

การออกแบบสถานีโคบอทเพื่อเพิ่มผลิตภาพ

Design of a Cobot Station for Improving Productivity

ดร.จารุตรม์ คุณานพดล (Dr.Jarut Kunanoppadol)^{1*}

ดร.ทศพล เขตเจนการ (Dr.Thosapon Katejanekarn)* ดร.วิชุดา เมตตานันท์ (Dr.Vichuda Mettanant)*

อรัน โขศมบุญเกษตร (Orani Choksombunkaset)** จิปปพัฒน์ ฮัวจัน (Khippapat Huajan)**

(Received: July 3, 2024; Revised: September 28, 2024; Accepted: October 2, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสถานีโคบอทเพื่อลดระยะเวลาของกระบวนการ เพิ่มผลิตภาพ ลดจำนวนพนักงาน และค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต ผู้วิจัยใช้สถานีฉีดพลาสติกและสถานีเจียรขอบชิ้นงานในกระบวนการผลิตตัวกันสาดรถยนต์เป็นกรณีตัวอย่าง แผนผังสายธารแห่งคุณค่าถูกใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง การออกแบบสถานีโคบอทถูกทำในโปรแกรมโรบอทสตูดิโอ การจำลองการทำงานรายงานค่าระยะเวลาของกระบวนการเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณผลิตภาพ งานวิจัยใช้ฟังก์ชันวิเคราะห์สัญญาณเพื่อวิเคราะห์การสิ้นเปลืองพลังงานเพื่อใช้คำนวณค่าไฟฟ้า สถานีงานที่ใช้โคบอททำงานร่วมกับพนักงานสามารถลดระยะเวลาของกระบวนการลง 26.16% เพิ่มผลิตภาพขึ้น 35.06% ลดจำนวนพนักงานลง 3 คน และลดค่าใช้จ่ายลง 74.95% ผลการวิจัยสนับสนุนแนวคิดการใช้โคบอททำงานร่วมกับคนในกระบวนการผลิตเดิมเพื่อเพิ่มผลิตภาพและลดค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ งานวิจัยยังแสดงการใช้โปรแกรมโรบอทสตูดิโอเพื่อออกแบบ ปรับปรุง และวิเคราะห์กระบวนการผลิตจริง

ABSTRACT

This research aims to design a cobot station to reduce processing time, increase productivity, and decrease staff and operational costs. The researchers use a plastic injection station and edge grinding station in the production line of a car window visor as a case study. Value stream mapping is used for investigating the manufacturing processes before and after the development. The cobot station is designed in RobotStudio. The simulation reports the process time used for a productivity calculation. The research uses the signal analysis function to investigate energy consumption for a calculation of electricity cost. The workstation using a cobot together with a staff can decrease the processing time by 26.16%, increase productivity by 35.06%, reduce three staff, and decrease the operational cost by 74.95%. The results support the concept of using a cobot to collaborate with a human in the existing manufacturing process to improve productivity and reduce operational costs. Moreover, the research demonstrates the use of RobotStudio to design, develop, and analyze the real manufacturing process.

คำสำคัญ: โคบอท โรบอทสตูดิโอ แผนผังสายธารแห่งคุณค่า

Keywords: Cobot, Robot studio, Value stream mapping

¹Corresponding author: kunanoppadol_j@su.ac.th

*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

Assistance Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

**นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

Student, Bachelor of Engineering in Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

บทนำ

ในทศวรรษที่ผ่านมา การปฏิวัติอุตสาหกรรมที่ขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยีสร้างแนวคิดเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีอุตสาหกรรม รูปแบบทางสังคม และกระบวนการผลิตอย่างรวดเร็ว [1] การปฏิวัติอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นในยุคต่าง ๆ เริ่มต้นที่อุตสาหกรรม 1.0 ในปี ค.ศ. 1784 (พ.ศ. 2327) เมื่อภาคการผลิตเริ่มใช้ประโยชน์จากพลังงานไอน้ำ อุตสาหกรรม 2.0 ในปี ค.ศ. 1870 (พ.ศ. 2413) เมื่อมีการใช้ประโยชน์จากพลังงานไฟฟ้า อุตสาหกรรม 3.0 ในปี ค.ศ. 1969 (พ.ศ. 2512) เมื่อมีการใช้ประโยชน์จากอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรม 4.0 ในปี ค.ศ. 2011 (พ.ศ. 2554) เมื่อมีการใช้ประโยชน์จากอินเทอร์เน็ต ตามลำดับ [2] องค์ประกอบสำคัญของอุตสาหกรรม 4.0 ได้แก่ อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Internet of Things หรือ IoT) คลาวด์คอมพิวติ้ง (Cloud computing) และระบบการประมวลผลข้อมูลที่มีการเรียนรู้ (Cognitive computing) เป็นต้น [3] อุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0 หรือ I4.0) เป็นการพัฒนาแนวคิดระบบไซเบอร์-กายภาพ (Cyber-physical systems หรือ CPS) ให้ไปสู่ระบบการผลิตแบบไซเบอร์-กายภาพ (Cyber-physical production systems หรือ CPPS) [4] หมายถึง การบูรณาการระหว่าง คน เครื่องจักรกล และเทคโนโลยีสารสนเทศให้ทำงานร่วมกันเป็นเนื้อเดียว

แขนกลอุตสาหกรรมหรือแขนกล (Industrial robotic arm หรือ Robot) ถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1960 (พ.ศ. 2503) และได้รับการพัฒนาต่อเนื่องมาอย่างรวดเร็ว [5] แขนกลหลากหลายรูปแบบได้ถูกพัฒนาและถูกใช้ทำงานที่มีลักษณะการทำซ้ำ การยกของที่มีน้ำหนักมาก หรืองานที่อาจเป็นอันตรายกับมนุษย์ ระบบหลายเอเจนต์ (Multi-agent system หรือ MAS) หมายถึง ระบบที่มีหลายหน่วยทำงานอยู่ในระบบเดียวกันซึ่งเป็นที่ตั้งทั้งมนุษย์ เครื่องจักร และแขนกล [6] สถานีแขนกล (Robot cell หรือ Robot station) จึงมีได้หลายรูปแบบ เช่น แขนกลทำงานร่วมกับมนุษย์ แขนกลทำงานร่วมกับเครื่องจักร หรือแขนกลทำงานร่วมกับแขนกลด้วยกัน ดังนั้น การออกแบบสถานีแขนกลต้องกำหนดหน่วยทำงานเอาไว้ตั้งแต่แรก หากมีการเปลี่ยนแปลง ผู้ออกแบบต้องทำการวิเคราะห์ใหม่ทั้งหมด

แขนกลทำงานร่วมหรือโคบอท (Collaborative robot หรือ Cobot) กับแขนกล (Robot) มีความแตกต่างกันหลัก ๆ ดังนี้ สถานีแขนกลต้องมีรั้วกัน และพนักงานไม่สามารถทำงานร่วมกับแขนกลในพื้นที่เดียวกันได้ [7] ส่วนสถานีโคบอท มีระดับการทำงานร่วมกัน 4 รูปแบบ ได้แก่ (1) แบบร่วมเขต (Coexistence) คือ พนักงานและโคบอททำงานของตัวเองแต่อยู่ในพื้นที่เดียวกันโดยไม่ต้องมีรั้วกัน (2) แบบร่วมจังหวะ (Synchronized) คือ พนักงานและโคบอทผลัดกันทำงานบนชิ้นงานเดียวกัน (3) แบบร่วมแรง (Cooperation) คือ พนักงานและโคบอทช่วยกันทำงานที่แตกต่างกันบนชิ้นงานเดียวกัน เช่น โคบอทยกชิ้นงานให้พนักงานขันน็อต เป็นต้น และ (4) แบบร่วมมือ (Collaborative) คือ พนักงานและโคบอททำงานผสมกันตลอดเวลาโดยไม่สามารถทำงานได้หากขาดอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น โคบอทผ่าตัดทางการแพทย์ [8] เนื่องจากโคบอทมีการกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ มีรูปร่างที่มีลักษณะโค้งมน มีอุปกรณ์ตรวจจับการเข้าใกล้และการชน สามารถลดการเกิดอุบัติเหตุและการบาดเจ็บได้ ทำให้พนักงานมีความปลอดภัยในการทำงานร่วมกับโคบอท [9] งานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้มีการใช้โปรแกรมเพื่อออกแบบสถานีงาน จำลองการทำงาน ตรวจสอบความเคลื่อนไหวของแขนกล และมีการใช้แผนผังสายธารแห่งคุณค่าประกอบการปรับปรุงกระบวนการ ผู้วิจัยพบช่องว่างของการวิจัยในด้านการใช้โคบอทมาทำงานร่วมกับพนักงานในกระบวนการผลิตจริง และเปรียบเทียบผลของสถานีงานในเชิงความคุ้มค่าด้านค่าใช้จ่าย งานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้กล่าวถึงความจำเป็นของการศึกษาวิจัยทางด้านการใช้งานโคบอทในกระบวนการทำงานจริง [10] นอกจากนี้ หลักฐานเชิงต้นทุนและผลประโยชน์ และผลกระทบทางสังคมที่มีต่อพนักงานที่ทำงานร่วมกับโคบอทก็ยังมีอยู่อย่างจำกัด [11]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสถานีโคบอทเพื่อลดระยะเวลาของกระบวนการ เพิ่มผลิตภาพ ลดจำนวนพนักงาน และค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต ผู้วิจัยใช้สถานีฉีดพลาสติกและสถานีเจียรขอบชิ้นงานในกระบวนการผลิตคิ้ว

กันสาทรยนต์ของบริษัท ABC (ชื่อสมมติ) เป็นกรณีตัวอย่าง ผู้วิจัยได้เข้าสำรวจข้อมูลจริงในกระบวนการผลิตเพื่อสร้างแผนภาพแผนผังสายธารแห่งคุณค่า จากนั้น ออกแบบและจำลองการทำงานของสถานีโคบอทด้วยโปรแกรมโรบอทสตูดิโอ แล้วนำผลจากโปรแกรมมาสร้างแผนผังสายธารแห่งคุณค่าเพื่อเปรียบเทียบระยะเวลากระบวนการ ผลิตภาพ จำนวนพนักงาน นอกจากนี้ งานวิจัยใช้ฟังก์ชันวิเคราะห์สัญญาณเพื่อวิเคราะห์การสิ้นเปลืองพลังงานของสถานีโคบอทเพื่อนำไปคำนวณค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ผลการวิจัยสนับสนุนแนวคิดการนำโคบอทมาใช้งานร่วมกับคนในกระบวนการผลิตเดิม เพื่อเพิ่มผลิตภาพและลดค่าใช้จ่าย นักวิจัย วิศวกรแขนกล โรงงาน และผู้ประกอบการสามารถนำงานวิจัยนี้เป็นแนวทางต่อยอดในการปรับปรุงกระบวนการผลิตของตนเองได้ งานวิจัยมีส่วนร่วมสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนข้อ 9 อุตสาหกรรม นวัตกรรม และโครงสร้างพื้นฐาน ข้อย่อย 9.2 โดยรักษานักงานเอาไว้ในกระบวนการผลิตให้ทำงานร่วมกับเทคโนโลยีและเพิ่มผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ

บททวนวรรณกรรม

1. การเขียนโปรแกรมควบคุมแขนกล

การเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งงานแขนกลและโคบอทมีสองแบบ ได้แก่ แบบออฟไลน์ (Offline programming) และแบบออนไลน์ (Online programming) [12] การเขียนโปรแกรมแบบออฟไลน์สามารถทำได้ก่อนนำไปกับการใช้งานแขนกล ทำให้ลดเวลาในการหยุดการผลิตได้ วิศวกรแขนกลสามารถออกแบบ จำลองการทำงาน ตรวจสอบเส้นทางการทำงานของแขนกลให้ถูกต้องก่อนติดตั้งคำสั่งลงในแขนกลจริงและปรับแต่งละเอียดก่อนการใช้งาน [13] ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแขนกล ประกอบด้วย (1) ประเภทการเคลื่อนที่ ได้แก่ การเคลื่อนที่แบบจุดต่อจุด แบบเส้นตรง และแบบเส้นโค้ง (2) ความเร็วและความเร่งของการเคลื่อนที่ (3) วิธีการเคลื่อนที่ เช่น การเคลื่อนที่ตามเส้นแบบต่อเนื่องหรือการเคลื่อนที่เป็นจังหวะ (4) การรอเวลา และ (5) ตำแหน่งแกนต่าง ๆ ของแขนกล เป็นต้น [14] โปรแกรมโรบอทสตูดิโอ (RobotStudio®) เป็นซอฟต์แวร์ของบริษัทเอบีบีที่ช่วยในการเขียนออกแบบสถานีงาน การเขียนโปรแกรมควบคุมแขนกล การจำลองการทำงาน การตรวจสอบการใช้พลังงาน และวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของแขนกล [15] บริษัทเอบีบีได้กล่าวว่า โปรแกรมโรบอทสตูดิโอมีเทคโนโลยีนำหน้าคู่แข่งอยู่ 5 ถึง 10 ปี บริษัทมีการอัปเดตโปรแกรมและพัฒนาแขนกลอย่างสม่ำเสมอทุกปี [13]

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับออกแบบสถานีโคบอทสำหรับงานหยิบและวางในกระบวนการผลิต โดยค้นหาจากฐานข้อมูล Google Scholar และ Scopus โดยมีรายละเอียดดังนี้ (1) Prassida and Asfari [16] ได้ศึกษาแบบจำลองแนวความคิดสำหรับการยอมรับโคบอทในอุตสาหกรรม 5.0 และพบว่าในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา โคบอทได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โคบอทมีประสิทธิภาพดีกว่าแขนกลแบบดั้งเดิมในเรื่องความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานและความยืดหยุ่นในการใช้งาน โคบอทมีเซนเซอร์ในตัวที่เชื่อถือได้เพื่อตรวจจับการสัมผัสกับสภาพแวดล้อม ความปลอดภัยและความง่ายในการใช้งานเป็นปัจจัยสำคัญต่อการทำงานร่วมกันระหว่างโคบอทกับพนักงาน (2) Supsomboon and Varodhomwathana [17] ได้ออกแบบและจำลองสถานีแขนกลของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในโรงงาน โดยทำการออกแบบ 3 สถานี ดังนี้ สถานีที่ 1 ใช้แขนกลจำนวน 2 ตัว มีเวลาทำงาน 19 ชั่วโมง สถานีที่ 2 ใช้แขนกลจำนวน 1 ตัว และทำงานล่วงหน้าที่เพิ่มอีก 2 ชั่วโมง และสถานีที่ 3 ใช้แขนกลจำนวน 4 ตัว และทำงานล่วงหน้าที่เพิ่มอีก 4 ชั่วโมง ผลการวิจัยพบว่า สถานีที่ 3 สามารถเพิ่มผลิตภาพได้ดีที่สุดโดยเพิ่มขึ้นจากเดิม 13% (3) Noamna, Thongphun [18] ได้ศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคคลื่น คือ ใช้แผนผังสายธารแห่งคุณค่าร่วมกับเทคนิค 5W1H และหลักการอีซีอาร์เอส (ECRS) เพื่อลดเวลาในกระบวนการผลิตและใช้ประโยชน์จากเวลาที่เหลือในกระบวนการ

ผลการวิจัยสามารถลดจำนวนพนักงานและลดระยะเวลาในการผลิตลง 79.35% และ (4) Renteria and Alvarez-de-los-Mozos [19] ได้ศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนในเทคโนโลยีอัตโนมัติในกระบวนการรีไซเคิลโดยจำลองการทำงานร่วมกันระหว่างคนกับโคบอท ผลการวิจัยพบว่า โคบอทสามารถทำงานร่วมกันกับพนักงานได้อย่างปลอดภัย และยังช่วยให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น เมื่อวิเคราะห์ในด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าการใช้งานโคบอทช่วยลดค่าใช้จ่ายลง ในระยะเวลาโครงการ 5 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการใช้งานโคบอทมีค่ามากกว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของการใช้งานคน

การทบทวนวรรณกรรม พบว่า งานวิจัยก่อนหน้าได้มีการใช้โปรแกรมโรบอทสตูดิโอเพื่อจำลองการทำงานและตรวจสอบการเคลื่อนที่ของแขนกล มีการเลือกใช้แขนกลในสถานีนิจจริงในโรงงาน และมีการใช้แผนผังสายธารแห่งคุณค่ามาปรับปรุงในกระบวนการ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องยังไม่ได้ทำการเปรียบเทียบผลของสถานีนิจงานในเชิงความคุ้มค่าด้านค่าใช้จ่ายและการใช้โคบอทเข้ามาเพื่อลดจำนวนพนักงาน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงตั้งคำถามวิจัยว่า จะใช้โปรแกรมโรบอทสตูดิโอในการออกแบบสถานีนิจโคบอทและเปรียบเทียบผลในเชิงความคุ้มค่าได้อย่างไร ผู้วิจัยจึงกำหนดสถานีนิจงานเป็นสถานีนิจฉีดพลาสติกและสถานีนิจเจียรขอบชิ้นงาน ใช้โปรแกรมโรบอทสตูดิโอออกแบบและจำลองการทำงานของสถานีนิจงาน ใช้แผนผังสายธารแห่งคุณค่าในการวิเคราะห์กระบวนการผลิตก่อนและหลังปรับปรุง และนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ต่อในเชิงปริมาณ

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงแก้ปัญหาด้วยโจทย์จากกระบวนการผลิตจริง ออกแบบและจำลองการทำงานเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเทคนิคด้วยโปรแกรมโรบอทสตูดิโอ และวิเคราะห์เปรียบเทียบผลความคุ้มค่าด้วยการคำนวณ วิธีดำเนินการวิจัยมี 3 ขั้นตอน ได้แก่ (1) โรงงานตัวอย่าง (2) กระบวนการผลิตตัวอย่าง (3) การปรับปรุงสถานีนิจและการวิเคราะห์ข้อมูล ตามลำดับ

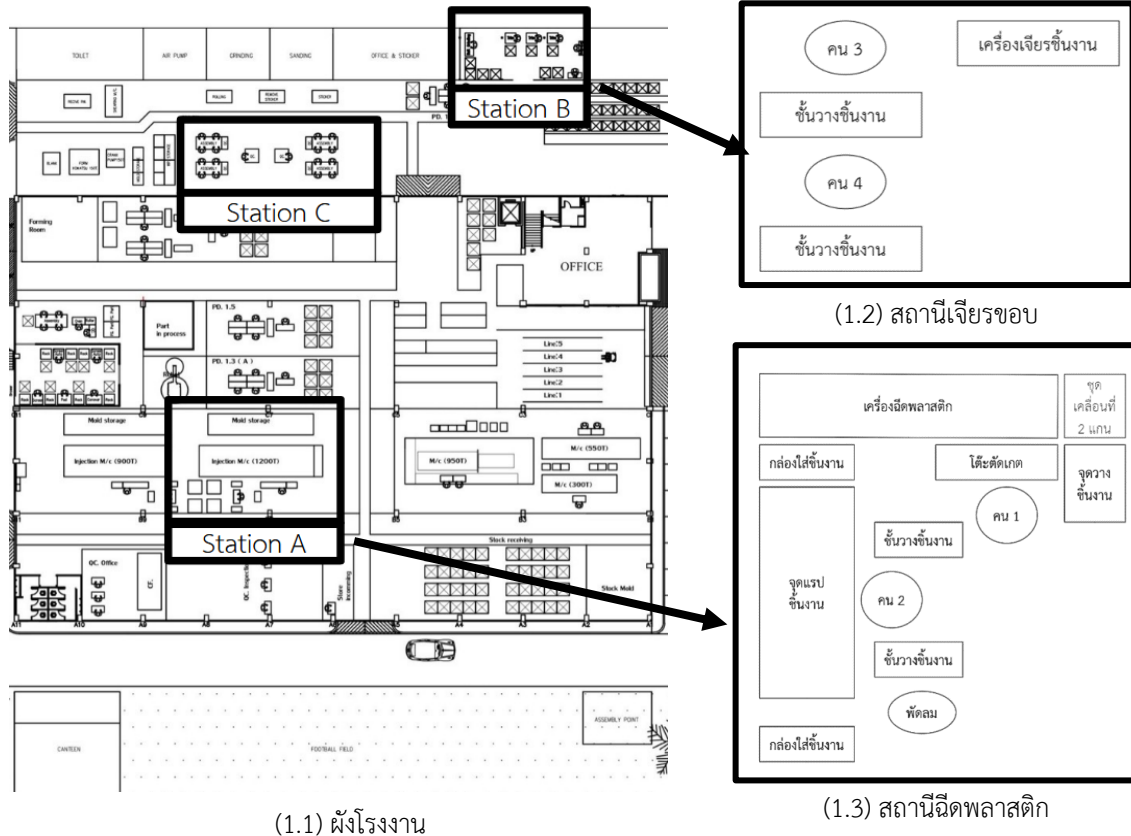
1. โรงงานตัวอย่าง

ผู้วิจัยได้สำรวจโรงงานในเขตจังหวัดนครปฐมที่มีแขนกลยี่ห้อเอบีบี และเลือกโรงงานโดยพิจารณาจากระยะห่างจากมหาวิทยาลัย จากนั้นติดต่อบริษัทเพื่อขอเข้าดูงานและพูดคุย แล้วเลือกกระบวนการผลิตคั่วกันสาดรถยนต์ (Side visor) ของบริษัท ABC (ชื่อสมมติ) เป็นกรณีศึกษา บริษัท ABC มีสถานที่ตั้งอยู่ที่ตำบลนคราภิรมย์ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม โดยเป็นโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ อุปกรณ์ประดับยนต์ทั้งภายนอกและภายใน โดยผลิตภายใต้มาตรฐานระบบควบคุมการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยานยนต์ ฐานข้อมูลกรมพัฒนาธุรกิจการค้า (Department of business development หรือ DBD) ระบุว่าบริษัท ABC เริ่มดำเนินการมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2535 และเป็นธุรกิจขนาดใหญ่ ฐานข้อมูลกรมโรงงานอุตสาหกรรม (Department of industrial work หรือ DIW) ระบุว่าบริษัท ABC จัดทะเบียนเป็นโรงงานประเภท 77(2) การทำชิ้นส่วนพิเศษหรืออุปกรณ์สำหรับรถยนต์ หรือรถพ่วง อยู่ในกลุ่มประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรมประเทศไทย (TSIC) 29309 การผลิตชิ้นส่วนและอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ สำหรับยานยนต์ และมีจำนวนพนักงาน 50 คน

2. กระบวนการผลิตตัวอย่าง

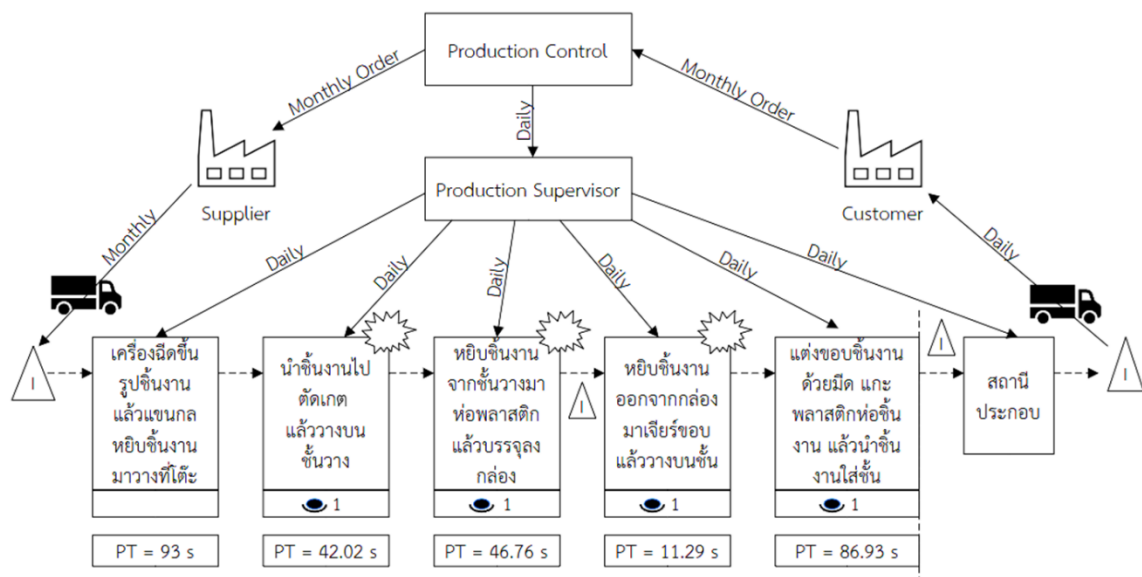
ผู้วิจัยเข้าสำรวจกระบวนการผลิตและพูดคุยกับผู้จัดการโรงงาน แล้วเลือกกระบวนการผลิตคั่วกันสาดรถยนต์เป็นกระบวนการผลิตตัวอย่าง ภาพที่ 1 แสดงแผนผังของโรงงานเฉพาะส่วนที่เป็นกรณีตัวอย่าง มีกระบวนการผลิตดังนี้ (1) ที่สถานีนิจฉีดพลาสติก (สถานีนิจ A) เครื่องฉีดพลาสติกทำการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานคั่วกันสาดรถยนต์สองชิ้นด้านซ้ายและขวาติดกัน โดยมีเกต (Gate) หรือทางเข้าน้ำพลาสติกติดมาด้วย (2) ชุดเคลื่อนที่สองแกนหยิบชิ้นงานที่ฉีดเสร็จแล้วมาวางที่จุดวางชิ้นงาน (3) พนักงานคนที่ 1 นำชิ้นงานไปตัดเกตด้วยคีมตัดที่โต๊ะตัดเกตแล้ววางบนชั้นวาง (4) พนักงานคนที่ 2 หยิบชิ้นงานจากชั้นวางชิ้นงานมาทอพลาสติกที่จุดแรบชิ้นงานแล้วบรรจุลงกล่องใส่ชิ้นงาน (5) พนักงานจะนำชิ้นงานในกล่องใส่

ชิ้นงานจากสถานี A ไปเจียรขอบชิ้นงานที่สถานีเจียรขอบชิ้นงาน (สถานี B) (6) พนักงานคนที่ 3 หยิบชิ้นงานจากกล่องมาเจียรขอบชิ้นงานด้วยกระดาษทรายสายพานแล้ววางบนชั้นวางชิ้นงาน (7) พนักงานคนที่ 4 แต่งขอบชิ้นงานด้วยมีด แกะพลาสติกห่อชิ้นงานออก แล้วนำชิ้นงานใส่ชั้นวางชิ้นงาน (8) สุดท้ายเป็นการขนย้ายชิ้นงานไปยังสถานีประกอบ (สถานี C) เพื่อติดเทปกาวสองหน้าและบรรจุสินค้าลงบรรจุภัณฑ์ต่อไป



ภาพที่ 1 แผนผังกระบวนการผลิตของบริษัท ABC

ภาพที่ 2 แสดงแผนผังสายธารแห่งคุณค่า (Value stream mapping หรือ VSM) ของกระบวนการก่อนปรับปรุง และแสดงเวลาในกระบวนการ มีรายละเอียดดังนี้ กระบวนการเริ่มต้นที่ลูกค้าสั่งซื้อสินค้าที่โรงงานเป็นรายเดือน และโรงงานก็สั่งซื้อเม็ดพลาสติกเป็นรายเดือนเพื่อทำการผลิตสินค้า (1) ที่สถานี A เครื่องฉีดขึ้นรูปชิ้นงานและชุดเคลื่อนที่สองแกนใช้เวลา 93 วินาที (2) พนักงานคนที่ 1 นำชิ้นงานไปตัดแต่งแล้ววางบนชั้นวางใช้เวลา 42.02 วินาที (3) พนักงานคนที่ 2 หยิบชิ้นงานที่ตัดแต่งแล้วมาห่อพลาสติกแล้วบรรจุลงกล่องใช้เวลา 46.67 วินาที เป็นการเสร็จกระบวนการที่สถานี A (4) ขนย้ายสินค้าระหว่างทำจากสถานี A ไปยังสถานี B ใช้เวลา 77.7 วินาที (5) ที่สถานี B พนักงานคนที่ 3 หยิบชิ้นงานออกจากกล่องมาเจียรขอบชิ้นงานแล้ววางบนชั้นใช้เวลา 11.29 วินาที (6) พนักงานคนที่ 4 แต่งขอบชิ้นงานด้วยมีด แกะพลาสติกห่อทิ้ง แล้ววางชิ้นงานบนชั้นวางใช้เวลา 86.93 วินาที เป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการที่สถานี B และ (7) การขนย้ายสินค้าระหว่างทำจากสถานี B ไปยังสถานี C ใช้เวลาในการขนย้าย 16 วินาที ระยะเวลารวมก่อนปรับปรุงเท่ากับ 373.70 วินาที สถานี C เป็นการติดเทปกาวสองหน้าและนำสินค้าลงบรรจุภัณฑ์ แล้วเก็บเข้าคลังสินค้าเพื่อรอจัดส่งสินค้าไปยังผู้ซื้อในลำดับถัดไป กระบวนการที่มีสัญลักษณ์ Kaizen burst ที่อยู่ตำแหน่งมุมบนขวาคือกระบวนการที่จะทำการปรับปรุง เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่เกิดประโยชน์และสูญเสียเวลา ตัวเลขที่ระบุไว้ในกล่องกระบวนการแสดงจำนวนพนักงานที่ต้องใช้ในการทำงานนั้น

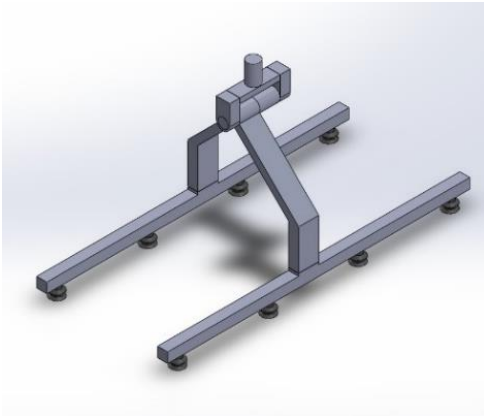


ภาพที่ 2 แสดงแผนผังสายธารแห่งคุณค่าของสถานีก่อนทำการปรับปรุง

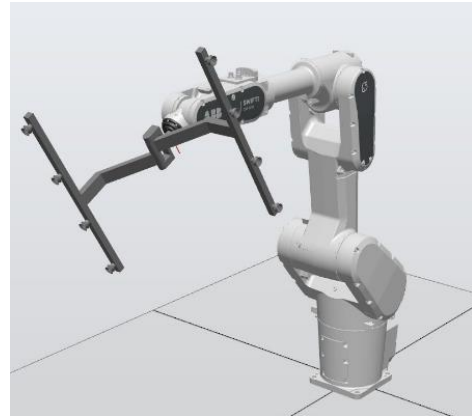
3. การปรับปรุงสถานีและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยมีแนวคิดในการปรับปรุงกระบวนการ ดังนี้ (1) ใช้โคบอทหยิบชิ้นงานมาตัดเกตแทนพนักงาน สามารถตัดพนักงานออก 1 คน โดยต้องเพิ่มโคบอทเข้ามา 1 ตัวและออกแบบอุปกรณ์หยิบจับชิ้นงาน (Gripper) เพิ่ม (2) รวมกระบวนการเจียรขอบชิ้นงานจากสถานี B มาอยู่ที่สถานี A เลย ทำให้สามารถตัดงานท่อพลาสติกเพื่อป้องกันการเกิดรอยบนชิ้นงานขนย้ายไปยังเจียร สามารถตัดพนักงานออก 1 คน ตัดเวลาการท่อพลาสติกออก 46.76 วินาที และตัดระยะเวลาขนย้ายสินค้าออก 77.7 วินาที (3) ใช้โคบอทเจียรขอบชิ้นงานแทนพนักงาน สามารถตัดพนักงานออก 1 คน (4) ใช้พนักงาน 1 คนแต่งขอบชิ้นงานด้วยมีดเหมือนเดิม แต่จะสามารถลดเวลาทำงานลงจากเดิม 86.93 เป็น 76.93 วินาที เพราะไม่ต้องแกะพลาสติกกันรอยแล้ว (5) เปลี่ยนการขนย้ายสินค้าไปยังสถานีประกอบ (สถานี C) จากเดิมขนจากสถานี B ใช้เวลา 16 วินาทีเป็นการขนย้ายจากสถานี A ใช้เวลา 75 วินาที เพราะมีระยะห่างมากกว่า

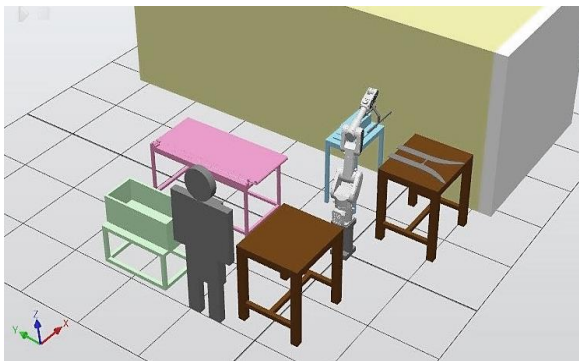
ผู้วิจัยออกแบบสถานีจำลองในโปรแกรมโรบอทสตูดิโอโดยมีรายละเอียด ดังนี้ (1) โคบอทที่เลือกใช้งานเป็นรุ่น CRB1300-7/1.4 มีระยะเอื้อม (Reach) 1.4 เมตร และรับน้ำหนัก (Payload) ได้ 7 กิโลกรัม [20] ทำหน้าที่หยิบจับตัวชิ้นงานจากจุดวางชิ้นงานไปตัดเกตและเจียรขอบชิ้นงานแทนพนักงานคนที่ 1 (2) ติดตั้งใบตัดซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ที่โต๊ะตัดเกตโดยสั่งเปิด/ปิดการทำงานด้วยสัญญาณจากโคบอทแทนการตัดเกตด้วยคีมตัดโดยพนักงาน (3) ออกแบบอุปกรณ์หยิบจับชิ้นงานแบบหัวดูดสุญญากาศ (Vacuum pad gripper) โดยมีหัวดูดทั้งหมด 8 ตัว ดังภาพที่ 3.1 เพื่อดูดชิ้นงาน โดยเลือกคุณสมบัติของหัวดูดสุญญากาศที่สามารถดูดชิ้นงานที่มีลักษณะผิวโค้งได้ (www.airbest.com) (4) แขนของอุปกรณ์หยิบจับชิ้นงานสามารถกางออกได้เพื่อใช้ในการเจียรขอบชิ้นงาน ดังภาพที่ 3.2 (5) เมื่อโคบอททำงานเสร็จจะนำชิ้นงานมาวางบนจุดวางชิ้นงานโดยจะมีพนักงาน 1 คนทำหน้าที่แต่งขอบชิ้นงานด้วยมีด เก็บรายละเอียดต่าง ๆ และหยิบชิ้นงานมาใส่ในกล่องเพื่อที่จะนำไปประกอบต่อไปในสถานี C และ (6) ผู้วิจัยใช้โปรแกรมเอบีโปรบอทสตูดิโอสร้างสถานีและจำลองการทำงานของสถานี จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลผลิตภาพ ระยะเวลาการทำงานและค่าใช้จ่าย



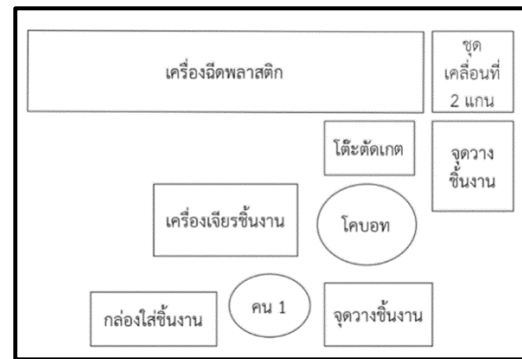
(3.1) อุปกรณ์หยิบจับชิ้นงานแบบหัวคูดสูญญากาศ



(3.2) อุปกรณ์หยิบจับชิ้นงานขณะกางออก

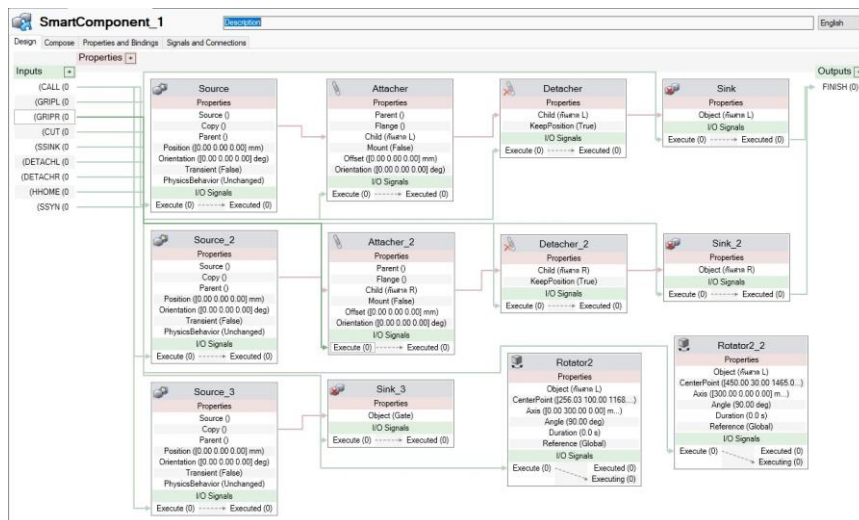


(3.3) ออกแบบสถานีนงานในโปรแกรมโรบอตสตูดิโอ

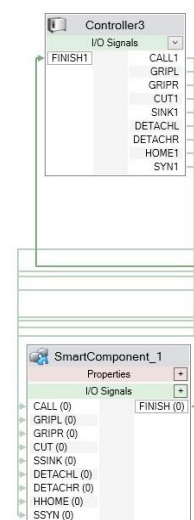


(3.4) สถานีนงานหลังปรับปรุง

ภาพที่ 3 สถานีโคบอท



(4.1) สมาร์ทคอมโพเนนท์



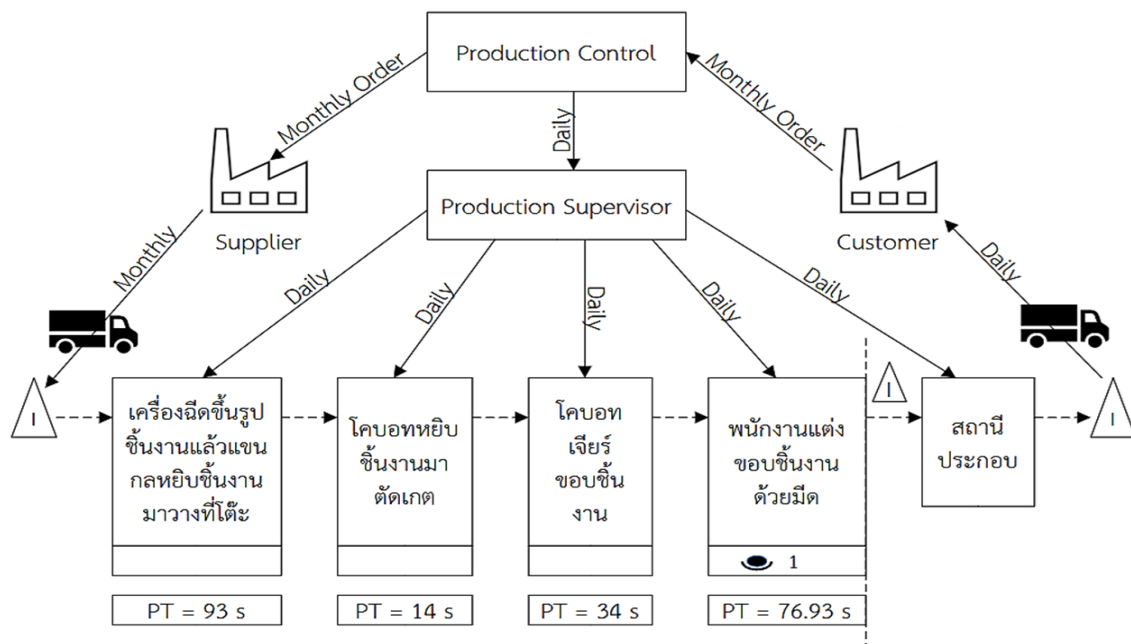
(4.2) สเตชันลอจิก

ภาพที่ 4 แสดงสมาร์ทคอมโพเนนท์ของโคบอทและการเชื่อมต่อสัญญาณด้วยสเตชันลอจิก

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยออกแบบสถานีโคบอทโดยมีรายละเอียด ดังนี้ (1) รวมสถานี A และสถานี B เข้าด้วยกัน (2) เพิ่มโคบอทเข้ามาแทนพนักงานคนที่ 1 ทำหน้าที่หยิบจับชิ้นงานที่ออกมาจากเครื่องฉีดพลาสติกบนจุดวางชิ้นงาน เพื่อนำไปตัดเกรด และเจียรขอบชิ้นงานด้วยเครื่องเจียร จากนั้นโคบอทจะนำชิ้นงานไปวางที่จุดวางชิ้นงานอีกที (3) มีพนักงาน 1 คน คอยหยิบชิ้นงานที่โคบอทนำมาวางแล้วนำมาใส่กล่องใส่ชิ้นงาน เพื่อนำไปประกอบในสถานีต่อไป ดังภาพที่ 3.3 และ 3.4

ลำดับถัดไป ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบสถานีด้วยโปรแกรมโรบอตสตูดิโอโดยใช้สมาร์ตคอมโพเนนท์ (Smart Component) ดังภาพที่ 4.1 โดยมีรายละเอียด ดังนี้ (1) สร้างชิ้นงานคิ้วกันสาดรถยนต์ขึ้นมาที่ตำแหน่งเริ่มต้นด้วยกล่องคำสั่ง Source (2) แขนกลจะทำการจับคิ้วกันสาดรถยนต์โดยใช้กล่องคำสั่ง Attacher (3) เมื่อทำการตัดเกรดหรือทางเชื่อมพลาสติกออกจะใช้กล่องคำสั่ง Sink เพื่อให้เกรดหายไป (4) ทางอุปกรณ์หยิบจับเป็นมุม 90 องศา พร้อมกับเปลี่ยนตำแหน่งคิ้วกันสาดรถยนต์ฝั่งซ้ายด้วยกล่องคำสั่ง Rotator (5) เขียนคำสั่งควบคุมโคบอทให้ทำการเจียรขอบชิ้นงาน (6) เมื่อเจียรขอบชิ้นงานเสร็จจะทำการหุบอุปกรณ์หยิบจับพร้อมเปลี่ยนตำแหน่งกันสาดฝั่งซ้ายให้เป็นตำแหน่งเดิมด้วยกล่องคำสั่ง Rotator อีกครั้ง (7) เขียนคำสั่งควบคุมโคบอทให้นำชิ้นงานไปวางบนชั้นวาง แล้วส่งปล่อยคิ้วกันสาดรถยนต์ด้วยกล่องคำสั่ง Detacher (8) เมื่อสิ้นส่วนกระบวนการจะสั่งให้คิ้วกันสาดรถยนต์หายไปด้วยกล่องคำสั่ง Sink (9) ทำการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างตัวควบคุมโคบอท (Cobot controller) และสมาร์ตคอมโพเนนท์ในสเตชันลอจิก (Station logic) (10) ผู้วิจัยได้สร้างสัญญาณเข้าและสัญญาณออกให้โคบอททำงานร่วมกับสมาร์ตคอมโพเนนท์ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 5 แสดงแผนผังสายธารแห่งคุณค่าของสถานีหลังทำการปรับปรุง

ภาพที่ 5 แสดงแผนผังสายธารแห่งคุณค่าของสถานีหลังทำการปรับปรุง และตารางที่ 1 แสดงกระบวนการและเวลาในการผลิตก่อนและหลังปรับปรุง รายละเอียดของกระบวนการภายหลังการปรับปรุง ดังนี้ (1) ลูกค้าสั่งสินค้าไปจนถึงกระบวนการเครื่องฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน ใช้เวลาเท่าเดิม 93 วินาที (2) โคบอทหยิบชิ้นงานมาตัดเกรดแทนพนักงานคนที่ 1 ใช้เวลา 14 วินาที (3) เนื่องจากไม่ต้องการขนย้ายชิ้นงานไปยังสถานีอื่น ทำให้ตัดขั้นตอนท่อพลาสติกออกและตัดพนักงานคนที่ 2 ออกไปได้ (4) โคบอททำงานต่อด้วยการเจียรขอบชิ้นงานแทนพนักงานคนที่ 3 แล้วนำไปวางบนจุดวางชิ้นงานใช้

เวลา 17 วินาที (5) มีพนักงานในสถานีเพียง 1 คน ทำหน้าที่หยิบชิ้นงานหลังจากโคบอททำงานเสร็จมาแต่งขอบชิ้นงานด้วยมีด เก็บรายละเอียดต่าง ๆ และหยิบชิ้นงานมาใส่ในกล่องใช้เวลา 76.93 วินาที (6) ขนย้ายชิ้นงานไปประกอบต่อในสถานี C ใช้เวลาในการขนย้าย 75 วินาที แล้วทำการเก็บสินค้าเข้าคลังก่อนจะส่งไปให้ผู้ซื้อต่อไป ระยะเวลารวมก่อนปรับปรุงเท่ากับ 275.93 วินาที

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบกระบวนการ จำนวนพนักงาน และค่าใช้จ่าย

กระบวนการก่อนปรับปรุง			กระบวนการหลังปรับปรุง		
ระยะเวลาในแต่ละกระบวนการ	(วินาที)	รูปแบบ			(วินาที)
เครื่องฉีดขึ้นรูปชิ้นงานแล้วชุดเคลื่อนที่สองแกน	93	VA	เครื่องฉีดขึ้นรูปชิ้นงานแล้วแขนกล		93
หยิบชิ้นงานมาวางที่โต๊ะ			หยิบชิ้นงานมาวางที่โต๊ะ		
พนักงานคนที่ 1 นำชิ้นงานไปตัดแล้ววางบนชั้น	42.02	NVA	โคบอทหยิบชิ้นงานมาตัด		14
พนักงานคนที่ 2 หยิบชิ้นงานจากชั้นวางมาห่อพลาสติกแล้วบรรจุลงกล่อง	46.76	W	--		-
ขนย้ายสินค้าจากสถานี A ไป สถานี B	77.70	W	--		-
พนักงานคนที่ 3 หยิบชิ้นงานออกจากกล่องมาเจียรขอบแล้ววางบนชั้น	11.29	NVA	โคบอทเจียรขอบชิ้นงานแล้ววางบนชั้น		17
พนักงานคนที่ 4 แต่งขอบชิ้นงานด้วยมีด แกะพลาสติกห่อชิ้นงานแล้วนำชิ้นงานใส่ชั้น	86.93	NVA	พนักงานคนที่ 1 แต่งขอบชิ้นงานด้วยมีดแล้วนำชิ้นงานใส่ชั้น		76.93
ขนย้ายสินค้าจากสถานี B ไป สถานี C	16	NVA	ขนย้ายสินค้าจากสถานี A ไปสถานี C		75
รวมเวลารวม	373.70				275.93
จำนวนพนักงาน (คน)	4				1
ค่าใช้จ่ายพนักงานและโคบอท (บาทต่อปี)	522,720.00				130,923.81

หมายเหตุ: VA = เพิ่มคุณค่า (Value added), NVA = กระบวนการที่ไม่เพิ่มคุณค่า (Non-value added) และ W คือ ความสูญเสีย (Waste)

ผู้วิจัยได้คำนวณค่าไฟฟ้า ดังนี้ (1) ผลจากฟังก์ชันวิเคราะห์สัญญาณแสดงการสิ้นเปลืองพลังงาน 2,857.3 จูลต่อรอบ (2) ผลการจำลองการทำงานแสดงระยะเวลาการทำงาน 141 วินาทีต่อรอบ กำหนดให้โคบอททำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน เท่ากับพนักงานตามแรงงานขั้นต่ำฐานอ้างอิงมาจากกระทรวงแรงงาน ดังนั้น โคบอทจะทำงานได้ 204 รอบต่อวัน (3) คำนวณการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าต่อวันเท่ากับ 582,889.2 จูล ($2,857.3 \text{ จูล} \times 204 \text{ รอบ}$) คิดเป็น 162.91 วัตต์ชั่วโมง คิดเป็น 0.163 หน่วยต่อวัน หรือ 4.89 หน่วยต่อเดือน (4) จากฐานข้อมูลคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) ระบุค่าไฟฟ้าฐานปี 2567 คิดเป็น 4.1805 บาทต่อหน่วย ดังนั้น คำนวณค่าไฟฟ้าในสถานีโคบอทคิดเป็นเงินได้ 20.32 บาทต่อเดือน หรือ 243.81 บาทต่อปี

กระบวนการก่อนปรับปรุงใช้พนักงานจำนวน 4 คน ผู้วิจัยประมาณการค่าแรงของพนักงานเท่ากับ 363 บาทต่อคนต่อวัน (อ้างอิงมาจากกระทรวงแรงงาน) จำนวนวันทำงาน 30 วันต่อเดือน 43,560 บาทต่อเดือน ($4 \text{ คน} \times 363 \text{ บาท} \times 30 \text{ วัน}$) หรือ 522,720.00 บาทต่อปี สถานีโคบอทใช้พนักงานเพียงคนเดียว คิดเป็นค่าแรง 130,680 บาทต่อปี เมื่อรวมกับค่าไฟฟ้าในสถานีโคบอทจำนวน 243.81 บาทต่อปี รวมเป็นค่าใช้จ่าย 130,923.81 บาทต่อปี ดังนั้น สถานีโคบอทสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ 391,796.19 บาทต่อปี หรือลดลง 74.95%

ผู้วิจัยวิเคราะห์ความเป็นไปได้โครงการ ดังนี้ (1) ตรวจสอบราคาโคบอท ABB CRB1300-7/1.4 รวมตัวควบคุม OmniCore C30 ประมาณ 35,000 USD (www.carolinamotioncontrols.com) คิดเป็น 1,141,490 บาท (แปลงสกุลเงินโดย Google Finance ณ เดือนกันยายน พ.ศ. 2567) (2) พิจารณาอายุโครงการ 10 ปี ประมาณการต้นทุนติดตั้ง

24% และค่าใช้จ่ายบำรุงรักษารายปี 12% [21] (3) พิจารณาผลประโยชน์ของการใช้โคบอทเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถลดลงได้ 391,796.19 บาทต่อปี (4) วิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายได้เท่ากับ 5.55 ปี (5) วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายในได้เท่ากับ 12.42% (6) พิจารณาอัตราคิดลดแบบช่วงเพื่อเพิ่มความครอบคลุมของการวิเคราะห์ [22] โดยค่าขอบล่าง คือ อัตราเงินเฟ้อทั่วไปปี พ.ศ. 2566 เท่ากับ 1.23% (ข้อมูลจากธนาคารแห่งประเทศไทย, www.bot.or.th) แทนกรณีโรงงานลงทุนเอง และค่าขอบบน คือ อัตราคิดลดเป็นดอกเบี้ยเงินกู้เฉลี่ยเท่ากับ 7% แทนกรณีกู้ธนาคาร (7) วิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลดได้เท่ากับ 5.78 ถึง 7.71 ปี (8) วิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิได้เท่ากับ 349,797.31 ถึง 957,728.16 บาท เมื่อพิจารณาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนภายในสรุปว่าโครงการมีความเป็นไปได้

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสถานีโคบอทเพื่อลดระยะเวลาของกระบวนการ เพิ่มผลผลิตภาพ ลดจำนวนพนักงาน และค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต กระบวนการก่อนปรับปรุงใช้ระยะเวลาในกระบวนการผลิตรวม 373.70 วินาทีต่อชิ้น มีผลผลิตภาพเท่ากับ 77 ชิ้นต่อวัน ใช้พนักงานจำนวน 4 คน และมีค่าใช้จ่าย 522,720 บาทต่อปี สถานีโคบอทที่ออกแบบและจำลองการทำงานในโปรแกรมโรบอทสตูดิโอใช้ระยะเวลาในกระบวนการรวม 275.93 วินาทีต่อชิ้น มีผลผลิตภาพเท่ากับ 104 ชิ้นต่อวัน ใช้พนักงานคนเดียว และมีค่าใช้จ่ายรวม 130,923.81 บาทต่อปี การปรับปรุงสถานีงานโดยใช้โคบอททำงานร่วมกันคนสามารถลดระยะเวลาของกระบวนการลง 26.16% เพิ่มผลผลิตภาพขึ้น 35.06% ลดจำนวนคนในกระบวนการได้จำนวน 3 คน และลดค่าใช้จ่ายลงได้ 74.95% และผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้สรุปว่าโครงการมีความเป็นไปได้โดยพิจารณาจากค่าอัตราผลตอบแทนภายในได้เท่ากับ 12.42% และช่วงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 349,797.31 ถึง 957,728.16 บาท

ผลการวิจัยมีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้ (1) ผลผลิตที่เพิ่มขึ้น 35.06% จากการใช้โคบอททำร่วมกับคนในกระบวนการผลิตสอดคล้องกับ Supsomboon and Varodhomwathana [17] ที่ใช้แขนกลในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์และสามารถเพิ่มผลผลิตได้ 13% (2) ระยะเวลาของกระบวนการที่วิเคราะห์จากแผนผังสายธารแห่งคุณค่าที่ลดลง 26.16% สอดคล้องกับ Noamna, Thongphun [18] ที่ใช้แผนผังสายธารแห่งคุณค่ามาวิเคราะห์เวลาในกระบวนการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถลดจำนวนคนและลดเวลาในกระบวนการผลิตลงได้ 79.35 % (3) การใช้โคบอททำงานร่วมกับคนในกระบวนการผลิตสามารถลดค่าใช้จ่ายลง 74.95% สอดคล้องกับ Renteria and Alvarez-de-los-Mozos [19] ที่ใช้โคบอทร่วมกับคนในกระบวนการรีไซเคิล

งานวิจัยนี้มีประโยชน์ในเชิงทฤษฎี 2 ข้อ ได้แก่ (1) ผลการวิจัยสนับสนุนทฤษฎีของ Prassida and Asfari [16] ที่เชื่อว่าการใช้งานโคบอทมีประสิทธิภาพดีกว่าแขนกลในเรื่องความปลอดภัยต่อผู้ใช้ ความยืดหยุ่นในการทำงานซ้ำ ๆ และมีความง่ายต่อการนำมาใช้งานร่วมกับกระบวนการที่มีอยู่เดิม (2) งานวิจัยได้ใช้กระบวนการจริงในโรงงาน ใช้ลำดับขั้นตอนและข้อมูลระยะของกระบวนการจริงมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพ การออกแบบและวิเคราะห์ทำงานของโคบอทในโปรแกรมด้วยตัวแปรที่ครบถ้วนจะทำให้เชื่อได้ว่าผลการจำลองการทำงานนั้นอ้างอิงได้และสามารถนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ประกอบการพิจารณาตัดสินใจลงทุนต่อไปได้

งานวิจัยมีประโยชน์ในเชิงปฏิบัติ 2 ข้อ ได้แก่ (1) งานวิจัยแสดงตัวอย่างของการใช้โคบอททำงานร่วมกับพนักงานในโรงงาน โดยสามารถลดเวลาของกระบวนการ เพิ่มผลผลิตภาพ ลดจำนวนพนักงาน และลดค่าใช้จ่ายของกระบวนการได้ พนักงานสามารถทำงานร่วมกับโคบอทได้ในพื้นที่เดียวกันทำให้สะดวกต่อการนำโคบอทไปปรับใช้งาน สถานประกอบการสามารถนำแนวทางไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตของตนเองได้ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องระบุว่าจะระยะเวลาการทำงานที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมน้อยกว่าสถานีจริง 19.5% [23] ดังนั้น เมื่อนำแนวคิดนี้ไปใช้ต้องมีการวัดระยะเวลาทำงานจริงเพื่อคำนวณค่าผลผลิตภาพอีกครั้ง (2) งานวิจัยมีการคำนวณค่าไฟฟ้ามาจากผลของฟังก์ชันวิเคราะห์สัญญาณในโปรแกรมโร

บททดสอบ ฟังก์ชันวิเคราะห์สัญญาณยังสามารถแสดงข้อมูลอื่น ๆ ในการทำงานของแขนกลได้ เช่น ความเร็ว ความเร่ง วิศวกรแขนกลสามารถนำวิธีการที่แสดงในงานวิจัยนี้ไปปรับใช้ในการออกแบบ สิ่งงาน หรือวิเคราะห์การทำงานของแขนกลหรือโคบอทในงานของตนเองได้

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

งานวิจัยนี้มีข้อจำกัด 6 ข้อ ดังนี้ (1) ผลการวิเคราะห์ด้วยแผนผังสายธารแห่งคุณค่าพบช่องว่างการรอเวลาหยิบจับชิ้นงาน 26 วินาที เกิดขึ้นที่ชุดเคลื่อนที่สองแกน ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตของงานวิจัย หากปรับแต่งการทำงานในส่วนนี้ จะสามารถลดเวลาของกระบวนการลงได้อีก และจะสามารถเพิ่มผลผลิตมากขึ้นได้ (2) การออกแบบเส้นทางการเจียรขอบชิ้นงานเป็นเพียงการจำลองในโปรแกรมเท่านั้น ในสถานีจริงจำเป็นต้องมีการปรับแต่งเส้นทางการเจียรขอบชิ้นงานให้ละเอียดอีกครั้ง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระยะเวลาของกระบวนการ (3) การประมาณค่าไฟฟ้าของอุปกรณ์เป็นเพียงการคำนวณค่าไฟฟ้าพื้นฐานเท่านั้นโดยยังไม่ได้คำนวณแบบละเอียด โรงงานที่นำวิธีการไปปรับใช้ควรตรวจสอบประเภทของโรงงานและจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้จริงทั้งโรงงาน แล้วนำข้อมูลไปคำนวณในเว็บไซต์การไฟฟ้านครหลวงเพื่อความแม่นยำ (4) อุปกรณ์หยิบจับชิ้นงานที่สามารถงอกออกได้อาจมีผลต่อความปลอดภัยของพนักงานที่ปฏิบัติงานอยู่ในพื้นที่ ดังนั้น ต้องวิเคราะห์ระยะปลอดภัยตามมาตรฐานและความรู้สึกของพนักงานก่อนนำไปปฏิบัติ และ (5) การออกแบบหัวดูดสุญญากาศจำนวน 8 ตัวที่ติดตั้งที่อุปกรณ์หยิบจับชิ้นงาน ยังไม่ได้กำหนดรู ขนาด และความดันใช้งาน และยังไม่ได้ทดสอบเมื่อดูดชิ้นงานไปเจียรขอบซึ่งจะมีแรงกระทำและการสั่นสะเทือน งานวิจัยในอนาคตสามารถออกแบบการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ในประเด็นนี้ได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณณฤพล เนียมชนะรา ที่ให้คำปรึกษาด้านข้อมูลและสนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี เราขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่สนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Huang S, Wang B, Li X, Zheng P, Mourtzis D, Wang L. Industry 5.0 and Society 5.0—comparison, complementation and co-evolution. *Journal of Manufacturing Systems*. 2022;64:424–8.
2. Coronado E, Kiyokawa T, Ricardez GAG, Ramirez-Alpizar IG, Venture G, Yamanobe N. Evaluating quality in human-robot interaction: A systematic search and classification of performance and human-centered factors, measures and metrics towards an Industry 5.0. *Journal of Manufacturing Systems*. 2022;63:392–410.
3. Jena MC, Mishra SK, Moharana HS. Application of Industry 4.0 to enhance sustainable manufacturing. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 2020;39(1):13360.
4. Xu X, Lu Y, Vogel-Heuser B, Wang L. Industry 4.0 and Industry 5.0—inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*. 2021;61:530–5.

5. Li B, Liu C, editors. Design and simulation of paper roll packaging workstation based on RobotStudio. 2019 International Conference on Big Data, Electronics and Communication Engineering (BDECE 2019); 2019. Atlantis Press.
6. Ramasamy S, Eriksson K, Peralippatt S, Perumal B, Danielsson F, editors. Optimized online path planning algorithms considering energy. 2021 26th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA); 2021. IEEE.
7. Hsieh CY, Zhao YJ, Chang CH, Chen LY, Lee JD. Development of intelligence automated robotic arm workstation. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. 2020;9(5).
8. Jocelyn S, Ledoux É, Marrero IA, Burlet-Vienney D, Chinniah Y, Bonev IA, et al. Classification of collaborative applications and key variability factors to support the first step of risk assessment when integrating cobots. Safety Science. 2023;166:106219.
9. Taesi C, Aggogeri F, Pellegrini N. COBOT applications—recent advances and challenges. Robotics. 2023;12(3):79.
10. Babalola GT, Gaston JM, Trombetta J, Tulk Jesso S. A systematic review of collaborative robots for nurses: Where are we now, and where is the evidence? Frontiers in Robotics and AI. 2024;11:1398140.
11. Cohen Y, Shoval S, Faccio M. Strategic view on cobot deployment in Assembly 4.0 systems. IFAC-PapersOnLine. 2019;52(13):1519–24.
12. Bentler PM, Chou CP. Practical issues in structural modeling. Sociological Methods and Research. 1987;16(1):78–117.
13. Connolly C. Technology and applications of ABB RobotStudio. Industrial Robot: An International Journal. 2009;36(6):540–5.
14. Fu C, Jing B, Huiyu W, Xiaoguang X, editors. Reducing the energy consumption of a palletizing robot through RobotStudio. 2019 Chinese Control and Decision Conference (CCDC); 2019. IEEE.
15. Stuja K, Katalinic B, Aburaia M, Pajaziti A. Design of a robot application with regard to energy efficiency. Annals of DAAAM & Proceedings. 2021;10(2).
16. Prassida GF, Asfari U. A conceptual model for the acceptance of collaborative robots in Industry 5.0. Procedia Computer Science. 2022;197:61–7.
17. Supsomboon S, Varodhomwathana T. Robot and plant simulation for automotive part production process design: A case study. International Journal of Simulation Modelling. 2017;16(4):617–29.
18. Noamna S, Thongphun T, Kongjit C. Transformer production improvement by lean and MTM-2 technique. ASEAN Engineering Journal. 2022;12(2):29–35.
19. Renteria A, Alvarez-de-los-Mozos E. Human-robot collaboration as a new paradigm in circular economy for WEEE management. Procedia Manufacturing. 2019;38:375–82.
20. ABB. Product specification: CRB 1300. 2022.

21. McBride K, Steffens D, Stanislaus C, Solomon M, Anderson T, Thanigasalam R, et al. Detailed cost of robotic-assisted surgery in the Australian public health sector: From implementation to a multi-specialty caseload. BMC Health Services Research. 2021;21:1–8.
22. Baucells M, Bodily SE. The discount rate for investment analysis applying expected utility. Social Science Research Network. 2022.
23. Borges GD, Mattos DL, Cardoso A, Gonçalves H, Pombeiro A, Colim A, et al. Simulating human-robot collaboration for improving ergonomics and productivity in an assembly workstation: A case study. Occupational and Environmental Safety and Health III. 2022:369–77.