

การศึกษาผลกระทบจากเครื่องติดฉลากแบบใช้กาวด้วยเซ็นเซอร์

แบบอินฟราเรด

A STUDY ON THE IMPACT OF A GLUE-BASED LABELING MACHINE USING AN INFRARED SENSOR

รัตนภรณ์ บุญเจริญ^{*1} กิตติคม นนท์ประสาธ²Rattanaporn Booncharen¹ Kittikom Nontprasat²^{*1,2} คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา การจัดการอุตสาหกรรม, วิทยาลัยเชียงราย^{*1,2} Faculty of Industrial Engineering, Chiang Rai College^{*} E-mail ผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding Author): rattanaporn.14032540@gmail.com

วันที่รับบทความ 23 มิถุนายน 2569 วันที่แก้ไขบทความ 18 สิงหาคม 2569 วันที่ตอบรับบทความ 24 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

กระบวนการติดฉลากบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรมอาหารประกอบประสบปัญหาความไม่เสถียรและเกิดของเสียจากการผลิต เช่น ฉลากพับและฉลากเหลื่อม ปัญหานี้มีสาเหตุหลักมาจากระบบควบคุมแบบวงเปิดขาดความแม่นยำ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของมุมเซ็นเซอร์อินฟราเรดที่มีต่อประสิทธิภาพและเสถียรภาพของกระบวนการติดฉลากประกอบในสายการผลิตจริง ผู้วิจัยประยุกต์ใช้แนวคิดการควบคุมกระบวนการทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนและประเมินประสิทธิภาพของระบบ การทดลองทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องติดฉลากเดิมกับเครื่องต้นแบบที่ติดตั้งเซ็นเซอร์อินฟราเรดที่มุม 35 องศา 25 องศา และ 15 องศา การทดสอบทำมุมละ 4 ครั้ง ครั้งละ 30 กระป๋อง รวม 120 กระป๋องต่อสภาวะภายใต้สภาวะการทำงานเดียวกันในสายการผลิตจริง ข้อมูลจำนวนกระป๋องที่ติดฉลากถูกต้องถูกรวบรวมและวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า การติดตั้งเซ็นเซอร์ที่มุม 15 องศาให้ประสิทธิภาพสูงสุดโดยติดฉลากสมบูรณ์เฉลี่ย 28.50 กระป๋องต่อรอบ (S.D. = 1.29) หรือร้อยละ 95.00 การปรับปรุงนี้ลดอัตราการเกิดของเสียรวมลงเหลือร้อยละ 5.00 ระบบเดิมที่ไม่มีการควบคุมมุมพบของเสียร้อยละ 72.50 (ติดฉลากสมบูรณ์เฉลี่ย 8.25 กระป๋องต่อรอบ, S.D. = 1.50) การติดตั้งที่มุม 15 องศาไม่พบปัญหาฉลากป็นตะเข็บ ฉลากเหลื่อม และฉลากฉีกขาด การติดตั้งเซ็นเซอร์มุม 15 องศาสามารถเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งเริ่มต้น (Home Position) และลดสัญญาณรบกวนจากการสะท้อนของผิวโลหะ กระบวนการผลิตมีความเสถียรและลดต้นทุนการสูญเสียวัสดุฉลากในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์

คำสำคัญ : เซ็นเซอร์อินฟราเรด; เครื่องติดฉลากแบบใช้กาว; ฉลากติดอาหารกระป๋อง; การลดของเสีย

Abstract

The packaging labeling process in the canned food industry faces instability and production waste, such as folded or misaligned labels, caused by the lack of precision in traditional open-loop control systems. This research investigates the effect of infrared sensor installation angles on the efficiency and stability of the can labeling process in an actual production line. Statistical Process Control (SPC) techniques were applied to analyze process variation and assess production system performance. The experiment compared a conventional labeling machine with an improved prototype equipped with infrared sensors installed at angles of 35°, 25°, and 15°. Each condition underwent 4 experimental runs with 30 cans per run, totaling 120 cans per condition under identical operating conditions in the actual production environment. The quantity of correctly labeled cans was analyzed using descriptive statistics, including mean and standard deviation. The results showed that the 15-degree installation angle achieved the highest performance, completing an average of 28.50 correctly labeled cans per run (S.D. = 1.29), or a 95.00% success rate. This modification decreased the total defect rate to 5.00%. The original system exhibited a waste rate of 72.50% (averaging 8.25 correctly labeled cans per run, S.D. = 1.50). The 15-degree installation angle completely eliminated overlapped seam, misalignment, and label tearing defects. Positioning the sensor at 15 degrees enhanced the accuracy of identifying the initial labeling position (Home Position) and reduced optical noise from specular reflections off metal surfaces. Consequently, the production process attained higher stability and reduced material loss costs in the packaging industry.

Keywords: Infrared Sensor; Glue-Based Labeling Machine; Paper Labels in Canned Food Packaging; Waste Reduction

1. บทนำ

อุตสาหกรรมอาหารกระป๋องนับเป็นหนึ่งในภาคการผลิตที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบเศรษฐกิจทั้งในระดับประเทศและระดับโลก เนื่องจากการขยายตัวของจำนวนประชากรและการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของผู้คนที่ต้องการความสะดวกรวดเร็วในการบริโภค กระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนและบรรจุลงในกระป๋องโลหะช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ ปกป้องอาหารจากปัจจัยภายนอก และยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ [1] อีกทั้งยังช่วยปกป้องคุณภาพของอาหารจากปัจจัยภายนอก เช่น แสงแดด อากาศ และความชื้น ทำให้สามารถขนส่งผลิตภัณฑ์กระจายออกไปสู่ตลาดที่อยู่ห่างไกลได้อย่างปลอดภัย อุตสาหกรรมอาหารแปรรูปและอาหารกระป๋องของไทยสร้างมูลค่าการส่งออกกว่า 6.5 แสนล้านบาทต่อปี และมีปริมาณการผลิตขยายตัวอย่างต่อเนื่อง [2] ซึ่งความสำเร็จของอุตสาหกรรมนี้ไม่ได้พึ่งพาเพียงแค่คุณภาพของวัตถุดิบภายในกระป๋องเท่านั้น แต่ยังต้องอาศัยการบริหารจัดการระบบการผลิตและเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ที่มีมาตรฐานสูง เพื่อให้สามารถรองรับกำลังการผลิตขนาดใหญ่

บรรจุภัณฑ์มีหน้าที่หลักในการปกป้องและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แต่อีกหน้าที่ที่สำคัญในสภาวะการแข่งขันที่รุนแรงคือบทบาทเหมือนพนักงานขายที่คอยสื่อสารกับผู้ซื้อ ณ จุดจำหน่าย [1] สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร กระป๋อง ตัวกระป๋องโลหะมักจะมีลักษณะทางกายภาพที่คล้ายคลึงกัน ไม่สามารถมองเห็นลักษณะของอาหารที่อยู่ภายในได้ ดังนั้น องค์ประกอบที่จะเข้ามาทำหน้าที่สื่อสารและสร้างความโดดเด่นให้กับผลิตภัณฑ์ก็คือ "ฉลากบรรจุภัณฑ์" ฉลากจะต้องแสดงรายละเอียดที่จำเป็นตามกฎหมายและเป็นพื้นที่สร้างภาพลักษณ์ตราสินค้า [3] หากฉลากบนกระป๋องมีสภาพที่ไม่สมบูรณ์ เช่น มีรอยยับย่น หลุดลอก ฉีกขาด หรือติดเบี้ยวไม่ได้สัดส่วน ผู้บริโภคย่อมเกิดความคลางแคลงใจต่อกระบวนการผลิตและอาจประเมินไปถึงคุณภาพของอาหารที่อยู่ภายในว่าอาจไม่ได้มาตรฐานตามไปด้วย [4]

กระบวนการติดฉลากลงบนบรรจุภัณฑ์กระป๋องจึงถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายของสายการผลิตที่มีความสำคัญและท้าทายอย่างยิ่ง ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ต้องผลิตอาหารกระป๋องจำนวนหลายแสนชิ้นต่อวัน ผู้ผลิตจำเป็นต้องพึ่งพาเครื่องจักรกลอัตโนมัติ เทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมคือเครื่องติดฉลากแบบใช้กาว (Glue Labeling System) ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูง รองรับกระป๋องที่มีขนาดแตกต่างกันได้ และประหยัดต้นทุนเมื่อผลิตในปริมาณมาก [5], [6] อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่มักพบในกระบวนการนี้มีความเชื่อมโยงโดยตรงกับการเกิดของเสีย ซึ่งสืบเนื่องมาจากความไม่สมบูรณ์ของระบบควบคุมทางกลศาสตร์และพารามิเตอร์การทำงานของเครื่องจักร ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน เช่น ฉลากพับ ฉลากเหลื่อม ฉลากปิดไม่สนิท หรือฉลากป็นตะเข็บ [7] สาเหตุหลักมักเกิดจากระบบควบคุมแบบดั้งเดิมที่เป็นระบบควบคุมแบบวงเปิด (Open-loop control) ที่ขาดกลไกตรวจสอบและปรับแก้แบบเรียลไทม์ ทำให้เมื่อเกิดความผันผวนของความตึงฉลากหรืออุณหภูมิ กาว เครื่องจักรไม่สามารถชดเชยความคลาดเคลื่อนได้ [8]

เพื่อก้าวข้ามข้อจำกัดทางกลศาสตร์และแก้ไขปัญหของเสียอย่างเด็ดขาด การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้าสู่ระบบควบคุมแบบวงปิด (Closed-loop control) การติดตั้งเซ็นเซอร์อินฟราเรดเข้ากับระบบควบคุมของเครื่องจักรเป็นแนวทางที่มีความเป็นไปได้ในการลดของเสียจากการติดฉลาก [9] ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงมีความมุ่งหมายที่จะศึกษาพฤติกรรมการเกิดของเสียจากเครื่องติดฉลากแบบใช้กาวอย่างเจาะลึก พร้อมทั้งประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเซ็นเซอร์อินฟราเรดเพื่อกำหนดพารามิเตอร์ตำแหน่งที่แม่นยำ เพื่อลดปริมาณของเสียและยกระดับประสิทธิภาพกระบวนการบรรจุภัณฑ์ให้ก้าวหน้าอย่างยั่งยืน ซึ่งมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สาเหตุของการผิดพลาดในการติดฉลาก
2. เพื่อประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสำหรับการควบคุมที่แม่นยำในการจัดการพารามิเตอร์ของระบบการจ่ายกาว
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเทคโนโลยีการควบคุมในการลดสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากเครื่องติดฉลาก

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องติดฉลากแบบใช้กาว (Glue Labeling System) มีความยืดหยุ่นสูง รองรับบรรจุภัณฑ์ที่มีขนาดแตกต่างกันได้ดี และช่วยประหยัดต้นทุนเมื่อผลิตในปริมาณมาก [5], [6] ความบกพร่องในกระบวนการติดฉลากมักก่อให้เกิดปัญหาทางกายภาพ เช่น ปัญหาฉลากพับและฉลากเหลื่อม [7] ปัญหานี้สืบเนื่องมาจากระบบควบคุมแบบวงเปิด (Open-loop Control) ดั้งเดิมที่ขาดกลไกการตรวจสอบและปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนแบบเรียลไทม์ [8] ปัญหาการกระเจิงของแสงสะท้อนบนวัตถุที่มีพื้นผิวโลหะมันวาวสูงเป็นอุปสรรคสำคัญต่อความแม่นยำของเซ็นเซอร์

ตรวจจับในงานอุตสาหกรรม การปรับปรุงมาตรการติดตั้งเซ็นเซอร์อินฟราเรดช่วยแก้ปัญหาการสะท้อนระเบียบของแสงบนผิวโค้งโลหะของกระป๋องเข้าสู่ตัวรับสัญญาณ [10], [11] งานวิจัยก่อนหน้านี้ใช้วิธีการปรับตั้งมุมเอียงของเซ็นเซอร์อินฟราเรดที่ระดับ 35 องศา 25 องศา และ 15 องศา เข้าหาขอบกระป๋องในสายการผลิตจริง [11], [12] ผลการทดลองพบว่าการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่มุม 15 องศาให้ประสิทธิภาพสูงสุดโดยควบคุมตำแหน่งเริ่มต้นของการติดฉลากได้แม่นยำที่สุดและลดอัตราของเสียฉลากเหลื่อมลงได้ดีกว่ามุม 35 องศาและ 25 องศาอย่างชัดเจน [10], [11], [13] ความชื้นในอากาศภายในโรงงานส่งผลต่อการขยายตัวของวัสดุเซลล์ลูโลสหรือฉลากกระดาษทำให้เกิดการฉีกขาดได้ง่ายภายใต้แรงดึงที่ไม่คงที่ของเครื่องจักร [14] คุณสมบัติความหนืดของกาวอุตสาหกรรมแปรผันตามอุณหภูมิส่งผลต่อแรงยึดเกาะของฉลากบนผิวกระป๋อง [11] การบูรณาการระบบควบคุมอัตโนมัติช่วยยกระดับขีดความสามารถและเสถียรภาพของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมการบรรจุได้อย่างมีประสิทธิภาพ [12] การจัดการกระบวนการด้วยระบบอัตโนมัติช่วยลดของเสียและควบคุมต้นทุนการผลิตตามแนวทางสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ [15], [16], [17], [18]

3. วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ในสายการผลิตจริง ณ บริษัท กู๊ดเซอร์วิส-เทค จำกัด ตำบลบ้านเกาะ อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร ประเทศไทย การทดลองใช้กระป๋องโลหะเคลือบสีทึบทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 มิลลิเมตร น้ำหนัก 170 กรัม สำหรับบรรจุอาหารสัตว์ฉลากที่ใช้เป็นฉลากกระดาษอุตสาหกรรมแบบติดกาวขนาดหน้ากว้าง 31 มิลลิเมตร ยาว 270 มิลลิเมตร ความหนา 80 กรัมต่อตารางเมตร ทิศทางเส้นใยกระดาษขนานกับแนวแกนหมุนของกระป๋องเพื่อลดการบวมพองและการฉีกขาด [10] สารยึดติดที่ใช้คือกาวร้อนอุตสาหกรรม (Hot Melt) ชนิด พอลิไวนิลแอสเตต (Polyvinyl acetate: PVA) ควบคุมอุณหภูมิใช้งานคงที่ 150 องศาเซลเซียส [11] เครื่องจักรที่ใช้ทดสอบคือเครื่องติดฉลากอัตโนมัติความเร็วสูงรุ่น SUP-GRADE 603-2 HDP รหัสเครื่อง LL-OS-15-68 ผลิตโดยบริษัท กู๊ดเซอร์วิส-เทค จำกัด ประเทศไทย ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 0.75 กิโลวัตต์ ใช้ชุดทำความร้อนขนาด 1,500 วัตต์ และแรงดันลม 4–6 บาร์ [5], [6]

การกำหนดแผนการทดลองประกอบด้วยตัวแปรต้นคือตำแหน่งมุมการติดตั้งเซ็นเซอร์อินฟราเรดที่ระดับ 15 องศา 25 องศา และ 35 องศา ตัวแปรตามคือจำนวนกระป๋องที่ติดฉลากถูกต้องและอัตราการเกิดของเสียในกระบวนการ ตัวแปรควบคุมประกอบด้วยความเร็วสายพานลำเลียงที่ 60 กระป๋องต่อนาที อุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส ชนิดของกระป๋อง และชนิดของฉลาก [11] เซ็นเซอร์ที่ใช้คือเซ็นเซอร์อินฟราเรดตรวจจับวัตถุแบบสะท้อนกลับ (Retro-reflective) รุ่น E3Z-R81 ของยี่ห้อ OMRON จำนวน 1 ตัว พร้อมแผ่นสะท้อนแสง มีระยะตรวจจับ 100–500 มิลลิเมตร อุปกรณ์ถูกติดตั้งเข้ากับโครงยึดปรับมุมบริเวณก่อนถึงชุดจ่ายฉลากเพื่อส่งสัญญาณตรวจจับขอบกระป๋องเข้าสู่ชุดควบคุม [9] การระบุมุมติดตั้งเซ็นเซอร์ใช้สมการทางตรีโกณมิติ ดังนี้

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h}{d}\right)$$

โดยที่ θ คือ มุมเซ็นเซอร์ (องศา), h คือ ความสูงของเซ็นเซอร์ และ d คือ ระยะห่างในแนวนอน

เซ็นเซอร์อินฟราเรดถูกติดตั้งเข้ากับโครงยึดปรับมุมบริเวณก่อนถึงชุดจ่ายฉลากเพื่อส่งสัญญาณตรวจจับขอบกระป๋องเข้าสู่ชุดควบคุม [9]

ขั้นตอนการทดลองดำเนินการโดยปล่อยกระป๋องเข้าสู่สายพานลำเลียงรอบละ 30 กระป๋อง ทำซ้ำจำนวน 4 ครั้งต่อหนึ่งระดับมุม รวมทั้งสิ้น 120 กระป๋องต่อสภาวะการทดสอบ กระป๋องจะเคลื่อนที่ผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับเพื่อสั่งการหัวจ่ายกาวและลูกกลิ้งรีดฉลากให้แนบสนิทกับตัวกระป๋อง [5], [6] การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานหลังการผลิตใช้การตรวจพินิจทางกายภาพแบบ 100% (Full Inspection) ทุกชิ้นงาน [19] การจำแนกประเภทของเสียครอบคลุมปัญหาฉลากพับ (Folded Label) ปัญหาฉลากป็นตะเข็บ (Overlapped Seam) ปัญหาฉลากปิดไม่สนิท (Flagging) และปัญหาฉลากฉีกขาด (Tearing) ตามนิยามข้อบกพร่องบรรจุภัณฑ์ [7] การวัดระยะเหลื่อมของฉลาก (Misalignment) ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ความละเอียด ± 0.02 มิลลิเมตร วัดบริเวณรอยต่อของฉลากจำนวน 3 ครั้งต่อกระป๋อง แล้วหาค่าเฉลี่ย โดยกำหนดเกณฑ์ยอมรับความคลาดเคลื่อนต้องไม่เกิน 1 มิลลิเมตร หากเกินกำหนดจะบันทึกเป็นของเสีย [8], [20]

ข้อมูลการทดลองทั้งหมดถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เพื่อประเมินความสม่ำเสมอและเสถียรภาพของกระบวนการผลิต [20] การวิเคราะห์จัดลำดับความสำคัญและควมถี่ของลักษณะของเสียที่เกิดขึ้นในสายการผลิตใช้แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) ตามหลักการควบคุมคุณภาพ [19]



ภาพที่ 1 แผนผังกระบวนการติดฉลาก (Process Flow Diagram)

(ภาพประกอบสร้างขึ้นด้วยเทคโนโลยี Gemini)

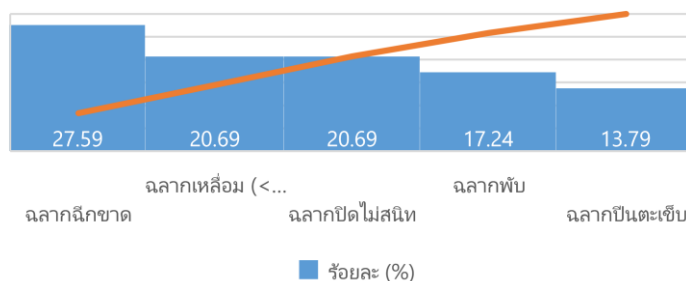
4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1

จากการวิเคราะห์สภาพปัญหาในสายการผลิตจริงด้วยแผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) การสังเกตการณ์ และการวิเคราะห์สาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) พบว่า สาเหตุหลักของความผิดพลาดเกิดจากระบบควบคุมเดิมเป็นแบบวงเปิด (Open-loop) ซึ่งไม่สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างกระป๋องและความไม่สม่ำเสมอของการปล่อยกาวได้ พบว่า จากการทดสอบระบบเดิมพบของเสียทั้งหมด 87 ชิ้น จากจำนวนการผลิต 120 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 72.50 ของจำนวนการผลิตทั้งหมด สาเหตุของปัญหาคือ ปัญหาฉลากฉีกขาด ฉลากเหลื่อม (< 1 มม.) และฉลากปิดไม่สนิทรวมกันมีจำนวน 60 ชิ้น ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 68.97 ของของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด เมื่อจำแนกลำดับความสำคัญตามแผนภูมิพาเรโตพบว่า ปัญหาฉลากฉีกขาดมีสัดส่วนร้อยละ 27.59 ปัญหาฉลากเหลื่อมมีร้อยละสะสมเพิ่มเป็นร้อยละ 48.28 ปัญหาฉลากปิดไม่สนิทมีร้อยละสะสมเป็นร้อยละ 68.97 ปัญหาฉลากพับมีร้อยละสะสมเป็นร้อยละ 86.21 และปัญหาฉลากป็นตะเข็บส่งผลให้ร้อยละสะสมครบ 100.00 (ตารางที่ 1 และภาพที่ 1)

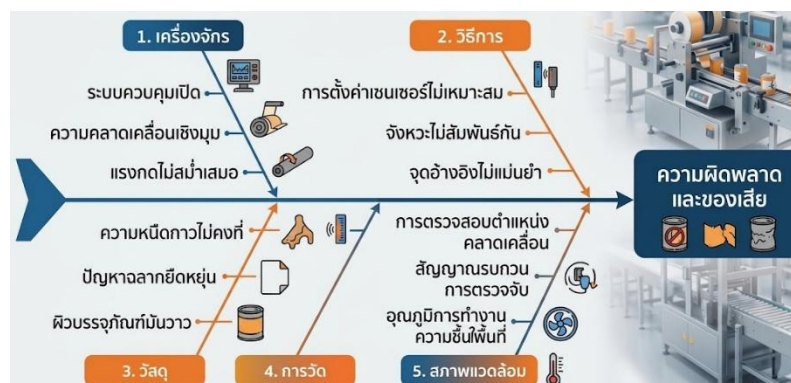
ตารางที่ 1 จำนวนและร้อยละของเสียจำแนกตามประเภทความผิดพลาด (ระบบเดิม)

ประเภทความผิดพลาด	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวมจำนวนเสีย	ร้อยละ (%)	ร้อยละสะสม (%)
ปริมาณกระป๋องที่สามารถติดฉลาก	7	7	10	9	33	-	-
ฉลากปิ่นตะเข็บ	3	4	2	3	12	13.79	13.79
ฉลากเหลื่อม	5	6	4	3	18	20.69	34.48
ฉลากพับ	4	3	4	4	15	17.24	51.72
ฉลากฉีกขาด	7	5	6	6	24	27.59	79.31
ฉลากปิดไม่สนิท	4	5	4	5	18	20.69	100.00
รวม	30	30	30	30	87	100.00	-



ภาพที่ 1 แผนภูมิพาเรโตแสดงลำดับความสำคัญของปัญหาความผิดพลาดในการติดฉลาก

นำข้อมูลมาวิเคราะห์สาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ของความผิดพลาดในกระบวนการติดฉลากกระป๋องโลหะ โดยใช้โครงสร้าง 4M 1E พบปัญหาหลักเกิดจากปัจจัยสำคัญ คือ 1) ด้านเครื่องจักร (Machine) ระบบควบคุมเดิมเป็นแบบวงเปิดซึ่งขาดกลไกตรวจสอบและปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนได้ทันที อีกทั้งระบบป้อนฉลากยังมีความคลาดเคลื่อนเชิงมุมร่วมกับแรงดึงที่ไม่เสถียร รวมถึงแรงกดจากกระบอกหนีบที่มากเกินไปส่งผลให้ฉลากเกิดความเสียหาย 2) ด้านวิธีการ (Method) การติดตั้งเซ็นเซอร์ในมุมที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดสัญญาณรบกวนจากการสะท้อนของผิวโลหะจนระบบประมวลผลผิดพลาด และจังหวะการจ่ายกาวไม่สัมพันธ์กับความเร็วรอบของเครื่องจักร 3) ด้านวัสดุ (Material) คุณสมบัติความหนืดของกาวเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิทำให้เกิดปัญหาการยึดเกาะและการขยายตัวของกระดาษฉลากเมื่อได้รับความชื้นจนเกิดรอยบวมพอง 4) ด้านการวัด (Measurement) เซ็นเซอร์เดิมมีความแม่นยำต่ำในการระบุตำแหน่งเริ่มต้นของการติดฉลากทำให้เกิดปัญหาฉลากปิ่นตะเข็บและเหลื่อม และ 5) ด้านสภาพแวดล้อม (Environment) ทั้งอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงงานส่งผลโดยตรงต่อเสถียรภาพของกาวและวัสดุฉลากในระหว่างกระบวนการผลิต ข้อมูลแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงระบบควบคุมเป็นแบบวงปิดและการปรับมุมเซ็นเซอร์อินฟราเรดที่ 15 องศาเป็นแนวทางที่ตรงประเด็นที่สุดในการขจัดสาเหตุรากเหง้าสามารถจำแนกได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงสาเหตุและผลวิเคราะห์สาเหตุความผิดพลาดในกระบวนการติดฉลาก

จากการวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าของปัญหา ผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางการปรับปรุงกระบวนการติดฉลากโดยมุ่งเน้นการแก้ปัญหาที่ระบบการตรวจจับตำแหน่ง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดของเสียร้อยละ 82.11 แนวทางการแก้ไขเริ่มต้นด้วยการเปลี่ยนระบบควบคุมจากวงเปิดเป็นระบบควบคุมแบบวงปิด (Closed-loop Control) ผ่านการติดตั้งเซ็นเซอร์อินฟราเรดเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งเริ่มต้นของการติดฉลากแบบเรียลไทม์ หัวใจสำคัญของการปรับปรุงคือการแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนจากการสะท้อนของผิวโลหะกระป๋อง (Specular Surface) โดยการทดลองหาจุดติดตั้งและมุมตกกระทบที่เหมาะสมที่สุด ผลการศึกษาพบว่า การปรับมุมเซ็นเซอร์ให้เอียงทำมุม 15 องศา กับแนวระดับเป็นตำแหน่งที่ช่วยลดการกระเจิงของแสงสะท้อนและเพิ่มเสถียรภาพในการส่งสัญญาณป้อนกลับไปยังชุดควบคุมได้ดีที่สุด ซึ่งนำไปสู่การกำหนดมาตรฐานการติดตั้งเซ็นเซอร์ดังแสดงในภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3 แนวทางการแก้ปัญหา และมุมการติดตั้งเซ็นเซอร์

4.2 ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2

จากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสำหรับการควบคุมที่แม่นยำในการจัดการพารามิเตอร์ของระบบการจ่ายกาว พบว่า 1) การทดสอบที่มุม 35 องศา พบว่า ติดฉลากผ่านมาตรฐานรวม 53 กระป๋อง คิดเป็นร้อยละ 44.17 (เฉลี่ย 13.25 กระป๋องต่อรอบ, S.D. = 4.27) ข้อบกพร่องที่พบมากที่สุดคือปัญหาฉลากฉีกขาดจำนวน 26 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ

ละ 21.67 (เฉลี่ย 2.50 กระป๋องต่อรอบ, S.D. = 1.29) ปัญหาฉลากเหลื่อมพบจำนวน 12 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 10.00 (เฉลี่ย 2.00 กระป๋องต่อรอบ, S.D. = 0.82) ปัญหาฉลากป็นตะเข็บพบจำนวน 11 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 9.17 (เฉลี่ย 3.00 กระป๋องต่อรอบ, S.D. = 0.82) ปัญหาฉลากปิดไม่สนิทพบจำนวน 10 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 8.33 (เฉลี่ย 6.50 กระป๋องต่อรอบ, S.D. = 3.11) ปัญหาฉลากพับพบจำนวน 8 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 6.67 (เฉลี่ย 2.75 กระป๋องต่อรอบ, S.D. = 0.50) 2) การลดมุมเซ็นเซอร์ลงเหลือ 25 องศา พบว่า ติดฉลากผ่านมาตรฐานเพิ่มขึ้นเป็น 70 กระป๋อง คิดเป็นร้อยละ 58.33 (เฉลี่ย 17.50 กระป๋องต่อรอบ, S.D. = 3.32) ปัญหาฉลากฉีกขาดและฉลากปิดไม่สนิทพบจำนวน 11 ชิ้นเท่ากัน คิดเป็นร้อยละ 9.17 (เฉลี่ย 2.75 กระป๋องต่อรอบ, S.D. = 0.96) ปัญหาฉลากป็นตะเข็บพบจำนวน 10 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 8.33 (เฉลี่ย 2.50 กระป๋องต่อรอบ, S.D. = 1.00) ปัญหาฉลากเหลื่อมพบจำนวน 10 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 8.33 (เฉลี่ย 2.00 กระป๋องต่อรอบ, S.D. = 0.82) ปัญหาฉลากพับพบจำนวน 8 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 6.67 (เฉลี่ย 2.50 กระป๋องต่อรอบ, S.D. = 0.58) และ 3) มุมเซ็นเซอร์ 15 องศา พบว่า ให้ประสิทธิภาพการติดฉลากสูงสุด โดยติดฉลากผ่านมาตรฐานรวม 114 กระป๋อง คิดเป็นร้อยละ 95.00 (เฉลี่ย 28.50 กระป๋องต่อรอบ, S.D. = 1.92) การติดตั้งที่มุม 15 องศา ไม่พบปัญหาฉลากป็นตะเข็บ ฉลากเหลื่อม และฉลากฉีกขาด ($\bar{X}$ = 0.00, S.D. = 0.00) ของเสียที่ยังหลงเหลือมีเพียงปัญหาฉลากพับจำนวน 2 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 1.67 ($\bar{X}$ = 0.50, S.D. = 1.00) และปัญหาฉลากปิดไม่สนิทจำนวน 4 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 3.33 ($\bar{X}$ = 1.00, S.D. = 0.82) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเสียจำแนกตามประเภทความผิดพลาดตามแนวทางการปรับตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์

ประเภทความผิดพลาด	ตำแหน่งเซ็นเซอร์ (องศา: °)											
	35°				25°				15°			
	จำนวน	ร้อยละ	$\bar{X}$	S.D.	จำนวน	ร้อยละ	$\bar{X}$	S.D.	จำนวน	ร้อยละ	$\bar{X}$	S.D.
ติดฉลากผ่านมาตรฐาน	53	44.17	13.25	4.27	70	58.33	17.50	3.32	114	95.00	28.50	1.92
ฉลากป็นตะเข็บ	11	9.17	3.00	0.82	10	8.33	2.50	1.00	0	0.00	0.00	0.00
ฉลากเหลื่อม	12	10.00	2.00	0.82	10	8.33	2.00	0.82	0	0.00	0.00	0.00
ฉลากพับ	8	6.67	2.75	0.50	8	6.67	2.50	0.58	2	1.67	0.50	1.00
ฉลากฉีกขาด	26	21.67	2.50	1.29	11	9.17	2.75	0.96	0	0.00	0.00	0.00
ฉลากปิดไม่สนิท	10	8.33	6.50	3.11	11	9.17	2.75	0.96	4	3.33	1.00	0.82
รวม	120	100.00			120	100.00			120	100.00		

4.3 ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 3

การเปรียบเทียบสัดส่วนข้อบกพร่องระหว่างระบบควบคุมแบบวงเปิดเดิมกับการปรับตำแหน่งมุมติดตั้งเซ็นเซอร์อินฟราเรดแสดงผลในตารางที่ 3 ระบบเดิมมีอัตราการติดฉลากผ่านมาตรฐานร้อยละ 27.50 การติดตั้งเซ็นเซอร์ที่มุม 35 องศา และ 25 องศา ช่วยเพิ่มอัตราการติดฉลากผ่านมาตรฐานเป็นร้อยละ 44.17 และ 58.33 ตามลำดับ ซึ่งมีผลต่างเพิ่มขึ้นร้อยละ 16.67 และ 30.83 เมื่อเทียบกับระบบเดิม การติดตั้งเซ็นเซอร์ที่มุม 15 องศา ให้ประสิทธิภาพสูงสุดโดยมีอัตราการติดฉลากผ่านมาตรฐานร้อยละ 95.00 ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 67.50 จากระบบเดิม การติดตั้งที่มุม 15 องศา ขจัดปัญหาฉลากป็นตะเข็บ ปัญหาฉลากเหลื่อม และปัญหาฉลากฉีกขาดได้อย่างสมบูรณ์ โดยลดสัดส่วนของเสียลงได้ร้อยละ 13.79 ร้อยละ 20.69 และร้อยละ 27.59 ตามลำดับ ของเสียที่มุม 15 องศา

คงเหลือเพียงปัญหาฉลากพับร้อยละ 1.67 (ลดลงร้อยละ 15.57) และปัญหาฉลากปิดไม่สนิทร้อยละ 3.33 (ลดลงร้อยละ 17.36) พบว่ามอดิตั้ง 15 องศา สามารถลดความผิดพลาดในการติดฉลากรวมลงได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับระบบควบคุมแบบเดิม (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียจำแนกตามประเภทความผิดพลาดและตำแหน่งมุมเซ็นเซอร์เทียบกับระบบเดิม

ประเภทความผิดพลาด	แบบเดิม	ความถูกต้องและผิดพลาด จำแนกตามตำแหน่งเซ็นเซอร์ (องศา: °)			อัตราส่วนผลแตกต่าง เทียบกับแบบเดิม		
		35°	25°	15°	35°	25°	15°
ติดฉลากผ่านมาตรฐาน	27.50	44.17	58.33	95.00	16.67	30.83	67.50
ฉลากปิ่นตะเข็บ	13.79	9.17	8.33	0.00	-4.62	-5.46	-13.79
ฉลากเหลื่อม	20.69	10.00	8.33	0.00	-10.69	-12.36	-20.69
ฉลากพับ	17.24	6.67	6.67	1.67	-10.57	-10.57	-15.57
ฉลากฉีกขาด	27.59	21.67	9.17	0.00	-5.92	-18.42	-27.59
ฉลากปิดไม่สนิท	20.69	8.33	9.17	3.33	-12.36	-11.52	-17.36
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00

5. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ที่ 1 การวิเคราะห์สาเหตุและปัญหาในกระบวนการติดฉลากพบว่า ปัจจัยด้านเครื่องจักรและวิธีการทำงานเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดของเสียร้อยละ 82.11 ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดที่ระบุว่าความบกพร่องในสายการผลิตมักเกิดจากระบบควบคุมที่ไม่สามารถรองรับความผันแปรของพารามิเตอร์ได้ โดยเฉพาะระบบควบคุมแบบวงเปิด (Open-loop Control) ของเครื่องเดิมที่ไม่สามารถปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนได้ทันทีตามสถานะจริง [21] สอดคล้องกับข้อสังเกตที่เกี่ยวกับความสำคัญของการจัดการเครื่องจักรเพื่อให้กระบวนการผลิตมีความต่อเนื่อง [22]

ปัญหาการสะท้อนของผิวโลหะ (Specular Surface) บนตัวกระป๋องส่งผลโดยตรงต่อความแม่นยำของเซ็นเซอร์เดิม ซึ่งได้อธิบายไว้ว่าการกระเจิงของแสงบนวัตถุที่มีความมันวาวสูงเป็นอุปสรรคสำคัญต่อระบบวิชันและเซ็นเซอร์ตรวจจับในงานอุตสาหกรรม [10] ปัญหานี้ทำให้ตำแหน่งการระบุจุดเริ่มต้น (Home Position) ผิดเพี้ยนจนเกิดฉลากเหลื่อมและฉลากพับ ซึ่งเป็นความสูญเสียในกระบวนการที่ให้ความสำคัญในการปรับปรุงเพื่อลดต้นทุนการผลิต [15]

ปัจจัยด้านสภาวะแวดล้อม เช่น ความร้อนและความชื้นในโรงงาน มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ โดยเฉพาะความหนืดของกาวที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ สอดคล้องกับงานของ [11] ที่ระบุว่าสารยึดติดในงานอุตสาหกรรมมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีตามสภาพแวดล้อม และสอดคล้องกับ ที่พบว่าความชื้นในอากาศส่งผลต่อการขยายตัวของวัสดุเซลลูโลสหรือฉลากกระดาษ ทำให้ฉลากฉีกขาดง่ายขณะกาวเซ็ทตัวภายใต้แรงดึงที่ไม่คงที่ของเครื่องจักรเดิม

แนวทางการแก้ไขโดยการเปลี่ยนเป็นระบบควบคุมแบบวงปิด (Closed-loop Control) ด้วยเซ็นเซอร์อินฟราเรด เป็นการแก้ปัญหาที่ตรงจุดตามหลักการของ [9] ที่เน้นการนำเซ็นเซอร์มาประยุกต์ใช้เพื่อยกระดับโรงงานสู่ระบบอัตโนมัติ ซึ่งจะช่วยลดข้อบกพร่องจากการติดฉลากที่ [13] เคยระบุว่าเป็นจุดวิกฤตของบรรจุภัณฑ์อาหารกระป๋อง การระบุสาเหตุรากเหง้าผ่านผังแสดงเหตุและผลในงานวิจัยนี้จึงเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้การออกแบบ

การทดลองในลำดับถัดไปมีความแม่นยำและสามารถลดของเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพตามมาตรฐานการบริหารจัดการคุณภาพ [19]

จากวัตถุประสงค์ที่ 2 จากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสำหรับการควบคุมที่แม่นยำในการจัดการพารามิเตอร์ของระบบการจ่ายแกว พบว่า การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเซ็นเซอร์อินฟราเรดเพื่อปรับเปลี่ยนระบบควบคุมเป็นแบบวงปิด (Closed-loop Control) ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งเริ่มต้นของการติดฉลาก (Home Position) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่ามอดิตตั้งเซ็นเซอร์ที่ 15 องศา เป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากช่วยลดสัญญาณรบกวนจากการสะท้อนของผิวโลหะ (Specular Surface) บนตัวกระป๋อง ซึ่ง [10] อธิบายว่าการกระเจิงของแสงบนวัตถุที่มีความมันวาวสูงเป็นอุปสรรคสำคัญต่อระบบวิชันและเซ็นเซอร์ในงานอุตสาหกรรม การเลือกมุมตกกระทบที่เหมาะสมจึงส่งผลโดยตรงต่อความถูกต้องของสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal) ทำให้ระบบสามารถคำนวณจังหวะการจ่ายฉลากได้อย่างเที่ยงตรง

ประสิทธิภาพการติดฉลากที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับการลดลงของของเสียอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะปัญหาฉลากหลวมและฉลากพับซึ่งลดลงตามลำดับเมื่อปรับมุมเซ็นเซอร์ให้เข้าใกล้ 15 องศา ข้อมูลนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ [16] ที่ให้ความสำคัญกับการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดความสูญเสียและต้นทุนการผลิต นอกจากนี้ ความแม่นยำในการตรวจจับยังช่วยลดปัญหาฉลากฉีกขาดที่มักเกิดจากแรงดึงไม่คงที่ในขณะกาวเซตตัว และสภาวะแวดล้อมเช่น ความชื้นส่งผลต่อการขยายตัวของวัสดุฉลากกระดาษ ซึ่งการควบคุมตำแหน่งที่แม่นยำจะช่วยลดผลกระทบทางกายภาพได้ [14]

ความเสถียรของระบบที่มุม 15 องศา สะท้อนผ่านค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ที่ต่ำที่สุด ซึ่งแสดงถึงสมรรถนะของกระบวนการ (Process Capability) ที่สูงขึ้น การปรับปรุงนี้สอดคล้องกับงานของ [11] เกี่ยวกับการจัดการคุณสมบัติทางเคมีของสารยึดติดที่ไวต่อสภาพแวดล้อม เนื่องจากจังหวะการจ่ายแกวที่สัมพันธ์กับตำแหน่งขอบกระป๋องช่วยให้การทำงานได้เต็มประสิทธิภาพภายใต้อุณหภูมิโรงงานที่สูง สรุปได้ว่าการบูรณาการเซ็นเซอร์เข้ากับระบบควบคุมอัตโนมัติช่วยเปลี่ยนเกณฑ์การตัดสินใจจากประสบการณ์เป็นการใช้ข้อมูลเชิงตัวเลขที่ตรวจสอบได้จริง

จากวัตถุประสงค์ที่ 3 การประเมินประสิทธิภาพของเทคโนโลยีการควบคุมในการลดสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากเครื่องติดฉลาก ระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุง ยืนยันว่า ประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่าเครื่องจักรระบบเดิม การปรับปรุงระบบควบคุมเป็นแบบวงปิดช่วยลดอัตราการเกิดของเสียรวมลงจากร้อยละ 72.50 เหลือเพียงร้อยละ 5.00 ในเชิงทัศนศาสตร์และฟิสิกส์ของการสะท้อนแสงตามกฎของสเนลล์ (Snell's Law) มุมตกกระทบย่อมเท่ากับมุมสะท้อน ($\theta_i = \theta_r$) บนระนาบสัมผัสของผิวโค้งกระป๋องโลหะ [9] การตรวจจับที่มุมเอียงขนาดใหญ่เดิม (35 องศา) ส่งผลให้ลำแสงอินฟราเรด (Optical beam) เกิดการสะท้อนระนาบ (Specular reflection) เข้าสู่ตัวรับสัญญาณ (Receiver) ของเซ็นเซอร์โดยตรงจนเกิดสัญญาณหลอกรบกวนจังหวะการจ่ายฉลาก [9] การปรับมุมติดตั้งเซ็นเซอร์อินฟราเรดที่ระดับ 15 องศาช่วยเปลี่ยนแนวการสะท้อนระนาบให้เบี่ยงทิศทางออกไปทางด้านข้างของตัวรับสัญญาณ ตัวรับสัญญาณของเซ็นเซอร์จึงตรวจจับเฉพาะลำแสงสะท้อนกระเจิง (Diffuse reflection) จากการตัดผ่านของขอบกระป๋องได้อย่างคมชัดและเสถียร [9], [15]

ความแม่นยำของการระบุตำแหน่งเริ่มต้น (Home Position) ทำให้ระบบขจัดปัญหาฉลากหลวมและฉลากป็นตะเข็บได้อย่างสมบูรณ์ การควบคุมจังหวะการหมุนที่เที่ยงตรงยังช่วยลดแรงดึงกระชากและขจัดปัญหาฉลากฉีกขาดในสภาวะที่มีการขยายตัวของวัสดุกระดาษ [10], [15] ความสำเร็จในการเพิ่มประสิทธิภาพนี้สอดคล้องกับ ที่

ระบุว่า การบูรณาการระบบควบคุมอัตโนมัติช่วยยกระดับขีดความสามารถของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมบรรจุความแม่นยำที่เพิ่มขึ้นช่วยลดต้นทุนการผลิตและเสริมสร้างศักยภาพการแข่งขันให้กับธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม [11], [20] ระบบที่ปรับปรุงใหม่ควบคุมความแปรปรวนของตำแหน่งฉลากให้คงที่มากกว่าระบบวงเปิดเดิม การจัดการคุณภาพด้วยข้อมูลทางสถิติช่วยให้โรงงานควบคุมมาตรฐานการผลิตได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด [21] การลดจำนวนของเสียจริงในสายการผลิตสอดคล้องกับแนวทางการลดความสูญเสียในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบรรจุขวด [22] การประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์และการติดตามอัตโนมัติช่วยกำจัดการสูญเสียตามแนวคิดการผลิตแบบลีน [23] สอดรับกับการยกระดับเทคโนโลยีเครื่องจักรบรรจุภัณฑ์ในครั้งนี้เป็นไปตามคำแนะนำของคู่มือบรรจุภัณฑ์มาตรฐานสำหรับผู้ประกอบการอาหาร SME [24]

ข้อเสนอแนะเชิงประยุกต์

ผู้ประกอบการควรเลือกกำหนดมุมการติดตั้งเซ็นเซอร์อินฟราเรดที่ระดับ 15 องศา เพื่อใช้เป็นค่ามาตรฐานในการปฏิบัติงานสำหรับกระบวนการติดตามการป้องกันโลหะที่มีลักษณะพื้นผิวสะท้อนแสง ทั้งนี้ควรมีการจัดทำแผนภูมิควบคุม (Control Chart) เพื่อติดตามเสถียรภาพของกระบวนการผลิตในลักษณะเรียลไทม์ควบคู่ไปกับการประเมินดัชนีสมรรถนะกระบวนการ (Cp, Cpk) เป็นระยะ เพื่อยืนยันว่าความแม่นยำในการติดตามยังคงอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติตามมาตรฐานที่กำหนด

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

การศึกษาในลำดับถัดไปควรให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยร่วม (Interaction Effects) ที่ส่งผลต่อคุณภาพการติดตาม เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสายพานลำเลียง ระยะห่างของจุดติดตั้งเซ็นเซอร์ และลักษณะทางกายภาพของวัสดุบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่น โดยควรประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการระบุค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ควรมีการพัฒนาแบบจำลองเชิงควบคุม (Control Model) เพื่อใช้ในการทำนายพฤติกรรมของระบบและยกระดับสู่กระบวนการผลิตอัตโนมัติที่มีความยืดหยุ่นภายใต้เงื่อนไขการผลิตที่หลากหลายต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. (2561). *รายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมไทยปี 2561 และแนวโน้มปี 2562*. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. <https://www.oie.go.th/assets/portals/1/fileups/2/files/Industry%20conditions/annual2018.pdf>
- [2] Coles, R., McDowell, D., & Kirwan, M. J. (2003). *Food packaging technology*. CRC Press.
- [3] Kotler, P., & Armstrong, G. (2009). *Principles of marketing* (13th ed.). Pearson College Div.
- [4] จันทรจิรา ฉัตรวานิช, และประสพชัย พสุนนท์. (2563). การวิเคราะห์กลุ่มผู้บริโภคตามพฤติกรรมการยอมรับนวัตกรรมที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้ออาหารสำเร็จรูปพร้อมรับประทานรูปแบบใหม่ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี จังหวัดนนทบุรี. *วารสารบริหารธุรกิจเทคโนโลยีมหานคร*, 17(2), 41–65. <https://so04.tci-thaijo.org/index.php/journalmbmut/article/view/248060>
- [5] VKPAK. (ม.ป.ป.). *Automatic wet glue labeling machine, cold glue labelling machine*. <https://www.vkpak.com/automatic-labeling-machine/automatic-wet-glue-labeling-machine.html>

- [6] VKPAK. (ม.ป.ป.). *Labeling machine, label applicator machines*.
<https://www.vkpak.com/labeling-machine.html>
- [7] Marino, D. (ม.ป.ป.). *Troubleshooting common label application issues: A diagnostic guide*.
 Ahearn & Soper | proVision WMS. <https://www.ahearn.com/troubleshooting-common-label-application-issues-a-diagnostic-guide/>
- [8] ศิริขวัญ กองสิน. (2565). *การพัฒนาการตรวจสอบผลจากผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิค Bounding box* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทหรือเอกที่ไม่ได้รับการตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
<http://www.repository.rmutt.ac.th/dspace/bitstream/123456789/4298/1/RMUTT-175904.pdf>
- [9] ฤกษ์ชนะ ชินสาร. (2550). *การประมวลผลข้อมูลภาพ (Digital Image Processing)*. ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
<https://staff.informatics.buu.ac.th/~krisana/310457/handout/book310453.pdf>
- [10] Lindner, M. (2018). Factors affecting the hygroexpansion of paper. *Journal of Materials Science*, 53(1), 1–26. <https://doi.org/10.1007/s10853-017-1358-1>
- [11] สุพิชญา ฉัตรพัฒนศิริ, และประจวบ กล่อมจิตร. (2568). การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตเครื่องดื่มบรรจุขวดแก้ว โดยใช้การบำรุงรักษาด้วยตนเอง. *วารสารวิจัย มช. (ฉบับบัณฑิตศึกษา)*, 25(1), 52–62. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/gskku/article/view/252916>
- [12] Tümay, M., Demirdelen, T., Bal, S., Kayaalp, R. İ., Doğru, B., & Aksoy, M. (2017). A review of magnetically controlled shunt reactor for power quality improvement with renewable energy applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 215–228.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.008>
- [13] ธวัชชัย บัวระภา, ศักดิ์ชาย รักการ, และพจนีย์ ศรีวิเชียร. (2564). การเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องจักรในกระบวนการผลิต กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องดื่ม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ*, 5, 23–33. <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JSciTech/article/view/352>
- [14] Gładysz, B., Buczaccki, A., & Haskins, C. (2020). Lean management approach to reduce waste in HoReCa food services. *Resources*, 9(12), 12. <https://doi.org/10.3390/resources9120144>
- [15] กิตติกร มั่งคั่ง. (2566). *เคมีอุตสาหกรรมและสารยึดติด*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [16] Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Rab, S., & Suman, R. (2021). Significance of sensors for industry 4.0: Roles, capabilities, and applications. *Sensors International*, 2, 100110.
<https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100110>
- [17] สมจินต์ อักษรธรรม. (2562). การลดข้อบกพร่องในขั้นตอนการติดฉลากขวดแก้ว: กรณีศึกษาโรงงานน้ำตาลสดสตอร์โลส. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, 2(1), 9–21.
https://www.thonburi-u.ac.th/Journal_SIT/Vol2_No3_2.pdf
- [18] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2550). *หลักการการควบคุมคุณภาพ*. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
<https://www.car.chula.ac.th/display7.php?bib=1751634>

-
- [19] ฝนธรรม เจริญสุขรุ่งโรจน์. (2563). *การลดของเสียจากกระบวนการผลิต* [งานนิพนธ์ปริญญาโทที่ไม่ได้รับการตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยบูรพา.
<https://buuir.buu.ac.th/bitstream/1234567890/10174/1/61920186.pdf>
- [20] ธนภัทร กันทวงค์, กัสมา กาซ็อน, วิไลลักษณ์ วงศ์ชัย, นิรุทธิ์ ชัยโชค, และพีระพล ศรีวิชัย. (2568). การพัฒนาแนวทางการลดต้นทุนการผลิต เพื่อยกระดับผลิตภาพของวิสาหกิจชุมชนในตำบลป่าแดด อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย. *วารสารบัญชีปริทัศน์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย*, 10(2), 1–20.
https://so02.tci-thaijo.org/index.php/JAR_CRRU/article/view/278602
- [21] กิตติพงศ์ มะลิทอง. (2564). *การจัดการคุณภาพและสถิติในโรงงานอุตสาหกรรม*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [22] กษม กลิ่นขจร, ภูพัฒน์ เอ็นดู, ภัทราภรณ์ แสงสุริยวงษ์, และจันทิมา พึ่งบุญลือ. (2569). การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตพลาสติกและการลำเลียงภายในโรงงานของพลาสติกกลุ่มเครื่องดื่มผลิตภัณฑ์น้ำชา กรณีศึกษา: บริษัทผลิตพลาสติกเครื่องดื่มแห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี. *วารสารนวัตกรรมการศึกษาในอนาคต*, 5(1), 12–22. <https://so09.tci-thaijo.org/index.php/FEIJ/article/view/8405>
- [23] Miller, G., Pawloski, J., & Standridge, C. (2010). A case study of lean, sustainable manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 3(1), 11-32.
<https://doi.org/10.3926/jiem.v3n1.p11-32>
- [24] มยุรี ภาคลำเจียก. (2560). *คู่มือบรรจุมัธยมศึกษาสำหรับผู้ประกอบการอาหาร SME*. จินดาสาส์นการพิมพ์. <https://www.chulabook.com/engineering-book/110067>