การลดความสูญเสียจากเวลาในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวด ด้วยหลักการลดเวลาการเปลี่ยนงาน (SMED): กรณีศึกษาโรงงานน้ำปลา

Reduced Bottle-Filling Machine Setup Time Waste Using Single-Minute Exchange of Die (SMED): A Case Study of a Fish Sauce Plant

กฤษฎา ดลปัญญา*

Kitsada Dolpanya*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการประยุกต์ใช้หลักการการลดเวลาของการเปลี่ยนงาน (Single-Minute Exchange of Die: SMED) เพื่อลดความสูญเสียจากเวลาการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา การลดเวลาปรับตั้งเป็นส่วนสำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานและลดเวลาหยุดการทำงานของการผลิตให้เหลือน้อยที่สุด การเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการด้วยวิธีการสังเกตการณ์แบบไม่มีส่วนร่วม ด้วยข้อมูลจากข้อมูลภาพวีดีโอที่ได้ถูกบันทึกในเครื่องบันทึกวีดีโอของสถานประกอบการ เพื่อศึกษากระบวนการทำงานก่อนและหลังการประยุกต์ใช้ SMED ของพนักงานฝ่ายการผลิตในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา ผลจากการศึกษา พบว่า ทำให้เหลือกิจกรรมในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลาจากเดิม 13 กิจกรรมเหลือ 9 กิจกรรม ลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องเฉลี่ยจากเดิม 237 นาที เหลือเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 124 นาที หรือคิดเป็นลดลงร้อยละ 47.68 ผลของการศึกษาสามารถช่วยเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานสำหรับสถานประกอบการในอุตสาหกรรมบรรจุขวด ด้วยการนำหลักการของ SMED สำหรับการลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดต้นทุนการผลิตจากเวลาที่ลดลง

คำสำคัญ: การปรับตั้งเครื่องบรรจุขวด/ การลดเวลาของการเปลี่ยนงาน (SMED)/ โรงงานบรรจุน้ำปลา

Abstract

This study investigates the application of a Single-Minute Exchange of Die: SMED to reduce the setup time for the fish bottling-filling machine. The reduction of waste in bottle-filling setup time is a key aspect of enhancing work productivity while minimizing production downtime. The data was collected through a non-participant observation method, with video data recorded on the business's video recorder, in order to examine the manufacturing staff's pre- and post-work processes in setting up the bottle-filling machine. The study's findings found that reducing the remaining activities for adjusting the bottling machine setup time from 13 to 9 reduced the average setup time from 237 minutes to 124 minutes, or a 47.68 percent decrease. The findings of this study can help guide operations for businesses in the bottling industry by reducing machine set-up time using SMED principles in order to increase production efficiency and minimize production costs through reduced time.

Keyword: Bottle Filling Machine Setup Time/ Single-Minute Exchange of Die (SMED)/ Fish Sauce Plant

---

สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ระหว่างประเทศ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร

Department of International Logistics, Faculty of Management Science, Silpakorn University

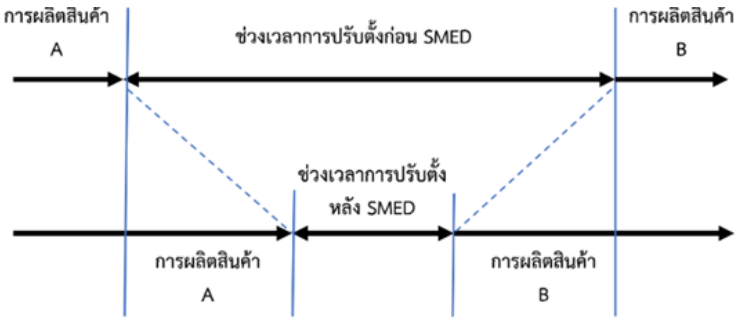
*Corresponding author: dolpanya_k@su.ac.th

Received : 10 มิถุนายน 2566/ Revised : 20 สิงหาคม 2566/ Accepted : 31 สิงหาคม 2566

1. บทนำ

เครื่องบรรจุขวดได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มสำหรับบรรจุของเหลว [1] เป็นเครื่องจักรที่อำนวยความสะดวกทำให้สามารถบรรจุของเหลวได้อย่างรวดเร็ว เช่นการบรรจุน้ำดื่ม น้ำผลไม้ และน้ำอัดลม จากการที่บรรจุภัณฑ์มีรูปแบบและขนาด ที่มีความหลากหลาย ทำให้เครื่องบรรจุขวดจำเป็นอย่างยิ่งต้องทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนการผลิตจากผลิตภัณฑ์หนึ่งไปเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งอาจใช้เวลานานและเครื่องบรรจุขวดจำเป็นต้องหยุดทำงานเพื่อทำการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวด ทำให้ลดประสิทธิภาพและต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้นได้อย่างมาก ซึ่งความสำคัญของการลดเวลาการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดจะช่วยลดเวลาหยุดทำงาน เป็นการเพิ่มเวลาทำงานของเครื่องจักร และช่วยให้ผู้ผลิตสามารถเปลี่ยนจากผลิตภัณฑ์หนึ่งไปยังอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งได้อย่างรวดเร็ว [2] ประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุขวดมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสถานประกอบการที่ต้องเผชิญกับแรงกดดันที่เพิ่มขึ้นจากภาวะการแข่งขันที่เพิ่มขึ้นและพฤติกรรมของลูกค้าเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม [1] การลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดจากการเปลี่ยนจากการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งไปยังอีกผลิตภัณฑ์หนึ่ง เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญของการในการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม

หลักการการลดเวลาของการเปลี่ยนงาน หรือ Single-Minute Exchange of Die (SMED) เป็นในวิธีการหนึ่งในการนำหลักการการผลิตแบบลีน (Lean Production) ที่พัฒนาขึ้นในช่วงปี 1950 โดย Shigeo Shingo วิศวกรอุตสาหการชาวญี่ปุ่น [2] เพื่อลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรในกระบวนการผลิต โดยอิงตามหลักการของการแยกกิจกรรมการปรับตั้งภายใน (Internal Setup Activities) และกิจกรรมการปรับตั้งภายนอก (External Setup Activities) ซึ่งการผลิตแบบลีน มีความสำคัญต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่มีการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตบ่อยครั้ง โดยที่การผลิตแบบลีนจะเกี่ยวข้องกับการจัดการความสูญเสียหรือสูญเปล่า (Wastes) ในกระบวนการผลิตและการดำเนินงานและการวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้าและเพิ่มคุณค่าในตัวผลิตภัณฑ์ [1,3] ในส่วนของหลักการ SMED ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายจากผู้ผลิตทั่วโลกในฐานะเป็นเครื่องมือหนึ่งที่สำคัญสำหรับการปรับปรุงกระบวนการผลิต [4,5] การประยุกต์ใช้หลักการ SMED จะช่วยให้ผู้ผลิตมีความยืดหยุ่นและตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าที่เปลี่ยนแปลงได้มาก ด้วยการลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร ผู้ผลิตสามารถปรับสายการผลิตที่มีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายสลับไปมาระหว่างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ หรือเมื่อจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตบ่อย ซึ่งผู้ผลิตสามารถปรับสายการผลิตได้อย่างรวดเร็ว ลดเวลาในการผลิตทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิต ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันและลดต้นทุนจากของเสียจากการผลิต รวมทั้งลดจำนวนสินค้าคงคลัง โดยที่หลักการ SMED [2] จะเป็นการแยกกิจกรรมการปรับตั้งภายในและกิจกรรมการปรับตั้งภายนอก และดำเนินการปรับกิจกรรมปรับตั้งภายในให้เป็นกิจกรรมภายนอก โดยกิจกรรมการปรับตั้งภายในเกี่ยวข้องกับกิจกรรมหรืองานที่จะทำได้ก็ต่อเมื่อเครื่องจักรหยุดการทำงานเท่านั้น ส่วนกิจกรรมการปรับตั้งภายนอกจะเป็นกิจกรรมหรืองานที่สามารถทำได้โดยไม่ต้องให้เครื่องจักรหยุดทำงาน (ดังภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การเปรียบเทียบช่วงเวลาก่อนและหลังการปรับตั้งด้วยหลักการ SMED (อ้างอิง: Ulutas [5])

การประยุกต์ใช้หลักการ SMED ได้มีการศึกษาในหลากหลายอุตสาหกรรมการผลิตเช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องดื่ม ตัวอย่างเช่น Sugarindra, Ikhwan, and Suryoputro [6] ศึกษาการประยุกต์ใช้หลักการ SMED เพื่อลดกระบวนการในการปรับตั้งเครื่องจักรในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์และพบว่าการประยุกต์ให้หลักการ SMED ช่วยลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรลดลง 33% และงานศึกษาในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์โดย Trovinger and Bohn [7] พบว่าเวลาการปรับตั้งลดลงเฉลี่ย 85% และสามารถประหยัดต้นทุนลง 1.7 ล้านเหรียญสหรัฐต่อปี ในส่วนอุตสาหกรรมเครื่องดื่มศึกษาโดย Borges Lopes, Freitas, and Sousa [1] พบว่าลดเวลาในการปรับตั้งลงอยู่ในช่วง 23-45% และประหยัดต้นทุนลงประมาณ 100 ยูโรต่อปี นอกจากการประยุกต์ใช้หลักการ SMED ในอุตสาหกรรมการผลิตแล้ว ยังมีการประยุกต์ใช้หลักการ SMED ในอุตสาหกรรมบริการ เช่น โลจิสติกส์และโซ่อุปทาน และการดูแลสุขภาพ ตัวอย่างเช่น สามารถใช้หลักการ SMED เพื่อลดเวลาในการจัดการสินค้าและจัดเรียงสินค้าในลานตู้คอนเทนเนอร์ [8] หรือในส่วนโรงพยาบาลจะลดเวลาที่ต้องใช้ในการโอนผู้ป่วยระหว่างแผนก [9] นอกจากนี้การประยุกต์หลักการ SMED ยังได้รวมเข้ากับเทคนิคการผลิตแบบลีนอื่นๆ เช่น Total Productive Maintenance (TPM), 5S และ Kanban [10,11] เมื่อใช้ร่วมกันวิธีการเหล่านี้สามารถสร้างวิธีการแบบองค์รวมในการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต ลดของเสียและสามารถเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า หลักการ SMED ไม่ใช่เป็นแนวคิดเพื่อใช้ในการปรับปรุงเพียงครั้งเดียว นอกจากนี้ SMED ยังเป็นกระบวนการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง การตรวจสอบและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการปรับตั้งเครื่องจักรเป็นประจำ ซึ่งสามารถนำไปสู่การปรับปรุงประสิทธิภาพและลดต้นทุนอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นหลักการ SMED จึงเป็นเครื่องมือที่มีเหมาะสำหรับองค์กรธุรกิจและอุตสาหกรรมที่ต้องใช้เครื่องบรรจุขวดสำหรับการบรรจุภัณฑ์สินค้า ซึ่งจะทำให้องค์กรธุรกิจสามารถคงสภาวะการแข่งขันด้านต้นทุนและสามารถปรับตัวเข้ากับความต้องการของตลาดที่เปลี่ยนแปลงไปอยู่ตลอดเวลา

การประยุกต์หลักการ SMED [2,5,12] สถานประกอบการสามารถลดเวลาที่จำเป็นในการเปลี่ยนจากผลิตภัณฑ์หนึ่งไปยังอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งได้ ซึ่งจะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรและลดต้นทุนการผลิต ในการศึกษานี้มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้หลักการ SMED ในโรงงานบรรจุน้ำปลา โดยเฉพาะการลดความสูญเสียจากเวลาในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลาเพื่อผลิตสินค้าได้ปริมาณที่ตรงต่อความต้องการของลูกค้า โดยที่ผลิตภัณฑ์น้ำปลาเป็นเครื่องปรุงที่สำคัญสำหรับใช้ในการปรุงอาหาร โดยเฉพาะอาหารประจำชาติไทย และการผลิตต้องใช้เครื่องจักรอุปกรณ์และกระบวนการเฉพาะในการผลิตน้ำปลา โดยที่ในกระบวนการบรรจุขวดน้ำปลาจะคำนึงถึงคุณสมบัติเฉพาะของการบรรจุน้ำปลา เช่นความหลากหลายของขนาดของบรรจุภัณฑ์ประเภทขวด ที่มีบรรจุภัณฑ์ที่เป็นขวดแก้วและขวดพลาสติกประเภทขวด PET (Polyethylene Terephthalate) ความหนืดของของเหลวและโอกาสในการปนเปื้อนในขั้นตอนการผลิต ซึ่งทำให้ใช้เวลาเพิ่มมากขึ้นในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวด ซึ่งจะเป็นการลดประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุขวดเนื่องจากการหยุดการผลิตในช่วงของการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลาสำหรับการเปลี่ยนขนาดของบรรจุภัณฑ์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้หลักการการลดเวลาของการเปลี่ยนงาน (SMED) เพื่อลดความสูญเสียจากเวลาการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา การลดเวลาปรับตั้งเป็นส่วนสำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานและลดเวลาหยุดการทำงานของการผลิตให้เหลือน้อยที่สุด ด้วยการวิเคราะห์กระบวนการปัจจุบันของการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวด ระบุกิจกรรมที่ทำให้เกิดเวลาสูญเปล่าในกระบวนการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำ และดำเนินการประยุกต์ใช้หลักการ SMED เพื่อประเมินประสิทธิผลของการนำหลักการลดเวลาของการเปลี่ยนงาน (SMED) มาใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิต การศึกษานี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการผลิตแบบลีน (Lean Production) [3,13] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการบรรจุน้ำปลา นอกจากนี้การศึกษานี้ยังสามารถช่วยให้นักวิจัยและสถานประกอบการเข้าใจถึงประโยชน์ของการนำหลักการ SMED ไปใช้ในอุตสาหกรรมการบรรจุขวด และสามารถนำหลักการไปปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล รวมทั้งเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาในอนาคตด้วยหลักการการผลิตแบบลีนด้วยการประยุกต์ใช้หลักการ SMED

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาพการปฏิบัติงานปัจจุบัน ในกระบวนการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา

2. เพื่อระบุกิจกรรมที่ทำให้เกิดเวลาสูญเสียในกระบวนการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา

3. เพื่อประเมินผลจากการลดความสูญเสียจากเวลาในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา ด้วยการนำหลักการลดเวลาของการเปลี่ยนงาน (SMED) ไปใช้ในปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิต

2. วัสดุและวิธีการ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) เพื่อค้นหาประเด็นและปัญหาในโรงงานผลิตและบรรจุขวดน้ำปลา และดำเนินการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงวิธีการปฏิบัติการอย่างเป็นระบบด้วยการประยุกต์ใช้หลักการ SMED ซึ่งการวิจัยนี้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยวิธีการสังเกตการณ์แบบไม่มีส่วนร่วม (Non-Participant observation) [14,15] ด้วยการสังเกตแบบบันทึกช่วงเวลา (Interval Recording) เป็นการสังเกตและบันทึกพฤติกรรมในช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อเลือกบันทึกเฉพาะช่วงเวลาที่เกิดพฤติกรรมเป้าหมาย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยผู้อำนวยการบริหารจำนวน 1 คน และพนักงานฝ่ายการผลิตที่ปฏิบัติงานในโรงงานผลิตและบรรจุขวดน้ำปลา จำนวน 4 คน ที่มีหน้าที่และประสบการณ์ในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดมาไม่น้อยกว่า 1 ปี การทำงานจะแบ่งออกเป็นจำนวนสองกะการทำงาน โดยที่กะการทำงานแรกจะอยู่ในช่วง 8:00น.-17.00น. (กะกลางวัน) และกะทำงานที่สองจะอยู่ในช่วง 20:00น.-5:00น. (กะกลางคืน) การเลือกกลุ่มตัวอย่างจะเป็นแบบเจาะจง (Purposive Sampling) [16] จะประกอบไปด้วยพนักงานฝ่ายผลิต จำนวน 4 คน

เครื่องมือในการเก็บข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลประกอบไปด้วยกล้องวงจรปิดจำนวน 3 เครื่อง เครื่องบันทึกวีดีโอจำนวน 1 เครื่อง และข้อมูลภาพวีดีโอจากการทำงานที่บันทึกไว้ในเครื่องบันทึกวีดีโอ ซึ่งได้ทำการบันทึกวีดีโอตลอด 24 ชั่วโมงทุกวัน จากการปฏิบัติงานของพนักงานฝ่ายการผลิตจำนวน 4 คน โดยทำการเลือกข้อมูลภาพวีดีโอในช่วงก่อนและหลังที่มีการประยุกต์ใช้หลักการ SMED เพื่อสังเกตและบันทึกพฤติกรรมในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา และเลือกบันทึกเฉพาะช่วงเวลาที่เกิดพฤติกรรมเป้าหมาย คือในช่วงเวลาที่มีการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยนี้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยวิธีการสังเกตการณ์แบบไม่มีส่วนร่วม (Non-Participant Observation) [14,15] การสังเกตการณ์จากข้อมูลภาพ [17,18,19] จะเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการดำเนินการเนื่องจากผู้วิจัยสามารถสังเกตการณ์เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในกระบวนการทำงาน ไม่มีการแทรกแซงกระบวนการในการทำงาน และพนักงานไม่รู้สึกถูกกดดันจากการเข้ามาสังเกตการณ์ การดำเนินงานเก็บข้อมูลมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ 1) ส่งหนังสือขอความอนุเคราะห์ในการเข้าไปดำเนินการสังเกตการณ์แบบไม่มีส่วนร่วมกับสถานประกอบการและขออนุญาตกับผู้บริหารของสถานประกอบการในการเก็บข้อมูลจากข้อมูลภาพวีดีโอ 2) ดำเนินการประชุมกับผู้อำนวยการบริหารเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้นในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวด 3) ดำเนินการศึกษาสภาพการปฏิบัติงาน (Work Study) ปัจจุบันของกระบวนการปรับตั้งเครื่องบรรจุน้ำปลา 4) ดำเนินการเก็บข้อมูลจากข้อมูลภาพวีดีโอที่ได้ถูกบันทึกในเครื่องบันทึกวีดีโอ โดยเริ่มตั้งแต่วันที่ 5 พฤษภาคม 2566 ถึง 5 มิถุนายน 2566 ทำการเลือกข้อมูลภาพวีดีโอในช่วงที่มีการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดก่อนการประยุกต์หลักการ SMED และข้อมูลภาพวีดีโอในช่วงที่มีการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดหลังมีการประยุกต์หลักการ SMED เพื่อดำเนินการวิเคราะห์กระบวนการทำงานของพนักงานฝ่ายการผลิตในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา โดยเลือกบันทึกและวิเคราะห์เฉพาะช่วงเวลาที่เกิดพฤติกรรมของพนักงานที่มีการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา 5) ดำเนินการประชุมกับผู้อำนวยการบริหารเพื่อพิจารณาความถูกต้องของข้อมูลที่นำมาจากเครื่องบันทึกวีดีโอของสถานประกอบการ

การวิเคราะห์ข้อมูล

ศึกษาสภาพการปฏิบัติงานปัจจุบันโดยการศึกษาการทำงาน (Work Study) [20] ของกระบวนการปรับตั้งเครื่องบรรจุน้ำปลา (Method Study) ผ่านการจับเวลาการทำงานเพื่อหาเวลาในการปฏิบัติงานของแต่ละกิจกรรม โดยเลือกความเชื่อมั่น 95% และความผิดพลาด ±5% เพื่อใช้หาค่าเฉลี่ยของเวลาการทำงาน ดังในสมการที่ 1

$$N = [\frac{40\sqrt{n\sum x^2-(\sum x)^2}}{\sum x}]^2 \quad \text{(สมการที่ 1)}$$

โดยที่

N = จำนวนครั้งในการจับเวลาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และความผิดพลาด ±5%

n = จำนวนครั้งการจับเวลาเบื้องต้น

x = ค่าเวลาที่จับได้ในแต่ละครั้ง

การหาจำนวนครั้งในการจับเวลา โดยข้อมูลการจับเวลาเบื้องต้นกำหนดให้เป็นการจับเวลาจำนวน 20 ครั้งทุกขั้นตอน และภายหลังจากการได้ข้อมูลจำนวนครั้งในการจับเวลา จะดำเนินการตรวจสอบข้อมูลและยืนยันข้อมูล ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และความผิดพลาด ±5% ดังสมการที่ 1

หาก n › 20 จำเป็นต้องจับเวลาเพิ่มเพื่อให้ครบจำนวนครั้ง n ที่คำนวณได้

และหาก n ≤ 20 สามารถสรุปได้ว่า การจับเวลา 20 ครั้ง ค่าเฉลี่ยของเวลาสามารถเป็นตัวแทนของข้อมูล ได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และความผิดพลาด ±5%

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยหลักการ SMED [2,5,10,21] เพื่อลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดในโรงงานบรรจุขวดน้ำปลา มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ระบุปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา

ระบุกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการปรับตั้งภายในและภายนอกทั้งหมดในกระบวนการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา

แยกกิจกรรมการปรับตั้งภายในและภายนอก และพัฒนาขั้นตอนเพื่อแปลงกิจกรรมการปรับตั้งภายในให้เป็นกิจกรรมปรับตั้งภายนอก โดยการจัดลำดับกิจกรรมใหม่ ปรับปรุงการเข้าถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ ทำให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น

ปรับปรุงกิจกรรมการปรับตั้งภายนอกเพื่อลดเวลาที่ต้องใช้ในการดำเนินการให้เสร็จสิ้น

ทำการทดลองใช้งานเพื่อทดสอบกระบวนการปรับตั้งใหม่และทำการระบุด้านต่าง ๆที่ต้องมีการปรับปรุงเพิ่มเติม

การขอรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน

ผู้วิจัยได้ส่งโครงการร่างงานวิจัยและเครื่องมือในการเก็บข้อมูลเพื่อขอรับการพิจารณารับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ประจำมหาวิทยาลัยศิลปากร และได้รับการพิจารณารับรองโครงการวิจัย เลขที่โครงการ REC 66.0425-056-4345 วันที่รับรอง 2 พฤษภาคม 2566

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

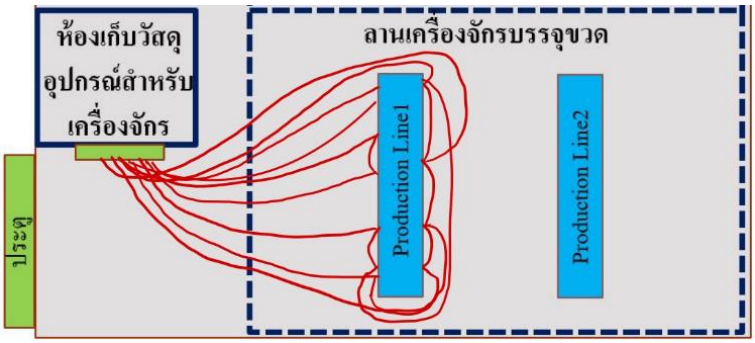
3.1 การศึกษาสภาพการปฏิบัติงานปัจจุบันโดยการศึกษาการทำงาน (Work Study)

การศึกษาสภาพการปฏิบัติงานปัจจุบันของการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา การวิจัยนี้ดำเนินการวิเคราะห์จากปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำปลาบรรจุขวด พบว่า ความสูญสียจากเวลาจากการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา เกิดจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมอุปกรณ์ปรับตั้งเครื่อง ซึ่งมาจากการสูญเสียเวลาจากการเดินเพื่อเตรียมอุปกรณ์ปรับตั้งของพนักงานระหว่างลานเครื่องจักรบรรจุขวดกับห้องเก็บวัสดุอุปกรณ์สำหรับเครื่องจักร และจากการศึกษาเส้นทางการเดินของพนักงานปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา ได้มีการประยุกต์ใช้แผนภาพสปาเก็ตตี้ (Spaghetti Diagram) [22,23] เพื่อช่วยให้เห็นเส้นทางการเดินของพนักงานในช่วงที่ทำการปรับตั้งเครื่องจักร ซึ่งผลการศึกษาการดำเนินการปรับตั้งของพนักงานและเส้นทางการเดิน พบว่า สถานะปัจจุบันของกิจกรรมการปรับตั้งเครื่องจักรเป็นกิจกรรมการปรับตั้งภายในทุกกิจกรรม (ดังภาพที่ 2 และตารางที่ 1) ซึ่งมีกิจกรรมในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา ทั้งสิ้น 13 กิจกรรม ทั้งนี้จากการรวบรวมข้อมูลหาเวลาเฉลี่ยของแต่ละกิจกรรมในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา กำหนดให้จำนวนครั้งการจับเวลาเบื้องต้น จำนวน 20 ครั้ง เพื่อหาจำนวนครั้งในการจับเวลาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และความผิดพลาด ±5% ตามสมการที่ 1 พบว่า ไม่จำเป็นต้องดำเนินการจับเวลาเพิ่มเติมจากจำนวน 20 ครั้ง นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลในแต่ละกิจกรรมสามารถเป็นตัวแทนของข้อมูลดังกล่าวได้ เนื่องจากชุดข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.2 การปรับปรุงการลดความสูญเสียจากเวลาในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา

การวิเคราะห์ขั้นตอนการปรับปรุงการลดความสูญเสียจากเวลาในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา ขั้นตอนถัดมาจะเป็นการแยกกิจกรรมการปรับตั้งภายในและภายนอก พร้อมทั้งพัฒนาขั้นตอนเพื่อแปลงกิจกรรมที่สามารถทำการปรับตั้งภายในให้เป็นกิจกรรม

ที่สามารถนำไปเป็นการปรับตั้งภายนอกได้ และจากเส้นทางการเดินของพนักงานจะสามารถทำการระบุรายละเอียดกิจกรรมที่เกี่ยวข้องในกระบวนการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา ด้วยการแยก ดังตารางที่ 1 พบว่า กิจกรรมที่ 1, 2, 5, และ 8 สามารถปรับจากการเป็นกิจกรรมภายในให้เป็นกิจกรรมภายนอกได้ เพื่อลดความสูญเสียจากการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา

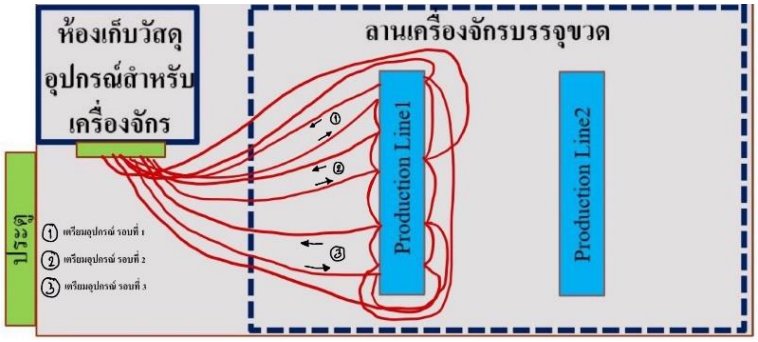


ภาพที่ 2 แผนภาพสปาเก็ตตี้เกี่ยวกับสภาพปัจจุบันเส้นทางการเดินของพนักงานปรับตั้งเครื่อง

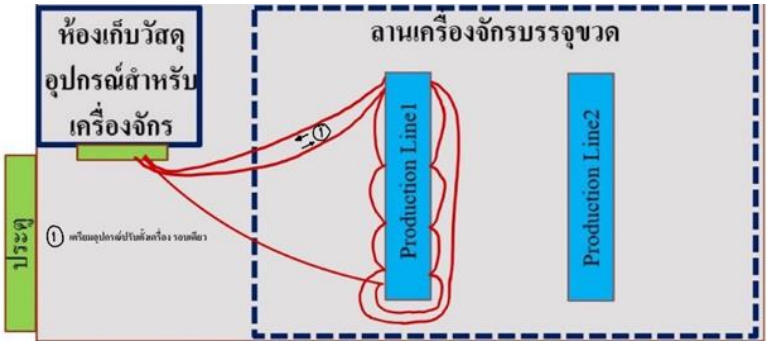
ตารางที่ 1 การแยกกิจกรรมภายในและภายนอกในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา

ลำดับที่	กิจกรรม/ขั้นตอน	สถานะปัจจุบัน	แยกกิจกรรมการปรับตั้งเพื่อการปรับปรุง	
			ภายใน	ภายนอก
1	ระบุขนาดความสูงของขวดที่ต้องการปรับตั้ง	ภายใน		✓
2	เตรียมอุปกรณ์ปรับตั้งเครื่อง รอบที่ 1	ภายใน		✓
3	ปรับตั้งความสูงของแท่นวางขวด	ภายใน	✓	
4	ปรับตั้งระยะห่างขวด ตัวกั้น และรางบนสายพานลำเลียง	ภายใน	✓	
5	เตรียมอุปกรณ์ปรับตั้งเครื่อง รอบที่ 2	ภายใน		✓
6	ปรับเทียบเซ็นเซอร์ตรวจจับขวด	ภายใน	✓	
7	ปรับตั้งความไวของเซ็นเซอร์เพื่อตรวจจับตำแหน่งขวด	ภายใน	✓	
8	เตรียมอุปกรณ์ปรับตั้งเครื่อง รอบที่ 3	ภายใน		✓
9	ปรับตั้งขนาดหัวบรรจุของเหลว	ภายใน	✓	
10	ปรับตั้งระบบควบคุมการไหลของวาล์วบรรจุของเหลว	ภายใน	✓	
11	ตรวจสอบอุปกรณ์ระบบลม	ภายใน	✓	
12	ทำการทดสอบกับชุดขวดตัวอย่าง	ภายใน	✓	
13	ตรวจสอบระดับและแนวของการบรรจุขวด	ภายใน	✓	

จากการพัฒนาขั้นตอนเพื่อแปลงกิจกรรมการปรับตั้งภายในให้เป็นกิจกรรมปรับตั้งภายนอก ทำให้ทราบว่ากิจกรรมที่ 1, 2, 5, และ 8 สามารถเปลี่ยนเป็นกิจกรรมภายนอกได้ ซึ่งกิจกรรมภายนอกจะสามารถดำเนินการจัดเตรียมไว้ก่อนที่จะดำเนินการทำการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดได้ และถ้ากิจกรรมภายนอกจากการปรับตั้งเครื่องไม่ได้รับการจัดเตรียมอย่างถูกต้อง เช่นไม่พบอุปกรณ์ปรับตั้งที่จำเป็นในกิจกรรมปรับตั้งจะส่งผลทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องหยุดเครื่องบรรจุขวดนานขึ้น และใช้เวลาในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดนานขึ้น และพบว่าเวลาที่สูญเสียในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดจะเป็นเวลาในการเตรียมอุปกรณ์ปรับตั้งเครื่อง จำนวน 3 รอบการเดินเตรียมอุปกรณ์สำหรับการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา ทำให้เวลาเฉลี่ยรวมในการปรับตั้งเครื่องอยู่ที่ 237 นาที ดังนั้นการดำเนินปรับปรุงการเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมภายนอก โดยการจัดลำดับของกิจกรรมใหม่ ด้วยการปรับปรุงการเข้าถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ในการปรับตั้งเครื่อง ซึ่งทำให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น



ภาพที่ 3 แผนภาพสปาเก็ตตี้รายละเอียดเส้นทางเดินปรับตั้งเครื่องจักรก่อนประยุกต์ SMED



ภาพที่ 4 แผนภาพสปาเก็ตตี้รายละเอียดเส้นทางเดินปรับตั้งเครื่องจักรหลังประยุกต์ SMED

จากแผนภาพสปาเก็ตตี้รายละเอียดเส้นทางเดินในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวด ทำให้สามารถเปรียบเทียบเส้นทางเดินของพนักงานปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดก่อน (ภาพที่ 3) และหลัง (ภาพที่4) การประยุกต์ใช้หลักการ SMED และจากสมการที่ 1 จะได้จำนวนครั้งในการจับเวลาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และความผิดพลาด ± 5% ในแต่ละกิจกรรมจำนวน 20 ครั้ง ทั้งก่อนและหลังที่มีการประยุกต์ใช้หลักการ SMED ซึ่งในการหาค่าเฉลี่ยของเวลาในแต่ละกิจกรรม พบว่า มีเวลาเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละกิจกรรมก่อนและหลัง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบกิจกรรมการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดก่อนและหลัง SMED

ลำดับที่	กิจกรรม/ขั้นตอน	ก่อน SMED		หลัง SMED	
		เวลาการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดเฉลี่ย (นาที)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	เวลาการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดเฉลี่ย (นาที)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	ระบุขนาดความสูงของขวดที่ต้องการปรับตั้ง	4	0.862	-	-
2	เตรียมอุปกรณ์ปรับตั้งเครื่อง รอบที่ 1	43	3.924	-	-
3	ปรับตั้งความสูงของแท่นวางขวด	19	2.473	20	1.302
4	ปรับตั้งระยะห่างขวด ตัวกั้น และรางบนสายพานลำเลียง	21	2.145	17	1.729
5	เตรียมอุปกรณ์ปรับตั้งเครื่อง รอบที่ 2	41	2.498	-	-
6	ปรับเทียบเซ็นเซอร์ตรวจจับขวด	9	2.210	9	1.436

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบกิจกรรมการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดก่อนและหลัง SMED (ต่อ)

ลำดับที่	กิจกรรม/ขั้นตอน	ก่อน SMED		หลัง SMED	
		เวลาการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดเฉลี่ย (นาที)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	เวลาการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดเฉลี่ย (นาที)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
7	ปรับตั้งความไวของเซ็นเซอร์เพื่อตรวจจับตำแหน่งขวด	12	2.282	11	1.603
8	เตรียมอุปกรณ์ปรับตั้งเครื่อง รอบที่ 3	21	2.401	-	-
9	ปรับตั้งขนาดหัวบรรจุของเหลว	12	1.877	12	1.631
10	ปรับตั้งระบบควบคุมการไหลของวาล์วบรรจุของเหลว	20	2.410	21	2.075
11	ตรวจสอบอุปกรณ์ระบบลม	3	1.163	4	0.768
12	ทำการทดสอบกับชุดขวดตัวอย่าง	19	2.631	20	2.349
13	ตรวจสอบระดับและแนวของการบรรจุขวด	11	2.624	10	1.105
	เวลาเฉลี่ย (นาที)	**237**		**124**	

ผลการศึกษาเวลาเพื่อตรวจสอบความเชื่อมั่นของข้อมูลพบว่าทุกขั้นตอนมีจำนวนครั้ง (n) น้อยกว่า 20 ทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของเวลาสามารถเป็นตัวแทนของข้อมูล พร้อมกันนี้ได้ และมีการนำเสนอการปรับปรุงกิจกรรมการปรับตั้งภายนอกเพื่อลดเวลาที่ใช้ในการดำเนินการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวด ด้วยการประยุกต์ใช้รถเข็นเครื่องมือช่างสำหรับเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวด (ดังภาพที่ 5) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ช่วยในการเคลื่อนย้ายเพื่อลดเวลาและระยะทางจากรอบการเดินของพนักงานในการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ปรับตั้งเครื่องจักร จะเป็นระยะทางจากลานเครื่องบรรจุขวดและห้องเก็บวัสดุอุปกรณ์สำหรับปรับตั้งเครื่องบรรจุขวด ทำให้สามารถลดขั้นตอนในการเตรียมอุปกรณ์ปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดจาก 3 รอบ เหลือเพียง 1 รอบ โดยเวลาในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดลดลงจาก 237 นาที เป็น 124 นาที หรือเฉลี่ยลดลง 113 นาที

3.3 การประเมินผลจากการลดความสูญเสียจากเวลาในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา

การประเมินผลจากปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลาที่มีเวลาในการปรับตั้งเครื่องอยู่เฉลี่ย 237 นาที ซึ่งเป็นเวลาเฉลี่ยก่อนประยุกต์ใช้หลักการ SMED และหลังจากการใช้หลักการ SMED เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 124 นาที ทำให้เวลาเฉลี่ยในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลาลดลง 113 นาที หรือเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดลดลง 47.68% (ดังตารางที่ 3) แสดงให้เห็นว่า การนำหลักการของ SMED จากการลดเวลาการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวด มีผลต่อการลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรและสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงานการผลิตโดยรวมของโรงงานบรรจุขวดน้ำปลา

ภาพที่ 5 รถเข็นเครื่องมือช่างสำหรับเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ปรับตั้งเครื่องจักร
(แหล่งอ้างอิง: https://mobile-shop.com/product/pm-cart/)

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลของการปรับปรุงในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวด

เวลาปรับตั้งเครื่องบรรจุขวด			
ก่อน SMED	**หลัง SMED**	**เวลาเปลี่ยนแปลง**	**ร้อยละการเปลี่ยนแปลง**
237 นาที	124 นาที	ลดลง 113 นาที	ลดลงร้อยละ 47.68

อภิปรายผล

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์กระบวนปัจจุบันของการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา เพื่อระบุกิจกรรมที่ทำให้เกิดเวลาสูญเปล่าในกระบวนการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา และได้ดำเนินการนำหลักการลดเวลาของการเปลี่ยนงาน (SMED) มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิตและลดเวลาการปรับตั้งลง ซึ่ง SMED มีส่วนช่วยในการระบุปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา โดยเน้นส่วนที่สามารถทำการปรับปรุงผ่านการแปลงกิจกรรมการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวด จากกิจกรรมปรับตั้งเครื่องจักรภายในเป็นกิจกรรมปรับตั้งเครื่องจักรภายนอก พร้อมทั้งการระบุขั้นตอนการดำเนินงานที่เป็นเหมาะสมต่อโรงงานบรรจุขวดน้ำปลา และเป็นความคิดริเริ่มในการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในกระบวนการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับผลของการศึกษาของ [1,6,7] นอกจากนี้การศึกษานี้มีส่วนช่วยในการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุขวดและความสำคัญของการลดเวลาในการผลิต เช่นอุตสาหกรรมบรรจุน้ำดื่ม [24] และอุตสาหกรรมบรรจุยาขวด [25] ดังนั้นสถานประกอบการสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต ลดเวลาหยุดทำงาน เพิ่มเวลาทำงานของเครื่องบรรจุขวด สามารถส่งมอบผลิตภัณฑ์สู่ตลาดได้รวดเร็วยิ่งขึ้น รวมทั้งเพิ่มความได้เปรียบทางการแข่งขัน ดังนั้นผลของการศึกษาเป็นการการผสมผสานระหว่างผลงานทางวิชาการและผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งช่วยเป็นแนวทางปฏิบัติที่ดี (Good Practice) ของขั้นตอนในการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา ในการนำหลักการของ SMED สำหรับการลดเวลาการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา มาใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงานโดยรวมของสถานประกอบการ

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป สามารถทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการการปรับปรุงกิจกรรมภายในของการปรับตั้งเครื่องบรรจุขวดน้ำปลา เช่น กิจกรรมภายในที่มีการปรับตั้งเกิน 20 นาที ดังเช่นกิจกรรมที่ 3, 10 และ 12 ด้วยการศึกษาการเคลื่อนไหวแบบละเอียดซึ่งเกิดจากการเคลื่อนไหวพื้นฐานของสองมือ พร้อมบันทึกการเคลื่อนไหวลงใน Micromotion Analysis Sheet เพื่อใช้ประกอบการปรับปรุงการทำงาน [26]

ข้อจำกัดของการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากสถานประกอบการโรงงานบรรจุขวดน้ำปลา มีมาตรการณ์ในการไม่อนุญาตนำข้อมูลด้านภาพถ่ายและภาพวีดีโอของกระบวนการผลิตภายในสถานประกอบการ ออกเผยแพร่นอกสถานประกอบการ ดังนั้นการศึกษานี้จะนำภาพประกอบที่เกี่ยวข้อง จากภายนอกพร้อมการอ้างอิงแหล่งที่มาของภาพมาประกอบ มาใช้ประกอบเพิ่มเติม เช่น ภาพรถเข็นเครื่องมือช่างสำหรับเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ปรับตั้งเครื่องจักร ซึ่งข้อจำกัดดังกล่าวไม่มีผลกระทบต่อผลลัพธ์ของการวิจัยนี้

4. เอกสารอ้างอิง

1. Borges Lopes R, Freitas F, Sousa I. Application of lean manufacturing tools in the food and beverage industries. Journal of Technology Management & Innovation. 2015;10(3):120-30.
2. Dillon AP, Shingo S. A Revolution in Manufacturing: The SMED System: CRC Press; 1985.
3. Askin RG, Goldberg JB. Design and Analysis of Lean Production Systems: John Wiley and Sons; 2007.
4. Malindzakova M, Malindzak D, Garaj P. Implementation of the single minute exchange of dies method for reducing changeover time in a hygiene production company. International Journal of Industrial Engineering and Management 2021;12(4):243-52.
5. Ulutas B. An application of SMED methodology. International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering 2011;5(7): 1194-7.

6. Sugarindra M, Ikhwan M, Suryoputro M. Single Minute Exchange of Dies as The Solution on Setup Processes Optimization by Decreasing Changeover Time, A Case Study in Automotive Part Industry. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019;598:Article No 012026.
7. Trovinger SC, Bohn RE. Setup time reduction for electronics assembly: Combining simple (SMED) and IT-based methods. Production and Operations Management 2005;14(2): 205-17.
8. Kusrini E, Parmasari AN. Productivity improvement for unit terminal container using lean supply chain management and single minute exchange of dies (SMED): A case study at Semarang Port in Indonesia. International Journal of Integrated Engineering 2020;12 (1):122-31.
9. Bonamigo A, Bernardes PMM, Conrado LF, Torres LF, Calado RD. Patient flow optimization: SMED adoption in emergency care units. IFAC-PapersOnLine 2022;55 (10):204-9.
10. Guzel D, Asiabi AS. Improvement setup time by using SMED and 5S (an application in SME). International Journal of Scientific and Technology Research 2020;9(1):3727-32.
11. Runtuk JK. Set up time reduction using single minute exchange of dies (SMED) and 5S: A case study. JIE Scientific Journal on Research and Application of Industrial System 2021;6(2):162-71.
12. McIntosh R, Owen G, Culley S, Mileham T. Changeover improvement: Reinterpreting shingo's "SMED" methodology. IEEE Transactions on Engineering Management 2007;54(1):98-111.
13. Mulla M, Bhatwadekar S, Pandit S. Implementation of lean manufacturing through the technique of single minute exchange or die (SMED) to reduce change over time. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology 2014; 3(6):13069-76.
14. Cooper J, Lewis R, Urquhart C. Using participant or non-participant observation to explain information behavior. Information Research 2004;9(4):9-4.
15. Handley M, Bunn F, Lynch J, Goodman C. Using non-participant observation to uncover mechanisms: Insights from a realist evaluation. Evaluation 2020;26(3):380-93.
16. Palinkas LA, Horwitz SM, Green CA, Wisdom JP, Duan N, Hoagwood K. Purposeful sampling for qualitative data collection and analysis in mixed method implementation Research. Administration and Policy in Mental Health and Mental Health Services Research 2015;42(5):533-44.
17. Asan O, Montague E. Using video-based observation research methods in primary care health encounters to evaluate complex interactions. Informatics in Primary Care 2014;21(4):161-70.
18. Caldwell K, Atwal A. Non-participant observation: Using video tapes to collect data in nursing research. Nurse Researcher 2005;13(2):42-54.
19. Ciesielska M, Boström KW, Öhlander M. Observation methods. In Ciesielska M, Jemielniak D, editors. Qualitative Methodologies in Organization Studies: Volume II: Methods and Possibilities. Palgrave Macmillan; 2018. p. 33-52.
20. Hasabe A, Hakde A, Khandagle A, Surve K. Single minute exchange of dies (SMED) concept. International Research Journal of Eng Technol 2019;6(04):4665-9.
21. Athikulrat, A. A Standard Time Study of Install the Paint Mold: A Case Study of Magnetic Annex Supply Partnership. Journal of Engineering, RMUTT 2019; 17(1):77-90.
22. Pyzdek T. Spaghetti Diagrams. The Lean Healthcare Handbook: A Complete Guide to Creating Healthcare Workplaces: Springer; 2021:25-8.

23. Senderska K, Mareš A, Václav Š. Spaghetti Diagram application for workers' movement analysis. UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering 2017;79(1):139-50.
24. Benyathiar P, Kumar P, Carpenter G, Brace J, Mishra DK. Polyethylene terephthalate (PET) bottle-to-bottle recycling for the beverage industry: A review. Polymers 2022;14(12): 2366-95.
25. Lonca G, Lesage P, Majeau-Bettez G, Bernard S, Margni M. Assessing scaling effects of circular economy strategies: A case study on plastic bottle closed-loop recycling in the USA PET market. Resources, Conservation and Recycling 2020;162:105013-23.
26. Athikulrat, A. Productivity improvement by fundamental of hand motions: A case study of assembly line in an electronics company. RMUTP Research Journal 2017;11(1):165-76.