

นิพนธ์ต้นฉบับ

(Original article)

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความผิดพลาดในการควบคุมหุ่นยนต์แขนกลกึ่งอัตโนมัติ ด้วยตาเปล่า

A study the factor effect of error in semi auto robot arm control by naked eye

ชลาลัย วงเวียน^{1*}, ประจวบ กล่อมจิตร²

Chalalai Wongwian^{1*}, Prachuab Klomjit²

¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University

(Chalalai.wongwian@email.com)

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology Silpakorn University

*ผู้รับผิดชอบหลัก

Received: May 19, 2021/ Revised: June 27, 2021/ Accepted: June 28, 2021

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อความผิดพลาด (mistake) ในการควบคุมหุ่นยนต์แขนกลกึ่งอัตโนมัติด้วยตาเปล่า ประกอบด้วย ระยะทางการยืนควบคุม, ตำแหน่งการยืนควบคุม และลักษณะของชิ้นงานและ (2) ศึกษาภาระงาน (Workload) จากการควบคุมโดยมนุษย์ ด้วยตาเปล่าในการปฏิบัติงานหยิบวางชิ้นงานเพื่อประกอบ (Pick and Place) การวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองใช้วิธีการคัดเลือกแบบอาสาสมัครจำนวน 10 คนเลือกกลุ่มตัวอย่างจากสมาชิกที่อาสาเข้ามามีส่วนร่วมด้วยความเต็มใจ โดยให้ผู้ทดลองควบคุมหุ่นยนต์ทางเงื่อนไขและปัจจัยที่กำหนดจากนั้นประเมินภาระงานทางจิตใจด้วยประเมิน NASA-TLX ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อความผิดพลาดในการควบคุมหุ่นยนต์มากที่สุดคือลักษณะของชิ้นงาน รองลงมาคือระยะห่างของการควบคุม โดยผลการทดสอบได้แสดงให้เห็นว่าการหยิบวางชิ้นงานที่ลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมจะเกิดความผิดพลาดในการทำงานมากที่สุดและการหยิบวางชิ้นงานที่ลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมยังส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดภาระงานทางจิตใจสูงที่สุด

คำสำคัญ: แขนกลกึ่งอัตโนมัติ; ภาระงานทางจิตใจ; แบบประเมิน NASA-TLX

ABSTRACT: The objective of this research is to (1) study the factors that affect the error in the visual control of semi-automatic robots. The factors include the control standing distance, control perspective and workpiece characteristics, and (2) study the mental workload from human visual control in pick and place operations. The analysis results show that the most influencing factor for robot handling errors is the workpiece characteristics second to the control distance. The results showed that the triangular workpiece was the most erroneous, efficient operator and highest mental workload. This research was an experimental study using a selective method of recruiting 10 volunteers who chose a sample from members who volunteered to participate willingly. The experimenter had to control the robot according to the conditions and factors and then to assess the mental load with NASA-TLX assessment. The analysis results show that the most influencing factor for robot handling errors is the workpiece characteristics. Followed by the control distance. The results showed that the triangular-shaped workpiece was the most likely to be wrong and the highest mental workload for the operator.

Keywords: Semi-automatic robot arm; Mental workload; NASA-TLX assessment.

1. บทนำ

หุ่นยนต์ (robot) มีรากศัพท์มาจากภาษาเช็ก มีความหมายว่า “ทาสผู้รับใช้” คนส่วนใหญ่จะรู้จักหุ่นยนต์ในลักษณะของเครื่องจักรกลที่ทำเป็นรูปร่างคล้ายสิ่งมีชีวิต เช่น คน หรือสัตว์ต่าง ๆ¹ แต่ในความเป็นจริงแล้วหุ่นยนต์มีรูปร่างหลายลักษณะมากมาย หุ่นยนต์บางประเภทอาจจะมีแค่กลไกประกอบกันเป็นแขนกลเพื่อใช้ในการหยิบจับสิ่งของต่างๆ หรือในบางประเภทอาจจะอยู่ในรูปแบบของยานพาหนะเช่น รถ หรือเครื่องบินก็ได้เช่นกัน เดิมหุ่นยนต์จะทำงานได้อย่างจำกัดภายใต้คำสั่งของมนุษย์ แต่ในปัจจุบันนี้วิทยาการหุ่นยนต์ได้ก้าวหน้าไปมาก หุ่นยนต์เริ่มจะมีความคิด ตัดสินใจเองได้จากฐานความรู้ที่มีอยู่เดิม และมีกำลังที่จะทำงานมากขึ้น ในขณะที่อุปกรณ์ชิ้นส่วนมีขนาดเล็ก

ลง ระบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถคำนวณในสิ่งที่ซับซ้อนได้เร็วขึ้น และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำหุ่นยนต์มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งในอนาคตนั้นหุ่นยนต์จะก้าวเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในชีวิตประจำวันของมนุษย์อย่างแน่นอน ปัจจุบันนวัตกรรมหุ่นยนต์ได้เข้ามามีบทบาทกับวงการอุตสาหกรรมมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดจากรายงานของสหพันธ์หุ่นยนต์นานาชาติ (International Federation of Robotics) เกี่ยวกับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2563 ที่ผ่าน มา ปรากฏว่ายอดขายหุ่นยนต์อุตสาหกรรมทั่วโลกเติบโตขึ้นราว ๆ 12% เมื่อเทียบกับ ปี พ.ศ. 2562 ซึ่งยอดขายส่วนใหญ่เกิดมาจากความต้องการทางฝั่งอุตสาหกรรมยานยนต์ ในส่วนของอุตสาหกรรมขนาดเล็กและกลาง (SMEs) ที่น่าสนใจก็คือ นอกจากหุ่นยนต์แขนกล (Articulated Arm) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์แล้ว² เริ่มมีหุ่นยนต์ชนิดที่สามารถทำงานร่วมกับมนุษย์ได้ ที่เรียกว่า Cobot (Collaborative Robots) หรือหุ่นยนต์อุตสาหกรรม (Industrial robots) ขนาดเล็กอื่น ๆ เข้ามาในงานอุตสาหกรรม

ซึ่งหุ่นยนต์ในปัจจุบันมีความปลอดภัยต่อมนุษย์ มีน้ำหนักเบาขึ้น สามารถทำงานร่วมกับมนุษย์ได้อย่างปลอดภัย มีระบบการทำงานที่ทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนไหวได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น³ และยังสามารถทำงานเสี่ยงอันตรายและงานอื่นที่มนุษย์ไม่เต็มใจทำได้อีกด้วย แต่จากการศึกษาพบว่าข้อมูลอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากหุ่นยนต์มักไม่เกิดขึ้นในขั้นตอนการปฏิบัติการปกติ แต่กลับเกิดขึ้นระหว่างการเดินโปรแกรม การซ่อมแซม การติดตั้ง การทดสอบ การปรับตั้งค่า หรือขั้นตอนที่นอกเหนือจากการปฏิบัติหน้าที่ ซึ่งเจ้าหน้าที่เหล่านั้นอาจอยู่ในระยะทำงานของหุ่นยนต์ ซึ่งเมื่อเกิดการทำงานโดยไม่ตั้งใจและส่งผลให้เกิดปัญหาและอาการบาดเจ็บขึ้นได้ งานที่ผู้ปฏิบัติงานมักต้องทำงานร่วมกับหุ่นยนต์คือ งานตั้งค่า (Set up) และออกแบบ (Design) ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์ ซึ่งเป็นงานที่มนุษย์ต้องควบคุมหุ่นยนต์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ เพราะฉะนั้นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความแม่นยำหรือความผิดพลาดในการควบคุมจึงมีความสำคัญ เพื่อให้งานของผู้ปฏิบัติงานมีคุณภาพและทำงานได้อย่างปลอดภัย และภาระงานถือเป็นปัจจัยภายในที่เกี่ยวข้องกับงานและเป็นสาเหตุหนึ่งของความเครียด และส่งผลต่อความเหนื่อยหน่ายในการทำงาน ภาระงานที่น้อยหรือมากเกินไปเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดความเครียดได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความผิดพลาดในการควบคุมหุ่นยนต์แขนกลกึ่งอัตโนมัติด้วยตาเปล่า ประกอบด้วย ระยะห่างในการยืนควบคุม และมุมมองในการควบคุม ซึ่งกำหนดจากหลักเกณฑ์การแบ่งพื้นที่ทางสังคม และจากหลักการทำงานร่วมกับหุ่นยนต์เพื่อความปลอดภัยผู้ปฏิบัติงานจะต้องนอกเขตการเคลื่อนไหวของแขนหุ่นยนต์ และลักษณะของชิ้นงาน กำหนดตามรูปทรงเรขาคณิตมาตรฐาน เพื่อให้เป็นมาตรฐานสำหรับประยุกต์กับชิ้นงานที่หลากหลายมากขึ้นได้ และภาระงานควบคุมโดยมนุษย์ด้วยตาเปล่าในการปฏิบัติงานหยิบวางชิ้นงาน ด้วยการประเมินภาระงาน โดยใช้แบบประเมิน NASA TASK LOAD INDEX (NASA-TLX)

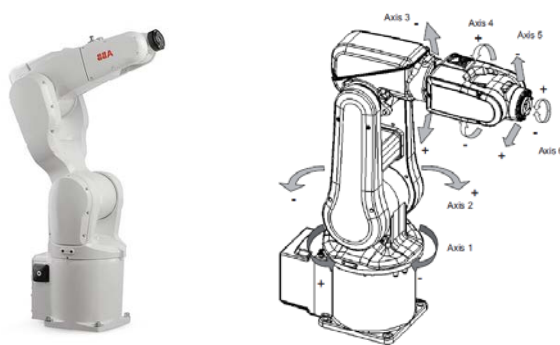
การศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงเป็นประโยชน์ให้แก่ผู้ประกอบการต่าง ๆ ที่ใช้หุ่นยนต์กึ่งอัตโนมัติ (semi-auto) หรือใช้งานมนุษย์ได้ควบคุมหุ่นยนต์ทำงาน โดยการควบคุมอาจจะเกิดความคาดเคลื่อนจากปัจจัยต่าง ๆ หรือจากภาระงานทางจิตใจที่เพิ่มของควบคุมหุ่นยนต์ จึงมีการศึกษาวิจัยสิ่งเหล่านี้เพื่อไม่ให้เกิดความคาดเคลื่อนหรือเกิดน้อยที่สุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หุ่นยนต์

หุ่นยนต์ (robot) คือ เครื่องจักรกลหรือหุ่นที่มีเครื่องกลไกอยู่ภายใน สามารถทำงานได้หลายอย่างร่วมกับมนุษย์หรือทำงานแทนมนุษย์ และสามารถจัดลำดับแผนการทำงานก่อนหรือหลังได้⁴ ระดับชิ้นการทำงานของหุ่นยนต์สามารถจำแนกได้ 6 ระดับ ตามเกณฑ์มาตรฐานของสมาคมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมแห่งญี่ปุ่น (Japanese Industrial Robot Association: JIRA)⁵ ดังนี้ ระดับที่ 1 กลไกที่ถูกควบคุมด้วยมนุษย์ (manual-handling device) ระดับที่ 2 หุ่นยนต์ที่ทำงานตามแผนล่วงหน้าที่กำหนดไว้ โดยไม่สามารถปรับเปลี่ยนแผนงานได้ (fixed-sequence robot)

ระดับที่ 3 หุ่นยนต์ที่ทำงานตามแผนล่วงหน้าที่กำหนดไว้ โดยสามารถปรับเปลี่ยนแผนงานได้ (variable-sequence robot) ระดับที่ 4 ผู้ควบคุมเป็นผู้สอนงานให้แก่หุ่นยนต์ หุ่นยนต์จะทำงานเล่นย้อนกลับ ตามที่หน่วยความจำบันทึกไว้ (playback robot) ระดับที่ 5 ผู้ควบคุมบันทึกข้อมูลเชิงตัวเลขการเคลื่อนที่ให้แก่หุ่นยนต์ และหุ่นยนต์สามารถทำงานได้เอง โดยไม่ต้องมีการสอนงาน (numerical control robot) ระดับที่ 6 หุ่นยนต์มีความฉลาด สามารถเรียนรู้สภาพแวดล้อม และตัดสินใจทำงานได้ด้วยตัวเอง (intelligent robot) ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ระดับการควบคุมที่ 1 กลไกที่ถูกควบคุมด้วยมนุษย์ (Manual-handling device) โดยทำการศึกษาการควบคุมหุ่นยนต์ ABB IRB120 เป็นหุ่นยนต์อุตสาหกรรมขนาดเล็กที่สุดของ ABB เป็นหุ่นยนต์อุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ถูกใช้ทำงานใกล้ชิดกับมนุษย์ มีน้ำหนักเพียง 25 กิโลกรัม สามารถทำงานได้ 6 แกน และสามารถรับน้ำหนัก 3 กิโลกรัม (4 กิโลกรัม สำหรับข้อมือตามแนวดิ่ง) มีระยะห่างในแนวนอน 580 มม. ไตฐานและรัศมีวงเลี้ยวที่กะทัดรัดมากเหมาะสำหรับการจัดการวัสดุและงานประกอบวัสดุ มีระบบควบคุมเคลื่อนไหวกว้างขวางแล้ว ขนาดกะทัดรัด และน้ำหนักเบา สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้อย่างแม่นยำถูกต้อง ออกแบบเพื่อให้สามารถติดตั้งได้ทุกที่ และหุ่นยนต์ใช้ระบบควบคุม IRC5 Compact controller⁶ (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 หุ่นยนต์อุตสาหกรรมขนาดเล็ก⁶

2.2 การวัดภาระงาน

การวัดภาระงาน 3 วิธีหลักๆ ในได้แก่การวัดเชิงกายภาพ (Physiological) การวัดเชิงกระบวนการ (Procedural) และการวัดเชิงการรับรู้ (Perceptual) ส่วนบุคคล⁷ ตัวอย่างการวัดเชิงกายภาพ เช่น การบันทึกอัตราการเต้น ของหัวใจ หรือความดันโลหิต ซึ่งเป็นผลตอบสนองต่อความเครียดที่เกิดจากกิจกรรมทางร่างกาย การ วัดเชิงกระบวนการ ส่วนใหญ่ ใช้การวัดที่เกี่ยวข้องกับเวลาที่ใช้ไปในการทำงาน ส่วนการรับรู้ภาระงาน นั้น ใช้วิธีประเมินคะแนนตามลำดับ (Rating Scale) เพื่อวัดถึงการรับรู้ภาระงานของผู้เข้าร่วมการ แม้ว่าการวัดเชิงกายภาพและเชิงกระบวนการ จะให้ผลที่เที่ยงตรงและเกี่ยวข้องกับตัวงาน แต่การวัดการรับรู้ของบุคคลนั้นก็มีความยุ่งยากน้อยกว่า ประหยัด และทำซ้ำอีกได้ ไม่ยาก พร้อมทั้งยังมีค่าความเที่ยงตรงเฉพาะหน้า (Face Validity) ที่สูงอีกด้วย⁸

แต่การรับรู้ภาระงานนั้น มีความละเอียดอ่อนเพียงพอที่จะใช้ผลที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ที่มีความหมายได้ การศึกษาครั้งนี้ใช้แบบประเมินการจัดการภาระงาน NASA-TLX ซึ่งใช้ประเมิน ภาระงานทางกาย ความคิดและจิตใจ ที่เกิดจากการทำงานที่ซับซ้อน ต้องใช้ร่างกายร่วมกับความคิด และการตัดสินใจ ซึ่งหากการออกแบบงาน เครื่องมือ อุปกรณ์ และผลิตภัณฑ์ไม่เหมาะสม จะส่งผลต่อ ความล้า ความผิดพลาดในการทำงาน คุณภาพและประสิทธิภาพในการทำงานลดลง และอาจส่งผล ต่ออุบัติเหตุได้

2.3 NASA Task Load Index (NASA-TLX)

การประเมินภาระงาน โดยใช้แบบประเมิน NASA TASK LOAD INDEX (NASA-TLX) ถูกพัฒนาโดยองค์การนาซ่า (NASA) มากกว่า 10 ปี ใช้เพื่อประเมินศักยภาพการจัดการภาระงานของผู้ดำเนินงานทางอากาศ การประเมินสามารถหาจุดแข็งและจุดอ่อนในการจัดการภาระงานได้อย่างแม่นยำ (Rating to Pinpoint the Task Performance) ซึ่งแบบประเมินมีความสะดวกต่อผู้ประเมิน ผู้วิจัย และผู้ศึกษาในศักยภาพและการจัดการภาระงาน การประเมินออกเป็น 6 ด้าน คือ 1) การใช้ความคิด (Mental Demand) ระดับความรู้สึกของกิจกรรมต่าง ๆ ภายในจิตใจรวมถึงกระบวนการรับรู้ เช่น การคิด, การจำ, การตัดสินใจ, การคำนวณ, การมองหรือค้นหา ฯ 2) การใช้ร่างกาย (Physical Demand) ระดับความรู้สึกของความจำเป็นในการใช้ร่างกาย เช่น การผลัก, การดึง, การควบคุม, การหมุน ฯ 3) การใช้เวลา (Temporal Demand) ระดับความรู้สึกกดดันด้านเวลา ทั้งจากตัวงานและองค์ประกอบอื่น 4) ความรู้สึกพอใจกับผลสำเร็จ (Performance) ระดับความรู้สึกพึงพอใจในความสามารถของตนเอง, ทำงานบรรลุเป้าหมาย 5) ความพยายามที่ใช้ (Effort) ระดับความรู้สึกพยายามทั้งด้านร่างกายและจิตใจในการทำงานให้สำเร็จ 6) ความรู้สึกคับข้องใจ (Frustration) ระดับความรู้สึกคับข้องใจที่เกิดในช่วงเวลาการทำงาน เช่น รู้สึกไม่ปลอดภัย, เครียด, ท้อแท้, หงุดหงิด⁹

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในอดีตจนถึงปัจจุบันได้ทำการศึกษาถึงข้อผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อน (Error) ในการทำงานของหุ่นยนต์แขนกลอย่างหลากหลาย ทั้งการนำเสนอปัจจัยที่ส่งผลต่อการคลาดเคลื่อนหรือความผิดพลาดในการทำงาน และการแก้ปัญหาความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น Liu และคณะ¹⁰ ได้นำเสนอระบบ teleoperation การเชื่อมด้วยหุ่นยนต์ที่สามารถเรียนรู้พฤติกรรมของช่างเชื่อมที่มีทักษะและถ่ายทอดความฉลาดของมนุษย์ไปยังหุ่นยนต์เชื่อม ในระบบนี้แขนหุ่นยนต์ 6-DOF มาพร้อมกับระบบตรวจจับลักษณะงานเชื่อม และการเคลื่อนไหวของช่างเชื่อม ซึ่งมนุษย์ถูกติดตามอย่างแม่นยำโดยเซ็นเซอร์ Leap มีการเสนออัลกอริทึมการควบคุมเชิงคาดการณ์เพื่อควบคุมความเร็วของการเคลื่อนไหวของแขนหุ่นยนต์ การทดลองติดตามดำเนินการเพื่อติดตามการเคลื่อนไหวที่ตั้งไว้ล่วงหน้าด้วยความเร็วที่แตกต่างกันและการเคลื่อนไหวของมือมนุษย์ พบว่าหุ่นยนต์ที่มีอัลกอริทึมการควบคุมความเร็วที่เสนอสามารถติดตามการเคลื่อนไหวของมือมนุษย์ด้วยความแม่นยำที่ยอมรับได้ จึงมีการจัดตั้งมูลนิธิขึ้นเพื่อให้เกิดการเชื่อมระยะไกลและถ่ายทอดความฉลาดของมนุษย์ไปยังหุ่นยนต์เชื่อม¹⁰

นอกจากนั้นยังมีการนำเสนอการควบคุมประเภทต่าง ๆ สำหรับหุ่นยนต์แขนกลเพื่อลดค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ เช่น การควบคุมพีไอดีแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear PID Control)^{11, 12} การควบคุมแบบคลุมเครือ (Fuzzy Logic Control)^{13, 14} การควบคุมแบบปรับเปลี่ยน (Adaptive Control)¹⁵ และการควบคุมแบบโหมดการเลื่อน (Sliding Mode Control)¹⁶ และการหาวิธีเพื่อปรับปรุงการทำงานของแขนกลก็ยังมี การนำเสนออยู่อย่างเสมอ เช่น การลดระยะผิดพลาดจากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แขนกล โดยใช้การควบคุมแบบทำซ้ำที่ปรับปรุงใหม่ เพื่อลดระยะผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการทำงานซึ่งอาจสร้างความเสียหายให้กับกระบวนการผลิต ปัญหานี้อาจส่งผลกระทบต่อแรงมากขึ้นเมื่อนำหุ่นยนต์แขนกลไปใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำสูง¹⁶

Arai และคณะ¹⁷ ได้ทดลองกำหนดระยะทางที่แตกต่างกัน 3 ระยะจากผู้ปฏิบัติไปยังหุ่นยนต์ 1.0, 1.5 และ 2.0 ม. สำหรับหุ่นยนต์จะหมุนตัวรับและวางการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุด 250 500 และ 1,000 มม. / วินาที สำหรับการทดลองเรื่องการบอกกล่าวความเครียดทางจิตใจจะถูกเปรียบเทียบระหว่างเงื่อนไขทางเลือกกว่าผู้ปฏิบัติงานได้รับแจ้งความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนไหวเดียวกันกับหรือไม่ล่วงหน้า ผ่านอุปกรณ์การเรียนการสอนผู้เข้าร่วมการทดลองมี 5 คนในการทดลองแต่ละครั้งตามลำดับและให้เวลาพัก 5 นาทีระหว่างการเคลื่อนไหวเปรียบเทียบในแต่ละครั้งสำหรับผู้เข้าร่วมการทดลอง

3. วิธีการศึกษา

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักศึกษาที่มีความสนใจเกี่ยวกับหุ่นยนต์แขนกล จำนวนทั้งสิ้น 10 คน โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยนี้ใช้วิธีการคัดเลือกแบบอาสาสมัครเป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่างจากสมาชิกที่อาสาเข้ามามีส่วนร่วมด้วยความเต็มใจ

3.2 การกำหนดปัจจัยและเงื่อนไขของการทดลอง

ปัจจัยหรือตัวแปรต้น ได้แก่ 1) ระยะห่างในการควบคุมด้วยตาเปล่า แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 100 เซนติเมตร 200 เซนติเมตร และ 300 เซนติเมตร 2) มุมในการยื่นควบคุม แบ่ง 2 ระดับ คือ ยื่นควบคุมตรงหน้าหุ่นยนต์และยื่นควบคุมทำมุมเอียง 45 องศาจากเส้นตั้งฉากจุดเป้าหมาย และ 3) ลักษณะชิ้นงาน แบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือ วงกลม สี่เหลี่ยม และสามเหลี่ยม ตัวแปรตาม ได้แก่ 1) จำนวนความผิดพลาดในการปฏิบัติงาน (Error) 2) ค่าคะแนนประเมินภาระงานจาก NASA Task Load Index

เพื่อให้การทดลองมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ผู้วิจัยจึงกำหนดมาตรฐานการทดลอง โดยกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดวางประกอบชิ้นงาน กำหนดระยะยื่น และจุดตั้งหุ่นยนต์ โดยมีระยะห่างตามที่กำหนดปัจจัยไว้ กำหนดระยะยกชิ้นงาน โดยต้องควบคุมหุ่นยนต์ให้ยกชิ้นงานเกินกว่าที่ระยะที่กำหนดไว้ คือ 20 เซนติเมตร โดยใช้เซนเซอร์วัดระยะและมีการแจ้งเตือนเมื่อถึงระยะที่ตั้งไว้ จากนั้นกำหนดระยะปล่อยชิ้นงาน โดยต้องควบคุมหุ่นยนต์ให้ปล่อยชิ้นงานโดยมีระยะไม่ต่ำกว่าที่กำหนดไว้คือ 2 เซนติเมตร โดยใช้เซนเซอร์วัดระยะและมีการแจ้งเตือนเมื่อถึงระยะที่ตั้งไว้ อีกทั้งกำหนดท่าทางเริ่มต้นของเครื่อง เพื่อให้ทุกการทดลอง ผู้ทดลองได้ใช้หุ่นยนต์ที่มีท่าทางเหมือนกัน และกำหนดระดับความสูงของสายตา ให้ระดับความสูงสายตาของผู้ทดลองเท่ากัน และทำงานทดลอง 3 ชั่วโมง การวิจัยนี้จึงกำจัดการแปรปรวนโดยทำการทดลองแต่ละปัจจัยแบบสุ่ม (randomization) และเนื่องจากความผิดพลาดและการรับรู้ภาระงาน (perception of workload) มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเรียนรู้กำหนดเวลาพักหลังการทดลองในแต่ละการทดลอง เป็นเวลา 2 นาที โดยเวลาดังกล่าวจะเพียงพอต่อความล้าและกำจัด/ลดผลกระทบจากการเรียนรู้ (learning effect)

3.3 ขั้นตอนการศึกษา

1. กำหนดกิจกรรมให้มีความยากง่ายต่างกันตามปัจจัยที่ต้องการศึกษาโดยมีสถานีนงานและเงื่อนไขของการทดสอบ ดังรูปที่ 2

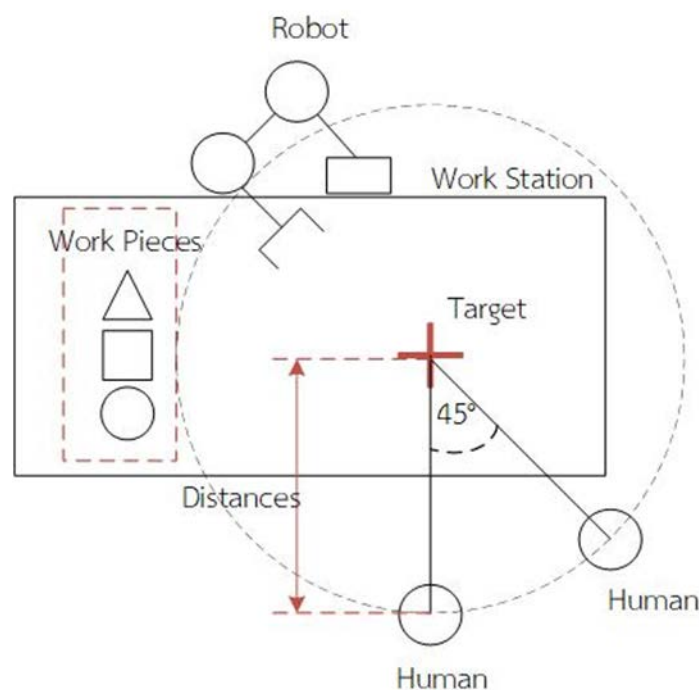
2. ตั้งค่าเครื่องมือของหุ่นยนต์ ABB ให้เป็นตำแหน่งเริ่มต้นก่อนการทดลอง โดยติดตั้งอุปกรณ์ Arduino ชุดวัดระยะทางด้วยคลื่น Ultra-sonic เพื่อควบคุมระยะการยกชิ้นงาน โดยกำหนดให้ผู้ทดลองยกชิ้นงานสูงขึ้น 20 เซนติเมตรจากพื้น

3. อธิบายขั้นตอนการทดลองให้แก่ผู้ทดลอง และทำการทดลองโดยการควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้ Flex Pendant ให้เคลื่อนที่เป็นตัว L ไปหยิบชิ้นงาน โดยเคลื่อนที่ในแนวแกน Y เข้าหาตัวผู้ทดลอง (ต้นแกนบังคับลง) เคลื่อนที่ในแนวแกน X ไปทางขวามือของผู้ทดลอง (ต้นแกนบังคับไปทางขวา) เคลื่อนที่ในแนวแกน Z ลงไปใกล้จุดหยิบชิ้นงาน (หมุนแกนบังคับตามเข็มนาฬิกา) ขยับหุ่นยนต์ใกล้ชิ้นงานมากที่สุด เคลื่อนที่หุ่นยนต์เพื่อหยิบชิ้นงาน โดยปรับได้ตามอิสระ แล้วแต่ผู้ทดลอง และกดปุ่มปุ่มลมเพื่อหยิบชิ้นงาน

4. ควบคุมหุ่นยนต์ยกชิ้นงานและปล่อยชิ้นงาน โดยเคลื่อนที่ในแนวแกน Z ยกชิ้นงานขึ้น (หมุนแกนบังคับทวนเข็มนาฬิกา) ให้ชิ้นงานเกินระยะยกที่กำหนดมาตรฐานการทดลองไว้แล้ว เคลื่อนที่ในแนวแกน X ไปทางซ้ายมือของผู้ทดลอง (ต้นแกนบังคับไปทางซ้าย) เคลื่อนที่ในแนวแกน Y ออกจากผู้ทดลอง (ต้นแกนบังคับขึ้น) เคลื่อนที่ใน

แนวแกน Z เพื่อเข้าใกล้จุดปล่อยชิ้นงาน (หมุนแกนบังคับตามเข็มนาฬิกา) ให้ขยับหุ่นยนต์ใกล้จุดปล่อยชิ้นงานมากที่สุด แต่ต้องไม่เกินระยะปล่อยที่ได้กำหนดในมาตรฐานการทดลอง เคลื่อนที่หุ่นยนต์เพื่อปล่อยชิ้นงาน โดยปรับได้ตามอิสระ แล้วแต่ผู้ทดลอง และกดปุ่มปุ่มลมเพื่อปล่อยชิ้นงาน โดยงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความผิดพลาดและภาระงานทางจิตใจ โดยกำหนดให้ความผิดพลาดคือการวางชิ้นงานลงในเป้าหมายไม่สำเร็จในขั้นตอนนี้ และบันทึกจำนวนครั้งที่ทำการกิจไม่สำเร็จ และวิเคราะห์ความผิดพลาดเป็นร้อยละความผิดพลาดของทดลองทั้งหมด

5. ผู้เข้าทำการทดลองจะต้องทำตามขั้นตอนที่กล่าวข้างต้นในการควบคุมหุ่นยนต์แขนกลกึ่งอัตโนมัติในการทำงานหยิบวางชิ้นงานทั้ง 3 ลักษณะ เข้าประกอบยังตำแหน่งที่ถูกต้อง และทำซ้ำ ชิ้นงานละ 3 ครั้ง เมื่อทำแต่ละชิ้นงานครบจึงทำการประเมินภาระงานด้านจิตใจด้วยแบบประเมิน NASA-TLX 1 ครั้งหลังจากทำการทดลองเสร็จเรียบร้อย โดยให้คะแนนตามระดับความรู้สึกทั้ง 6 มิติ ได้แก่ การใช้ความคิด (Mental Demand) การใช้ร่างกาย (Physical Demand) การใช้เวลา (Temporal Demand) ความรู้สึกพอใจกับผลสำเร็จ (Performance) ความพยายามที่ใช้ (Effort) และ ความรู้สึกคับข้องใจ (Frustration) โดยให้คะแนนตั้งแต่ 0-20 คะแนน และกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักตั้งแต่ 0-5 โดยเริ่มจากด้านที่คะแนนมากที่สุดให้เป็น 5 ตามลำดับ และคะแนนต่ำสุดให้เป็น 0



รูปที่ 2 สถานีงานและเงื่อนไขของการทดสอบ

3.4 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Science for Windows) วิเคราะห์ผลการวัดค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามที่เปลี่ยนแปลง อันเป็นผลมาจากอิทธิพลของสิ่งทดลองแต่ละประเภท วิเคราะห์ทางสถิติใช้ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างปัจจัยต่าง ๆ

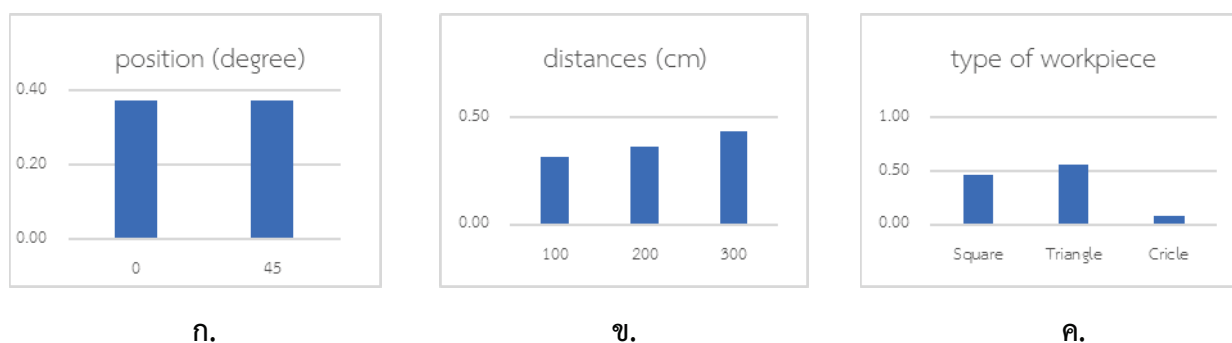
4. ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความผิดพลาดในการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยตาเปล่า มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาปัจจัยที่ผลต่อความผิดพลาดในการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยตาเปล่าอันเกิดจากมนุษย์ ซึ่งได้ผลสรุปดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ผลต่อความผิดพลาดในการควบคุมหุ่นยนต์

จากการทดลองเพื่อตรวจสอบความผิดพลาดในการควบคุมหุ่นยนต์ในงานหยิบและวางชิ้นงานภายใต้ปัจจัยด้านองศาในการยื่นระหว่างการควบคุม ระยะห่าง และลักษณะรูปแบบของชิ้นงาน โดยเก็บข้อมูลจำนวนครั้งที่หยิบชิ้นงานสำเร็จและเวลาในหยิบชิ้นงานแต่ละชิ้น และวิเคราะห์ผลสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 3 ด้านองศาในการยื่นควบคุม แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ 0 องศาและ 45 องศาที่โดยค่าเฉลี่ยความผิดพลาดในการควบคุม $F(\text{มุม}) = .587, p = .790$ โดยค่าเฉลี่ยของ 0 องศาได้ $M = .3733$ และ $S.D. = .2349$ และ 45 องศาได้ $M = .3733$ และ $S.D. = .2337$ (ดังรูปที่ 3 ก.) จะเห็นว่าองศาในการยื่นควบคุมหรือตำแหน่งในการยื่นเพื่อสั่งงานหุ่นยนต์ไม่มีผลต่อความผิดพลาด เนื่องจากความผิดพลาดของการหยิบวางชิ้นงานในตำแหน่งที่กำหนดขึ้นอยู่กับการมองเห็น องศาในการยื่นควบคุมจึงไม่มีผลต่อความผิดพลาดของงาน

ด้านระยะห่างในการควบคุม โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ ระยะห่าง 100, 200 และ 300 เซนติเมตร ซึ่งจากการทดลองความผิดพลาดในการควบคุมคิด $F(\text{ระยะห่าง}) = .610, p = .774$ โดยค่าเฉลี่ยของระยะห่าง 100 เซนติเมตร เป็น $M = .3167, S.D. = .2727$, ค่าเฉลี่ยของระยะห่าง 200 เซนติเมตร $M = .3650, S.D. = .2627$ และค่าเฉลี่ยของระยะห่าง 300 เซนติเมตร $M = .4383, S.D. = .1843$ (ดังรูปที่ 3 ข.) จากการศึกษาระยะห่างของการควบคุมโดยกำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานเป็นจุดศูนย์กลาง โดยกำหนดจากหลักเกณฑ์การแบ่งพื้นที่ทางสังคม¹⁸ โดยการแบ่งพื้นที่ของการทำงานร่วมกันเป็น 4 วงและจากหลักการทำงานร่วมกับหุ่นยนต์เพื่อความปลอดภัยผู้ปฏิบัติงานจะต้องนอกเขตการเคลื่อนไหวของแขนหุ่นยนต์ จะเป็นแบ่งระยะการทำงานออกเป็น 3 ระยะ และจากข้อมูลค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดในการควบคุม จะเห็นได้ว่าระยะห่างมากจะทำให้เกิดมาผิดพลาดมากตามไปด้วย



รูปที่ 3: ร้อยละความผิดพลาดในการควบคุมหุ่นยนต์แยกแต่ละปัจจัย (ก. องศาในการยื่น; ข. ระยะห่าง, ค. ลักษณะของชิ้นงาน)

จากการทดลองความผิดพลาดในการควบคุมด้านลักษณะชิ้นงานแบ่งเป็น 3 ลักษณะ ได้ $F(\text{ลักษณะชิ้นงาน}) = 6.00, p = .019$ โดยค่าเฉลี่ยของชิ้นงานสี่เหลี่ยม คิดเป็น $M = .4667, S.D. = .1257$ ชิ้นงานสามเหลี่ยม คิดเป็น $M = .5667, S.D. = 0.0811$ และชิ้นงานวงกลม คิดเป็น $M = .0867, S.D. = 0.1005$ (ดังรูปที่ 3 ค.) และศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อความผิดพลาดในการควบคุมทุกปัจจัย โดยใช้ทดสอบ ANOVA พบว่า มุมการยื่นและระยะห่างในการควบคุมไม่แตกต่างกัน แต่ลักษณะของชิ้นงาน ($p < 0.05$) ซึ่งแสดงว่าค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญ จากข้อมูลจะเห็นว่าชิ้นงานวงกลมมีค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดน้อยที่สุด เพราะชิ้นงานวงกลมมีรูปร่างที่ง่ายต่อการจับวางกว่ารูปทรงสี่เหลี่ยมและรูปทรงสามเหลี่ยม ตามลำดับ เนื่องจากชิ้นงานวงกลมไม่มีมุมทำให้อาสาสมัครควบคุมชิ้นงานไปยังตำแหน่งที่ต้องการจากนั้นกดวางชิ้นงานทันทีโดยไม่ต้องตรวจสอบว่าชิ้นงานจะวางแล้ว รูปร่างตรงตามรูปร่างที่ของเป้าหมายหรือไม่ ทำให้โอกาสความผิดพลาดมีน้อยกว่าชิ้นงานอื่น ๆ จึงสามารถสรุปได้ว่าลักษณะความซับซ้อนของรูปร่างมีผลความผิดพลาดในการควบคุมหรือการหยิบวางชิ้นงาน

4.2 ผลการวิเคราะห์แบบประเมิน NASA TASK LOAD INDEX (NASA-TLX)

จากการศึกษาปัจจัยที่ผลต่อความผิดพลาดของการควบคุมหุ่นยนต์พบว่าลักษณะของชิ้นงานต่างกันอย่างน้อยสำคัญกล่าวคือ รูปร่างความซับซ้อนของชิ้นงานที่ให้ทดลองมีผลต่อความผิดพลาด และผลการประเมินภาระงานด้วยแบบประเมิน NASA-TLX สามารถวิเคราะห์และสรุปได้ว่า ประเภทของลักษณะชิ้นงานที่มีผลกระทบมากที่สุด คือ สามเหลี่ยม (Triangle) องค์การในการยืนทำงานที่มีผลกระทบมากที่สุดคือ 45 องศา และระยะทางในการทำงานที่มีผลกระทบมากที่สุดคือ 300 เซนติเมตร โดยผลของค่าคะแนน NASA Task Load Index แสดงให้เห็นว่าการควบคุมหุ่นยนต์ในการปฏิบัติงานหยิบวางชิ้นงาน (Pick and Place) ชิ้นส่วนที่มีลักษณะสามเหลี่ยมนั้น จะทำให้เกิดภาระงานทางจิตใจที่มากที่สุด (ดังตารางที่ 1) ซึ่งจากค่าคะแนนจากแบบประเมิน NASA-TLX จะพบว่า ภาระงานทางจิตใจ (Mental demand) สูงกว่าภาระงานทางกายภาพ (Physical demand)

ตารางที่ 1 คะแนน NASA-TLX

ชิ้นงาน	คะแนน NASA-TLX
สี่เหลี่ยม	15.73
สามเหลี่ยม	16.19
วงกลม	14.42

5. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความผิดพลาดในการควบคุมหุ่นยนต์แขนกลชนิดใช้งานกึ่งอัตโนมัติ โดยวิเคราะห์ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของการควบคุมหุ่นยนต์โดยไม่จำกัดเวลา สำหรับงานหยิบวางชิ้นงาน (Pick and Place) ในตำแหน่งเป้าหมาย และประเมินภาระงานโดยใช้แบบประเมิน NASA-TLX เพื่อวิเคราะห์ภาระงานของการควบคุมหุ่นยนต์ในการทำงานที่มีระดับปัจจัยที่แตกต่างกัน

โดยผลการวิจัยสามารถแสดงให้เห็นถึงความผิดพลาด (error) ของการวางจากการปฏิบัติงานภายใต้ปัจจัยต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้น และจากประเมินภาระงานด้วยแบบประเมิน NASA-TLX ได้ผลสอดคล้องกัน สามารถสรุปได้ว่า ลักษณะหรือรูปลักษณ์ (Appearance) ของชิ้นงานเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลส่งผลกระทบต่อความผิดพลาดของการควบคุมหุ่นยนต์ในการปฏิบัติงานหยิบวางชิ้นงาน โดยผลการทดสอบได้แสดงให้เห็นว่าการหยิบวางชิ้นงานที่ลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม (Triangle) จะเกิดความผิดพลาดในการทำงานมากที่สุดในแต่ละระดับปัจจัย และการหยิบวางชิ้นงานที่ลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมยังส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดภาระงาน (Workload) สูงที่สุด เนื่องจากด้วยลักษณะของชิ้นงานมีลักษณะที่มีแกนสมมาตรน้อยที่สุด โดยสามเหลี่ยมด้านเท่ามีแกนสมมาตรจำนวน 3 แกนทำให้ผู้ทดลองต้องให้สายตาและความรับรู้มากกว่ารูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีแกนสมมาตร สี่เหลี่ยมจัตุรัสมีแกนสมมาตรจำนวน 4 แกน และวงกลมมีแกนสมมาตรนับไม่ถ้วน ซึ่งจะได้ว่าชิ้นงานสามเหลี่ยมมีความซับซ้อนมากที่สุด ซึ่งผู้ทดลองต้องใช้สมาธิหรือใช้เวลาในการ

ตรวจสอบตำแหน่งที่มากกว่าชิ้นงานลักษณะอื่น ๆ จึงทำให้มีโอกาสเกิดความผิดพลาดมากที่สุดและมีภาระงานทางจิตใจมากที่สุดด้วยเช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนสนับสนุนการวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

เอกสารอ้างอิง

1. ภัทรวธ สุภามา. การออกแบบระบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบสามองศาอิสระสำหรับทำงานกำหนด ตำแหน่งหมด ร่วมกับมนุษย์ในเวลาจริง [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทศึกษาศาสตร์]. กรุงเทพฯ:จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2554.
2. International Federation of Robotics (IFR). Welcome to the IFR Press Conference 24 th September 2020 [Internet]. 2020 [cited 2021 June 25]. Available from: https://ifr.org/downloads/press2018/Presentation_WR_2020.pdf
3. Gualtieri L, Rauch Erwin, Vidoni R. Emerging research fields in safety and ergonomics in industrial collaborative robotics: A systematic literature review. Robot Comput Integr Manuf 2021;67:101998.
4. Kagermann H, Wahlster W, Helbig J. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4 .0 : Final report of the Industrie 4 .0 Working Group. Berlin: Forschungsunion; 2013 [cited 2021 June 25]. Available from: <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>
5. ABB [Internet]. 2020 [cited 2021 June 25]. Available from: <https://new.abb.com>
6. บุญธรรม ภัทราจารุกุล. หุ่นยนต์อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น; 2556.
7. กิตติ อินทรานนท์. การยศาสตร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2548.
8. Memar AH, Esfahani ET. Objective assessment of human workload in physical human-robot cooperation using brain monitoring. ACM Trans Hum-Robot Interact 2019;9(2):1-21.
9. Santibanez V, Kelly R. A class of nonlinear PID global regulators for robot manipulators. Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No.98CH36146) 1998;4:3601-6.
10. Liu Y, Zhang B, Fu B, Yang R. Predictive control for robot arm teleoperation. IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. 2013:3693-8.
11. Alavandar S, Nigam MJ. Fuzzy PD+ I control of a six DOF robot manipulator. Industrial Robot 2008;35(2):125-32.

12. Chaudhary H, Panwar V, Sukavanum N, Prasad R. Fuzzy PD+ I based hybrid force/position control of an industrial robot manipulator. IFAC Proceedings Volumes 2014;47(1):429-36.
13. Slotine JE, Weiping L. Adaptive manipulator control: A case study. IEEE transactions on automatic control. 1988;33(11): 995-1003.
14. Chen CL, Lin CJ. A sliding mode control approach to robotic tracking problem. IFAC Proceedings Volumes 2002;35(1):55-9.
15. Braikia K, Chettouh M, Tondou B, Acco P, Hamerlain M. Improved control strategy of 2-sliding controls applied to a flexible robot arm. Adv Robot 2011;25(11-12):1515-38.
16. พงศกร รูปใหญ่, เบญจมาศ พนมรัตน์รักษ์. การลดระยะผิดพลาดจากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แขนกล SEIKO D-TRAN RT3200 โดยใช้การควบคุมแบบทำซ้ำที่ปรับปรุงใหม่. ว. วิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2561;28(2):299-312.
17. Arai T, Kato R, Fujita M. Assessment of operator stress induced by robot collaboration in assembly. CIRP annals. 2010;59(1):5-8.
18. Hall E. The hidden dimension. New York: Garden City;1966.