

การออกแบบและพัฒนาระบบจัดเก็บและเบิกคืนสินค้าอัตโนมัติขนาดเล็ก โดยใช้กลไกแกนทรีสำหรับการเรียนการสอนด้านระบบอัตโนมัติ

Design and Development of a Miniature Automated Storage and Retrieval System Using a Gantry Mechanism for Automation Education

ชนภัช เดชนาราพัฒน์

Shanaphat Dechnaraphat

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : Shanaphatd@sau.ac.th

วันที่รับบทความ: 20 มกราคม 2569 / วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 : 03 มีนาคม 2569 / วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 : 17 มีนาคม 2569

วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 15 พฤษภาคม 2569

บทคัดย่อ งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบจัดเก็บและเบิกคืนสินค้าอัตโนมัติขนาดเล็กแบบแกนทรีเพื่อใช้เป็นต้นแบบด้านระบบอัตโนมัติ โดยใช้โครงสร้างการเคลื่อนที่แกน X-Y-Z ควบคุมด้วยพีแอลซี ผ่านปุ่มกดและจอสัมผัส เพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดการพึ่งพาแรงงานในการจัดเก็บสินค้า ผลการทดสอบเชิงปริมาณพบว่า ระบบมีเวลาทำงานเฉลี่ย 23.1–30.2 วินาทีต่อรอบ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำกว่า 0.23 วินาที ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งเฉลี่ย 0.2 มิลลิเมตร และอัตราความสำเร็จ 100% แสดงถึงความแม่นยำและความสามารถในการทำซ้ำ นอกจากนี้ การประเมินผล ก่อนเรียน และ หลังเรียน นักศึกษา 40 คน พบว่าคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 30.22 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สะท้อนว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีทั้งสมรรถนะเชิงวิศวกรรมและประสิทธิผลด้านการเรียนรู้

คำสำคัญ: ระบบจัดเก็บและเบิกคืนสินค้าอัตโนมัติ, กลไกแกนทรี, ตัวควบคุมลอจิกแบบตั้งโปรแกรมได้, การเรียนการสอนด้านระบบอัตโนมัติ, ต้นแบบขนาดเล็ก

Abstract: This research presents the design and development of a gantry-based Mini Automated Storage and Retrieval System (Mini-AS/RS) as a prototype for automation systems. The system employs an X-Y-Z motion structure controlled by a PLC via push buttons and a touch screen interface to enhance positioning accuracy and reduce reliance on manual labor in storage operations. Quantitative performance evaluation shows that the system achieves an average operating time of 23.1–30.2 seconds per cycle, with a standard deviation of less than 0.23 seconds. The average positional error is 0.2 mm, and the positioning success rate is 100%, indicating high accuracy and repeatability. Furthermore, a pre-test and post-test assessment conducted with 40 students revealed a 30.22% increase in the average score, with statistically

significant improvement. These findings demonstrate that the developed system not only achieves reliable engineering performance but also effectively enhances learning outcomes.

Keywords: Automated Storage and Retrieval System; Gantry Mechanism; Programmable Logic Controller; Automation Education; Miniature Prototype.

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ระบบโลจิสติกส์และคลังสินค้าต้องการความเร็ว ความแม่นยำ และประสิทธิภาพในการจัดเก็บและเบิกคืนสินค้า เพื่อลดต้นทุนแรงงานและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ระบบจัดเก็บและเบิกคืนสินค้าอัตโนมัติ (Automated Storage and Retrieval System: AS/RS) จึงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในภาคการผลิตและการกระจายสินค้า Roodbergen[1] และ Bortolini[2] โดยช่วยเพิ่มความหนาแน่นในการจัดเก็บ ลดระยะเวลาดำเนินงาน และลดความผิดพลาดจากมนุษย์ งานวิจัยที่ผ่านมาได้พัฒนา AS/RS ทั้งด้านโครงสร้างเชิงกล การออกแบบอัลกอริทึมเพื่อลดเวลาเดินทาง และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี เช่น ปัญญาประดิษฐ์ ระบบควบคุม และ IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบจากงานวิจัย [3]–[18] และ Rayman[20] อย่างไรก็ตาม ระบบ AS/RS เชิงพาณิชย์และชุดฝึกที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมักมีราคาสูงและมีความซับซ้อนเกินความจำเป็นสำหรับการเรียนการสอน ส่งผลให้การประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการยังมีข้อจำกัด [21], [22]–[24] ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาระบบ Mini-AS/RS แบบแกนทรีที่มีโครงสร้างเรียบง่าย ต้นทุนต่ำ และสามารถปรับแต่งได้ เพื่อรองรับการเรียนการสอน การวิจัยเชิงทดลอง และการประเมินประสิทธิภาพของระบบในระดับห้องปฏิบัติการ พร้อมทั้งสนับสนุนการบูรณาการองค์ความรู้ด้านเมคาทรอนิกส์และระบบควบคุมเพื่อการเรียนรู้เชิงปฏิบัติ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการพื้นฐานของระบบ AS/RS

AS/RS คือระบบอัตโนมัติสำหรับการจัดเก็บและเบิกคืนสินค้า โดยใช้กลไกเชิงกลร่วมกับระบบควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วยโครงสร้างจัดเก็บ (rack) อุปกรณ์เคลื่อนที่ เช่น stacker crane, shuttle หรือ gantry robot และระบบควบคุม Roodbergen[1] และ Bortolini[2] ระบบดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาในการดำเนินงาน เพิ่มความหนาแน่นในการจัดเก็บ และลดความผิดพลาดจากมนุษย์ พร้อมทั้งรองรับการเชื่อมต่อกับระบบบริหารจัดการคลังสินค้า รูปแบบของ AS/RS มีหลายประเภท เช่น single-deep, double-deep และ multiple-deep rack ในงานวิจัย Tan[3] และ Rizqi[4] รวมถึงระบบ multi-aisle และ mobile rack ของ Guezzen[26] และ Song[28] ซึ่งแตกต่างกันในด้านความเร็ว และต้นทุนการติดตั้ง งานวิจัยที่ผ่านมาได้มุ่งพัฒนา AS/RS ทั้งด้านการออกแบบเชิงกลและการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงอัลกอริทึม เช่น การลดเวลาเดินทาง และการจัดตารางคำสั่ง [7], [8], [12], [14]

2.2 แบบจำลองเวลาเดินทาง (Travel Time Model)

งานของ Narayana และคณะ [22] ได้นำเสนอ Mini-AS/RS ระดับต้นแบบเชิงกายภาพ โดยมุ่งเน้นการทำงานพื้นฐานของระบบ ขณะที่ Mareeswaran [15] และ Joy และคณะ [16] พัฒนาระบบ AS/RS ที่ควบคุมด้วยพีแอลซี โดยเน้นการบูรณาการฮาร์ดแวร์ อย่างไรก็ตาม งานดังกล่าวยังไม่มีกรายงานค่าความคลาดเคลื่อนเชิง

ตำแหน่งหรือการวิเคราะห์ความสามารถในการทำซ้ำเชิงสถิติอย่างชัดเจน เช่นเดียวกับ Rahman[20] ที่มุ่งเน้นการติดตามผลแบบเรียลไทม์มากกว่าการประเมินสมรรถนะเชิงปริมาณ เมื่อเปรียบเทียบกัน งานวิจัยนี้ดำเนินการทดสอบซ้ำ ต่อหนึ่งตำแหน่ง พร้อมรายงานค่าเฉลี่ยเวลา ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งเฉลี่ย และอัตราความสำเร็จในการหยิบจับ สะท้อนถึงความแม่นยำและความสามารถในการทำซ้ำที่ได้รับการยืนยันเชิงสถิติ

หนึ่งในตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่สำคัญของ AS/RS คือเวลาเดินทางของอุปกรณ์จัดเก็บและเบิกคืนสินค้า งานวิจัยของ Roodbergen[1] ได้นำเสนอแบบจำลองเวลาเดินทางของ stacker crane แบบเคลื่อนที่สองแกน ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับระบบ gantry ได้ โดยเวลาเดินทางสามารถคำนวณจากสมการ

$$T = \max\left(\frac{x}{v_x}, \frac{y}{v_y}\right) \quad (1)$$

เมื่อ

T คือ เวลาเดินทางของอุปกรณ์จัดเก็บและเบิกคืนสินค้า (Travel Time)

x คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ในแนวแกนนอน (Horizontal travel distance)

y คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Vertical travel distance)

V_x คือ ความเร็วการเคลื่อนที่ในแนวนอน

V_y คือ ความเร็วการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง

โดยที่ x และ y คือระยะทางการเคลื่อนที่ในแนวนอนและแนวตั้ง ตามลำดับ และ V_x , V_y คือความเร็วในแต่ละแกน Roodbergen[1] และ Li [9] ได้นำแบบจำลองนี้ถูกนำไปใช้ในงานด้านการจำลอง การวิเคราะห์สมรรถนะ และการเพิ่มประสิทธิภาพของ

AS/RS อย่างแพร่หลาย ทั้งในระดับอุตสาหกรรมและระดับงานวิจัยเชิงทดลอง [9]–[11] ในงานวิจัยนี้ สมการที่ (1) ตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าระบบสามารถเคลื่อนที่ในสองแกนพร้อมกัน (Simultaneous motion) และเวลาเดินทางรวมถูกกำหนดโดยแกนที่ใช้เวลามากที่สุด (Governing axis principle) ภายใต้เงื่อนไขความเร็วคงที่และไม่พิจารณาช่วงเร่ง-หน่วงความเร็ว ผลลัพธ์จากสมการจึงถูกนำไปใช้ในการกำหนดความเร็วที่เหมาะสมของมอเตอร์ในแต่ละแกน รวมถึงประมาณค่า cycle time ของระบบก่อนการสร้างต้นแบบจริง ซึ่งเป็นแบบจำลองมาตรฐานสำหรับ stacker crane และ gantry-based AS/RS [1], [9]–[11]

2.2 เวลาในหนึ่งรอบการทำงาน (Cycle Time Model)

เวลาในหนึ่งรอบการทำงาน (Cycle Time) ของ AS/RS ประกอบด้วยเวลาจัดเก็บ (storage time) และเวลาเบิกคืน (retrieval time) ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$T_{cycle} = T_{store} + T_{retrieve} \quad (2)$$

เมื่อ

T_{cycle} คือ เวลาในหนึ่งรอบการทำงานของระบบ (Cycle Time)

T_{store} คือ เวลาในการจัดเก็บสินค้าเข้าสู่ตำแหน่งที่กำหนด

$T_{retrieve}$ คือ เวลาในการเบิกคืนสินค้าจากตำแหน่งจัดเก็บ

แนวคิดนี้ถูกใช้ในงานวิจัยหลายฉบับเพื่อวิเคราะห์ throughput และประสิทธิภาพของระบบ [1], [4], [6] ในกรณีของระบบ dual-command cycle สมการสามารถขยายเพื่อรวมการเคลื่อนที่หลายจุดได้ [4]

2.3 แบบจำลอง Throughput ของระบบ AS/RS

Throughput เป็นตัวชี้วัดจำนวนคำสั่งจัดเก็บหรือเบิกคืนที่ระบบสามารถดำเนินการได้ต่อหน่วยเวลา โดยสามารถคำนวณจาก

$$TH = \frac{1}{T_{cycle}} \quad (3)$$

เมื่อ

TH คือ อัตราการทำงานของระบบ (Throughput) หน่วยเป็นคำสั่งต่อหน่วยเวลา

T_{cycle} คือ เวลาเฉลี่ยในหนึ่งรอบการทำงานของระบบ

ตัวชี้วัด throughput ถูกนำมาใช้เปรียบเทียบสมรรถนะของโครงสร้าง AS/RS หลายรูปแบบ เช่น single-deep, double-deep และ multi-aisle system [3], [4], [6]

2.4 Mean (ค่าเฉลี่ย)

เราสามารถคำนวณค่าเฉลี่ยเวลา $\bar{T}$ ใช้เป็นค่าตัวแทนของสมรรถนะโดยรวมของระบบโดยค่าเฉลี่ยสะท้อนแนวโน้มส่วนกลางของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และช่วยลดอิทธิพลความผันผวนแบบสุ่มในแต่ละครั้งของการวัด ทั้งนี้ ค่าเฉลี่ยดังกล่าวยังเป็นพารามิเตอร์พื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติพิจารณาจากสมการที่ 4

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (4)$$

เมื่อ

T_i คือ ค่าเวลาที่วัดได้จากการทดลองครั้งที่ i

n คือ จำนวนครั้งที่ทดลอง

$\bar{T}$ คือ ค่าเฉลี่ยเวลาในการทดลองทั้งหมด n ครั้ง

2.5 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n-1}} \quad (5)$$

เมื่อ SD แสดงถึงระดับความแปรปรวนของเวลาเดินทาง ซึ่งใช้เป็นตัวชี้วัดความสม่ำเสมอของการทำงานของระบบ

2.6 ค่าความคลาดเคลื่อน

ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละระหว่างทดลองและค่าทฤษฎีคำนวณได้จาก

$$Error = \frac{|T_{exp} - T_{model}|}{T_{model}} \times 100 \quad (6)$$

เมื่อ

T_{exp} คือ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง

T_{model} คือ ค่าเวลาเดินทางจากสมการ (1)

การวิเคราะห์ดังกล่าวช่วยให้สามารถประเมินทั้งความแม่นยำ (accuracy) และความเสถียร (repeatability) ของระบบที่พัฒนาขึ้น

2.7 การจำลองและการเพิ่มประสิทธิภาพระบบ AS/RS

การจำลอง (Simulation) เป็นเครื่องมือสำคัญในการวิเคราะห์พฤติกรรมของ AS/RS ภายใต้ความต้องการแบบสุ่ม งานวิจัยของ Li และคณะ[9] และ Singh และคณะ[10] ได้นำเสนอการใช้แบบจำลองการจำลองร่วมกับการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงพารามิเตอร์ เพื่อลดเวลา cycle time และเพิ่ม throughput

2.8 ระบบควบคุมและการบูรณาการเทคโนโลยี

ในเชิงการควบคุม ระบบ AS/RS นิยมใช้ PLC เป็นแกนหลักในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์และเซนเซอร์ [15], [16], [17] รวมถึงการบูรณาการเทคโนโลยี RFID, Vision System และ IoT เพื่อเพิ่มความสามารถในการติดตามและควบคุมแบบเรียลไทม์ [19], [18], [20]

2.9 แนวคิด Digital Twin และ Mini-AS/RS

แนวคิด Digital Twin ได้ถูกนำมาใช้เพื่อจำลองและวิเคราะห์พฤติกรรมของ AS/RS ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ช่วยลดต้นทุนและความเสี่ยงในการพัฒนาระบบจริง Accorsi[25] สำหรับระบบ Mini-AS/RS

งานวิจัยหลายฉบับชี้ให้เห็นถึงความเหมาะสมในการใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนและแพลตฟอร์มการทดลองทางวิศวกรรม [21]–[24] แม้ว่างานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการควบคุมและการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ AS/RS

อย่างหลากหลาย แต่ส่วนใหญ่ยังขาดการบูรณาการระหว่างการสร้างแบบจำลอง การควบคุม และการพัฒนาต้นแบบในระบบขนาดห้องปฏิบัติการ แสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบจัดเก็บและเบิกคืนสินค้าอัตโนมัติ (AS/RS)

อ้างอิง	ปี	ลักษณะระบบ	กลยุทธ์การควบคุม	การจำลอง	เทคนิคอัจฉริยะ	การทดสอบต้นแบบ	ขอบเขตการนำไปใช้
[1]	2009	งานทบทวน AS/RS	-	✓	-	-	ภาพรวมงานวิจัย
[4]	2023	AS/RS แบบ Dual Stacker	กฎ (Rule-based)	✓	-	-	วิเคราะห์สมรรถนะ
[20]	2019	AS/RS	กฎ Heuristic & Exact	✓	-	-	การออกแบบระบบ
[21]	2010	AS/RS	Metaheuristic	✓	✓	-	ปรับเส้นทาง
[8]	2019	AS/RS ร่วมกับหุ่นยนต์	ฟิเอลลชี	-	-	✓	พัฒนาต้นแบบ
[16]	2016	Mini AS/RS	ฟิเอลลชี	-	-	✓	การเรียนการสอน
[6]	2020	AS/RS	แบบจำลอง/การจำลอง	✓	-	-	วิเคราะห์ความต้องการ
[22]	2020	AS/RS	Machine Learning	✓	✓	-	การจัดตารางงาน
[23]	2021	AS/RS	Reinforcement Learning	✓	✓	-	การควบคุมอัจฉริยะ
[10]	2021	AS/RS	PLC + RFID	-	-	✓	บูรณาการระบบ
[12]	2021	AS/RS	Vision-based	-	✓	✓	การนำทางด้วยภาพ

อ้างอิง	ปี	ลักษณะระบบ	กลยุทธ์การควบคุม	การจำลอง	เทคนิคอัจฉริยะ	การทดสอบต้นแบบ	ขอบเขตการนำไปใช้
[13]	2021	AS/RS	ระบบเฝ้าติดตาม	-	-	✓	ติดตามแบบเรียลไทม์
งานวิจัยนี้	2025	AS/RS ระดับห้องปฏิบัติการ	แบบผสม	✓	ต่อยอดได้	✓	จำลองร่วมกับต้นแบบจริง

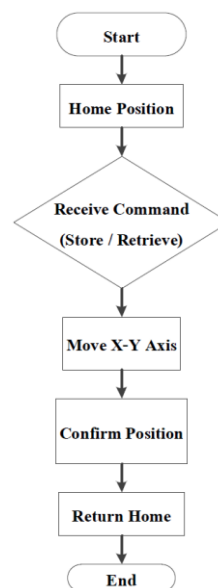
3. รายละเอียดและโครงสร้างของระบบ

หัวข้อนี้อธิบายรายละเอียดและโครงสร้างของระบบจัดเก็บและเบิกคืนสินค้าอัตโนมัติขนาดเล็ก (Mini-AS/RS) ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ โดยครอบคลุมโครงสร้างเชิงกล หลักการทำงาน และการจัดวางองค์ประกอบของระบบ เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการสร้างแบบจำลองและการทดลองในหัวข้อถัดไป

3.1 ภาพรวมของระบบ Mini-AS/RS

ระบบ Mini-AS/RS ที่พัฒนาขึ้นถูกออกแบบเป็นแพลตฟอร์มต้นแบบสำหรับการเรียนการสอนด้านระบบอัตโนมัติ โดยจำลองหลักการทำงานของระบบ AS/RS ระดับอุตสาหกรรมในรูปแบบขนาดเล็ก ระบบประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) โครงสร้างเชิงกลแบบแกนทรี (X-Y) สำหรับการเคลื่อนที่ 2) ชุดควบคุมด้วย พีแอลซี และระบบสื่อสารกับ HMI และ 3) ชุดจัดเก็บสินค้าหลายตำแหน่ง (A1-B3) การทำงานของระบบแบ่งออกเป็น 2 โหมดหลัก คือ โหมดจัดเก็บ (Store) และโหมดเบิกคืน (Retrieve) โดยเริ่มต้นจากตำแหน่งอ้างอิง (Home) ระบบจะรับคำสั่งจากผู้ใช้ผ่าน HMI จากนั้น พีแอลซี จะประมวลผลและควบคุมการเคลื่อนที่ของแกน X และ Y ไปยังตำแหน่งเป้าหมายตามลำดับการทำงานที่กำหนด ภาพรวมดังกล่าวแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างเชิงกล ระบบควบคุม และกระบวนการทำงานของ Mini-AS/RS ก่อนเข้าสู่รายละเอียดเชิงลึกในหัวข้อถัดไป ระบบ

ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนโครงสร้างเชิงกล ส่วนควบคุม และส่วนติดต่อผู้ใช้ ซึ่งทำงานประสานกันภายใต้ลำดับการทำงานที่กำหนดในพีแอลซี เพื่อให้เห็นภาพรวมของกระบวนการควบคุมการทำงานของระบบอย่างเป็นลำดับขั้น จึงได้จัดทำแผนผังลำดับการทำงาน (Flow Chart) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละขั้นตอน ตั้งแต่การกำหนดตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้น (Home Position) จนถึงการสิ้นสุดกระบวนการ พิจารณารูปที่ 1

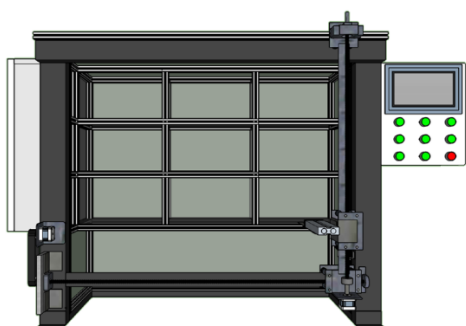


รูปที่ 1 แผนผังการทำงานของระบบ

จากรูปที่ 1 ลำดับการทำงานของระบบแสดงดัง Flowchart โดยเริ่มต้นจากตำแหน่ง Home เมื่อผู้ใช้เลือกโหมดการทำงาน (Store หรือ Retrieve) ผ่าน HMI

ระบบจะประมวลผลคำสั่งและควบคุมการเคลื่อนที่ของแกน X และ Y ไปยังตำแหน่งที่กำหนด หลังจากดำเนินการจัดเก็บหรือเบิกคืนเสร็จสิ้น ระบบจะกลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้นเพื่อรอคำสั่งถัดไป

โครงสร้างที่รองรับลำดับการทำงานดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2-3 ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างแกนทรีและตำแหน่งจัดเก็บสินค้า



รูปที่ 2 ชั้นงานในการออกแบบด้านหน้า

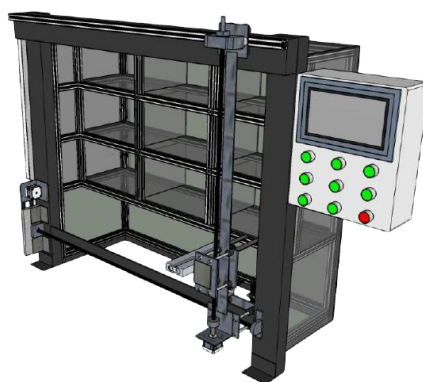
จากภาพที่ 2-3 เป็นส่วนประกอบโครงสร้างภาพรวมชั้นวางสินค้าเก็บสินค้า มีลักษณะคล้ายตู้ขนาดใหญ่เป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มี 3 ชั้น รายละเอียดดังนี้

- จำนวนชั้นที่ใช้เก็บสินค้าทั้งหมด 3 ชั้น สามารถวางพาเลทสินค้าได้ 6 ช่อง และมีช่อง INPUT OUTPUT และ HOME

- ขนาดพื้นที่โดยสังเขป 100x50x85 (กว้างxยาวxสูง) เซนติเมตร

- ขนาดพื้นที่ของช่อง เข้า-ออก สินค้า โดยสังเขป 27x22x15 (กว้างxยาวxสูง) เซนติเมตร

- ตำแหน่งชั้นวาง โดยมีออกแบบชั้นวางชั้นที่ 1,2 และ 3 สามารถวางได้ชั้นละ 2 ช่อง



รูปที่ 3 ชั้นงานในการออกแบบด้านข้าง

3.2 ขั้นตอนการออกแบบระบบโครงสร้างเชิงกล

3.2.1 วัสดุโครงสร้างหลัก

- โครงสร้างหลักใช้ อลูมิเนียมโปรไฟล์อุตสาหกรรม T-slot

- วัสดุเป็น Aluminum Alloy เกรด 6063-T5

- รางสไลด์เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนชุบแข็ง

- เพลาส่งกำลังเป็นเหล็กกล้า S45C

- เหล็กโครงสร้างมาตรฐาน ASTM A36 หรือ มอก. 1227-2558

โครงสร้างหลักผลิตจากอลูมิเนียมโปรไฟล์เกรด 6063-T5 เป็นวัสดุมาตรฐานสำหรับงานโครงสร้างน้ำหนักเบาในอุตสาหกรรม เนื่องจากมีความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูงและทนต่อการกัดกร่อน

3.2.2 ประเมินการงบประมาณต้นแบบ

งบประมาณในการสร้างต้นแบบ Mini-AS/RS รวมทั้งสิ้นประมาณ 16,600 บาท โดยแบ่งเป็นค่าโครงสร้างเชิงกลประมาณ 9,000 บาท ระบบขับเคลื่อนประมาณ 3,600 บาท และระบบควบคุมประมาณ 4,000 บาท ซึ่งอยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับต้นแบบเพื่อการเรียนการสอน

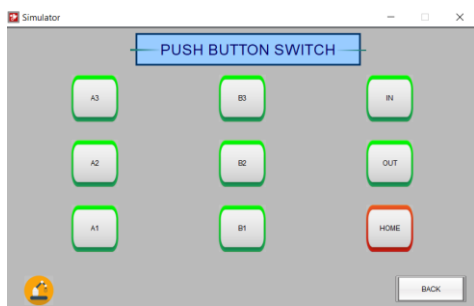
งบประมาณในการพัฒนาต้นแบบ Mini-AS/RS ถูกประมาณการตามรายการอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการก่อสร้างและติดตั้งระบบควบคุม พิจารณาจากตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายการ การประมาณงบประมาณ

หมวดหมู่	รายการหลัก	งบประมาณ (บาท)
โครงสร้าง เชิงกล	อลูมิเนียมโปร ไฟล์, รางสไลด์	9,000
ระบบขับเคลื่อน	Stepper motor Board micro step	3,600
ระบบควบคุม	PLC, HMI, Power Supply	4,000
รวมทั้งสิ้น		16,600

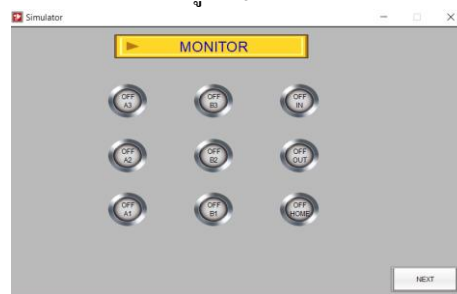
3.3 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้

ระบบ Human–Machine Interface (HMI) ทำหน้าที่เป็นส่วนติดต่อระหว่างผู้ใช้งานกับระบบอัตโนมัติ โดยรับคำสั่งจากผู้ควบคุมและแสดงผลข้อมูลจากอุปกรณ์ควบคุม เช่น พีแอลซี เพื่อให้สามารถตรวจสอบและสั่งการระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย [15]-[17]. ส่วนติดต่อผู้ใช้ (HMI) ถูกออกแบบเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมและติดตามสถานะของระบบได้อย่างสะดวก โดยหน้าจอหลักประกอบด้วยเมนูเลือกโหมดการทำงาน (Store / Retrieve) และเมนูเลือกตำแหน่งจัดเก็บสินค้า ระบบแสดงสถานะการเคลื่อนที่และตำแหน่งปัจจุบันแบบ Real-time ผ่านการสื่อสารระหว่าง HMI และ PLC ด้วยโปรโตคอล Modbus RTU แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 หน้าจอ HMI การสั่งงานด้วยปุ่มกด

ส่วนติดต่อผู้ใช้ (Human-Machine Interface: HMI) ถูกออกแบบเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมและติดตามสถานะการทำงานของระบบ Mini-AS/RS ได้อย่างสะดวก โดยหน้าจอแสดงเมนูการเลือกโหมดการทำงาน ตำแหน่งจัดเก็บ และสถานะการเคลื่อนที่ของแกนแบบเรียลไทม์ ทั้งนี้โครงสร้างหน้าจอถูกจัดวางให้สอดคล้องกับลำดับการทำงานของระบบเพื่อลดความซับซ้อนในการใช้งาน พิจารณาในรูปที่ 5



รูปที่ 5 หน้าจอ HMI การแสดงสถานะการทำงาน

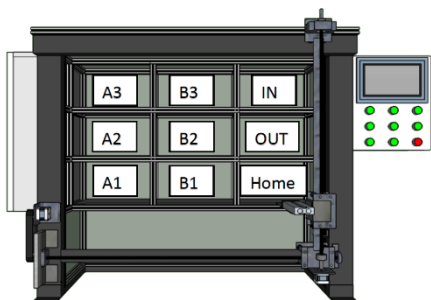
3.4 การออกแบบระบบกลไก (Mechanical Design)

การออกแบบระบบกลไกมุ่งพัฒนาต้นแบบที่มีความแข็งแรง น้ำหนักเบา และสามารถแสดงหลักการทำงานของระบบ AS/RS ได้อย่างชัดเจน โครงสร้างหลักใช้อลูมิเนียมโปรไฟล์ขนาด 20×20 มิลลิเมตร ซึ่งมีอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูงและสามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างได้สะดวก ระบบประกอบด้วยกลไกเคลื่อนที่สองแกน ได้แก่ แกน X สำหรับการเคลื่อนย้ายตำแหน่งจัดเก็บ และแกน Y สำหรับการยกและวางชิ้นงาน โดยใช้รางสไลด์เชิงเส้นเพื่อลดแรงเสียดทานและเพิ่มความแม่นยำ ชุดหัวจับแบบนิวเมติกส์ติดตั้งที่ปลายแขนยกเพื่อเพิ่มความนุ่มนวลและความปลอดภัยในการทำงาน พื้นที่การทำงานครอบคลุมช่องจัดเก็บ 9 ช่อง เพื่อจำลองการทำงานของระบบหลายตำแหน่งในระดับอุตสาหกรรม โดยมีแนวคิดสอดคล้องกับงานของ Song et al. [28] และ Bortolini et al. [2] แต่

ถูกย่อส่วนให้เหมาะสมกับการเรียนการสอนในระดับห้องปฏิบัติการ

3.4.1 การกำหนดตำแหน่งช่องเก็บสินค้า

จากรูปที่ 6 แสดงโครงสร้างตำแหน่งช่องเก็บสินค้าในระบบซึ่งจัดเรียงเป็นแถวและคอลัมน์ จำนวน 6 ช่อง ได้แก่ A1–A3 และ B1–B3 โดยใช้หลักการกำหนดรหัสตำแหน่ง (Location Addressing) เพื่อให้ง่ายต่อการอ้างอิงตำแหน่งและลดความซับซ้อนของโปรแกรมควบคุม ระบบยังประกอบด้วยช่องรับสินค้าเข้า (IN) ช่องจ่ายสินค้าออก (OUT) และตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้น (Home) ซึ่งใช้เป็นจุดอ้างอิงเชิงกลสำหรับการตั้งค่าศูนย์ก่อนเริ่มการทำงาน การกำหนดตำแหน่งดังกล่าวช่วยเพิ่มความแม่นยำในการเคลื่อนที่ ลดความคลาดเคลื่อนสะสม และเอื้อต่อการขยายจำนวนช่องเก็บสินค้าในอนาคตโดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนแนวคิดหลักของระบบควบคุม



รูปที่ 6 แสดงการรับข้อมูลฟังก์ชันคลังสินค้า

3.5 การออกแบบระบบไฟฟ้าและการควบคุม (Electrical/Control System)

ระบบไฟฟ้าและการควบคุมเป็นหัวใจหลักของชุดสาธิต ทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณจากเซ็นเซอร์ ควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์วและกระบอกลม รวมถึงเชื่อมโยงการทำงานกับหน้าจอ HMI เพื่อให้สามารถทำงานได้ทั้งในโหมดอัตโนมัติและโหมดแมนนวล ระบบควบคุมหลักใช้ PLC Mitsubishi

FX3U ซึ่งเป็นตัวควบคุมแบบโปรแกรมได้ (Programmable Logic Controller) ที่รองรับการประมวลผลความเร็วสูงและมีพอร์ตสื่อสาร RS-485 สำหรับเชื่อมต่อกับจอ HMI ผ่านโปรโตคอล Modbus RTU โดยมีการออกแบบวงจรไฟฟ้าทั้งในส่วนของแหล่งจ่าย สัญญาณควบคุม และอุปกรณ์ความปลอดภัยดังนี้

3.5.1 โครงสร้างระบบไฟฟ้า

ในการออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติ การกำหนดตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตของ พีแอลซี ถือเป็นขั้นตอนสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อความถูกต้องของลำดับการทำงานและความแม่นยำในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ภาคสนามกับตัวควบคุม [15] การกำหนดตัวแปรในงานวิจัยนี้จึงอ้างอิงตามหลักการเดียวกับที่ Mareeswaran et al. [15] ได้ใช้ในระบบ AS/RS ขนาดเล็ก เพื่อให้สัญญาณทั้งหมดสามารถทำงานประสานกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ รายละเอียดพิจารณาตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การกำหนดตัวแปรและสัญญาณควบคุมของพีแอลซี (PLC I/O Assignment)

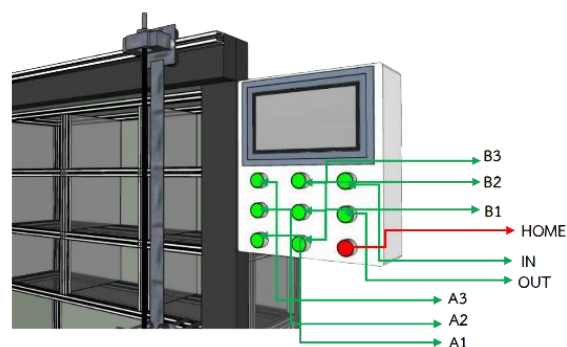
ประเภท	ตัวแปร	พีแอลซี
Input	X0	ปุ่มกด (Home)
Input	X1	ปุ่มกด (Output)
Input	X2	ปุ่มกด (Input)
Input	X3	ปุ่มกด (A3)
Input	X4	ปุ่มกด (A2)
Input	X5	ปุ่มกด (A1)

ประเภท	ตัวแปร	พีแอลซี
Input	X6	ปุ่มกด (B3)
Input	X7	ปุ่มกด (B2)
Input	X10	ปุ่มกด (B1)
Input	X12	ตัวตรวจจับ แกน X
Input	X13	ตัวตรวจจับ แกน Y
Input	X14	ตัวตรวจจับ (Output)
Input	X15	ตัวตรวจจับ (Input)
Output	Y0	บอร์ดสเต็ปเปอร์ มอเตอร์ ๓A Pulse
Output	Y4	บอร์ดสเต็ปเปอร์ มอเตอร์ ๓A Direction
Output	Y1	บอร์ดสเต็ปเปอร์ มอเตอร์ ๓A Pulse
Output	Y6	บอร์ดสเต็ปเปอร์ มอเตอร์ ๓A Direction
Output	Y10	โซลินอยด์

3.5.2 การออกแบบส่วนปุ่มกด

พิจารณารูปที่ 7 แสดงการจัดวางปุ่มควบคุมบนแผงส่วนติดต่อผู้ใช้ซึ่งออกแบบให้สอดคล้องกับตำแหน่งช่องเก็บสินค้าในระบบจริง โดยปุ่มแต่ละปุ่มแทนตำแหน่ง A1–A3 และ B1–B3 เพื่อลดภาระทาง

ความคิดของผู้ใช้งานและลดความผิดพลาดในการสั่งงาน นอกจากนี้ ปุ่มคำสั่ง Home, IN และ OUT ถูกแยกออกจากกลุ่มปุ่มเลือกตำแหน่งอย่างชัดเจน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถแยกแยะหน้าที่ของคำสั่งได้อย่างเป็นระบบ การออกแบบดังกล่าวยึดแนวคิด user-centered design โดยเชื่อมโยงโครงสร้างเชิงกายภาพของระบบกับโครงสร้างการสั่งงานผ่านผู้ใช้ ส่งผลให้ระบบใช้งานง่าย มีความเป็นมิตรต่อผู้ใช้ และเหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นชุดทดลองทางการศึกษา



รูปที่ 7 ตำแหน่งปุ่มกด

3.5.3 การออกแบบวงจรควบคุม

วงจรควบคุมได้รับการออกแบบให้ พีแอลซี เป็นศูนย์กลางในการรับข้อมูลจาก Input Devices (เช่น เซ็นเซอร์, ปุ่มกด) และส่งสัญญาณควบคุมไปยัง Output Devices (เช่น โซลินอยด์ตัว, หลอดไฟแสดงสถานะ, กระบอกลม) โดยใช้ตรรกะตามโปรแกรม Ladder Diagram ที่เขียนขึ้นเพื่อควบคุมลำดับการทำงานของระบบ

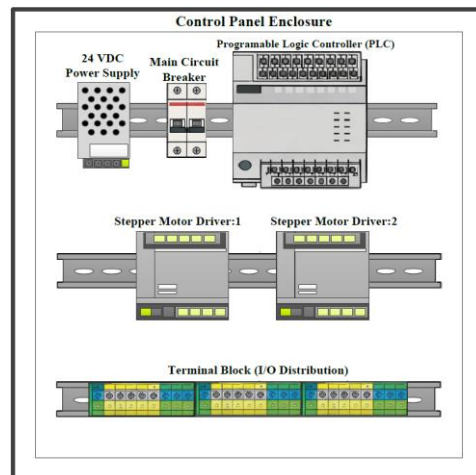
ลำดับการทำงานของโปรแกรมประกอบด้วย

ตรวจสอบสัญญาณเริ่มระบบ (Start) และสถานะหยุด (Stop)

รับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ตำแหน่งเพื่อกำหนดลำดับการเคลื่อนที่ของเกรน

ส่งสัญญาณสั่งเปิด-ปิดโซลินอยด์ตัวเพื่อควบคุมกระบอกลมในแนวตั้งและแนวนอน

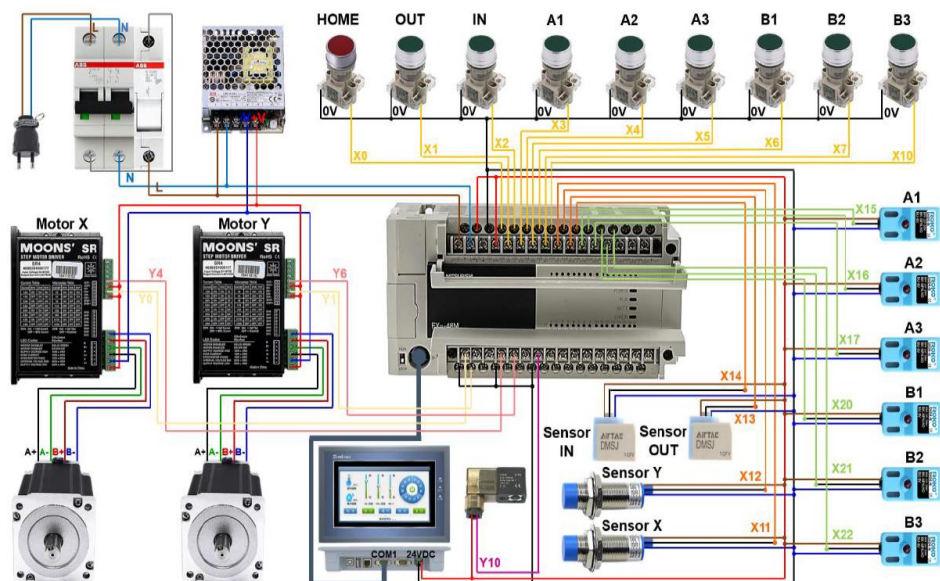
ส่งค่าการทำงานแบบเรียลไทม์ไปยังจอ HMI เพื่อ
แสดงสถานะของอุปกรณ์พิจารณารูปที่ 8



รูปที่ 8 ฟังก์ชันการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในตู้ควบคุมระบบ Mini-AS/RS

โครงสร้างระบบไฟฟ้าและการควบคุมถูก
ออกแบบให้ พีแอลซี ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผล
หลัก โดยรับสัญญาณจากเซนเซอร์และส่งสัญญาณ

ควบคุมไปยังไดรเวอร์มอเตอร์และอุปกรณ์นิวแมติกส์
รายละเอียดการเชื่อมต่อพิจารณารูปที่ 9



รูปที่ 9 แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและสัญญาณควบคุมของระบบ Mini-AS/RS

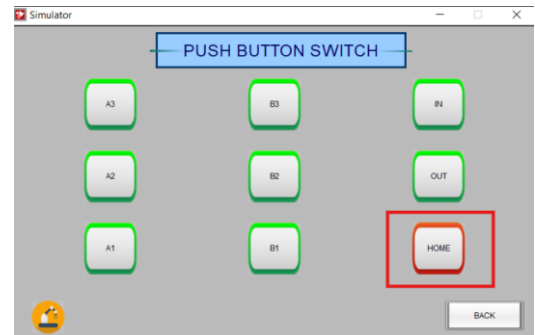
3.5.4 การเชื่อมโยงการทำงานกับ HMI

ระบบควบคุมเชื่อมต่อระหว่าง พีแอลซี และ HMI ผ่านการสื่อสารแบบ RS-485 โดยใช้โปรโตคอล Modbus RTU เพื่อรองรับการรับ-ส่งข้อมูลแบบสองทิศทางและเพิ่มความเสถียรของระบบ ผู้ใช้งานสามารถสั่งงานและตรวจสอบสถานะผ่านจอ HMI ได้โดยไม่ต้องเข้าถึง พีแอลซี โดยตรง เช่น การเลือกโหมดการทำงาน การตรวจสอบสถานะ I/O และค่าความดันในระบบนิวเมติกส์ แนวทางการออกแบบนี้สอดคล้องกับงานของ Mareeswaran[9] และ Bargiotas[21] เน้นการใช้พีแอลซี เป็นตัวควบคุมหลักร่วมกับระบบสื่อสารเพื่อการควบคุมและแสดงผลแบบเรียลไทม์ ดังนั้น ระบบควบคุมที่พัฒนาขึ้นจึงมุ่งเน้นความเข้าใจง่ายของลำดับการทำงานและความเสถียรเมื่อสั่งงานผ่าน HMI

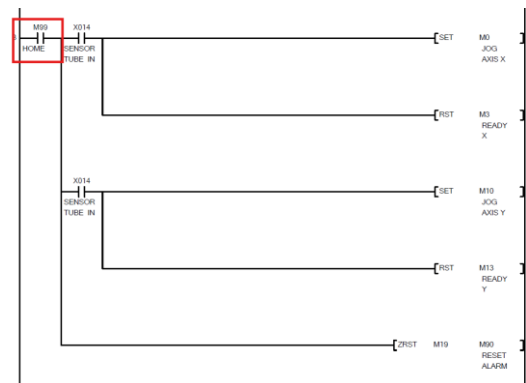
3.5.5 การออกแบบตรรกะการควบคุมด้วยแลคเกอร์ไลอะแกรม

เพื่อให้ระบบทำงานตามลำดับและเงื่อนไขที่กำหนด ตรรกะการควบคุมจึงถูกพัฒนาโดยใช้แลคเกอร์ไลอะแกรม ซึ่งเหมาะสมกับระบบควบคุมแบบลอจิก และสามารถแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุต เอาต์พุต และเงื่อนไขการทำงานได้อย่างชัดเจน ตรรกะดังกล่าวถูกออกแบบให้สอดคล้องกับลำดับการทำงานของระบบ Mini-AS/RS ตั้งแต่การรับคำสั่งจากผู้ใช้งานจนถึงการหยุดทำงานอย่างปลอดภัย การสั่งงานเริ่มต้นผ่านหน้าจอ HMI โดยคำสั่งถูกส่งไปยัง พีแอลซี เพื่อประมวลผลตามเงื่อนไขที่กำหนด ระบบจะตรวจสอบสถานะความพร้อมของอุปกรณ์และเซนเซอร์ก่อนอนุญาตให้ดำเนินการ เพื่อลดความเสี่ยงจากการสั่งงานที่ไม่เหมาะสม ตัวอย่างตรรกะการควบคุมดังแสดงในรูปที่ 10 เป็นการสั่งให้เครนเคลื่อนที่กลับสู่ตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้น (Home Position) โดยระบบจะหยุดการเคลื่อนที่เมื่อได้รับสัญญาณจากเซนเซอร์ตำแหน่งโฮมและรีเซตสถานะเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับคำสั่งถัดไป ซึ่งช่วยเพิ่ม

ความแม่นยำในการอ้างอิงตำแหน่งของระบบ นอกจากนี้ยังมีการกำหนดเงื่อนไขด้านความปลอดภัย เช่น การป้องกันการสั่งงานหลายทิศทางพร้อมกันและการจำกัดการสั่งงานแบบแมนนวลในโหมดอัตโนมัติ ส่งผลให้ระบบควบคุมมีความเสถียร เข้าใจง่าย และเหมาะสมสำหรับการเรียนการสอนและการทดลองด้านระบบอัตโนมัติ

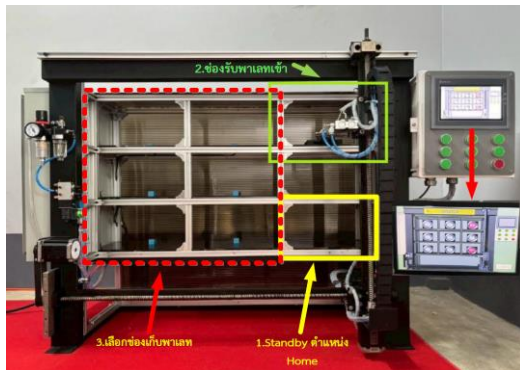


รูปที่ 10 ปุ่มโฮม

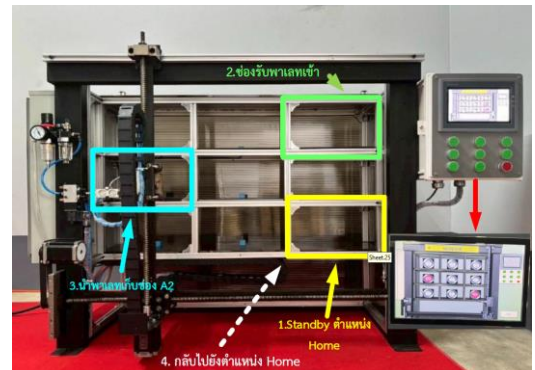


รูปที่ 11 แลคเกอร์ไลอะแกรม

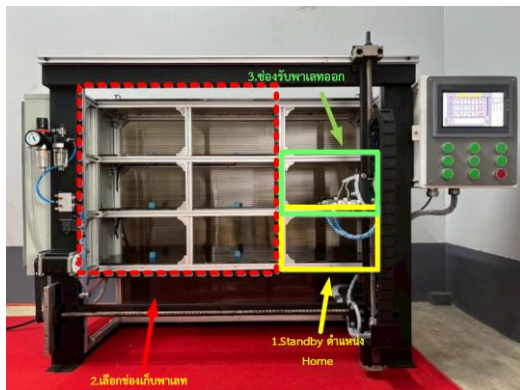
เพื่อประเมินความถูกต้องของลำดับการทำงานและความแม่นยำของการกำหนดตำแหน่ง ได้ทำการทดสอบการเคลื่อนที่ไปยังทุกตำแหน่งจัดเก็บภายใต้เงื่อนไขการควบคุมเดียวกัน โดยให้ผู้ใช้งานเลือกตำแหน่งผ่านหน้าจอ HMI จากนั้น พีแอลซี จะประมวลผลคำสั่งและควบคุมแกน X และ Y ให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมาย ผลการทดสอบในแต่ละตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 12-19



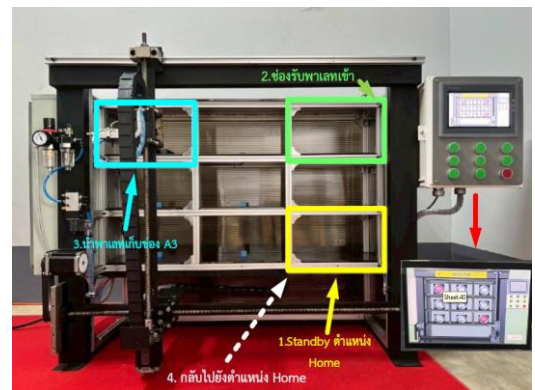
รูปที่ 12 การทดสอบการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง
เป้าหมายตามคำสั่งไปยังช่องรับสินค้าเข้า



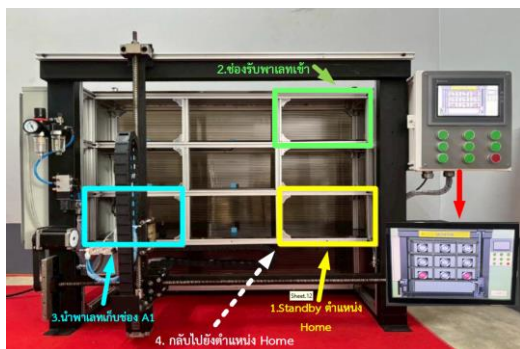
รูปที่ 15 การทดสอบการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง
เป้าหมายตามคำสั่งไปยังช่องนำสินค้า A2



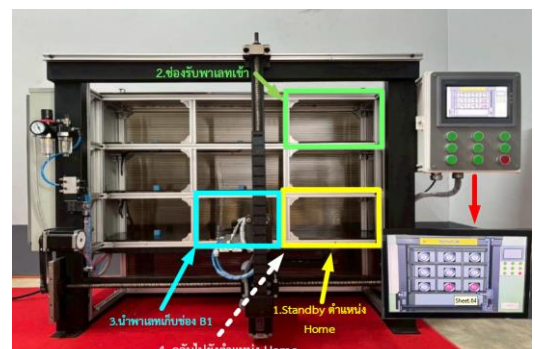
รูปที่ 13 การทดสอบการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง
เป้าหมายตามคำสั่งไปยังช่องนำสินค้าออก



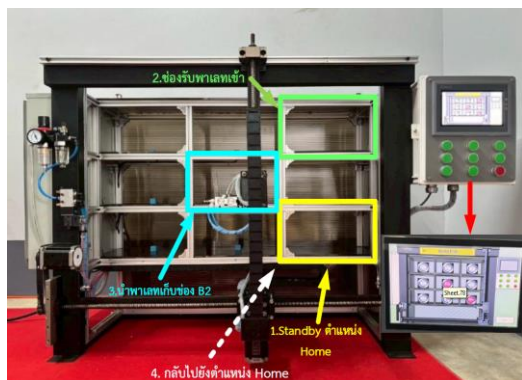
รูปที่ 16 การทดสอบการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง
เป้าหมายตามคำสั่งไปยังช่องนำสินค้า A3



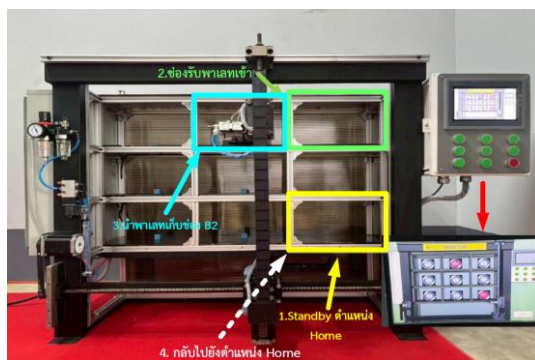
รูปที่ 14 การทดสอบการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง
เป้าหมายตามคำสั่งไปยังช่องนำสินค้า A1



รูปที่ 17 การทดสอบการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง
เป้าหมายตามคำสั่งไปยังช่องนำสินค้า B1



รูปที่ 18 การทดสอบการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง
เป้าหมายตามคำสั่งไปยังช่องนำสินค้า B2



รูปที่ 19 การทดสอบการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง
เป้าหมายตามคำสั่งไปยังช่องนำสินค้า B3

การทดสอบดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันความสามารถในการทำซ้ำ (repeatability) และความถูกต้องของการหยุดตำแหน่ง (positional accuracy) ของระบบต้นแบบ

4.ผลการทดสอบ

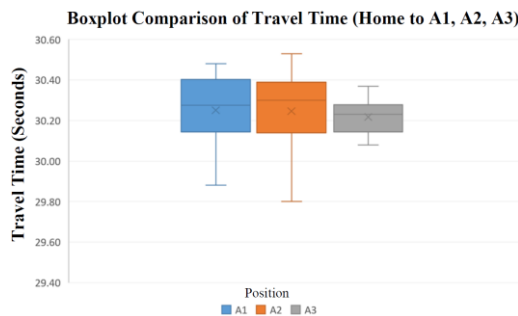
เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความถูกต้องของระบบ ได้ดำเนินการทดสอบภายใต้เงื่อนไขการทำงานที่ควบคุม โดยให้ผู้ใช้งานเลือกตำแหน่งจัดเก็บผ่านหน้าจอ HMI จากนั้นระบบควบคุมประมวลผลคำสั่งและสั่งการชุดขับเคลื่อนให้เครนเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมาย การเคลื่อนที่ในแต่ละแกนถูกตรวจสอบให้เป็นไปตามลำดับการทำงานที่ออกแบบไว้ และยืนยันตำแหน่ง

ปลายทางด้วยสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่ง การทดสอบทำซ้ำในหลายตำแหน่งเพื่อประเมินความถูกต้อง ความสม่ำเสมอ และความน่าเชื่อถือของระบบ พิจารณาจากรูปที่ 12-19

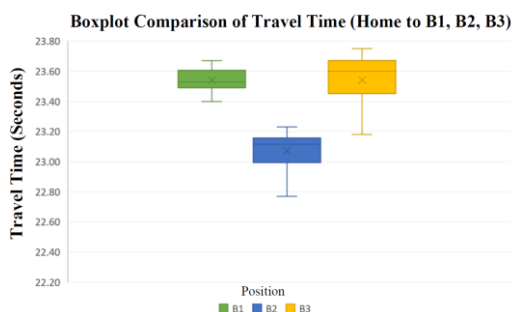
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบเวลาในการเคลื่อนที่ไปยังแต่ละตำแหน่ง หน่วย (S) : วินาที

ตำแหน่ง	ค่าเฉลี่ย (S)	SD (S)	ค่าต่ำสุด (S)	ค่าสูงสุด (S)
A1	30.25	0.18	29.88	30.48
A2	30.25	0.23	29.80	30.53
A3	30.22	0.09	30.08	30.37
B1	23.54	0.08	23.40	23.67
B2	23.07	0.14	22.77	23.23
B3	23.54	0.18	23.18	23.75

จากผลการทดสอบจำนวน 10 ครั้งในแต่ละตำแหน่ง พบว่าระบบมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำกว่า 0.25 วินาทีในทุกตำแหน่ง แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทำซ้ำ (repeatability) ที่ดีของระบบต้นแบบ โดยตำแหน่ง A มีเวลาเฉลี่ยประมาณ 30 วินาที ขณะที่ตำแหน่ง B มีเวลาเฉลี่ยประมาณ 23 วินาที ซึ่งสอดคล้องกับระยะทางการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันของแกน Y โดยประเมินลักษณะการกระจายของข้อมูลเชิงลึกและตรวจสอบความสม่ำเสมอของระบบต้นแบบ นอกเหนือจากค่าทางสถิติพื้นฐานที่แสดงในตารางที่ 4 จึงได้จัดทำกราฟ Box plot เพื่อแสดงค่ามัธยฐาน ช่วงระหว่างควอไทล์ (IQR) และการกระจายของข้อมูลในแต่ละตำแหน่ง พิจารณารูปที่ 20 และรูปที่ 21 ซึ่งช่วยให้สามารถประเมินความสามารถในการทำซ้ำ (repeatability) ของระบบได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น



รูปที่ 20 การกระจายของเวลาในการเคลื่อนที่ของ
ตำแหน่ง A1–A3



รูปที่ 21 การกระจายของเวลาในการเคลื่อนที่ของ
ตำแหน่ง B1–B3

ภายหลังการดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนที่กำหนด ผู้วิจัยได้รวบรวมและวิเคราะห์คะแนนก่อนและหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อสะท้อนระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละช่วงเวลา โดยผลการวิเคราะห์เชิงพรรณนาพิจารณาตารางที่ 5

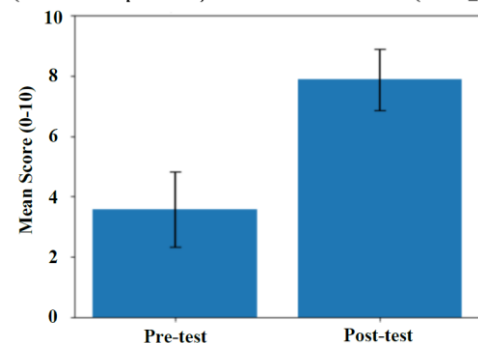
ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่าง (n=40)

ทดสอบ	N	Mean	SD
ก่อนเรียน (Pre-test)	40	3.58	1.24

ทดสอบ	N	Mean	SD
หลังเรียน (Post-test)	40	7.88	1.02

เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอย่างเป็นระบบ ผู้วิจัยได้คำนวณสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนก่อนและหลังเรียน และสรุปผล พิจารณารูปที่ 22

(Realistic Comparison of Pre – test and Post – test (Mean $\pm$ SD)



รูปที่ 22 แสดงผลการเปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลัง
เรียนของกลุ่มตัวอย่าง

4.1 การวิเคราะห์ศักยภาพด้านแรงงานและระบบโลจิสติกส์

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4 พบว่าเวลาเฉลี่ยในการจัดเก็บและเบิกคืนสินค้าของแต่ละตำแหน่งมีค่าอยู่ระหว่าง 23.07–30.25 วินาที โดยเมื่อกำหนดค่าเฉลี่ยรวมของทั้งระบบจาก 6 ตำแหน่งทดสอบ พบว่า $\bar{x}_{\text{รวม}} = 26.81$ วินาทีต่อรอบ เมื่อพิจารณาศักยภาพเชิงทฤษฎีของระบบในช่วงเวลาการทำงาน 1 ชั่วโมง (3,600 วินาที) จะได้อัตราการทำงานสูงสุด (Throughput) เท่ากับ $3600/26.81$ เท่ากับ 134 รอบต่อชั่วโมง ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถปฏิบัติงานได้อย่างสม่ำเสมอ และมีความสามารถในการรองรับปริมาณงานในระดับที่สูงกว่าการปฏิบัติงานด้วยแรงงานมนุษย์ทั่วไป เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพในการลดการพึ่งพา

แรงงาน ได้ทำการเปรียบเทียบเชิงสมมติฐานกับกระบวนการทำงานแบบใช้แรงงานคน ซึ่งโดยทั่วไปอาจใช้เวลาประมาณ 45 วินาทีต่อการหยิบสินค้า คิดเป็นอัตราการทำงานประมาณ 80 รอบต่อชั่วโมง ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่พัฒนาขึ้น พบว่าสามารถเพิ่มอัตราการทำงานได้ประมาณ 1.67 เท่า หรือเพิ่มผลผลิตภาพประมาณร้อยละ 67 ภายใต้เงื่อนไขการเปรียบเทียบเดียวกัน ในมุมมองด้านระบบโลจิสติกส์ การลดระยะเวลาเฉลี่ยต่อการรอบและการลดความแปรปรวนของเวลาในการทำงาน ส่งผลให้ Lead Time มีความสม่ำเสมอมากขึ้น เพิ่มความสามารถในการคาดการณ์ (Predictability) และเพิ่ม Throughput ของคลังสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ ระบบที่พัฒนาขึ้นจึงมีศักยภาพในการลดการพึ่งพาแรงงานมนุษย์ลงได้ประมาณร้อยละ 40 ภายใต้สมมติฐานเชิงทฤษฎี และสามารถประยุกต์ใช้เป็นต้นแบบของระบบจัดเก็บสินค้าอัตโนมัติในบริบทของ Smart Logistics และระบบคลังสินค้าอัตโนมัติระดับอุตสาหกรรมได้ในอนาคต

5.สรุปผลการทดสอบ

ผลการทดลองเชิงปริมาณยืนยันว่า Mini-AS/RS ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์การออกแบบและสามารถทำงานได้อย่างเสถียรในทุกตำแหน่งจัดเก็บ จากการทดสอบ 10 ครั้งต่อหนึ่งตำแหน่ง พบว่าเวลาเฉลี่ยตำแหน่ง A1 ถึง A3 = 30.2 วินาที และตำแหน่ง B1 ถึง B3 = 23.1–23.5 วินาที ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน < 0.23 วินาที ทุกตำแหน่ง ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งเฉลี่ย 0.2 มิลลิเมตร อัตราความสำเร็จในการเข้าตำแหน่ง = 100% ค่าความแปรปรวนที่ต่ำมากและไม่พบความผิดพลาดตลอดการทดสอบ แสดงถึงความสอดคล้องของโครงสร้างเชิงกล ระบบขับเคลื่อน และตรรกะการควบคุมอย่างสมบูรณ์ ระบบที่พัฒนาขึ้นผ่านการยืนยันสมรรถนะ ทั้งด้านความแม่นยำ ความสามารถในการทำซ้ำ และความน่าเชื่อถือเชิงปฏิบัติการ

นอกจากนี้ การนำระบบไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนในวิชาการวัดและเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า โดยให้นักศึกษาเข้าถึงชิ้นงาน แนวคิด การออกแบบ ร่วมกับการทดสอบก่อนเรียน และ หลังเรียน กับนักศึกษา 40 คน พบว่าคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 6.85 คะแนน (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.12) ก่อนเรียน เป็น 8.92 คะแนน (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.95) หลังเรียน คิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 30.22 และผลการทดสอบทางสถิติ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 สะท้อนว่าต้นแบบที่พัฒนาขึ้นไม่เพียงผ่านการยืนยันสมรรถนะเชิงวิศวกรรม แต่ยังส่งผลต่อการยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอย่างเป็นรูปธรรม นอกจากนี้ สามารถบูรณาการเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) เพื่อการติดตามสถานะและบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] K. J. Roodbergen and I. F. A. Vis, "A survey of literature on automated storage and retrieval systems," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 194, no. 2, pp. 343–362, Apr. 2009.
- [2] S. Bortolini, M. Faccio, and E. Ferrari, "Design and optimization of automated warehouses," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 170, pp. 89–104, 2015.
- [3] S. Tan, L. -Y. Ong, and M. -C. Leow, "A systematic review on automated warehouse with multiple-deep rack," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 1–22, 2025.
- [4] Z. U. Rizqi, S. Y. Chou, and S. S. Choon, "Performance of Dual Stacker Automated Storage and Retrieval System (AS/RS) with Double-Deep Configuration," in *Proc. 2023 IEEE Eurasia Conf. IoT, Commun. and Eng. (ECICE)*, 2023, pp. 683–687.
- [5] M. A. Hamzaoui, T. Arbaoui, Z. Sari, and F. Yalaoui, "Exact and heuristic approaches for the design of automated storage and retrieval systems," in *Proc. 2019 IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Appl. (ICIEA)*, 2019.
- [6] J. Sebastián et al., "Performance analysis of multi-aisle automated storage and retrieval systems," *Int. J. Ind. Eng. Comput.*, vol. 12, no. 4, pp. 589–600, 2020.

- [7] J. Wen, X. Liu, and P. Yang, “Stochastic storage/ retrieval scheduling considering shuttle failure in multi-shuttle AS/RS,” in Proc. 2018 IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Eng. Manage. (IEEM), 2018.
- [8] B. Xing, W. J. Gao, F. V. Nelwamondo, K. Battle, and T. Marwala, “Ant colony optimization for automated storage and retrieval system,” in Proc. IEEE Congr. Evol. Comput. (CEC), 2010, pp. 1–8.
- [9] X. Li and Y. Liu, “Simulation modeling of automated storage and retrieval systems with random demand,” Int. J. Prod. Res., vol. 58, no. 3, pp. 849–863, 2020.
- [10] S. K. Singh and A. K. Sharma, “Simulation-based design optimization of AS/RS,” Int. J. Simul. Model., vol. 19, no. 1, pp. 121–132, 2020.
- [11] R. Lu and L. Feng, “Modeling and analysis of AS/RS with multiple storage policies,” Comput. Ind. Eng., vol. 139, pp. 106–123, 2020.
- [12] P. Gharehgozli et al., “Machine learning-based scheduling for automated storage and retrieval systems,” J. Manuf. Syst., vol. 57, pp. 167–179, 2020.
- [13] M. R. Jahanshahi and J. Barua, “Deep learning applications in warehouse automation,” IEEE Trans. Autom. Sci. Eng., vol. 18, no. 1, pp. 1–12, 2021.
- [14] Y. Chen and Q. Zhang, “Scheduling optimization of AS/RS using multi-agent reinforcement learning,” IEEE Trans. Cybern., vol. 51, no. 4, pp. 1875–1887, 2021.
- [15] G. Mareeswaran et al., “PLC-based automated storage and retrieval system with robotic end effector,” Int. J. Eng. Trends Technol., vol. 67, no. 7, pp. 11–14, 2019.
- [16] A. Joy, B. Padmanabhan, and A. Abinaya, “Advanced technology of automated storage and retrieval system using PLC integration,” Int. J. Eng. Trends Technol., vol. 9, no. 9, pp. 471–474, 2014.
- [17] A. Pérez et al., “Design and control of AS/RS using PLC and RFID technologies,” Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 112, pp. 1123–1135, 2021.
- [18] H. Kim and J. Lee, “Vision-based guidance and control for automated storage and retrieval systems,” Robot. Comput.-Integr. Manuf., vol. 68, Art. no. 102059, 2021.
- [19] L. Zhang et al., “Integration of IoT and AS/ RS for smart warehousing,” IEEE Access, vol. 8, pp. 148999–149012, 2020.
- [20] R. A. Rahman et al., “Development of an AS/ RS prototype with real- time monitoring,” Int. J. Ind. Autom., vol. 12, no. 2, pp. 77–88, 2021.
- [21] D. Bargiotas, A. Ktena, C. Manasis, and O. Ladoukakis, “A scalable low- cost automated storage and retrieval system,” in Proc. Int. Conf. Syst., Signals Image Process., 2009.
- [22] H. M. Narayana and R. T. Naayagi, “Design and implementation of mini automated storage and retrieval system,” Int. J. Innov. Technol. Res., vol. 4, no. 5, pp. 2345–2349, 2016.
- [23] F. Hanani et al., “Development of automated storage and retrieval system for flexible manufacturing system,” J. Eng. Technol., vol. 4, no. 1, pp. 43–50, 2016.
- [24] Y. Z. Koç, “Automatic storage and retrieval system design for manufacturing systems,” Int. J. Comput. Exp. Sci. Eng., vol. 9, no. 2, pp. 102–104, 2023.
- [25] R. Accorsi et al., “Digital twin in logistics and automated warehousing systems,” IEEE Access, vol. 9, pp. 131635–131648, 2021.
- [26] A. H. Guezzen, Z. Sari, and L. Ghomri, “Study on mobil racks automated storage and retrieval system (M-AS/RS),” in Proc. Int. Conf. Commun., Comput. Control Appl., 2011.
- [27] M. T. Islam et al., “Energy- efficient strategies for automated storage and retrieval systems,” Energy Convers. Manage., vol. 192, pp. 1–13, 2019.
- [28] R. Song, L. Zhang, and X. Chen, “Design of a robotic automated storage and retrieval system for high-density warehouses,” Int. J. Adv. Robotic Syst., vol. 17, no. 6, 2020.
- [29] I. Hachemi and H. Alla, “Dynamic control of a flow- rack automated storage and retrieval system,” IEEE Conf. Control Appl., 2009.
- [30] P. Athikomrattanakul and C. Dichaiyo, “Factors affecting selection of automated storage and retrieval systems,” Sci. Eng. Connect., vol. 44, no. 2, pp. 339–354, 2021.

ประวัติผู้ประพันธ์



ชนภัช เชนนาราคพัฒน์

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญา

โท (วศ.ม.ไฟฟ้า) มหาวิทยาลัย

เอเซียอาคเนย์ ปัจจุบันดำรง

ตำแหน่งอาจารย์ประจำ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

งานวิจัยที่สนใจ : เครื่องจักรกลไฟฟ้า คุณภาพไฟฟ้า

กำลัง ระบบควบคุมอัตโนมัติในภาคอุตสาหกรรม