

การออกแบบเครื่องบรรจุน้ำซุปแบบอัตโนมัติ Design of Automatic Soup Filling Machine

ชนินทร เรืองรักษา^{1*} พีระยศ แสนโกชณ์²

¹หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (ภาคพิเศษ)

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร
กรุงเทพมหานคร 10900

Chanintorn Ruangraksa^{1*} Peerayot Sanposh²

¹Master of Engineering Program in Industrial Production Technology, Kasetsart University,
Ngamwongwan Rd, Khwaeng Lat Yao, Khet Chatuchak, Bangkok 10900

²Department of Electrical Engineering, Kasetsart University, 50 Ngamwongwan Rd, Khwaeng Lat Yao,
Khet Chatuchak, Bangkok 10900

*Corresponding author Email: chanintorn_toey@hotmail.com

(Received: December 212, 2022; Revised: April 2, 2023; Accepted: April 18, 2023)

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อออกแบบเครื่องบรรจุน้ำซุปแบบอัตโนมัติ เนื่องจากบริษัทผู้ผลิตสินค้าน้ำ
ซุปมีนโยบายเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้สูงขึ้น และควบคุมการผลิตสินค้าให้เป็นไปตามมาตรฐาน และลดพนักงานใน
การเติมน้ำซุป เพื่อให้ไลน์การผลิตเป็นอัตโนมัติ โดยการนำเทคโนโลยี และนวัตกรรม ที่มีอยู่ในปัจจุบันมาออกแบบ
เครื่องจักรที่สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ และมีประสิทธิภาพ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสินค้า และกระบวนการผลิต ซึ่ง
ค่ามาตรฐานของน้ำหนักปริมาณน้ำคือ 250 กรัม/ถ้วย จากการวิจัยเครื่องเติมน้ำซุปชาบู โดยมีหัวบรรจุทั้งหมด 6 หัว ซึ่ง
จากการใช้งานเครื่องบรรจุแล้วพบว่า น้ำหนักอยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ หลังจากการนำเครื่องบรรจุมาใช้งาน
สามารถลดค่าใช้จ่ายพนักงานบรรจุน้ำซุปมูลค่า 316,800 บาท/ปี และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตจากเดิม 1,200
ถ้วย/ชั่วโมง เพิ่มขึ้น 2,150 ถ้วย/ชั่วโมง คิดเป็น 79.16 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้การลงทุน 200,000 บาท

คำสำคัญ: เครื่องเติมน้ำซุป ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน น้ำซุปชาบู การควบคุมการเติมน้ำซุป

ABSTRACT

The purpose of this project study was to design an automatic soup-filling machine. Due to the
company's policy to increase production of efficiency, and maintain standards in producing products,
and reduce the staff to fill the soup to automate the production line. Therefore, machines are designed
based on existing and innovative technologies to operate automatically and efficiently without affecting
the product and production process. The standard value of water content is 250 g/cup. The Shabu
Soup Filling Machine, with six filling nozzles, can be filled automatically and accurately. It was found

that the weight was within the value of the specified standard. After starting to use the soup-filling machine, it was able to reduce the cost of the soup-filling process costs 316,800 baht/year, and increase the efficiency of production from 1,200 cups/hour to 2,150 cups/hour, or 79.16 percent. The cost of this Shabu Soup Filling Machine is 200,000 Baht.

Keyword: Soup-filling machine, standard deviation, shabu soup, soup filling control.

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการแข่งขันด้านการผลิตสินค้าประเภทอาหารพร้อมทานค่อนข้างมาก บริษัทจึงได้มีการผลิตสินค้าใหม่ๆ ออกสู่ตลาดอย่างต่อเนื่อง ในช่วงปลายปี 2564 ได้มีการผลิตสินค้าใหม่ คือน้ำซุปลู่อถ้วย ซึ่งปัญหาที่พบในกระบวนการผลิตดังกล่าวคือ ปริมาณน้ำที่อยู่ในถาดสินค้า ไม่มีความสม่ำเสมอ และสินค้าที่เติมน้ำซุปลแล้วพบว่า น้ำหนักของน้ำที่เติมลงในถ้วยไม่ได้ค่ามาตรฐานตามที่หน่วยงานประกันคุณภาพได้กำหนดค่ามาตรฐานไว้ สินค้าที่น้ำหนักไม่ได้ตามมาตรฐานสินค้า จะถูกคัดออกจากการผลิต และทำการแก้ไขน้ำหนักสินค้าใหม่ มีผลให้เสียเวลาในกระบวนการผลิต และทำให้ประสิทธิภาพการผลิตนั้นต่ำลง และอีกปัจจัยหนึ่งคือ บริษัทต้องการลดต้นทุนการผลิตด้านแรงงาน เพื่อสามารถแข่งขันด้านราคาของสินค้าได้ โดยการลดแรงงานพนักงานในกระบวนการผลิต และบริษัทต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต เพื่อให้ไลน์ผลิตมีความต่อเนื่อง และเป็นอัตโนมัติ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาเทคโนโลยี อุปกรณ์ และนวัตกรรม เพื่อมาออกแบบเครื่องจักรที่สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ และลดปัญหาด้านกระบวนการผลิตโดยการผลิตสินค้าต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ และนำเทคโนโลยีด้านเครื่องจักรมาทดแทนแรงงานพนักงาน เพื่อให้การผลิตเป็นการทำงานแบบอัตโนมัติเพิ่มมากขึ้น และสามารถลดต้นทุนการผลิตสินค้า โดยที่ประสิทธิภาพการเติมน้ำซุปลมากกว่า 2,000 ถ้วย/ชั่วโมง ค่ามาตรฐานน้ำหนักของน้ำซุปลที่เติมลงในถ้วยสินค้า คือ 250 ± 10 กรัม ซึ่งหลังจากที่นำเทคโนโลยีเครื่องจักรมาทดแทนแรงงานพนักงาน จะสามารถลดแรงงานพนักงาน

2 คน/กะ หรือ 4 คน/วัน คิดเป็นมูลค่า 316,800 บาท/ปี โดยใช้ลงทุน 200,000 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 7.5 เดือน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเร็วการไหล (Flow Velocity)

ความเร็วการไหล (v) หมายถึง ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ไปในระยะเวลาหนึ่งมีหน่วยเป็น m/s ในของไหลจะแตกต่างจากของแข็ง เพราะอนุภาคในของไหลนั้นๆ พบว่า ความเร็วของอนุภาคมีทิศทางเคลื่อนที่คนละทิศทาง และเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องขึ้นอยู่กับเวลาและสถานที่ [1] เช่น ก๊าซ ที่แต่ละโมเลกุลจะเคลื่อนที่ไปเป็นอิสระต่อกัน สำหรับในของเหลว เช่น การไหลในท่อน้ำเปิด หรือไหลในท่อ เนื่องจากบริเวณท่อน้ำ หรือที่ผิวท่อจะมีแรงเสียดทานของการไหล ทำให้ความเร็วบริเวณนั้นมีค่าเท่ากับศูนย์สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$v = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

โดยที่

v แทน ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (m/s)

Q แทน อัตราการไหล (m^3/s)

A แทน พื้นที่หน้าตัดของไหล (m^2)

2.2 อัตราการไหล (Flow Rate)

อัตราการไหล หมายถึงปริมาณของไหลที่เคลื่อนที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งสามารถวัดได้ทั้งในเชิงของปริมาตรและเชิงของมวล กรณีเป็นของเหลว อัตราการไหลเชิง

ปริมาตร (Volume flow rate) [1] มีหน่วยเป็น m^3/s ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2) ดังนี้

$$Q = \frac{V}{T} \quad (2)$$

โดยที่

Q แทน อัตราการไหล (m^3/s)

V แทน ปริมาตรของการไหล (m^3)

T แทน เวลาในการของการไหล (s)

อัตราการไหลเชิงปริมาตรสามารถหาได้จากความเร็วเฉลี่ยในการไหลได้ดังสมการที่ (3) ต่อไปนี้

$$Q = Av \quad (3)$$

โดยที่

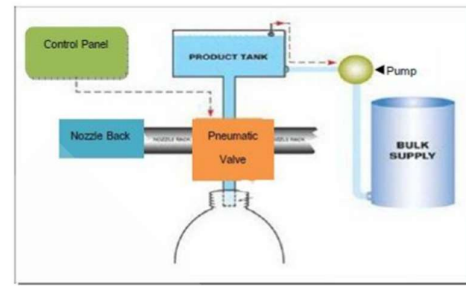
Q แทน อัตราการไหล (m^3/s)

A แทน พื้นที่หน้าตัดของไหล (m^2)

v แทน ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (m/s)

2.3 การบรรจุระบบแรงโน้มถ่วง (Time Gravity Filler)

ผลิตภัณฑ์จะถูกปั๊มดูดไปยังถังบรรจุด้านบนของหัวบรรจุ และจะใช้ระบบนิวเมติกส์ ในการควบคุมการทำงานของวาล์ว ดังแสดงในรูปที่ 1 งานวิจัยนี้เลือกใช้วาล์ว pneumatic ประเภท pneumatic double control valve เนื่องจากมีการเปิด และปิดที่แม่นยำ [13] ของเหลวจะไหลจากถังบรรจุด้านบน โดยไหลไปตามท่อบรรจุลงในถ้วย การเติมของเหลวด้วยแรงโน้มถ่วงนี้จะไม่เกิดปัญหาเรื่องน้ำหนักที่ไม่คงที่ เนื่องจากปริมาณน้ำในถังลดลงจึงจำเป็นต้องให้ปริมาณน้ำในถังเต็มตลอด เพื่อให้ปริมาณน้ำที่ไหลลงในภาชนะบรรจุนั้นเท่ากันตลอดเวลา และปริมาณน้ำที่เติมลงในภาชนะจะมีปริมาณเท่ากัน



รูปที่ 1 การทำงานของการเติมน้ำซูป

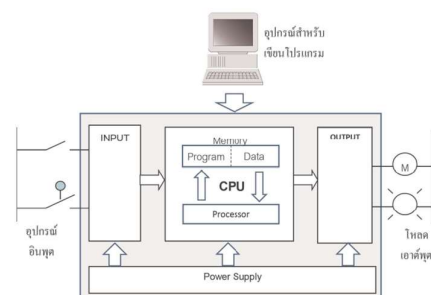
ที่มา: R. Suwan (2014)

2.4 หลักการทำงานพื้นฐานของพีแอลซี

ในการทำงานของพีแอลซีจะมีส่วนประกอบอยู่หลายส่วนที่ทำงานสอดคล้องและประสานกัน [2] สำหรับส่วนประกอบหลักของ พีแอลซีจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. โมดูลอินพุต (Input Modules)
2. หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit CPU)
3. โมดูลเอาต์พุต (Output Modules)
4. อุปกรณ์ใช้ในการโปรแกรม (Programming Device)

ซึ่งการเชื่อมโยงการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ นอกเหนือจากส่วนประกอบหลักนี้แล้ว พีแอลซียังมีส่วนประกอบที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงหรือประสานการทำงานของเครื่องร่วมกับผู้ใช้ (Operator Interface) ร่วมอยู่ด้วย สำหรับรายละเอียดหน้าที่หลัก และส่วนประกอบต่างๆ ของพีแอลซีจะแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างภายใน PLC

ที่มา: Beginner Allen-Bradley Micro800 (2019)

2.5 วาล์วควบคุมการไหลของลมแบบ 2 ทิศทาง (Pneumatic Double Control Valve)

ลักษณะการทำงานของ pneumatic คือเมื่อจ่ายลมเข้าครั้งหนึ่งเพื่อเปลี่ยนสถานะ เมื่อสถานะของวาล์วจะค้างไว้เป็นสถานะล่าสุด หากเราต้องการเปลี่ยนสถานะกลับจะต้องจ่ายลมเข้าอีกครั้งหนึ่ง เพื่อเปลี่ยนสถานะการทำงานเป็นสภาวะปิดดังเดิม [14]



รูปที่ 3 Pneumatic Double Control Valve
ที่มา: SIRCA Pneumatic (2022)

2.6 การคำนวณจุดคุ้มทุนในการออกแบบ

ในการใช้เครื่องบรรจุน้ำชุปมาทดแทนแรงงานคน จะสามารถลดการใช้พนักงานในการบรรจุน้ำชุปได้ 2 คน/กะหรือ 4 คน/วัน และทำให้การผลิตสินค้าน้ำชุป มีความต่อเนื่องและเป็นอัตโนมัติมากขึ้น ซึ่งสามารถคำนวณจุดคุ้มทุนได้ดังสมการที่ (4)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{(\text{ค่าแรง} \times \text{จำนวนพนักงาน}) \times 20}{\text{ราคาเครื่องบรรจุน้ำชุป}} \quad (4)$$

โดยที่

พนักงาน แทน 2 คน/กะ หรือ 4คน/วัน

ค่าแรง แทน 330 บาท/วัน

วันทำงาน แทน 20 วัน

เงินลงทุน แทน 200,000 บาท

3. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

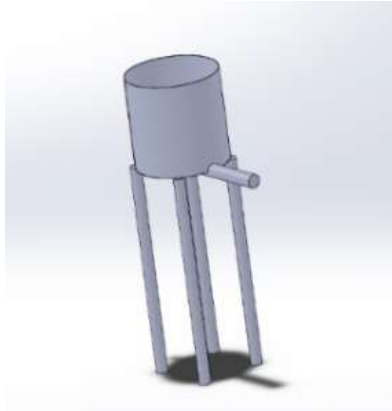
3.1 การออกแบบเครื่องบรรจุน้ำชุป

การออกแบบเครื่องเติมน้ำชุปแบบอัตโนมัติ โดยใช้โปรแกรมเขียนแบบด้วย SolidWorks เครื่องบรรจุน้ำชุปแบบอัตโนมัติ วัสดุที่ใช้ประกอบเครื่องจักรทำมาจากสแตนเลส sus 304 ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษที่ไม่ก่อให้เกิดสนิมตามมาตรฐานที่ใช้กับอุตสาหกรรมอาหาร โดยการออกนั้น ผู้วิจัยคำนึงถึงการใช้งานสะดวกเป็นอัตโนมัติ และเคลื่อนย้ายได้ง่าย เนื่องจากไลน์ผลิตสินค้าต้องมีการทำความสะอาดทุกๆ 4 ชั่วโมง เพื่อไม่ให้เกิดเชื้อโรคสะสมในไลน์ผลิต โดยการออกแบบนั้นได้ออกแบบหัวบรรจุน้ำชุปทั้งหมด 6 หัว ตามขนาดหน้ากว้างสายพานเดิมของไลน์ผลิตซึ่งมีขนาด 120 เซนติเมตร แต่ละหัวบรรจุมีระยะห่าง 20 เซนติเมตรและขนาดถ้วยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14.5 เซนติเมตร และความสูง 6 เซนติเมตร โดยรายละเอียดการออกแบบมีดังนี้

3.1.1 การออกแบบถังบรรจุน้ำชุป ถังเก็บน้ำชุปจะถูกออกแบบไว้ด้านบนของ Control Valve เพื่อให้สามารถไหลลงตามแรงโน้มถ่วงของโลกได้ ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยให้ปริมาณการไหลนั้นคงที่ และสม่ำเสมอ [13] จึงจำเป็นต้องให้น้ำชุปในถังบรรจุนั้นคงที่เสมอผู้ออกแบบจึงได้มีการออกแบบที่ติดตั้งแท่งอิเล็กทรอนิกส์ไว้ เมื่อปริมาณน้ำในถังบรรจุต่ำลง ปิมน้ำจะทำงานสูบน้ำจากถังด้านล่างเพื่อไปเก็บไว้ด้านบนทำให้ถังบรรจุน้ำชุปนั้นเต็มตลอดเวลาเมื่อผลให้ปริมาณน้ำชุปที่ไหลลงถ้วยสินค้ามีน้ำหนักที่คงที่เสมอ และปริมาณการใช้น้ำชุปการบรรจุลงสินค้ามีปริมาณอยู่ที่ 45 ลิตร/นาที ผู้ออกแบบจึงได้ออกแบบขนาดความจุถังน้ำชุปมากกว่าการใช้งาน 50 เปอร์เซ็นต์ โดยเลือกออกแบบขนาดถังเก็บน้ำชุปที่ 100 ลิตร เพื่อให้ปริมาณน้ำชุปเพียงพอในการบรรจุลงในถ้วยสินค้าสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} 1) \text{ ปริมาณการเติมน้ำชุปต่อรอบ} &= \text{ปริมาณน้ำบรรจุ} \\ \text{ลงถาดสินค้า} \times \text{จำนวนถ้วยสินค้า} &= 250 \text{ กรัม} \times 6 \text{ ถ้วย} \\ &= 1,500 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

2) ปริมาณการเติมน้ำซุปร้อนน้ำที่ = จำนวนน้ำซุปร้อนน้ำ
รอบ $\times$ จำนวนรอบ/นาที่ = $1,500 \text{ กรัม} \times 30 \text{ รอบ/}$
นาที่ = $45,000 \text{ กรัม/นาที่} = 45 \text{ ลิตร/นาที่}$



รูปที่ 4 การออกแบบถังเก็บน้ำซุปร้อนน้ำ

3.1.2 การออกแบบต่อเติมน้ำซุปร้อนน้ำ เพื่อให้ปริมาณน้ำซุปร้อนน้ำในท่อเพียงพอต่อการบรรจุลงในถ้วยสินค้า โดยผู้ออกแบบได้เลือกใช้ท่อสแตนเลสขนาด 4 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 5 จากความกว้างสายพาน 12,000 มิลลิเมตร จึงออกแบบหัวเติมน้ำซุปร้อนน้ำให้มีระยะห่าง 200 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถวางถ้วยสินค้าได้ 6 ถ้วย ตามแนวหน้ากระดานซึ่งจะสามารถผลิตสินค้าได้เต็มสายพาน ทำให้มีประสิทธิภาพการผลิตมากที่สุด และสามารถคำนวณปริมาณน้ำซุปร้อนน้ำในท่อได้ดังสมการที่ 5

$$V = \pi r^2 L \quad (5)$$

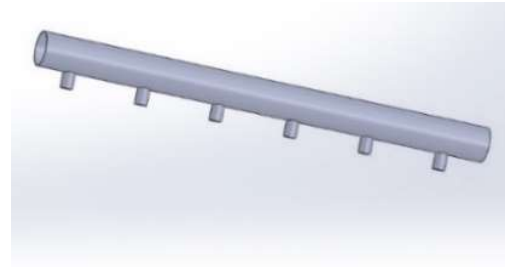
โดยที่

π แทน 3.14

r แทน รัศมีภายในท่อ

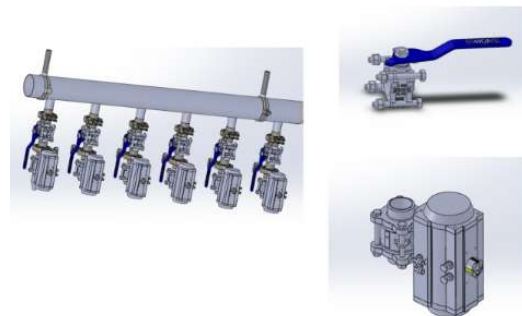
L แทน ความยาวท่อ

ดังนั้น ปริมาณน้ำซุปร้อนน้ำในท่อ = $3.14 \text{ ซม.} \times 15.24^2 \text{ ซม.} \times 110 \text{ ซม.} = 8.022 \text{ ลิตร}$



รูปที่ 5 ออกแบบท่อเติมน้ำซุปร้อนน้ำ

3.1.3 การออกแบบชุดเติมน้ำซุปร้อนน้ำพร้อมวาล์วควบคุมเติมน้ำซุปร้อนน้ำ ลักษณะการออกแบบ จึงออกแบบหัวเติมน้ำซุปร้อนน้ำให้มีความห่าง 200 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถวางถ้วยสินค้าได้ 6 ถ้วย ตามแนวหน้ากระดาน ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งจะสามารถผลิตสินค้าได้เต็มสายพาน และ ทำให้มีประสิทธิภาพการผลิตมากที่สุด โดยการออกแบบชุดเติมน้ำซุปร้อนน้ำ จะใช้โดย Pneumatic Double Control Valve ซึ่งจะไปขับ Ball Valve อีกครั้ง เพื่อให้ น้ำซุปร้อนน้ำสามารถไหลผ่านได้โดย Pneumatic Double Control Valve จะทำงานตามเวลาที่ผู้ใช้งานได้ตั้งค่าโปรแกรมไว้ [14] ลักษณะการ เปิด-ปิด ของ Pneumatic Double Control Valve จะเป็นการ หน่วงเวลามีหน่วยเป็นวินาที



รูปที่ 6 ออกแบบท่อเติมน้ำซุปร้อนน้ำพร้อมวาล์วควบคุมเติมน้ำซุปร้อนน้ำ

3.2 การประกอบและการติดตั้งเครื่องบรรจุน้ำซุปร้อนน้ำ

วัสดุที่จะถูกนำมาประกอบ และสร้างเครื่องจักรจะใช้สแตนเลส 304 ตามมาตรฐานด้านอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากจะเป็นวัสดุที่ทนทานและเกิดสนิมได้ยาก และยัง

สามารถทดสอบการกักกรอง ซึ่งการประกอบจะแสดง
ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ประกอบเครื่องบรรจุน้ำซูป

3.2.1 การประกอบและติดตั้ง Control valve
จะเลือกใช้ pneumatic double control valve ซึ่งจะ
ประกอบกับ Ball valve แสดงดังรูปที่ 8 และ รูปที่ 9 จะ
ทำหน้าที่ร่วมกันโดย Control valve จะควบคุมการ
ทำงาน เปิด-ปิด ของ Ball valve



รูปที่ 8 ประกอบ Control valve กับ Ball valve

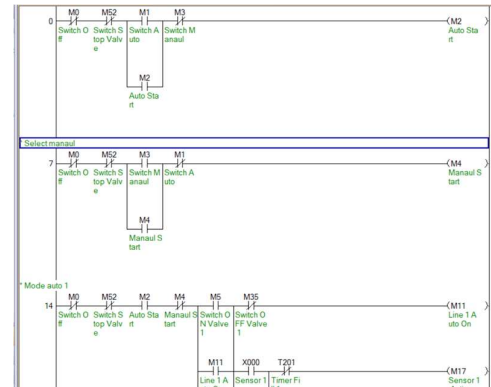


รูปที่ 9 ติดตั้ง Control valve

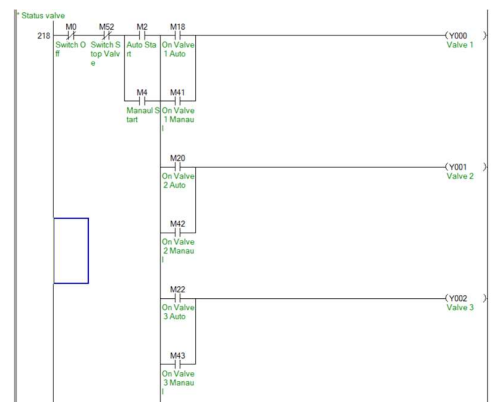
3.2.2 การออกแบบโปรแกรม PLC

การออกแบบโปรแกรมของเครื่องบรรจุน้ำซูปทาง
ผู้วิจัยได้แบ่งการเขียนโปรแกรมเป็น 2 แบบ คือ

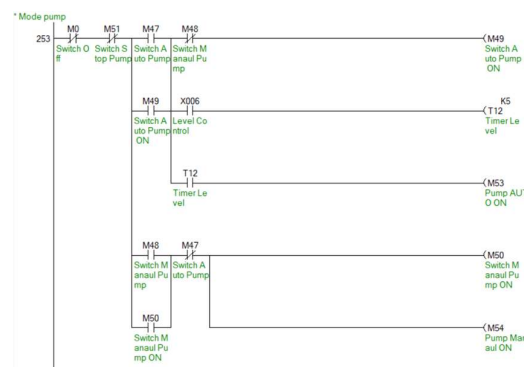
1. การเขียนโปรแกรม Plc Mitsubishi จะเขียนด้วย
โปรแกรม Gx work 2 ดังแสดงในรูปที่ 10 - 12



รูปที่ 10 Ladder diagram โหมด Manual

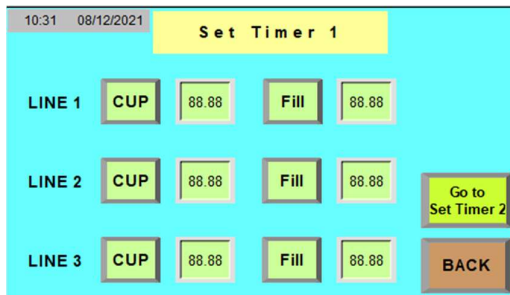


รูปที่ 11 Ladder diagram สถานะการทำงานของวาล์ว

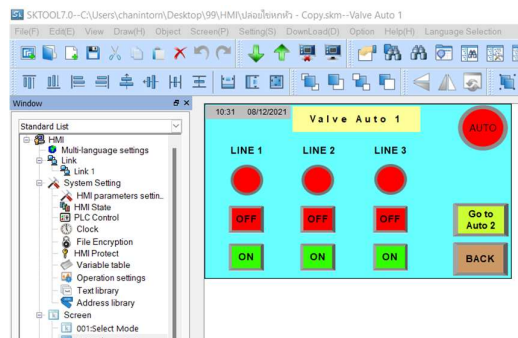


รูปที่ 12 Ladder diagram ส่วนปั้มน้ำ

2. การเขียนโปรแกรมหน้าจอบควบคุม ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้น้ำจอตักกรีนในการควบคุมการทำงาน จึงต้องใช้โปรแกรม Sk Tool ในการเขียนโปรแกรมควบคุมหน้าจอดังแสดงในรูปที่ 13- 14



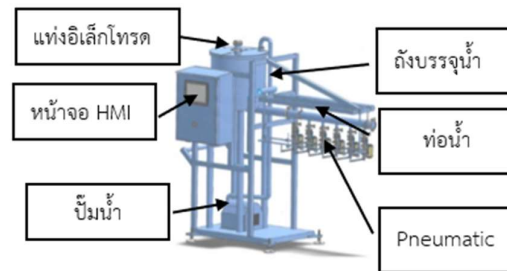
รูปที่ 13 ออกแบบหน้าจอแสดงผลปรับการบรรจุน้ำซุ๊ป



รูปที่ 14 ออกแบบหน้าจอแสดงผลปรับวาล์ว

3.2 ลักษณะการทำงานของระบบเติมน้ำซุ๊ป

การบรรจุจะอาศัยแรงโน้มถ่วง (time gravity filler) โดยน้ำซุ๊ปจะถูกปั๊มขึ้น ดูดไปพักบริเวณถังพักด้านบนที่มีความสูง 170 เซนติเมตร และจะใช้ pneumatic double control valve ในการเปิด-ปิด การไหลของน้ำซุ๊ป ซึ่งปริมาณน้ำหนักรของน้ำซุ๊ปจะให้ค่าที่กักตังที่ และปริมาณน้ำซุ๊ปของถังด้านบนจะต้องเท่ากันอยู่เสมอ เพื่อให้ปริมาณน้ำซุ๊ปที่เติมลงในถ้วยสินค้ามีน้ำหนักรคงที่สม่ำเสมอ โดยส่วนประกอบของเครื่องบรรจุน้ำซุ๊ปจะ แสดงดังรูปที่ 15



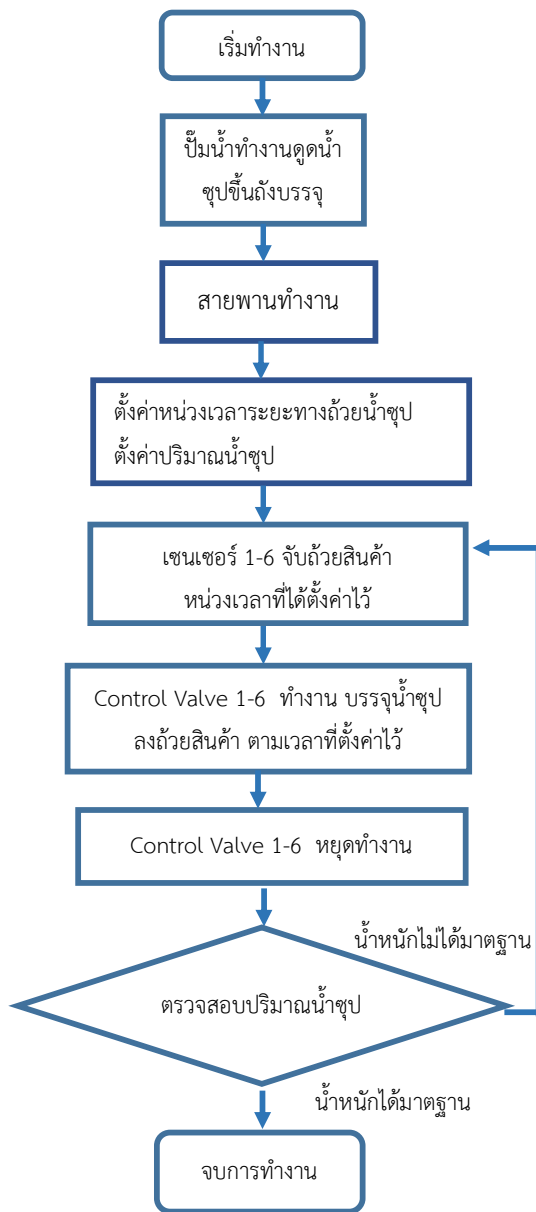
รูปที่ 15 เครื่องบรรจุน้ำซุ๊ป

3.3 การทำงานของเครื่องบรรจุน้ำซุ๊ป

การทำงานของเครื่องบรรจุน้ำซุ๊ป เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการผลิตสูงสุด พนักงานจะวางถ้วยสินค้าบนสายพานลำเลียงสินค้า 6 แถว แนวหน้ากระดาน และถ้วยสินค้าจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3.14 เซนติเมตร/วินาที ดังแสดงรูปที่ 16 เมื่อสินค้าเคลื่อนที่ไปแล้วนั้นเซนเซอร์ตรวจพบวัตถุ 3 วินาที pneumatic double control valve ก็จะเปิดการทำงาน เพื่อให้น้ำซุ๊ปลงในถ้วยสินค้า และเมื่อน้ำซุ๊ปไหลลงถ้วยสินค้าครบกำหนดเวลาเรียบร้อยแล้ว pneumatic double control valve จะหยุดการทำงาน ดังแสดงรูปที่ 17 โดยสินค้าจะเคลื่อนที่ผ่านไปยังเครื่องพาสเจอร์ไรซ์ต่อไป และเมื่อปริมาณน้ำถึงด้านบนเริ่มต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ ปั๊มน้ำด้านล่างจะเริ่มทำงาน เพื่อเติมน้ำซุ๊ปไปยังถังบรรจุด้านบนให้มีปริมาณคงที่เสมอ ทำให้น้ำหนักของสินค้าทุกถ้วยมีน้ำหนักคงที่



รูปที่ 16 การทำงานเครื่องจักร



รูปที่ 17 diagram การทำงานเครื่องบรรจุน้ำ

3.3 การตั้งค่าเครื่องบรรจุน้ำเพื่อทำการทดลอง

การกำหนดการตั้งค่าของเครื่องบรรจุน้ำ
เครื่องจักรสามารถตั้งค่าต่างๆ โดยแบ่งการตั้งค่าการเติมน้ำ
แบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1. Cup คือ ค่าหน่วยเวลาระหว่างถ้วยสินค้าเคลื่อนที่มายังหัวบรรจุน้ำ กำหนดเป็นหน่วยวินาที

2. Fill คือ ค่าหน่วยเวลาหน่วยเวลาในการเปิด-ปิด pneumatic ในการเติมน้ำลงถ้วย กำหนดหน่วยเป็นวินาที

การหาปริมาตรของน้ำ ปริมาตรของน้ำที่บรรจุในถ้วยสินค้า คือ 250 cm^3 สามารถหาได้ดังนี้สมการที่ 6

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (6)$$

$$m = \frac{250 \text{ g}}{1 \text{ g/cm}^3}$$

$$m = 250 \text{ cm}^3$$

โดยที่

V แทน ปริมาตรของน้ำ cm^3

m แทน มวลของน้ำ (g)

ρ แทน ความหนาแน่นของน้ำ (g / cm^3)

การหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำที่ไหลลงในถ้วยสินค้า 125 กรัม/วินาที ตามตารางที่ 1 สามารถหาได้ดังสมการที่ 7

$$Q = \frac{V}{t} \quad (7)$$

$$= \frac{(250 \text{ cm}^3 \times 10^{-3}) \times 1,000}{2}$$

$$= 125 \text{ กรัม / วินาที}$$

โดยที่

Q แทน อัตราการไหลของปริมาตร (m^3 / min)

V แทน ปริมาตรของน้ำ (cm^3)

t แทน เวลาในการบรรจุ (2 วินาที)

จากการหาปริมาณการเติมน้ำซุปลงในถ้วยสินค้า 125 กรัม/วินาที โดยความต้องการปริมาณน้ำหนักของน้ำซูปในถ้วยสินค้าคือ 250 กรัม ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงตั้งค่าหน่วยเวลาการเติมน้ำมาตรฐาน คือ 2 วินาที และได้ทดลองปรับค่าหน่วยเวลาการบรรจุน้ำซูปค่าที่ดีที่สุดจึงได้ค่าหน่วยเวลาตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตั้งค่าน้ำจอ HMI เครื่องจักร (หน่วย:วินาที)

หัวบรรจุ	Cup (วินาที)	Fill (วินาที)
1	1.9	2.2
2	1.8	2.1
3	2.0	2.1
4	1.9	1.8
5	2.2	2.3
6	1.9	2.1

จากการตั้งค่าน้ำจอ HMI ตามตารางที่ 1 ค่า Cup แตกต่างกันไปเนื่องจาก การตั้งเซนเซอร์แต่ละตัวอาจมีตำแหน่งที่แตกต่างกันเล็กน้อยทำให้ตำแหน่งจับวัตถุมีตำแหน่งที่ไม่ตรงกัน มีผลให้เวลาการเคลื่อนที่ของถ้วยน้ำซูปซาวเคลื่อนที่มายังหัวบรรจุน้ำซูป มีค่าหน่วยเวลาที่แตกต่างกัน และค่า Fill ที่แตกต่างกันมีอยู่ 2 ปัจจัย ปัจจัยแรกคือ Control Valve มีเวลาทำงานที่ไม่เท่ากัน บางตัวทำงานได้เร็ว บางตัวทำงานช้า มีผลให้เวลาการเปิด-ปิดวาล์วนั้นไม่เท่ากัน และปัจจัยที่สอง คือ ลมที่ใช้ในการ Control วาล์วมีแรงดันไม่เท่ากันมีผลให้การทำงานของ Control Valve มีการหน่วยเวลาที่แตกต่างกัน

การทดลองบรรจุน้ำซูปได้เตรียมน้ำซูปปริมาณ 100 กิโลกรัม สำหรับการบรรจุลงในถ้วยสินค้า ซึ่งจะวางถ้วยแนวหน้ากระดาน 6 แถว โดยทำการทดลองครั้งละ 6 ถ้วย จำนวน N = 30 ครั้ง รวมทั้งหมด 180 ถ้วยลักษณะการวางถ้วยสินค้าจะวางดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 ทดลองบรรจุน้ำซูป

4. ผลการทดลอง

วิเคราะห์หามาตรฐานในการบรรจุน้ำซูปลงในถ้วยสินค้า โดยใช้เครื่องบรรจุน้ำซูปแบบอัตโนมัติ โดยใช้สถิติค่าเฉลี่ย สามารถหาได้ ดังสมการที่ 8

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{N} \quad (8)$$

โดยที่

$\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ยของหัวจ่าย
 $\sum x_i$ แทน ผลรวมข้อมูลทั้งหมด
 N แทน จำนวนครั้งที่ทดสอบ

และการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) [12] สามารถหาได้ ดังสมการที่ 9

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{(N-1)}} \quad (9)$$

โดยที่

$S.D.$ แทน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 x_i แทน น้ำซูปในถ้วยสินค้า
 $\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ยของหัวจ่าย
 N แทน จำนวนครั้งที่ทดสอบ

ค่ารากที่สองของค่าความคาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Squared Error : RMSE) เป็นวิธีการวัดค่าความคาดเคลื่อนแบบมาตรฐาน ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

ในการวัดค่าความแม่นยำจากวิธีการนี้ ยิ่งค่า RMSE ที่ได้น้อยแสดงว่าโมเดลมีค่าความแม่นยำมาก โดยหาได้สมการดัง สมการที่ 10

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2} \quad (10)$$

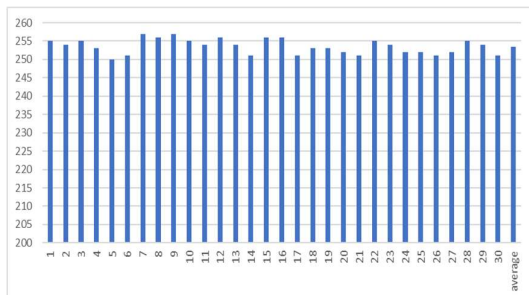
โดยที่

Y_t แทน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

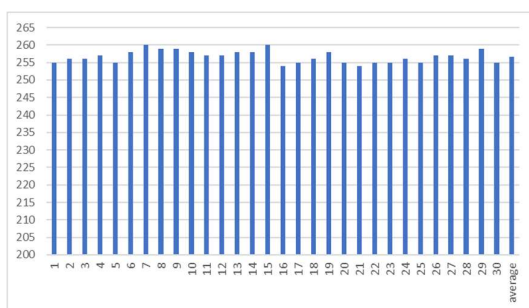
$\hat{Y}_t$ แทน น้ำซูปในถ้วยสินค้า

N แทน จำนวนครั้งที่ทดสอบ

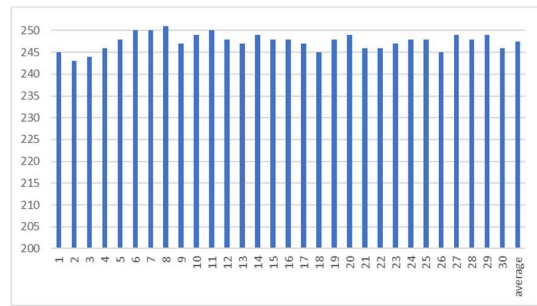
จากการทดลองบรรจุน้ำซูปลงถ้วยสินค้าจำนวน $N = 30$ ครั้ง รวมทั้งหมด 180 ถ้วย สามารถสรุปการทดลองดัง รูปที่ 19- 24 และ ตารางที่ 2-4



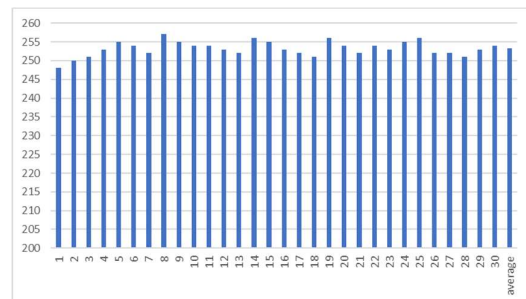
รูปที่ 19 ปริมาณน้ำหนักรุ่นน้ำซูป หัวที่ 1 เฉลี่ย 254 กรัม



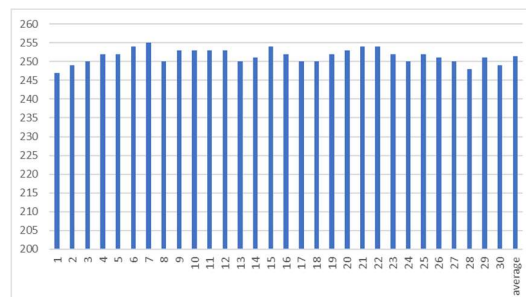
รูปที่ 20 ปริมาณน้ำหนักรุ่นน้ำซูป หัวที่ 2 เฉลี่ย 257 กรัม



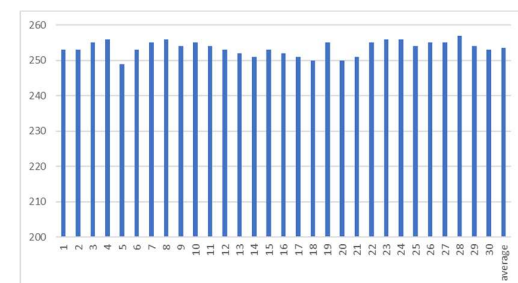
รูปที่ 21 ปริมาณน้ำหนักรุ่นน้ำซูป หัวที่ 3 เฉลี่ย 247 กรัม



รูปที่ 22 ปริมาณน้ำหนักรุ่นน้ำซูป หัวที่ 4 เฉลี่ย 253 กรัม



รูปที่ 23 ปริมาณน้ำหนักรุ่นน้ำซูป หัวที่ 5 เฉลี่ย 251 กรัม



รูปที่ 24 ปริมาณน้ำหนักรุ่นน้ำซูป หัวที่ 6 เฉลี่ย 254 กรัม

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำซูบในถ้วยสินค้า (หน่วย:กรัม)

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6
1	255	255	245	248	247	253
2	254	256	243	250	249	253
3	255	256	244	251	250	255
4	253	257	246	253	252	256
5	250	255	248	255	252	249
6	251	258	250	254	254	253
7	257	260	250	252	255	255
8	256	259	251	257	250	256
9	257	259	247	255	253	254
10	255	258	249	254	253	255
11	254	257	250	254	253	254
12	256	257	248	253	253	253
13	254	258	247	252	250	252
14	251	258	249	256	251	251
15	256	260	248	255	254	253
16	256	254	248	253	252	252
17	251	255	247	252	250	251
18	253	256	245	251	250	250
19	253	258	248	256	256	255
20	252	255	249	254	253	250
21	251	254	246	252	254	251
22	255	255	246	254	254	255
23	254	255	247	253	252	256
24	252	256	248	255	250	256
25	252	255	248	256	252	254
26	251	257	245	252	251	255
27	252	257	249	252	250	255
28	255	256	248	251	248	257
29	254	259	249	253	251	254
30	251	255	249	254	249	253
ค่าเฉลี่ย	254	257	247	253	251	254

ตารางที่ 3 ผลการทดลองน้ำซูบในถ้วยสินค้า (หน่วย:กรัม)

รายการ	1	2	3	4	5	6
น้ำหนักมาตรฐาน	250	250	250	250	250	250
$\bar{X}$	254	257	247	253	251	254
S.D	0.74	1.29	0.55	0.55	0.18	0.74
ค่าคลาดเคลื่อน	4	7	3	3	1	4

จากการวิจัยเรื่องการออกแบบเครื่องเติมน้ำซูบแบบอัตโนมัติ ผู้ทำการวิจัยได้ทดลองการบรรจุน้ำซูบลงในถ้วยสินค้าพบว่า เครื่องเติมน้ำซูบแบบอัตโนมัติสามารถบรรจุน้ำซูบได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีการแยกการบรรจุออกเป็น 6 หัว โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้ หัวที่ 1 น้ำหนักเฉลี่ย 254 กรัม ค่าเบี่ยงเบน 0.74 ค่าคลาดเคลื่อน 4 กรัมหรือคิดเป็น 1.60 เปอร์เซ็นต์ หัวที่ 2 น้ำหนักเฉลี่ย 257 กรัม ค่าเบี่ยงเบน 1.29 ค่าคลาดเคลื่อน 7 กรัมหรือคิดเป็น 2.80 เปอร์เซ็นต์ หัวที่ 3 น้ำหนักเฉลี่ย 247 กรัม ค่าเบี่ยงเบน 0.55 ค่าคลาดเคลื่อน 3 กรัมหรือคิดเป็น 1.20 เปอร์เซ็นต์ หัวที่ 4 น้ำหนักเฉลี่ย 253 กรัม ค่าเบี่ยงเบน 0.55 ค่าคลาดเคลื่อน 3 กรัมหรือคิดเป็น 1.20 เปอร์เซ็นต์ หัวที่ 5 น้ำหนักเฉลี่ย 251 กรัม ค่าเบี่ยงเบน 0.18 ค่าคลาดเคลื่อน 1 กรัมหรือคิดเป็น 0.4 เปอร์เซ็นต์ หัวที่ 6 น้ำหนักเฉลี่ย 254 กรัม ค่าเบี่ยงเบน 0.74 ค่าคลาดเคลื่อน 4 กรัมหรือคิดเป็น 1.60 เปอร์เซ็นต์

จากค่าการทดลองบรรจุน้ำซูบลงในถ้วยสินค้า และหาค่า Root Mean Square Error สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 Mean Squared Error

หัวที่	1	2	3	4	5	6	SUM
RMSE	4.06	6.88	3.15	3.78	2.42	4.07	4.09

ในส่วนของการเสนอข้อมูลเชิงปริมาณในรูปแบบกราฟ เพื่อแสดงลักษณะการแจกแจงตำแหน่งและการกระจายของข้อมูล โดยใช้รูปกล่องแสดงตำแหน่งข้อมูลขอบ ขอบซ้ายและขอบขวาของรูปกล่องเป็นค่าคลอไทล์ที่

1 และคลอไธล์ที่ 3 เส้นตั้งฉากตรงกลางเป็นคลอไธล์ที่ 2 (ค่ามัธยฐาน) โดยแบ่งเป็นกรณีได้ดังนี้

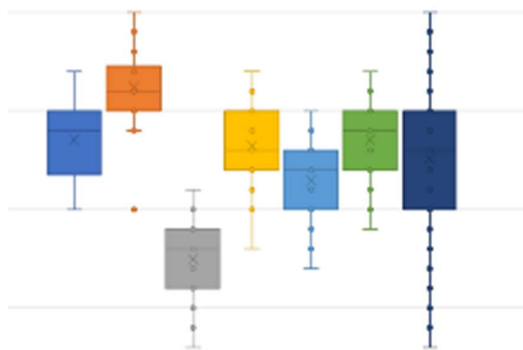
1. ถ้าค่ามัธยฐานเข้าใกล้คลอไธล์ที่ 1 มากกว่า คลอไธล์ที่ 3 แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ขวา

2. ถ้าค่ามัธยฐานอยู่กึ่งกลางระหว่างคลอไธล์ที่ 1 และ คลอไธล์ที่ 3 แสดงว่ากราฟสมมาตร

3. ถ้าค่ามัธยฐานเข้าใกล้ คลอไธล์ที่ 3 มากกว่า คลอไธล์ที่ 1 แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ซ้าย โดยจากการทดลองบรรจุน้ำซูบ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5 และรูปที่ 25

ตารางที่ 5 ค่า Box Plot ของค่าทดลองบรรจุน้ำซูบ

ห้วที่	1	2	3	4	5	6	SUM
Q1	251	257	249	255	253	255	255
Q2	254	256	248	253	252	254	253
Q3	251	255	246	252	250	252	250
Max	257	260	251	257	255	257	260
Min	250	250	243	248	247	249	243



รูปที่ 25 Box Plot การบรรจุน้ำซูบ

การคำนวณความคุ้มค่าการลงทุนในการใช้งานเครื่องบรรจุน้ำซูบ (สมการที่ 4) ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 7.5 เดือน โดยที่ พนักงาน เท่ากับ 2 คน/กะ หรือ 4คน/วัน ค่าแรงเท่ากับ 330 บาท/วัน วันทำงานเท่ากับ 20 วัน เงิน เท่ากับ 200,000 บาท

การคำนวณหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร หลังจากการนำเครื่องบรรจุน้ำซูบมาใช้งาน สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\text{รอบการเติมน้ำซูบ} = \frac{60 \text{ วินาที}}{10 \text{ วินาที}} = 6 \text{ รอบ/นาที}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacity} &= \text{รอบการบรรจุน้ำซูบ} \times \text{จำนวนถ้วย} \\ &= 6 \text{ รอบ/นาที} \times 6 \text{ ถ้วย/รอบ} \\ &= 36 \text{ ถ้วย/นาที} \\ &= 2,150 \text{ ถ้วย/ชั่วโมง} \end{aligned}$$

โดยที่ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์ กับ หัวบรรจุน้ำซูบ 10 เซนติเมตร เวลาบรรจุน้ำซูบใช้เวลา 2 วินาที เวลาถ้วยน้ำซูบเคลื่อนผ่านหัวเติมน้ำซูบ 4 วินาที เวลาถ้วยน้ำซูบเคลื่อนที่จากเซนเซอร์ไปหัวเติมน้ำซูบ 4 วินาที และ 1 รอบสามารถบรรจุน้ำซูบได้ 6 ถ้วย

การคำนวณหาประสิทธิภาพการทำงาน ก่อนการนำเครื่องบรรจุน้ำซูบมาใช้งานสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{รอบการเติมน้ำซูบ} = \frac{60 \text{ วินาที}}{6 \text{ วินาที}} = 10 \text{ รอบ/นาที}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacity} &= \text{รอบการบรรจุน้ำซูบ} \times \text{จำนวนถ้วย} \\ &= 10 \text{ รอบ/นาที} \times 2 \text{ ถ้วย/รอบ} \\ &= 20 \text{ ถ้วย/นาที} \\ &= 1,200 \text{ ถ้วย/ชั่วโมง} \end{aligned}$$

โดยที่เวลาพนักงานหยิบถ้วยน้ำซูบ 2 วินาที เวลาพนักงานตักน้ำซูบ 2 วินาที และเวลาพนักงานวางถ้วยสินค้า 2 วินาที

5. สรุปผล

จากผลการทดลองดังกล่าวทั้ง 30 ครั้ง พบว่า แต่ละหัวบรรจุนั้น มีค่าน้ำหนักน้ำซูบอยู่ที่ 243-260 กรัม ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐาน โดยหน่วยงานประกันคุณภาพได้กำหนดน้ำหนักมาตรฐานไว้ที่ 250 ± 10 กรัม และน้ำหนักของน้ำซูบในถ้วยสินค้า แต่ละหัวบรรจุยังไม่มีความแตกต่างกัน หลังจากการใช้งานเครื่องบรรจุน้ำซูบประสิทธิภาพการบรรจุจากเดิม 1,200 ถ้วย/ชั่วโมง เพิ่มขึ้นเป็น 2,150 ถ้วย/ชั่วโมง คิดเป็น 79.16% และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนพนักงานเติมน้ำซูบได้ 316,800 บาท/ปี ซึ่งงบการ

ลงทุนเครื่องเติมน้ำซุปคือ 200,000 บาท เมื่อคิดจุดคุ้มทุนจะอยู่ที่ 7.5 เดือน ซึ่งถือว่าเป็นผลตอบแทนที่รวดเร็วมาก

6. ข้อเสนอแนะ

ข้อควรระวังที่ 1 ปริมาณน้ำหนักของน้ำซุป แต่ละถ้วยนั้น จะมีปริมาณที่ต่างกัน ถ้าปริมาณน้ำซุปบนถังบรรจุมีปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องให้ปริมาณน้ำซุปถึงด้านบนมีปริมาณที่เท่ากันเสมอเพื่อไม่ให้ค่าน้ำหนักของน้ำซุปในแต่ละถ้วยสินค้ามีความแตกต่างกัน

ข้อควรระวังที่ 2 ขณะเติมน้ำซุปลงถ้วยสินค้า แต่ละถ้วยนั้นจะมีน้ำซุปกระเด็นมาเกาะบริเวณเซนเซอร์จับถาดทำให้เซนเซอร์ไม่จับถาดสินค้าในบางครั้ง จึงจำเป็นต้องติดตั้งเซนเซอร์ให้สูงกว่าตำแหน่งที่น้ำซุปจะกระเด็นโดนเพื่อป้องกันการการทำงานที่ผิดพลาดของเครื่องจักร

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ซีพีเอฟ ฟู้ด แอนด์เบฟเวอร์เรจ จำกัด ที่ให้โอกาสในการทำโครงการนี้รวมถึงสนับสนุนพื้นที่บริษัทในการทำโครงการครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Suttibak, Fluid Mechanics, Udon Thani Rajabhat University, 2015.
- [2] Sonic Automation Co., Ltd, “Principle of PLC,” Beginner Allen-Bradley Micro 800, 2019.
- [3] P. Piamkaew, A. Phadungruangkij, K. Ruttanon, M. Oungthong and A. Sripradit, “Design And To Develop Of A Semi-Automatic The Fermented Fish Sauce Filling Machine,” *Journal of Thonburi University (Science and Technology)*, vol. 4, no. 3, pp. 25-43, May. 2020.
- [4] E.C. Prima, S.S. Munifah, R. Salamb, M.H. Azizb and A.T. Suryanic, “Automatic Water Tank Filling System Controlled using ArduinoTM based Sensor for Home Application,” *Procedia Engineering*, vol. 170, pp. 373-377, 2017.
- [5] S. Eswar, N. Hariprasad, L. Jaiganesh, M. Mohamedimthiyas and A. Gopikrishnan, “Automatic Liquid Mixing and Filling Using PLC,” in *2018 IEEE International Conference on Current Trends toward Converging Technologies*, Coimbatore, India, 2018, pp. 1-6.
- [6] T. Glück, D. Büchl, C. Krämer, A. Pfeffer, A. Risle, L. Hägele and A. Kugi, “Modeling and control of a novel pneumatic two-stage piezoelectric-actuated valve,” *Mechatronics*, vol. 75, pp. 7-11, 2021.
- [7] D. Zhang and S. Li, “Design and Realization of Liquid Filling Machine Intelligent Control System,” in *2015 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, Beijing, China, 2015, pp. 1283-1288.
- [8] J. Pannu, R. Kulkarni and M. Ranjana, “On the automated multiple liquid bottle filling system,” in *International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, India, 2016.
- [9] G.W. Tjoa, A. Aribowo and A.S. Putra, “Design of Automatic Drinking Water Supply System for Poultry Cage,” in *5th International Conference on New Media Studies (CONMEDIA)*, Indonesia, 2019, pp. 115-120.

- [10] A.I. Abashar, M.A. Mohammedeltoum and O.D. Abaker, “Automated and Monitored Liquid Filling System using PLC Technology,” in *International Conference on Communication, Control, Computing, and Electronic Engineering (ICCCCEE)*, Khartoum, Sudan, 2017.
- [11] C. Chatkul Na Ayutthaya, “Design and make washing machine for part,” M.S. thesis, Dept. of Industrial Production Technology, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, 2018.
- [12] C. Phethin, “Design and Construction of Automatic Radiator Leak Testing Machine Controlled by PLC,” B.E. Project, Dept. of Electrical Engineering, Siam University, Bangkok, Thailand, 2017.
- [13] R. Suwan, “Productivity Increasing In Production Process: Corn Milk Bottling,” M.S. Thesis, Dept. of Engineering Management, Dhurakij Pundit University, Bangkok, Thailand, 2014.
- [14] Pneuma System Co., Ltd, “*SIRCA Pneumatic Actuator Valve*,” [Online]. Available : <https://www.pneuma.co.th/product/182585>.
- [15] Mitsubishi Electric Factory Automation (Thailand) Co.,Ltd “*Basic PLC*,” [Online]. Available : <https://www.mitsubishielectric.com/fa/assist/e-learning/pdf/tha/1Program>.