การประยุกต์ใช้หลักการ Six Sigma เพื่อลดสินค้าที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม

โดย
นางสาวเกวลิน สำเภาทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 1
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การประยุกต์ใช้หลักการ Six Sigma เพื่อลดสินค้าที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม

โดย
นางสาวเกวลิน สำเภาทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 1
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

AN APPLICATION OF SIX SIGMA PRINCIPLE FOR REDUCING NON-CONFORMING PRODUCT IN BEVERAGE FILLING PROCESS

By

MISS Kewalin SAMPAOTHONG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Engineering ENGINEERING MANAGEMENT

Department of INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT

Academic Year 2024

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การประยุกต์ใช้หลักการ Six Sigma เพื่อลดสินค้าที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม
โดย	นางสาวเกวลิน สำเภาทอง
สาขาวิชา	การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 1
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ดร. สิทธิชัย แซ่เหล่ม

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์และ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุณศรี ลีจีรจำเนียร) เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ พรสิงห์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ดร. สิทธิชัย แซ่เหล่ม)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทองแท่ง ทองลิ่ม)

650920051 : การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 1
คำสำคัญ : ซิกซ์ ซิกม่า, ลดของเสีย, การบรรจุเครื่องดื่ม

นางสาว เกวลิน สำเภาทอง: การประยุกต์ใช้หลักการ Six Sigma เพื่อลดสินค้าที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ดร. สิทธิชัย แซ่เหล่ม

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากการเติมปริมาณเครื่องดื่มไม่ได้ตามข้อกำหนดการผลิต โดยประยุกต์ใช้หลักการของทฤษฎีซิกซ์ ซิกม่าในการช่วยปรับปรุงกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มให้มีการแปรผันน้อยที่สุด ซึ่งงานวิจัยนี้ดำเนินการตามขั้นตอนของ DMAIC ประกอบไปด้วย 1) ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define Phase) ทำการวิเคราะห์โดยใช้กราฟพาเรโต พบว่าที่เครื่อง Full Bottle Inspector1 มีของเสียประเภทระดับเครื่องดื่มไม่ได้ตามที่กำหนดมีมูลค่าสูญเสียสูงที่สุดจึงเลือกมาเป็นหัวข้อศึกษาวิจัย 2) ขั้นตอนการตรวจวัดสภาพปัญหา (Measure Phase) เริ่มจากการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุง เพื่อประเมินสภาพ ณ ปัจจุบันของกระบวนการและเครื่องจักร โดยใช้เครื่องมือทางสถิติวิศวกรรม 3) ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) จะทำการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยที่อาจจะส่งผลต่อระดับการเติมเครื่องดื่ม และนำปัจจัยที่ได้มาทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เพื่อพิสูจน์หาปัจจัยที่แท้จริงและหาปัจจัยที่ Interaction Effect ต่อกัน 4) ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) ในขั้นตอนนี้จะทำการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย เพื่อให้ได้ระดับการเติมเครื่องดื่มตามทางบริษัทกำหนด โดยใช้วิธี Response Optimizer พบว่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสม คือ ความยาวของ Vent tube เพิ่มขึ้นจากเดิม 3 มิลลิเมตร แรงดันใน Ring Bowl เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.1 บาร์ ระดับน้ำใน Ring Bowl เพิ่มขึ้นจากเดิม 20 มิลลิเมตร และ 5) ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase) ทำการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ และใช้ Statistical Process Control Chart เพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มของกระบวนการที่จะเกิดความผิดปกติขึ้น ผลการทดลองพบว่าเมื่อตั้งค่าเครื่องจักรด้วยค่าที่เหมาะสม ส่งผลให้ของเสียประเภทเติมเครื่องดื่มเกินมาตรฐานกำหนด (Overfill) จากเดิม 16.31% ลดลงเหลือ 0% ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากเดิม 1.661 ลดลงเป็น 0.827 ค่าศักยภาพของความสามารถ (C_p) จากเดิม 0.58 เพิ่มขึ้นเป็น 1.03 ค่าความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) จากเดิม 0.33 เพิ่มขึ้นเป็น 0.85 และระดับการเติมเครื่องดื่มจากเดิม 0.94 ซิกม่า เพิ่มขึ้นเป็น 2.93 ซิกม่า

650920051 : Major ENGINEERING MANAGEMENT
Keyword : six sigma, reducing waste, beverage filling

MISS Kewalin SAMPAOTHONG : An Application of Six Sigma Principle for Reducing Non-Conforming Product in Beverage Filling Process Thesis advisor : Dr. Sitichai Saelem

This article aims to reduce nonconforming product from filling the beverages process by applying Six Sigma principles to minimize process variation in beverage filling process. This research follows the DMAIC methodology, which includes: 1) Define Phase, an analysis using a Pareto chart revealed that the highest loss was due to improper fill levels at the Full Bottle Inspector1 machine. Therefore, this issue was chosen as the research topic. 2) Measure Phase, data was collected before improvement to assess the current state of the process and machinery using statistical engineering tools. 3) Analyze Phase, brainstorming was conducted to identify factors that might affect fill levels. These factors were then subjected to a Design of Experiment (DOE) to determine the true causes and interaction effects. 4) Improve Phase, the optimal values for each factor were identified to achieve the company's fill level specifications using the Respond Optimizer method. The appropriate factor levels were found to be an increase in vent tube length by 3 mm, an increase in ring bowl pressure by 0.1 bar, and an increase in water level in the ring bowl by 20 mm. 5) Control Phase, variables were controlled using a Statistical Process Control Chart to monitor process trends for abnormalities. The experimental results showed that setting the machinery to these optimal values reduced the overfill waste from 16.31% to 0%. The standard deviation decreased from 1.661 to 0.827. The process capability index (C_p) increased from 0.58 to 1.03, the process capability (C_{pk}) increased from 0.33 to 0.85, and the level sigma increased from 0.94 to 2.93.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจาก ดร. สิทธิชัย แซ่เหล่ม ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและควบคุมในการดำเนินงานจัดทำวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ พรสิงห์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทองแท่ง ทองลิ่ม คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิในการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้ และคำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขส่วนที่บกพร่อง เพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้ขอขอบพระคุณหัวหัวหน้าหน่วยบรรจุเครื่องดื่ม พนักงงานคุมเครื่องจักร ทีมช่างซ่อมบำรุง และทีมงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องของบริษัทเครื่องดื่มตัวอย่างที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ผู้ทำวิจัยได้เข้าไปศึกษาข้อมูลและดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งต้องขอกราบขอบพระคุณทางครอบครัวที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจอย่างดีเสมอมา ซึ่งทำให้ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง สุดท้ายขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวอุตสาหการและการจัดการที่คอยช่วยเหลือในด้านเอกสารต่าง ๆ เพื่อนนักศึกษาปริญญาโท สาขาการจัดการงานวิศวกรรมที่คอยช่วยให้กำลังใจ ช่วยผลักดันให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์กับท่านผู้สนใจและผู้เกี่ยวข้อง คุณความดีที่ได้จากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ให้การศึกษาอบรมสั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้ทำวิจัย จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

เกวลิน สำเภาทอง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 หลักการ Six Sigma 4

2.2 เครื่องมือคุณภาพ 7 ประการ (QC 7 Tools) 12

2.3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) 17

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 20

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 26

3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานตัวอย่าง 26

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยตามหลักการ DMAIC 27

บทที่ 4 ผลการวิจัย 33

4.1 ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define Phase) 33

4.2 ขั้นตอนการตรวจวัดสภาพปัญหา (Measure Phase) 36
4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) 39
4.4 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) 50
4.5 ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase) 54
บทที่ 5 สรุปผล 55
5.1 สรุปผล 55
5.2 ข้อเสนอแนะ 55
รายการอ้างอิง 56
ประวัติผู้เขียน 59

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 จำนวนของเสียในหลากหลายระดับ 5

ตารางที่ 2 รูปแบบการทดลองที่นิยมในปัจจุบัน..... 18

ตารางที่ 3 แบบฟอร์มบันทึกการตรวจวัดระดับการเติมเครื่องดื่ม 28

ตารางที่ 4 ข้อมูลตรวจวัดระดับการเติมเครื่องดื่มเดือนมกราคม 2565 ถึงเดือนพฤษภาคม 2566 ... 37

ตารางที่ 5 ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลอง 2^k Factorial Design แบบ 2 ระดับ..... 41

ตารางที่ 6 แผนการทดลอง 2^k Factorial Design แบบ 2 ระดับต่อกัน..... 41

ตารางที่ 7 ผลการทดลองปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับการเติมเครื่องดื่ม 42

ตารางที่ 8 ข้อมูลตรวจวัดระดับการเติมเครื่องดื่มหลังการปรับปรุง..... 51

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง 53

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แผนผังขั้นตอน DMAIC 7

ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกส์ซิกมาใน Define Phase 8

ภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกส์ซิกมาใน Measure Phase 9

ภาพที่ 4 แสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกส์ซิกมาใน Analyze Phase 10

ภาพที่ 5 แสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกส์ซิกมาใน Improve Phase 11

ภาพที่ 6 แสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกส์ซิกมาใน Control Phase 12

ภาพที่ 7 ตัวอย่างใบตรวจสอบ 13

ภาพที่ 8 ตัวอย่างกราฟเส้น 13

ภาพที่ 9 ตัวอย่างกราฟแท่ง 14

ภาพที่ 10 ตัวอย่างกราฟวงกลม 14

ภาพที่ 11 ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโต 15

ภาพที่ 12 ลักษณะแผนภูมิเหตุและผล 15

ภาพที่ 13 ตัวอย่างแผนภูมิการกระจาย 16

ภาพที่ 14 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม 17

ภาพที่ 15 ตัวอย่างแผนภาพฮิสโตแกรม 17

ภาพที่ 16 การทดลองร่วมปัจจัยของ 2^k Factorial Design 19

ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม 19

ภาพที่ 18 แผนผังกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มโรงงานตัวอย่าง 26

ภาพที่ 19 กำหนดการวัดระดับการเติมเครื่องดื่ม 28

ภาพที่ 20 ตัวอย่างกราฟแผนภูมิควบคุม x-s 29

ภาพที่ 21 ตัวอย่างกราฟ Histogram 29

ภาพที่ 22 ตัวอย่างค่าความสามารถของกระบวนการ (C_p, C_{pk})..... 30
ภาพที่ 23 แผนภูมิพาเรโตเปอร์เซ็นต์มูลค่าความสูญเสียเกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม..... 33
ภาพที่ 24 แผนภูมิพาเรโตเปอร์เซ็นต์ของเสียที่พบแต่ละลักษณะที่เครื่อง Full Bottle Inspector134
ภาพที่ 25 ส่วนประกอบของเครื่องบรรจุเครื่องดื่ม (Filler)..... 35
ภาพที่ 26 แผนผังกระบวนการเติมเครื่องดื่ม..... 36
ภาพที่ 27 กราฟแผนภูมิควบคุม x-s ระดับการเติมเครื่องดื่มก่อนการปรับปรุง..... 37
ภาพที่ 28 กราฟ Histogram ระดับการเติมเครื่องดื่มก่อนการปรับปรุง..... 38
ภาพที่ 29 Process Capability Report ก่อนปรับปรุง..... 39
ภาพที่ 30 Normal Probability Plot..... 46
ภาพที่ 31 Versus Order..... 46
ภาพที่ 32 Versus Fits..... 47
ภาพที่ 33 Main Effects Plot for Fill Level..... 48
ภาพที่ 34 Interaction Plot for Fill Level..... 48
ภาพที่ 35 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเติมเครื่องดื่ม..... 49
ภาพที่ 36 ผลการวิเคราะห์การหาค่าที่เหมาะสม..... 50
ภาพที่ 37 กราฟแผนภูมิควบคุม x-s ระดับการเติมเครื่องดื่มหลังการปรับปรุง..... 51
ภาพที่ 38 กราฟ Histogram ระดับการเติมเครื่องดื่มหลังการปรับปรุง..... 52
ภาพที่ 39 Process Capability Report หลังการปรับปรุง..... 52

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมเครื่องดื่มถือเป็นหนึ่งอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่ มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตมนุษย์ในด้านการบริโภค และมีความสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งในปี 2563 อุตสาหกรรมเครื่องดื่มในไทยมีโรงงานที่จดทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 420 แห่ง รวมมูลค่าประมาณ 7.2 แสนล้านบาท ในปัจจุบันรายได้ของอุตสาหกรรมเครื่องดื่มในประเทศไทยมีแนวโน้มกลับมาขยายตัวได้ดีในปี 2565 - 2567 หลังฟื้นตัวตามทิศทางตลาด อันเนื่องจากปัญหาการแพร่ระบาดของ COVID-19 การดำเนินนโยบายเปิดประเทศเต็มรูปแบบ รวมถึงการผ่อนคลายมาตรการ Zero-Covid ของจีนที่จะทำให้นักท่องเที่ยวชาวจีนเดินทางกลับมาเที่ยวไทยมากขึ้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะสนับสนุนให้กิจกรรมทางเศรษฐกิจโดยเฉพาะด้านการท่องเที่ยวขยายตัวทำให้ความต้องการบริโภคเครื่องดื่มเพิ่มขึ้น [1]

ในขณะเดียวกันอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบรรจุขวดเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้เงินลงทุนเริ่มแรกสูง และเนื่องจากมีการพัฒนาเครื่องจักรและเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง จึงสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยให้ต่ำลง ทำให้มีผู้ประกอบการรายใหม่เข้าสู่ตลาดเพิ่มมากขึ้น ลูกค้ามีแบรนด์เครื่องดื่มทางเลือกเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ปัจจุบันตลาดเครื่องดื่มมีสภาพการแข่งขันที่สูงขึ้น ทำให้ภาคการผลิตจำเป็นต้องมีการปรับตัว ปรับปรุง และพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าทั้งด้านคุณภาพ ด้านปริมาณรวมถึงการส่งมอบสินค้าได้ตรงตามระยะเวลาที่กำหนด โดยยังต้องคำนึงถึงปัจจัยสำคัญของภาคการผลิต คือ การลดต้นทุนที่เกิดจากการสูญเสียในกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มผลกำไรให้กับบริษัทมากขึ้นและสร้างความได้เปรียบเหนือคู่แข่งเพื่อความอยู่รอดทางธุรกิจ

หากพิจารณาต้นทุนสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มพบว่า มีต้นทุนที่เกิดจากการบรรจุที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานของทางฝ่ายประกันคุณภาพ ต้องนำกลับไปผ่านกระบวนการใหม่ กำจัดทิ้ง และอีกกรณีถ้าบรรจุเกินระดับจะสูญเสียต้นทุนเครื่องดื่ม จึงทำให้เกิดต้นทุนต่อหน่วยสูงเกินกว่าที่ทางบริษัทคาดการณ์เอาไว้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งว่าต้องหาวิธีการที่จะป้องกันไม่ให้เกิดของเสียขึ้นในกระบวนการ เพื่อให้กระบวนการผลิตเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ตั้งแต่ครั้งแรก (Right first Time) เพื่อควบคุมต้นทุนของการผลิตตามแผนงานที่คาดการณ์ไว้ และลดจำนวนงานของเสียที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตด้วย [2]

จากการศึกษาอุตสาหกรรมเครื่องดื่มถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติขนาดใหญ่ มีกระบวนการผลิตหลายขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อคุณภาพสินค้า ซึ่งหนึ่งในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มที่ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ คือ กระบวนการบรรจุ (Filling) หากเติมไม่ได้มาตรฐานค่าที่กำหนดไว้จะส่งผลต่อความพึงพอใจของลูกค้าและส่งผลต่อต้นทุนการผลิตเครื่องดื่ม ผู้วิจัยได้มีการเก็บข้อมูลจากบริษัทผลิตเครื่องดื่มแห่งหนึ่งที่มีการเกิดของเสียจากกรณีปริมาณการเติมเครื่องดื่มไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดเมื่อนำไปคำนวณมูลค่าของเสียเทียบกับอัตราเฉลี่ยการผลิตทั้งปี คิดเป็นมูลค่าหลายล้านบาท ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาทฤษฎีที่สามารถลดของเสียและช่วยลดความแปรผันของกระบวนการผลิตที่จะเกิดขึ้นอย่างยั่งยืน

จากการค้นคว้าพบว่าหลักการที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพและควบคุมของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตคือ ซิกส์ ซิกม่า (Six Sigma) เป็นกระบวนการที่นำเอาเครื่องมือคุณภาพต่าง ๆ และวิธีการทางสถิติมาใช้อย่างเป็นระบบ เพื่อลดความแปรผันในกระบวนการและลดของเสียที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนจากการเกิดข้อผิดพลาด เพิ่มผลกำไรและสร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า [3] Ayisha (2014) ได้กล่าวว่าหากต้องการให้บริษัทสามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้จะต้องลดความแปรปรวนในกระบวนการผลิตและลดของเสีย สามารถสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าได้และช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจได้ และมาลิษา มะกำหิน (2565) ได้ใช้หลักการ Six Sigma โดยนำขั้นตอนของการปฏิบัติทั้งหมด 5 ขั้นตอน คือ 1) การกำหนดปัญหา (Define Phase) 2) การตรวจวัด (Measure Phase) 3) การวิเคราะห์ (Analyze Phase) 4) การปรับปรุง (Improve Phase) และ 5) การควบคุม (Control Phase) มาประยุกต์ใช้พบว่าหลังการปรับปรุงสามารถลดปริมาณของเสียไปได้ 96% และได้ออกแบบการตรวจสอบกระบวนการทำให้ของเสียหลังการปรับปรุงลดลงอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน [4]

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากการเติมปริมาณเครื่องดื่มไม่ได้ตามที่โรงงานกำหนด โดยนำทฤษฎี Six Sigma มาประยุกต์ใช้โดยทำตามวิธีการทำงานแบบ DMAIC เพื่อมาช่วยปรับปรุงกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มให้มีการแปรผันน้อยที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาบริษัทตัวอย่างที่ทำเกี่ยวกับอุตสาหกรรมเครื่องดื่มประเภทขวดแก้ว โดยมุ่งศึกษาที่กระบวนการบรรจุเครื่องดื่มที่เครื่องบรรจุเครื่องดื่ม (Filler) ซึ่งจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูล

เดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน 2566 และดำเนินการวิจัยตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2566 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2567

1.3.2 ศึกษาข้อมูลเชิงสถิติของการสูญเสียในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา หาแนวทางการแก้ไข และควบคุมให้กระบวนการบรรจุมีมาตรฐาน โดยการประยุกต์ใช้แนวคิด Six Sigma

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม

1.4.2 สามารถลดต้นทุนในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม เพื่อเพิ่มโอกาสในการแข่งขันทางธุรกิจกับคู่แข่ง

1.4.3 ประสิทธิภาพกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มเพิ่มขึ้น

1.4.4 เป็นแนวทางอันเป็นประโยชน์และเป็นต้นแบบสำหรับผู้ที่ต้องการลดของเสียในกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการ Six Sigma

กันยรัตน์ โหละสุต (2547) กล่าวว่า จุดกำเนิดของวิธี Six Sigma เริ่มขึ้นเมื่อบริษัท โมโตโรล่า (Motorola) ได้พัฒนาและสร้างโครงการเพื่อปรับปรุงคุณภาพของสินค้าโดยกลุ่มวิศวกรของบริษัทจนประสบความสำเร็จอย่างสูง ต่อมาในปี ค.ศ. 1988 บริษัท โมโตโรล่า (Motorola) ได้ตีพิมพ์และเปิดเผยวิธีใหม่ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของสินค้าภายใต้ชื่อ “วิธี Six Sigma” หลังจากนั้นบริษัทต่าง ๆ ในสหรัฐอเมริกาจึงได้นำแนวคิดการบริหารการจัดการแบบ Six Sigma เข้ามาใช้และประสบความสำเร็จสามารถลดค่าใช้จ่ายของบริษัทได้อย่างมาก ในด้านของความหมายสัญลักษณ์ Sigma เป็นตัวอักษรกรีกตัวหนึ่งซึ่งในทางสถิติ สัญลักษณ์ σ ซึ่งหมายถึงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ซึ่งเป็นตัวเลขที่ใช้ในการบ่งบอกถึงการกระจายของข้อมูล ในส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือ Sigma เริ่มมามีบทบาทในวงการของการปรับปรุงและรักษาคุณภาพในปี ค.ศ. 1931 เมื่อ Walter A. Shewhart (1931) ได้แนะนำว่าในกระบวนการใด ๆ ถ้าค่าเฉลี่ยของคุณภาพของผลผลิตหรือของผลลัพธ์ที่ได้ห่างจากค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้มากกว่าสามเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกระบวนการนั้นก็ควรที่จะปรับปรุงใหม่ Nimkar and Dhargawe (1987) กล่าวว่าปัจจุบัน “Six Sigma” ได้ถูกจัดให้เป็นเครื่องหมายการค้าของบริษัทโมโตโรล่า [5]

นุสรา ผาระนัตร (2555) กล่าวว่า Six Sigma เป็นแนวคิดหนึ่งที่ใช้สำหรับการพัฒนาคุณภาพโรงงานหรือองค์กร โดยกำหนดเป้าหมายในการปฏิบัติงานให้เหมือนกันซ้ำ ๆ กันจนทำให้การวัดผลการผลิตภัณฑ์ หรือการวัดการบริการได้ข้อมูลที่เหมือนกัน ซ้ำกัน หรือมีการกระจายตัวของข้อมูลน้อยมาก ๆ และผลจากการวัดจะต้องแสดงให้เห็นว่าได้ของดีหรือได้บริการที่ดีทั้งหมด หรือมีข้อบกพร่องน้อยมาก ๆ เมื่อเทียบกับการปฏิบัติงานเป็นล้านครั้ง Six Sigma เป็นกระบวนการที่ให้องค์กรต่าง ๆ ปรับปรุงขีดความสามารถ โดยการออกแบบและตรวจสอบกระบวนการผลิตประจำวันเพื่อลดสิ่งสูญเปล่า [6, 7]

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2545) กล่าวว่า ซิกส์ ซิกมา (Six Sigma) คือ กระบวนการปรับปรุงคุณภาพในองค์กรเพื่อลดข้อบกพร่อง (Defect) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่าง ๆ โดยมุ่งเน้นให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการน้อยที่สุด หรือหมายความได้ว่าสามารถเกิดของเสียได้ไม่เกิน 3.4 ชิ้นต่อล้านชิ้นต่อครั้ง หรือเรียกอีกอย่างได้ว่าลดความสูญเสียโอกาสลงให้เหลือเพียง 3.4 หน่วยต่อล้านหน่วย (Defect per Million Opportunities, DPMO) แต่จริง ๆ แล้วทางสถิติ Six Sigma จะมี

ขอบเขตของเสียยอมรับอยู่ที่ 0.00 ชิ้นต่อล้านชิ้น แต่ด้วยหลักการ Six Sigma ที่ใช้ในปัจจุบันยอมรับอยู่ที่ 3.4 ชิ้นต่อล้านชิ้น เนื่องมาจากขณะที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในบริษัทโมโตโรล่านั้นได้พบว่า ไม่มีกระบวนการผลิตใดเลยที่จะไม่ถูกสภาพแวดล้อมภายนอกมารบกวน นั้นหมายความได้ว่าเราไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกเพื่อไม่ให้ส่งผลถึงความเบี่ยงเบนของข้อมูลได้ ถ้าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติเปอร์เซ็นต์ภายใต้ในข้อกำหนดมีค่าเท่ากับ 99.999998% และมีของเสียเพียง 0.002 PPM ซึ่งระบบที่ไม่มีความแปรปรวนเลยเป็นเพียงระบบในอุดมคติ (Ideal System) ดังนั้นบริษัทโมโตโรล่าจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลใหม่ในกระบวนการผลิตเพื่อหาความแปรปรวนที่เกิดจากปัจจัยภายนอก ส่งผลถึงความคลาดเคลื่อนของค่ากึ่งกลางซึ่งได้ข้อสรุปจากการวิเคราะห์ คือ ค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลอันเนื่องมาจากปัจจัยภายนอกมีค่าอยู่ในช่วง 1.4 ถึง 1.6 เท่าของซิกมา จึงนำค่าเฉลี่ย คือ 1.5 เท่าของซิกมา เป็นค่าความเบี่ยงเบนของกึ่งกลางข้อมูลที่ยอมรับซึ่งนำมาใช้ในทฤษฎี Six Sigma ที่ระดับหกซิกมา เปอร์เซ็นต์ภายใต้ในข้อกำหนดมีค่าเท่ากับ 99.999660% และของเสียเท่ากับ 3.4 PPM [8]

ตารางที่ 1 จำนวนของเสียในหลากหลายระดับ
ที่มา : [8]

ขอบเขตข้อกำหนด (LSL & USL)	ค่าเฉลี่ย = เป้าหมาย		ค่าเฉลี่ย = เป้าหมาย±1.5 σ		Sigma Level
	%ของผลผลิตที่ดี	จำนวนดีเฟคในหนึ่งล้านชิ้น	%ของผลผลิตที่ดี (1.5σ Shift)	จำนวนดีเฟคในหนึ่งล้านชิ้น (1.5σ Shift)	
-1 σ & +1 σ	68.27	317300	30.23	697700	1
-2 σ & +2 σ	95.45	45500	69.13	308700	2
-3 σ & +3 σ	99.73	2700	93.32	66810	3
-4 σ & +4 σ	99.9937	63	99.37	6210	4
-5 σ & +5 σ	99.999943	0.57	99.97670	233	5
-6 σ & +6 σ	99.9999998	0.002	99.999660	3.4	6

วิบูลย์ ฉัตรจิต (2547) กล่าวว่า จุดมุ่งหมายที่สำคัญของ Six Sigma คือ การปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่องเพื่อสร้างผลกำไร โดยการกำจัดความแปรปรวน ลดความสูญเสียต่างๆ และเป็นการเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าในด้านคุณภาพ ต้นทุนการส่งมอบของผลิตภัณฑ์และการบริการ

2.1.1 ขั้นตอนการทำงานของแนวคิด Six Sigma

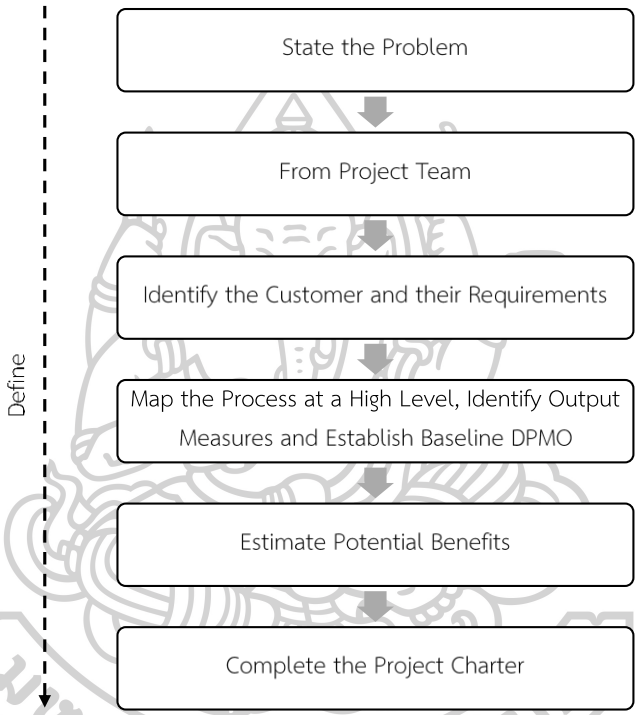
นายวันชัย แก้วยินดี (2562) กล่าวว่า DMAIC เป็นกระบวนการของแนวคิดSix Sigma เพื่อหาแนวทางในการลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยมีแนวทางในการปฏิบัติเพื่อที่จะทำให้สามารถปฏิบัติงานได้บรรลุถึงเป้าหมายนั้น ซึ่งจะมีเครื่องมือ QC 7 Tools การคำนวณทางสถิติต่าง ๆ ที่นำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการทำวิจัยในครั้งนี้ เพื่อเป็นตัวช่วยสำหรับการตรวจวัดและการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เช่น กราฟพาเรโต การหาความสามารถของกระบวนการ (C_p, C_{pk}) แผนภูมิควบคุม (Statistical Process Control Chart) เป็นต้น โดยลำดับขั้นตอนของการดำเนินงานตามหลัก DMAIC ดังภาพที่ 1 และมีแนวทางการดำเนินงานทั้งหมด 5 ขั้นตอนสำคัญ ดังนี้

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาพที่ 1 แผนผังขั้นตอน DMAIC

1) การกำหนดปัญหา (Define Phase)

เป็นการกำหนดเป้าหมายและปัญหาที่เกิดขึ้นกับตัวผลิตภัณฑ์ ถือได้ว่าเป็นความท้าทายที่ยากที่สุดของทีม โดยจะศึกษาสภาพของปัญหาในปัจจุบันรวมไปถึงการทำความเข้าใจในกระบวนการผลิต เพื่อช่วยในการหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์หรือที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เพื่อนำไปสู่การแก้ไขปัญหาถึงรากเหง้าของต้นเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหา โดยในการกำหนดปัญหา (Define Phase) นี้สามารถเขียนแสดงเป็นขั้นตอนได้ตามภาพที่ 2



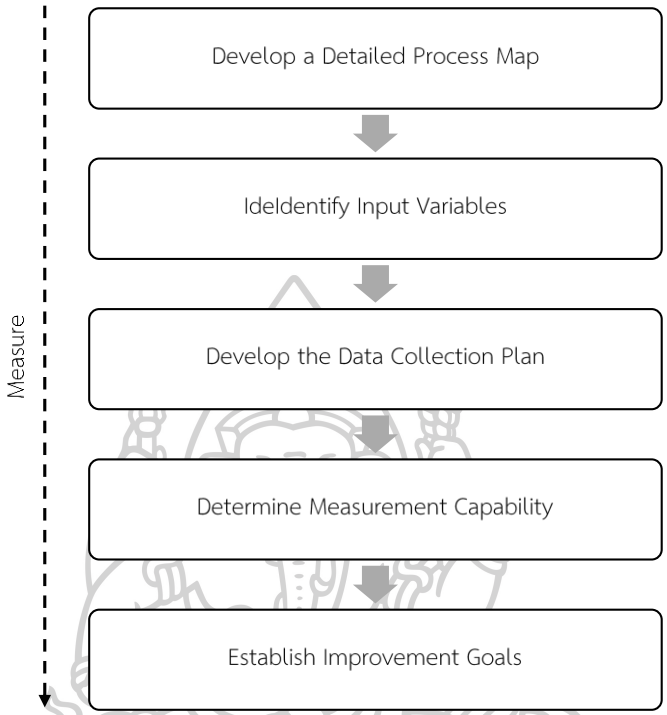
ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกส์ซิกมาใน Define Phase

ที่มา : [8]

2) การตรวจวัด (Measure Phase)

เป็นการวัดผลและรวบรวมข้อมูลที่เกิดขึ้นในสถานการณ์ปัจจุบัน โดยกำหนดจุดวิกฤตต่อคุณภาพ (Critical to Quality, CTQ) โดยใช้แผนผังกระบวนการทำงานของกระบวนการ (Process Mapping) การวัดความสามารถของกระบวนการ (C_p, C_{pk}) การกระจายตัวทางสถิติ (Descriptive Statistics) และการวิเคราะห์ระบบการวัด (Management System Analysis) เพื่อแสดงปัจจัยหรือสาเหตุ ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ โดยต้องแสดงข้อมูลต่าง ๆ ที่มีความเข้าใจง่ายและชัดเจน ซึ่งจะช่วยให้เป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาได้ถูกจุด

หลังจากที่ได้กำหนดหัวข้อไปปัญหาแล้ว โดยในการตรวจวัด (Measure Phase) นี้สามารถเขียนแสดงเป็นขั้นตอนได้ตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกส์ซิกมาใน Measure Phase

ที่มา : [8]

3) การวิเคราะห์ (Analyze Phase)

เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์เจาะลึกในรายละเอียดและขยายความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการและปัญหา ทั้งนี้เราจะทำการวิเคราะห์ให้ครอบคลุมถึงสิ่งต่าง ๆ ต่อไปนี้

- วิธีการ (Method) : กระบวนการหรือเทคนิคที่ใช้ในการทำงาน

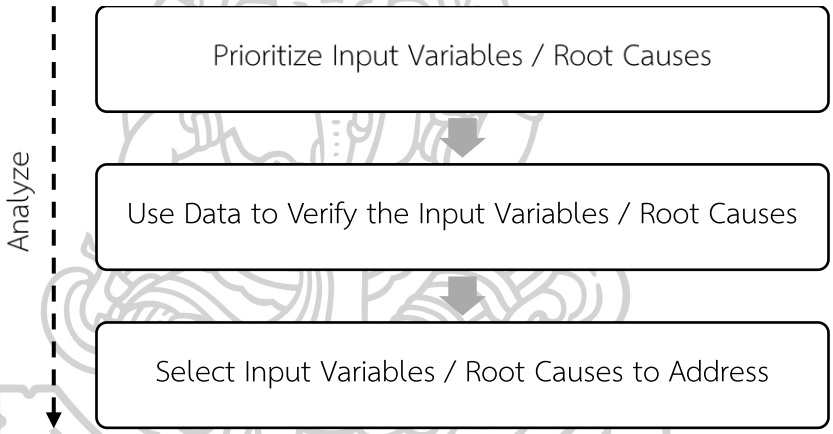
- เครื่องจักร (Machines) : เทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร คอมพิวเตอร์ หรือเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตที่ถูกใช้ในกระบวนการ

- วัตถุดิบ (Materials) : ข้อมูล วิธีการทำ จำนวนข้อเท็จจริง แบบฟอร์ม และแฟ้มข้อมูล

- การวัด (Measure) : ข้อมูลที่คลาดเคลื่อนอาจจะเกิดจากการวัดกระบวนการ หรือการเปลี่ยนการกระทำของบุคคล โดยมีอคติเกี่ยวกับสิ่งที่วัดสูง รวมถึงวิธีการที่ใช้ในการนั้น ๆ

- คน (Man) : กุญแจที่หลากหลายในวิธีการที่องค์ประกอบอื่น ๆ จะผสมผสานเพื่อก่อให้เกิดผลลัพธ์ขององค์กร[9]

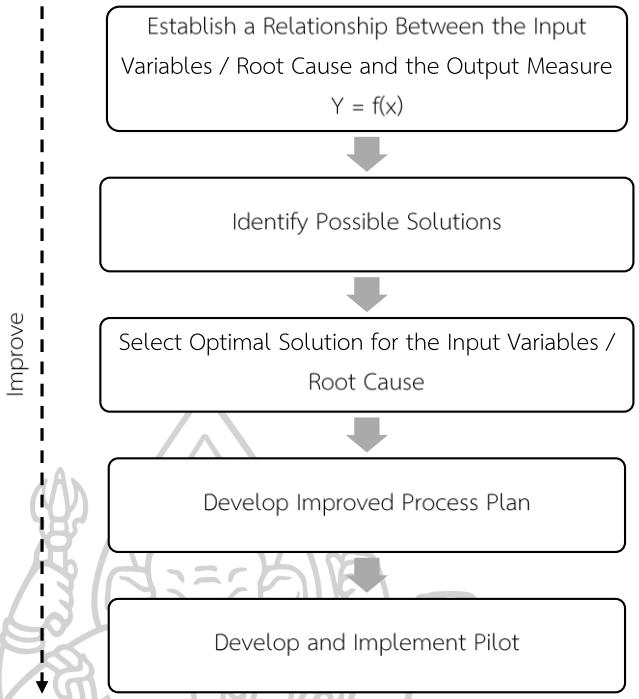
การวิเคราะห์ปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นเพื่อค้นหาสาเหตุความเป็นไปได้ที่จะส่งผลกระทบต่อปัญหาที่เราจะทำการปรับปรุงแก้ไข ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้ คือ การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) ช่วงของระดับความเชื่อมั่น (Confidence Intervals) การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (Sample size determination) การวิเคราะห์หลายปัจจัย (Multi Vari Analysis) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร (Correlation Analysis) การนำเครื่องมือเหล่านี้มาใช้ในขั้นตอนวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงปัญหาหลักและสาเหตุของปัญหาที่ทำการพิสูจน์ให้มั่นใจ โดยในการวิเคราะห์ (Analyze Phase) นี้สามารถเขียนแสดงเป็นขั้นตอนได้ตามภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกส์ซิกมาใน Analyze Phase
ที่มา : [8]

4) การปรับปรุง (Improve Phase)

เป็นการพัฒนาหรือการปรับปรุงแก้ไขสมรรถนะและประสิทธิภาพของกระบวนการ ซึ่งเลือกแก้ไขปัญหาที่ต้นตอสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหา หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์มาแล้วได้ผลสรุปของปัญหา โดยการกำจัดข้อบกพร่องต่าง ๆ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment , DOE) การออกแบบของปัจจัย (Factorial Designs) โดยในการปรับปรุง (Improve Phase) นี้สามารถเขียนแสดงเป็นขั้นตอนได้ตามภาพที่ 5

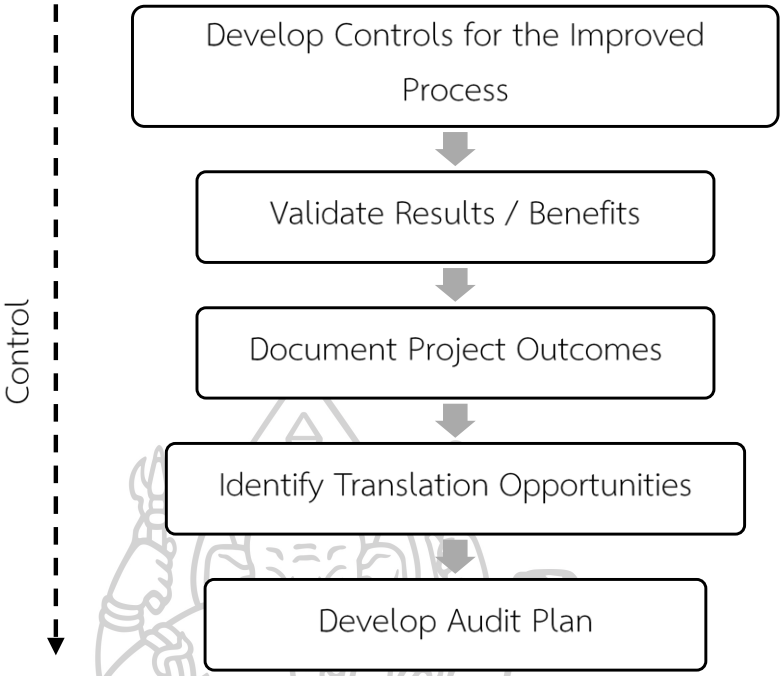


ภาพที่ 5 แสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกส์ซิกมาใน Improve Phase

ที่มา : [8]

5) การควบคุม (Control Phase)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้าย ที่ต้องดำเนินการออกแบบระบบควบคุมคุณภาพของกระบวนการเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่ากระบวนการจะไม่ย้อนกลับไปเกิดปัญหาเดิมซ้ำอีก และสร้างระบบป้องกันความผิดพลาด โดยจัดทำแผนการควบคุมและการติดตามกระบวนการและกำหนดมาตรฐานในการทำงาน หลังจากนั้นก็ทำการสรุปผลประโยชน์ที่ได้รับเพื่อเปรียบเทียบกับผลประโยชน์ที่คาดหวังไว้ใน Define Phase โดยในการควบคุม (Control Phase) นี้สามารถเขียนแสดงเป็นขั้นตอนได้ตามภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกส์ซิกมาใน Control Phase

ที่มา : [8]

2.2 เครื่องมือคุณภาพ 7 ประการ (QC 7 Tools)

เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด เป็นเครื่องมือที่ช่วยพัฒนาและแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลมาประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติ และใช้หลักการทางด้านเหตุผลในการจัดการกับปัญหาด้านคุณภาพต่าง ๆ [4] เครื่องมือคุณภาพทั้ง 7 ชนิดที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้ทั่วโลกนั้นมีดังต่อไปนี้

2.2.1 ใบตรวจสอบ (Check sheet)

ใบตรวจสอบ (Check sheet) คือ แบบฟอร์มที่มีการออกแบบไว้เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น นอกจากนั้นยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือติดตามกระบวนการต่าง ๆ ว่าได้ดำเนินการแล้วหรือไม่ ผลนั้นเป็นอย่างไร ซึ่งหลักการใช้งานของใบตรวจสอบจะเน้นที่เข้าใจง่าย ความสะดวกต่อการบันทึก หลีกเลี่ยงการเขียนให้มากที่สุด และใช้สัญลักษณ์แทนในแบบฟอร์มการบันทึก เช่น ใช้เครื่องหมายถูกต้องแทนงานที่สามารถยอมรับได้

Check sheet

	Day			
Defect	1	2	3	4
A	///		////	/
B	//	/	//	///
C	/	////	//	////

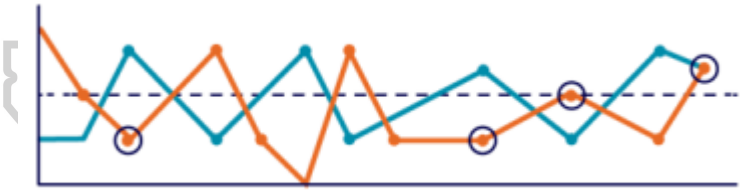
ภาพที่ 7 ตัวอย่างใบตรวจสอบ

ที่มา : [10]

2.2.2 กราฟ (Graph)

กราฟ คือ แผนภาพที่แสดงตัวเลขหรือข้อมูลทางสถิติ เป็นเครื่องมือที่ใช้เพื่อนำเสนอข้อมูลให้ผู้อ่านเข้าใจข้อมูลต่าง ๆ ได้ง่าย ชัดเจนขึ้น และสามารถใช้ในการเปรียบเทียบได้ดี โดยเฉพาะข้อมูลที่มีจำนวนมาก ซึ่งการนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟมี 3 ชนิด ดังนี้ [10]

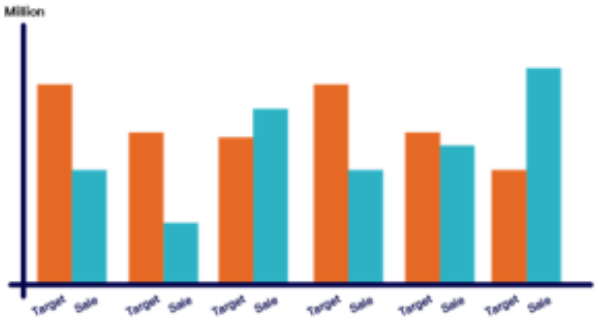
กราฟเส้น เป็นกราฟที่ใช้แสดงค่าของข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงไป ลักษณะของเส้นกราฟจะมีแกนตั้งเป็นค่าข้อมูล และแกนนอนเป็นช่วงเวลา โดยทั่วไปกราฟเส้นเหมาะสำหรับใช้นำเสนอข้อมูลที่ต้องการทราบแนวโน้มที่เปลี่ยนไปตามกาลเวลา เช่น ราคาขายปลีกน้ำมันพืชระหว่างปี พ.ศ. 2557-2558 เป็นต้น



ภาพที่ 8 ตัวอย่างกราฟเส้น

ที่มา : [10]

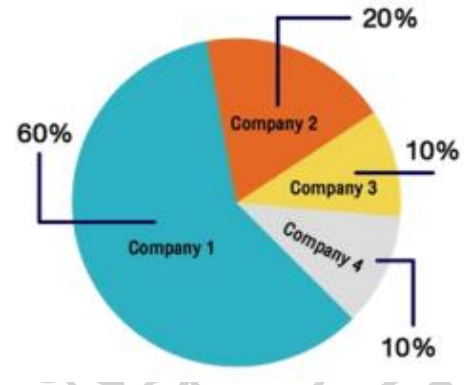
กราฟแท่ง เป็นกราฟรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างเท่ากัน โดยจะใช้ความสูงของแท่งกราฟเปรียบเทียบจำนวนข้อมูล โดยทั่วไปกราฟเส้นเหมาะสำหรับใช้แสดงการเปรียบเทียบข้อมูล



ภาพที่ 9 ตัวอย่างกราฟแท่ง

ที่มา : [10]

กราฟวงกลม มีลักษณะเป็นวงกลมที่มีการแบ่งส่วนของข้อมูลจากจุดศูนย์กลางของวงกลมเป็นกลุ่ม ๆ ใช้สำหรับเปรียบเทียบสัดส่วนของข้อมูลชนิดเดียวกันในรูปแบบร้อยละ [11]

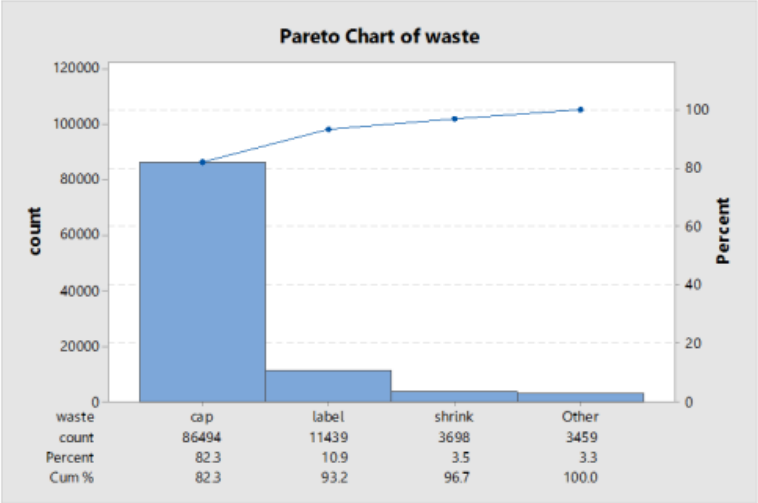


ภาพที่ 10 ตัวอย่างกราฟวงกลม

ที่มา : [8]

2.2.3 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart)

การวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิพาเรโตอยู่บนพื้นฐานแนวคิดที่ว่า 80% ของปัญหามาจากสาเหตุที่เกิดขึ้น 20% เช่น เครื่องจักร วัตถุดิบ หรือพนักงาน โดย 80% ของของเสียจากกระบวนการผลิตหรือต้นทุนการปรับปรุงใหม่มาจากสาเหตุเพียง 20 % โดยทั่วไปแผนภูมิพาเรโตใช้เลือกปัญหาที่จะแก้ไขปรับปรุง

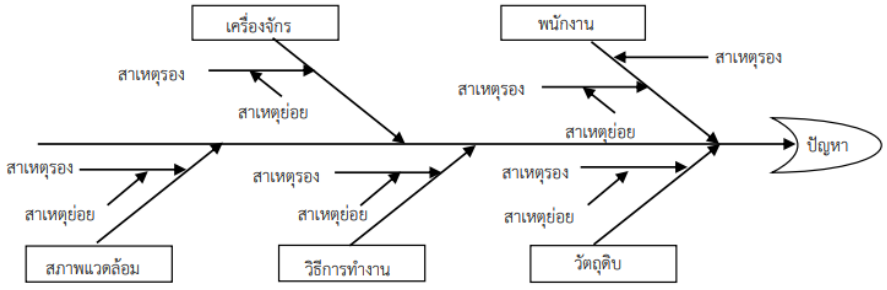


ภาพที่ 11 ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโต

ที่มา : [12]

2.2.4 แผนภูมิเหตุและผล (Cause and effect diagram)

แผนภูมิเหตุและผล หรือที่รู้จักกันในนามแผนผังก้างปลา (Fishbone diagram) เป็นแผนผังแสดงรายละเอียดของปัจจัยที่เป็นปัญหาของคุณภาพและความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย โดยแผนภูมิเหตุและผลถูกพัฒนามาจากการระดมสมอง (Brainstorm) ซึ่งจะช่วยในการระบุสาเหตุของปัญหาทั้งหมดที่เป็นไปได้ โดยการสร้างก้างปลาเริ่มต้นกำหนดปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์ไว้ที่หัวปลา จากนั้นทำการระบุสาเหตุหลัก สาเหตุรอง สาเหตุย่อย ที่บริเวณก้างปลา ต่อมาทำการจับกลุ่มของสาเหตุที่มีความเป็นไปได้ในการเกิดปัญหา โดยแบ่งได้ 4 ประเภท คือ คน เครื่องจักร วัตถุดิบ และวิธีการทำงาน

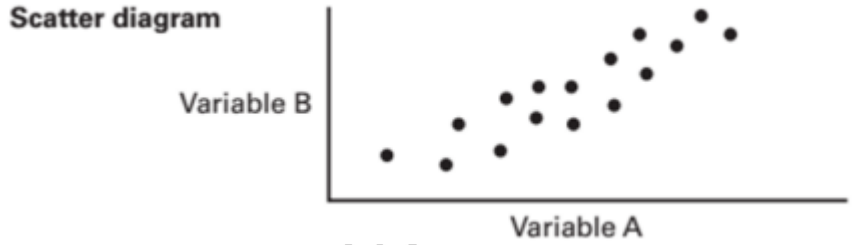


ภาพที่ 12 ลักษณะแผนภูมิเหตุและผล

ที่มา : [11]

2.2.5 แผนภูมิการกระจาย (Scatter Daigram)

เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ถึงค่าของข้อมูลที่มาจากความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัว เพื่อดูว่ามีแนวโน้มหรือทิศทางไปในทางไหน เพื่อที่จะใช้หาความสัมพันธ์ที่แท้จริง [2]



ภาพที่ 13 ตัวอย่างแผนภูมิการกระจาย

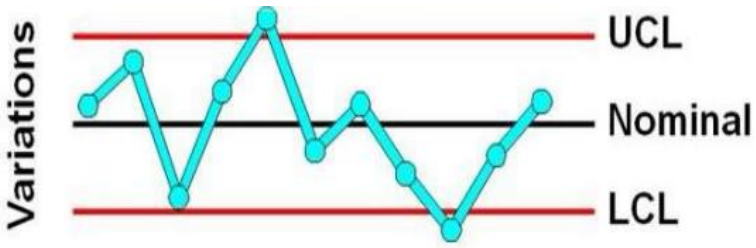
ที่มา : [10]

2.2.6 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

เป็นแผนภูมิที่ใช้ในการควบคุมการและติดตามกระบวนการผลิต โดยมีการกำหนดขอบเขตในการควบคุมที่เป็นขอบเขตควบคุมบน (Upper Control Limit, UCL) ขอบเขตควบคุมล่าง (Lower Control Limit, LCL) และเส้นกลางที่หาค่าจากค่าเฉลี่ย โดยทั่วไปแผนภูมิควบคุมใช้การติดตามผลการผลิตในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อดูแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงว่าในหว่างกระบวนการผลิตนั้นอยู่ภายใต้การควบคุมหรือไม่ หากมีความผิดปกติจะได้รีบหาสาเหตุเพื่อทำการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตให้กลับสู่สภาพปกติโดยเร็ว โดยแผนภูมิควบคุมมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท คือ

แผนภูมิควบคุมเชิงผันแปร (Control chart for variables) เป็นแผนภูมิที่ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการผลิตในผลิตภัณฑ์ที่สามารถทำการวัดค่าด้วยการชั่งตวงวัด เช่น ปริมาณ ความยาว น้ำหนัก เปอร์เซ็นต์ อายุการใช้งาน เป็นต้น

แผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ (Control chart for attributes) เป็นแผนภูมิที่ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการผลิตในผลิตภัณฑ์ที่สามารถทำได้ด้วยการแจงนับ เช่น มีตำหนิหรือไม่มีตำหนิ ดีหรือเสีย เป็นต้น [2]

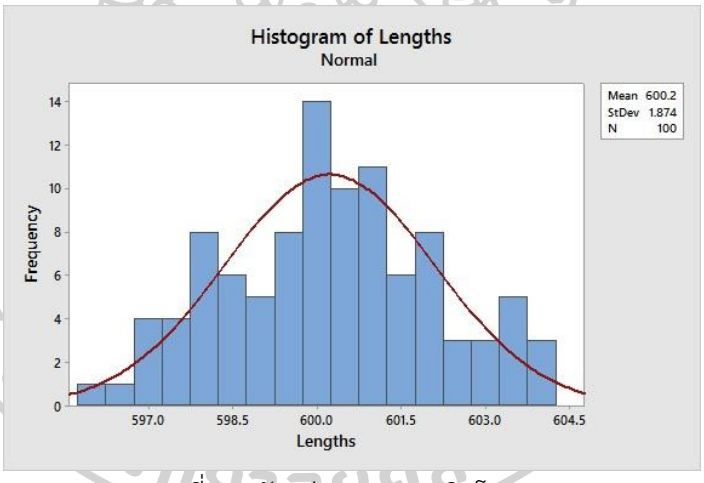


ภาพที่ 14 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม

ที่มา : [4]

2.2.7 ฮิสโตแกรม (Histogram)

เป็นกราฟแท่งที่ใช้ความถี่ที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นความถี่นั้น ๆ โดยแต่ละแท่งจะวางติดกันแกนนอนจะกำกับด้วยค่าขอบบนและขอบล่างของชั้นนั้นหรือใช้ค่ากลาง ส่วนแกนตั้งเป็นค่าความถี่ในแต่ละชั้น ซึ่งความสูงจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่เกิดขึ้นนั้น



ภาพที่ 15 ตัวอย่างแผนภาพฮิสโตแกรม

ที่มา : [13]

2.3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

การออกแบบการทดลองใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล และหาผลกระทบของพารามิเตอร์เพื่อตรวจสอบดูว่าปัจจัย (Factor) หรือตัวแปรใดที่มีผลต่อสิ่งที่สนใจ (Response) โดยนำหลักทางคณิตศาสตร์และสถิติมาใช้ในการลดจำนวนการทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

- เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) หรือพิสูจน์ความเชื่อของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต

- เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) ซึ่งเป็นการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการ[14]

- เพื่อลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการทดลอง

- เพื่อหาตัวแปรต้นที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อตัวแปรตาม

- เพื่อหาวิธีการตั้งค่าตัวแปรต้นที่จะทำให้ค่าตัวแปรตามได้ตามที่ต้องการ

- เพื่อหาวิธีการตั้งค่าตัวแปรต้นที่จะให้ตัวแปรตามเกิดความแปรปรวนน้อยที่สุด

- เพื่อหาวิธีการตั้งค่าตัวแปรต้นที่จะให้ตัวแปรที่ไม่สมารถควบคุมได้มีค่า z น้อยที่สุด

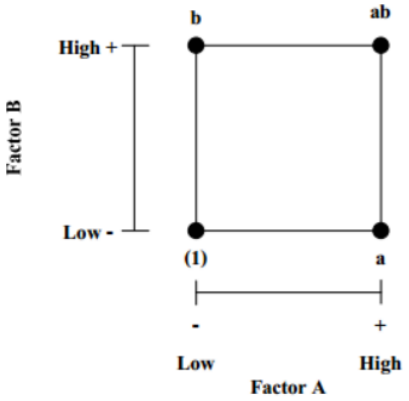
การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) มีชนิดและรูปแบบการทดลองหลายรูปแบบเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งหลักเกณฑ์ในการพิจราณาว่าผู้วิจัยควรที่จะเลือกรูปแบบการทดลองแบบไหนนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่างเช่น เวลาที่มีให้ในการวิเคราะห์ ระดับความถูกต้องในการวิเคราะห์ งบประมาณในการออกแบบการทดลอง เป็นต้น

ตารางที่ 2 รูปแบบการทดลองที่นิยมในปัจจุบัน
ที่มา : [14]

รูปแบบการทดลอง	**ลักษณะการทดลอง**	**เวลาในการวิเคราะห์**	**ความถูกต้อง**	**งบประมาณ**
Single Factor	การทำการทดลองสำหรับหนึ่งปัจจัย โดยปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่คาดว่ามีผลกระทบสูงสุดต่อปัญหา	รวดเร็ว	ปานกลาง	น้อย
Factorial Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ	ใช้เวลานาน	มากที่สุด	มาก
2^k Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบแต่กำหนดระดับของแต่ละปัจจัยอยู่ที่ปัจจัยละ 2 ระดับเท่านั้น	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
2^{k-p} Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยแต่ไม่ทำการทดลองแบบเต็มรูปแบบทั้งหมด (ลดรูป)	รวดเร็ว	รวดเร็ว	น้อย

โดยในการวิจัยครั้งนี้ผู้จัดทำเลือกวิธีการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Design แบบ 2 ระดับ หมายถึงการทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ๆ การออกแบบเชิง 2^k Factorial Design เป็นการออกแบบการทดลองใน

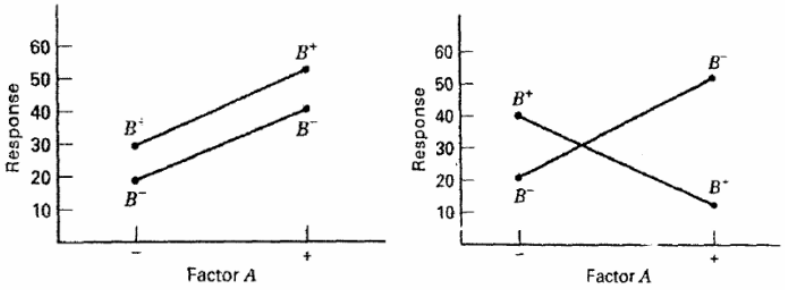
กรณีมีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพ จะแทนด้วยระดับสูงและต่ำ



ภาพที่ 16 การทดลองร่วมปัจจัยของ 2^k Factorial Design

ที่มา : [14]

ในการทดลองหนึ่งอาจจะมีปัจจัยที่หลากหลายที่ที่ผู้วิจัยให้ความสนใจ ผู้วิจัยจะใช้การออกแบบนี้สำหรับการกรองปัจจัย ซึ่งส่วนมากจะใช้ในตอนเริ่มต้นวิจัย เนื่องจากขณะนั้นจะมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองที่กำลังพิจารณาอยู่ เพื่อค้นหาว่าปัจจัยตัวใดบ้างที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตามที่สนใจ หลังจากทำการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเสร็จสิ้นแล้ว ปัจจัยที่มีอิทธิพลจะถูกนำไปทำการทดลองอย่างละเอียดในการทดลองต่อ ๆ ไป สำหรับการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่สองปัจจัย นอกจากจะทำให้ทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยหลักที่สนใจแล้วยังอาจจะทำใหทราบอิทธิพลของปัจจัยร่วม คือ ผลที่เกิดขึ้นจากการที่ปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปแล้วมีผลทำให้อิทธิพลของอีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงด้วย ดังตัวอย่างที่เกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วมหรือปฏิสัมพันธ์ (Interaction) [14]



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม

ที่มา : [14]

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) มีขั้นตอนของการออกแบบการทดลอง ดังนี้

1) กำหนดปัญหา (Problem Identification)

2) เลือกตัวแปรที่ใช้ชี้วัด (Define Response Variables)

3) กำหนดปัจจัย (Factors Identification)

4) ออกแบบการทดลอง (Design Experiment)

5) วิเคราะห์ข้อมูล (Analyze Data)

6) สรุปผล (Conclusion)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกียรติศักดิ์ และปารเมศ (2557) ได้ศึกษาการลดของเสียจากปัญหาเย็บระเบิดในกระบวนการผลิตแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์เพื่อลดของเสียที่เกิดจากปัญหาเย็บระเบิด ซึ่งได้นำหลักการ Six Sigma มาใช้ โดยเริ่มจากขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase) ผู้วิจัยได้ใช้แผนภูมิพาเรโตสำหรับหาสัดส่วนของเสียที่มากที่สุด พบว่าปัญหาเย็บระเบิดมีของเสียมากที่สุดเมื่อเทียบกับปัญหาอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ จึงเลือกการเย็บระเบิดมาเป็นหัวข้อศึกษา ในขั้นตอนการตรวจวัด (Measure Phase) ผู้วิจัยได้เริ่มวิเคราะห์ระบบการวัด โดยใช้ Attribute Agreement Analysis เพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องและม่นยำของการวัด คือ วัดความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ ความไม่ลำเอียงของพนักงานตรวจสอบ ประสิทธิผลด้านความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ และประสิทธิผลความไม่ลำเอียงของพนักงานตรวจสอบ พบว่าทุกหัวข้อผ่านเกณฑ์ระบบการวัดแบบคุณลักษณะที่ 100% จากนั้นผู้วิจัยได้หาสาเหตุของปัญหาทั้งหมด โดยใช้การระดมสมองร่วมกับแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Daigram) และนำสาเหตุทั้งหมดมาให้คะแนนความสำคัญ โดยใช้ Cause and Effect Matrix ก็จะได้ปัจจัยหลัก ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลอง โดยใช้การออกแบบเชิงแฟคตอเรียล 2^k แบบ 2 เรพลิเคต (2^k Full Factorial Design with Two Replicates) เพื่อหาความมีนัยสำคัญของปัจจัย กำหนดให้ VDT (Volt Difference Tester) เป็นตัวแปรตอบสนองให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.050-0.260 V. หลังจากทำการทดลองแล้วนำผลการทดลองไปทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนและใช้โปรแกรม Minitab วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่า VDT ต้องมีค่า P-value น้อยว่า 0.05 จึงพบว่าปัจจัยหลักมี 3 ปัจจัย คือ ระยะหัวกดทิป แรงดันลม กระแสไฟฟ้า และได้อันตรกิริยาระหว่างคู่ปัจจัย คือ แรงดันกับกระแสไฟฟ้า ในขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) ผู้วิจัยได้นำปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาไปออกแบบการทดลองเพิ่มเติม โดยใช้ วิธีพื้นผิวผลตอบ (Response Surfect Menthodology) แบบ Box-Behnken Design

กำหนด 3 ระดับ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งค่าหลังจากวิเคราะห์ด้วย Response Optiimization โดยใช้ Minitab พบว่าถ้าต้องการค่า VDT ที่ 0.160 V. ต้องตั้งระยะกดหัวทิปที่ 1 มม. แรงดันลมที่ 30.60 Kg/cm^2 กระแสไฟฟ้าที่ 8.85 KA. ในขั้นตอนการควบคุม (Control Phase) ผู้วิจัยได้นำค่าปัจจัยที่พยากรณ์ไปทดสอบ ปรากฏว่าไม่พบปัญหาเย็บระเบิด สัดส่วนของเสียลดลงจาก 3.61% เหลือ 0.11% และได้จัดทำแผนภูมิควบคุม (Control Chart) เพื่อติดตามค่าตัวแปรตอบสนองเพื่อรักษามาตรฐาน [15]

กิตติภพ และคณะ (2565) ได้ศึกษาการลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนโดยใช้เทคนิคซิกส์ ซิกม่า กรณีศึกษาโรงงานบรรจุภัณฑ์แห่งหนึ่ง เพื่อลดจำนวนของเสียงานบางและงานรั่วไม่ให้เกิน 3,000 ชิ้นต่อล้านชิ้น ระดับซิกม่ามากกว่า 4 และความสามารถกระบวนการมากกว่า 1.33 ซึ่งได้นำหลักการ Six Sigma มาใช้ โดยเริ่มจากขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase) ผู้วิจัยได้ใช้แผนภูมิพาเรโตสำหรับหาเปอร์เซ็นต์ของเสียที่มากที่สุด พบว่าปัญหางานบางและงานรั่วมีของเสียมากที่สุดเมื่อเทียบกับปัญหาอื่น ๆ จึงเลือกมาเป็นหัวข้อปรับปรุง ในขั้นตอนการตรวจวัด (Measure Phase) ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Measurement System Analysis : MSA) เพื่อเป็นเกณฑ์การตัดสินใจว่าต้องปรับปรุงวิธีการตรวจใหม่หรือไม่ และทำการวิเคราะห์หาระดับซิกม่า หาความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) โดยใช้โปรแกรม Minitab ก่อนการปรับปรุง ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) ผู้วิจัยได้วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยใช้การระดมสมองและผังก้างปลา หลังจากนั้นนำสาเหตุมาวิเคราะห์หาความเสี่ยง โดยใช้การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) หาค่าจุดวิกฤติ (Risk Priority Number: RPN) RPN ยิ่งมีค่ามาก หมายถึงปัจจัยนั้นมีความเสี่ยงที่จะเกิดข้อบกพร่องสูง ในขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการปรับตั้งเครื่อง โดยใช้การออกแบบเชิงแฟคตอเรียล 2^k แบบ 2 เรพลิเคต (2^k Full Factorial Design with Two Replicates) กำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ 95% โดยมีอุณหภูมิและระยะเวลาในการขึ้นรูปเป็นตัวแปรต้น หลังจากทำการทดลองผู้วิจัยได้ตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลโดยใช้วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เลือก Residual Plots พบว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันดูจากกราฟ Versus Order ข้อมูลมีความเสถียรภาพของความแปรปรวนดูจากกราฟ Versus Fits ใช้กราฟ Main Effect Plots เพื่อดูปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบ และใช้กราฟอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (Interaction Plot) เพื่อดูปัจจัยว่ามีส่งผลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ในขั้นตอนการควบคุม (Control Phase) ผู้วิจัยได้กำหนดการตั้งอุณหภูมิที่ความร้อนบนตั้งแต่ 240-330°C ความร้อนล่างตั้งแต่ 230-320°C และเวลาในการขึ้นรูปเร็ว 2 วินาทีลงในเลขเอกสารประจำเครื่องจักรจากนั้นได้เก็บข้อมูลมาวิเคราะห์ FMEA เพื่อประเมินผลหลังการปรับปรุง พบว่าค่า RPN ของอุณหภูมิจาก 210 และระยะเวลาจาก 140 ทั้ง2ปัจจัยลดเหลือ 42 และติดตามกระบวนการ โดยใช้แผนภูมิควบคุม C-chart

พบว่าของเสียไม่เกิน 3,000 ชิ้นต่อล้านชิ้น พร้อมทั้งคำนวณระดับซิกม่า โดยใช้โปรแกรม Minitab พบว่า ระดับซิกม่าอยู่ที่ 4.3 ซึ่งก่อนปรับปรุงอยู่ที่ 3.5 ซิกม่า และ ค่า C_{pk} เท่ากับ 1.33 จากเดิม 1.17 และสามารถต้นทุนของเสียจากเดิม 66,797 บาทเหลือเพียง 10,320 บาท ลดของเสียประเภทงานบางและงานรั่วจากเดิมร้อยละ 0.0215 เหลือเพียงร้อยละ 0.0022 [16]

ฐิติมา (2559) ได้ศึกษาการลดเวลาสูญเสียในกระบวนการผลิตน้ำจิ้มโดยใช้แนวคิดลีนซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดเวลาสูญเสียในกระบวนการผลิต โดยใช้หลักการ Lean และ Six Sigma ซึ่งจะต้องไม่ทำให้คุณสมบัติและข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลง โดยเริ่มจากขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase) ผู้วิจัยได้เริ่มจากจัดตั้งคณะทำงาน จากนั้นทำการศึกษากระบวนการผลิตน้ำจิ้มและนำข้อมูลย้อนหลัง 7 เดือนมาวิเคราะห์ พบว่า กระบวนการ Heating และ Cool down มีเวลาสูญเสียสูงถึง 62.63% ในขั้นตอนการตรวจวัด (Measure Phase) ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R) เพื่อให้มั่นใจว่าระบบวัดน่าเชื่อถือ เนื่องจากโรงงานได้รับรองมาตรฐานในการสอบเทียบเครื่องวัดจึงความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จากนั้นผู้วิจัยได้หาสาเหตุและปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียเวลาผลิต โดยใช้การระดมสมองและแผนภูมิก้างปลา (Cause & effect daigram) วิเคราะห์ 4M1E ได้ทั้งหมด 12 ปัจจัย และนำปัจจัยเหล่านั้นมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) เพื่อกรองหาปัจจัยที่มีผลกระทบมาก พบว่า มี 5 ปัจจัยที่มีคะแนนความสัมพันธ์สูงสุด นำ 5 ปัจจัยนั้นมาวิเคราะห์หาลักษณข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อหาค่า RPN พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ต้ม อุณหภูมิน้ำเชื่อม และความเร็วรอบใบกวน มีค่า RPN สูงสุด จึงเลือกมาปรับปรุง ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองเพื่อต้องการทราบว่าปัจจัยที่เลือกมามีผลต่อเวลาที่สูญเสียหรือไม่ โดยใช้ การ 2^K Full Factorial Design แบบ 2 เรพลิเคต กำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ 95% กำหนดให้เวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตเป็นตัวแปรตอบสนอง กำหนดปัจจัยควบคุม ดังนี้ 1. วัตถุดิบที่ใช้ผลิตน้ำจิ้มต้องมาจาก Supplier เดียวกัน ล็อตเดียวกัน 2. หม้อ Mix ใบเดียวกัน 3. ตั้งค่า Steam = 3 bar 4. ปริมาณ Batch size = 1,600 kg. หลังจากทำการทดลองได้นำข้อมูลมาตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองและความน่าเชื่อถือ (Model Adequacy Checking) และทำการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลคืออุณหภูมิน้ำเชื่อมและอุณหภูมิที่ใช้ต้ม และพบว่าอุณหภูมิน้ำเชื่อมและอุณหภูมิที่ใช้ต้ม Interaction effect กัน จึงนำ 2 ปัจจัยนี้ไปหาค่าที่เหมาะสมในขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Conposition Design : CCD) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในแต่ละปัจจัย โดยกำหนดระดับปัจจัย 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) ระดับกลาง (0) และ ระดับสูง (+1) วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ Response Surface Regression พบว่า ปัจจัยทั้ง 2 มีผลเนื่องจากค่า P-value น้อยกว่า 0.05 และได้ค่าที่เหมาะสม ดังนี้ อุณหภูมิน้ำเชื่อม = 77.6 องศา อุณหภูมิที่ใช้ต้ม = 91.0 องศา ในขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)

ผู้วิจัยนำค่าที่ได้ไปปรับใช้หน้างาน และเก็บเวลาที่ใช้ในการผลิตและปริมาณการผลิตหลังปรับปรุง พบว่าระยะเวลาการผลิตลดลงจาก 134 นาที เหลือ 70 นาที คิดเป็น 47.76% นอกจากนั้นผู้วิจัยได้ใช้แผนภูมิควบคุม I-MR Chart เพื่อติดตามกระบวนการพบว่าประสิทธิภาพการผลิตเพิ่ม 36.25 ตัน/เดือน คิดเป็นมูลค่า 1,100,000 บาท/เดือนและจัดทำเอกสาร Work Instruction เพื่อระบุค่าปรับตั้งอุณหภูมิน้ำเชื่อมและอุณหภูมิที่ใช้ต้ม [12]

วิทยา และคณะ (2565) ได้ศึกษาการลดน้ำเชื่อมที่สูญเสียจากปัญหาปริมาตรการเติมต่ำกว่ามาตรฐานเพื่อลดการผลิตของเสียและเพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผลิต โดยใช้ QC 7 Tools และทฤษฎี 3 จริง โดยผู้วิจัยเริ่มจากทำการศึกษาขั้นตอนการผลิตเครื่องดื่มน้ำอัดลม และเก็บรวบรวมข้อมูล 2 เดือน เพื่อนำมาวิเคราะห์หาเครื่องจักรที่มีของเสียสูงสุด โดยใช้กราฟพาเรโตและวิเคราะห์ประเภทของเสียที่เกิดจากเครื่อง Filler นั้นพบว่าเกิดปัญหาปริมาตรการเติมผิดระดับมากที่สุด ผู้วิจัยได้กำหนดเป้าหมายว่าของเสียต้องลดลงเหลือ 933.16 PPM หรือคิดเป็น 50% จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาปริมาตรการเติมเครื่องดื่มต่ำกว่ามาตรฐาน โดยใช้ Why Why Analysis พบปัจจัยที่มีผลคือ ค่า K สปริงเสื้อวาล์ว, ยางหน้าวาล์ว, แรงดัน CO_2, ความยาว Ventilation pipe, ปริมาณฟองบนผิวน้ำ, ขนาดยางกระจายน้ำ, ตำแหน่งยางกระจายน้ำ, อุณหภูมิน้ำ, ค่า K สปริงสนิปวาล์ว, ขนาดรูสนิปวาล์ว และ ระยะเวลาการสนิป ขั้นตอนการปรับปรุงผู้จัดทำได้ทำการกำหนดค่า K สปริงเสื้อวาล์วที่ 0.32762 N/mm. กำหนดค่า K สปริงสนิปวาล์ว หลังจากการปรับปรุงพบว่าของเสียก่อนการปรับปรุง 9,354 ขวด/เดือน หรือ1,866 ppm และหลังการปรับปรุงเฉลี่ย 1,232 ขวด/เดือน หรือ 200 ppm ลดลง 90% [17]

บุญชัย และณัฐธยาน์ (2559) ได้ศึกษาการลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ กรณีศึกษาบริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว โดยกาประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^K เพื่อลดของเสียที่เกิดจากซองรั่วพบในกระบวนการบรรจุ และเพื่อศึกษาระดับปัจจัยในการปรับตั้งเครื่องจักรที่มีผลต่อปริมาณของเสียผู้วิจัยเริ่มจากทำการศึกษาอาการของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุ จากนั้นใช้แผนภูมิก้างปลาวิเคราะห์ปัญหาซองรั่ว โดยการระดมสมอง จนได้ปัจจัยหลัก 4 ปัจจัย คือ ความเร็ว อุณหภูมิ แรงกด และเวลาซีล จากนั้นระดมสมองต่อเพื่อกำหนดระดับปัจจัยในการออกแบบการทดลองปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสมที่สุด โดยการทดลองนี้ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^K โดยการทำ ซ้ำ 3 ครั้ง กำหนดค่าความน่าเชื่อถือ 95% หลังจากได้ทำการทดลองแล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัย พบว่าความเร็ว แรงกด และเวลาซีล มีผลต่อการเกิดของเสียอย่างมีนัยสำคัญอย่างชัดเจน หลังจากนั้นผู้วิจัยได้หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย โดยใช้ฟังก์ชั่น Response Optimization ได้ค่าอุณหภูมิ 157 องศา ความเร็ว 60 รอบต่อนาที แรงกด 6 bar และเวลาซีล 0.5 วินาที หลังจากการปรับปรุงพบว่ามูลค่าของเสียก่อนปรับปรุง 855,517.72 บาท หลังปรับปรุง 596,482.21 บาท

อัตราลดลงร้อยละ 30.29 และจำนวนของเสียก่อนปรับปรุง รอยซีลบนร้อยละ 41, รั่ว3ทางล่างร้อยละ 28.3 และรั่วคอซองซ้ายบน ร้อยละ 15.4 หลังปรับปรุง รั่วรอยซีลบนร้อยละ 22.6, รั่ว3ทางล่างร้อยละ 21.6 และรั่วคอซองซ้ายบนร้อยละ 27.1 [14]

อรรถพล (2564) ได้ศึกษาการลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำดื่ม เพื่อลดการสูญเสียของพรีฟอร์มให้เหลือไม่เกินร้อยละ 0.40 ลดการสูญเสียของน้ำให้เหลือไม่เกินร้อยละ 1.0 และลดการสูญเสียของฝาให้เหลือไม่เกินร้อยละ 0.35 โดยใช้หลักการ DMAIC ในการกำหนดปัญหา โดยเริ่มจากขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase) ผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด ในขั้นตอนการตรวจวัด (Measure Phase) ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลของเสียย้อนหลัง 1 ปี เพื่อหาประเภทการสูญเสียของวัตถุดิบหลัก 3 รายการ จากการวิเคราะห์ระดับการบรรจุน้ำของเครื่องบรรจุน้ำ โดยใช้ กราฟ Xbar chart พบว่ามีการบรรจุน้ำมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยกำหนดไว้ว่าไม่ต่ำกว่า 620 ml. แต่ค่าเฉลี่ยปัจจุบันอยู่ที่ 625 ml. ผู้จัดทำจึงเลือกหัวข้อนี้มาทำการแก้ไข ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) ผู้วิจัยได้นำประเภทการสูญเสียทั้ง 8 ข้อมาวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยในการเกิดของเสียโดยการระดมสมองจากทีมงานที่ปฏิบัติงานโดยตรง ผู้มีความรู้ และมีประสบการณ์ในกระบวนการผลิต โดยทีมงานประกอบไปด้วย หัวหน้าฝ่ายวิศวกรรม ผู้จัดการฝ่ายผลิต ช่างซ่อมบำรุง พนักงานฝ่ายผลิต และพนักงานฝ่ายประกันคุณภาพ และวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลา สรุปสาเหตุของปัญหาการสูญเสียน้ำจากการบรรจุน้ำเกินระดับที่ไม่จำเป็น พบว่าเกิดจากการไม่มีมาตรฐานในการตั้งค่าระดับการบรรจุน้ำมีแนวทางการแก้ไข คือ ทำการทดลองเพื่อหาระดับการบรรจุน้ำที่เกินระดับน้อยที่สุดและไม่ผิดกฎหมาย พร้อมทั้งกำหนดมาตรฐานการปรับตั้ง โดยผู้จัดทำได้ทดลองปรับตั้ง (Setting level) ใน HMI ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ 625 ผลลัพธ์ของระดับการบรรจุหลังปรับค่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 622.83 ml. และจากการวิเคราะห์พบว่าสาเหตุเกิดจากไม่มีการควบคุมระดับการบรรจุน้ำเกินที่จำเป็น จึงมีแนวทางการแก้ไข คือ สร้างมาตรฐานการควบคุมการบรรจุน้ำ โดยกำหนดค่าขีดควบคุมบนและขีดควบคุมล่าง หลังจากการปรับปรุงได้เก็บรวบรวมข้อมูล พบว่าสัดส่วนความสูญเสียของน้ำจากเดิมร้อยละ 1.45 ลดลงเหลือ 1.28 [18]

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานตัวอย่าง

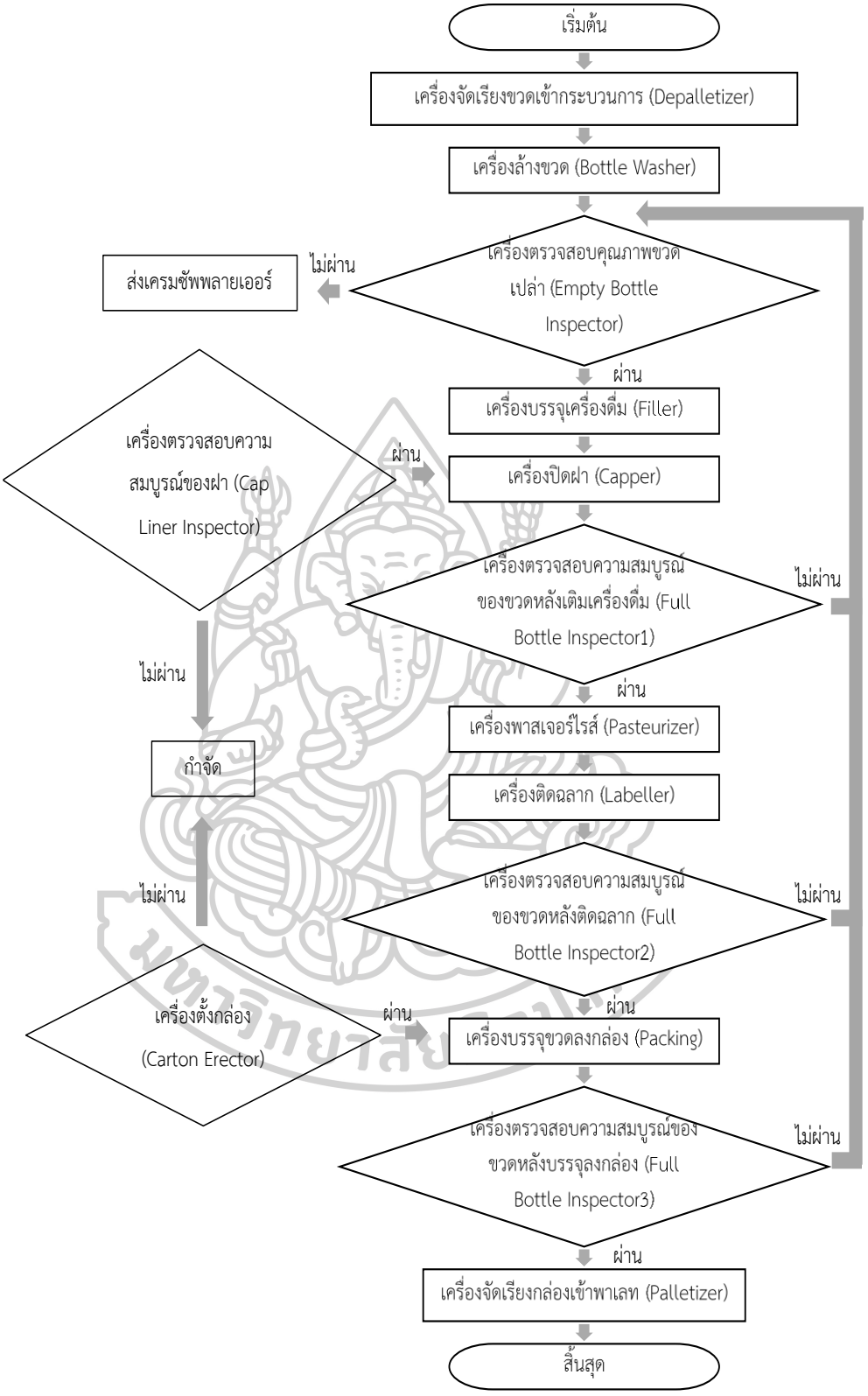
โรงงานที่ผู้วิจัยทำการศึกษาในครั้งนี้ เป็นโรงงานประเภทอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบรรจุขวด โดยทำการผลิตเพื่อส่งขายภายในประเทศ การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยต้องการศึกษากระบวนการบรรจุเครื่องดื่มในแผนกการบรรจุ ซึ่งในไลน์การบรรจุจะมีเครื่องจักรสำหรับการบรรจุทั้งหมด 9 เครื่อง ประกอบไปด้วย

1) เครื่องจัดเรียงขวดเข้ากระบวนการ (Depalletizer)
2) เครื่องล้างขวด (Bottle Washer)
3) เครื่องบรรจุเครื่องดื่ม (Filler)
4) เครื่องปิดฝา (Capper)
5) เครื่องพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurizer)
6) เครื่องติดฉลาก (Labeller)
7) เครื่องตั้งกล่อง (Carton Erector)
8) เครื่องบรรจุขวดลงกล่อง (Packing)
9) เครื่องจัดเรียงกล่องเข้าพาเลท (Palletizer)

และในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มนี้มีเครื่องสำหรับตรวจสอบคุณภาพทั้งหมด 5 เครื่อง ประกอบไปด้วย

1) เครื่องตรวจสอบคุณภาพขวดเปล่า (Empty Bottle Inspector)
2) เครื่องตรวจสอบความสมบูรณ์ของฝา (Cap Liner Inspector)
3) เครื่องตรวจสอบความสมบูรณ์ของขวดหลังเติมเครื่องดื่ม (Full Bottle Inspector1)
4) เครื่องตรวจสอบความสมบูรณ์ของขวดหลังติดฉลาก (Full Bottle Inspector2)
5) เครื่องตรวจสอบความสมบูรณ์ของขวดหลังบรรจุลงกล่อง (Full Bottle Inspector3)

โดยมีแผนผังกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 แผนผังกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มโรงงานตัวอย่าง

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยตามหลักการ DMAIC

3.2.1 ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define Phase)

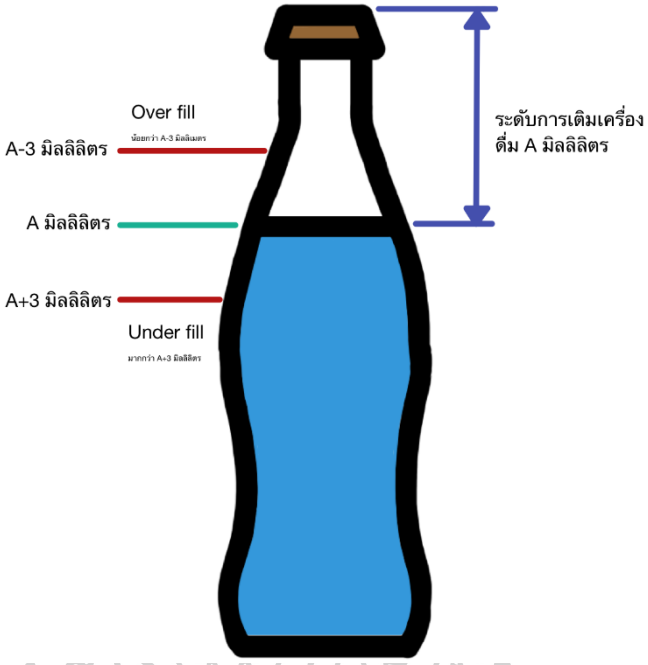
เป็นขั้นตอนการนิยามปัญหา โดยผู้วิจัยต้องทำการศึกษาและสำรวจสภาพกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มของโรงงานตัวอย่างที่ทำการศึกษา ซึ่งจะใช้แผนภูมิการไหล (Flow Process Chart) เขียนกระบวนการตั้งแต่ขั้นตอนการนำขวดเข้าเครื่อง Depalletizer จนถึงขั้นตอนการลำเรียงกล่องเข้าเครื่อง Palletizer เพื่อให้เกิดความเข้าใจอย่างชัดเจนในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต พร้อมทั้งทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความสูญเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละเครื่องจักรของกระบวนการบรรจุ ทางผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์การเลือกเครื่องจักรที่มีผลกระทบต่อความเชื่อมั่นของลูกค้า จำนวนปริมาณผลิตภัณฑ์ และต้นทุนในการผลิต

หลังจากนั้นผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์หามูลค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นของแต่ละเครื่องตรวจสอบคุณภาพ โดยเลือกเครื่องจักรที่พบมูลค่าสูญเสียสูงที่สุดมาวิเคราะห์หาลักษณะของเสียเกิดขึ้นที่มีเปอร์เซ็นต์ของเสียสูงที่สุด ซึ่งการวิเคราะห์จะใช้กราฟพาเรโต เพื่อจะนำมากำหนดหัวข้อปัญหาที่จะทำการศึกษา

3.2.2 ขั้นตอนการตรวจวัดสภาพปัญหา (Measure Phase)

เป็นขั้นตอนการวัดสภาพปัญหาความรุนแรงของความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ และเป็นการวัดความสามารถของกระบวนการในปัจจุบัน โดยจะประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1) ทางโรงงานตัวอย่างได้กำหนดการวัดระดับการเติมเครื่องดื่มจะเริ่มวัดตั้งแต่ปากขวดถึงระดับเครื่องดื่ม ตามภาพที่ 19 โดยค่ามาตรฐานระดับการเติมเครื่องดื่มของโรงงานตัวอย่างกำหนดอยู่ที่ A±3 มิลลิเมตร หากระดับการเติมเครื่องดื่มน้อยกว่า A-3 มิลลิเมตร ถือว่าเป็นของเสียประเภทเติมเครื่องดื่มเกินมาตรฐานกำหนด (Overfill) และหากระดับการเติมเครื่องดื่มมากกว่า A+3 มิลลิเมตร ถือว่าเป็นของเสียประเภทเติมเครื่องดื่มต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด (Underfill)



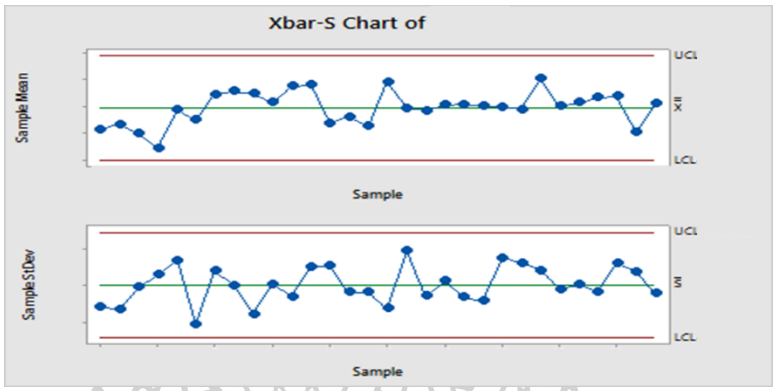
ภาพที่ 19 กำหนดการวัดระดับการเติมเครื่องดื่ม

2) ทำการตรวจวัดระดับการเติมเครื่องดื่มที่ผ่านการบรรจุที่เครื่อง Filler โดยผู้วิจัยจะทำการเก็บขวดจากการเติม หัวจ่ายละ 10 ครั้ง มาบันทึกในแบบฟอร์มตามตารางที่ 3

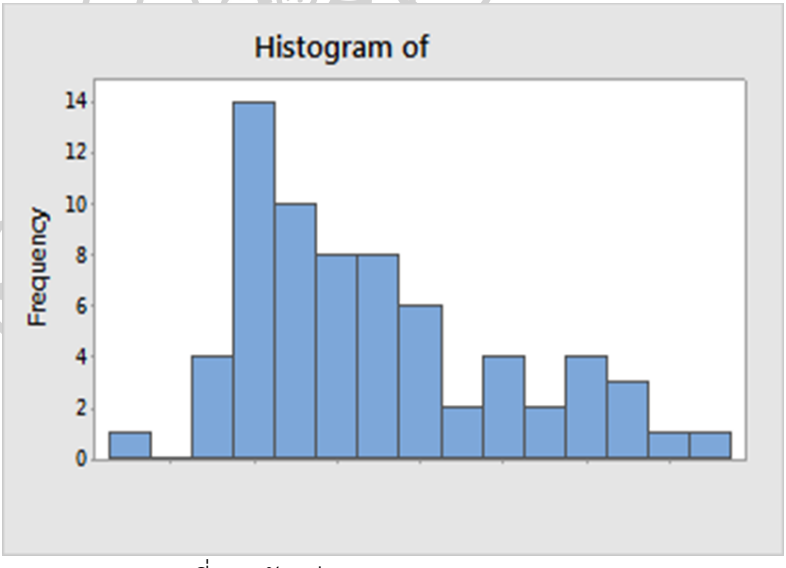
ตารางที่ 3 แบบฟอร์มบันทึกการตรวจวัดระดับการเติมเครื่องดื่ม

หัวจ่ายที่	ค่า Fill Level (มิลลิเมตร)									
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										

3) นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาทำการวิเคราะห์หากราฟแผนภูมิควบคุม $\bar{x}$-s เพื่อดูว่ากระบวนการผลิตอยู่ภายใต้สภาวะควบคุมหรือไม่ และวิเคราะห์หากราฟ Histogram เพื่อดูแนวโน้มค่าเฉลี่ยของระดับการเติมเครื่องดื่มแต่ละหัวบรรจุในปัจจุบันว่ามีระดับต่ำกว่าหรือสูงกว่ามาตรฐานของทางโรงงาน เพื่อนำไปเป็นหัวข้อศึกษาและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาได้อย่างตรงจุด

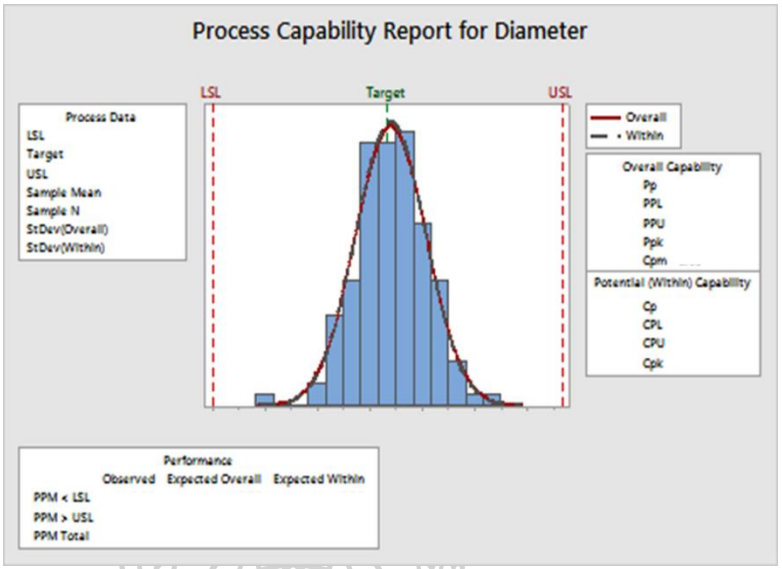


ภาพที่ 20 ตัวอย่างกราฟแผนภูมิควบคุม $\bar{x}$-s



ภาพที่ 21 ตัวอย่างกราฟ Histogram

4) นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ เพื่อเป็นการพิสูจน์ความสามารถของกระบวนการในสภาพปัจจุบัน เพื่อประมวณผลหาค่า ระดับซิกม่า และหาค่าความสามารถของกระบวนการ (C_p, C_{pk}) เพื่อจะนำมาเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จของการวิจัยในครั้งนี้



ภาพที่ 22 ตัวอย่างค่าความสามารถของกระบวนการ (C_p, C_{pk})

3.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดจากความผิดพลาดของกระบวนการบรรจุที่แท้จริง เพื่อที่ผู้วิจัยจะได้แก้ไขปัญหาได้อย่างแม่นยำตรงจุดมากที่สุด และเพื่อทำให้ทราบตัวแปรที่มีผลกระทบต่อกระบวนการเติมเครื่องดื่ม โดยมีรายละเอียดขั้นตอน ดังนี้

1) การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้การระดมสมอง

การวิเคราะห์หาสาเหตุของของเสียที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของโรงงานในกระบวนการบรรจุ ดำเนินการโดยระดมความคิดจากผู้ที่มีความรู้ความสามารถและประสบการณ์ ซึ่งประกอบไปด้วย ระดับหัวหน้าแผนกบรรจุ หัวหน้าแผนกช่างซ่อมบำรุง และหัวหน้าแผนกประกันคุณภาพ ซึ่งผู้จัดทำจะทำการวิเคราะห์แยกสาเหตุของปัญหา แบ่งออกเป็น 4 หมวดหมู่ ดังนี้

1.1) ปัจจัยที่เกิดจากพนักงาน (Man)

1.2) ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine)

1.3) ปัจจัยที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material)

1.4) ปัจจัยที่เกิดจากวิธีการทำงาน (Method)

2) ออกแบบการทดลอง

เมื่อทราบปัจจัยที่อาจจะส่งผลต่อตัวแปรตามแล้ว ให้นำมาทำการออกแบบการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นเทียบกับตัวแปรตาม เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อระดับการเติมและหาปัจจัยที่ Interaction ต่อกัน โดยใช้วิธี 2^k Factorial Design แบบกำหนดระดับปัจจัย 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) ซึ่งจะเก็บข้อมูลระดับการเติมเครื่องดื่มจำนวน 20 หัว

บรรจุต่อการทดลอง และทำการกำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม การทดลองนี้ผู้จัดทำกำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

3) ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองก่อนนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในลำดับถัดไป โดยตรวจสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติ สมมติฐานการเป็นอิสระ และสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนข้อมูล หากพบว่ามีการแจกแจงแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความเสถียรภาพของข้อมูล แสดงว่าข้อมูลที่เก็บมามีความถูกต้องและน่าเชื่อถือสามารถนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อได้

4) วิเคราะห์ข้อมูลหาปัจจัยที่มีผล

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลหาปัจจัยที่มีผลต่อระดับการเติมและหาปัจจัยที่ Interaction ต่อกัน โดยใช้วิธีการ Multiple Regression Analysis โดยดูค่า P-Value หากน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ามีผลต่อระดับการเติม และหากค่า P-Value มากกว่า 0.05 แสดงว่าไม่มีผลต่อระดับการเติม

3.2.4 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาแล้วนั้นจะพบตัวแปรที่สำคัญที่จะทำให้กระบวนการผันแปรไป ดังนั้นเราจึงต้องปรับปรุงกระบวนการให้เป็นไปตามแนวทางการแก้ไขที่เราได้กำหนดไว้ พร้อมทั้งควบคุมปัจจัยหลักให้คงที่ หลังจากที่เราได้ทำการปรับปรุงกระบวนการแล้วนั้น ผู้วิจัยจะต้องเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นและข้อมูลที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการเติมเครื่องดื่ม เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความรุนแรงที่เกิดขึ้นหลังการปรับปรุง และหาค่าความสามารถของกระบวนการ (Cp, Cpk) หลังการปรับปรุงเพื่อเป็นตัวทดสอบว่าการทดลองที่ผู้วิจัยได้ออกแบบมานั้นสามารถแก้ไขปัญหาได้จริงหรือไม่ ได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องหรือไม่ โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติ ดังนี้

1) วิเคราะห์หาสภาวะหรือระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย โดยใช้วิธี Respond Optimizer

2) นำค่าที่พยากรณ์ได้ไปทำการทดลองปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องจักร

3) เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์หาความรุนแรงที่เกิดขึ้น หาระดับซิกม่า หาค่าความสามารถของกระบวนการ (Cp, Cpk) หลังการปรับปรุงตามขั้นตอนตรวจวัด (Measure Phase)

3.2.5 ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ทราบว่าตัวแปรใดบ้างที่เป็นตัวแปรหลักในการทำให้กระบวนการเติมเครื่องดื่มเกิดปัญหา ผู้วิจัยจึงได้ทำการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้ โดยใช้ Statistical Process Control Chart เป็นเครื่องมือสำหรับการควบคุมดูความผันแปรของ

กระบวนการ เพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มของกระบวนการที่จะเกิดความผิดปกติขึ้นและจะได้แก้ไขได้ โดยวิธีการทั้งหมดที่กล่าวมาเพื่อควบคุมให้แนวทางการปรับปรุงนั้น ๆ สามารถดำเนินต่อไปได้อย่างมีระบบและเพื่อให้จำนวนของเสียในกระบวนการเติมเครื่องดื่มลดลงอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน

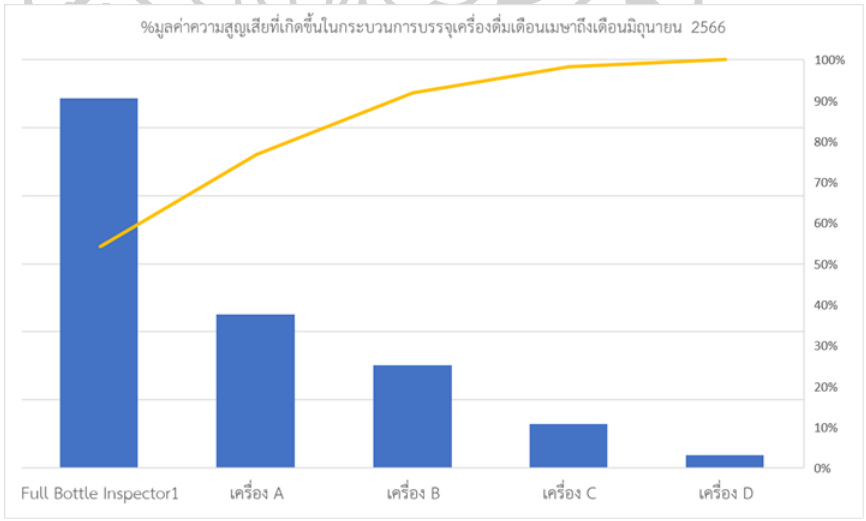
บทที่ 4
ผลการวิจัย

จากวิทยานิพนธ์ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากการเติมปริมาณเครื่องดื่มไม่ได้ตามที่โรงงานกำหนด โดยนำทฤษฎี Six Sigma มาประยุกต์ใช้โดยทำตามวิธีการทำงานแบบ DMAIC เพื่อมาช่วยปรับปรุงกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มให้มีการแปรผันน้อยที่สุด สามารถแสดงขั้นตอนและรายละเอียดของผลการวิจัยได้ ดังนี้

4.1 ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define Phase)

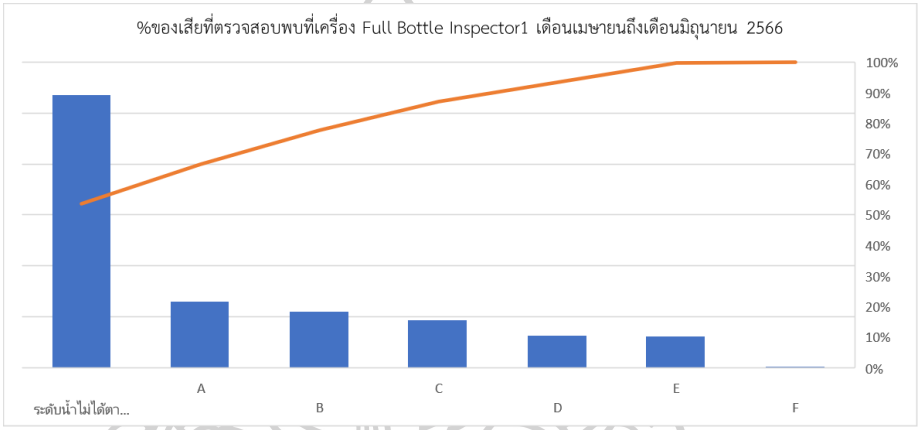
4.1.1 ศึกษาข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มที่เครื่องตรวจสอบคุณภาพต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 3 เดือน เริ่มตั้งแต่เดือนเมษายนจนถึงเดือนมิถุนายนปี 2566 จากเอกสาร Filling Report ที่ทางพนักงานคุมเครื่องจักรแผนกบรรจุได้ทำการบันทึกไว้ หลังจากนั้นทางผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่รวบรวมมาทำการวิเคราะห์หามูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นของแต่ละเครื่องจักร และใช้แผนภูมิพาเรโตมาจัดลำดับเปอร์เซ็นต์มูลค่าความสูญเสีย เพื่อทำให้ทราบถึงปัญหาที่มีความสูญเสียมากที่สุด ตามภาพที่ 23



ภาพที่ 23 แผนภูมิพาเรโตเปอร์เซ็นต์มูลค่าความสูญเสียเกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม

จากภาพที่ 23 แสดงให้เห็นว่า เครื่อง Full Bottle Inspector1 เป็นจุดที่มีมูลค่าสูญเสียมากที่สุดในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม ต่อไปผู้วิจัยจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลลักษณะของเสียที่พบที่เครื่อง Full Bottle Inspector1 โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนเมษายนจนถึงเดือนมิถุนายนปี 2566 แล้วนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของเสียที่พบแต่ละลักษณะที่เกิดขึ้น และใช้แผนภูมิพาเรโตมาจัดลำดับเปอร์เซ็นต์ของเสีย เพื่อทำให้ทราบถึงลักษณะปัญหาที่มีพบของเสียมากที่สุด

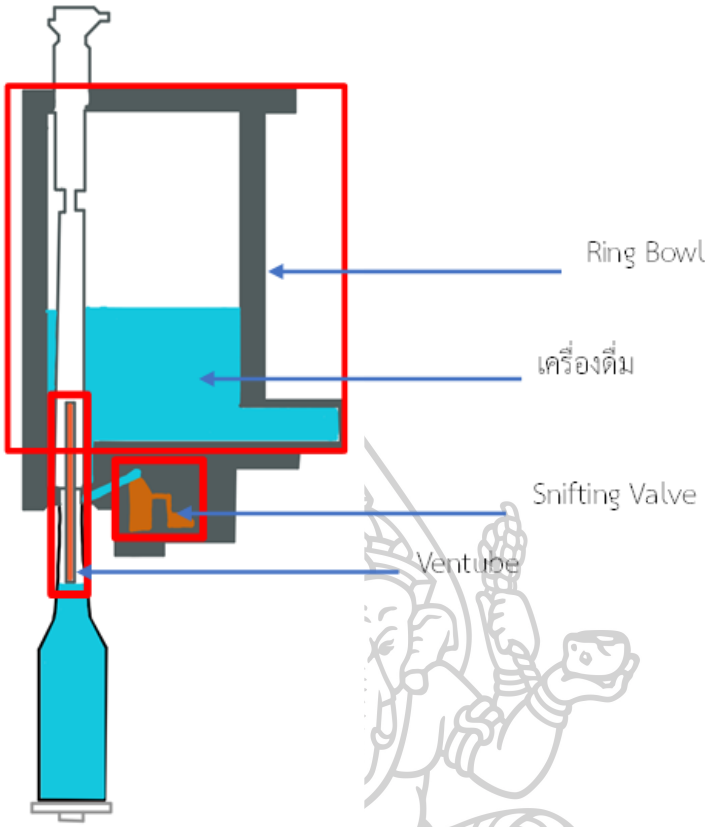


ภาพที่ 24 แผนภูมิพาเรโตเปอร์เซ็นต์ของเสียที่พบแต่ละลักษณะที่เครื่อง Full Bottle Inspector1

จากภาพที่ 24 พบว่าลักษณะของเสียที่มีเปอร์เซ็นต์สูงที่สุดที่ตรวจสอบพบที่เครื่อง Full Bottle Inspector1 คือ ระดับน้ำไม่ได้ตามที่กำหนด หรือระดับการเติมน้ำไม่อยู่ในช่วง A±3 มิลลิเมตร ทำให้ผู้วิจัยได้ตัดสินใจเลือกศึกษาและแก้ไขปัญหาของเสียที่เกิดจากการเติมเครื่องดื่มไม่ได้ระดับตามมาตรฐานที่โรงงานกำหนด

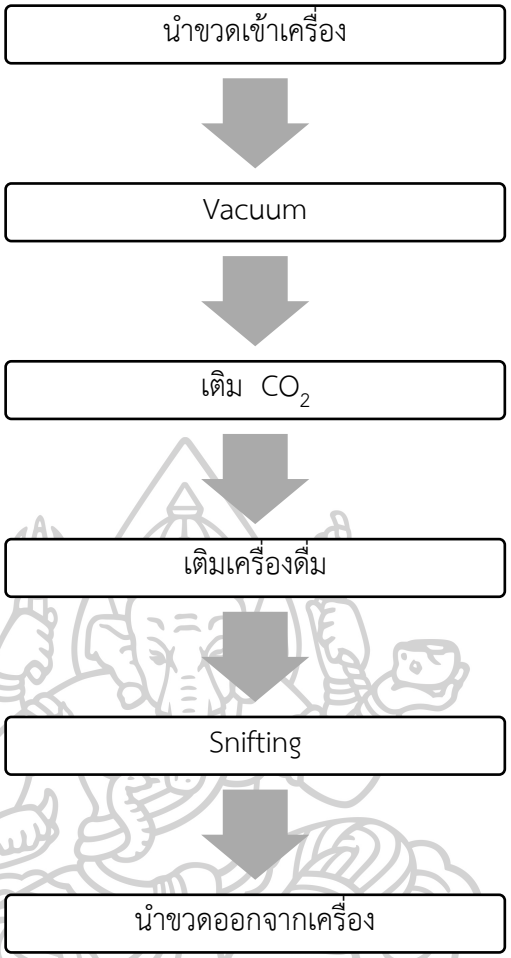
4.1.2 ศึกษากระบวนการเติมเครื่องดื่ม

ผู้จัดทำได้ศึกษาส่วนประกอบของเครื่องบรรจุเครื่องดื่ม (Filler) ตามภาพที่ 25 โดยจะประกอบได้ 3 ส่วนหลัก คือ Ring Bowl Snifting Valve และ Ventube



ภาพที่ 25 ส่วนประกอบของเครื่องบรรจุเครื่องดื่ม (Filler)

และใช้แผนภูมิการไหล (Flow Process Chart) เขียนขั้นตอนการเติมเครื่องดื่ม ตามภาพที่ 26 เพื่อผู้วิจัยจะสามารถมองเห็นถึงตัวแปรทั้งหมดที่ส่งผลกระทบต่อความสูญเสียครั้งนี้ และจะได้สามารถวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาได้อย่างครอบคลุม



ภาพที่ 26 แผนผังกระบวนการเติมเครื่องดื่ม

4.2 ขั้นตอนการตรวจวัดสภาพปัญหา (Measure Phase)

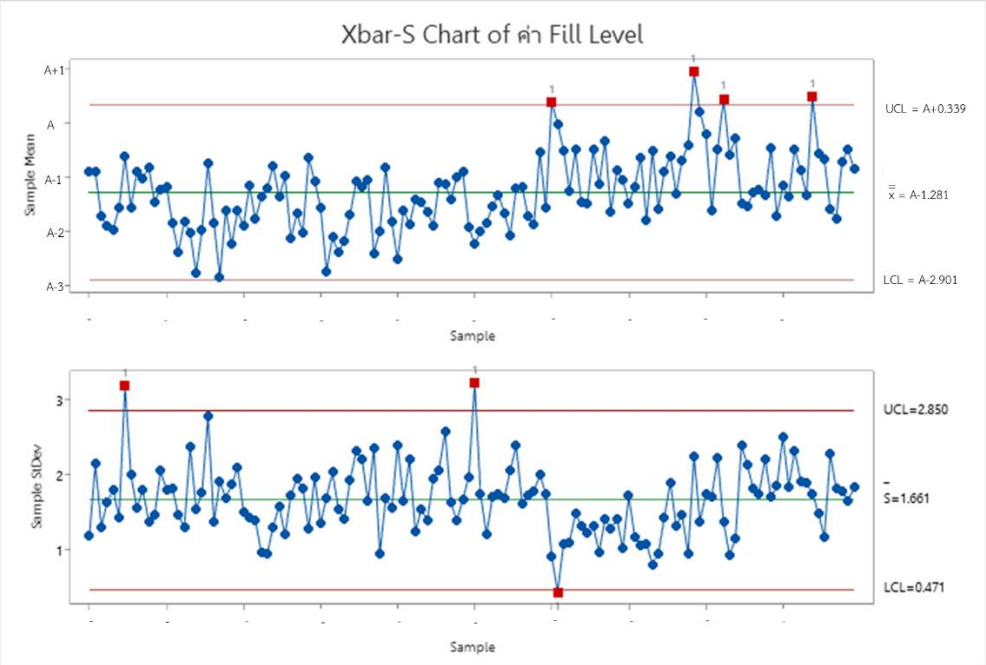
4.2.1 ข้อมูลการวัดสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตรวจวัดระดับการเติมเครื่องดื่มที่ผ่านการบรรจุที่เครื่อง Filler โดยผู้วิจัยจะทำการเก็บขวดจากการเติม หัวจ่ายละ 10 ครั้ง ตั้งแต่เดือนมกราคม 2565 ถึงเดือนพฤษภาคม 2566 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4 (กำหนดให้ A = ค่ามาตรฐานของระดับการเติมเครื่องดื่ม)

ตารางที่ 4 ข้อมูลตรวจวัดระดับการเติมเครื่องดื่มเดือนมกราคม 2565 ถึงเดือนพฤษภาคม 2566

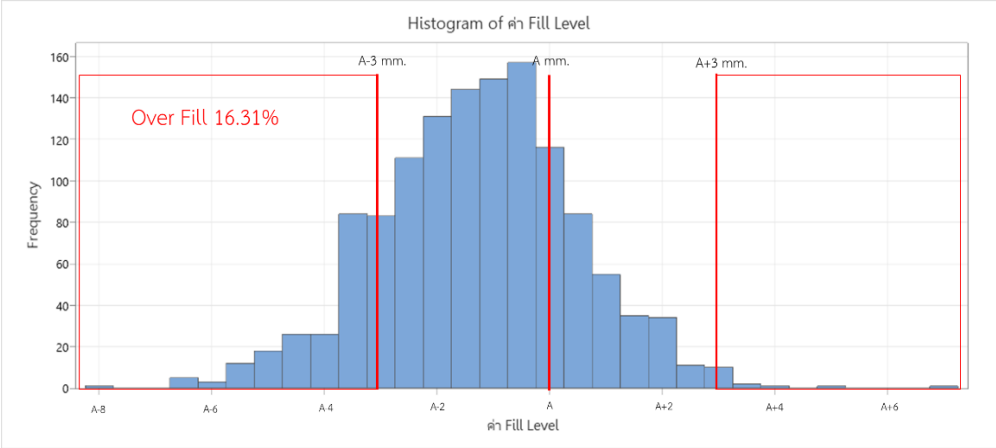
หัวจ่ายที่	ค่า Fill Level (มิลลิเมตร)									
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10
1	A+0.03	A-2.50	A-0.02	A-1.08	A-1.78	A-0.49	A-2.55	A-0.18	A+1.09	A-1.48
2	A+0.68	A-2.80	A-2.24	A-3.50	A-1.6	A+2.96	A-3.27	A+0.44	A-0.77	A+1.03
3	A-1.86	A-2.03	A-2.48	A-0.70	A-1.77	A+0.54	A-4.32	A-1.48	A-2.49	A-0.68
4	A-0.7	A-1.99	A-0.54	A-3.75	A-1.45	A-0.50	A-5.01	A-0.03	A-1.64	A-3.24
5	A+2.17	A-3.73	A-0.50	A-3.52	A-2.79	A-1.54	A-2.94	A-1.14	A-2.41	A-3.24
6	A+0.06	A-3.36	A-1.52	A-2.37	A+0.65	A-0.93	A-3.15	A-0.05	A-2.72	A-2.12
7	A+7.12	A-3.35	A-1.37	A-2.75	A-0.13	A+1.19	A-3.22	A+0.85	A-2.67	A-1.87
8	A-3.51	A+0.32	A+2.18	A-2.71	A-3.30	A-2.46	A-2.91	A+1.02	A-2.43	A-1.83
9	A-0.3	A+0.10	A+1.84	A-1.76	A-2.05	A-2.3	A-2.85	A+1.22	A-1.54	A-1.37
10	A+2.02	A-2.18	A-1.76	A-3.08	A-1.34	A-1.87	A-3.44	A+0.51	A+0.54	A+0.41

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ตารางที่ 5 ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์หากราฟแผนภูมิควบคุม $\bar{x}$-s ตามภาพที่ 27 พบว่าระดับการเติมเครื่องดื่มเฉลี่ยอยู่ที่ A-1.281 มิลลิเมตร มีค่าความแปรปรวนเฉลี่ย 1.661 และกระบวนการบรรจุมีหัวบรรจุเครื่องดื่มที่ไม่อยู่ภายใต้สภาวะควบคุม จึงต้องทำการปรับปรุงให้กระบวนการกลับมาอยู่ภายใต้สภาวะควบคุม



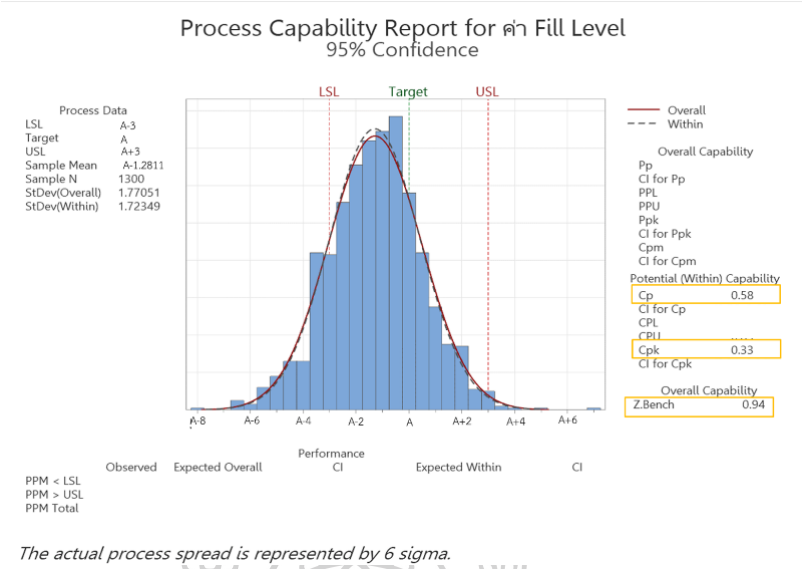
ภาพที่ 27 กราฟแผนภูมิควบคุม $\bar{x}$-s ระดับการเติมเครื่องดื่มก่อนการปรับปรุง

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หากราฟ Histogram ตามภาพที่ 28 พบว่าในปัจจุบันระดับการเติมเครื่องดื่มกราฟมีแนวโน้มเบ้ขวา และพบว่าเกิดของเสียประเภทเติมเครื่องดื่มเกินมาตรฐานกำหนด (Overfill) 16.31% ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกปัญหาการเติมเครื่องดื่มเกินมาตรฐานกำหนด (Overfill) เป็นหัวข้อศึกษาหาสาเหตุของปัญหา



ภาพที่ 28 กราฟ Histogram ระดับการเติมเครื่องดื่มก่อนการปรับปรุง

และผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุง ได้ผลลัพธ์ตามภาพที่ 29 พบว่าระดับการเติมเครื่องดื่มอยู่ที่ระดับ 0.94 ซิกม่า ค่าความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) อยู่ที่ 0.33 และค่าศักยภาพของความสามารถ (C_p) อยู่ที่ 0.58



ภาพที่ 29 Process Capability Report ก่อนปรับปรุง

4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

4.3.1 ข้อมูลการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้การระดมสมอง

หลังจากกำหนดปัญหา และวัดผลก่อนการปรับปรุงแล้ว จึงเข้าสู่การนำปัญหามาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของของเสียที่เกิดจากเติมเครื่องดื่มไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของโรงงานในกระบวนการบรรจุประเภท Overfill ดำเนินการโดยระดมความคิดจากผู้ที่มีความรู้ความสามารถและประสบการณ์ ซึ่งประกอบไปด้วย ระดับหัวหน้าแผนกบรรจุ หัวหน้าแผนกช่างซ่อมบำรุง และหัวหน้าแผนกประกันคุณภาพ ซึ่งผู้จัดทำจะทำการวิเคราะห์แยกสาเหตุของปัญหาพบสาเหตุหลัก 3 ข้อหลัก คือ

1) ความยาวของ Vent tube ไม่เหมาะสม หากความยาวของ Vent tube มากจะส่งผลให้ระดับการเติมเครื่องดื่มต่ำกว่าที่กำหนด หากความยาวของ Vent tube น้อยจะส่งผลให้ระดับการเติมเครื่องดื่มสูงกว่าที่กำหนด

2) แรงดันใน Ring Bowl ไม่เหมาะสม หากแรงดันใน Ring Bowl ต่ำมากเกินไปจะส่งผลให้ระดับการเติมเครื่องดื่มต่ำกว่าที่กำหนด หากแรงดันใน Ring Bowl สูงมากเกินไปจะส่งผลให้ระดับการเติมเครื่องดื่มสูงกว่าที่กำหนด

3) ระดับเครื่องดื่มใน Ring Bowl ไม่เหมาะสม หากระดับเครื่องดื่มใน Ring Bowl ต่ำมากเกินไปจะส่งผลให้เติมเครื่องดื่มไม่ทันเมื่อใช้ความเร็วรอบเครื่องจักรสูง ทำให้เกิดของเสียประเภทระดับการเติมเครื่องดื่มต่ำกว่าที่กำหนด หรือถ้าระดับเครื่องดื่มใน Ring Bowl ต่ำมาก ๆ จะทำให้เติมเครื่องดื่มไม่ได้ เนื่องจากเครื่องบรรจุจะเรียกเครื่องดื่มมาไม่ทันรอบการเติม หากระดับ

เครื่องดื่มใน Ring Bowl สูงมากเกินไปจะส่งผลให้ CO_2 ไม่ถูกเติมลงมา เนื่องจากมีเครื่องดื่มไปแทนที่ ทำให้เครื่องดื่มเกิดฟองมากจนเป็นของเสียประเภทระดับการเติมเครื่องดื่มต่ำกว่าที่กำหนด

4.3.2 การออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Design

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะทำการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการ 2^k Factorial Design แบบกำหนดระดับปัจจัย 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) และทำการทดลองหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรต้นเทียบกับตัวแปรตาม เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อระดับการเติมและหาปัจจัยที่ Interaction ต่อกัน ที่เลือกใช้วิธี 2^k Factorial Design เนื่องจากในการทดลองมีข้อจำกัดในเรื่องของทรัพยากร โรงงานตัวอย่างเป็นไลน์การผลิตแบบต่อเนื่องหากปรับตั้งเครื่องจักรแล้วเกิดของเสียจะส่งผลให้เกิดของเสียจำนวนมากและทำให้เกิดต้นทุนที่ไม่จำเป็นสูงขึ้น จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้การระดมสมองพบว่ามีปัจจัยที่อาจส่งผลต่อระดับการเติมเครื่องดื่ม มีจำนวน 3 ปัจจัย คือ ความยาวของ Vent tube แรงดันใน Ring Bowl และระดับน้ำใน Ring Bowl โดยยังไม่ทราบค่าปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งมาจากการวิเคราะห์ร่วมกับทางฝ่ายช่างและฝ่ายผลิต ดังตารางที่ 5 โดยกำหนดให้

B คือ ความยาวของ Vent tube ปัจจุบัน

C คือ แรงดันใน Ring Bowl ปัจจุบัน

D คือ ระดับน้ำใน Ring Bowl ปัจจุบัน

กำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม ดังนี้

ตัวแปรต้น คือ ความยาวของ Vent tube แรงดันใน Ring Bowl และระดับน้ำใน Ring Bowl

ตัวแปรตาม คือ ระดับการเติมเครื่องดื่ม

ตัวแปรควบคุม คือ ความเร็วรอบเครื่องบรรจุ ผู้ผลิตขวด ขวดใหม่ หัวบรรจุ อุณหภูมิเครื่องดื่ม และความหนาแน่นของเครื่องดื่ม

ตารางที่ 5 ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลอง 2^k Factorial Design แบบ 2 ระดับ

ปัจจัย	ระดับปัจจัย		หน่วย
	ต่ำ	สูง	
ความยาวของ Vent tube	B+2	B+5	มิลลิเมตร
แรงดันใน Ring Bowl	C-2	C	บาร์
ระดับน้ำใน Ring Bowl	D+20	D+40	มิลลิเมตร

จากตารางที่ 6 เป็นคุณลักษณะของปัจจัยในแบบการทดลองโดยมี 3 ปัจจัย ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยประกอบได้ด้วย 2 ระดับ โดยการทดลองนี้ผู้วิจัยกำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ซึ่งจะเก็บข้อมูลระดับการเติมเครื่องดื่มจำนวน 20 หัวบรรจุต่อการทดลอง มีแผนทั้งหมด 8 การทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 6 แผนการทดลอง 2^k Factorial Design แบบ 2 ระดับต่อกัน

RunOrder	CenterPt	Blocks	ความยาวของ Vent tube	แรงดันใน Ring Bowl	ระดับน้ำใน Ring Bowl
1	1	1	B+2	C	D+40
2	1	1	B+2	C	D+20
3	1	1	B+2	C-2	D+20
4	1	1	B+2	C-2	D+40
5	1	1	B+5	C	D+20
6	1	1	B+5	C-2	D+20
7	1	1	B+5	C	D+40
8	1	1	B+5	C-2	D+40

ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงที่ส่งผลต่อระดับการเติมเครื่องดื่ม แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการทดลองปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับการเติมเครื่องดื่ม

การทดลอง	Vent tube	Pressure	Level	Fill Level
1	B+2	C	D+40	A-1.24
1	B+2	C	D+40	A-1.71
1	B+2	C	D+40	A-1.25
1	B+2	C	D+40	A
1	B+2	C	D+40	A+0.26
1	B+2	C	D+40	A-1.34
1	B+2	C	D+40	A+0.07
1	B+2	C	D+40	A-0.63
1	B+2	C	D+40	A-2.85
1	B+2	C	D+40	A-1.69
1	B+2	C	D+40	A+0.61
1	B+2	C	D+40	A-1.36
1	B+2	C	D+40	A-3.05
1	B+2	C	D+40	A-0.33
1	B+2	C	D+40	A-4.74
1	B+2	C	D+40	A-1.16
1	B+2	C	D+40	A-2.16
1	B+2	C	D+40	A-2.07
1	B+2	C	D+40	A-2.07
1	B+2	C	D+40	A-1.99
2	B+2	C	D+20	A-2.79
2	B+2	C	D+20	A-1.91
2	B+2	C	D+20	A-2.26
2	B+2	C	D+20	A-1.41
2	B+2	C	D+20	A-3.22
2	B+2	C	D+20	A-1.71
2	B+2	C	D+20	A-1.64
2	B+2	C	D+20	A
2	B+2	C	D+20	A-1.53
2	B+2	C	D+20	A-3.14
2	B+2	C	D+20	A-1.99
2	B+2	C	D+20	A-0.79
2	B+2	C	D+20	A-2.58
2	B+2	C	D+20	A-2.96
2	B+2	C	D+20	A+0.97
2	B+2	C	D+20	A-1.67
2	B+2	C	D+20	A-2.79
2	B+2	C	D+20	A-0.65
2	B+2	C	D+20	A-1.59
2	B+2	C	D+20	A-1.55

ตารางที่ 7 ผลการทดลองปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับการเติมเครื่องดื่ม (ต่อ)

การทดลอง	Vent tube	Pressure	Level	Fill Level
3	B+2	C-2	D+20	A-1.46
3	B+2	C-2	D+20	A-2.05
3	B+2	C-2	D+20	A-1.36
3	B+2	C-2	D+20	A-0.45
3	B+2	C-2	D+20	A-2.38
3	B+2	C-2	D+20	A-2.9
3	B+2	C-2	D+20	A-2.78
3	B+2	C-2	D+20	A-1.76
3	B+2	C-2	D+20	A-0.61
3	B+2	C-2	D+20	A-2.35
3	B+2	C-2	D+20	A-1.56
3	B+2	C-2	D+20	A-3.09
3	B+2	C-2	D+20	A-1.52
3	B+2	C-2	D+20	A-1.32
3	B+2	C-2	D+20	A-3.21
3	B+2	C-2	D+20	A-3.04
3	B+2	C-2	D+20	A-1.38
3	B+2	C-2	D+20	A-2.83
3	B+2	C-2	D+20	A-1.85
3	B+2	C-2	D+20	A-1.77
4	B+2	C-2	D+40	A+0.54
4	B+2	C-2	D+40	A+0.15
4	B+2	C-2	D+40	A-1.54
4	B+2	C-2	D+40	A-0.56
4	B+2	C-2	D+40	A+1.06
4	B+2	C-2	D+40	A-1.17
4	B+2	C-2	D+40	A-0.56
4	B+2	C-2	D+40	A+0.34
4	B+2	C-2	D+40	A-1.72
4	B+2	C-2	D+40	A-1.77
4	B+2	C-2	D+40	A-1.58
4	B+2	C-2	D+40	A+1.87
4	B+2	C-2	D+40	A+0.96
4	B+2	C-2	D+40	A-0.61
4	B+2	C-2	D+40	A-0.32
4	B+2	C-2	D+40	A-2.24
4	B+2	C-2	D+40	A-2.92
4	B+2	C-2	D+40	A-0.37
4	B+2	C-2	D+40	A-1.35
4	B+2	C-2	D+40	A+0.36

ตารางที่ 7 ผลการทดลองปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับการเติมเครื่องดื่ม (ต่อ)

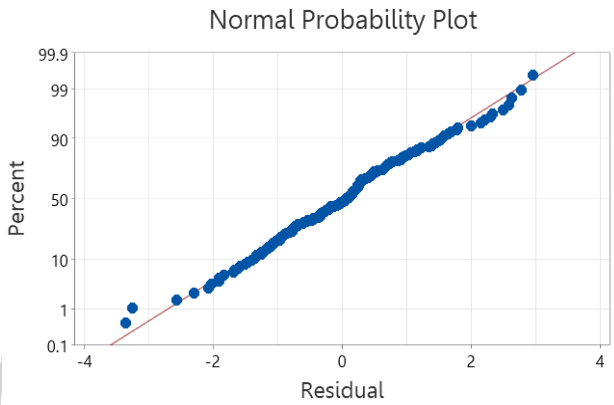
การทดลอง	Vent tube	Pressure	Level	Fill Level
5	B+5	C	D+20	A+0.68
5	B+5	C	D+20	A+0.79
5	B+5	C	D+20	A+0.97
5	B+5	C	D+20	A+2.18
5	B+5	C	D+20	A+2.09
5	B+5	C	D+20	A+1.53
5	B+5	C	D+20	A+1.6
5	B+5	C	D+20	A+1.64
5	B+5	C	D+20	A+1.68
5	B+5	C	D+20	A-1.37
5	B+5	C	D+20	A+2.3
5	B+5	C	D+20	A+2.59
5	B+5	C	D+20	A+2.36
5	B+5	C	D+20	A+3.42
5	B+5	C	D+20	A+2.06
5	B+5	C	D+20	A+2.63
5	B+5	C	D+20	A+2.76
5	B+5	C	D+20	A+1.11
5	B+5	C	D+20	A+2.81
5	B+5	C	D+20	A+4.52
6	B+5	C-20	D+20	A+1.36
6	B+5	C-20	D+20	A+1.35
6	B+5	C-20	D+20	A+1.5
6	B+5	C-20	D+20	A+0.66
6	B+5	C-20	D+20	A+0.74
6	B+5	C-20	D+20	A+2.17
6	B+5	C-20	D+20	A+3.48
6	B+5	C-20	D+20	A+2.82
6	B+5	C-20	D+20	A+1.64
6	B+5	C-20	D+20	A+0.19
6	B+5	C-20	D+20	A+2.36
6	B+5	C-20	D+20	A+1.94
6	B+5	C-20	D+20	A+4.65
6	B+5	C-20	D+20	A+0.01
6	B+5	C-20	D+20	A+1.81
6	B+5	C-20	D+20	A+1.98
6	B+5	C-20	D+20	A+2.06
6	B+5	C-20	D+20	A+2.63
6	B+5	C-20	D+20	A-0.21
6	B+5	C-20	D+20	A+0.35

ตารางที่ 7 ผลการทดลองปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับการเติมเครื่องดื่ม (ต่อ)

การทดลอง	Vent tube	Pressure	Level	Fill Level
7	B+5	C	D+40	A+1.86
7	B+5	C	D+40	A+3.94
7	B+5	C	D+40	A+3.53
7	B+5	C	D+40	A+1.29
7	B+5	C	D+40	A+1.6
7	B+5	C	D+40	A+2.02
7	B+5	C	D+40	A+2.15
7	B+5	C	D+40	A+3.23
7	B+5	C	D+40	A+0.15
7	B+5	C	D+40	A+0.37
7	B+5	C	D+40	A+-0.11
7	B+5	C	D+40	A+4.03
7	B+5	C	D+40	A+4.06
7	B+5	C	D+40	A+1.26
7	B+5	C	D+40	A+0.48
7	B+5	C	D+40	A-0.84
7	B+5	C	D+40	A+1.84
7	B+5	C	D+40	A+0.86
7	B+5	C	D+40	A+0.99
7	B+5	C	D+40	A+2.96
8	B+5	C-2	D+40	A+0.42
8	B+5	C-2	D+40	A+3.02
8	B+5	C-2	D+40	A+3.17
8	B+5	C-2	D+40	A+2.94
8	B+5	C-2	D+40	A+3.84
8	B+5	C-2	D+40	A+1.24
8	B+5	C-2	D+40	A+2.22
8	B+5	C-2	D+40	A+2.46
8	B+5	C-2	D+40	A+2.3
8	B+5	C-2	D+40	A+1.95
8	B+5	C-2	D+40	A+0.58
8	B+5	C-2	D+40	A+2.47
8	B+5	C-2	D+40	A+5.08
8	B+5	C-2	D+40	A+2.71
8	B+5	C-2	D+40	A+3.41
8	B+5	C-2	D+40	A+0.46
8	B+5	C-2	D+40	A+1.77
8	B+5	C-2	D+40	A+4.64
8	B+5	C-2	D+40	A+1.89
8	B+5	C-2	D+40	A+2.29

ก่อนทำการวิเคราะห์การทดลองต้องตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองและความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งมีสมมติฐานในการตรวจสอบ 3 ข้อ ดังนี้

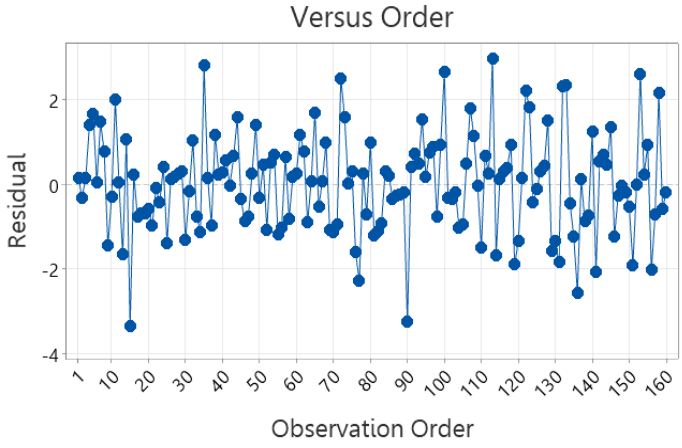
1) สมมติฐานการแจกแจงแบบปกติ



ภาพที่ 30 Normal Probability Plot

จากภาพที่ 30 ข้อมูลมีการกระจายในลักษณะหรือแนวโน้มใกล้เคียงเส้นตรง สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

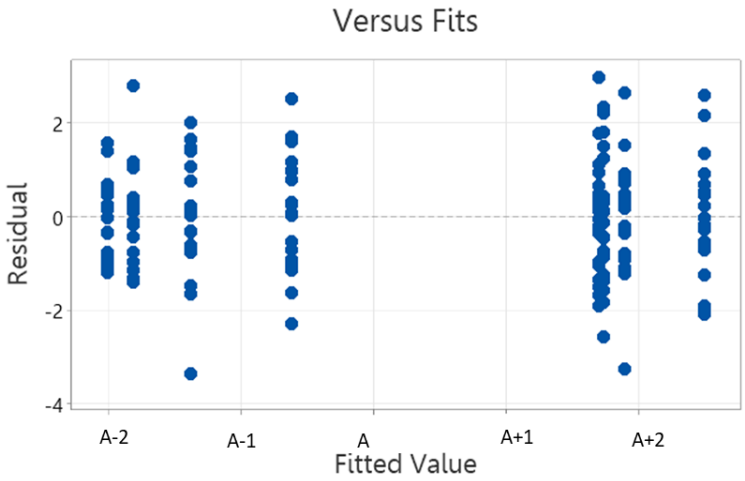
2) สมมติฐานความเป็นอิสระ



ภาพที่ 31 Versus Order

จากภาพที่ 31 พบว่ากราฟที่ได้มีการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบ ไม่มีแนวโน้ม สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน

3) สมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนข้อมูล



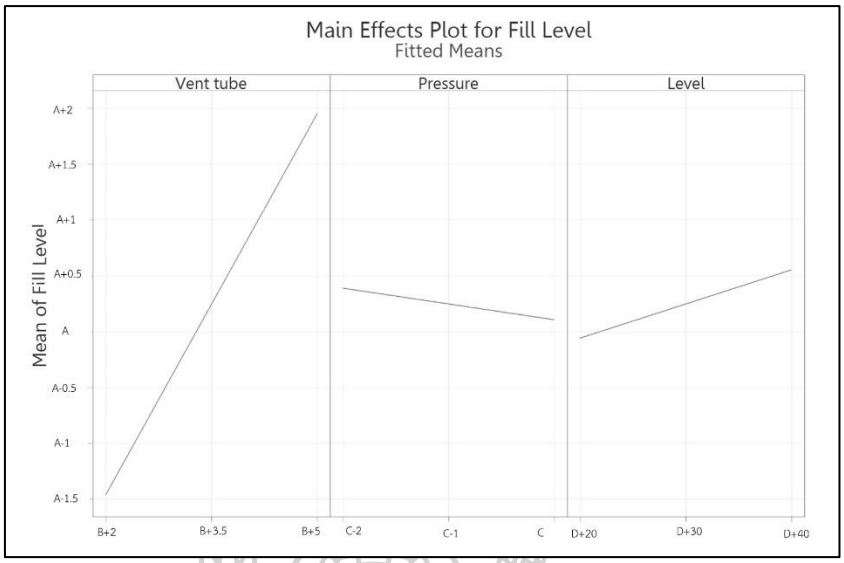
ภาพที่ 32 Versus Fits

จากภาพที่ 32 พบว่ากราฟที่ได้มีการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบ ไม่มีแนวโน้ม และช่วงความกว้างของข้อมูลค่อนข้างคงที่ สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

จากการทดสอบสมมติฐานเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งพบว่ามีการแจกแจงแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนข้อมูล จึงสรุปได้ว่าข้อมูลชุดนี้มีความน่าเชื่อถือสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติได้

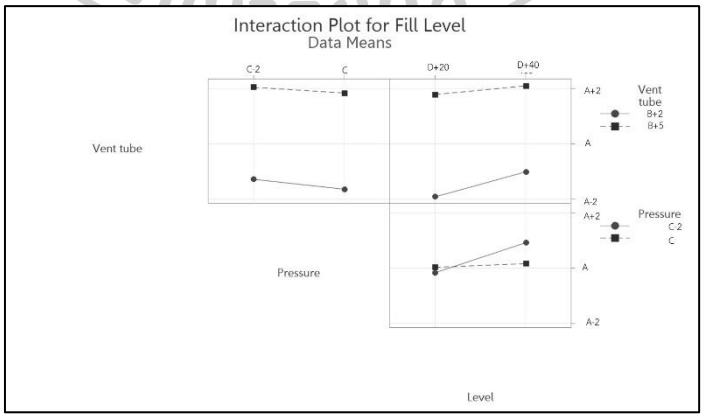
ผลการทดลองจากตารางที่ 7 ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติโดยใช้ Multiple Regression Analysis เพื่อหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรต้นเทียบกับตัวแปรตาม และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ร่วมของแต่ละปัจจัย ได้ผลการทดลอง ดังภาพที่ 33 และภาพที่ 34 และจากการวิเคราะห์ข้อมูล ได้สมการเชิงเส้น ดังนี้

Fill Level = -230.5+2.023 Vent tube+20.07 Pressure+1.728 Level-0.00985 Vent tube*Level-0.2388 Pressure*Level



ภาพที่ 33 Main Effects Plot for Fill Level

จากภาพที่ 33 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อระดับการเติมเครื่องดื่ม พิจารณาจากกราฟ Main Effect Plot จะพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อระดับการเติมเครื่องดื่ม ได้แก่ Main Effect ของความยาวของ Vent tube เนื่องจากความยาวของ Vent tube เปลี่ยนจากระดับต่ำไปเป็นระดับสูงส่งผลให้ระดับการเติมเครื่องดื่มลดลง และ Main Effect ของระดับน้ำใน Ring Bowl เนื่องจากระดับน้ำใน Ring Bowl เปลี่ยนจากระดับต่ำไปเป็นระดับสูงส่งผลให้ระดับการเติมเครื่องดื่มลดลง



ภาพที่ 34 Interaction Plot for Fill Level

จากภาพที่ 34 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอันตรกิริยาของปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับการเติมเครื่องดื่ม พิจารณาจากกราฟ Interaction Plot พบว่าอันตรกิริยาของปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับการเติมเครื่องดื่ม ได้แก่ Interaction Effect ของระดับน้ำใน Ring Bowl และแรงดันใน Ring Bowl เนื่องจากระดับน้ำใน Ring Bowl เปลี่ยนจากระดับต่ำไประดับสูงที่แรงดันใน Ring Bowl C-2 มิลลิเมตร ส่งผลให้ระดับการเติมเครื่องดื่มลดลง ในทางกลับกันระดับน้ำใน Ring Bowl เปลี่ยนจากระดับต่ำไประดับสูงที่แรงดันใน Ring Bowl C มิลลิเมตร ส่งผลให้ระดับการเติมเครื่องดื่มเพิ่มขึ้น

Regression Analysis: Fill Level versus Vent tube, Pressure, Level

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	496.486	99.297	70.76	0.000
Vent tube	1	465.636	465.636	331.83	0.000
Pressure	1	3.223	3.223	2.30	0.132
Level	1	15.012	15.012	10.70	0.001
Vent tube*Level	1	3.490	3.490	2.49	0.117
Pressure*Level	1	9.125	9.125	6.50	0.012
Error	154	216.100	1.403		
Lack-of-Fit	2	0.257	0.128	0.09	0.914
Pure Error	152	215.843	1.420		
Total	159	712.586			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.18459	69.67%	68.69%	67.26%

ภาพที่ 35 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเติมเครื่องดื่ม

จากภาพที่ 35 ผู้วิจัยพิจารณาจากค่า P-Value หากค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จะสรุปได้ว่าปัจจัยนั้นส่งผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ จากภาพพบว่าปัจจัยเดี่ยวของความยาวของ Ventube มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ระดับน้ำใน Ring Bowl มีค่า P-Value เท่ากับ 0.001 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 และแรงดันใน Ring Bowl มีค่า P-Value เท่ากับ 0.132 ซึ่งมากกว่า 0.05 สรุปได้ว่ามี 2 ปัจจัยที่ผลต่อระดับการเติมเครื่องดื่มอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ ความยาวของ Ventube และ ระดับน้ำใน Ring Bowl ในส่วนปัจจัยร่วมระหว่างระดับน้ำใน Ring Bowl กับแรงดันใน Ring Bowl มีค่า P-Value เท่ากับ 0.012 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 สรุปได้ว่ามีผลต่อระดับการเติมเครื่องดื่มอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.4 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)

จากผลการทดลองตามภาพที่ 33 34 และ 35 ผู้วิจัยสรุปได้ว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อระดับการเติมเครื่องดื่ม คือ ความยาวของ Vent tube และ ระดับน้ำใน Ring Bowl และพบว่าแรงดันใน Ring Bowl กับ ระดับน้ำใน Ring Bowl มีความสัมพันธ์ที่ ผู้จัดทำจึงนำ 3 ปัจจัยหลักนี้มาหาค่าที่เหมาะสม ดังนี้

Solution					
Solution	Vent tube	Pressure	Level	Fill Level Fit	Composite Desirability
1	B+3.5	C+0.1	D+21.8812	A	1

ภาพที่ 36 ผลการวิเคราะห์การหาค่าที่เหมาะสม

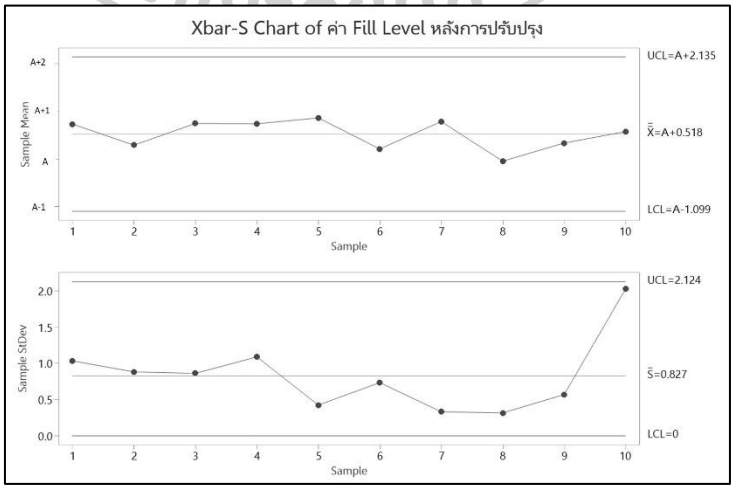
ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งเครื่องบรรจุเครื่องดื่ม (Filler) ภาพที่ 36 และเพื่อให้ปรับใช้กับเครื่องจักรหน้างานได้จริง จึงสรุปได้ว่าค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลให้ระดับการเติมเครื่องดื่มอยู่ที่ A มิลลิเมตร คือ ความยาวของ Vent tube เพิ่มขึ้นจากเดิม 3 มิลลิเมตร แรงดันใน Ring Bowl เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.1 บาร์ และ ระดับน้ำใน Ring Bowl เพิ่มขึ้นจากเดิม 20 มิลลิเมตร

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ค่าพยากรณ์ที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลให้ระดับการเติมเครื่องดื่มอยู่ที่ A มิลลิเมตรแล้วนั้น ลำดับถัดไปผู้วิจัยจะนำค่าที่ได้ไปทำการทดลองปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องบรรจุเครื่องดื่ม (Filler) พร้อมทั้งทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการตรวจวัดระดับการเติมเครื่องดื่มที่ผ่านการบรรจุหลังการปรับปรุง โดยผู้วิจัยจะทำการเก็บขวดจากการเติมจำนวน 10 หัวจ่าย หัวจ่ายละ 3 ครั้ง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 8 (กำหนดให้ A = ค่ามาตรฐานของระดับการเติมเครื่องดื่ม)

ตารางที่ 8 ข้อมูลตรวจวัดระดับการเติมเครื่องดื่มหลังการปรับปรุง

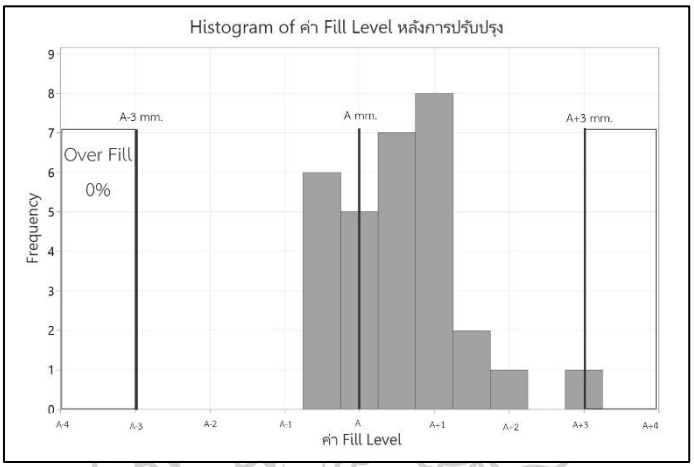
หัวจ่ายที่	ค่า Fill Level		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	A+1.7	A+0.84	A-0.36
2	A-0.7	A+1	A+0.56
3	A+1.53	A-0.18	A+0.87
4	A+1.91	A-0.24	A0.53
5	A+1.15	A+0.37	A+1.05
6	A+0.3	A+0.89	A-0.57
7	A+0.47	A+0.74	A+1.13
8	A+0.25	A-0.38	A-0.02
9	A-0.12	A+0.14	A+0.97
10	A+2.91	A-0.54	A-0.66

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลหลังการปรับปรุงตามตารางที่ 8 ผู้จัดทำได้นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์หากราฟแผนภูมิควบคุม ตามภาพที่ 37 พบว่าระดับการเติมเครื่องดื่มหลังการปรับปรุงเฉลี่ยอยู่ที่ A+0.518 มิลลิเมตร มีค่าความแปรปรวนหลังการปรับปรุงเฉลี่ย 0.827 และกระบวนการบรรจุไม่มีหัวบรรจุเครื่องดื่มออกนอกสภาวะควบคุม



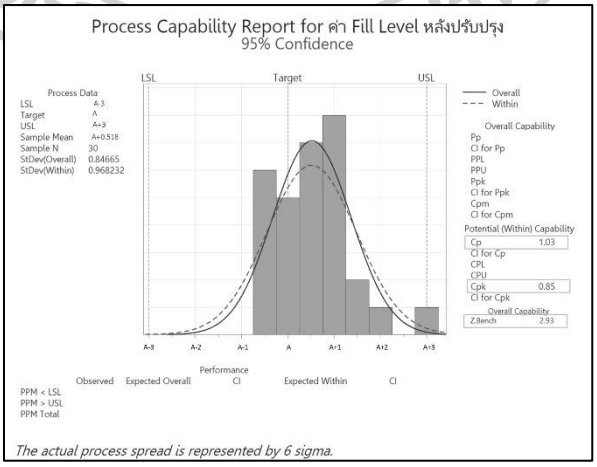
ภาพที่ 37 กราฟแผนภูมิควบคุม $\bar{x}$-s ระดับการเติมเครื่องดื่มหลังการปรับปรุง

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หากราฟ Histogram ตามภาพที่ 38 พบว่าหลังการปรับปรุงระดับการเติมเครื่องดื่มกราฟมีแนวโน้มเบ้ซ้าย และพบว่าเกิดของเสียประเภทเติมเครื่องดื่มเกินมาตรฐานกำหนด (Overfill) 0%



ภาพที่ 38 กราฟ Histogram ระดับการเติมเครื่องดื่มหลังการปรับปรุง

และผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงได้ผลลัพธ์ตามภาพที่ 39 พบว่าระดับการเติมเครื่องดื่มอยู่ที่ระดับ 2.93 ซิกม่า ค่าความสามารถของกระบวนการ (Cpk) อยู่ที่ 0.85 และค่าศักยภาพของความสามารถ (Cp) อยู่ที่ 1.03



ภาพที่ 39 Process Capability Report หลังการปรับปรุง

จากการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์เครื่องบรรจุเครื่องดื่ม (Filler) ตามค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธีทางสถิติของแต่ละปัจจัย โดยปรับความยาวของ Vent tube เพิ่มขึ้นจากเดิม 3 มิลลิเมตร แรงดันใน Ring Bowl เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.1 บาร์ และ ระดับน้ำใน Ring Bowl เพิ่มขึ้นจากเดิม 20 มิลลิเมตร สามารถเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง ได้ดังตารางที่ 4 พบว่า ค่าเฉลี่ยระดับการเติมเครื่องดื่มก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ A-1.281 มิลลิเมตร หลังการปรับปรุงอยู่ที่ A+0.518 มิลลิเมตร แสดงว่าระดับการเติมเครื่องดื่มอยู่ในมาตรฐานที่โรงงานกำหนด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 1.661 หลังการปรับปรุงอยู่ที่ 0.827 ลดลงจากเดิม 0.834 แสดงว่าความแปรปรวนของกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มลดลง ของเสียประเภทเติมเครื่องดื่มเกินมาตรฐานกำหนด (Overfill) ก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 16.31% หลังการปรับปรุงอยู่ที่ 0% ลดลงจากเดิม 100% แสดงว่าไม่เกิดของเสียประเภทเติมเครื่องดื่มเกินมาตรฐานกำหนด (Overfill) ค่าความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 0.33 หลังการปรับปรุงอยู่ที่ 0.85 เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.52 ค่าศักยภาพของความสามารถ (Cp) ก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 0.58 หลังการปรับปรุงอยู่ที่ 1.03 เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.45 และระดับการเติมเครื่องดื่มก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 0.94 ซิกม่า หลังการปรับปรุงอยู่ที่ 2.93 ซิกม่า เพิ่มขึ้นจากเดิม 1.99 ซิกม่า แสดงว่ากระบวนการบรรจุเครื่องดื่มมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง

ตัวชี้วัด	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
ค่าเฉลี่ยระดับการเติมเครื่องดื่ม (X bar)	A-1.281	A+0.518
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)	1.661	0.827
เปอร์เซ็นต์ของเสีย (%)	16.31	0
ค่าความสามารถของกระบวนการ (Cpk)	0.33	0.85
ค่าศักยภาพของความสามารถ (Cp)	0.58	1.03
ระดับซิกม่า	0.94	2.93

4.5 ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)

หลังการปรับค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรพบว่าได้ผลไปในทางที่ดีขึ้น จำนวนของเสียลดลง และความแปรปรวนในกระบวนการลดลงอย่างชัดเจน ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าต้องมีการควบคุมคุณภาพกระบวนการเพื่อยังคงรักษาสภาพกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มหลังการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพที่ดีอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน โดยสุ่มเก็บขวดตัวอย่างส่งให้ทางแผนกประกันคุณภาพตรวจวัดระดับการเติมเครื่องดื่มในทุก ๆ วันและใช้ Statistical Process Control Chart ประเภท แผนภูมิควบคุม เป็นเครื่องมือสำหรับการควบคุมดูความผันแปรของกระบวนการ เพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มของกระบวนการที่จะเกิดความผิดปกติขึ้นและจะได้แก้ไขได้ทันที

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 5
สรุปผล

5.1 สรุปผล

จากผลการดำเนินงานวิจัยที่นำทฤษฎี Six Sigma มาปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงานแบบ DMAIC พร้อมทั้งประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองด้วยวิธี 2k Factorial Design แบบกำหนดระดับปัจจัย 2 ระดับ และทำการวิเคราะห์ด้วย Multiple Regression Analysis ทำให้ทราบปัจจัยที่มีผลต่อระดับการเติมเครื่องดื่มที่ไม่ได้ตามมาตรฐานโรงงานกำหนดและทราบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อให้ระดับการเติมเครื่องดื่มอยู่ในมาตรฐานที่ A±3 มิลลิเมตร คือ ความยาวของ Vent tube เพิ่มขึ้นจากเดิม 3 มิลลิเมตร แรงดันใน Ring Bowl เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.1 บาร์ และ ระดับน้ำใน Ring Bowl เพิ่มขึ้นจากเดิม 20 มิลลิเมตร จากการปรับปรุงตามพารามิเตอร์ที่เหมาะสมพบว่าค่าเฉลี่ยระดับการเติมเครื่องดื่มหลังการปรับปรุงอยู่ที่ A+0.518 มิลลิเมตร แสดงว่าระดับการเติมเครื่องดื่มอยู่ในมาตรฐานที่โรงงานกำหนด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ลดลงจากเดิม 0.834 ของเสียประเภทเติมเครื่องดื่มเกินมาตรฐานกำหนด (Overfill) ลดลงจากเดิม 100% ค่าความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.52 ค่าศักยภาพของความสามารถ (C_p) เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.45 และระดับการเติมเครื่องดื่ม เพิ่มขึ้นจากเดิม 1.99 ซิกม่า แสดงว่ากระบวนการบรรจุเครื่องดื่มมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น การวิจัยนี้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์การลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มได้สำเร็จ

5.2 ข้อเสนอแนะ

หากผู้ที่สนใจงานวิจัยการศึกษาเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มสามารถนำวิธีการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการบรรจุของเหลวในภาชนะอื่น ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาได้ และในการศึกษาครั้งต่อไปสามารถเพิ่มเครื่องมือการออกแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design) ซึ่งจะเป็นแบบจำลองที่มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระกำลังหนึ่งหรือกำลังในการหาคำตอบ และใช้การออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design; CCD) สามารถเพิ่มความแม่นยำของค่าพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรได้มากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

[1] วรรณา ยงพิศาสภพ. "แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรมปี 2565-2567: อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม." ธนาคารกรุงศรีอยุธยา จำกัด (มหาชน). สืบค้นจาก https://www.krungsri.com

[2] วันชาติ แก้วยินดี, "การลดปริมาณตำหนิจากกระบวนการย้อมและตกแต่งสำเร็จในโรงงานตัวอย่าง โดยหลักการ DMAIC," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม, 2562.

[3] ปัทมา วงค์กาจ, "การลดความแปรปรวนความเค็มของกระบวนการแช่จืดในการผลิตผักกาดดองกระป๋อง โดยเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 2554.

[4] มาลิษา มะกำหิน, "การลดของเสียในกระบวนการบรรจุ: กรณีศึกษาโรงงานผลิตยาแผนปัจจุบันสำหรับมนุษย์," วารสารทางการศึกษาพัฒนาเทคนิคศึกษา สำนักพัฒนาเทคนิคศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 35, ฉบับที่ 124, หน้า 63-72, 2565.

[5] กันยรัตน์ คมวัชระ, "การนำ Six Sigma มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพการศึกษา," วารสารประกันคุณภาพ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ฉบับที่ 1, หน้า 1-15, 2547.

[6] นุสรา ผาระนัตร, "การกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการขัดหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเพื่อลดของเสีย," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมสาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชศรีมา, 2555.

[7] อินทิรา หิรัญสาย. "หลักการและการนำ Six Sigma ไปใช้." บริษัท นี้ดี จำกัด. สืบค้นจาก http://sinutthathirawit.blogspot.com

[8] ชีวนันท์ อมรศรีสัจจะ, "การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยในกระบวนการทำความสะอาดแขนจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ที่ใช้เทคโนโลยีคลื่นอัลตร้าโซนิคโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 2554.

[9] อินทิรา หิรัญสาย, "หลักการและการนำ Six Sigma ไปใช้," บริษัท นี้ดี จำกัด, 2558.

[10] ธนิชญา มีชำนาญ, "การลดของเสียประเภทมีจุดดำในกระบวนการผลิตไม้แขวนพลาสติก กรณีศึกษา : บริษัท พลาสติกเวิลด์ จำกัด," การค้นคว้าอิสระวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, หน้า 12-18, 2563.

[11] เรืองลักษณ์ บุตรเพ็ชร, จุฑาวรรณ อ้นสุวรรณ, และ ธิดาเดียว มยุรีสวรรค์, "เครื่องมือควบคุม

คุณภาพ 7 ชนิด 7 Quality Control Tools," วิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 1-11, 2556.

[12] ฐิติมา ฤทธิ์ประเสริฐศรี, "การลดเวลาสูญเสียในกระบวนการผลิตน้ำจิ้มโดยใช้แนวคิดลีน ซิกซ์ซิกมา," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมสาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมสาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2559.

[13] ชลทิชา จำรัสพร, "เครื่องมือและเทคนิคสำหรับ DMAIC : Define Phase," บริษัท โซลูชั่น เซ็นเตอร์ จำกัด, 2564.

[14] บุญชัย แซ่สิ้ว และ ณัฐธยาน์ โสกุล, "การลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทขนมขบเคี้ยว," วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ฉบับที่ 2, หน้า 1-15, 2559.

[15] เกียรติศักดิ์ น้อยราช และ ปารเมศ ชุติมา, "การลดของเสียจากปัญหาเย็บระเบิดในกระบวนการผลิตแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์," วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, ฉบับที่ 3, หน้า 1-7, 2557.

[16] กิตติภพ ปิ่นเทศ, เพ็ญศิรินทร์ สุขสมกิจ, และ ฑิฆัมพร ทวีเดช, "การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนโดยใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า : กรณีศึกษา โรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์แห่งหนึ่ง," วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี, ฉบับที่ 1, หน้า 1-13, 2565.

[17] วิทยา ปั้นคำ และคนอื่น ๆ, "ลดน้ำเชื่อมสูญเสีย จากปัญหาปริมาตรต่ำกว่ามาตรฐาน กระบวนการผลิต 5," วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี, ฉบับที่ 2, หน้า 1-11, 2565.

[18] อรรถพล อรุณรัตน์, "การลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำดื่ม," สารนิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมสาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, 2564.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวเกวลิน สำเภาทอง

วุฒิการศึกษา พ.ศ. 2560 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษา โรงเรียนสตรีสมุทรปราการ อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ

พ.ศ. 2564 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม

พ.ศ. 2566 ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม