



Received: 31 December 2024

Revised: 1 February 2025

Accepted: 1 February 2025

RFID-ENHANCED PREDICTIVE PID CONTROL FOR DC LOAD OPTIMIZATION

Siriwan POLSET¹

1 Faculty of Industrial Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Thailand; siriwan@vru.ac.th

Handling Editor:

Adjunct Professor Dr.Chienchuang KALAYANAMITR Engineering Institute of Thailand, Thailand

(This article belongs to the Theme 2: Sciences & Technology for Sustainability)

Reviewers:

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1) Associate Professor Dr.Petch JEARANAISILAWONG | KMUTNB, Thailand |
| 2) Assistant Professor Dr.Chanchai LAOHA | RMUTI Khonkaen Campus, Thailand |
| 3) Dr.Sarayut THITAPARS | Kalasin University, Thailand |

Abstract

This research presents the development of a predictive PID control system that integrates RFID sensor technology to enhance the efficiency of DC load control through intelligent solid-state relays. The PN532 RFID sensor dynamically adjusts the PID controller parameters according to the system's operational status. The experimental results indicate that setting the optimal PID parameters ($K_p = 2.5$, $K_i = 0.03$, $K_d = 0.15$) significantly reduces overshoot, steady-state error, and settling time. The system maintains a speed error of less than 1 RPM at the target speed of 150 RPM. It improves control stability by ensuring the Relay ON condition remains constant for 75-85% of the operation time. This enhancement minimizes relay state switching, reduces equipment wear, and extends the system lifespan. Additionally, the system incorporates safety measures for industrial applications, particularly in a 350 mL drinking water conveyor belt system, which automatically ceases operation if the sensor fails to detect a working signal, thereby preventing potential operational hazards. This study demonstrates an effective integration of RFID technology with an intelligent PID control system, offering a robust solution for improving DC load control efficiency, minimizing energy waste, and establishing a new standard for developing high-precision industrial control systems while enhancing workplace safety.

Keywords: Predictive PID Control, RFID Technology, DC Load, Intelligent Solid State Relay Management

Citation Information: Polset, S. (2025). RFID-Enhanced Predictive PID Control for DC Load Optimization. *Thai Interdisciplinary and Sustainability Review*, 14(1), Article 20. <https://doi.org/10.14456/tisr.2025.20>

การเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมโหลดไฟฟ้ากระแสตรง ด้วยระบบพีไอดีเชิงพยากรณ์และเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี

ศิริวรรณ พลเศษ¹

1 คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์; siriwan@vru.ac.th

บรรณาธิการผู้รับผิดชอบบทความ:

ศาสตราจารย์ (วุฒิคุณ) ดร.เชิษฐ์ช่วง กัลยาณมิตร วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
(บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของหัวเรื่องที่ 2: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อความยั่งยืน)

ผู้ทรงคุณวุฒิผู้พิจารณาบทความ:

- | | |
|--|--|
| 1) รองศาสตราจารย์ ดร.เพชร เจริญชัยสิบลาวส์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| 2) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เหล่าหา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น |
| 3) อาจารย์ ดร.สรายุทธ จิตะภาส | มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ |

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาระบบพีไอดีคอนโทรลเชิงพยากรณ์ที่บูรณาการเทคโนโลยีเซนเซอร์อาร์ไอดีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมโหลดไฟฟ้ากระแสตรงผ่านรีเลย์โซลิดสเตตรีเลย์อัจฉริยะ โดยใช้เซนเซอร์อาร์เอฟไอดี PN532 ในการปรับค่าพารามิเตอร์ตามสถานะการทำงานของระบบ ผลการศึกษาพบว่า การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ($K_p = 2.5$, $K_i = 0.03$, $K_d = 0.15$) สามารถลด Overshoot, Error และ Settling Time ได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ระบบสามารถรักษาความคลาดเคลื่อนของความเร็วรอบต่ำกว่า 1 RPM ที่ตั้งต้น 150 RPM และเพิ่มเสถียรภาพของการควบคุมให้คงที่ในสถานะ Relay ON ถึง 75-85% ซึ่งช่วยลดการสลับสถานะรีเลย์ ลดการสึกหรอของอุปกรณ์ และยืดอายุการใช้งานของระบบ นอกจากนี้ระบบยังช่วยเสริมมาตรการความปลอดภัยในอุตสาหกรรม โดยเครื่องจักรสายพานลำเลียงน้ำดื่มขนาด 350 มิลลิเมตร จะหยุดการทำงานอัตโนมัติหากเซนเซอร์ไม่ได้รับสัญญาณการทำงาน ป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นจากการทำงานของเครื่องจักร งานวิจัยนี้เป็นการแก้ไขปัญหาด้วยการบูรณาการเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีเข้ากับระบบควบคุมพีไอดีแบบอัจฉริยะซึ่งสามารถยกระดับประสิทธิภาพของระบบควบคุมโหลดไฟฟ้ากระแสตรง ลดการสูญเสียพลังงานและกำหนด มาตรฐานใหม่สำหรับการพัฒนาระบบควบคุมอุตสาหกรรมที่ต้องการความแม่นยำสูงและเสริมสร้างความปลอดภัยให้กับพนักงาน

คำสำคัญ: การควบคุมพีไอดีเชิงพยากรณ์, เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี, โหลดไฟฟ้ากระแสตรง, การจัดการโซลิดสเตตรีเลย์อัจฉริยะ

ข้อมูลอ้างอิง: ศิริวรรณ พลเศษ. (2568). การเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมโหลดไฟฟ้ากระแสตรงด้วยระบบพีไอดีเชิงพยากรณ์และเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี. สหวิทยาการและความยั่งยืนปริทรรศน์ไทย, 14(1), บทความที่ 20. <https://doi.org/10.14456/tisr.2025.20>

ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2568)

บทนำ

การปฏิวัติอุตสาหกรรม 4.0 ได้ผลักดันให้การบูรณาการเทคโนโลยีขั้นสูงเข้ากับระบบการผลิตเป็นสิ่งจำเป็น โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ซึ่งต้องการการจัดการโหลดที่มีประสิทธิภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการประหยัดพลังงาน เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification: RFID) ได้รับความสนใจอย่างมากในการพัฒนาระบบความปลอดภัย เนื่องจากความสามารถในการระบุและยืนยันตัวตนบุคคลที่ได้รับอนุญาต การประยุกต์ใช้อาร์เอฟไอดี ในภาคอุตสาหกรรมสามารถจำแนกได้เป็นสามด้านหลัก ประกอบด้วย การควบคุมการเข้าถึงพื้นที่ (Access Control) ที่จำกัดการเข้าถึงเฉพาะบุคคลที่ได้รับอนุญาตในพื้นที่สำคัญหรืออันตราย ระบบป้องกันความปลอดภัยของเครื่องจักร (Equipment Safety Interlocks) ที่ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรให้ทำงานได้เฉพาะเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ความปลอดภัยอย่างถูกต้องหรือเมื่อมีผู้ได้รับอนุญาตอยู่ในพื้นที่ และการติดตามทรัพย์สินและบุคลากร (Asset and Personnel Tracking) ที่ช่วยปรับปรุงการจัดการทรัพยากรและเพิ่มความปลอดภัยโดยการตรวจสอบตำแหน่งของพนักงานในพื้นที่เสี่ยง (Sugumar et al., 2023)

ระบบควบคุมที่นำเสนอจะขับเคลื่อนด้วยอาร์เอฟไอดีเป็นเซนเซอร์ เป็นนวัตกรรมที่บูรณาการการควบคุมแบบสัดส่วน-อินทิกรัล-ดิฟเฟอเรนเชียล (Proportional-Integral-Derivative: PID) เข้ากับข้อมูลไดนามิกจากเซนเซอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมโหลดไฟฟ้ากระแสตรง ระบบสามารถปรับพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีแบบเรียลไทม์โดยอาศัยข้อมูลจากเซนเซอร์ ในการตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์รอบเครื่องจักรและการปรากฏตัวของบุคลากรที่ได้รับอนุญาต การควบคุมเชิงพยากรณ์นี้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมกับข้อมูลปัจจุบันในการคาดการณ์พฤติกรรมของระบบ และปรับค่าควบคุมล่วงหน้าเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามต้องการ การผนวกข้อมูลจากเซนเซอร์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสถานะแวดล้อม เช่น การเคลื่อนที่ของบุคลากรและสถานะของฝาคอบเครื่องจักร ช่วยให้ระบบสามารถปรับแต่งค่าพารามิเตอร์พีไอดีได้อย่างเหมาะสม ส่งผลให้มีความแม่นยำและการตอบสนองที่รวดเร็วขึ้น (Zhang et al., 2018)

การจัดการโหลดโซลิดสเตตรีเลย์ (Solid State Relay: SSR) อย่างชาญฉลาดอาศัยข้อมูลจากตัวควบคุมพีไอดีที่ได้รับการปรับปรุงในการควบคุมการสวิตช์พลังงานของโหลดไฟฟ้ากระแสตรง การใช้ SSR ซึ่งไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนที่ช่วยให้การสวิตช์พลังงานเป็นไปอย่างรวดเร็ว ลดการสึกหรอ และเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ (Shen et al., 2024) นอกจากนี้ การควบคุม SSR อย่างชาญฉลาดยังช่วยลดการสูญเสียพลังงานและความร้อนที่เกิดขึ้น ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น การบูรณาการเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีร่วมกับระบบควบคุมที่นำเสนอ ทำให้ระบบสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน พร้อมทั้งลดความเสี่ยงจากการใช้งานเครื่องจักรโดยผู้ไม่ได้รับอนุญาต การนำข้อมูลจากอาร์เอฟไอดีมาใช้ในการควบคุมยังช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและการปรับตัวของระบบ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการดำเนินงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความซับซ้อนและต้องการความปลอดภัยสูง (Wang et al., 2016)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาประสิทธิภาพการจัดการโหลดไฟฟ้ากระแสตรง (มอเตอร์ดีซี 12 โวลต์) ผ่านการควบคุมพีไอดีเชิงพยากรณ์ที่ขับเคลื่อนด้วยอาร์เอฟไอดี (RFID PN532) โดยใช้โซลิดสเตตรีเลย์ เพื่อพัฒนาระบบเดิมให้สามารถตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของโหลดบนสายพานลำเลียงขนาด 350 มิลลิเมตร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะเดียวกันก็เพิ่มระดับความปลอดภัยสำหรับพนักงานและลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการทำงานกับเครื่องจักร การวิจัยครั้งนี้มีส่วนช่วยในการสร้างมาตรฐานใหม่สำหรับระบบควบคุมและความปลอดภัยในอุตสาหกรรม ตอบสนองต่อความต้องการของโรงงานที่ต้องการโซลูชันอาร์เอฟไอดีเพื่อให้นักวิจัยมีเพียงบุคคลที่ได้รับอนุญาตเท่านั้นที่สามารถเข้าถึงพื้นที่ทำงาน ซึ่งจะส่งผลให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2568)

การทบทวนวรรณกรรม

งานวิจัยหลายฉบับที่ผ่านมาเน้นการพัฒนาเทคโนโลยี อาร์เอฟไอดี เพื่อตอบสนองความต้องการในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย โดย อาร์เอฟไอดี ถูกนำมาใช้ทั้งในระบบการจัดการพลังงานและการประยุกต์ใช้เซนเซอร์แบบไร้สายในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจสอบพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง เช่น โรงงานน้ำมันและก๊าซ (Mostaccio et al., 2023) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาเซนเซอร์แบบ SAW-RFID (Surface Acoustic Wave Radio Frequency Identification) ที่สามารถตรวจวัดตัวแปรต่างๆ เช่น อุณหภูมิและแรงดึงในสภาพแวดล้อมที่รุนแรงได้อย่างแม่นยำ โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ ซึ่งมีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงและการสั่นสะเทือนในสภาพแวดล้อมอุตสาหกรรม (Hage-Ali et al., 2023) การออกแบบแท็กแบบไร้ชิปในย่านความถี่มิลลิเมตรยังเพิ่มความสามารถในการระบุและการตรวจสอบข้อมูลในระยะไกลด้วยต้นทุนต่ำผ่านการพิมพ์ชั้นเดียว ทำให้แท็กเหล่านี้เหมาะสำหรับการใช้งานในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการต้นทุนต่ำและความสะดวกในการผลิต (De Amorim et al., 2022) อย่างไรก็ตาม การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล อาร์เอฟไอดี ยังคงเป็นประเด็นสำคัญ โดยงานวิจัยล่าสุดได้นำเสนอเทคนิค spike modulation เพื่อเพิ่มความปลอดภัยของข้อมูล ลดการโจมตีประเภท denial of service (DOS) และเพิ่มประสิทธิภาพในการอ่านแท็กหลายตัวในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน (Ambareen et al., 2020) ข้อมูลเหล่านี้ช่วยเชื่อมโยงเทคโนโลยี อาร์เอฟไอดี เข้ากับการพัฒนาระบบอุตสาหกรรมสมัยใหม่ที่มีความต้องการด้านพลังงาน ประสิทธิภาพ และความปลอดภัยสำหรับการทำงานของเครื่องจักร

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี อาร์เอฟไอดี ร่วมกับระบบควบคุมอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยในระบบอุตสาหกรรมและสภาพแวดล้อมต่างๆ โดยได้ถูกนำไปประยุกต์การออกแบบโรบอตจัดเรียงและขนส่งที่ใช้เทคโนโลยี อาร์เอฟไอดี ร่วมกับพีไอดีคอนโทรล (PID Controller) และการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้ระบบจัดการการขนส่งและจัดเรียงวัตถุในอุตสาหกรรมทำได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น (Du et al., 2024) ในด้านระบบความปลอดภัยในที่จอดรถได้มีงานวิจัยหนึ่งได้นำเสนอระบบการเปิด-ปิดประตู โดยอัตโนมัติที่ใช้ อาร์เอฟไอดี และการควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลผ่านเครือข่ายแลน (LAN) ซึ่งช่วยลดปัญหาจราจรติดขัดและเพิ่มความปลอดภัยในพื้นที่จอดรถได้อย่างดี (Widodo et al., 2020) นอกจากนี้ งานวิจัยล่าสุดยังได้นำเสนอระบบควบคุมแบบระบบไซเบอร์-กายภาพ (Cyber-Physical System: CPS) ที่ใช้พีไอดีคอนโทรลและเทคโนโลยีแพลตฟอร์มด้านการสื่อสารแบบเปิดที่รวมทุกการออกแบบไว้ด้วยกัน (The Open Platform Communications Unified Architecture: OPC UA) เพื่อควบคุมระดับน้ำในระบบถังน้ำสามถัง ซึ่งเป็นการผสมระหว่างระบบจริงและระบบเสมือน ทำให้สามารถควบคุมระดับน้ำได้แม่นยำยิ่งขึ้น และเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านระบบคลาวด์ในแนวคิดของอุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0) (Joelianto et al., 2021) งานวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการผสมผสานเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี การควบคุมพีไอดีคอนโทรล และระบบระบบไซเบอร์-กายภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยในกระบวนการอุตสาหกรรม

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยในหลากหลายบริบท มีการทบทวนวิธีการวัดและตรวจจับสัญญาณของระบบอาร์เอฟไอดีแบบไร้ชิป ซึ่งไม่มีแหล่งพลังงานในตัวและใช้โครงสร้างของแท็กในการเก็บข้อมูล โดยอธิบายถึงความท้าทายในการตรวจจับสัญญาณเพื่อลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการระบุข้อมูลจากแท็ก (Brinker & Zoughi, 2022) การสำรวจภัยคุกคามทางไซเบอร์ที่มีผลต่ออากาศยานไร้คนขับ (UAV) ในการใช้งานเชิงพาณิชย์ รวมถึงการนำเสนอแนวทางป้องกันการโจมตี เช่น การเข้ารหัสและการป้องกันการปลอมแปลงจีพีเอส (GPS) เพื่อเพิ่มความปลอดภัยของระบบยูเอวี (UAV) (Rugo et al., 2022) และพัฒนาระบบบันทึกข้อมูลพลังงานต่ำสำหรับตรวจวัดสภาพแวดล้อมในพื้นที่ห่างไกล โดยออกแบบซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ที่ประหยัดพลังงานเพื่อบันทึกข้อมูลระยะยาวอย่างมีประสิทธิภาพ (Juraj et al., 2023) ระบบประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์หลากหลายประเภทสำหรับตรวจวัดข้อมูล เช่น อุณหภูมิและความชื้นในพื้นที่ห่างไกล โดยเน้นการออกแบบซอฟต์แวร์ที่ประหยัดพลังงานและระบบการจัดเก็บข้อมูลที่เรียบง่ายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบันทึก ทั้งหมดนี้สะท้อนถึงการนำ

ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2568)

เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมาประยุกต์ใช้เพื่อเสริมสร้างความปลอดภัยและความสามารถในการทำงานในสภาพแวดล้อมที่ท้าทายในทุกภาคส่วน

การใช้งานเฉพาะการควบคุมพีไอดีเพื่อควบคุมการทำงานของสายพานลำเลียงได้รับการพัฒนาในหลายมิติของภาคอุตสาหกรรมซึ่งช่วยเพิ่มการทำงานให้มีความเสถียรภาพจากงานวิจัยมุ่งเน้นการควบคุมอุณหภูมิในระบบสายพานลำเลียงของเตาอบอุตสาหกรรมที่ใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติก ซึ่งใช้พีไอดีในการรักษาอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อให้การหดตัวของพลาสติกมีประสิทธิภาพสูงสุดและคงคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ (Previtali et al., 2024) ยังมีงานที่เกี่ยวกับการออกแบบตัวควบคุมแบบ robust สำหรับสายพานลำเลียงที่สามารถรับมือกับปัจจัยไม่แน่นอนต่างๆ เช่น ความยืดหยุ่นและแรงเสียดทาน โดยใช้การตั้งค่าพารามิเตอร์ควบคุมที่เหมาะสมเพื่อความเสถียรในการควบคุมความเร็วของสายพานลำเลียง (Zhang et al., 2024) และงานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบควบคุมเซอร์โวแมคคาทรอนิกส์ (Servomechanism) สำหรับสายพานลำเลียงได้นำเสนอระบบแบบจำลองเสมือนจริง (Digital Twin) ที่ปรับตัวเองได้ (Self-Adjusting) ช่วยให้ระบบพีไอดีสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมการใช้เออาร์ (AR) ที่ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถติดตามและปรับการควบคุมได้อย่างสะดวก (Hsieh & Smith, 2024)

ปัจจุบันปัจจุบันได้มีการพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมความเร็วของสายพานลำเลียงโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีที่ปรับแต่งได้เพื่อเพิ่มเสถียรภาพและความปลอดภัยในอุตสาหกรรม (Ji et al., 2020) ได้มีการนำเสนออัลกอริทึม PSO-PID ที่สามารถลดโอเวอร์ชูต การสั่นสะเทือน และข้อผิดพลาดในสถานะคงที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมที่ใช้สายพานลำเลียงในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนงานวิจัยนี้ยังให้ความสำคัญกับการประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริงเพื่อใช้การปรับพารามิเตอร์ด้วย PSO และ (Rahman et al., 2024) มีการจำลองและปรับแต่งตัวควบคุมพีไอดีด้วยวิธีลองผิดลองถูก โดยมุ่งเน้นให้ระบบตอบสนองเร็ว ลดโอเวอร์ชูต และคงตัวเร็วแม้ในสภาพโหลดที่เปลี่ยนแปลงมุ่งเน้นการออกแบบที่เรียบง่ายและลดความซับซ้อนของการปรับแต่ง เพื่อตอบโต้ภัยการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดทรัพยากรทั้งหมดนี้สะท้อนให้เห็นถึงการพัฒนาของเทคโนโลยีการควบคุมพีไอดีคอนโทรลที่ผสานกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ในการควบคุมระบบสายพานลำเลียง

สมมติฐานการวิจัย

การควบคุมพีไอดีเชิงพยากรณ์ที่ขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีกับมอเตอร์ไฟฟ้า (DC Motor) ของสายพานลำเลียงผ่านการจัดการโซลิตสเตตรีเลย์อัจฉริยะ

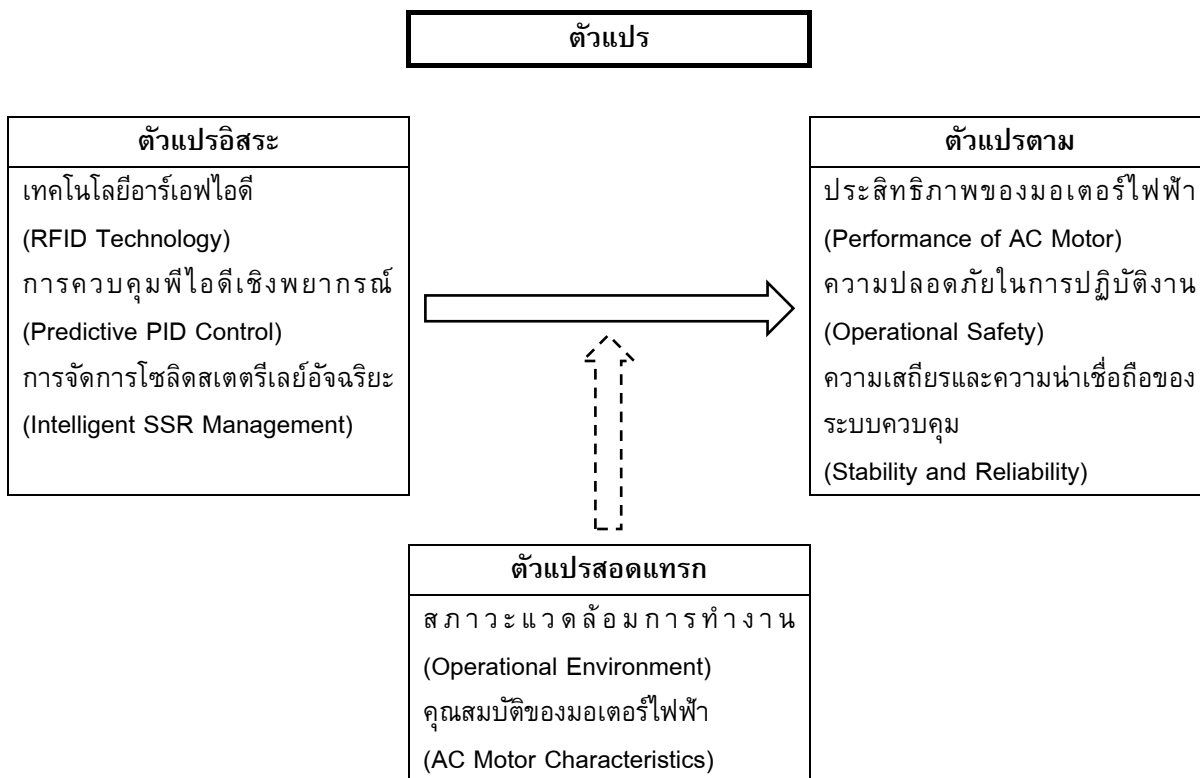
1) การควบคุมพีไอดีคอนโทรลสามารถปรับความเร็วของสายพานลำเลียงให้คงที่และใกล้เคียงกับค่าเป้าหมาย (Setpoint) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2) ค่าพารามิเตอร์ K_p , K_i , K_d ที่เหมาะสมจะช่วยลดความผิดพลาด (Error) ระหว่างค่าที่วัดได้และค่าเป้าหมาย รวมถึงลด overshoot และ settling time

3) การควบคุมรีเลย์ผ่านค่าสัญญาณเอาต์พุต (Output) ที่ได้จากพีไอดีคอนโทรลจะช่วยให้การเปิด/ปิดรีเลย์มีความต่อเนื่อง ลดการเปิดหรือปิดที่ไม่จำเป็น และช่วยเพิ่มเสถียรของระบบ

สมมติฐานเหล่านี้ช่วยให้การวิจัยมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาและปรับปรุงระบบควบคุมพีไอดีคอนโทรลเพื่อให้เหมาะสมกับการควบคุมสายพานลำเลียงที่ใช้รีเลย์ โดยมีความเสถียรและประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิด

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบควบคุมพีไอดีเชิงพยากรณ์ที่ขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า (DC Motor) ของสายพานลำเลียง ผ่านการจัดการโซลิตสเตตรีเลย์ (SSR) อัจฉริยะและเซนเซอร์อาร์เอฟไอดีช่วยรักษาระบบความปลอดภัยการทำงานของเครื่องจักร จะได้ภาพรวมของเครื่องจักรดังภาพที่ 2 และวิธีดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ศึกษาการออกแบบและพัฒนาระบบ

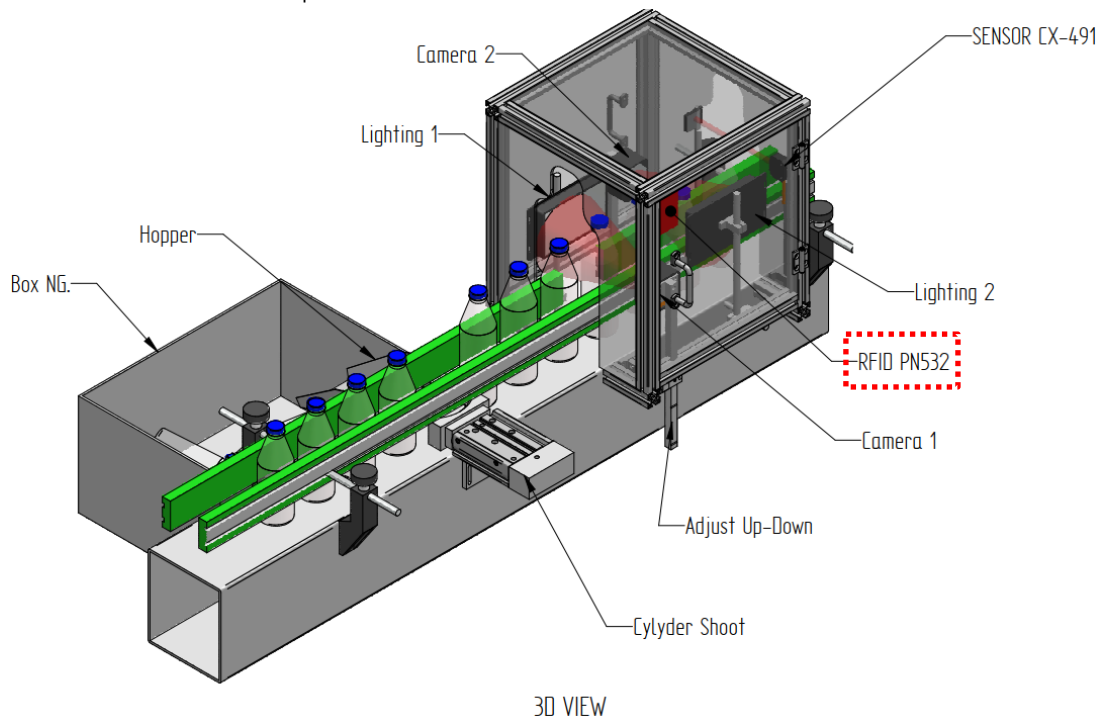
1) การกำหนดความต้องการและข้อกำหนดของระบบ

1.1) ศึกษาความต้องการของการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า ในภาคอุตสาหกรรม คือค่าความเร็ว, แรงบิด, ความแม่นยำ, และความปลอดภัย ระบุปัญหาและข้อจำกัดของระบบควบคุมที่มีอยู่ในปัจจุบัน

1.2) กำหนดสเปคของมอเตอร์ไฟฟ้าที่จะใช้ คือค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ระบุความต้องการของระบบอาร์เอฟไอดี และโซลิตรีเลย์ (SSR) ระบุการอ่านของ RFID ความถี่การสวิตช์ของโซลิตรีเลย์ (SSR)

การออกแบบโครงสร้างและระบบควบคุมพีไอดีคอนโทรล (PID Control)

1) ออกแบบและพัฒนาระบบที่รวมส่วนประกอบหลักดังนี้ มอเตอร์ไฟฟ้า โซลิตรีเลย์ (SSR) ตัวควบคุมพีไอดีคอนโทรล และเซนเซอร์เป็นอาร์เอฟไอดีกับกำหนดการเชื่อมต่อระหว่างส่วนประกอบต่างๆ และการไหลของสัญญาณข้อมูล ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ภาพการออกแบบโครงสร้างอุปกรณ์

2) ออกแบบวิธีการรับสัญญาณและประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์อาร์เอฟไอดีด้วยระยะ 2 เซนติเมตร กำหนดเงื่อนไขและกฎเกณฑ์ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของการคอนโทรล ตามสถานะของเซนเซอร์และปรับปรุงการสวิทช์ของโหลดรีเลย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดการสูญเสียพลังงาน

2.1) สมการพื้นฐานของตัวควบคุมพีไอดีคอนโทรล

ตัวควบคุมพีไอดี ประกอบด้วยสามส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนสัดส่วน (P), ส่วนอินทิกรัล (I), และส่วนดิฟเฟอเรนเชียล (D) สมการพื้นฐานของตัวควบคุมพีไอดีคอนโทรล (Ang et al., 2005; Guo et al., 2024) ดังสมการที่ 1

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad 1$$

โดยที่ $u(t)$ เป็นผลลัพธ์ของตัวควบคุม $e(t)$ คือค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ต้องการ (Setpoint) และค่าที่วัดได้ (Process Variable) $e(t) = r(t) - y(t)$ ตามด้วย K_p คือค่าคงที่ของสัดส่วน K_i ค่าคงที่ของส่วนอินทิกรัล และ K_d ค่าคงที่ของส่วนดิฟเฟอเรนเชียล

2.2) การผานข้อมูลจากเซนเซอร์อาร์เอฟไอดี การติดตั้งเซนเซอร์อาร์เอฟไอดีระยะ 2 เซนติเมตรสำหรับการอ่านแท็กและอ่านค่า UID โดยใช้ทำงานที่ความถี่ 13.56MHz โดยการทำงานจะส่งข้อมูลเกี่ยวกับสถานะการทำงานของเครื่องจักรที่มีสายพานลำเลียงทำงานหรือช่วยเรื่องความปลอดภัยในการเข้าถึงเมื่อมีเซนเซอร์ขณะทำงานอยู่ การปรับพารามิเตอร์พีไอดีตามสัญญาณเซนเซอร์อาร์เอฟไอดี เมื่อมีการตรวจพบสถานการณ์ที่จุดประตูดชุดกรอบ (Box) ของกล่องวิชันท่างานอยู่ ดังภาพที่ 2 นั้นหมายถึงการทำงานครบวงจรจากนั้นเป็นการควบคุมมอเตอร์ดีซี 12 โวลต์ มีการนำไปใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ ค่า K_p , K_i , K_d เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพและความเสถียรที่ดีขึ้นและการปรับสัญญาณควบคุมโดยตรงจากเซนเซอร์อาร์เอฟไอดีสามารถใช้ในการปรับสัญญาณควบคุม $u(t)$ โดยตรงเพื่อหยุดหรือเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์

2.3) สมการพีไอดีที่ขับเคลื่อนด้วยอาร์เอฟไอดี การปรับพารามิเตอร์พีไอดีด้วยฟังก์ชันจากเซนเซอร์อาร์เอฟไอดี ดังสมการที่ 2

ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2568)

$$K_p^* = K_p \cdot f_p(RFID)$$

$$K_i^* = K_i \cdot f_i(RFID)$$

2

$$K_d^* = K_d \cdot f_d(RFID)$$

เมื่อ $f_p(RFID)$, $f_i(RFID)$, $f_d(RFID)$ คือฟังก์ชันการปรับค่าพารามิเตอร์ตามข้อมูลจากเซนเซอร์อาร์เอฟไอดี ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

สมการที่ปรับปรุงแล้ว ดังสมการที่ 3

$$u(t) = K_p^* e(t) + K_i^* \int_0^t e(t) dt + K_d^* \frac{de(t)}{dt} \quad 3$$

การปรับสัญญาณควบคุมด้วยข้อมูลจากเซนเซอร์อาร์เอฟไอดี ดังสมการที่ 4

$$u(t) = [K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}] \cdot f_u(RFID) \quad 4$$

เมื่อ $f_u(RFID)$ คือฟังก์ชันการปรับสัญญาณควบคุม ซึ่งมีค่าดังนี้ $f_u(RFID) = 1$ คือสถานะปกติ $f_u(RFID) = 0$ คือสถานะมอเตอร์หยุดเมื่อประตูรอบจุดของกล่องวิชันทูกเปิดออก

2.4) การแปลงสัญญาณควบคุมเพื่อควบคุมโหลดรีเลย์ (SSR) เนื่องจากโหลดรีเลย์ทำงานแบบดิจิทัล (เปิดและปิด) การควบคุมกำลังที่ส่งไปยังมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถทำได้โดยใช้สัญญาณการปรับความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM)

การแปลง $u(t)$ เป็นสัญญาณการปรับความกว้างพัลส์ (PWM) กำหนดว่า $u(t)$ มีค่าระหว่าง $u_{\min}$ ถึง $u_{\max}$ สามารถคำนวณค่า Duty Cycle (D) ของสัญญาณพัลส์ (PWM) ได้ดังสมการที่ 5

$$D = \frac{u(t) - u_{\min}}{u_{\max} - u_{\min}} \quad 5$$

โดย D มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

2.5) สมการรวมของระบบควบคุม โดยมีสมการรวมที่ผานการทำงานของพีไอดีและเซนเซอร์อาร์เอฟไอดี ได้ดังสมการที่ 6

$$K_p^* = K_p \cdot f_p(RFID)$$

$$K_i^* = K_i \cdot f_i(RFID)$$

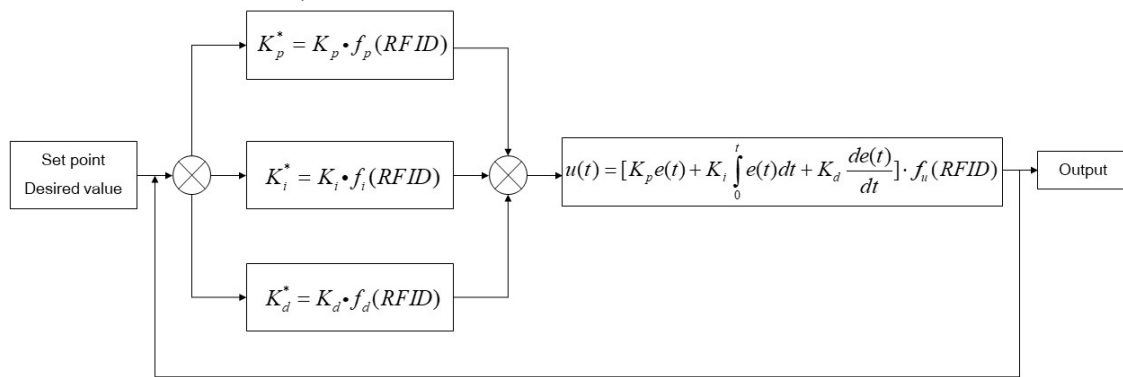
$$K_d^* = K_d \cdot f_d(RFID)$$

$$u(t) = [K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}] \cdot f_u(RFID) \quad 6$$

$$D = \frac{u(t) - u_{\min}}{u_{\max} - u_{\min}}$$

จากสมการที่ 6 ได้ออกแบบไดอะแกรมระบบพีไอดีคอนโทรลจากภาพการออกแบบโครงสร้างอุปกรณ์และการจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์เซนเซอร์ และออกแบบไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 3

ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2568)



ภาพที่ 3 ภาพไดอะแกรมระบบฟuzzyคอนโทรล

จากภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบการควบคุมฟuzzy ซึ่งรวมการปรับค่าเกนตามเซนเซอร์อาร์เอฟไอดีเป็นการทำให้สัญญาณควบคุมเป็นปกติ ตามด้วยภาพที่ 4 ชูโค้ดการอ่านค่าอาร์เอฟไอดีการคำนวณพารามิเตอร์ฟuzzy

```

1 Initialize RFID reader
2 Set initial PID parameters (Kp, Ki, Kd)
3 Set SSR pin for output
4
5 Loop:
6   Read RFID values
7   Calculate scaling factors (f_p, f_i, f_d, f_u) based on RFID
8
9   Adjust PID parameters:
10    Kp_star = Kp * f_p
11    Ki_star = Ki * f_i
12    Kd_star = Kd * f_d
13
14   Read motor speed (input)
15   Calculate error = setPoint - input
16
17   Calculate time difference (elapsedTime)
18
19   Compute PID terms:
20     Proportional = Kp_star * error
21     Integral += error * elapsedTime
22     Derivative = (error - previousError) / elapsedTime
23
24   Calculate output = (Proportional + Ki_star * Integral + Kd_star * Derivative) * f_u
25
26   Scale output (D) to range 0-1
27
28   Set SSR output based on scaled output
29
30   Update previous error
31
32   Wait for a short delay
33 End Loop

```

ภาพที่ 4 ภาพชูโค้ดการอ่านค่าอาร์เอฟไอดีการคำนวณพารามิเตอร์ฟuzzy

จากภาพที่ 4 เป็นการประยุกต์ใช้จากสมการนำมาปรับใช้กับการโปรแกรมด้วยภาษาซีควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เริ่มต้นการทำงานของเซนเซอร์อาร์เอฟไอดีและใช้เพื่อปรับพารามิเตอร์ฟuzzyแบบไดนามิกตามค่าอาร์เอฟไอดีสัญญาณควบคุมฟuzzyจะคำนวณเอาต์พุตและปรับโวลต์รีเลย์สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้างภาพที่ 5

ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2568)



ภาพที่ 5 ภาพงานแมชชีนวิชั่นและสายพานมอเตอร์ดีซี

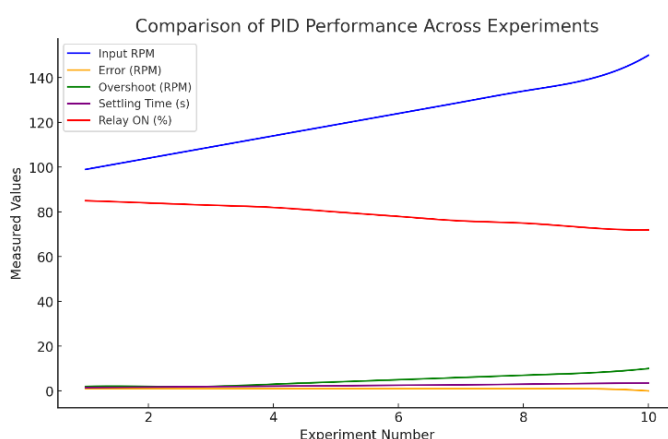
จากภาพที่ 5 นำมาปรับใช้กับมอเตอร์ดีซีบนสายพานการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ การทำงานจะสามารถในสภาพแวดล้อมอุณหภูมิห้องปกติ ที่ไม่มีสัญญาณอื่นรบกวน จึงสามารถทำงานได้ซ้ำๆ ได้นั้นฟังก์ชันการทำโปรแกรมที่สามารถปรับแต่งค่าได้ตามความต้องการให้เหมาะสมกับการใช้งานกับการลำเลียงขวดน้ำขนาด 350 มิลลิลิตร

การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

- 1) ทดสอบความสามารถของระบบควบคุมพีไอดี ในการรักษาความเร็วของสายพานลำเลียงให้อยู่ในค่าที่กำหนด (Setpoint)
- 2) วิเคราะห์ผลการทำงานของรีเลย์ที่ควบคุมสายพานลำเลียงเพื่อความต่อเนื่องและเสถียรภาพ
- 3) ตรวจสอบผลกระทบจากค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ต่อการเปิด/ปิดรีเลย์

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์จากการทดสอบความสามารถของระบบควบคุมพีไอดีสำหรับการรักษาความเร็วของมอเตอร์ดีซีให้คงที่ใกล้เคียงกับจุดตั้งค่าเป็น 150 RPM วิเคราะห์พฤติกรรมของค่าสัญญาณอินพุต (Input) ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) สัญญาณเอาต์พุต (Output) และสถานะการทำงานของรีเลย์ แสดงดังภาพที่ 6 ภาพที่ 7 และภาพที่ 8

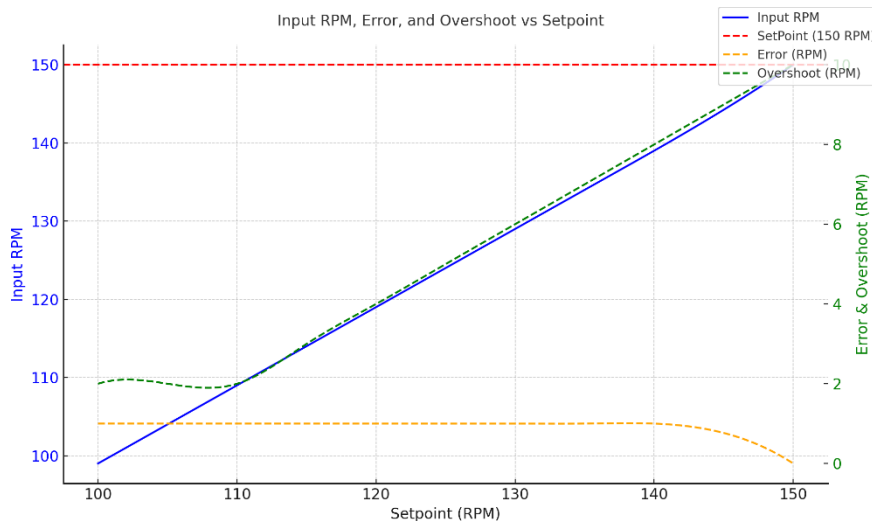


ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบการแสดงค่าอินพุตและค่าความคลาดเคลื่อน

จากภาพที่ 6 การแสดงกราฟพบว่าค่าพารามิเตอร์พีไอดีที่แตกต่างกันในมอเตอร์ดีซีส่งผลต่อประสิทธิภาพการควบคุมในหลายด้าน โดยค่า K_p มีผลโดยตรงต่อความเร็วในการลดค่าความคลาดเคลื่อน (Error) และความเสถียรของระบบ ในขณะที่ค่า K_i ช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนสะสม แต่หากมีค่าสูงเกินไปอาจทำให้เกิด Overshoot และถ้า

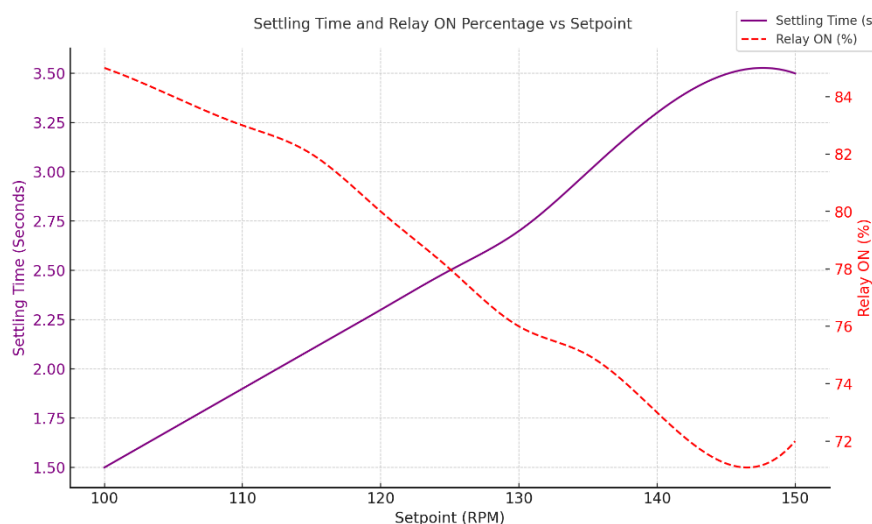
ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2568)

ต่ำเกินไปจะเป็นปัญหา Integral Windup ส่วนค่า K_d มีบทบาทสำคัญในการลด Overshoot และช่วยให้ระบบตอบสนองได้อย่างราบรื่น จากการทดลองพบว่าเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสม คือ $K_p = 2.5$, $K_i = 0.03$, $K_d = 0.15$ ระบบสามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนให้เป็นศูนย์ ชดเชย Overshoot และลด Settling Time เหลือเพียง 1.5 วินาที ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่แสดงถึงประสิทธิภาพสูงสุดของระบบ



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบกราฟ Input RPM, Error และ Overshoot เทียบกับ Setpoint

จากภาพที่ 7 การแสดงพบว่าการปรับพารามิเตอร์พีไอดี โดยกำหนดค่า $K_p = 2.5$, $K_i = 0.03$ และ $K_d = 0.15$ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีของระบบ โดยสามารถลดค่าความคลาดเคลื่อน (Error) เหลือเพียง 1 RPM ในทุกระดับของค่า Setpoint และเมื่อกำหนด Setpoint ที่ 150 RPM พบว่า Overshoot ลดลงในทุกระดับของ Setpoint โดยมีค่าไม่เกิน 10 RPM แม้ในกรณี Setpoint สูง ส่วน Settling Time อยู่ในช่วง 1.5-3.5 วินาที



ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบกราฟ Settling Time และ Relay ON (%) เทียบกับ Setpoint

จากภาพที่ 8 ค่า Relay ON มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับ Setpoint ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการควบคุมมอเตอร์ดีซีได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิภาพสูงในทุกช่วงของ Setpoint ที่กำหนด

ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2568)

ผลการทดลองจากตารางที่ 1 พบว่าการวิเคราะห์ผลการทดลองระบบควบคุมความเร็วรอบ (RPM) จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 1 สามารถแบ่งการทำงานของระบบออกเป็น 3 ช่วงหลัก คือช่วงที่ 1 ระยะเริ่มต้น (นาทีที่ 5-15) ระบบยังอยู่ในช่วงปรับตัว ค่าความผิดพลาดระหว่างความเร็วที่ต้องการ (Setpoint) กับความเร็วที่ได้สัญญาณอินพุต (Input) มีค่อนข้างสูง สภาวะของรีเลย์จึงสลับไปมาระหว่าง ON และ OFF เนื่องจากผลลัพธ์ของระบบยังไม่คงที่พอที่จะรักษาความเร็วให้คงที่ได้ สาเหตุจากช่วงแรกของการทำงานระบบมีค่าความผิดพลาดสูงจากตัวควบคุมพีไอดียังอยู่ในระยะปรับตัวและมอเตอร์ยังไม่สามารถรักษาค่าความเร็วให้คงที่ได้ เมื่อการทำงานผ่านไปเวลาที่ 35 นาที ระบบสามารถเข้าสู่สถานะคงตัวและรีเลย์ทำงานในสถานะ ON ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถควบคุมความเร็วได้ดีขึ้นภาพรวมการแสดงผลของตารางมีการปรับค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมเพื่อให้ระบบตอบสนองเร็วขึ้น และลดค่าความผิดพลาดช่วงต้นให้ต่ำลง

จากตารางที่ 2 พบว่าการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Relay ON (%) กับเสถียรภาพของระบบ ที่มีเซนเซอร์อาร์เอฟไอดีทำหน้าที่เป็นสวิตช์ โดยเริ่มต้นที่ 72% พบว่าในช่วง 72-74% ระบบมีเสถียรภาพระดับปานกลางเนื่องจากการเปิด-ปิด รีเลย์ค่อนข้างบ่อยจำนวน 4-5 ครั้ง ซึ่งอาจทำให้เกิดการกระเพื่อมเล็กน้อย เมื่อเพิ่มค่า Relay ON เป็น 75% ระบบเริ่มมีเสถียรภาพดีขึ้น และในช่วง 78-81% ระบบแสดงเสถียรภาพระดับสูงพร้อมการสลับรีเลย์ที่น้อยลง โดยจำนวนครั้งของการ เปิด-ปิด ลดลงจาก 5 ครั้งเหลือเพียง 1 ครั้งที่ 81% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มค่า Relay ON มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของรีเลย์ โดยช่วยลดการสึกหรอและยืดอายุการใช้งาน ทั้งนี้ความเสถียรภาพของระบบจะเพิ่มขึ้นตามค่า Relay ON โดยเฉพาะในช่วง 78-81% ซึ่งระบบสามารถควบคุมได้อย่างรวดเร็วและ Error ลดลงจนแทบไม่มีผลกระทบต่อการทำงาน

ตารางที่ 1 การทดสอบความเสถียรภาพของระบบ

No	Minute	Setpoint (RPM)	Input (RPM)	Error (RPM)	P = 1.0	I = 0.01	D = 0.05	Output	Relay Status
1	5	150.00	117.00	33	33.00	3.30	1.65	50.00	ON/OFF
2	10	150.00	119.00	31	31.00	6.40	-0.10	50.00	ON/OFF
3	15	150.00	120.00	30	30.00	12.30	0.40	50.00	ON/OFF
4	20	150.00	128.00	22	22.00	9.30	0.75	50.00	ON/OFF
5	25	150.00	133.00	17	17.00	36.80	0.20	54.00	ON/OFF
6	30	150.00	134.00	16	16.00	111.40	0.20	127.60	ON/OFF
7	35	150.00	142.00	8	8.00	74.60	-0.30	82.30	ON
8	40	150.00	143.00	7	7.00	108.60	-1.60	114.00	ON
9	45	150.00	146.00	4	4.00	119.60	-1.60	122.00	ON
10	50	150.00	147.00	3	3.00	104.00	-0.15	106.80	ON

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์การเปิด-ปิดรีเลย์ตามค่าผลลัพธ์ (output)

ลำดับ	Setpoint (RPM)	Output Threshold	Relay ON (%)	Relay OFF (%)	จำนวนครั้งเปิด-ปิด	เสถียรภาพของ ระบบ
1	150	50	72	28	5	ปานกลาง
2	150	55	73	27	4	ปานกลาง
3	150	60	74	26	4	ปานกลาง
4	150	65	75	25	3	ดี

ลำดับ	Setpoint (RPM)	Output Threshold	Relay ON (%)	Relay OFF (%)	จำนวนครั้งเปิด-ปิด	เสถียรภาพของ ระบบ
5	150	70	76	24	3	ดี
6	150	75	77	23	2	ดี
7	150	80	78	22	2	สูง
8	150	85	79	21	2	สูง
9	150	90	80	20	2	สูง
10	150	95	81	19	1	สูง

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาการวิจัยนี้มุ่งวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยทฤษฎีการควบคุมพีไอดีคอนโทรลร่วมกับเซนเซอร์อาร์เอฟไอดีในฐานะสวิตช์ควบคุม โดยพิจารณาจากหลักการ 4 ขั้นตอนดังนี้

การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบมีผลการศึกษาคือ การปรับจูนพีไอดีคอนโทรลที่ค่า $K_p = 2.5$, $K_i = 0.03$, $K_d = 0.15$ ส่งผลให้ระบบมีสมรรถนะที่ดีขึ้น ค่า Overshoot ลดลงจนไม่มีนัยสำคัญ และค่า Settling Time ลดลงเหลือ 1.5 วินาทีที่ความเร็วรอบอ้างอิง 150 RPM ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ควบคุมที่เหมาะสมส่งผลค่าการตอบสนองชั่วคราว (Non-oscillatory Response) ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่พึงประสงค์สำหรับระบบควบคุมความเร็วรอบที่ต้องการความแม่นยำสูง การวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์พีไอดีคอนโทรลครั้งนี้ได้เพิ่มค่า K_p มีผลโดยตรงต่อการลดค่า Error ในขณะที่ K_i และ K_d มีบทบาทสำคัญกับ Overshoot และควบคุมการแกว่งตัวของระบบ การศึกษาพบว่าค่า K_i ที่สูงเกินไปนำไปสู่การเกิด Integral Windup และค่า K_d ที่ต่ำเกินไปจะส่งผลให้ Overshoot สูง ดังนั้นความสมดุลระหว่างพารามิเตอร์ K_p , K_i , K_d มีความสำคัญต่อสมรรถนะโดยรวมของระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบทบาทของค่า K_d ที่สูงในระดับปานกลางจะช่วยลดการแกว่งตัวของระบบ

การวิเคราะห์ผลกระทบของค่าความเร็วรอบ (Setpoint) ระบบแสดงสมรรถนะที่ดีในช่วงความเร็วรอบ 100-150 RPM โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ อย่างไรก็ตามที่ความเร็วรอบสูงกว่า 150 RPM พบว่าค่าความคลาดเคลื่อน ค่า Overshoot และเวลาเข้าที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบ (Setpoint) ดังนั้นการควบคุมที่ความเร็วรอบสูงจำเป็นต้องปรับค่า K_d ให้สูงขึ้นเพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบ แม้ว่าจะส่งผลให้ระบบใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวนานขึ้น

การวิเคราะห์พฤติกรรมการทำงานสวิตช์รีเลย์มีอัตราส่วนการทำงานของรีเลย์ (Relay On) ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 75-85% โดยค่าต่ำกว่า 70% ส่งผลให้เกิดการทำงานของสวิตช์ที่ถี่เกินไป ซึ่งอาจส่งผลต่ออายุการใช้งานของอุปกรณ์ไม่คงทน ดังนั้นการควบคุมอัตราส่วนการทำงานของรีเลย์ร่วมกับการใช้งานกับเซนเซอร์อาร์เอฟไอดีเป็นสวิตช์ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการตรวจจับและควบคุมการทำงานของระบบ การกำหนดค่า Output Threshold ที่เหมาะสมมีความสำคัญต่อการลดความถี่ในการทำงานของสวิตช์และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการออกแบบระบบควบคุมแบบบูรณาการโดยการผสมผสานระหว่างการควบคุมแบบพีไอดีคอนโทรล และจัดการรีเลย์ที่เหมาะสมร่วมกับการประยุกต์ใช้เซนเซอร์อาร์เอฟไอดี สามารถนำไปสู่ระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงที่มีประสิทธิภาพและเสถียรภาพสูง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน ค่า Overshoot และ Settling Time ลดลงเมื่อระบบอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ส่งผลให้ระบบมีความแม่นยำสำหรับการประยุกต์ใช้งานจริง

การเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผลการศึกษาครั้งนี้นำเสนอให้เห็นว่าการควบคุมพีไอดีเชิงพยากรณ์ที่ขับเคลื่อนด้วยอาร์เอฟไอดีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับแนวทางที่ใช้ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ ระบบสามารถปรับพารามิเตอร์พีไอดีได้ ทำให้ลดค่า Overshoot, Steady-State Error และ Settling Time ได้ดีกว่าระบบที่ใช้ PID แบบดั้งเดิมหรือ PID ที่ปรับค่าด้วย

ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2568)

อัลกอริทึมเชิงคำนวณ เช่น PSO-PID หรือ Fuzzy-PID นอกจากนี้ การออกแบบระบบที่สามารถรักษาสถานะ Relay ON คงที่ 75-85% ยังช่วยลดภาระการสลับสถานะของรีเลย์และยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบที่แตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบว่ารีเลย์มีการทำงานถี่เกินไปจึงส่งผลให้เกิดการสึกหรอของอุปกรณ์เร็วขึ้น ด้านความแตกต่างของผลการทดลองกับงานวิจัยอื่นและสาเหตุความแตกต่างระบบที่พัฒนาขึ้นมีความแตกต่างจากแนวทางเดิมที่มีอัลกอริทึมปรับค่าพีไอดีแบบออฟไลน์ซึ่งมีข้อจำกัดด้านความซับซ้อนของการคำนวณและเวลาการตอบสนองขณะที่ระบบนี้ใช้อาร์เอฟไอดีเป็นตัวแปรป้อนกลับแบบเรียลไทม์ ทำให้สามารถปรับค่าพารามิเตอร์พีไอดีได้โดยไม่ต้องอาศัยกระบวนการปรับค่าแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ระบบยังช่วยเสริมมาตรการด้านความปลอดภัยโดยใช้อาร์เอฟไอดีควบคุมการหยุดการทำงานของเครื่องจักรอัตโนมัติซึ่งเป็นแนวทางใหม่ที่ยังไม่เคยมีการนำเสนอในงานวิจัยก่อนหน้านี้

ข้อเสนอแนะที่ได้รับจากการวิจัย

จากผลการศึกษาระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ ด้วยตัวควบคุมพีไอดีคอนโทรลร่วมกับเซนเซอร์อาร์เอฟไอดี สามารถนำเสนอแนวทางการพัฒนาและปรับปรุงระบบอื่นได้ดังนี้

- 1) การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบปรับตัวได้ (Adaptive PID Controller) เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ระบบและความเร็วรอบมอเตอร์
- 2) การพัฒนาขั้นตอนวิธีในการกำหนดค่า Output Threshold ที่เหมาะสมกับแต่ละช่วงความเร็วรอบมอเตอร์
- 3) การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้รีเลย์เพื่อเพิ่มความทนทานและประสิทธิภาพการทำงานร่วมกับเซนเซอร์อาร์เอฟไอดี
- 4) การปรับปรุงประสิทธิภาพของเซนเซอร์อาร์เอฟไอดีเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับแท็ก (Tag)

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- 1) ศึกษาการควบคุมในสภาพแวดล้อมที่มีโหลดที่เปลี่ยนแปลง โดยทดลองเพิ่มหรือลดน้ำหนักของโหลดบนสายพานลำเลียง เพื่อประเมินการตอบสนองของพีไอดีคอนโทรลและระบบรีเลย์
- 2) การผสานกับ Fuzzy Logic เพื่อช่วยในการตัดสินใจและปรับพารามิเตอร์ในระบบที่ซับซ้อน
- 3) การเปรียบเทียบการทำงานของเซนเซอร์อาร์เอฟไอดีกับเซนเซอร์ประเภทอื่น เช่น เซนเซอร์อัลตราโซนิก เซนเซอร์วิชัน

เอกสารอ้างอิง

- Ambareen, J., Prabhakar M, & Ara, T. (2020). *Edge Data Security for RFID-based Devices*. A paper presented at the 2020 International Conference on Smart Technologies in Computing, Electrical and Electronics, Bengaluru, India.
- Ang, K., Chong, G., & Li, Y. (2005). PID control system analysis, design, and technology. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 13(4), 559-576.
- Brinker, K., & Zoughi, R. (2022). A Review of Chipless RFID Measurement Methods, Response Detection Approaches, and Decoding Techniques. *IEEE Open Journal of Instrumentation and Measurement*, 1, 8000331.
- De Amorim, R., Barbot, N., Siragusa, R., Trehoult, C., Lyannaz, L., & Perret, E. (2022). *Design and Manufacture of Resonant Chipless Tags in Millimeter-Wave Band*. A paper presented at the IEEE 12th International Conference on RFID Technology and Applications, Cagliari, Italy.
- Du, H., Peng, X., Yang, G., & Yang, X. (2024). Design of RFID-based weight sorting and transportation robot. *Paladyn, Journal of Behavioral Robotics*, 15, 20240001.

- Guo, X., Lin, Z., Yang, D., Yang, Y., Jiang, L., & Liu, Y. (2024). Experimental evaluation on PID-based adaptive longitudinal ventilation control of tunnel fire smoke. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 254, 105884.
- Hage-Ali, S., Mengue, P., Paulmier, B., Maufay, J., Youbi, U., & Floer, C. (2023). SAW-RFID Sensors for Industrial Applications. A paper presented at the IEEE 13th International Conference on RFID Technology and Applications, Aveiro, Portugal.
- Hsieh, T., & Smith, S. (2024). An innovative AR-assisted self-adjusting digital twin for speed control of a servomechanism. *Computers & Industrial Engineering*, 193, 110328.
- Ji, J., Miao, C., Li, X., & Liu, Y. (2020). *Research on speed control algorithm of belt conveyor based on controllable parameter PSO-PID*. A paper presented at the 7th International Conference on Information Science and Control Engineering, Changsha, China.
- Joelianto, E., Nadhira, V., Hammami, H., & Hariyadi. (2021). Cyber-Physical Systems-Based PID Controller for Three Interacting Tank Process Level Control. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1096, 012064.
- Juraj, D., Gabriel, G., Roman, B., Ivan, S., & Peter, H. (2023). A Low-Power Data Logger with Simple File System for Long-Term Environmental Monitoring in Remote Areas. *IEEE Sensors Journal*, 23, 1-18.
- Mostaccio, A., Amendola, S., Occhiuzzi, N., Martinelli, E., & Marrocco, G. (2023). *Ultra-low power RFID-based wake-up architectures for wireless sensor networks in industrial plants*. A paper presented at the IEEE 13th International Conference on RFID Technology and Applications, Aveiro, Portugal.
- Previtali, D., Pitturelli, L., Ferramosca, A., & Previdi, F. (2024). Model-based design of the temperature controller of a shrink tunnel. *IFAC-PapersOnLine*, 58(14), 49-54.
- Rahman, M., Rafsy, Y., Sarker, M., & Shahjalal, M. (2024). *Design of a PID Controller-Based Permanent Magnet DC Motor Driven Conveyor Belt System for Industrial Automation*. A paper presented at the 2024 International Conference on Advances in Computing, Communication, Electrical, and Smart Systems, Dhaka, Bangladesh.
- Rugo, A., Ardagna, C., & El ioini, N. (2022). A Security Review in the UAVNet Era: Threats, Countermeasures, and Gap Analysis. *ACM Computing Surveys*, 55(1), 1-35.
- Shen, G., Zhang, J., Wang, X., & Mao, S. (2024). Federated Radio Frequency Fingerprint Identification Powered by Unsupervised Contrastive Learning. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 19, 9204-9215.
- Sugumar, S., Aishwarya, V., Govardhan, B., Gowtham, S., & G Hariharan. (2023). *Asset Tracking and Monitoring Using RFID Technology for Industries*. A paper presented at the 7th International Conference on Design Innovation for 3 Cs Compute Communicate Control, Karnataka, India.
- Wang, L., Mao, W., Wu, C., Chang, A., & Lian, Y. (2016). *A fast transient LDO based on dual loop FVF with high PSRR*. A paper presented at the IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems, Jeju, Korea (South).
- Widodo, S., Amin, M., Sutrisman, A., Cofriyanti, E., & Puji, R. (2020). Implementation of Parking Portal Door Security System Using RFID and Password Based on Microcontrollers in Sriwijaya State Polytechnic. *Journal of Physics: Conference Series*, 1500, 012114.

ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2568)

Zhang, D., Zhang, Y., Yue, Y., Zhou, M., Yuan, C., & Li, C. (2024). Optimal design of robust control for belt conveyor systems based on fuzzy dynamic model and Nash game. *Journal of the Franklin Institute*, 361(11), 106925.

Zhang, X., Xia, D., Fu, Z., Wang, G., & Xu, D. (2018). An Improved Feedforward Control Method Considering PLL Dynamics to Improve Weak Grid Stability of Grid-Connected Inverters. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(5), 5143-5151.

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

Conflicts of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



Copyright: © 2025 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).