

การประยุกต์ใช้หลักการซิกซ์ ซิกม่าเพื่อลดสินค้าที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม

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

เกวลิน สำเภาทอง¹ กวินธร สัยเจริญ² และ สิทธิชัย แซ่เหล่ม³

¹นักศึกษาปริญญาโท, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และ
เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์,
เลขที่ 6 ถนนราชมรรคาใน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000,

kewalinsampaothong.23@gmail.com

^{2,3}อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์, เลขที่ 6 ถนนราชมรรคาใน
อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000,

²saicharoen_k@silpakorn.edu, ³saelem_s@silpakorn.edu

Kewalin Sampaothong¹, Kawinthorn Saichareon² and Sittichai Saelem³

¹Student, Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering
and Industrial Technology, Silpakorn University, Sanam Chandra Palace Campus,
6, Rajamankha Nai Rd., Amphoe Muang, Nakhon Pathom 73000, Thailand,

kewalinsampaothong.23@gmail.com

^{2,3}Lecturer, Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering
and Industrial Technology, Silpakorn University, Sanam Chandra Palace Campus,
6, Rajamankha Nai Rd., Amphoe Muang, Nakhon Pathom 73000, Thailand,

²saicharoen_k@silpakorn.edu, ³saelem_s@silpakorn.edu

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากการเติมปริมาณเครื่องดื่มไม่ได้ตามข้อกำหนดการผลิต โดยประยุกต์ใช้หลักการของทฤษฎีซิกซ์ ซิกม่าในการช่วยปรับปรุงกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มให้มีการแปรผันน้อยที่สุด ซึ่งงานวิจัยนี้ดำเนินการตามขั้นตอนของ DMAIC ประกอบไปด้วย ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define Phase) การตรวจวัดสภาพปัญหา (Measure Phase) การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) การปรับปรุง (Improve

Phase) และ การควบคุม (Control Phase) ในขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาจะหาปัจจัยที่มีผลต่อของเสียโดยใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ด้วยวิธีการ 2^k Factorial Design แบบกำหนดระดับปัจจัย 2 ระดับ ผลการทดลองพบว่าเมื่อตั้งค่าเครื่องจักรด้วยค่าที่เหมาะสมดังนี้ ปรับความยาวของ Vent tube เพิ่มขึ้นจากเดิม 3 มิลลิเมตร ปรับแรงดันใน Ring Bowl เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.1 บาร์ และ ปรับระดับน้ำใน Ring Bowl เพิ่มขึ้นจากเดิม 20 มิลลิเมตร จะส่งผลให้ของเสียประเภทเต็มเครื่องดื่มเกินมาตรฐานกำหนด (Overfill) จากเดิม 16.31% ลดลงเหลือ 0% และค่าความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) จากเดิม 0.33 เพิ่มขึ้นเป็น 0.68

คำสำคัญ: ซิกซ์ ซิกมา, ลดของเสีย, การบรรจุเครื่องดื่ม

ABSTRACT

The objective of this paper was to reduce non-conforming product from filling the beverages process. The DMAIC method from Sig Sigma was applied as a research methodology to reduce variability in the beverage filling process, which consists of five phases including define, measure, analyze, improve, and control. In the analyze phase, Design of Experiment (DOE) with the 2^k Factorial Design method at two levels was used for identifying factors that affect with non-conforming product. The experimental results showed that when the machine was configured with the following optimal settings: increasing the length of the vent tube by 3 millimeters, increasing the pressure in the ring bowl by 0.1 bar, and raising the water level in the ring bowl by 20 millimeters from the original settings, the waste from overfill was reduced from 16.31% to 0%, and Process Capability (C_{pk}) increased from 0.33 to 0.68.

KEYWORDS: six sigma, reducing waste, beverage filling

1. บทนำ

อุตสาหกรรมเครื่องดื่มในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีมูลค่าตลาดประมาณ 7.2 แสนล้านบาท และในปี 2565 ถึง 2567 มีแนวโน้มขยายตัวสูงขึ้น เนื่องจากการฟื้นตัวของตลาดหลังจากเกิดปัญหา COVID-19 [1] และถึงแม้ว่าอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบรรจุขวดจะใช้เงินลงทุนเริ่มต้นสูง แต่มีการพัฒนาเครื่องจักรและเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ จึงมีผู้ประกอบการรายใหม่เข้าสู่ตลาดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ลูกค้ามีแบรนด์เครื่องดื่มทางเลือกมากขึ้น และทำให้ตลาดมีการแข่งขันที่สูงขึ้น ซึ่งบริษัทต้องปรับตัว โดยการนำกลยุทธ์ที่สำคัญของ

ภาคการผลิต คือ การลดต้นทุนที่เกิดจากการสูญเสียในกระบวนการผลิต เพื่อเพิ่มผลกำไรให้กับบริษัทมากขึ้นและสร้างความได้เปรียบเหนือคู่แข่งเพื่อความอยู่รอดทางธุรกิจ

บริษัทผู้ผลิตเครื่องตีบรรจุขวดทรายใหญ่แห่งหนึ่ง ต้องการเพิ่มความสามารถของกระบวนการบรรจุเครื่องตีให้ปริมาณเครื่องตีมีระดับการเติมเครื่องตีที่เป็นไปตามมาตรฐานเท่ากันในทุกการบรรจุลงขวด เนื่องจากฝ่ายประกันคุณภาพทำการสุ่มตรวจสอบปริมาณเครื่องตี หากพบว่าไม่อยู่ในระดับที่มาตรฐานบริษัทกำหนดจะมีการนำกลับไปผ่านกระบวนการใหม่ (Rework) หรือกำจัดทิ้ง (Reject) ซึ่งจะทำให้เกิดต้นทุนสินค้าคุณภาพต่ำ (Cost of Poor Quality; COPQ) ซึ่งเมื่อทำการสำรวจข้อมูลย้อนหลังพบว่าเกิดมูลค่าของเสียนับหลายล้านบาทต่อปีเมื่อเทียบกับอัตราเฉลี่ยการผลิต สามารถสะท้อนได้จากค่าความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) ซึ่งพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.33 ในปี 2566

จากงานวิจัยก่อนหน้าพบว่าเมื่อต้องการลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตหรือต้องการเพิ่มความสามารถในกระบวนการ (C_p / C_{pk}) จะนิยมใช้หลักการซิกส์ ซิกมา (Six Sigma) [2-8] โดยใช้เครื่องมือคุณภาพและวิธีการทางสถิติมาประยุกต์ใช้ และดำเนินการตามกรอบแนวคิด DMAIC โดยขั้นตอนการวิเคราะห์จะดำเนินการออกแบบการทดลองด้วยวิธี 2^k Factorial Design [3, 5-7, 9] จากนั้นจะหาปัจจัยหลักและปัจจัยที่ Interaction ต่อกันที่ส่งผลต่อตัวแปรตามด้วยวิธี Multiple Regression Analysis แล้วนำปัจจัยที่ถูกเลือกไปหาค่าที่เหมาะสมด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer และนำค่าที่ได้ไปปรับตั้งเครื่องจักร [3, 6, 7, 9] สุดท้ายจะทำการควบคุมกระบวนการเพื่อรักษามาตรฐานโดยใช้ Control Chart ผลลัพธ์ที่ได้คือ ได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งเครื่องจักรในกระบวนการผลิต [3-10] สัดส่วนของของเสียลดลง [2, 3, 5, 6, 8-10] และค่าความสามารถในกระบวนการ (C_p / C_{pk}) เพิ่มขึ้น [6]

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากการเติมปริมาณเครื่องตีไม่ได้ตามที่โรงงานกำหนด โดยนำทฤษฎี Six Sigma มาประยุกต์ใช้โดยทำตามวิธีการทำงานแบบ DMAIC เพื่อมาช่วยปรับปรุงกระบวนการบรรจุเครื่องตีให้มีการแปรผันน้อยที่สุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการ Six Sigma

Six Sigma เป็นเครื่องมือที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพและควบคุมของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งจะนำเอาเครื่องมือคุณภาพต่าง ๆ และวิธีการทางสถิติมาใช้อย่างเป็นระบบเพื่อลดความแปรผันในกระบวนการและลดของเสียที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนจากการเกิดข้อผิดพลาด เพิ่มผลกำไร และสร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า [11] ในปีค.ศ. 2014 Ayisha อ้างถึงใน Kaewyindee [12] ได้กล่าวว่าหากต้องการให้บริษัท

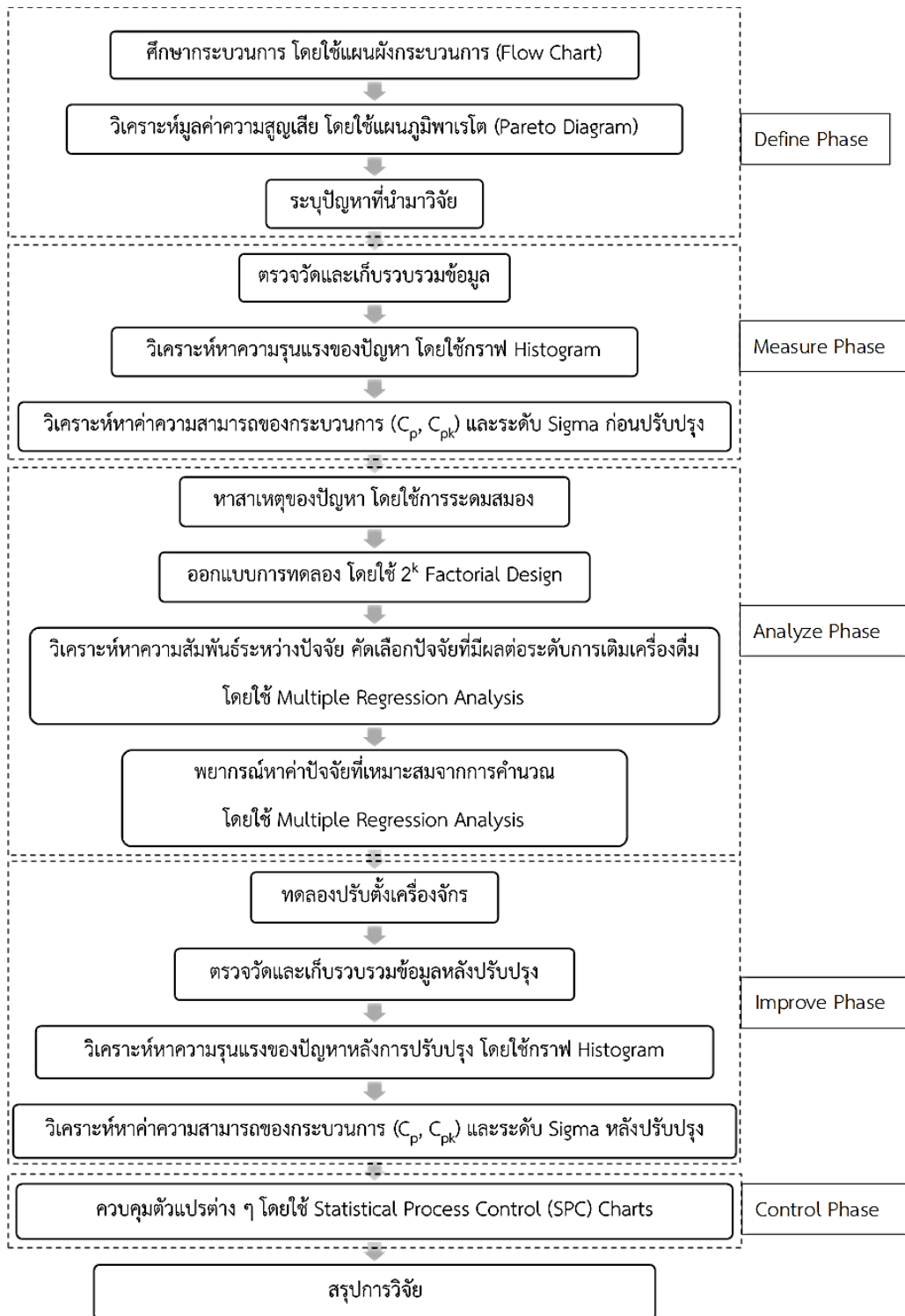
สามารถแข่งขันได้จะต้องลดความแปรปรวนในกระบวนการผลิตและลดของเสีย จะสามารถสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าได้และช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจได้ โดยประยุกต์ใช้หลักการ DMAIC สำหรับการแก้ไขปัญหา ซึ่งมีขั้นตอนของการปฏิบัติทั้งหมด 5 ขั้นตอน คือ 1) การกำหนดปัญหา (Define Phase) 2) การตรวจวัด (Measure Phase) 3) การวิเคราะห์ (Analyze Phase) 4) การปรับปรุง (Improve Phase) และ 5) การควบคุม (Control Phase) ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะมีการนำเครื่องมือคุณภาพมาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) ฮิสโตแกรม (Histogram) แผนภูมิควบคุม (Control Chart) เป็นต้น

2.2 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล และหาผลกระทบของพารามิเตอร์เพื่อตรวจสอบว่าปัจจัย (Factor) หรือตัวแปรใดที่มีผลต่อสิ่งที่สนใจ (Response) โดยนำหลักทางคณิตศาสตร์และสถิติมาใช้ในการลดจำนวนการทดลอง โดยในการวิจัยครั้งนี้ผู้จัดทำเลือกวิธีการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Design เป็นการออกแบบการทดลองในกรณีที่มีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพ จะแทนด้วยระดับสูงและต่ำ ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยหลักที่สนใจแล้วยังทำให้ทราบปัจจัยร่วมหรือปฏิสัมพันธ์ (Interaction) โดยขั้นตอนของการออกแบบการทดลอง ดังนี้ กำหนดปัญหา เลือกตัวแปรที่ใช้ชีวิต กำหนดปัจจัย ออกแบบการทดลอง วิเคราะห์ข้อมูล และ สรุปผล [9]

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

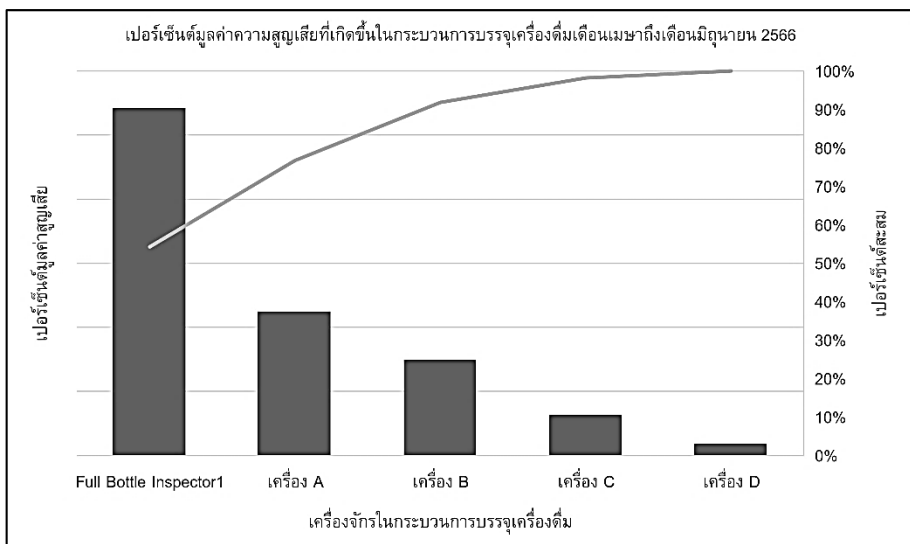
จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้จัดทำได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย โดยนำทฤษฎี Six Sigma มาประยุกต์ใช้ตามวิธีการทำงานแบบ DMAIC ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนหลัก คือ การกำหนดปัญหา (Define Phase) การตรวจวัดสภาพปัญหา (Measure Phase) การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) การปรับปรุง (Improve Phase) และการควบคุม (Control Phase) รายละเอียดวิธีการดำเนินงานและเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัยแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

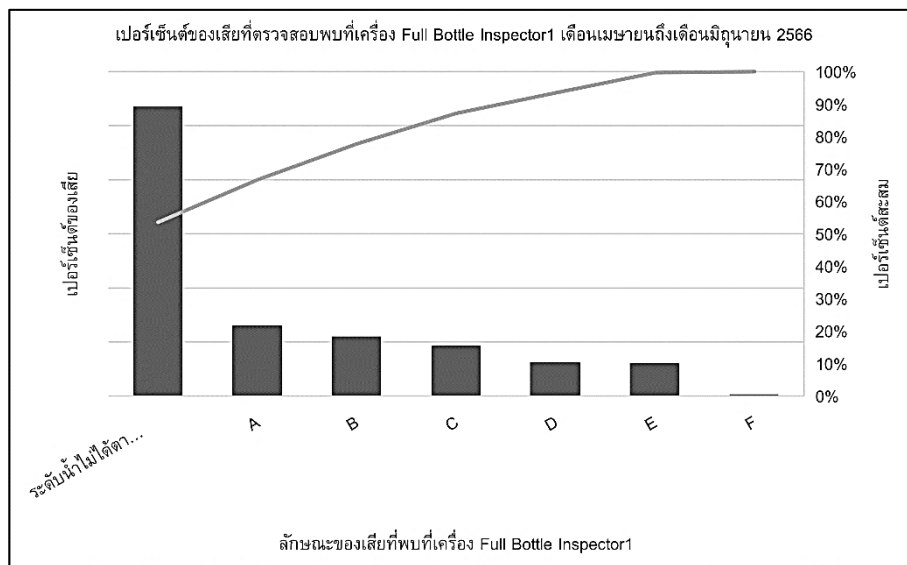
3.1 ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define Phase)

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มที่เครื่องตรวจสอบคุณภาพต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 3 เดือน เริ่มตั้งแต่เดือนเมษายนจนถึงเดือนมิถุนายนปี 2566 หลังจากนั้นทางผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์หามูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นแต่ละเครื่องจักร และใช้แผนภูมิพาเรโตมาจัดลำดับเปอร์เซ็นต์มูลค่าความสูญเสีย เพื่อให้ทราบถึงปัญหาที่มีความสูญเสียมากที่สุด ตามรูปที่ 2 พบว่าเครื่อง Full Bottle Inspector1 เป็นจุดที่มีมูลค่าสูญเสียมากที่สุด ในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม



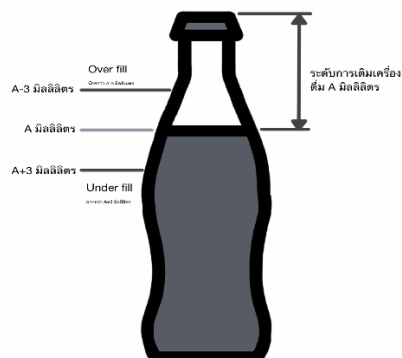
รูปที่ 2 แผนภูมิพาเรโตเปอร์เซ็นต์มูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่ม

ผู้วิจัยจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลลักษณะของเสียที่พบที่เครื่อง Full Bottle Inspector1 แล้วนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของเสียที่พบแต่ละลักษณะที่เกิดขึ้น และใช้แผนภูมิพาเรโตมาจัดลำดับเปอร์เซ็นต์ของเสีย เพื่อให้ทราบถึงลักษณะปัญหาที่มีพบของเสียมากที่สุด ตามรูปที่ 3 พบว่าลักษณะของเสียที่มีเปอร์เซ็นต์สูงที่สุดที่ตรวจสอบพบที่เครื่อง Full Bottle Inspector1 คือ ระดับน้ำไม่ได้ตามที่กำหนด ทำให้ผู้วิจัยได้ตัดสินใจเลือกศึกษาและแก้ไขปัญหาของเสียที่เกิดจากการเติมเครื่องดื่มไม่ได้ระดับตามมาตรฐานที่โรงงานกำหนด



รูปที่ 3 แผนภูมิฟารโตเปอร์เซ็นต์ของเสียที่พบแต่ละลักษณะที่เครื่อง Full Bottle Inspector1

ทางโรงงานตัวอย่างได้กำหนดการวัดระดับการเติมเครื่องดื่มจะเริ่มวัดตั้งแต่ปากขวดถึงระดับเครื่องดื่ม ตามรูปที่ 4 โดยค่ามาตรฐานระดับการเติมเครื่องดื่มของโรงงานตัวอย่างกำหนดอยู่ที่ $A \pm 3$ มิลลิเมตร หากระดับการเติมเครื่องดื่มน้อยกว่า $A-3$ มิลลิเมตร ถือว่าเป็นของเสียประเภทเติมเครื่องดื่มเกินมาตรฐานกำหนด (Overfill) และหากระดับการเติมเครื่องดื่มมากกว่า $A+3$ มิลลิเมตร ถือว่าเป็นของเสียประเภทเติมเครื่องดื่มต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด (Underfill)



รูปที่ 4 กำหนดการวัดระดับการเติมเครื่องดื่ม

3.2 ขั้นตอนการตรวจวัดสภาพปัญหา (Measure Phase)

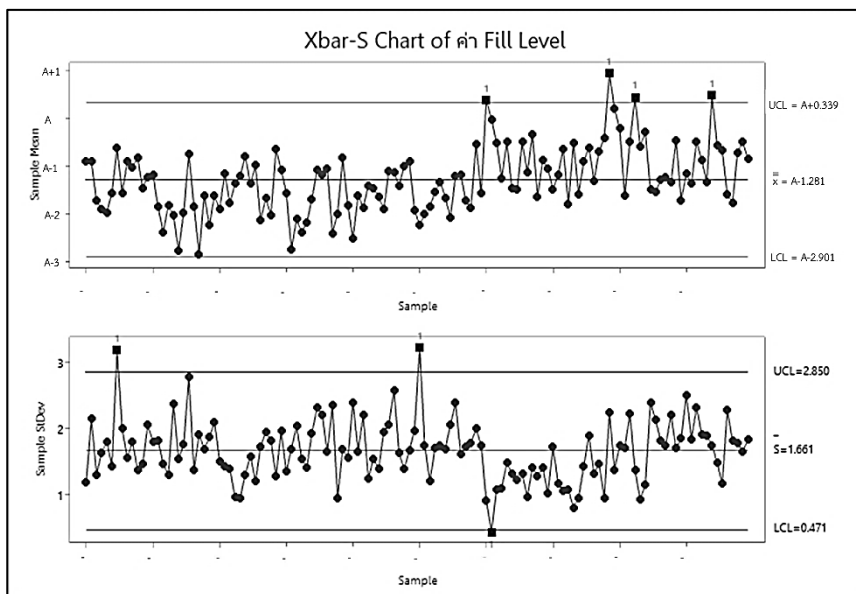
ผู้จัดทำได้เก็บรวบรวมข้อมูลการตรวจวัดระดับการเติมเครื่องต็มที่ผ่านการบรรจุที่เครื่อง Filler โดยผู้วิจัยทำการเก็บขวดเครื่องต็ม หัวจ่ายละ 10 ครั้ง ครั้งละ 3 ขวด ตั้งแต่เดือนมกราคม 2565 ถึงเดือนพฤษภาคม 2566 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 (กำหนดให้ A คือ ค่ามาตรฐานของระดับการเติมเครื่องต็ม)

ตารางที่ 1 ข้อมูลตรวจวัดระดับการเติมเครื่องต็มเดือนมกราคม 2565 ถึงเดือนพฤษภาคม 2566

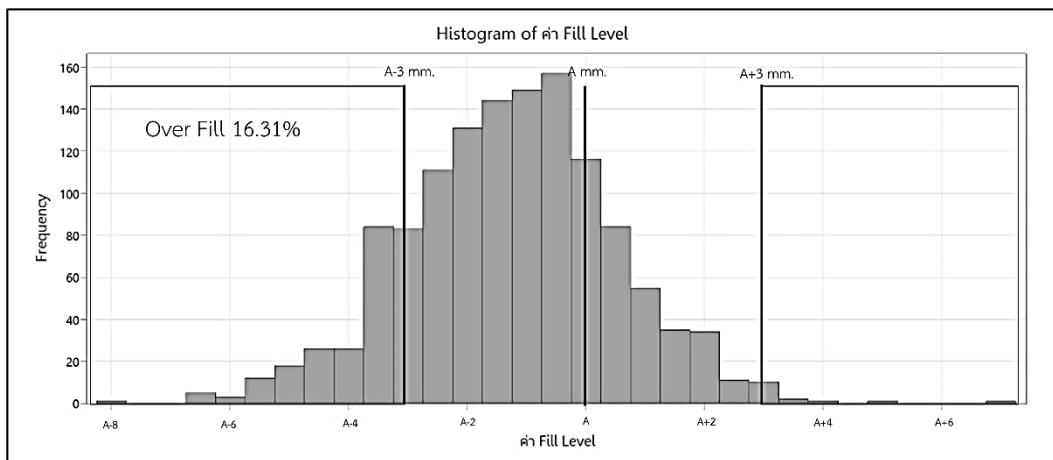
หัว จ่าย ที่	ค่า Fill Level (มิลลิเมตร)									
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10
1	A+0.03	A-2.5	A-0.02	A-1.08	A-1.78	A-0.49	A-2.55	A-0.18	A+1.09	A-1.48
2	A+0.68	A-2.80	A-2.24	A-3.50	A-1.60	A+2.96	A-3.27	A+0.44	A-0.77	A+1.03
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

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่ากราฟแผนภูมิควบคุม ตามรูปที่ 5 พบว่าระดับการเติมเครื่องต็มเฉลี่ยอยู่ที่ A-1.281 มิลลิเมตร มีค่าความแปรปรวนเฉลี่ย 1.661 และกระบวนการบรรจุมีหัวบรรจุเครื่องต็มที่ไม่อยู่ภายใต้สภาวะควบคุม จึงต้องทำการปรับปรุงให้กระบวนการกลับมาอยู่ภายใต้สภาวะควบคุม

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาค่ากราฟ Histogram ตามรูปที่ 6 พบว่าในปัจจุบันระดับการเติมเครื่องต็มกราฟมีแนวโน้มเบ้ขวา และพบว่าเกิดของเสียประเภทเติมเครื่องต็มเกินมาตรฐานกำหนด (Overfill) 16.31% ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกปัญหาการเติมเครื่องต็มเกินมาตรฐานกำหนด (Overfill) เป็นหัวข้อศึกษาหาสาเหตุของปัญหา

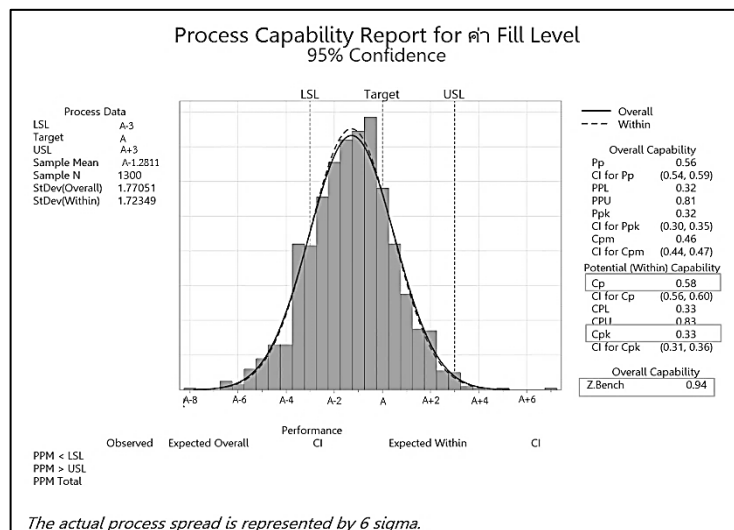


รูปที่ 5 กราฟแผนภูมิควบคุมระดับการเติมเครื่องตีมาก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 6 กราฟ Histogram ระดับการเติมเครื่องตีมาก่อนการปรับปรุง

และผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุงได้ผลลัพธ์ตามรูปที่ 7 พบว่าระดับการเติมเครื่องตีอยู่ที่ระดับ 0.94 ซิกม่า ค่าความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) อยู่ที่ 0.33 และค่าศักยภาพของความสามารถ (C_p) อยู่ที่ 0.58



รูปที่ 7 Process Capability Report ก่อนปรับปรุง

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

หลังจากกำหนดปัญหา และวัดผลก่อนการปรับปรุงแล้ว จึงเข้าสู่การนำปัญหามาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของของเสียที่เกิดจากเติมเครื่องตีไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประเภท Overfill โดยใช้วิธีการระดมความคิดจากผู้ที่มีความรู้ความสามารถและประสบการณ์ ซึ่งประกอบไปด้วยระดับหัวหน้าแผนกบรรจุ หัวหน้าแผนกช่างซ่อมบำรุง และหัวหน้าแผนกประกันคุณภาพ ซึ่งผู้จัดทำจะทำการวิเคราะห์แยกสาเหตุของปัญหาพบสาเหตุหลัก 3 ข้อหลัก คือ

1) ความยาวของ Ventube ไม่เหมาะสม หากความยาวของ Ventube น้อยจะส่งผลให้ระดับการเติมเครื่องตีสูงเกินที่กำหนด

2) แรงดันใน Ring Bowl ไม่เหมาะสม หากแรงดันใน Ring Bowl สูงมากเกินไปจะส่งผลให้ระดับการเติมเครื่องตีสูงเกินที่กำหนด

3) ระดับเครื่องตีใน Ring Bowl ไม่เหมาะสม หากระดับเครื่องตีใน Ring Bowl ต่ำมากเกินไปจะส่งผลให้เติมเครื่องตีไม่ทันเมื่อใช้ความเร็วรอบเครื่องจักรสูง ทำให้เกิดของเสียประเภทระดับการเติมเครื่องตีต่ำกว่าที่กำหนด หรือถ้าระดับเครื่องตีใน Ring Bowl ต่ำมาก ๆ จะทำให้เติมเครื่องตีไม่ได้ เนื่องจากเครื่องบรรจุจะเรียกเครื่องตีมาไม่ทันรอบการเติม หากระดับเครื่องตีใน Ring Bowl สูงมากเกินไปจะส่งผลให้ CO₂ ไม่ถูกเติมลงมา เนื่องจากมีเครื่องตีไปแทนที่ ทำให้เครื่องตีเกิดฟองมากจนเป็นของเสียประเภทระดับการเติมเครื่องตีต่ำกว่าที่กำหนด

ผู้วิจัยนำปัจจัยที่ได้จากการระดมสมองมาออกแบบการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นเทียบกับตัวแปรตาม เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อระดับการเติมและหาปัจจัยที่ Interaction ต่อกัน โดยใช้โปรแกรม Minitab Statistical Software Version 16 สำหรับการออกแบบการทดลอง

ด้วยวิธี 2^k Factorial Design แบบกำหนดระดับปัจจัย 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) ดังตารางที่ 2 โดยกำหนดให้ B คือ ความยาวของ Vent tube ปัจจุบัน C คือ แรงดันใน Ring Bowl ปัจจุบัน และ D คือ ระดับน้ำใน Ring Bowl ปัจจุบัน

ตารางที่ 2 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

กำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม ดังนี้

ตัวแปรต้น คือ ความยาวของ Vent tube แรงดันใน Ring Bowl และระดับน้ำใน Ring Bowl

ตัวแปรตาม คือ ระดับการเติมเครื่องตี

ตัวแปรควบคุม คือ ความเร็วรอบเครื่องบรรจุ ผู้ผลิตขวด ขวดใหม่ หัวบรรจุ อุณหภูมิเครื่องตี และความหนาแน่นของเครื่องตี

การทดลองนี้ผู้วิจัยกำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ซึ่งจะเก็บข้อมูลระดับการเติมเครื่องตีจำนวน 20 หัวบรรจุต่อการทดลอง โดยมีแผนทั้งหมด 8 การทดลอง ดังตารางที่ 3

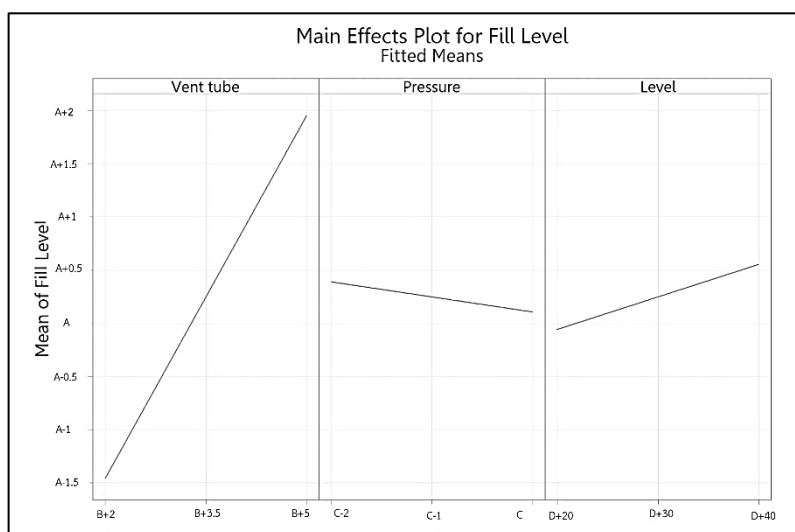
ตารางที่ 3 แผนการทดลอง 2^k Factorial Design แบบ 2 ระดับต่อกัน

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

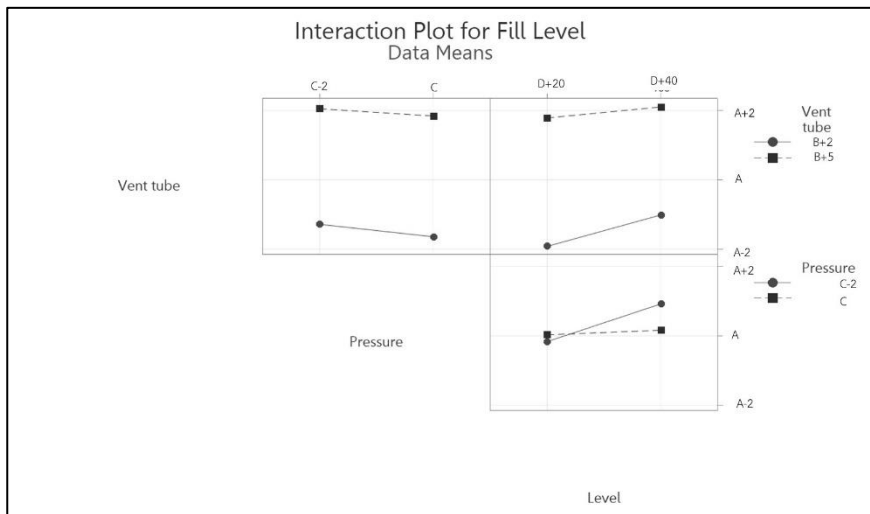
ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Minitab Statistical Software Version 16 ฟังก์ชัน Multiple Regression Analysis ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 8 และรูปที่ 9 ซึ่งจะพิจารณาจากค่า P-Value หากค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จะสรุปได้ว่าปัจจัยนั้นส่งผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ จากภาพจะเห็นได้ว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อระดับการเติมเครื่องดื่ม คือ ความยาวของ Vent tube และ ระดับน้ำใน Ring Bowl และพบว่า แรงดันใน Ring Bowl กับ ระดับน้ำใน Ring Bowl มีความสัมพันธ์ที่ Interaction ต่อกันตามรูปที่ 10 ผู้จัดทำจึงนำ 3 ปัจจัยหลักนี้ มาหาค่าที่เหมาะสมในลำดับถัดไป

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%		

รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเติมเครื่องดื่ม



รูปที่ 9 Main Effects Plot for Fill Level



รูปที่ 10 Interaction Plot for Fill Level

จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดย Multiple Regression Analysis ได้สมการเชิงเส้น ดังนี้

$$\text{Fill Level} = -230.5 + 2.023 \text{ Vent tube} + 20.07 \text{ Pressure} + 1.728 \text{ Level} - 0.00985 \text{ Vent tube} * \text{Level} - 0.2388 \text{ Pressure} * \text{Level}$$

และใช้โปรแกรม Minitab Statistical Software Version 16 ฟังก์ชัน Response Optimizer ทำการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งเครื่องบรรจุเครื่องดื่ม (Filler) ดังตารางที่ 4 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

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์การหาค่าที่เหมาะสม

Solution

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

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

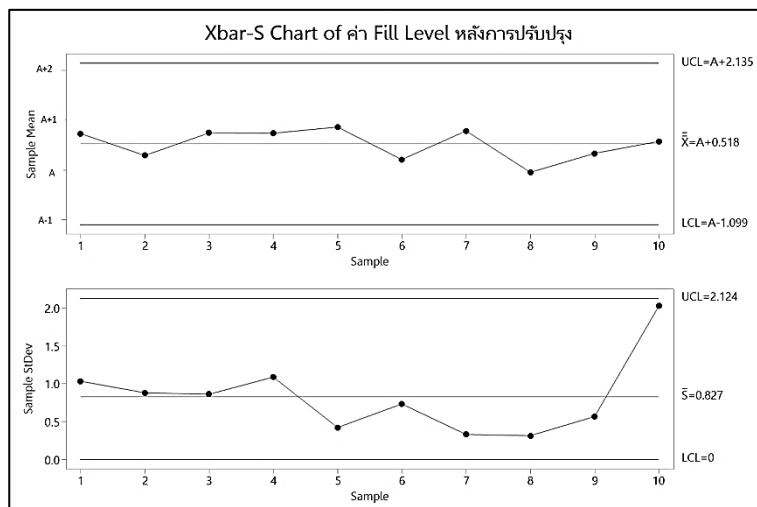
4.1 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ค่าพยากรณ์ที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลให้ระดับการเติมเครื่องเติมอยู่ที่ A มิลลิเมตรแล้วนั้น ลำดับถัดไปผู้วิจัยจะนำค่าที่ได้ไปทำการทดลองปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องบรรจุเครื่องเติม (Filler) พร้อมทั้งทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการตรวจวัดระดับการเติมเครื่องเติมที่ผ่านการบรรจุหลังการปรับปรุง จำนวน 10 หัวจ่าย หัวจ่ายละ 3 ครั้ง เดือนตุลาคม 2566 ได้ข้อมูลตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลตรวจวัดระดับการเติมเครื่องเติมหลังการปรับปรุง

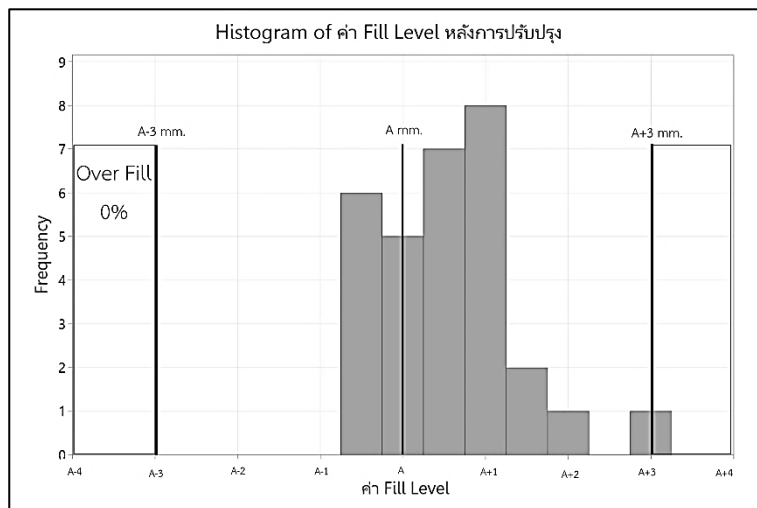
หัวจ่ายที่	ค่า Fill Level (มิลลิเมตร)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	A+1.70	A+0.84	A-0.36
2	A-0.70	A+1.00	A+0.56
3	A+1.53	A-0.18	A+0.87
4	A+1.91	A-0.24	A+0.53
5	A+1.15	A+0.37	A+1.05
6	A+0.3	A+0.89	A-0.57
7	A+0.47	A+0.74	A+1.13
8	A+0.25	A-0.38	A-0.02
9	A-0.12	A+0.14	A+0.97
10	A+2.91	A-0.54	A-0.66

และผู้จัดทำได้นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์หากราฟแผนภูมิควบคุม ตามรูปที่ 11 พบว่าระดับการเติมเครื่องเติมหลังการปรับปรุงเฉลี่ยอยู่ที่ A+0.518 มิลลิเมตร มีค่าความแปรปรวนหลังการปรับปรุงเฉลี่ย 0.827 และกระบวนการบรรจุไม่มีหัวบรรจุเครื่องเติมออกนอกสภาวะควบคุม



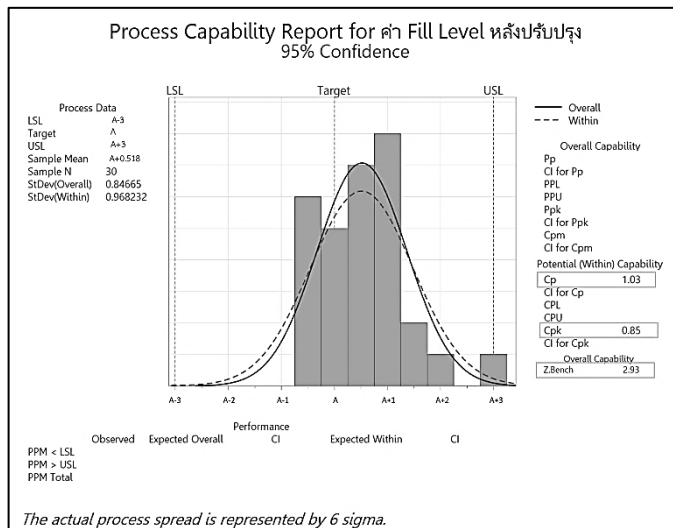
รูปที่ 11 กราฟแผนภูมิควบคุม ระดับการเติมเครื่องเติมหลังการปรับปรุง

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หากราฟ Histogram ตามรูปที่ 12 พบว่าหลังการปรับปรุงระดับการเติมเครื่องเติมกราฟมีแนวโน้มเบ้ซ้าย และพบว่าการเกิดของเสียประเภทเติมเครื่องเติมเกินมาตรฐานกำหนด (Overfill) 0%



รูปที่ 12 กราฟ Histogram ระดับการเติมเครื่องเติมหลังการปรับปรุง

และผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงได้ผลลัพธ์ตามรูปที่ 13 พบว่าระดับการเติมเครื่องเติมอยู่ที่ระดับ 2.93 ซิกมา ค่าความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) อยู่ที่ 0.85 และค่าศักยภาพของความสามารถ (C_p) อยู่ที่ 1.03



รูปที่ 13 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 6 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 (C_{pk}) ก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 0.33 หลังการปรับปรุงอยู่ที่ 0.85 เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.52 ค่าศักยภาพของความสามารถ (C_p) ก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 0.58 หลังการปรับปรุงอยู่ที่ 1.03 เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.45 และระดับการเติมเครื่องดื่มก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 0.94 ซิกมา หลังการปรับปรุงอยู่ที่ 2.93 ซิกมา เพิ่มขึ้นจากเดิม 1.99 ซิกมา แสดงว่ากระบวนการบรรจุเครื่องดื่มมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง

ตัวชี้วัด	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ค่าความแตกต่าง
ค่าเฉลี่ยระดับการเติมเครื่องเติม	A-1.281	A+0.518	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.661	0.827	ลดลงจากเดิม 0.834
เปอร์เซ็นต์ของเสีย (%)	16.31	0	ลดลงจากเดิม 100%
ค่าความสามารถของกระบวนการ (C_{pk})	0.33	0.85	เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.52
ค่าศักยภาพของความสามารถ (C_p)	0.58	1.03	เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.45
ระดับซีกม่า	0.94	2.93	เพิ่มขึ้นจากเดิม 1.99 ซีกม่า

4.2 ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)

หลังการปรับค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรพบว่าได้ผลไปในทางที่ดีขึ้น จำนวนของเสียลดลง และความแปรปรวนในกระบวนการลดลงอย่างชัดเจน ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าจะต้องมีการควบคุมคุณภาพกระบวนการเพื่อยังคงรักษาสภาพกระบวนการบรรจุเครื่องเติมหลังการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพที่ต่อเนื่องและยั่งยืน โดยสุ่มเก็บขวดตัวอย่างส่งให้ทางแผนกประกันคุณภาพตรวจวัดระดับการเติมเครื่องเติมในทุกวัน ๆ และใช้ Statistical Process Control Chart ประเภท แผนภูมิควบคุม เป็นเครื่องมือสำหรับการควบคุมดูแลความผันแปรของกระบวนการ เพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มของกระบวนการที่จะเกิดความผิดปกติขึ้นและจะได้แก้ไขได้ทันที

5. สรุป

จากผลการดำเนินงานวิจัยที่นำทฤษฎี Six Sigma มาปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงานแบบ DMAIC ทำให้ทราบปัจจัยที่มีผลต่อระดับการเติมเครื่องเติมที่ไม่ได้ตามมาตรฐานโรงงานกำหนดและทราบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อให้ระดับการเติมเครื่องเติมอยู่ที่ A มิลลิเมตร คือ ความยาวของ Vent tube เพิ่มขึ้นจากเดิม 3 มิลลิเมตร แรงดันใน Ring Bowl เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.1 บาร์ และ ระดับน้ำใน Ring Bowl เพิ่มขึ้นจากเดิม 20 มิลลิเมตร จากการปรับปรุงพบว่าค่าเฉลี่ยระดับการเติมเครื่องเติมหลังการปรับปรุงอยู่ที่ A+0.518 มิลลิเมตร แสดงว่าระดับการเติมเครื่องเติมอยู่ในมาตรฐานที่โรงงานกำหนด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ลดลงจากเดิม 0.834 ของเสียประเภทเติมเครื่องเติมเกินมาตรฐานกำหนด (Overfill) ลดลงจากเดิม 100% ค่าความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.52 ค่าศักยภาพของความสามารถ (C_p) เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.45 และระดับการเติมเครื่องเติม เพิ่มขึ้นจากเดิม 1.99 ซีกม่า แสดงว่ากระบวนการบรรจุเครื่องเติม

มีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น การวิจัยนี้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์การลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุเครื่องดื่มได้สำเร็จ

6. ข้อเสนอแนะ

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

References

- [1] Yongpisanphob W. Business/Industry Innovation 2019-2021: Beverage Products: Bank of Ayudhya Public Company Limited [Internet]. 2022 [cited 2023 Feb 1]. Available from: <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/food-beverage/beverage/io/io-beverage-2022>. (In Thai)
- [2] Ketsarapong P, Sriyanalugsana S. Reducing defective in food refrigerator production process with six sigma technique. Kasem Bundit Engineering Journal 2019;9(2):25-37. (In Thai)
- [3] Promthep S, Thawesaengskulthai D. Defective reduction in flexible packaging film production process. Research and Development Journal 2011;22(4):77-85. (In Thai)
- [4] Mahanil N, Joomsawat P, Makpin K, Weerawong K. Reducing waste in the liquid detergent packaging process by applying the six sigma concept. Journal of Science and Technology, Southeast Bangkok University 2023;3(1):1-12. (In Thai)
- [5] Noirach K, Chutima P. Reduction of waste from welding splash in motorcycle battery production process. Research and Development Journal 2014;25(3):55-61. (In Thai)
- [6] Pinthet K, Suksomkit P, Taweedeck T. Reduction of waste in the thermoforming plastic process using six sigma technique: a case study of a packaging factory. Journal of Science and Technology Thonburi University 2022;6(1):109-21. (In Thai)

- [7] Ritprasertsri T. Reduction of waste time in sauce production process using lean six sigma concept [Master's Thesis in Industrial Engineering]. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University; 2016. (In Thai)
- [8] Arunrat A. Reduction of losses in bottled drinking water production process: a case study of a drinking water factory [Master's Independent Study in Industrial Management]. Songkhla, Thailand: Prince of Songkla University; 2021. (In Thai)
- [9] Saesiw B, Sosakun N. Reducing defects in the packaging process by applying experimental design: a case study of a snack company. Journal of Industrial Technology Lampang Rajabhat University 2016;9(2):30-44. (In Thai)
- [10] Pankham V, et al. Reduction of syrup loss from under volume standard problems in production process 5. Journal of Science and Technology Thonburi University. 2022;6(2):109-19. (In Thai)
- [11] Wongkart P. Saltiness variation reduction of soaking process in canned pickled mustard greens manufacturing by six sigma techniques [Master's thesis]. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University; 2011. (In Thai)
- [12] Kaewyindee W. Defect reduction in dyeing and finishing processes in a sample factory using the DMAIC method [Master's thesis]. Nakhon Pathom, Thailand: Silpakorn University; 2019. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



เกวลิน สำเภอทอง นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ เลขที่ 6 ถนนราชมรรคาใน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000 โทรศัพท์ 086-8121322 Email: kewalinsampaothong.23@gmail.com



อาจารย์กวินธร สัยเจริญ อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ เลขที่ 6 ถนนราชมรรคาใน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000 โทรศัพท์ 098-2493951 Email: saicharoen_k@silpakorn.edu



ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหการ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ เลขที่ 6 ถนนราชมรรคาใน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000 โทรศัพท์ 089-7221410 Email: saelem_s@silpakorn.edu

Article History:

Received: May 11, 2024

Revised: November 1, 2024

Accepted: November 5, 2024