

**การประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับวัตถุบนสายพานการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิต
ในกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมกล่อง**
**Enhancing Productivity Through Object Detection Systems on
Production Conveyors in the Carton Milk**

**เบญจลักษณ์ เมืองมีศรี, ฤดี นิยมรัตน์, สมเกียรติ กอบัวแก้ว,
ปริญวัฒน์ ธนศิริเธียรชัย และ กฤษดา สาธรรษา***

**Benchalak Muangmeesri, Ruedee Niyomrath, Somkiat Korbuakaew,
Parinwat Thanasiratheerachai & Krissada Satornrach***

*สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Engineering Management Program, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Suan Sunandha Rajabhat University*

Submitted 17/03/2025 ; Revised 02/04/2025 ; Accepted 23/05/2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการตรวจจับวัตถุบนสายพานและนำไปประยุกต์ใช้ในการคัดแยกผลิตภัณฑ์นม โดยทำการทดลองและเก็บข้อมูลการคัดแยกของเครื่องจักรและคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ ผลการศึกษาการตรวจจับวัตถุบนสายพานที่มีความยาว 5 เมตร พร้อมระบบการติดตั้งกล้องอุตสาหกรรมและระบบเซนเซอร์มีหน้าที่เป็นอินพุต โดยเมื่อมีชิ้นงานเคลื่อนที่ผ่านมา กล้องและเซนเซอร์จะเป็นตัวตรวจจับและส่งสัญญาณไปยังพีแอลซีเพื่อประมวลผลว่าถูกต้องหรือไม่ หลังจากนั้นสามารถส่งสัญญาณเอาต์พุต เพื่อให้ทำการส่งผลิตภัณฑ์นมออกไปสู่แผนกบรรจุภัณฑ์ต่อไป โดยมีการเขียนโปรแกรมให้ตรวจจับกล่องนม 3 ชนิด หรือ 3 สี นำไปประยุกต์ใช้กับระบบการผลิตในอุตสาหกรรมนม การศึกษาประสิทธิภาพของสายพานพบว่า ความเร็วของสายพานที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 0.2 เมตรต่อวินาที สามารถทำการตรวจจับและคัดแยกกล่องนมได้จำนวน 1,200 กล่อง ความเร็ว 0.4 เมตรต่อวินาที สามารถทำการตรวจจับและคัดแยกกล่องนมได้จำนวน 2,400 กล่อง และความเร็ว 0.6 เมตรต่อวินาที สามารถทำการตรวจจับและคัดแยกกล่องนมได้จำนวน 3,600 กล่อง ภายใน 1 ชั่วโมง ตามลำดับ จากการทดสอบนี้ได้ไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มผลผลิตของกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมกล่องในอุตสาหกรรมนมที่เป็นกรณีศึกษาย่านนิคมอุตสาหกรรมจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งทางบริษัทกรณีศึกษาให้ความคิดเห็นว่าหากมีการปรับความเร็วให้สายพานมีค่าความเร็วที่มากกว่า 0.6 เมตรต่อวินาที สามารถเพิ่มผลผลิตด้านการคัดแยกชนิดของนมและลดต้นทุนการผลิตได้โดยทางบริษัทมุ่งเป้าหมายของอัตราการคัดแยกที่ 6,000 กล่องต่อชั่วโมง

คำสำคัญ: สายพาน แมชชีนวิชัน พีแอลซี เซนเซอร์

***ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)**

E-mail: s65122546004@ssru.ac.th

Abstract

This research investigates the application of an object detection system on a conveyor belt for sorting carton milk products. The study involves experimentation, data collection on machine-based sorting processes, and the calculation of energy consumption. The implemented system consists of a 5-meter-long conveyor integrated with industrial cameras and sensors functioning as input devices. When a product moves along the conveyor, the camera and sensor detect the object and send a signal to the PLC (Programmable Logic Controller) to verify its accuracy. The system then sends output signals to direct the carton milk products to the packaging department. The system was programmed to detect three types or colors of milk cartons and was applied to the production line in a dairy factory. The performance of the conveyor system was evaluated at three different speeds: 0.2, 0.4, and 0.6 meters per second. The detection and sorting capacities were found to be 1,200, 2,400, and 3,600 cartons per hour, respectively. The system was applied to a dairy industry case study located in an industrial estate in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province. Based on feedback from the case study company, increasing the conveyor speed beyond 0.6 meters per second could further enhance sorting productivity and reduce production costs. The company aims to achieve a target sorting rate of 6,000 cartons per hour.

Keywords: conveyor belt, machine vision, PLC, sensors

บทนำ

ในสภาวะการแข่งขันทางเศรษฐกิจที่สูงขึ้นตั้งแต่ล่ออุตสาหกรรมการผลิตจึงไม่ใช่เพียงแค่การผลิตเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ยังต้องมีการหากลยุทธ์ เครื่องมือ เครื่องจักรและวิธีการ ที่ใช้ในการบริหารงานที่ทำให้ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตต่ำที่สุด ใช้เวลาน้อยที่สุด และให้ได้คุณภาพของสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด เพื่อให้องค์กรสามารถอยู่รอดได้และนำหน้าคู่แข่งในตลาดอุตสาหกรรมเดียวกัน การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะส่งผลให้ผลผลิตของบริษัทเพิ่มขึ้น ของเสียลดลง ความบกพร่องในกระบวนการผลิตจะถูกควบคุมและกำจัดลงให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและผลผลิตที่เพิ่มมากขึ้น [1] และโดยเฉพาะปัจจุบันนี้โรงงานอุตสาหกรรมมีการแข่งขันกันด้านการควบคุมการผลิตให้เป็นระบบอัตโนมัติมากขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในโรงงานอุตสาหกรรมและระบบขับเคลื่อนเครื่องจักรกลจะเน้นใช้วิธีการประหยัดพลังงาน และการผลิตด้วยกระบวนการอัตโนมัติซึ่งจะทำให้ผู้ผลิตสินค้ามีคุณภาพและได้มาตรฐาน ในอุตสาหกรรมที่ใช้ระบบเทคโนโลยีการลำเลียงหรือสายพานลำเลียงเพื่อการผลิตมีหลักการทำงานอย่างน้อยก็เพื่อเป็นประโยชน์ในการรับเข้าวัตถุดิบหรือสินค้าจะถูกนำเข้าสู่ระบบผลิตผ่านสายพานลำเลียงโดยการใช้อุปกรณ์ในการนำข้อมูลเข้าเพื่อให้เป็นไปอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพสูงสุด การเคลื่อนที่และการแยกแยะสายพานลำเลียงทำหน้าที่เคลื่อนย้ายวัตถุดิบหรือสินค้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยมีการแยกแยะสินค้าในกระบวนการต่างๆ เช่น การแยกสินค้าตามประเภท ขนาด หรือปริมาณ การควบคุมความเร็วและทิศทาง ระบบควบคุมความเร็วและทิศทางของสายพานลำเลียงใช้เซนเซอร์และระบบควบคุมเพื่อให้สายพานทำงานอย่างเหมาะสมและปลอดภัย การจัดเก็บและการนำออก หลังจากที่ได้รับวัตถุดิบหรือสินค้าผ่านกระบวนการผลิตแล้ว สายพานลำเลียงจะใช้ในการจัดเก็บสินค้าหรือการนำส่งสินค้าออกจากระบบผลิต เทคโนโลยีการลำเลียงหรือสายพานลำเลียงเพื่อการผลิตนั้น เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของโรงงานอุตสาหกรรม

การศึกษาอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับอาหารมีผลิตภัณฑ์ประเภทหนึ่งที่มีความเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตของคนไทยมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เด็กจนเป็นผู้ใหญ่ ได้แก่ผลิตภัณฑ์นม ซึ่งผลิตภัณฑ์นมมีหลายประเภทที่เป็นนมพร้อมดื่มโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์นมจากโคนมที่เราเห็นวางจำหน่ายในท้องตลาดสามารถแบ่งออกเป็นได้ 10 ประเภท [2] คือ นมสด หรือน้ำนมดิบ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่รีดออกมาสดใหม่โดยที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการต่าง ๆ นมพาสเจอร์ไรส์ เป็นนมที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยความร้อน 63-72 องศาเซลเซียส นมสเตอริไลซ์ คือ นมที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์เช่นเดียวกับนมพาสเจอร์ไรส์ แต่จะทำในอุณหภูมิที่สูงกว่าและใช้ระยะเวลาสั้นกว่าเล็กน้อย นมยูเอชที เป็นนมที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนอีกประเภทหนึ่ง โดยจะใช้ความร้อนที่สูงถึง 135-150 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาสั้น ๆ เพียง 2-4 วินาที นมไขมันต่ำหรือนมพร่องมันเนย คือ นมที่ถูกสกัดแยกมันเนยออกให้เหลือไม่เกินร้อยละ 15 ทำให้มีปริมาณไขมันเพียงเล็กน้อยและให้พลังงานต่ำ แต่ยังคงมีสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย นมขาดมันเนยเป็นนมที่ถูกสกัดไขมันออกไปจนเหลือเพียงร้อยละ 0.15 เท่านั้น ทำให้สูญเสียวิตามินที่ละลายในไขมันออกไปพอสมควร นมปรุงแต่ง คือ นมวัวหรือนมผงที่นำมาผ่านกรรมวิธีการผลิตต่าง ๆ และปรุงแต่งกลิ่น สี รสชาติเข้าไป ทำให้น่ารับประทานมากขึ้น นมแลคโตสฟรีพาสเจอร์ไรส์ คือ นมปราศจากน้ำตาลแลคโตสที่มีการนำไปผ่านกระบวนการย่อน้ำตาลแลคโตส

ด้วยเอนไซม์แลคเตส ทำให้น้ำตาลแลคโตสที่มีอยู่ในนมแปรสภาพจากโมเลกุลใหญ่กลายเป็นโมเลกุลเล็ก นมเปรี้ยว เป็นนมที่มีรสชาติแตกต่างจากนํ้านมประเภทอื่นมากที่สุด ด้วยกระบวนการที่ต้องมีการเติมแบคทีเรียที่ช่วยให้กระเพาะอาหารและลำไส้ทำงานได้เป็นปกติลงในนํ้านมสด และนำไปหมักต่อเพื่อเพิ่มเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ โยเกิร์ตพร้อมดื่ม หรือนมเปรี้ยวโยเกิร์ตพร้อมดื่มมีกระบวนการหมักเหมือนกับโยเกิร์ต คือใช้วัตถุดิบเป็นนํ้านมวัว จากนั้นผ่านกระบวนการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์แลคโตบาซิลลัส บัลการิคัส และสเตรปโตคอคคัส เทอร์โมฟิลัส เป็นจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติก

การศึกษาการผลิตนมนี้ทำให้ทราบว่ากระบวนการในการผลิตและแปรรูปผลิตภัณฑ์นมที่จะทำให้อุณหภูมิและมาตรฐานนั้นมีกระบวนการที่แตกต่างกัน อาทิเช่น เวลาในการผลิต อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต บรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ที่ต้องมีความเหมาะสมในการบรรจุ นํ้านมแต่ละชนิด การศึกษาในกระบวนการผลิตจากกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ ผสมส่วนประกอบ กระบวนการฆ่าเชื้อ การบรรจุและซีล การบรรจุในกล่อง การบรรจุในภาชนะเอนกประสงค์ การเก็บรักษาและจัดส่ง หลังจากผลิตภัณฑ์เสร็จสิ้น กระบวนการที่น่าสนใจในการศึกษาเพื่อให้ความสำคัญกับการจัดการวิศวกรรมนั้น ซึ่งหมายถึงการให้ความสำคัญกับกระบวนการผลิต วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยี หรือผลิตภัณฑ์นั้น คือการเพิ่มผลผลิตให้กับกระบวนการ หรือในการปฏิบัติงานเพื่อให้ได้สินค้า บริการ หรืองานที่มีคุณภาพสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าด้วยวิธีการลดต้นทุน ลดการสูญเสียทุกรูปแบบ การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า การใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม การพัฒนาศักยภาพของผู้ปฏิบัติงานและการใช้เทคนิคการทำงานต่าง ๆ เข้ามาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน การใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมนั้นเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาของการผลิตนมตามที่ได้ศึกษาปัญหาในการผลิตของบริษัทผลิตภัณฑ์นมแห่งหนึ่งในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาพบว่า ในกระบวนการผลิตบางขั้นตอน เช่นการคัดแยกผลิตภัณฑ์ของนม 3 ชนิดได้แก่ นมสเตอริไลซ์ฉลากเหลืองชนิดแคลเซียมสูง นมสเตอริไลซ์ฉลากฟ้าชนิดไขมันต่ำ และนมสเตอริไลซ์ฉลากขาวชนิดไม่มีไขมัน ยังคงใช้รถเข็นทรงสูงที่มีลักษณะเป็นตะแกรงสูงปิดล้อมฐานทั้ง 4 ด้าน เพื่อรับบรรจุภัณฑ์ของนมที่ออกจากไลน์การผลิตเพื่อส่งต่อไปยังคลังสินค้าหรือส่งไปยังสถานที่ต่าง ๆ ยังคงใช้คนงานไปรอรับการผลิตภัณฑ์กล่องนมหรือชนิดของนมตามสายการผลิต จากที่ได้ศึกษาระบบการขนถ่ายวัตถุดิบและอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งใช้ระบบสายพาน ลำเลียงในการลำเลียงสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ไปยังแผนกบรรจุภัณฑ์ งานด้านการตรวจสอบสินค้าเพื่อให้ได้มาซึ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการตรวจสอบเริ่มมีความนิยมสูงขึ้นเรื่อย ๆ นับตั้งแต่โรงงานผลิตอาหาร โรงงานผลิตรถยนต์ โรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ เป็นต้น

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ทำการศึกษาและพัฒนาออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกสั้ววัตถุอัตโนมัติบนสายพานลำเลียงที่ถูกควบคุมด้วยอาคูโน ตัวเครื่องสามารถปฏิบัติงานได้ตามการออกแบบให้แยกชนิดวัตถุที่เป็นสีแดง สีเขียว สีน้ำเงินและสีอื่นๆ และเคลื่อนย้ายวัตถุไปยังสถานที่ที่กำหนดไว้อัตโนมัติโดยอาศัยการควบคุมของอาคูโน ใช้ตัวตรวจจับแบบไฟเบอร์ออปติก เซนเซอร์อ่านค่าปริมาณของความเข้มของแสงที่กระทบกับวัตถุและสะท้อนกลับมาไปยังเซนเซอร์แปลผลเป็นสัญญาณที่แตกต่างกันตามแต่ละสีของวัตถุ [3] และผลงานวิจัยการสร้างเครื่องคัดแยกพริกหวานอัตโนมัติ โดยอาศัยหลักการตรวจจับสีของพริกด้วยการประมวลผลภาพใน ระบบภาพ HSV ผ่านระบบสายพานลำเลียง จากนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะควบคุมส่วนคัดแยกให้พริกหวานไหลลงสู่ช่องตามที่กำหนด

โดยสามารถนำระบบดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับงานที่เกี่ยวข้องได้เพื่อประหยัดเวลาและประหยัดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับค่าแรงงานได้เป็นอย่างดี [4, 5]

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะทำการวิจัยโดยการศึกษานำระบบสายพานที่มีการติดตั้งระบบคัดแยกผลิตภัณฑ์อัตโนมัติด้วยระบบเซนเซอร์และกล้องอุตสาหกรรม เพื่อศึกษาการทำงานให้มีประสิทธิภาพสามารถทำงานได้ง่ายขึ้น สะดวกขึ้น หนื่อยล้า น้อยลงและประสิทธิภาพมีการตรวจจับผลิตภัณฑ์นมในการคัดแยกและลำเลียงผลิตภัณฑ์นมที่ส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตและลดเวลาการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาระบบตรวจจับวัตถุดิบสายพานการผลิตอุตสาหกรรมและประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับวัตถุดิบสายพานการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมกล่อง

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับวัตถุดิบสายพานการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมกล่อง ผู้วิจัยทำการออกแบบการทดลองให้เหมาะสมควรพิจารณาหลักเกณฑ์ทางวิจัย เช่น ความแม่นยำ (accuracy) ความน่าเชื่อถือ (reliability) และความสามารถในการวิเคราะห์ทางสถิติ เช่น การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยหรือค่าเบี่ยงเบน โดยกำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้เป็น 3 ขั้นตอนเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้

การเตรียมและติดตั้งสายพาน

ผู้วิจัยทำการประกอบโครงสร้างของสายพานที่มีความยาว 5 เมตร และติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการควบคุมระบบอัตโนมัติ โดยใช้โปรแกรมเมเบิล ลอจิก คอนโทรลเลอร์ หรือ พีแอลซี (PLC, Programmable Logic Controller) คือ คอมพิวเตอร์อุตสาหกรรมที่ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการผลิตหรือเครื่องจักรในโรงงาน การใช้พีแอลซีนีเพื่อควบคุมและสั่งการการทำงานของสายพานเป็นการประยุกต์ในงานขั้นสูงจะประกอบไปด้วยการทำงาน 4 สถานีทดลอง ดังนี้ สถานีจ่ายชิ้นงาน (distribution station) สถานีตรวจสอบชิ้นงาน (testing station) สถานีขบวนการผลิต (processing station) และสถานีขนถ่ายวัสดุ (handling station) การทำงานของ 4 สถานีนี้จะมีหน้าที่การทำงานมากมาย เช่น การตรวจจับชิ้นงาน การแยกสีชิ้นงาน การวัดขนาดชิ้นงาน การลำเลียงชิ้นงาน [6] และอื่น ๆ ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมกรณีศึกษามีการอบรมการควบคุมด้วย พีแอลซี ทุก ๆ 1 ปี และทำการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินความสามารถของระบบและกระบวนการในการคัดแยกผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่กำหนดไว้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง แม่นยำและมีความรวดเร็วในการคัดแยกผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดออกจากกัน โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือบนสายพาน เช่น กล้องอุตสาหกรรม เซนเซอร์ และระบบตรวจจับภาพ [8] ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกผลิตภัณฑ์ตามสีของกล่องนม ขนาดของกล่องนม หรือรูปทรงของกล่องนม โดยกำหนดความเร็วของสายพาน (conveyor speed) ประกอบด้วยความเร็ว 3 ระดับ ได้แก่ 0.2 เมตร ต่อวินาที, 0.4 เมตรต่อวินาที และ 0.6 เมตรต่อวินาที ด้วยเหตุผลในข้อจำกัดของอุปกรณ์ซึ่งมีความสามารถในการจับภาพสูงสุดที่

200 เฟรมต่อวินาที (fps) ที่ความละเอียด 1.3 ล้านพิกเซล ด้วยความเร็วในการลำเลียงที่เลือกมากล่องสามารถจับภาพของกล่องนมได้อย่างน้อย 2-3 เฟรมต่อกล่อง ซึ่งเพียงพอสำหรับการประมวลผลภาพและการวิเคราะห์ตำแหน่งหรือข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งข้อจำกัดของระบบมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนสามารถรองรับความเร็วในช่วง 0-0.8 เมตรต่อวินาที โดยค่าที่เลือก 3 ระดับนี้ยังอยู่ในช่วงที่ระบบควบคุมสามารถส่งสัญญาณและรับข้อมูลจากเซนเซอร์ได้ทันโดยไม่เกิดความคลาดเคลื่อน การเลือกค่าความเร็วทั้ง 3 ระดับ ยังช่วยให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบกลิ้ง ภายใต้เงื่อนไขที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างเป็นระบบเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสายพานกับความแม่นยำในการตรวจจับ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การเตรียมและติดตั้งสายพาน (ก) สายพานที่ใช้ในการวิจัย (ข) การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับสายพาน (ค) อุปกรณ์ในการสั่งการและควบคุมสายพาน (ง) ไฟสัญญาณแจ้งเตือนระบบ

ตั้งค่าพารามิเตอร์ของกล่องและเซนเซอร์เพื่อให้ระบบสามารถตรวจจับและคัดแยกผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การปรับความไวแสง ความเร็วของสายพาน และการตั้งค่าเกณฑ์การคัดแยกตามสีของกล่องนม ขนาดของกล่องนม รูปทรงของกล่องนม [7] ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการคัดแยกผลิตภัณฑ์ เพื่อการเก็บรวบรวมข้อมูลการคัดแยกผลิตภัณฑ์กล่องนมผลิตภัณฑ์นมสเตอริไลซ์ จำนวน 3 สี ได้แก่ บรรจุภัณฑ์สีเหลืองหรือนมแคลเซียมสูง บรรจุภัณฑ์สีฟ้าหรือนมไขมันต่ำ และบรรจุภัณฑ์สีขาวหรือนมไม่มีไขมัน จัดวางบรรจุภัณฑ์นมชนิดละ 3 กล่อง สลับกัน (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 การจัดเรียงบรรจุภัณฑ์เพื่อทดลองการคัดแยกตามเวลาที่กำหนด

การเก็บข้อมูลและการประมวลผลการเพิ่มผลผลิต

- 1) เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทำงานของระบบ เช่น จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ถูกคัดแยกถูกต้อง จำนวนข้อผิดพลาด ความเร็วในการคัดแยก และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น
- 2) วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เพื่อประเมินประสิทธิผล เช่น อัตราการคัดแยกที่ถูกต้อง ความเร็วในการคัดแยก ต้นทุนการผลิต และการลดของเสีย

การวิเคราะห์การเพิ่มผลผลิตตามปัจจัยของการเพิ่มผลผลิต

- 1) ดำเนินการทดสอบระบบคัดแยกด้วยผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเพื่อประเมินความถูกต้อง ความแม่นยำและความรวดเร็วในการคัดแยก ผู้วิจัยดำเนินการแต่ละระดับความเร็วของสายพาน (เมตร/วินาที) จำนวน 3 ระดับ ทำการทดสอบ 10 ครั้งต่อวันเป็นจำนวน 3 วัน รวมจำนวนทั้งสิ้น 90 ครั้ง ในการทดสอบ โดยการควบคุมบรรยากาศและอุณหภูมิไม่ให้แตกต่างกัน
- 2) ตรวจสอบว่าระบบสามารถแยกผลิตภัณฑ์ได้ตามข้อกำหนดที่กำหนดไว้โดยไม่มีข้อผิดพลาดหรือปัญหา

ผลการวิจัย

การประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับวัตถุบนสายพานการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมกล่อง จากการศึกษาสายพานลำเลียงจากการสร้างระบบสายพานจำลองและชุดทดลองคัดแยกชิ้นงานบนสายพานลำเลียงขนาดเล็กโดยใช้ระบบเซนเซอร์ในการตรวจจับและแยกสีของนมกล่องตามรสชาติของนมกล่อง ผู้วิจัยทำการทดลองสร้างสายพานที่ใช้ในการเทียบเคียงระบบการผลิตจริง ทำการทดลองปล่อยกล่องนมที่ใช้ในการทดลอง น้ำหนักรวม 182 กรัม จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ กล่องนมสีเหลืองแทนนมชนิดสตอร์อริจินัล กล่องนมสีฟ้าแทนนมสูตรไขมันต่ำ และกล่องนมสีขาวแทนนมสูตรไม่มีไขมัน ทำการวิจัยโดยใช้สายพานทดลองที่มีความยาว 10 เมตร แทนค่าสายพานการผลิตจริงที่ 100 เมตร การศึกษาระบบตรวจจับวัตถุบนสายพานการผลิตอุตสาหกรรมโดยการเก็บข้อมูลจากระบบผู้วิจัยได้ทำการบันทึกข้อมูลการใช้พลังงาน การบันทึกผลการทดสอบระบบตรวจจับวัตถุบนสายพานการผลิต โดยใช้ความเร็ว 0.2 เมตรต่อวินาที ความเร็ว 0.4 เมตรต่อวินาที และความเร็ว 0.6 เมตรต่อวินาที ในแต่ละความเร็วของสายพานใช้เวลาในการทดสอบในการปล่อยกล่องนม 30.0 วินาที

ผลการวิจัยระบบการตรวจจับด้วยกล้องอุตสาหกรรมจำนวน 90 ครั้ง พบว่าระบบสามารถตรวจจับและคัดแยกชิ้นงานได้อย่างถูกต้องครบถ้วนทุกครั้ง โดยมีค่าเฉลี่ยความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 100 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0 และไม่มีค่าความคลาดเคลื่อนในการตรวจจับ (SE = 0) แสดงถึงเสถียรภาพและประสิทธิภาพของระบบภายใต้เงื่อนไขการทดลองดังกล่าว โดยผลการทดสอบความเร็วที่สายพาน 0.2 เมตรต่อวินาที สามารถคัดแยกนมกล่องได้ 600 กล่อง ในระยะเวลา 30 วินาที ความเร็วที่สายพาน 0.4 เมตรต่อวินาที สามารถคัดแยกนมกล่องได้ 1,200 กล่อง ในระยะเวลา 30 วินาที และ ความเร็วที่สายพาน 0.6 เมตรต่อวินาที สามารถคัดแยกนมกล่องได้ 1,800 กล่อง ในระยะเวลา 30 วินาที โดยไม่มีความผิดพลาดในการคัดแยก (ตารางที่ 1)

สำหรับการศึกษาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการผลิต ซึ่งจากการวิจัยนี้สามารถวิเคราะห์ได้จาก (1) ต้นทุนคงที่ก่อนการปรับปรุงมีต้นทุนที่ 5,325,000 บาท หลังการปรับปรุงมีต้นทุนลดลงเหลือเพียง 710,000 บาท (2) ต้นทุนผันแปรก่อนการปรับปรุงมีต้นทุน 75,000 บาท หลังการปรับปรุงมีต้นทุนลดลงเหลือเพียง 65,786 บาท (3) จำนวนการผลิต (กล่อง) ก่อนการปรับปรุงสามารถคัดแยกได้จำนวน 4,492,800 กล่อง หลังการปรับปรุงความเร็วที่สายพาน 0.2 เมตรต่อวินาที สามารถคัดแยกนมกล่องได้ 748,800 กล่อง ความเร็วที่สายพาน 0.4 เมตรต่อวินาที สามารถคัดแยกนมกล่องได้ 2,995,200 กล่อง และความเร็วที่สายพาน 0.6 เมตรต่อวินาที สามารถคัดแยกนมกล่องได้ 4,492,800 กล่อง ซึ่งเป็นความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการประยุกต์ใช้ในการผลิต (4) ต้นทุนต่อหน่วย (บาท) ก่อนการปรับปรุงมีต้นทุนที่ 1,500 บาท หลังการปรับปรุงความเร็วที่สายพาน 0.2 เมตรต่อวินาที มีต้นทุน 7,700 บาท ซึ่งสูงกว่าก่อนการปรับปรุง ความเร็วที่สายพาน 0.4 เมตรต่อวินาที มีต้นทุน 1,925 บาท ซึ่งสูงกว่าก่อนการปรับปรุงเช่นกัน และความเร็วที่สายพาน 0.6 เมตรต่อวินาที มีต้นทุน 1,283 บาท ซึ่งต่ำกว่าก่อนการปรับปรุง ซึ่งเป็นต้นทุนต่อหน่วยที่เหมาะสม (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดสอบระบบตรวจจับวัตถุบนสายพานการผลิต ความเร็ว 0.2, 0.4 และ 0.6 เมตรต่อวินาที

ความเร็ว (เมตร/วินาที)	จำนวนกล่องที่คัดแยกได้ (กล่อง)		
	0.2	0.4	0.6
ระยะเวลาที่ใช้ (วินาที)			
1.0	20	40	60
1.5	30	60	90
2.0	40	80	120
2.5	50	100	150
3.0	60	120	180
3.5	70	140	210
4.0	80	160	240
4.5	90	180	270
5.0	100	200	300
5.5	110	220	330
6.0	120	240	360
6.5	130	260	390
7.0	140	280	420
7.5	150	300	450
8.0	160	320	480
8.5	170	340	510
9.0	180	360	540
9.5	190	380	570
10.0	200	400	600
10.5	210	420	630
11.0	220	440	660
11.5	230	460	690
12.0	240	480	720
12.5	250	500	750

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดสอบระบบตรวจจับวัตถุบนสายพานการผลิต ความเร็ว 0.2, 0.4 และ 0.6 เมตรต่อวินาที (ต่อ)

ความเร็ว (เมตร/วินาที)	จำนวนกล่องที่คัดแยกได้ (กล่อง)		
	0.2	0.4	0.6
ระยะเวลาที่ใช้ (วินาที)			
13.0	260	520	780
13.5	270	540	810
14.0	280	560	840
14.5	290	580	870
15.0	300	600	900
15.5	310	620	930
16.0	320	640	960
16.5	330	660	990
17.0	340	680	1,020
17.5	350	700	1,050
18.0	360	720	1,080
18.5	370	740	1,110
19.0	380	760	1,140
19.5	390	780	1,170
20.0	400	800	1,200
20.5	410	820	1,230
21.0	420	840	1,260
21.5	430	860	1,290
22.0	440	880	1,320
22.5	450	900	1,350
23.0	460	920	1,380
23.5	470	940	1,410
24.0	480	960	1,440
24.5	490	980	1,470
25.0	500	1,000	1,500
25.5	510	1,020	1,530

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดสอบระบบตรวจจับวัตถุบนสายพานการผลิต ความเร็ว 0.2, 0.4 และ 0.6 เมตรต่อวินาที (ต่อ)

ความเร็ว (เมตร/วินาที)	จำนวนกล่องที่คัดแยกได้ (กล่อง)		
	0.2	0.4	0.6
ระยะเวลาที่ใช้ (วินาที)			
26.0	520	1,040	1,560
26.5	530	1,060	1,590
27.0	540	1,080	1,620
27.5	550	1,100	1,650
28.0	560	1,120	1,680
28.5	570	1,140	1,710
29.0	580	1,160	1,740
29.5	590	1,180	1,770
30.0	600	1,200	1,800

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบต้นทุนก่อนและหลังจากการใช้ระบบตรวจจับวัตถุบนสายพาน

ต้นทุนคงที่ (บาท)		ต้นทุนผันแปร (บาท)		จำนวนการผลิต (กล่อง)		ต้นทุนต่อหน่วย (บาท)	
ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
5,325,000	710,000	75,000	65,786	4,492,800	748,800	1,500	7,700
5,325,000	710,000	75,000	65,786	4,492,800	2,995,200	1,500	1,925
5,325,000	710,000	75,000	65,786	4,492,800	4,492,800	1,500	1,283

อภิปรายผลการวิจัย

จากการที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาระบบตรวจจับวัตถุบนสายพานและนำไปประยุกต์ใช้ในการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมขึ้นเพื่อประโยชน์ในการนำไปพัฒนาการผลิตตลอดถึงการตรวจจับคัดแยกชนิดของนมหรืออาจจะไปปรับปรุงกระบวนการผลิตในโรงงานโดยใช้ระบบสายพานลำเลียงหรือระบบกล่องอุตสาหกรรมในการตรวจจับและคัดแยกอื่น ๆ ทำให้พบว่าการลงทุนนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยโดยเฉพาะระบบอัตโนมัติที่มีส่วนช่วยให้ต้นทุนคงที่ซึ่งสอดคล้องกับ Gaikwad และคณะ [9] ซึ่งพบว่าในกระบวนการผลิตหรืออุตสาหกรรมการผลิต วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องถูกขนส่งจากขั้นตอนการผลิตหนึ่งไปยังอีกขั้นตอนหนึ่ง อุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุถูกออกแบบมาเพื่ออำนวยความสะดวกให้สามารถขนส่งได้ง่าย ราคาถูก รวดเร็ว และปลอดภัย โดยมีการใช้มนุษย์ที่น้อยที่สุด ซึ่งการวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการลำเลียงสามารถนำมาใช้เพื่อการขนถ่ายวัสดุที่มีน้ำหนักมากและความสูงเกินขีดความสามารถที่มนุษย์

จะสามารถทำได้ วิจัยนี้เป็นการศึกษาในด้านวิศวกรรมเครื่องกลกล่าวถึงการคำนวณการออกแบบและข้อพิจารณาของระบบสายพานลำเลียงสำหรับเครื่องกดโลหะในแง่ของขนาด ความยาว ความจุและความเร็ว เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง กำลังและแรงตึง ระยะห่างของลูกกลิ้งรองรับ ประเภทของชุดขับเคลื่อน เส้นผ่านศูนย์กลาง ตำแหน่งและการจัดเรียงของมู่เล่ย์ มุมและแกนของการหมุน โหมดควบคุม วัสดุที่จะขนถ่ายรวมถึงความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดเพื่อให้มั่นใจถึงการเคลื่อนย้ายวัสดุที่รวดเร็วต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ การวิจัยนี้ให้สำเร็จจะช่วยพัฒนาให้เกิดระบบสายพานลำเลียงอัตโนมัติที่รวดเร็ว ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดภาระของพนักงานและในขณะเดียวกันเพิ่มระดับผลผลิตและความแม่นยำที่ไม่สามารถทำได้ด้วยการปฏิบัติงานแบบแมนนวล นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับ Husár และคณะ [10] ที่สนับสนุนการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตด้วยระบบสายพานลำเลียงโดยใช้แนวคิดของเงาติจิทัล ซึ่งผลการวิจัยเงาติจิทัลเป็นแบบจำลองติจิทัลที่เหมือนจริงของระบบสายพานลำเลียงในโลกจริงทำให้สามารถจำลองและวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานจริงได้อย่างละเอียด ซึ่งเป็นพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์เชิงลึกและการระบุจุดที่สามารถปรับปรุงได้ เป้าหมายของแนวทางนี้ไม่เพียงแต่เพื่อให้เข้าใจพลวัตและประสิทธิภาพของระบบสายพานลำเลียงที่มีอยู่ได้ดีขึ้นเท่านั้น แต่ยังมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมผ่านการจำลองเชิงพยากรณ์และอัลกอริธึมการเพิ่มประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้การบูรณาการเงาติจิทัลเข้ากับกระบวนการจำลองสามารถช่วยให้ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงในสภาพแวดล้อมการผลิตได้ดีขึ้น ลดระยะเวลาหยุดทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต และสอดคล้องกับ Li และคณะ [11] ซึ่งดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการตรวจจับวัตถุแปลกปลอมบนสายพานลำเลียงโมลิบดีนัมที่ได้รับการปรับปรุงโดยอิงจากการจดจำภาพ ในกระบวนการทำเหมืองโมลิบดีนัมที่มีสายพานลำเลียงที่ทอดยาวหลายไมล์ถูกใช้ในการขนส่งสินแร่ระหว่างจุดระเบิด สถานีบดย่อย และโรงแต่งแร่ เพื่อให้มั่นใจถึงความปลอดภัยและเสถียรภาพของกระบวนการผลิตอุตสาหกรรม การวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจจับวัตถุแปลกปลอมบนสายพานลำเลียงโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกโดยมีเป้าหมายเพื่อแก้ไขปัญหาความสามารถในการสกัดสิ่งที่ไม่ใช่คุณลักษณะที่ต้องการซึ่งในวิธีการตรวจจับวัตถุแปลกปลอมที่ใช้กล้องอุตสาหกรรม [10] นอกจากนี้ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการวิจัยนี้อาจต้องศึกษาเพิ่มเติมถึงปัญหาเรื่องฝุ่นหรือสิ่งสกปรกที่ปิดหน้าเลนส์ของกล้องเซนเซอร์ ส่งผลต่อความแม่นยำของการตรวจจับซึ่งถือเป็นข้อจำกัดที่พบบ่อยในงานวิจัยที่ใช้กล้องเป็นอุปกรณ์ตรวจจับ โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น งานภาคสนาม โรงงาน หรือสถานที่กลางแจ้ง ซึ่งสอดคล้องกับ Kim และคณะ [12] ที่พบว่าลักษณะของหยดน้ำ เช่น ปริมาตร จำนวน และรูปร่าง มีอิทธิพลอย่างมากต่อทั้งคุณภาพของภาพและประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุ โดยให้ข้อมูลเชิงลึกที่สำคัญในการเลือกวัสดุของเลนส์กล้องที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบระหว่างพื้นผิวที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ พร้อมทั้งเน้นถึงความไวของอัลกอริธึมอัจฉริยะต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อม และเน้นย้ำถึงความสำคัญของเทคนิคการทำความสะอาดที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งการวิจัยทั้งหมดนี้เป็นการศึกษาวิจัยที่ต้องใช้ระบบสายพานและระบบการตรวจจับทั้งสิ้นซึ่งเป็นผลดีต่อการศึกษาระบบการคัดแยกวัตถุดิบสายพานการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมกล่องและการประยุกต์กับการผลิตอื่น ๆ และในอนาคตสามารถพัฒนาให้ระบบสายพานนอกจากจะเป็นเพียงระบบอัตโนมัติที่ยังใช้มนุษย์ควบคุม ส่วนหนึ่งอาจจะมีการพัฒนาโดยการใช้

อินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง ซึ่งสอดคล้องกับ Zeng และ Xie [13] เป็นการศึกษาาระบบควบคุมแบบประสานงานเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things) สามารถตรวจวัดความเร็วของสายพาน ปริมาณการไหลของวัสดุ และการใช้พลังงานของสายพานแต่ละระดับได้แบบเรียลไทม์ โดยใช้เซนเซอร์และโมดูลเก็บข้อมูล

การวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับวัตถุดิบสายพานการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมกล่องนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบตรวจจับวัตถุดิบสายพานการผลิตอุตสาหกรรมและประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับวัตถุดิบสายพานการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมกล่อง โดยใช้สถานที่เป็นกรณีศึกษาจากบริษัทผลิตอาหารและนมแห่งหนึ่งในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา วิธีการดำเนินการวิจัยเป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ และผสมผสานกับการวิจัยเชิงปริมาณ โดยการศึกษาสายพานที่มีการติดตั้งระบบคัดแยกผลิตภัณฑ์อัตโนมัติด้วยระบบเซนเซอร์และกล้องอุตสาหกรรม ประกอบโครงสร้างของสายพานที่มีความยาว 5 เมตร และติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการควบคุมระบบอัตโนมัติโดยใช้โปรแกรมเมเบิล ลอจิก คอนโทรลเลอร์ หรือ พีแอลซี ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทำงานของระบบ ได้แก่ จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ถูกคัดแยกถูกต้อง จำนวนข้อผิดพลาด ความเร็วในการคัดแยก และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น การวิจัยครั้งนี้ใช้สายพานการผลิตที่มีความเร็ว 0.2 เมตรต่อวินาที ความเร็ว 0.4 เมตรต่อวินาที และความเร็ว 0.6 เมตรต่อวินาที ผลการวิจัยพบว่าความเร็วที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุดในการนำไปประยุกต์ใช้ได้แก่ ความเร็วที่ 0.6 เมตรต่อวินาที เพราะมีต้นทุนคงที่ ได้แก่ ค่าติดตั้งเครื่องจักร ค่าแรงงานถาวร ต้นทุนผันแปร ได้แก่ ค่าวัสดุบำรุงเครื่องจักร ค่าไฟฟ้า ที่ลดลงก่อนการติดตั้งระบบตรวจจับ ผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ต้นทุนของสายพานไว้ที่ 100 เมตร ซึ่งมีต้นทุนรวมทั้งหมด 969,286 บาทต่อปี ประกอบด้วย (1) ต้นทุนทางตรง (direct costs) ได้แก่ ค่าวัสดุสิ้นเปลืองจำนวน 15,000 บาท ค่าจ้างพนักงาน (แรงงานทางตรง) จำนวน 710,000 บาท และ (2) ต้นทุนทางอ้อม (overhead costs) ประกอบด้วย ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรจำนวน 193,500 บาท ค่าไฟฟ้าจำนวน 15,786 บาทและค่าบำรุงรักษาและซ่อมแซมจำนวน 35,000 บาท โดยทั้งนี้ต้นทุนรวมไม่รวมต้นทุนเครื่องจักรเริ่มต้นจำนวน 3,875,000 บาท เนื่องจากเป็นต้นทุนการลงทุน (capital cost) ไม่ใช่ต้นทุนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตประจำปี จากการสัมภาษณ์และให้ข้อมูลโดยบริษัทกรณีศึกษามีความคิดเห็นสอดคล้องกับผลการศึกษาวิจัยที่ต้องการนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้โดยการสร้างสายพานในสายการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการคัดแยกชนิดของนม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ประจำหลักสูตรการจัดการวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาทุกท่าน ตลอดจนพนักงานและบุคลากรทุกท่านของอุตสาหกรรมนม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบข้อมูลและให้การสนับสนุนในการทดลองตลอดถึงสาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่กรุณาให้ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับระบบอัตโนมัติของกล้องอุตสาหกรรม

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุรฉันทย์ ปาละพรพิสุทธิ์. (2560). LEAN 4.0 Manufacturing. กรุงเทพฯ: โอ พี อาร์ ไอ.
- [2] บริษัท เซาท์เทิร์นแดรี่ จำกัด. (2567). ประเภทของนมพร้อมดื่ม. All Seasons Dairy. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://allseasondairy.com/th/blog> (5 เมษายน 2567).
- [3] สุนทร ก้องสินธุ์, อนุชิต สิงห์จันทร์, สมนึก คำาน้อย, และณัฐวิษั สุขสง. (2561). การออกแบบชุดทดลองคัดแยกสีอัตโนมัติบนระบบสายพานลำเลียง โดยโมดูลแยกสีออคูโน. วารสารวิจัยและนวัตกรรม สถาบันการอาชีวศึกษากรุงเทพมหานคร, 1(2), 56–68.
- [4] ณัฐพงศ์ แพน้อย, อภิรักษ์ คงประเวช, เดชาธร เหล็กอยู่มะดัน, และปฏิพล ทรัพย์ทวีปัญญา. (2564). การสร้างต้นแบบระบบสายพานลำเลียงสำหรับเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซี. Engineering Transactions, 24(1), 28–36.
- [5] Siva Vardhan, D. S. V., & Narayan, Y. S. (2015). Development of an automatic monitoring and control system for the objects on the conveyor belt. In 2015 International Conference on Man and Machine Interfacing (MAMI), 1–6.
- [6] เดชฤทธิ์ มณีธรรม. (2559). คัมภีร์การใช้งานหุ่นยนต์. ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [7] เดชฤทธิ์ มณีธรรม. (2564). คัมภีร์การใช้งาน Machine Vision ควบคุมด้วย LabVIEW และ Vision Builder. ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [8] Hornberg, A. (2006). Handbook of machine vision. Wiley-VCH.
- [9] Gaikwad, A., Raut, Y., Desale, J., Palhe, A., Shelar, G., & Pawar, S. (2018). Design and development of automated conveyor system for material handling. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), 15(2), 31–34.
- [10] Husár, J., Hrehova, S., Trojanowski, P., & Brillinger, M. (2024). Optimizing the simulation of conveyor systems through digital shadow integration to increase assembly process efficiency. Technologia I Automatyizacja Montażu, 123(1), 16–22.
- [11] Li, M., Lu, C., Yan, X., He, R., & Zhao, X. (2024). Enhanced detection of foreign objects on molybdenum conveyor belt based on anchor-free image recognition. Applied Sciences, 14(16), 7061.
- [12] Kim, H., Yang, Y., Kim, Y., Jang, D.-W., Choi, D., Park, K., Chung, S., & Kim, D. (2025). Effect of droplet contamination on camera lens surfaces: Degradation of image quality and object detection performance. Applied Sciences, 15(5), 2690.
- [13] Zeng, F., & Xie, Z. (2018). Coordinated control system of multi-level belt conveyors for promotion of energy efficiency based on IoT technology. In 5th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE), 675–679.