

หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล

Small solar panel cleaning robot controlled by remote control

กิริติช สายพิทลุง^{1*} จิรายุส งามแจ้ง¹ วรดิษฐ์พงษ์ แยมดอนไพร¹ ธงชัย ทองอยู่¹ และ ณัฐภูมิ สุดแก้ว¹

¹สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคมและคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร keeradit@pnru.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้พัฒนาหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก เพื่อแก้ไขปัญหาฝุ่นและสิ่งปกคลุมที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าลดลง หุ่นยนต์มีโครงสร้างอะลูมิเนียมขนาดกะทัดรัด 0.375x0.476x0.07 เมตร น้ำหนัก 7.8 กิโลกรัม ควบคุมด้วย Arduino UNO และ ESP32 พร้อมเซ็นเซอร์วัดระยะทางป้องกันการตก ระบบทำความสะอาดประกอบด้วยแปรงขัด ระบบฉีดน้ำ และยางรีดน้ำ รองรับการควบคุม 2 รูปแบบคือรีโมทคอนโทรลและระบบอัตโนมัติ พร้อมระบบ IoT MQTT Panel สำหรับติดตามตำแหน่ง GPS และสถานะแบตเตอรี่ ผลการทดสอบพบว่า การควบคุมด้วยรีโมทมีประสิทธิภาพร้อยละ 100 ใช้เวลาเฉลี่ย 39.95 วินาทีต่อแผง ขณะที่โหมดอัตโนมัติใช้เวลา 37.10 วินาทีต่อแผง ส่วนใช้คนล้างใช้เวลาเฉลี่ยที่ 16.43 วินาที แต่ก็ต้องแบกรับความเสี่ยงของการทำงานในที่สูง การทดสอบภาคสนามบนแผงโซลาร์เซลล์ 30 แผงบนหลังคาใช้เวลาเฉลี่ย 28.31 นาที ใช้ปริมาณน้ำ 1.84 ลิตร ระยะการควบคุมรีโมทได้สูงสุด 30.28 เมตร แบตเตอรี่ใช้งานต่อเนื่อง 55 นาที ซึ่งหุ่นยนต์ที่พัฒนาขึ้นช่วยประสิทธิภาพสำหรับการบำรุงรักษาแผงโซลาร์เซลล์ผ่านการทำความสะอาดทั้งแบบควบคุมด้วยมือและอัตโนมัติ

คำสำคัญ: หุ่นยนต์ทำความสะอาด แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบควบคุมอัตโนมัติ ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า

Abstract

This research study developed a small solar panel cleaning robot to solve the problems of dust and debris coverage that reduced electricity generation efficiency. The robot featured a compact aluminum structure measuring 0.375x0.476x0.07 meters, weighed 7.8 kilograms, and was controlled by Arduino UNO and ESP32 with distance sensors that prevented falling. The cleaning system consisted of brushes, a water spray system, and water squeegees. It supported two control modes: remote control and automatic system, equipped with an IoT MQTT Panel for GPS position tracking and battery status monitoring. Test results showed that remote control achieved 100% efficiency and averaged 39.95 seconds per panel, while automatic mode took 37.10 seconds per panel. Manual cleaning by humans averaged 16.43 seconds but carried the risk of

working at heights. Field testing on 30 solar panels on a rooftop averaged 28.31 minutes, used 1.84 liters of water, achieved a maximum remote-control range of 30.28 meters, and provided 55 minutes of continuous battery operation. The developed robot enhanced efficiency for solar panel maintenance through both manual and automatic cleaning control.

Keywords: Cleaning Robot, Solar Panel, Automated Control System, Electrical Power Generation Efficiency

1. บทนำ

พลังงานทางเลือก เป็นพลังงานที่ใช้แล้วไม่หมด และไม่ค่อยเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม [1] โดยข้อมูลจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานระบุว่า ประเทศไทยมีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในช่วง 5 เดือนแรกของปี 2566 เพิ่มขึ้นร้อยละ 3 จากช่วงเดียวกันของปีก่อน [2] ซึ่งนโยบายการส่งเสริมพลังงานทดแทนของรัฐบาลไทยมีเป้าหมายให้พลังงานทดแทนมีส่วนร้อยละ 30 เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานชีวมวล เป็นต้น ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายภายในปี 2580 [3] โดยการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีหลายประการ เช่น การบดบังเงา ฝุ่นที่ตกสะสมบนผิวหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิการทำงาน และมุมการติดตั้ง โดยฝุ่นและสิ่งสกปรกปกคลุมซึ่งเป็นปัญหาที่พบในทุกพื้นที่ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้า [4] จากการศึกษาของ T. Sarver et al. พบว่าฝุ่นสามารถลดประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ได้ถึงร้อยละ 50 ในพื้นที่ที่มีฝุ่นมาก [5] ในขณะที่การศึกษาในประเทศไทยพบว่าฝุ่นที่สะสมเป็นเวลา 30 วันสามารถลดประสิทธิภาพมากถึงร้อยละ 35 ของประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผง [6]



รูปที่ 1 การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

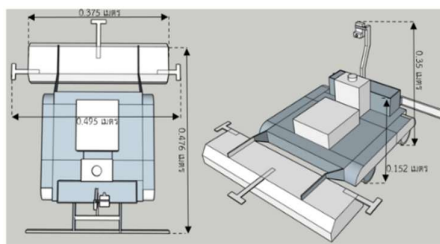
การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมมักใช้แรงงานคนในการขัดล้างด้วยน้ำและแปรง ซึ่งมีข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ ความเสี่ยงด้านความปลอดภัยในการทำงานบนที่สูง การใช้น้ำจำนวนมาก ค่าใช้จ่ายด้านแรงงานที่สูง และความไม่สม่ำเสมอในการทำความสะอาด [7] จากปัญหาการทำความสะอาดแบบดั้งเดิม ทำให้มีผู้ให้ความสนใจในเทคโนโลยีหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ได้รับการพัฒนาในหลายรูปแบบ ตั้งแต่ระบบแบบติดตั้งถาวรที่เคลื่อนที่บนราง ไปจนถึงหุ่นยนต์แบบเคลื่อนที่อิสระ [8-9] ระบบเหล่านี้ใช้เทคโนโลยีการตรวจจับต่าง ๆ เช่น เซนเซอร์แสง เซนเซอร์ความชื้น และกล้องถ่ายภาพ เพื่อประเมินระดับความสกปรก [10] แต่ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องที่ติดตั้งถาวรและมีรูปร่างขนาดใหญ่

ดังนั้น พัฒนาหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อแก้ไขปัญหาดินและสิ่งปกคลุมที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าลดลง โดยพัฒนาหุ่นยนต์มีโครงสร้างขนาด กว้าง 0.375 เมตร ยาว 0.476 เมตร สูง 0.07 เมตร น้ำหนัก 7.8 กิโลกรัม ซึ่งมีขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายง่าย โดยมีระบบป้องกันการตก และการทำความสะอาดด้วยแปรงขัด ระบบฉีดน้ำ และยางรีดน้ำ พร้อมรองรับการควบคุม 2 รูปแบบ คือ การควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล และระบบอัตโนมัติ

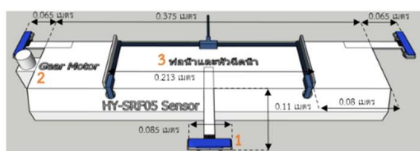
2. วิธีการ

2.1 การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

การออกแบบหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ออกแบบโครงสร้างด้วยโปรแกรม SketchUp ในรูปแบบสามมิติ เพื่อจำลองโครงสร้างหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีขนาด กว้าง 0.375 เมตร ยาว 0.476 เมตร สูง 0.35 เมตร ดังรูปที่ 2(ก) และส่วนหน้าของตัวหุ่นยนต์จะเป็นส่วนของแปรงขัดทำความสะอาด พร้อมทั้งติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิกสำหรับการป้องกันการตกของหุ่นยนต์ ดังรูปที่ 2(ข)



(ก)



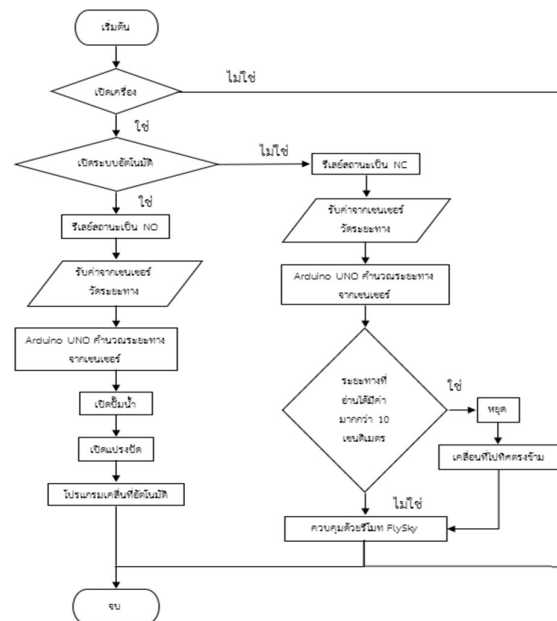
(ข)

รูปที่ 2 โครงสร้างของตัวหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2(ข) ส่วนประกอบด้านหน้าหุ่นยนต์ จะประกอบด้วย 1.เซนเซอร์วัดระยะทาง HY-SRF05 เพื่อป้องกันการตกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2. มอเตอร์เกียร์กระแสตรง สำหรับขับเคลื่อนแปรงทำความสะอาด และ 3. ท่อน้ำและหัวฉีดน้ำ

2.2 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีรูปแบบการทำงาน 2 ลักษณะ ได้แก่ การควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล และแบบอัตโนมัติ เมื่อเริ่มเปิดเครื่องระบบจะตั้งค่าเริ่มต้นเป็นแบบควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล โดยเมื่อมีการกดเปิดระบบอัตโนมัติ รีเลย์จะเปลี่ยนสถานะ เป็นปกติเปิด เพื่อสลับวงจรให้โปรแกรมที่กำหนดไว้ใน ส่วนระบบแปรงขัดและปั๊มน้ำยังคงควบคุมผ่านรีโมทคอนโทรล หุ่นยนต์มีระบบป้องกันการตกจากแผงโดยใช้เซนเซอร์วัดระยะทาง หากตรวจพบระยะห่างมากกว่า 10 เซนติเมตร หุ่นยนต์จะหยุดการทำงานและเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้าม หลังจากนั้นจึงสามารถกลับมาควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรลได้ตามปกติดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์

3. การประกอบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นั้นแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างที่ทำงานด้วยอะลูมิเนียมสีดํา มีส่วนขาของเซนเซอร์ป้องกันการตกที่ยื่นออกมาทำจากพลาสติกสีเทา ทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านซ้าย และด้านขวา บริเวณส่วนหัวของหุ่นยนต์ ต่อจากนั้นจะเป็นกล่องใส่อุปกรณ์

ต่าง ๆ แบตเตอรี่ กล้อง E88Pro และถังใส่น้ำ พร้อมกับมรสายท่อน้ำต่อไปยังมอเตอร์ปั้มน้ำ และหัวฉีดน้ำ ทางด้านหลังจะเห็นยางรัดน้ำซึ่งสามารถปรับระดับสูงต่ำได้ตามความเหมาะสม ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

4. ผลการวิจัย

4.1 การทดสอบระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กในระยะทาง 2 เมตร เมื่อบรรจุน้ำและไม่บรรจุน้ำภายในตัวหุ่นยนต์ โดยปริมาณการบรรจุน้ำของหุ่นยนต์อยู่ที่ 0.9 ลิตร ซึ่งผลการทดสอบ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ระยะ 2 เมตร

จำนวนรอบที่ทดสอบ	ระยะเวลาเคลื่อนที่เมื่อไม่บรรจุน้ำ (วินาที)	ระยะเวลาเคลื่อนที่เมื่อบรรจุน้ำ (วินาที)
1	7.14	7.65
2	7.13	7.25
3	6.95	7.14
4	7.51	7.31
5	7.06	7.11
6	7.46	7.25
7	7.08	7.50
8	7.29	7.31
9	7.26	7.25
10	7.28	7.18
ค่าเฉลี่ย	7.21	7.29

จากตารางที่ 1 ผลการทดสอบระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กในระยะทาง 2 เมตร ควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล เมื่อไม่บรรจุน้ำ บันทึกเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาดแต่ละรอบจำนวน 10 ครั้ง พบว่าเวลาที่ใช้มีค่าตั้งแต่ 6.95 วินาที ถึง 7.51 วินาที โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.21 วินาที และผลการทดสอบการควบคุมหุ่นยนต์ทำความสะอาดควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล เมื่อบรรจุน้ำ พบว่าเวลาที่ใช้มีค่าตั้งแต่ 7.11 วินาที ถึง 7.65 วินาที โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ

7.29 วินาที โดยระยะเวลาที่เร็ว หรือช้าเกินไปในบางรอบของการทดสอบ เกิดจากการบังคับของผู้ทดสอบในการบังคับหุ่นยนต์ด้วยรีโมทคอนโทรล

4.2 การทดสอบระยะเวลาในการทำความสะอาดของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก ซึ่งจะเป็นการทดสอบ 2 ลักษณะคือ 1. ควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล 2. แบบอัตโนมัติ 3. ล้างแผง โดยคน โดยการทดสอบจะทดสอบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 1 แผง ขนาด 320 วัตต์ กว้าง 0.99 เมตร x ยาว 1.96 เมตร โดยบันทึกเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาดเสร็จแต่ละรอบ ซึ่งผลการทดสอบ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระยะเวลาในการทำความสะอาดของหุ่นยนต์

จำนวนรอบที่ทดสอบ	ควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล (วินาที)	ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ (วินาที)	การล้างแผงโดยผู้คนล้าง
1	40.23	37.13	16.17
2	39.58	36.87	16.23
3	39.88	36.98	16.61
4	40.10	37.77	16.85
5	39.99	37.25	16.72
6	39.12	36.84	16.57
7	40.30	36.47	16.34
8	40.75	36.99	16.03
9	39.44	37.12	16.58
10	40.12	37.54	16.24
ค่าเฉลี่ย	39.95	37.10	16.43

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบระยะเวลาในการทำความสะอาดของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล บันทึกเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาดแต่ละรอบจำนวน 10 ครั้ง พบว่าเวลาที่ใช้มีค่าตั้งแต่ 39.12 วินาที ถึง 40.75 วินาที โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.95 วินาที และผลการทดลองควบคุมหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ พบว่าเวลาที่ใช้มีค่าตั้งแต่ 36.84 วินาที ถึง 37.77 วินาที โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37.10 วินาที ส่วนการล้างด้วยคน จะใช้เวลาที่น้อยกว่าอยู่ระหว่าง 16.03 วินาที ถึง 16.85 วินาที แต่ก็ต้องแบกรับความเสี่ยงของการทำงานในที่สูง

4.3 การทดสอบความเร็วในการหมุนของมอเตอร์แปร่งปิด ซึ่งเป็น การอัตราการหมุนของมอเตอร์เกียร์ ที่ควบคุมความเร็วด้วยรีโมทคอนโทรล ซึ่งสามารถปรับความเร็วได้ 10 ระดับ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนรอบการหมุนของแปร่งปิดต่อนาที (RPM)

ระดับความเร็วจากรีโมทคอนโทรล	ความเร็วการหมุนของมอเตอร์แปร่งปิดรอบต่อนาที (RPM)
1	0
2	93.2
3	152.6
4	199.2
5	253.3

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ระดับความเร็วจาก รีโมทคอนโทรล	ความเร็วการหมุนของมอเตอร์แปร่งปิด รอบต่อนาที (RPM)
6	314.8
7	379.6
8	430.4
9	486.7
10	498.6

จากตารางที่ 3 การทดสอบความเร็วในการหมุนของมอเตอร์แปร่งปิด ซึ่งเป็นการอัตราการหมุนของมอเตอร์เกียร์ ที่ควบคุมความเร็วด้วยรีโมทคอนโทรล ซึ่งสามารถปรับความเร็วได้ 10 ระดับ พบว่าความเร็วการหมุนของมอเตอร์แปร่งปิดรอบต่อนาที (RPM) มีความเร็วตั้งแต่ 0 ถึง 498.6 รอบต่อนาที โดยทดสอบด้วยการหมุนความต้านทานปรับค่าได้ที่อยู่บนรีโมทคอนโทรลจำนวน 10 รอบ และใช้เครื่องมือวัดมาตรฐาน FERVI C070 - Contact and optical type digital tachometer

4.4 การทดสอบการนำหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กไปใช้งานในสถานที่จริงบนหลังคาอาคาร 27 คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ดังรูปที่ 4 โดยทำการทดสอบล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 30 แผง แต่ละแผงขนาดกว้าง กว้าง 0.99 เมตร x ยาว 1.96 เมตร ระยะทางความยาวทั้งหมด 30.28 เมตร โดยคำนวณระยะห่างระหว่างแผงตามมาตรฐาน 0.02 เมตร พื้นที่ที่ต้องทำความสะอาดทั้งหมด 59.35 ตารางเมตร ดังตารางที่ 5 โดยทดสอบหาปริมาณน้ำ และระยะเวลาที่ใช้ในการล้างแผงทั้งหมด 30 แผง ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4



รูปที่ 5 การทดสอบหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก ไปใช้งานในสถานที่จริง

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการนำหุ่นยนต์ไปใช้งานในสถานที่จริง

จำนวนครั้งที่ ทดลอง	ปริมาณการใช้น้ำ (ลิตร)	ระยะเวลาที่ใช้ในการล้างแผงใน สถานที่จริง (นาที)
1	1.8	28.07
2	1.9	28.42
3	1.8	27.78
4	1.8	28.92
5	1.9	28.37
ค่าเฉลี่ย	1.84	28.31

จากตารางที่ 4 ผลการทดสอบการนำหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กไปใช้งานในสถานที่จริง บันทึกปริมาณการใช้น้ำ และเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาดแต่ละรอบจำนวน 5 รอบ พบว่าปริมาณน้ำที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 1.8 ถึง 1.9 ลิตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.84 ลิตร และเวลาที่ใช้มีค่าตั้งแต่ 27.78 นาที ถึง 28.92 วินาที โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.31 นาที

4.5 การทดสอบการนำหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กคำนวณเวลาที่สามารถใช้งานได้ต่อเนื่อง โดยอิงจากการเปิดใช้งานมอเตอร์เกียร์ 5 ตัว และมอเตอร์ปั้มน้ำ 1 ตัว มอเตอร์เกียร์แต่ละตัวกินกระแสเฉลี่ย 0.8 แอมป์ มอเตอร์ปั้มน้ำกินกระแส 1.5 แอมป์ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ระดับร้อยละของแบตเตอรี่กรณีไม่มีโหลดต่อใช้งาน

แรงดัน (โวลต์)	ร้อยละของแบตเตอรี่ โดยประมาณ
12.9 ถึง 13.2	100
12.7	90
12.5	80
12.3	70
12.1	50
11.9	30
11.8	20

จากตารางที่ 5 ผลการทดสอบเวลาในการนำหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก โดยหุ่นยนต์สามารถใช้งานได้ต่อเนื่องประมาณ 55 นาทีต่อรอบการใช้งาน หลังจากนั้นจำเป็นต้องชาร์จประจุแบตเตอรี่ใหม่อีกครั้ง

สรุป

งานวิจัยนี้พัฒนาหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อแก้ไขปัญหาการลดลงของประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากฝุ่นและสิ่งปกคลุม โดยหุ่นยนต์ถูกออกแบบด้วยโปรแกรม SketchUp มีโครงสร้างอะลูมิเนียมขนาดกะทัดรัด 0.375x0.476x0.07 เมตร น้ำหนัก 7.8 กิโลกรัม ประกอบด้วยระบบควบคุม Arduino UNO และ ESP32 ระบบป้องกันการตกด้วยเซนเซอร์ HY-SRF05 ที่ตรวจจับระยะทางมากกว่า 10 เซนติเมตร ระบบทำความสะอาดด้วยแปรงปัด ระบบฉีดน้ำ และยางรีดน้ำรองรับการควบคุม 2 รูปแบบคือรีโมทคอนโทรล และระบบอัตโนมัติ พร้อมการติดตามผ่าน IoT MQTT Panel สำหรับ GPS และสถานะแบตเตอรี่

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นประสิทธิภาพที่ดี การเคลื่อนที่ระยะ 2 เมตรใช้เวลาเฉลี่ย 7.21 วินาที (ไม่มีน้ำ) และ 7.29 วินาที (มีน้ำ) การทำความสะอาดต่อแผงใช้เวลา 39.95 วินาที (รีโมท) และ 37.10 วินาที (อัตโนมัติ) การทดสอบภาคสนามบนแผงโซลาร์เซลล์ 30 แผงบนหลังคาอาคาร พื้นที่รวม 59.35 ตารางเมตร ใช้เวลาเฉลี่ย 28.31 นาที ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างแผงจำนวน 1.84 ลิตร ระยะการควบคุมได้ถึง 30.28 เมตร

และแบตเตอรี่ใช้งานต่อเนื่อง 55 นาที แบตเตอรี่สามารถปรับความเร็วได้ 10 ระดับ จาก 0 ถึง 498.6 รอบต่อนาที

ระบบหุ่นยนต์นี้มีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ความปลอดภัยที่เพิ่มขึ้นจากการลดความเสี่ยงการทำงานบนที่สูง การประหยัดทรัพยากรโดยใช้น้ำน้อยกว่าการทำความสะอาดแบบดั้งเดิม ความสม่ำเสมอในการทำควมสะอาดที่เป็นระบบ ประสิทธิภาพที่ระบบอัตโนมัติทำงานได้เร็วกว่าการควบคุมด้วยมือ และความสามารถในการติดตามตำแหน่งและสถานะผ่าน IoT ระบบนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการแก้ปัญหาการบำรุงรักษาแผงโซลาร์เซลล์อย่างมีประสิทธิภาพ การพัฒนาต่อยอดอาจรวมถึงการปรับปรุงระยะเวลาการใช้แบตเตอรี่ การเพิ่มความสามารถในการทำงานบนพื้นผิวที่มีความชันมากขึ้น และการพัฒนาระบบตรวจจับระดับความสกปรกอัตโนมัติ ด้วย image processing อีกทั้งยังสามารถวางแผนการทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อัจฉริยะและคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, "แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579," กระทรวงพลังงาน, 2558.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, "รายงานสถานการณ์พลังงานของประเทศไทย ปี 2566," กระทรวงพลังงาน, 2566.
- [3] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, "Thailand Integrated Energy Blueprint (TIEB)," กระทรวงพลังงาน, 2558.
- [4] วรากร พิเศษชนกิจกุล และ บดินทร์ รัชมีเทศ, "ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจใช้งานเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาในเขตกรุงเทพมหานคร," วารสารสหวิทยาการมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, ปีที่ 4, ฉบับที่ 3, หน้า 955-969, ก.ย.-ธ.ค. 2564.
- [5] T. Sarver, A. Al-Qaraghuli, and L. L. Kazmerski, "A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 22, pp. 698-733, 2013.
- [6] M. M. Rahman, M. A. Islam, A. H. M. Z. Karim, and A. H. Ronee, "Effects of Natural Dust on the Performance of PV Panels in Bangladesh," *International Journal of Modern Education and Computer Science*, vol. 4, no. 10, pp. 26-32, Oct. 2012, doi: 10.5815/ijmecs.2012.10.04.

- [7] S. Altinkök and A. Altinkök, "Photovoltaic Thermal PV/T Solar Panels and Practical Applications," *The Black Sea Journal of Sciences*, vol. 14, no. 2, pp. 683-699, 2024, doi: 10.31466/kfbd.1425077.
- [8] C. M. Nkinyam, C. O. Ujah, K. C. Nnakwo, O. Ezeudu, D. V. V. Kallon, and I. Ike-Eze C. Ezema, "Design and implementation of a waterless solar panel cleaning system," *Unconventional Resources*, vol. 5, pp. 1-11, 2025, doi: 10.1016/j.unres.2024.100131.
- [9] พีรพล จันทร์หอม, ดอนสัน ปงผาบ, วิชาดาวงศ์สุริยา, ภัรศักดิ์ เผ่าผาง, พัฒพงษ์สินธุ์ไพฑูรย์, และ นัทรินทร์ ปานมัจฉา, "การพัฒนาหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะ," *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, ปีที่ 18, ฉบับที่ 2, หน้า 81-94, มิ.ย. 2565, doi: 10.14416/j.ind.tech.2022.06.006.
- [10] R. Appels et al., "Effect of soiling on photovoltaic modules," *Solar Energy*, vol. 96, pp. 283-291, 2013.