



ระบบแขนกลแบบคาร์ทีเซียนสำหรับการหมุนฝาปิดช่องเติมของเหลว แบตเตอรี่อัตโนมัติ

CARTESIAN ARM FOR AUTOMATIC SCREWING SYSTEM OF BATTERY FILLER CAP

เอกรัตน์ ชะอู่เมียด^{1*}

Accarat Chaoumead^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขต
อ.เมือง จ.ปทุมธานี ประเทศไทย 65000

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of
Technology Lanna Phitsanulok, Mueang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author: eakrat@hotmail.com

วันที่เข้ารับระบบ 2 ตุลาคม 2562

วันที่แก้ไขบทความ 5 พฤศจิกายน 2562

วันที่ตอบรับบทความ 20 ธันวาคม 2562

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์จากการศึกษาวิจัยนี้ เพื่อการออกแบบและพัฒนากลไกที่มีลักษณะเป็นแขนกล
เสริมระบบชาร์จแบตเตอรี่อัตโนมัติ โดยการออกแบบและสร้างแขนกลแบบคาร์ทีเซียนควบคุมระบบ
การทำงานด้วยอาแด็ปเตอร์ เพื่อทำการเปิดและปิดฝาจากแบตเตอรี่ทุติยภูมิประเภทน้ำและจับฝาจาก
แบตเตอรี่ยกขึ้นขณะทำการอัดประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 35 แอมป์ การออกแบบแขนกลที่มีต้น
กำลังจากสเต็ปมอเตอร์การขับเคลื่อนในแนวแกน Y ประสิทธิภาพด้านความแม่นยำในการเคลื่อนที่
ลักษณะงานเคลื่อนที่ขึ้นระยะ 100 มิลลิเมตร ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 0.21 และลักษณะ
งานเคลื่อนที่ลงระยะ 100 มิลลิเมตร ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 0.26 สำหรับจังหวะจับฝาจาก
แบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุ ลักษณะการขับเคลื่อนในแนวแกน Y ด้วยการขึ้นและลงด้วยระยะ
50 มิลลิเมตร ประสิทธิภาพด้านความแม่นยำในการเคลื่อนที่ขึ้นมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ร้อยละ
0.44 และในการเคลื่อนที่ลงมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ร้อยละ 0.26 ในการเปิดฝาจากแบตเตอรี่นั้น
ลักษณะงานเป็นการหมุนเพื่อขันเกลียวเปิดและปิด ต้องใช้แรงบิดเพื่อหมุนฝาในจังหวะเปิดและปิด
โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แรงบิดที่เกิดขึ้นในการเปิดสูงสุด 0.3 นิวตัน-เมตร กระแส 0.2 แอมป์
และแรงบิดในการปิดสูงสุด 0.31 นิวตัน-เมตร กระแส 0.33 แอมป์ การทดสอบเปิดและปิดจาก
แบตเตอรี่พบว่าสามารถทำงานได้ไม่มีความผิดพลาด

คำสำคัญ: คาร์ทีเซียน, แขนกลแบบคาร์ทีเซียน, อาแด็ปเตอร์

Abstract

The purpose of this study was to design and construct the mechanism of mechanic arm to enhance automatic battery with cartesian model to control the working system by Arduino in opening and closing the cover of water type storage battery as well as lifting the cover while charging the 12 V 35 A battery. The mechanic arm with driving power initial from stepping motor of Y axis movement was designed. For the efficiency in accuracy rate at the 100 millimeters of up movement, the average approximation error was 0.21% and at the 100 millimeters of down movement, the average approximation error was 0.26%. For the time in catching the battery cover while charging with driving movement in Y axis with up and down movement at 50 millimeters, it was found that the average approximation error in efficiency of accuracy rate for the up movement was 0.44% and that of the down movement was 0.26%. Opening or closing the battery cap can be done by screwing, so the torque must be applied by using direct current motor. The maximum torque to open was 0.3 newton-meter when the current taken by the motor was 0.2 A, and the maximum torque to close was 0.31 newton-meter when the current taken by the motor was 0.33 A. Finally, it was found that there was no mistake occurred during the testing on opening and closing the battery cover.

Keywords: Cartesian, Filler cap, Arduino

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการใช้แบตเตอรี่เป็นสิ่งจำเป็นต่อยานยนต์และเครื่องมือทางการเกษตร ที่ต้องอาศัยไฟฟ้าในการเริ่มต้นการทำงานของระบบเครื่องยนต์ อีกทั้งเป็นส่วนสำหรับจัดเก็บและสำรองพลังงานไฟฟ้าในระบบพลังงานทดแทน แบตเตอรี่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่นและแบตเตอรี่แบบไม่เติมน้ำกลั่น โดยปกติทั่วไปแบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่นจะมีอายุการใช้งานเฉลี่ย 2 ปี ขึ้นอยู่กับการใช้งานและการบำรุงรักษา ซึ่งแบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่นมีใช้กันโดยทั่วไปเนื่องจากง่ายต่อการบำรุงรักษา อีกทั้งแบตเตอรี่แบบไม่เติมน้ำกลั่นหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าแบตเตอรี่ยังมีราคาสูงมาก การบำรุงรักษาแบตเตอรี่น้ำเพื่อให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ ยืดอายุการใช้งาน ต้องมีการเติมน้ำกลั่นและใช้ระบบสลายซัลเฟตที่เกิดจากปฏิกิริยาจากการใช้งาน โดยซัลเฟตจะเกาะที่แผ่นธาตุของแบตเตอรี่ส่งผลให้อายุการใช้งานสั้นลง (ชนารักษ์, 2562) แต่การใช้สลายซัลเฟตนั้นใช้หลักการสร้างสัญญาณความถี่ (PWM) ควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่สิ่งที่

เกิดขึ้น คือ แบตเตอรี่จะร้อนขึ้นและเกิดสภาวะการเดือดของน้ำกลั่นภายในแบตเตอรี่ เป็นอันตรายอย่างยิ่งหากสุดคมเข้าสู่ร่างกายและกัดกร่อนหากผู้ใช้งานสัมผัส (เอกชัย, 2556) ในอุตสาหกรรมปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากหุ่นยนต์ที่เข้ามาทำงานในส่วนที่อาจจะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานซึ่งควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่จะนำไปประยุกต์ (สุกัญญา, 2562) ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกสร้างแขนกลแบบคาร์ทีเซียน เนื่องจากการเคลื่อนที่เป็นแบบเชิงเส้น และควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (จุฬา, 2560) ชนิดอาδυโนที่ผู้พัฒนาสามารถประยุกต์ใช้ในงานควบคุมที่มีความซับซ้อนได้และมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง

ดังนั้น จากอันตรายที่อาจจะส่งผลต่อผู้ใช้งาน จึงได้ออกแบบและสร้างชุดแขนกลสำหรับการเปิดและปิดฝาจุกแบตเตอรี่สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ที่มีระบบสลายเซลล์เฟต โดยใช้หลักการแขนกลแบบคาร์ทีเซียนควบคุมการทำงานด้วยอาδυโนสำหรับเปิดและปิดฝาจุกแบตเตอรี่อัตโนมัติ เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งานและแนวทางในการพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับงานอุตสาหกรรม

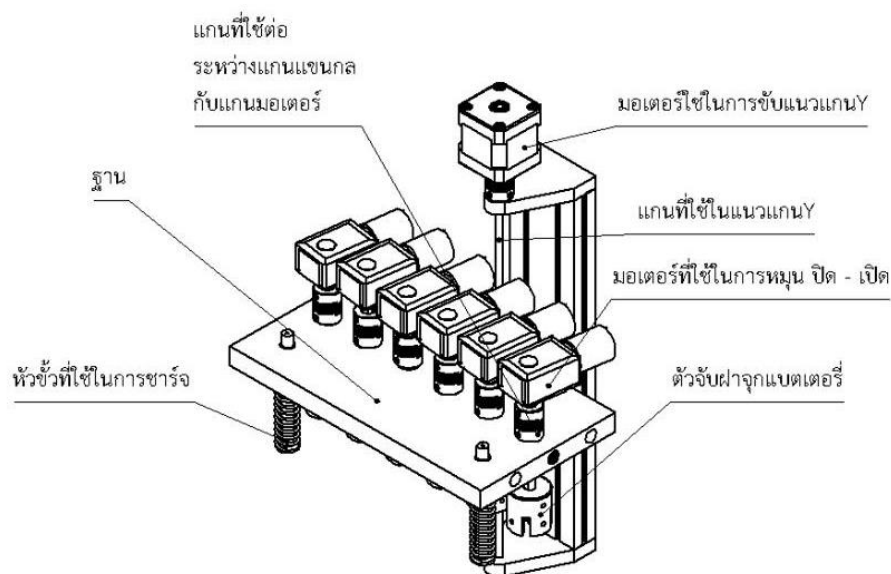
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบแขนกลการเคลื่อนที่แบบคาร์ทีเซียนกับงานเปิดและปิดฝาจุกแบตเตอรี่
- 2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของแขนกลแบบคาร์ทีเซียนด้วยการควบคุมจากอาδυโน
- 2.3 เพื่อศึกษาแรงบิดกับกระแสไฟฟ้าด้วยชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการเปิดและปิดฝาจุกแบตเตอรี่

3. วิธีดำเนินการวิจัย

- 3.1 การออกแบบและสร้างชุดแขนกลเปิดและปิดฝาจุกแบตเตอรี่ระบบชาร์จแบตเตอรี่อัตโนมัติ

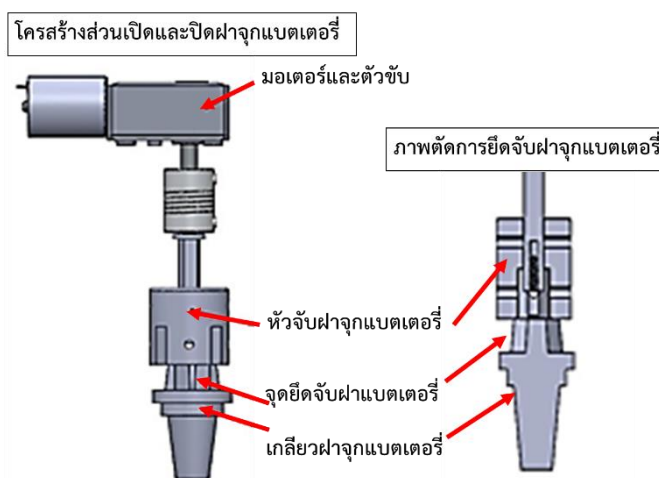
การออกแบบชุดแขนกลแบบคาร์ทีเซียนและหัวจับฝาจุกแบตเตอรี่ ต้องอาศัยการทำงานอย่างเป็นระบบ มีลำดับขั้นตอนที่ชัดเจนในการขับเคลื่อนกลไกให้เข้าสู่ตำแหน่งการทำงาน การขึ้นและลงอย่างเป็นจังหวะด้วยอาδυโนหมุนเกลียวแบบบอลสกรูขับเคลื่อนในแนวแกน Y บนราง (สมฤกษ์, 2560) การออกแบบตัวจับยกและปิดฝาเกลียวจุกแบตเตอรี่ เพื่อเปิดและปิดฝาจุกที่เป็นพลาสติกโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นต้นกำลัง ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การออกแบบโครงสร้างชุดแขนกลเปิดและปิดฝาจากแบตเตอรี่

3.2 การออกแบบส่วนจับยกและปิดฝาจากแบตเตอรี่

ในการออกแบบส่วนนี้ เป็นส่วนที่ยากและซับซ้อนเนื่องจากฝาจากแบตเตอรี่เป็นพลาสติกสามารถสึกหรองได้ง่าย พื้นผิวค่อนข้างลื่นและพื้นที่ในการจับฝาเพื่อยกมีพื้นที่น้อย และต้องคำนึงถึงแรงบิดที่เกิดขึ้นในขณะบิดเพื่อเปิดและปิดฝาที่เป็นเกลียวในลักษณะเป็นเกลียว มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือ ตัวจับ และหัวจับ โดยตัวจับใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสั่งงานด้วยอาดยุโน ในส่วนหัวจับทำการออกแบบเฉพาะงานใช้กลไกจับยึดเพื่อไม่ให้หลุดจากหัวจับขณะอัดประจุแบตเตอรี่และจิ้งหะขึ้นลง ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบและกลไกการจับยกและปิดฝาจากแบตเตอรี่

3.3 การเคลื่อนที่เข้าหาจุดที่ต้องการกับการส่งสัญญาณพัลส์ในโปรแกรมการทำงานของอาดยุโน

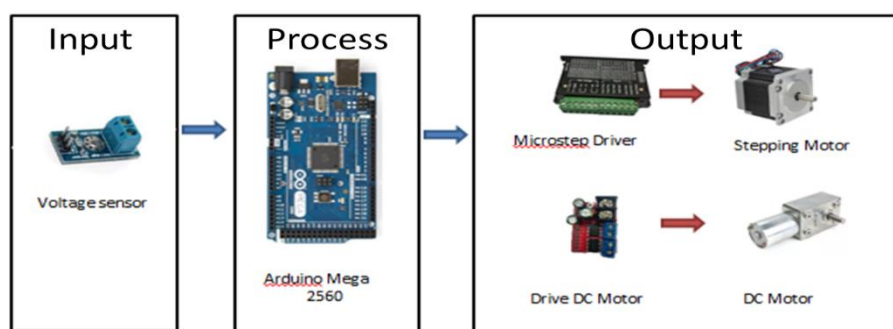
ขั้นตอนแรกในการสั่งงานด้วยโปรแกรมที่กำหนดการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งการทำงาน (จอมภพ, 2560) โดยอาดยุโนทำการส่งสัญญาณพัลส์ไปยังสเต็ปมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปตามระยะพิทซ์ในแนวแกน Y ของเกลียวสกรูบอลมีการเคลื่อนที่เชิงเส้น 2 มิลลิเมตรต่อการหมุน 1 รอบ หรือ 360 องศา โดยการควบคุมสเต็ปมอเตอร์ที่สัญญาณ 1 พัลส์ เกลียวสกรูบอลเคลื่อนที่ 1.8 องศา นั้นหมายความว่าถ้าต้องการให้สเต็ปมอเตอร์ขับเคลื่อนสกรูบอล 1 รอบ 360 องศา อาดยุโนต้องส่งสัญญาณพัลส์ 200 พัลส์ซึ่งจะได้การเคลื่อนที่ 2 มิลลิเมตร

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของระยะเคลื่อนที่แนวแกน Y กับการส่งสัญญาณพัลส์ด้วยอาดยุโน

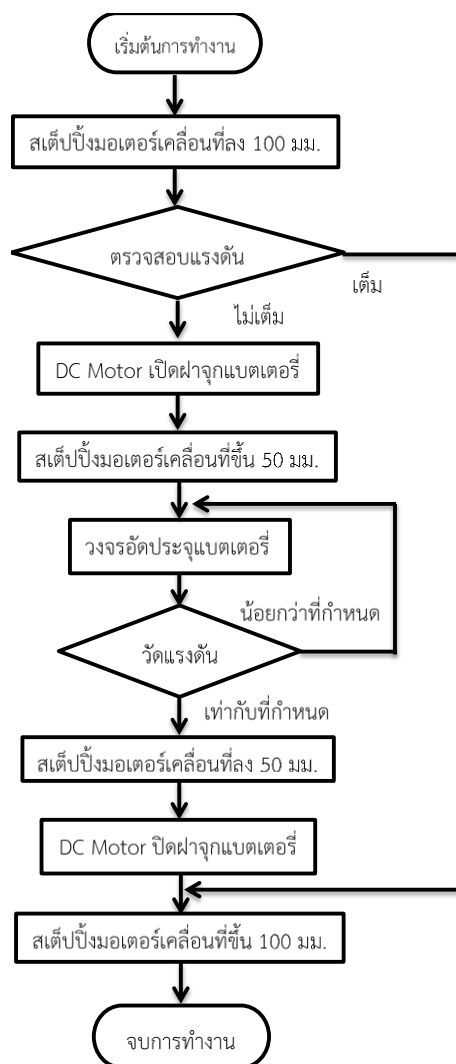
ระยะการเคลื่อนที่ แนวแกน Y	จำนวนสัญญาณพัลส์
2 มิลลิเมตร	200 พัลส์
50 มิลลิเมตร	1000 พัลส์
100 มิลลิเมตร	2000 พัลส์

3.4 การออกแบบระบบการทำงาน

ระบบควบคุมการทำงานชุดแขนกลเปิดและปิดฝาจุกแบตเตอรี่อัตโนมัติใช้ร่วมกับวงจรอัดประจุแบตเตอรี่ที่สามารถสลายซัลเฟตด้วยคลื่นความถี่ ดังภาพที่ 3 ซึ่งต้องมีการสั่งงานผ่านชุดสั่งงานโปรแกรมไมโครโปรเซสเซอร์ ด้วยอาดยุโน เมกา (2560) ก่อนชุดเปิดฝาจุกแบตเตอรี่จะทำงานระบบต้องทำการตรวจสอบค่าแรงดันของแบตเตอรี่ที่จะอัดประจุ และชุดแขนกลจะเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งงานที่กำหนดไว้ด้วยสเต็ปมอเตอร์ หลังจากนั้นส่วนหัวจับเริ่มหมุนเปิดฝาด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและจับยกฝาขึ้นเกิดช่องให้ไอระเหยสามารถออกได้ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบของระบบควบคุมแขนกลแบบคาร์ทีเซียนเปิดและปิดฝาจุกแบตเตอรี่



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการทำงานแขนกลแบบคาร์ทีเซียนเปิดและปิดฝาจุกแบตเตอรี่

3.4 การหาประสิทธิภาพความแม่นยำการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y

การทดลองหาประสิทธิภาพของการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y ด้วยการควบคุมการเคลื่อนที่โดยอาศัยหุ่นกับแขนกลแบบคาร์ทีเซียน เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการทำงาน (พงศกร 2561) ซึ่งนำผลการทดลองจากการกำหนดจุดการเคลื่อนที่ขึ้นและลงตามเงื่อนไข และใช้สมการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนและค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน ได้ดังสูตรต่อไปนี้

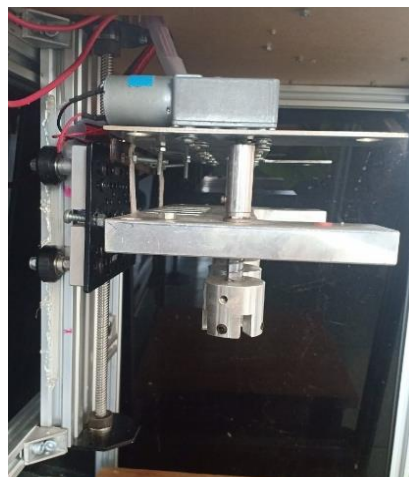
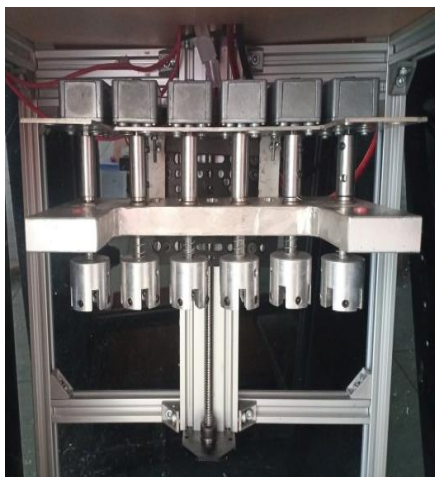
$$\text{ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \frac{\text{ค่าจริงที่กำหนด} - \text{ค่าเฉลี่ย}}{\text{ค่าจริงที่กำหนด}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน} = \frac{\text{ผลรวมของความคลาดเคลื่อน}}{\text{จำนวนครั้งการทดลอง}} \times 100 \quad (2)$$

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการออกแบบและสร้างแขนกลแบบคาร์ทีเซียนเสริมระบบอัตโนมัติ

จากการออกแบบและสร้างชุดแขนกลแบบคาร์ทีเซียนสำหรับงานเปิดและปิดฝาจุกแบตเตอรี่อัตโนมัติ ใช้เสริมกับระบบชาร์จแบตเตอรี่และสลายซัลเฟต มีส่วนประกอบ ดังนี้ ฐานโครงสร้าง บอลสกรู ดีซีมอเตอร์ สเต็ปมอเตอร์ ข้อต่อแกนมอเตอร์ และชุดจับฝาจุกแบตเตอรี่ โดยจะมีสเต็ปมอเตอร์ขับเคลื่อนหมุนของการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y มีพื้นที่ทำงาน ขนาดความกว้าง 35 x ยาว 45 x สูง 70 เซนติเมตร ภาพที่ 5 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างชุดแขนกลแบบคาร์ทีเซียนสำหรับงานเปิดและปิดฝาจุกแบตเตอรี่อัตโนมัติ ด้านหน้าและด้านข้าง



ภาพที่ 5 ชุดแขนกลแบบคาร์ทีเซียนสำหรับงานเปิดและปิด
ฝาจุกแบตเตอรี่ด้านหน้าและด้านข้าง

4.2 ผลการทดสอบส่วนการจับฝาจุกแบตเตอรี่

จากการออกแบบส่วนการจับฝาจุกแบตเตอรี่ และทำการทดลองโดยการจับฝาและบิดเพื่อเปิดโดยการหมุนเกลียวหลังจากนั้นทำการยกฝาขึ้น โดยแบตเตอรี่น้ำที่ใช้เป็นขนาด 12 โวลต์ 35 แอมป์ มีฝาจุกแบตเตอรี่ 6 ฝา เป็นขนาดที่ใช้กันโดยทั่วไป ระยะในการทดสอบคือ 50 มิลลิเมตร ทำการทดสอบโดยตัวขับเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นต้นกำลังในการบิด เพื่อทำการหมุนเปิดและปิดฝาจุกแบตเตอรี่ และยกขึ้นในแนวแกน Y ระยะ 50 มิลลิเมตร พบว่าสามารถทำได้ไม่มีความผิดพลาด ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การทดสอบส่วนการจับฝาจากแบตเตอรี่และยกขึ้นในแนวแกนระยะ 50 มิลลิเมตร

4.3 ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนในการเคลื่อนที่ของแกนกลคาร์ทีเซียน

การทดสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนในการเคลื่อนที่ของแกนกลคาร์ทีเซียนในแนวแกน Y กำหนดจุดงานที่จะให้แกนกลเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งที่กำหนดไว้ ทดสอบการขึ้นและลงโดยอาศัยโน้ตสัญญาณพัลส์ไปยังสแต็ปมอเตอร์ ตามตารางที่ 2

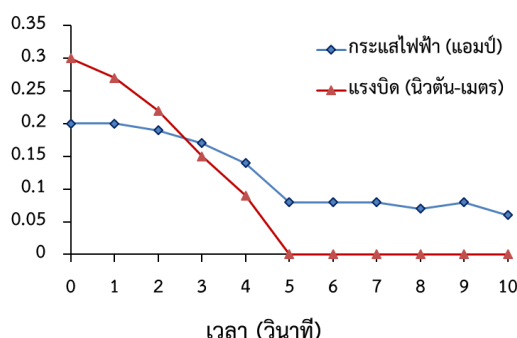
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนการเคลื่อนที่ของแกนกลคาร์ทีเซียนในแนวแกน Y

ระยะ ทดสอบ (มิลลิเมตร)	จำนวน สัญญาณ พัลส์	ระยะที่ได้จากการทดลอง เฉลี่ย (มิลลิเมตร)	ค่าความคลาดเคลื่อน เฉลี่ย (ร้อยละ)
100	2,000 (ลง)	99.76	0.21
	2,000 (ขึ้น)	99.54	0.46
50	1,000 (ลง)	49.87	0.26
	1,000 (ขึ้น)	49.73	0.44

4.4 ผลของแรงบิดกับกระแสที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขณะเปิดและปิดฝาจากแบตเตอรี่

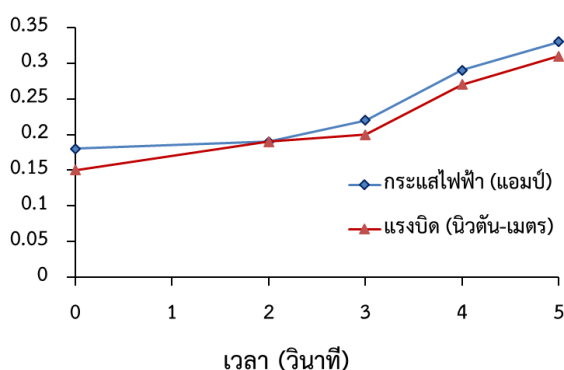
ในส่วนการบิดเปิดและปิดฝาจากแบตเตอรี่ เนื่องจากฝาแบตเตอรี่มีลักษณะเกลียวในการเปิดต้องใช้แรงบิดเพื่อเปิดและปิดทำให้เกิดแรงบิดที่ส่วนจับฝาจาก และมีส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่เกิดกับกระแสไฟฟ้าที่จำเป็นต่อการขับเคลื่อนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ในการ

ออกแบบจึงต้องคำนึงถึงแรงที่ใช้เนื่องจากฝาจุกแบตเตอรี่เป็นพลาสติก หากบิดแรงเกินไปอาจทำให้ฝาเกิดการฉีกขาดและเสียหายได้ แต่หากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้มีกำลังไม่เพียงพอก็จะไม่สามารถทำการเปิดได้ จากการทดลองแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 12 โวลต์ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสไฟฟ้าขณะทำการเปิดฝาจุกแบตเตอรี่

จากภาพที่ 7 แสดงผลการทดสอบขณะมอเตอร์ใช้กระแสไฟฟ้าในการเปิดฝาจุกแบตเตอรี่ ต้องใช้แรงบิดที่ค่าสูงสุด 0.3 นิวตัน-เมตร กระแส 0.2 แอมป์ ที่จุดเริ่มต้นการบิดเปิดฝา และค่าแรงบิดกับกระแสจะลดลงเมื่อฝาเกลียวเริ่มคลายออกและยกขึ้นจึงไม่เกิดแรงบิดหลังจากวินาทีที่ 5 เสร็จสิ้นการเปิดฝาจุกแบตเตอรี่ หลังจากกระบวนการอัดประจุแบตเตอรี่เสร็จ ชุดแขนกลจะทำการบิดฝาจุกโดยเริ่มทำการหมุนเกลียวเข้าฝาค่อย ๆ แน่นขึ้น เกิดแรงบิดและกระแสเพิ่มขึ้น จากภาพที่ 8 แรงบิดสูงสุดที่เกิดขึ้น 0.31 นิวตัน-เมตร ค่ากระแสไฟฟ้า 0.33 แอมป์ ของเวลาวินาทีที่ 5 ส่วนจับฝาจุกแบตเตอรี่จะเสร็จสิ้นการทำงานหลังจากนั้นเป็นหน้าที่ของแขนกลคาร์ทีเซียนในการเคลื่อนที่ขึ้น



ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแสไฟฟ้าขณะทำการบิดฝาจุกแบตเตอรี่

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากการออกแบบชุดแขนกลแบบคาร์ทีเซียนเคลื่อนที่แนวแกน Y ด้วย สเต็ปป์มอเตอร์และ ส่วนหัวจับฝาจุกแบตเตอรี่อัตโนมัติ เพื่อใช้เสริมระบบ อัตประจุแบตเตอรี่ที่มีระบบสลายเซลล์เฟด เป็น การพัฒนาเพื่อให้เกิดความปลอดภัยจากไอระเหยขณะชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งมีโครงสร้างหลัก 2 ส่วน คือ แขนกลคาร์ทีเซียนและหัวจับฝาจุก ในการเปิดฝาจุกแบตเตอรี่นั้นลักษณะงานเป็นการหมุนเพื่อ ขันเกลียวเปิดและปิด ต้องใช้แรงบิดเพื่อหมุนฝาในจังหวะเปิดและปิดโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ผลการทดสอบการทำงานของกลไก ที่เชื่อมกับการควบคุมด้วยอาคุยโนพบว่ามีความคลาดเคลื่อน เล็กน้อยเนื่องจากส่วนหัวจับมีน้ำหนักมาก แต่กลไกการทำงานไม่มีการติดขัดและสามารถจับฝาจุก แบตเตอรี่ได้อย่างสมบูรณ์

6. กิตติกรรมประกาศ

ได้รับการสนับสนุนการทำงานวิจัยจากสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก

7. เอกสารอ้างอิง

- จอมภพ ละออง. (2560). การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียน. **Kasem Bundit Engineering Journal**. 7(1), 174–190.
- จุฬา เสือดอนอง. (2560). ระบบต้นแบบชั้นวางรองเท้าสำหรับจัดเก็บรองเท้าและนำรองเท้าออก อัตโนมัติ. การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 10, 462–465.
- ธนารักษ์ มิตรชอบ. (2562). การประยุกต์ใช้วงจรสลายเซลล์เฟดร่วมกับระบบชาร์จแบตเตอรี่ควบคุม ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. รายงานสืบเนื่องจากประชุมวิชาการระดับชาติพิบูลสงครามวิจัย ครั้งที่ 5, 430–437.
- พงศกร รูปใหญ่. (2561). การลดระยะผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ แขนกล SEIKO D-TRAN RT 3200 โดยใช้การควบคุมแบบทำซ้ำที่ปรับปรุงใหม่. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระ นครเหนือ**. 28(2), 299 – 312.
- สุกัญญา ทองเชื้อ. (2562). ระบบควบคุมแขนกลทาสีอัตโนมัติ. รายงานสืบเนื่องจากประชุมวิชาการ ระดับชาติพิบูลสงครามวิจัย ครั้งที่ 4, 690–696.
- สมฤกษ์ ปุฉาการ. (2560). หุ่นยนต์ 3 แกนสำหรับเคลื่อนย้ายวัสดุ. การประชุมวิชาการช่วยงาน วิศวกรรมอุตสาหกรรม, 1248–1253.
- เอกชัย ดีศิริ. (2556). การกำจัดผลึกกำมะถันในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด. **เอกสารประชุมวิชาการ ระดับชาติมหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 8**, 1371 – 1380.