การประยุกต์ใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมร่วมกับเครื่องจักรงานไม้

Application of Industrial Robots for Wood Machines Trending

สวัสดิ์ ภาระราช[1*] คงศักดิ์ สระศรีสม[2] และ ปราโมทย์ ศรีน้อย[3]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) ปทุมธานี 12120
(Faculty of Engineering, Thammasat School of Engineering, Thammasat University)
[2]สาขาวิชาการจัดการระบบการผลิตและโลจิสติกส์แบบลีน สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
[3]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

E-mail: *[1]psawat@engr.tu.ac.th, [2]khongsaksss67@gmail.com, [3]p_srinoi@hotmail.com

บทคัดย่อ

เป็นที่ทราบกันดีว่าหุ่นยนต์อุตสาหกรรมสามารถทำงานที่มนุษย์มองว่าเป็นอันตราย น่าเบื่อหรือยาก หุนยนต์สามารถทำงานด้วยความเร็วและความแม่นยำคงที่ โดยไม่หยุดก็ได้ การโปรแกรมให้หุนยนต์ทำงานก็สะดวกง่าย หุ่นยนต์ช่วยเพิ่มผลผลิต และลดการผลิตสินค้าที่มีข้อบกพร่อง ดังนั้นหุ่นยนต์จึงมีบทบาทในอุตสาหกรรมสมัยใหม่มากขึ้นๆ ตามลำดับ บทความนี้เป็นการนำเสนอแนวคิดในการนำหุ่นยนต์มาประยุกต์การใช้งานกับกรณีศึกษากระบวนผลิตไม้แปรรูป โดยมีรายละเอียดขั้นตอนสำคัญๆ คือ การศึกษากระบวนการผลิต การออกแบบกระบวนการทำงานของหุ่นยนต์ การออกแบบอุปกรณ์ปลายแขน การออกอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน การออกแบบระบบความปลอดภัยของสถานีหุ่นยนต์ นอกจากนั้นบทความได้นำเสนอตัวอย่างการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ จากการดำเนินการพบว่า การประยุกต์ใช้หุ่นยนต์สำหรับป้อนชิ้นงานให้กับเครื่องจักรงานไม้ สามารถเพิ่มผลผลิตได้คิดเป็นร้อยละ 46.3 และมีระยะเวลาคืนทุน 2.33 ปี ในกรณีทำงาน 1 กะ หากพิจารณาทำงาน 2 กะ การเพิ่มผลผลิตมากขึ้นและระยะเวลาการคืนทุนเร็วยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: หุ่นยนต์อุตสาหกรรม การประยุกต์ใช้หุ่นยนต์ การเซาะร่องงานไม้

Abstract

Industrial robots are known to perform tasks that humans consider dangerous boring and difficult. The robot can operate with constant speed and precision without stopping requirements. Programming the robot to work is easy and convenient. Robots increase productivity and reduce the production of defective products. Therefore, robots are increasingly playing a role in modern industries. This article presents the idea of applying the robot to the case study of the lumber production process. The details of the important steps are the study of the production process, robot workflow design, end-effector design, jig-fixture design, and safety system for the robot station. In

addition, the article presents an example of economic analysis. From the operation, it was found that the application of robots for loading workpieces to woodworking machines can increase productivity by 46.3% and have a payback period of 2.33 years in the case of working in 1 shift. If considering working in 2 shifts, more productivity and faster payback periods are possible.

Keywords: Implementation of Industrial Robot, Application of Industrial Robot, Wood Grooving Machine, Loading/Unloading, Machine trending.

1. บทนำ

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยี ทำให้ระบบการผลิตของภาคอุตสาหกรรมต่างๆได้รับการพัฒนา และเป็นส่วนหนึ่งของการเปลี่ยนอุตสาหกรรม 4.0 เทคโนโลยีหุ่นยนต์ เครื่องจักรอัตโนมัติ หุ่นยนต์อุตสาหกรรมสามารถนำไปใช้กับการผลิตต่างๆ มากขึ้นตามลำดับ เนื่องจากหุ่นยนต์อุตสาหกรรมออกแบบให้ทำหน้าที่หลายอย่าง เพื่อเคลื่อนย้ายวัสดุ ชิ้นส่วน เครื่องมือ หรืออุปกรณ์พิเศษอื่นๆ ด้วยโปรแกรมการเคลื่อนที่ เพื่อการกระทางาน (task)ได้อย่างหลากหลาย[1]

บทความนี้เน้นการประยุกต์ใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมกับงานผลิตงานไม้ โดยใช้หุ่นยนต์ ABB IRB1600 ID หุ่นยนต์เป็นหุ่นยนต์อุตสาหกรรม 6 แกน การศึกษากระบวนการผลิต เนื้อหาประกอบด้วย การออกแบบกระบวนการทำงานของหุ่นยนต์ การออกแบบอุปกรณ์ปลายแขน การออกอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน การออกแบบระบบความปลอดภัยของสถานีหุ่นยนต์ และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตเซาะร่องไม้

การทำเฟอร์นิเจอร์ ขอบประตู หน้าต่าง คิ้ว บัว และอื่นๆ ที่ใช้ในการตกแต่ง ลวดลาย เซาะร่อง การลบมุมไม้ ต้องใช้เครื่องเซาะร่องไม้ เรียกอีกอย่างว่าเครื่องเร้าเตอร์หรือเครื่องทริมเมอร์ ในการทำงานเพื่อให้ชิ้นงานออกมาสวยงามตามที่ต้องการ

เครื่องเซาะร่องไม้ของกรณีศึกษา แสดงในรูปที่ 1 เป็นเครื่องเซาะร่องขอบของไม้(Wood grooving machine) ปัจจุบันใช้คนงานจับไม้วัตถุดิบจากพาเลทหนึ่ง จับป้อนชิ้นงานไปยังบริเวณช่องลำเลียงชิ้นงาน โดยจะมีลิมิตสวิตช์ตรวจสอบว่ามีไม้มายังตำแหน่งนั้นหรือไม่ ถ้ามีไม้จะถูกดึงให้ผ่านไปยังใบเร้าเตอร์ ทำให้ไม้ถูกตัดเฉือนได้รูปร่างหรือขนาดตามต้องการหลังจากนั้นไม้จะถูกดันออกจากเครื่องไหลไปตามสายพาน จะมีคนงานอีกคนเป็นคนนำไม้ที่ได้ขนาดรูปร่างตามต้องการแล้วจับไม้ออกไปวางบนพาเลทที่เตรียมไว้ จนกว่าไม้จะเต็มพาเลท จะเห็นว่าการใช้แรงงานในการทำงานร่วมกับเครื่องจักร จะมีข้อจำกัดเกี่ยวกับความเมื่อยล้าของคนงาน มีอัตราการผลิตที่ไม่แน่นอน จึงมีแนวคิดนำหุ่นยนต์อุตสาหกรรมมาใช้แทนแรงงานคน

รูปที่ 1 กระบวนการผลิตเซาะร่องไม้ก่อนปรับปรุง

2.2. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ระยะเวลาคืนทุน คือ จำนวนปีในการดำเนินงานซึ่งจะทำให้มูลค่าการลงทุนสะสมเท่ากับมูลค่าตอบแทนเงินสดสุทธิสะสม หรืออาจกล่าวได้ว่าระยะเวลาคืนทุนคือจำนวนปีในการดำเนินการ ซึ่งทำให้ผลกำไรที่ได้รับในแต่ละปีรวมกันแล้ว มีค่าเท่ากับจำนวนเงินลงทุนเริ่มแรก ผลกำไรในที่นี้ คือ กำไรหลังหักภาษี + ดอกเบี้ย + ค่าเสื่อมราคา ซึ่งระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณหาได้จากสูตรดังต่อไปนี้ [2]

$$PP = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (1)$$

สมการที่ 1 แสดงเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจโดยการพิจารณาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, *PP*)

2.3 การประยุกต์ใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรม

ในปัจจุบันแขนกลได้ถูกนำไปใช้งานที่หลากหลายมากขึ้นและไม่ได้จำกัดเฉพาะในวงการอุตสาหกรรมเท่านั้น เช่น ทางการแพทย์ งานบริการ เป็นต้น สำหรับแขนกลในงานอุตสาหกรรมเป็นอุปกรณ์หลักของระบบ Flexible Production System (FPS) ซึ่งเป็นระบบการผลิตที่ทำงานอย่างอัตโนมัติ ง่ายในการทำโปรแกรมและปรับแต่งเพื่อให้ใช้ได้กับกระบวนการผลิตที่มีผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภท แขนกลสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเฉพาะอย่างได้ เช่น การพ่นสี การเคลือบผิว การบรรจุ และการประกอบ เป็นต้น

เนื่องจากหุ่นยนต์เพียงอย่างเดียวไม่อาจสามารถใช้งานได้ ดังนั้นการประยุกต์ใช้งานจึงขึ้นอยู่กับผู้ประกอบการว่าจะนำแขนกลไปประกอบกันเป็นระบบอย่างไรเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ โดยทั่วไปการประยุกต์ใช้งานหุ่นยนต์อุตสาหกรรม มีดังนี้

1) การเคลื่อนย้ายวัตถุหรือชิ้นงาน (Pick & Place)

เป็นการนำแขนกลไปใช้งานเพื่อขนย้ายวัตถุหรือชิ้นงานจากที่หนึ่งไปวางอีกที่หนึ่ง ซึ่งการใช้แขนกลนี้จะสามารถเคลื่อนย้ายได้ตามตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างแม่นยำและสามารถทำงานความเร็วสูงและ

คงที่ ตัวอย่างในการเคลื่อนย้ายหรือหยิบชิ้นงานจากกระบะคัดแยกเอาไปวางที่สายพานลำเลียง การใช้แขนกลจะทำให้ทำงานได้รวดเร็วแม่นยำ

2) การประกอบชิ้นงาน (Assembly)

การประกอบชิ้นงานคือการนำวัตถุหรือชิ้นส่วนไปประกอบกับชิ้นส่วนอีกชิ้นหนึ่ง ซึ่งการประกอบเข้าด้วยอาจเป็นการวางประกบเข้ากัน หรืออาจขันสกรู ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบผลิตภัณฑ์

3) การคัดแยกหรือจัดเรียงชิ้นงาน (sorting)

ชิ้นงานที่ใช้ในการผลิตอาจไม่มีความเป็นระเบียบตัวควบคุมจะสั่งให้แขนกลหยิบชิ้นงานชิ้นนั้นไปวางในตำแหน่งที่ถูกต้อง ตัวอย่างหุ่นยนต์หยิบลูกกุญแจที่อยู่ในกระบะมาจัดเรียงบนสายพานให้อยู่ในทิศทางเดียวกัน

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

กรอบแนวคิดในการ ประยุกต์ใช้หุ่นยนต์ในการป้อนชิ้นงานเข้าสู่เครื่องจักร เริ่มจากการออกแบบแนวคิด (Conceptual Design) ความต้องการเพิ่มผลิตภาพการผลิต(Productivity) หลังจากนั้นจะต้องพิจารณาเลือกหุ่นยนต์อุตสาหกรรมที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตหรือขนาดน้ำหนักของชิ้นงาน นำไปสู่การจัดวางผังกระบวนการ (Process Layout) ในขั้นตอนนี้อาจประกอบไปด้วยการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อให้ทราบว่า การใช้หุ่นยนต์ต้องมีการลงทุนเพิ่ม และการลงทุนจะคุ้มค่าหรือไม่ หรือจะคืนเงินลงทุนเมื่อไร

ขั้นตอนถัดไปเป็นขั้นตอนรายละเอียด เช่นการออกแบบหรือเลือกอุปกรณ์ปลายแขนที่เหมาะสมกับงาน ซึ่งอาจเป็นเฉพาะที่ต้องสั่งผลิตพิเศษหากไม่มีขายในอุตสาหกรรมทั่วไป การออกแบบอุปกรณ์จับยึดก็เช่นเดียวกัน อาจมีความจำเป็นเพื่อความรวดเร็วหรือเพื่อความแม่นยำในการผลิต เพราะการใช้หุ่นยนต์ในการผลิตที่จำนวนมากพอสมควร หากมีอุปกรณ์จับยึดที่เหมาะสมจะลดเวลาการติดตั้งได้ ซึ่งจะเป็นส่วนหนึ่งของการลดรอบเวลาการผลิต การออกแบบระบบความปลอดภัยก็มีความสำคัญไม่น้อย และจำเป็นต้องคำนึงถึง หลังจากกระบวนการดังกล่าวไปแล้ว หากผู้บริหารตัดสินใจลงทุน ขั้นตอนต่อไปคือการหาผู้รับเหมา (System Integrator) และกระบวนการจัดซื้อจัดจ้าง ติดตั้งและทดสอบตามลำดับ

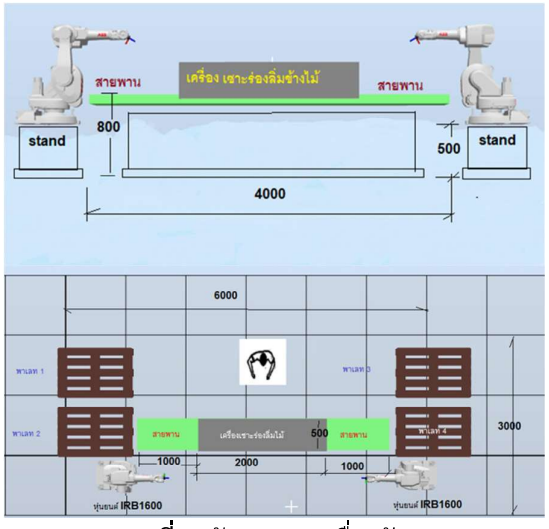
3.1 การออกแบบกระบวนการทำงานของหุ่นยนต์

ข้อมูลที่ต้องจัดหาได้แก่ ขั้นตอนการทำงานของเครื่องเซาะร่องไม้ พบว่า ชิ้นงานวัตถุดิบจะถูกดึงให้เข้าเครื่องเซาะร่องอัตโนมัติ เวลาการผลิต 0.73 วินาทีต่อชิ้น หรือ 82 ชิ้นต่อชั่วโมง หรือ 656 ชิ้นต่อวัน ใช้คนงาน 2 คน ในการส่งงานเข้าและออกจากเครื่องจักร และ พาเลท รายละเอียดที่ต้องการในขั้นตอนนี้ได้แก่

1. เลือกหุ่นยนต์ที่จะใช้ในเซลล์การทำงาน ซึ่งเราได้เลือก รุ่น IRB1600 เนื่องจากมี

playload ที่เหมาะสมกับขนาดและน้ำหนักของวัตถุดิบที่จะใช้

2. Layout เซลล์การทำงานของหุ่นยนต์ จากการพิจารณารูปร่างและการทำงานระหว่างหุ่นยนต์และเครื่องจักร ในเบื้องต้นสามารถกำหนดผังการวางเครื่องจักรและหุ่นยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผังการวางเครื่องจักร

รายละเอียดของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในเซลล์ทำงานนี้ จากรูปที่ 2 ประกอบด้วยหุ่นยนต์ รุ่น IRB1600 จำนวน 2 ตัว วางอยู่บน stand เพื่อให้ความสูงของหุ่นยนต์เหมาะสมกับความสูงของเครื่องจักร และ Gripper สำหรับหยิบจับชิ้นงาน โดยจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

3.2 การออกแบบอุปกรณ์ปลายแขนหุ่นยนต์

ชิ้นงานไม้มีลักษณะ เป็นแผ่นเรียบ หนา 15 มิลลิเมตร ขนาดประมาณ 90 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 1 เมตร และสามารถปรับขนาดของ gripper ได้หากขนาดชิ้นงานไม้อยู่ในช่วงที่ gripper ปรับได้

ชนิดของ gripper ที่ใช้ เรียกว่า Vacuum gripper เนื่องจาก ผิวของชิ้นงานเป็นแผ่นเรียบไม่มีรู และ Vacuum gripper สามารถจับ/ปล่อยชิ้นงานได้สะดวก รวดเร็ว แรงดูดเป็นระบบนิวแมติกส์ สะอาดและปลอดภัย การคำนวณแรงจับยึดของแต่ละถ้วย [1] ได้จากสมการที่ (2)

$$Fs = p*A \qquad (2)$$

Fs = แรงยก (kgf) หรือ (9.8 N)

p = แรงดันใช้งานของระบบลมอัด (kgf/m^2) ปกติกำหนดให้ 50, 000 kgf/m^2

A = พื้นที่ดูดของถ้วย (m^2)

ตัวอย่างการคำนวณ ถ้าเราใช้ถ้วยขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร จำนวน 4 ถ้วย จะสามารถยกน้ำหนักได้

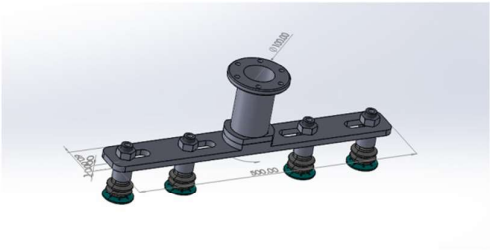
$$Fs = 50{,}000 * 3.14*(50*10^{-3})^2$$

$$= 392.5 \text{ Kgf}$$

หรือ ประมาณ 39.5 Kg

Safety factor = 4

ดังนั้นจะสามารถยก น้ำหนักได้ 10 kg ได้แน่ๆ จึงได้ gripper ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 Gripper ที่ใช้

สิ่งที่ต้องพิจารณาอีกอย่างคือการต่อร่วมกับหุ่นยนต์ ต้องมีหน้าแปลน รูของหน้าแปลน gripper ต้องตรงกับหน้าแปลนของหุ่นยนต์ IRB1600 ซึ่งหาได้จากคู่มือของ IRB1600

3.3 การออกแบบระบบการลำเลียงชิ้นงาน

เนื่องจากหุ่นยนต์สามารถจับชิ้นงานจากพาเลทไปวางในตำแหน่งที่เครื่องเซาะร่องไม้สามาถดึงไม้เข้าไปในเครื่องได้เองจากลิมิตสวิตช์ ดังนั้นจะไม่นำมาพิจารณา ยกเว้นกรณีที่ใช้หุ่นยนต์ตัวเดียวทำหน้าที่จับชิ้นงานเข้าและออก อาจต้องออกอุปกรณ์จับยึดแบบแมกกาซีนจัดเก็บเรียงไม้สำหรับป้อนไม้เข้าเครื่องแทนหุ่นยนต์ในระหว่างที่หุ่นยนต์เลื่อนไปยกไม้ลงจากเครื่องไปวางเรียงในพาเลทสำเร็จรูป

3.4 การออกแบบระบบความปลอดภัย

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงอีกเรื่องคือระบบความปลอดภัย เนื่องจากหุ่นยนต์ต้องทำงานร่วมกับมนุษย์ รั้วรอบขอบชิดจึงมาความสำคัญ เนื่องจากหุ่นยนต์ทำงานต่อเนื่องมีพลังมาก

รูปที่ 4 รั้วสำหรับเซลล์หุ่นยนต์ (Alibaba.com)

หลักการในการออกแบบระบบความปลอดภัยได้แก่

1. ต้องเข้าใจขั้นตอนการทำงานของระบบ
2. ต้องระบุอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในแต่ละขั้นตอน
3. ต้องเลือกอุปกรณ์ความปลอดภัยให้ครอบคลุมอันตารยในข้อ 2
4. มีอุปกรณ์ควบคุมความปลอดภัย เช่น สวิตช์ฉุกเฉิน หรือ สวิตช์กำลังหลักของระบบ เมื่อเกิดอันตาราย

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 การวิเคราะห์อัตราการผลิต

จากการเก็บข้อมูลด้านการผลิต และเปรียบเทียบการผลิต โดยระบบใหม่คือลดคนงาน 1 คน ทดแทนด้วยหุ่นยนต์ 1 ตัว แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบกำลังการผลิต

	เดิม	ใหม่
กำลังการผลิต(ชิ้น/ชม)	82	120
กำลังการผลิต(ชิ้น/ปี)	196,800	288,000

เนื่องจาก การแทนที่แรงงานด้วยหุ่นยนต์ สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง และสามารถเพิ่มความเร็วในการผลิตได้ ทำให้ยอดการผลิตเพิ่มขึ้นคิดเป็น ร้อยละ 46.3

4.2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดเงินลงทุนและผลประโยชน์ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการลงทุน นำหุ่นยนต์ 1 ตัว แทนคนงานจำนวน 1 คน จากสมการที่ 1 กำหนดเกณฑ์การพิจารณาระยะเวลาคืนทุน ดังนี้

PP < ระยะเวลาดำเนินการของโครงการ แสดงว่าการลงทุนของโครงการให้ผลที่คุ้มค่า

PP > ระยะเวลาดำเนินการของโครงการ แสดงว่าการลงทุนของโครงการให้ผลที่ไม่คุ้มค่า

คำนวณระยะเวลาคืนทุน

PP = 1,160,000/49,7600

PP = 2.33 ปี

กำหนดระยะเวลาดำเนินโครงการ 5 ปี ดังนั้น แสดงว่าการลงทุนของโครงการให้ผลที่คุ้มค่า

ตารางที่ 2 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนและผลประโยชน์

เงินลงทุน	
รายการ	**บาท**
1. ซื้อหุ่นยนต์	1,000,000
2. Vaccum gripper	30,000
3. อุปกรณ์ สถานีงาน	30,000
4.ค่าติดตั้ง+อบรมการใช้	50,000
5. อื่นๆ	50,000
รวม (1+2+3..5)	1,160,000
รายการผลประโยชน์	**บาท/ปี**
1. แรงงานทางตรง (350/ วัน)	210,000
2. ค่าพยาบาลสวัสดิการ	20,000
3.กำไรเพิ่มขึ้น	456,000
รวม 1	686,000
รายการค่าใช้จ่ายที่เพิ่ม	**บาท/ปี**
1. ค่าบำรุงรักษา ค่าบริหาร	174,000
2. ค่าสาธารณูปโภค	14,400
รวม2	188,400
รวมสุทธิ (รวม1-รวม2)	497,600

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

บทความนี้เป็นการนำเสนอแนวคิดในการนำหุ่นยนต์มาประยุกต์การใช้งานกับกรณีศึกษากระบวนผลิตไม้แปรรูป โดยมีรายละเอียดขั้นตอนสำคัญๆ การศึกษากระบวนการผลิต การออกแบบกระบวนการทำงานของหุ่นยนต์ การออกแบบอุปกรณ์ปลายแขน การออกอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน การออกแบบระบบความปลอดภัยของสถานีหุ่นยนต์ นอกจากนั้นบทความได้นำเสนอตัวอย่างการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ จากการดำเนินการพบว่า การประยุกต์ใช้หุ่นยนต์สำหรับป้อนชิ้นงานให้กับเครื่องจักรงานไม้ สามารถเพิ่มผลผลิตได้คิดเป็นร้อยละ 46.3 และมีระยะเวลาคืนทุน 2.33 ปี ในกรณี

ทำงาน 1 กะ หากพิจารณาทำงาน 2 กะ การเพิ่มผลผลิตมากขึ้นและระยะเวลาการคืนทุนเร็วยิ่งขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] รศ.ดร.ปราโมทย์ ศรีน้อย ดร.คงศักดิ์ สระศรีม เอกสารประกอบการสอน การออกแบบเซลล์การทำงานของหุ่นยนต์ โครงการบัณฑิตพันธุ์ใหม่ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

[2] รศ.ดร. จิรรัตน์ ธีระวราพฤกษ์ (2555). เศรษฐศาสตรวิศวกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[3] T. Kriangkrai, B. Surapong, C. Kijcha, S. Khongsak and A.H. Ismail (2021). Project Selection Through a Simulation Model of Painting Robot. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering,* Vol. 10, No.3. pp.1883-1888.

[4] Khongsak Srasrisom, Pramot Srinoi, Seksan Chaijit and Fasai Wiwatwongwana, (2020). Improvement of an automated CAN packaging system based on modeling and analysis approach through robot simulation tools", International Journal of Robotics and Automation (IJRA), Vol. 9, No. 3, September 2020, pp. 178–189.

[5] Ijeoma W. Muzan, Tarig Faisal*, H M A A Al-Assadi2, Mahmud Iwan.(2012). *Implementation of Industrial Robot for Painting Applications*. International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012 (IRIS 2012). Pp. 1329-1325.