

นวัตกรรมวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ ในคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบในศตวรรษที่ 21

โกศล จิตวิรัตน์^{1*} กัญยวีร์ เมฆีวราพันธ์¹ กัญธิชา เจริญไวยเจตน²

ภาครัช เพลิตพริ้ง¹ และธนธร จงศิริจิตต์ศักดิ์¹

¹คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี

²คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี

*Corresponding author: kosol.j@rmutsb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้ดำเนินการวิจัยด้วยการบูรณาการความสามารถของมนุษย์กับปัญญาประดิษฐ์ ภายใต้กรอบ Human-in-the-loop เพื่อสร้างผลลัพธ์การวิจัยที่มีคุณภาพสูงและเป็นไปตามหลักจริยธรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษานวัตกรรมวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติในคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบในศตวรรษที่ 21 เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพที่ใช้วิธีการวิจัยร่วมกันหลากหลายวิธี ประกอบด้วย การวิเคราะห์เนื้อหาเว็บไซต์ การวิจัยกรณีศึกษา การสังเกตการณ์ภาคสนาม กลุ่มตัวอย่างเป็นเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้อง จำนวน 175 เว็บไซต์ และกรณีศึกษาบริษัทโซลูชันคลังสินค้าอัตโนมัติ จำนวน 15 กรณีศึกษาคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง เครื่องมือวิจัย ประกอบด้วย แบบบันทึกข้อมูล ฐานข้อมูลเก็บรวบรวมข้อมูล และเครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ มีการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์และตีความหมายร่วมกับวิธีการวิเคราะห์แบบอุปนัย ผนวกกับการวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบเหตุการณ์ และตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลด้วยวิธีการตรวจสอบแบบสามเส้า ปรากฏข้อค้นพบเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ผลการวิจัยพบว่า นวัตกรรมวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติในคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบในศตวรรษที่ 21 กำลังเปลี่ยนแปลงการดำเนินงานของอุตสาหกรรมคลังสินค้า 5 ด้าน ประกอบด้วย 1) การจัดการวัสดุอัตโนมัติ 2) หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ 3) ระบบจัดเก็บและเรียกข้อมูลอัตโนมัติ 4) รถนำทางอัตโนมัติ และ 5) หุ่นยนต์จัดเรียงพาเลท ผลการศึกษาที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ ผู้ผลิต ผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ และหน่วยงานภาครัฐที่ต้องการส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรม 4.0 ของประเทศ การนำนวัตกรรมเหล่านี้มาใช้จะช่วยให้องค์กรต่าง ๆ เพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน ปรับปรุงความปลอดภัย และเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการสินค้าคงคลัง ผู้กำหนดนโยบายสามารถใช้ผลลัพธ์เหล่านี้ในการพัฒนากฎระเบียบและมาตรฐาน ในขณะที่นักการศึกษาสามารถบูรณาการข้อมูลเชิงลึกเข้ากับการฝึกอบรม เพื่อยกระดับทักษะของกำลังคนสำหรับการจัดการคลังสินค้าอัตโนมัติในอนาคต

คำสำคัญ : 1. นวัตกรรมคลังสินค้า 2. คลังสินค้าอัตโนมัติ 3. สินค้าคงคลังอัจฉริยะ 4. คลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบ

Innovations in robotics and automation systems in fully automated warehouses in the 21st century

Kosol Jitvirat^{1*}, Kanyavee Makeevaraphan¹, Kandhicha Charoenvaichat²,
Phakharach Plirdpring¹, and Thanathon Chongsirithitisak¹

¹*Faculty of Business Administration and Information Technology,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi Center, Nonthaburi 11000, Thailand*

²*Faculty of Business Administration and Information Technology,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Suphanburi Center, Suphanburi 72130, Thailand*

^{*}*Corresponding author: kosol.j@rmutsb.ac.th*

Abstract

This research was conducted by integrating human abilities with artificial intelligence under the Human-in-the-loop framework to produce high-quality research outcomes that adhere to ethical principles. The objective is to study innovations in robotics and automation systems in fully automated warehouses in the 21st century. It is a qualitative research study that employs a variety of collaborative research methods, including content analysis of websites, case study research, and field observations. The sample group consisted of 175 websites related to the topic and 15 case studies from companies offering automated warehouse solutions, selected through purposive sampling. The research tools included a data recording forms, a database for data collection, and artificial intelligence tools. Big data analysis was conducted, followed by data interpretation using inductive analysis methods combined with event comparison analysis. The reliability of the data was verified using a triangulation method, and the findings were consistent in the same direction. The research findings indicate that innovations in robotics and automation systems in fully automated warehouses in the 21st century are transforming operations of the warehouse industry in five areas, which include: 1) Automated material handling, 2) Autonomous mobile robots, 3) Automated storage and retrieval systems, 4) Automated guided vehicles, and 5) Palletizing robots. The results of the study will be beneficial to operations in the logistics industry, manufacturers, software developers, and government agencies aiming to promote the development of Industry 4.0 in the country. The adoption of these innovations will help organizations improve efficiency, reduce costs, enhance safety, and optimize inventory management. Policymakers can use these findings to develop regulations and standards, while educators can integrate these insights into training programs to enhance the skills of the workforce for managing future automated warehouses.

Keywords: 1. Warehouse innovation 2. Automated warehouse 3. Smart inventory 4. Fully automated warehouses

บทนำ

ในอดีตคลังสินค้าต้องเผชิญกับความไร้ประสิทธิภาพอันเนื่องมาจากกระบวนการที่ต้องทำด้วยตนเอง ระบบการจัดการสินค้าคงคลังที่ยุ่งยากมักอาศัยวิธีการแบบจดบันทึกด้วยปากกาและกระดาษ มักนำไปสู่ข้อผิดพลาด ความล่าช้า และการใช้ทรัพยากรที่ไม่เหมาะสม ความไร้ประสิทธิภาพขยายไปสู่การปฏิบัติตามคำสั่งซื้อ ซึ่งกระบวนการหยิบและบรรจุด้วยตนเอง ส่งผลให้ใช้เวลาในการจัดส่งนานขึ้นและต้นทุนการดำเนินงานเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ระบบการสื่อสารที่ไม่เพียงพอยังเป็นอุปสรรคในการประสานงานระหว่างแรงงานมนุษย์และเครื่องจักร ซึ่งขัดขวางความสามารถในการผลิตโดยรวม การขาดแคลนข้อมูลและการวิเคราะห์แบบเรียลไทม์ยังขัดขวางกระบวนการตัดสินใจ ทำให้คลังสินค้าเสี่ยงต่อรูปแบบความต้องการที่ผันผวนและการหยุดชะงักที่ไม่คาดคิด (Ceschia, Gansterer, Mancini, & Meneghetti, 2023; Damayanti, Novitasari, Setyawan, & Muttaqin, 2022; Onal, Zhu, & Das, 2023) อีกทั้งในอดีตผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคลังสินค้ามักถูกมองข้าม เนื่องจากขาดประสิทธิภาพด้านพลังงานและแนวทางปฏิบัติที่ไม่ยั่งยืน การขาดมาตรการรักษาความปลอดภัยที่เข้มงวด ทำให้คลังสินค้าเสี่ยงต่อการโจรกรรมและการเข้าถึงโดยไม่ได้รับอนุญาต ทำให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่อสินค้าคงคลังอันมีค่า อย่างไรก็ตามสภาพปัญหาคลังสินค้าในอดีตเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ความท้าทายแต่ละอย่างกลายเป็นการเรียกร้องที่ชัดเจนสำหรับนวัตกรรม ซึ่งขับเคลื่อนอุตสาหกรรมไปสู่การนำเทคโนโลยีล้ำสมัย ด้วยกระบวนการที่คล่องตัวและแนวทางปฏิบัติที่ยั่งยืน เพื่อกำหนดคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบที่ล้ำสมัยแห่งศตวรรษที่ 21

นโยบายดิจิทัลประเทศไทย (Digital Thailand) ในฐานะเศรษฐกิจโลก ประเทศไทยตระหนักถึงความจำเป็นในการเปิดรับการเปลี่ยนแปลงทางดิจิทัล เพื่อเสริมความแข็งแกร่งในตลาดโลกที่มีการแข่งขันสูง นโยบายดิจิทัลประเทศไทยมีแนวทางที่หลากหลาย มุ่งมั่นที่จะขับเคลื่อนประเทศเข้าสู่ยุคดิจิทัล ส่งเสริมนวัตกรรมขับเคลื่อนบนพื้นฐานของเทคโนโลยีดิจิทัล มีความยืดหยุ่นทางเศรษฐกิจและความสามารถในการแข่งขันระดับโลก การเกิดขึ้นของวิทยาการหุ่นยนต์ขั้นสูง ปัญญาประดิษฐ์และเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติที่ล้ำสมัยถือเป็นการเปิดโอกาสใหม่ของภาคโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานของประเทศไทย คลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบเหล่านี้เป็นตัวอย่างที่ชัดเจนของประสิทธิภาพ ความแม่นยำ และ

ความสามารถในการขยายขนาด สอดคล้องกับนโยบายของประเทศไทยที่กำลังมุ่งมั่นเปลี่ยนแปลงอนาคตสู่ดิจิทัลเพื่อความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน เนื่องจากคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบนั้น เห็นได้ชัดจากการเน้นไปที่เทคโนโลยีอัจฉริยะ การวิเคราะห์ข้อมูล และการเชื่อมต่อ การตรวจสอบแบบเรียลไทม์ การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ และอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบปรับตัวที่ฝังอยู่ในคลังสินค้าอัตโนมัติเหล่านี้ สอดคล้องกับเป้าหมายของนโยบายในการส่งเสริมระบบนิเวศดิจิทัลได้อย่างราบรื่น (Jitvirat, 2018) นอกจากนี้นโยบายดิจิทัลของประเทศไทยได้ให้ความสำคัญกับความรู้ด้านดิจิทัลและการพัฒนาทักษะ สอดคล้องกับความต้องการของบุคลากรที่เชื่อมต่อกับระบบอัตโนมัติขั้นสูง นโยบายนี้ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งในการยกระดับทักษะแรงงาน เพื่อให้มั่นใจว่าการทำงานร่วมกันระหว่างมนุษย์และหุ่นยนต์ภายในคลังสินค้าเหล่านี้ไม่เพียงแต่ราบรื่น แต่ยังเพิ่มขีดความสามารถให้กับกำลังคนอีกด้วย

ช่องว่างของการวิจัย (research gap) ที่ผ่านมาจะพบว่าการบูรณาการเทคโนโลยีขั้นสูงเข้ากับการวิจัยทางสังคมศาสตร์มักเผชิญกับอุปสรรคในการเข้าถึง การแบ่งแยกทางดิจิทัลและความแตกต่างในการเข้าถึงเทคโนโลยีในกลุ่มเศรษฐกิจและสังคมที่แตกต่างกัน จึงทำให้ประเทศไทยต้องเผชิญอุปสรรคต่อการพัฒนางานวิจัยให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงในยุคดิจิทัล ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษานวัตกรรมคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบในศตวรรษที่ 21 เพื่อปลดล็อกศักยภาพสูงสุดของเทคโนโลยีเกิดใหม่ในการคลี่คลายปรากฏการณ์ทางสังคมที่ซับซ้อน โดยมีคำถามวิจัยว่า “นวัตกรรมวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติในคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบในศตวรรษที่ 21 มีลักษณะการทำงานอย่างไรบ้าง?”

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษานวัตกรรมวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติในคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบในศตวรรษที่ 21

การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องและกรอบแนวคิดการวิจัย นวัตกรรมวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ ในคลังสินค้า

คลังสินค้าสมัยใหม่ นวัตกรรมด้านหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติได้กลายมาเป็นพลังแห่งการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นการปฏิวัติแก่นแท้ของวิธีการทำงานของคลังสินค้า การเปลี่ยนกระบวนการที่ขับเคลื่อนโดยการแสวงหาประสิทธิภาพ

ความแม่นยำ และความสามารถในการปรับตัวอย่างไม่หยุดยั้ง ทั้งหมดนี้เกิดขึ้นโดยผ่านการบูรณาการเทคโนโลยีล้ำสมัย ซึ่งเทคโนโลยีที่อยู่ระดับแนวหน้าของนวัตกรรมนี้ คือ ระบบหุ่นยนต์ที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ขั้นสูง ปัญญาประดิษฐ์ และความสามารถในการเรียนรู้ของเครื่องจักร เครื่องจักรอัจฉริยะเหล่านี้ไม่ได้เป็นเพียงเครื่องมือสำหรับงานที่ต้องทำด้วยมือเท่านั้น แต่ยังเป็นเอนทิตี (entity) ที่ซับซ้อนที่สามารถเรียนรู้จากสภาพแวดล้อม ตัดสินใจได้แบบเรียลไทม์ และปรับให้เข้ากับสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงได้ ความก้าวหน้าดังกล่าวมีผลกระทบอย่างลึกซึ้ง โดยกำหนดบทบาทดั้งเดิมของแรงงานมนุษย์และเครื่องจักรภายในระบบนิเวศคลังสินค้า (Mor, Kumar, Singh, & Neethu, 2022; Ruthramathi, Sivakumar, & Saranya, 2022) นวัตกรรมสำคัญส่วนหนึ่งอยู่ที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ (Autonomous Mobile Robot: AMR) ที่ออกแบบมาเพื่อการจัดการวัสดุและการนำทางภายในคลังสินค้า หุ่นยนต์เหล่านี้นำทางผ่านสภาพแวดล้อมแบบไดนามิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพิ่มประสิทธิภาพเส้นทางการปฏิบัติตามคำสั่งซื้อ และลดความจำเป็นสำหรับโครงสร้างพื้นฐานแบบคงที่ ผลลัพธ์ที่ได้ คือ รูปแบบคลังสินค้าที่ยืดหยุ่นและปรับขนาดได้มากขึ้น ตอบสนองต่อความต้องการและการดำเนินงานที่เปลี่ยนแปลงไป (Lee, Hong, & Jeong, 2022; Turhanlar, Ekren, & Lerher, 2024; Yildirim, Reefke, & Aktas, 2023)

นอกจากนี้การบูรณาการระบบอัตโนมัติยังขยายไปไกลกว่าขอบเขตทางกายภาพ โดยครอบคลุมกระบวนการตัดสินใจที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล ระบบการจัดการคลังสินค้า (Warehouse Management System: WMS) ที่ได้รับการปรับปรุงด้วยปัญญาประดิษฐ์ และการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ที่มีส่วนช่วยในการจัดการสินค้าคงคลังอัจฉริยะ การคาดการณ์ความต้องการ และการจัดสรรทรัพยากร สิ่งเหล่านี้ไม่เพียงแต่ปรับปรุงการดำเนินงานเท่านั้น แต่ยังช่วยลดความเสี่ยงและเพิ่มความยืดหยุ่นของห่วงโซ่อุปทานโดยรวมอีกด้วย (Khan, Huda, & Zaman, 2022; Maheshwari, Kamble, Kumar, Belhadi, & Gupta, 2024) การเกิดขึ้นของหุ่นยนต์ที่ทำงานร่วมกันหรือโคบอต (Cobot) เป็นตัวอย่างของการอยู่ร่วมกันอย่างกลมกลืนของมนุษย์และเครื่องจักรในระบบนิเวศของคลังสินค้า โคบอตได้รับการออกแบบมาให้ทำงานร่วมกับผู้ปฏิบัติงานที่เป็นมนุษย์ โดยเพิ่มขีดความสามารถและจัดการกับงานที่ซ้ำ ๆ และต้องใช้กำลังมาก วิธีการทำงานร่วมกันนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดให้กับการทำงาน

ขณะเดียวกันก็ส่งเสริมสภาพแวดล้อมการทำงานที่ใช้ประโยชน์จากจุดแข็งที่เป็นเอกลักษณ์ของทั้งมนุษย์และหุ่นยนต์ (Jacob, Grosse, Morana, & König, 2023; Pasparakis, de Vries, & de Koster, 2023; Sharma & Cupek, 2023) ในการแสวงหาความยั่งยืน แนวทางปฏิบัติด้านนวัตกรรมด้านประสิทธิภาพพลังงานจึงกลายเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ระบบหุ่นยนต์ใหม่ล่าสุดได้รับการออกแบบทางวิศวกรรม โดยมุ่งเน้นไปที่โซลูชันที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยผสมผสานส่วนประกอบที่ประหยัดพลังงาน การจัดการพลังงานขั้นสูง และแม้แต่การสำรวจแหล่งพลังงานหมุนเวียน สิ่งนี้ไม่เพียงสอดคล้องกับการดูแลสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังช่วยประหยัดต้นทุน และความสามารถในการดำเนินงานในระยะยาวอีกด้วย (Bianchi, Langner, Mishra, & Torcellini, 2023; Perotti & Colicchia, 2023) เมื่อคลังสินค้าพัฒนาไปสู่ศูนย์กลางอัตโนมัติที่ชาญฉลาด การทำงานร่วมกันระหว่างความเชี่ยวชาญของมนุษย์และความแม่นยำของหุ่นยนต์ จึงกลายเป็นจุดเด่นของประสิทธิภาพนวัตกรรมที่กำลังดำเนินอยู่ในด้านวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ ไม่ได้เป็นเพียงวิวัฒนาการทางเทคโนโลยีเท่านั้น แต่เป็นการปฏิวัติที่ปรับเปลี่ยนรากฐานของการจัดการคลังสินค้าในอนาคตให้มีประสิทธิภาพ นำความสามารถในการปรับตัวและความยั่งยืนมารวมกัน เพื่อกำหนดนิยามของคลังสินค้าแห่งอนาคต

คลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบในศตวรรษที่ 21

ในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาของศตวรรษที่ 21 คลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบถือเป็นสัญลักษณ์แห่งความท้าทายทางเทคโนโลยี ซึ่งกำหนดกระบวนการดั้งเดิมของการจัดเก็บ การเรียกคืน และการจัดจำหน่าย สิ่งอำนวยความสะดวกที่ล้ำสมัยเหล่านี้ ผสมผสานวิทยาการหุ่นยนต์ที่ล้ำสมัย ปัญญาประดิษฐ์ และเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติ เพื่อประสานประสิทธิภาพและความแม่นยำที่ราบรื่น (Ajayi & Laseinde, 2023) ในคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบ หุ่นยนต์ไม่ได้เป็นเพียงเครื่องมือ แต่เป็นผู้ทำงานร่วมกันที่ชาญฉลาด มีความสามารถในการตัดสินใจ และเรียนรู้จากสภาพแวดล้อมการปฏิบัติงานได้ด้วยตนเอง ยานพาหนะนำทางอัตโนมัติ (Automated Guided Vehicle: AGV) นำทางอย่างมีจุดมุ่งหมาย ดึงและขนส่งสินค้าด้วยเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด ในขณะที่แขนหุ่นยนต์จัดการงานที่ซับซ้อนได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ซึ่งช่วยลดการพึ่งพาแรงงานมนุษย์ในการทำงานตามปกติ (Li, Zhang, & Zhang, 2022; Luo, Zhao, Zhu, & Sun, 2023)

หัวใจของคลังสินค้าแห่งอนาคตเหล่านี้อยู่ที่การขับเคลื่อนด้วยข้อมูลเชิงลึก ระบบการจัดการคลังสินค้าขั้นสูง (WMS) ใช้ประโยชน์จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคาดการณ์และการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการสินค้าคงคลัง คาดการณ์รูปแบบอุปสงค์ และเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานโดยรวม ความสามารถในการตรวจสอบแบบเรียลไทม์ของระบบเหล่านี้ ช่วยให้นั่นใจได้ว่าทุกรายการได้รับการติดตามและจัดการด้วยความแม่นยำที่ไม่มีใครเทียบได้ (Dewi & Shofa, 2023; Karpova, 2022; Suchitra, Bharath, Vinay, Panchami, & Prasad, 2023) นอกเหนือจากประสิทธิภาพแล้ว คลังสินค้าเหล่านี้ยังให้ความสำคัญกับความยั่งยืนอีกด้วย การออกแบบที่ประหยัดพลังงาน แหล่งพลังงานหมุนเวียน และวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแสดงถึงความมุ่งมั่นต่อความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม ผลลัพธ์ที่ได้ คือ การผสมผสานกันอย่างลงตัวระหว่างความซับซ้อนทางเทคโนโลยีและจิตสำนึกด้านระบบนิเวศ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทัศน์ในการจัดเก็บ แปรรูป และส่งมอบสินค้าในห่วงโซ่อุปทานแห่งศตวรรษที่ 21

กรอบแนวคิดการวิจัย

จากการเปลี่ยนแปลงและการพัฒนานวัตกรรมทางเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการจัดการระบบคลังสินค้าอัตโนมัติในปัจจุบัน โดยมีการนำนวัตกรรมวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติมาใช้ อาทิเช่น ปัญญาประดิษฐ์ในการควบคุมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ ระบบจัดเก็บและเรียกข้อมูลอัตโนมัติ รถนำทางอัตโนมัติ หุ่นยนต์จัดเรียงพาเลท ทั้งนี้เพื่อให้เกิดระบบการจัดการที่ดีและมีประสิทธิภาพ โดยคำนึงถึงการทำงานร่วมกันระหว่างมนุษย์กับหุ่นยนต์ และลดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการ ทั้งหมดนี้จึงเป็นกรอบแนวคิดที่ผู้วิจัยต้องการที่จะศึกษาว่าเทคโนโลยีหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติได้เข้ามามีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทำงานในคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบในศตวรรษที่ 21 อย่างไร และจะส่งผลกระทบต่ออย่างไรต่อระบบคลังสินค้าอัตโนมัติในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการวิจัยด้วยการผสมรวมความสามารถของมนุษย์และปัญญาประดิษฐ์เข้าด้วยกัน เพื่อสร้างผลลัพธ์การวิจัยที่มีคุณภาพสูง โดยมนุษย์จะเข้ามาตรวจสอบและปรับปรุงผลลัพธ์ที่ได้จากปัญญาประดิษฐ์ เพื่อปรับปรุง

กระบวนการตัดสินใจและผลลัพธ์ในการวิจัย ภายใต้กรอบมนุษย์ในวงจร (Human-in-the-Loop: HITL) เพื่อให้แน่ใจว่าผลลัพธ์มีความถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น และเป็นไปตามหลักจริยธรรม (Bakken, 2023; Jitvirat, 2024; Karunamurthy, Kiruthivasan, & Gauthamkrishna, 2023; Mosqueira-Rey, Hernández-Pereira, Alonso-Ríos, Bobes-Bascarán, & Fernández-Leal, 2023; Wu, Xiao, Sun, Zhang, Ma, & He, 2022) ร่วมกับวิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ ซึ่งประกอบด้วย 1) การวิเคราะห์เนื้อหาเว็บไซต์ (website content analysis) 2) การวิจัยกรณีศึกษาออนไลน์ และ 3) การสังเกตการณ์ภาคสนาม

การรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลร่วมกับการบูรณาการปัญญาประดิษฐ์ภายใต้กรอบการทำงานมนุษย์ในวงจร (HITL) เพื่อผสมรวมความเชี่ยวชาญของผู้วิจัยเข้ากับปัญญาประดิษฐ์ ด้วยการปรับปรุงกระบวนการตัดสินใจและผลลัพธ์ในการวิจัย เพื่อสร้างผลลัพธ์การวิจัยที่มีคุณภาพสูง ซึ่งปัญญาประดิษฐ์ช่วยในการรวบรวม วิเคราะห์ และตีความข้อมูล ในขณะที่นักวิจัยจะดูแล ตรวจสอบ และปรับแต่งผลลัพธ์เพื่อให้แน่ใจว่ามีความเกี่ยวข้องและถูกต้อง (Jitvirat, 2024) ซึ่งในการดำเนินการวิจัยผู้วิจัยทำการรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1. เก็บรวบรวมข้อมูลจากเว็บไซต์ประเภทที่สามารถให้ข้อมูลเชิงลึก และการวิจัยเกี่ยวกับนวัตกรรมคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบและเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้อง มากกว่า 175 เว็บไซต์ เพื่อทำการศึกษาโดยใช้เกณฑ์ดังนี้ คือ มีความเกี่ยวข้องกับคำถามวิจัย มีความน่าเชื่อถือ มีความถี่ในการอัปเดตข้อมูล สามารถเข้าใช้งานได้ง่าย และเป็นเว็บไซต์ที่รวมประเภทคำค้นหาหลัก (keyword research) ตามเกณฑ์เหล่านี้เข้าด้วยกัน ได้แก่ Fully automated warehouse robotics, Innovation in warehouse automation technologies, Robotic systems for warehouse management, Autonomous mobile robots in 21st-century warehouses, Advanced automation solutions for modern warehouses, Human-robot collaboration in fully automated warehouses, Warehouse automation trends in the 21st century, AI-driven robotics for warehouse optimization, Smart logistics and robotics in the 21st-century warehouse, Sustainable automation practices in warehouses ซึ่งคำค้นหาเหล่านี้ มีเป้าหมายที่ครอบคลุมมิติต่างๆ ของนวัตกรรมในวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติภายใน

คลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบ โดยใช้วิธีการทบทวนอย่างเป็นระบบ (systematic review) เพื่อตอบคำถามวิจัยที่กำหนดไว้อย่างชัดเจน มีการประเมินคุณภาพและความน่าเชื่อถือของเว็บไซต์ที่รวบรวมไว้อย่างมีวิจารณญาณ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าเว็บไซต์นั้น ๆ ตรงตามปรากฏการณ์ที่ต้องการศึกษาอย่างจริงจัง เว็บไซต์หรือแพลตฟอร์มใดไม่ตรงตามปรากฏการณ์ของคำถามวิจัย ผู้วิจัยไม่นำมาใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างเพื่อทำการศึกษา การเก็บรวบรวมข้อมูลบนเว็บไซต์ เริ่มต้นด้วยการกำหนดเป้าหมายข้อมูลที่ต้องการ สร้างฐานข้อมูลรวบรวมกำหนดเกณฑ์การเลือกข้อมูล จัดการและบันทึกข้อมูล

2. เก็บรวบรวมข้อมูลจากกรณีศึกษาออนไลน์ จากบริษัทและองค์กรชั้นนำที่ประสบความสำเร็จในการนำโซลูชันหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติขั้นสูงมาใช้ในการดำเนินงานคลังสินค้า จำนวน 15 กรณีศึกษา คัดเลือกด้วยวิธีเจาะจงตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ดังนี้ 1) เป็นผู้นำในอุตสาหกรรม 2) ความหลากหลายและขนาดของอุตสาหกรรม 3) แหล่งข้อมูลต้องเข้าถึงง่าย 4) เทคโนโลยีที่หลากหลาย 5) ความสามารถในการทำซ้ำและขยายผล หลังจากกำหนดกรณีศึกษาได้แล้วทำการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการผนวกชื่อกรณีศึกษาเข้ากับคำค้นหา อ่านกรณีศึกษาอย่างละเอียดแล้วใช้แบบฟอร์มดึงข้อมูลสำคัญ ได้แก่ ข้อมูลบริษัท เทคโนโลยีที่นำมาใช้ ขอบเขตการใช้งาน การปรับปรุงการดำเนินงาน ความท้าทายและแนวทางแก้ไข แหล่งข้อมูล

3. เก็บรวบรวมข้อมูลจากการสังเกตการณ์ภาคสนาม คลังสินค้าอัตโนมัติ จำนวน 1 แห่ง คัดเลือกด้วยวิธีสะดวกเพื่อสังเกตพฤติกรรมการทำงานจริง การใช้งานเทคโนโลยี และการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับหุ่นยนต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิจัย

เครื่องมือวิจัย

1. แบบบันทึกข้อมูลทั้งที่มีโครงสร้างและไม่มีโครงสร้าง แบบบันทึกข้อมูลที่มีโครงสร้างมีการตรวจสอบคุณภาพโดยใช้หลักการพื้นฐานในการตรวจสอบ ความครอบคลุม ความชัดเจน ความสอดคล้อง ความเป็นกลาง และความเหมาะสม

2. ฐานข้อมูลเก็บรวบรวมข้อมูล โดยใช้โปรแกรมจัดการข้อมูล

3. เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ ประกอบด้วย โมเดลภาษาขนาดใหญ่ โมเดลการประมวลผลภาษาธรรมชาติ และเครื่องมือเฉพาะทาง ประกอบด้วย เครื่องมือวิจัยคำหลัก และเครื่องมือดึงข้อมูลจากเว็บไซต์ เพื่อช่วยให้การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลเป็นไปอย่างครอบคลุมและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้มีการจัดระเบียบข้อมูลทั้งทางกายภาพและข้อมูลเนื้อหาด้วยวิธีการตรวจสอบแบบสามเส้า (triangulation check) ด้านแหล่งข้อมูล ผู้วิจัย วิธีการและทฤษฎี ปรากฏข้อค้นพบเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จึงมั่นใจว่าองค์ความรู้ที่ค้นพบเป็นสิ่งที่พิสูจน์ซ้ำ ๆ แล้ว จึงเป็นเงื่อนไขที่จำเป็นและเพียงพอในการสรุปความจริง มีการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (big data analysis) แล้วนำข้อมูลมารวมวิเคราะห์และตีความหมายด้วยวิธีการ 1) วิเคราะห์แบบอุปนัย (induction analytic) เริ่มต้นจากข้อมูลดิบแล้วค่อย ๆ ทำความคุ้นเคยกับข้อมูล เข้ารหัสข้อมูล พัฒนาหมวดหมู่และปรับแต่งโดยมีการสนับสนุนด้วยหลักฐานจากข้อมูล 2) การวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบเหตุการณ์ (constant comparison) เป็นกระบวนการวนซ้ำที่นำข้อมูลใหม่มาเปรียบเทียบกับข้อมูลเก่าอย่างต่อเนื่อง เพื่อปรับปรุงและพัฒนาหมวดหมู่และรหัสที่ใช้ในการวิเคราะห์ ทำให้เกิดความเข้าใจที่ลึกซึ้งขึ้นโดยอาศัยการเปรียบเทียบทั้งภายในและระหว่างข้อมูล

ผลการวิจัย

นวัตกรรมวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติในคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบในศตวรรษที่ 21 กำลังเปลี่ยนแปลงการดำเนินงานของอุตสาหกรรมคลังสินค้า 5 ด้าน ประกอบด้วย การจัดการวัสดุอัตโนมัติ หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ ระบบจัดเก็บและเรียกข้อมูลอัตโนมัติ รถนำทางอัตโนมัติ และหุ่นยนต์จัดเรียงพาเลท แสดงลักษณะการทำงานเรียงตามลำดับ ดังนี้

1. การจัดการวัสดุอัตโนมัติ วิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติเป็นนวัตกรรมที่สำคัญในคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบ สามารถใช้เพื่อทำให้งานการจัดการวัสดุเป็นไปโดยอัตโนมัติได้ จากผลการศึกษาในตารางที่ 1 จะพบว่าลักษณะการทำงานของจัดการวัสดุด้วยระบบอัตโนมัติสามารถทำให้การจัดการวัสดุในด้านต่าง ๆ เป็นไปโดยอัตโนมัติ ประกอบด้วย การหยิบและบรรจุอัตโนมัติ การจัดเก็บและดึงข้อมูลอัตโนมัติ ยานพาหนะนำทางอัตโนมัติ ระบบสายพานลำเลียง และการจัดการวัสดุด้วยหุ่นยนต์

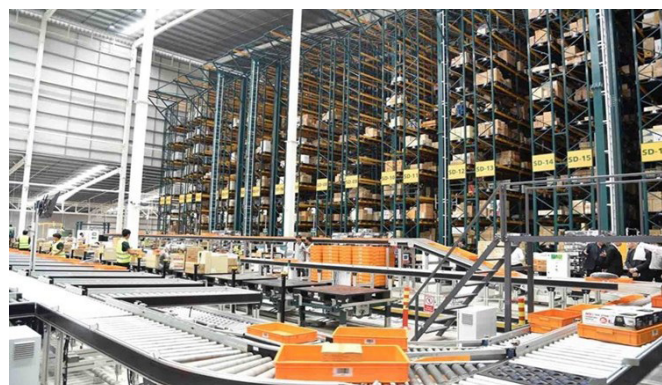
ตัวอย่างการจัดการวัสดุอัตโนมัติ ด้วยระบบลำเลียงสินค้าอัตโนมัติ (conveyor system) ประกอบด้วย 1) สายพานลำเลียงเป็นส่วนประกอบหลักที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายสินค้าไปตามเส้นทางที่กำหนด 2) กล้องพลาสติก ใช้สำหรับบรรจุสินค้าและเคลื่อนย้ายไปตามสายพาน 3) ชันวางสินค้า ใช้สำหรับจัดเก็บ

สินค้า โดยมีการติดป้ายกำกับหมายเลขชั้นวาง เพื่อให้ง่ายต่อการค้นหาสินค้า และ 4) พนักงาน แม้จะเป็นระบบอัตโนมัติ

แต่ก็ยังคงต้องมีพนักงานคอยควบคุมและดูแลระบบ รวมถึงทำงานร่วมกับระบบในบางขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะการทำงานของการจัดการวัสดุด้วยระบบอัตโนมัติ

ลักษณะการทำงาน	การประยุกต์ใช้	ผลกระทบหรือผลลัพธ์
1. การหยิบและบรรจุอัตโนมัติ สามารถใช้แขนหุ่นยนต์และกริปเปอร์ในการหยิบและบรรจุผลิตภัณฑ์ได้โดยอัตโนมัติ ช่วยลดการใช้แรงงานคน ซึ่งสามารถช่วยปรับปรุงความแม่นยำและเพิ่มความเร็วในกระบวนการหยิบสินค้า ซึ่งช่วยลดรอบเวลาและเพิ่มปริมาณงานได้	Amazon Robotics	เพิ่มความแม่นยำในการหยิบสินค้า 25% ลดเวลาในรอบการทำงาน และเพิ่มปริมาณงาน
2. การจัดเก็บและเรียกค้นข้อมูลอัตโนมัติ ระบบจัดเก็บและเรียกค้นอัตโนมัติ (Automated Storage & Retrieval System: ASRS) สามารถใช้เพื่อเคลื่อนย้ายพาเลทหรือผลิตภัณฑ์แต่ละรายการเข้าและออกจากสถานที่จัดเก็บโดยอัตโนมัติ สิ่งนี้สามารถช่วยลดเวลาที่ใช้ในการดึงสินค้าจากการจัดเก็บและเพิ่มประสิทธิภาพของคลังสินค้า	Ocado Technology	ลดเวลาการเรียกค้นลง 40% เพิ่มประสิทธิภาพพื้นที่และประสิทธิภาพโดยรวม
3. ยานพาหนะนำทางอัตโนมัติ (AGV) สามารถใช้ยานพาหนะนำทางอัตโนมัติ (AGV) เพื่อขนส่งผลิตภัณฑ์รอบ ๆ คลังสินค้า โดยไม่ต้องใช้การแทรกแซงของมนุษย์ สามารถไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ล่วงหน้าหรือตั้งโปรแกรมให้นำทางไปยังสถานที่เฉพาะซึ่งสามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพและลดรอบเวลา	JD.com	ลดระยะเวลาการขนส่งลง 30% ลดต้นทุนการดำเนินงานด้วยประสิทธิภาพ
4. ระบบสายพานลำเลียง ระบบสายพานลำเลียงสามารถเคลื่อนย้ายสินค้าไปรอบ ๆ คลังสินค้าได้โดยอัตโนมัติ สามารถออกแบบให้รองรับสินค้าประเภทต่าง ๆ ตั้งแต่สินค้าขนาดเล็กไปจนถึงพาเลทขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถช่วยปรับปรุงความยืดหยุ่นของคลังสินค้าได้	Zebra Technologies, Global House	ปรับปรุงความยืดหยุ่นและการตอบสนองต่อความต้องการของผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย
5. การจัดการวัสดุด้วยหุ่นยนต์ หุ่นยนต์สามารถใช้เพื่อเคลื่อนย้ายสิ่งของที่มีน้ำหนักมากหรือขนาดใหญ่ไปรอบ ๆ คลังสินค้า ช่วยลดความต้องการแรงงานคน นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการทำงานที่อันตรายเกินไปสำหรับมนุษย์ เช่น การจัดการวัสดุอันตราย	Kiva Systems (Amazon)	ลดการบาดเจ็บในสถานที่ทำงานโดยใช้ระบบการขนย้ายสิ่งของของหุ่นยนต์อัตโนมัติ เพิ่มประสิทธิภาพ



ภาพที่ 1 ตัวอย่างคลังสินค้าอัตโนมัติ (ที่มา : Global House, n.d.)

2. หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ (Autonomous Mobile Robots: AMRs) หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติเป็นนวัตกรรม

ที่สำคัญในคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบ และสามารถใช้ในการทำงานต่าง ๆ เป็นอัตโนมัติได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ

ลักษณะการทำงาน	การประยุกต์ใช้	ผลกระทบหรือผลลัพธ์
1. การจัดการวัสดุอัตโนมัติ หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติสามารถใช้เพื่อขนส่งผลิตภัณฑ์ไปรอบ ๆ คลังสินค้าโดยไม่ต้องอาศัยการแทรกแซงจากมนุษย์ สามารถตั้งโปรแกรมให้ทางไปยังสถานที่เฉพาะ รับหรือส่งผลิตภัณฑ์ และเคลื่อนย้ายสิ่งกีดขวางได้อย่างมีประสิทธิภาพ	Fetch Robotics	เพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการวัสดุเพิ่มขึ้น 20% ลดความจำเป็นในการใช้แรงงานคน
2. การเลือกสินค้าต่อบุคคล สามารถใช้หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติเพื่อนำสินค้าไปยังพนักงานโดยตรงเพื่อทำการเบิกสินค้า แทนที่จะให้พนักงานต้องเดินไปรอบ ๆ คลังสินค้าเพื่อค้นหาสินค้า สิ่งนี้สามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพและลดความเสี่ยงของข้อผิดพลาด	Siemens	ปรับปรุงประสิทธิภาพการหยิบสินค้าและลดอัตราข้อผิดพลาดลง 15%
3. การจัดการสินค้าคงคลัง สามารถใช้หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติเพื่อดำเนินการตรวจนับสินค้าคงคลังและตรวจสอบระดับสินค้าคงคลัง สามารถตั้งโปรแกรมให้ทางผ่านคลังสินค้าและสแกนบาร์โค้ดหรือแท็ก RFID (Radio-Frequency Identification Tag) บนผลิตภัณฑ์เพื่ออัปเดตบันทึกสินค้าคงคลังแบบเรียลไทม์	Samsung Electronics	เพิ่มความแม่นยำของสินค้าคงคลังได้มากขึ้น 25% ผ่านการสแกนและอัปเดตแบบเรียลไทม์
4. การตรวจสอบและบำรุงรักษา สามารถใช้หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติเพื่อดำเนินการตรวจสอบและบำรุงรักษาตามกิจวัตรในคลังสินค้า เช่น การตรวจสอบสภาพของชั้นวางและชั้นวางของ หรือการปฏิบัติงานทำความสะอาด	DHL	มั่นใจว่าคลังสินค้านี้มีสภาพเหมาะสมที่สุด ลดการแทรกแซงของมนุษย์
5. การทำงานร่วมกัน หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติสามารถทำงานร่วมกับมนุษย์ในลักษณะการทำงานร่วมกัน พวกเขาสามารถย้ายเข้าและออกจากพื้นที่ทำงานของมนุษย์ได้อย่างปลอดภัย แบ่งปันข้อมูล และรับคำแนะนำ	BMW Group	เพิ่มผลผลิตได้ถึง 18 เปอร์เซ็นต์ ผ่านปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับหุ่นยนต์ที่ปลอดภัย

จากตารางที่ 2 พบว่าลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติสามารถทำงานในด้านต่าง ๆ ประกอบด้วย การจัดการวัสดุอัตโนมัติ การเลือกสินค้าต่อบุคคล การจัดการสินค้าคงคลัง การตรวจสอบและบำรุงรักษา และการทำงานร่วมกันได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

3. ระบบจัดเก็บและเรียกข้อมูลอัตโนมัติ (ASRS)
ระบบจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าอัตโนมัติเป็นนวัตกรรมที่สำคัญในคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบ และสามารถใช้ในการจัดเก็บและเรียกคืนสินค้าเป็นไปโดยอัตโนมัติได้ดังรายละเอียดในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลักษณะการทำงานของระบบจัดเก็บและเรียกข้อมูลอัตโนมัติ

ลักษณะการทำงาน	การประยุกต์ใช้	ผลกระทบหรือผลลัพธ์
1. การจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ ระบบจัดเก็บและเรียกข้อมูลอัตโนมัติสามารถใช้จัดเก็บผลิตภัณฑ์ในลักษณะที่มีประสิทธิภาพสูงและประหยัดพื้นที่ พวกเขาสามารถจัดเก็บผลิตภัณฑ์บนพาเลท ชั้นวางหรือถังขยะ และใช้เทคโนโลยีที่หลากหลายในการดึงกลับคืน เช่น เครน รถรับส่ง หรือแขนหุ่นยนต์	Walmart	ลดพื้นที่จัดเก็บลง 30% เพิ่มความจุในการจัดเก็บโดยไม่ต้องขยายคลังสินค้า

ตารางที่ 3 ลักษณะการทำงานของระบบจัดเก็บและเรียกข้อมูลอัตโนมัติ (ต่อ)

ลักษณะการทำงาน	การประยุกต์ใช้	ผลกระทบหรือผลลัพธ์
2. การดึงข้อมูลอัตโนมัติ ระบบจัดเก็บและเรียกข้อมูลอัตโนมัติสามารถดึงผลิตภัณฑ์โดยอัตโนมัติ ช่วยลดความต้องการแรงงานคน สามารถตั้งโปรแกรมให้ดึงผลิตภัณฑ์เฉพาะและจัดส่งไปยังตำแหน่งที่กำหนด เช่น สายพานลำเลียงหรือเวิร์กสเตชัน	Best Buy	ลดเวลาในการค้นหาข้อมูลลง 35% ลดความจำเป็นในการใช้แรงงานคน
3. การจัดการสินค้าคงคลังตามเวลาจริง ระบบจัดเก็บและเรียกข้อมูลอัตโนมัติสามารถรวมเข้ากับระบบการจัดการคลังสินค้า (WMS) เพื่อให้การจัดการสินค้าคงคลังแบบเรียลไทม์ พวกเขาสามารถอัปเดตบันทึกสินค้าคงคลังโดยอัตโนมัติเมื่อผลิตภัณฑ์ถูกจัดเก็บหรือเรียกคืน ทำให้ผู้จัดการคลังสินค้าสามารถตรวจสอบระดับสินค้าคงคลังและปรับพื้นที่จัดเก็บให้เหมาะสม	Alibaba Group	ปรับปรุงการติดตามสต็อกและเพิ่มประสิทธิภาพพื้นที่ถึง 40%
4. เพิ่มประสิทธิภาพ ระบบจัดเก็บและเรียกข้อมูลอัตโนมัติสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของคลังสินค้าโดยลดเวลาที่ใช้ในการจัดเก็บและเรียกคืนสินค้า พวกเขาสามารถจัดการผลิตภัณฑ์ปริมาณมากได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ลดรอบเวลาและเพิ่มปริมาณงาน	Home Depot	ลดเวลาในการทำงานลง 20% เพิ่มปริมาณงานในคลังสินค้าได้อย่างมาก
5. ลดต้นทุนแรงงาน ระบบจัดเก็บและเรียกข้อมูลอัตโนมัติสามารถช่วยลดต้นทุนแรงงานได้โดยทำให้การจัดเก็บและเรียกคืนผลิตภัณฑ์เป็นไปโดยอัตโนมัติ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในสถานการณ์ที่แรงงานหายากหรือมีราคาแพง	Target	ลดค่าใช้จ่ายแรงงานลง 25% ผ่านระบบอัตโนมัติในการจัดเก็บและดึงข้อมูล

จากตารางที่ 3 พบว่าลักษณะการทำงานของระบบจัดเก็บและเรียกข้อมูลอัตโนมัติสามารถทำงานในด้านต่าง ๆ ประกอบด้วย การจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ การดึงข้อมูลอัตโนมัติ การจัดการสินค้าคงคลังตามเวลาจริง เพิ่มประสิทธิภาพ และลดต้นทุนแรงงานได้

4. รถนำทางอัตโนมัติ (AGV) รถนำทางอัตโนมัติเป็นนวัตกรรมที่สำคัญในคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบ และสามารถนำมาใช้เพื่อขนส่งผลิตภัณฑ์และวัสดุภายในคลังสินค้าโดยปราศจากการแทรกแซงของมนุษย์ได้ ดังข้อมูลในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ลักษณะการทำงานของรถนำทางอัตโนมัติ

ลักษณะการทำงาน	การประยุกต์ใช้	ผลกระทบหรือผลลัพธ์
1. การจัดการวัสดุอัตโนมัติ รถนำทางอัตโนมัติสามารถใช้เพื่อขนส่งผลิตภัณฑ์และวัสดุระหว่างสถานที่ต่าง ๆ ในคลังสินค้า สามารถตั้งโปรแกรมให้เส้นทางไปยังจุดหมายปลายทางเฉพาะ รับหรือส่งผลิตภัณฑ์ และเคลื่อนตัวไปรอบ ๆ สิ่งกีดขวางได้อย่างมีประสิทธิภาพ	FedEx	ปรับปรุงประสิทธิภาพการขนส่งเพิ่มขึ้น 20% ลดความต้องการแรงงานคน
2. ปรับปรุงความปลอดภัย รถนำทางอัตโนมัติติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ช่วยให้สามารถตรวจจับและหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวาง รวมถึงผู้คนและยานพาหนะอื่น ๆ ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุและการบาดเจ็บในคลังสินค้า	UPS	ลดอุบัติเหตุและการบาดเจ็บลง 15% ด้วยเซ็นเซอร์ขั้นสูง
3. ความยืดหยุ่น รถนำทางอัตโนมัติสามารถตั้งโปรแกรมใหม่และปรับให้เข้ากับข้อกำหนดของคลังสินค้าที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างง่ายดาย สามารถใช้ในการขนส่งผลิตภัณฑ์และวัสดุที่หลากหลาย	Nike	เพิ่มความคล่องตัวและการตอบสนองในการทำงานด้วย AGV ที่ปรับเปลี่ยนได้

ตารางที่ 4 ลักษณะการทำงานของรถนำทางอัตโนมัติ (ต่อ)

ลักษณะการทำงาน	การประยุกต์ใช้	ผลกระทบหรือผลลัพธ์
และสามารถรวมเข้ากับเทคโนโลยีอัตโนมัติอื่น ๆ เช่น ระบบสายพานลำเลียง และแขนหุ่นยนต์		
4. เพิ่มประสิทธิภาพ รถนำทางอัตโนมัติสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของคลังสินค้าโดยลดเวลาที่ใช้ในการขนส่งผลิตภัณฑ์และวัสดุ สามารถทำงานได้ตลอดเวลาโดยไม่ต้องใช้แรงงานคน และสามารถตั้งโปรแกรมให้ปรับเส้นทางให้เหมาะสมเพื่อลดเวลาเดินทาง	PepsiCo	ปรับปรุงเส้นทางคมนาคมขนส่ง เพิ่มประสิทธิภาพ 25% และลดต้นทุน
5. การจัดการสินค้าคงคลังแบบเรียลไทม์ รถนำทางอัตโนมัติสามารถรวมเข้ากับระบบการจัดการคลังสินค้า (WMS) เพื่อให้การจัดการสินค้าคงคลังแบบเรียลไทม์ พวกเขาสามารถอัปเดตบันทึกสินค้าคงคลังโดยอัตโนมัติเมื่อมีการขนส่งผลิตภัณฑ์ ช่วยให้ผู้จัดการคลังสินค้าสามารถตรวจสอบระดับสินค้าคงคลังและปรับพื้นที่จัดเก็บให้เหมาะสม	Sony	สามารถติดตามคลังสินค้าที่แม่นยำแบบเรียลไทม์ เพิ่มประสิทธิภาพพื้นที่จัดเก็บอย่างมีประสิทธิภาพ

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าลักษณะการทำงานของรถนำทางอัตโนมัติสามารถทำงานในด้านต่าง ๆ ได้อย่างคล่องตัว ช่วยลดต้นทุน และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในด้านความปลอดภัย ประกอบด้วย การจัดการวัสดุอัตโนมัติ ปรับปรุงความปลอดภัย ความยืดหยุ่น เพิ่มประสิทธิภาพ

และการจัดการสินค้าคงคลังแบบเรียลไทม์

5. หุ่นยนต์จัดเรียงพาเลท หุ่นยนต์จัดเรียงพาเลทเป็นนวัตกรรมที่สำคัญในคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบ และสามารถใช้งานและจัดระเบียบสินค้าบนพาเลทสำหรับจัดเก็บและขนส่งได้ ดังผลการศึกษาในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์จัดเรียงพาเลท

ลักษณะการทำงาน	การประยุกต์ใช้	ผลกระทบหรือผลลัพธ์
1. การวางพาเลทอัตโนมัติ หุ่นยนต์จัดเรียงพาเลทสามารถตั้งโปรแกรมให้วางซ้อนและจัดระเบียบสินค้าบนพาเลทได้โดยอัตโนมัติ สามารถติดตั้งระบบวิชันซิสเต็มและเซ็นเซอร์ที่ช่วยให้ตรวจจับและปรับตามขนาด รูปร่าง และน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้	Toyota	เพิ่มความเร็วในการซ้อนขึ้น 30% ช่วยให้อัตโนมัติวางพาเลทได้สม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพ
2. ปรับปรุงความปลอดภัย หุ่นยนต์จัดเรียงพาเลทได้รับการออกแบบให้ทำงานอย่างปลอดภัยควบคู่ไปกับคนงานที่เป็นมนุษย์ มีการติดตั้งเซ็นเซอร์ความปลอดภัยและโปรโตคอลเพื่อป้องกันอุบัติเหตุและการบาดเจ็บในคลังสินค้า	Boeing	ลดอุบัติเหตุในสถานที่ทำงานลง 20% ด้วยเซ็นเซอร์และโปรโตคอลด้านความปลอดภัย
3. ความยืดหยุ่น หุ่นยนต์จัดเรียงพาเลทสามารถตั้งโปรแกรมใหม่และปรับให้เข้ากับความต้องการของคลังสินค้าที่เปลี่ยนแปลงไปได้ง่าย ๆ สามารถใช้งานผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายบนพาเลท รวมถึงกล่อง ถู และคอนเทนเนอร์ และสามารถรวมเข้ากับเทคโนโลยีอัตโนมัติอื่น ๆ เช่น ระบบสายพานลำเลียง และแขนหุ่นยนต์	Lego	เพิ่มความยืดหยุ่นในคลังสินค้าด้วยหุ่นยนต์จัดเรียงพาเลทที่ปรับเปลี่ยนได้
4. เพิ่มประสิทธิภาพ หุ่นยนต์จัดเรียงพาเลทสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของคลังสินค้าโดยการลดเวลาที่ใช้ในการกองซ้อนและจัดระเบียบสินค้าบนพาเลท สามารถทำงานได้ตลอดเวลาโดยไม่ต้อง	Coca-Cola	ลดเวลาในการซ้อนลง 25% เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พาเลท และลดต้นทุนการขนส่ง

ตารางที่ 5 ลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์จัดเรียงพาเลท (ต่อ)

ลักษณะการทำงาน	การประยุกต์ใช้	ผลกระทบหรือผลลัพธ์
ใช้แรงงานคน และสามารถตั้งโปรแกรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพรูปแบบการเรียงซ้อนเพื่อลดการใช้พาเลทและลดต้นทุนการขนส่ง		
5. การจัดการสินค้าคงคลังตามเวลาจริง หุ่นยนต์จัดเรียงพาเลทสามารถรวมเข้ากับระบบการจัดการคลังสินค้า (WMS) เพื่อให้การจัดการสินค้าคงคลังแบบเรียลไทม์ พวกเขาสามารถอัปเดตบันทึกสินค้าคงคลังโดยอัตโนมัติเมื่อผลิตภัณฑ์ถูกวางซ้อนกันบนพาเลทช่วยให้ผู้จัดการคลังสินค้าสามารถตรวจสอบระดับสินค้าคงคลังและปรับพื้นที่จัดเก็บให้เหมาะสม	Intel	จัดทำการอัปเดตคลังสินค้าอย่างแม่นยำเพิ่มประสิทธิภาพพื้นที่จัดเก็บอย่างมีประสิทธิภาพ

จากตารางที่ 5 จะพบว่าลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์จัดเรียงพาเลทสามารถทำงานในด้านต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย การวางพาเลทอัตโนมัติ ปรับปรุงความปลอดภัย ความยืดหยุ่น เพิ่มประสิทธิภาพ และการจัดการสินค้าคงคลังตามเวลาจริง

อภิปรายผลการวิจัย

หนึ่งในนวัตกรรมที่สำคัญในคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบคือการใช้เทคโนโลยีหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ หุ่นยนต์เหล่านี้มีความสามารถในการเคลื่อนย้ายสินค้าหรือวัสดุไปรอบ ๆ คลังสินค้า จัดเรียงและดึงสินค้าออกจากชั้นวาง หรือแม้แต่บรรจุสินค้าตามใบสั่งเพื่อจัดส่ง (Chauhan, Brouwer, & Westra, 2022; Mor et al., 2022; Sharma, Saxena, Sindhwan, & Agarwal, 2022) สามารถใช้แขนหุ่นยนต์สายพานลำเลียง และระบบอัตโนมัติประเภทอื่น ๆ เพื่อจัดการกับการเคลื่อนย้ายสินค้าภายในคลังสินค้า ซึ่งรวมถึงงานต่าง ๆ เช่น การหยิบและวางสินค้าบนชั้นวาง การเคลื่อนย้ายสินค้าจากส่วนหนึ่งของคลังสินค้าไปยังอีกที่หนึ่ง และการขนถ่ายรถบรรทุก สอดคล้องกับการใช้หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติเป็นยานพาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยตัวเองซึ่งสามารถเคลื่อนผ่านคลังสินค้าโดยไม่ต้องอาศัยการแทรกแซงจากมนุษย์ สามารถใช้สำหรับงานต่าง ๆ รวมถึงการหยิบสินค้าตามใบสั่ง การขนส่งสินค้าและการติดตามสินค้าคงคลัง (Lee et al., 2022; McNulty, Hennessy, Li, Armstrong, & Ryan, 2022; Turhanlar et al., 2024) การรวมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ (AMR) เข้ากับการปฏิบัติงานด้านคลังสินค้า ถือเป็นการก้าวกระโดดครั้งสำคัญสู่นาคตของโลจิสติกส์ ระบบหุ่นยนต์อัจฉริยะเหล่านี้กำหนดนิยามใหม่ให้กับประสิทธิภาพ

และความคล่องตัวของการขนถ่ายวัสดุภายในระบบนิเวศของคลังสินค้า AMR นำทางโดยอัตโนมัติ ปรับปรุงไดนามิกให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เพิ่มประสิทธิภาพเส้นทาง และปรับปรุงงานต่าง ๆ เช่น การเลือกคำสั่งซื้อและการเติมสินค้าคงคลัง ความมอเนกประสงค์ของ AMR อยู่ที่ความสามารถในการทำงานร่วมกับโครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่ ซึ่งช่วยลดความจำเป็นในการใช้สายพานลำเลียงหรือทางเดินแบบตายตัว หุ่นยนต์เหล่านี้ผสมรวมเข้ากับขั้นตอนการทำงานของคลังสินค้าได้อย่างราบรื่นเพิ่มความยืดหยุ่นและความสามารถในการปรับขนาดเพื่อตอบสนองความต้องการที่เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้การออกแบบที่มีเซ็นเซอร์ยังช่วยเพิ่มความมั่นใจในการนำทางที่ปลอดภัยและการหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวาง ลดความเสี่ยงในการชนกัน และรับประกันสภาพแวดล้อมการทำงานที่ปลอดภัย ด้วยการบูรณาการ AMR คลังสินค้าจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทัศนียภาพไปสู่ประสิทธิภาพที่สูงขึ้นความสามารถในการปรับตัว และอนาคตที่ระบบอัตโนมัติและการทำงานร่วมกันของมนุษย์จะกำหนดนิยามใหม่ของจัดการห่วงโซ่อุปทาน

การใช้ระบบจัดเก็บและเรียกข้อมูลอัตโนมัติผสมผสานระหว่างเครนอัตโนมัติ สายพานลำเลียง และอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อจัดเก็บและดึงสิ่งของออกจากสถานที่จัดเก็บที่กำหนดโดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยให้ใช้พื้นที่ภายในคลังสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดความจำเป็นในการใช้แรงงานคน (Balaska, Folinas, Konstantinidis, & Gasteratos, 2022; Ferrari, Zenezini, Rafele, & Carlin, 2022; Ko & Han, 2022) นอกจากนี้การใชยานพาหนะนำทางอัตโนมัติ (AGV) เป็นยานพาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยตัวเอง ซึ่งสามารถเคลื่อนที่

ไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ล่วงหน้าภายในคลังสินค้าสามารถใช้ในการขนส่งสินค้า เช่นเดียวกับการทำงานต่าง ๆ เช่น การจัดเรียงสินค้าบนพาเลท และการนำออกจากพาเลท (Li et al., 2022; Luo et al., 2023; Zhang, Chen, & Guo, 2023) ยานพาหนะนำทางโดยอัตโนมัติ (AGV) ทำหน้าที่เป็นทรัพย์สินอันล้ำค่าในกระบวนการจัดการวัสดุโดยอัตโนมัติในคลังสินค้าอัตโนมัติ AGV มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน โดยลดการพึ่งพาแรงงานคนสำหรับงานประจำและงานซ้ำ ๆ เมื่อผสมผสานร่วมกับเซ็นเซอร์อัจฉริยะ AGV ช่วยให้ความมั่นใจได้ถึงการนำทางที่ปลอดภัย การตรวจจับสิ่งกีดขวาง และการหลีกเลี่ยงการชน ส่งผลให้สภาพแวดล้อมการทำงานมีความปลอดภัยและลดองค์ประกอบความเสี่ยงของ AGV อยู่ที่มีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับรูปแบบคลังสินค้าต่าง ๆ และความสามารถในการบูรณาการเข้ากับระบบอัตโนมัติอื่น ๆ ได้อย่างราบรื่น ทำให้เกิดการจัดการงานที่สอดคล้องกัน ในฐานะรากฐานสำคัญของระบบอัตโนมัติ AGV เป็นตัวอย่างที่ดีของวิวัฒนาการไปสู่อนาคตที่เทคโนโลยีมาบรรจบกัน เพื่อกำหนดนิยามใหม่ให้กับสาระสำคัญของโลจิสติกส์คลังสินค้า อีกทั้งเครื่องจัดเรียงพาเลทแบบหุ่นยนต์สามารถจัดเรียงสินค้าบนพาเลทได้โดยอัตโนมัติโดยใช้เซ็นเซอร์เพื่อตรวจจับรูปร่างและขนาดของสิ่งของ ช่วยให้วางซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย (Cavone, Stella, Scarabaggio, Carli, Lisi, Garavelli, & Dotoli, 2023; Nguyen-Vinh, Dewasurendra, Gonapaladeniya, Sarbahi, & Le, 2022; Patel & Chowdhury, 2022) ในขอบเขตของระบบอัตโนมัติของคลังสินค้า หุ่นยนต์จัดเรียงพาเลทถือเป็นจุดสุดยอดของประสิทธิภาพ ด้วยความสามารถในการจัดเรียงและวางผลิตภัณฑ์บนพาเลทโดยอัตโนมัติ หุ่นยนต์เหล่านี้จะกำหนดกระบวนการวางบนพาเลทใหม่ ความแม่นยำและความเร็ว ไม่เพียงแต่ปรับปรุงการดำเนินงานเท่านั้น แต่ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพพื้นที่จัดเก็บอีกด้วย ทำให้มั่นใจได้ว่าขั้นตอนการทำงานจะราบรื่นและมีประสิทธิภาพในคลังสินค้าสมัยใหม่

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะทั่วไป

เพื่อจัดการกับความท้าทายและโอกาสที่สำคัญในด้านหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติในบริบทของคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบในศตวรรษที่ 21 มีดังนี้

1.1 การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานร่วมกันของมนุษย์

และหุ่นยนต์ สรรวจวิธีการปรับปรุงการทำงานร่วมกันระหว่างหุ่นยนต์และคนงานของมนุษย์ภายในสภาพแวดล้อมคลังสินค้า ซึ่งรวมถึงการศึกษาการออกแบบตามหลักสรีรศาสตร์ อินเทอร์เฟซ (interface) ที่ใช้งานง่าย และโปรแกรมการฝึกอบรมเพื่อให้แน่ใจว่าอยู่ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย

1.2 อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบปรับเปลี่ยนได้ สรรวจการพัฒนาอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบปรับเปลี่ยนได้สำหรับหุ่นยนต์ เพื่อปรับปรุงความสามารถในการจัดการงานที่หลากหลาย และปรับให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงในสภาพแวดล้อมของคลังสินค้า ซึ่งอาจรวมถึงเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเรียนรู้จากประสบการณ์และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานเมื่อเวลาผ่านไป

1.3 การประสานงานฝูงหุ่นยนต์ในคลังสินค้า วิธีการวิจัยเพื่อปรับปรุงการประสานงานและการสื่อสารระหว่างหุ่นยนต์หลายตัวที่ทำงานในพื้นที่คลังสินค้าเดียวกัน ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการพัฒนาเทคนิคหุ่นยนต์จับกลุ่ม (swarm robotics) ขั้นสูงหรืออัลกอริทึมการประสานงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพงานต่าง ๆ เช่น การจัดการสินค้าคงคลัง และการปฏิบัติตามคำสั่งซื้อ

1.4 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและความยั่งยืน มุ่งเน้นไปที่การทำให้ระบบหุ่นยนต์ในคลังสินค้าประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการค้นคว้าแหล่งพลังงานใหม่ โซลูชันการจัดเก็บพลังงาน และวัสดุที่ยั่งยืนสำหรับส่วนประกอบหุ่นยนต์

1.5 การบูรณาการปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) สรรวจการบูรณาการระบบ AI ขั้นสูงเพื่อปรับปรุงกระบวนการตัดสินใจภายในคลังสินค้า ซึ่งอาจรวมถึงอัลกอริทึม AI สำหรับการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ การคาดการณ์ความต้องการ และการกำหนดเวลาแบบไดนามิกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวม

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในครั้งต่อไป

แนวทางการวิจัยในอนาคตด้านนวัตกรรมวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติภายในคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบเพื่อรับมือกับความท้าทายและโอกาสที่เกิดขึ้นในศตวรรษที่ 21 มีดังนี้

2.1 ปฏิสัมพันธ์และการทำงานร่วมกันของมนุษย์กับหุ่นยนต์ ตรวจสอบวิธีการเพื่อเพิ่มปฏิสัมพันธ์และการทำงานร่วมกันระหว่างคนงานมนุษย์และหุ่นยนต์ภายในคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบ ซึ่งรวมถึงการศึกษาการพัฒนาอินเทอร์เฟซภาษาธรรมชาติ การควบคุมด้วยท่าทาง และเทคโนโลยีที่สมจริงเพื่อปรับปรุงการสื่อสารและการทำงานเป็นทีม

2.2 การตัดสินใจและการเรียนรู้อัตโนมัติ สำหรับอัลกอริทึมขั้นสูงและเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อให้หุ่นยนต์ในคลังสินค้าทำการตัดสินใจได้ด้วยตนเอง มุ่งเน้นการพัฒนา ระบบที่สามารถเรียนรู้จากข้อมูลแบบเรียลไทม์ ปรับให้เข้ากับ สภาพที่เปลี่ยนแปลง และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

2.3 ศึกษาการออกแบบระบบหุ่นยนต์หลายตัวที่ทำงานร่วมกันเพื่อบรรลุเป้าหมายร่วมกัน หรือหุ่นยนต์ฝูง (swarm robotics) เพื่อการจัดการคลังสินค้า วิจัยการประยุกต์ใช้ หุ่นยนต์ฝูงเพื่อการจัดการคลังสินค้าที่มีประสิทธิภาพ ตรวจสอบว่าหุ่นยนต์จำนวนมากสามารถทำงานร่วมกันเพื่อทำงานต่าง ๆ เช่น การติดตามสินค้าคงคลัง การจัดส่งสินค้า และการปฏิบัติตามคำสั่งซื้อในลักษณะที่มีการประสานงาน และปรับเปลี่ยนได้อย่างไร

2.4 การบูรณาการเอจคอมพิวติ้ง (edge computing) ตรวจสอบการบูรณาการเทคโนโลยีเอจคอมพิวติ้ง เพื่อเพิ่มความสามารถในการประมวลผลแบบเรียลไทม์ของระบบ หุ่นยนต์ในคลังสินค้า ซึ่งอาจรวมถึงการพัฒนาอัลกอริทึม AI บนเอจคอมพิวติ้ง เพื่อการตัดสินใจที่รวดเร็วและลดการพึ่งพา การประมวลผลแบบรวมศูนย์

2.5 บล็อกเชน (blockchain) เพื่อความโปร่งใสของห่วงโซ่อุปทาน สำหรับการใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนเพื่อปรับปรุงความโปร่งใส และตรวจสอบย้อนกลับในห่วงโซ่อุปทานภายในคลังสินค้าอัตโนมัติเต็มรูปแบบ ตรวจสอบว่าสามารถบูรณาการบล็อกเชนเพื่อติดตามการเคลื่อนไหวของสินค้าอย่างปลอดภัย ตรวจสอบความถูกต้อง และรับรองความสมบูรณ์ของข้อมูลได้อย่างไร

3. ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

ข้อเสนอแนะนโยบายเหล่านี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการนำหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติมาใช้ในคลังสินค้าอัตโนมัติอย่างมีประสิทธิภาพ และถูกต้องตามจริยธรรม นโยบายเหล่านี้จะขับเคลื่อนการสร้างนวัตกรรม เพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน และรับรองการเติบโตอย่างยั่งยืนของอุตสาหกรรมระบบอัตโนมัติในคลังสินค้า โดยคำนึงถึงมาตรฐาน แรงจูงใจทางการเงิน ความปลอดภัยของข้อมูล การพัฒนากำลังคน และการแบ่งปันความรู้ร่วมกัน การนำนโยบายเหล่านี้ไปปฏิบัติจะไม่เพียงแต่เป็นประโยชน์ต่อองค์กรแต่ละแห่งเท่านั้น แต่ยังมีส่วนสนับสนุนการพัฒนาที่กว้างขวางยิ่งขึ้นของภาคส่วนโลจิสติกส์ และห่วงโซ่อุปทานอีกด้วย

3.1 พัฒนามาตรฐานระดับอุตสาหกรรมสำหรับการบูรณาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ กำหนดมาตรฐานและแนวทางที่ครอบคลุมการบูรณาการ และการทำงาน ของระบบหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติในคลังสินค้าอย่างราบรื่น

3.2 ให้แรงจูงใจทางการเงินสำหรับการนำระบบอัตโนมัติมาใช้ สร้างแรงจูงใจทางการเงิน เช่น การลดหย่อนภาษีเงินช่วยเหลือ และเงินอุดหนุน เพื่อกระตุ้นให้บริษัทต่าง ๆ ลงทุนในเทคโนโลยีหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ

3.3 ปฏิบัติตามกฎหมายระเบียบการรักษาความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูล บังคับใช้กฎระเบียบด้านความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูลที่เข้มงวด เพื่อปกป้องข้อมูลละเอียดอ่อนที่สร้างและประมวลผลโดยระบบคลังสินค้าอัตโนมัติ

3.4 จัดทำโปรโตคอลความปลอดภัยสำหรับการโต้ตอบระหว่างมนุษย์กับหุ่นยนต์ พัฒนาและบังคับใช้โปรโตคอลความปลอดภัยที่ครอบคลุม เพื่อควบคุมการโต้ตอบระหว่างคนงานและระบบหุ่นยนต์ในคลังสินค้า

3.5 ส่งเสริมการฝึกอบรมและเพิ่มทักษะแรงงาน ลงทุนในโปรแกรมการฝึกอบรมใหม่และเพิ่มพูนทักษะเพื่อให้พนักงานคลังสินค้ามีทักษะที่จำเป็นในการดำเนินงานและทำงานร่วมกับระบบหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติขั้นสูง

References

- Ajayi, M. O., & Laseinde, O. T. (2023). A review of supply chain 4IR management strategy for appraising the manufacturing industry's potentials and shortfalls in the 21st century. *Procedia Computer Science*, 217: 513-525.
- Bakken, S. (2023). AI in health: Keeping the human in the loop. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 30(7): 1225-1226.
- Balaska, V., Folinas, D., Konstantinidis, F. K., & Gasteratos, A. (2022). Smart Counting of Unboxed Stocks in the Warehouse 4.0 Ecosystem. Paper presented at **2022 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST)**. Kaohsiung, Taiwan. June 21-23. [Online]. Retrieved January 6, 2023 from <https://doi.org/10.1109/IST55454.2022.9827758>

- Bianchi, C., Langner, M. R., Mishra, V., & Torcellini, P. (2023). **Accelerating the Adoption of Energy Efficiency and Renewables in Warehouses and Distribution Centers**. [Online]. Retrieved March 16, 2023 from <https://doi.org/10.2172/1909580>
- Cavone, G., Stella, S., Scarabaggio, P., Carli, R., Lisi, S., Garavelli, A. C., & Dotoli, M. (2023). A Colored Petri Net Tool for the Design of Robotic Palletizing Cells. Paper presented at **2023 9th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)**. Rome, Italy. July 3-6. [Online]. Retrieved June 6, 2023 from <https://doi.org/10.1109/CoDIT58514.2023.10284186>
- Ceschia, S., Gansterer, M., Mancini, S., & Meneghetti, A. (2023). The on-demand warehousing problem. **International Journal of Production Research**, 61(10): 3152-3170.
- Chauhan, A., Brouwer, B., & Westra, E. (2022). Robotics for a quality-driven post-harvest supply chain. **Current Robotics Reports**, 3(2): 39-48.
- Damayanti, D. D., Novitasari, N., Setyawan, E. B., & Muttaqin, P. S. (2022). Intelligent warehouse picking improvement model for e-logistics warehouse using single picker routing problem and wave picking. **International Journal on Informatics Visualization**, 6(2): 418-426.
- Dewi, I. K., & Shofa, R. N. (2023). Development of warehouse management system to manage warehouse operations. **Journal of Applied Information Systems and Informatics**, 1(1): 15-23.
- Ferrari, A., Zenezini, G., Rafele, C., & Carlin, A. (2022). A roadmap towards an automated warehouse digital twin: Current implementations and future developments. **IFAC-PapersOnLine**, 55(10): 1899-1905.
- Global House. (n.d.). **Examples of Automated Warehouses in Thailand (ตัวอย่างคลังสินค้าอัตโนมัติในประเทศไทย) [Photograph]**. [Online]. Retrieved December 5, 2024 from <https://images.app.goo.gl/fjHaZpTYrDC85SRf9>
- Jacob, F., Grosse, E. H., Morana, S., & König, C. J. (2023). Picking with a robot colleague: A systematic literature review and evaluation of technology acceptance in human–robot collaborative warehouses. **Computers & Industrial Engineering**, 180: 109262.
- Jitvirat, Kosol. (2018). Adaptation model of business organizations from the digital disruption impact in the 21st century (โมเดลการปรับตัวขององค์กรธุรกิจที่ได้รับผลกระทบจากการทำลายล้างของเทคโนโลยีดิจิทัลในศตวรรษที่ 21). **Journal of the Association of Researchers**, 23(2): 74-88.
- Jitvirat, Kosol. (2024). **The Secret to Using ChatGPT to Write Research Articles (ความลับในการใช้ ChatGPT เพื่อเขียนบทความวิจัย)**. Nonthaburi: Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.
- Karpova, N. P. (2022). Modern Warehouse Management Systems. In S. I. Ashmarina, & V. V. Mantulenko (Eds.), **Digital Technologies in the New Socio-Economic Reality**, (pp. 261-267). Cham: Springer. [Online]. Retrieved January 6, 2023 from https://doi.org/10.1007/978-3-030-83175-2_34
- Karunamurthy, A., Kiruthivasan, R., & Gauthamkrishna, S. (2023). Human-in-the-loop intelligence: Advancing AI-centric cybersecurity for the future. **Quing: International Journal of Multidisciplinary Scientific Research and Development**, 2(3): 20-43.
- Khan, M. G., Huda, N. U., & Zaman, U. K. U. (2022). Smart warehouse management system: Architecture, real-time implementation and prototype design. **Machines**, 10(2): 150.
- Ko, D., & Han, J. (2022). A rollout heuristic algorithm for order sequencing in robotic compact storage and retrieval systems. **Expert Systems with Applications**, 203: 117396.
- Lee, H., Hong, J., & Jeong, J. (2022). MARL-based dual reward model on segmented actions for multiple mobile robots in automated warehouse environment. **Applied Sciences**, 12(9): 4703.

- Li, C., Zhang, L., & Zhang, L. (2022). A route and speed optimization model to find conflict-free routes for automated guided vehicles in large warehouses based on quick response code technology. **Advanced Engineering Informatics**, 52: 101604.
- Luo, L., Zhao, N., Zhu, Y., & Sun, Y. (2023). A* guiding DQN algorithm for automated guided vehicle pathfinding problem of robotic mobile fulfillment systems. **Computers & Industrial Engineering**, 178: 109112.
- Maheshwari, P., Kamble, S., Kumar, S., Belhadi, A., & Gupta, S. (2024). Digital twin-based warehouse management system: A theoretical toolbox for future research and applications. **The International Journal of Logistics Management**, 35(4): 1073-1106.
- McNulty, D., Hennessy, A., Li, M., Armstrong, E., & Ryan, K. M. (2022). A review of Li-ion batteries for autonomous mobile robots: Perspectives and outlook for the future. **Journal of Power Sources**, 545: 231943.
- Mor, R. S., Kumar, D., Singh, A., & Neethu, K. (2022). Robotics and Automation for Agri-Food 4.0: Innovation and Challenges. In R. S. Mor, D. Kumar, & A. Singh (Eds.), **Agri-Food 4.0 (Advanced Series in Management, Vol. 27)**, (pp. 189-199). Leeds: Emerald Publishing. [Online]. Retrieved January 14, 2023 from <https://doi.org/10.1108/S1877-636120220000027013>
- Mosqueira-Rey, E., Hernández-Pereira, E., Alonso-Ríos, D., Bobes-Bascarán, J., & Fernández-Leal, Á. (2023). Human-in-the-loop machine learning: A state of the art. **Artificial Intelligence Review**, 56(4): 3005-3054.
- Nguyen-Vinh, K., Dewasurendra, H., Gonapaladeniya, S., Sarbahi, U., & Le, N. (2022). Stack Algorithm Implementation in Robot-Based Mixed Case Palletizing System. Paper presented at the **2022 4th International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE)**. Kuala Lumpur, Malaysia. November 26. [Online]. Retrieved January 14, 2023 from <https://doi.org/10.1109/ICECIE55199.2022.10000343>
- Onal, S., Zhu, W., & Das, S. (2023). Order picking heuristics for online order fulfillment warehouses with explosive storage. **International Journal of Production Economics**, 256: 108747.
- Pasparakis, A., de Vries, J., & de Koster, R. (2023). Assessing the impact of human-robot collaborative order picking systems on warehouse workers. **International Journal of Production Research**, 61(22): 7776-7790.
- Patel, A. D., & Chowdhury, A. R. (2022). Vision-Based Object Classification Using Deep Learning for Mixed Palletizing Operation in an Automated Warehouse Environment. In H. K. Dave, U. S. Dixit, & D. Nedelcu (Eds.), **Recent Advances in Manufacturing Processes and Systems**, (pp. 991-1011). Singapore: Springer. [Online]. Retrieved January 24, 2023 from https://doi.org/10.1007/978-981-16-7787-8_79
- Perotti, S., & Colicchia, C. (2023). Greening warehouses through energy efficiency and environmental impact reduction: A conceptual framework based on a systematic literature review. **The International Journal of Logistics Management**, 34(7): 199-234.
- Ruthramathi, R., Sivakumar, V., & Saranya, P. (2022). Digital technology assessment of logistics and supply chain efficiency-Tamilnadu. **Journal of Management & Entrepreneurship**, 16(1): 22-30.
- Sharma, N., & Cupek, R. (2023). Real-time control and optimization of internal logistics systems with collaborative robots. **Procedia Computer Science**, 225: 248-258.
- Sharma, R., Saxena, K., Sindhwan, N., & Agarwal, R. (2022). Secure Food Warehouse Architecture and Automation for Safety of Foods Using of Robots. Paper presented at the **2022 10th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO)**. Noida, India. October 13-14. [Online]. Retrieved January 21, 2023 from <https://doi.org/10.1109/ICRITO56286.2022.9964899>

- Suchitra, M., Bharath, G. M., Vinay, B. K., Panchami, S. V., & Prasad, H. P. N. (2023). Smart warehouse management system. **Tuijin Jishu/Journal of Propulsion Technology**, 44(5): 2739-2749.
- Turhanlar, E. E., Ekren, B. Y., & Lerher, T. (2024). Autonomous mobile robot travel under deadlock and collision prevention algorithms by agent-based modelling in warehouses. **International Journal of Logistics: Research and Applications**, 27(8): 1322-1341.
- Wu, X., Xiao, L., Sun, Y., Zhang, J., Ma, T., & He, L. (2022). A survey of human-in-the-loop for machine learning. **Future Generation Computer Systems**, 135: 364-381.
- Yildirim, A., Reefke, H., & Aktas, E. (2023). **Mobile Robot Automation in Warehouses: A Framework for Decision Making and Integration**. Cham: Palgrave Macmillan.
- Zhang, Z., Chen, J., & Guo, Q. (2023). Application of automated guided vehicles in smart automated warehouse systems: A survey. **Computer Modeling in Engineering & Sciences**, 134(3): 1529-1563.