วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 4 ฉบับที่ 5 กันยายน – ตุลาคม 2569
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 4 No. 5 September – October 2026

บทความวิจัย (Research Article)

การวิเคราะห์อิทธิพลของรูปแบบอินเทอร์เฟซ ชนิดวัตถุ และรูปแบบการจัดวางต่อระยะเวลาการทำงานและความแม่นยำของแขนกล Dobot ในงานหยิบจับและวางชิ้นงาน

วรรณเกียรติ ชินกร[1,*], ณภัทร อินทนนท์[2] และ กฤช ตราชู[2]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีระบบการผลิตอัตโนมัติ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: wannakiat.ch@rmuti.ac.th, โทรศัพท์: 065-6579239
(รับบทความ: 28 เมษายน 2569; แก้ไขบทความ: 9 กรกฎาคม 2569; ตอบรับบทความ: 13 สิงหาคม 2569)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของส่วนต่อประสานผู้ใช้ (User Interface) ชนิดของวัตถุ และรูปแบบการจัดวางเชิงเรขาคณิต ที่มีต่อระยะเวลาการทำงานและความแม่นยำของแขนกล Dobot ในงานหยิบจับและวางชิ้นงาน ดำเนินการทดลองด้วยการวางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Design) ขนาด 2^3 โดยกำหนดให้มีการทำซ้ำจำนวน 3 ครั้ง ในทุกเงื่อนไขการทดลอง ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่า ปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งหมด ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อระยะเวลาปฏิบัติงาน ($P>0.05$) ในทางตรงกันข้าม ปัจจัยด้านส่วนต่อประสานผู้ใช้มีผลต่อความแม่นยำในการวางชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.8709$) และอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของวัตถุกับรูปแบบการจัดวางมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.8709$) ข้อมูลที่ค้นพบนี้ช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถเลือกสภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมคุณภาพการจัดวาง เพื่อลดความเสี่ยงจากการเกิดชิ้นงานบกพร่อง (Defects) ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญในการขจัดความสูญเปล่าแฝงในกระบวนการผลิตอัตโนมัติ

คำสำคัญ: หุ่นยนต์อุตสาหกรรมขนาดเล็ก ส่วนต่อประสานผู้ใช้ การออกแบบการทดลอง ระยะเวลาดำเนินการ ความแม่นยำ

การอ้างอิงบทความ: วรรณเกียรติ ชินกร, ณภัทร อินทนนท์2 และกฤช ตราชู, "การวิเคราะห์อิทธิพลของรูปแบบอินเทอร์เฟซ ชนิดวัตถุ และรูปแบบการจัดวางต่อระยะเวลาการทำงานและความแม่นยำของแขนกล Dobot ในงานหยิบจับและวางชิ้นงาน,"*วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, ปีที่ 4, ฉบับที่ 5, หน้า 97-112, 2569.

วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ปีที่ 4 ฉบับที่ 5 กันยายน – ตุลาคม 2569
Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Vol. 4 No. 5 September – October 2026

บทความวิจัย (Research Article)

Effects of User Interface, Object Type, and Arrangement Pattern on Operation Time and Placement Accuracy of a Dobot Robotic Arm in Pick-and-Place Operations

Wannakiat Chinnakon[1,*], Naphatara Intanon[2] and Krit Tashoo[2]

[1] Program in Automated Manufacturing Systems Technology, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Isan

[2] Program in Industrial Technology, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Isan

*Corresponding Author: wannakiat.ch@rmuti.ac.th, Tel: 065-6579239

(Received: April 28, 2026; Revised: July 9, 2026; Accepted: August 13, 2026)

Abstract

This research analyzed the effects of user interface (UI) configurations, object types, and geometrical arrangement patterns on the operation time and placement accuracy of a Dobot robotic arm in pick-and-place operations. A 2^3 full factorial design was implemented, incorporating three replications per experimental run to ensure statistical reliability. The results of the variance analysis (ANOVA) showed that the main factors and the co-influence between all factors were not statistically significant on the operating time ($P>0.05$). On the other hand, the user interface factor had a statistically significant effect on the accuracy of the placement of the workpiece. ($P=0.8709$). These findings provide empirical guidance for selecting optimal operating conditions to enhance placement quality and mitigate the risk of production defects, thereby contributing to the minimization of non-value-added waste in automated manufacturing processes.

Keywords: Industrial Robot, User Interface, Design of Experiments (DOE), Operating Time, Accuracy

Please cite this article as: W. Chinnakon, N. Intanon and K. Tashoo, "Effects of User Interface, Object Type, and Arrangement Pattern on Operation Time and Placement Accuracy of a Dobot Robotic Arm in Pick-and-Place Operations," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 4, no. 5, pp. 97-112, 2026.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

ในปัจจุบันระบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรมการผลิตที่ใช้แขนกลอุตสาหกรรมขนาดเล็ก (Small-Scale Industrial Robots) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการเพิ่มขีดความสามารถการผลิต [1] โดยเฉพาะในกระบวนการหยิบจับและวางชิ้นงาน (Pick-and-Place Operations) ที่ต้องการความแม่นยำและความสม่ำเสมอสูง [2] อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนการดำเนินการปรับตั้งค่าแขนกลเพื่อรองรับวัตถุที่มีความหลากหลาย ทั้งในด้านรูปทรงและวัสดุ เช่น วัตถุที่มีโครงสร้างแข็งเกร็ง (Rigid Body) อย่างกล่องลวดเย็บกระดาษ และวัตถุที่มีลักษณะอ่อนตัว (Flexible-Body) อย่างถุงซิปบรรจุทราย ยังคงเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและอาศัยความชำนาญสูงของผู้ควบคุม ยังมีคำถามว่าการป้อนข้อมูลแบบอัตโนมัติหรือการป้อนข้อมูลแบบละเอียดโดยผู้ควบคุมผ่านส่วนต่อประสานผู้ใช้ (User Interface: UI) ให้ผลตอบสนองที่ดีกว่า โดยการป้อนข้อมูลเชิงเทคนิคอาจทำให้เกิดความล่าช้าในขั้นตอนการจัดเตรียมการผลิต (Setup Time) และมีความเสี่ยงต่อความผิดพลาดจากการป้อนข้อมูลของผู้ปฏิบัติงาน (Human Error) [3] โดยเฉพาะเมื่อต้องเผชิญกับเงื่อนไขการจัดวางวัตถุที่แตกต่างกัน การขาดรูปแบบการป้อนข้อมูลที่เหมาะสมและรวดเร็วสำหรับผู้ปฏิบัติงานทั่วไป จึงเป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบแขนกลไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของอุตสาหกรรมในยุคปัจจุบันได้อย่างเต็มที่

แม้ว่าในปัจจุบันจะมีการนำอินเทอร์เฟซผู้ใช้แบบกราฟิก (GUI) และระบบควบคุมอัตโนมัติมาช่วยลดความซับซ้อนในการสั่งงานแขนกล แต่จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า แนวทางการแก้ไขปัญหาที่ผ่านมามักให้ความสำคัญกับการออกแบบความสวยงามของอินเทอร์เฟซเพียงอย่างเดียว [4] โดยยังขาดการวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่แท้จริงเมื่อต้องนำไปใช้งานร่วมกับปัจจัยทางกายภาพที่แปรเปลี่ยนไปและที่ผ่านมาการศึกษาในอดีตมักแยกส่วนการวิเคราะห์อินเทอร์เฟซออกจากสภาพแวดล้อมการทำงานจริงทำให้ไม่ทราบถึงอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างรูปแบบการป้อนข้อมูลกับลักษณะของวัตถุที่มีความจำเพาะ [5,6] หรือรูปแบบการจัดวางที่มีความซับซ้อน ส่งผลให้ในทางปฏิบัติเมื่อผู้ปฏิบัติงานเปลี่ยนชนิดวัตถุหรือวิธีการวางชิ้นงาน ประสิทธิภาพของระบบมักจะไม่เป็นไปตามสภาวะที่คำนวณไว้ [7,8] ความไม่สอดคล้องกันนี้จึงกลายเป็นอุปสรรคต่อสมรรถนะของแขนกล ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยเหล่านี้ไปพร้อมกัน เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงสถิติที่สามารถยืนยันได้ว่า การเลือกรูปแบบป้อนข้อมูลที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้จริงภายใต้เงื่อนไขการทำงานที่หลากหลาย

แม้ว่าที่ผ่านมาจะมีการศึกษาและพัฒนาสมรรถนะของแขนกลอุตสาหกรรมขนาดเล็กในหลากหลายแง่มุม เช่น การเพิ่มความเร็วในกระบวนการหยิบจับและการวางชิ้นงาน (Pick and Place Operations) หรือการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการระบุพิกัดเชิงตำแหน่ง อย่างไรก็ตาม วรรณกรรมและงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่ยังคงมุ่งเน้นการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยทางกายภาพหรือปัจจัยทางซอฟต์แวร์แยกส่วนเป็นเอกเทศต่อกัน ทำให้อยู่ในสภาวะที่ขาดแคลนองค์ความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์อิทธิพลร่วมเชิงปฏิสัมพันธ์ (Interaction Effects) ระหว่างรูปแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้ (User Interface) คุณลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัตถุ และรูปแบบการจัดวางเชิงเรขาคณิตหน้างาน ซึ่งปฏิสัมพันธ์ร่วมแฝงเหล่านี้มักก้าวข้ามขีดความสามารถในการคาดการณ์ของระบบควบคุมแบบดั้งเดิม และส่งผลโดยตรงต่อความลักลั่นของประสิทธิภาพในสายการผลิตจริง

จากช่องว่างทางงานวิจัยดังกล่าว งานวิจัยฉบับนี้จึงเสนอการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงสถิติผ่าน

บทความวิจัย (Research Article)

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) เพื่อเป็นกลไกในการทดสอบและชี้วัดพฤติกรรมเชิงระบบของแขนกลอัตโนมัติ โดยมี วัตถุประสงค์หลักของการวิจัย คือเพื่อศึกษาและวิเคราะห์อิทธิพลร่วมเชิงปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้ ชนิดของวัตถุ และรูปแบบการจัดวางเชิงเรขาคณิต ที่มีผลต่อ ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน (Operation Time) ของแขนกล Dobot และเพื่อวิเคราะห์และระบุปัจจัยวิกฤตที่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อความแม่นยำในการจัดวางวัตถุ (Placement-Accuracy) ตลอดจนแสวงหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Operating Conditions) เพื่อลดการเกิดชิ้นงานบกพร่องตามแนวคิดการขจัดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต

2. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยด้านเทคนิคที่ส่งผลต่อสภาวะแวดล้อมต่อสมรรถนะของแขนกลของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมขนาดเล็กกับวัตถุดำเนินการที่เปลี่ยนไป ผู้วิจัยได้ดำเนินการทบทวนวรรณกรรมและแนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านพลวัตของหุ่นยนต์ขนาดเล็กต่อประสิทธิภาพเชิงเวลาและความถูกต้อง

ในการปฏิบัติงานของแขนกลอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เช่น Dobot Magician ข้อจำกัดด้านระบบขับเคลื่อนและแรงบิด (Torque) ส่งผลให้การควบคุมระยะเวลา (Time) และ ความถูกต้อง (Accuracy) มีความอ่อนไหวต่อปัจจัยภายนอกมากกว่าหุ่นยนต์ขนาดใหญ่ วรรณกรรมระบุว่าความเร็วในการเคลื่อนที่มักแปรผันตามน้ำหนักและจุดศูนย์ถ่วงของวัตถุ (Payload and Center of Gravity) ซึ่งหากการตั้งค่าพารามิเตอร์ผ่านส่วนต่อประสานผู้ใช้ไม่สัมพันธ์กับน้ำหนักจริง จะก่อให้เกิดการสั่นสะเทือน (Vibration) ในจังหวะการวางชิ้นงาน ส่งผลให้ความแม่นยำเชิงตำแหน่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

การศึกษาของ Hsieh et al. [9] พบว่างานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาเทคโนโลยีหุ่นยนต์โดยเน้นที่การกำหนดตำแหน่งที่มีความแม่นยำสูง งานวิจัยนี้ใช้กล้องความละเอียดสูง 10 ล้านพิกเซลติดตั้งบนแขนหุ่นยนต์ เทคนิคการกำหนดตำแหน่งด้วยภาพใช้ข้อผิดพลาดของพิกเซลระหว่างรูตรงกลางและรูที่กำหนดตำแหน่งในภาพเพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวเล็กน้อยของแขนหุ่นยนต์ เมื่อทำการแก้ไขแขนหุ่นยนต์ จะไม่ได้รับผลกระทบจากความแม่นยำซ้ำ ๆ ของหุ่นยนต์ร่วมปฏิบัติงาน เพื่อตอบสนองความต้องการผลิตภัณฑ์สั่งทำพิเศษในปริมาณน้อย วิธีการนี้เกี่ยวข้องกับการบูรณาการเทคโนโลยีการจดจำภาพขั้นสูงเพื่อเพิ่มความแม่นยำในกระบวนการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ

งานวิจัยโดย Bottin et al. [10] ควรช่วยให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อเพิ่มปริมาณงาน ในส่วนนี้ การเพิ่มประสิทธิภาพทั้งเส้นทางการเคลื่อนที่และลำดับงานมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากสามารถส่งผลกระทบอย่างมากต่อเวลาในการทำงาน หนึ่งในปัญหาที่รู้จักกันดีที่สุดที่ใช้ในการกำหนดลำดับงานที่เหมาะสมที่สุดคือปัญหาพนักงานขายเดินทาง (Travelling Salesman Problem: TSP) แต่ในรูปแบบดั้งเดิมนั้น ไม่อนุญาตให้พิจารณาการกำหนดค่าหุ่นยนต์ที่แตกต่างกันที่จุดทำงานเดียวกัน บทความนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเอาชนะข้อจำกัดของ TSP โดยการเพิ่มข้อจำกัดทางคณิตศาสตร์และแนวคิดบางอย่างให้กับปัญหา แนวทางที่ปรับปรุงจาก TSP นี้ใช้ปรับปรุงเวลาในการทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมที่มีการกำหนดค่าได้หลายแบบ ณ จุดทำงาน โดยมีทั้งผลการจำลองและการทดลองเพื่อประเมินเวลาต่อรอบและเวลาในการคำนวณ

งานวิจัยของ Chu and Liu [11] บทความนี้เสนอการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการออกแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้ในความเป็นจริงเสริม (AR) สำหรับ

บทความวิจัย (Research Article)

การประกอบชิ้นส่วนร่วมกันระหว่างมนุษย์และหุ่นยนต์ในพื้นที่ทำงานร่วมกัน ส่วนติดต่อที่ให้ข้อมูลระยะใกล้ของหุ่นยนต์โดยใช้สัญญาณภาพนั้นถือว่ามีประโยชน์มากที่สุด การรับรู้ข้อมูลที่ซับซ้อนโดยการสั่นสะเทือนบนส่วนต่าง ๆ ของมือมนุษย์ในการทดลองนั้นไม่เป็นไปตามสัญชาตญาณ สุดท้ายนี้ ความไว้วางใจของมนุษย์ที่มีต่อหุ่นยนต์มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการใช้งานของอินเทอร์เฟซผู้ใช้มากกว่าประสิทธิภาพการทำงานที่ได้รับความช่วยเหลือจากอินเทอร์เฟซนั้น

ตารางที่ 1 ความเชื่อมโยงเชิงทฤษฎี ระเบียบวิธีวิจัย ตัวแปรที่ศึกษา และระบุช่องว่างทางงานวิจัย (Research Gap)

ผู้วิจัย / ปี (ค.ศ.)	วิธีการศึกษา / เครื่องมือ	ตัวแปรต้นที่ศึกษา (Factors)	ผลการวิจัยหลัก (Key Findings)	ช่องว่างงานวิจัย (Research Gap)
Hsieh et al. (2024) [9]	พัฒนาระบบหุ่นยนต์ระบบอัตโนมัติ- การทดลองจัดตั้งพิกัดความละเอียดสูง	ตัวแปรอิสระ ระบบควบคุมตำแหน่งเชิงกล ตัวแปรตาม ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง (High-Precision Positioning)	เทคโนโลยีการควบคุมพิกัดในปัจจุบันสามารถบรรลุความแม่นยำในระดับสูงได้ผ่านการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์	เน้นการพัฒนาในระดับโครงสร้างเชิงกลและระบบฮาร์ดแวร์หลัก แต่ยังขาดการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยด้านส่วนต่อประสานผู้ใช้ (UI) ที่มีต่อประสิทธิภาพหน้างาน
Bottin et al. (2022) [10]	การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์- การคำนวณเส้นทางเพื่อหาค่าความเหมาะสมที่สุด (Optimization)	ตัวแปรอิสระ การจัดรูปพิกัดการทำงานหลายแกน ตัวแปรตาม ระยะเวลาวัฏจักรการทำงาน (Cycle Time) ของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม	มีการใช้ทั้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการทดลองจริงเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ณ จุดปฏิบัติงานช่วยลดระยะเวลาและรอบเวลาในการทำงานรวมได้อย่างมีนัยสำคัญ	แม้จะมีการทดสอบจริง แต่ยังขาดการประเมินร่วมกับความแปรปรวนของคุณลักษณะวัตถุ และการออกแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้ (UI) ที่มีผลต่อผู้ปฏิบัติงานในสภาวะการใช้งานจริง
Chu and Liu (2023) [11]	การออกแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้ (UI)- การทดลองร่วมระหว่างมนุษย์และหุ่นยนต์ (HRI) แบบ AR	ตัวแปรอิสระ ส่วนต่อประสานผู้ใช้ (AR UI) ตัวแปรตาม ภาระงาน (Workload) และสมรรถนะการประกอบชิ้นงาน	การออกแบบอินเทอร์เฟซที่คำนึงถึงผู้ปฏิบัติงานสามารถลดความผิดพลาดและเพิ่มความเข้าใจในขั้นตอนการทำงานได้	มุ่งเน้นการศึกษาเทคโนโลยีอินเทอร์เฟซขั้นสูง (Augmented Reality) ในงานประกอบขนาดใหญ่ แต่ขาดการเปรียบเทียบเชิงสถิติระหว่าง UI แบบพื้นฐาน (Detailed vs Automation) ในหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

จากการสังเคราะห์วรรณกรรมข้างต้น พบว่าแม้จะมีการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาดำเนินการและความถูกต้องในการวางอย่างแพร่หลาย แต่ยังคงไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่าง

บทความวิจัย (Research Article)

การเลือกส่วนต่อประสานผู้ใช้ รูปแบบการจัดวางและชนิดของวัตถุในหุ่นยนต์ขนาดเล็ก ซึ่งเป็นช่องว่างทางงานวิจัยที่ผู้เขียนมุ่งหวังจะเติมเต็ม เพื่อให้เกิดแนวปฏิบัติที่ชัดเจนในการเพิ่มประสิทธิผลของระบบอัตโนมัติภายใต้ทรัพยากรที่จำกัด

จากตารางที่ 1 ผู้วิจัยจึงได้ทำการสังเคราะห์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องหลักจำนวน 3 บทความ เพื่อเป็นการแสดงความเชื่อมโยงเชิงทฤษฎี ระเบียบวิธีวิจัย ตัวแปรที่ศึกษา และระบุช่องว่างทางงานวิจัย (Research Gap) จากวรรณกรรมที่ผ่านมาอย่างเป็นระบบ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องการจัดวางวัตถุและระยะเวลาการทำงานของแขนกล Dobot Magician ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 แหล่งข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่

3.1.1 ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data)

ได้จากการบันทึกผลการทดลองจริงในห้องปฏิบัติการ โดยวัดค่าระยะเวลาปฏิบัติงาน (Time) และความแม่นยำ (Accuracy) จากการทำงานของแขนกลภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

3.1.2 ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data)

ได้จากการสืบค้นวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง งานวิจัยด้านปฏิสัมพันธ์ปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องการจัดวางวัตถุและระยะเวลาการทำงานของแขนกล Dobot Magician และมาตรฐานการเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรมจากฐานข้อมูลวิชาการระดับชาติและนานาชาติ

3.1.3 วัตถุทดลอง 2 ชนิด

(1) กล่องลวดเย็บกระดาษ (Staple Box) ขนาด 3 x 5 x 1.0 เซนติเมตร น้ำหนัก 22 กรัม ทำจากกระดาษการ์ดแข็ง เป็นตัวแทนของวัตถุประเภทแข็งเกร็ง (Rigid Body) ที่มีมิติสัณฐานคงที่

(2) ถุงพลาสติกซิปล็อก (Zip-Lock Bag) ขนาด 2 x 5.5 x 1.4 เซนติเมตร น้ำหนัก 34 กรัม ภายในบรรจุทรายเพื่อควบคุมน้ำหนัก เป็นตัวแทนของวัตถุประเภทอ่อนนิ่มหรือเปลี่ยนรูปได้ (Deformable Object)

การคัดเลือกวัตถุทั้งสองชนิด เพื่อต้องการทดสอบขีดความสามารถของชุดหยิบจับระบบสุญญากาศภายใต้ความแปรปรวนของพื้นผิวสัมผัสและพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปของวัสดุ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะชิ้นงานจริงในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ

3.2 เครื่องมือการวิจัย (Research Instruments)

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษานี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

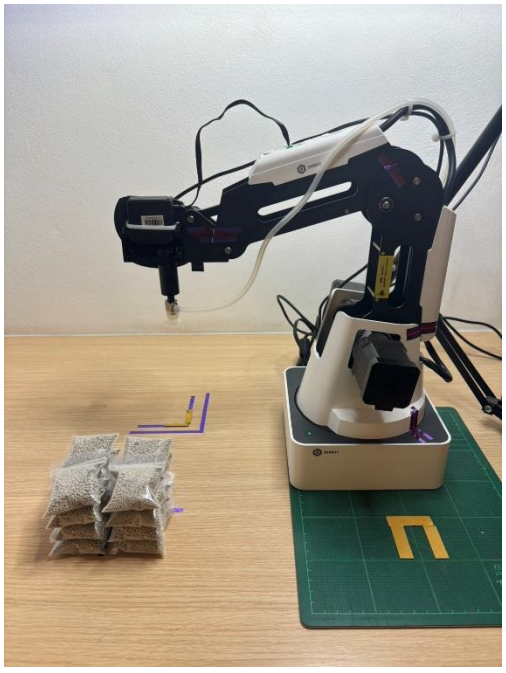
3.2.1 เครื่องมือเชิงกายภาพ (Hardware)

แขนกลอุตสาหกรรมขนาดเล็ก (Dobot Magician) พร้อมชุดหยิบจับแบบสุญญากาศ (Vacuum Suction Cup) ดังรูปที่ 1 วัตถุตัวแทนในการทดลอง คือ กล่องสเต็ปเปิล และ ถุงซิปบรรจุทราย ดังรูปที่ 2

ระยะทางการเคลื่อนที่ในแนวแกนตั้ง (แกน Z) ตามแผนภาพพื้นที่ทำงาน (Workspace) ของแขนกล ระยะการเคลื่อนที่ในแนวแกนตั้งหรือแกน Z จะอยู่ในช่วงประมาณ -100 มม. ถึง +200 มม. โดยประมาณ ดังรูปที่ 3

บทความวิจัย (Research Article)

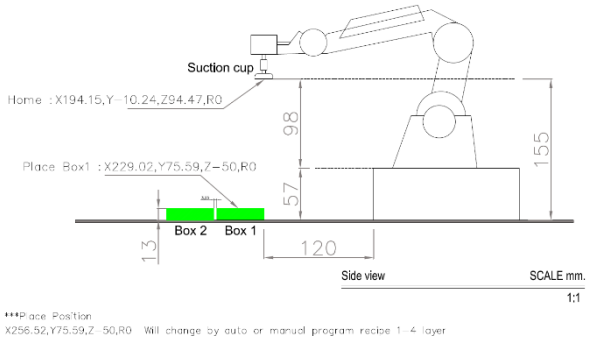
พิกัดตำแหน่งเริ่มต้น (Home Position) คือ เมื่อแขนกลทำขั้นตอน Homing สำเร็จ พิกัดเริ่มต้นมาตรฐานของระบบจะถูกตั้งค่าเป็น (X:0, Y:0, Z:0, R:0) ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน หรือพิกัดข้อต่อเป็น 0 ทุกข้อต่อ (J1-J4)



รูปที่ 1 Dobot Magician

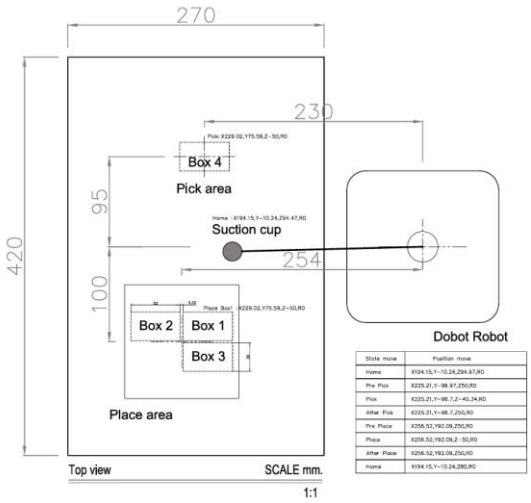


รูปที่ 2 วัตถุทดลอง



รูปที่ 3 แขนกล ระยะการเคลื่อนที่ในแนวแกนตั้งหรือแกน Z

พิกัดตำแหน่งเป้าหมาย คือพิกัดที่ผู้ใช้งานกำหนดให้แขนกลเคลื่อนที่ไปถึง (Target Point หรือ Point B) โดยพิกัดนี้จะขึ้นอยู่กับคำสั่งและโหมดการเคลื่อนที่ที่เลือกใช้ในโหมด PTP (Point to Point) แขนกลจะเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้น (Pick Area) ไปยังพื้นที่เป้าหมาย (Place Area) ที่กำหนดไว้ในโปรแกรม ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 โหมดการเคลื่อนที่ที่เลือกใช้ในโหมด PTP (Point to Point)

บทความวิจัย (Research Article)

3.2.2 เครื่องมือเชิงซอฟต์แวร์ (Software)

ซอฟต์แวร์ควบคุมแขนกลที่ออกแบบส่วนต่อประสาน (User Interface) 2 รูปแบบ ได้แก่

1) แบบละเอียด (Detailed) เป็นการป้อนข้อมูลด้วยผู้ควบคุมโดยแก้ไขโปรแกรมด้วยภาษาไพธอน (Python) อย่างละเอียด

2) แบบอัตโนมัติ (Automation) เป็นการป้อนข้อมูลด้วยผู้ควบคุมตามที่โปรแกรมกำหนด

อัตราส่วนความเร็ว (Speed Ratio) และอัตราส่วนความเร่ง (Acceleration Ratio) มีค่าเริ่มต้น 50% ปรับได้ตั้งแต่ 0% - 100% แรงดูดของปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Suction Pressure) 35 kPa รองรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Maximum Payload) ได้ 500 กรัม

3.3 การรวบรวมข้อมูล (Data Collection)

ผู้วิจัยดำเนินการรวบรวมข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Design-Expert สำหรับการวางแผนแบบจำลองการทดลอง (Design of Experiments: DOE) แฟกทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Design) ขนาด 2^3 ซึ่งได้ตัดพจน์อิทธิพลร่วมที่ไม่มีนัยสำคัญออกเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง โดยกำหนดปัจจัยอิสระ 3 ประการดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การกำหนดปัจจัย (Factors)

ปัจจัยการทดลอง	ระดับการดำเนินการ	
รูปแบบอินเทอร์เฟซ (A)	แบบละเอียด (Detailed)	แบบอัตโนมัติ (Automation)
ชนิดของวัตถุ 2 ระดับ (B)	กล่องสเต็ปเปิล	ถุงซิปบรรจุทราย
รูปแบบการจัดวาง 2 (C)	วางเรียง	การหมุน

กำหนดให้มีการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้งในทุกเงื่อนไข (Run) เพื่อลดความคลาดเคลื่อน และใช้กล้องจากโทรศัพท์มือถือจับเวลาดิจิทัลบันทึกระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนจบวัฏจักรการทำงาน และประเมินความแม่นยำจากการวางวัตถุในตำแหน่งเป้าหมายที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Error) ที่อาจเกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น ความล้าของระบบขับเคลื่อนจากการทำงานต่อเนื่อง หรือการเรียนรู้ของผู้ปฏิบัติงานในการป้อนข้อมูล ลำดับขั้นตอนการทดลองทั้งหมดจึงถูกดำเนินการผ่าน การสุ่มลำดับการทดลอง (Randomization) ที่สร้างขึ้นโดยอัตโนมัติจากซอฟต์แวร์ Design-Expert ซึ่งช่วยให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลผลตอบสนองที่ได้มีความอิสระและน่าเชื่อถือตามข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ดังรูปที่ 5

Std	Run	Factor 1 A:UI	Factor 2 B:วัตถุ	Factor 3 C:รูปแบบการจัดวาง	Response 1 Time sec	Response 2 Accuracy percentage
7	1	ป้อนแบบละเอียด	ถุง	สลับ	7.34	93.75
10	2	ป้อนแบบอัตโนมัติ	กล่อง	เรียง	6.36	81.25
14	3	ป้อนแบบอัตโนมัติ	กล่อง	สลับ	7.45	100
24	4	ป้อนแบบอัตโนมัติ	ถุง	สลับ	5.29	100
2	5	ป้อนแบบอัตโนมัติ	กล่อง	เรียง	6.28	93.75
19	6	ป้อนแบบละเอียด	ถุง	เรียง	6.04	93.75
8	7	ป้อนแบบอัตโนมัติ	ถุง	สลับ	6.02	93.75
16	8	ป้อนแบบอัตโนมัติ	ถุง	สลับ	7.24	87.5
11	9	ป้อนแบบละเอียด	ถุง	เรียง	6.01	93.75
15	10	ป้อนแบบละเอียด	ถุง	สลับ	6.38	100
3	11	ป้อนแบบละเอียด	ถุง	เรียง	6.44	100
21	12	ป้อนแบบละเอียด	กล่อง	สลับ	6.38	87.5
17	13	ป้อนแบบละเอียด	กล่อง	เรียง	6.06	81.25
20	14	ป้อนแบบอัตโนมัติ	ถุง	เรียง	5.33	93.75
22	15	ป้อนแบบอัตโนมัติ	กล่อง	สลับ	6.29	81.25
13	16	ป้อนแบบละเอียด	กล่อง	สลับ	5.09	93.75
18	17	ป้อนแบบอัตโนมัติ	กล่อง	เรียง	7.45	100
6	18	ป้อนแบบอัตโนมัติ	กล่อง	สลับ	6.33	81.25
9	19	ป้อนแบบละเอียด	กล่อง	เรียง	5.01	87.5
1	20	ป้อนแบบละเอียด	กล่อง	เรียง	7.25	87.5
5	21	ป้อนแบบละเอียด	กล่อง	สลับ	7.3	87.5
12	22	ป้อนแบบอัตโนมัติ	ถุง	เรียง	7.13	81.25
4	23	ป้อนแบบอัตโนมัติ	ถุง	เรียง	7.32	100
23	24	ป้อนแบบละเอียด	ถุง	สลับ	6.36	81.25

รูปที่ 5 ลำดับการทดลอง

ตัวแปรตอบสนองหลักในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยระยะเวลาปฏิบัติงาน (Time) และ ความแม่นยำในการจัดวาง (Placement Accuracy) โดยนิยามความแม่นยำกำหนดจากการวัด ร้อยละความสำเร็จในการ

บทความวิจัย (Research Article)

จัดวาง (Placement Success Rate) ซึ่งคำนวณจากจำนวนครั้งที่วางเป้าหมายถูกต้องหารด้วยจำนวนหยิบวางทั้งหมด 16 ครั้งต่อหนึ่งรอบ (Run) ภายในขอบเขตพิกัดความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตที่ยอมรับได้ (Tolerance Zone) ที่ +/- 2 มิลลิเมตร หากวัตถุเกิดการลื่นไถล พลิกคว่ำ หรือวางเหลื่อมออกนอกขอบเขตที่กำหนดจะถูกบันทึกเป็นความล้มเหลว (Failure)

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

3.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

การทดสอบว่าปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วม (Interaction Effects) มีนัยสำคัญทางสถิติต่อตัวแปรตอบสนองที่ระดับ 0.05 หรือไม่ ทั้งนี้ได้ตัดพจน์อิทธิพลร่วมที่ไม่มีนัยสำคัญ เช่น ABC ออกจากแบบจำลองเพื่อลดความคลาดเคลื่อน

3.4.2 การตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลอง (Fit Statistics)

วิเคราะห์ค่า R^2, Adjusted R^2 และ Adeq Precision เพื่อประเมินความสามารถในการอธิบายและพยากรณ์ของแบบจำลอง

3.4.3 การวินิจฉัยแบบจำลอง (Model Diagnostics)

การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติดำเนินการผ่านกราฟวิเคราะห์เศษเหลือ (Residual Plots) ดังแสดงในรูปที่ 10 (สำหรับระยะเวลา) และรูปที่ 12 (สำหรับความแม่นยำ) ซึ่งประกอบด้วย Normal Plot of Residuals เพื่อดูการแจกแจงปกติ Residuals vs. Predicted เพื่อตรวจสอบความแปรปรวนคงที่ Box-Cox Plot สำหรับประเมินความจำเป็นในการแปลงข้อมูล และ Cook's Distance เพื่อตรวจหาค่าผิดปกติที่อาจส่งผลกระทบต่อแบบจำลอง

4. ผลการวิจัย

4.1 ค่าตอบสนอง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับตัวแปรด้านระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน (Time) ของแขนกล Dobot ภายใต้เงื่อนไขการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Design) สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังนี้

4.1.1 นัยสำคัญทางสถิติและอิทธิพลของปัจจัยหลักด้านระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน (Time)

ผลการทดลองในตาราง ANOVA ระบุว่าแบบจำลองในภาพรวมมีค่า P-value เท่ากับ 0.8553 ซึ่งสูงกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ (α = 0.05) บ่งชี้ว่าแบบจำลองไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Not Significant) เช่นเดียวกับปัจจัยหลักทุกประการ ได้แก่ ส่วนต่อประสานผู้ใช้(A), ชนิดของวัตถุ (B) และรูปแบบการจัดวาง (C) ที่มีค่า P-value เท่ากับ 0.4888, 0.9313 และ 0.8458 ตามลำดับ ดังรูปที่ 6 ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าความแปรผันของระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานไม่ได้ถูกกำหนดโดยปัจจัยอิสระเหล่านี้อย่างมีนัยสำคัญภายใต้สภาวะควบคุมของการทดลองนี้ ค่า R^2 ต่ำและผล Lack of Fit ที่ไม่มีนัยสำคัญไม่เพียงพอสำหรับสรุปว่าระยะเวลาทำงานเป็นอิสระจากปัจจัยทั้งหมดหรือมีค่าเท่ากันทุกเงื่อนไข

บทความวิจัย (Research Article)

ANOVA for selected factorial model

Response 1: Time

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	1.27	5	0.2545	0.3809	0.8553	not significant
A-UI	0.3337	1	0.3337	0.4995	0.4888	
B-วัตถุ	0.0051	1	0.0051	0.0076	0.9313	
C-รูปแบบการจัดวาง	0.0260	1	0.0260	0.0389	0.8458	
AB	0.4565	1	0.4565	0.6833	0.4193	
AC	0.4510	1	0.4510	0.6751	0.4220	
Residual	12.02	18	0.6681			
Lack of Fit	0.2303	2	0.1152	0.1562	0.8567	not significant
Pure Error	11.79	16	0.7372			
Cor Total	13.30	23				

Factor coding is **Coded**.
Sum of squares is **Type III - Partial**

รูปที่ 6 ผลการทดลองในตาราง ANOVA ด้านระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน (Time)

Fit Statistics

Std. Dev.	0.8173		**R^2**	0.0957
Mean	6.42		**Adjusted R^2**	-0.1555
C.V. %	12.73		**Predicted R^2**	-0.6077
			Adeq Precision	1.9229

รูปที่ 7 การวิเคราะห์ความแม่นยำและคุณภาพของแบบจำลอง (Evaluation of Model Fitness) ด้านระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน (Time)

4.1.2 นัยสำคัญทางสถิติและอิทธิพลของปัจจัยหลักด้านความแม่นยำ (Accuracy)

แบบจำลองทางสถิติที่นำเสนอมีค่า P-value เท่ากับ 0.8514 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด (α = 0.05) ดังรูปที่ 8 บ่งชี้ว่าแบบจำลองนี้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Not significant) โดยเมื่อพิจารณาเป็นรายปัจจัยพบว่า ส่วนต่อประสานผู้ใช้(A-UI) เป็นปัจจัยหลักที่ไม่ส่งผลต่อความแม่นยำอย่างมีนัยสำคัญ (P = 0.8709) ในขณะที่ปัจจัยด้านชนิดของวัตถุ (B-วัตถุ) และรูปแบบการจัดวาง (C-รูปแบบการจัดวาง) ไม่ส่งผลกระทบต่อความแม่นยำโดยตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายใต้ขอบเขตการทดลองนี้

ANOVA for selected factorial model

Response 2: Accuracy

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	152.99	6	25.50	0.4261	0.8514	not significant
A-UI	1.63	1	1.63	0.0272	0.8709	
B-วัตถุ	131.84	1	131.84	2.20	0.1560	
C-รูปแบบการจัดวาง	1.63	1	1.63	0.0272	0.8709	
AB	14.65	1	14.65	0.2448	0.6271	
AC	1.63	1	1.63	0.0272	0.8709	
BC	1.63	1	1.63	0.0272	0.8709	
Residual	1017.25	17	59.84			
Lack of Fit	79.75	1	79.75	1.36	0.2604	not significant
Pure Error	937.50	16	58.59			
Cor Total	1170.25	23				

Factor coding is **Coded**.
Sum of squares is **Type III - Partial**

รูปที่ 8 ผลการทดลองในตาราง ANOVA ด้านความแม่นยำ (Accuracy)

Fit Statistics

Std. Dev.	7.74		**R^2**	0.1307
Mean	90.89		**Adjusted R^2**	-0.1761
C.V. %	8.51		**Predicted R^2**	-0.7325
			Adeq Precision	1.6207

รูปที่ 9 การวิเคราะห์ความแม่นยำและคุณภาพของแบบจำลอง (Evaluation of Model Fitness) ด้านความแม่นยำ (Accuracy)

4.2 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction Effects)

จากการพิจารณาค่า P-value ในตาราง ANOVA พบอิทธิพลร่วมที่มีนัยสำคัญทางสถิติใน 2 ลักษณะ คือ ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง UI และชนิดของวัตถุ (AB) มีค่า P = 0.0222 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของอินเทอร์เฟซแต่ละรูปแบบจะให้ความแม่นยำที่แตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุที่แขนกลหยิบจับ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของวัตถุและรูปแบบการจัด

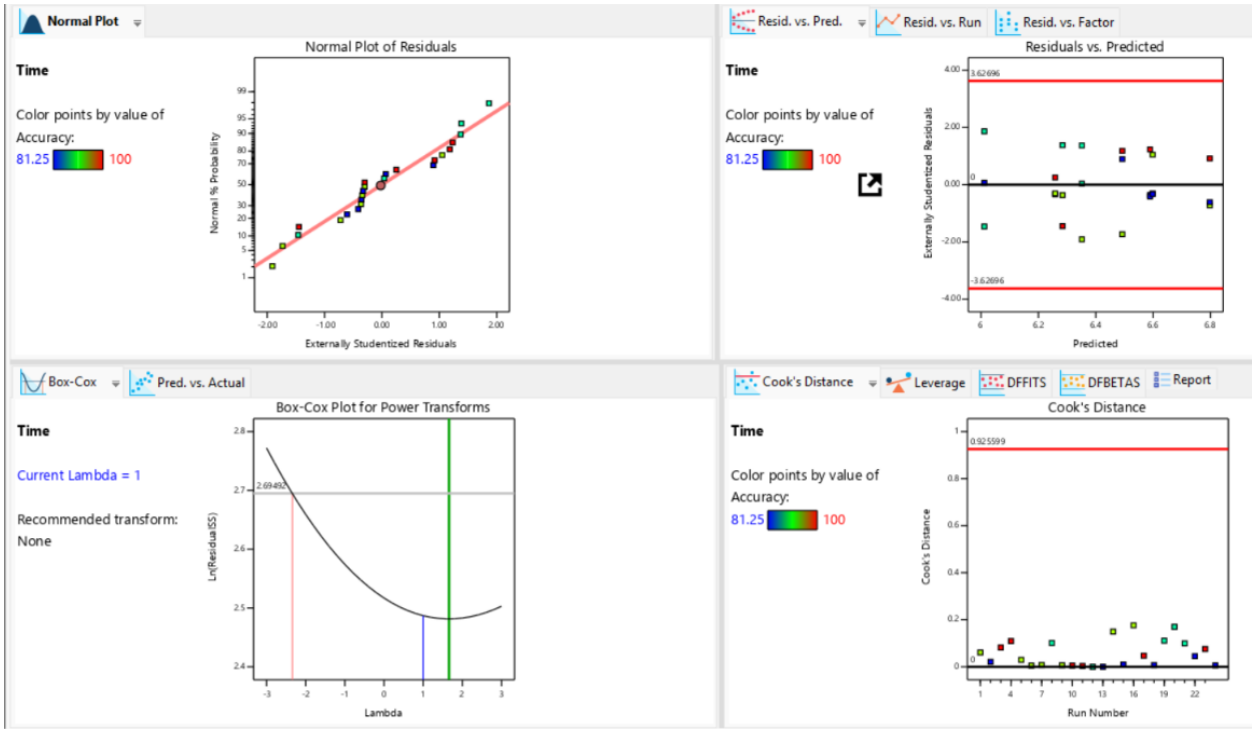
บทความวิจัย (Research Article)

วาง (BC) คือ มีค่า P = 0.0004 ซึ่งมีนัยสำคัญในระดับสูงมาก บ่งชี้ว่ารูปแบบการจัดวางเชิงเรขาคณิตมีผลต่อความแม่นยำอย่างรุนแรงเมื่อเปลี่ยนชนิดของวัตถุ ข้อมูลนี้เป็นหลักฐานสำคัญที่แสดงว่าการปรับปรุงความแม่นยำไม่สามารถพิจารณาเพียงปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งได้ แต่ต้องพิจารณาความสัมพันธ์เชิงระบบร่วมกับ

รูปที่ 10 แสดงกราฟวินิจฉัยแบบจำลองสำหรับระยะเวลาปฏิบัติงาน (Time) ประกอบด้วยกราฟตรวจสอบเศษเหลือ การพิจารณาการแปลงข้อมูลด้วย Box–Cox และกราฟ Cook's distance สำหรับตรวจอิทธิพลของข้อมูล ทั้งนี้เพื่อประเมินความเหมาะสมของแบบจำลอง นอกจากนี้รูปที่ 11 ได้แสดงกราฟอิทธิพลหลัก (Main Effect Plot) ที่ใช้อธิบายอิทธิพลของส่วนต่อประสานผู้ใช้ (UI) ที่มีต่อความแม่นยำ (Accuracy) เพิ่มเติม

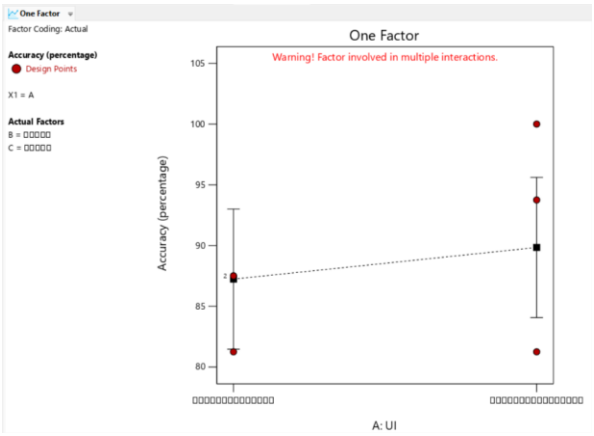
รูปที่ 12 แสดงกราฟปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย A ส่วนต่อประสานผู้ใช้ และปัจจัย B ชนิดของวัตถุ (AB) โดยตัวแปรตอบสนองในภาพคือระยะเวลาปฏิบัติงาน (Time) (P=0.4193) การตีความความแตกต่างระหว่างเงื่อนไขต้องพิจารณาร่วมกับผล ANOVA ของเวลาในรูปที่ 6

รูปที่ 13 แสดงกราฟวินิจฉัยแบบจำลองสำหรับความแม่นยำในการจัดวาง ใช้ประกอบการตรวจสอบเศษเหลือและความเหมาะสมของแบบจำลอง สำหรับการอภิปรายอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของวัตถุกับรูปแบบการจัดวาง (BC) ต้องอาศัยกราฟปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยดังกล่าวที่เพิ่มเข้ามาใหม่และผล ANOVA ที่ใช้ชุดข้อมูลเดียวกัน

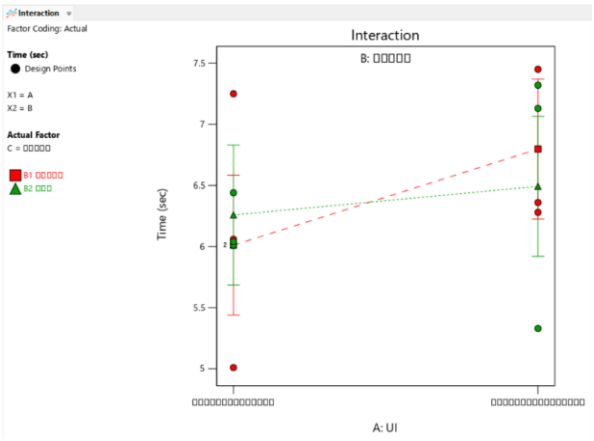


รูปที่ 10 กราฟวินิจฉัยแบบจำลองสำหรับระยะเวลาปฏิบัติงาน (Time)

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 11 แสดงกราฟอิทธิพลหลักของ Accuracy (Main Effect Plot)



รูปที่ 12 กราฟปฏิสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่อประสานผู้ใช้และชนิดของวัตถุต่อระยะเวลาปฏิบัติงาน

4.3 การประเมินความเหมาะสมและคุณภาพของแบบจำลอง (Fit Statistics Evaluation)

เมื่อเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางสถิติระหว่าง Time และ Accuracy พบข้อสรุปดังนี้

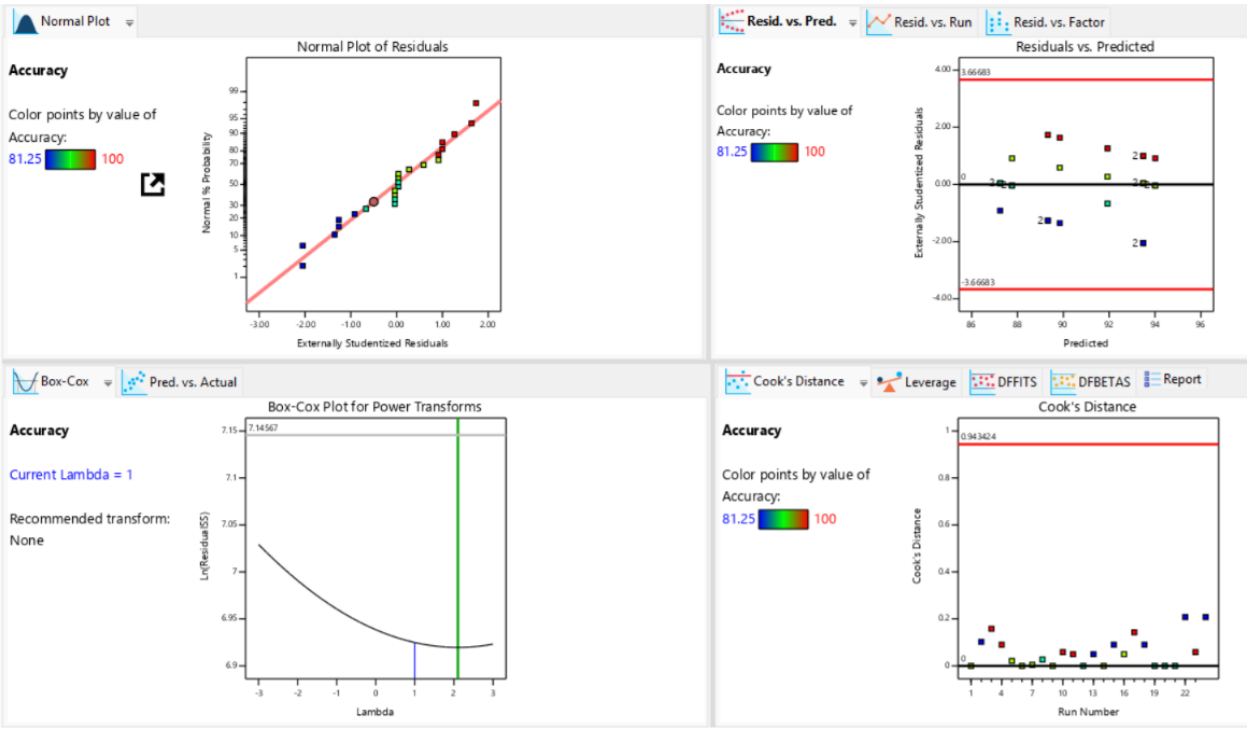
ระดับการอธิบายปรากฏการณ์ (R^2): แบบจำลองด้าน Accuracy มีค่า R^2 = 0.6406 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 64.06 ซึ่งสูงกว่าแบบจำลองด้าน Time มีค่า R^2 = 0.0957 อย่างมาก สะท้อนว่าปัจจัยที่ผู้วิจัยคัดเลือกมาศึกษามีความสัมพันธ์กับความแม่นยำมากกว่าระยะเวลาอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Adeq Precision)

ด้าน Accuracy มีค่า 8.1721 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ 4.00 แสดงว่าแบบจำลองมีความสามารถในการนำทาง (Navigate) หรือพยากรณ์ผลลัพธ์ได้อย่างน่าเชื่อถือด้าน Time มีค่าเพียง 1.9229 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ บ่งชี้ว่าข้อมูลมีความผันแปรจากปัจจัยรบกวนสูงเกินกว่าจะใช้พยากรณ์เชิงตัวเลขได้แม่นยำ สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (C.V. %): ด้าน Accuracy อยู่ที่ 7.53% ขณะที่ Time อยู่ที่ 12.73% แสดงถึงข้อมูลการทดลองด้านความแม่นยำที่สูงกว่า ดังรูปที่ 7

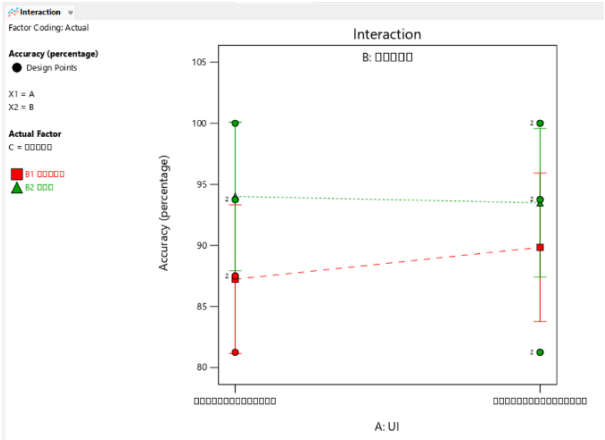
ผลการทดลองด้านเวลามีค่าเฉลี่ย 6.42 วินาที ส่วนค่า Std. Dev. = 0.8173 วินาทีในตาราง Fit Statistics เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเศษเหลือ (Residual Standard Deviation) ซึ่งคำนวณจากรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (MSE) ค่า Adeq Precision = 1.9229 แสดงข้อจำกัดของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของแบบจำลอง จึงควรระมัดระวังการใช้แบบจำลองนี้เพื่อพยากรณ์เวลา

แบบจำลองด้านเวลามีค่า R^2 ต่ำ และผลทดสอบ Lack of Fit มี P-value = 0.8567 จึงยังไม่พบหลักฐานของความไม่สอดคล้องของแบบจำลองจากการทดสอบนี้ อย่างไรก็ตาม ผลดังกล่าวไม่ใช่หลักฐานยืนยันว่าระยะเวลาการทำงานเป็นอิสระจากปัจจัยที่ศึกษาหรือเท่ากันในทุกเงื่อนไข

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 13 กราฟวินิจฉัยแบบจำลองสำหรับความแม่นยำในการจัดวาง (Accuracy)



รูปที่ 14 กราฟอิทธิพลร่วมเชิงปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้และชนิดของวัตถุ

รูปที่ 14 แสดงกราฟปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย A ส่วนต่อประสานผู้ใช้ และปัจจัย B ชนิดของวัตถุ ต่อความแม่นยำในการจัดวาง (Accuracy) การตีความความแตกต่างต้องพิจารณาร่วมกับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในรูปที่ 8 ทั้งนี้ แกนตั้งแสดงความแม่นยำในช่วงประมาณ 80–105%

4.4 ความสอดคล้องของแบบจำลอง (Lack of Fit)

ค่า Lack of Fit เป็นดัชนีชี้วัดว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สอดคล้องกับข้อมูลจริงเพียงใด

Response 1 (Time) มีค่า P-value ของ Lack of Fit เท่ากับ 0.8567

Response 2 (Accuracy) มีค่า P-value ของ Lack of Fit เท่ากับ 0.7007

ผลทดสอบ Lack of Fit ของแบบจำลองทั้งสองชุดไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงยังไม่พบหลักฐานของ

บทความวิจัย (Research Article)

ความไม่สอดคล้องของแบบจำลองตามการทดสอบที่ใช้ ผลนี้ควรพิจารณาร่วมกับการตรวจสอบเศษเหลือและความเหมาะสมของพจน์แบบจำลอง และไม่ยืนยันว่าไม่มีตัวแปรสำคัญตกหล่น

4.5 การอภิปรายผล

ผล ANOVA ด้านเวลายังไม่พบหลักฐานของผลจากปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วมที่อยู่ในแบบจำลอง ($P > 0.05$) ค่า 0.8173 วินาทีเป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเศษเหลือ ซึ่งสะท้อนความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองเท่านั้น ด้านความแม่นยำ ผล ANOVA ใหม่ไม่พบอิทธิพลทางสถิติของส่วนต่อประสานผู้ใช้ ($P = 0.8709$) และปฏิสัมพันธ์ AB ($P = 0.6271$) กับ BC ($P = 0.8709$) การประเมินแนวโน้มเงื่อนไขการทำงานจึงควรพิจารณาจากค่าเฉลี่ยและกราฟปฏิสัมพันธ์ร่วมกัน ส่วนการเปรียบเทียบกับงานด้านหุ่นยนต์และส่วนต่อประสานผู้ใช้ [9,12] ต้องคำนึงถึงความแตกต่างของอุปกรณ์ วิธีทดลอง และนิยามตัวแปรตอบสนอง

5. สรุปผล

กระบวนการหยิบจับและวางชิ้นงาน (Pick-and-Place Operations) ที่ต้องการความแม่นยำและความสม่ำเสมอสูง ส่วนต่อประสานผู้ใช้ (A), ชนิดของวัตถุ (B) และรูปแบบการจัดวาง (C) เป็นปัจจัยที่ยืนยันถึงความจำเป็นในการดำเนินการต่อสมรรถนะการทำงานของแขนกล Dobot สามารถสรุปประเด็นสำคัญเชิงวิชาการได้ดังนี้

ผลการทดสอบทางสถิติยังไม่พบหลักฐานว่าปัจจัยด้านส่วนต่อประสานผู้ใช้ ชนิดของวัตถุ และรูปแบบการจัดวางที่ศึกษาส่งผลต่อระยะเวลาปฏิบัติงาน ($P > 0.05$) ภายใต้เงื่อนไขการทดลองนี้

ความไวของดัชนีด้านคุณภาพต่ออิทธิพลร่วมเชิงปฏิสัมพันธ์ (Sensitivity of Accuracy and Interaction Effects) ในทางตรงกันข้าม ผล ANOVA ที่รายงานพบอิทธิพลของส่วนต่อประสานผู้ใช้ต่อความแม่นยำ (Accuracy; $P = 0.0222$) โดยเฉพาะการพบ อิทธิพลร่วมเชิงปฏิสัมพันธ์ (Interaction Effect) ระหว่างชนิดของวัตถุและรูปแบบการจัดวาง ($P < 0.01$) ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้สำคัญว่าคุณภาพของงานในระบบอัตโนมัติไม่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยใดปัจจัยหนึ่ง แต่เกิดจากความสอดคล้องเชิงระบบ (Systematic Alignment) หากการบูรณาการปัจจัยเหล่านี้ไม่เหมาะสมจะก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการหยิบจับ ขณะที่ยังไม่พบหลักฐานของผลต่อระยะเวลาปฏิบัติงานภายใต้เงื่อนไขที่ทดสอบ

องค์ความรู้จากงานวิจัยนี้จำกัดอยู่ในขอบเขตเงื่อนไขที่ทดลอง ซึ่งยังไม่พบหลักฐานของผลจากปัจจัยที่ศึกษาต่อระยะเวลาปฏิบัติงาน การนำผลไปใช้วางแผนกำลังการผลิตควรพิจารณาช่วงความผันแปรของเวลาที่สังเกตได้และทดสอบเพิ่มเติมในสภาวะใช้งานจริง

ความแม่นยำ (Accuracy) เป็นดัชนีที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยรบกวน (Sensitive to Noise Factors) มากกว่าดัชนีด้านเวลา โดยเฉพาะการค้นพบอิทธิพลร่วม (Interaction) ที่มีความลักลั่นระหว่างลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัตถุและรูปแบบการจัดวางเชิงเรขาคณิต องค์ความรู้นี้ชี้ให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพในระบบอัตโนมัติไม่สามารถกระทำแบบแยกส่วนได้ แต่ต้องใช้แนวคิด การบูรณาการปัจจัย (Factor Integration) เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในระดับจุลภาค

ข้อจำกัดของงานวิจัย (Research Limitations) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวแปรด้านระยะเวลา (Time) มีข้อจำกัดทางสถิติสูงเนื่องจากมีค่า R^2 และค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน จึงไม่สามารถนำสมการ

ถดถอยของตัวแปรด้านเวลาไปใช้ในการคาดการณ์หรือพยากรณ์เชิงตัวเลขในสภาวะอื่นได้

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต (Future Recommendations) คือควรเพิ่มการศึกษาตัวแปรอิสระนำเข้าอื่น ๆ ที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อพลวัตเชิงเวลา เช่น อัตราเร่งของข้อต่อแขนกล (Joint Acceleration) หรือระดับความชื้นสัมพัทธ์ของพื้นผิวสัมผัสวัตถุ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการอธิบายความแปรปรวน (R^2) ของแบบจำลองด้านเวลาให้สูงขึ้น ควรขยายขอบเขตการทดลองไปสู่ระบบหยิบจับประเภทอื่น เช่น ชุดหยิบจับเชิงกลแบบก้ามปู (Mechanical Gripper) และทดสอบร่วมกับสัณฐานวิทยาวัตถุที่มีความซับซ้อนหลากมิติมากขึ้น เพื่อสร้างแบบจำลองพยากรณ์ที่มีความแม่นยำและครอบคลุมกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมที่กว้างขวางขึ้น

การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อการปรับตัวแบบพลวัต (Implementation of AI for Dynamic Adaptation) งานวิจัยในอนาคตควรนำเสนอการพัฒนาระบบควบคุมที่สามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์การหยิบจับได้โดยอัตโนมัติ (Adaptive Control) ผ่านเทคโนโลยี การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อให้แขนกลสามารถจำแนกสัณฐานวิทยาของวัตถุและประมวลผลรูปแบบการวางได้แบบเวลาจริง (Real-Time Processing) ซึ่งจะช่วยธำรงไว้ซึ่งความแม่นยำสูงสุดแม้ในสภาวะที่มีความแปรปรวนของปัจจัยนำเข้าสูง

การวิเคราะห์ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์และประสิทธิผลโดยรวม (Economic Analysis and OEE Optimization) ควรมีการวิจัยเชิงปริมาณเพื่อเปรียบเทียบต้นทุนที่สูญเสียไปจากความไม่แม่นยำ (Cost of Poor Quality) เทียบกับต้นทุนด้านเวลาในกระบวนการผลิต เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการตัดสินใจเลือกกระบวนการทำงานที่คุ้มค่าที่สุด (Cost-Effective Operation) ซึ่งจะช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในเชิงยุทธศาสตร์ของผู้บริหารระดับสูงในการลงทุนเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณครอบครัวที่ให้ทุนการศึกษาและทุนวิจัย รวมทั้งอาจารย์ที่ปรึกษาทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำในการทำวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา

7. เอกสารอ้างอิง

[1] H. Luo and H. Qiao, “Exploring the impact of industrial robots on firm innovation under circular economy umbrella: A human capital perspective,” *Management Decision*, vol. 62, no. 9, pp. 2763-2790, 2024. DOI: 10.1108/MD-02-2023-0285.

[2] J. N. Pires, A. S. Azar, F. Nogueira, C. Y. Zhu, R. Branco, and T. Tankova, “The role of robotics in additive manufacturing: Review of the AM processes and introduction of an intelligent system,” *Industrial Robot: The International Journal of Robotics Research and Application*, vol. 49, no. 2, pp. 311-331, 2022. DOI: 10.1108/IR-06-2021-0110.

[3] A. Vizcarra, G. Quiroz, and J. Cornejo, “The impact of user interface and experience (UI/UX) design on visual ergonomics: A technical approach for reducing human error in industrial settings,” *Designs*, vol. 10, no. 1, Art. no. 8, 2026. DOI: 10.3390/designs10010008.

[4] J. Zheng, J. Silvennoinen, and T. Kujala, "The association between aesthetic appeal and semantic distance of icons varying in concreteness: Shedding light on the aesthetic-usability effect," *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 211, Art. no. 103799, 2026. DOI: 10.1016/j.ijhcs.2026.103799.

[5] R. Chen, H. Zhang, S. Zhou, X. Xu, Z. Yuan, H. Wang, and J. Luo, "A rigid-flexible-soft coupled dexterous hand with sliding tactile perception and feedback," *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 9, no. 12, pp. 11682-11689, 2024. DOI: 10.1109/LRA.2024.3497721.

[6] B. Lyu, H. Xiao, Q. Meng, J. Wu, Y. Wang, J. She, and E. F. Fukushima, "Humanoid finger with rigid-flexible-soft structure," *Nature Communications*, vol. 16, no. 1, Art. no. 9905, 2025. DOI: 10.1038/s41467-025-65367-x.

[7] A. Lobbezoo, Y. Qian, and H. J. Kwon, "Reinforcement learning for pick and place operations in robotics: A survey," *Robotics*, vol. 10, no. 3, Art. no. 105, 2021. DOI: 10.3390/robotics10030105.

[8] M. Wu, A. Rupenyan, and B. Corves, "Autogeneration and optimization of pick-and-place trajectories in robotic systems: A data-driven approach," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 97, Art. no. 103080, 2026. DOI: 10.1016/j.rcim.2025.103080.

[9] H. C. Hsieh, Y. C. Chen, C. K. Lin, J. R. Ho, and P. C. Tung, "Development and implementation of robot technology for high-precision positioning," in *2024 9th International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE)*, Osaka, Japan, 2024, pp. 151-156. DOI: 10.1109/ICCRE61448.2024.10589818.

[10] M. Bottin, G. Boschetti, and G. Rosati, "Optimizing cycle time of industrial robotic tasks with multiple feasible configurations at the working points," *Robotics*, vol. 11, no. 1, Art. no. 16, 2022. DOI: 10.3390/robotics11010016.

[11] C. H. Chu and Y. L. Liu, "Augmented reality user interface design and experimental evaluation for human-robot collaborative assembly," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 68, pp. 313-324, 2023. DOI: 10.1016/j.jmsy.2023.04.007.

[12] Y. Zhang, B. K. Chen, X. Liu, and Y. Sun, "Autonomous robotic pick-and-place of microobjects," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 26, no. 1, pp. 200-207, 2010. DOI: 10.1109/TRO.2009.2034831.