โครงการพัฒนาหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบบนหลังคา

DEVELOPMENT OF A WORKING PROTOTYPE FOR SOLAR PANEL CLEANING ROBOT TYPE ROOFTOP

เจนวิทย์ สุวรรณโชติ[1] พรศักดิ์ ศรีสังสิทธิสันติ[2] และ พงศ์ธร พรหมบุตร*

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
[2]ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
*ติดต่อ: fengppb@ku.ac.th, 02-942-8555

บทคัดย่อ

หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ทดแทนแรงงานคนเพื่อลดความเสี่ยงจากอุบัติเหตุในการทำความสะอาดแผงเซลล์ที่อยู่บนหลังคาสูง รวมถึงป้องกันความเสียหายทั้งต่อแผงเซลล์และหลังคาจากการใช้แรงงานคน งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์เพื่อใช้ในการทำความสะอาดแผงเซลล์ โดยเลือกใช้ระบบล้อที่สามารถเคลื่อนที่ได้ดีบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์และไม่ทำให้แผงเซลล์เสียหาย มีระบบเซนเซอร์ป้องกันหุ่นยนต์ตกลงมาจากแผงเซลล์ มีการทดสอบการเคลื่อนขึ้นลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความลาดเอียงตั้งแต่ 0-15 องศาได้ และสามารถเคลื่อนที่ข้ามช่องว่างระหว่างแผงเซลล์ได้กว้างสุด 100 มิลลิเมตร ทั้งนี้สามารถนำไปใช้ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาสูงได้จริง โดยเฉพาะแผงที่มีการติดตั้งเป็นพื้นที่กว้างแบบไม่ต่อเนื่องตามสภาพพื้นผิวของหลังคาและเข้าถึงได้ยาก จนไม่สามารถใช้ระบบรางหรือขอบของแผงเซลล์มาช่วยในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ได้

คำหลัก: การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์, แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบบนหลังคา, หุ่นยนต์ทำความสะอาด

Abstract

Solar panel cleaning robots are replacing workers for the purpose of reducing the risk of accidents in cleaning solar panels on high rooftop. Using cleaning robot prevents damages of panels and roofs caused by human error. This paper aims to design and develop solar panel cleaning robot by choosing special wheel system which is able to move on solar panels without slipping and damaging the panels. The system had security sensors to avoid the robot dropping from the panel. Furthermore, we tested robot's movement up and down the inclined solar panels which with a slope between 0-15 degrees. The robot was able to cross a gap between the panels at the maximum width of 100 millimeter. to The robot is suitable for cleaning the solar panels that are installed in discontinuous area and are

difficult to access. Many solar rooftop installations are unable to use a rail system or the edge of the solar panels to assist the machine's movement.

Keywords: Cleaning of solar panels, Rooftop Solar panels, Cleaning robot

1. บทนำ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบบนหลังคา ใช้ในการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่บนหลังคาสูง มีการติดตั้งไม่ต่อเนื่อง เข้าถึงแผงได้ยาก จนไม่สามารถจะติดตั้งระบบรางหรือใช้ขอบของแผงเซลล์ช่วยในการเคลื่อนที่ได้ หุ่นยนต์ทำความสะอาดนี้ประกอบด้วย ระบบล้อ สามารถเคลื่อนที่บนแผงเซลล์ที่มีพื้นผิวเรียบและลื่น มีความลาดเอียง รวมถึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างแผงเซลล์ที่เกิดจากการติดตั้งได้ ทั้งนี้หุ่นยนต์ทำความสะอาดยังมีระบบเซ็นเซอร์เพื่อป้องกันการตกของหุ่นยนต์อีกด้วย

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีฝุ่นหรือสิ่งสกปรกมาปกคลุมผิวหน้าของแผงตามรูปที่ 1 จะทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์ลดลงได้มากถึง 40% ตามงานวิจัยของ A. Sayyah M. N. Horenstein M. K. Mazumder [1]

รูปที่ 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีฝุ่นปกคลุมพื้นผิว

เพื่อป้องกันไม่ให้แผงเซลล์ลดประสิทธิภาพลง การทำความสะอาดแผงเซลล์ให้ปราศจากฝุ่นหรือสิ่งสกปรกบนผิวหน้าอย่างสม่ำเสมอด้วยเครื่องจักรหรือหุ่นยนต์จึงเป็นที่ต้องการ เช่น งานวิจัยของ Jaradat, M.A., et al. [2] ได้สร้างอุปกรณ์ทำความสะอาดที่ใช้ขนผ้าไมโครไฟเบอร์ลักษณะเป็นทรงกระบอกในการทำความสะอาดแผง Chen, C.H. and Z. [3] ใช้แปรงไนลอนทรงกระบอกและน้ำในการทำความสะอาด แล้วจึงใช้ผ้าไมโครไฟเบอร์เช็ดความน้ำตามอีกครั้ง งานวิจัยของ S.K., et al. [4] ได้ใช้แปรงไนลอนทรงกระบอกที่มีการติดตั้งของแปรงให้มีลักษณะเป็นเกลียวในการทำความสะอาดแผงเซลล์ และยังมีการใช้ฟิล์มนาโนและไฟฟ้าสถิต เพื่อป้องกันไม่ให้ฝุ่นเกาะติดบนผิวหน้าของแผงเซลล์ตามงานวิจัยของ G. He C. Zhou Z. Li [5]

ทั้งนี้การเคลื่อนที่บนแผงเซลล์ที่มีความเรียบและลื่นง่ายต่อการไถลของหุ่นยนต์ ระบบการเลี้ยวหรือกลับทิศทางจึงมีผลสำคัญต่อการออกแบบหุ่นยนต์ เช่นในงานวิจัยของ Sorndach, T., Pudchuen, N. and Srisungsitthisunti, P. [6] ได้ใช้ล้อเคลื่อนที่หลายทิศทาง (Omni Wheel) มาใช้ในการออกแบบหุ่นยนต์เพื่อประหยัดเวลาในการกลับตัวหุ่นยนต์และลดเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาดแผง

ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบบนหลังคา (Rooftop) โดยเน้นออกแบบให้สามารถถอดประกอบได้ง่ายและใช้แปรงความยาวมากกว่า 1 เมตร เพื่อเพิ่มพื้นที่และความเร็วในการทำความสะอาดสามารถใช้งานได้ดีโดยเฉพาะแผงเซลล์ที่ติดตั้งแบบไม่ต่อเนื่องตามสภาพพื้นผิวของหลังคาและเข้าถึงได้ยาก

2. วัตถุประสงค์และขอบเขต

จากการสำรวจความต้องการพัฒนาหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์จากภาคอุตสาหกรรมและโรงไฟฟ้าฯ รวมทั้งบริษัทที่เกี่ยวข้องกับการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ข้อสรุปคุณลักษณะต่างๆ ตามตารางที่ 1

เพื่อใช้ในการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์ แบบบนหลังคา (Rooftop)

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แบบบนหลังคา (Rooftop)

หัวข้อ	ข้อกำหนด
1. น้ำหนัก	ไม่เกิน 50 กิโลกรัม
2. ขนาดของหุ่นยนต์	1.5x1.5x0.5 เมตร
3. ความยาวแปรงทำความสะอาด	ไม่น้อยกว่า 1 เมตร
4. ระยะการควบคุม	ไม่น้อยกว่า 10 เมตร
5. มุมเอียงของแผงเซลล์	0-15 องศา
6. วัสดุของเครื่อง	ทนน้ำ ไม่เกิดสนิม
7. ระบบป้องกัน	มีเซ็นเซอร์ป้องกันหุ่นยนต์ตกจากแผง
8. การขนย้าย	ถอดประกอบได้

โดยในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Solidworks 2018 ในการออกแบบ สร้างโมเดลสามมิติเพื่อจำลองผลเรื่องความแข็งแรง การรับน้ำหนักและการโก่งงอของชิ้นส่วนต่างๆ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

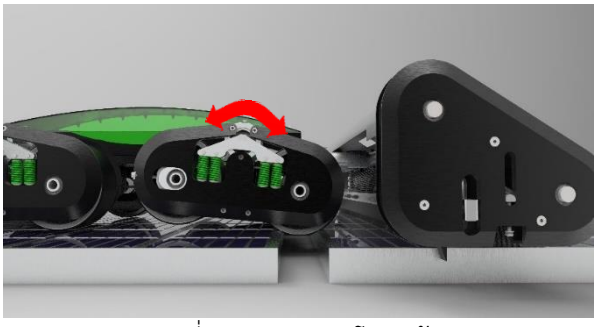
3.1 การออกแบบ

ใช้คุณลักษณะที่กำหนดจากการสำรวจตามตารางที่ 1 ในการออกแบบ ทำให้หุ่นยนต์มีลักษณะตามรูปที่ 2 สามารถแยกเป็นส่วนต่างๆ ออกเป็นโมดูล ให้ง่ายในการขนย้ายและถอดประกอบได้ โดยแบ่งเป็น โมดูลล้อจำนวน 4 ชิ้น โมดูลแปรงทำความสะอาดจำนวน 2 ชิ้น และโมดูลวงจรไฟฟ้าอีก 1 ชิ้นตามรูปที่ 3

รูปที่ 2 หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์ตามคุณลักษณะที่สำรวจ

รูปที่ 3 ชิ้นส่วนต่างๆ ของหุ่นยนต์หลังแยกออกเป็นแต่ละโมดูล

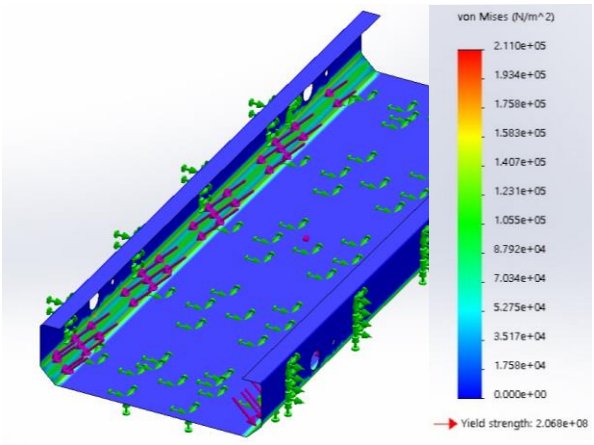
จากการทดลอง ล้อที่ไม่มีจุดหมุนที่แกนทำให้การเคลื่อนที่ข้ามช่องว่างระหว่างแผง ล้อหน้าของหุ่นยนต์ตกลงไปในช่องว่างและล้อด้านหลังจะลอยขึ้น ทำให้ล้อไม่สัมผัสกับแผงเซลล์ทุกล้อ มีผลให้การยึดเกาะแผงลดลงจนเกิดการไถลของตัวหุ่น การออกแบบโมดูลล้อจึงเพิ่มจุดหมุนในแต่ละโมดูล รวมถึงสปริงเพื่อให้ทุกล้อสัมผัสกับหน้าแผงตลอดเวลา ตัวอย่างในรูปที่ 4



รูปที่ 4 จุดหมุนของโมดูลล้อ

3.2 การจำลองผลโมเดลสามมิติ

จากการจำลองผลจากโมเดลสามมิติชุดโครงสร้างหลักโดยใช้โปรแกรม Solidworks Simulation Static Test เพื่อหาค่าการเสียรูปของวัสดุ (Yield strength) ของชิ้นส่วนและวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้ในการออกแบบหุ่นยนต์ ในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตัวอย่างการทดสอบโครงสร้างหลักแสดงให้เห็น yield stress ของวัสดุ

ในตารางที่ 2 นี้จะแสดงให้เห็นผลการทดสอบวัสดุทั้งหมดที่ใช้ในการออกแบบหุ่นยนต์ รวมถึงค่า Yield strength ของวัสดุแต่ละชนิด ซึ่งสามารถสรุปได้คือชิ้นส่วนจะไม่เสียรูป ถ้าแรงที่เกิดขึ้นไม่เกินค่า Yield strength ของวัสดุ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาค่าการเสียรูปของวัสดุ (Yield strength) ของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบหุ่นยนต์

วัสดุ	Material Yield strength (N/m^2)	ผลการทดสอบจากแบบจำลอง Maximum Stress (N/m^2)
สแตนเลสสตีล SUS304	$2.068x10^8$	$2.110x10^5$
อลูมิเนียมอัลลอย 6061 ALLOY	$5.515x10^7$	$1.735x10^5$

3.3 ทดสอบประสิทธิภาพของแปรงทำความสะอาด

ในการทดลองใช้แปรงไนลอนที่มีการติดตั้งขนแปรงต่างกันทั้งหมด 3 แบบคือ ขนแบบตรง ขนแบบเกลียวขวา และขนแบบเกลียวซ้าย ตามรูปที่ 6 และเลือกใช้แป้งฝุ่นแทนสิ่งสกปรกที่ปกคลุมพื้นผิวของแผงเซลล์ การจำลองการทำความสะอาดของแปรงใช้สว่านไฟฟ้าแทนมอเตอร์ในการหมุนแปรงแบบต่อกัน 2 โมดูล (ความยาว 30 เซ็นติเมตร) หมุนทางเดียวกับการเคลื่อนที่ และหมุนสวนทางกับการเคลื่อนที่ ซึ่งจากผลการตรวจสอบด้วยสายตาได้ผลสรุป การหมุนขนแปรงปัดขึ้นไปตามทิศทางการเคลื่อนที่ตามรูปที่ 7 จะได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการทำความสะอาด ตามผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 8

ขนแบบตรง ขนแบบเกลียวขวา ขนแบบเกลียวซ้าย

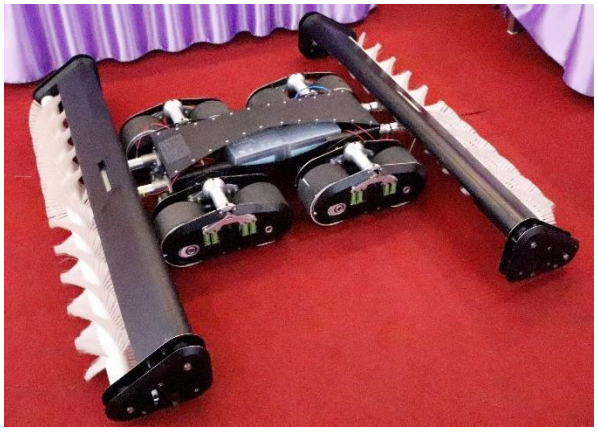
รูปที่ 6 ลักษณะแปรงไนลอนทำความสะอาดแบบต่างๆ

รูปที่ 7 แปรงแบบต่อกัน 2 โมดูล หมุนทางเดียวกับการเคลื่อนที่

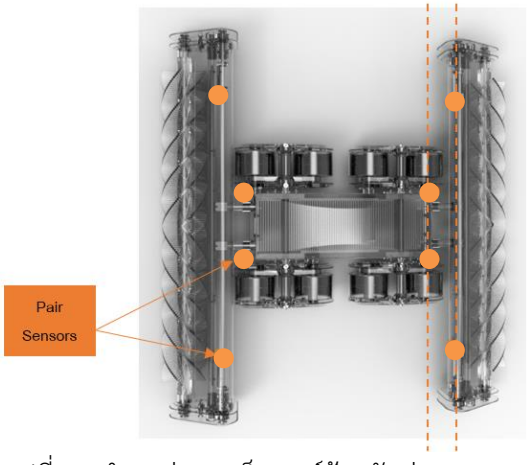
รูปที่ 8 ผลการทดสอบแปรงแบบต่อกัน 2 โมดูล หมุนทางเดียวกับการเคลื่อนที่

4. คุณลักษณะของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

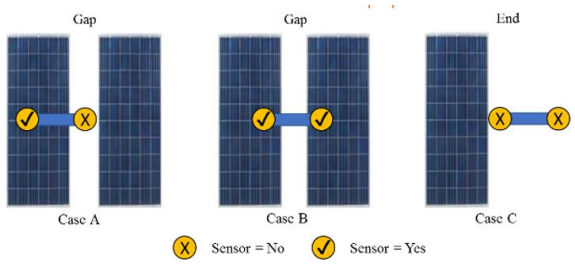
จากผลการออกแบบและการทดลองทำความสะอาดจึงสามารถสร้างและประกอบหุ่นยนต์ทำความสะอาดต้นแบบได้ดังรูปที่ 9 โดยมีคุณลักษณะตามที่กำหนดในตารางที่ 1 ทั้งนี้ในรูปที่ 10-11 เป็นตำแหน่งติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุแบบแสง (Photoelectric sensor) ทั้ง 8 ตำแหน่ง และวิธีการทำงานของเซ็นเซอร์ตามลำดับ ซึ่งเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่านช่องว่างของแผงจะต้องมีเซ็นเซอร์ 1 ใน 2 ตัว ตรวจเจอแผงเสมอ เมื่อเซ็นเซอร์ทั้ง 2 ตรวจไม่เจอแผง แสดงว่าเป็นขอบของแผง หุ่นหยุดการทำงานเพื่อป้องกันหุ่นยนต์เคลื่อนตกจากแผง



รูปที่ 9 ต้นแบบหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์

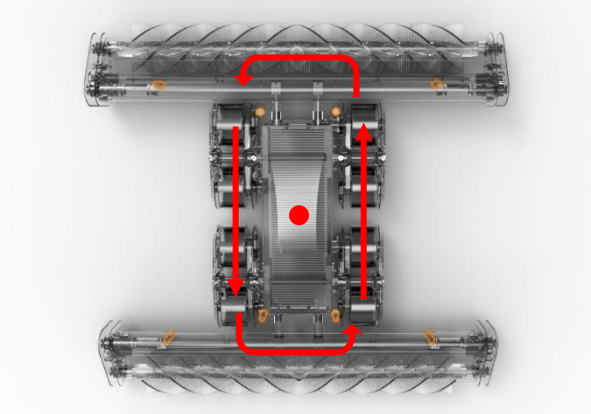


รูปที่ 10 ตำแหน่งของเซ็นเซอร์ป้องกันหุ่นตกจากแผง



รูปที่ 11 การทำงานของเซ็นเซอร์ป้องกันหุ่นตก

การเลี้ยวหรือกลับตัวของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงจะใช้วิธีการหมุนล้อด้านซ้ายและด้านขวาสวนทางการเพื่อให้เกิดจุดหมุนอยู่ตรงกลางของตัวหุ่น ทำให้มีวงเลี้ยวที่แคบที่สุดเพียง 60 เซนติเมตร ทั้งยังลดการไถลบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังตัวอย่างที่แสดงการเลี้ยวซ้ายในรูปที่ 12 และผลจากการทดสอบต่างๆ ทำให้หุ่นมีรายละเอียดด้านคุณลักษณะตามตารางที่ 3



รูปที่ 12 การเลี้ยวซ้ายของหุ่นยนต์

ตารางที่ 3 คุณลักษณะของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

หัวข้อ	รายละเอียด
1. ความยาว	1,179 มิลลิเมตร
2. ความกว้าง	1,300 มิลลิเมตร
3. ความสูง	236 มิลลิเมตร
4. น้ำหนัก	47 กิโลกรัม
5. ความยางของแปรง	1044 มิลลิเมตร

6. เส้นผ่านศูนย์กลางแปรง	150 มิลลิเมตร
7. ระยะการควบคุม	15 เมตร
8. พลังงาน	220 V to 24 V
9. มุมเอียงของแผงเซลล์	0-15 องศา
10. ความเร็ว	30 เมตร/นาที
11. ระบบป้องกัน	เซ็นเซอร์ 8 ตำแหน่ง
12. การขนย้าย	แยกส่วนได้ 7 ชิ้น
13. วัสดุของหุ่นยนต์	SUS304, 6061 ALLOY
14. วัสดุของแปรง	ขนแปรงไนลอน
15. บอร์ดควบคุม	ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino maga

5. สรุป

ในการทดสอบได้ทำการเปรียบเทียบความสะอาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งก่อนและหลังทำสะอาด โดยใช้การประเมินผลด้วยสายตา พิจารณาจากฝุ่นที่เกาะอยู่บนแผงเซลล์ตามรูปที่ 13 ผลเป็นที่หน้าพอใจ การเคลื่อนที่ไม่การสะดุด สามารถเคลื่อนที่ได้ต่อเนื่อง โครงสร้างสามารถรับน้ำหนักของตัวเครื่องได้ สามารถทำความสะอาดฝุ่นได้ดี

รูปที่ 13 การทดสอบการทำความสะอาดของหุ่นยนต์

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้เพราะได้รับความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูล จากภาคอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้าฯ บริษัทที่เกี่ยวข้อง รวมถึงทุนวิจัยจาก สกว. โครงการร่วมสนับสนุนทุนวิจัยและพัฒนา กฟผ.-สกว. ได้รับคำแนะนำจาก ผศ.ดร.เอกชัย เป็งวัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ อาจารย์ มนชัย เทียนทอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] A. Sayyah M. N. Horenstein M. K. Mazumder (2014). "Energy yield loss caused by dust deposition on photovoltaic panels" Sol. Energy vol. 107 pp. 576-604.

[2] Jaradat, M. A., et al. (2015). A fully portable robot system for cleaning solar panels, in 2015 10th International Symposium on Mechatronics and its Applications (ISMA). Sharjah, United Arab Emirates.

[3] Chen, C. H. and Z. Iqbal (2017). Development of a low power robot prototype for cleaning of Linear Fresnel concentrator mirrors, in 2016 5th International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA). Ras Al Khaimah, United Arab Emirates.

[4] S. K. Thomas, S. Joseph, S. T. S, S. B. Haris and R. R (2018). "Solar Panel Automated Cleaning (SPAC) System," 2018 International Conference on Emerging Trends and Innovations In Engineering And Technological Research (ICETIETR), Ernakulam, pp. 1-3.

[5] G. He C. Zhou Z. Li (2011). "Review of self-cleaning method for solar cell array" Procedia Eng. vol. 16 pp. 640-645.

[6] Sorndach, T., Pudchuen, N. and Srisungsitthisunti, P. (2018). July. Rooftop Solar Panel Cleaning Robot Using Omni Wheels. In 2018 2nd International Conference on Engineering Innovation (ICEI) (pp. 7-12). IEEE.