูปที่ 2.8 การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลาง 48
รูปที่ 2.9 การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางแบบ CCF 48
รูปที่ 2.10 การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบบ็อกซ์- เบห์นเคน 49
รูปที่ 2.11 การบรรจุของเหลวโดยระบบแรงโน้มถ่วง 52
รูปที่ 2.12 การบรรจุของเหลวโดยระบบสุญญากาศ 53
รูปที่ 2.13 การบรรจุของเหลวโดยหลักการบรรจุถึงระดับที่กำหนด 54
รูปที่ 2.14 การบรรจุของเหลวโดยหลักการตวงปริมาตรของเหลวที่แน่นอน 54
รูปที่ 2.15 ลักษณะการหมุนของเครื่องบรรจุแบบโรตารี่ 56
รูปที่ 2.16 ลักษณะทางกายภาพของโอริง 57
รูปที่ 2.17 กราฟฮิสโตแกรมของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง 60
รูปที่ 2.18 ตารางแสดงระดับปัจจัย 62
รูปที่ 2.19 ตารางแสดงระดับปัจจัย 64
รูปที่ 2.20 ระดับของปัจจัยนำเข้าแต่ละปัจจัย 66
รูปที่ 3.1 แผนผังสาเหตุและผลของค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องน้อย 74
รูปที่ 3.2 แผนผังสาเหตุและผลของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมาก 75
รูปที่ 3.3 กราฟคะแนนสะสมของผลคะแนนรวมของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ 88
รูปที่ 4.1 ตารางอักษรรหัสของขนาดสิ่งตัวอย่าง 106
รูปที่ 4.2 ตารางแผนการชักสิ่งตัวอย่างเชิงเดี่ยวปกติ 107
รูปที่ 4.3 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุก่อนปรับปรุง 112
รูปที่ 4.4 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน และการสร้างแผ่นตรวจสอบ 113

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.5 เครื่องมือวัดความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน 118

รูปที่ 4.6 จำนวนกระป๋องที่น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในแต่ละช่วงเวลาของกระบวนการบรรจุ 120

รูปที่ 4.7 ผลการคำนวณขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในแต่ละการทดลองสำหรับค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ 124

รูปที่ 4.8 ผลการคำนวณขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในแต่ละการทดลองสำหรับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ 125

รูปที่ 4.9 รายละเอียดการออกแบบการทดลอง 126

รูปที่ 4.10 เครื่องอินเวอร์เตอร์ 128

รูปที่ 4.11 สมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเมื่อตัวแปรตอบสนองคือค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง 140

รูปที่ 4.12 การกระจายตัวส่วนตกค้างของค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง 141

รูปที่ 4.13 กราฟความน่าจะเป็นของค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง 142

รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องแบบสมการความสัมพันธ์เต็มรูป 143

รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง 145

รูปที่ 4.16 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงความสัมพันธ์ของเทอมปัจจัยระหว่าง A และ C ที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ 148

รูปที่ 4.17 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงความสัมพันธ์ของเทอมปัจจัยระหว่าง A และ D ที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ 150

รูปที่ 4.18 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงความสัมพันธ์ของเทอมปัจจัยระหว่าง A และ E ที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ 151

รูปที่ 4.19 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงความสัมพันธ์ของเทอมปัจจัยระหว่าง B และ D ที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ 153

Chulalongkorn University

รูปที่ 4.20 สมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเมื่อตัวแปรตอบสนองคือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง 154

รูปที่ 4.21 การกระจายตัวส่วนตกค้างของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง 155

รูปที่ 4.22 กราฟความน่าจะเป็นของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง 156

รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องแบบสมการความสัมพันธ์เต็มรูป 157

รูปที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง 159

รูปที่ 4.25 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงความสัมพันธ์ของเทอมปัจจัยระหว่าง A และ C ที่มีผลกระทบต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ 163

รูปที่ 4.26 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงความสัมพันธ์ของเทอมปัจจัยระหว่าง B และ D ที่มีผลกระทบต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ 164

รูปที่ 4.27 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงความสัมพันธ์ของเทอมปัจจัยระหว่าง D และ E ที่มีผลกระทบต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ 166

รูปที่ 4.28 สมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเมื่อตัวแปรตอบสนองคือมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ 167

รูปที่ 4.29 การกระจายตัวส่วนตกค้างของมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ 168

รูปที่ 4.30 กราฟความน่าจะเป็นของมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ 169

รูปที่ 4.31 กราฟ Box-Cox จากโปรแกรมมินิแทป 170

รูปที่ 4.32 สมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเมื่อตัวแปรตอบสนองคือมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงโดยวิธี Box-Cox transformation 173

รูปที่ 4.33 การกระจายตัวส่วนตกค้างของมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูล 174

รูปที่ 4.34 กราฟความน่าจะเป็นของมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูล 175

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.35 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลแบบสมการความสัมพันธ์เต็มรูป 176

รูปที่ 4.36 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูล 178

รูปที่ 4.37 ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทั้ง 5 ปัจจัยที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลมีค่ามากที่สุดโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer คำนวณ 183

รูปที่ 4.38 ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทั้ง 5 ปัจจัยที่สามารถนำไปใช้จริงที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลมีค่ามากที่สุด 184

รูปที่ 4.39 ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทั้ง 5 ปัจจัยที่สามารถนำไปใช้จริงที่ทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด 187

รูปที่ 5.1 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุก่อนปรับปรุง 202

รูปที่ 5.2 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังปรับปรุง 203

รูปที่ 5.3 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังปรับปรุง 203

รูปที่ 5.4 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังปรับปรุง 204

รูปที่ 5.5 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังปรับปรุง 204

รูปที่ 5.6 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังปรับปรุงรอบการผลิตที่ 5 205

รูปที่ 5.7 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังปรับปรุงรอบการผลิตที่ 6 205

รูปที่ 5.8 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังปรับปรุงทั้ง 6 รอบการผลิต 206

รูปที่ 5.9 ความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการบรรจุระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง 207

รูปที่ 5.10 ความแตกต่างค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงาน และค่าไฟฟ้าในการปรับค่าความดันภายในถังเก็บระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง 208

Chulalongkorn University

รูปที่ 5.11 ความแตกต่างของมูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุภายในกระป๋องไม่เหมาะสม และมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง .. 209

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในประเทศไทยถือเป็นอุตสาหกรรมที่มีแนวโน้มการเติบโตของธุรกิจในทิศทางที่สูงขึ้น เนื่องจากมีความต้องการของผู้บริโภคทั้งจากภายในประเทศ และต่างประเทศโดยเฉพาะประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อุกฤษฏ์ ปัทมานันท์ (2559) กล่าวว่า จากการจัดอันดับประเทศที่มีผู้บริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์สูงสุดของ Euromonitor ซึ่งเป็นบริษัทวิจัยทางการตลาดพบว่า ฟิลิปปินส์และไทย 2 ประเทศในกลุ่มอาเซียน เป็นประเทศที่ติดอันดับการบริโภคแอลกอฮอล์ในลำดับต้นของโลก คือ อันดับ 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งประเทศกำลังพัฒนาใหม่ของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้อย่างเวียดนาม สปป.ลาว เมียนมา และ กัมพูชา ก็มีแนวโน้มการเติบโตของการบริโภคแอลกอฮอล์อย่างต่อเนื่องด้วยเช่นกัน ในปีพุทธศักราช 2558 ที่ผ่านมาประเทศไทยได้เข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนอย่างสมบูรณ์ ส่งผลดีต่ออุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ของประเทศไทยที่สามารถขยายตลาดได้มากขึ้น แต่ในทางกลับกันการเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนก็เป็นการทำให้เครื่องดื่มแอลกอฮอล์จากต่างประเทศเข้ามามีส่วนแบ่งทางการตลาดในประเทศไทยได้เช่นกัน เพราะฉะนั้นในสถานการณ์ที่ตลาดมีการแข่งขันสูงขึ้น อุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ของประเทศไทยจึงต้องวางแผนการเพิ่มคุณภาพสินค้า และลดต้นทุนการผลิตควบคู่กันเพื่อสร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน ด้วยสาเหตุนี้โรงงานผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์กรณีศึกษาจึงต้องการลดของเสียจากกระบวนการผลิต เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตของโรงงาน ซึ่งเป็นกลยุทธ์หนึ่งในสถานการณ์ที่ตลาดเครื่องดื่มแอลกอฮอล์มีการแข่งขันสูง

โรงงานกรณีศึกษาผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A เป็นสินค้าหลักของโรงงาน เนื่องจากผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A เป็นสินค้าที่มีความต้องการจากตลาดสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ด้วยรูปลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่มีความทันสมัย พกพาสะดวก รสชาติที่กลมกล่อม และปริมาณแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม ทำให้สามารถเข้าตีตลาดผู้บริโภคได้หลากหลายวัย ดังนั้นทางโรงงานจึงให้ความสำคัญการลดความสูญเสียในการกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A จากข้อมูลเดือนมกราคม – พฤษภาคม 2560 พบว่ามีความสูญเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตคิดเป็นจำนวนกระป๋อง 267,452 กระป๋อง และเป็นปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์จำนวน 71,538 ลิตร รวมเป็นมูลค่าความสูญเสียเท่ากับ 2,351,617 บาทต่อระยะเวลา 5 เดือน โดยการคำนวณมูลค่าความสูญเสียจะคิดจากราคาต้นทุนของวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A จะประกอบด้วย 5 กระบวนการ ได้แก่

1. กระบวนการเตรียมส่วนประกอบ (Constituent Preparation)
2. กระบวนการกวน (Blending)
3. กระบวนการบรรจุ และปิดฝา (Bottling and Capper)
4. กระบวนการติดฉลากภาษีอากร และตรวจสอบผลิตภัณฑ์ (Label in and QC check)
5. กระบวนการจัดเก็บ (Storage in warehouse)

จากการเก็บบันทึกปริมาณความสูญเสียในแต่ละกระบวนการผลิตของโรงงานในเดือน มกราคม – พฤษภาคม 2560 พบว่า กระบวนการบรรจุมีปริมาณความสูญเสียชนิดน้ำผลิตภัณฑ์และชนิดกระป๋องคิดเป็นร้อยละ 81.21 ของปริมาณความสูญเสียชนิดน้ำผลิตภัณฑ์ทั้งหมด และร้อยละ 80.38 ของปริมาณความสูญเสียชนิดกระป๋องทั้งหมด ตามลำดับ และจากการคำนวณมูลค่าความสูญเสียรวมทั้งชนิดกระป๋องและชนิดน้ำผลิตภัณฑ์พบว่า กระบวนการบรรจุมีมูลค่าความสูญเสียรวมทั้งชนิดกระป๋องและชนิดน้ำผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1,902,867 บาทต่อระยะเวลา 5 เดือน คิดเป็น ร้อยละ 80.92 ของมูลค่าความสูญเสียรวมทั้งหมด ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นศึกษาการลดมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A เพื่อให้สอดคล้องกับกลยุทธ์ของโรงงานกรณีศึกษาที่ต้องการลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากต้องการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางการตลาด

กระบวนการบรรจุจะเกิดความสูญเสียได้ 2 กรณี คือ

1. น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (Under fill)
2. น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (Overfill)

การเกิดกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ น้ำผลิตภัณฑ์จะมีปริมาตรต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ 250 มิลลิลิตร ทางโรงงานจำเป็นต้องคัดผลิตภัณฑ์ที่เกิดกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ออก โดยผลิตภัณฑ์เหล่านั้นจะถูกทิ้งและไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้เลย ทำให้เกิดความสูญเสียทั้งน้ำผลิตภัณฑ์ (Liquid Loss) และสูญเสียกระป๋องซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ (Packaging Loss) ส่วนการเกิดกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ น้ำผลิตภัณฑ์จะมีปริมาตรเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ 250 มิลลิลิตร ทางโรงงานไม่ต้องคัดผลิตภัณฑ์ที่เกิดกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ออก และสามารถนำผลิตภัณฑ์เหล่านั้นไปจำหน่ายได้ แต่ทางโรงงานก็จะเกิดความสูญเสียในแง่ของการสูญเสียน้ำผลิตภัณฑ์ที่เกินจำเป็น โดยโรงงานจะใช้เครื่องเซนเซอร์ (Sensor) ตรวจสอบระดับน้ำผลิตภัณฑ์ของแต่ละกระป๋อง เพื่อคัดแยกประเภทกระป๋องแต่ละกระป๋องว่าเกิดความสูญเสียกรณีน้ำ

ผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ หรือเกิดความสูญเสียกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้

1.2 รายละเอียดของกระบวนการผลิต

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ซึ่งกระบวนการผลิตจะประกอบด้วย 5 กระบวนการ ได้แก่

1. กระบวนการเตรียมส่วนประกอบ
2. กระบวนการกวน
3. กระบวนการบรรจุ และปิดฝา
4. กระบวนการติดฉลากภาษีอากร และตรวจสอบผลิตภัณฑ์
5. กระบวนการจัดเก็บ

กระบวนการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทั้ง 5 กระบวนการของโรงงานกรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 1.1

งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นศึกษากระบวนการบรรจุของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A โดยกระบวนการบรรจุของโรงงานกรณีศึกษาจะใช้เครื่องบรรจุ (Filling machine) แบบโรตารีที่มีการทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และเป็นเครื่องบรรจุที่ใช้ระบบความดัน ซึ่งเครื่องบรรจุของโรงงานกรณีศึกษามีหัวบรรจุทั้งหมด 16 หัววางเรียงกันเป็นแนววงกลม และขณะบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์หัวบรรจุจะหมุนแนวทวนเข็มนาฬิกาตามอัตราเร็วของเครื่องบรรจุ ส่วนกระป๋องจะลำเลียงเข้าสู่เครื่องบรรจุโดยใช้จานป้อนเข้า (star wheel) ซึ่งมีลักษณะเป็นจานหมุนที่มีส่วนเว้าระยะห่างเหมาะสมที่จะจัดกระป๋องให้ตรงกันกับหัวบรรจุแต่ละหัวได้ เมื่อบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์เรียบร้อยแล้วกระป๋องจะถูกลำเลียงออกเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการปิดฝาต่อไป โดยกระบวนการบรรจุนั้นแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

1. ขั้นตอนการไล่อากาศออกจากกระป๋อง (Deaerator)

ขั้นตอนนี้อากาศจะถูกไล่ออกจากกระป๋องโดยแรงดันจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มาจากถังเก็บผลิตภัณฑ์ (Ring bowl) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะไหลมาทางท่อระบาย (Vent tube) ลงสู่กระป๋อง และไล่อากาศออกจากกระป๋องผ่านทางวาล์วไล่อากาศ การไล่อากาศออกจากกระป๋องทำเพื่อให้ภายในกระป๋องไม่มีแก๊สออกซิเจน หรือแก๊สอื่นๆปะปนอยู่ เพราะถ้ามีอากาศอยู่ภายในกระป๋องปริมาณมากจะส่งผลทำให้น้ำผลิตภัณฑ์เสียรสชาติ หรือมีกลิ่นที่เปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอากาศกับน้ำผลิตภัณฑ์

2. ขั้นตอนการเติมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbonator)

ขั้นตอนนี้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเข้าสู่กระป๋องผ่านทางท่อระบาย นอกจากเพื่อเป็นการไล่อากาศออกจากกระป๋องแล้ว การเติมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ยังเป็นการปรับความดันภายในกระป๋องให้พร้อมเข้าสู่กระบวนการเติม

3. ขั้นตอนการเติม (Filler)

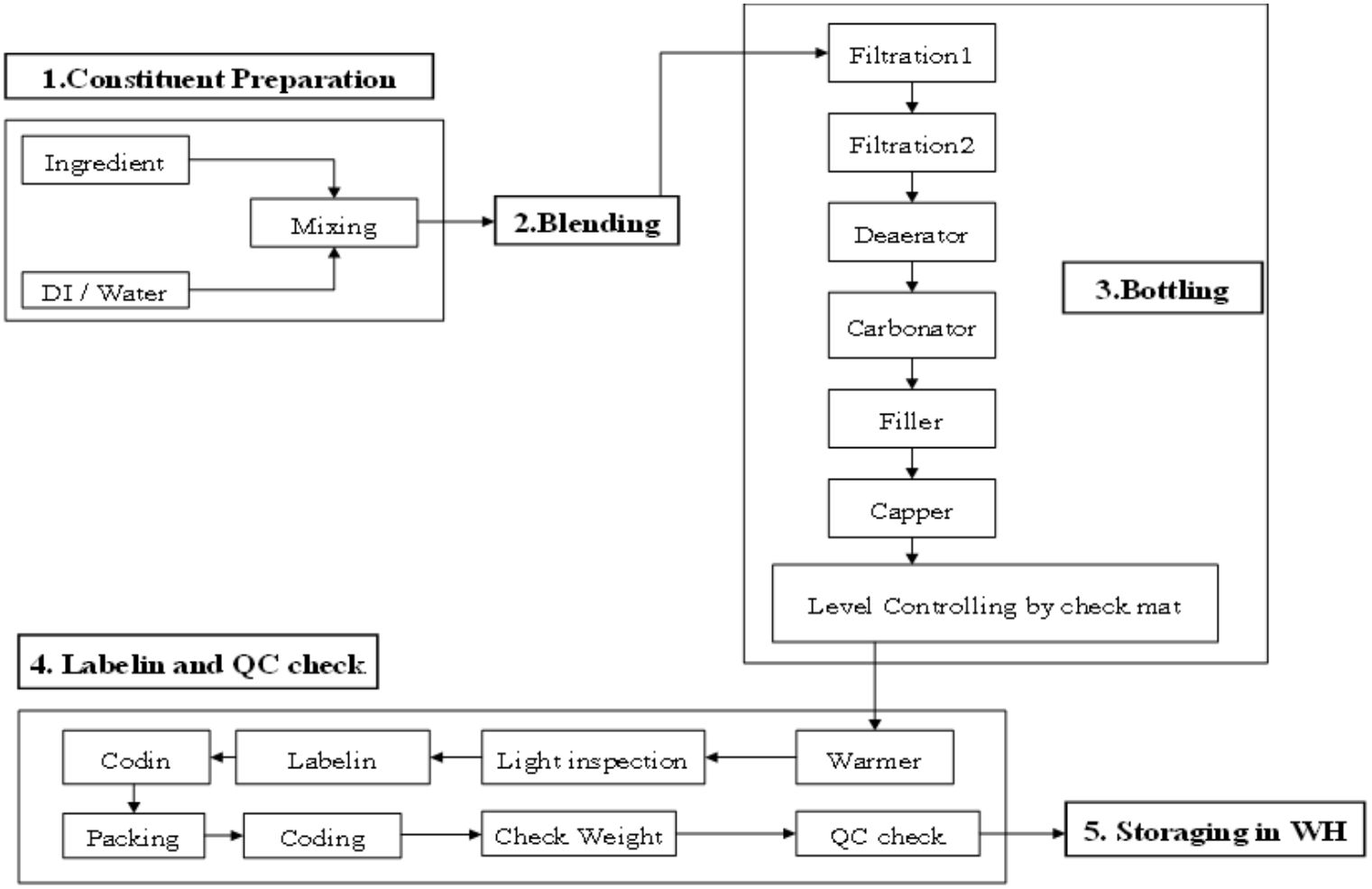
ขั้นตอนการเติมเริ่มจากความดันภายในกระป๋องน้อยกว่าความดันภายในถังเก็บน้ำผลิตภัณฑ์ ทำให้น้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บถูกดันด้วยแรงดัน น้ำผลิตภัณฑ์จึงไหลเข้าสู่กระป๋อง และเมื่อน้ำผลิตภัณฑ์ไหลเข้าสู่กระป๋อง น้ำผลิตภัณฑ์จะเข้าไปแทนที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต้องไหลกลับไปยังถังเก็บน้ำผลิตภัณฑ์ทางท่อระบายเช่นเดิม นอกจากนั้นลักษณะเครื่องบรรจุของโรงงานกรณีศึกษามีลักษณะระบบการบรรจุแบบบรรจุจนถึงระดับที่กำหนด (Level-sensing filler) ทำให้เมื่อน้ำผลิตภัณฑ์ถูกบรรจุจนถึงปลายท่อระบายซึ่งเป็นระดับที่กำหนด ระบบควบคุมก็จะปิดการไหลของน้ำผลิตภัณฑ์ทันที เมื่อน้ำผลิตภัณฑ์หยุดไหลลงสู่กระป๋อง วาล์วปิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะทำหน้าที่ปิดทางท่อระบาย เพื่อปิดการไหลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างภายในกระป๋องกับภายในถังเก็บน้ำผลิตภัณฑ์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ยังคงเหลืออยู่ภายในกระป๋องจะถูกปล่อยออกทางวาล์วไล่อากาศ ซึ่งในขั้นตอนนี้ทำหน้าที่เป็นวาล์วไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สุดท้ายหลังจากกระป๋องบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์เรียบร้อยแล้วจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องปิดฝาต่อไป

4. ขั้นตอนการตรวจสอบระดับน้ำผลิตภัณฑ์ (Level Controlling)

ขั้นตอนการตรวจสอบระดับน้ำผลิตภัณฑ์มีเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบ คือ Check mat เป็นเซนเซอร์ ตรวจสอบระดับน้ำผลิตภัณฑ์ของแต่ละกระป๋อง ถ้าพบกระป๋องที่มีระดับน้ำผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าที่กำหนด กระป๋องนั้นจะถูกคัดออกจากสายการผลิตกลายเป็นของเสีย (Reject)

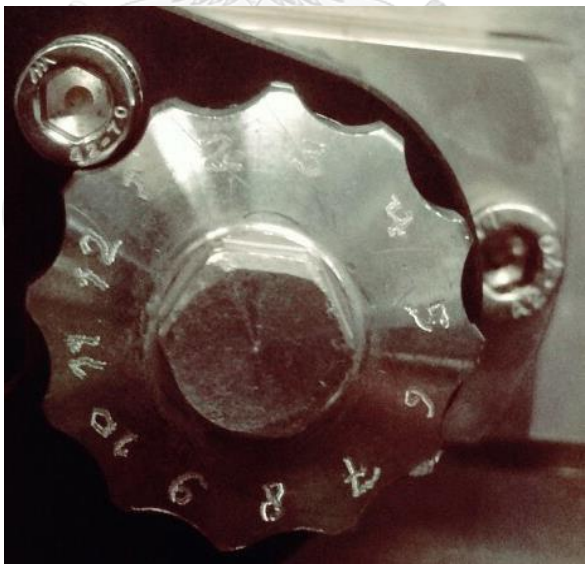
อุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องบรรจุจะแสดงในรูปที่ 1.2 - 1.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

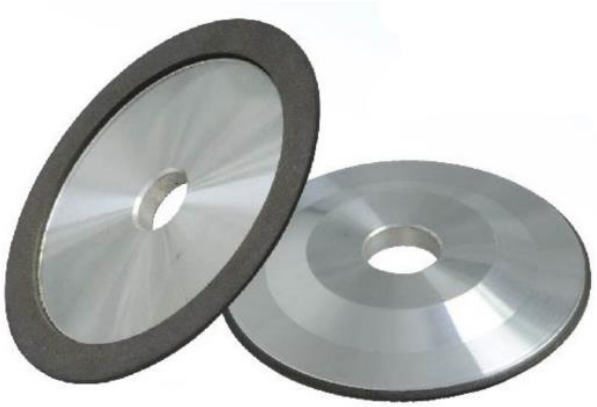


รูปที่ 1.1 แผนผังกระบวนการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ของโรงงานกรณีศึกษา

รูปที่ 1.2 ท่อระบาย



รูปที่ 1.3 วาล์วปิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 1.4 จานป้อนเข้า

รูปที่ 1.5 เครื่องบรรจุแบบโรตารี

1.3 การศึกษาสภาพปัญหาและความสำคัญของปัญหาในปัจจุบัน

ในกระบวนการบรรจุของสายการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A จะมีประเภทการเกิดความสูญเสียอยู่ 2 กรณี ดังนี้

1. น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้
2. น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้

การที่ผลิตภัณฑ์เกิดกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้จะทำให้เกิดความสูญเสียอยู่ 2 อย่าง คือ กระป๋องและน้ำผลิตภัณฑ์ ส่วนการที่ผลิตภัณฑ์เกิดกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้จะทำให้เกิดความสูญเสียเพียงอย่างเดียวเท่านั้น คือ น้ำผลิตภัณฑ์ โดยปริมาณความสูญเสียชนิดกระป๋องสามารถวัดได้จากจำนวนกระป๋องที่ถูกคัดออกจากกระบวนการผลิต เนื่องจากน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ส่วนปริมาณความสูญเสียชนิดน้ำผลิตภัณฑ์ไม่สามารถวัดได้โดยตรง เนื่องจากเครื่องตรวจวัดระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องสามารถตรวจสอบได้เพียงแค่ว่า ระดับน้ำผลิตภัณฑ์มีค่าเกิน หรือต่ำกว่าระดับที่กำหนดไว้เท่านั้น ไม่สามารถตรวจสอบปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องได้ ทำให้ทั้งในกรณีการเกิดน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และในกรณีการเกิดน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ต่างก็ไม่ทราบปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ในแต่ละกระป๋อง ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงใช้สมการที่ 1.1 ในการคำนวณปริมาณความสูญเสียน้ำผลิตภัณฑ์ (หน่วยเป็นลิตร) ในแต่ละรอบการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปริมาณความสูญเสียน้ำผลิตภัณฑ์ (หน่วยเป็นลิตร) = ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ในถังบรรจุ – [จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Finish Good) × ปริมาตรมาตรฐานของน้ำที่ต้องบรรจุลงกระป๋อง] (1.1)

กำหนด ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ในถังบรรจุมีหน่วยเป็นลิตร ซึ่งปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่เข้าสู่ถังบรรจุในแต่ละรอบการผลิตสามารถตรวจสอบได้จากหน้าจอแสดงผลซึ่งอยู่ด้านหน้าของเครื่องบรรจุ ส่วนจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ได้มีหน่วยเป็นกระป๋อง สามารถตรวจสอบได้จากหน้าจอแสดงผลอยู่ด้านหน้าเครื่องเซนเซอร์ (Sensor) ซึ่งเป็นเครื่องที่มีหน้าที่ตรวจสอบระดับน้ำ และปริมาตรมาตรฐานของน้ำผลิตภัณฑ์ที่ต้องบรรจุลงกระป๋องทางโรงงานกำหนดไว้เท่ากับ 0.25 ลิตร หรือเท่ากับ 250 มิลลิลิตร

จากข้อมูลของโรงงานเดือนมกราคม – พฤษภาคม 2560 สามารถแสดงปริมาณและมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุที่เกิดจากปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่เหมาะสมได้ ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ปริมาณและมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 – พฤษภาคม พ.ศ. 2561

วันละ 2 รอบการผลิต และในแต่ละรอบการผลิตนั้นจะมีปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ในถังบรรจุเฉลี่ยรอบการผลิตละ 9,990 ลิตร ฉะนั้นใน 1 เดือนจะมีปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ตั้งต้นในถังบรรจุประมาณเท่ากับ 399,600 ลิตร แสดงว่าในแต่ละเดือนควรมีผลิตภัณฑ์ที่โรงงานกรณีศึกษาผลิตได้ประมาณเท่ากับ 1,598,400 กระป๋อง

เดือน	น้ำผลิตภัณฑ์ในถังบรรจุ (ลิตร)	กระป๋องที่ควรผลิตได้ (กระป๋อง)	น้ำผลิตภัณฑ์ที่สูญเสีย (ลิตร)	กระป๋องที่สูญเสีย (กระป๋อง)	มูลค่าสูญเสียน้ำผลิตภัณฑ์ (บาท)	มูลค่าสูญเสียกระป๋อง (บาท)	มูลค่าความสูญเสียรวม (บาท)	มูลค่าความสูญเสียรวมต่อ 1 กระป๋อง (บาท)	% ปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ที่สูญเสีย	% จำนวนกระป๋องที่สูญเสีย
ม.ค	319,640	1,278,560	10,408	40,620	221,899	125,516	347,414	0.2717	3.26	3.18
ก.พ	364,905	1,459,620	10,590	40,980	225,779	126,628	352,407	0.2414	2.90	2.81
มี.ค	452,717	1,810,868	16,430	53,300	350,288	164,697	514,985	0.2844	3.63	2.94
เม.ย	384,040	1,536,160	10,362	40,048	220,918	123,748	344,666	0.2244	2.70	2.61
พ.ค	319,800	1,279,200	10,306	40,023	219,724	123,671	343,395	0.2684	3.22	3.13
มิ.ย.	416,140	1,664,560	13,100	51,610	279,292	159,475	438,767	0.2636	3.15	3.10
ก.ค.	408,500	1,634,000	13,320	50,400	283,982	155,736	439,718	0.2691	3.26	3.08
ส.ค.	402,200	1,608,800	13,000	52,220	277,160	161,360	438,520	0.2726	3.23	3.25
ก.ย.	410,500	1,642,000	13,080	51,780	278,866	160,000	438,866	0.2673	3.19	3.15

ตารางที่ 1.1 ปริมาณและมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 – พฤษภาคม พ.ศ. 2561 (ต่อ)

เดือน	น้ำผลิตภัณฑ์ในถังบรรจุ (ลิตร)	กระป๋องที่ควรผลิตได้ (กระป๋อง)	น้ำผลิตภัณฑ์ที่สูญเสีย (ลิตร)	กระป๋องที่สูญเสีย (กระป๋อง)	มูลค่าสูญเสียน้ำผลิตภัณฑ์ (บาท)	มูลค่าสูญเสียกระป๋อง (บาท)	มูลค่าความสูญเสียน้ำและกระป๋อง (บาท)	มูลค่าความสูญเสียต่อ 1 กระป๋อง (บาท)	% ปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ที่สูญเสีย	% จำนวนกระป๋องที่สูญเสีย
ต.ค.	409,500	1,638,000	13,100	51,095	279,292	157,884	437,176	0.2669	3.20	3.12
พ.ย.	415,200	1,660,800	13,760	53,400	293,363	165,006	458,369	0.2760	3.31	3.22
ธ.ค.	410,500	1,642,000	13,510	51,600	288,033	159,444	447,477	0.2725	3.29	3.14
รวม	4,713,642	18,854,568	150,966	577,076	3,218,595	1,783,165	5,001,760	-	-	-
เฉลี่ย	392,804	1,571,214	12,581	48,090	268,216	148,597	416,813	0.2649	3.19	3.06

โดยราคาความสูญเสียต่อหน่วยที่ใช้ในการคำนวณมูลค่าความสูญเสียนั้นมีราคาต่อหน่วย ดังนี้

1. ราคากระป๋องเปล่าต่อหน่วยเท่ากับ 2.39 บาท/กระป๋อง
2. ราคาฝากระป๋องต่อหน่วยเท่ากับ 0.70 บาท/ฝา
3. ราคาต้นทุนน้ำผลิตภัณฑ์ต่อลิตรเท่ากับ 21.32 บาท/ลิตร

จากข้อมูลปริมาณและมูลค่าการสูญเสียในกระบวนการบรรจุตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 – พฤษภาคม พ.ศ. 2561 จึงสามารถสรุปได้ว่าร้อยละโดยเฉลี่ยของความสูญเสียน้ำผลิตภัณฑ์ และร้อยละโดยเฉลี่ยของความสูญเสียกระป๋องในแต่ละเดือนเท่ากับ 3.19 และ 3.06 ตามลำดับ ส่วนมูลค่าความสูญเสียเฉลี่ยที่เกิดจากกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A มีปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่เหมาะสมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 416,813 บาทต่อเดือน โดยค่าเฉลี่ยของมูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่เหมาะสมต่อ 1 กระป๋องมีค่าเท่ากับ 0.2649 บาท ทางโรงงานกรณีศึกษากำหนดให้ 1 รอบการผลิตมีผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในกระบวนการบรรจุเท่ากับ 40,000 กระป๋อง ดังนั้นมูลค่าความสูญเสียของกระบวนการบรรจุที่เกิดจากปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่เหมาะสมต่อ 1 รอบการผลิตจะมีค่าเท่ากับ 10,594 บาท โดยในการดำเนินการบรรจุใน 1 รอบการผลิตใช้เวลาในการบรรจุเท่ากับ 4.26 ชั่วโมง คิดเป็นค่าทำงานล่วงเวลาเท่ากับ 38.83 บาท และค่าความดันภายในถังเก็บของเครื่องบรรจุในปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 3 บาร์ จึงใช้ค่าไฟฟ้าในการปรับความดันภายในถังเก็บเท่ากับ 24.38 บาท มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุก่อนการปรับปรุงต่อ 1 รอบการผลิตจึงมีค่าประมาณ 10,657 บาท ซึ่งในหนึ่งเดือนจะมีการผลิตทั้งหมด 40 รอบการผลิต ดังนั้นมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุก่อนปรับปรุงต่อ 1 เดือนจะมีค่าประมาณ 426,280 บาท จึงทำให้ทางโรงงานกรณีศึกษาตระหนักถึงปัญหาความสูญเสียในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A เป็นอย่างมาก ปัญหานี้จึงมีความสำคัญและจำเป็นต้องได้รับการแก้ปัญหา เพื่อเป็นการลดต้นทุนให้แก่โรงงานกรณีศึกษาและเพิ่มศักยภาพการแข่งขันทางการตลาดให้มากยิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผู้วิจัยได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A ในวันที่ 30 มิถุนายน 2560 เป็นจำนวน 40 กระป๋อง โดยมีวิธีการเก็บข้อมูล ดังนี้

1. สุ่มเก็บผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A จำนวน 40 กระป๋อง
2. นำกระป๋องที่สุ่มเก็บไปชั่งน้ำหนักหน่วยเป็นกรัม และคำนวณน้ำหนักของน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องได้จากการนำน้ำหนักรวมทั้งหมดของน้ำผลิตภัณฑ์และกระป๋อง ลบด้วยน้ำหนักของกระป๋องเปล่าและน้ำหนักของฝากระป๋อง

3. แปลงน้ำหนักน้ำผลิตภัณฑ์เป็นปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์สามารถแปลงได้จากสมการที่ 1.2

$$\text{ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ (มิลลิลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำผลิตภัณฑ์ (กรัม)}}{\text{ความหนาแน่นของน้ำผลิตภัณฑ์ (กรัม/มิลลิลิตร)}} \quad (1.2)$$

โดยทางโรงงานกำหนดให้ค่าความหนาแน่นของน้ำผลิตภัณฑ์ในทุกรอบการผลิตมีค่าอยู่ในช่วง 1.0094-1.010 กรัม/มิลลิลิตร ผู้วิจัยจึงใช้ความหนาแน่นเฉลี่ยซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.0097 กรัม/มิลลิลิตร ในการคำนวณหาปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นผู้วิจัยจึงคำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง สูตรการคำนวณหาค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่างแสดงในสมการที่ 1.3

$$\bar{X} = \frac{x_1+x_2+\cdots+x_n}{n} \quad (1.3)$$

เมื่อ X แทนค่าข้อมูล (ตัวที่ 1, 2, 3, n)

n แทนจำนวนข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง

สูตรการคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างแสดงในสมการที่ 1.4

$$S = \sqrt{\frac{(x_1-\bar{x})^2+(x_2-\bar{x})^2+\cdots+(x_n-\bar{x})^2}{n-1}} \quad (1.4)$$

เมื่อ X แทนค่าข้อมูล (ตัวที่ 1, 2, 3, n)

$\bar{X}$ แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูล

n แทนจำนวนข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง

ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง 40 ตัวอย่างแสดงในตารางที่ 1.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1.2 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง

ค่าเฉลี่ย	252.01 มิลลิลิตร
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.97 มิลลิลิตร

เมื่อผู้วิจัยรู้ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างแล้ว จึงคำนวณหาค่าขนาดตัวอย่างที่จะใช้ประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร และค่าขนาดตัวอย่างที่จะใช้ประมาณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรโดยใช้สูตรการคำนวณ ดังนี้

1. สูตรคำนวณหาค่าขนาดตัวอย่างที่จะใช้ประมาณค่าเฉลี่ยของข้อมูลแสดงในสมการที่ 1.5

$$n = \frac{z^2_{\alpha/2}\sigma^2}{e^2} \quad (1.5)$$

เมื่อ n แทนขนาดตัวอย่าง

$z_{\alpha/2}$ แทนค่าปกติมาตรฐานที่สอดคล้องกับระดับความเชื่อมั่น (1-α) %

σ แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

e แทนความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของค่าที่ประมาณได้จากค่าจริง

โดยกำหนด α = 0.05 และ e มีค่าเท่ากับ 0.50 ดังนั้นขนาดตัวอย่างที่ใช้ประมาณค่าเฉลี่ยของข้อมูลเท่ากับ 59.64 ตัวอย่าง หรือเท่ากับ 60 ตัวอย่าง

2. สูตรคำนวณหาค่าขนาดตัวอย่างที่จะใช้ประมาณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลแสดงในสมการที่ 1.6

$$w = \sqrt{\frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{\left(1-\frac{\alpha}{2}\right),n-1}}} - \sqrt{\frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{\left(\frac{\alpha}{2}\right),n-1}}} \quad (1.6)$$

เมื่อ n แทนขนาดตัวอย่าง

s แทนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง

w แทนค่าความกว้างของช่วงความเชื่อมั่น

χ^2 แทนค่าตัวสถิติไคสแควร์ที่สอดคล้องกับระดับความเชื่อมั่น (1-α) % และ n

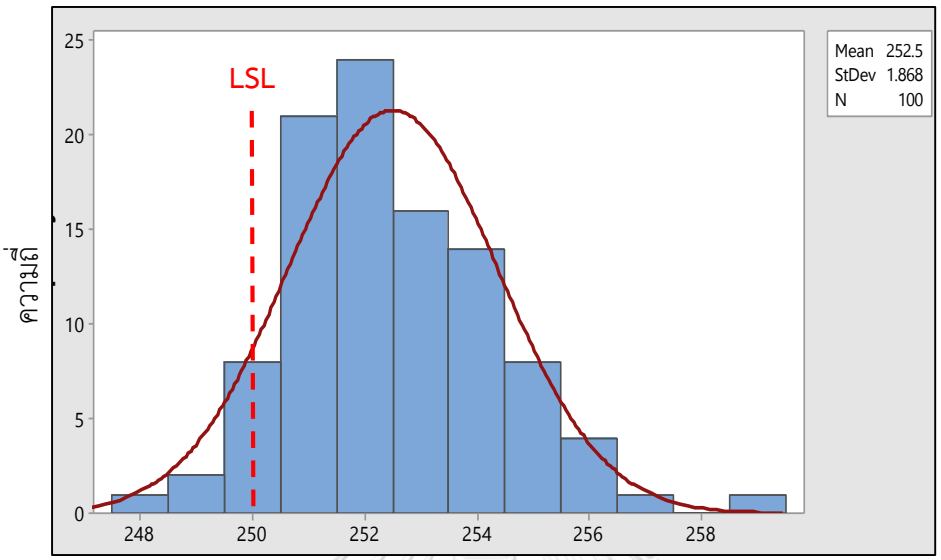
โดยกำหนด α = 0.05 และกำหนดค่าความกว้างของช่วงความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.55 ดังนั้นขนาดตัวอย่างที่ใช้ประมาณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลเท่ากับ 100 ตัวอย่าง จากผลการคำนวณขนาดตัวอย่างที่ใช้ประมาณค่าเฉลี่ยของข้อมูล และขนาดตัวอย่างที่จะใช้ประมาณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล พบว่าควรเก็บขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 ตัวอย่าง เพื่อใช้ทั้งในการประมาณค่าเฉลี่ยของข้อมูล และใช้ประมาณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล หลังจากเก็บตัวอย่าง 100 ตัวอย่างจึงคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ในกระบวนการบรรจุปัจจุบันได้ค่า ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเท่ากับ 252.50 มิลลิลิตร

2. ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1.87 มิลลิลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กราฟฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุปัจจุบันมีการแจกแจงความถี่ของข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 1.6 โดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดความสูญเสียกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่า 250 มิลลิลิตรจะมีค่าเท่ากับ 3 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มตัวอย่าง



รูปที่ 1.6 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุปัจจุบัน

การคำนวณมูลค่าความสูญเสียของผลิตภัณฑ์แต่ละกระป๋องสามารถแบ่งการคำนวณได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. คำนวณมูลค่าความสูญเสียของน้ำผลิตภัณฑ์ส่วนเกิน เมื่อเกิดกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

$$\text{มูลค่าความสูญเสียของน้ำผลิตภัณฑ์ส่วนเกินใน 1 กระป๋อง} = V_{Overfilled} \times \frac{\text{ราคาน้ำผลิตภัณฑ์}}{1 \text{ มิลลิลิตร}} \quad (1.7)$$

โดย $V_{Overfilled} = V_{Real} - V_{Expected}$

เมื่อ $V_{Overfilled}$ แทนปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ส่วนเกินใน 1 กระป๋อง (มิลลิลิตร)

V_{Real} แทนปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่บรรจุลงภายในกระป๋อง (มิลลิลิตร)

$V_{Expected}$ แทนปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาตรฐานที่โรงงานกำหนดไว้ คือ 250 มิลลิลิตร

ราคาน้ำผลิตภัณฑ์ต่อลิตรเท่ากับ 21.32 บาท/ลิตร หรือ เท่ากับ 0.02132 บาท/มิลลิลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. คำนวณมูลค่าความสูญเสียของน้ำผลิตภัณฑ์และกระป๋อง เมื่อเกิดกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

$$\text{มูลค่าความสูญเสียของน้ำผลิตภัณฑ์และกระป๋อง} = \left[V_{Real} \times \frac{\text{ราคาน้ำผลิตภัณฑ์}}{1 \text{ มิลลิลิตร}}\right] + \frac{\text{ราคาฝา}}{1 \text{ ฝา}} + \frac{\text{ราคากระป๋อง}}{1 \text{ กระป๋อง}} \quad (1.8)$$

เมื่อ V_{Real} แทนปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่บรรจุลงภายในกระป๋อง (มิลลิลิตร)

ราคาน้ำผลิตภัณฑ์ต่อลิตรเท่ากับ 21.32 บาท/ลิตร หรือ เท่ากับ 0.02132 บาท/มิลลิลิตร

ราคากระป๋องเปล่าต่อหน่วยเท่ากับ 2.39 บาท/กระป๋อง

ราคาฝากระป๋องต่อหน่วยเท่ากับ 0.70 บาท/ฝา

ผู้วิจัยได้คำนวณมูลค่าความสูญเสียจากการเก็บตัวอย่าง 100 กระป๋อง ได้มูลค่าความสูญเสียรวมเท่ากับ 30.79 บาท แสดงการคำนวณได้ ดังสมการที่ 1.9

$$\text{มูลค่าความสูญเสียรวม} = \sum_{i=1}^{n} x_i \quad (1.9)$$

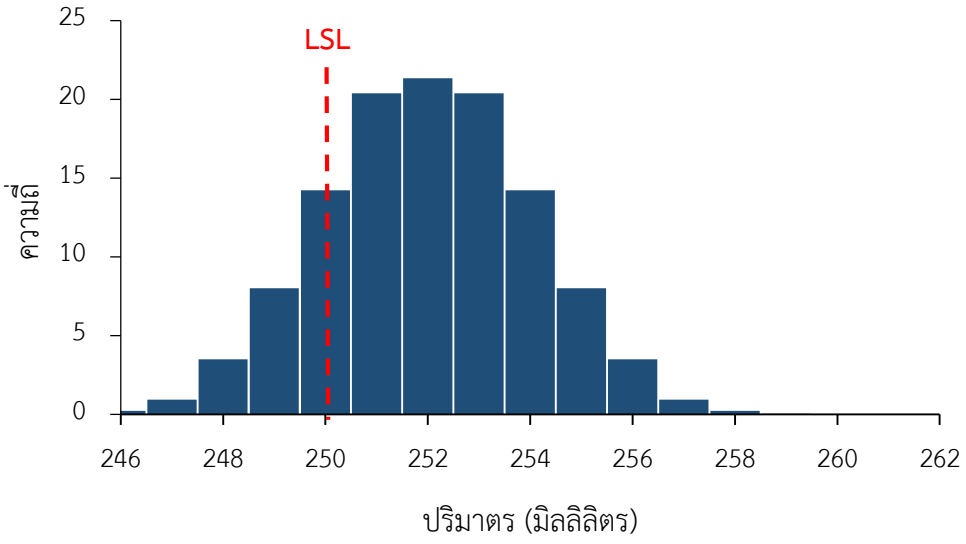
เมื่อ x_i แทนมูลค่าความสูญเสียของแต่ละกระป๋อง

n แทนจำนวนผลิตภัณฑ์ หน่วยเป็นกระป๋อง

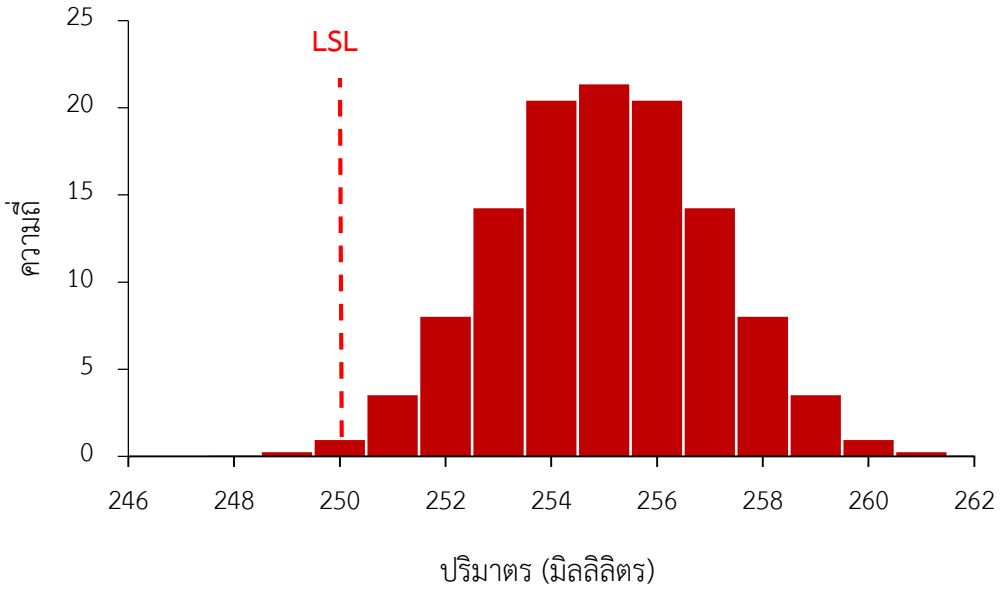
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การคำนวณมูลค่าความสูญเสียจะกำหนดราคากระป๋องและฝาต่อหน่วยเท่ากับ 3.09 บาท/กระป๋อง แต่ราคาน้ำผลิตภัณฑ์ต่อหน่วยมีค่าเท่ากับ 21.32 บาท/ลิตร ฉะนั้นถ้าเกิดกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดซึ่งเท่ากับ 250 มิลลิลิตรจะทำให้เกิดมูลค่าความสูญเสียมากกว่ากรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ดังรูปที่ 1.7 เนื่องจากต้องสูญเสียทั้งกระป๋องและน้ำผลิตภัณฑ์ ไม่มีส่วนใดนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งในกระบวนการได้ ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงจึงน่าจะเป็นการทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มีค่าห่างจากขีดจำกัดล่างของกระบวนการซึ่งเท่ากับ 250 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 1.8 เพื่อให้เกิดกรณีที่น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในสัดส่วนที่น้อย แต่การเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ก็จะทำให้เกิดความสูญเสียน้ำผลิตภัณฑ์เกินความจำเป็นมากขึ้น ซึ่งก็ส่งผลให้เกิดมูลค่าความสูญเสียของน้ำผลิตภัณฑ์ อีกทั้งถ้าค่าระดับความผันแปรของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มีค่าสูงก็มีผลทำให้มูลค่าความสูญเสียมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากจะมีปริมาณความสูญเสียส่วนที่น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์

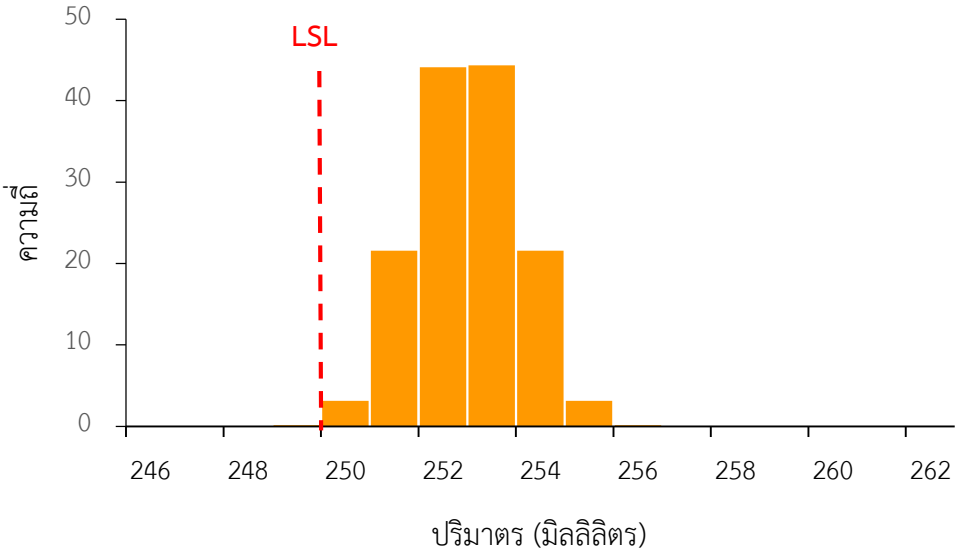
ที่กำหนด และปริมาณความสูญเสียส่วนที่น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดมากกว่าที่ค่าระดับความผันแปรของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำ ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์เพียงอย่างเดียวคงไม่เพียงพอ ต้องปรับปรุงทั้งทางด้านค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ให้มีค่าที่เหมาะสม และปรับปรุงค่าระดับความผันแปรของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ให้มีค่าต่ำ ดังรูปที่ 1.9 เพื่อให้มูลค่าความสูญเสียของกระบวนการบรรจุมีค่าน้อยที่สุด



รูปที่ 1.7 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ เมื่อค่าเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงขีดจำกัดล่างของกระบวนการ



รูปที่ 1.8 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ เมื่อค่าเฉลี่ยมีค่าห่างจากขีดจำกัดล่างของกระบวนการ



รูปที่ 1.9 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ เมื่อค่าเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงขีดจำกัดล่างของกระบวนการและค่าระดับความผันแปรน้อย

มูลค่าความสูญเสียของกระบวนการบรรจุจะมีการเปลี่ยนแปลงไป เมื่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป มูลค่าความสูญเสียที่ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่ค่าใด ๆ จะสามารถประมาณมูลค่าความสูญเสียต่อ 1 รอบการผลิตได้โดยใช้สมการที่ 1.11

มูลค่าความสูญเสียรวมต่อ 1 รอบการผลิต = มูลค่าน้ำผลิตภัณฑ์ + มูลค่ากระป๋อง + มูลค่าฝา (1.10)

$$\text{มูลค่าความสูญเสียรวมต่อ 1 รอบการผลิต} = \left[(n \times (\mu - 250)) \times \frac{\text{ราคาน้ำผลิตภัณฑ์}}{1 \text{ มิลลิลิตร}}\right] + \left[(p \times n) \times \left(\frac{\text{ราคาฝา}}{1 \text{ ฝา}} + \frac{\text{ราคากระป๋อง}}{1 \text{ กระป๋อง}}\right)\right] \quad (1.11)$$

เมื่อ μ แทนค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่บรรจุลงภายในกระป๋อง

p แทนสัดส่วนของปริมาณกระป๋องที่เกิดกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

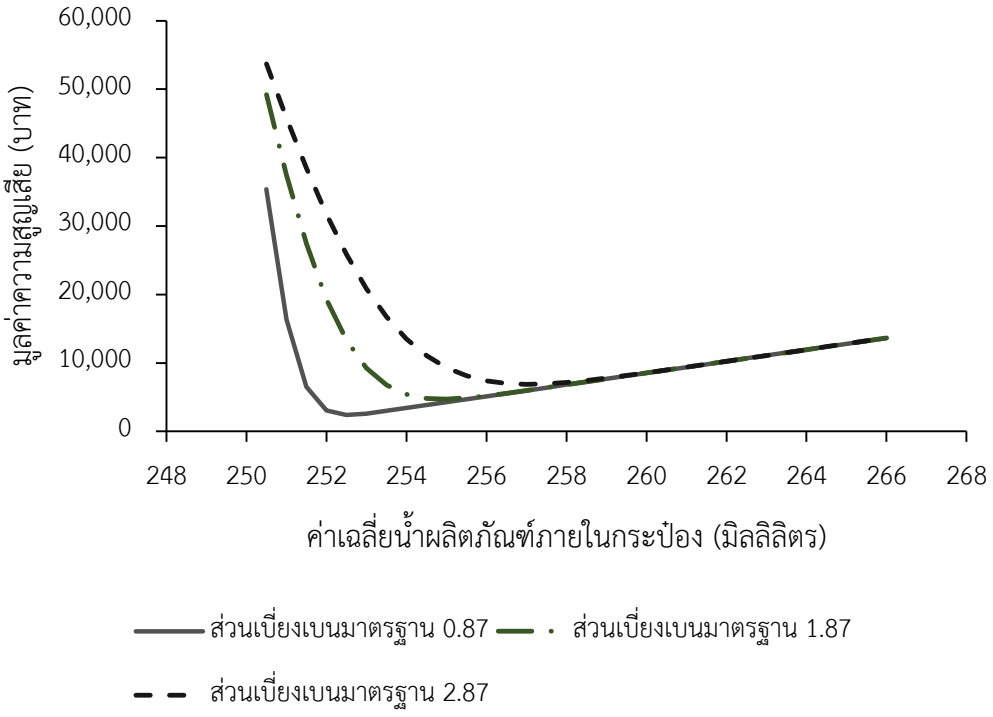
σ แทนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่บรรจุลงภายในกระป๋อง

โดย p = ($P\left(Z < \frac{250-\mu}{\sigma}\right)$

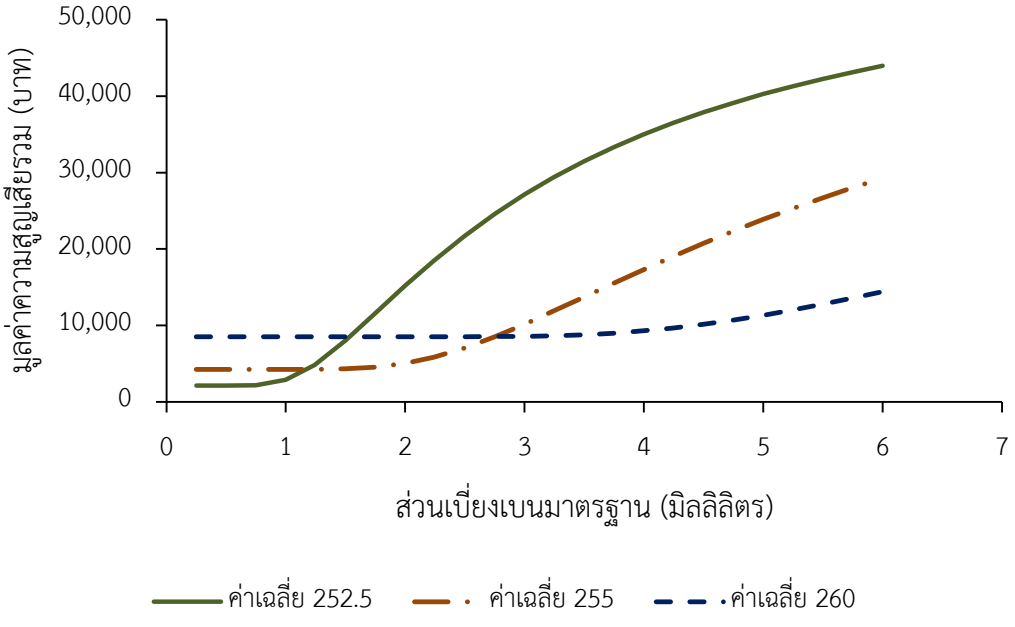
n แทนจำนวนกระป๋องที่บรรจุได้ใน 1 รอบการผลิต

ปริมาตรมาตรฐานของน้ำผลิตภัณฑ์ที่ต้องบรรจุลงกระป๋องเท่ากับ 0.25 ลิตร

รูปที่ 1.10 แสดงให้เห็นผลของมูลค่าความสูญเสียที่คำนวณได้จากสมการที่ 1.10 เมื่อค่าเฉลี่ยน้ำผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป แต่ระดับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคงที่ โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ปัจจุบันเท่ากับ 1.87 มิลลิลิตร จากรูปที่ 1.10 จะเห็นได้ว่ายิ่งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยลง จุดวกกลับ หรือจุดที่มูลค่าความสูญเสียมีค่าต่ำที่สุดจะเกิดที่ค่าเฉลี่ยน้ำผลิตภัณฑ์ที่มีค่าน้อย ในทางกลับกันถ้าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามาก จุดวกกลับ หรือจุดที่มูลค่าความสูญเสียรวมมีค่าต่ำที่สุดจะเกิดที่ค่าเฉลี่ยน้ำผลิตภัณฑ์ที่มีค่ามากขึ้น ฉะนั้นในการปรับปรุงกระบวนการที่ต้องการมูลค่าความสูญเสียน้อยจึงจำเป็นต้องหาค่าเฉลี่ยน้ำผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมกับระดับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ส่วนรูปที่ 1.11 แสดงให้เห็นผลของมูลค่าความสูญเสียคำนวณได้จากสมการที่ 1.10 เมื่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปลี่ยนไปแต่ค่าเฉลี่ยน้ำผลิตภัณฑ์คงที่ โดยค่าเฉลี่ยน้ำผลิตภัณฑ์ปัจจุบันเท่ากับ 252.50 มิลลิลิตร จากรูปที่ 1.11 จะเห็นได้ว่า กรณีที่ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียง 250 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นค่าขีดจำกัดล่างจะส่งผลให้มูลค่าความสูญเสียรวมมีค่าสูงถ้าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้น แต่ในทางกลับกันถ้าค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มีค่ามากกว่า 250 มิลลิลิตรมาก การเปลี่ยนแปลงของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์จากค่าน้อยไปค่ามาก กลับส่งผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของมูลค่าความสูญเสียไม่มากเท่ากับในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงขีดจำกัดล่าง แต่ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ฉะนั้นทั้งค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์จึงมีผลกระทบต่อมูลค่าความสูญเสียของกระบวนการบรรจุ



รูปที่ 1.10 ผลของมูลค่าความสูญเสีย เมื่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเปลี่ยนไป แต่ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคงที่



รูปที่ 1.11 ผลของมูลค่าความสูญเสีย เมื่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเปลี่ยนไปแต่ค่าเฉลี่ยคงที่

หลังจากนั้นผู้วิจัยได้วิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) ของกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ ดังนี้

1. คำนวณหาขนาดตัวอย่างเพื่อใช้ประเมินความสามารถของกระบวนการ จากสูตรการคำนวณในสมการที่ 1.12

$$n = (Z(\alpha))^2 \frac{\left[\frac{1}{9\left(c_{pk}\right)^2}+\frac{1}{1}\right]}{\left[1-\frac{C_{pk}}{\hat{C}_{pk}}\right]^2} \tag{1.12}$$

เมื่อ n แทนจำนวนข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง

Z_α แทนค่าปกติมาตรฐานที่สอดคล้องกับระดับความเชื่อมั่น α

C_{pk} แทนดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ

กำหนด α = 0.05 และกำหนดอัตราส่วนระหว่างค่า C_{pk} และค่า $\hat{C}_{pk}$ เท่ากับ 0.85

งานวิจัยนี้มีการกำหนดเพียงค่าขีดจำกัดล่างของกระบวนการ จึงทำให้สามารถหาได้เพียงแค่ค่า C_{pl} เท่านั้น ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงกำหนดให้ C_{pl} เท่ากับ C_{pk}

สูตรการคำนวณค่า $\hat{C}_{pl}$ แสดงในสมการที่ 1.13

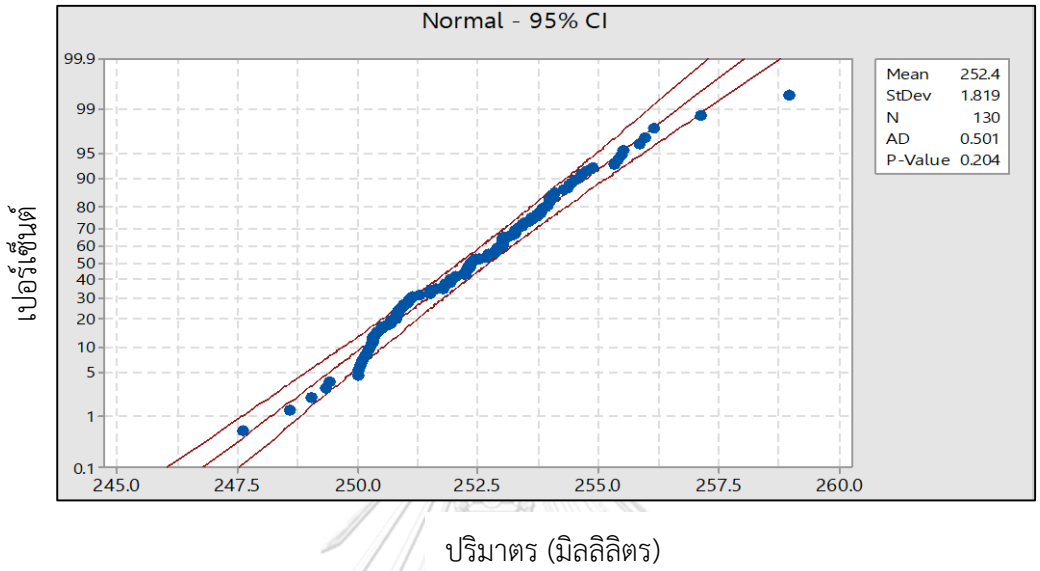
$$\hat{C}_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma_{within}} \tag{1.13}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

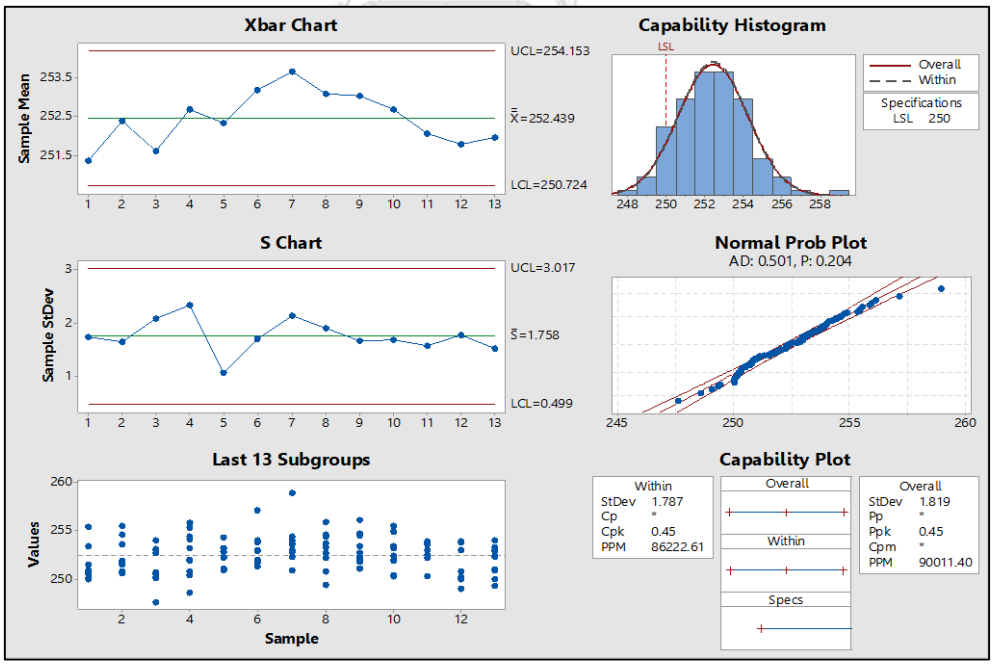
กำหนด ค่า μ เท่ากับ 252.5 มิลลิลิตร ส่วนค่า σ_{within} เท่ากับ 1.85 มิลลิลิตร และทางโรงงานกำหนดขีดจำกัดล่างของกระบวนการ (LSL) เท่ากับ 250 มิลลิลิตร

คำนวณค่า $\hat{C}_{pl}$ ได้เท่ากับ 0.45 และนำไปแทนค่าในสมการที่ 1.12 ได้ค่าขนาดตัวอย่างเพื่อใช้ประเมินความสามารถของกระบวนการเท่ากับ 126.10 ตัวอย่าง หรือเท่ากับ 130 ตัวอย่าง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเก็บตัวอย่างเพิ่มอีก 30 กระป๋อง

2. วิเคราะห์ว่าข้อมูลที่เก็บมาจำนวน 130 ข้อมูลผ่านสมมติฐานการแจกแจงปกติ และอยู่ในสภาวะควบคุม



รูปที่ 1.12 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติของปริมาตรน้ำภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุ



รูปที่ 1.13 ผลการประเมินความสามารถของกระบวนการบรรจุ

จากรูปที่ 1.13 พบว่าใน $\bar{X}$ Chart และ R Chart มีข้อมูลอยู่ในขอบเขตการควบคุมทั้งหมด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูล 130 ข้อมูลนี้มีคุณสมบัติอยู่ในสภาวะควบคุม และจากกราฟการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ พบว่าค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าข้อมูลนี้เป็นการแจกแจงเป็นแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่เก็บมาจำนวน 130 ข้อมูลผ่านสมมติฐานการแจกแจงปกติ และอยู่ในสภาวะควบคุม

3. คำนวณหาดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ

จากรูปที่ 1.13 พบว่าค่า C_{pk} ของกระบวนการมีค่าเท่ากับ 0.45 ซึ่งโดยปกติค่ามาตรฐาน C_{pk} ที่ยอมรับได้จะมีค่าเท่ากับ 1.33 ดังนั้นความสามารถของกระบวนการบรรจุของโรงงานกรณีศึกษายังมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ ทางผู้วิจัยจึงต้องมีการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการบรรจุของโรงงานกรณีศึกษา โดยหาวิธีการปรับค่าเฉลี่ยให้มีค่าที่เหมาะสม และลดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อไม่ให้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าขีดจำกัดล่าง และในขณะเดียวกันก็ต้องไม่ให้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องสูงมากเกินไป เพราะจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำผลิตภัณฑ์เกินจำเป็นในกรณีปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้มีปริมาณมากเกินไป ซึ่งค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มีผลต่อมูลค่าความสูญเสียของกระบวนการบรรจุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อลดมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้รสชาติ A และเพื่อให้ผลิตภาพต่อรอบการผลิตของกระบวนการบรรจุมีค่าอยู่ในช่วงที่ทางโรงงานกำหนด

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A ปริมาตรบรรจุ 250 มิลลิลิตร

2. ศึกษาการลดมูลค่าความสูญเสียรวมของกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ โดยลดมูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากเครื่องบรรจุเท่านั้น

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

2. สมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับตัวแปรตอบสนอง

3. ค่าปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมของกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ลดลง

4. วิธีการควบคุมกระบวนการ เช่น เอกสารการปฏิบัติงาน และ แผ่นตรวจสอบ

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มูลค่าความสูญเสียของกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A ปริมาตรบรรจุ 250 มิลลิลิตรมีค่าลดลงและผลิตภาพต่อรอบการผลิตของกระบวนการบรรจุมีค่าอยู่ในช่วงที่ทางโรงงานต้องการ

2. แนวทางและวิธีการลดมูลค่าความสูญเสียของกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการลดมูลค่าความสูญเสียของกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ประเภทอื่น หรือรูปแบบบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่น เช่น ขวดแก้ว เป็นต้น และวิธีการลดมูลค่าความสูญเสียของกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์นี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการลดมูลค่าความสูญเสียของกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบได้ด้วย เช่น น้ำอัดลม เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.8 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

1. การศึกษาข้อมูลและนิยามปัญหา (Define Phase)

1.) ศึกษาข้อมูลและปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา โดยศึกษาจากข้อมูลย้อนหลังควบคู่กับการศึกษาข้อมูลสภาพปัญหาจริงในปัจจุบันของโรงงานกรณีด้วย เพื่อระบุปัญหาที่จะศึกษาในงานวิจัย

2.) ศึกษาการทำงานของกระบวนการบรรจุและเครื่องบรรจุของโรงงานกรณีศึกษา และศึกษาทฤษฎีรวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดปริมาณความสูญเสียในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม

3.) ระบุสภาพปัญหา และกำหนดขอบเขต วัตถุประสงค์ เงื่อนไข และผลที่คาดว่าจะได้รับของงานวิจัย รวมทั้งจัดตั้งคณะทำงานซึ่งคัดเลือกจากผู้ที่มีความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม และเชี่ยวชาญเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องบรรจุ

2. การวัดสภาพปัญหา (Measure Phase)

1.) วิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการ โดยใช้ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ คือ C_{pl} ซึ่งเป็นดัชนีวัดที่แสดงความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น การวิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการทำเพื่อจะได้ข้อมูลในการสนับสนุนการกำหนดสาเหตุที่อาจเป็นไปได้ของปัญหา และสามารถใช้ตัวชี้วัดนี้อธิบายสภาพปัญหาของกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในปัจจุบันได้อีกด้วย

3. การวิเคราะห์ปัญหา (Analyze Phase)

1.) ผู้วิจัย และคณะทำงานช่วยกันระดมความคิด เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่จะส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง โดยผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องมือแผนผังสาเหตุและผล ในการวิเคราะห์และใช้หมวดหมู่ของปัจจัยเป็น 5M1E ซึ่งประกอบด้วยด้วย คน เครื่องจักร วัตถุดิบ เครื่องมือวัด วิธีการดำเนินงาน และ สภาพแวดล้อม

2.) จัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อปัญหา โดยใช้เมทริกซ์ความสัมพันธ์สาเหตุและผล ซึ่งผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการบรรจุแต่ละคนต้องลงคะแนนเพื่อคัดเลือก และจัดลำดับปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

3.) เลือกปัจจัยที่มีคะแนนรวมมากอย่างชัดเจนแล้วนำปัจจัยเหล่านั้นไปคัดเลือก เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่จะนำมาทดสอบสมมติฐานที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง

4.) ออกแบบการทดลองโดยเลือกรูปแบบการทดลอง และขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองให้เหมาะสมรวมทั้งกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าที่จะทดสอบสมมติฐาน โดยผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

5.) นำปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกให้เป็นปัจจัยที่จะนำมาทดสอบสมมติฐานมาทดสอบทางสถิติว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

4. การปรับปรุง (Improve Phase)

1.) ปรับปรุงกระบวนการโดยใช้เครื่องมือต่างๆ เช่น เอกสารการปฏิบัติงาน แผ่นตรวจสอบ และแผนการสุ่มตัวอย่างเพื่อการยอมรับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.) ออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง เพื่อหาค่าระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องบรรจุให้ได้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องตามเป้าหมายที่ต้องการ โดยใช้ปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ได้จากขั้นตอนที่แล้วมาทำการออกแบบพื้นผิวตอบสนอง

3.) หาสมการถดถอยที่มีความสัมพันธ์กับผลตอบสนองแต่ละตัว และวิเคราะห์ผล

4.) หาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุมีค่าน้อยที่สุด

5. การควบคุมหลังการปรับปรุง (Control Phase)

1.) ทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

2.) สรุปผล และวิจารณ์ผลในการปรับปรุงกระบวนการ วิเคราะห์มูลค่าความสูญเสียรวมของกระบวนการและนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกระบวนการก่อนทำการปรับปรุงกระบวนการ

3.) จัดทำแผนควบคุม (Control Plan) และกำหนดเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงานให้แก่โรงงานกรณีศึกษา

6. สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

7. จัดทำรูปเล่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.9 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัยตั้งแต่เดือนเมษายน ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2560

ขั้นตอน	เดือน / ปี													
	เม.ย. 2560	พ.ค. 2560	มิ.ย. 2560	ก.ค. 2560	ส.ค. 2560	ก.ย. 2560	ต.ค. 2560	พ.ย. 2560	ธ.ค. 2560	ม.ค. 2561	ก.พ. 2561	มี.ค. 2561	เม.ย. 2561	พ.ค. 2560
การศึกษาข้อมูลและนิยามปัญหา														
การวัดสภาพปัญหา														
การวิเคราะห์ปัญหา														
การปรับปรุง														
การควบคุมหลังการปรับปรุง														
สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ														
จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์														

บทที่ 2
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินการทำงานวิจัยนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่ต้องการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการทำงานวิจัย และเป็นการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องที่ต้องการศึกษา งานวิจัยนี้เป็นการลดมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุของโรงงานผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A จึงมีการศึกษารายละเอียด ดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องที่ต้องการศึกษาซึ่งมีตามหัวข้อ ดังต่อไปนี้

2.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับซิกซ์ ซิกมา

2.1.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์

2.1.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับโอริง (O-ring)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะมีตามหัวข้อ ดังต่อไปนี้

2.1.1 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับซิกซ์ ซิกมา

2.1.2 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง

2.1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนปัจจัย

2.1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบรรจุ

2.1.5 การนำงานวิจัยไปประยุกต์ใช้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับซิกซ์ ซิกมา

Gupta (2013) กล่าวว่า จุดมุ่งหมายหลักของการทำธุรกิจ คือผลกำไร การที่จะเพิ่มผลกำไรได้นั้นมี 2 วิธีการ คือ 1. ราคาขายเพิ่มขึ้น และ 2. ต้นทุนการผลิตลดลง แต่เนื่องจากสภาวะทางการตลาดในปัจจุบันมีการแข่งขันทางด้านราคากันสูงทำให้วิธีการขึ้นราคาสินค้าจึงไม่สามารถที่จะนำมาเพิ่มผลกำไรได้ ฉะนั้นวิธีการที่เหมาะสมในการเพิ่มผลกำไรให้ธุรกิจ คือ การลดต้นทุนการผลิต ซึ่งแนวคิดซิกซ์ ซิกมาสามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงการผลิตเพื่อลดต้นทุนได้ แนวคิดซิกซ์ ซิกมานั้นเกิดขึ้นในทศวรรษที่ 1980 โดยวิศวกรของบริษัทโมโตโรล่าชื่อ Bill Smith

ความหมายของซิกซ์ ซิกมา

นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ (2559) กล่าวว่า ซิกซ์ ซิกมา เป็นระบบบริหารที่มีการจัดการในเรื่องการบริหารทรัพยากรบุคคล เครื่องมือ และเงิน เพื่อสนับสนุนให้เกิดการปรับปรุงงาน โดยวิสัยทัศน์ของซิกซ์ ซิกมา คือ การทำให้ลูกค้ามีความพึงพอใจในสินค้าที่ได้รับ ส่วนปรัชญาของซิกซ์ ซิกมา คือ การประยุกต์แนวทางที่มีโครงสร้างที่เป็นระบบในการปรับปรุงคุณภาพส่วนต่าง ๆ ของธุรกิจ

แนวคิดของซิกซ์ ซิกมามีดังต่อไปนี้

- มุ่งเน้นที่จะปรับปรุงในสิ่งที่ลูกค้าต้องการและพึงพอใจ
- ปรับปรุงคุณภาพอย่างเป็นระบบโดยมีขั้นตอน และใช้เครื่องมือทางสถิติ เครื่องมือทางคุณภาพ
- เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง (Key Process Output Variables: KPOVs) หรือ Y และปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variables: KPIVs) หรือ X ซึ่งมักจะเขียนแนวคิดนี้ในรูปแบบของ Y = f(X) การจะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ X ผู้ดำเนินการปรับปรุงจำเป็นต้องใช้ข้อมูล และวิธีการทางสถิติมาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์นั้น
- มีโครงสร้างที่เอื้อให้บุคลากรพร้อมที่จะดำเนินงานปรับปรุงคุณภาพ โดยได้กำหนดให้ทำการปรับปรุงงานเป็นแบบโครงการที่มีจุดเวลาเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดของการปรับปรุงงานอย่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชัดเจน นอกจากนั้น ซิกซ์ ซิกมา ยังได้กำหนดบทบาท และความรับผิดชอบของบุคลากรไว้เป็นตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 บทบาทและความรับผิดชอบของบุคลากร

ลำดับ	ตำแหน่ง	บุคลากรรับผิดชอบ	บทบาท หน้าที่
1	Executive Leaders หรือ Leadership Group	ผู้บริหารสูงสุดขององค์กร	สื่อสารและจูงใจบุคลากรในองค์กรเกี่ยวกับการนำแนวทางการปรับปรุงคุณภาพแบบ ซิกซ์ ซิกมา เข้ามาใช้ในองค์กร รวมทั้งจะต้องวางแผน สนับสนุนทรัพยากร กำหนดเป้าหมาย และสื่อสารผลของการนำซิกซ์ ซิกมา มาใช้
2	Project Champions หรือ Project Sponsors	ผู้บริหารสูงสุดขององค์กร	เลือกโครงการที่จะปรับปรุง และกำหนดเป้าหมายของการปรับปรุง สนับสนุนทรัพยากร รวมทั้งกำจัดอุปสรรคที่มีเพื่อให้โครงการปรับปรุงได้ผลงานที่สามารถบรรลุตามเป้าหมายได้
3	Black Belts	ผู้เชี่ยวชาญในวิธีการและเครื่องมือของซิกซ์ ซิกมา	เป็นหัวหน้าทีมงาน และนำทีมงานในการใช้เครื่องมือทางสถิติ และเครื่องมือทางคุณภาพต่าง ๆ ในการดำเนินโครงการ รวมทั้งเป็นผู้หาทรัพยากรให้แก่ทีมงาน ผู้ควบคุมทีมงานให้ดำเนินงานตามกำหนดเวลา และมีหน้าที่ทำให้วิธีการปรับปรุงที่ทีมงานได้คิดขึ้นมาไปสู่การปฏิบัติจริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.1 บทบาทและความรับผิดชอบของบุคลากร (ต่อ)

ลำดับ	ตำแหน่ง	บุคลากรรับผิดชอบ	บทบาท หน้าที่
4	Master Black Belts	ผู้เชี่ยวชาญวิธีการ และเครื่องมือของซิกซ์ ซิกมา	ฝึกอบรม Black Belts และเป็นที่ปรึกษาให้คำแนะนำแก่ Black Belts ในการดำเนินโครงการ
5	Green Belts	สมาชิกในทีมงาน	เก็บและวิเคราะห์ข้อมูล ใช้เครื่องมือทางสถิติ และเครื่องมือทางคุณภาพต่าง ๆ ในการดำเนินโครงการ และคิดแนวทางวิธีการปรับปรุง
6	Process Owners	เจ้าของกระบวนการ	นำวิธีการปรับปรุงที่ทีมงานได้กำหนดไปปฏิบัติจริงอย่างยั่งยืน
7	Financial Representatives	ฝ่ายบัญชีหรือการเงิน	ประเมินผลความคุ้มค่าที่จะได้รับจากโครงการก่อนเริ่มการดำเนินโครงการ เพื่อพิจารณาว่าโครงการนั้นควรจะทำหรือไม่ และติดตามผลความคุ้มค่าที่ได้รับจริงหลังโครงการเสร็จสิ้น อีกทั้งมีหน้าที่สนับสนุนข้อมูล และทรัพยากรทางการเงินแก่ทีมงาน
8	Implementation Leaders	อำนวยความสะดวกในการดำเนินการโครงการ	อำนวยความสะดวกแก่บุคลากรในบทบาทต่าง ๆ รวมทั้งดูแลในเรื่องการจัดฝึกอบรม และติดตามความคืบหน้าของโครงการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนในการปรับปรุงคุณภาพของ ซิกซ์ ซิกมา

Gupta (2013) กล่าวว่า วิธีการในการปรับปรุงคุณภาพของ ซิกซ์ ซิกมามี 2 วิธีการ คือ วิธีการ DMAIC และ วิธีการ DMADV โดยวิธีการ DMAIC ใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการที่มีอยู่แล้ว ส่วนวิธีการ DMADV ใช้เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ ในส่วนของขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของ ซิกซ์ ซิกมา แบบวิธีการ DMAIC นั้นเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพ และกระบวนการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมาก โดยวิธีการ DMAIC สามารถนำมาใช้ในแนวคิดอื่นได้เช่นกัน นอกจากแนวคิดซิกซ์ ซิกมา เช่น แนวคิดลีน ที่ใช้ DMAIC ในการลดรอบเวลาการผลิต และกำจัดของเสีย ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของ ซิกซ์ ซิกมา แบบวิธีการ DMAIC ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน (Montgomery, 2009b) ได้แก่

1. ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define)

การกำหนดเป้าหมายของการปรับปรุงคุณภาพที่มีความสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าและกลยุทธ์ขององค์กร ในขั้นตอนนี้จะมีการสร้างสัญญาโครงการ (Project Charter) ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

1.1 ความสำคัญทางธุรกิจ (Business Case)

1.2 คำอธิบายสภาพปัญหา (Problem Statement)

1.3 วัตถุประสงค์โครงการ (Objective Statement)

1.4 ตัวชี้วัดโครงการ (Project Metrics)

1.5 ขอบเขตโครงการ (Project Scope)

1.6 ข้อจำกัดในการทำโครงการ (Project Constraints)

1.7 สมมติฐานโครงการ (Project Assumptions)

1.8 สมาชิกในทีมและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง (Team Members, Stakeholders)

1.9 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ (Timeline)

2. ขั้นตอนการวัดสภาพปัญหา (Measure)

เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อศึกษาสภาพปัญหาของกระบวนการในปัจจุบัน และตรวจสอบระบบการวัดของกระบวนการว่าระบบการวัดมีความน่าเชื่อถือหรือไม่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา (Analyze)

วิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่จะส่งผลกระทบต่อปัญหา โดยการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล หลังจากนั้นนำไปทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าปัจจัยใดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปัญหา และนำปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปัญหาไปปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป

4. ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve)

ปรับปรุงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหาอย่างมีนัยสำคัญ โดยการออกแบบและทำการทดลองเพื่อให้ได้ค่าปรับตั้งพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองที่ดีที่สุด แต่ถ้าปัจจัยนั้นไม่สามารถปรับปรุงได้โดยการหาค่าการปรับตั้งพารามิเตอร์ของปัจจัยที่เหมาะสมได้แล้ว ก็จะปรับปรุงโดยการจัดการกำหนดทางเลือกในการปรับปรุง เพื่อเป็นการยืนยันว่าได้ผลการปรับปรุงที่ได้รับดีขึ้นจริงตามเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้

5. ขั้นตอนการควบคุมหลังการปรับปรุง (Control Phase)

ควบคุมเพื่อให้มั่นใจได้ว่ากระบวนการหลังจากทำการปรับปรุงจะไม่เปลี่ยนแปลงไป โดยจะทำมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานตามที่ได้ปรับปรุงขึ้นมา รวมทั้งแผนการควบคุมซึ่งจะระบุถึงสิ่งที่จะต้องควบคุม และเครื่องมือวิธีการในการควบคุมกระบวนการ

ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของ ซิกซ์ ซิกมา แบบวิธีการ DMAIC ทั้ง 5 ขั้นตอนนั้นมีเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์แต่ละขั้นตอนแตกต่างกันออกไป ดังแสดงในรูปที่ 2.1

Define	Measure	Analyze	Improve	Control
• Project Scope • Project Charter • Business Impact • Voice of the Customer • Affinity Diagram • Kano Model • CTQ tree	• Process Map • Data Collection • Process Capability • Measurement System Analysis • Process Capability • Yields (RTY)	• Multivari Analysis • Cause & Effect • FMEA • Hypothesis testing • ANOVA • Noise Variables • Scatter Plots • Design of Experiments	• Design of Experiments (DOE) Full Factorial • Fractional Factorial • Response Surface • Evolutionary Operations (EVOP)	• Statistical Process Control (SPC) • Control Plans • Standard Operating Procedures • Measurement Systems Analysis (recheck)

รูปที่ 2.1 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ในวิธีการ DMAIC

2.1.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1.2.1 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

Montgomery (2009b) กล่าวว่า ความสามารถของกระบวนการเป็นเครื่องมือทางสถิติที่แสดงความสามารถในเชิงระดับความผันแปรของกระบวนการ และในเชิงการเข้าใกล้ค่าเป้าหมายของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจึงถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพ และความสามารถของกระบวนการยังถือเป็นเครื่องมือที่มีการประยุกต์ใช้ในหลายส่วนของกระบวนการผลิต เช่น

1. สามารถพยากรณ์ความคลาดเคลื่อนของกระบวนการได้
2. ช่วยนักออกแบบ หรือนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ในการเลือกแก้ไขกระบวนการ
3. ช่วยในการกำหนดช่วงของปริมาณการสุ่มตัวอย่างที่ใช้ในกระบวนการควบคุม
4. สามารถใช้บอกสภาพของกระบวนการว่าควรมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่หรือไม่
5. ช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการห่วงโซ่อุปทานได้ เช่น การเลือกซัพพลายเออร์
6. ช่วยในการวางแผนลำดับขั้นตอนการผลิตได้ในกรณีที่กระบวนการมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากผลกระทบร่วม
7. มีความสำคัญในการลดความผันแปรของกระบวนการ

ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการที่นิยมใช้ ได้แก่

1. C_p ใช้แสดงศักยภาพของกระบวนการในระยะสั้น
2. C_{pk} ใช้แสดงความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น
3. P_p ใช้แสดงศักยภาพของกระบวนการในระยะยาว
4. P_{pk} ใช้แสดงความสามารถของกระบวนการในระยะยาว

ศักยภาพของกระบวนการจะพิจารณาจากระดับความผันแปรของกระบวนการเท่านั้น แต่ความสามารถของกระบวนการจะพิจารณาทั้งระดับความผันแปรของกระบวนการ และการเข้าใกล้ค่าเป้าหมายของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ส่วนการวิเคราะห์ความสามารถและศักยภาพของกระบวนการในระยะสั้น จะใช้ค่าความผันแปรภายในระยะเวลาสั้น แต่การวิเคราะห์ความสามารถและศักยภาพของกระบวนการในระยะยาวจะใช้ค่าความผันแปรภายในระยะเวลายาว ซึ่งย่อมมีโอกาสเกิดความผันแปรได้มากกว่าความผันแปรภายในระยะเวลาสั้น (นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์, 2559)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนการคำนวณความสามารถของกระบวนการ

1. ขั้นตอนการหาขนาดตัวอย่างที่ต้องเก็บข้อมูลโดยคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$n = (Z(\alpha))^2 \frac{\left[\frac{1}{9(c_{pk})^2}+\frac{1}{2}\right]}{\left[1-\frac{C_{pk}}{\hat{C}_{pk}}\right]^2} \qquad \text{(สมการที่ 2.1)}$$

เมื่อ n แทนจำนวนข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง

z_α แทนค่าปกติมาตรฐานที่สอดคล้องกับระดับความเชื่อมั่น α

C_{pk} แทนดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ

2. ขั้นตอนการเก็บข้อมูลตามขนาดของตัวอย่างที่คำนวณได้จากข้อ 1
3. ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลว่าผ่านสมมติฐานการแจกแจงปกติ และสมมติฐานที่ข้อมูลต้องอยู่ในสภาวะควบคุมหรือไม่
4. ขั้นตอนคำนวณหาดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ

4.1 คำนวณค่า C_p

$$C_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma_{within}} \qquad \text{(สมการที่ 2.2)}$$

4.2 คำนวณค่า P_p

$$P_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma_{overall}} \qquad \text{(สมการที่ 2.3)}$$

4.3 คำนวณค่า C_{Pk}

$$C_{pk} = \min\left(C_{pu} = \frac{USL-\mu}{3\sigma_{within}}, C_{pl} = \frac{\mu-LSL}{3\sigma_{within}}\right) \qquad \text{(สมการที่ 2.4)}$$

4.4 คำนวณค่า P_{Pk}

$$P_{pk} = \min\left(P_{pu} = \frac{USL-\mu}{3\sigma_{overall}}, P_{pl} = \frac{\mu-LSL}{3\sigma_{overall}}\right) \qquad \text{(สมการที่ 2.5)}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในการคำนวณหาค่า σ_{within} นั้นสามารถคำนวณได้ 3 วิธีได้แก่

- คำนวณจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย สูตรการคำนวณแสดงในสมการที่ 2.6

$$\hat{\sigma}_X = \frac{\bar{s}}{c_4} \qquad \text{(สมการที่ 2.6)}$$

เมื่อ $\bar{s}$ แทนค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย

c_4 แทนแฟกเตอร์ความไม่เอนเอียงสำหรับตัวประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- คำนวณจากค่าพิสัยเฉลี่ย สูตรการคำนวณแสดงในสมการที่ 2.7

$$\hat{\sigma}_X = \frac{\bar{R}}{d_2} \qquad \text{(สมการที่ 2.7)}$$

เมื่อ $\bar{R}$ แทนค่าเฉลี่ยของพิสัย

d_2 แทนค่าคงที่สำหรับการแจกแจงของพิสัยสัมพัทธ์

- คำนวณจากค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานร่วม สูตรการคำนวณแสดงในสมการที่ 2.8

$$\hat{\sigma}_{within} = \sqrt{\frac{(n_1-1)s_2^2+(n_2-1)s_2^2\ldots+(n_m-1)s_m^2}{(n_1-1)+(n_2-1)+\cdots+(n_m-1)}} \qquad \text{(สมการที่ 2.8)}$$

เมื่อ S_i แทนค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ i

n_i แทนขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ i

- การคำนวณหาค่า $\sigma_{overall}$ สูตรการคำนวณแสดงในสมการที่ 2.9

$$\hat{\sigma}_{overall} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(x_{ij}-\bar{x})^2}{mn-1}} \qquad \text{(สมการที่ 2.9)}$$

เมื่อ X_{ij} แทนค่าข้อมูลในกลุ่มตัวอย่างที่ i และเป็นข้อมูลตัวที่ j ในกลุ่มตัวอย่าง

m แทนจำนวนกลุ่มตัวอย่าง

n แทนขนาดตัวอย่าง

5. ขั้นตอนการประเมินความสามารถของกระบวนการ

การประเมินความสามารถของกระบวนการนั้นมีเกณฑ์พิจารณาดังแสดงในตารางที่ 2.2 ยกตัวอย่างเช่นการประเมินความสามารถของกระบวนการที่มีอยู่แล้ว ในกรณีที่กระบวนการมีขีดจำกัดข้อกำหนดสองด้านจะสามารถยอมรับความสามารถของกระบวนการได้ เมื่อค่าดัชนีชี้วัดมีค่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มากกว่า หรือเท่ากับ 1.33 แต่ในกรณีที่กระบวนการมีขีดจำกัดข้อกำหนดด้านเดียวจะสามารถยอมรับความสามารถของกระบวนการได้ เมื่อค่าดัชนีชี้วัดมีค่ามากกว่า หรือเท่ากับ 1.25 เป็นต้น แนวทางการปรับปรุงกระบวนการเมื่อความสามารถของกระบวนการอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้ มี 2 แนวทางดังนี้

- ในกรณีที่ค่า C_{pk} ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินความสามารถของกระบวนการ แสดงว่าระดับความผันแปรของกระบวนการไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และกระบวนการมีค่า C_{pk} กับค่า C_p ไม่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีค่าเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายที่กำหนด แนวทางปรับปรุงกระบวนการ คือ หาวิธีการลดระดับความผันแปรของกระบวนการ และหาวิธีการปรับปรุงค่าเฉลี่ยของกระบวนการให้มีค่าใกล้เคียงค่าเป้าหมาย
- ในกรณีที่ค่า C_{pk} ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินความสามารถของกระบวนการ แสดงว่าระดับความผันแปรของกระบวนการไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่กระบวนการมีค่า C_{pk} กับค่า C_p ใกล้เคียงกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีค่าใกล้เคียงค่าเป้าหมายที่กำหนดแล้ว แนวทางปรับปรุงกระบวนการจึงเป็นการหาวิธีการลดระดับความผันแปรของกระบวนการเพียงอย่างเดียว

ส่วนในกรณีที่ค่า C_{pk} ผ่านเกณฑ์การประเมินความสามารถของกระบวนการ แสดงว่าระดับความผันแปรของกระบวนการอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่กระบวนการมีค่า C_{pk} กับค่า C_p ไม่ใกล้เคียงกันนั้น แสดงว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีค่าเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายที่กำหนด แนวทางปรับปรุงกระบวนการจึงเป็นการหาวิธีการปรับปรุงหาเฉลี่ยของกระบวนการให้มีค่าใกล้เคียงค่าเป้าหมายเพียงอย่างเดียว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การประเมินความสามารถของกระบวนการ

Recommended Minimum Values of the Process Capability Ratio		
Process Type	Two-Sided Specifications	One-Sided Specifications
Existing processes	1.33	1.25
New processes	1.50	1.45
Safety, Strength, or Critical parameter, Existing process	1.50	1.45
Safety, Strength, or Critical parameter, New processes	1.67	1.60

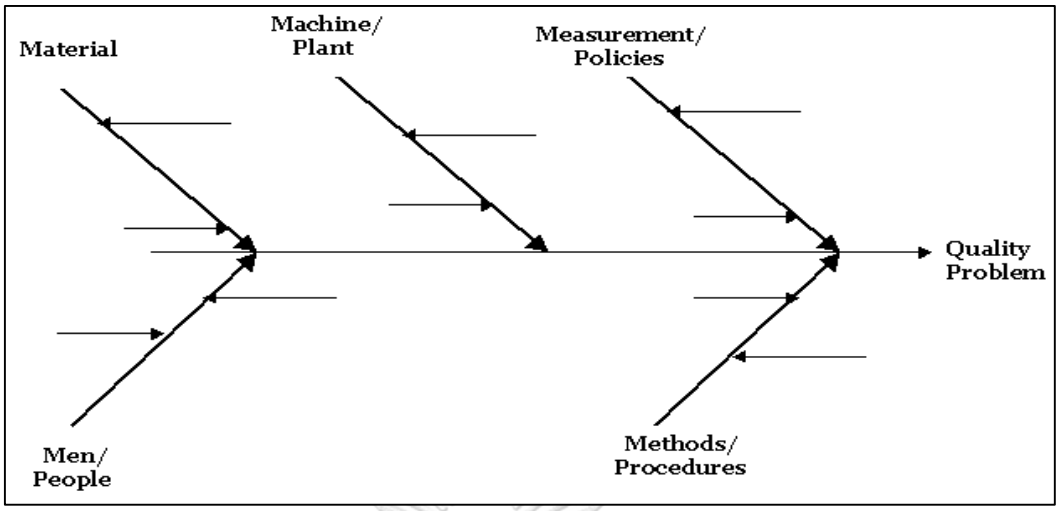
2.1.2.2 แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

เมื่อกระบวนการผลิตเกิดข้อผิดพลาดหรือเกิดปัญหา กระบวนการผลิตจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุง แต่ในการจะปรับปรุงหรือแก้ไขปัญหาได้นั้น จำเป็นต้องมีขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาก่อน ซึ่งเครื่องมือชนิดแผนผังสาเหตุและผลเป็นอีกหนึ่งเครื่องมือที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยแผนผังสาเหตุและผลสามารถระบุสาเหตุที่ครอบคลุมความเป็นไปได้ทั้งหมดไว้อย่างครบถ้วน เนื่องจากเครื่องมือชนิดนี้มีการแยกสาเหตุเป็นหมวดหมู่จึงทำให้การระดมสมองวิเคราะห์ของผู้เชี่ยวชาญเป็นระบบมากขึ้น หมวดหมู่ในการแบ่งประเภทของสาเหตุที่นิยมใช้กัน เช่น

1. 5M 1E มีส่วนประกอบ ได้แก่ Man, Machine, Material, Method, Measurement และ Environment 2. 4P มีส่วนประกอบ ได้แก่ Place, Procedure, People และ Policy

3. 4S มีส่วนประกอบ ได้แก่ Surrounding, Supplier, System และ Skill

แผนผังสาเหตุและผลจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุกับปัญหาในโครงสร้างที่เข้าใจง่ายเป็นรูปแบบก้างปลา ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เครื่องมือชนิดนี้จึงถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) (Montgomery, 2009b)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างแผนผังสาเหตุและผล แยกสาเหตุตามหมวดหมู่ 5M

วิธีการสร้างแผนผังสาเหตุและผล มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดปัญหาหรือผลกระทบที่ต้องการวิเคราะห์หาสาเหตุ
2. สร้างทีมผู้เชี่ยวชาญเพื่อระดมความคิดวิเคราะห์หาสาเหตุทั้งหมดของปัญหา
3. สร้างโครงสร้างก้างปลาโดยเริ่มจากหัวปลา ซึ่งก็คือปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์หาสาเหตุ และสร้างแกนกลางของแผนผัง
4. กำหนดหมวดหมู่ของสาเหตุแต่ละหมวดหมู่ไว้ที่ปลายก้างหลัก
5. ทีมงานระดมความคิดวิเคราะห์หาสาเหตุในแต่ละหมวดหมู่ตามก้างหลักที่ระบุไว้ในขั้นตอนที่ 4 และระบุสาเหตุที่วิเคราะห์ได้ไว้ที่ก้างรองของหมวดหมู่นั้น ๆ ในขั้นตอนนี้ถ้ามีหมวดหมู่อื่นที่นอกเหนือจากที่กำหนดไว้ข้างต้นก็สามารถเพิ่มเข้าสู่แผนผังได้
6. จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุที่ได้มาจากการวิเคราะห์
7. คัดเลือกสาเหตุของปัจจัยเพื่อดำเนินการปรับปรุงต่อไป

ประโยชน์ของแผนผังสาเหตุและผลมี 4 ข้อ (Hekmatpanah, 2011) ดังนี้

1. สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุปัญหาที่แท้จริงเพื่อเป็นประโยชน์ในการนำไปปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการ หรือบริการได้
2. สามารถช่วยลดข้อร้องเรียนของลูกค้า เนื่องจากคุณภาพสินค้าไม่ตรงตามความต้องการได้
3. สามารถนำข้อมูลสาเหตุที่ได้จากการแผนผังสาเหตุและผล ไปแก้ไขปรับปรุงแล้วสร้างเป็นมาตรฐานของการทำงานต่อไปได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. เป็นการฝึกให้บุคลากรได้มีการวิเคราะห์ ศึกษา และตัดสินใจในการหาสาเหตุของปัญหา อีกทั้งยังเป็นการฝึกการทำงานร่วมกันของบุคลากรในองค์กร

2.1.2.3 เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause Effect Matrix)

หลังจากทราบสาเหตุทั้งหมดของปัญหาจากการวิเคราะห์หาสาเหตุแล้วนั้น ก่อนจะเข้าสู่การปรับปรุงหรือแก้ไขปัญหา จำเป็นต้องมีการเรียงลำดับความสำคัญของสาเหตุ และคัดเลือกสาเหตุของปัญหาที่จะนำไปปรับปรุงหรือแก้ไขก่อน เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลเป็นเครื่องมือที่สามารถเรียงลำดับความสำคัญ และกรองสาเหตุเพื่อเข้าสู่การปรับปรุงกระบวนการได้ โดยเมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลจะเป็นประโยชน์อย่างมากในกรณีที่หนึ่งสาเหตุมีผลกระทบต่อปัญหาหลายปัญหา เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลมีสมการความสัมพันธ์คือ $Y = F(X)$ เมื่อ Y คือ ปัญหาหรือตัวแปรตอบสนอง และ X คือ สาเหตุหรือปัจจัยนำเข้า โดยรูปแบบของเมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลจะมีลักษณะเป็นตาราง ดังแสดงในตารางที่ 2.3 โดยเกณฑ์การให้คะแนนน้ำหนักความสำคัญของปัญหาหรือตัวแปรตอบสนองจะอยู่ในระดับคะแนน 1-10 คะแนน ส่วนเกณฑ์การให้ระดับคะแนนความสัมพันธ์ของสาเหตุหรือปัจจัยนำเข้าต่อตัวแปรตอบสนองจะมีอยู่ 4 ระดับคะแนน คือ 0 ,1 ,3 และ 9 คะแนน (Furterer, 2014)

ตารางที่ 2.3 รูปแบบของเมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล

	ปัญหา/ตัวแปรตอบสนอง				
คะแนนน้ำหนักความสำคัญของปัญหา					
สาเหตุ/ปัจจัยนำเข้า	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	ผลรวมคะแนน
X_1					
X_2					
X_3					
X_4					
X_5					

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีการสร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลมีขั้นตอน ดังนี้

1. ระบุปัญหาหรือตัวแปรตอบสนองที่เป็นไปได้ทั้งหมดของกระบวนการ
2. ประเมินคะแนนน้ำหนักความสำคัญให้กับตัวแปรตอบสนองที่เกณฑ์คะแนนตั้งแต่ 1-10 คะแนน โดยให้คะแนนตามความสำคัญของตัวแปรตอบสนองที่มีผลต่อความต้องการ หรือความพึงพอใจของลูกค้า ซึ่งคะแนนที่เท่ากับ 10 คะแนนนั้นจะแสดงถึงตัวแปรตอบสนองที่มีผลต่อความต้องการ หรือความพึงพอใจของลูกค้ามากที่สุด ในทางกลับกันคะแนนที่เท่ากับ 1 คะแนนนั้นจะแสดงถึงตัวแปรตอบสนองที่มีผลต่อความต้องการ หรือความพึงพอใจของลูกค้าน้อยที่สุด
3. ระบุสาเหตุหรือปัจจัยนำเข้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของกระบวนการ
4. ประเมินคะแนนให้กับปัจจัยนำเข้าที่เกณฑ์ 4 ระดับคะแนนคือ 0, 1, 3 และ 9 คะแนน โดยคะแนนเท่ากับ 0 หมายถึง ปัจจัยนำเข้าไม่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง คะแนนเท่ากับ 1 หมายถึง ปัจจัยนำเข้ามีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองน้อย คะแนนเท่ากับ 3 หมายถึง ปัจจัยนำเข้ามีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองปานกลาง และคะแนนเท่ากับ 9 หมายถึง ปัจจัยนำเข้ามีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองมาก
5. รวมคะแนนและคัดเลือกสาเหตุหรือปัจจัยนำเข้าที่มีคะแนนมากไปแก้ไขปรับปรุงกระบวนการต่อไป

2.1.2.4 การออกแบบการทดลอง

ปารเมศ ชุติมา (2545) กล่าวว่าการออกแบบการทดลอง คือ การออกแบบแผนการทดลองสำหรับใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อตรวจสอบว่าปัจจัยนำเข้ามีผลกระทบต่อค่าตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ หลักการพื้นฐานสำหรับการออกแบบการทดลองมี 3 ข้อ คือ

1. เรพลิเคชัน (Replication)

เรพลิเคชัน หมายถึง การทำการทดลองซ้ำ ประโยชน์ของการทำเรพลิเคชัน คือ ทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ (Error term) โดยค่าประมาณของความผิดพลาดจะสามารถแสดงถึงความแตกต่างของข้อมูลที่ได้จากการทดลองว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ การทำการทดลองจะไม่ทำซ้ำในกรณีที่ผู้ทำการทดลองมีเวลาและงบประมาณที่จำกัด

2. แรนดอมไมเซชัน (Randomization)

แรนดอมไมเซชัน หมายถึง การทำการทดลองที่ลำดับการทดลอง และวัสดุที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้งเป็นไปอย่างสุ่ม ซึ่งจะช่วยป้องกันการที่ผลการทดลองจะผิดพลาด เนื่องจากการเกิดกระบวนการเรียนรู้ (Learning curve) และยังช่วยกำจัดผลของตัวแปรรบกวนที่อาจเกิดผลปะปนกันกับผลของปัจจัยที่ศึกษาได้อีกด้วย นอกจากนั้นแรนดอมไมเซชันจะทำให้สมมติฐานที่วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าค่าความผิดพลาดจะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระเป็นจริง

3. บล็อกกิง (Blocking)

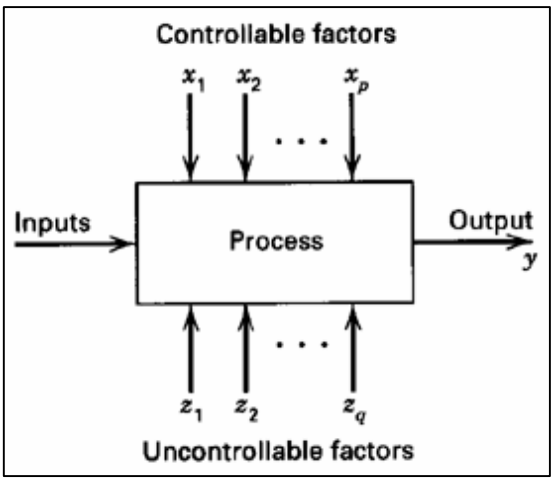
บล็อกกิง หมายถึง ส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซ็ตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่าง ๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิง ฉะนั้นบล็อกกิงจึงเป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรงให้แก่การทดลอง ยกตัวอย่างเช่น ในการทำการทดลองมีเงื่อนไข คือ ผู้หญิงทำงานดีกว่าผู้ชาย การออกแบบการทดลองจึงสามารถใช้ข้อมูลได้จากทั้งผู้หญิงหรือผู้ชาย แต่ต้องใช้ข้อมูลเป็นจากผู้หญิงล้วนหรือผู้ชายล้วนเท่านั้น ห้ามใช้ข้อมูลผู้หญิงและผู้ชายผสมกัน

แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. ตัวแปรตอบสนอง (Output) คือ ผลลัพธ์หรือตัวชี้วัดสิ่งที่สนใจปรับปรุง
2. ตัวแปรนำเข้าหรือปัจจัย (Input) มี 2 ประเภท คือ
    2.1 ตัวแปรที่สามารถควบคุมและกำหนดค่าได้ (Controllable factors)
    2.2 ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Controllable factors)

แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการ หรือระบบแสดงในรูปที่ 2.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2.3 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ

ขั้นตอนในการออกแบบการทดลองมี ดังนี้

1. ระบุวัตถุประสงค์ของการทำการทดลอง โดยการกำหนดตัวแปรตอบสนองและปัจจัยที่จะศึกษา รวมทั้งกำหนดว่าจะศึกษาเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัย หรือจะศึกษาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย
2. ออกแบบการทดลอง
   2.1 การเลือกแบบการทดลองจะพิจารณาตามวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้ในขั้นตอน 1 และพิจารณาจากจำนวนปัจจัย จำนวนครั้งการทดลองที่สามารถปฏิบัติได้ตามความเป็นจริง และที่สำคัญคือพิจารณาคุณภาพของผลสรุปที่จะได้จากแบบการทดลอง ซึ่งสามารถดูความละเอียดของผลสรุปที่ได้ จากตารางระดับความละเอียดในผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นตารางระดับความละเอียดในผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอรียล (Available Factorial Designs with Resolution) โดยระดับความละเอียดแต่ละระดับมีความหมาย ดังนี้
      - ระดับ Resolution III หมายถึง ผลกระทบหลักจะไม่ปะปนกับผลกระทบหลักของปัจจัย อื่น ๆ แต่ผลกระทบหลักจะปะปนกับผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย
      - ระดับ Resolution IV หมายถึง ผลกระทบจะไม่ปะปนกับผลกระทบหลักของปัจจัยอื่น ๆ และไม่ปะปนกับผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย แต่ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยจะปะปนกันเอง
      - ระดับ Resolution V หมายถึง ผลกระทบหลักจะไม่ปะปนกับผลกระทบหลักของปัจจัยอื่น ๆ และไม่ปะปนกับผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย และผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยจะไม่ปะปนกันเอง แต่ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยจะปะปนกับผลกระทบร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย

   2.2 เขียนเมทริกซ์การออกแบบ

   2.3 กำหนดค่าของแต่ละระดับของปัจจัยที่จะทำการทดลอง

   2.4 ควบคุมตัวแปรอื่น ๆที่อาจมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Available Factorial Designs (with Resolution)

	Factors													
Runs	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	Full	III												
8		Full	IV	III	III	III								
16			Full	V	IV	IV	IV	III	III	III	III	III	III	III
32				Full	VI	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
64					Full	VII	V	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
128						Full	VIII	VI	V	V	IV	IV	IV	IV

รูปที่ 2.4 ตารางระดับความละเอียดในผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอรียล

3. ทำการทดลองตามเมทริกซ์การออกแบบ และในระหว่างการทำการทดลองต้องติดตามกระบวนการทำงานเพื่อให้แน่ใจว่าการทดลองดำเนินไปตามแบบแผนที่กำหนดไว้

4. วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้วิธีการทางสถิติที่มีความไม่ซับซ้อนในการวิเคราะห์ ได้แก่

- การใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอย (ANOVA) หรือวิธีการทดสอบแบบ t ในการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง
- การพิจารณากราฟผลกระทบหลักของปัจจัย และกราฟผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนองในแนวทางใด

ประโยชน์ของวิธีการทางสถิติ คือ ทำให้ผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจมีเครื่องมือช่วยที่มีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นข้อสรุปที่ได้ออกมาจากการวิเคราะห์จะมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ แต่ก่อนจะนำผลการทดลองมาวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติต้องมีขั้นตอนการตรวจสอบข้อมูลที่จะวิเคราะห์ว่ามีลักษณะตรงตามสมมติฐาน

5. หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างเทอมของปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญกับตัวแปรตอบสนอง และหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าตามต้องการ ในกรณีที่วัตถุประสงค์ของการทำการทดลอง คือ ศึกษาเพื่อหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า

6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Montgomery (2009a) กล่าวว่าประเภทของการออกแบบการทดลองมี 3 ประเภท ดังนี้

1. Best-Guess Strategy

Best-Guess Strategy เป็นการออกแบบการทดลองแบบไม่มีการวางแผน

- ข้อดี คือ ง่ายในการออกแบบการทดลอง
- ข้อเสีย คือ ใช้ระยะเวลาในการทำการทดลองนาน และผลคำตอบที่ได้อาจไม่ใช่ผลคำตอบที่ดีที่สุด

2. One-Factor-at-a-Time (OFAT)

One-Factor-at-a-Time เป็นการทดสอบทีละปัจจัย โดยในการทดสอบแต่ละครั้งจะมีการเปลี่ยนค่าปัจจัยใด ๆ เพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น ส่วนปัจจัยอื่น ๆ ให้คงที่ไว้ที่ค่าค่าหนึ่ง

- ข้อดี คือ สามารถทำการตั้งค่าระดับปัจจัยแต่ละปัจจัยได้อย่างมีระบบ และมีความน่าเชื่อถือ
- ข้อเสีย คือ ไม่สามารถศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้ และการออกแบบการทดลองแบบ OFAT จะมีจำนวนการทดลองมากกว่าแบบ DOE

3. Design of Experiment (DOE)

Design of Experiment เป็นการทดสอบที่สามารถให้เห็นผลของปัจจัยใด ๆที่ระดับของปัจจัยอื่น ๆ อย่างน้อย 2 ระดับ

- ข้อดี คือ สามารถศึกษาถึงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษาได้ และมีจำนวนการทดลองน้อยกว่าแบบ OFAT
- ข้อเสีย คือ ต้องเสียเวลาในขั้นตอนออกแบบการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประเภทของการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

1. การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Designs)

เป็นการศึกษาผลของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปโดยเป็นการทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ถ้าปัจจัย A มี a ระดับและปัจจัย B มี b ระดับ จำนวนการทดลองทั้งหมดใน 1 แรพลิเคตจะเท่ากับ ab การทดลอง ผลกระทบของปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองมี 2 ประเภท คือ

- ผลกระทบหลัก (Main effect) คือ ค่าที่แสดงถึงผลกระทบของปัจจัยที่มีต่อค่าตัวแปรตอบสนองโดยคำนวณจากผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าตัวแปรตอบสนองที่ระดับสูงกับค่าเฉลี่ยของค่าตัวแปรตอบสนองที่ระดับต่ำ

- ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (Interaction effect) คือ ค่าที่แสดงถึงความแตกต่างของผลกระทบของปัจจัยหนึ่งที่มีต่อค่าตัวแปรตอบสนอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับของอีกปัจจัยหนึ่ง

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเป็นการออกแบบการทดลองที่จำเป็น เมื่อมีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย และเป็นการออกแบบที่ทำให้สามารถประมาณผลของปัจจัยหนึ่งที่ระดับต่าง ๆของปัจจัยอื่นได้ แบบการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่

1.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k (The 2^k Factorial Designs)

แบบการทดลองที่มี k ปัจจัยซึ่งแต่ละปัจจัยจะมี 2 ระดับ ซึ่งระดับอาจเป็นข้อมูลในเชิงปริมาณหรือเชิงคุณภาพก็ได้ จำนวนการทดลองทั้งหมดใน 1 แรพลิเคตเท่ากับ 2^k การทดลอง การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k มีข้อดี คือ ในกรณีที่ปัจจัยที่ต้องศึกษามีจำนวนมาก การออกแบบการทดลองแบบนี้จะช่วยให้จำนวนการทดลองน้อยลง เนื่องจากมีระดับเพียง 2 ระดับ และช่วยคัดเลือกปัจจัยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากให้น้อยลงในช่วงที่เพิ่งเริ่มศึกษา การปรับปรุงกระบวนการ

1.2 การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (Fractional Factorial Designs)

ในกรณีที่จำนวนปัจจัยมีมากเกินไป ทำให้ถ้าการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k จำนวนการทดลองจะมีจำนวนมากตามจำนวนปัจจัยไปด้วย การที่จำนวนการทดลองมีมากเกินไปจะส่งผลเสียทั้งทางด้านเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำการทดลอง ฉะนั้นในกรณีเช่นนี้จึงเหมาะที่จะเลือกใช้การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ เนื่องจากผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยตั้งแต่ 3 ปัจจัยขึ้นไปสามารถละทิ้งการประมาณค่าผลกระทบได้ จึงสามารถทำการทดลองเพียงบางส่วนได้ เช่น ครึ่งหนึ่งของจำนวนการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ หรือหนึ่งในสี่ของจำนวนการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ เป็นต้น การทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับจะมีจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 2^{k-p} การทดลอง โดยกำหนดให้ k คือ จำนวนปัจจัย ในกรณีที่ออกแบบการทดลองแบบครึ่งหนึ่งของจำนวนการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (The one half Fraction of The 2^k Designs) จำนวนการทดลองทั้งหมดจะเท่ากับ 2^{k-1} การทดลอง การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับมีข้อดี คือ ช่วยลดจำนวนการทดลองทั้งหมดให้น้อยลง แต่มีข้อเสีย คือ ไม่สามารถประมาณค่าผลกระทบแต่ละตัวได้อย่างเป็นอิสระ (Confounding) โดยที่ Generator จะกำหนดว่าผลกระทบใดจะปะปนกับผลกระทบใด หรือที่เรียกว่า Alias Structure

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

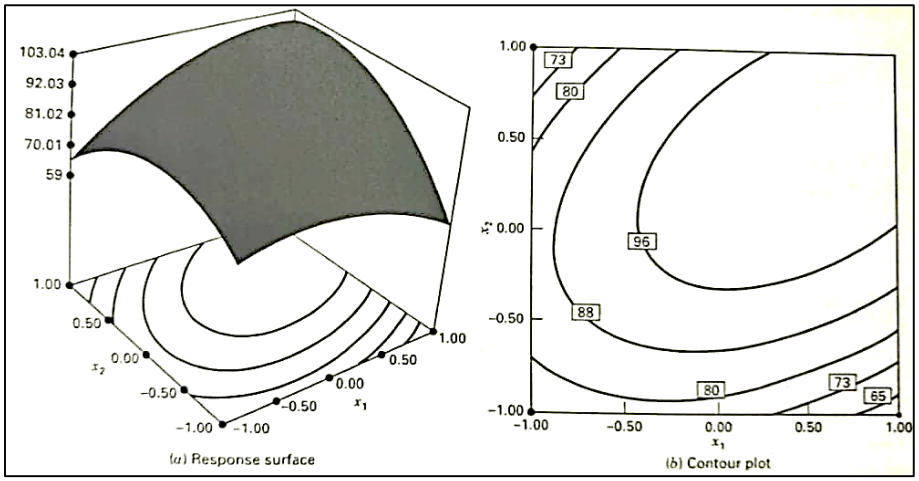
ขั้นตอนในการสร้างแผนการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ

1. กำหนดจำนวนการทดลองที่สามารถนำไปทำการทดลองได้จริง และพิจารณาค่าระดับความละเอียดในผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบการทดลอง (Resolution) ที่ได้
2. สร้างรูปแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบของ k-p ปัจจัย
3. เลือก Design Generator ที่เหมาะสม
4. พิจารณา Alias Structure ที่ได้
5. ทำการทดลองและเก็บข้อมูล
6. วิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัย และสรุปผลการทดลอง

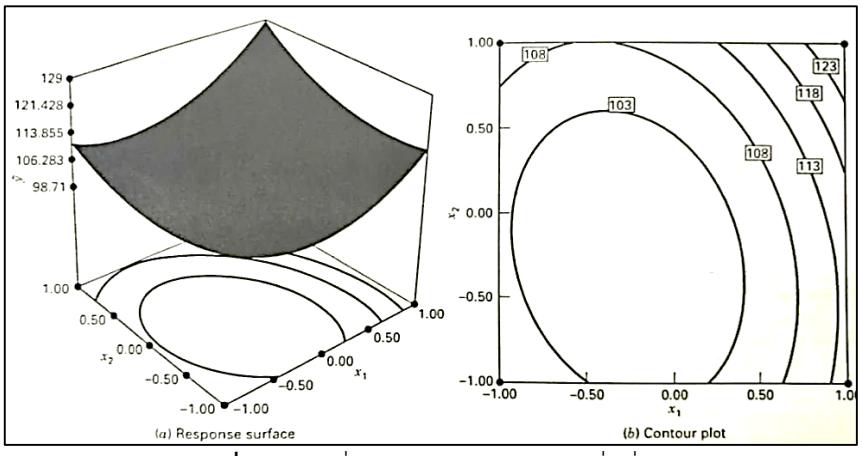
กรณีที่ผลการวิเคราะห์ออกมาว่าปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญเป็นเทอมที่เมื่อพิจารณา Alias Structure แล้วเกิดจากการปะปนกันของเทอมผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย สองเทอมปะปนกันเอง หรือเกิดจากการปะปนกันของเทอมผลกระทบร่วม 2 ปัจจัยกับเทอมผลกระทบหลัก ในกรณีนี้ไม่สามารถทราบถึงผลกระทบแต่ละตัวได้อย่างอิสระ จึงอาจจำเป็นต้องทำการทดลองเพิ่มเพื่อกำจัดผลการปะปนระหว่างเทอม

2. การออกแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design)

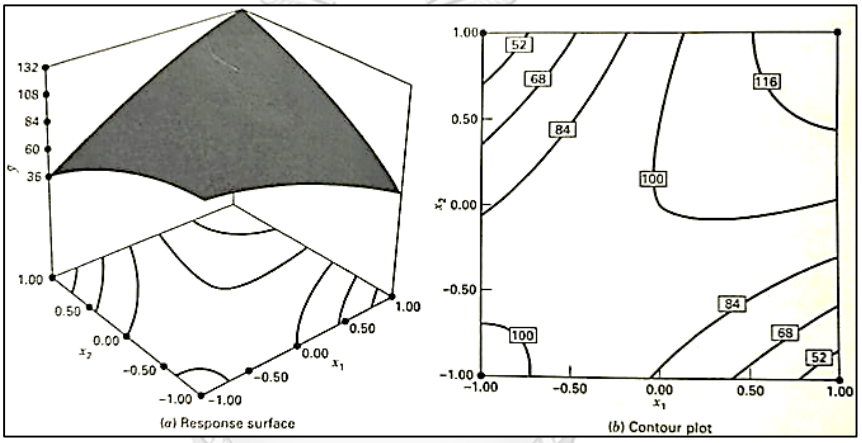
การออกแบบการทดลองประเภทนี้เป็นการรวบรวมเทคนิคทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่เป็นประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลอง และการวิเคราะห์ปัญหาโดยที่ผลตอบสนองที่สนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร จุดประสงค์ของการออกแบบการทดลอง คือ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าเหมาะสมตามที่ต้องการ ในการออกแบบพื้นผิวผลตอบนั้นปัจจัยต้องถูกทดสอบที่มากกว่า 2 ระดับ เนื่องจากจะทำให้สามารถเห็นจุดที่ตัวแปรตอบสนองมีค่าสูงที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2.5 หรือมีค่าต่ำที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2.6 หรือจุดที่ค่าตัวแปรตอบสนองอยู่ที่ระดับที่ต้องการดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.5 จุดที่ตัวแปรตอบสนองมีค่าสูงที่สุด



รูปที่ 2.6 จุดที่ตัวแปรตอบสนองมีค่าต่ำที่สุด



รูปที่ 2.7 จุดที่ตัวแปรตอบสนองอยู่ที่ระดับที่ต้องการ

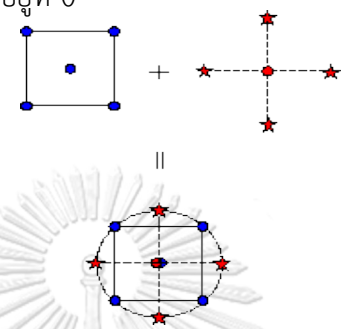
การออกแบบพื้นผิวผลตอบสามารถแบ่งการออกแบบได้เป็น 3 แบบ ได้แก่

2.1 การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design)

การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลาง เป็นแบบการทดลองที่เหมาะสมในการใช้สร้างตัวแบบที่มีลักษณะเป็นโพลิโนเมียลกำลังสอง แบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางจะมีส่วนประกอบอยู่ 3 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.8

- ส่วนการทดลองแฟกทอเรียล (Factorial Runs) จะมีจำนวนการทดลองเท่ากับ 2^k การทดลอง หรือการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับจะมีจำนวนการทดลองเท่ากับ 2^{k-p} การทดลอง โดยมีระดับอยู่ที่ ±1 หน่วยจากการทดลองที่จุดศูนย์กลางที่ระดับ 0

- ส่วนของจุดแกน (Axial Runs or Star Runs) จะมีจำนวนการทดลองเท่ากับ 2k การทดลอง โดยมีระดับอยู่ที่ $\pm\alpha$ จากการทดลองที่จุดศูนย์กลาง กำหนดให้ $\alpha = (2^{k-p})^{1/4}$ เมื่อ k คือ จำนวนปัจจัย
- ส่วนของจุดศูนย์กลาง (Center Runs) จะมีจำนวนการทดลองขึ้นอยู่กับค่า k หรือจำนวนปัจจัยโดยมีระดับอยู่ที่ 0

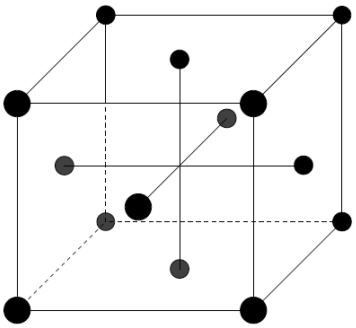


รูปที่ 2.8 การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลาง

2.2 การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางแบบ CCF (Face-Centered Central Composite Design :CCF)

การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางแบบ CCF เป็นแบบการทดลองที่พัฒนามาจากแบบส่วนประสมกลาง การออกแบบการทดลองแบบนี้จะกำหนดค่า α = 1 ทำให้เป็นการออกแบบการทดลองที่เหมาะในกรณีที่การทดลองไม่สามารถตั้งค่าระดับปัจจัยให้เท่ากับค่าแอลฟาได้ แบบการทดลองมีส่วนประกอบ 3 ส่วนเหมือนแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ซึ่งประกอบด้วย 1. ส่วนการทดลองแฟกทอเรียล 2. ส่วนของจุด และ 3. ส่วนของจุดศูนย์กลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.9

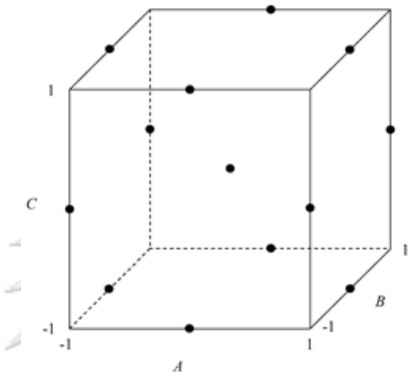
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.9 การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางแบบ CCF

2.3 การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบบ็อกซ์ - เบห์นเคน (Box-Behnken Design)

การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบบ็อกซ์ - เบห์นเคน เป็นแบบการทดลองสำหรับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยขึ้นไป แต่ละปัจจัยถูกทดลองที่ 3 ระดับ มีการสร้างตัวแบบที่มีลักษณะเป็นโพลิโนเมียลกำลังสอง การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบบ็อกซ์- เบห์นเคนมีส่วนประกอบของส่วนการทดลองแฟกทอเรียล และส่วนการออกแบบบล็อกไม่บริบูรณ์ดังแสดงในรูปที่ 2.10 และการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบแบบบ็อกซ์- เบห์นเคนจะไม่ได้รวมจุดใด ๆที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ที่สร้างจากขีดจำกัดบนและล่างของแต่ละตัวแปรไว้ ทำให้ไม่มีการทดลองในสภาวะที่รวมของปัจจัยระดับที่สูง



รูปที่ 2.10 การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบบ็อกซ์- เบห์นเคน

ตารางที่ 2.4 สรุปข้อเด่น ข้อด้อยของแบบการทดลองต่าง ๆของการออกแบบพื้นผิวผลตอบ

แบบการทดลอง	การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลาง	การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางแบบ CCF	การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน
ข้อเด่น	ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีความแม่นยำ และใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด	ในการทำการทดลองสามารถปรับระดับปัจจัยให้เท่ากับระดับแอลฟาได้ เนื่องจากระดับแอลฟาถูกกำหนดให้เท่ากับ 1	ไม่ทำการทดลองในสภาวะที่รวมของปัจจัยระดับที่สูงเป็นการลดความเสี่ยงในการทำการทดลอง และเป็นการลดค่าใช้จ่าย
ข้อด้อย	ในการทดลองจริงอาจเกิดกรณีที่ไม่สามารถปรับระดับปัจจัยให้เท่ากับระดับแอลฟาที่คำนวณออกมาได้	ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีประสิทธิภาพความแม่นยำน้อยกว่าแบบส่วนประสมกลาง	ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีประสิทธิภาพความแม่นยำได้น้อยกว่าแบบส่วนประสมกลาง

2.1.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการบรรจุของเหลว (Liquid filling process)

เครื่องบรรจุของเหลวเป็นหนึ่งในประเภทของเครื่องจักรบรรจุภัณฑ์ซึ่งมีทั้งหมด 3 ประเภท อีก 2 ประเภทที่เหลือ คือ เครื่องจักรผลิตบรรจุภัณฑ์ และ เครื่องทดสอบ กระบวนการบรรจุนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของของเหลวที่บรรจุ เช่น ถ้าของเหลวที่จะบรรจุมีลักษณะไม่เหนียวข้นจะทำให้ง่ายต่อการบรรจุ เนื่องจากสามารถไหลตามแรงโน้มถ่วงได้ด้วยตัวมันเอง แต่ถ้าของเหลวที่บรรจุมีลักษณะเหนียวข้นจะทำให้ในกระบวนการบรรจุต้องมีการใช้แรงอัด หรือแรงดันเพื่อให้ของเหลวไหล นอกจากนั้นกระบวนการบรรจุยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ต้องใช้ในการบรรจุ และลักษณะเฉพาะของของเหลวที่ต้องการบรรจุ เช่น แนวโน้มที่ของเหลวจะทำปฏิกิริยากับอากาศ ความตึงที่ผิวหน้าของของเหลว เป็นต้น (Tupack, 2013)

2.1.3.1 ประเภทของการบรรจุของเหลวลงสู่บรรจุภัณฑ์

การบรรจุของเหลวลงสู่บรรจุภัณฑ์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. การบรรจุของเหลวแบบระดับคงที่

การบรรจุของเหลวแบบระดับคงที่นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีราคาต่อหน่อยไม่สูงมาก เช่น น้ำอัดลม เบียร์ เป็นต้น เพราะเป็นการบรรจุที่ไม่ได้มุ่งเน้นปริมาตรที่ถูกต้อง เนื่องจากมีผลต่อมูลค่าความสูญเสียที่ค่อยข้างต่ำ แต่อย่างไรก็ตามการบรรจุของเหลวควรมีระดับการบรรจุในแต่ละบรรจุภัณฑ์อยู่ที่ระดับเดียวกัน เพื่อช่วยเสริมสร้างความพึงพอใจของผู้บริโภค การบรรจุของเหลวแบบระดับคงที่ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการบรรจุแบบวิธีแรงโน้มถ่วง วิธีสุญญากาศ วิธีความดัน หรือการใช้ทั้งวิธีความดันและสุญญากาศ เป็นต้น

2. การบรรจุของเหลวแบบปริมาตรคงที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การบรรจุของเหลวแบบปริมาตรคงที่นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีราคาต่อหน่อยค่อยข้างสูง ผลิตภัณฑ์ที่ขายตามน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคต้องการน้ำหนักหรือปริมาตรที่ถูกต้อง ผลิตภัณฑ์ทางยาหรือสารเคมีที่ต้องการปริมาณการบริโภคและการใช้ที่ถูกต้อง และผลิตภัณฑ์ที่มีความเหนียวข้น ไม่สามารถไหลได้ด้วยตนเอง ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวจะถูกบรรจุโดยใช้กระบอกสูบ หรือระบบตวง ชั่ง ต่าง ๆ เพื่อทำให้ของเหลวในแต่ละบรรจุภัณฑ์มีความถูกต้องแม่นยำและปริมาตรที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด

2.1.3.2 วิธีการบรรจุของเหลว

วิธีการบรรจุของเหลวพิจารณาโดยใช้เกณฑ์การเคลื่อนตัวของบรรจุภัณฑ์ และท่อบรรจุสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี ดังนี้

1. วิธีบรรจุภัณฑ์เคลื่อนที่

วิธีบรรจุภัณฑ์เคลื่อนที่ซึ่งวิธีการนี้จะให้ท่อบรรจุเข้าไปในตัวบรรจุภัณฑ์จนถึงระดับหนึ่ง หลังจากนั้นจึงปล่อยผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวไหลลงไปในบรรจุภัณฑ์ วิธีการไหลของของเหลวมี 2 แบบ คือ

1.1 ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวไหลลงไปที่ก้นของบรรจุภัณฑ์โดยตรง

1.2 ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวไหลกระจายไปด้านข้างของบรรจุภัณฑ์ เพื่อให้ของเหลวค่อยๆไหล เป็นการช่วยลดความแรงของการไหล และช่วยลดฟองอากาศที่เกิดจากการรวมตัวของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวกับแก๊ส

2. วิธีท่อบรรจุเคลื่อนที่

วิธีท่อบรรจุเคลื่อนที่ซึ่งวิธีการนี้จะให้ท่อบรรจุเข้าไปถึงก้นของภาชนะบรรจุ หลังจากนั้นจึงปล่อยผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวให้ไหลลงบรรจุภัณฑ์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อจะช่วยลดการเกิดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์ และหลีกเลี่ยงการระเหยกลายเป็นไอของผลิตภัณฑ์ โดยท่อบรรจุสามารถเป็นทรงแข็ง หรือทรงอ่อนนุ่มได้ ในกรณีที่ท่อบรรจุเป็นทรงแข็ง ตัวบรรจุภัณฑ์จะถูกยกขึ้นแล้วเลื่อนต่ำลงเรื่อย ๆ ในขณะที่อยู่ในกระบวนการบรรจุ ส่วนกรณีที่ท่อบรรจุเป็นทรงอ่อนนุ่ม ตัวท่อบรรจุจะค่อยๆเลื่อนสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่อยู่ในกระบวนการบรรจุ

2.1.3.3 ระบบการบรรจุผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวลงสู่บรรจุภัณฑ์

Yam (2010) กล่าวว่าระบบการบรรจุผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวลงสู่บรรจุภัณฑ์แบ่งเป็น 2 ระบบ ได้แก่

- ระบบการบรรจุที่เครื่องบรรจุปิดแนบสนิทกับบรรจุภัณฑ์ (sealed-container system)
- ระบบการบรรจุที่เครื่องบรรจุไม่ปิดแนบสนิทกับบรรจุภัณฑ์ (unsealed-container system)

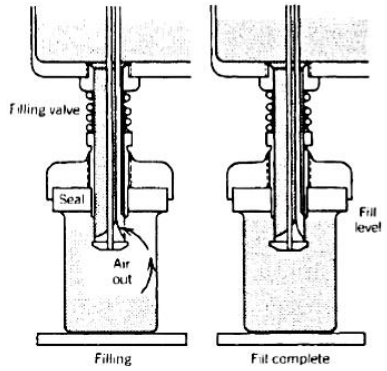
ระบบการบรรจุที่เครื่องบรรจุปิดแนบสนิทกับบรรจุภัณฑ์แบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่

1. เครื่องบรรจุระบบความดันสมดุล (balance-pressure filler)

เครื่องบรรจุระบบความดันสมดุลเป็นระบบที่ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวเคลื่อนที่จากถังเก็บผ่านวาล์วแล้วเข้าสู่บรรจุภัณฑ์ โดยตำแหน่งของถังเก็บจะอยู่สูงกว่าตำแหน่งของบรรจุภัณฑ์ เครื่องบรรจุระบบความดันสมดุลนั้นอากาศจากภายในบรรจุภัณฑ์จะเคลื่อนที่ออกจากบรรจุภัณฑ์ไปยังถังเก็บ โดยเคลื่อนที่ทางวาล์วเดียวกันกับวาล์วที่ทำหน้าที่บรรจุของเหลว เครื่องบรรจุระบบความดันสมดุลสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ระบบ

1.1 ระบบแรงโน้มถ่วง (gravity filler)

ระบบแรงโน้มถ่วงเป็นระบบที่อาศัยเพียงแรงโน้มถ่วงในการให้ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวไหลจากถังเก็บลงสู่บรรจุภัณฑ์ และส่วนเกินของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวจะถูกส่งกลับไปยังถังเก็บโดยเคลื่อนที่ไปพร้อมกับอากาศที่ไปยังถังเก็บผ่านทางท่อระบาย (vent tube) ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การบรรจุของเหลวโดยระบบแรงโน้มถ่วง

1.2 ระบบสุญญากาศ – แรงโน้มถ่วง (gravity-vacuum filler)

ระบบสุญญากาศเป็นระบบที่ใช้สุญญากาศต่ำในถังเก็บ ซึ่งเป็นถังที่มีลักษณะปิดสนิท เมื่อบรรจุภัณฑ์สัมผัสกับหัวฉีดจะทำให้วาล์วเติมผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวเปิดออก และเริ่มเติมของเหลวลงสู่บรรจุภัณฑ์ นอกจากนั้นความดันในบรรจุภัณฑ์จะมีส่วนช่วยผลักให้ผลิตภัณฑ์ที่ยังค้างอยู่ภายในท่อระบายเคลื่อนที่กลับเข้าสู่ถังเก็บ และความดันในบรรจุภัณฑ์จะช่วยเร่งการบรรจุให้เร็วขึ้นได้อีกด้วย

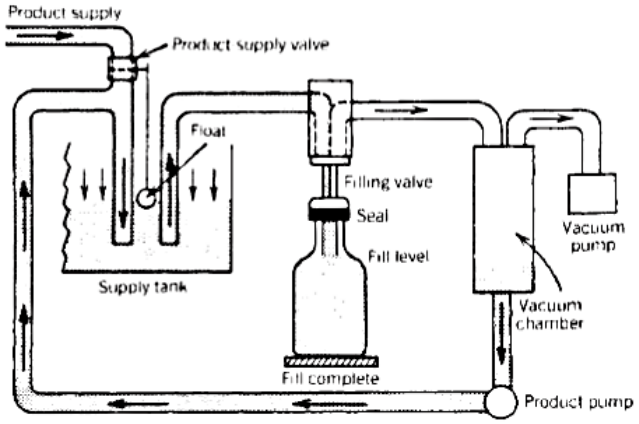
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. เครื่องบรรจุระบบความดันไม่สมดุล (unbalance-pressure filler)

เครื่องบรรจุระบบความดันไม่สมดุลเป็นระบบที่เหมาะในการบรรจุผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวลงสู่บรรจุภัณฑ์ที่มีปากขนาดเล็ก และเหมาะกับการบรรจุของเหลวที่เหนียวหนืด เนื่องจากเป็นระบบที่มีความแตกต่างของความดันระหว่างความดันเหนือผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวภายในถังเก็บกับความดันภายในท่อระบายอากาศออกจากบรรจุภัณฑ์ ซึ่งมีผลทำให้กระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวลงสู่ภาชนะเร็วขึ้น นอกจากนั้นยังต้องมีการใช้ระบบควบคุมการบรรจุเกิน และระบบดึงกลับผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวส่วนเกิน (overflow-collection/ product-recirculation) เนื่องจากอาจเกิดปัญหาเรื่องฟองอากาศที่เป็นสาเหตุให้ระดับในการบรรจุไม่ตรงตามกำหนด และทำให้กระบวนการบรรจุมีความผันแปรสูง เครื่องบรรจุระบบความดันไม่สมดุลแบ่งได้เป็น 4 ระบบ ได้แก่

2.1 ระบบสุญญากาศ (vacuum filler)

ระบบสุญญากาศเป็นระบบการบรรจุที่อาศัยแรงดันจากอากาศภายในบรรจุภัณฑ์ในการผลักผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวออกจากถังเก็บสู่บรรจุภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การบรรจุของเหลวโดยระบบสุญญากาศ

2.2 ระบบกึ่งสุญญากาศ (pre-vacuumized filler)

ระบบกึ่งสุญญากาศเป็นระบบที่มีการกำจัดอากาศในบรรจุภัณฑ์ออกก่อนการบรรจุ นิยมใช้กับการบรรจุของเหลวในกรณีที่ในบรรจุภัณฑ์มีของแข็งอยู่แล้ว เช่น การบรรจุถั่วกระป๋อง

2.3 ระบบแรงโน้มถ่วง (gravity filler)

ระบบแรงโน้มถ่วงเป็นระบบที่ติดตั้งถังเก็บไว้ในตำแหน่งที่สูงกว่าบรรจุภัณฑ์ และติดตั้งถังผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวส่วนเกิน (overflow) ไว้ในตำแหน่งที่ต่ำกว่าบรรจุภัณฑ์ เพื่ออาศัยหลักการแรงโน้มถ่วงในการบรรจุผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวลงสู่บรรจุภัณฑ์

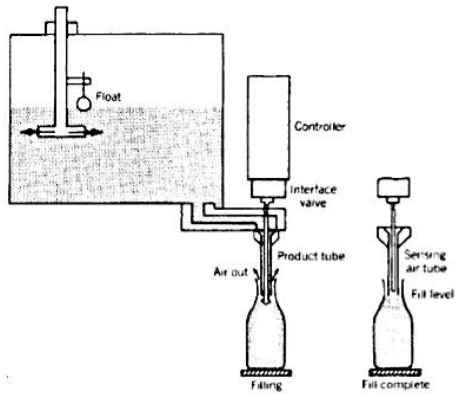
2.4 ระบบความดัน (pressure filler)

ระบบความดันเป็นระบบที่มีลักษณะคล้ายกับระบบสุญญากาศ แต่เป็นการทำให้ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวมีความดัน ซึ่งอาจใช้วิธีใส่ความดันเหนือของเหลวภายในถังเก็บหรือการใช้ปั๊มในระบบนี้ถังผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวส่วนเกิน (overflow) จะเปิดออกสู่บรรยากาศเพื่อให้การบรรจุเป็นสภาวะปราศจากสุญญากาศ ดังนั้นกระบวนการบรรจุแบบระบบความดันจึงนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถบรรจุในสภาวะสุญญากาศได้ เช่น การบรรจุแอลกอฮอล์ การบรรจุผลิตภัณฑ์ร้อน (ตั้งแต่ 93 องศาเซลเซียสขึ้นไป) เป็นต้น

ระบบการบรรจุที่เครื่องบรรจุไม่ปิดแนบสนิทกับบรรจุภัณฑ์ แบ่งออกเป็น 6 ระบบ ได้แก่

1. การบรรจุถึงระดับที่กำหนด (Level-sensing filler)

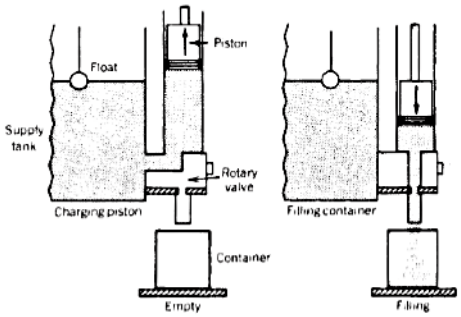
การบรรจุถึงระดับที่กำหนดนิยมใช้วิธีการจำกัดการไหลของอากาศ โดยจำกัดจากการเพิ่มขึ้นของของเหลวในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งเมื่อถึงค่าที่กำหนดเครื่องบรรจุจะส่งสัญญาณให้ระบบควบคุมปิดการไหลของผลิตภัณฑ์ การบรรจุของเหลวโดยหลักการบรรจุถึงระดับที่กำหนดแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การบรรจุของเหลวโดยหลักการบรรจุถึงระดับที่กำหนด

2. การบรรจุของเหลวด้วยหลักการตวงปริมาตรของเหลวที่แน่นอน (Volumetric filler)

การบรรจุของเหลวด้วยหลักการตวงปริมาตรของเหลวที่แน่นอนเป็นการอาศัยการตวงปริมาตรของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวในภาชนะที่กำหนดปริมาตร เช่น Rolling -diaphragm volumetric หรือ volume cup filler และมีลูกสูบทำหน้าที่ดันของเหลวเข้าสู่ภาชนะที่กำหนดปริมาตร และเมื่อตวงปริมาตรเรียบร้อยแล้ว ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวจะถูกส่งให้เคลื่อนที่ต่อไปยังบรรจุภัณฑ์เพื่อทำการบรรจุ แสดงการบรรจุของเหลวด้วยหลักการตวงปริมาตรของเหลวที่แน่นอนในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การบรรจุของเหลวโดยหลักการตวงปริมาตรของเหลวที่แน่นอน

3. การบรรจุของเหลวโดยอาศัยปั๊มควบคุมปริมาตร (Pump volumetric)

การบรรจุของเหลวโดยอาศัยปั๊มควบคุมปริมาตรเป็นการใช้ปั๊มควบคุมปริมาตรของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวที่จะบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ เพื่อให้กระบวนการบรรจุมีความผันแปรน้อย และปริมาตรของผลิตภัณฑ์มีค่าตรงตามความต้องการ ตัวอย่างปั๊มควบคุมปริมาตร เช่น positive-displacement pump volumetric และ peristaltic-pump volumetric

4. การบรรจุของเหลวโดยอาศัยเครื่องชั่ง (Weight filler)

การบรรจุของเหลวโดยอาศัยเครื่องชั่งเป็นการชั่งผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวก่อนจะบรรจุลงสู่บรรจุภัณฑ์

5. การบรรจุของเหลวโดยอาศัยการกำหนดเวลา (Time-fill filler)

การบรรจุของเหลวโดยอาศัยการกำหนดเวลานั้นมีกระบวนการ คือ ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวจะไหลผ่านวาล์วบรรจุที่มีการกำหนดเวลาไว้ เมื่อถึงเวลาที่กำหนดไว้วาล์วบรรจุจะปิดทันที

6. การบรรจุของเหลวโดยกำจัดของเหลวส่วนเกินออกภายหลัง (Overflow)

การบรรจุของเหลวโดยกำจัดของเหลวส่วนเกินออกภายหลังเป็นการที่กำจัดผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวส่วนเกินออกหลังจากการบรรจุเสร็จสิ้นแล้ว โดยวิธีการกำจัด เช่น การเอียงภาชนะในของเหลวไหลออก เป็นต้น

2.1.3.4 ประเภทของเครื่องบรรจุผลิตภัณฑ์ของเหลว

Tsarouhas and Arvanitoyannis (2010) กล่าวว่าเครื่องบรรจุผลิตภัณฑ์ของเหลวแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามแนวการเคลื่อนที่ของบรรจุภัณฑ์ ได้แก่

1. เครื่องบรรจุแบบเส้นตรง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เครื่องบรรจุแบบเส้นตรงนั้น บรรจุภัณฑ์จะเรียงเข้าสู่เครื่องบรรจุเป็นแนวเส้นตรง ข้อดีของเครื่องบรรจุแบบเส้นตรง คือ สะดวกในการเปลี่ยนขนาดหัวฉีดและเพิ่มจำนวนหัวฉีด ในกรณีที่ต้องการเพิ่มความเร็วในการบรรจุเพื่อให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต่อวันมากขึ้น

2. เครื่องบรรจุแบบโรตารี่

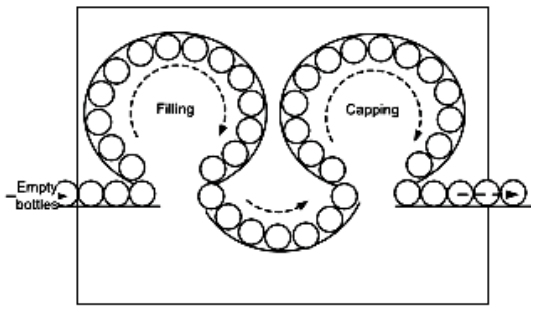
เครื่องบรรจุแบบโรตารี่เป็นเครื่องบรรจุแบบหมุน มีลักษณะการหมุนอยู่ 2 ประเภท คือ

2.1 หมุนตามเข็มนาฬิกา (Right wing)

เครื่องบรรจุหมุนตามเข็มนาฬิกาจะมีการทำงานโดยบรรจุภัณฑ์จะเข้าสู่เครื่องบรรจุด้านซ้าย

2.2 หมุนทวนเข็มนาฬิกา (Leftwing)

เครื่องบรรจุหมุนทวนเข็มนาฬิกาจะมีการทำงานโดยบรรจุภัณฑ์จะเข้าสู่เครื่องบรรจุทางด้านขวา ลักษณะการหมุนของเครื่องบรรจุแบบโรตารี่แสดงในรูปที่ 2.15 เครื่องบรรจุแบบโรตารี่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดใหญ่ เหมาะกับการใช้งานในกระบวนบรรจุที่ใช้บรรจุภัณฑ์ขนาดเดียวกันตลอด หรือไม่ค่อยเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากการเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์ในเครื่องบรรจุแบบโรตารี่จะต้องเสียเวลาในการเปลี่ยนจานป้อนเข้าและออกพร้อมทั้งเปลี่ยนหัวบรรจุด้วย



รูปที่ 2.15 ลักษณะการหมุนของเครื่องบรรจุแบบโรตารี่

2.1.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับโอริง

โอริงเป็นซีลที่มีลักษณะรูปทรงโดนัท พื้นที่หน้าตัดของโอริงเป็นรูปทรงกลมและโอริงมีรูปทรงเป็นทรงกลม ลักษณะทางกายภาพของโอริงแสดงดังรูปที่ 2.16 โอริงทำจากวัสดุที่สามารถหยุ่นตัวได้ เช่น ยางสังเคราะห์ชนิดต่าง ๆ หรือวัสดุสังเคราะห์อย่างอื่น หน้าที่ของโอริง คือ การเป็นซีลกันรั่วของของไหลในอุปกรณ์หรือเครื่องจักรต่าง ๆ ในระบบลมอัด (Pneumatic) หรือระบบไฮดรอลิก ซึ่งประเภทการใช้งานโอริงจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. เป็นซีลกันรั่วที่ติดตั้งบริเวณข้อต่อ หรือจุดต่อแบบต่าง ๆ ของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์อื่น ๆ
2. เป็นซีลกันรั่วของอุปกรณ์ทำงาน (Actuators) หรืออุปกรณ์ที่เคลื่อนที่

ในการเลือกชนิดของโอริงไปใช้งานต้องพิจารณาสภาวะของงานที่จะนำไปใช้ ยกตัวอย่างเช่น พิจารณา ชนิดของของไหล อุณหภูมิ และความดัน เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายของโอริงก่อนเวลาที่สมควร และเป็นการป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการ ถ้าเลือกใช้ชนิดของ โอริงไม่เหมาะสมกับสภาวะของกระบวนการ (Visscher)

รูปที่ 2.16 ลักษณะทางกายภาพของโอริง

2.1.4.1 ประเภทของความเสียหายหรือชำรุดของโอริง

Ecoseal (2016) กล่าวว่า ประเภทของความเสียหายหรือชำรุดของโอริงมีหลายประเภท และเกิดจากสาเหตุที่แตกต่างกัน เช่น เกิดจากการเลือกใช้ชนิดของโอริงไม่เหมาะสมกับอุณหภูมิของกระบวนการ หรือเกิดจากการเลือกใช้ชนิดของโอริงไม่เหมาะสมกับชนิดของของไหล เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ประเภทของความเสียหายหรือชำรุดของโอริง

ประเภทของความเสียหาย	ลักษณะการเสียหาย	สาเหตุของปัญหา	แนวทางในการแก้ปัญหา
การระเบิดออกของเนื้อโอริง	มีการหลุดออกหรือระเบิดออกของเนื้อโอริง และเมื่อถอดออกมาพบเนื้อโอริงที่ฉีกขาดติดอยู่บริเวณผิวของโอริง	เกิดจากการที่โอริงดูดซึมแก๊สเข้าไปในเนื้อตอนที่ได้รับความดันสูงและความดันก็ลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว	1. เพิ่มระยะเวลาในการลดความดัน 2. เพิ่มความแข็งของเนื้อโอริงเป็น 80-95 Durometer 3. เลือกวัสดุที่มีความต้านทานต่อการเกิด Decompression
การบวมของโอริง	มีการเพิ่มขึ้นของขนาดของโอริงเป็นผลให้ขนาดระหว่างตัวโอริงกับร่องผิดไปจากเดิม	เกิดจากโอริงดูดซับเอาของเหลวที่มันสัมผัสและบวมขึ้นจนถึงจุดที่ทำงานไม่ได้	1. เลือกใช้วัสดุทำโอริงที่เหมาะสมกับสารเคมี และสภาวะที่โอริงสัมผัส
ความเสียหายเกิดจากขั้นตอนการติดตั้ง	เกิดการเป็นรอยถูกของมีคมบนเนื้อโอริง และเกิดเป็นรอยบากรอยถลอก	เกิดจากมีการบิดหรือมีการกดอัดโอริงมากเกินไปในระหว่างการติดตั้ง	1. ลบคมในทุกจุดที่มีขอบคม 2. ติดตั้งโอริงที่มีขนาดเหมาะสม

ตารางที่ 2.5 ประเภทของความเสียหายหรือชำรุดของโอริง (ต่อ)

ประเภทของความเสียหาย	ลักษณะการเสียหาย	สาเหตุของปัญหา	แนวทางในการแก้ปัญหา
ความเสียหายเกิดจากขั้นตอนการติดตั้ง			3. ให้มีการหล่อลื่นทุกครั้งที่มีการประกอบงาน
โอริงแข็งตัว	ผิวของโอริงจะเกิดเป็นรอยร่องลึกลงไป	ความร้อนที่เกินอุณหภูมิใช้งานของโอริง	1. เลือกใช้วัสดุโอริงที่สามารถทนอุณหภูมิได้สูง
การสึกของผิวโอริง	โอริงมีผิวที่เรียบออกไปข้างใดข้างหนึ่ง	เกิดจากผิวของโลหะที่สัมผัสกับโอริงนั้นหยาบเกินไป	1. ใช้ค่าความเรียบของผิวชิ้นส่วนที่เป็นโลหะที่แนะนำเพื่อความเหมาะสมกับการสัมผัสกับโอริง
รอยแทะ Nibbling	มีรอยแทะขนาดเล็กจำนวนมากหลุดร่อนออกจากโอริงที่ทางด้านความดันต่ำของโอริง	มีระยะช่องว่างมากเกินไป, มีความดันในระบบสูงเกินไป และวัสดุที่ใช้ทำโอริงอ่อนเกินไป	1. ลดขนาดของช่องว่างจากการ Machine 2. เช็คความเข้ากันได้ของวัสดุที่ใช้ทำโอริงกับสารเคมีที่ใช้ในระบบ
เกิดเป็นรอยบีบอัดทั้งสองด้าน	ทำให้เกิดเป็นผิวที่แบนลงมาของโอริงทั้งสองด้าน	เกิดจากการเลือกวัสดุที่ทำโอริงที่มีคุณสมบัติการทนต่อแรงกดอัดได้ไม่ดีและวัสดุมีอัตราการบวมมากเกินไปเมื่อสัมผัสกับของเหลวในระบบ	1. เลือกวัสดุที่ทำโอริงที่มีคุณสมบัติการทนต่อแรงกดอัดได้ 2. เลือกวัสดุโอริงที่สามารถทนต่อสภาวะการทำงานและทนต่อความร้อนที่เกิดขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 งานวิจัยเกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับซิกซ์ ซิกมา

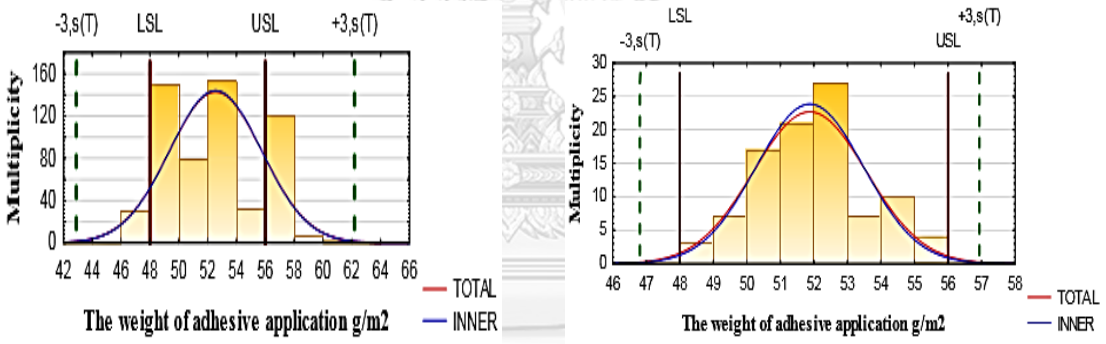
Baía (2015) กล่าวว่า ซิกซ์ ซิกมาเป็นเครื่องมือและแนวคิดในการปรับปรุงคุณภาพที่มีประสิทธิภาพ และวิธีการดำเนินงานอย่างเป็นแบบแผนขั้นตอน รวมทั้งมีการนำเครื่องมือทั้งในทางเชิงสถิติและไม่ใช่เชิงสถิติมาแก้ไขปรับปรุงกระบวน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ซิกซ์ ซิกมาเป็นที่นิยมในการนำมาบริหารจัดการทรัพยากรบุคคล เครื่องมือ และเงิน ขององค์กรในหลากหลายประเภท ในงานวิจัยนี้ ซิกซ์ ซิกมา ได้ถูกนำมาแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการบรรจุปุ๋ยเกินน้ำหนักที่ทางโรงงานกำหนดไว้ ปัญหานี้มีผลให้ทางโรงงานมีต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นจึงมีความจำเป็นต้องแก้ไขปรับปรุง โดยดำเนินการปรับปรุงกระบวนการตามขั้นตอน DMAIC งานวิจัยนี้มีการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์แต่ละขั้นตอนดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 เครื่องมือที่ใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์แบบ DMAIC

ขั้นตอนการวิเคราะห์	เครื่องมือ
Define	ใช้สัญญาโครงการ (Project Charter) โดยกำหนดเป้าหมายของการปรับปรุงคุณภาพ คือ ลดต้นทุนการผลิตของกระบวนการบรรจุ รวมทั้งระบุขอบเขตโครงการและระบุสมาชิกในทีมซึ่งได้แก่ 1. พนักงานปฏิบัติงาน 2. ฝ่ายการผลิต 3. ฝ่ายควบคุมคุณภาพ 4. ฝ่ายการตลาดและ 5. ผู้บริหาร
Measure	ใช้การวิเคราะห์ระบบวัด (Measurement System Analysis) ผลหลังการวิเคราะห์ระบบการวัดพบว่าระบบการวัดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
Analyze	ใช้แผนผังสาเหตุและผล (Cause and effect diagram) เพื่อหาสาเหตุที่ส่งผลต่อปัญหา
Improve	ใช้ 5 ส ซึ่งประกอบด้วย 1. สะสาง คือ การแยกระหว่างของที่จำเป็นต้องใช้กับของที่ไม่จำเป็นต้องใช้ 2. สะดวก คือ การจัดวางของที่จำเป็นต้องใช้ให้เป็นระเบียบ 3. สะอาด คือ การปัดกวาดเช็ดถู เครื่องมือเครื่องจักร 4. สุขลักษณะ คือ การปฏิบัติ 3ส ข้างต้นให้ดีตลอดไป 5. สร้างนิสัย คือ การรักษาและปฏิบัติ 4ส ข้างต้นจนติดเป็นนิสัย
Control	ใช้แผนภูมิ p ในการควบคุมสัดส่วนของเสียในกระบวนการบรรจุปุ๋ย ใช้แผนภูมิ c ในการควบคุมจำนวนของเสียในกระบวนการบรรจุปุ๋ย โรงงานกำหนดให้ถุงปุ๋ยที่หนักมากกว่า 20 กิโลกรัมเป็นของเสีย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลสรุปของงานวิจัยนี้ คือ หลังจากใช้ขั้นตอนตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา ในการดำเนินการปรับปรุงพบว่าเปอร์เซ็นต์ของเสียลดลงจาก 4.50 เป็น 2.17 เปอร์เซ็นต์ และมูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากการบรรจุเกินลดลงจาก 699,693 เป็น 38,143 ยูโร คิดเป็นเปอร์เซ็นเท่ากับลดมูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากการบรรจุเกินได้ถึง 94.50% ในขั้นตอนการวัดสภาพปัญหา นอกจะวิเคราะห์ระบบการวัดแล้วการวิเคราะห์สภาพปัญหาในปัจจุบันของกระบวนการก็เป็นสิ่งสำคัญ ดังเช่น ในงานวิจัยของ Sujova et al. (2016) ที่ต้องการศึกษาการใช้แนวคิด ซิกซ์ ซิกม่า ในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตให้ยั่งยืน ในงานวิจัยนี้มีการคำนวณศักยภาพของกระบวนการในระยะสั้น (C_p) และความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น (C_{pk}) เพื่อหาสภาพปัญหาในปัจจุบัน จากงานวิจัยพบค่า C_p และ C_{pk} มีค่าเท่ากับ 0.42 และ 0.36 ตามลำดับซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับแสดงว่ากระบวนการนี้มีความผันแปรสูง ต้องปรับปรุงโดยการหาวิธีลดความผันแปรของกระบวนการให้น้อยลง หลังจากปรับปรุงกระบวนการแล้วพบว่าค่า C_p และ C_{pk} มีค่าเท่ากับ 0.83 และ 0.81 ตามลำดับ กราฟฮิสโตแกรมของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุงแสดงดังรูปที่ 2.17



ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง

รูปที่ 2.17 กราฟฮิสโตแกรมของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง

งานวิจัยนี้สรุปผลไว้ว่าแนวคิด ซิกซ์ ซิกม่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้จริงถึงแม้ค่าตัวชี้วัดความสามารถของกระบวนการหลังปรับปรุงยังไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ แต่ผลการปรับปรุงกระบวนการก็ทำให้ค่าโอกาสการเกิดของเสียต่อล้านหน่วย (DPMO) ลดลงจาก 107,536.58 เป็น 73,261.27 ซึ่งเป็นผลดีค่าโรงงานการผลิตในแง่ต้นทุนการผลิต

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา นอกจากจะใช้แผนผังสาเหตุและผลเพื่อหาสาเหตุที่ส่งผลต่อปัญหาแล้วยังมีการใช้เมทริกซ์ความสัมพันธ์สาเหตุและผล ในการเรียงลำดับความสำคัญและคัดเลือกสาเหตุของปัญหาที่จะนำไปปรับปรุงหรือแก้ไขได้อีกด้วย ดังเช่น ในการงานวิจัยของ Valles (2009) ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ศึกษาการใช้ ซิกซ์ ซิกมา ในการปรับปรุงข้อบกพร่องของตลับหมึกในกระบวนทดสอบทางไฟฟ้า โดยงานวิจัยนี้ใช้เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลในการคัดเลือกสาเหตุของปัญหาเพราะหนึ่งสาเหตุมีผลกระทบต่อปัญหาหลายปัญหา โดยเกณฑ์การให้คะแนนปัญหา หรือตัว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แปรตอบสนองจะอยู่ในระดับคะแนน 1-10 คะแนน ส่วนเกณฑ์การให้คะแนนสาเหตุ หรือปัจจัยนำเข้าจะมีอยู่ 4 ระดับคะแนน คือ 0, 3, 6 และ 9 คะแนน เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของงานวิจัยนี้แสดงในตารางที่ 2.7

งานวิจัยนี้สรุปผลในขั้นตอนการคัดเลือกปัจจัยนำเข้าได้ว่า ปัจจัยนำเข้าที่มีระดับคะแนนความสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองมากที่สุดคือ Grit Blast รองลงมาคือ Nozzle Attach ซึ่งมีคะแนนเท่ากับ 75.96 และ 53.76 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.7 เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล

Cause and Effect Matrix							
Rating of Importance to Customer		5.91	2.3	1	0.78		
Y's		1	2	3	4	5	
X's		Residuals AIO	Scratch	Error Tester	Pad Contaminate	Requirement	Total
Process Step	**Process Input**						
1	Grit Blast	9	9	0	3		75.96
2	Nozzle Attach	6	6	0	6		53.76
3	Lex film	0	9	0	9		27.45
4	Electric Test	0	0	9	0		9.36
5	Dicing	0	3	0	0		6.81
6	Tab Bond	0	0	0	0		0
	Total	89	61	9	14		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.2 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ข้อหลัก คือ 1. ออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัย และ 2. ออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย ซึ่งวัตถุประสงค์ในแต่ละข้อก็จะใช้รูปแบบการออกแบบการทดลองต่างกัน

กรณีที่ผู้วิจัยต้องการคัดเลือกปัจจัยในช่วงที่เพิ่งเริ่มศึกษาปรับปรุงกระบวนการ รูปแบบการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมกับกรณีนี้ คือ การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k แต่ในกรณีที่การออกแบบการทดลองนั้นมีจำนวนปัจจัยมาก ในกรณีแบบนี้ควรเลือกใช้แบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับจะมีความเหมาะสมมากกว่า เนื่องจากจะมีจำนวนการทดลองน้อยกว่าการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เช่น งานวิจัยของ Nasrah (2017) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบหลักของปัจจัย และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณสารชีวมวลฟลูออรีนที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม โดยมีปัจจัยที่ทำการทดลองมี 5 ปัจจัย และระดับการทดลองของแต่ละปัจจัยเท่ากับ 2 ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.18

Factors	Symbols	Units	Level		
			Low (-1)	Middle (0)	High (+1)
pH	A	-	5	6	7
Total sugars in OPF juice	B	g/L	40	50	60
Inoculum size	C	%	1	10.5	20
Temperature	D	°C	32	37	42
Yeast extract concentration	E	g/L	1	5.5	10

รูปที่ 2.18 ตารางแสดงระดับปัจจัย

งานวิจัยนี้ออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ รวมกับส่วนของจุดศูนย์กลาง จำนวนการทดลองจึงเท่ากับ 2^{5-1} เท่ากับ 16 การทดลอง รวมกับการทดลองแบบส่วนของจุดศูนย์กลางอีก 5 การทดลอง ดังนั้นจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 21 การทดลอง ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบหลักต่อปริมาณสารชีวมวลฟลูออรีนที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ความเข้มข้นของยีนส์ ขนาดของเชื้อจุลินทรีย์และอุณหภูมิ ซึ่งมีค่า Percentage Contribution เท่ากับ 8.20%, 7.84% และ 7.56% ตามลำดับ และปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย ได้แก่ ขนาดของเชื้อจุลินทรีย์และความเข้มข้นของยีสต์มีค่า Percentage Contribution เท่ากับ 16.31% นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยของ Ruthaiputpong and Rojanarowan (2013) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลบริเวณแทร็คเริ่มต้น

ของกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ซึ่งงานวิจัยนี้มีปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 6 ปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 2.8 โดยผู้วิจัยต้องการจะคัดเลือกปัจจัยให้น้อยลง เพื่อนำไปศึกษาหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยต่อในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 2.8 ระดับของปัจจัยนำเข้าแต่ละปัจจัย

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้า	ระดับของปัจจัย			หน่วย
		ต่ำ	กลาง	สูง	
1	จำนวนรอบของการหมุน Ramp screw	0.25	0.75	1.25	รอบ
2	ระยะความสูงของ Rotate pin	4	8	12	มิลลิเมตร
3	แรงดันของกระบอกสูบ	2	5	8	ปอนด์
4	ระยะหดตัวของสปริง	0	5	10	มิลลิเมตร
5	ค่า Torque ของ Ramp screw	1.0	1.3	1.6	ปอนด์-นิ้ว
6	ระยะ Stopper ของกระบอกสูบ	3	5	7	มิลลิเมตร

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ รวมกับส่วนของจุดศูนย์กลาง จำนวนการทดลองจึงเท่ากับ 2^{6-1} เท่ากับ 32 การทดลอง รวมกับการทดลองแบบส่วนของจุดศูนย์กลางอีก 1 การทดลอง ดังนั้นจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 33 การทดลอง ผลการศึกษาพบว่าผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย คือ ผลกระทบร่วมระหว่างจำนวนรอบของการหมุน Ramp screw กับ แรงดันของกระบอกสูบ และผลกระทบร่วมระหว่างระยะความสูงของ Rotate pin กับ แรงดันของกระบอกสูบ ดังนั้นปัจจัยนำเข้าที่จะนำไปหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยจะเหลือเพียง 3 ปัจจัยจากทั้งหมด 6 ปัจจัย และงานวิจัยของ Wong et al. (2015) ที่ออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ แต่มีตัวแปรตอบสนอง 5 ตัวจึงจะมีความแตกต่างกับงานวิจัยของ Nasrah (2017) และ งานวิจัยของ Ruthaiputpong and Rojanarowan (2013) ที่ออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับเหมือนกัน แต่มีตัวแปรตอบสนองเพียง 1 ตัว งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลกระทบหลักของปัจจัยและผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองทั้งหมด 5 ตัวแปร คือ 1. Total antioxidant activity 2. DPPH 3. FRAP 4. ปริมาณของฟีนอล และ 5.ปริมาณของฟลาโวนอยด์ ปัจจัยที่ทำการทดลองและระดับของปัจจัยแต่ละปัจจัย แสดงดังรูปที่ 2.19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Factor	Notation	Factor levels	
		Low (−)	High (+)
pH	A	2	6
Ethanol concentration (%)	B	20	80
Temperature (°C)	C	30	80
Time (min)	D	30	300
Liquid/solid ratio (mL/g)	E	10	100

รูปที่ 2.19 ตารางแสดงระดับปัจจัย

จากการใช้การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ จำนวนการทดลองจึงเท่ากับ 16 การทดลอง รวมกับจำนวนการทดลองส่วนของจุดศูนย์กลาง การทดลองทั้งหมดจึงเท่ากับ 19 การทดลอง จากงานวิจัยสามารถสรุปผลได้ว่าการออกแบบการทดลองปัจจัย 2 ระดับแบบแฟกทอเรียลบางส่วน สามารถคัดกรองปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าตัวแปรตอบสนองได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญได้แก่ ความเข้มข้นของเอทานอลและอัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง

งานวิจัยของ Balcikanli et al. (2017) มีวัตถุประสงค์การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงพันธะ และความต้านทานต่อการขัดถูของคอนกรีต แอคทาไลต์แอ็กทีฟ (AAC) งานวิจัยนี้ใช้วิธีการออกแบบพื้นผิวตอบแบบส่วนประสมกลาง ปัจจัยที่ทำการทดลองมี 4 ปัจจัยได้แก่ ความเข้มข้นของโซเดียม (SC) ซิลิเกตโมดูล (SM) อุณหภูมิในการบ่ม (CT) และเวลาบ่มที่สัมผัส (ECT) ตารางระดับปัจจัยแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ระดับของปัจจัยนำเข้าแต่ละปัจจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Coded/Actual Values	Unit	-1.68	-1	0	1	+1.68
Curing temperature (CT)	°C	26.0	40.0	60.0	80.0	94.0
Exposed curing time (ETC)	h	1.2	6.0	13.0	20.0	25.0
Sodium concentration (SC)	%	0.1	1.6	3.8	6.0	7.5
Silicate modulus (SM)	Unitless	0.4	1.0	1.8	2.6	3.2

จำนวนการทดลองทั้งหมดของงานวิจัยนี้เท่ากับ 21 การทดลอง ประกอบด้วย ส่วนการทดลองแฟกทอรียล ส่วนของจุดแกน โดยมีค่า α เท่ากับ 1.68 และส่วนของจุดศูนย์กลาง ตัวแปรตอบสนองของการวิจัยนี้ประกอบด้วย Compressive strength, Split tensile strength, Ultrasonic pulse velocity และ Abrasion โดยใช้การวิเคราะห์ค่าทางสถิติเป็นสมการถดถอย

(Regression models) ได้ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ค่าตัวแปรตอบสนองที่ดีที่สุด คือ อุณหภูมิในการบ่มเท่ากับ 66 ºC เวลาบ่มที่สัมผัส 14.76 ชั่วโมงความเข้มข้นของโซเดียม 5.72% และ ซิลิเกตโมดูล 1.0 ส่วนงานวิจัยของ Arzani et al. (2016) ซึ่งใช้วิธีการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางเหมือนกัน แต่งานวิจัยนี้มีตัวแปรตอบสนองเพียง 1 ตัวแปร คือ ความพรุนของแผ่นเยื่อกรอง mullite ceramic มีปัจจัยที่ทำการทดลอง 3 ปัจจัยได้แก่ 1. ความเข้มข้นของ NaOH solution 2. อุณหภูมิของสารละลาย NaOH และ 3. เวลาในการกำจัด จำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 17 การทดลอง ผลการทดลอง คือ ค่าความพรุนเป็นที่เหมาะสมเท่ากับ 49.4 % ค่าของความเข้มข้นสารละลาย NaOH เท่ากับ 35% โดยน้ำหนัก อุณหภูมิเท่ากับ 75 °C และเวลาในการกำจัดเท่ากับ 8 ชั่วโมง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Khajornpaisan and Rojanarowan (2014) ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับผลของการใช้ Oxidized White Liquor (OWL) ต่อความสว่างของเยื่อกระดาษในการฟอกสีของเปอร์ออกไซด์ การวิจัยนี้ทำวิธีการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลาง โดยมีปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อุณหภูมิการฟอกขาว และเวลาฟอกสีงาน จำนวนการทดลองทั้งหมดจึงกับ 20 การทดลอง ผลสรุปจากการวิจัยนี้พบว่า ค่าที่เหมาะสมในการตั้งค่าปัจจัยแต่ละปัจจัยเป็น ดังนี้ 1. ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 6.9 กรัมต่อกิโลกรัม 2. อุณหภูมิในการฟอกขาวเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส และเวลาฟอกขาวเป็นเวลา 75 นาที จะมีผลทำให้เพิ่มประสิทธิภาพความสว่างของเยื่อกระดาษได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ คือ 83%

วิธีการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลาง ในบางกระบวนการก็ไม่สามารถทำการทดลองจริงเพราะปรับค่าปัจจัยให้เท่ากับระดับ α ไม่ได้ ฉะนั้นจึงควรเลือกใช้วิธีการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางแบบ CCF เช่นงานวิจัยของ Krishna (2015) ที่มีจุดประสงค์ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมี่ยมจากสารละลายในน้ำให้มีค่าสูงที่สุด โดยปัจจัยที่ทำการทดลอง 3 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณสารดูดซับ ค่าความเป็นกรด - ด่าง และความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น ตารางระดับปัจจัยแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ระดับของปัจจัยนำเข้าแต่ละปัจจัย

Factor		Coded levels of variables		
		-1.00	0.00	1.00
Initial concentration (mg/l)	X_1	15	20	25
pH	X_2	1	2	3
Biomass loading (g/l)	X_3	1.6	2.0	2.4

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางแบบ CCF มีจำนวนการทดลองทั้งหมด 20 ครั้ง สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมี่ยมสูงสุดจากสารละลายในน้ำขนาด 20 มิลลิกรัมต่อลิตรมีดังต่อไปนี้: ปริมาณสารดูดซับ เท่ากับ 2.26 กรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 1.76 และความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น 24.99 มิลลิกรัมต่อลิตร และงานวิจัยของ Suriyasuphapong (2014) มีวัตถุประสงค์การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดข้อบกพร่องชนิดดัดงอของแผ่นดิสก์ โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางแบบ CCF เช่นกัน เนื่องจากไม่สามารถปรับค่าปัจจัยให้เท่ากับระดับ α ได้ โดยระดับปัจจัยที่ทำการทดลองจะแสดงในรูปที่ 2.20 และมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 20 การทดลอง

Table 4 Factors and Levels of the Face Centered Central Composite Design

Symbol	Factors	Unit	Level of Factor		
			Low	Center	High
A	Clamp screw Torque	[in-lb]	2.5	3.5	4.5
B	Screw bit height	[mm.]	1.75	2.75	3.75
D	Vertical force on disk clamp and spindle motor	[lbs]	1.75	2.75	3.75

รูปที่ 2.20 ระดับของปัจจัยนำเข้าแต่ละปัจจัย

ผลของการวิจัยนี้ คือ อัตราการเกิดข้อบกพร่องชนิดดัดงอของแผ่นดิสก์จะมีค่าต่ำที่สุดที่แรงบิดของสกรูยึดเท่ากับ 3.25 in-lb ความสูงของสกรูเท่ากับ 3 mm. และแรงยึดแนวตั้งที่ยึดแผ่นดิสก์และใบพัดมอเตอร์เท่ากับ 2.50 lb หลังการปรับปรุงพบว่าสามารถเพิ่มดัชนีความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น (Cpk) จาก 0.69 เป็น 1.39

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.2.3 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับเมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause-Effect Matrix)

เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลจะมีสมการความสัมพันธ์คือ Y = F(X) เมื่อ Y คือ ปัญหาหรือตัวแปรตอบสนอง และ X คือสาเหตุหรือปัจจัยนำเข้า เกณฑ์การให้คะแนนปัญหาหรือตัวแปรตอบสนองจะอยู่ในระดับคะแนน 1-10 คะแนนตามความสำคัญของปัญหาที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจของลูกค้า ส่วนเกณฑ์การให้คะแนนสาเหตุหรือปัจจัยนำเข้าจะมีการกำหนดเกณฑ์หลากหลายรูปแบบ ดังเช่น งานวิจัยของ Lee and Su (2013) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ซิกซ์ ซิกมา ในการปรับปรุงรอยแตกตรงผนังกั้นที่มีน้ำหนักเบา โดยในงานวิจัยมีการใช้เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลในการจัดลำดับความสำคัญและคัดเลือกสาเหตุ โดยเกณฑ์การให้คะแนนสาเหตุ

หรือปัจจัยนำเข้ามี 4 ระดับ คือ 0, 1, 3 และ 9 ซึ่งหมายถึงมีผลกระทบต่อรอยแตกตรงผนังกั้นที่มีน้ำหนักเบามาก ปานกลาง น้อย และไม่มีเลย ตามลำดับ แต่ในงานวิจัยของ Wang et al. (1998) ซึ่งทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบการนำไปปรับใช้กับฟังก์ชันคุณภาพระหว่างวิธีเมทริกซ์ลำดับความสำคัญกับเทคนิคขั้นตอนกระบวนการวิเคราะห์ ในงานวิจัยนี้ระบุเกณฑ์การให้คะแนนสาเหตุหรือปัจจัยนำเข้าเป็น 5 ระดับดังแสดงในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 เกณฑ์การให้คะแนนสาเหตุหรือปัจจัยนำเข้า

Intensity of importance	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two activities contribute equally to the objective
3	Weak importance of one over another	Experience and judgement slightly favor one activity over another
5	Essential or strong importance	Experience and judgement strongly favor one activity over another
7	Demonstrated importance	An activity is strongly favored and its dominance demonstrated in practice
9	Absolute importance	The evidence favoring one activity over another is of the highest possible order of affirmation
2, 4, 6, 8	Intermediate value between the two adjacent judgements	When compromise is needed

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.4 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับกระบวนการบรรจุ

Dewa (2013) ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดของเสียในกระบวนการบรรจุและกระบวนปิดฝาเพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพ โดยงานวิจัยนี้ใช้แผนภาพก้างปลาเพื่อระบุปัญหาที่ส่งผลให้เกิดของเสียต่อโรงงาน โดยสาเหตุที่วิเคราะห์ได้แสดงดังตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 สาเหตุการเกิดของเสียในกระบวนการบรรจุและกระบวนการปิดฝา

หมวดหมู่	สาเหตุ
คน	พนักงานจดค่าปริมาณไม่ถูกต้อง
	พนักงานยอมรับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน
	พนักงานตั้งค่าพารามิเตอร์ผิด
เครื่องจักร	การตั้งค่าเครื่องบรรจุไม่ดี
	เครื่องบรรจุเสื่อมสภาพ
	เครื่องบรรจุทำงานด้วยความเร็วไม่เหมาะสม
	อุปกรณ์ภายในเครื่องบรรจุชำรุด
	ท่อระบายชำรุด
กระบวนการ	การตั้งค่าความดันไม่เหมาะสม
	การตั้งค่า rotameter ของแก๊สไม่เหมาะสม
วัสดุ	ฝาปิดไม่ได้มาตรฐาน
การวัด	วัดปริมาตรของการบรรจุผิด
สภาพแวดล้อม	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลสรุปของงานวิจัยคือหลังจากทำการปรับปรุง เปอร์เซ็นต์ของเสียในกระบวนการบรรจุลดลงจาก 1.79 เปอร์เซ็นต์ เป็น 1.31 เปอร์เซ็นต์ ส่วนวิจัยของ Baía (2015) เป็นการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการบรรจุปุ๋ยเกินน้ำหนักโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา และใช้แผนภาพก้างปลาเพื่อระบุปัญหาที่ส่งผลให้เกิดน้ำหนักปุ๋ยเกินเหมือนกับงานวิจัยก่อนหน้าแต่แตกต่างกันที่งานวิจัยนี้เป็นกระบวนการบรรจุของแข็งโดยสาเหตุที่วิเคราะห์ได้แสดงดังตารางที่ 2.13 และงานวิจัยนี้ใช้ 5 S ในการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งผลสรุปของงานวิจัยคือเปอร์เซ็นต์ของเสียลดลงจาก 4.50 เปอร์เซ็นต์เป็น 2.17 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.13 สาเหตุของการเกิดการบรรจุน้ำหนักปุ๋ยเกิน

หมวดหมู่	สาเหตุ
คน	พนักงานไม่ได้รับการอบรม
เครื่องจักร	ไม่มีการบำรุงซ่อมแซม เครื่องบรรจุ
	หัวบรรจุชำรุด
สภาพแวดล้อม	ปริมาณฝุ่นละออง
	อากาศไม่ถ่ายเท
การวัด	ระบบการวัดไม่เที่ยงตรง
	เครื่องวัดไม่มีการสอบเทียบ
	เครื่องวัดไม่ได้ทำความสะอาด
	เครื่องวัดไม่ได้รับการซ่อมบำรุง

งานวิจัยของ Desai (2014) ศึกษาเกี่ยวกับการใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา เพื่อปรับปรุงกระบวนการบรรจุนม เนื่องจากเกิดปัญหาน้ำหนักนมในกล่องมีความผันแปรสูง งานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุ

- แผนผังสาเหตุและผล ใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุภาพรวม
- แผนภาพพาเรโต ใช้ในการวิเคราะห์คัดเลือกสาเหตุให้แคบลง
- การวิเคราะห์แบบ 5 why ใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริง

สาเหตุที่มีผลต่อความผันแปรของน้ำหนักนมมี ดังนี้

1. การสึกหรอของสกรู
2. เครื่องชั่งน้ำหนักไม่ได้รับการสอบเทียบ
3. การสั่นสะเทือนของเครื่องบรรจุ
4. ความหนาแน่นของนมไม่คงที่
5. มีการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่บรรจุบ่อย
6. ความหนืดของนม
7. อัตราการป้อนเข้าสู่เครื่องบรรจุ
8. การออกแบบการกวนผลิตภัณฑ์

สรุปผลงานวิจัยคือหลังจากการปรับปรุงตามแนวทาง ซิกซ์ ซิกมา แล้วโรงงานสามารถลดของเสียจากกระบวนการบรรจุนมได้เนื่องจากกระบวนการบรรจุมีระดับความผันแปรที่ลดลง นอกจากนั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ยังมีงานวิจัยของ วศิน พันธ์เมฆากุล (2552) ที่ศึกษาเพื่อลดความผันแปรของน้ำหนักบรรจุขวดที่บรรจุด้วยเครื่องบรรจุ Filpac งานวิจัยนี้ใช้แผนผังสาเหตุและผลในการหาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่จะส่งผลต่อความผันแปรของน้ำหนักบรรจุขวด และออกแบบการทดลอง 2^k แฟกทอเรียล เพื่อหาผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย รวมทั้งออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าปรับตั้งของปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งจากผลการวิจัยนี้ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของน้ำหนักบรรจุขวดและค่าปรับตั้งของปัจจัยแสดงในตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของน้ำหนักบรรจุขวดและค่าปรับตั้งของปัจจัย

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปร	ค่าปรับตั้งของปัจจัย
ความเร็วดูด (Suction Speed)	810 รอบต่อนาที
ความเร็วบรรจุ (Filling Speed)	600 รอบต่อนาที

หลังการปรับปรุงพบว่ากระบวนการบรรจุมีค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการเท่ากับ 0.93 ซึ่งก่อนปรับปรุงกระบวนการนี้มีค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการเพียง 0.55 แสดงว่าหลังการปรับปรุงค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการเพิ่มขึ้น 0.38 และงานวิจัยนี้ยังมีการวางแผนตรวจสอบค่าปัจจัยเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาซ้ำ นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยของ หทัยชนก พรหมศร (2559) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการลดปริมาณของเสียในกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับเส้นผมของโรงงานกรณีศึกษา งานวิจัยนี้ใช้หลัก ซิกซ์ ซิกมา ในการปรับปรุงกระบวนการ โดยในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ได้ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ คือ แผนผังสาเหตุและผล สามารถสรุปสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด ดังตารางที่ 2.15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.15 สาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการบรรจุ

หมวดหมู่	สาเหตุ
คน	คำนวณน้ำหนักมาตรฐานผิด
เครื่องจักร	Shut off value ขาดมาตรฐาน
	ระดับ Hopper ต่ำ
	Piston รั่วในระบบ
	สภาวะของน้ำหนักปรับเป็นรายหัว
	Piston Static ระดับไม่ตรงกันทั้ง 8 หัว
	หัว Piston เกลียวคลาย
วัตถุดิบ	เนื้อครีมฟูจากต้นทาง

ตารางที่ 2.15 สาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการบรรจุ (ต่อ)

หมวดหมู่	สาเหตุ
วิธีการ	ความเร็วไม่สัมพันธ์กับความดัน
	มาตรฐานการตั้งค่าน้ำหนักบรรจุ
	การจัดการหลังล้างระบบ
	วิธีการเปลี่ยน Palagon
	อุณหภูมิของระบบ

จากการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียในกระบวนการบรรจุ คือ ระดับ Hopper อุณหภูมิของระบบ คำนวณน้ำหนักมาตรฐานผิด และ การจัดการหลังล้างระบบ ผลการวิจัยสรุปได้ว่าหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับเส้นผมขนาดต่าง ๆ มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม ดังแสดงในตารางที่ 2.16

ตารางที่ 2.16 ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับเส้นผมขนาดต่าง ๆ ก่อนและหลังการปรับปรุง

ขนาดผลิตภัณฑ์ (มิลลิลิตร)	ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุง	ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุง
150	0.55	1.27
200	0.61	1.50
400	0.34	1.22
500	0.42	1.34
1000	0.38	1.26

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.5 การนำงานวิจัยไปประยุกต์ใช้งาน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้าสามารถนำมาประยุกต์ได้ในหลายขั้นตอนการดำเนินงาน ดังแสดงในตารางที่ 2.17

ตารางที่ 2.17 การนำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไปการประยุกต์ใช้

งานวิจัย	การประยุกต์ใช้งาน
BALA (2015)	นำแนวทางการใช้แผนผังสาเหตุและผลมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา
Sujova et al.(2016)	นำแนวทางการคำนวณหาตัวชี้วัดความสามารถของกระบวนการมาประเมินสภาพปัจจุบันของกระบวนการที่ต้องการศึกษา
Valles et al.(2009)	นำแนวทางการใช้เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลมาปรับใช้ในขั้นตอนการคัดเลือกสาเหตุของปัญหา
Nusrah et al.(2017), Ruthaiputpong & Rojanarowan (2013) และ Wong et al. (2014)	ใช้แนวทางการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ ในขั้นตอนการคัดเลือกปัจจัยนำเข้า ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะจะใช้กับงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีจำนวนตัวแปรนำเข้ามาก
Arzani et al. (2016), Khajornpaisan & Rojanarowan (2014) และ Balcikanli et al. (2016)	1. นำแนวทางการใช้การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลาง เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ค่าตัวแปรตอบสนองมีค่าตามต้องการ 2. ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบการทดลอง กรณีมีตัวแปรตอบสนองเพียงตัวแปรเดียว และกรณีมีตัวแปรตอบสนองมากกว่า 1 ตัวแปร
Krishna & Padma (2015) และ Suriyasuphapong & Rojanarowan (2014)	นำแนวทางการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางแบบ CCF มาใช้ในขั้นตอนการปรับปรุง เนื่องจากในงานวิจัยนี้ไม่สามารถปรับค่าปัจจัยให้เท่ากับระดับ α ได้
Lee & Su (2013) และ Wang et al. (1998)	1. นำแนวทางการใช้เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลมาใช้ในการจัดลำดับความสำคัญและคัดเลือกสาเหตุ 2. นำเกณฑ์การให้คะแนนสาเหตุหรือปัจจัยนำเข้ามี 4 ระดับ คือ 0, 1, 3 และ 9 มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย
Dewa et al. (2013), BALA (2015), Desai et al. (2014), วศิน พันธ์เมฆากุล (2552) และ หทัยชนก พรหมศร (2559)	งานวิจัยเหล่านี้ระบุสาเหตุการเกิดของเสียในกระบวนการบรรจุ ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ในขั้นตอนการหาสาเหตุของปัญหาในงานวิจัยได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
การวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้า

จากการที่ผู้วิจัยได้ศึกษาสภาพปัญหา และความสำคัญของปัญหาในปัจจุบันดังแสดงในบทที่ 1 ทำให้ผู้วิจัยและคณะทีมงาน ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A ได้วิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ และส่งผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์โดยคณะทีมงานมีสมาชิกดังนี้

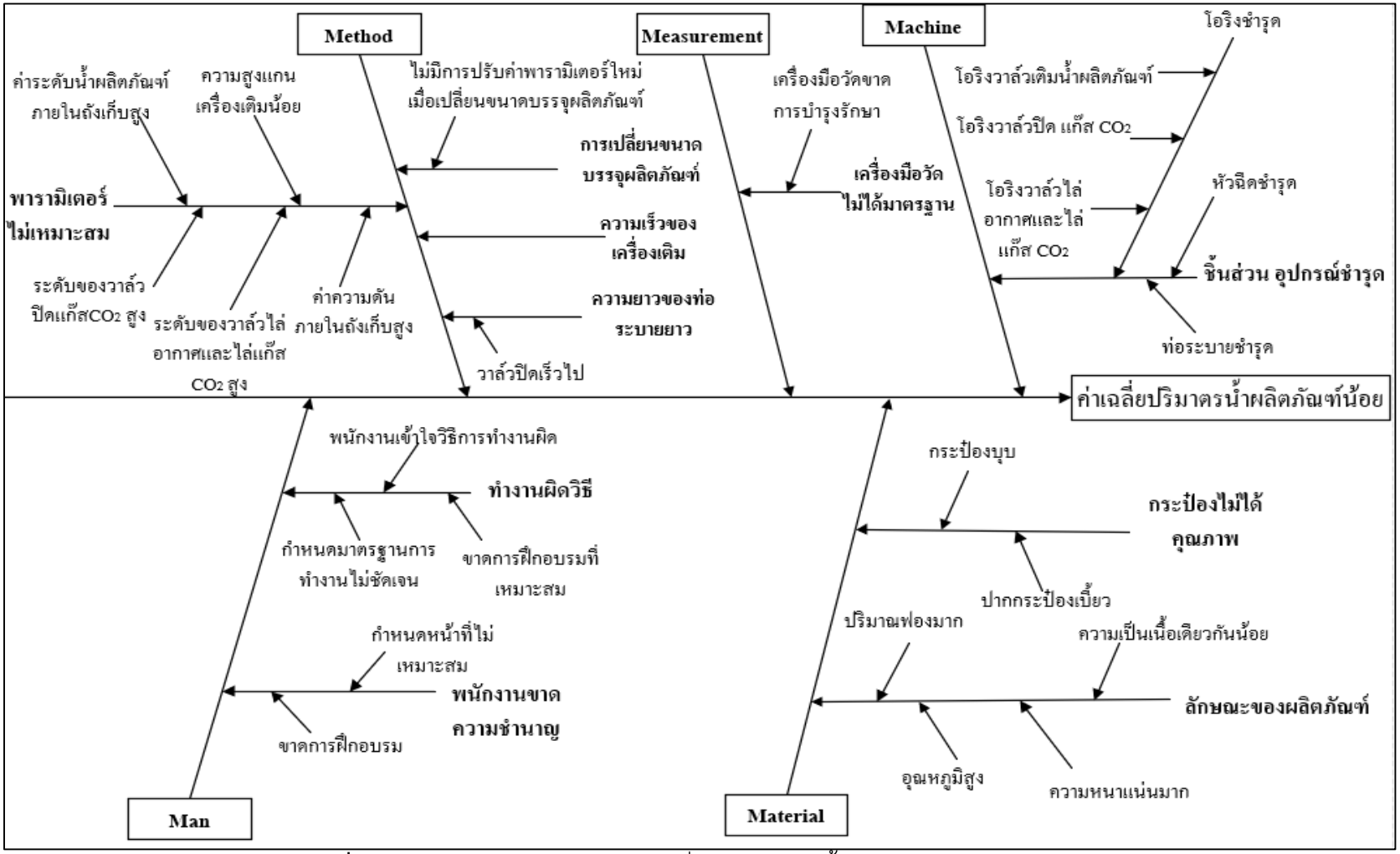
1. วิศวกรฝ่ายผลิตและควบคุมเครื่องจักร 2 คน
2. วิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุง 2 คน
3. วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพ 1 คน

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์และส่งผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ ดังนี้

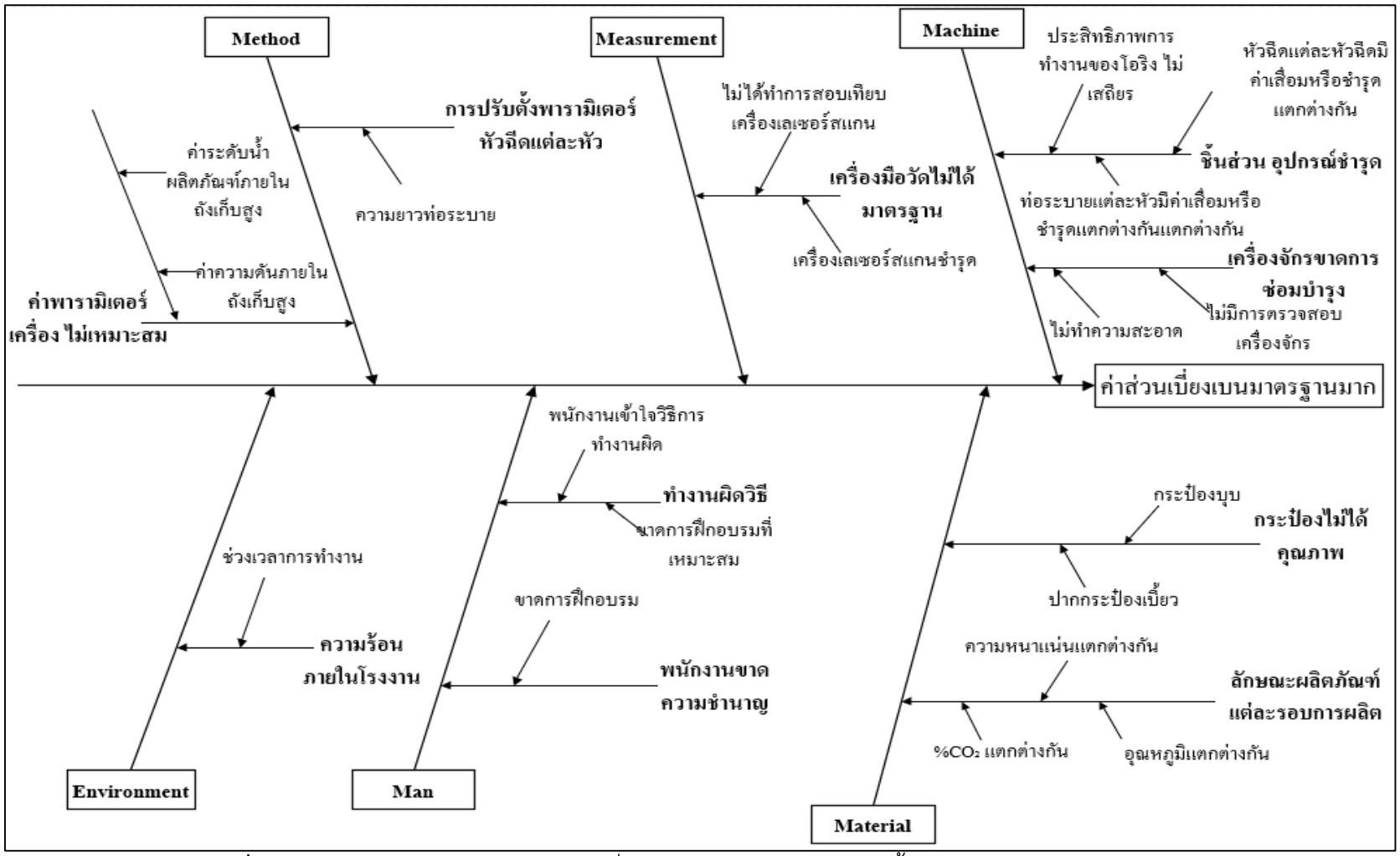
3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Root cause Analysis)

ในขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องมือแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect diagram) ในการวิเคราะห์ เนื่องจากสามารถระบุสาเหตุของปัญหาที่เป็นไปได้อย่างครอบคลุม และผู้วิจัยได้วิเคราะห์สาเหตุตามหมวดหมู่ 5M1E ซึ่งประกอบด้วยด้วย คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) เครื่องมือวัด (Measurement) วิธีการดำเนินงาน (Method) และสภาพแวดล้อม (Environment) หลังจากผู้วิจัยและทีมงานได้ระดมความคิด (Brainstorming) จึงได้แผนผังสาเหตุและผลของค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์และแผนผังสาเหตุและผลของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ตามลำดับ ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.1 แผนผังสาเหตุและผลของค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องน้อย



รูปที่ 3.2 แผนผังสาเหตุและผลของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมาก

จากแผนผังสาเหตุและผลของค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อย และแผนผังสาเหตุและผลของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2 ตามลำดับ สามารถสรุปสาเหตุได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สาเหตุทั้งหมดจากแผนผังสาเหตุและผลที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก

ลำดับ	หมวดหมู่	สาเหตุ	ผลกระทบต่อ	
			ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อย	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก
1	Material	กระป๋องบุบ	✓	✓
2		ปากกระป๋องเบี้ยว	✓	✓
3		ปริมาณฟองของน้ำผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน	✓	✓
4		อุณหภูมิของน้ำผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน	✓	✓
5		ความเป็นเนื้อเดียวกันของน้ำผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน	✓	
6		ความหนาแน่นของน้ำผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน	✓	✓
7	Man	พนักงานเข้าใจการทำงานผิด		✓
8		กำหนดมาตรฐานการทำงานไม่ชัดเจน	✓	
9		กำหนดหน้าที่ไม่เหมาะสม	✓	
10		ขาดการฝึกอบรม	✓	✓
11	Machine	โอริงวาล์วบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ชำรุด	✓	✓

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3.1 สาเหตุทั้งหมดจากแผนผังสาเหตุและผลที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก (ต่อ)

ลำดับ	หมวดหมู่	สาเหตุ	ผลกระทบต่อ	
			ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก
12	Machine	โอริงวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ชำรุด	✓	✓
13		โอริงวาล์วไล่อากาศ และไล่แก๊ส CO_2 ชำรุด	✓	✓
14		หัวฉีดชำรุด	✓	✓
15		ท่อระบายชำรุด	✓	✓
16		ไม่ทำความสะอาดเครื่องจักร		✓
17		ไม่มีการตรวจสอบเครื่องจักร		✓
18	Environment	ช่วงเวลาการทำงานแตกต่างกัน		✓
19	Measurement	เครื่องมือวัดขาดการบำรุงรักษา	✓	
20		เครื่องเลเซอร์สแกนไม่ได้ทำการสอบเทียบ		✓
21	Method	ความเร็วของเครื่องเติมไม่เหมาะสม	✓	
22		ความยาวของท่อระบายไม่เหมาะสม	✓	✓

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.1 สาเหตุทั้งหมดจากแผนผังสาเหตุและผลที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก (ต่อ)

ลำดับ	หมวดหมู่	สาเหตุ	ผลกระทบต่อ	
			ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก
23	Method	ไม่มีการปรับพารามิเตอร์ใหม่เมื่อเปลี่ยนขนาดการบรรจุ	✓	
24		ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บสูง	✓	✓
25		ความสูงแกนเครื่องเติมสั้น	✓	
26		ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 สูง	✓	
27		ค่าความดันภายในถังเก็บสูง	✓	✓
28		ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 สูง	✓	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2 ขั้นตอนการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก

ผู้วิจัยเลือกใช้เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) ในการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยน้อยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก ซึ่งเป็นวิธีการที่ให้ผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการบรรจุแต่ละคนลงคะแนนเพื่อคัดเลือกและจัดลำดับปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ โดยผู้วิจัยให้คะแนนน้ำหนักความสำคัญของค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มีคะแนนน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 1 เท่ากัน เนื่องจากมีผลกระทบต่อมูลค่าความสูญเสีย

ของกระบวนการบรรจุอย่างชัดเจนเหมือนกัน และใช้เกณฑ์การให้คะแนนระดับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มี 4 ระดับคะแนน ดังแสดงในตารางที่ 3.2

การคำนวณคะแนนความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละปัจจัยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$\sum_{i=1}^{n_1}\sum_{j=1}^{n_2}(W_i \times X_{ij}) \qquad (3.1)$$

เมื่อ W_i แทนคะแนนน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรตอบสนองที่ i

X_{ij} แทนคะแนนระดับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนอง

n_1 แทนจำนวนตัวแปรตอบสนอง

n_2 แทนจำนวนผู้ให้คะแนน

ตารางที่ 3.2 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง

ระดับความสัมพันธ์	ความสัมพันธ์	คะแนน
มาก	ปัจจัยนำเข้านำมีผลกระทบสูงต่อตัวแปรตอบสนอง	9
ปานกลาง	ปัจจัยนำเข้ามีผลกระทบปานกลางต่อตัวแปรตอบสนอง	3
น้อย	ปัจจัยนำเข้ามีผลกระทบน้อยต่อตัวแปรตอบสนอง	1
ไม่มีผล	ปัจจัยนำเข้าไม่มีผลกระทบตัวแปรตอบสนอง	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในการลงคะแนนของผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการบรรจุแต่ละคนนั้นต้องไม่มีการปรึกษากันเพื่อป้องกันความเอนเอียงของคะแนนที่อาจเกิดจากสาเหตุการชักจูงทางความคิด โดยเมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์และเมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์แสดงในตารางที่ 3.3 และตารางที่ 3.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 ผลคะแนนของปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อย

ประเภทของสาเหตุ	ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์		คะแนน					
			คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	รวม
Material	กระป๋องไม่ได้คุณภาพ	กระป๋องบุบ	1	3	3	3	3	13
		ปากกระป๋องเบี้ยว	3	3	3	1	3	13
	ลักษณะของผลิตภัณฑ์	ปริมาณฟอง	1	1	0	1	1	4
		อุณหภูมิ	0	1	1	1	1	4
		ความเป็นเนื้อเดียวกัน	0	0	1	0	0	1
		ความหนาแน่น	1	0	0	0	0	1
Man	ทำงานผิดวิธี	พนักงานเข้าใจการทำงานผิด	1	1	1	1	0	4
		กำหนดมาตรฐานการทำงานไม่ชัดเจน	1	1	1	1	1	5

ตารางที่ 3.3 ผลคะแนนของปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อย (ต่อ)

ประเภทของสาเหตุ	ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์		คะแนน					
			คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	รวม
Man	พนักงานขาดความชำนาญ	กำหนดหน้าที่ไม่เหมาะสม	0	0	1	0	0	1
	พนักงานขาดความชำนาญ	ขาดการฝึกอบรม	3	1	1	1	1	7
Machine	ชิ้นส่วน อุปกรณ์ชำรุด	โอริงวาล์วบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์	1	3	1	1	1	7
		โอริงปิดวาล์วแก๊ส CO_2	3	3	3	3	1	13
		โอริงปิดวาล์วไล่แก๊ส CO_2	1	1	1	1	3	7
		หัวฉีดชำรุด	1	1	3	1	1	7
		ท่อระบายชำรุด	1	1	1	1	0	4
Measurement	เครื่องมือวัดไม่ได้มาตรฐาน	เครื่องมือวัดขาดการบำรุงรักษา	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 3.3 ผลคะแนนของปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อย (ต่อ)

ประเภทของสาเหตุ	ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์		คะแนน					
			คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	รวม
Method	ความเร็วของเครื่องเติม	ความเร็วของเครื่องเติมไม่เหมาะสม	1	0	0	0	0	1
	ความยาวของท่อระบาย	ความยาวของท่อระบายไม่เหมาะสมทำให้วาล์วบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ปิดเร็วไป	9	9	9	9	9	45
	การเปลี่ยนขนาดการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์	ไม่มีการปรับพารามิเตอร์ใหม่เมื่อเปลี่ยนขนาดการบรรจุ	1	1	3	1	1	7
	Parameter ไม่เหมาะสม	ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ	9	9	9	9	3	39
		ความสูงแกนเครื่องเติม	1	3	1	1	1	7
		ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2	9	9	3	9	9	39
		ค่าความดันภายในถังเก็บ	9	9	9	9	9	45
		ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2	3	9	9	9	9	39

ตารางที่ 3.4 ผลคะแนนของปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก

ประเภทของสาเหตุ	ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์		คะแนน					
			คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	รวม
Material	กระป๋องไม่ได้คุณภาพ	กระป๋องบุบ	3	1	3	3	3	13
		ปากกระป๋องเบี้ยว	3	3	3	3	1	13
	ลักษณะผลิตภัณฑ์แต่ละรอบการผลิต	ความหนาแน่นแตกต่างกัน	0	0	0	0	0	0
		อุณหภูมิแตกต่างกัน	0	0	0	0	1	1
		ปริมาณ CO_2 แตกต่างกัน	0	0	0	1	0	1
Man	ทำงานผิดวิธี	พนักงานเข้าใจการทำงานผิด	1	1	1	1	3	7
	ขาดความชำนาญ	ขาดการฝึกอบรม	1	0	0	0	0	1
Environment	ความร้อนภายในโรงงาน	ช่วงเวลาการทำงาน	0	0	0	0	1	1

ตารางที่ 3.4 ผลคะแนนของปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก (ต่อ)

ประเภทของสาเหตุ	ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์		คะแนน					
			คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	รวม
Machine	ชิ้นส่วน อุปกรณ์ชำรุด	หัวฉีดแต่ละหัวมีค่าเสื่อมหรือชำรุดแตกต่างกัน	0	1	0	0	0	1
		ประสิทธิภาพการทำงานของโอริงไม่เสถียร	3	3	3	3	9	21
		ท่อระบายแต่ละหัวมีค่าเสื่อมหรือชำรุดแตกต่างกัน	1	1	1	1	1	5
	ไม่ใส่ใจเครื่องจักร	เครื่องจักรไม่มีการตรวจสอบ	1	3	1	1	1	7
		ไม่ทำความสะอาดเครื่องจักร	0	1	0	0	0	1
Measurement	เครื่องมือวัดไม่ได้มาตรฐาน	เครื่องเลเซอร์สแกนไม่ได้ทำการสอบเทียบ	0	1	0	0	0	1
		เครื่องเลเซอร์สแกนชำรุด	1	0	0	0	0	1

ตารางที่ 3.4 ผลคะแนนของปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก (ต่อ)

ประเภทของสาเหตุ	ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์		คะแนน					
			คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	รวม
Method	การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องบรรจุไม่เหมาะสม	ความยาวท่อระบายในแต่ละหัวฉีดต่างกัน	9	9	9	9	9	45
		ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บเปลี่ยนบ่อย	3	3	3	3	3	15
		ค่าความดันภายในถังเก็บเปลี่ยนบ่อย	9	3	3	3	3	21

จากเมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ และเมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ทำให้ได้ผลคะแนนรวมของทั้งปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์และปัจจัยที่มีผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์แสดงในตารางที่ 3.5 โดยคะแนนน้ำหนักความสำคัญของค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 1 เท่ากัน

ตารางที่ 3.5 ผลคะแนนรวมของทั้งปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยและปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า	คะแนนรวม (คะแนน)
1	ความยาวของท่อระบาย	90
2	ค่าความดันภายในถังเก็บ	66
3	ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ	54
4	โอริงปิดวาล์วแก๊ส CO_2 ชำรุด	39
5	ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2	39
6	โอริงปิดวาล์วแก๊ส CO_2 ชำรุด	34
7	ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2	28
8	โอริงวาล์วบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ชำรุด	28
9	ปากกระป๋องเบี้ยว	26
10	กระป๋องบุบ	26
11	พนักงานขาดการฝึกอบรม	11
12	หัวฉีดชำรุด	9
13	ไม่มีการปรับพารามิเตอร์ใหม่เมื่อเปลี่ยนขนาดการบรรจุ	8
14	ความสูงแกนเครื่องเติม	8
15	พนักงานเข้าใจการทำงานผิด	7
16	ท่อระบายชำรุด	7
17	กำหนดมาตรฐานการทำงานไม่ชัดเจน	7
18	ปริมาณฟองของน้ำผลิตภัณฑ์	5
19	อุณหภูมิของน้ำผลิตภัณฑ์	5
20	เครื่องจักรไม่มีการตรวจสอบ	5

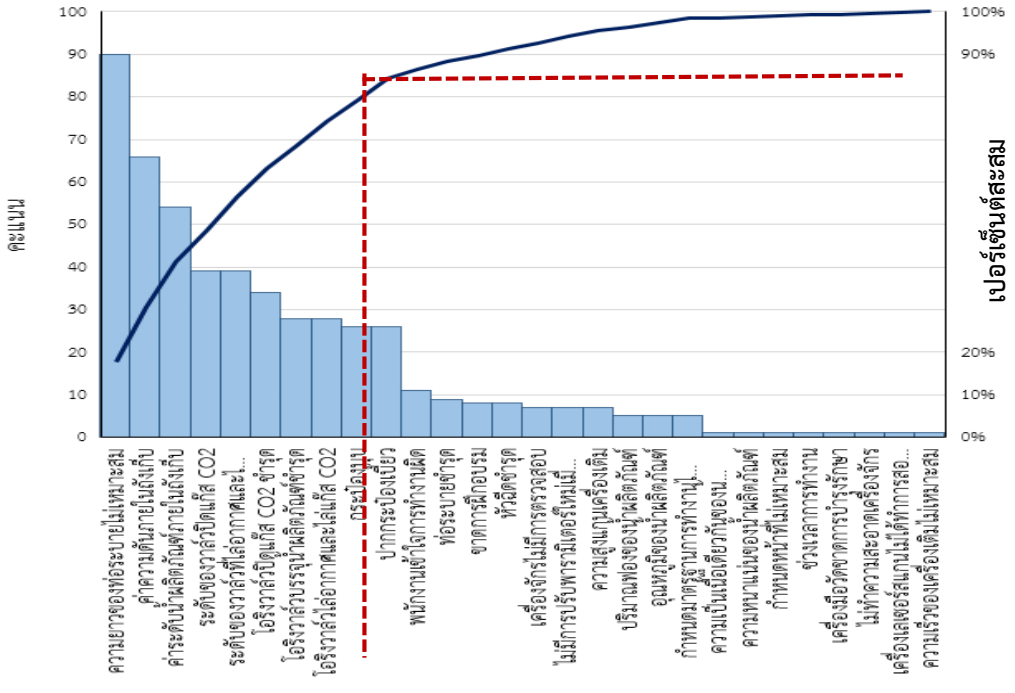
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.5 ผลคะแนนรวมของทั้งปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยและปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก (ต่อ)

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า	คะแนนรวม (คะแนน)
21	ความเป็นเนื้อเดียวกันของน้ำผลิตภัณฑ์	1
22	ความหนาแน่นของน้ำผลิตภัณฑ์	1
23	กำหนดหน้าที่พนักงานไม่เหมาะสม	1
24	ความเร็วของเครื่องเติม	1
25	ช่วงเวลาการทำงาน	1
26	เครื่องมือวัดขาดการบำรุงรักษา	1
27	ไม่ทำความสะอาดเครื่องจักร	1
28	เครื่องเลเซอร์สแกนไม่ได้ทำการสอบเทียบ	1

จากตารางที่ 3.5 ซึ่งเป็นผลคะแนนรวมของปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ ทางผู้วิจัยจึงได้เรียงลำดับปัจจัยที่มีคะแนนรวมจากมากไปน้อย และได้คัดเลือกปัจจัยที่มีคะแนนรวมมากอย่างชัดเจนซึ่งอยู่ที่ประมาณ 84.31 % ของคะแนนทั้งหมด เพื่อเป็นปัจจัยที่จะนำไปศึกษาต่อในขั้นตอนต่อไปแสดงดังตารางที่ 3.6 และกราฟคะแนนสะสมของผลคะแนนรวมของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์แสดงดังรูปที่ 3.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3.3 กราฟคะแนนสะสมของผลคะแนนรวมของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 3.6 ปัจจัยที่มีคะแนนรวมมากอย่างชัดเจนเรียงลำดับจากมากไปน้อย และแนวทางการปรับปรุงปัจจัย

ปัจจัย	คะแนนรวม	เปอร์เซ็นต์สะสม	แนวทางการปรับปรุง
ความยาวของท่อระบายไม่เหมาะสม	90	17.65	ออกแบบการทดลอง และทำการทดลองหาค่าความยาวของท่อระบายที่เหมาะสม
ค่าความดันภายในถังเก็บไม่เหมาะสม	66	30.59	ออกแบบการทดลอง และทำการทดลองหาค่าความดันภายในถังเก็บที่เหมาะสม
ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บไม่เหมาะสม	54	41.18	ออกแบบการทดลอง และทำการทดลองหาค่าระดับน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3.6 ปัจจัยที่มีคะแนนรวมมากอย่างชัดเจนเรียงลำดับจากมากไปน้อยและแนวทางการปรับปรุงปัจจัย (ต่อ)

ปัจจัย	คะแนนรวม	เปอร์เซ็นต์สะสม	แนวทางการปรับปรุง
ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บไม่เหมาะสม			ผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บที่เหมาะสม
ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ไม่เหมาะสม	39	48.82	ออกแบบการทดลอง และทำการทดลองหาค่าระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ที่เหมาะสม
ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ไม่เหมาะสม	39	56.47	ออกแบบการทดลอง และทำการทดลองหาค่าระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ที่เหมาะสม
โอริงวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ชำรุด	34	63.14	จัดทำวิธีการปฏิบัติงานเพื่อตรวจสอบลักษณะของโอริง
โอริงวาล์วบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ชำรุด	28	68.63	จัดทำวิธีการปฏิบัติงานเพื่อตรวจสอบลักษณะของโอริง
โอริงวาล์วไล่แก๊ส CO_2 ชำรุด	28	74.12	จัดทำวิธีการปฏิบัติงานเพื่อตรวจสอบลักษณะของโอริง
ปากกระป๋องเบี้ยว	26	79.22	แผ่นตรวจสอบ (Check sheet)
กระป๋องบุบ	26	84.31	แผ่นตรวจสอบ (Check sheet)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีคะแนนรวมมากอย่างชัดเจนทั้ง 10 ปัจจัยแล้วทางผู้วิจัยยังต้องพิจารณาปัจจัยดังกล่าว เพื่อคัดเลือกปัจจัยมาทดสอบสมมติฐานที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองว่ามีผลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และถ้าปัจจัยใดมีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ทางผู้วิจัยจะทำการหาค่าที่

เหมาะสมของปัจจัยนั้นต่อไป ซึ่งแนวทางการปรับปรุงปัจจัยจะแสดงในตารางที่ 3.7 โดยแนวทางการปรับปรุงแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่

1. แนวทางการทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย

แนวทางการทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยประกอบด้วยปัจจัย 5 ปัจจัย ได้แก่ ความยาวของท่อระบาย ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ค่าความดันภายในถังเก็บ และ ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ

2. แนวทางการจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน

แนวทางการจัดทำวิธีการปฏิบัติงานประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ โอริงวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ชำรุด โอริงวาล์วบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ชำรุด และ โอริงวาล์วไล่แก๊ส CO_2 ชำรุด

3. แนวทางการสร้างแผ่นตรวจสอบและแผนการสุ่มตัวอย่างเพื่อการยอมรับ

แนวทางการสร้างแผ่นตรวจสอบประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ปากกระป๋องเบี้ยว และกระป๋องบุบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3.7 ผลกระทบของปัจจัยที่นำมาทดสอบสมมติฐานต่อตัวชี้วัดต่างๆ และแนวทางการปรับปรุง

ลำดับ	ปัจจัย	การทดสอบสมมติฐาน	ผลกระทบของปัจจัยต่อตัวชี้วัด	แนวทางการปรับปรุง
1	ความยาวของท่อระบาย (Vent tube)	นำมาทดสอบสมมติฐาน	ส่งผลต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ โดยความยาวของท่อระบายเป็นตัวกำหนดระดับความสูงของน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง ถ้าความยาวของท่อระบายสั้นจะส่งผลให้ระดับความสูงของน้ำผลิตภัณฑ์มีระดับสูง ในทางกลับกันถ้าความยาวของท่อระบายยาวจะส่งผลให้ระดับความสูงของน้ำผลิตภัณฑ์มีระดับต่ำ	ทำการทดลองที่ค่าความยาวของท่อระบายต่างกันเพื่อตรวจสอบสมมติฐานว่าความยาวของท่อระบายมีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ หากมีผลอย่างมีนัยสำคัญก็จะมีการกำหนดค่าที่เหมาะสมของความยาวท่อระบาย
2	ค่าความดันภายในถังเก็บ (Pressure ring bowl)	นำมาทดสอบสมมติฐาน	ค่าความดันภายในถังเก็บเป็นความดันที่อยู่ด้านบนของน้ำผลิตภัณฑ์ภายในตัวถังเก็บมีผลกระทบต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องและความเร็วในการบรรจุ คือ ถ้าค่าความดันภายในถังเก็บมีค่าสูงเกินไปจะส่งผลให้ความดันระหว่างภายในถังเก็บและกระป๋องมีค่าแตกต่างกันมาก น้ำผลิตภัณฑ์จึงเคลื่อนที่ลงมาสู่กระป๋องอย่างรวดเร็ว กระบวนการบรรจุจึงมีค่าความเร็วในการบรรจุ น้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องสูง ซึ่งจะให้น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเกิดฟอง นอกจากนั้นถ้าค่าความดันภายในถังเก็บมีค่าสูงเกินไปจะทำให้ในขั้นตอนการใช้แก๊ส CO_2 ไล่อากาศ	ทำการทดลองที่ค่าความดันภายในถังเก็บต่างกันเพื่อตรวจสอบสมมติฐานว่าค่าความดันภายในถังเก็บมีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่หากมีผลอย่างมีนัยสำคัญก็จะมีการกำหนดค่าที่เหมาะสมของความดันภายในถังเก็บ

ตารางที่ 3.7 ผลกระทบของปัจจัยที่นำมาทดสอบสมมติฐานต่อตัวชี้วัดต่างๆ และแนวทางการปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัย	การทดสอบสมมติฐาน	ผลกระทบของปัจจัยต่อตัวชี้วัด	แนวทางการปรับปรุง
2	ค่าความดันภายในถังเก็บ (Pressure ring bowl)		จะมีปริมาณแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋องสูงเกินไป ทำให้ค่าความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋องอาจอยู่นอกเกณฑ์ที่ทางโรงงานยอมรับได้ และยังส่งผลให้เมื่อเติมน้ำผลิตภัณฑ์ลงไปจึงเกิดปริมาณฟองมากฟองอาจไปแตะท่อระบายก่อนที่ ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์จะเท่ากับ 250 มิลลิลิตร จึงทำให้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่เหลือหลังการบรรจุมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด หรือเกิดน้ำผลิตภัณฑ์พุ่งออกออกจากกระป๋องได้ และการปรับค่าความดันภายในถังเก็บให้มีค่าสูงขึ้นก็ส่งผลต่อค่าไฟที่ใช้ในกระบวนการบรรจุให้มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ในทางกลับกันถ้าค่าความดันภายในถังเก็บมีค่าน้อยไปจะส่งผลให้ในขั้นตอนการใช้แก๊ส CO_2 ไล่อากาศภายในกระป๋องอาจมีปริมาณแก๊ส O_2 เหลือปะปนอยู่ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของน้ำผลิตภัณฑ์ได้	

ตารางที่ 3.7 ผลกระทบของปัจจัยที่นำมาทดสอบสมมติฐานต่อตัวชี้วัดต่างๆ และแนวทางการปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัย	การทดสอบสมมติฐาน	ผลกระทบของปัจจัยต่อตัวชี้วัด	แนวทางการปรับปรุง
3	ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ (Level ring bowl)	นำมาทดสอบสมมติฐาน	ถ้าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ในถังเก็บมากเกินไปจะส่งผลให้มีแรงดันในการเติมน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องมาก น้ำผลิตภัณฑ์จึงเคลื่อนที่ลงมาสู่กระป๋องอย่างรวดเร็ว ทำให้กระบวนการบรรจุมีค่าความเร็วในการบรรจุ น้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องสูงเป็นผลให้น้ำผลิตภัณฑ์เกิดฟอง และฟองไปแตะท่อระบายก่อนที่ปริมาตร น้ำผลิตภัณฑ์จะเท่ากับ 250 มิลลิลิตร ในทางกลับกัน ถ้าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ในถังเก็บต่ำเกินไปจะส่งผลให้มีแรงดันในการเติมน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องน้อย น้ำผลิตภัณฑ์จึงเคลื่อนที่ลงมาสู่กระป๋องค่อยข้างช้าส่งผลถึงความเร็วในการบรรจุผลิตภัณฑ์ของกระบวนการบรรจุ ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อผลิตภาพของกระบวนการบรรจุ	ทำการทดลองที่ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บต่างกันเพื่อตรวจสอบสมมติฐานว่าค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บมีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ หากมีผลอย่างมีนัยสำคัญก็จะมีการกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ

ตารางที่ 3.7 ผลกระทบของปัจจัยที่นำมาทดสอบสมมติฐานต่อตัวชี้วัดต่างๆ และแนวทางการปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัย	การทดสอบสมมติฐาน	ผลกระทบของปัจจัยต่อตัวชี้วัด	แนวทางการปรับปรุง
4	ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2	นำมาทดสอบสมมติฐาน	วาล์วปิดแก๊ส CO_2 ทำหน้าที่ปิดการไหลของแก๊ส CO_2 ระหว่างถังเก็บกับภายในกระป๋อง ถ้ากรณีที่ความดันภายในถังเก็บสูงกว่าภายในกระป๋องแล้วระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้วาล์วปิดไม่สนิทอาจมีโอกาสที่แก๊ส CO_2 จะไหลเพิ่มเติมมาจากถังเก็บทำให้ภายในกระป๋องนั้นมีปริมาณ CO_2 มาก ส่งผลให้ถึงความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋องมากขึ้นด้วย ซึ่งอาจเกินเกณฑ์ที่ทางโรงงานกำหนด และเมื่อปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากจึงทำให้ปริมาณฟองมากด้วย ส่งผลให้ในขั้นตอนสุดท้ายที่มีการไล่แก๊ส CO_2 อาจทำให้มีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ ซึ่งอยู่ในรูปแบบฟองถูกไล่ออกจากกระป๋องไปด้วยส่งผลให้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ในกระป๋องนั้นน้อยกว่าปริมาตรเดิม แต่ถ้าในกรณีความดันภายในถังเก็บต่ำกว่าภายในกระป๋องแล้วระดับวาล์ว	ทำการทดลองที่ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ต่างกันเพื่อตรวจสอบสมมติฐานว่าระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ หากมีผลอย่างมีนัยสำคัญก็จะมีการกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2

ตารางที่ 3.7 ผลกระทบของปัจจัยที่นำมาทดสอบสมมติฐานต่อตัวชี้วัดต่างๆ และแนวทางการปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัย	การทดสอบสมมติฐาน	ผลกระทบของปัจจัยต่อตัวชี้วัด	แนวทางการปรับปรุง
4	ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2		ปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูงจะทำให้วาล์วปิดสนิทส่งผลให้แก๊ส CO_2 ไม่สามารถที่จะไหลจากกระป๋องไปยังถังเก็บได้ ทำให้ภายในกระป๋องนั้นมีปริมาณ CO_2 มากส่งผลถึงความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋องมากขึ้นด้วยซึ่งอาจเกินเกณฑ์ที่ทางโรงงานกำหนด และเมื่อปริมาณแก๊ส CO_2 มากจึงทำให้ปริมาณฟองมากด้วย ส่งผลให้ในขั้นตอนสุดท้ายที่มีการไล่แก๊ส CO_2 อาจทำให้มีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ ซึ่งอยู่ในรูปแบบฟองถูกไล่ออกจากกระป๋องไปด้วยส่งผลให้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ในกระป๋องนั้นน้อยกว่าปริมาตรเดิม	
5	ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2	นำมาทดสอบสมมติฐาน	ถ้าระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 เปิดแคบไปจะทำให้ในขั้นตอนการไล่อากาศภายในกระป๋องยังมีปริมาณอากาศซึ่งมีแก๊ส O_2 ปะปนอยู่ ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง ในทางกลับกันถ้าระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 เปิดกว้าง	ทำการทดลองที่ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ต่างกันเพื่อตรวจสอบสมมติฐานว่าระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

ตารางที่ 3.7 ผลกระทบของปัจจัยที่นำมาทดสอบสมมติฐานต่อตัวชี้วัดต่างๆ และแนวทางการปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัย	การทดสอบสมมติฐาน	ผลกระทบของปัจจัยต่อตัวชี้วัด	แนวทางการปรับปรุง
5	ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2		เกินไปขั้นตอนการไล่แก๊ส CO_2 อาจทำให้มีปริมาณน้ำซึ่งอยู่ในรูปแบบฟองถูกไล่ออกจากกระป๋องนั้นมาก ส่งผลให้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ในกระป๋องนั้นน้อยกว่าปริมาตรเดิม และอาจส่งผลทำให้ความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋องไม่อยู่ในช่วงเกณฑ์ที่ทางโรงงานกำหนด	หากมีผลอย่างมีนัยสำคัญก็จะมีการกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับของวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2
6	โอริงวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ชำรุด	ไม่นำมาทดสอบสมมติฐาน	โอริงของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ชำรุดทำให้การทำงานของโอริงที่มีหน้าที่ปิดการไหลของแก๊ส CO_2 ระหว่างถังเก็บผลิตภัณฑ์กับภายในกระป๋องไม่เสถียร ถ้ากระป๋องใดที่โอริงปิดการไหลของแก๊ส CO_2 ไม่สนิทอาจมีโอกาสที่แก๊ส CO_2 จะไหลเพิ่มเติมมาจากถังเก็บทำให้ภายในกระป๋องนั้นมีปริมาณ CO_2 มาก ปริมาณฟองจึงมากด้วย ถ้าปริมาณฟองมากเกินไปในขั้นตอนสุดท้ายที่มีการไล่	1. กำหนดมาตรฐานของโอริง เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก ความแข็งของโอริง รวมทั้งจัดทำขั้นตอนการติดตั้งประกอบงานให้มีการลบคมในทุกจุดที่มีขอบคมและให้มีการหล่อลื่นทุกครั้งที่ประกอบ

ตารางที่ 3.7 ผลกระทบของปัจจัยที่นำมาทดสอบสมมติฐานต่อตัวชี้วัดต่างๆ และแนวทางการปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัย	การทดสอบสมมติฐาน	ผลกระทบของปัจจัยต่อตัวชี้วัด	แนวทางการปรับปรุง
6	โอริงวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ชำรุด		แก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องอาจทำให้มีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ ซึ่งอยู่ในรูปแบบฟองถูกไล่ออกจากกระป๋องนั้นไปด้วย ส่งผลให้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ในกระป๋องนั้นน้อยกว่าปริมาตรตอนเพิ่งบรรจุเสร็จ ดังนั้นกระบวนการบรรจุจึงมีโอกาสที่ความผันแปรจะมีค่ามากเนื่องจากการทำงานของโอริงไม่เสถียร	2. จัดทำวิธีการปฏิบัติงานเพื่อตรวจสอบลักษณะของโอริงที่ใช้งานอยู่เดือนละ 1 ครั้ง ถ้าพบว่าโอริงขาดคุณสมบัติตามมาตรฐานต้องเปลี่ยนโอริงใหม่ทันที
7	โอริงวาล์วบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ชำรุด	ไม่นำมาทดสอบสมมติฐาน	โอริงวาล์วบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ชำรุดมีผลทำให้โอริงซึ่งมีหน้าที่ปิดการไหลของน้ำผลิตภัณฑ์ทำงานไม่เสถียร ถ้าในกรณีโอริงปิดไม่สนิทอาจทำให้มีปริมาณน้ำไหลลงมาสู่กระป๋องมากกว่าปริมาตรน้ำที่กำหนด	1. กำหนดมาตรฐานของโอริง เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก ความแข็งของโอริง รวมทั้งจัดทำขั้นตอนการติดตั้งประกอบงานให้มีการลบคมในทุกจุดที่มีขอบคมและให้มีการหล่อลื่น

ตารางที่ 3.7 ผลกระทบของปัจจัยที่นำมาทดสอบสมมติฐานต่อตัวชี้วัดต่างๆ และแนวทางการปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัย	การทดสอบสมมติฐาน	ผลกระทบของปัจจัยต่อตัวชี้วัด	แนวทางการปรับปรุง
7	โอริงวาล์วบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ชำรุด			ทุกครั้งที่ประกอบ 2. จัดทำวิธีการปฏิบัติงานเพื่อตรวจสอบลักษณะของโอริงที่ใช้งานอยู่เดือนละ 1 ครั้ง ถ้าพบว่าโอริงขาดคุณสมบัติตามมาตรฐานต้องเปลี่ยนโอริงใหม่ทันที
8	โอริงวาล์วไล่แก๊ส CO_2 ชำรุด	ไม่นำมาทดสอบสมมติฐาน	โอริงวาล์วไล่แก๊ส CO_2 จะทำหน้าที่ไล่แก๊ส CO_2 ในช่วงท้ายของการบรรจุ ถ้าโอริงชำรุดจะทำหน้าที่ในการปิดวาล์วไล่แก๊ส CO_2 ออกได้ไม่เสถียร ซึ่งถ้าโอริงปิดวาล์วไม่สนิทอาจทำให้มีปริมาณฟองออกจากกระป๋องมากปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ซึ่งอยู่ในรูปแบบฟองจะถูกไล่ออกจากกระป๋องนั้นไปด้วย ส่งผลให้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ในกระป๋องนั้นน้อยกว่าปริมาตรเดิม	1. กำหนดมาตรฐานของโอริง เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก ความแข็งของโอริง รวมทั้งจัดทำขั้นตอนการติดตั้งประกอบงานให้มีการลบคมในทุกจุดที่มีขอบคมและให้มีการหล่อลื่นทุกครั้งที่ประกอบ 2. จัดทำวิธีการปฏิบัติงานเพื่อตรวจสอบลักษณะของโอริงที่ใช้งานอยู่เดือนละ 1 ครั้ง ถ้าพบว่าโอริงขาดคุณสมบัติตามมาตรฐานต้องเปลี่ยนโอริงใหม่ทันที

ตารางที่ 3.7 ผลกระทบของปัจจัยที่นำมาทดสอบสมมติฐานต่อตัวชี้วัดต่างๆ และแนวทางการปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัย	การทดสอบสมมติฐาน	ผลกระทบของปัจจัยต่อตัวชี้วัด	แนวทางการปรับปรุง
9	ปากกระป๋องเบี้ยว	ไม่นำมาทดสอบสมมติฐาน	ปากกระป๋องเบี้ยวทำให้ปากกระป๋องไม่ตรงกับหัวฉีด น้ำผลิตภัณฑ์จึงไหลไม่ตรงปากกระป๋องพอดี ทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่กระป๋องจึงน้อยมาก	1. มีข้อกำหนดลักษณะกระป๋องที่สามารถผ่านเข้าสู่กระบวนการเติมได้อย่างชัดเจนเพื่อมั่นใจว่ากระป๋องตรงตามคุณสมบัติที่ต้องการ 2. ควบคุมโดยให้เจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณสมบัติของกระป๋องก่อนเข้ากระบวนการเติมให้เข้มงวดมากขึ้นโดยการสร้างแผ่นตรวจสอบ
10	กระป๋องบุบ	ไม่นำมาทดสอบสมมติฐาน	กระป๋องบุบจะทำให้ปริมาตรการเติมน้ำผลิตภัณฑ์น้อยกว่าปกติ เนื่องจากเมื่อเติมน้ำผลิตภัณฑ์ลงในกระป๋องที่บุบ ความสูงของระดับน้ำจะสูงแตะท่อระบาย ก่อนที่ปริมาตรน้ำจะเท่ากับ 250 มิลลิลิตร	1. มีข้อกำหนดลักษณะกระป๋องที่สามารถผ่านเข้าสู่กระบวนการเติมได้อย่างชัดเจนเพื่อมั่นใจว่ากระป๋องตรงตามคุณสมบัติที่ต้องการ 2. ควบคุมโดยให้เจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณสมบัติของกระป๋องก่อนเข้ากระบวนการเติมให้เข้มงวดมากขึ้นโดยการสร้างแผ่นตรวจสอบ

โดยปัจจัยที่นำมาทดสอบหาค่าที่เหมาะสมที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด และทำให้กระบวนการบรรจุมีผลิตภาพตามเกณฑ์ที่ทางโรงงานกำหนดไว้ทั้ง 5 ปัจจัยนั้นไม่เพียงแต่จะส่งผลต่อปริมาตรการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์เท่านั้น แต่ส่งผลต่อตัวชี้วัดตัวอื่นๆด้วย คือ ความเร็วในการบรรจุ ค่าไฟ ความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 และความเข้มข้นของแก๊ส O_2 ดังนั้นมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์จึงคำนวณจากมูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากการบรรจุปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่เหมาะสม ค่าไฟ และค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงาน วิธีการออกแบบการทดลองจึงเหมาะที่จะใช้ในขั้นตอนการปรับปรุงของงานวิจัยนี้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่จะทำให้มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ของมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ก่อนการปรับปรุง ประกอบกับการปรับปรุงโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองจะใช้ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงน้อย โดยค่าใช้จ่ายในการปรับตั้งค่าระดับของปัจจัยต่างๆในวิธีการออกแบบการทดลองแสดงในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ค่าใช้จ่ายในการปรับตั้งค่าระดับของปัจจัยต่างๆในวิธีการออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	ค่าใช้จ่ายในการปรับตั้งค่าระดับ
1. ความยาวของท่อระบาย	ไม่มีค่าใช้จ่าย
2. ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2	ไม่มีค่าใช้จ่าย
3. ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2	ไม่มีค่าใช้จ่าย
4. ค่าความดันภายในถังเก็บ	เมื่อปรับตั้งค่าให้ค่าความดันภายในถังเก็บเพิ่มขึ้นจะส่งผลในค่าไฟเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันเมื่อปรับตั้งค่าให้ค่าความดันภายในถังเก็บลดลงจะส่งผลในค่าไฟฟ้าลดลง
5. ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ	ไม่มีค่าใช้จ่าย

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการปรับตั้งค่าระดับของปัจจัยต่างๆในวิธีการออกแบบการทดลองจะมีเพียงค่าไฟฟ้าซึ่งอาจจะเกิดหากมีการปรับตั้งค่าความดันภายในถังเก็บในระดับที่สูงขึ้นเท่านั้น แต่ถ้าเลือกใช้วิธีการออกแบบเครื่องวัดปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์เพื่อติดตั้งให้กับเครื่องบรรจุในขั้นตอนการปรับปรุงจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงมาก เนื่องจากเครื่องบรรจุปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา

มีลักษณะการทำงานไม่สอดคล้องกับวิธีการวัดปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ก่อนการบรรจุ งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการออกแบบการทดลองในขั้นตอนการปรับปรุง

3.3 สรุปการวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้า

ผู้วิจัยและคณะทีมงานซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอออล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A ได้วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้เครื่องมือแผนผังสาเหตุและผลในการวิเคราะห์พบว่าสาเหตุทั้งหมดจากแผนผังสาเหตุและผลที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำภายในกระป๋องมีทั้งหมดเท่ากับ 28 สาเหตุ ทางผู้วิจัยและคณะทีมงานจึงจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องพบว่าปัจจัยที่มีคะแนนรวมมากอย่างชัดเจนมี 10 ปัจจัย โดยสามารถแบ่งแนวทางการปรับปรุงของปัจจัยทั้ง 10 ปัจจัยได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. แนวทางการทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย

แนวทางการทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยประกอบด้วยปัจจัย 5 ปัจจัย ได้แก่ความยาวของท่อระบาย ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ค่าความดันภายในถังเก็บ และ ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ

2. แนวทางการจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน

แนวทางการจัดทำวิธีการปฏิบัติงานประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ โอริงวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ชำรุด โอริงวาล์วบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ชำรุด และ โอริงวาล์วไล่แก๊ส CO_2 ชำรุด

3. แนวทางการสร้างแผ่นตรวจสอบ

แนวทางการสร้างแผ่นตรวจสอบประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ปากกระป๋องเบี้ยว และกระป๋องบุบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
การปรับปรุงกระบวนการ

แนวทางการปรับปรุงกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A ให้มีมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการลดลงมี 3 ประเภท ได้แก่

4.1 แนวทางการจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน และแผนควบคุมของโอริง

ก่อนการปรับปรุงด้วยแนวทางการทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย ทางผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงปัจจัย 3 ปัจจัย คือ โอริงวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ชำรุด โอริงวาล์วบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ชำรุด และ โอริงวาล์วไล่แก๊ส CO_2 ชำรุดก่อน เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องทำให้ผู้วิจัยต้องปรับปรุงปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยดังกล่าวให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมก่อนที่จะดำเนินการปรับปรุงด้วยแนวทางการทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย โดยปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยทั้งกล่าวจะเกี่ยวข้องกับการชำรุดของโอริงบริเวณวาล์วที่ทำหน้าที่ปิดเปิด ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีแนวทางการปรับปรุงดังนี้

4.1.1 จัดทำวิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการตรวจสอบลักษณะของโอริงและติดตั้งโอริง

ทางผู้วิจัยจัดทำวิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการตรวจสอบลักษณะของโอริงหลังผ่านการใช้งานมาระยะหนึ่ง และวิธีการปฏิบัติงานในกระบวนติดตั้งโอริง เนื่องจากสาเหตุการเกิดค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ไม่เหมาะสม คือ โอริงที่ใช้ในการเปิดปิดวาล์วต่างๆ ของกระบวนการบรรจุมีลักษณะไม่เหมาะสมในการใช้งานต่อไป หรือเกิดการชำรุด ซึ่งเมื่อโอริงชำรุด เช่น โอริงหดตัว พื้นผิวโอริงฉีกขาด ฯลฯ จะทำให้วาล์วที่ทำหน้าที่บรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ และวาล์วที่ทำหน้าที่ปิดหรือไล่แก๊ส CO_2 ทำงานเปิดปิดวาล์วไม่เสถียรส่งผลให้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ และปริมาณแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋องในแต่ละกระป๋องแตกต่างกัน ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มีค่าไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบลักษณะของโอริงที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันว่ามีลักษณะเหมาะสมที่จะใช้งานต่อไปหรือไม่ และการชำรุดของโอริงสามารถเกิดจากการที่ติดตั้งโอริงเข้าสู่เครื่องจักรผิดวิธี ทางผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องสร้างวิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการตรวจสอบลักษณะของโอริงและติดตั้งโอริง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

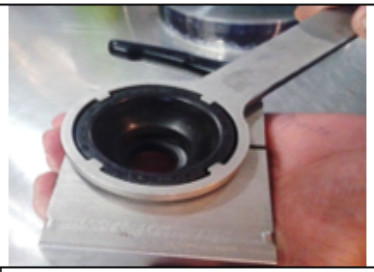
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.1 วิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการตรวจสอบลักษณะของโอริงและติดตั้งโอริง

WORK INSTRUCTION			DOC NO.01	APPROVED BY	REVIEWED BY	PREPARED BY
เรื่อง	การตรวจสอบลักษณะโอริงและการติดตั้งโอริง		PAGE:			
				DATE	DATE	DATE
ขั้นตอน STEP	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน PROCESS	อุปกรณ์ EQUIPMENT	รูปภาพประกอบ PICTURE			
1	หยุดเครื่องบรรจุที่จะมีการติดตั้งหรือตรวจสอบสภาพลักษณะของโอริง	-				
2	ทำการขันน็อตเครื่องบรรจุบริเวณวาล์วแล้วนำโอริงออกจากช่องว่างบริเวณวาล์วที่โอริงอยู่	ไขควง				
3	นำโอริงที่ใช้งานแล้วไปตรวจสอบสภาพลักษณะ โดยโอริงต้องมีลักษณะตามแผนการควบคุมลักษณะของโอริงเท่านั้นจึงจะสามารถนำกลับมาติดตั้งใช้งานได้อีกครั้ง	-				
4	หลังจากทำการตรวจสอบถ้าลักษณะของโอริงไม่เป็นไปตามแผนการควบคุมลักษณะของโอริง พนักงานจะต้องทำการเตรียมโอริงอันใหม่เพื่อนำไปทดแทนโอริงอันเก่า ซึ่งโอริงอันใหม่ต้องมีลักษณะตรงตามมาตรฐานตามแผนการควบคุมลักษณะของโอริง	-				

ตารางที่ 4.1 วิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการตรวจสอบลักษณะของโอริงและติดตั้งโอริง (ต่อ)

WORK INSTRUCTION			DOC NO.01	APPROVED BY	REVIEWED BY	PREPARED BY
เรื่อง	การตรวจสอบและการติดตั้งโอริง		PAGE:			
				DATE	DATE	DATE

ขั้นตอน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	อุปกรณ์	รูปภาพประกอบ
STEP	PROCESS	EQUIPMENT	PICTURE
5	ทำการตะไบเครื่องบรรจุบริเวณที่จะนำโอริงเข้าไปติดตั้งเพื่อลดความเสียหายจากการบีบอัด หรือรอยขีดข่วน รอยบากบริเวณผิวโอริง	ตะไบลบคม	
6	นำโอริงอันใหม่เข้าไปติดตั้งบริเวณช่องว่างระหว่างวาล์ว	-	
7	ทำการขันน็อตเครื่องบรรจุกลับให้เครื่องบรรจุอยู่ในสภาพใช้งานปกติ	ไขควง	

วันที่ปรับปรุง	ครั้งที่แก้ไข	รายละเอียดการแก้ไข	วันที่ปรับปรุง	ครั้งที่แก้ไข	รายละเอียดการแก้ไข

4.1.2 แผนควบคุมลักษณะของโอริง

แผนควบคุมลักษณะของโอริงจะเป็นมาตรฐานในการตรวจสอบลักษณะของโอริงที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันว่าโอริงมีลักษณะที่ยังสามารถใช้งานต่อไปได้หรือไม่ โดยจะมีการตรวจสอบลักษณะของโอริงที่ใช้งานอยู่ในทุกๆ 1 เดือน ซึ่งแผนควบคุมลักษณะของโอริงแสดงดังตารางที่ 4.2 และแผ่นตรวจสอบของการตรวจสอบลักษณะโอริงแสดงดังตารางที่ 4.3

4.2 แนวทางการสร้างแผ่นตรวจสอบลักษณะกระป๋อง

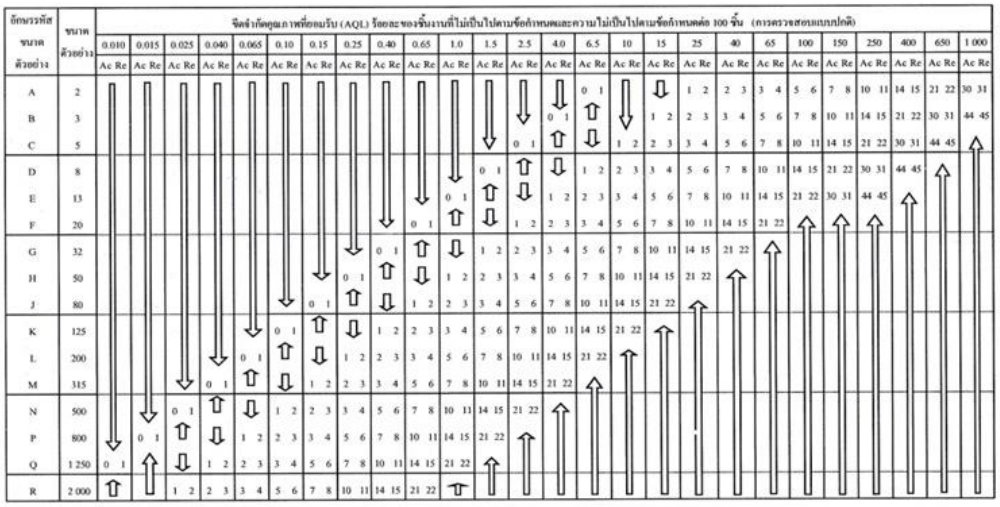
การสร้างแผ่นตรวจสอบลักษณะกระป๋องก่อน (Check Sheet) เข้าสู่กระบวนการบรรจุจัดทำขึ้นเพื่อปรับปรุงปัจจัย 2 ปัจจัย คือ ปากกระป๋องเบี้ยว และกระป๋องบุบ เนื่องจากปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยนี้ส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องทำให้ผู้วิจัยต้องปรับปรุงปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมก่อนที่จะดำเนินการปรับปรุงด้วยแนวทางการทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงจัดทำแผ่นตรวจสอบลักษณะกระป๋อง โดยทางโรงงานจะใช้แผ่นตรวจสอบลักษณะกระป๋องตรวจสอบกระป๋องที่ผ่านการสุ่มตัวอย่างมาจากกระป๋องทั้งหมดที่ต้องเข้าสู่กระบวนการบรรจุ ซึ่งแผ่นตรวจสอบลักษณะกระป๋องจะมีความสะดวกในการใช้งาน และยังทำให้การตรวจสอบกระป๋องมีประสิทธิภาพมากขึ้น แผ่นตรวจสอบลักษณะกระป๋องแสดงดังตารางที่ 4.4

ในปัจจุบันการสุ่มตัวอย่างกระป๋องของโรงงานกรณีศึกษาเป็นการสุ่มแบบไม่มีมาตรฐาน ทางผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างตามมาตรฐาน MIL-STD-105E ซึ่งเป็นมาตรฐานที่นิยมใช้งานกันมากที่สุด ถึงแม้ในปัจจุบันกองทัพอเมริกาได้หยุดการพัฒนาและยกเลิกมาตรฐาน MIL-STD-105E พร้อมประกาศให้องค์กรที่เป็นคู่ค้ากับกระทรวงกลาโหมแห่งสหรัฐอเมริกาไปใช้มาตรฐาน ANSI/ASQ Z1.4 แทน แต่ประกาศดังกล่าวมีผลใช้เฉพาะคู่ค้ากับกระทรวงกลาโหมแห่งสหรัฐอเมริกาเท่านั้น และองค์กรคู่ค้าอื่นๆ ยังคงใช้มาตรฐาน MIL-STD-105E ดังเดิม รวมถึงในอุตสาหกรรมประเทศไทย เนื่องจากมาตรฐาน ANSI/ASQ Z1.4 เป็นมาตรฐานที่นำมาตรฐาน MIL-STD-105E มาปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมบางส่วนจึงมีความแตกต่างกันในคำนิยาม คำจำกัดความ และระเบียบปฏิบัติบางอย่างเท่านั้น ส่วนตารางตัวเลขต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นขนาดสิ่งตัวอย่าง ตัวเลขแห่งการยอมรับและปฏิเสธ ซึ่งเกิดจากการคำนวณทางสถิติยังเหมือนเดิม (วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์, 2010) ดังนั้นจึงทำให้วิธีการใช้งานมาตรฐานทั้ง 2 มาตรฐานนี้เหมือนกัน นอกจากนี้มาตรฐาน MIL-STD-105E เป็นมาตรฐานที่พนักงานในโรงงานกรณีตัวอย่างคุ้นเคย และหาศึกษาได้ไม่ยาก ทางผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างตามมาตรฐาน MIL-STD-105E มาใช้เป็นวิธีการและแผนในการชักสิ่งตัวอย่าง โดยมาตรฐานนี้เป็นมาตรฐานที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้วิธีการและแผนในการชักสิ่งตัวอย่างจากล็อต หรือแบชเพื่อการตรวจสอบ

แบบเชิงคุณภาพ (Attribute) ซึ่งเป็นการตรวจสอบเพื่อระบุว่าหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการตรวจสอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องหรือไม่ ในการหาจำนวนกระป๋องที่ต้องสุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจสอบข้อบกพร่องของกระป๋อง ทางผู้วิจัยได้กำหนดอักษรรหัสสำหรับแผนการชักสิ่งตัวอย่างตามขนาดล็อต และระดับการตรวจสอบดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งโรงงานกรณีศึกษามีขนาดล็อตของกระป๋องเท่ากับ 500,000 กระป๋อง และต้องการตรวจสอบในระดับแบบทั่วไปจึงเลือกระดับการตรวจสอบเท่ากับ II ดังนั้นจึงกำหนดอักษรรหัสสำหรับแผนการชักสิ่งตัวอย่าง คือ ตัวอักษรรหัส Q โดยกำหนดระดับคุณภาพที่ยอมรับเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งระดับคุณภาพที่ยอมรับ (Acceptable Quality Level: AQL) หมายถึง ระดับของคุณภาพที่ใช้เป็นจุดประสงค์ของการตรวจสอบแบบชักสิ่งตัวอย่าง ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องโดยคิดเป็นร้อยละของจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีทั้งหมดภายในล็อต และจากตารางแผนการชักสิ่งตัวอย่างเชิงเดี่ยวปกติในรูปที่ 4.2 พบว่าที่อักษรรหัส Q และ AQL = 1 เปอร์เซ็นต์จะได้ขนาดตัวอย่างเป็น 1,250 กระป๋อง และมีตัวเลขแห่งการยอมรับ (Ac) เป็น 21 ส่วนตัวเลขแห่งการปฏิเสธ (Re) เป็น 22 ซึ่งหมายความว่า ในแผนการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อยอมรับเชิงเดี่ยวแบบปกติต้องทำการชักสิ่งตัวอย่างมา 1,250 กระป๋อง ถ้าหากพบกระป๋องที่บกพร่องรวมกันไม่เกิน 21 กระป๋องทางโรงงานสามารถยอมรับล็อตได้ แต่ถ้าตรวจพบกระป๋องที่บกพร่อง 22 กระป๋องหรือมากกว่า ทางโรงงานต้องทำการปฏิเสธล็อต

ขนาดของล็อตหรือแบช	ระดับการตรวจสอบพิเศษ				ระดับการตรวจสอบทั่วไป		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2 - 8	A	A	A	A	A	A	B
9 - 15	A	A	A	A	A	B	C
16 - 25	A	A	B	B	B	C	D
26 - 50	A	B	B	C	C	D	E
51 - 90	B	B	C	C	C	E	F
91 - 150	B	B	C	D	D	F	G
151 - 280	B	C	D	E	E	G	H
281 - 500	B	C	D	E	F	H	J
501 - 1,200	C	C	E	F	G	J	K
1,201 - 3,200	C	D	E	G	H	K	L
3,201 - 10,000	C	D	F	G	J	L	M
10,001 - 35,000	C	D	F	H	K	M	N
35,001 - 150,000	D	E	G	J	L	N	P
150,001 - 500,000	D	E	G	J	M	P	Q
500,001 ขึ้นไป	D	E	H	K	N	Q	R

รูปที่ 4.1 ตารางอักษรรหัสของขนาดสิ่งตัวอย่าง



⇩ = ใช้ในการชักตัวอย่างแผนแรกใต้ลูกศร ถ้าขนาดตัวอย่างเท่ากับหรือใหญ่กว่าขนาดรุ่นให้ทำการตรวจสอบทุกหน่วย

⇧ = ใช้แผนการชักตัวอย่างแผนแรกเหนือลูกศร

Ac = เลขจำนวนที่ยอมรับ

Re = เลขจำนวนที่ไม่ยอมรับ

รูปที่ 4.2 ตารางแผนการชักสิ่งตัวอย่างเชิงเดี่ยวปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.2 แผนควบคุมลักษณะของโอริง

จุดควบคุม	มาตรฐาน	หน่วย	การควบคุม			ผู้รับผิดชอบ	บันทึกคุณภาพ	แผนการแก้ไข
			อ้างอิง	เครื่องมือ	ความถี่			
พื้นผิวโอริง	สภาพของพื้นผิวโอริงไม่มีรอยขีดข่วน	-	01	แว่นขยาย	1 ครั้งต่อ1 เดือน	พนักงานควบคุมเครื่องจักร	Check sheet	ประชุมแบบกลุ่ม
ลักษณะภายนอกของโอริง	โอริงต้องอยู่ในแนวระนาบ และโอริงจะต้องไม่บิดเบี้ยว	-	02	สายตาของผู้ตรวจสอบ	1 ครั้งต่อ1 เดือน	พนักงานควบคุมเครื่องจักร	Check sheet	แก้ไขได้ด้วยตัวเอง
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของโอริง	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของโอริงต้องเท่ากับ 60 มิลลิเมตร	มิลลิเมตร	03	เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์	1 ครั้งต่อ1 เดือน	พนักงานควบคุมเครื่องจักร	Check sheet	ประชุมแบบกลุ่ม
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัด	เส้นผ่านศูนย์กลางพื้นที่หน้าตัดต้องหนาเท่ากับ 3.55 มิลลิเมตร		04		1 ครั้งต่อ1 เดือน	พนักงานควบคุมเครื่องจักร	Check sheet	ประชุมแบบกลุ่ม
ค่าความแข็งของโอริง	ค่าความแข็งอยู่ในระดับเท่ากับ 70 ชอร์	ชอร์ (Shore)	05	เครื่องวัดความแข็ง	1 ครั้งต่อ1 เดือน	พนักงานควบคุมเครื่องจักร	Check sheet	ประชุมแบบกลุ่ม

ตารางที่ 4.3 แผ่นตรวจสอบของการตรวจสอบลักษณะโอริง

โรงงานกรณีศึกษา													เลขที่เอกสาร
แผ่นตรวจสอบลักษณะโอริง													
													ประจำปีพ.ศ. .....
จุดตรวจ	วิธีการ	มาตรฐาน	เดือน											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
พื้นผิวโอริง	Check	สภาพของโอริงไม่มีรอยขีดข่วน												
ลักษณะตัวโอริงที่ถูกติดตั้งแล้ว	Check	สภาพของโอริงต้องอยู่ในแนวระนาบ โดยโอริงจะต้องไม่มีลักษณะบิดเบี้ยว												
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของโอริง	Check	โอริงต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 60 มิลลิเมตร												
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพื้นที่หน้าตัด	Check	โอริงต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางพื้นที่หน้าตัดหนาเท่ากับ 3.55 มิลลิเมตร												
ค่าความแข็งของโอริง	Check	โอริงต้องมีค่าความแข็งอยู่ในระดับ 70 ชอร์												

ตารางที่ 4.4 แผ่นตรวจสอบลักษณะกระป๋อง

โรงงานกรณีศึกษา						เลขที่เอกสาร
แผ่นตรวจสอบลักษณะกระป๋อง						
		ประจำเดือน ..... พ.ศ.				
จุดตรวจ	วิธีการ	มาตรฐาน	สัปดาห์			
			1	2	3	4
บริเวณผิวกระป๋อง	Check	กระป๋องมีลักษณะผิวเรียบ และไม่ขรุขระ ไม่มีรอยบุบเบี้ยวที่ผิวกระป๋อง				
	Check	ฉลากของผลิตภัณฑ์ที่สกรีนบริเวณกระป๋องมี				
บริเวณปากฝากระป๋อง	Check	ความคมชัด ไม่เลือนลาง และมีสีสันสดใส ไม่ซีด				
	Check	บริเวณปากฝากระป๋องต้องไม่มีลักษณะเบี้ยว หรือผิดรูป ปากฝากระป๋องต้องวางกึ่งกลาง				

หลังจากปรับปรุงกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A โดยใช้แนวทางการปรับปรุงทั้ง 2 แนวทาง คือ การจัดทำวิธีการปฏิบัติงานและแผนควบคุมของโอริง และการสร้างแผ่นตรวจสอบลักษณะกระป๋อง ทางผู้วิจัยจึงได้เก็บตัวอย่าง 100 ตัวอย่าง และคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุได้ค่าดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเท่ากับ 253.18 มิลลิลิตร
2. ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1.56 มิลลิลิตร

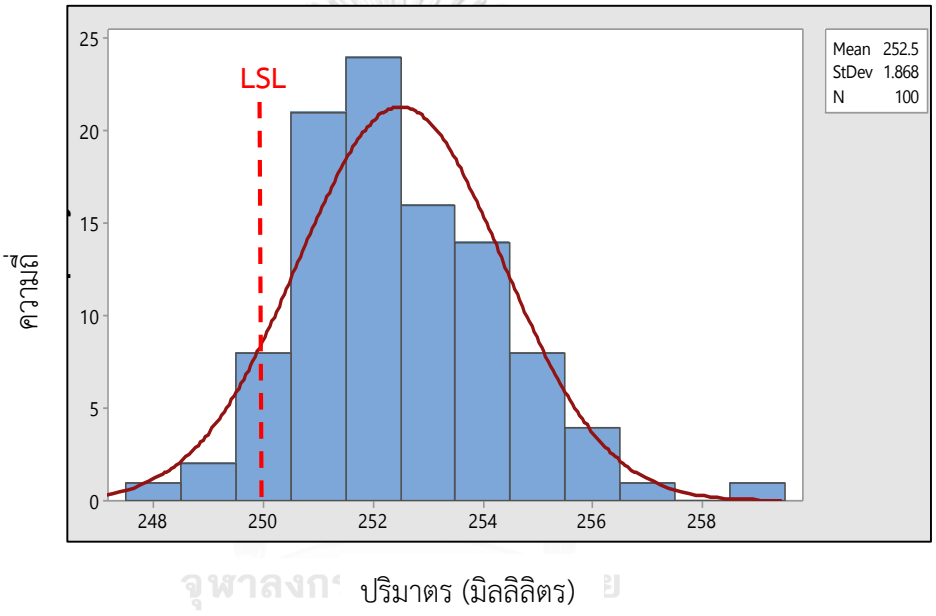
กราฟฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุก่อนการปรับปรุงโดยวิธีการปรับปรุง 2 แนวทาง และกราฟฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังการปรับปรุงโดยวิธีการปรับปรุง 2 แนวทางมีการแจกแจงความถี่ของข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4 ตามลำดับ โดยจากรูปที่ 4.4 พบว่าหลังการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่เกิดความสูญเสียกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่า 250 มิลลิลิตรจะมีค่าเท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งลดลงจากก่อนปรับปรุงประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มตัวอย่าง เนื่องจากเหตุผล 2 ข้อ คือ

1. หลังการปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมากขึ้นกว่าก่อนปรับปรุงเท่ากับ 0.68 มิลลิลิตร เพราะหลังการปรับปรุงโอริงสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ โอริงสามารถควบคุมการเปิดปิดวาล์วต่างๆ ของกระบวนการบรรจุ เช่น วาล์วที่ทำหน้าที่บรรจุน้ำผลิตภัณฑ์และวาล์วที่ทำหน้าที่ปิดหรือไล่แก๊ส CO_2 ให้ทำงานอย่างมีเสถียรภาพ อีกทั้งกระป๋องที่ใช้ในการบรรจุมีลักษณะถูกต้องตามมาตรฐาน คือกระป๋องไม่มีลักษณะบุบ หรือเบี้ยว จึงทำให้เครื่องบรรจุสามารถบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องได้ตามระดับที่กำหนด ซึ่งระดับที่กำหนดคือปลายของท่อระบาย จึงสามารถสรุปได้ว่าก่อนปรุงปรุงนั้นโอริงที่ทำหน้าที่เปิด-ปิดวาล์วต่างๆทำงานไม่มีประสิทธิภาพจึงเป็นผลให้ไม่สามารถบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ให้เท่ากับปลายของท่อระบายได้ เมื่อมีการปรับปรุงโอริงที่ทำหน้าที่เปิด-ปิดวาล์วต่างๆให้ทำงานมีประสิทธิภาพจึงทำให้เครื่องบรรจุสามารถบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ให้เท่ากับปลายของท่อระบายได้ ดังนั้นหลังปรับปรุงจึงมีค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมากขึ้น

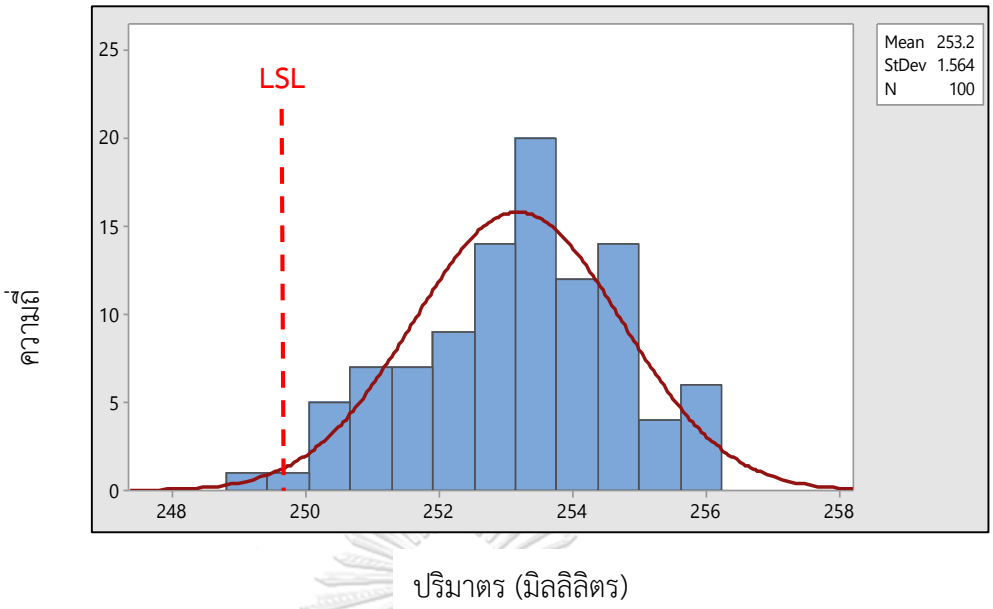
2. หลังการปรับปรุงมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยลงกว่าก่อนปรับปรุงเท่ากับ 0.31 มิลลิลิตร เพราะโอริงสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ โอริงสามารถควบคุมการเปิดปิดวาล์วต่างๆ ของกระบวนการบรรจุ เช่นวาล์วที่ทำหน้าที่บรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ และ

วาล์วที่ทำหน้าที่ปิดหรือไล่แก๊ส CO_2 ให้เปิดปิดวาล์วโดยมีความกว้างของช่องว่างเท่ากันในทุกๆการบรรจุจึงทำให้ในแต่ละกระป๋องที่ถูกบรรจุมีปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่แตกต่างกันมากนัก อีกทั้งกระป๋องที่ใช้ในการบรรจุมีลักษณะถูกต้องตามมาตรฐาน คือ กระป๋องไม่มีลักษณะบุบ หรือเบี้ยว เป็นผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยลง

ดังนั้นเมื่อกระบวนการบรรจุมีค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเพิ่มขึ้น และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยลงจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดความสูญเสียกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่า 250 มิลลิลิตรมีปริมาณน้อยลง



รูปที่ 4.3 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุก่อนปรับปรุง



รูปที่ 4.4 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน และการสร้างแผ่นตรวจสอบ

4.3 การทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ของมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ก่อนการปรับปรุง และมีค่าผลิตภาพต่อรอบการผลิตของกระบวนการบรรจุอยู่ในช่วงที่ทางโรงงานกำหนด

4.3.1 ปัจจัยนำเข้า

ปัจจัยนำเข้ามีทั้งหมด 5 ปัจจัย โดยสัญลักษณ์แทนปัจจัย ประเภทของข้อมูล และระดับที่ทำการทดลองจะแสดงในตารางที่ 4.5 โดยหลักการในการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยมีดังต่อไปนี้

1. ความยาวของท่อระบายโดยกระบวนการบรรจุปัจจุบันใช้ความยาวของท่อระบายเท่ากับ 107 มิลลิเมตร ทางผู้วิจัยจึงกำหนดระดับปัจจัยที่ใช้ทำการทดลองเท่ากับ 106 ถึง 108 มิลลิเมตร เนื่องจากความท่อระบายที่ต่ำกว่า 106 มิลลิเมตรจะทำให้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมากเกินความต้องการของทางโรงงานกรณีศึกษา ส่วนความยาวท่อระบายที่มากกว่า 108 มิลลิเมตรจะทำให้น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องน้อยเกินไป

2. ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 เป็นความกว้างของช่องว่างที่ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ของแก๊ส CO_2 ระหว่างถังเก็บกับกระป๋อง ทางผู้วิจัยกำหนดระดับปัจจัยที่ทำการทดลองเท่ากับระดับ 1 ถึง 3

เนื่องจากระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ที่ระดับมากกว่าระดับ 3 ช่องว่างที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของแก๊สจะปิดสนิท ดังนั้นจึงทำการทดลองที่ระดับ 3 ซึ่งมีช่องว่างในการเคลื่อนที่น้อย ส่วนระดับที่ต่ำกว่าระดับ 1 ผู้วิจัยไม่เลือกมาทำการทดลอง เพราะว่าช่องว่างในการเคลื่อนที่ของแก๊ส CO_2 มากเกินไปส่งผลต่อปริมาณแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋อง

3. ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ทางผู้วิจัยกำหนดระดับปัจจัยที่ทำการทดลองเท่ากับระดับ 1 ถึง 3 เนื่องจากระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ไม่สามารถทำการทดลองที่ระดับ 4 ได้ เพราะระดับ 4 ช่องว่างที่ใช้ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 จะปิดสนิท ดังนั้นที่ระดับ 3 จึงเป็นระดับที่มีช่องว่างที่ใช้ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 แคบ ส่วนระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ที่ระดับน้อยกว่าระดับ 1 จะมีช่องว่างที่ใช้วาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 กว้างมากเกินไปส่งผลต่อปริมาณแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋อง

4. ค่าความดันภายในถังเก็บโดยกระบวนการบรรจุปัจจุบันใช้ค่าความดันภายในถังเก็บเท่ากับ 3 บาร์ ทางผู้วิจัยจึงกำหนดระดับปัจจัยที่ใช้ทำการทดลองเท่ากับ 2.5 ถึง 3.5 บาร์ เนื่องจากความดันภายในถังเก็บมากกว่า 3.5 บาร์จะทำให้ความเร็วในการบรรจุเร็วมากส่งผลต่อปริมาณฟองที่จะเกิดขึ้นภายในกระป๋อง ส่วนความดันภายในถังเก็บที่น้อยกว่า 2.5 บาร์จะทำให้ความเร็วในการบรรจุน้อยมากส่งผลต่อปริมาณการผลิตในแต่ละรอบการผลิต

5. ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บโดยกระบวนการบรรจุปัจจุบันใช้ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บท่ากับ 35 เปอร์เซ็นต์ ทางผู้วิจัยจึงกำหนดระดับปัจจัยที่ใช้ทำการทดลองเท่ากับ 25 ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์จะทำให้ปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บน้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการในการบรรจุ ส่วนค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บมากกว่า 45 เปอร์เซ็นต์จะทำให้ปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บมากจนเกินไปเป็นผลให้มีแรงดันในการบรรจุสูง อีกทั้งการที่ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บมากกว่า 45 เปอร์เซ็นต์ ยังส่งผลให้พื้นที่ของแก๊ส CO_2 ที่อยู่เหนือน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บมีพื้นที่น้อยส่งผลต่อปริมาณแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.5 ปัจจัยที่จะนำมาทดสอบสมมติฐานที่ส่งผลต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

ลำดับ	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ประเภทของข้อมูล	ระดับที่ทำการทดลอง		
				ต่ำ	ปานกลาง	สูง
1	ความยาวของท่อระบาย (มิลลิเมตร)	A	Variable data ประเภท Continuous	106	107	108
2	ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 (ระดับ)	B	Variable data ประเภท Discrete	1	2	3
3	ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 (ระดับ)	C	Variable data ประเภท Discrete	1	2	3
4	ค่าความดันภายในถังเก็บ (บาร์)	D	Variable data ประเภท Continuous	2.5	3.0	3.5
5	ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ (เปอร์เซ็นต์)	E	Variable data ประเภท Continuous	25	35	45

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่นำมาทดสอบสมมติฐานนอกจากจะส่งผลต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องแล้วยังส่งผลต่อตัวชี้วัดอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปัจจัยที่นำมาทดสอบสมมติฐานและผลกระทบของปัจจัยต่อตัวชี้วัดต่าง ๆ

ปัจจัย	ผลกระทบ				
	ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์	**ความเร็วในการบรรจุ**	**ค่าไฟ**	**ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์**	**ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน**
ความยาวของท่อระบาย	✓				
ค่าความดันภายในถังเก็บ	✓	✓	✓	✓	✓
ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ	✓	✓			
ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2	✓			✓	
ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2	✓			✓	✓

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวชี้วัดอื่นๆ ที่ปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่นำมาทดสอบสมมติฐานมีผลกระทบนอกเหนือจากปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย ความเร็วในการบรรจุ ค่าไฟฟ้า ความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋อง และความเข้มข้นของแก๊ส O_2 ภายในกระป๋อง ซึ่งแต่ละตัวชี้วัดมีรายละเอียดดังนี้

1. ค่าไฟ

มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุในแต่ละรอบการผลิตนอกจากจะคิดจากมูลค่าความสูญเสียน้ำผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1.9 แล้วมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุในแต่ละรอบการผลิตยังประกอบด้วยค่าไฟฟ้า ซึ่งค่าไฟฟ้าเป็นผลมาจากค่าความดันภายในถังเก็บ โดยการคำนวณค่าไฟฟ้าจะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.2

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = \text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (หน่วย)} \times \text{ค่าพลังงานไฟฟ้า} \left(\frac{\text{บาท}}{\text{หน่วย}}\right) \quad (4.2)$$

ปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับค่าความดันภายในถังเก็บดังแสดงในสมการที่ 4.3

$$\text{โดย} \quad \text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (หน่วย)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า (วัตต์)}}{1000} \times \text{จำนวนชั่วโมงที่ผลิต (ชั่วโมง)} \quad (4.3)$$

เมื่อ ค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับกิจการขนาดกลางเท่ากับ 3.2484 บาท/หน่วย

จำนวนชั่วโมงที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ 140 กระป๋องขึ้นอยู่กับความเร็วในการบรรจุที่แตกต่างกันในแต่ละการทดลอง ซึ่งความเร็วในการบรรจุจะมากหรือน้อยก็เป็นผลมาจากค่าความดันภายในถังเก็บ

2. ค่าล่วงเวลาที่เกิดจากผลิตภาพ

งานวิจัยนี้มีการปรับตั้งค่าปัจจัยที่นำมาทดสอบสมมติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความเร็วในการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์เข้าสู่กระป๋อง ซึ่งทำให้ในการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องในจำนวนกระป๋องที่เท่ากันจะใช้ระยะเวลาในการบรรจุที่แตกต่างกัน ซึ่งทางโรงงานกำหนดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ต้องบรรจุได้ในแต่ละรอบการผลิตเท่ากับ 40,000 กระป๋อง โดยในแต่ละรอบการผลิตจะกำหนดระยะเวลาการผลิตเท่ากับ 4 ชั่วโมง ถ้ากระบวนการบรรจุมีการทำงานมากกว่า 4 ชั่วโมงจะต้องมีการทำงานล่วงเวลาทางโรงงานจึงจำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมเป็นค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงาน โดยคิดเป็นเงินเท่ากับ 75 บาทต่อชั่วโมง ฉะนั้นค่าล่วงเวลาที่เกิดจากผลิตภาพต่อหนึ่งรอบการผลิตจะสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 4.4

$$\frac{\text{ค่าล่วงเวลาที่เกิดจากผลิตภาพ}}{\text{1 รอบการผลิต}} = \left(\frac{\text{ค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงาน}}{\text{1 ชั่วโมง}} \times \frac{\text{จำนวนชั่วโมงทำงานล่วงเวลา}}{\text{1 รอบการผลิต}}\right) \quad (4.4)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในกระป๋อง

ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในกระป๋องสามารถตรวจวัดโดยใช้เครื่อง CO_2 Calculator และเซ็นเซอร์วัดค่าออกซิเจนตามลำดับ โดยเครื่องมือวัดความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนแสดงในรูปที่ 4.5 ทางโรงงานกำหนดความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในกระป๋องผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงระหว่าง 3 – 4 กรัม/ลิตร และกำหนดความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในกระป๋องผลิตภัณฑ์ให้มีค่าน้อยกว่า 0.5 กรัม/ลิตร แต่เนื่องจากการตรวจวัดความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในกระป๋องจำเป็นต้องตรวจวัดให้ห้องปฏิบัติการเท่านั้น รวมทั้งมีขั้นตอนการตรวจวัดที่ซับซ้อนจึงทำให้มีค่าใช้จ่ายและเวลาในการตรวจวัดแต่ละครั้งมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงไม่ได้ตรวจวัดความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในกระป๋องในการทดลองแต่ละการทดลอง แต่ช่วงของระดับปัจจัยที่ทำการทดลองทั้ง 5 ปัจจัยเป็นช่วงของระดับปัจจัยที่เมื่อตั้งค่าปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยแล้ว จะไม่ส่งผลทำให้ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนภายในกระป๋องผลิตภัณฑ์อยู่นอกช่วงเกณฑ์ที่ทางโรงงานยอมรับได้

CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.5 เครื่องมือวัดความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน

ดังนั้นมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุในแต่ละรอบการผลิตจะสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 4.5

$$\text{มูลค่าความสูญเสียรวมต่อ 1 รอบการผลิต} = \frac{\text{มูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุภายในกระป๋อง}}{\text{1 รอบการผลิต}} + \frac{\text{ค่าไฟฟ้า}}{\text{1 รอบการผลิต}} + \frac{\text{ค่าล่วงเวลาที่เกิดจากผลิตภาพ}}{\text{1 รอบการผลิต}} \quad (4.5)$$

โดยมูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุภายในกระป๋องไม่เหมาะสมต่อ 1 รอบการผลิต คำนวณได้จากสมการที่ 1.9 ค่าไฟฟ้าต่อ 1 รอบการผลิตคำนวณได้จากสมการที่ 4.2 และค่าล่วงเวลาที่เกิดจากผลิตภาพต่อ 1 รอบการผลิตคำนวณได้จากสมการที่ 4.4

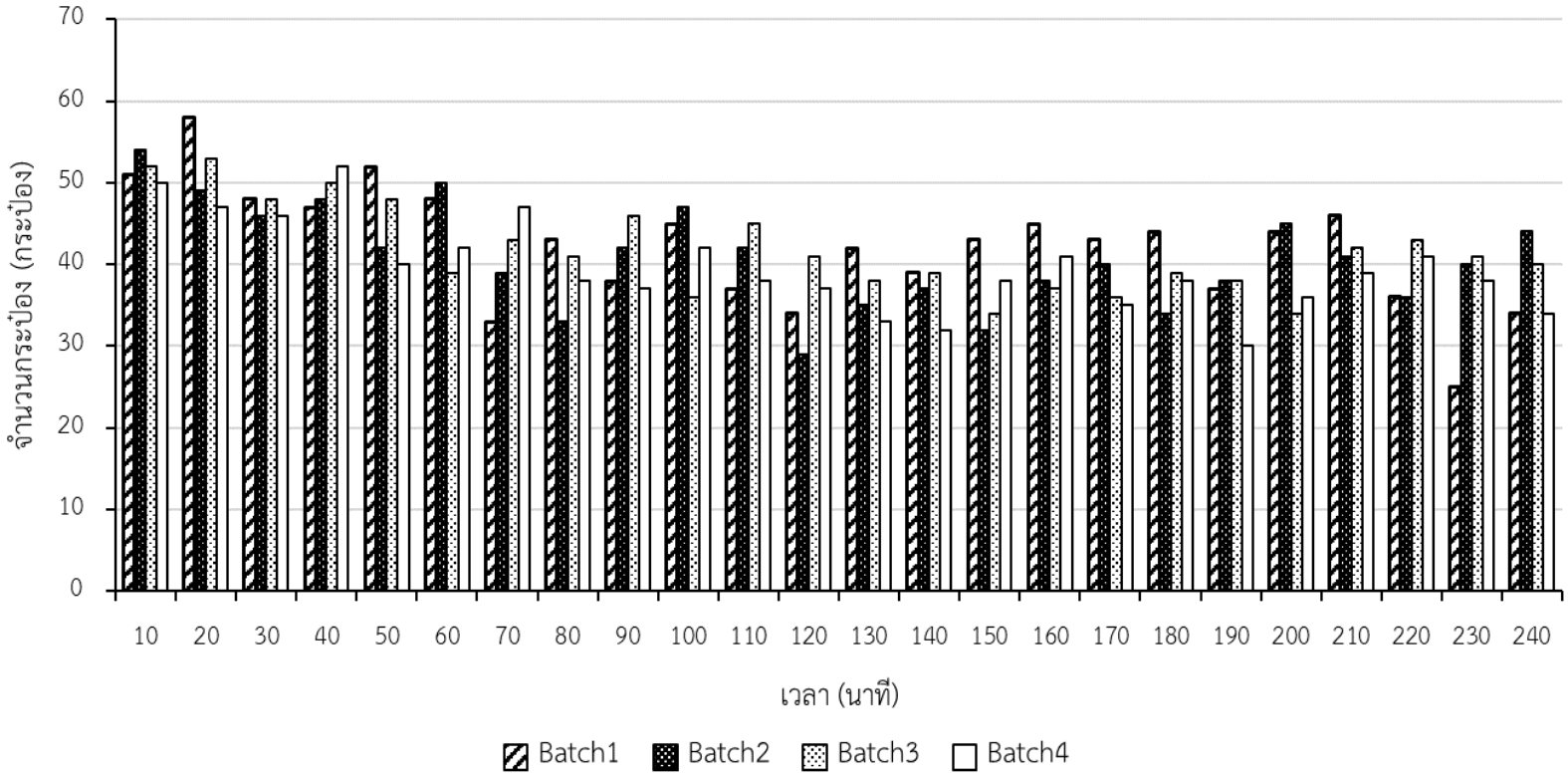
4.3.2 ตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองของงานวิจัยนี้ คือ มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ ซึ่งคำนวณจากมูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากการบรรจุปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่เหมาะสม ค่าไฟฟ้า และค่าล่วงเวลาที่เกิดจากผลิตภาพ

4.3.3 ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล

งานวิจัยนี้จะเก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์เพื่อตรวจสอบปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง ซึ่งจากการเก็บข้อมูลพบว่าจำนวนกระป๋องที่น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในแต่ละช่วงเวลาของรอบการผลิตในกระบวนการบรรจุมีลักษณะดังรูปที่ 4.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.6 จำนวนกระป๋องที่น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในแต่ละช่วงเวลาของกระบวนการบรรจุ

จากข้อมูลในรูปที่ 4.6 ทำให้สามารถสรุปจำนวนและร้อยละน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในแต่ละช่วงเวลาของกระบวนการบรรจุได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 จำนวนกระป๋องที่น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในแต่ละช่วงเวลาของกระบวนการบรรจุ

เวลา (ชั่วโมง)	จำนวนผลิตภัณฑ์ (กระป๋อง)				ร้อยละ			
	รอบ 1	รอบ 2	รอบ 3	รอบ 4	รอบ 1	รอบ 2	รอบ 3	รอบ 4
1	299	282	290	277	29.78	29.13	28.91	29.13
2	230	232	252	239	22.91	23.97	25.12	25.13
3	264	198	223	217	26.29	20.45	22.23	22.82
4	208	256	238	218	21.02	26.45	23.73	22.92

จากข้อมูลในตารางที่ 4.7 พบว่าจำนวนกระป๋องที่น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในช่วงชั่วโมงแรกของกระบวนการบรรจุจะมีปริมาณมากที่สุด ส่วนช่วงชั่วโมงถัด ๆไปของกระบวนการบรรจุจะมีจำนวนกระป๋องที่น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากในช่วงชั่วโมงแรกของกระบวนการบรรจุนั้นเครื่องบรรจุยังมีอุณหภูมิที่สูงกว่าน้ำผลิตภัณฑ์ที่ไหลเข้ามาทำให้แก๊ส CO_2 สามารถละลายเข้าสู่น้ำผลิตภัณฑ์ได้ไม่ดีจึงมีปริมาณแก๊ส CO_2 ลอยอยู่บนน้ำผลิตภัณฑ์จำนวนมาก ฉะนั้นในช่วงชั่วโมงแรกของกระบวนการบรรจุจะเป็นช่วงที่น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเกิดฟองมาก ทำให้ฟองแตะปลายท่อระบายซึ่งเป็นระดับที่กำหนดก่อนที่ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์จะเท่ากับ 250 มิลลิลิตร จึงมีโอกาสเกิดจำนวนกระป๋องที่น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดมาก และเนื่องจากการทำการทดลองผู้วิจัยไม่สามารถทำการทดลองได้ตลอดรอบการผลิต เพราะจะเกิดความสูญเสียที่มากจากการใช้ขนาดตัวอย่าง และเวลาในการทดลองที่มากเกินจำเป็น ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกเก็บข้อมูลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในช่วงแรกของกระบวนการบรรจุ เนื่องจากระดับการตั้งค่าของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้จำนวนกระป๋องที่น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดลดลงในช่วงชั่วโมงแรกนั้นสามารถเป็นระดับการตั้งค่าของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้จำนวนกระป๋องที่น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดของรอบการผลิตลดลงได้เช่นกัน เพราะความแตกต่างระหว่างการบรรจุผลิตภัณฑ์ในชั่วโมงแรกกับชั่วโมงอื่นๆ คือ ในชั่วโมงแรกของการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณฟองมากกว่าช่วงชั่วโมงการบรรจุอื่นๆ ทำให้การปรับตั้งค่าในช่วงชั่วโมงแรกของการบรรจุจึงจำเป็นต้องมีการลดฟองในระหว่างการ

บรรจุซึ่งส่งผลต่อความเร็วในการบรรจุ แต่ก็สามารถที่จะปรับตั้งค่าระดับปัจจัยให้ส่งผลต่อความเร็วในการบรรจุให้แต่ละรอบการผลิตสามารถบรรจุผลิตภัณฑ์ได้ตามเกณฑ์ที่ทางโรงงานต้องการ คือ 40,000 กระป๋อง ดังนั้นค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่ใช้ตั้งค่าในชั่วโมงแรกจึงสามารถนำไปใช้ในชั่วโมงถัดๆไปได้

4.3.4 รูปแบบการทดลอง

ผู้วิจัยเลือกการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางแบบ CCF แบบครึ่งหนึ่ง (Half Faced Central Composite Design: CCF) ในการออกแบบการทดลองเนื่องด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้

1. การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางแบบครึ่งหนึ่งจะมีจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 32 การทดลอง ซึ่งน้อยกว่าการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบบ็อกซ์- เบห์นเคนที่มีจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 46 การทดลอง

2. การออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางแบบครึ่งหนึ่งโดยมีจำนวนปัจจัยนำเข้าเท่ากับ 5 ปัจจัยจะคำนวณค่า α ได้จากสมการที่ 4.1

$$\alpha = \left(2^{k-p}\right)^{\frac{1}{4}} \tag{4.6}$$

กำหนด k เท่ากับ 5 และ p เท่ากับ 1

คำนวณค่า α ได้เท่ากับ 2 ทำให้ต้องมีการปรับระดับปัจจัยแต่ละปัจจัยเท่ากับ 5 ระดับ คือ ±2, ±1 และ 0 แต่ในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัด คือมีปัจจัยนำเข้า 2 ปัจจัย ได้แก่ ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 และ ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ไม่สามารถปรับระดับปัจจัยเท่ากับ 5 ระดับได้ ทั้ง 2 ปัจจัยนำเข้านั้นสามารถปรับระดับปัจจัยได้เพียงแค่ 3 ระดับเท่านั้น ดังนั้นจึงไม่สามารถทำการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) ได้ จึงต้องออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางแบบ Faced Central Composite Design: CCF แบบครึ่งหนึ่งซึ่งมีระดับปัจจัย 3 ระดับ และการที่เลือกใช้แบบครึ่งหนึ่งทำให้ระดับรายละเอียดความสัมพันธ์ของผลกระทบ (Resolution) เท่ากับระดับ V ซึ่งหมายความว่าผลกระทบหลักของปัจจัยจะไม่ปะปนกับผลกระทบหลักของปัจจัยอื่น ๆ และไม่ปะปนกับผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัย และผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยก็จะไม่ปะปน กันเอง แต่ผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยจะปะปนกับผลกระทบร่วมระหว่างสามปัจจัย ซึ่งผลกระทบร่วมระหว่างสามปัจจัยเป็นผลกระทบที่ไม่พิจารณา เนื่องจากมีโอกาสสูงที่จะไม่มีนัยสำคัญ และการทำการทดลองแบบครึ่งหนึ่งจะลดจำนวน

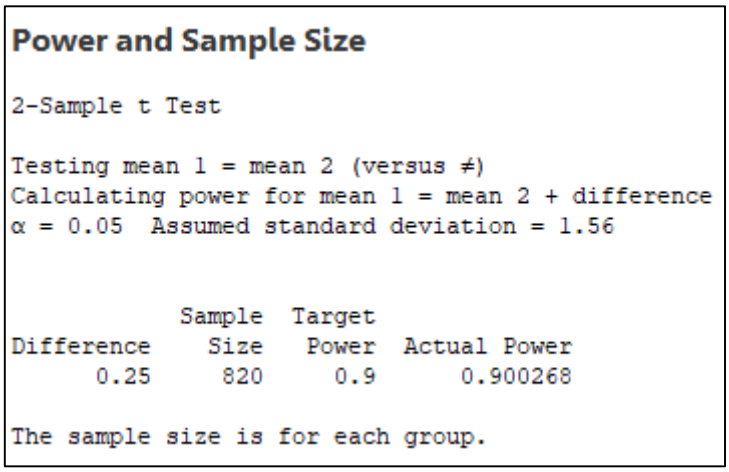
การทดลองในส่วนของการทดลองแฟกทอเรียล ดังนั้นผู้วิจัยสามารถยอมรับได้ทั้งระดับรายละเอียดความสัมพันธ์ของผลกระทบที่ได้จากการออกแบบการทดลอง และจำนวนการทดลอง

ส่วนประกอบของการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางแบบ Faced Central Composite Design: CCF แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- ส่วนการทดลองแฟกทอเรียล (Factorial Runs) จะมีจำนวนการทดลองเท่ากับ 2^k การทดลอง หรือการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับจะมีจำนวนการทดลองเท่ากับ 2^{k-p} การทดลอง โดยที่ k คือจำนวนปัจจัย และ p คือจำนวนเจนเนอเรเตอร์ โดยมีระดับอยู่ที่ ±1 หน่วยจากการทดลองที่จุดศูนย์กลางที่ระดับ 0 ในงานวิจัยนี้ส่วนการทดลองแฟกทอเรียลแบบครึ่งหนึ่งมีจำนวนการทดลองเท่ากับ $2^{(5-1)}$ = 16 การทดลอง
- ส่วนของจุดแกน (Axial Runs or Star Runs) จะมีจำนวนการทดลองเท่ากับ 2k การทดลอง โดยมีระดับอยู่ที่ $\pm\alpha$ หน่วยจากการทดลองที่จุดศูนย์กลางที่ระดับ 0 ในงานวิจัยนี้ส่วนของจุดแกนมีจำนวนการทดลองเท่ากับ 2×5 = 10 การทดลอง และกำหนด α เท่ากับ 1 เพื่อให้ระดับการทดลองมีเพียง 3 ระดับ
- ส่วนของจุดศูนย์กลาง (Center Runs) จะมีจำนวนการทดลองขึ้นอยู่กับค่า k หรือจำนวนปัจจัย โดยมีระดับอยู่ที่ 0 ในงานวิจัยนี้ส่วนของจุดศูนย์กลางมีจำนวนการทดลองเท่ากับ 6

จากการคำนวณข้างต้นพบว่าจำนวนการทดลองทั้งหมดจึงเท่ากับ 32 การทดลอง ประกอบด้วย 1. การทดลองแฟกทอเรียลมี 16 การทดลอง แบ่งเป็นระดับปัจจัยระดับสูง 8 การทดลอง และระดับปัจจัยระดับต่ำ 8 การทดลอง 2. การทดลองจุดแกนมี 10 การทดลอง และ 3. การทดลองจุดศูนย์กลางมี 6 การทดลอง ส่วนการกำหนดขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในแต่ละการทดลองสำหรับค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องคำนวณโดยใช้โปรแกรมมินิแทปด้วยรูปแบบข้อมูลที่มี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่ปัจจัยอยู่ระดับต่ำ และ กลุ่มค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่ปัจจัยอยู่ระดับสูง โดยทางผู้วิจัยกำหนดค่าความแตกต่างที่ต้องการตรวจจับได้ของค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ระหว่างสองกลุ่มเท่ากับ 0.25 มิลลิลิตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้ง 2 กลุ่มมีค่าเท่ากับ 1.56 กำลังของการทดสอบ (Power of test) อย่างน้อยเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ และระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยผลการคำนวณแสดงในรูปที่ 4.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



Power and Sample Size

2-Sample t Test

Testing mean 1 = mean 2 (versus ≠)
Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference
α = 0.05 Assumed standard deviation = 1.56

Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.25	820	0.9	0.900268

The sample size is for each group.

รูปที่ 4.7 ผลการคำนวณขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในแต่ละการทดลองสำหรับค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์

จากรูปที่ 4.7 พบว่ากลุ่มค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่ปัจจัยอยู่ระดับต่ำ และกลุ่มค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่ปัจจัยอยู่ระดับสูงต้องมีขนาดตัวอย่างกลุ่มละ 820 ตัวอย่าง ซึ่งแต่ละกลุ่มมีจำนวนการทดลองเท่ากับ 8 การทดลอง ดังนั้นในแต่ละการทดลองจึงต้องใช้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 103 ตัวอย่าง

การกำหนดขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในแต่ละการทดลองสำหรับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องคำนวณโดยใช้โปรแกรมมินิแทปด้วยรูปแบบข้อมูลที่มี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่ปัจจัยอยู่ระดับต่ำ และ กลุ่มค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่ปัจจัยอยู่ระดับสูง โดยทางผู้วิจัยกำหนดค่าอัตราส่วนระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มที่ปัจจัยอยู่ระดับต่ำ กับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มที่ปัจจัยอยู่ระดับสูงเท่ากับ 0.9 กำลังของการทดสอบ (Power of test) อย่างน้อยเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ และระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยผลการคำนวณแสดงในรูปที่ 4.8

Power and Sample Size

Test for Two Standard Deviations

Testing (StDev 1 / StDev 2) = 1 (versus ≠)
Calculating power for (StDev 1 / StDev 2) = ratio
α = 0.05
Method: Levene's Test

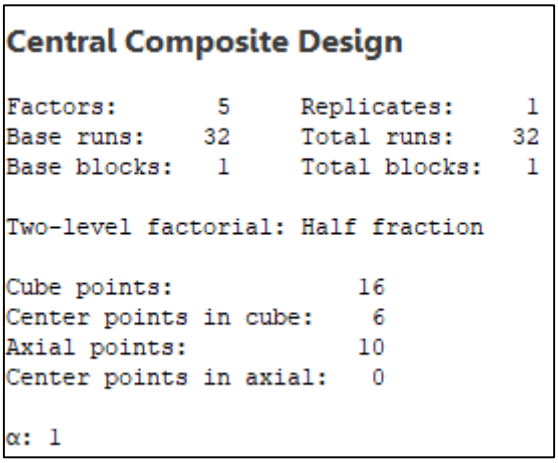
Ratio	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.9	1087	0.9	0.900184

The sample size is for each group.

รูปที่ 4.8 ผลการคำนวณขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในแต่ละการทดลองสำหรับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์

จากรูปที่ 4.8 พบว่ากลุ่มค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่ปัจจัยอยู่ระดับต่ำ และกลุ่มค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่ปัจจัยอยู่ระดับสูงต้องมีขนาดตัวอย่างกลุ่มละ 1087 ตัวอย่าง ซึ่งแต่ละกลุ่มมีจำนวนการทดลองเท่ากับ 8 การทดลอง ดังนั้นในแต่ละการทดลองจึงต้องใช้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 136 ตัวอย่าง ในงานวิจัยนี้ในแต่ละการทดลองจึงต้องใช้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 140 ตัวอย่าง เพื่อสามารถบอกความแตกต่างของค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องระหว่างกลุ่มที่มีระดับปัจจัยอยู่ที่ระดับต่ำกับกลุ่มที่มีระดับปัจจัยอยู่ที่ระดับสูง

ในการทำการทดลองนั้นลำดับการทดลองเป็นไปอย่างสุ่ม (Randomization) เพื่อกำจัดผลของตัวแปรรบกวนที่อาจปะปนกันกับผลของปัจจัยที่ต้องการศึกษา และเพื่อทำให้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดและลำดับการทดลองไม่เกิดแนวโน้ม (No Trend) ค่าความผิดพลาดจึงมีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent) โดยรูปแสดงรายละเอียดการออกแบบการทดลองแสดงในรูปที่ 4.9 และตารางการออกแบบการทดลอง (Design Metrix) แสดงในตารางที่ 4.8



Central Composite Design

Factors:	5	Replicates:	1
Base runs:	32	Total runs:	32
Base blocks:	1	Total blocks:	1

Two-level factorial: Half fraction

Cube points:	16
Center points in cube:	6
Axial points:	10
Center points in axial:	0

α: 1

รูปที่ 4.9 รายละเอียดการออกแบบการทดลอง

ตารางที่ 4.8 การออกแบบการทดลอง

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	E
1	17	1	1	-1	-1	-1	-1	1
2	4	1	1	1	-1	-1	-1	-1
3	7	1	1	-1	1	-1	-1	-1
4	12	1	1	1	1	-1	-1	1
5	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1
6	14	1	1	1	-1	1	-1	1
7	27	1	1	-1	1	1	-1	1
8	13	1	1	1	1	1	-1	-1
9	20	1	1	-1	-1	-1	1	-1
10	28	1	1	1	-1	-1	1	1
11	26	1	1	-1	1	-1	1	1
12	2	1	1	1	1	-1	1	-1
13	6	1	1	-1	-1	1	1	1
14	19	1	1	1	-1	1	1	-1
15	3	1	1	-1	1	1	1	-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.8 การออกแบบการทดลอง (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	E
16	30	1	1	1	1	1	1	1
17	11	-1	1	-1	0	0	0	0
18	9	-1	1	1	0	0	0	0
19	15	-1	1	0	-1	0	0	0
20	10	-1	1	0	1	0	0	0
21	8	-1	1	0	0	-1	0	0
22	22	-1	1	0	0	1	0	0
23	5	-1	1	0	0	0	-1	0
24	25	-1	1	0	0	0	1	0
25	32	-1	1	0	0	0	0	-1
26	31	-1	1	0	0	0	0	1
27	29	0	1	0	0	0	0	0
28	16	0	1	0	0	0	0	0
29	23	0	1	0	0	0	0	0
30	21	0	1	0	0	0	0	0
31	18	0	1	0	0	0	0	0
32	24	0	1	0	0	0	0	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.5 วิธีการทดลอง

งานวิจัยจะทำการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง โดยในแต่ละการทดลองจะมีการตั้งค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยแตกต่างกันตามการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางชนิด Faced Central Composite Design และในแต่ละการทดลองจะมีการเก็บผลการทดลองโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. จับเวลาตั้งแต่เครื่องบรรจุเริ่มบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องแรกจนกระทั่งเครื่องบรรจุบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ได้ตามจำนวนกระป๋องที่ต้องการ เพื่อคำนวณหาระยะเวลาที่ใช้ในการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องต่อ 1 รอบการผลิต

2. บันทึกค่ากำลังไฟฟ้าซึ่งแสดงอยู่บนหน้าจอเครื่องอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ดังแสดงในรูปที่ 4.10 เพื่อใช้คำนวณค่าไฟฟ้า โดยค่ากำลังไฟฟ้าที่แสดงอยู่บนหน้าจอเครื่องอินเวอร์เตอร์จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าระดับความดันภายในถังเก็บ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.10 เครื่องอินเวอร์เตอร์

3. นำกระป๋องที่สุ่มเก็บไปชั่งน้ำหนักหน่วยเป็นกรัม และคำนวณน้ำหนักของน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องได้จากการนำน้ำหนักรวมทั้งหมดของน้ำผลิตภัณฑ์และกระป๋องลบด้วยน้ำหนักของกระป๋องเปล่า และน้ำหนักของฝากระป๋อง โดยกระป๋องเปล่าและฝากระป๋องมีน้ำหนักรวมกันเท่ากับ 11.56 กรัม

4. แปลงน้ำหนักน้ำผลิตภัณฑ์เป็นปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์สามารถแปลงได้จากการนำน้ำหนักน้ำผลิตภัณฑ์หารด้วยความหนาแน่นของน้ำผลิตภัณฑ์โดยทางโรงงานกำหนดให้ค่าความหนาแน่นของน้ำผลิตภัณฑ์ในทุกรอบการผลิตมีค่าอยู่ในช่วง 1.0094-1.010 กรัม/มิลลิลิตร ผู้วิจัยจึงใช้ความหนาแน่นเฉลี่ยซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.0097 กรัม/มิลลิลิตรในการคำนวณหาปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์

5. คำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในแต่ละการทดลอง รวมทั้งคำนวณหามูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากการบรรจุปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่เหมาะสมต่อ 1 รอบการผลิตของแต่ละการทดลองด้วย

4.3.6 ผลการทดลอง

ผลการทดลองจะประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง มูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากการบรรจุปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่เหมาะสมต่อ 1 รอบการผลิต ระยะเวลาที่ใช้ในการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ต่อ 1 รอบการผลิต ค่าล่วงเวลาที่เกิดจากผลิตภาพต่อ 1 รอบการผลิต ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้เกี่ยวกับความดันต่อ 1 รอบการผลิต ค่าไฟฟ้าที่ใช้เกี่ยวกับความดันต่อ 1 รอบการผลิต และมูลค่าความสูญเสียรวมของกระบวนการบรรจุต่อ 1 รอบการผลิต ซึ่งผลการทดลองจะแสดงในตารางที่ 4.9

ตัวอย่างการคำนวณมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุรอบการผลิตลำดับที่ 1 ประกอบด้วยการคำนวณ 3 ส่วน ได้แก่

1. การคำนวณมูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากการบรรจุปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่เหมาะสม โดยทำการคำนวณความสูญเสียของแต่ละกระป๋องเป็นจำนวนทั้งหมด 140 กระป๋อง ยกตัวอย่างเช่น

- ภายในกระป๋องมีน้ำผลิตภัณฑ์เท่ากับ 249.50 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นความสูญเสียแบบน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดจึงวิธีการคำนวณดังนี้

มูลค่าความสูญเสียของน้ำผลิตภัณฑ์และกระป๋อง = (249.50 × 0.02132) + 0.70 + 2.39

= 8.41 บาท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อ ราคาน้ำผลิตภัณฑ์ต่อลิตรเท่ากับ 21.32 บาท/ลิตร หรือ เท่ากับ 0.02132 บาท/มิลลิลิตร

ราคากระป๋องเปล่าต่อหน่วยเท่ากับ 2.39 บาท/กระป๋อง

ราคาฝากระป๋องต่อหน่วยเท่ากับ 0.70 บาท/ฝา

- ภายในกระป๋องมีน้ำผลิตภัณฑ์เท่ากับ 253.00 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นความสูญเสียแบบน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดจึงวิธีการคำนวณดังนี้

มูลค่าความสูญเสียของน้ำผลิตภัณฑ์ส่วนเกินใน 1 กระป๋อง = (253.00 – 250.00) × 0.02132

= 0.0640 บาท

เมื่อคำนวณมูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากการบรรจุปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่เหมาะสมครบทั้ง 140 กระป๋องจะได้มูลค่าความสูญเสียเท่ากับ 24.03 บาท ดังนั้น 1 รอบการผลิตของรอบการผลิตที่ 1 จะมีมูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากการบรรจุปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่เหมาะสมเท่ากับ 6,866.89 บาท

2. การคำนวณค่าล่วงเวลาต่อ 1 รอบการผลิตของรอบการผลิตที่ 1

ค่าล่วงเวลาต่อ 1 รอบการผลิตของรอบการผลิตที่ 1 = 75 × 0.44 × 2

= 66 บาท

เมื่อ ระยะเวลาในการบรรจุของรอบการผลิตที่ 1 เท่ากับ 4.44 ชั่วโมง

ระยะเวลาในการบรรจุของแต่ละรอบการผลิตที่ทางโรงงานกำหนด เท่ากับ 4.00 ชั่วโมง

จำนวนพนักงานควบคุมเครื่องจักร 2 คน

ค่าทำงานล่วงเวลา 75 บาท/ชั่วโมง

3. การคำนวณค่าไฟฟ้าต่อ 1 รอบการผลิตของรอบการผลิตที่ 1

ค่าไฟฟ้า = 6.52 × 3.2484

= 21.17 บาท

เมื่อ ค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับกิจการขนาดกลางเท่ากับ 3.2484 บาท/หน่วย

ปริมาณไฟฟ้าที่รอบการผลิตรอบที่ 1 ใช้ เท่ากับ 6.52 หน่อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่ามูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุต่อ 1 รอบการผลิตของรอบการผลิตที่ 1 มีค่าเท่ากับ 6,954.06 บาท

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลอง

Std Order	Run Order	Factors					Mean Volume (ml)	S.D. Volume (ml)	Filling Loss (Baht)	Filling Time (Hour)	Overtime Cost (Baht)	Electricity Consumption (Unit)	Electricity Charge (Baht)	Total Cost (Baht)
		A	B	C	D	E								
1	25	-1	-1	-1	-1	1	255.02	2.19	6,866.89	4.44	66.00	6.52	21.17	6,954.06
2	5	1	-1	-1	-1	-1	250.31	2.37	56,469.32	4.45	67.50	6.53	21.22	56,558.04
3	27	-1	1	-1	-1	-1	255.61	2.86	7,859.16	4.47	71.00	6.57	21.33	7,951.49
4	22	1	1	-1	-1	1	249.22	1.11	93,689.51	4.41	60.83	6.47	21.01	93,771.36
5	8	-1	-1	1	-1	-1	263.62	2.23	12,477.13	4.47	70.17	6.56	21.31	12,568.60
6	19	1	-1	1	-1	1	247.5	1.96	110,167.56	4.39	57.83	6.44	20.91	110,246.31
7	24	-1	1	1	-1	1	268.7	1.47	16,547.36	4.40	60.17	6.46	20.99	16,628.51
8	17	1	1	1	-1	-1	257.61	2.3	7,042.47	4.49	73.00	6.59	21.40	7,136.87
9	26	-1	-1	-1	1	-1	246.09	1.31	120,530.30	4.04	6.00	8.3	26.97	120,563.27
10	14	1	-1	-1	1	1	242.93	0.87	118,391.21	4.03	4.33	8.28	26.89	118,422.43
11	9	-1	1	-1	1	1	243.25	2.1	118,982.68	4.01	1.83	8.25	26.78	119,011.30
12	29	1	1	-1	1	-1	242.09	1.67	117,680.72	4.06	9.67	8.35	27.13	117,717.52

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Factors					Mean Volume (ml)	S.D. Volume (ml)	Filling Loss (Baht)	Filling Time (Hour)	Overtime Cost (Baht)	Electricity Consumption (Unit)	Electricity Charge (Baht)	Total Cost (Baht)
		A	B	C	D	E								
13	18	-1	-1	1	1	1	255.43	1.36	3,640.00	4.02	2.33	8.25	26.81	3,669.14
14	23	1	-1	1	1	-1	248.71	1.84	92,875.20	4.09	13.00	8.4	27.28	92,915.48
15	10	-1	1	1	1	-1	250.29	1.47	53,180.41	4.04	6.17	8.30	26.98	53,213.55
16	30	1	1	1	1	1	239.90	2.33	116,188.22	4.03	4.33	8.28	26.89	116,219.44
17	3	-1	0	0	0	0	260.15	1.96	9,475.84	4.27	40.67	7.53	24.45	9,540.96
18	21	1	0	0	0	0	258.36	1.93	7,622.32	4.29	42.83	7.55	24.53	7,689.68
19	16	0	-1	0	0	0	260.78	2.26	9,675.30	4.27	40.50	7.52	24.44	9,740.24
20	28	0	1	0	0	0	260.64	1.73	9,888.80	4.26	38.83	7.50	24.38	9,952.01
21	1	0	0	-1	0	0	252.91	1.96	12,224.84	4.22	32.83	7.43	24.15	12,281.82
22	32	0	0	1	0	0	254.45	1.54	3,636.00	4.22	32.50	7.43	24.13	3,692.63
23	15	0	0	0	-1	0	262.32	1.99	10,785.49	4.39	58.67	6.45	20.94	10,865.10
24	2	0	0	0	1	0	254.45	2.12	6,435.14	4.06	8.67	8.34	27.09	6,470.90

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Factors					Mean Volume (ml)	S.D. Volume (ml)	Filling Loss (Baht)	Filling Time (Hour)	Overtime Cost (Baht)	Electricity Consumption (Unit)	Electricity Charge (Baht)	Total Cost (Baht)
		A	B	C	D	E								
25	7	0	0	0	0	-1	261.75	1.90	10,847.91	4.32	47.83	7.61	24.72	10,920.46
26	11	0	0	0	0	1	255.58	2.57	7,905.91	4.22	33.00	7.44	24.15	7,963.06
27	4	0	0	0	0	0	258.97	1.96	8,500.40	4.28	41.83	7.54	24.49	8,566.72
28	6	0	0	0	0	0	258.37	1.92	7,495.20	4.25	37.00	7.48	24.31	7,556.50
29	13	0	0	0	0	0	257.82	1.94	7,164.44	4.26	39.67	7.51	24.41	7,228.52
30	20	0	0	0	0	0	257.61	2.00	7,349.10	4.24	36.50	7.48	24.29	7,409.88
31	12	0	0	0	0	0	258.29	1.92	7,531.14	4.26	38.83	7.50	24.38	7,594.35
32	31	0	0	0	0	0	258.46	1.97	7,259.80	4.25	38.17	7.50	24.35	7,322.31

4.3.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่ามูลค่าความสูญเสียรวมต่อ 1 รอบการผลิตนั้นส่วนใหญ่เกิดจากมูลค่าความสูญเสียจากการบรรจุปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่เหมาะสมคิดเฉลี่ยของทุกการทดลองได้เป็นร้อยละ 99.41 ของมูลค่าความสูญเสียรวม ส่วนค่าไฟฟ้าคิดเฉลี่ยของทุกการทดลองได้เป็นร้อยละ 0.23 ของมูลค่าความสูญเสียรวม และค่าล่วงเวลาของพนักงานคิดเฉลี่ยของทุกการทดลองได้เป็นร้อยละ 0.36 ของมูลค่าความสูญเสียรวม ทางผู้วิจัยได้นำข้อมูลในตารางที่ 4.9 ไปวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ด้วยโปรแกรมมินิแทป (Minitab) และพิจารณาเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด (Best Subset Regression) จากสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง โดยการวิเคราะห์ผลการทดลองประกอบด้วย

1. การพิจารณาเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดตามเกณฑ์ที่กำหนดจากสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมด

วิธีการพิจารณาเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดเป็นวิธีการเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ เช่น วิธีการเลือกแบบไปข้างหน้า (forward selection) วิธีการกำจัดแบบถอยหลัง (backward elimination) และวิธีการถดถอยแบบขั้นบันได (stepwise regression) เพราะได้พิจารณาตัวแบบจำลองที่เป็นไปได้ทั้งหมด และเกณฑ์ในการพิจารณาตัวแบบจำลองมีให้เลือกใช้ได้หลายเกณฑ์ เช่น เกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้ว (R – Squared Adjusted: R^2_{adj}) เกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการทำนาย (R – Squared Predicted: R^2_{pred}) เกณฑ์ซีพีของมอลล์โลส์ (Mallow'Cp) และ เกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) (P.Ryan, 2009) โดยรายละเอียดของแต่ละเกณฑ์มีดังนี้

- เกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้ว (R – Squared Adjusted: R^2_{adj})

ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วใช้เปรียบเทียบความสามารถในการอธิบาย (Explanatory power) ของสมการถดถอยที่มีจำนวนตัวแปรอิสระแตกต่างกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม เมื่อตัวแปรอิสระที่เพิ่มเข้ามาใหม่ในสมการนั้นมีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วจะมีค่าลดลงจากเดิม เมื่อตัวแปรอิสระที่เพิ่มเข้ามาใหม่ในสมการนั้นไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ และโดยทั่วไปแล้วค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วจะมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจเสมอ สูตรการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วแสดงในสมการที่ 4.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{SS\ Error/(n-p)}{SS\ Total/(n-1)} \quad (4.6)$$

เมื่อ SS_{Error} แทน ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Sum of Squared Errors)

SS_{Total} แทน ผลบวกกำลังสองทั้งหมด (Sum of Squared Total)

n แทน จำนวนค่าสังเกตทั้งหมด (Number of observations)

p แทน จำนวนตัวแปรอิสระในตัวแบบรวมกับค่าคงที่ (Number of term in the model, including the constant)

- เกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการทำนาย (R – Squared Predicted: R^2_{pred})

ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการทำนายเป็นตัวบ่งชี้ว่าสมการถดถอยนั้นสามารถทำนายค่าตัวแปรตอบสนองซึ่งเป็นข้อมูลค่าใหม่ หรือข้อมูลที่ไม่ได้นำมาใช้ในการคิดสมการถถอยได้ดีเพียงใด (Montgomery, 2007) โดยโปรแกรมมินิแทปจะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แสดงการทำนายอย่างเป็นขั้นเป็นตอนจากการนำข้อมูลที่สังเกตได้ออกจากชุดข้อมูลทีละตัวแล้วทำการประมาณสมการถดถอยจากนั้นหาว่าสมการนั้นให้ผลค่าทำนายของข้อมูลที่นำออกไปได้ดีหรือไม่ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์แสดงการทำนายสามารถมีค่าเป็นลบได้ และมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจเสมอ แม้ว่าวัตถุประสงค์ในการใช้สมการถดถอยที่วิเคราะห์ได้จะไม่ได้นำไปเพื่อใช้ในการทำนายค่าตัวแปรตอบสนองซึ่งเป็นข้อมูลค่าใหม่ แต่ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการทำนายก็มีประโยชน์ในแง่ของการป้องกันไม่ให้สมการถดถอยมีจำนวนตัวแปรอิสระในการอธิบายตัวแปรตอบสนองในแบบจำลองมากเกินความจำเป็น (Over Specified) ซึ่งอาจทำให้แบบจำลองนั้นมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ ซึ่งสูตรการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แสดงการทำนายแสดงในสมการที่ 4.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$R^2_{pred} = 1 - \frac{PRESS}{SS\ Total} \quad (4.7)$$

เมื่อ PRESS แทน ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อนของการทำนาย (Prediction Error Sum of Squares)

SS_T แทน ผลบวกกำลังสองทั้งหมด (Sum of Squared Total)

โดย SS_E จะแตกต่างจาก PRESS คือ ค่า SS_E จะคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน (Residuals) จากความต่างระหว่างค่าสังเกต Y_i (observed response) และค่าทำนาย $\hat{Y}_i$ (Fitted value) จากสมการถดถอยที่คำนวณโดยใช้ข้อมูล n ข้อมูล ส่วนค่า PRESS จะคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนจาก

ความต่างระหว่างค่าสังเกต Y_i และค่าทำนาย $\hat{Y}_{i(i)}$ (fitted value for the omitted observation) จากสมการถดถอยที่คำนวณโดยใช้ข้อมูล n-1 ที่ไม่รวมค่าสังเกตที่ i ดังนั้นถ้าค่า PRESS มีค่าน้อยจึงสามารถแสดงได้ว่าสมการนั้นให้ผลค่าทำนายของข้อมูลที่นำออกไปได้ดี ซึ่งสูตรการคำนวณค่า PRESS แสดงในสมการที่ 4.8

$$\text{PRESS} = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{e_i}{1-h_{ii}}\right)^2 \qquad (4.8)$$

เมื่อ e_i แทน ค่าความคลาดเคลื่อน (Residuals)

h_{ii} แทน สมาชิกแนวเฉียงที่ i ของเมตริกซ์ $X(X'X)^{-1}X'$

- เกณฑ์มอลล์โลส์ซีพี (Mellow'Cp)

เกณฑ์ Cp นำเสนอโดยมอลล์โลส์โดยใช้ในการพิจารณาคัดเลือกตัวแปรอิสระ โดยสมการถดถอยที่เหมาะสมจะมีค่า Cp ที่ต่ำ และมีค่าใกล้กับ p ซึ่งค่า Cp มีการพิจารณาทั้งความแปรปรวนและความเอนเอียงของค่าทำนาย โดยหลักการพิจารณาค่า Cp มีดังนี้

1. สมการถดถอยที่มีค่า Cp ใกล้เคียงค่า p แสดงว่าเป็นสมการถดถอยที่มีความเอนเอียงน้อย ส่วนถ้ามีค่า Cp น้อยกว่า p สามารถตีความได้ว่าสมการถดถอยนั้นไม่มีความเอนเอียง แต่ถ้ามีค่า Cp มากกว่า p แสดงว่าเป็นสมการถดถอยที่มีความเอนเอียงมาก

2. สมการถดถอยที่มีค่า Cp ต่ำ แสดงว่าเป็นสมการถดถอยที่มีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำ หรือมีความแปรปรวนน้อย

3. ในกรณีที่สมการถดถอยเป็นสมการถดถอยเต็มรูป (Full model) สมการนั้นไม่สามารถใช้เกณฑ์ค่า Cp ในการตัดสินความเหมาะสมของสมการได้ เนื่องจากสมการถดถอยเต็มรูปจะมีค่า Cp=p เสมอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4. ในกรณีที่สมการถดถอยทุกสมการที่เป็นไปได้ ยกเว้นสมการถดถอยเต็มรูปมีค่า Cp ไม่ใกล้เคียง p นั่นแสดงว่าสมการถดถอยขาดตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

5. ถ้ามีสมการถดถอยมากกว่า 1 สมการที่มีค่า Cp ต่ำ และมีค่าใกล้เคียงค่า p ให้เลือกสมการที่มีตัวแปรอิสระในสมการน้อยกว่า หรือเลือกตามความต้องการของผู้ใช้งาน

สูตรการคำนวณ Mellow'Cp แสดงในสมการที่ 4.9

$$C_p = \frac{SSE_p}{MSE} - n + 2p \qquad (4.9)$$

เมื่อ SSE_p แทน ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อนของตัวแบบที่พิจารณา *(sum of squared errors for the model under consideration)*

MSE แทน ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวแบบเต็มรูป (mean square error for the model with all predictors)

n แทน จำนวนค่าสังเกตทั้งหมด (number of observations)

p แทน จำนวนตัวแปรอิสระในตัวแบบรวมกับค่าคงที่ (number of term in the model, including the constant)

- เกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE)

ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยจะลดลงเมื่อ p เพิ่มขึ้น เนื่องจากค่า p ที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Sum of Squared Errors: SSE) ลดลง ดังนั้นเมื่อ p มีค่าเพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก แต่ค่าของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยจะลดช้าลงและอาจกลับเพิ่มสูงขึ้นได้ ถ้าการลดของค่าผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อนเกิดจากการเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าไปในตัวแบบไม่เพียงพอกับการสูญเสียองศาเสรี (degree of freedom) โดยหลักการพิจารณาเลือกสมการถดถอยที่มีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยมีดังนี้

1. เลือกสมการถดถอยที่มีค่า p ให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด

2. เลือกสมการถดถอยที่มีค่า p ให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของสมการถดถอยเต็มรูป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สูตรการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยแสดงในสมการที่ 4.10

$$\mathrm{MSE_p} = \frac{\mathrm{SSE_p}}{(\mathrm{n-p})} \tag{4.10}$$

เมื่อ SSE_p แทน ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อนของตัวแบบที่พิจารณา (sum of squared errors for the model under consideration)

n แทน จำนวนค่าสังเกตทั้งหมด (number of observations)

p แทน จำนวนตัวแปรอิสระในแบบจำลองรวมกับค่าคงที่ (number of term in the model, including the constant)

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย โดยเกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วในการพิจารณาสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดจากสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะได้ผลการคัดเลือกเป็นแบบจำลองเดียวกัน แต่หลักการพิจารณาแบบจำลองที่เหมาะสมของเกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยกับเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วจะแตกต่างกัน คือ การเลือกแบบจำลองโดยใช้เกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยจะเลือกแบบจำลองที่มีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำที่สุด แต่การเลือกแบบจำลองโดยใช้เกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วจะเลือกแบบจำลองที่มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจสูงสุด ซึ่งผลการวิเคราะห์จากวิธีการ Best Subsets Regression ในโปรแกรมมินิแทปจะแสดงค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วเป็นตัวเลขทศนิยมเพียง 1 ตำแหน่ง ดังนั้นในผลการวิเคราะห์จะพบว่ามีแบบจำลองที่มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วสูงที่สุดหลายแบบจำลอง เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วเป็นตัวเลขเหมือนกัน ทางผู้วิจัยจึงเลือกพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย เนื่องจากผลการวิเคราะห์วิธีการ Best Subsets Regression ในโปรแกรมมินิแทปจะแสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเป็นตัวเลขทศนิยมถึง 4 ตำแหน่งจึงทำให้สามารถหาแบบจำลองที่มีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำที่สุดได้ ส่วนเหตุผลที่งานวิจัยนี้ไม่พิจารณาเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการทำนายในการพิจารณาสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดจากสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมด เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการหาตัวแปรอิสระที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองตามต้องการไม่ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้สมการถดถอยที่วิเคราะห์ได้ไปใช้ในการทำนายค่าตัวแปรตอบสนองใหม่ ซึ่งเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการทำนายเหมาะที่จะใช้เป็นเกณฑ์ในกรณีที่ต้องการทราบว่าสมการถดถอยนั้นสามารถทำนายค่าตัวแปรตอบสนองซึ่งเป็นค่าข้อมูลใหม่ได้ดีเพียงใด ฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงไม่เลือกใช้เกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการทำนายในการพิจารณาสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดจากสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมด และสุดท้ายเหตุผลที่งานวิจัยนี้ไม่เลือกใช้เกณฑ์มอลล์โลส์ซีพี ในการพิจารณาสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดจากสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมด เนื่องจากเกณฑ์มอลล์โลส์ซีพีเหมาะที่จะสามารถพิจารณาความแปรปรวน และความเอนเอียงของค่าทำนายในกรณีที่ต้องการเปรียบเทียบสมการถดถอยที่มีจำนวนตัวแปรอิสระเท่ากันเท่านั้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่างานวิจัยนี้ต้องการหาตัวแปรอิสระที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญเป็นวัตถุประสงค์หลักจึงเลือกใช้เกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเป็นเกณฑ์หลักในการพิจารณา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง คือ ตรวจสอบสมมติฐานว่าข้อมูลมีลักษณะที่เหมาะสมที่จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอย (Analysis of Variance: ANOVA) ในการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยได้หรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจะประกอบด้วยสมมติฐาน 3 ข้อประกอบด้วย สมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption) สมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Residual) และสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability)

3. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับตัวแปรตอบสนอง

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับตัวแปรตอบสนองจะประกอบด้วยการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์แบบเต็มรูป (Full Model) การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์จากแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดที่พิจารณาจากเกณฑ์ที่กำหนด และการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าทั้งในเทอมของผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

4.3.7.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

1. การพิจารณาสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเพื่อเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดตามเกณฑ์ที่กำหนด

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.9 นำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการ Best Subsets Regression ในโปรแกรมมินิแทปจะได้สมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 4.11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Best Subsets Regression: Mean Volume versus A, B, ...

Response is Mean Volume

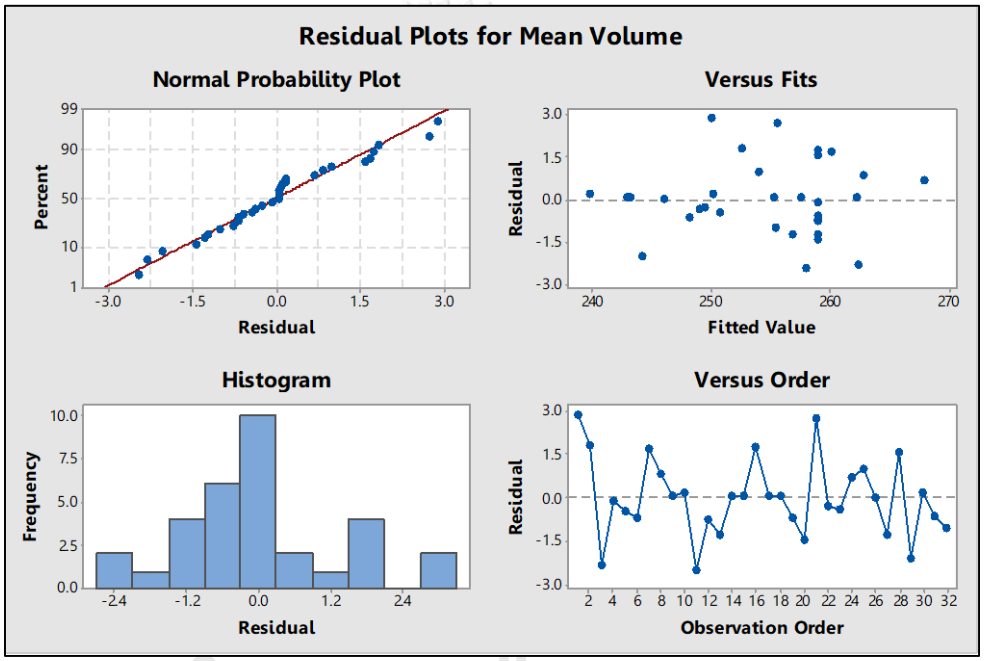
Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)	Mallows Cp	S	A	B	C	D	E	A A	A B	A C	A D	A E	B C	B D	B E	C D	C E	D E	B C	B D	B E	C D	C E	D E
1	30.3	28.0	21.7	229.4	5.8399																	X					
1	28.5	26.1	16.6	236.0	5.9142				X																		
2	58.8	55.9	48.2	126.2	4.5672				X													X					
2	49.9	46.5	37.2	158.9	5.0347				X																	X	
3	73.1	70.2	62.2	75.3	3.7542	X			X													X					
3	67.8	64.3	54.5	94.9	4.1088			X	X													X					
4	82.1	79.5	72.3	44.0	3.1175	X		X	X													X					
4	77.6	74.2	64.1	60.8	3.4924	X			X								X					X					
5	86.6	84.0	76.9	29.6	2.7533	X		X	X								X					X					
5	85.7	82.9	75.1	32.9	2.8436	X		X	X					X								X					
6	90.1	87.8	81.6	18.5	2.4078	X		X	X					X			X					X					
6	89.4	86.9	80.0	21.0	2.4900	X		X	X						X		X					X					
7	93.0	90.9	87.0	9.9	2.0700	X		X	X					X	X		X					X					
7	91.4	88.9	81.5	15.6	2.2894	X		X	X	X				X			X					X					
8	94.3	92.3	88.0	7.1	1.9076	X		X	X	X				X	X		X					X					
8	94.2	92.2	89.4	7.4	1.9230	X		X	X					X	X	X	X					X					
9	95.5	93.7	91.4	4.6	1.7308	X		X	X	X				X	X	X	X					X					
9	94.9	92.8	88.0	6.8	1.8423	X		X	X	X				X		X	X					X	X				
10	96.1	94.3	91.5	4.3	1.6458	X		X	X	X				X	X	X	X					X	X				
10	96.0	94.1	90.8	4.7	1.6706	X		X	X	X				X	X	X	X					X		X			
11	96.4	94.3	91.6	5.5	1.6361	X		X	X	X				X	X	X	X		X			X	X				
11	96.3	94.3	90.3	5.7	1.6496	X		X	X	X				X	X	X	X					X	X	X			
12	96.5	94.3	90.4	6.8	1.6396	X		X	X	X				X	X	X	X		X			X	X	X			
12	96.5	94.3	91.2	7.0	1.6496	X		X	X	X				X	X	X	X	X	X			X	X				
13	96.7	94.2	89.2	8.4	1.6525	X		X	X	X				X	X	X	X		X			X	X	X	X		
13	96.6	94.2	90.1	8.4	1.6540	X		X	X	X				X	X	X	X	X	X			X	X	X			
14	96.8	94.1	88.8	9.9	1.6684	X		X	X	X				X	X	X	X	X	X			X	X	X	X		
14	96.8	94.1	88.7	10.0	1.6731	X		X	X	X				X	X	X	X		X	X		X	X	X	X		
15	96.9	94.0	88.2	11.5	1.6911	X		X	X	X				X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		
15	96.8	93.8	87.4	11.7	1.7073	X		X	X	X				X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		
16	96.9	93.7	86.1	13.3	1.7334	X		X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
16	96.9	93.6	85.3	13.4	1.7355	X		X	X	X	X			X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		
17	97.0	93.3	83.1	15.2	1.7828	X		X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
17	97.0	93.3	81.9	15.2	1.7838	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
18	97.0	92.9	79.0	17.1	1.8391	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
18	97.0	92.8	77.0	17.1	1.8464	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
19	97.0	92.3	61.8	19.0	1.9104	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
19	97.0	92.3	61.1	19.0	1.9128	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
20	97.0	91.6	0.0	21.0	1.9938	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		

รูปที่ 4.11 สมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเมื่อตัวแปรตอบสนองคือค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

พิจารณาสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดจากสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดโดยใช้เกณฑ์สัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วสูงสุดมีค่าเท่ากับ 94.3 ซึ่งมีสมการถดถอยที่มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วสูงที่สุด คือ สมการที่มีตัวแปรอิสระ A C D E AC AD AE BD CC CD และ DD อยู่ในสมการ ฉะนั้นจึงตัดสินใจเลือกสมการที่มีตัวแปรอิสระ A C D E AC AD AE BD CC CD และ DD เป็นสมการถดถอยในการทำนายค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

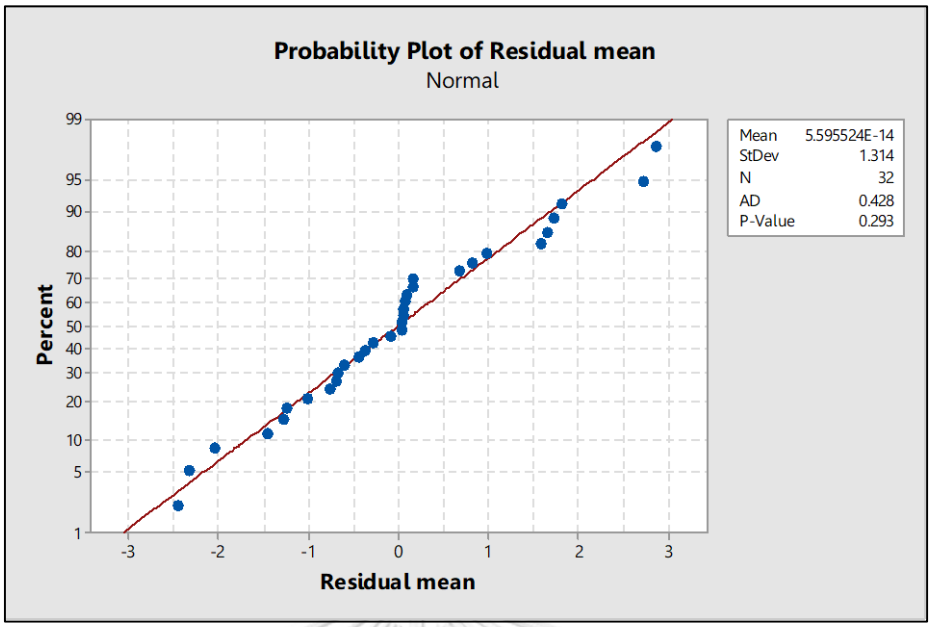
2. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจะประกอบด้วยสมมติฐาน 3 ข้อ คือ สมมติฐานของการแจกแจงปกติ สมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล และสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ ซึ่งสมมติฐานดังกล่าวสามารถพิจารณาได้จากการกระจายตัวส่วนตกค้างของค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องดังแสดงในรูปที่ 4.12 และสมมติฐานของการแจกแจงปกติยังสามารถพิจารณาได้จากกราฟความน่าจะเป็นของค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องดังแสดงในรูปที่ 4.13



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.12 การกระจายตัวส่วนตกค้างของค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง



รูปที่ 4.13 กราฟความน่าจะเป็นของค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

- การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption)

การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติสามารถดูได้จากกราฟ Normal Probability Plot ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) ที่จัดเรียงตัวอยู่ตามแนวเส้นตรง และมีค่า P-value ของการทดสอบการแจกแจงแบบปกติเท่ากับ 0.293 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 และจากกราฟอิสโตแกรมที่แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ

- การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability)

การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่สามารถดูได้จากกราฟ Residual Versus Fitted Value ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างรอบแนวแกนศูนย์ โดยข้อมูลมีการกระจายตัวแบบสุ่ม (ไม่มีรูปแบบ) และข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวในรูปแบบที่คล้ายกรวยปากเปิด จึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีค่าความแปรปรวนคงที่

- การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Residual)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูลสามารถดูได้จากกราฟ Residual Versus Observation Order ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่ไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มหรือรูปร่างที่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับตัวแปรตอบสนอง

เมื่อแบบจำลองถูกต้องตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อดังได้กล่าวมาข้างต้น ทางผู้จัยจึงวิเคราะห์ผลการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์แบบเต็มรูป (Full Model)

การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์แบบเต็มรูป (Full Model) จะใช้โปรแกรมมินิแทปในการวิเคราะห์หาความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าต่อค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.05 ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.14

Response Surface Regression: Mean Volume versus A, B, C, D, E

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	20	1423.82	71.191	17.91	0.000
Linear	5	780.40	156.081	39.26	0.000
A	1	210.30	210.302	52.90	0.000
B	1	0.52	0.524	0.13	0.723
C	1	132.23	132.226	33.26	0.000
D	1	418.21	418.206	105.20	0.000
E	1	19.15	19.147	4.82	0.051
Square	5	458.39	91.678	23.06	0.000
A*A	1	0.58	0.577	0.15	0.710
B*B	1	2.32	2.323	0.58	0.461
C*C	1	90.44	90.442	22.75	0.001
D*D	1	4.53	4.528	1.14	0.309
E*E	1	2.84	2.840	0.71	0.416
2-Way Interaction	10	185.02	18.502	4.65	0.009
A*B	1	0.17	0.174	0.04	0.838
A*C	1	52.16	52.162	13.12	0.004
A*D	1	17.79	17.789	4.47	0.058
A*E	1	42.10	42.097	10.59	0.008
B*C	1	1.83	1.834	0.46	0.511
B*D	1	65.31	65.305	16.43	0.002
B*E	1	0.68	0.684	0.17	0.686
C*D	1	3.35	3.347	0.84	0.379
C*E	1	1.56	1.564	0.39	0.543
D*E	1	0.07	0.068	0.02	0.899
Error	11	43.73	3.975		
Lack-of-Fit	6	42.56	7.094	30.43	0.001
Pure Error	5	1.17	0.233		
Total	31	1467.55			

รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องแบบสมการความสัมพันธ์เต็มรูป

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.99383	97.02%	91.60%	0.00%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		259.103	0.570	454.72	0.000	
A	-6.836	-3.418	0.470	-7.27	0.000	1.00
B	-0.341	-0.171	0.470	-0.36	0.723	1.00
C	5.421	2.710	0.470	5.77	0.000	1.00
D	-9.640	-4.820	0.470	-10.26	0.000	1.00
E	-2.063	-1.031	0.470	-2.19	0.051	1.00
A*A	-0.97	-0.48	1.27	-0.38	0.710	3.20
B*B	1.94	0.97	1.27	0.76	0.461	3.20
C*C	-12.12	-6.06	1.27	-4.77	0.001	3.20
D*D	-2.71	-1.36	1.27	-1.07	0.309	3.20
E*E	-2.15	-1.07	1.27	-0.85	0.416	3.20
A*B	0.209	0.104	0.498	0.21	0.838	1.00
A*C	-3.611	-1.806	0.498	-3.62	0.004	1.00
A*D	2.109	1.054	0.498	2.12	0.058	1.00
A*E	-3.244	-1.622	0.498	-3.25	0.008	1.00
B*C	0.677	0.339	0.498	0.68	0.511	1.00
B*D	-4.041	-2.020	0.498	-4.05	0.002	1.00
B*E	0.414	0.207	0.498	0.41	0.686	1.00
C*D	-0.915	-0.457	0.498	-0.92	0.379	1.00
C*E	-0.625	-0.313	0.498	-0.63	0.543	1.00
D*E	0.130	0.065	0.498	0.13	0.899	1.00

Regression Equation in Uncoded Units

Mean Volume = 259.103 - 3.418 A - 0.171 B + 2.710 C - 4.820 D - 1.031 E - 0.48 A*A + 0.97 B*B
- 6.06 C*C - 1.36 D*D - 1.07 E*E + 0.104 A*B - 1.806 A*C + 1.054 A*D
- 1.622 A*E + 0.339 B*C - 2.020 B*D + 0.207 B*E - 0.457 C*D - 0.313 C*E
+ 0.065 D*E

รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องแบบสมการความสัมพันธ์เต็มรูป (ต่อ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องแบบสมการความสัมพันธ์เต็มรูปพบว่าสมการถดถอยแบบเต็มรูปจะมีปัจจัยนำเข้าจำนวน 13 ปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องอยู่ในสมการ และสมการถดถอยมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ และค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วเท่ากับ 97.08% และ 91.60% ตามลำดับ

3.2 การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้าและค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจากแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดที่พิจารณาจากเกณฑ์ที่กำหนด (Best Subsets Model)

การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้าและค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจากแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดที่พิจารณาจากเกณฑ์ที่กำหนดจะใช้โปรแกรมมินิแทปในการวิเคราะห์ โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.15

Regression Analysis: Mean Volume versus A, B, C, D, E

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	11	1414.01	128.547	48.02	0.000
A	1	210.30	210.302	78.56	0.000
C	1	132.23	132.226	49.40	0.000
D	1	418.21	418.206	156.23	0.000
E	1	19.15	19.147	7.15	0.015
C*C	1	139.18	139.179	51.99	0.000
D*D	1	9.02	9.021	3.37	0.081
A*C	1	52.16	52.162	19.49	0.000
A*D	1	17.79	17.789	6.65	0.018
A*E	1	42.10	42.097	15.73	0.001
B*D	1	65.31	65.305	24.40	0.000
C*D	1	3.35	3.347	1.25	0.277
Error	20	53.54	2.677		
Lack-of-Fit	15	52.37	3.491	14.97	0.004
Pure Error	5	1.17	0.233		
Total	31	1467.55			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.63609	96.35%	94.35%	91.59%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	259.055	0.455	569.60	0.000	
A	-3.418	0.386	-8.86	0.000	1.00
C	2.710	0.386	7.03	0.000	1.00
D	-4.820	0.386	-12.50	0.000	1.00
E	-1.031	0.386	-2.67	0.015	1.00
C*C	-6.313	0.876	-7.21	0.000	2.26
D*D	-1.607	0.876	-1.84	0.081	2.26
A*C	-1.806	0.409	-4.41	0.000	1.00
A*D	1.054	0.409	2.58	0.018	1.00
A*E	-1.622	0.409	-3.97	0.001	1.00
B*D	-2.020	0.409	-4.94	0.000	1.00
C*D	-0.457	0.409	-1.12	0.277	1.00

Regression Equation

Mean Volume = 259.055 - 3.418 A + 2.710 C - 4.820 D - 1.031 E - 6.313 C*C - 1.607 D*D
- 1.806 A*C + 1.054 A*D - 1.622 A*E - 2.020 B*D - 0.457 C*D

รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจากแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดที่พิจารณาจากเกณฑ์ที่กำหนด พบว่าสมการถดถอยประกอบด้วยปัจจัยนำเข้าดังนี้ A C D E AC AD AE BD CC CD และ DD โดยสมการถดถอยแสดงดังสมการที่ 4.13 และสมการถดถอยดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ และค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วเท่ากับ 96.35% และ 94.35% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วของสมการถดถอยที่มาจากแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดที่พิจารณาจากเกณฑ์ที่กำหนดมีค่ามากกว่าของสมการถดถอยแบบเต็มรูป ซึ่งสมการถดถอยในสมการที่ 4.11 มีปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องอย่างมีนัยสำคัญจำนวน 9 ปัจจัย ประกอบด้วย A C D E AC AD AE BD และ CC โดยการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ = 259.055 - 3.418 A + 2.710 C - 4.820 D - 1.031 E - 6.313 C*C - 1.607 D*D - 1.806 A*C + 1.054 A*D - 1.622 A*E - 2.020 D*B – 0.457 C*D (4.11)

3.3 การวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าทั้งในเทอมของผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

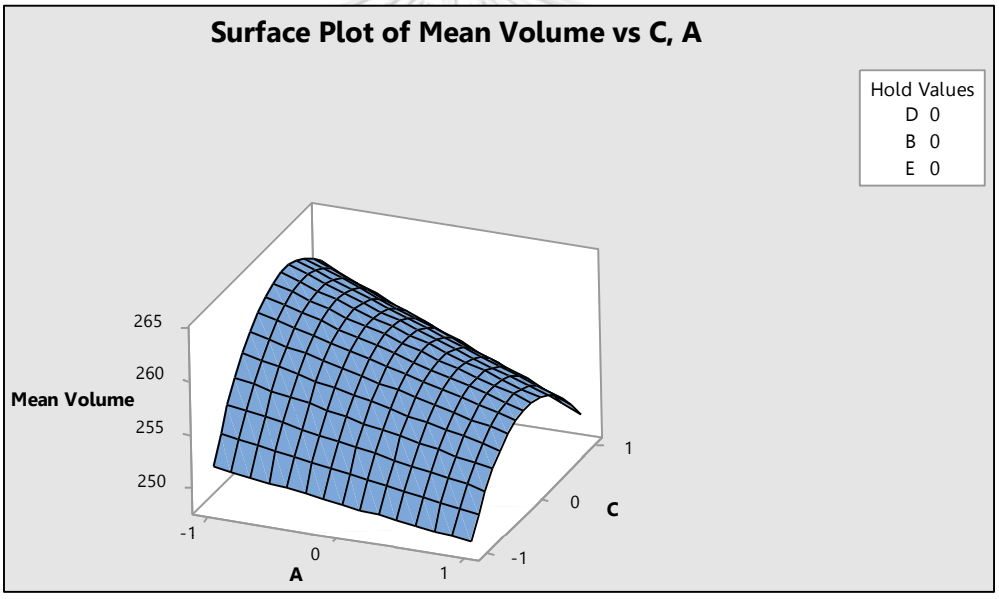
การวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองทางผู้วิจัยจึงใช้กราฟพื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) ในการวิเคราะห์ผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองซึ่งได้แก่ปัจจัย AC AD AE BD และ CC ส่วนการวิเคราะห์ผลกระทบหลักที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองซึ่งได้แก่ปัจจัย A C D และ E ไม่จำเป็นต้องอธิบายผลกระทบ เนื่องจากมีการอธิบายผลกระทบของปัจจัยดังกล่าวในเทอมของผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยแล้ว

ผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยคือ A และ C ที่มีต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้จากรูปที่ 4.16 โดยเมื่อความยาวของท่อระบาย (A) อยู่ที่ระดับต่ำ และระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 (C) เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปปานกลางจะทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้ปลายท่อระบาย หรือตำแหน่งที่น้ำผลิตภัณฑ์ต้องบรรจุ

ให้ถึงตำแหน่งนั้นอยู่ในตำแหน่งที่สูงจึงทำให้สามารถบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ได้มาก และที่ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ระดับต่ำ ช่องว่างในการไล่แก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องจะเปิดกว้างเป็นผลให้ในขั้นตอนการไล่แก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องซึ่งเป็นขั้นตอนหลังจากเครื่องบรรจุเติมน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องเรียบร้อยแล้ว น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องที่อยู่ในรูปแบบฟองจึงถูกไล่ออกจากกระป๋องจำนวนมาก เป็นเหตุผลให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าน้อย แต่เมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำ และระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องกลับมีค่าสูงมาก เพราะระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ที่ระดับปานกลางนั้น ความกว้างของช่องไล่แก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องมีความกว้างปานกลางเป็นผลให้จะมีเพียงแก๊ส CO_2 บางส่วนที่ลอยอยู่เหนือน้ำผลิตภัณฑ์ถูกไล่ออกจากกระป๋อง ดังนั้นค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจึงมีค่ามาก แต่เมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำและระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 เปลี่ยนแปลงจากระดับปานกลางไปสูงจะทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าลดลง เนื่องจากที่ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ระดับสูง ช่องว่างในการไล่แก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องจะเปิดแคบเป็นผลให้แก๊ส CO_2 ที่ลอยอยู่เหนือน้ำผลิตภัณฑ์สามารถออกจากกระป๋องได้ในปริมาณน้อยจึงทำให้ภายในกระป๋องมีแรงดันของแก๊สมาก น้ำผลิตภัณฑ์และน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองภายในกระป๋องจึงเกิดการปะทุ และล้นออกมาจากกระป๋อง ดังนั้นเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำ และระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 เปลี่ยนแปลงจากระดับปานกลางไปสูงค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจึงมีค่าลดลง และเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับสูง และระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปปานกลางจะทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำ เนื่องจากเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับสูงจะทำให้ปลายท่อระบายหรือตำแหน่งที่น้ำผลิตภัณฑ์ต้องบรรจุให้ถึงตำแหน่งนั้นอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำจึงทำให้สามารถบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์และน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองภายในกระป๋องได้น้อย ดังนั้นแม้ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 จะอยู่ระดับปานกลาง ซึ่งจะทำให้มีเพียงแก๊ส CO_2 บางส่วนที่ลอยอยู่เหนือน้ำผลิตภัณฑ์ถูกไล่ออกจากกระป๋อง ส่วนน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองภายในกระป๋อง เมื่อระยะเวลาผ่านไปน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองภายในกระป๋องเหล่านั้นจะเปลี่ยนเป็นน้ำผลิตภัณฑ์ แต่ก็สามารถเพิ่มปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องได้น้อยกว่าเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำ ในทางกลับกันเมื่อความยาวของท่อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ระบายอยู่ที่ระดับสูง และระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 เปลี่ยนแปลงจากระดับปานกลางไปสูงจะทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าลดลงเช่นกัน และลดลงมากกว่าเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำ เนื่องจากเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับสูงมีน้ำผลิตภัณฑ์และน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองภายในกระป๋องน้อยจึงทำให้มีปริมาณแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋องมาก เมื่อระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูงซึ่งช่องกว้างในการไล่แก๊ส CO_2 เปิดแคบจึงทำให้เกิดการปะทุที่ส่งผลให้น้ำผลิตภัณฑ์และน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองภายในกระป๋องล้นออกมาจากกระป๋องจำนวนมาก ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเมื่อระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 เปลี่ยนแปลงจากระดับปานกลางไปสูงจึงมีค่าลดลงมากกว่าเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำ

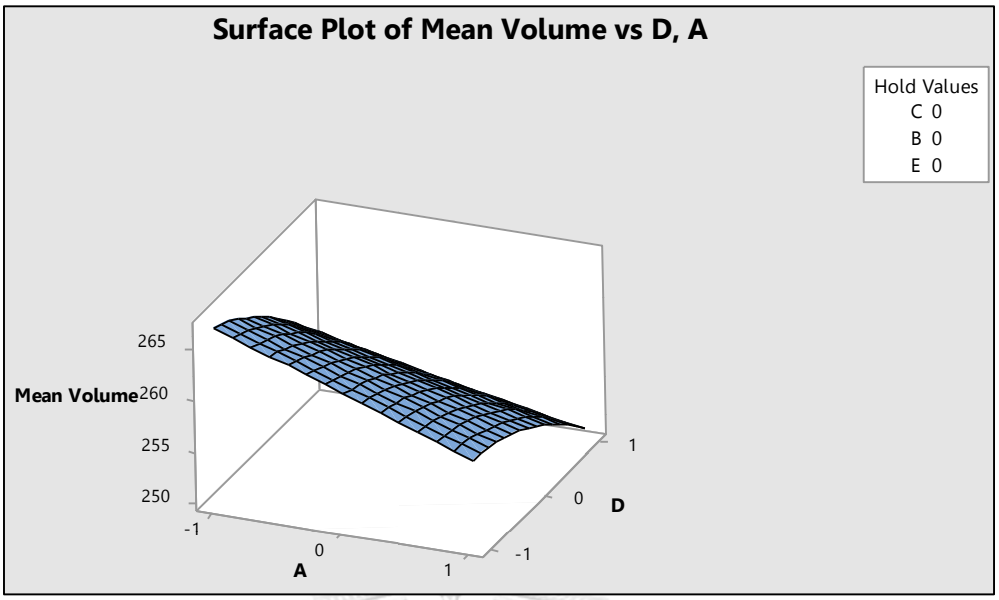


รูปที่ 4.16 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงความสัมพันธ์ของเทอมปัจจัยระหว่าง A และ C ที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์

ผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยคือ A และ D ที่มีต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้จากรูปที่ 4.17 โดยเมื่อความยาวของท่อระบาย (A) อยู่ที่ระดับต่ำ และระดับความดันภายในถังเก็บ (D) เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูงจะทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้ปลายท่อระบายหรือตำแหน่งที่น้ำผลิตภัณฑ์ต้องบรรจุให้ถึงตำแหน่งนั้นอยู่ใน

ตำแหน่งที่สูงจึงทำให้สามารถบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ได้มาก และเมื่อระดับความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับต่ำซึ่งทำให้ความเร็วในการบรรจุน้อย ปริมาณฟองภายในกระป๋องจึงมีปริมาณน้อยมากส่งผลให้สิ่งที่สัมผัสปลายท่อระบายจึงเป็นน้ำผลิตภัณฑ์ ดังนั้นเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำ และระดับความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับต่ำด้วยค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจึงมีค่ามาก ส่วนเมื่อความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำ และความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงจะทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าน้อย เนื่องจากระดับความดันภายในถังเก็บที่ระดับสูงจะทำให้ความเร็วในการบรรจุมาก ปริมาณฟองภายในกระป๋องจึงมีปริมาณมาก ดังนั้นแม้ความยาวท่อระบายจะอยู่ที่ระดับต่ำซึ่งทำให้ปลายท่อระบายอยู่ในตำแหน่งที่สูงจึงทำให้สามารถบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ได้มาก แต่ภายในกระป๋องมีปริมาณฟองมากจึงเป็นผลให้สิ่งที่สัมผัสปลายท่อระบายเป็นฟอง ดังนั้นค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจึงมีค่าน้อย และเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับสูง เมื่อระดับความดันภายในถังเก็บเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูงก็ทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าลดลงเช่นกัน แต่ลดลงน้อยกว่าเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำ เนื่องจากเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับสูงจะทำให้ปลายท่อระบายอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำจึงทำให้สามารถบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ได้น้อย เมื่อความดันภายในถังเก็บมีค่าต่ำซึ่งจะทำให้ความเร็วในการบรรจุน้อยทำให้เกิดปริมาณฟองภายในกระป๋องน้อยมาก และสิ่งที่สัมผัสปลายท่อระบายคือน้ำผลิตภัณฑ์ แต่ปลายท่อระบายอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำจึงทำให้สามารถบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ได้น้อย ส่วนเมื่อความดันภายในถังเก็บมีค่าสูงซึ่งจะทำให้ความเร็วในการบรรจุสูง และทำให้เกิดปริมาณฟองภายในกระป๋องมาก แต่เพราะปลายท่อระบายอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำจึงทำให้ปริมาณฟองภายในกระป๋องมีจำนวนไม่มาก และในเวลาต่อมาฟองเหล่านั้นบางส่วนจะเปลี่ยนเป็นน้ำผลิตภัณฑ์ ดังนั้นเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับสูง และระดับความดันภายในถังเก็บเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูงก็ทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าลดลง แต่ลดลงน้อยกว่าเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

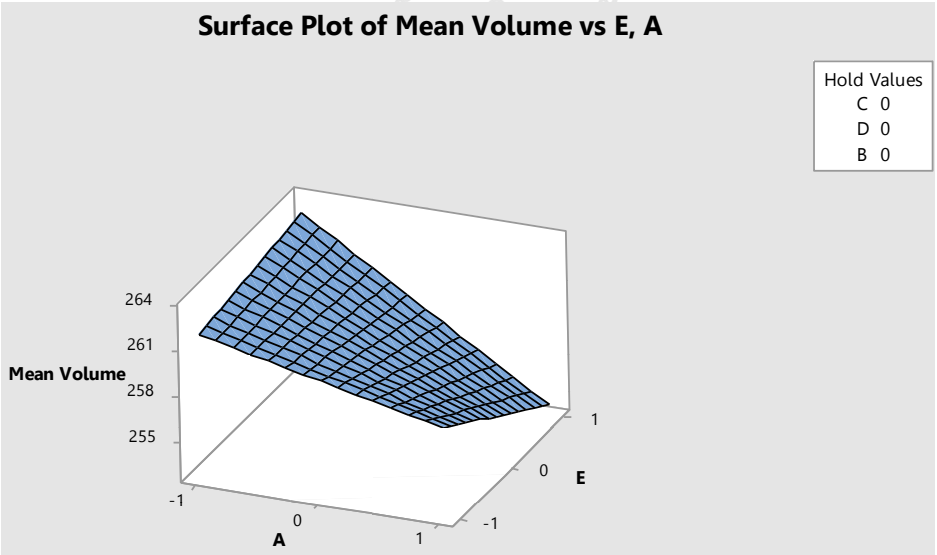


รูปที่ 4.17 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงความสัมพันธ์ของเทอมปัจจัยระหว่าง A และ D ที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์

ผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยคือ A และ E ที่มีต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้จากรูปที่ 4.18 โดยเมื่อความยาวของท่อระบาย (A) อยู่ที่ระดับต่ำ และระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ (E) เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูงจะทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้ปลายท่อระบาย หรือตำแหน่งที่น้ำผลิตภัณฑ์ต้องบรรจุให้ถึงตำแหน่งนั้นอยู่ในตำแหน่งที่สูงจึงทำให้สามารถบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ได้มาก และระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับต่ำซึ่งทำให้ความเร็วในการบรรจุน้อย ดังนั้นปริมาณฟองและน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองภายในกระป๋องจึงน้อยมากทำให้สิ่งที่สัมผัสปลายท่อระบายคือน้ำผลิตภัณฑ์ ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจึงมีค่าค่อยข้างมาก แต่เมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำ และระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงซึ่งจะทำให้ความเร็วในการบรรจุมาก ภายในกระป๋องจึงมีทั้งปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์และน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองมีจำนวนมาก เมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่งน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองเหล่านั้นจะเปลี่ยนเป็นน้ำผลิตภัณฑ์ซึ่งที่ความยาวท่อระบายระดับต่ำจะมีระยะเวลาในการบรรจุมากเพราะปลายท่อระบายอยู่ตำแหน่งสูง ดังนั้นน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองเหล่านั้นจึงมีเวลาที่สามารถเปลี่ยนเป็นน้ำผลิตภัณฑ์ทำให้สิ่งที่สัมผัสปลายท่อระบายคือน้ำผลิตภัณฑ์ อีกทั้งเมื่อบรรจุเสร็จจะมีน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองบางส่วนอยู่เหนือปลายท่อระบาย เนื่องจาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ความเร็วในการบรรจุมากจนไม่สามารถหยุดการบรรจุได้ทันทีเมื่อมีสิ่งสัมผัสปลายท่อระบายส่งผลให้เมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำ และระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจะมีค่ามากที่สุด ดังนั้นเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำ และระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูงจะทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับสูง และระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูงจะทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับสูงจะทำให้ปลายท่อระบายหรือตำแหน่งที่น้ำผลิตภัณฑ์ต้องบรรจุให้ถึงตำแหน่งนั้นอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำจึงทำให้สามารถบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ได้น้อย และเมื่อระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้ความเร็วในการบรรจุน้อย ภายในกระป๋องจึงมีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์และน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองมีจำนวนน้อยมาก สิ่งที่สัมผัสปลายท่อระบายคือน้ำผลิตภัณฑ์จึงทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่ามากกว่าเมื่อระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูง ส่วนเมื่อระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงจะทำให้ความเร็วในการบรรจุมากทำให้ภายในกระป๋องมีปริมาณฟองจำนวนมาก และเมื่ออยู่ที่ความยาวท่อระบายระดับสูงซึ่งมีระยะเวลาในการบรรจุน้อยเพราะปลายท่อระบายอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำจึงทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากสิ่งที่สัมผัสปลายท่อระบายคือฟองไม่ใช่น้ำผลิตภัณฑ์

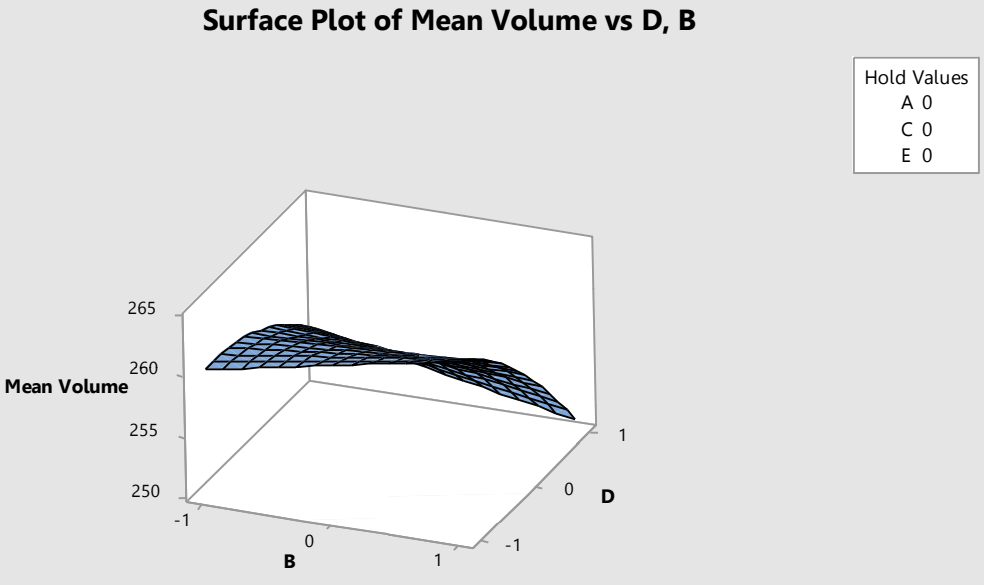


รูปที่ 4.18 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงความสัมพันธ์ของเทอมปัจจัยระหว่าง A และ E ที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์

ผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยคือ B และ D ที่มีต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้จากรูปที่ 4.19 โดยเมื่อระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 (B) อยู่ที่ระดับต่ำ และระดับความดันภายในถังเก็บ (D) เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูงจะทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำจะส่งผลให้ช่องว่างที่ใช้สำหรับเป็นทางเคลื่อนที่ของแก๊ส CO_2 ระหว่างถังเก็บกับกระป๋องมีขนาดกว้าง เมื่อระดับความดันภายในถังเก็บมีค่าต่ำจะทำให้ความเร็วในการบรรจุต่ำ ภายในกระป๋องจึงมีปริมาณฟองและปริมาณแก๊ส CO_2 น้อย ฉะนั้นเมื่อแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋องเคลื่อนที่สู่ถังเก็บจะเป็นผลให้ปริมาณแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋องคงเหลือน้อยมากทำให้ความดันแก๊สภายในกระป๋องน้อย น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจึงไม่เกิดการปะทุ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้น้ำผลิตภัณฑ์ล้นออกจากกระป๋อง ดังนั้นค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจึงมาก ส่วนเมื่อระดับความดันภายในถังเก็บมีค่าสูงจะทำให้ความเร็วในการบรรจุสูงเป็นผลให้ภายในกระป๋องมีปริมาณฟอง และปริมาณแก๊ส CO_2 มาก แม้ว่าช่องว่างที่ใช้สำหรับเป็นทางเคลื่อนที่ของแก๊ส CO_2 จากกระป๋องไปสู่ถังเก็บจะมีขนาดกว้าง แต่ภายในกระป๋องก็ยังมีปริมาณแก๊ส CO_2 มากทำให้ความดันแก๊สภายในกระป๋องมากส่งผลให้เกิดการปะทุ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้น้ำผลิตภัณฑ์ล้นออกจากกระป๋อง ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจึงน้อย ดังนั้นเมื่อระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำ และระดับความดันภายในถังเก็บเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูงจะทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าลดลง ส่วนเมื่อระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง และระดับความดันภายในถังเก็บเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูงทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าลดลงเช่นกัน แต่ลดลงมากกว่าที่ระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำ เนื่องจากเมื่อระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูงจะทำให้ช่องว่างที่ใช้สำหรับเป็นทางเคลื่อนที่ของแก๊ส CO_2 ระหว่างถังเก็บกับกระป๋องมีขนาดแคบ เมื่อความดันภายในถังเก็บมีค่าต่ำจะทำให้ความเร็วในการบรรจุต่ำ ภายในกระป๋องจึงมีปริมาณฟอง และปริมาณแก๊ส CO_2 น้อย ฉะนั้นเมื่อแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋องเคลื่อนที่สู่ถังเก็บจะเป็นผลให้ปริมาณแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋องมีน้อยมากทำให้ความดันแก๊สภายในกระป๋องน้อยส่งผลให้ไม่เกิดการปะทุซึ่งเป็นสาเหตุทำให้น้ำผลิตภัณฑ์ล้นออกจากกระป๋อง อีกทั้งที่ระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูงจะทำให้ช่องว่างในการเคลื่อนที่ของแก๊ส CO_2 ระหว่างถังเก็บกับกระป๋องมีขนาดแคบจึงมีเฉพาะแก๊ส CO_2 เท่านั้นที่ออกจากกระป๋อง น้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองไม่ได้ออกจากกระป๋องจึงทำให้เมื่อผ่านไประยะเวลาหนึ่งน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองเหล่านั้นกลายเป็นน้ำผลิตภัณฑ์ ดังนั้นเมื่อระดับวาล์วปิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง และระดับความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่ามากที่สุด แต่เมื่อระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง เมื่อความดันภายในถังเก็บมีค่าสูงจะทำให้ความเร็วในการบรรจุสูง ภายในกระป๋องจึงมีปริมาณฟอง และปริมาณแก๊ส CO_2 มาก และช่องว่างที่ใช้สำหรับเป็นทางเคลื่อนที่ของแก๊ส CO_2 จากกระป๋องไปสู่ถังเก็บมีขนาดแคบยิ่งทำให้ความดันแก๊สภายในกระป๋องมากจึงเกิดการปะทุรุนแรงซึ่งเป็นสาเหตุทำให้น้ำผลิตภัณฑ์ล้นออกจากกระป๋อง เมื่อระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง และระดับความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงจึงทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นเมื่อระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง และระดับความดันภายในถังเก็บเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูงจะทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าลดลงมากกว่าที่ระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำ



รูปที่ 4.19 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงความสัมพันธ์ของเทอมปัจจัยระหว่าง B และ D ที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์

4.3.7.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

1. การพิจารณาสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเพื่อเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดตามเกณฑ์ที่กำหนด

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.9 นำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการ Best Subsets Regression ในโปรแกรมมินิแทปจะได้สมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 4.20

Best Subsets Regression: S.D. Volume versus A, B, ...

Response is S.D. Volume

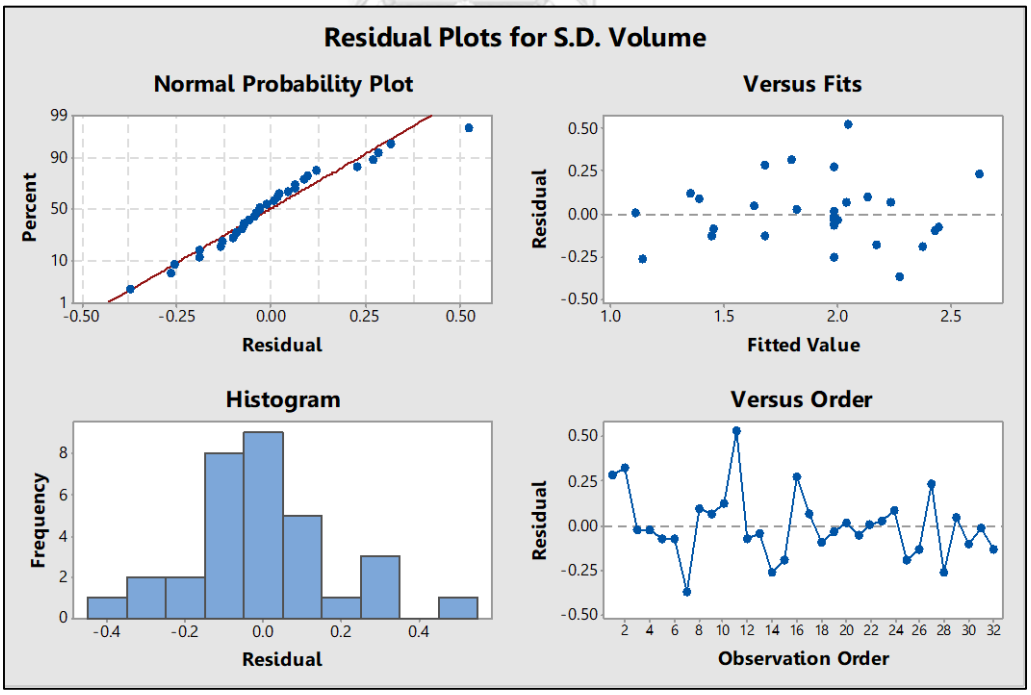
Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)	Mallows Cp	S	A	B	C	D	E	A A	A B	A C	A D	A E	B C	B D	B E	C D	C E	D E	B C	B D	B E	C D	C E	D E
1	22.2	19.7	7.6	20.7	0.37020								X														
1	13.6	10.7	0.0	26.2	0.39021																X						
2	35.9	31.4	15.0	14.2	0.34200								X								X						
2	34.4	29.9	14.5	15.1	0.34574				X				X														
3	48.0	42.5	25.4	8.6	0.31322				X				X								X						
3	47.9	42.3	23.3	8.7	0.31367								X				X				X						
4	60.1	54.2	38.3	3.0	0.27954				X				X				X				X						
4	52.9	45.9	26.7	7.5	0.30371				X				X								X	X					
5	64.9	58.2	40.6	2.0	0.26700				X				X				X				X	X					
5	64.3	57.5	42.6	2.4	0.26938				X	X			X				X				X						
6	69.2	61.8	45.7	1.3	0.25537				X	X			X				X				X	X					
6	68.0	60.4	39.4	2.0	0.25999				X				X				X			X	X	X					
7	72.3	64.2	47.4	1.4	0.24721				X	X			X				X			X	X	X					
7	71.7	63.5	45.9	1.7	0.24953				X	X			X	X			X				X	X					
8	74.8	66.1	49.0	1.8	0.24055				X	X			X	X			X			X	X	X					
8	74.3	65.4	40.5	2.1	0.24310				X	X			X				X			X	X	X					X
9	76.9	67.4	42.1	2.5	0.23581				X	X			X	X			X			X	X	X					X
9	76.6	67.0	48.9	2.7	0.23725				X	X			X	X			X			X	X	X	X				
10	78.6	68.4	41.9	3.4	0.23205				X	X			X	X			X			X	X	X	X				X
10	78.5	68.2	41.1	3.5	0.23292				X	X			X	X	X		X				X	X					X
11	80.2	69.3	42.0	4.4	0.22877				X	X			X	X	X		X				X	X	X				X
11	79.4	68.1	36.8	4.9	0.23336				X	X			X	X		X	X				X	X	X				X
12	81.0	69.0	36.9	5.9	0.23000				X	X			X	X	X	X	X				X	X	X				X
12	80.7	68.4	40.8	6.1	0.23200		X		X	X			X	X	X		X				X	X	X				X
13	81.4	68.0	36.4	7.6	0.23346		X		X	X			X	X	X	X	X				X	X	X				X
13	81.4	67.9	30.4	7.7	0.23400				X	X	X		X	X	X	X	X				X	X	X				X
14	81.8	66.8	30.0	9.4	0.23782		X		X	X	X		X	X	X	X	X				X	X	X				X
14	81.8	66.8	23.8	9.4	0.23809	X	X		X	X			X	X	X	X	X				X	X	X				X
15	82.1	65.4	17.3	11.2	0.24292	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X				X	X	X				X
15	82.0	65.2	12.0	11.3	0.24357		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X				X
16	82.4	63.6	0.0	13.0	0.24925	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X				X
16	82.2	63.2	3.8	13.2	0.25067	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X				X	X	X	X	X		X
17	82.4	61.0	0.0	15.0	0.25777	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X		X
17	82.4	61.0	0.0	15.0	0.25787	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X		X	X	X
18	82.4	58.1	0.0	17.0	0.26726	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X
18	82.4	58.1	0.0	17.0	0.26741	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X		X
19	82.5	54.7	0.0	19.0	0.27808	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X
19	82.4	54.6	0.0	19.0	0.27815	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X
20	82.5	50.6	0.0	21.0	0.29041	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X

รูปที่ 4.20 สมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเมื่อตัวแปรตอบสนองคือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

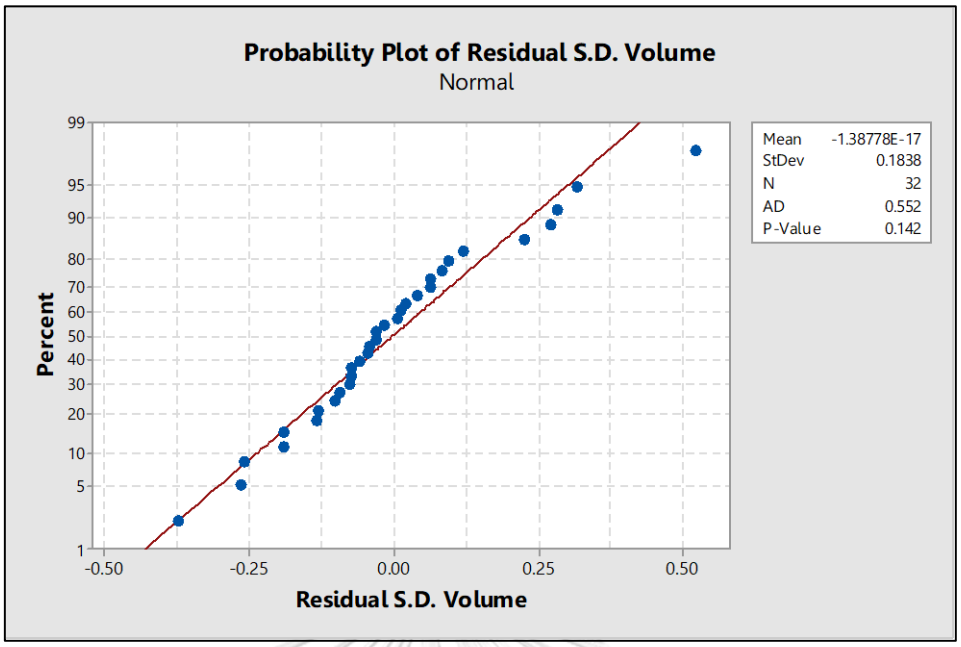
พิจารณาสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดจากสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดโดยเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วสูงสุดมีค่าเท่ากับ 69.3 ซึ่งมีสมการถดถอยที่มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วสูงที่สุด คือสมการที่มีตัวแปรอิสระ D E AC AD AE BD CD CE DE CC และ EE อยู่ในสมการ ดังนั้นจึงตัดสินใจเลือกสมการที่มีตัวแปรอิสระ D E AC AD AE BD CD CE DE CC และ EE เป็นสมการถดถอยในการทำนายค่าส่วนเบนเบี่ยงมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

2. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจะประกอบด้วยสมมติฐาน 3 ข้อ คือ สมมติฐานของการแจกแจงปกติ สมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล และสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ ซึ่งสมมติฐานดังกล่าวสามารถพิจารณาได้จากการกระจายตัวส่วนตกค้างของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องดังแสดงในรูปที่ 4.21 และสมมติฐานของการแจกแจงปกติยังสามารถพิจารณาได้จากกราฟความน่าจะเป็นของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องดังแสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.21 การกระจายตัวส่วนตกค้างของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง



รูปที่ 4.22 กราฟความน่าจะเป็นของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

- การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption)

การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติสามารถดูได้จากกราฟ Normal Probability Plot ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) ที่จัดเรียงตัวอยู่ตามแนวเส้นตรง และมีค่า P-value ของการทดสอบการแจกแจงแบบปกติเท่ากับ 0.142 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 และจากกราฟอิสโตแกรมที่แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability)

การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่สามารถดูได้จากกราฟ Residual Versus Fitted Value ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างรอบแนวแกนศูนย์ โดยข้อมูลมีการกระจายตัวแบบสุ่ม (ไม่มีรูปแบบ) และข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวในรูปแบบที่คล้ายกรวยปากเปิด จึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีค่าความแปรปรวนคงที่

- การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Residual)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูลสามารถดูได้จากกราฟ Residual Versus Observation Order ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่ไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มหรือรูปร่างที่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน

3. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับตัวแปรตอบสนอง

เมื่อแบบจำลองถูกต้องตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อดังได้กล่าวมาข้างต้น ทางผู้วิจัยจึงวิเคราะห์ผลการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์แบบเต็มรูป (Full Model)

การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์แบบเต็มรูป (Full Model) จะใช้โปรแกรมมินิแทปในการวิเคราะห์หาความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.05 ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.23

Response Surface Regression: S.D. Volume versus A, B, C, D, E

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	20	4.35980	0.21799	2.58	0.054
Linear	5	0.90978	0.18196	2.16	0.134
A	1	0.01732	0.01732	0.21	0.659
B	1	0.02409	0.02409	0.29	0.604
C	1	0.00018	0.00018	0.00	0.964
D	1	0.64500	0.64500	7.65	0.018
E	1	0.22318	0.22318	2.65	0.132
Square	5	0.38671	0.07734	0.92	0.505
A*A	1	0.01623	0.01623	0.19	0.669
B*B	1	0.00238	0.00238	0.03	0.870
C*C	1	0.18541	0.18541	2.20	0.166
D*D	1	0.00168	0.00168	0.02	0.890
E*E	1	0.11088	0.11088	1.31	0.276
2-Way Interaction	10	3.06331	0.30633	3.63	0.023
A*B	1	0.01231	0.01231	0.15	0.710
A*C	1	1.17609	1.17609	13.94	0.003
A*D	1	0.13590	0.13590	1.61	0.230
A*E	1	0.08405	0.08405	1.00	0.340
B*C	1	0.04162	0.04162	0.49	0.497
B*D	1	0.63704	0.63704	7.55	0.019
B*E	1	0.00063	0.00063	0.01	0.933
C*D	1	0.16357	0.16357	1.94	0.191
C*E	1	0.09255	0.09255	1.10	0.317
D*E	1	0.71954	0.71954	8.53	0.014
Error	11	0.92775	0.08434		
Lack-of-Fit	6	0.92211	0.15369	136.33	0.000
Pure Error	5	0.00564	0.00113		
Total	31	5.28755			

รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องแบบสมการความสัมพันธ์เต็มรูป

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.290415	82.45%	50.55%	0.00%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		1.9932	0.0830	24.02	0.000	
A	-0.0620	-0.0310	0.0685	-0.45	0.659	1.00
B	0.0732	0.0366	0.0685	0.53	0.604	1.00
C	0.0064	0.0032	0.0685	0.05	0.964	1.00
D	-0.3786	-0.1893	0.0685	-2.77	0.018	1.00
E	-0.2227	-0.1114	0.0685	-1.63	0.132	1.00
A*A	-0.162	-0.081	0.185	-0.44	0.669	3.20
B*B	-0.062	-0.031	0.185	-0.17	0.870	3.20
C*C	-0.549	-0.274	0.185	-1.48	0.166	3.20
D*D	0.052	0.026	0.185	0.14	0.890	3.20
E*E	0.425	0.212	0.185	1.15	0.276	3.20
A*B	-0.0555	-0.0277	0.0726	-0.38	0.710	1.00
A*C	0.5422	0.2711	0.0726	3.73	0.003	1.00
A*D	0.1843	0.0922	0.0726	1.27	0.230	1.00
A*E	-0.1450	-0.0725	0.0726	-1.00	0.340	1.00
B*C	-0.1020	-0.0510	0.0726	-0.70	0.497	1.00
B*D	0.3991	0.1995	0.0726	2.75	0.019	1.00
B*E	0.0125	0.0063	0.0726	0.09	0.933	1.00
C*D	0.2022	0.1011	0.0726	1.39	0.191	1.00
C*E	0.1521	0.0761	0.0726	1.05	0.317	1.00
D*E	0.4241	0.2121	0.0726	2.92	0.014	1.00

Regression Equation in Uncoded Units

S.D. Volume = 1.9932 - 0.0310 A + 0.0366 B + 0.0032 C - 0.1893 D - 0.1114 E - 0.081 A*A
- 0.031 B*B - 0.274 C*C + 0.026 D*D + 0.212 E*E - 0.0277 A*B + 0.2711 A*C
+ 0.0922 A*D - 0.0725 A*E - 0.0510 B*C + 0.1995 B*D + 0.0063 B*E + 0.1011 C*D
+ 0.0761 C*E + 0.2121 D*E

รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องแบบสมการความสัมพันธ์เต็มรูป (ต่อ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องแบบสมการความสัมพันธ์เต็มรูปพบว่าสมการถดถอยแบบเต็มรูปจะมีปัจจัยนำเข้าจำนวน 16 ปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องอยู่ในสมการ และสมการถดถอยมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ และค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วเท่ากับ 82.20% และ 50.55% ตามลำดับ

3.2 การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้าและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจากแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดที่พิจารณาจากเกณฑ์ที่กำหนด (Best Subsets Model)

การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้าและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจากแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดที่พิจารณาจากเกณฑ์ที่กำหนด จะใช้โปรแกรมมินิแทปในการวิเคราะห์ โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.24

Regression Analysis: S.D. Volume versus A, C, D, B, E

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	11	4.24080	0.38553	7.37	0.000
D	1	0.64500	0.64500	12.32	0.002
E	1	0.22318	0.22318	4.26	0.052
C*C	1	0.33845	0.33845	6.47	0.019
E*E	1	0.10749	0.10749	2.05	0.167
A*C	1	1.17609	1.17609	22.47	0.000
A*D	1	0.13590	0.13590	2.60	0.123
A*E	1	0.08405	0.08405	1.61	0.220
C*D	1	0.16357	0.16357	3.13	0.092
C*E	1	0.09255	0.09255	1.77	0.199
D*B	1	0.63704	0.63704	12.17	0.002
D*E	1	0.71954	0.71954	13.75	0.001
Error	20	1.04675	0.05234		
Lack-of-Fit	15	1.04111	0.06941	61.57	0.000
Pure Error	5	0.00564	0.00113		
Total	31	5.28755			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.228774	80.20%	69.32%	41.97%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1.9862	0.0636	31.23	0.000	
D	-0.1893	0.0539	-3.51	0.002	1.00
E	-0.1114	0.0539	-2.07	0.052	1.00
C*C	-0.311	0.122	-2.54	0.019	2.26
E*E	0.175	0.122	1.43	0.167	2.26
A*C	0.2711	0.0572	4.74	0.000	1.00
A*D	0.0922	0.0572	1.61	0.123	1.00
A*E	-0.0725	0.0572	-1.27	0.220	1.00
C*D	0.1011	0.0572	1.77	0.092	1.00
C*E	0.0761	0.0572	1.33	0.199	1.00
D*B	0.1995	0.0572	3.49	0.002	1.00
D*E	0.2121	0.0572	3.71	0.001	1.00

Regression Equation

S.D. Volume = 1.9862 - 0.1893 D - 0.1114 E - 0.311 C*C + 0.175 E*E + 0.2711 A*C + 0.0922 A*D
- 0.0725 A*E + 0.1011 C*D + 0.0761 C*E + 0.1995 D*B + 0.2121 D*E

รูปที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจากแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดที่พิจารณาจากเกณฑ์ที่กำหนด พบว่าสมการถดถอยประกอบด้วยปัจจัยนำเข้าดังนี้ D E AC AD AE BD CD CE DE CC และ EE โดยสมการถดถอยแสดงดังสมการที่ 4.14 และสมการถดถอยดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ และค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วเท่ากับ 80.20% และ 69.32% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วของสมการถดถอยที่มาจากแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดที่พิจารณาจากเกณฑ์ที่กำหนดมีค่ามากกว่าของสมการถดถอยแบบเต็มรูป ซึ่งสมการถดถอยในสมการที่ 4.12 มีปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องอย่างมีนัยสำคัญจำนวน 5 ปัจจัยประกอบด้วย D AC BD DE และ CC โดยการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ = 1.9862 - 0.1893 D - 0.1114 E - 0.311 C*C + 0.175 E*E + 0.2711 A*C + 0.0922 A*D - 0.0725 A*E + 0.1011 C*D + 0.0761 C*E + 0.1995 D*B + 0.2121 D*E (4.12)

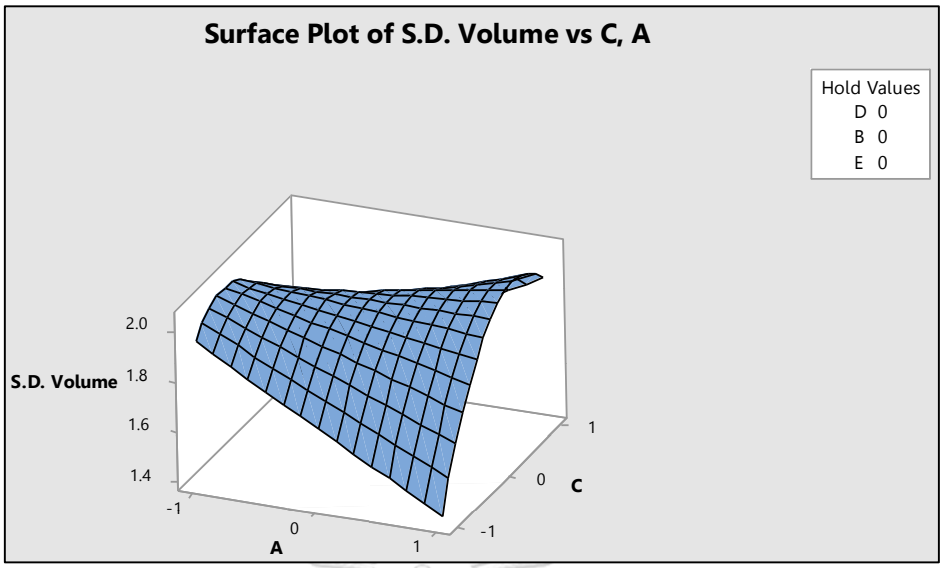
3.3 การวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าทั้งในเทอมของผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

การวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองทางผู้วิจัยจึงใช้กราฟพื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) ในการวิเคราะห์ผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองซึ่งได้แก่ปัจจัย AC BD และ DE ส่วนการวิเคราะห์เทอมปัจจัย D และ CC ไม่จำเป็นต้องอธิบายผลกระทบ เนื่องจากมีการอธิบายผลกระทบของปัจจัยดังกล่าวในเทอมของผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยแล้ว

ผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยคือ A และ C ที่มีต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้จากรูปที่ 4.25 โดยเมื่อความยาวท่อระบาย (A) อยู่ที่ระดับต่ำ และระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 (C) เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปปานกลางจะส่งผลกระทบให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเมื่อความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้ปลายท่อระบาย หรือตำแหน่งที่น้ำผลิตภัณฑ์

ต้องบรรจุให้ถึงตำแหน่งนั้นอยู่ในตำแหน่งที่สูงจึงทำให้มีระยะเวลาในการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องมาก และมีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์รวมทั้งน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองภายในกระป๋องมาก ซึ่งการมีระยะเวลาในการบรรจุมากและมีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองมากจะทำให้ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายหลังการบรรจุมีปริมาตรที่แตกต่าง เนื่องจากเมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่งน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองเหล่านั้นจะกลายเป็นน้ำผลิตภัณฑ์ ซึ่งแต่ละกระป๋องนั้นน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองจะเปลี่ยนเป็นน้ำผลิตภัณฑ์ในปริมาตรที่แตกต่างกันทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจึงมีค่าสูง และเมื่อวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำจะมีช่องว่างในการไล่แก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องกว้าง ดังนั้นน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองภายในกระป๋องจึงถูกไล่ออกจากกระป๋องในปริมาณมาก เมื่อปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองมีอยู่ภายในกระป๋องน้อยจึงทำให้เมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่งน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองเหล่านั้นจะกลายเป็นน้ำผลิตภัณฑ์ในปริมาตรที่ไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นเมื่อความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำ และระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องสูงแต่สูงน้อยกว่าเมื่อระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับปานกลาง เพราะระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับปานกลางจะมีช่องว่างระดับปานกลางในการไล่แก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องซึ่งทำให้จะมีเพียงแก๊ส CO_2 เท่านั้นที่ถูกไล่ออกจากกระป๋อง ปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองจึงมีอยู่ภายในกระป๋องมาก เมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่งน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองเหล่านั้นจะกลายเป็นน้ำผลิตภัณฑ์ในปริมาตรแตกต่างกันมากในแต่ละกระป๋อง ดังนั้นเมื่อความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำ และระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับปานกลางจะทำให้มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องสูงมาก และเมื่อความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำ และระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 เปลี่ยนแปลงจากระดับปานกลางไปสูงจะส่งผลกระทบให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูงจะมีช่องว่างในการไล่แก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องที่แคบมากจึงทำให้ทั้งแก๊ส CO_2 และน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองแทบไม่ได้ออกจากกระป๋อง ฉะนั้นเมื่อระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง กระป๋องก็เหมือนอยู่ในสภาวะปิดไม่มีการแลกเปลี่ยนระหว่างแก๊สหรือฟองภายในกระป๋องกับภายนอก ดังนั้นจึงมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อย และเมื่อความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับสูง และระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปปานกลางจะส่งผลกระทบให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่เพิ่มขึ้นมากกว่าที่ความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำเนื่องจากเมื่อความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับสูงจะทำให้ปลายท่อระบาย หรือตำแหน่งที่น้ำผลิตภัณฑ์ต้องบรรจุให้ถึงตำแหน่งนั้นอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำจึงทำให้มีระยะเวลาในการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องน้อย และมีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์รวมทั้งน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองภายในกระป๋องน้อย ซึ่ง

เมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่งน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองเหล่านั้นจะกลายเป็นน้ำผลิตภัณฑ์ โดยแต่ละกระป๋องนั้นน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองจะเปลี่ยนเป็นน้ำผลิตภัณฑ์ในปริมาตรที่แตกต่างกัน เมื่อมีน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองภายในกระป๋องน้อยจึงทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจึงมีค่าน้อย และเมื่อวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำจะมีช่องว่างในการไล่แก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องกว้าง ดังนั้นเมื่อมีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองภายในกระป๋องน้อย และช่องว่างในการไล่แก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องเปิดกว้างทำให้ภายในกระป๋องไม่มีน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟอง ดังนั้นเมื่อความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับสูง และระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำจึงมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องน้อยที่สุด ส่วนวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับปานกลางจะมีช่องว่างในการไล่แก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องในระดับปานกลางซึ่งไล่ได้เฉพาะแก๊ส CO_2 ทำให้ภายในกระป๋องยังมีน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองอยู่มาก และแต่ละกระป๋องก็เหลือผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับสูง และเปลี่ยนแปลงระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 จากระดับต่ำไปปานกลางจะทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แต่เมื่อความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับสูง และระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 เปลี่ยนแปลงจากระดับปานกลางไปสูงจะส่งผลกระทบให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ลดลงเช่นกัน แต่ลดลงน้อยกว่าที่ความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำ เนื่องจากเมื่อความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับสูงถึงแม้จะทำให้มีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองภายในกระป๋องน้อย แต่ก็จะทำให้มีปริมาณแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋องมากซึ่งเมื่อระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูงจะมีช่องว่างในการไล่แก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องเปิดแคบมากจึงทำให้แรงดันแก๊สภายในกระป๋องมากเป็นเหตุให้เกิดการการปะทุ ซึ่งจะทำให้น้ำผลิตภัณฑ์ล้นออกจากกระป๋องในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับสูง และระดับวาล์วไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 เปลี่ยนแปลงจากระดับปานกลางไปสูงจะส่งผลกระทบให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ลดลงเช่นกัน แต่ลดลงน้อยกว่าที่ความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำ

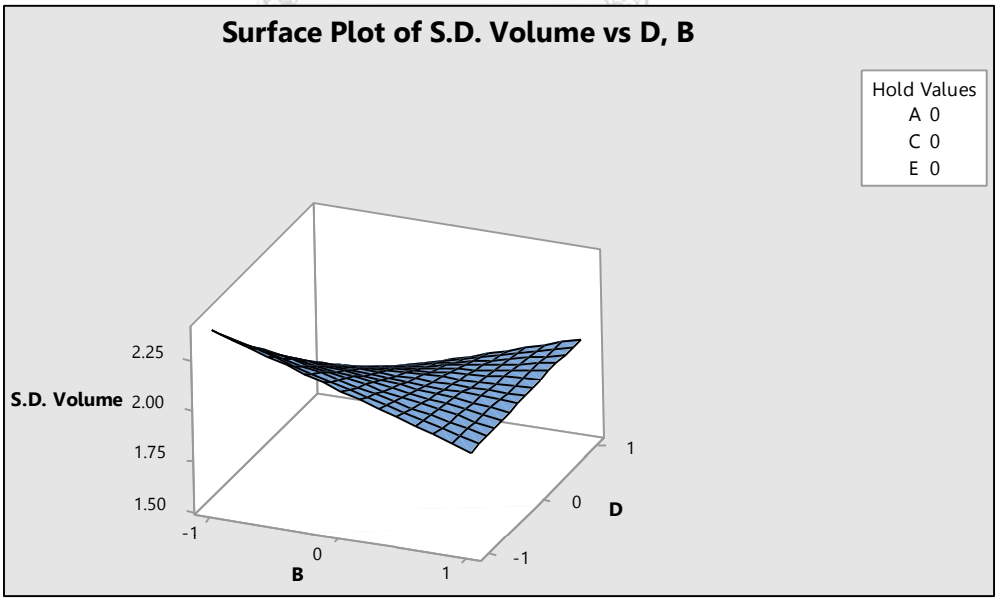


รูปที่ 4.25 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงความสัมพันธ์ของเทอมปัจจัยระหว่าง A และ C ที่มีผลกระทบต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์

ผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยคือ B และ D ที่มีต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้จากรูปที่ 4.26 โดยเมื่อระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 (B) อยู่ที่ระดับต่ำ เมื่อระดับความดันภายในถังเก็บ (D) เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูง จะส่งผลกระทบให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากเมื่อระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำจะส่งผลให้ช่องว่างที่ใช้สำหรับเป็นทางเคลื่อนที่ของแก๊ส CO_2 ระหว่างถังเก็บกับกระป๋องมีขนาดกว้าง ซึ่งถ้าความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้ความเร็วในการบรรจุต่ำ ภายในกระป๋องจึงมีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟอง และปริมาณแก๊ส CO_2 น้อย แต่เนื่องจากช่องว่างที่ใช้สำหรับเป็นทางเคลื่อนที่ของแก๊ส CO_2 จากกระป๋องสู่ถังเก็บมีขนาดกว้างจึงทำให้ในแต่ละกระป๋องมีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟอง และปริมาณแก๊ส CO_2 เคลื่อนที่ออกจากกระป๋องแตกต่างกันส่งผลให้เกิดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูง แต่ถ้าความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงจะทำให้ความเร็วในการบรรจุสูง ภายในกระป๋องจึงมีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟอง และปริมาณแก๊ส CO_2 สูง ฉะนั้นถึงแม้ว่าช่องว่างที่ใช้สำหรับเป็นทางเคลื่อนที่ของแก๊ส CO_2 จากกระป๋องสู่ถังเก็บจะมีขนาดกว้าง แต่จะมีเพียงแก๊ส CO_2 จำนวนมากเท่านั้นที่เคลื่อนที่ออกจากกระป๋องสู่ถังเก็บเป็นผลให้ในแต่ละกระป๋องไม่สูญเสียปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟอง ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองจะกลายเป็นน้ำผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในแต่ละกระป๋องจึงมีปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกันเป็นผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำที่ระดับความดันภายในถังเก็บที่ระดับต่ำจะส่งผลให้เกิดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงกว่าระดับความ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

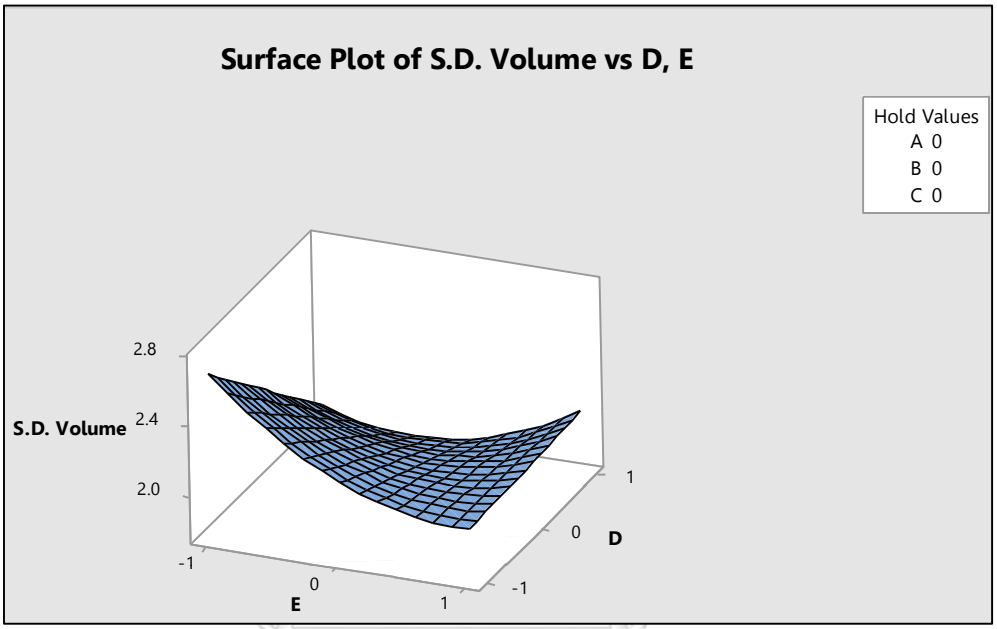
ดันภายในถังเก็บที่ระดับสูง ในทางกลับกันเมื่อระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง เมื่อระดับความดันภายในถังเก็บเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูงจะส่งผลกระทบให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูงจะส่งผลให้ช่องว่างที่ใช้สำหรับเป็นทางเคลื่อนที่ของแก๊ส CO_2 ระหว่างถังเก็บกับกระป๋องมีขนาดแคบมาก เมื่อระดับความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้ความเร็วในการบรรจุต่ำ ภายในกระป๋องจึงมีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟอง และปริมาณแก๊ส CO_2 น้อย และเนื่องจากช่องว่างที่ใช้สำหรับเป็นทางเคลื่อนที่ของแก๊ส CO_2 จากกระป๋องสู่ถังเก็บมีขนาดแคบจึงทำให้มีเพียงแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋องซึ่งมีจำนวนน้อยเท่านั้นที่เคลื่อนที่ออกจากกระป๋องสู่ถังเก็บ ดังนั้นในแต่ละกระป๋องจึงมีปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกันเป็นผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ ส่วนเมื่อระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง และความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงจะทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาก เนื่องจากความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงจะทำให้ความเร็วในการบรรจุสูง ภายในกระป๋องจึงมีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟอง และปริมาณแก๊ส CO_2 มาก อีกทั้งช่องว่างที่ใช้สำหรับเป็นทางเคลื่อนที่ของแก๊ส CO_2 จากกระป๋องสู่ถังเก็บจะมีขนาดแคบจึงทำให้แก๊ส CO_2 เคลื่อนที่ออกจากกระป๋องสู่ถังเก็บได้น้อยมาก ดังนั้นแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋องจึงมีปริมาณมากทำให้เกิดการปะทุของน้ำผลิตภัณฑ์ และน้ำผลิตภัณฑ์ก็จะล้นออกจากกระป๋องในปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละกระป๋อง ดังนั้นเมื่อระดับวาล์วปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับสูง เมื่อระดับความดันภายในถังเก็บเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูงจะส่งผลกระทบให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.26 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงความสัมพันธ์ของเทอมปัจจัยระหว่าง B และ D ที่มีผลกระทบต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์

ผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยคือ D และ E ที่มีต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้จากรูปที่ 4.27 โดยเมื่อความดันภายในถังเก็บ (D) อยู่ที่ระดับต่ำ และระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ (E) เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูง จะส่งผลกระทบให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากเมื่อระดับความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับต่ำจะส่งผลให้ความเร็วในการบรรจุช้า และที่ระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับต่ำก็จะส่งผลให้ความเร็วในการบรรจุช้าเช่นกัน ฉะนั้นเมื่อความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับต่ำ และระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับต่ำสภาวะนี้เป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการบรรจุเพราะน้ำผลิตภัณฑ์จะไหลช้าจนมีการไหลตัวของน้ำผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอจึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำผลิตภัณฑ์มาก ส่วนเมื่อระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงจะส่งผลให้ความเร็วในการบรรจุเร็ว ทำให้เมื่อความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับต่ำ และระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับต่ำจึงทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมในการบรรจุเพราะน้ำผลิตภัณฑ์จะไหลด้วยความเร็วที่เหมาะสม การไหลตัวของน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องจึงสม่ำเสมอดังนั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำผลิตภัณฑ์จึงมีค่าน้อย แต่ในทางกลับกันเมื่อความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูง และระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปปานกลางจะส่งผลกระทบให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากเมื่อระดับความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงจะส่งผลให้ความเร็วในการบรรจุเร็ว เพราะมีแรงดันให้น้ำผลิตภัณฑ์ให้ลงสู่กระป๋องมาก และที่ระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับต่ำ คือภายในถังเก็บน้ำผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์น้อย ซึ่งเมื่อน้ำผลิตภัณฑ์ปริมาณน้อยถูกดันด้วยความดันภายในถังเก็บระดับสูงจึงทำให้น้ำผลิตภัณฑ์ไหลลงกระป๋องไม่เป็นเส้นอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นเมื่อความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูง และระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับต่ำจะส่งผลกระทบให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มีค่ามาก ส่วนระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับปานกลางคือภายในถังเก็บน้ำผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งเมื่อน้ำผลิตภัณฑ์ถูกดันด้วยความดันภายในถังเก็บระดับสูงจึงทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมในการบรรจุเพราะน้ำผลิตภัณฑ์ไหลด้วยความเร็วที่เหมาะสม การไหลตัวของน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋อง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจึงน้อย ดังนั้นเมื่อความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูง และระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปปานกลางจะส่งผลกระทบให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ลดลง แต่เมื่อความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูง และระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บเปลี่ยนแปลงจากระดับปานกลางไปสูงกลับส่งผลกระทบให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงจะส่งผลให้ความเร็วในการบรรจุเร็ว ซึ่งเมื่อระดับความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงก็จะส่งให้ความเร็วในการบรรจุเร็วเช่นกัน ฉะนั้นเมื่อระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถัง

เก็บอยู่ที่ระดับสูงและระดับความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงด้วยจึงจะส่งผลให้ความเร็วในการบรรจุเร็วมาก เมื่อความเร็วในการบรรจุเร็วมากจะทำให้เกิดฟองภายในกระป๋องจำนวนมากส่งผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มีค่าสูง ดังนั้นระดับความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงเมื่อระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงจะทำให้เกิดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำผลิตภัณฑ์สูงกว่าที่ระดับความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับปานกลาง



รูปที่ 4.27 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงความสัมพันธ์ของเทอมปัจจัยระหว่าง D และ E ที่มีผลกระทบต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3.7.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ

1. การพิจารณาสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเพื่อเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดตามเกณฑ์ที่กำหนด

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.9 นำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการ Best Subsets Regression ในโปรแกรมมินิแทปจะได้สมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 4.28

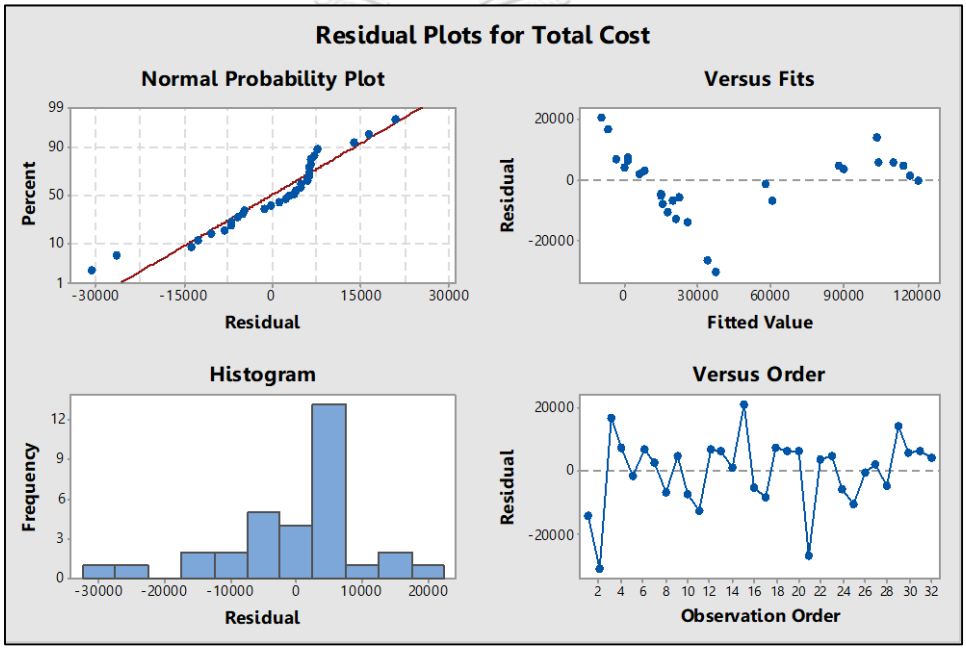
Best Subsets Regression: Total Cost versus A, B, ...

Response is Total Cost

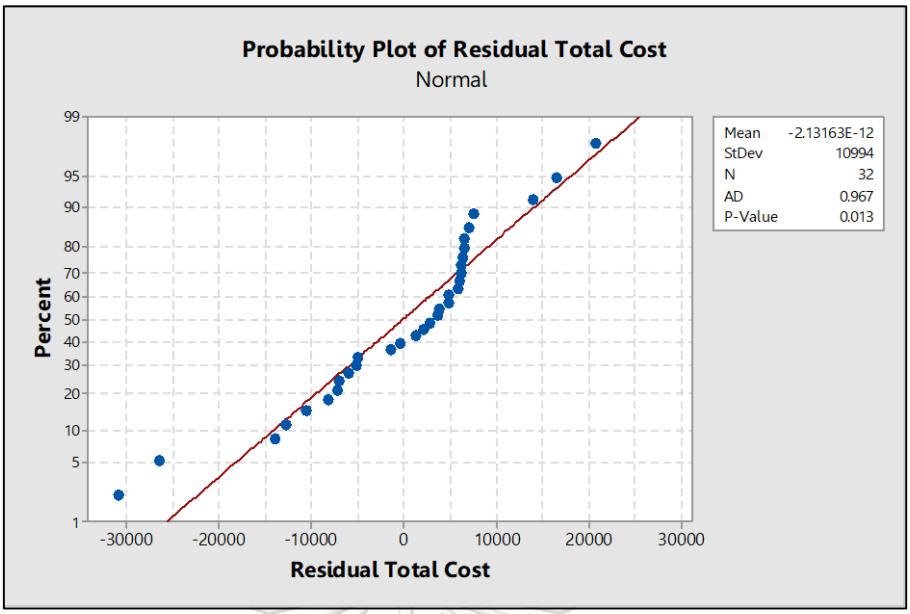
Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)	Mallows Cp	S	A	B	C	D	E	A A	A B	A C	A D	A E	B C	B D	B E	C D	C E	D E	B C D	B C E	B D E	C D E
1	32.8	30.6	24.7	111.0	37670																	X			
1	32.7	30.5	24.5	111.2	37707																				X
2	48.7	45.2	36.1	80.1	33483				X													X			
2	48.6	45.0	36.0	80.4	33526				X																X
3	60.7	56.5	46.4	57.2	29811	X			X													X			
3	60.6	56.4	46.3	57.5	29860	X			X																X
4	65.7	60.6	48.7	49.0	28391	X		X	X													X			
4	65.5	60.4	48.6	49.3	28445	X		X	X																X
5	70.4	64.7	51.0	41.3	26879	X		X	X													X			X
5	70.2	64.5	48.1	41.6	26943	X		X	X													X		X	
6	74.8	68.8	53.1	34.1	25271	X		X	X						X							X			X
6	74.7	68.6	50.2	34.4	25342	X		X	X						X							X		X	
7	78.9	72.7	55.7	27.7	23622	X		X	X						X		X					X			X
7	78.7	72.5	52.9	28.0	23701	X		X	X						X		X					X		X	
8	82.5	76.4	59.0	22.3	21979	X		X	X						X		X	X				X			X
8	82.3	76.2	56.2	22.6	22068	X		X	X						X		X	X				X		X	
9	85.3	79.3	62.3	18.3	20555	X		X	X						X		X	X		X		X			X
9	85.2	79.1	59.4	18.6	20654	X		X	X						X		X	X		X		X		X	
10	87.1	81.0	60.9	16.6	19715	X		X	X						X		X	X		X		X		X	X
10	87.1	81.0	62.0	16.7	19720	X		X	X			X			X		X	X		X		X			X
11	88.8	82.7	61.8	15.1	18818	X		X	X						X		X	X	X	X		X		X	X
11	88.8	82.7	62.9	15.1	18824	X		X	X			X			X		X	X	X	X		X			X
12	90.0	83.7	60.9	14.7	18278	X		X	X					X	X		X	X	X	X		X		X	X
12	90.0	83.6	62.0	14.7	18284	X		X	X			X		X	X		X	X	X	X		X			X
13	91.1	84.7	62.5	14.4	17691	X		X	X	X				X	X		X	X	X	X		X		X	X
13	91.1	84.7	63.6	14.4	17698	X		X	X	X		X		X	X		X	X	X	X		X			X
14	92.1	85.5	60.2	14.4	17194	X		X	X	X		X		X	X		X	X	X	X		X		X	X
14	92.0	85.5	63.0	14.5	17241	X		X	X	X			X	X	X		X	X	X	X		X		X	X
15	93.0	86.4	60.8	14.5	16669	X		X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X		X		X	X
15	92.9	86.3	63.5	14.6	16740	X		X	X	X			X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X
16	93.5	86.6	58.4	15.4	16525	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X
16	93.5	86.6	60.1	15.4	16525	X		X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X
17	94.1	86.9	57.8	16.2	16359	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
17	93.9	86.5	51.1	16.6	16593	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X		X
18	94.5	86.8	50.7	17.4	16420	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
18	94.3	86.4	43.2	17.8	16680	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
19	94.7	86.2	18.7	19.0	16772	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
19	94.5	85.7	6.9	19.4	17077	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
20	94.7	85.0	0.0	21.0	17503	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

รูปที่ 4.28 สมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเมื่อตัวแปรตอบสนองคือมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ

พิจารณาสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดจากสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดโดยเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้ว พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วสูงสุดมีค่าเท่ากับ 86.9 ซึ่งมีสมการถดถอยที่มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วสูงที่สุด คือ สมการที่มีตัวแปรอิสระ A B C D E AA AB AC AD AE BD BE CD DE BB CC DD และ EE อยู่ในสมการ แต่สมการถดถอยดังกล่าว เมื่อนำมาตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองพบว่าไม่เป็นไปตามสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ดังแสดงในรูปที่ 4.29 และไม่เป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติดังแสดงในรูปที่ 4.30 ทำให้สมการถดถอยดังกล่าวไม่สามารถที่จะใช้ในการทำนายมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุได้



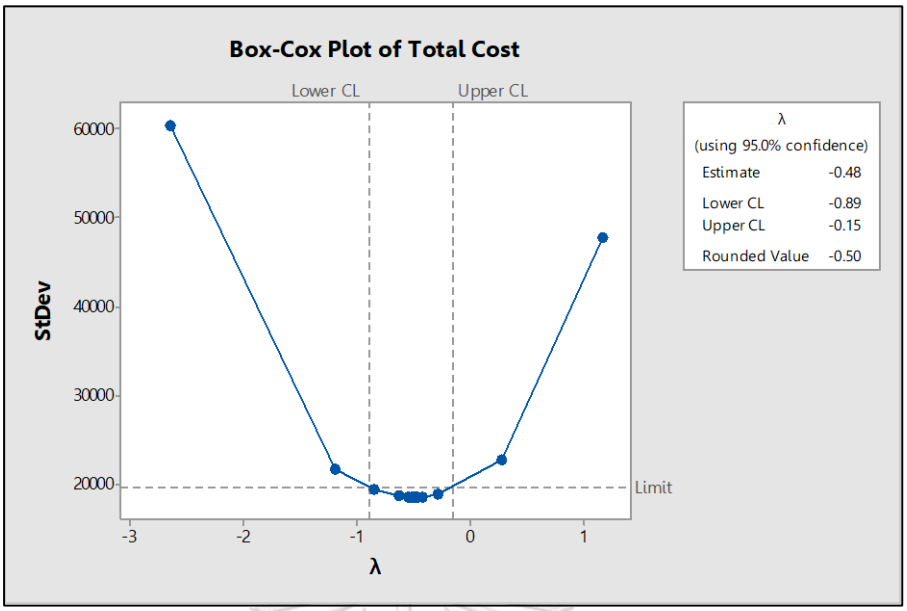
รูปที่ 4.29 การกระจายตัวส่วนตกค้างของมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ



รูปที่ 4.30 กราฟความน่าจะเป็นของมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ

ทางผู้วิจัยจึงแปลงค่าตัวแปรตอบสนองเพื่อทำให้สมการถดถอยมีลักษณะตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อของการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งทางผู้วิจัยใช้การแปลงข้อมูลโดยวิธี Box-Cox transformation ในโปรแกรมมินิแทปเพื่อหาค่า λ ซึ่งรูปแบบการแปลงข้อมูลของวิธี Box-Cox transformation คือ Y^{λ} โดยกราฟ Box-Cox จากโปรแกรมมินิแทปแสดงดังรูปที่ 4.31 และจากกราฟ Box-Cox พบว่าค่า λ ที่ใช้ในการแปลงข้อมูลนี้เท่ากับ -0.50 แสดงว่ารูปแบบการแปลงข้อมูลนี้คือ $Y' = Y^{-0.50}$ โดยข้อมูลมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงโดยวิธี Box-Cox transformation จะแสดงดังตารางที่ 4.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.31 กราฟ Box-Cox จากโปรแกรมมินิแทป

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงโดยวิธี Box-Cox transformation

Std Order	Run Order	Factors					Total Cost (Baht)	Total Cost convert by Box-Cox transformation (Baht)
		A	B	C	D	E		
1	25	-1	-1	-1	-1	1	6,954.06	0.0120
2	5	1	-1	-1	-1	-1	56,558.04	0.0042
3	27	-1	1	-1	-1	-1	7,951.49	0.0112
4	22	1	1	-1	-1	1	93,771.36	0.0033
5	8	-1	-1	1	-1	-1	12,568.60	0.0089
6	19	1	-1	1	-1	1	110,246.31	0.0030
7	24	-1	1	1	-1	1	16,628.51	0.0078
8	17	1	1	1	-1	-1	7,136.87	0.0118

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงโดยวิธี Box-Cox transformation (ต่อ)

Std Order	Run Order	Factors					Total Cost (Baht)	Total Cost convert by Box-Cox transformation (Baht)
		A	B	C	D	E		
9	26	-1	-1	-1	1	-1	120,563.27	0.0029
10	14	1	-1	-1	1	1	118,422.43	0.0029
11	9	-1	1	-1	1	1	119,011.30	0.0029
12	29	1	1	-1	1	-1	117,717.52	0.0029
13	18	-1	-1	1	1	1	3,669.14	0.0165
14	23	1	-1	1	1	-1	92,915.48	0.0033
15	10	-1	1	1	1	-1	53,213.55	0.0043
16	30	1	1	1	1	1	116,219.44	0.0029
17	3	-1	0	0	0	0	9,540.96	0.0102
18	21	1	0	0	0	0	7,689.68	0.0114
19	16	0	-1	0	0	0	9,740.24	0.0101
20	28	0	1	0	0	0	9,952.01	0.0100
21	1	0	0	-1	0	0	12,281.82	0.0090
22	32	0	0	1	0	0	3,692.63	0.0165
23	15	0	0	0	-1	0	10,865.10	0.0096
24	2	0	0	0	1	0	6,470.90	0.0124
25	7	0	0	0	0	-1	10,920.46	0.0096
26	11	0	0	0	0	1	7,963.06	0.0112
27	4	0	0	0	0	0	8,566.72	0.0108
28	6	0	0	0	0	0	7,556.50	0.0115
29	13	0	0	0	0	0	7,228.52	0.0118

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงโดยวิธี Box-Cox transformation (ต่อ)

Std Order	Run Order	Factors					Total Cost (Baht)	Total Cost convert by Box-Cox transformation (Baht)
		A	B	C	D	E		
30	20	0	0	0	0	0	7,409.88	0.0116
31	12	0	0	0	0	0	7,594.35	0.0115
32	31	0	0	0	0	0	7,322.31	0.0117

การพิจารณาสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเพื่อเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดตามเกณฑ์ที่กำหนดจากข้อมูลมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงโดยวิธี Box-Cox transformation ในตารางที่ 4.10 นำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการ Best Subsets Regression ในโปรแกรมมินิแทปจะได้สมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 4.32

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Best Subsets Regression: Total Cost convert versus A, B, ...

Response is Total Cost convert

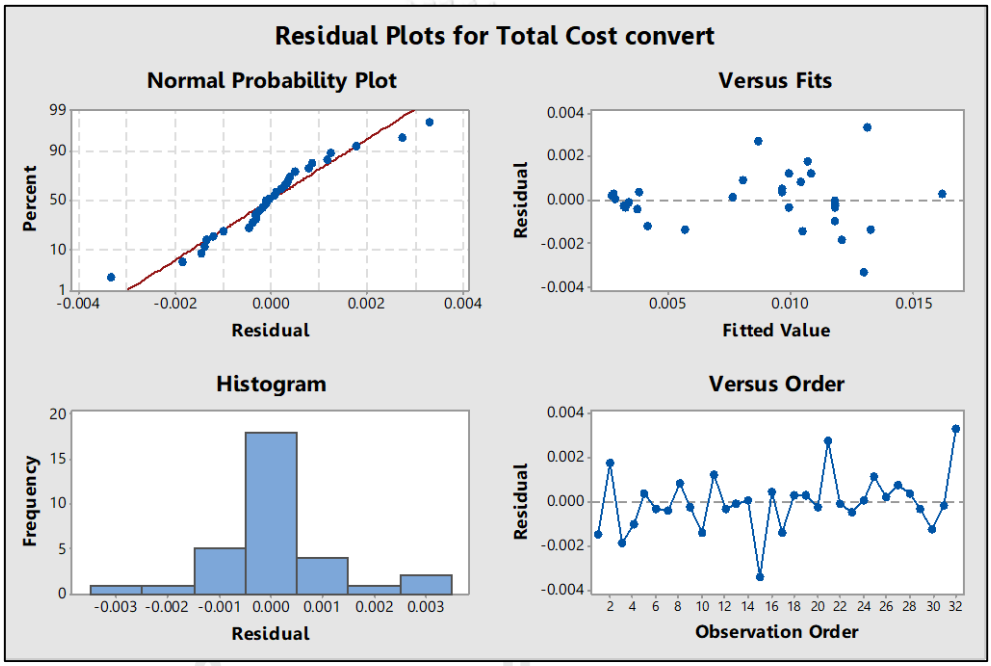
Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)	Mallows Cp	S	A	B	C	D	E	A A	A B	A C	A D	A E	B C	B D	B E	C D	C E	D E	B C	B D	B E	C D	C E	D E
1	31.7	29.4	23.1	64.5	0.0034717																	X					
1	30.6	28.3	21.9	65.9	0.0034988																						X
2	41.8	37.8	27.6	52.9	0.0032602	X																X					
2	41.4	37.3	26.3	53.4	0.0032722													X				X					
3	51.4	46.2	32.9	41.8	0.0030307	X												X				X					
3	50.4	45.0	31.7	43.2	0.0030639	X												X									X
4	57.3	51.0	33.3	35.8	0.0028924	X		X										X				X					
4	57.1	50.8	34.1	36.1	0.0028993	X												X			X	X					
5	63.0	55.9	34.8	30.1	0.0027432	X		X										X			X	X					
5	63.0	55.9	34.7	30.1	0.0027445	X		X							X			X				X					
6	68.7	61.2	37.8	24.4	0.0025738	X		X							X			X			X	X					
6	68.6	61.0	37.4	24.6	0.0025798	X		X					X					X			X	X					
7	74.3	66.7	43.0	18.9	0.0023834	X		X					X		X			X			X	X					
7	73.2	65.4	43.6	20.3	0.0024307	X		X	X						X			X			X	X					
8	78.8	71.4	53.2	14.8	0.0022118	X		X	X				X		X			X			X	X					
8	78.3	70.7	46.7	15.4	0.0022368	X		X					X		X			X			X	X					X
9	82.8	75.7	57.3	11.3	0.0020367	X		X	X				X		X			X			X	X					X
9	82.8	75.7	62.8	11.3	0.0020368	X		X	X				X		X		X	X			X	X					
10	86.8	80.5	67.4	7.9	0.0018259	X		X	X				X		X		X	X			X	X					X
10	86.0	79.4	64.2	8.9	0.0018780	X		X	X			X	X		X		X	X			X	X					
11	89.3	83.4	76.5	6.5	0.0016832	X		X	X				X		X		X	X	X		X	X					X
11	88.5	82.2	73.3	7.5	0.0017425	X		X	X			X	X		X		X	X	X		X	X					
12	90.4	84.3	74.9	7.0	0.0016362	X		X	X			X	X		X		X	X	X		X	X					X
12	90.2	84.0	73.7	7.3	0.0016529	X		X	X				X		X		X	X	X		X	X				X	X
13	90.9	84.3	75.3	8.4	0.0016398	X	X	X	X			X	X		X		X	X	X		X	X					X
13	90.8	84.2	68.6	8.4	0.0016419	X		X	X			X	X		X		X	X	X		X	X				X	X
14	91.3	84.1	69.1	9.8	0.0016460	X	X	X	X			X	X		X		X	X	X		X	X				X	X
14	91.0	83.6	60.3	10.2	0.0016722	X		X	X			X	X		X		X	X	X		X	X	X			X	X
15	91.5	83.5	60.7	11.5	0.0016785	X	X	X	X			X	X		X		X	X	X		X	X	X			X	X
15	91.4	83.4	65.7	11.6	0.0016851	X	X	X	X			X	X		X	X	X	X	X		X	X				X	X
16	91.6	82.7	57.3	13.4	0.0017214	X	X	X	X			X	X		X	X	X	X	X		X	X	X			X	X
16	91.6	82.6	56.8	13.4	0.0017217	X	X	X	X	X		X	X		X		X	X	X		X	X	X			X	X
17	91.7	81.7	50.3	15.2	0.0017695	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X		X	X	X			X	X
17	91.7	81.6	50.7	15.2	0.0017707	X	X	X	X			X	X		X	X	X	X	X		X	X	X			X	X
18	91.8	80.5	35.3	17.1	0.0018246	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X		X	X	X			X	X
18	91.8	80.4	33.1	17.2	0.0018311	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X
19	91.9	79.0	0.0	19.0	0.0018937	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X
19	91.8	78.9	0.0	19.1	0.0018984	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X			X	X
20	91.9	77.1	0.0	21.0	0.0019771	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X

รูปที่ 4.32 สมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเมื่อตัวแปรตอบสนองคือมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงโดยวิธี Box-Cox transformation

พิจารณาสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดจากสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดโดยเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้ว พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วสูงสุดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 84.3 คือ สมการที่มีตัวแปรอิสระ A C D AA AB AE BD BE CD DE BB และ EE อยู่ในสมการ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงตัดสินใจเลือกสมการที่มีตัวแปรอิสระ A C D AA AB AE BD BE CD DE BB และ EE เป็นสมการถดถอยในการทำนายมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงโดยวิธี Box-Cox transformation

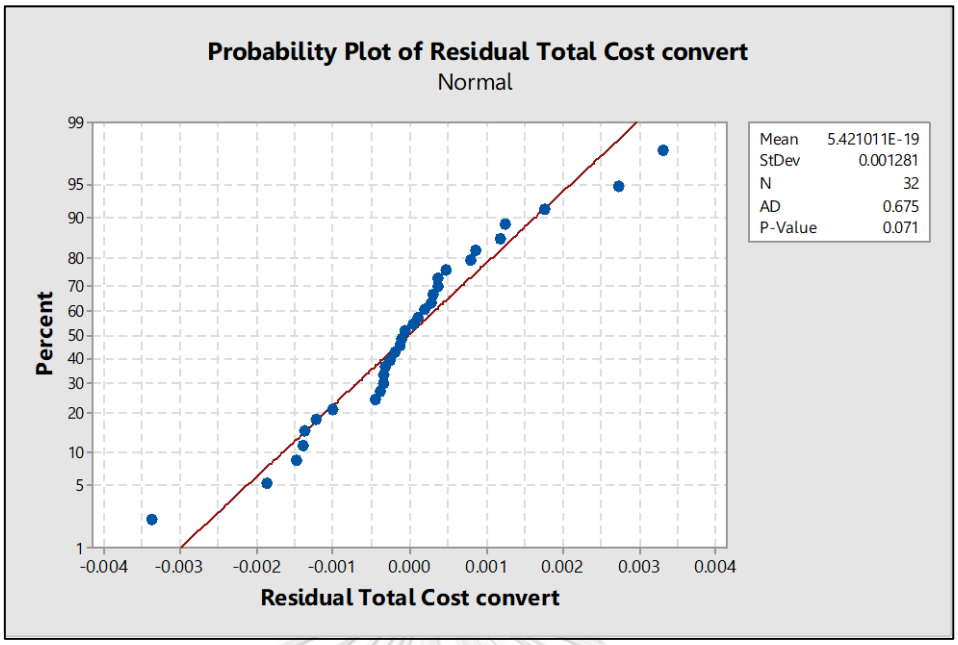
2. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจะประกอบด้วยสมมติฐาน 3 ข้อ คือ สมมติฐานของการแจกแจงปกติ สมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล และสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ ซึ่งสมมติฐานดังกล่าวสามารถพิจารณาได้จากการกระจายตัวส่วนตกค้างของมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4.33 และสมมติฐานของการแจกแจงปกติยังสามารถพิจารณาได้จากกราฟความน่าจะเป็นของมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4.34



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.33 การกระจายตัวส่วนตกค้างของมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูล



รูปที่ 4.34 กราฟความน่าจะเป็นของมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูล

- การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption)

การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติสามารถดูได้จากกราฟ Normal Probability Plot ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) ที่จัดเรียงตัวอยู่ตามแนวเส้นตรง และมีค่า P-value ของการทดสอบการแจกแจงแบบปกติเท่ากับ 0.071 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 และจากกราฟอิสโตแกรมที่แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ

- การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability)

การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่สามารถดูได้จากกราฟ Residual Versus Fitted Value ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างรอบแนวแกนศูนย์ โดยข้อมูลมีการกระจายตัวแบบสุ่ม (ไม่มีรูปแบบ) และข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวในรูปแบบที่คล้ายกรวยปากเปิด จึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีค่าความแปรปรวนคงที่

- การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Residual)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูลสามารถดูได้จากกราฟ Residual Versus Observation Order ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่ไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้ม หรือรูปร่างที่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน

3. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับตัวแปรตอบสนอง

เมื่อแบบจำลองถูกต้องตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อดังได้กล่าวมาข้างต้น ทางผู้จัยจึงวิเคราะห์ผลการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์แบบเต็มรูป (Full Model)

การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์แบบเต็มรูป (Full Model) จะใช้โปรแกรมมินิแทปในการวิเคราะห์หาความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าต่อมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.05 ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.35

Response Surface Regression: Total Cost convert versus A, B, C, D, E

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	20	0.000486	0.000024	6.22	0.002
Linear	5	0.000112	0.000022	5.71	0.008
A	1	0.000053	0.000053	13.64	0.004
B	1	0.000002	0.000002	0.63	0.444
C	1	0.000031	0.000031	8.01	0.016
D	1	0.000024	0.000024	6.09	0.031
E	1	0.000001	0.000001	0.16	0.700
Square	5	0.000198	0.000040	10.15	0.001
A*A	1	0.000004	0.000004	1.04	0.329
B*B	1	0.000010	0.000010	2.59	0.136
C*C	1	0.000001	0.000001	0.25	0.626
D*D	1	0.000003	0.000003	0.75	0.403
E*E	1	0.000007	0.000007	1.86	0.200
2-Way Interaction	10	0.000177	0.000018	4.52	0.010
A*B	1	0.000029	0.000029	7.49	0.019
A*C	1	0.000000	0.000000	0.01	0.925
A*D	1	0.000001	0.000001	0.14	0.714
A*E	1	0.000030	0.000030	7.69	0.018
B*C	1	0.000001	0.000001	0.16	0.696
B*D	1	0.000021	0.000021	5.44	0.040
B*E	1	0.000051	0.000051	13.06	0.004
C*D	1	0.000013	0.000013	3.41	0.092
C*E	1	0.000000	0.000000	0.06	0.806
D*E	1	0.000030	0.000030	7.73	0.018
Error	11	0.000043	0.000004		
Lack-of-Fit	6	0.000042	0.000007	59.10	0.000
Pure Error	5	0.000001	0.000000		
Total	31	0.000529			

รูปที่ 4.35 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลแบบสมการความสัมพันธ์เต็มรูป

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0019771	91.88%	77.11%	0.00%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0.011836	0.000565	20.95	0.000	
A	-0.003443	-0.001721	0.000466	-3.69	0.004	1.00
B	-0.000740	-0.000370	0.000466	-0.79	0.444	1.00
C	0.002638	0.001319	0.000466	2.83	0.016	1.00
D	-0.002301	-0.001150	0.000466	-2.47	0.031	1.00
E	0.000369	0.000185	0.000466	0.40	0.700	1.00
A*A	-0.00257	-0.00129	0.00126	-1.02	0.329	3.20
B*B	-0.00406	-0.00203	0.00126	-1.61	0.136	3.20
C*C	0.00126	0.00063	0.00126	0.50	0.626	3.20
D*D	-0.00219	-0.00110	0.00126	-0.87	0.403	3.20
E*E	-0.00344	-0.00172	0.00126	-1.36	0.200	3.20
A*B	0.002706	0.001353	0.000494	2.74	0.019	1.00
A*C	-0.000095	-0.000048	0.000494	-0.10	0.925	1.00
A*D	0.000372	0.000186	0.000494	0.38	0.714	1.00
A*E	-0.002741	-0.001370	0.000494	-2.77	0.018	1.00
B*C	-0.000396	-0.000198	0.000494	-0.40	0.696	1.00
B*D	-0.002305	-0.001152	0.000494	-2.33	0.040	1.00
B*E	-0.003573	-0.001786	0.000494	-3.61	0.004	1.00
C*D	0.001826	0.000913	0.000494	1.85	0.092	1.00
C*E	0.000249	0.000124	0.000494	0.25	0.806	1.00
D*E	0.002749	0.001374	0.000494	2.78	0.018	1.00

Regression Equation in Uncoded Units

Total Cost convert = 0.011836 - 0.001721 A - 0.000370 B + 0.001319 C - 0.001150 D
+ 0.000185 E - 0.00129 A*A - 0.00203 B*B + 0.00063 C*C - 0.00110 D*D
- 0.00172 E*E + 0.001353 A*B - 0.000048 A*C + 0.000186 A*D
- 0.001370 A*E - 0.000198 B*C - 0.001152 B*D - 0.001786 B*E
+ 0.000913 C*D + 0.000124 C*E + 0.001374 D*E

รูปที่ 4.35 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลแบบสมการความสัมพันธ์เต็มรูป (ต่อ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลแบบสมการความสัมพันธ์เต็มรูปพบว่าสมการถดถอยแบบเต็มรูปจะมีปัจจัยนำเข้าจำนวน 12 ปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลอยู่ในสมการ และสมการถดถอยมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ และค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้ว 91.88% และ 77.11% ตามลำดับ

3.2 การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้าและมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลจากแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดที่พิจารณาจากเกณฑ์ที่กำหนด (Best Subsets Model)

การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้าและมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลจากแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดที่พิจารณาจากเกณฑ์ที่กำหนดจะใช้โปรแกรมมินิแทปในการวิเคราะห์ โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.36

Regression Analysis: Total Cost convert versus A, B, C, D, E

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	12	0.000479	0.000040	14.90	0.000
A	1	0.000053	0.000053	19.92	0.000
C	1	0.000031	0.000031	11.69	0.003
D	1	0.000024	0.000024	8.90	0.008
A*A	1	0.000006	0.000006	2.17	0.157
B*B	1	0.000013	0.000013	5.01	0.037
E*E	1	0.000010	0.000010	3.68	0.070
A*B	1	0.000029	0.000029	10.94	0.004
A*E	1	0.000030	0.000030	11.22	0.003
B*D	1	0.000021	0.000021	7.94	0.011
B*E	1	0.000051	0.000051	19.07	0.000
C*D	1	0.000013	0.000013	4.98	0.038
D*E	1	0.000030	0.000030	11.29	0.003
Error	19	0.000051	0.000003		
Lack-of-Fit	14	0.000050	0.000004	30.03	0.001
Pure Error	5	0.000001	0.000000		
Total	31	0.000529			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0016362	90.39%	84.33%	74.87%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.011810	0.000462	25.58	0.000	
A	-0.001721	0.000386	-4.46	0.000	1.00
C	0.001319	0.000386	3.42	0.003	1.00
D	-0.001150	0.000386	-2.98	0.008	1.00
A*A	-0.001425	0.000968	-1.47	0.157	2.76
B*B	-0.002168	0.000968	-2.24	0.037	2.76
E*E	-0.001858	0.000968	-1.92	0.070	2.76
A*B	0.001353	0.000409	3.31	0.004	1.00
A*E	-0.001370	0.000409	-3.35	0.003	1.00
B*D	-0.001152	0.000409	-2.82	0.011	1.00
B*E	-0.001786	0.000409	-4.37	0.000	1.00
C*D	0.000913	0.000409	2.23	0.038	1.00
D*E	0.001374	0.000409	3.36	0.003	1.00

Regression Equation

Total Cost convert = 0.011810 - 0.001721 A + 0.001319 C - 0.001150 D - 0.001425 A*A
- 0.002168 B*B - 0.001858 E*E + 0.001353 A*B - 0.001370 A*E
- 0.001152 B*D - 0.001786 B*E + 0.000913 C*D + 0.001374 D*E

รูปที่ 4.36 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูล

จากแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดที่พิจารณาจากเกณฑ์ที่กำหนดจากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลจากแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดที่พิจารณาจากเกณฑ์ที่กำหนด พบว่าสมการถดถอยประกอบด้วยปัจจัยนำเข้าดังนี้ A C D AA AB AE BD BE CD DE BB และ EE โดยสมการถดถอยแสดงดังสมการที่ 4.15 และสมการถดถอยดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ และค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วเท่ากับ 90.39% และ 84.33% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วสูงสุดของสมการถดถอยที่มาจากแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดที่พิจารณาจากเกณฑ์ที่กำหนดมีค่ามากกว่าของสมการถดถอยแบบเต็มรูป ซึ่งสมการถดถอยในสมการที่ 4.13 มีปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญจำนวน 10 ปัจจัยประกอบด้วย A C D AB AE BD BE CD DE และ BB

มูลค่าความสูญเสียรวมที่ผ่านการแปลงข้อมูล = 0.011810 - 0.001721 A + 0.001319 C - 0.001150 D - 0.001425 A*A - 0.002168 B*B - 0.001858 E*E + 0.001353 A*B - 0.001370 A*E - 0.001152 B*D - 0.001786 B*E + 0.000913 C*D + 0.001374 D*E (4.13)

จากการวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ซึ่งตัวแปรตอบสนองประกอบด้วย 3 ตัวแปร คือ ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ และมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ ทำให้ทางผู้วิจัยสามารถสรุปปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญได้ดังตารางที่ 4.11 และสรุปการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองเมื่อระดับปัจจัยนำเข้าเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไประดับสูงได้ดังตารางที่ 4.12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.11 ปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

เทอม	ตัวแปรตอบสนอง		
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	มูลค่าความสูญเสียรวม
A	✓		✓
C	✓		✓
D	✓	✓	✓
E	✓		
AB			✓
AC	✓	✓	
AD	✓		
AE	✓		✓
BB			✓
BD	✓	✓	✓
BE			✓
CC	✓	✓	
CD			✓
DE		✓	✓

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองเมื่อระดับปัจจัยนำเข้าเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไประดับสูง

เทอม	การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนอง		
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	มูลค่าความสูญเสียรวมที่ผ่านการแปลงข้อมูล
1. ปัจจัย A เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไประดับสูง			
A	น้อยลง	-	น้อยลง
AA	-	-	-
AB	-	-	น้อยลง แต่ที่ B เป็น -1 น้อยลงมากกว่า
AC	น้อยลง แต่ที่ C เป็น 1 น้อยลงมากกว่า	C เป็น -1 น้อยลง แต่ C เป็น 1 เพิ่มขึ้น	-
AD	น้อยลง แต่ที่ D เป็น -1 น้อยลงมากกว่า	-	-
AE	น้อยลง แต่ที่ E เป็น 1 น้อยลงมากกว่า	-	น้อยลง แต่ที่ E เป็น 1 น้อยลงมากกว่า
2. ปัจจัย B เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไประดับสูง			
BB	-	-	ระดับ 0 มากกว่าระดับ -1 และ 1
BD	D เป็น -1 เพิ่มขึ้น แต่ D เป็น 1 น้อยลง	D เป็น -1 น้อยลง แต่ D เป็น 1 เพิ่มขึ้น	D เป็น -1 เพิ่มขึ้น แต่ D เป็น 1 น้อยลง
BE	-	-	E เป็น -1 เพิ่มขึ้น แต่ E เป็น 1 น้อยลง
3. ปัจจัย C เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไประดับสูง			
C	ระดับ 0 มากกว่าระดับ -1 และ 1	-	มากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองเมื่อระดับปัจจัยนำเข้าเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไประดับสูง (ต่อ)

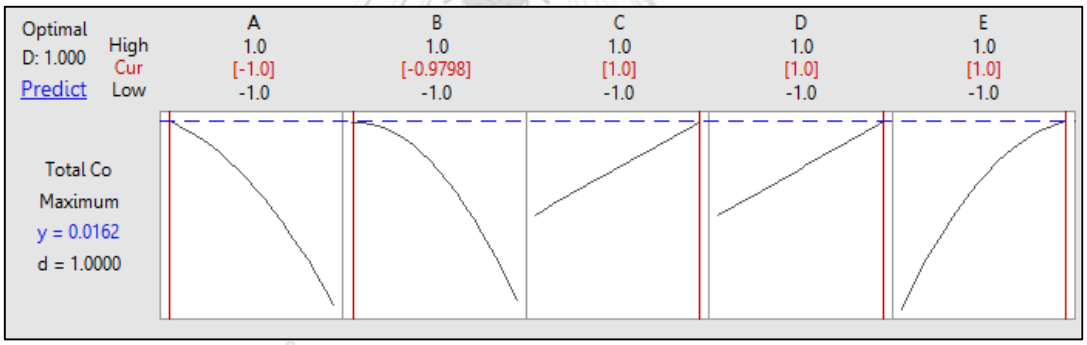
เทอม	การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนอง		
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	มูลค่าความสูญเสียรวมที่ผ่านการแปลงข้อมูล
3. ปัจจัย C เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไประดับสูง			
CC	ระดับ 0 มากกว่าระดับ -1 และ 1	ระดับ 0 มากกว่าระดับ -1 และ 1	-
CD	-	-	เพิ่มขึ้น แต่ D เป็น -1 เพิ่มขึ้นมากกว่า
CE	-	-	-
4. ปัจจัย D เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไประดับสูง			
D	D เป็น -1 ไป 0 น้อยลงเล็กน้อย แต่ D เป็น 0 ไป 1 น้อยมาก	น้อยลง	มากขึ้น
DD	-	-	-
DE		E เป็น -1 น้อยลง แต่ E เป็น 1 เพิ่มขึ้น	E เป็น -1 น้อยลง แต่ E เป็น 1 เพิ่มขึ้น
5. ปัจจัย E เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไประดับสูง			
E	น้อยลง	-	-
EE	-	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.8 การหาค่าระดับที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยนำเข้า

เมื่อได้สมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าทั้ง 5 ปัจจัยได้แก่ ความยาวของท่อระบาย ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ค่าความดันภายในถังเก็บ และค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บกับมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูล ทางผู้วิจัยจึงหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทั้ง 5 ปัจจัยโดยใช้โปรแกรม

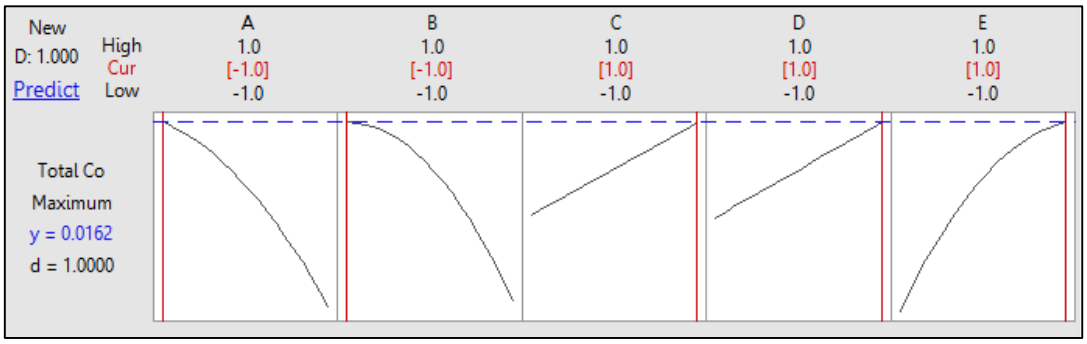
มินิแทปในฟังก์ชัน Response Optimizer โดยผู้วิจัยกำหนดเป้าหมาย (target) เท่ากับร้อยละ 50 ของมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุก่อนปรับปรุง ซึ่งมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุก่อนปรับปรุงเท่ากับ 12,377.46 บาท เพราะฉะนั้นค่าเป้าหมายจึงเท่ากับ 6,188.73 บาท โดยค่าเป้าหมายจะถูกนำมาแปลงด้วยสมการการแปลงข้อมูล คือ $Y' = Y^{-0.50}$ โดย Y' คือ มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูล และ Y คือ มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ ดังนั้นค่าเป้าหมายที่ผ่านการแปลงข้อมูลจะมีค่าเท่ากับ 0.0127 ทางผู้วิจัยจึงตั้งเป้าหมายในฟังก์ชัน Response optimizer เท่ากับ 0.0127 และผู้วิจัยมีจุดประสงค์ที่ต้องการหาค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในการบรรจุน้อยที่สุด ผู้วิจัยจึงกำหนดจุดประสงค์ในฟังก์ชัน Response Optimizer เป็นแบบทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลมากที่สุด (Maximize) เนื่องจากมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ และมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกัน และผู้วิจัยกำหนดเป้าหมายเท่ากับ 0.0127 บาท ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทำ Response Optimizer ในโปรแกรมมินิแทปแสดงดังรูปที่ 4.43



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.37 ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทั้ง 5 ปัจจัยที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลมีค่ามากที่สุดโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer คำนวณ

จากรูปที่ 4.43 สามารถสรุปค่าระดับของปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลมีค่ามากที่สุดได้ดังตารางที่ 4.13 และมีปัจจัยบางปัจจัยที่เครื่องบรรจุไม่สามารถปรับตั้งค่าปัจจัยในรูปแบบทศนิยมได้ คือ ปัจจัยระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 เนื่องจากการปรับเปลี่ยนระดับของวาล์วไม่สามารถหมุนเปลี่ยนระดับได้แบบองศาอิสระ แต่สามารถหมุนได้เพียงตามองศาที่กำหนดไว้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ปรับเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยที่ได้จากการทำ Response Optimizer ให้เป็นจำนวนเต็มทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทำ Response Optimizer ในโปรแกรมมินิแทปแสดงดังรูปที่ 4.44



รูปที่ 4.38 ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทั้ง 5 ปัจจัยที่สามารถนำไปใช้จริงที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลมีค่ามากที่สุด

จากผลลัพธ์ที่ได้ดังรูปที่ 4.44 พบว่าค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลลัพธ์ (Composite Desirability) จะมีค่าอยู่ที่ 1 แสดงว่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทบให้ค่าได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้ดีกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้

ตารางที่ 4.13 ค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลมีค่ามากที่สุด

ปัจจัย	ค่าระดับปัจจัย			
	โปรแกรมคำนวณแบบรหัส (Code)	โปรแกรมคำนวณแบบค่าจริง (Uncode)	นำไปใช้จริงแบบรหัส (Code)	นำไปใช้จริงแบบค่าจริง (Uncode)
ความยาวของท่อระบาย	-1	106.0	-1	106.0
ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2	-0.98	0.98	-1	1
ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2	1	3	1	3
ค่าความดันภายในถังเก็บ	1	3.5	1	3.5
ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ	1	45	1	45

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

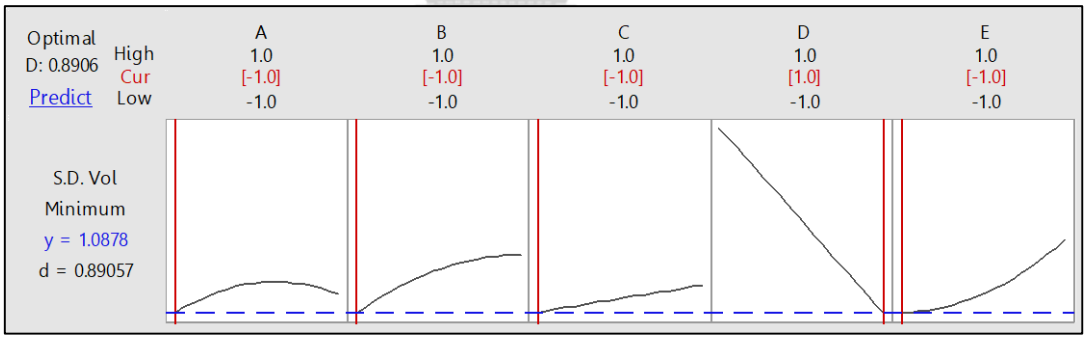
ค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลมีค่ามากที่สุด คือ ความยาวท่อระบายที่ระดับ -1 ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ที่ระดับ -1 ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ที่ระดับ 1 ค่าความดันภายในถังเก็บที่ระดับ 1 และค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บที่ระดับ 1 ซึ่งเมื่อตั้งค่าเครื่องบรรจุตามระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยดังกล่าวแล้วทำการทำนายค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์โดยใช้สมการถดถอยที่ตัวแปรตอบสนอง คือมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลพบว่าค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าเท่ากับ 255.35 มิลลิลิตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าเท่ากับ 1.44 มิลลิลิตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าเพิ่มขึ้นจากก่อนปรับปรุงเท่ากับ 2.17 มิลลิลิตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าลดลงจากก่อนปรับปรุงเท่ากับ 0.12 มิลลิลิตร เนื่องจากเมื่อความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับ -1 จะทำให้ปลายท่อระบาย หรือตำแหน่งที่น้ำผลิตภัณฑ์ต้องบรรจุให้ถึงตำแหน่งนั้นอยู่ในตำแหน่งที่สูงจึงสามารถบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่ภายในกระป๋องได้มาก แตกต่างจากก่อนปรับปรุงที่ทางโรงงานกำหนดความยาวท่อระบายอยู่ที่ระดับ 0 ซึ่งจะทำให้ปลายท่อระบาย หรือตำแหน่งที่น้ำผลิตภัณฑ์ต้องบรรจุให้ถึงตำแหน่งนั้นอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ค่อยสูงมากจึงทำให้ไม่สามารถบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่ภายในกระป๋องได้ในปริมาณมาก ประกอบกับเมื่อค่าของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 จากการคำนวณ Response Optimizer ได้ค่าออกมาอยู่ที่ระดับ -1 ซึ่งจะส่งผลให้ช่องว่างที่ใช้สำหรับเป็นทางเคลื่อนที่ของแก๊ส CO_2 ระหว่างถังเก็บกับกระป๋องมีขนาดกว้างทำให้แก๊ส CO_2 และฟองสามารถเคลื่อนที่ออกจากกระป๋องได้ในปริมาณมาก ภายในกระป๋องจึงมีปริมาณแก๊ส CO_2 และฟองน้อยทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อย และทำให้ภายในกระป๋องมีแรงดันแก๊สที่ต่ำเป็นผลให้น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่เกิดการปะทุล้นออกมาจากกระป๋อง ดังนั้นภายในกระป๋องจึงมีปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก แตกต่างจากก่อนปรับปรุงที่ทางโรงงานกำหนดวาล์วปิดแก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับ 0 ซึ่งจะส่งผลให้ช่องว่างที่ใช้สำหรับเป็นทางเคลื่อนที่ของแก๊ส CO_2 ระหว่างถังเก็บกับกระป๋องมีขนาดไม่กว้างมากทำให้มีเพียงแก๊ส CO_2 บางส่วนที่สามารถเคลื่อนที่ออกจากกระป๋องได้ ภายในกระป๋องจึงมีปริมาณแก๊ส CO_2 และฟองมากทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์สูง และทำให้ภายในกระป๋องมีแรงดันแก๊สที่สูงเป็นผลให้น้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเกิดการปะทุล้นออกมาจากกระป๋อง ดังนั้นภายในกระป๋องจึงมีปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อย อีกทั้งระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 จากการคำนวณ Response Optimizer ก็อยู่ที่ระดับ 1 เป็นผลให้ในขั้นตอนการไล่แก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องซึ่งเป็นขั้นตอนหลังจากเครื่องบรรจุเติมน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องเรียบร้อยแล้ว ช่องว่างในการไล่แก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องจะเปิดแคบทำให้จะมีเพียงแก๊ส CO_2 ที่ลอยตัวอยู่เหนือน้ำผลิตภัณฑ์ถูกไล่ออกจากกระป๋อง ดังนั้นภายในกระป๋องจึงไม่สูญเสียน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองซึ่งเมื่อผ่านไประยะเวลา

หนึ่งน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองเหล่านั้นจะกลายเป็นน้ำผลิตภัณฑ์เป็นผลให้ภายในกระป๋องจึงมีปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มากแตกต่างจากก่อนปรับปรุงที่ทางโรงงานกำหนดระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับ 0 เป็นผลให้ในขั้นตอนการไล่แก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋อง ช่องว่างในการไล่แก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องจะเปิดค่อยข้างกว้างทำให้ทั้งแก๊ส CO_2 ที่ลอยตัวอยู่เหนือน้ำผลิตภัณฑ์และน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองถูกไล่ออกจากกระป๋อง ดังนั้นจึงสูญเสียน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองจำนวนมากซึ่งเมื่อผ่านไประยะเวลาหนึ่งน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองเหล่านั้นจะกลายเป็นน้ำผลิตภัณฑ์เป็นผลให้ภายในกระป๋องจึงมีปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อย และที่ค่าความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับ 1 และค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับ 1 ซึ่งเป็นระดับที่ได้จากการคำนวณ Response Optimizer จะทำให้น้ำผลิตภัณฑ์สามารถไหลลงสู่กระป๋องได้อย่างสม่ำเสมอและเกิดฟองอากาศในขณะบรรจุน้อยทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยและภายในกระป๋องก็มีปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก เนื่องจากเมื่อความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับ 1 จะมีแรงดันในการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องได้มาก ประกอบกับระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับ 1 ซึ่งแสดงว่ามีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บมาก ดังนั้นแรงดันจึงมีความเหมาะสมกับปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บเป็นผลให้เกิดการไหลตัวอย่างสม่ำเสมอของน้ำผลิตภัณฑ์ที่ไหลลงสู่กระป๋อง แตกต่างจากก่อนปรับปรุงที่ค่าความดันภายในถังเก็บอยู่ระดับ 0 และค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ระดับ -1 จะทำให้น้ำผลิตภัณฑ์สามารถไหลลงสู่กระป๋องได้อย่างไม่สม่ำเสมอ และเกิดฟองอากาศในขณะบรรจุมากทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มาก และภายในกระป๋องก็มีปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อย เนื่องจากเมื่อความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับ 0 จะมีแรงดันในการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องได้ในระดับปานกลาง แต่ระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับ -1 ซึ่งแสดงว่ามีปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บน้อย ดังนั้นแรงดันจึงมีปริมาณมากเกินไปไม่ความเหมาะสมกับปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บเป็นผลให้เกิดการไหลตัวอย่างไม่สม่ำเสมอของน้ำผลิตภัณฑ์ที่ไหลลงสู่กระป๋อง

ทางผู้วิจัยจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อตั้งค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยตามระดับที่วิเคราะห์ได้จากฟังก์ชัน Response Optimizer ของโปรแกรมมินิแทปจะทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่ามากกว่าก่อนปรับปรุง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าน้อยกว่าก่อนปรับปรุงซึ่งส่งผลให้ความสูญเสียกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของกระบวนการบรรจุลดลง เมื่อความสูญเสียกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ลดลงก็จะส่งผลทำให้มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุลดลงมาก เนื่องจากมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุส่วนใหญ่เกิดจากมูลค่าความสูญเสียกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และเมื่อพิจารณาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทั้ง 5 ปัจจัยที่ทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยที่สุดซึ่งวิเคราะห์ได้จาก

ฟังก์ชัน Response Optimizer ของโปรแกรมมินิแทปพบว่าแม้ว่าระดับปัจจัยเหล่านั้นจะทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1.4421 มิลลิลิตร ซึ่งน้อยกว่าเมื่อตั้งค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลมีค่ามากที่สุดเพียงเล็กน้อย โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์เมื่อตั้งค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลมีค่ามากที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.4485 มิลลิลิตร และการตั้งค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่ทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยที่สุดจะให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเท่ากับ 246.05 มิลลิลิตร ซึ่งจะทำให้เกิดความสูญเสียในกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในปริมาณมากส่งผลให้มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบรรจุมีค่ามาก

การหาค่าระดับที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยนำเข้าเมื่อกำหนดจุดประสงค์ในฟังก์ชัน Response Optimizer เป็นแบบทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด (Minimize) ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทำ Response Optimizer ในโปรแกรมมินิแทปแสดงดังรูปที่ 4.45 และค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่ทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยที่สุดแสดงตารางที่ 4.14



รูปที่ 4.39 ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทั้ง 5 ปัจจัยที่สามารถนำไปใช้จริงที่ทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด

ตารางที่ 4.14 ค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่ทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด

ปัจจัย	ค่าระดับปัจจัย	
	นำไปใช้จริงแบบรหัส (Code)	นำไปใช้จริงแบบค่าจริง (Uncode)
ความยาวของท่อระบาย	-1	106.0
ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2	-1	1
ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2	-1	1
ค่าความดันภายในถังเก็บ	1	3.5
ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ	-1	25

จากการเปรียบเทียบตารางที่ 4.13 และตารางที่ 4.14 พบว่าระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 และค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บมีค่าระดับปัจจัยที่แตกต่างกันระหว่างเมื่อตัวแปรตอบสนอง คือมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลที่ต้องการให้มีค่าสูงสุด และเมื่อตัวแปรตอบสนอง คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้มีค่าต่ำสุด เนื่องจากเมื่อระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลมีค่าต่ำ ซึ่งมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลจะแปรผกผันกับมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุจริง จึงแสดงว่าเมื่อระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุมีค่าสูง เพราะว่าเมื่อระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้ช่องว่างในการไล่แก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องมีขนาดกว้าง ดังนั้นจึงมีปริมาณแก๊ส CO_2 และปริมาณน้ำผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบฟองออกจากกระป๋องจำนวนมากเป็นเหตุให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าน้อย ดังนั้นมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุมีค่าสูง ในทางกลับกันเมื่อระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 อยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้ช่องว่างในการไล่แก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องมีขนาดกว้าง ดังนั้นจึงมีปริมาณแก๊ส CO_2 และปริมาณน้ำฟองออกจากกระป๋องจำนวนมากส่งผลในค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องลดลง ส่วนค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บเมื่ออยู่ที่ระดับสูงจะทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลมีค่าสูงแสดงว่ามูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุมี

ค่าต่ำ เนื่องจากเมื่อค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงจะให้น้ำผลิตภัณฑ์จากถังเก็บสามารถไหลตัวเข้าสู่กระป๋องได้เป็นเส้นอย่างสม่ำเสมอส่งให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมาก ดังนั้นมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุจึงมีค่าต่ำ ในทางกลับกันเมื่อค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงจะให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมาก เนื่องจากค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บที่ระดับสูงจะทำให้ความเร็วในการบรรจุมากจึงเกิดปริมาณฟองในจำนวนมากระหว่างการบรรจุ ดังนั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจึงมีค่ามาก ส่วนปัจจัยอีก 3 ปัจจัย ได้แก่ ความยาวของท่อระบาย ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 และค่าความดันภายในถังเก็บ มีค่าระดับปัจจัยที่เหมือนกันเมื่อตัวแปรตอบสนอง คือมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุที่ผ่านการแปลงข้อมูลที่ต้องการให้มีค่าสูงสุด และเมื่อตัวแปรตอบสนอง คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้มีค่าต่ำสุด เนื่องจากเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้สามารถบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องได้จำนวนมากจึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่ามาก ดังนั้นมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุจึงมีค่าน้อย และเมื่อความยาวของท่อระบายอยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้น้ำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบฟองมีระยะเวลาในการเปลี่ยนเป็นน้ำผลิตภัณฑ์จึงทำให้ปริมาณฟองภายในกระป๋องน้ำจึงทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์จึงน้อย ส่วนระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 เมื่ออยู่ที่ระดับต่ำจะทำให้ช่องว่างในการเคลื่อนที่ของแก๊ส CO_2 ออกจากกระป๋องมีขนาดกว้าง ดังนั้นแก๊ส CO_2 จึงสามารถออกจากกระป๋องได้ในปริมาณมาก เมื่อมีปริมาณแก๊ส CO_2 ภายในกระป๋องปริมาณน้อยจะส่งผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อย และจึงทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุมีค่าน้อยด้วย และปัจจัยตัวสุดท้าย คือค่าความดันภายในถังเก็บ เมื่อค่าความดันภายในถังเก็บอยู่ที่ระดับสูงจะทำให้น้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บไหลตัวลงสู่กระป๋องเป็นเส้นอย่างสม่ำเสมอส่งผลให้มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์น้อย และจึงทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุมีค่าน้อยด้วย

4.4 สรุปผลขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ

การปรับปรุงกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รสชาติ A ให้มีมูลค่าความสูญเสียลดลง ทางผู้วิจัยใช้แนวทางการปรับปรุง 3 แนวทาง คือ แนวทางการจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน แนวทางการสร้างแผ่นตรวจสอบ และแนวทางการทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย โดยการปรับปรุงด้วยแนวทางการจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน และการสร้างแผ่นตรวจสอบสามารถทำให้กระบวนการบรรจุมีค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเท่ากับ 253.18 มิลลิลิตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1.56 มิลลิลิตร และมีผลิตภัณฑ์ที่เกิดความสูญเสียกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่า 250 มิลลิลิตรเท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มตัวอย่าง

ซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเพิ่มขึ้นจากก่อนปรับปรุง 0.68 มิลลิลิตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ลดลงจากก่อนปรับปรุง 0.31 มิลลิลิตร และผลิตภัณฑ์ที่เกิดความสูญเสียกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่า 250 มิลลิลิตรมีค่าลดลงจากก่อนปรับปรุง 1 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มตัวอย่าง ส่วนแนวทางการทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย ทางผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ โดยอาศัยวิธีการพื้นผิวตอบสนองแบบส่วนประสมกลางชนิดแบบ Faced Central Composite Design: CCF ซึ่งพบว่าปัจจัยนำเข้าทั้ง 5 ปัจจัยส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่ามูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ จากนั้นจึงทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ ซึ่งปัจจัยนำเข้า 5 ปัจจัยประกอบด้วย ความยาวของท่อระบาย ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ค่าความดันภายในถังเก็บ และ ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ เมื่อได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุแล้วจึงทำการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุมีค่าน้อยที่สุดโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรมมินิแทป พบว่าค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ความยาวของท่อระบายเท่ากับ 106 มิลลิเมตร ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 เท่ากับระดับ 1 ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 เท่ากับระดับ 3 ค่าความดันภายในถังเก็บเท่ากับ 3.5 บาร์ และค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บเท่ากับ 45 เปอร์เซ็นต์ และผู้วิจัยนำระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุมีค่าน้อยที่สุดไปแทนลงในสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรตอบสนอง 3 ตัวแปร คือ ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ และมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ จึงได้ค่าทำนายของตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 ตัวแปรดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์เท่ากับ 255.35 มิลลิลิตร
2. ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1.44 มิลลิลิตร
3. มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุเท่ากับ 3,810.39 บาท

ดังนั้นในการปรับปรุงแต่ละแนวทางจะให้ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรตอบสนองแตกต่างกันดังแสดงดังตารางที่ 4.14 และขั้นตอนต่อไปคือผู้วิจัยจะนำค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยดังกล่าวไปปรับตั้งระดับของเครื่องบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รสชาติ A ในกระบวนการบรรจุจริงเพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองซึ่งรายละเอียดจะกล่าวไว้ในบทการทดลองเพื่อยืนยันผล และควบคุมผล

ตารางที่ 4.15 ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรตอบสนองเมื่อปรับปรุงกระบวนการบรรจุด้วยแนวทางต่างๆ

ขั้นตอนการปรับปรุง	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	มูลค่าความสูญเสียรวมต่อ 1 รอบการผลิต
ก่อนปรับปรุง	252.50	1.87	10,657
แนวทางจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน แนวทางการสร้างแผ่นตรวจสอบ	253.18	1.56	6,396
แนวทางทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย (ค่าทำนาย)	255.35	1.44	3,810

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
การทดลองเพื่อยืนยันผล และควบคุมผล

หลังจากได้ค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุมีค่าน้อยที่สุดจากบทก่อนหน้านี้ ในบทการทดลองเพื่อยืนยันผล และควบคุมผลทางผู้วิจัยจะนำค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุมีค่าน้อยที่สุดดังกล่าวมาตั้งค่าในเครื่องบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รสชาติ A ในกระบวนการบรรจุจริงเพื่อยืนยันผลการปรับปรุงที่ได้ และ จัดทำแผนควบคุม วิธีการปฏิบัติงานใหม่ของการตั้งค่าเครื่องบรรจุเพื่อสร้างเป็นมาตรฐานในการตั้งค่าเครื่องบรรจุให้แก่พนักงานควบคุมเครื่องจักร

5.1 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

ทางผู้วิจัยนำค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยซึ่งได้แก่ ความยาวของท่อระบาย ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ค่าความดันภายในถังเก็บ และค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุมีค่าน้อยที่สุดมาตั้งค่าในเครื่องบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รสชาติ A ในกระบวนการบรรจุจริงเพื่อยืนยันผลการปรับปรุง

5.1.1 ขั้นตอนในการทดลองเพื่อยืนยันผล

1. ตั้งค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยของเครื่องบรรจุตามระดับที่ได้จากการหาระดับที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุน้อยที่สุด ซึ่งระดับปัจจัยแสดงดังตารางที่ 5.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 5.1 ค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยของเครื่องบรรจุ

ลำดับ	ปัจจัย	ค่าระดับปัจจัย	หน่วย
1	ความยาวของท่อระบาย	106.0	มิลลิเมตร
2	ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2	1	ระดับ
3	ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2	3	ระดับ
4	ค่าความดันภายในถังเก็บ	3.5	บาร์
5	ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ	45	เปอร์เซ็นต์

2. จับเวลาตั้งแต่เครื่องบรรจุเริ่มบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องแรกจนกระทั่งเครื่องบรรจุบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ได้จำนวน 100 กระป๋อง เพื่อคำนวณหาระยะเวลาที่ใช้ในการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋องต่อ 1 รอบการผลิต

3. บันทึกค่ากำลังไฟฟ้าซึ่งแสดงอยู่บนหน้าจอเครื่องอินเวอร์เตอร์เพื่อใช้คำนวณค่าไฟฟ้า

4. สุ่มเก็บกระป๋องหลังปรับปรุงรอบการผลิตละ 100 กระป๋อง ซึ่งเป็นจำนวนขนาดตัวอย่างเท่ากับการสุ่มเก็บข้อมูลก่อนปรับปรุง โดยการเก็บข้อมูลทั้ง 100 กระป๋องเป็นแบบการสุ่มเก็บ (Random Sampling) และเก็บตัวอย่างตั้งแต่เริ่มกระบวนการบรรจุจนกระบวนการบรรจุเสร็จสิ้นแล้วจึงนำกระป๋องที่สุ่มเก็บจำนวน 100 กระป๋องไปชั่งน้ำหนักหน่วยเป็นกรัม และคำนวณน้ำหนักของน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องได้จากการนำน้ำหนักรวมทั้งหมดของน้ำผลิตภัณฑ์และกระป๋องลบด้วยน้ำหนักของกระป๋องเปล่า และน้ำหนักของฝากระป๋อง โดยกระป๋องเปล่าและฝากระป๋องมีน้ำหนักรวมกันเท่ากับ 11.56 กรัม

5. แปลงน้ำหนักน้ำผลิตภัณฑ์เป็นปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์สามารถแปลงได้จากการนำน้ำหนักน้ำผลิตภัณฑ์หารด้วยความหนาแน่นของน้ำผลิตภัณฑ์โดยทางโรงงานกำหนดให้ค่าความหนาแน่นของน้ำผลิตภัณฑ์ในทุกรอบการผลิตมีค่าอยู่ในช่วง 1.0094-1.010 กรัม/มิลลิลิตร ผู้วิจัยจึงใช้ความหนาแน่นเฉลี่ยซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.0097 กรัม/มิลลิลิตร ในการคำนวณหาปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์

6. คำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในแต่ละการทดลอง รวมทั้งคำนวณหามูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ โดยมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุเกิดจากมูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุภายในกระป๋องไม่เหมาะสมคำนวณได้จากสมการที่ 1.9 ค่าไฟฟ้าคำนวณได้จากสมการที่ 4.2 และค่าล่วงเวลาที่เกิดจากผลิตภาพคำนวณได้จากสมการที่ 4.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.1.2 ผลการทดลองการยืนยันผล

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองยืนยันผลโดยเก็บข้อมูลจำนวน 6 รอบการผลิต รอบการผลิตละ 100 กระป๋อง โดยผลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในแต่ละรอบการผลิตจะแสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในแต่ละรอบการผลิต

ลำดับ	ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ (มิลลิลิตร)					
	รอบการผลิตที่ 1	รอบการผลิตที่ 2	รอบการผลิตที่ 3	รอบการผลิตที่ 4	รอบการผลิตที่ 5	รอบการผลิตที่ 6
1	255.03	255.53	255.95	257.59	254.34	251.50
2	251.99	258.24	255.54	253.62	254.21	253.33
3	252.28	256.49	256.98	254.21	255.53	256.56
4	253.95	252.64	255.85	256.40	253.49	254.97
5	251.34	252.14	255.99	255.98	254.84	255.33
6	254.15	255.21	253.51	254.15	256.21	251.81
7	254.13	251.67	253.68	253.60	252.39	255.13
8	252.22	254.30	254.64	255.19	254.00	254.76
9	252.05	255.24	253.50	252.90	255.29	253.94
10	254.77	255.47	254.67	252.60	253.73	253.71
11	255.17	255.13	254.78	256.52	253.74	256.02
12	253.74	253.92	259.92	256.08	253.89	253.60
13	253.42	257.26	254.93	254.82	253.08	257.11
14	255.40	254.37	255.71	254.55	256.72	255.20
15	252.18	257.15	253.89	255.48	251.63	256.15
16	253.69	252.98	253.31	255.21	253.51	253.14
17	253.42	255.33	255.94	256.21	253.86	254.74
18	256.22	255.98	254.15	255.88	254.90	253.81
19	251.86	255.03	253.79	253.90	253.00	254.46
20	254.44	253.24	256.69	256.66	252.99	253.24
21	253.70	256.13	253.80	254.30	257.02	253.20
22	254.76	254.95	254.24	255.85	255.08	257.83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.2 ผลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในแต่ละรอบการผลิต (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ (มิลลิลิตร)					
	รอบการผลิตที่ 1	รอบการผลิตที่ 2	รอบการผลิตที่ 3	รอบการผลิตที่ 4	รอบการผลิตที่ 5	รอบการผลิตที่ 6
23	251.66	253.99	256.22	253.72	256.46	256.37
24	254.88	253.12	255.52	253.51	252.82	254.39
25	252.76	252.58	252.59	256.58	253.85	255.93
26	254.89	255.92	255.73	253.58	255.83	255.49
27	255.29	252.88	252.50	256.63	254.51	255.17
28	252.75	257.17	254.55	256.72	254.24	251.95
29	253.86	253.51	256.81	255.37	253.75	253.98
30	255.60	252.48	253.06	255.84	256.77	254.79
31	253.67	255.09	253.80	251.74	251.54	256.68
32	254.36	253.59	253.99	255.51	255.85	255.76
33	254.91	254.86	252.95	254.84	252.88	253.16
34	255.62	253.75	255.87	255.44	255.45	255.71
35	253.04	253.98	253.05	255.44	253.77	254.41
36	255.91	255.17	255.90	256.42	252.62	254.84
37	253.88	254.29	252.92	256.03	255.71	254.26
38	253.92	254.27	252.72	254.34	256.76	254.01
39	252.82	255.04	254.45	253.17	254.32	253.84
40	255.58	254.95	254.55	256.38	253.60	253.68
41	255.94	254.12	254.59	254.78	251.26	254.04
42	253.84	254.17	255.33	254.07	253.65	253.95
43	255.75	253.74	255.00	254.54	255.03	252.11
44	254.32	255.04	253.59	254.03	255.04	256.92

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.2 ผลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในแต่ละรอบการผลิต (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ (มิลลิลิตร)					
	รอบการผลิตที่ 1	รอบการผลิตที่ 2	รอบการผลิตที่ 3	รอบการผลิตที่ 4	รอบการผลิตที่ 5	รอบการผลิตที่ 6
45	255.44	254.20	254.24	254.95	254.80	253.83
46	253.86	256.13	254.80	253.51	255.08	254.51
47	256.89	252.32	254.69	253.49	252.46	254.90
48	254.25	254.68	255.14	257.64	254.72	255.17
49	256.89	254.06	256.08	255.16	255.77	254.24
50	255.80	254.89	255.25	256.15	255.88	252.97
51	252.61	252.85	255.68	254.63	255.35	256.46
52	254.00	252.30	255.93	253.04	252.68	254.89
53	252.02	253.59	254.97	256.04	254.20	251.42
54	254.63	254.57	257.69	255.72	254.80	255.09
55	252.45	253.02	256.92	256.04	256.44	256.04
56	254.88	252.18	254.70	256.61	253.60	256.93
57	252.28	257.51	254.73	254.89	254.78	254.36
58	252.41	253.41	253.84	252.55	254.19	256.94
59	257.64	256.14	254.87	254.91	253.54	253.11
60	255.89	254.75	253.26	253.10	253.37	254.78
61	256.49	255.91	254.94	254.04	254.78	255.63
62	254.02	253.55	253.25	254.98	253.87	252.62
63	256.87	254.22	253.96	255.77	251.86	254.89
64	254.90	254.14	255.60	253.77	254.40	252.47
65	254.58	255.13	254.03	256.96	251.97	256.30
66	254.23	251.77	253.97	255.61	255.08	255.55

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.2 ผลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในแต่ละรอบการผลิต (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ (มิลลิลิตร)					
	รอบการผลิตที่ 1	รอบการผลิตที่ 2	รอบการผลิตที่ 3	รอบการผลิตที่ 4	รอบการผลิตที่ 5	รอบการผลิตที่ 6
67	254.98	253.12	254.10	258.19	257.79	253.79
68	255.33	252.83	254.97	256.02	254.28	254.72
69	252.71	254.39	255.34	252.79	254.54	253.85
70	254.77	253.31	253.89	252.84	253.29	255.01
71	254.70	253.42	254.79	256.09	255.51	251.88
72	254.05	257.04	255.87	254.41	255.73	253.35
73	254.38	255.42	254.73	256.55	253.95	254.99
74	258.10	256.53	253.65	255.42	256.92	255.49
75	256.18	255.11	254.31	252.72	255.30	255.12
76	256.09	253.68	256.93	255.40	254.32	252.41
77	254.06	254.47	255.81	253.78	253.87	255.13
78	253.28	254.32	253.87	253.62	256.01	252.90
79	254.07	253.69	254.22	253.55	255.58	252.46
80	253.48	254.74	254.80	256.13	256.42	256.34
81	254.97	255.56	253.55	255.25	255.31	252.59
82	253.09	254.83	253.74	252.81	255.52	254.49
83	255.85	256.26	255.85	255.30	254.73	254.27
84	254.32	252.97	255.94	253.37	255.19	254.38
85	255.54	256.52	259.95	254.92	254.34	255.00
86	254.61	255.07	255.85	256.66	252.85	253.20
87	255.38	254.30	255.93	254.36	254.19	254.81
88	253.16	254.00	255.97	253.75	251.78	253.64

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.2 ผลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในแต่ละรอบการผลิต (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ (มิลลิลิตร)					
	รอบการผลิตที่ 1	รอบการผลิตที่ 2	รอบการผลิตที่ 3	รอบการผลิตที่ 4	รอบการผลิตที่ 5	รอบการผลิตที่ 6
89	254.67	253.92	255.92	255.81	252.71	253.87
90	256.83	252.64	255.98	255.09	254.18	252.19
91	254.96	255.07	255.00	255.20	255.21	255.09
92	255.79	255.32	255.70	257.20	253.05	253.53
93	254.49	252.17	255.91	256.09	254.03	255.23
94	254.55	255.03	255.93	256.36	253.12	254.69
95	254.73	253.58	257.00	254.72	253.88	254.48
96	256.14	253.59	255.77	254.24	254.86	256.00
97	254.21	254.91	257.91	255.41	255.65	253.73
98	255.33	254.11	255.87	253.61	254.63	252.96
99	254.20	256.03	254.88	258.50	253.05	254.80
100	254.56	255.56	255.92	254.48	255.35	257.16

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้วิจัยนำข้อมูลผลการทดลองจากตารางที่ 5.2 ไปคำนวณหาค่าดังต่อไปนี้โดยคำนวณต่อ 1 รอบการผลิต ซึ่งผลการคำนวณจะแสดงดังตารางที่ 5.3

1. ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่อ 1 รอบการผลิต
2. ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่อ 1 รอบการผลิต
3. มูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุภายในกระป๋องไม่เหมาะสมต่อ 1 รอบการผลิต
4. ค่าไฟฟ้าต่อ 1 รอบการผลิต
5. ค่าล่วงเวลาที่เกิดจากผลิตภาพต่อ 1 รอบการผลิต
6. มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุต่อ 1 รอบการผลิต

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองในแต่ละรอบการผลิต

รอบการผลิต	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มม.)	มูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุ (บาท)	ค่าล่วงเวลา (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	มูลค่าความสูญเสียรวม (บาท)
1	254.42	1.38	3,764.00	4.50	26.90	3,795.40
2	254.47	1.37	3,808.00	5.00	26.92	3,839.92
3	255.01	1.36	4,276.00	6.17	26.98	4,309.14
4	255.01	1.37	4,268.00	5.67	26.95	4,300.62
5	254.40	1.34	3,748.00	3.83	26.87	3,778.71
6	254.48	1.39	3,816.00	3.50	26.86	3,846.36
เฉลี่ย	254.63	1.37	3,946.67	4.78	26.91	3,978.36

จากตารางที่ 5.3 ทางผู้วิจัยจึงสามารถเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง และมูลค่าความสูญเสียรวมของกระบวนการบรรจุระหว่างก่อนปรับปรุงกระบวนการ กับหลังปรับปรุงกระบวนการดังแสดงในตารางที่ 5.4 ส่วนกราฟฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุก่อนปรับปรุงแสดงในรูปที่ 5.1 กราฟฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังปรับปรุง 6 รอบการผลิตแสดงในรูปที่ 5.2 - 5.7 กราฟแสดงความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการบรรจุระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงแสดงในรูปที่ 5.8 กราฟแสดงความแตกต่างค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงาน ค่าไฟฟ้าในการปรับค่าความดันภายในถังเก็บระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงแสดงในรูปที่ 5.9 ส่วนกราฟแสดงความแตกต่างของมูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุภายในกระป๋องไม่เหมาะสม และมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงแสดงในรูปที่ 5.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าตัวแปรตอบสนองต่อ 1 รอบการผลิตระหว่างก่อนปรับปรุงกระบวนการบรรจุ กับหลังปรับปรุงกระบวนการบรรจุ

ตัวแปรตอบสนอง	ค่าก่อนปรับปรุง	ค่าทำนายหลังปรับปรุง	ค่าจริงหลังปรับปรุง	ร้อยละผลต่างระหว่างค่าทำนายกับค่าจริง	ผลต่างระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุง
ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ (มิลลิลิตร)	252.50	255.35	254.63	0.28	เพิ่มขึ้น 2.13
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ (มิลลิลิตร)	1.87	1.44	1.37	4.86	ลดลง 0.50
มูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุภายในกระป๋องไม่เหมาะสม (บาท)	10,594	-	3,946	-	ลดลง 6,648
เวลาในการบรรจุ (ชั่วโมง)	4.26	-	4.03	-	ลดลง 0.23
ค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงาน (บาท)	38.83	-	4.78	-	ลดลง 34.05
ค่าไฟฟ้าในการปรับค่าความดันภายในถังเก็บ (บาท)	24.38	-	26.91	-	เพิ่มขึ้น 2.53

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

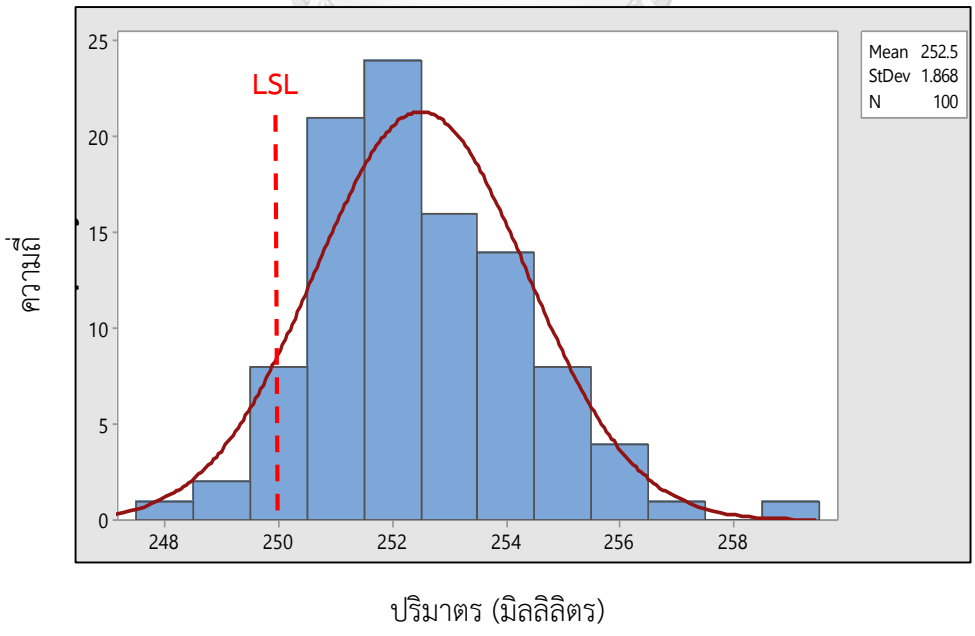
ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าตัวแปรตอบสนองต่อ 1 รอบการผลิตระหว่างก่อนปรับปรุงกระบวนการบรรจุ กับหลังปรับปรุงกระบวนการบรรจุ (ต่อ)

ตัวแปรตอบสนอง	ค่าก่อนปรับปรุง	ค่าทำนายหลังปรับปรุง	ค่าจริงหลังปรับปรุง	ร้อยละผลต่างระหว่างค่าทำนายกับค่าจริง	ผลต่างระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุง
มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ (บาท)	10,657	3,810	3,978	4.41	ลดลง 6,679

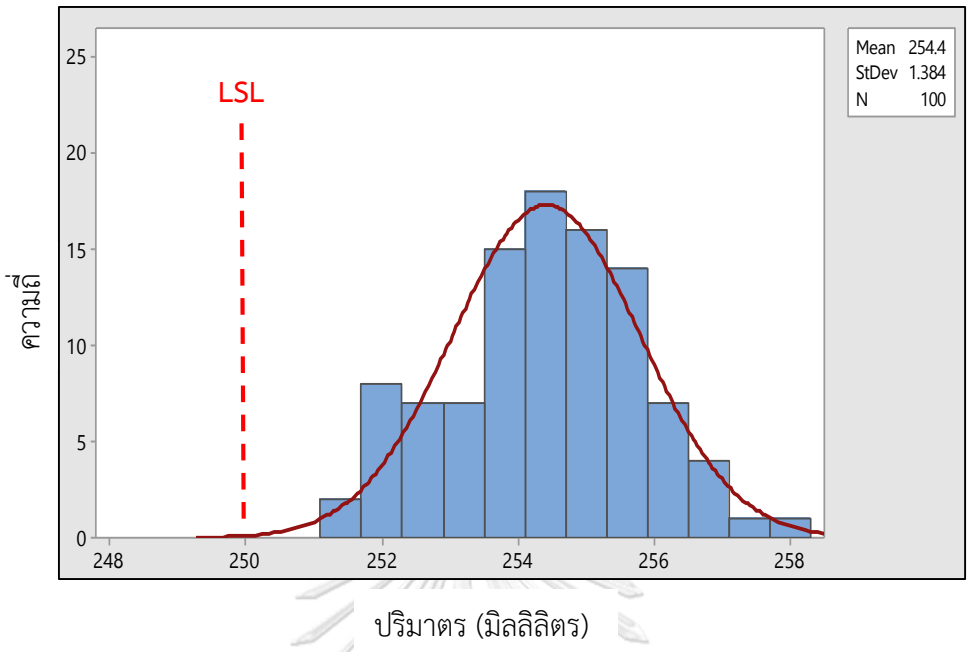
จากรูปที่ 5.1 ซึ่งแสดงปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุก่อนปรับปรุง และรูปที่ 5.2 – 5.7 ซึ่งแสดงปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังปรับปรุงของรอบการผลิตที่ 1-6 พบว่าหลังการปรับปรุงกระบวนการบรรจุมีค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าเพิ่มขึ้นจากก่อนปรับปรุงกระบวนการเฉลี่ยทุกรอบการผลิตเท่ากับ 2.13 มิลลิลิตร โดยการที่กระบวนการบรรจุมีค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมากขึ้นจนเฉลี่ยทุกรอบการผลิตเท่ากับ 254.63 มิลลิลิตรทำให้มูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่เหมาะสมน้อยลงดังแสดงในรูปที่ 5.10 เนื่องจากกระบวนการบรรจุไม่เกิดความสูญเสียในกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งเป็นความสูญเสียที่ต้องสูญเสียทั้งน้ำผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจึงส่งผลดีให้มูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่เหมาะสมมีค่าน้อยลง ซึ่งมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุนั้นส่วนใหญ่เกิดจากมูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่เหมาะสม ทางผู้วิจัยจึงสามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องส่งผลดีให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุลดลงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.10 และพบว่าหลังปรับปรุงกระบวนการบรรจุค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเฉลี่ยทุกรอบการผลิตมีค่าลดลง 0.50 มิลลิลิตร โดยการที่ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องหลังการปรับปรุงเฉลี่ยทุกรอบการผลิตลดลงจนมีค่าเท่ากับ 1.37 มิลลิลิตรจะทำให้มูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เหมาะสมน้อยลงดังแสดงในรูปที่ 5.11 เนื่องจากกระบวนการบรรจุไม่เกิดความสูญเสียในกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งเป็นความสูญเสียที่ต้องสูญเสียทั้งน้ำผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ และกระบวนการบรรจุเกิดความสูญเสียในกรณีผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดน้อย ดังนั้นการลดลงของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องจึงส่งผลดีให้มูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่เหมาะสมมีค่าน้อยลง ซึ่งมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุนั้นส่วนใหญ่เกิดจากมูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องไม่เหมาะสม ทางผู้วิจัยจึงสามารถสรุปได้ว่าการลดลงของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องส่งผลดีให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุลดลงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.11 และปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังปรับปรุงทั้ง 6 รอบการผลิตแสดงในรูปที่ 5.8 โดยงานวิจัยนี้เก็บข้อมูลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์หลังการปรับปรุง 6 รอบการผลิต ซึ่งมีเพียง 1 รอบการผลิตที่การแจกแจงของข้อมูลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มีการแจกแจงที่ไม่สมมาตร แต่เมื่อนำข้อมูลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ทั้ง 6 รอบการผลิตมารวมกันพบว่า ข้อมูลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์มีการแจงแจกที่เป็นปกติ และสมมาตร ซึ่งข้อมูลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ทั้ง 6 รอบการผลิตสามารถนำมารวมกันได้ เนื่องจากเกิดจากการตั้งค่าระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยของเครื่องบรรจุที่ระดับเดียวกัน

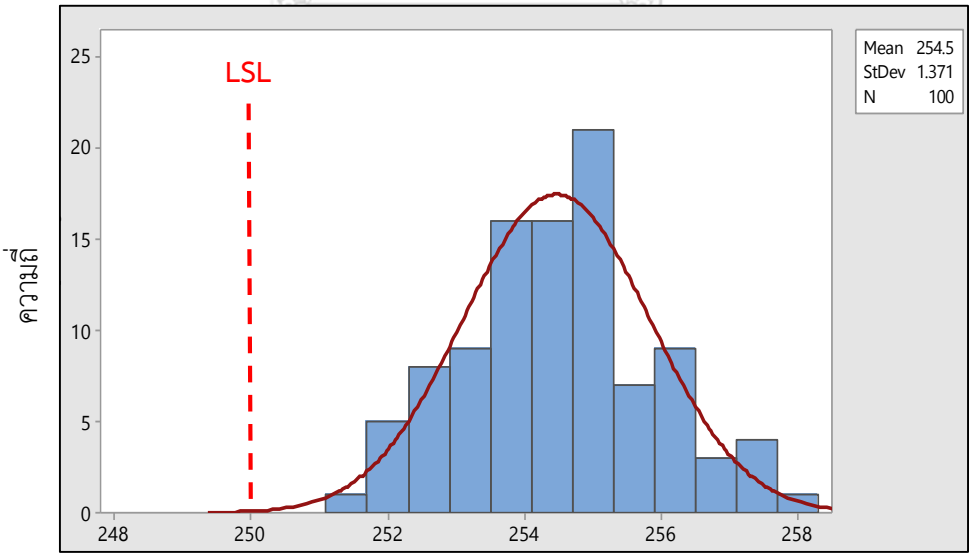


รูปที่ 5.1 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุก่อนปรับปรุง



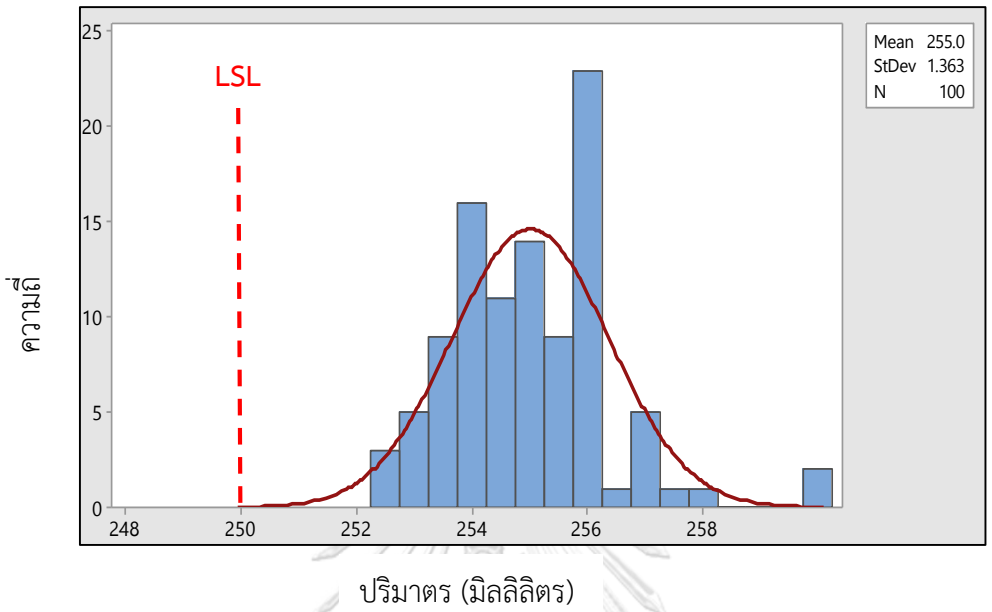
รูปที่ 5.2 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังปรับปรุงรอบการผลิตที่ 1

ข้อมูลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องหลังปรับปรุงรอบการผลิตที่ 1 มีการกระจายตัวแบบปกติ โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.519 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05



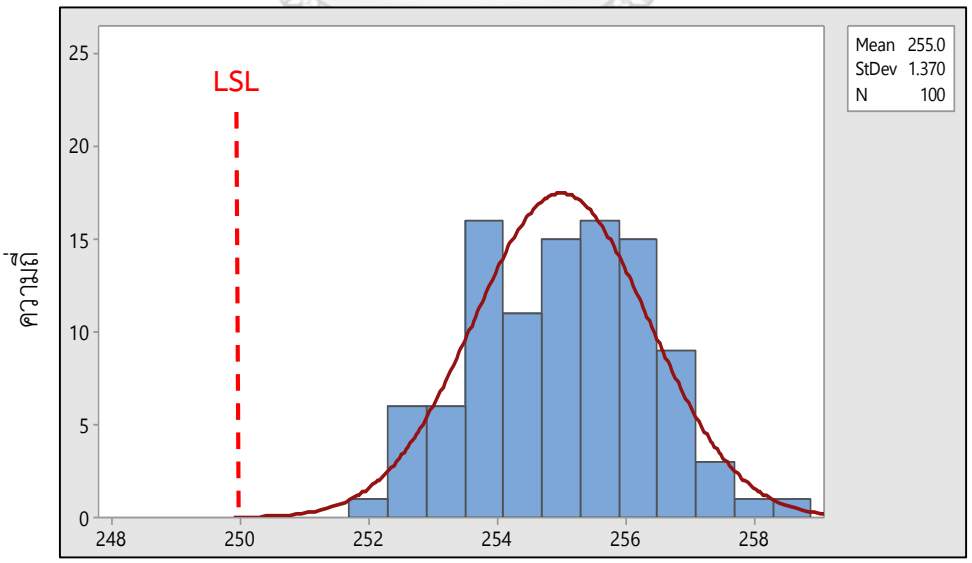
รูปที่ 5.3 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังปรับปรุงรอบการผลิตที่ 2

ข้อมูลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องหลังปรับปรุงรอบการผลิตที่ 2 มีการกระจายตัวแบบปกติ โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.717 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05



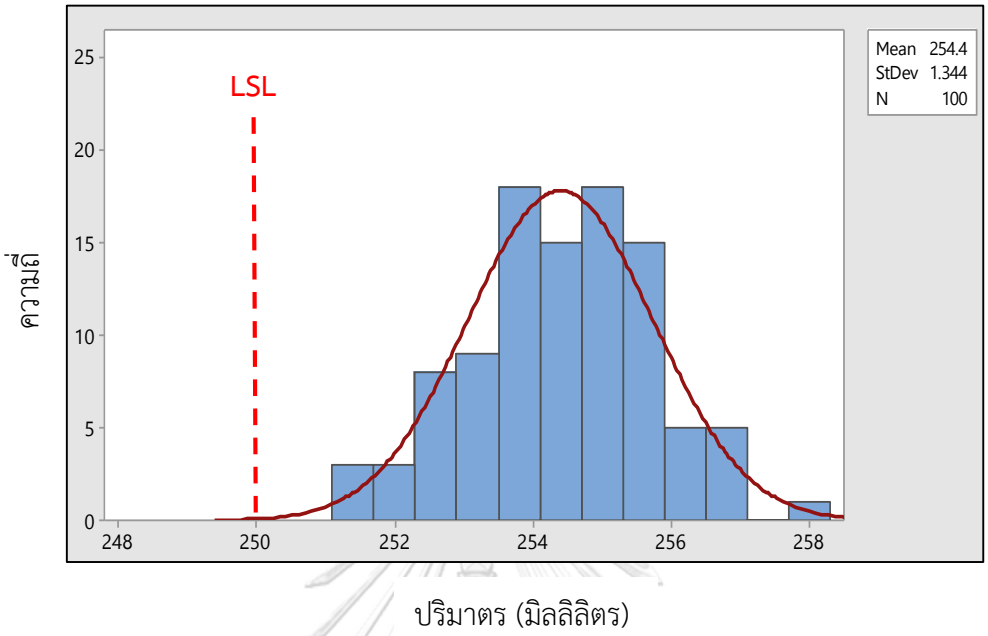
รูปที่ 5.4 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังปรับปรุงรอบการผลิตที่ 3

ข้อมูลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องหลังปรับปรุงรอบการผลิตที่ 3 มีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.009 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05



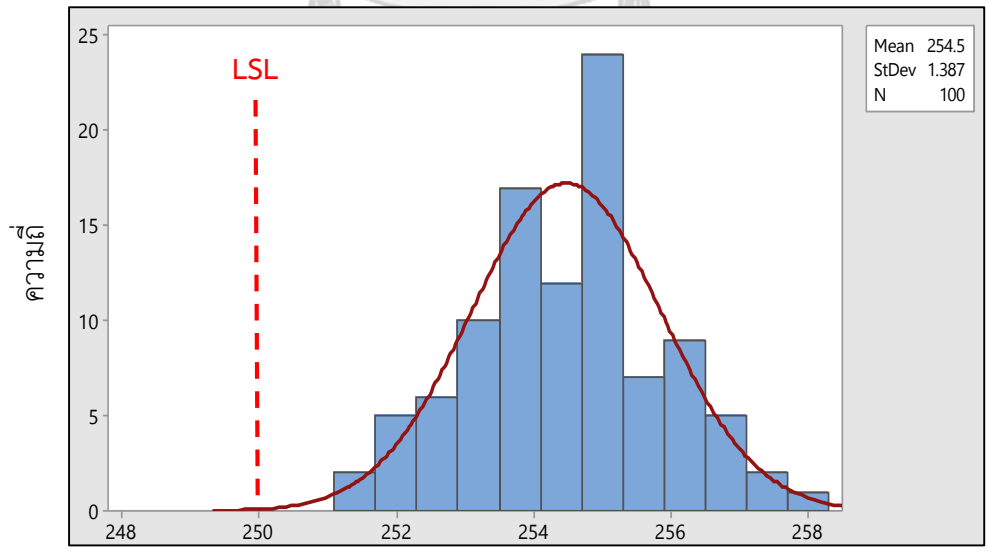
รูปที่ 5.5 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังปรับปรุงรอบการผลิตที่ 4

ข้อมูลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องหลังปรับปรุงรอบการผลิตที่ 4 มีการกระจายตัวแบบปกติ โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.300 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05



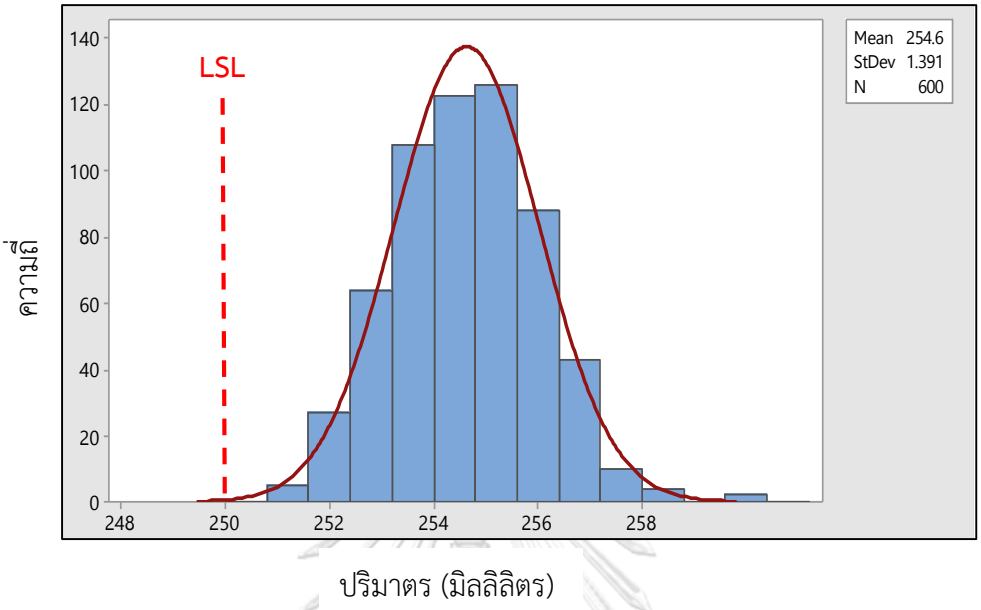
รูปที่ 5.6 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังปรับปรุงรอบการผลิตที่ 5

ข้อมูลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องหลังปรับปรุงรอบการผลิตที่ 5 มีการกระจายตัวแบบปกติ โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.977 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05



รูปที่ 5.7 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังปรับปรุงรอบการผลิตที่ 6

ข้อมูลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องหลังปรับปรุงรอบการผลิตที่ 6 มีการกระจายตัวแบบปกติ โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.821 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05

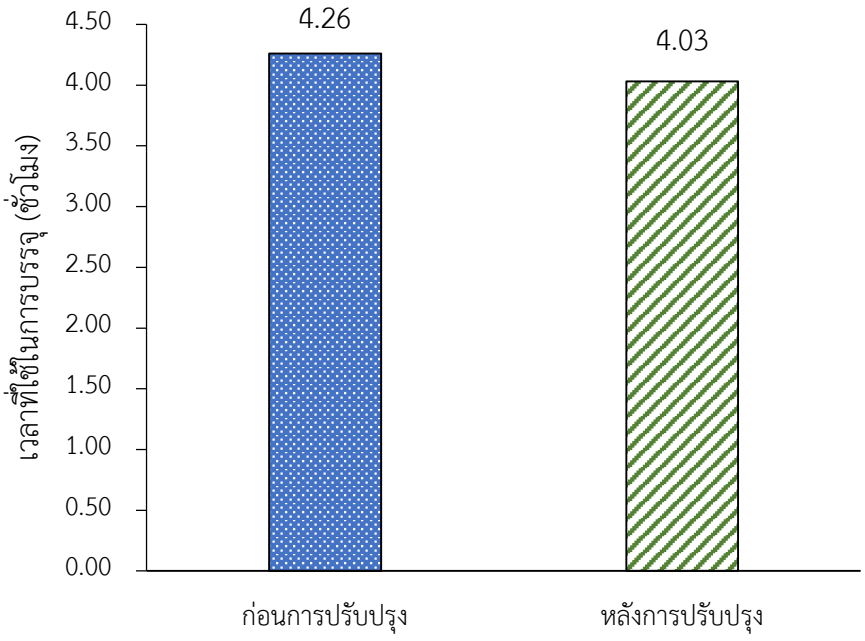


รูปที่ 5.8 ฮิสโตแกรมของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องในกระบวนการบรรจุหลังปรับปรุงทั้ง 6 รอบการผลิต

ข้อมูลปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องหลังปรับปรุงทั้ง 6 รอบการผลิตจำนวน 600 กระป๋องมีการกระจายตัวแบบปกติ โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.599 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05

จากรูปที่ 5.9 พบว่าหลังปรับปรุงกระบวนการบรรจุนั้นทำให้เวลาที่ใช้ในกระบวนการบรรจุเฉลี่ยทุกรอบการผลิตมีค่าลดลง 0.23 ชั่วโมง โดยการที่ค่าเวลาที่ใช้ในกระบวนการบรรจุหลังการปรับปรุงเฉลี่ยทุกรอบการผลิตลดลงจนมีค่าเท่ากับ 4.03 ชั่วโมงจะทำให้ค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงานต่อ 1 รอบการผลิตลดลงด้วยดังแสดงในรูปที่ 5.10 เนื่องจากกระบวนการบรรจุใช้เวลาในการบรรจุเกินจากเวลาที่ทางโรงงานกำหนดน้อย ซึ่งเวลาการทำงานของพนักงานใน 1 รอบการผลิตที่ทางโรงงานกำหนดเท่ากับ 4 ชั่วโมง แต่การที่ค่าเวลาที่ใช้ในกระบวนการบรรจุหลังการปรับปรุงลดลงจนมีค่าเท่ากับ 4.03 ชั่วโมงจะทำให้ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับความดันภายในถังเก็บมีค่าเพิ่มขึ้นจากก่อนปรับปรุงเท่ากับ 2.53 บาท เนื่องจากการเพิ่มความเร็วในการบรรจุต้องใช้ค่าความดันภายในถังเก็บที่สูงขึ้น ซึ่งการปรับความดันภายในถังเก็บให้สูงขึ้นจะเป็นผลให้มอเตอร์ต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น ดังนั้นค่าไฟฟ้าจึงเพิ่มขึ้นจากก่อนปรับปรุงกระบวนการ ผู้วิจัยจึงสามารถสรุปได้ว่าหลังปรับปรุงกระบวนการบรรจุมีความเร็วในการบรรจุสูงขึ้นส่งผลให้ค่าไฟฟ้าต่อ 1 รอบการผลิตเพิ่มขึ้นจากก่อน

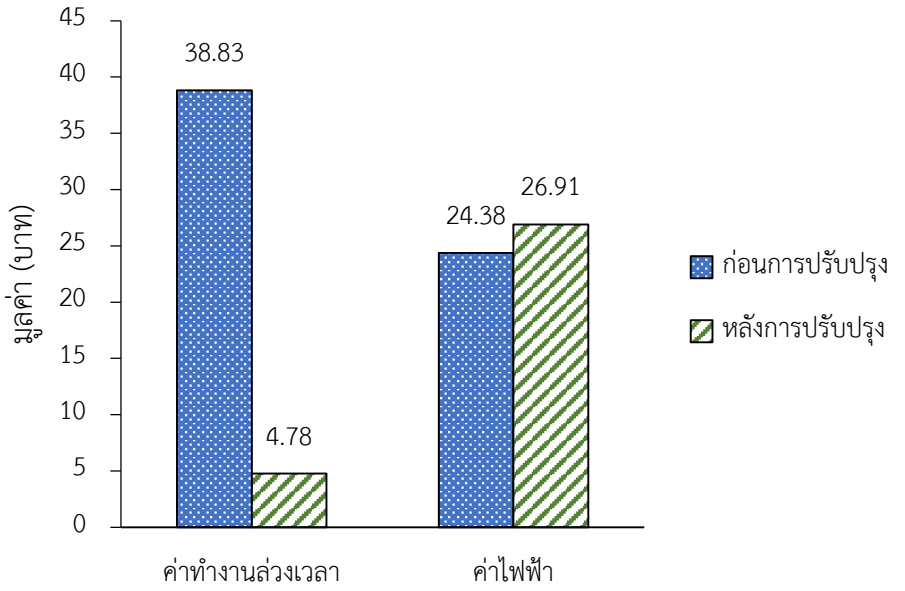
ปรับปรุงกระบวนการเท่ากับ 2.53 บาท แต่ส่งผลให้ค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงานต่อ 1 รอบการผลิตลดลงจากก่อนปรับปรุงกระบวนการเท่ากับ 34.05 บาท โดยจะเห็นได้ว่าค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงานต่อ 1 รอบการผลิตจะลดลงมากกว่าค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นต่อ 1 รอบการผลิต ซึ่งค่าไฟฟ้าและค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงานจะนำไปคำนวณเป็นมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ



รูปที่ 5.9 ความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการบรรจุระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

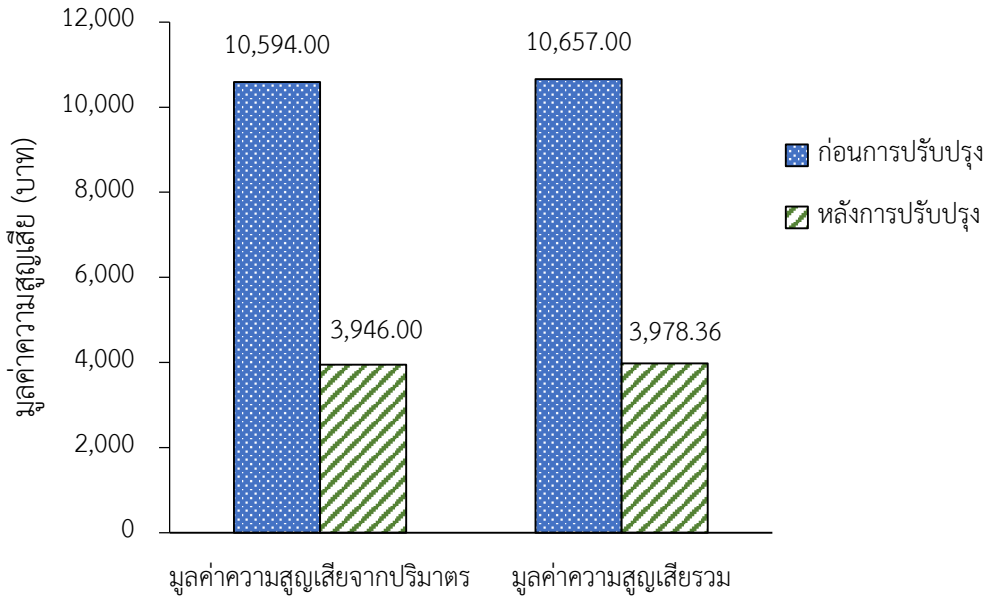
จากรูปที่ 5.9 พบว่าค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงาน และค่าไฟฟ้าต่อ 1 รอบการผลิตของกระบวนการบรรจุมีค่าลดลง 34.05 บาท และเพิ่มขึ้น 2.53 บาทตามลำดับ เนื่องจากกระบวนการบรรจุหลังการปรับปรุงมีความเร็วในการบรรจุสูงขึ้นจึงทำให้เวลาที่ใช้ในการบรรจุลดลงส่งผลให้ค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงานมีค่าลดน้อยลงมาก ถึงแม้ว่าการเพิ่มความเร็วในการบรรจุจะส่งผลให้ต้องตั้งค่าระดับความดันภายในถังเก็บในระดับสูง ซึ่งต้องใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์มากกว่าก่อนปรับปรังกระบวนการ แต่หลังปรับปรุงกระบวนการค่าไฟฟ้าก็เพิ่มขึ้นจากเดิมเพียง 2.53 บาทเท่านั้น ดังนั้นการเพิ่มความเร็วในกระบวนการบรรจุจึงส่งผลดีต่อมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ



รูปที่ 5.10 ความแตกต่างค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงาน และค่าไฟฟ้าในการปรับค่าความดันภายในถังเก็บระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 5.10 พบว่าหลังการปรับปรุงมูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุภายในกระป๋องไม่เหมาะสมต่อ 1 รอบการผลิตลดลงสูงถึง 6,648 บาท ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 62.75 ของมูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุภายในกระป๋องไม่เหมาะสมต่อ 1 รอบการผลิตก่อนปรับปรุง เนื่องจากหลังปรับปรุงกระบวนการบรรจุมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องที่น้อยลง และค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องมีค่าเหมาะสมจึงทำให้ไม่มีความสูญเสียกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด อีกทั้งยังมีความสูญเสียกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในปริมาณที่น้อย ดังนั้นหลังการปรับปรุงมูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุภายในกระป๋องไม่เหมาะสมต่อ 1 รอบการผลิตจึงมีค่าเพียง 3,946.67 บาท ส่วนหลังการปรับปรุงกระบวนการนั้นมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุต่อ 1 รอบการผลิตก็มีค่าลดลง 6,679 บาท คิดเป็นร้อยละ 62.67 ของมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุก่อนการปรับปรุงกระบวนการ เนื่องจากหลังการปรับปรุงกระบวนการบรรจุทำให้มูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุภายในกระป๋องไม่เหมาะสมต่อ 1 รอบการผลิตลดลงสูงถึง 6,648 บาท ค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงานต่อ 1 รอบการผลิตลดลง 34.05 บาท แม้ค่าไฟฟ้าต่อ 1 รอบการผลิตจะเพิ่มขึ้น 2.53 บาท แต่ก็ส่งผลกระทบน้อยมากต่อมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุต่อ 1 รอบการ

ผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงสามารถสรุปได้ว่ากระบวนการบรรจุหลังปรับปรุงกระบวนการมีมูลค่าความสูญเสียน้อยกว่าก่อนการปรับปรุงกระบวนการมาก



รูปที่ 5.11 ความแตกต่างของมูลค่าความสูญเสียจากปริมาตรบรรจุภายในกระป๋องไม่เหมาะสม และมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

5.2 การติดตามและควบคุมผล

หลังการปรับปรุงกระบวนการบรรจุ และทำการทดลองเพื่อยืนยันผลแล้ว ทางผู้วิจัยจึงจัดทำแผนควบคุม และวิธีการปฏิบัติงานใหม่ของการตั้งค่าเครื่องบรรจุเพื่อสร้างเป็นมาตรฐานในการตั้งค่าเครื่องบรรจุให้แก่พนักงานควบคุมเครื่องจักรต่อไป ซึ่งแผนควบคุมการตั้งค่าเครื่องบรรจุแสดงในตารางที่ 5.5 วิธีการปฏิบัติงานใหม่ของการตั้งค่าเครื่องบรรจุแสดงในตารางที่ 5.6 ส่วนแผ่นตรวจสอบการตั้งค่าเครื่องบรรจุแสดงในตารางที่ 5.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.5 แผนควบคุมการตั้งค่าเครื่องบรรจุ

จุดควบคุม	มาตรฐาน	หน่วย	การควบคุม			ผู้รับผิดชอบ	บันทึกคุณภาพ	แผนการแก้ไข
			อ้างอิง	เครื่องมือ	ความถี่			
ความยาวของท่อระบาย	ความยาวของท่อระบายต้องเท่ากับ 106.0 มิลลิเมตร	มิลลิเมตร	1	ตลับเมตร	ทุกครั้งก่อนการบรรจุ	พนักงานควบคุมเครื่องจักร	Check sheet	แก้ไขได้ด้วยตัวเอง
ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2	ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ต้องตั้งไว้ที่ระดับ 1	ระดับ	2	ไขควง	ทุกครั้งก่อนการบรรจุ	พนักงานควบคุมเครื่องจักร	Check sheet	แก้ไขได้ด้วยตัวเอง
ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2	ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ต้องตั้งไว้ที่ระดับ 3	ระดับ	3	ไขควง	ทุกครั้งก่อนการบรรจุ	พนักงานควบคุมเครื่องจักร	Check sheet	แก้ไขได้ด้วยตัวเอง
ค่าความดันภายในถังเก็บ	ค่าความดันภายในถังเก็บต้องเท่ากับ 3.5 บาร์	บาร์	4	เครื่องอินเวอร์เตอร์	ทุกครั้งก่อนการบรรจุ	พนักงานควบคุมเครื่องจักร	Check sheet	ประชุมแบบกลุ่ม
ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ	ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บต้องเท่ากับ 45 เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	5	คอมพิวเตอร์	ทุกครั้งก่อนการบรรจุ	พนักงานควบคุมเครื่องจักร	Check sheet	ประชุมแบบกลุ่ม

ตารางที่ 5.6 วิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการบรรจุ

WORK INSTRUCTION			DOC NO.02	APPROVED BY	REVIEWED BY	PREPARED BY
เรื่อง	การปฏิบัติงานในกระบวนการบรรจุ		PAGE:			
				DATE	DATE	DATE
ขั้นตอน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	อุปกรณ์	รูปภาพประกอบ			
STEP	PROCESS	EQUIPMENT	PICTURE			
1.	ตรวจสอบระบบไฟฟ้าของเครื่องบรรจุบริเวณแผงควบคุมวงจรว่ามีสิ่งผิดปกติหรือไม่					
2.	ตรวจสอบหัวบรรจุทั้ง 16 หัว เพื่อดูความพร้อมในการใช้งาน	ไขควง				
3.	ตรวจสอบความยาวของท่อระบายทั้ง 16 หัวบรรจุว่ามีความยาวเท่ากับ 106 มิลลิเมตรหรือไม่ ถ้ามีความยาวของท่อระบายไม่เท่ากับ 106 มิลลิเมตร พนักงานควบคุมเครื่องจักรต้องทำการเปลี่ยนท่อระบายให้มีความยาวตามกำหนด	ตลับเมตร ไขควง เลื่อยไฟฟ้า				
4.	ปรับระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ไว้ที่ระดับ 1 และปรับระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ต้องตั้งไว้ที่ระดับ 3	ไขควง				

ตารางที่ 5.6 วิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการบรรจุ (ต่อ)

WORK INSTRUCTION			DOC NO.02	APPROVED BY	REVIEWED BY	PREPARED BY
เรื่อง	การปฏิบัติงานในกระบวนการบรรจุ		PAGE:			
				DATE	DATE	DATE
ขั้นตอน STEP	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน PROCESS	อุปกรณ์ EQUIPMENT	รูปภาพประกอบ PICTURE			
5.	เปิดเครื่องบรรจุ และปรับการตั้งค่าปัจจัย คือ ค่าความดันภายในถังเก็บและค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บในโปรแกรมบริเวณหน้าจอมอนิเตอร์ โดยปรับค่าความดันภายในถังเก็บให้เท่ากับ 3.5 บาร์ และปรับค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บเท่ากับ 45 เปอร์เซ็นต์					
6.	ตรวจสอบระดับปัจจัยต่างๆว่าอยู่ในระดับตามแผนควบคุมแล้ว หลังจากนั้นจึงดำเนินกระบวนการบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ลงสู่กระป๋อง	แผ่นตรวจสอบ				
7.	ในระหว่างที่เครื่องบรรจุทำงานอยู่ให้พนักงานควบคุมเครื่องบรรจุคอยสังเกตว่าบนสายพานมีกระป๋องผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบรรจุแล้วล้มบนสายพานหรือไม่ ถ้ามีให้นำกระป๋องดังกล่าวออกจากสายพานก่อนกระป๋องจะเคลื่อนที่เข้าสู่เครื่องปิดฝา					
8.	บรรจุผลิตภัณฑ์ลงสู่ลังเพื่อส่งเข้าสู่คลังเก็บสินค้าต่อไป					

ตารางที่ 5.7 แผ่นตรวจสอบการตั้งค่าเครื่องบรรจุ

โรงงานกรณีศึกษา																																		
แผ่นตรวจสอบการตั้งค่าเครื่องบรรจุ																																		
			ประจำเดือน ..... พ.ศ.																																
จุดตรวจ	วิธีการ	มาตรฐาน	วัน																																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
ความยาวของท่อระบาย	Check	ความยาวของท่อระบายต้องเท่ากับ 106.0 มิลลิเมตร																																	
ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2	Check	ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ต้องตั้งไว้ที่ระดับ 1																																	

ตารางที่ 5.7 แผ่นตรวจสอบการตั้งค่าเครื่องบรรจุ (ต่อ)

โรงงานกรณีศึกษา																																								
เลขที่เอกสาร																																								
แผ่นตรวจสอบการตั้งค่าเครื่องบรรจุ																																								
ประจำเดือน ..... พ.ศ.																																								
จุดตรวจ	**วิธีการ**	**มาตรฐาน**	**วัน**																																						
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31							
ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2	Check	ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ต้องตั้งไว้ที่ระดับ 3																																						
ค่าความดันภายในถังเก็บ	Check	ค่าความดันภายในถังเก็บต้องเท่ากับ 3.5 บาร์																																						

บทที่ 6
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทสรุปและข้อเสนอแนะจะกล่าวถึงการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A ของโรงงานกรณีศึกษาตั้งแต่เริ่มต้นดำเนินการปรับปรุงจนกระทั่งการปรับปรุงเสร็จสิ้น และกล่าวถึงข้อจำกัดและข้อเสนอแนะของงานวิจัย

6.1 บทสรุปงานวิจัย

การปรับปรุงกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รสชาติ A ของโรงงานกรณีศึกษาเกิดจากมูลค่าความสูญเสียรวมเฉลี่ยที่เกิดจากกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A มีมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุก่อนการปรับปรุงต่อ 1 รอบการผลิตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12,377.46 บาท ซึ่งในหนึ่งเดือนจะมีการผลิตทั้งหมด 40 รอบการผลิต ดังนั้นมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุก่อนปรับปรุงต่อ 1 เดือนจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 495,098 บาท ทางโรงงานกรณีศึกษาจึงต้องการลดมูลค่าความสูญเสียรวมเฉลี่ยที่เกิดจากกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A เพื่อเป็นการลดต้นทุนให้แก่โรงงานกรณีศึกษาและเพิ่มศักยภาพการแข่งขันทางการตลาดให้มากยิ่งขึ้น โดยในกระบวนการบรรจุก่อนปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเท่ากับ 252.50 มิลลิลิตร 1.87 มิลลิลิตร ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทางผู้วิจัยและคณะทีมงานซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A จึงได้วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้เครื่องมือแผนผังสาเหตุและผลในการวิเคราะห์พบว่าสาเหตุทั้งหมดจากแผนผังสาเหตุและผลที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาตรน้ำภายในกระป๋องมีทั้งหมดเท่ากับ 28 สาเหตุ ทางผู้วิจัยและคณะทีมงานจึงจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องพบว่าปัจจัยที่มีคะแนนรวมมากอย่างชัดเจนมี 10 ปัจจัย โดยสามารถแบ่งแนวทางการปรับปรุงของปัจจัยทั้ง 10 ปัจจัยได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1. แนวทางการทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยประกอบด้วย 5 ปัจจัย ได้แก่ความยาวของท่อระบาย ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ค่าความดันภายในถังเก็บ และ ค่า

ระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ 2. แนวทางการจัดทำวิธีการปฏิบัติงานประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ โอริงวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ชำรุด โอริงวาล์วบรรจุน้ำผลิตภัณฑ์ชำรุด และ โอริงวาล์วไล่แก๊ส CO_2 ชำรุด และ 3. แนวทางการสร้างแผ่นตรวจสอบประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ปากกระป๋องเบี้ยว และกระป๋องบุบ ในขั้นตอนการปรับปรุงด้วยแนวทางการจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน และการสร้างแผ่นตรวจสอบสามารถทำให้กระบวนการบรรจุมีค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเท่ากับ 253.18 มิลลิลิตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1.56 มิลลิลิตร และมีผลิตภัณฑ์ที่เกิดความสูญเสียกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่า 250 มิลลิลิตร เท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องเพิ่มขึ้นจากก่อนปรับปรุง 0.68 มิลลิลิตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ลดลงจากก่อนปรับปรุง 0.31 มิลลิลิตร และผลิตภัณฑ์ที่เกิดความสูญเสียกรณีน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋องต่ำกว่า 250 มิลลิลิตรมีค่าลดลงจากก่อนปรับปรุง 1 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มตัวอย่างหลังจากปรับปรุงด้วยแนวทางการจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน และการสร้างแผ่นตรวจสอบ ส่วนแนวทางการทำการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย ทางผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ โดยอาศัยวิธีการพื้นผิวตอบสนองแบบส่วนประสมกลางชนิดแบบ Faced Central Composite Design : CCF ซึ่งพบว่าปัจจัยนำเข้าทั้ง 5 ปัจจัยส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่ามูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ จากนั้นจึงทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุ ซึ่งปัจจัยนำเข้า 5 ปัจจัยประกอบด้วย ความยาวของท่อระบาย ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 ค่าความดันภายในถังเก็บ และ ค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บ เมื่อได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุแล้วจึงทำการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุมีค่าน้อยที่สุดโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรมมินิแทป พบว่าค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ความยาวของท่อระบายเท่ากับ 106 มิลลิเมตร ระดับของวาล์วปิดแก๊ส CO_2 เท่ากับระดับ 1 ระดับของวาล์วที่ไล่อากาศและไล่แก๊ส CO_2 เท่ากับระดับ 3 ค่าความดันภายในถังเก็บเท่ากับ 3.5 บาร์ และค่าระดับน้ำผลิตภัณฑ์ภายในถังเก็บเท่ากับ 45 เปอร์เซ็นต์

หลังจากนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดลองเพื่อยืนยันผล โดยเก็บข้อมูลทั้งหมด 6 รอบการผลิตเก็บรอบการผลิตละ 100 กระป๋อง และทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาตรน้ำผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง และมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุมีค่าเท่ากับ 254.63 มิลลิลิตร 1.37 มิลลิลิตร และ 3,978 บาทต่อ 1 รอบการผลิตตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากก่อนปรับปรุงเท่ากับ 2.13 มิลลิลิตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจากก่อนปรับปรุงเท่ากับ 0.5 มิลลิลิตร และมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุลดลงจาก

ก่อนปรับปรุงเท่ากับ 6,679 บาทต่อ 1 รอบการผลิต คิดเป็นร้อยละ 62.67 ของมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุก่อนปรับปรุง และคาดว่าสามารถลดความสูญเสียได้ 3,205,920 บาทต่อปี ซึ่งมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุลดลงมากกว่าเป้าหมายที่ทางผู้วิจัยตั้งไว้ โดยเป้าหมายคือ ลดมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุลงร้อยละ 50 ของมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุก่อนปรับปรุง ฉะนั้นระดับปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่ได้จากการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้มูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการบรรจุมีค่าน้อยที่สุดโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรมมินิแทปจึงสามารถนำไปปรับใช้ในกระบวนการบรรจุได้จริง และทางผู้วิจัยได้จัดทำแผนควบคุม และวิธีการปฏิบัติงานใหม่ของการตั้งค่าเครื่องบรรจุเพื่อสร้างเป็นมาตรฐานในการตั้งค่าเครื่องบรรจุให้แก่พนักงานควบคุมเครื่องจักรต่อไป

6.2 ข้อจำกัดงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติ A ปริมาตรบรรจุ 250 มิลลิลิตร

2. ศึกษาการลดมูลค่าความสูญเสียรวมของกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ โดยลดมูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากเครื่องบรรจุเท่านั้น

3. งานวิจัยนี้ศึกษาเครื่องบรรจุที่ใช้บรรจุเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

6.3 ข้อเสนอแนะงานวิจัย

1. ทางโรงงานสามารถนำระดับปัจจัยที่เหมาะสมทั้ง 5 ปัจจัยไปปรับใช้กับเครื่องบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องรสชาติอื่นที่ส่วนผสมของน้ำผลิตภัณฑ์มีแก๊ส CO_2 ในปริมาณที่เท่ากันกับรสชาติ A และบรรจุที่ปริมาตร 250 มิลลิลิตรได้

2. ทางโรงงานสามารถนำแนวทางการปรับปรุงนี้ไปปรับใช้ในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่สกัดจากผลไม้ในรูปแบบกระป๋องที่ส่วนผสมของน้ำผลิตภัณฑ์มีแก๊ส CO_2 ในปริมาณที่ไม่เท่ากับรสชาติ A และปริมาตรบรรจุที่ไม่เท่ากับ 250 มิลลิลิตรได้ แต่ต้องหาค่าที่เหมาะสมของระดับปัจจัยใหม่

3. แนวทางการปรับปรุงนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องดื่มที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดอื่นได้เช่น น้ำอัดลม เบียร์ เป็นต้น

รายการอ้างอิง

ARZANI, M., MAHDAVI, H. R., BAKHTIARI, O. & MOHAMMADI, T. 2016. Preparation of mullite ceramic microfilter membranes using Response surface methodology based on central composite design. *Ceramics International,* 42**,** 8155-8164.

BAÍA, A. P. 2015. Achieving customer specifications through process improvement using Six Sigma: Case study of NutriSoil - Portugal. *Quality Management Journal,* 22**,** 48-60.

BALCIKANLI, M., TURKER, H. T., OZBAY, E., KARAHAN, O. & ATIS, C. D. 2017. Identifying the bond and abrasion behavior of alkali activated concretes by central composite design method. *Construction and Building Materials,* 132**,** 196-209.

DESAI, D., KOTADIYA, P., MAKWANA, N., & PATEL, S 2014. Curbing variations in packaging process through Six Sigma way in a large- scale food- processing industry. *Springer***,** 119-129.

DEWA, M., NAICKER, A., & SINGH, R. 2013. Root cause analysis for reduction of waste on bottle filling and crowning operations. *The South African Journal of Industrial Engineering*.

ECOSEAL. 2016. โอริง (*O-ring)* [Online]. Available: http://www.ecosealthailand.com [Accessed].

FURTERER, S. L. 2014. Lean Six Sigma Case Studies in the Healthcare Enterprise. Springer.

GUPTA, N. 2013. An Overview of Six Sigma: Quality improvement program. *International Journal of Technical Research and Applications,* 1**,** 29-39.

HEKMATPANAH, M. 2011. The application of cause and effect diagram in the oil industry in Iran: The case of four liter oil canning process of Sepahan Oil Company. 5.

KHAJORNPAISAN, N. & ROJANAROWAN, N. 2014. The effect of oxidized white liquor on pulp brightness in peroxide bleaching in pulp mills. *Advanced Materials Research.*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

KRISHNA, D. P., D.V. 2015. Central Composite design for optimization of Chromium (VI) removal from aqueous solution using low cost adsorbent. *Journal on Future Engineering & Technology,* 11.

LEE, K.-L. & SU, Y. 2013. *Applying Six Sigma to Quality Improvement in Construction*.

MONTGOMERY, D. C. 2009a. *Design and Analysis of Experiments*, John Wiley & Sons.

MONTGOMERY, D. C. 2009b. *Introduction to Statstical Quality Control*, John Wiley & Sons.

MONTGOMERY, D. C., & RUNGER, G. C. 2007. *Applied Statistics and Probability for Engineers*, John Wiley & Sons.

NASRAH, N., ZAHARI, M., MASNGUT, N., & ARIFFIN, H. 2017. Factorial experimental design for biobutanol production from oil palm frond (OPF) juice by clostridium acetobutylicum ATCC 824. *Chemical Enginerring Research Bullrtin,* 19**,** 36-42.

P.RYAN, T. 2009. *Modern Regression Methods*, John Wiley & Sons.

RUTHAIPUTPONG, P. & ROJANAROWAN, N. 2013. Improvement of track zero to increase read/write area in hard disk drive assembly process. *Uncertain Supply Chain Management,* 1**,** 165-176.

SUJOVA, A., SIMANOVA, L. & MARCINEKOVA, K. 2016. Sustainable process performance by application of Six Sigma concepts: The research study of two industrial cases. *Sustainability (Switzerland),* 8.

SURIYASUPHAPONG, S. R., N. 2014. The Use of the Six Sigma Approach to Minimize the Defective Rate from Bending Defects in Hard Disk Drive Media Disks. *Advanced Materials Research,* 974**,** 298-304.

TSAROUHAS, P. H. & ARVANITOYANNIS, I. S. 2010. Assessment of operation management for beer packaging line based on field failure data: A case study. *Journal of Food Engineering,* 98**,** 51-59.

TUPACK. 2013. เครื่องจักรบรรจุภัณฑ์ [Online]. Available: http://www.tupack.co.th. [Accessed].

VALLES, A., SANCHEZ, J., NORIEGA, S., & NUNEZ, B. 2009. Implementation of Six Sigma in a Manufacturing Process: A Case Study. *International Journal of Industrial Engineering,* 16**,** 171-181.

VISSCHER, D. *Dichtomatik O-Ring Handbook,* North America, Dichtomatik.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

WANG, H., XIE, M. & GOH, T. N. 1998. A comparative study of the prioritization matrix method and the analytic hierarchy process technique in quality function deployment. *Total Quality Management,* 9**,** 421-430.

WONG, W. H., LEE, W. X., RAMANAN, R. N., TEE, L. H., KONG, K. W., GALANAKIS, C. M., SUN, J. & PRASAD, K. N. 2015. Two level half factorial design for the extraction of phenolics, flavonoids and antioxidants recovery from palm kernel by-product. *Industrial Crops and Products,* 63**,** 238-248.

YAM, K. L. 2010. *The Wiley encyclopedia of packaging technology*, John Wiley & Sons.

นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ 2559. เอกสารประกอบการเรียนวิชา Quality Improvement กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปารเมศ ชุติมา 2545. การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วศิน พันธ์เมฆากุล. 2552. การลดความผันแปรของน้ำหนักบรรจุผลิตภัณฑ์ขวด ของเครื่องบรรจุ *Filpac* โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์ 2010. เรื่องน่ารู้ก่อนใช้งานมาตรฐาน MIL-STD-105E *For Quality* 16**,** 150.

หทัยชนก พรหมศร. 2559. การลดปริมาณของเสียในกระบวนการบรรจุครีมยืดผมแบบกระปุก. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุกฤษฏ์ ปัทมานันท์ 2559. อุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ของประเทศในกลุ่มอาเซียนที่มีโอกาสและแนวโน้มส่งผลกระทบต่อประเทศไทย, กรุงเทพฯ, ศูนย์วิจัยปัญหาสุราร่วมกับศูนย์แม่โขงศึกษา สถาบันเอเชียศึกษา.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชานิดา กัมพลานนท์ เกิดเมื่อวันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2536 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดนครศรีธรรมราช และได้เข้าศึกษาต่อจนสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2558 หลังจากนั้นจึงได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2559

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University