หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์
Solar Panel Cleaning Robot

เทิดศักดิ์ อินทโชติ กิตติศักดิ์ วาดสันทัด* นภัสดล สิงหะตา และวิชวุธ บุญญานุกูล
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
E-mail : kittisak.wad@vru.ac.th

บทคัดย่อ

ในต่างประเทศมีการใช้งานหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ โดยหุ่นยนต์จะยึดติดเข้ากับโครงสร้างของแผงโซล่าเซลล์ ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้โดยง่าย แต่การสร้างหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์นี้สามารถช่วยทำงานแทนมนุษย์ในการทำความสะอาดผิวหน้ากระจกแผงโซล่าเซลล์ในจุดที่มีความเสี่ยงในการปฏิบัติงานสูง และควบคุมได้ยาก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ โดยทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ วัสดุที่นำมาใช้ในการทำความสะอาดผิวหน้ากระจกแผงโซล่าเซลล์ และการควบคุมหุ่นยนต์แบบไร้สาย (Wireless Control) หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยระบบสุญญากาศ และมอเตอร์เกียร์ (Gear Motor) บนแผงโซล่าเซลล์ที่มีความลาดเอียง ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR (Arduino) ในการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ ผู้ใช้สามารถควบคุมและสั่งการทำงานหุ่นยนต์แบบไร้สายผ่านชุดก้านควบคุม (Joy Stick) และดูสภาพพื้นที่การปฏิบัติงานผ่านจอแสดงผลจากกล้องที่มีการติดตั้งไว้ที่ตัวหุ่นยนต์การทำงานของหุ่นยนต์ในการทำความสะอาดจะใช้แปรงปัดแบบลูกกลิ้ง (Rolling Brush) หมุนปัดทำความสะอาดบนผิวหน้ากระจกแผงโซล่าเซลล์ร่วมกับการฉีดพ่นน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความสะอาดให้ดียิ่งขึ้น

ผลการศึกษาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทำความสะอาดด้วยระบบสุญญากาศบนผิวหน้ากระจกแผงโซล่าเซลล์ หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ดีที่พื้นเอียง 0 ถึง 20 องศา และการศึกษาวัสดุที่นำมาใช้ทำแปรงทำความสะอาดผิวหน้ากระจกแผงโซล่าเซลล์พบว่าใช้แปรงอุตสาหกรรมทำความสะอาดได้ดีที่สุด คิดเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ การควบคุมหุ่นยนต์ได้ระยะไกลที่สุด 12 เมตร

คำสำคัญ : หุ่นยนต์ทำความสะอาด โซล่าเซลล์ หุ่นยนต์

Abstract

Overseas use robots to clean solar cells as well. The robot will be attached to the structure of the solar cell and can not be moved easily. The robot can replace human work at high risk area.

This research aims to design and build robots to clean solar cells and study about robot movement, material for cleaning solar cell surface and wireless robot control. The robot can move by vacuum system and gear motor on inclined. The controller of robot is AVR microcontroller (Arduino). User can command and control robot by wireless joy stick and monitor working area from camera on robot. The robot uses roller brush to clean the solar cell surface and sprays water to clean better.

The study of the motion of solar panel cleaning robot. The robot can move at an inclined up to 20 degrees and the material used to make brush to clean the surface of solar cells that use industrial cleaning brush is the best. Cleaning efficiency is 90%. Farthest distance control is 12 meters.

Keywords : cleaning robot, solar cell, robot

1. บทนำ (Introduction)

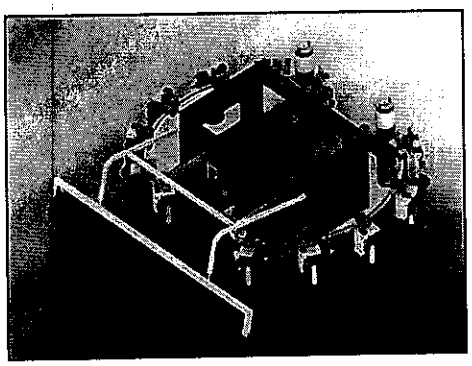
ในสถานการณ์ปัจจุบัน แนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ทำให้การผลิตไฟฟ้าในรูปแบบเดิมๆไม่เพียงพอต่อการใช้งานโดยเฉพาะอย่างยิ่ง พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากน้ำมันและก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากวิธีการสะสม ทับถมของซากพืชซากสัตว์เป็นเวลาหลายล้านปี เป็นพลังงานที่ถูกใช้แล้วนับวันจะหมดลงไปจากโลกนี้ พลังงานทดแทนคือ พลังงานที่ถูกทำขึ้นใหม่ (Renewable) ได้อย่างต่อเนื่องเรียกว่า พลังงานหมุนเวียน (Renewal energy) ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม น้ำ และไฮโดรเจน จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ถูกให้ความสนใจเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นการนำเอาเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) เข้ามาแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า จากความสนใจในการใช้งานพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ดังกล่าว ทำให้เริ่มมีโครงการสนับสนุนจากรัฐบาลเพื่อนำเอาเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) เข้ามาใช้งานทดแทนพลังงานทั้งน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ เช่นโครงการติดโซล่าเซลล์บนหลังคาบ้านและโรงงาน โดยให้นโยบายการส่งเสริมค่าไฟสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลขายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า จะเป็นสัญญาระยะยาว 25 ปี เป็นต้น จากการได้รับความสนใจต่อการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) ที่เติบโตขึ้นเรื่อยๆ ในปัจจุบัน จนเกิดเป็นทั้งธุรกิจอุตสาหกรรมการใช้ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) จนไปถึงการใช้งานในครัวเรือน เซลล์แสงอาทิตย์จึงถูกนำมาใช้งานอย่างมากมาย

ผู้จัดทำงานวิจัยจึงมองเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำความสะอาดบริเวณหน้ากระจกเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) และมีความประสงค์ที่จะจัดทำหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ (Solar panel cleaning-robot) ที่เข้ามาใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นหรือทดแทนมนุษย์ในการปฏิบัติงาน โดยหุ่นยนต์สามารถทำงานในพื้นที่ๆมีความสูง ยากต่อการเข้าทำความสะอาด และสามารถปฏิบัติงานได้เป็นเวลายาวนานกว่า ซึ่งหุ่นยนต์สามารถเดินบนหน้ากระจกเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) โดยการดูดจับสุญญากาศในการเดิน และการทำความสะอาดด้วยแปรงขัดอุตสาหกรรม แล้วฉีดทำความสะอาดด้วยน้ำอีกรอบ หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ (Solar panel cleaning robot) จึงเป็นแนวทางในธุรกิจอุตสาหกรรมการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ได้เป็นอย่างดี

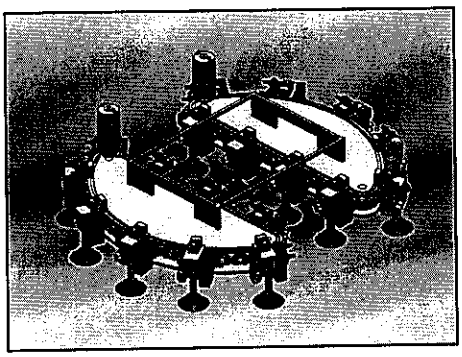
2. วิธีการวิจัย (Methodology)

2.1 การออกแบบโครงสร้างตัวหุ่นยนต์และระบบกลไก

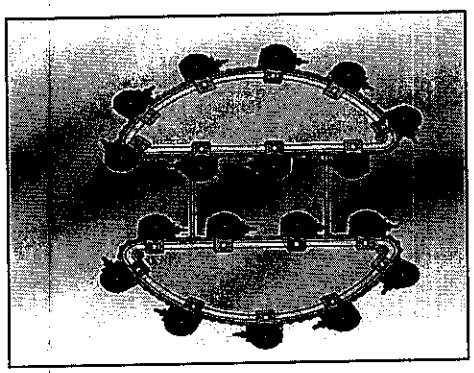
โครงสร้างของตัวหุ่นยนต์ที่ ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid Works



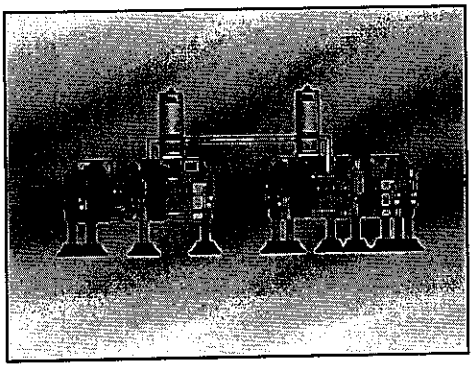
(ก) แสดงองค์ประกอบโดยรวมของหุ่นยนต์



(ข) แสดงด้านบนของหุ่นยนต์



(ค) แสดงด้านล่างของหุ่นยนต์



(ง) แสดงด้านหน้าของหุ่นยนต์

ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างของตัวหุ่นยนต์ที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid Works

จากภาพที่ 1 แสดงการออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ทำความสะอาด จะทำการออกแบบให้มีตัวฐานหรือโครงสร้างเป็นครึ่งวงกลม หรือวงรี 2 ข้างเพื่อนำมาประกบกันจะเป็นวงกลม และจะมีขาที่เป็นยางดูดสุญญากาศ (Vacuum Pad) ไว้เพื่อการยึดเกาะกระจกที่ดี แล้วทุกขาสามารถหมุนรอบฐานได้ ซึ่งจากภาพที่ 1 (ก) 1 (ข) 1 (ค) และ 1 (ง) แสดงถึงมุมมองในมุมต่าง ๆ ของภาพที่ออกแบบไว้

2.2 การออกแบบลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์

2.2.1 การออกแบบลักษณะท่าการเดิน

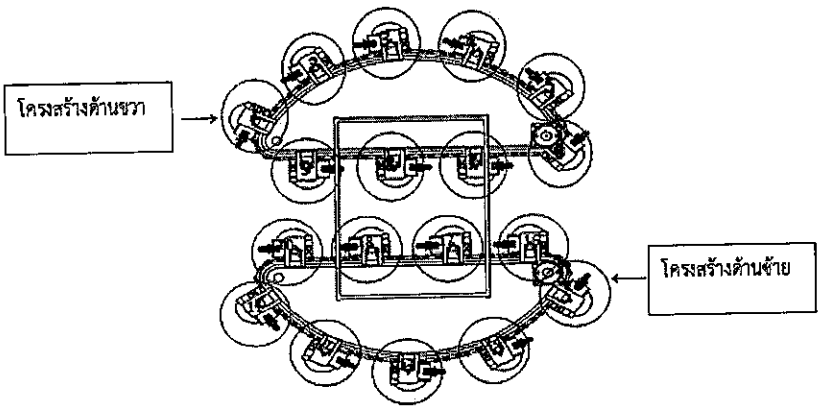
1) ลักษณะท่าการเดินหน้า จะออกแบบให้ขาที่อยู่ด้านในทั้งหมด ที่อยู่ในลักษณะเป็นคู่ขนานทั้งหมด 8 ขาเป็นตัวยึดเกาะกับพื้นผิวและใช้แรงขับจากมอเตอร์เกียร์ (Motor Gear) ผลักดันให้ตัวของหุ่นยนต์เดินไปข้างหน้า

2) ลักษณะท่าการถอยหลัง ลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับการเดินหน้าแต่จะอาศัยการบังคับทิศทางของมอเตอร์เกียร์ให้หมุนกลับทางกัน

3) ลักษณะการบังคับเลี้ยวซ้าย ในลักษณะการบังคับเลี้ยวนั้น จะเป็นลักษณะของการหมุนโดยให้ตัวหุ่นยนต์นั้นหยุดอยู่กับที่แล้วใช้ขาด้านนอกสุดจำนวน 6 ขา (ที่เป็นลักษณะวงกลม) เป็นตัวยึดเกาะกับพื้นผิวส่วนขาด้านในทั้งหมด (8 ขา) จะยกขึ้น ส่วนการหมุนจะใช้แรงขับจากเกียร์มอเตอร์ ซึ่งจะทำให้ฐานหรือของหุ่นยนต์สามารถหมุนได้ 360 องศา

4) ลักษณะการบังคับเลี้ยวขวา จะทำงานในลักษณะเดียวกันกับการบังคับเลี้ยวซ้ายแต่จะควบคุมทิศทางการหมุนของเกียร์มอเตอร์ทิศทางตรงข้ามกัน

5) การทรงตัวของหุ่นยนต์ จากรูปที่ 3 การออกแบบจะใช้กระบอกสูบลม (Air Cylinder) จะใช้กระบอกสูบลม จำนวน 18 ตัวแบ่งออกเป็น 2 ข้าง ข้างละ 9 ตัว เป็นตัวยกขึ้น ลงโดยที่จะติดตั้งด้านในที่ตำแหน่ง หมายเลข 6 7 8 9 และ 16 17 18 19 (ด้านคู่ขนาน) เพื่อความสมดุลของหุ่นยนต์



ภาพที่ 2 การรักษาสมดุลของหุ่นยนต์ในการเดินหน้าและถอยหลัง

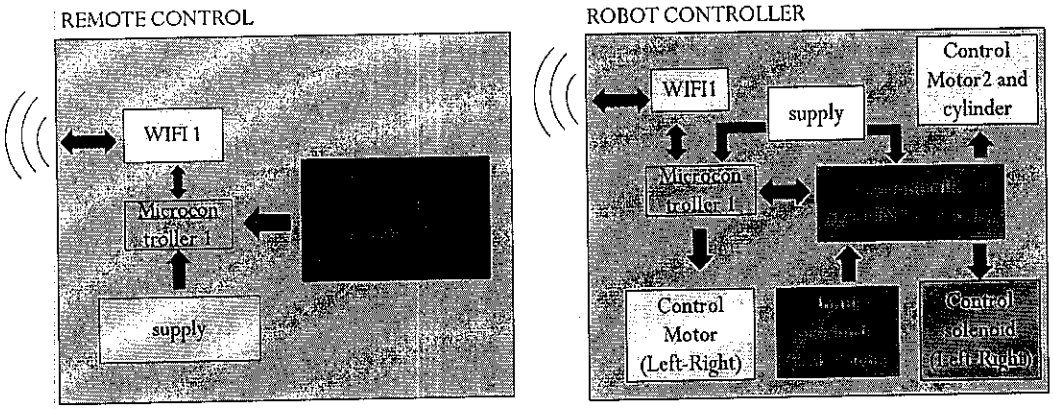
ส่วนด้านนอก (ส่วนที่อยู่ภายนอกครึ่งวงกลม) ตำแหน่ง หมายเลข 1 2 3 4 5 และ 11 12 13 14 จะยกขึ้น เมื่อตัวของหุ่นยนต์เดินหน้าและถอยหลัง

2.2.2 การบังคับหรือควบคุมการยกขึ้นลงของตำแหน่งของขาแต่ละขา

ในแต่ละขาของหุ่นยนต์จะติดตั้ง Vacuum Ejector หรือ Vacuum Generator ไว้ทุกขามีวาล์วขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (Solenoid valve) ควบคุมการทำงาน และใช้ เซนเซอร์ตรวจจับระยะ (Proximity sensor) ติดไว้กับทุกขาเพื่อเป็นตัวเช็คตำแหน่งและป้อนกลับสัญญาณให้กับชุดควบคุม การทำงานของ แต่ละขา

การทำงานเมื่อควบคุมให้หุนยนต์เดินหน้าและถอยหลัง จะเช็คสภาวะเอาต์พุตของ เซนเซอร์ตรวจจับระยะ (Proximity sensor) ที่ Active low (0) เมื่อใดก็ตามที่ตำแหน่งขาไหนเป็น Active low ก็จะส่งสัญญาณให้วงจรควบคุม สั่งให้ วาล์วขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (Solenoid valve) ทำงานทันที ตัวของกระบอกสูบจะดันออก (ยกตัวหุ่นยนต์ขึ้น) Vacuum จะทำงานพร้อมกับการทำงานของ กระบอกสูบลม และได้ติดตั้ง ยางดูดสุญญากาศ (Vacuum Pad) ไว้ตรงด้านล่างเพื่อเพิ่มการยึดเกาะที่ดีขึ้น ส่วนการเลี้ยวหรือหมุน ก็จะใช้ สัญญาณจาก เซนเซอร์ตรวจจับระยะ (Proximity sensor) เช่นกันแต่จะทำงานในทิศทางที่ตรงกันข้าม

2.3 การออกแบบระบบควบคุม



ภาพที่ 3 แสดงบล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมและสั่งการ

จากภาพที่ 3 แสดงถึง บล็อกไดอะแกรมการทำงานประกอบด้วยภาค Remote Control และภาค Robot Controller ซึ่งการสื่อสารข้อมูลจะใช้ Wi-Fi ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างรีโมทกับตัวหุ่นยนต์ ภาค Robot Controller จะถูกติดตั้งอยู่กับตัวหุ่นยนต์ ภาค Remote Control จะอยู่กับตัวผู้ใช้งาน

การควบคุมหุ่นยนต์จะประกอบไปด้วยการเคลื่อนที่เดินหน้า ถอยหลัง หยุด เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา การสั่งให้หมุนแปรง ยกแปรงขึ้น-ลง ปิด-เปิดน้ำเป็นต้น

3. ผลวิจัย (Results)

การทดลองและการทดสอบข้อจำกัด สมรรถนะ ประสิทธิภาพ ของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซล่า-เซลล์ ในสภาวะแตกต่างกัน โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 5 สภาวะ คือ

- ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในแนวราบไม่มีโหลด
- ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในแนวราบที่มีโหลดด้วยการลากจูง
- ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่บนกระจกที่มุมต่างๆ
- ทดสอบหาระยะทางที่มากที่สุดในการบังคับหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์
- ทดสอบการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์

3.1 ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในแนวราบไม่มีโหลด

จากตารางที่ 1 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ เรื่องการเคลื่อนที่ในแนวราบที่ไม่มีโหลด โดยจะไม่มีการเพิ่มน้ำหนักจากภายนอกเข้าไปบนตัวหุ่นยนต์ เมื่อทิศทางการเคลื่อนที่ต่างกัน องศาในการเคลื่อนที่ต่างกัน ได้ระยะทางเปรียบเทียบกับเวลาเป็นอย่างไร

ตารางที่ 1 ผลการทดลองความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในแนวราบไม่มีโหลด

ระยะทาง (s)	เวลา (s)	อัตราเร็ว (v)
เดินหน้า 5 เมตร	42.7	0.117 m/s
ถอยหลัง 5 เมตร	42.3	0.118 m/s
หมุนซ้าย 360 องศา (0.6 เมตร)	15.0	0.040 m/s
หมุนขวา 360 องศา (0.6 เมตร)	15.0	0.040 m/s

จากตารางที่ 1 ในการทดลองการเคลื่อนที่เดินหน้าและถอยหลังเป็นการเคลื่อนที่แบบเดินตรงจะใช้เวลาใกล้เคียงกัน ใช้เวลาในการเดินเฉลี่ยที่ 42.5 วินาที เมื่อนำค่ามาคำนวณแล้วจะมีค่าอัตราเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 0.117 m/s แตกต่างกับการเคลื่อนที่แบบหมุนซ้ายและขวา ซึ่งทำได้ช้ากว่าจะใช้เวลา 15 วินาที คำนวณแล้วอัตราเร็วจะเท่ากับ 0.04m/s หุ่นยนต์ที่เดินในแนวราบไม่มีโหลด อัตราเร็วของการเดินจะขึ้นอยู่กับระยะทางเวลาที่ใช้ และลักษณะการเดินที่แตกต่างกัน เป็นผลให้อัตราเร็วมีค่าไม่เท่ากัน

3.2 ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในแนวราบที่มีโหลดด้วยการลากจูง

จากตารางที่ 2 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ เรื่องการเคลื่อนที่ในแนวราบโดยการเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักกับเวลา

ตารางที่ 2 ผลการทดลองเคลื่อนที่ในแนวราบขณะรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในการลากจูง

ลำดับ	จำนวนแผ่นเหล็ก (แผ่น)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)
1	2	1780	3	31.5
2	4	3262	3	31.7
3	6	4744	3	31.9
4	8	6226	3	32.8
5	10	7708	3	33.5
6	12	9190	3	34.7
7	14	10672	3	35.6
8	16	12154	3	36.3
9	18	13636	3	38.4
10	20	15118	3	40.2
11	22	16600	3	44.5
12	24	18082	3	47.8
13	26	19564	3	48.5
14	28	21046	3	49.7
15	30	22528	3	51.3
16	32	24010	3	52.4
17	34	25492	3	53.2
18	36	26974	3	53.8
19	38	28456	3	54.7
20	40	29398	3	55.6
21	46	34384	3	56.8
22	50	37348	3	58.7
23	56	41794	3	61
24	60	44758	3	89
25	66	49204	3	ไม่สามารถเดินได้

จากตารางที่ 2 จากการทดลองความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในการลากจูงในแนวราบ หุ่นยนต์เดินในระยะทาง 3 เมตรเท่ากัน แต่มีการเพิ่มเติมจำนวนโหลดน้ำหนักวัตถุที่ให้หุ่นยนต์ทำการลากจูง จากนั้นทำการจับเวลาตามการเพิ่มจำนวนโหลดในแต่ละครั้ง ผลที่ได้คือ ยิ่งเพิ่มน้ำหนักโหลดขึ้นจาก 0g ถึง 44758g หุ่นยนต์ยังสามารถเคลื่อนที่ได้แต่ใช้ระยะเวลาในการเคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งน้ำหนักโหลดอยู่ที่ 49204g หุ่นยนต์จึงไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ซึ่งสามารถดูกราฟการเปลี่ยนแปรงผลการทดลองที่ได้ในภาพที่ 4.6 จากกราฟที่ได้แสดงให้เห็นว่ายิ่งค่าของ Load (g) ยิ่งสูงมากเท่าไร ค่าของเวลา Time (s) ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ก็ยิ่งเพิ่มมากขึ้นตามจนกระทั่งหุ่นยนต์ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เปรียบเทียบได้จาก หุ่นยนต์มีแรงเท่าเดิมแต่เนื่องจากมวลมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเร่งลดลง ทำให้ใช้เวลาในการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นตามลำดับจนทำให้หุ่นยนต์ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ส่วนความเร็วก็จะมีค่าลดลงตาม ในการออกแบบหุ่นยนต์ทำความสะอาด น้ำหนักและแรงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบ เพราะทั้งสองสิ่งนี้จะส่งผลกระทบต่อการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

3.3 ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่บนกระจกที่มุมต่าง ๆ

จากตารางที่ 3 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ เรื่องการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในแต่ละองศาของมุมพื้นเอียงตั้งแต่ 0 ถึง 45 องศา เป็นการศึกษาความสามารถในการเดินของหุ่นยนต์ว่าสามารถทำงานได้หรือไม่ เมื่อพื้นที่ทำความสะอาดมีมุมเอียงในแต่ละพื้นที่อาจจะติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ไว้ที่มุมองศาไม่เท่ากัน ซึ่งจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทำความสะอาด

ตารางที่ 3 ผลการทดลองการเดินของหุ่นยนต์ที่องศาและน้ำหนักถ่วงที่มีค่าต่างกัน

น้ำหนักถ่วง	องศาพื้นเอียง						หมายเหตุ
	0	15	20	25	30	45	
0g	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินขึ้นลงได้ปกติ
500g	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินขึ้นลงได้ปกติ
1000g	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินขึ้นลงได้ปกติ
1500g	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินขึ้นลงได้ปกติ
2000g	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินขึ้นลงได้ปกติ
2500g	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	
3000g	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้ แต่เริ่มเอียง	เดินได้แต่สะดุด	
3500g	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้	เดินได้แต่เอียงไปทางขวา	เดินได้แต่ช้า	

จากตารางที่ 3 หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์นี้ สามารถทำการเดินได้ตามปกติเมื่อเดินแบบตัวเปล่าและที่การถ่วงน้ำหนักตั้งแต่ 500g ถึง 2500g ที่ความเอียงของพื้นที่ในการเดินตั้งแต่ 0 ถึง 45 องศา แต่เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักเพิ่มขึ้นที่ 3000g ถึง 3500g หุ่นยนต์มีการเดินไม่สมดุลที่ความเอียงของพื้นที่ตั้งแต่ 30 ถึง 45 องศา จะเกิดลักษณะการเดินที่ไม่ปรกติคือ การเดินเอียง หรือการเดินสะดุด เดินช้า น้ำหนักและองศาความเอียงของแผงโซล่าเซลล์ มีผลกระทบโดยตรงกับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในลักษณะพื้นเอียง ถ้าน้ำหนักและมุมองศาความเอียงเพิ่มมากขึ้น การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะช้าลง เกิดความผิดปรกติในการเดินหรือจนกระทั่งไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ผลการทดลองที่เกิดขึ้นนี้จึงนำไปสู่การกำหนดความเหมาะสมในการใช้งานของตัวหุ่นยนต์ เพื่อใช้เดินทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ ที่มีความลาดเอียงตั้งแต่ 0 ถึง 25 หุ่นยนต์ถึงจะสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำงานได้ดี

3.4 ทดสอบหาระยะทางที่มากที่สุดในการบังคับหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์

จากตารางที่ 4 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ เพื่อหาความสามารถของการควบคุมหุ่นยนต์ของอุปกรณ์สื่อสาร (Wi-Fi) เพื่อหาระยะที่สามารถทำการควบคุมได้ดีไม่เกิดการสูญเสียของสัญญาณ ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อตัวหุ่นยนต์ขึ้นได้

ตารางที่ 4 ผลการทดลองความสามารถของการควบคุมหุ่นยนต์ที่ระยะ

ระยะทาง (m)	บริเวณพื้นที่โล่ง	บริเวณพื้นที่มีสิ่งกีดขวาง	หมายเหตุ
2	ควบคุมได้	ควบคุมได้	
4	ควบคุมได้	ควบคุมได้	
6	ควบคุมได้	ควบคุมได้	
8	ควบคุมได้	ควบคุมได้	
10	ควบคุมได้	ควบคุมได้	
12	ควบคุมได้	ควบคุมได้	- ระบบกล้องจะใช้ไม่ได้ในระยะนี้
13	ควบคุมได้ไม่ดี	ควบคุมไม่ได้	- ระบบกล้องจะใช้ไม่ได้ในระยะนี้ - ควบคุมได้ไม่ดี คือมีสัญญาณในการควบคุมไม่สม่ำเสมอ
14	ควบคุมไม่ได้	ควบคุมไม่ได้	- ระบบกล้องจะใช้ไม่ได้ในระยะนี้

จากตารางที่ 4 พบว่าหากต้องการควบคุมหุ่นยนต์ให้สามารถทำงานได้ดีที่สุด หุ่นยนต์จะต้องอยู่ในระยะควบคุมไม่เกิน 12 เมตร หากเกินระยะการควบคุมนี้ไป จะทำให้คำสั่งที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์นั้นทำงานผิดพลาดเนื่องจากการสื่อสารทำได้ไม่ดี หุ่นยนต์จะทำงานผิดปรกติหรืออาจไม่ทำงานตามคำสั่งที่โปรแกรมไว้

3.5 ทดสอบการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์

จากตารางที่ 5 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุที่ใช้ในการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ โดยการนำอุปกรณ์ทำความสะอาดตามท้องตลาดมาทดสอบและเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลอง และนำอุปกรณ์ที่เหมาะสมจากการทดลองไปติดตั้งที่หุ่นยนต์เพื่อใช้ทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ เริ่มทำการทดลองพิจารณาจากแรงดันไฟฟ้า (Volt) ขณะยังไม่โรยแป้งฝุ่นบนแผงโซล่าเซลล์ วัดแรงดันได้ 20 โวลต์เท่ากันซึ่งเป็นเงื่อนไขเริ่มต้นในการทดลอง

ตารางที่ 5 การทดสอบทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์

ลำดับที่	วัสดุที่ใช้ทำความสะอาด	ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะยังไม่โรยแป้งฝุ่น (Volt)	ค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อโรยแป้งฝุ่น (Volt)	ค่าแรงดันไฟฟ้าหลังทำความสะอาด (Volt)
1	แปรงถูผ้าที่มีขายทั่วไป	20	19	19.15
2	ผ้าธรรมดาเช็ดฝุ่นทั่วไป	20	19	19.38
3	ผ้าชามัวทำความสะอาดรถยนต์	20	19	19.67
4	แปรงอุตสาหกรรมแบบขนอ่อน	20	19	19.96

จากตารางที่ 5 พบว่าอุปกรณ์ที่ใช้ทำความสะอาดได้ดีที่สุดหลังจากการทำความสะอาด ให้ค่าพลังงานที่ใกล้เคียงกับค่าพลังงานขณะที่โซล่าเซลล์ทำงานโดยไม่มีฝุ่นมาจับที่ผิวหน้าโซล่าเซลล์ คือแปรงอุตสาหกรรมแบบขนอ่อน จึงนำมาใช้ในการติดตั้งที่หุ่นยนต์เพื่อทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์

4. การอภิปรายผลหรือการวิจารณ์และสรุป (Discussion and Conclusion)

จากการออกแบบโครงสร้างการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์และอุปกรณ์ในการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ ผลที่ได้จากศึกษาการทำงานพบว่า

1) ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในแนวราบไม่มีโหลด ผลที่ได้คือ หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่เดินหน้าและถอยหลังในอัตราเร็วเฉลี่ย 0.117 m/s และเลี้ยวซ้ายเลี้ยวขวาที่ 0.04 m/s หุ่นยนต์ที่เดินใน

แนวราบไม่มีโหลด อัตราเร็วของการเดินจะขึ้นอยู่กับระยะทาง เวลาที่ใช้ และลักษณะการเดินที่แตกต่างกัน เป็นผลให้อัตราเร็วมีค่าไม่เท่ากัน

2) ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในแนวราบที่มีโหลดด้วยการลากจูง ผลที่ได้คือ ที่น้ำหนักโหลด 44758g หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้และที่น้ำหนักโหลด 49204g หุ่นยนต์ไม่สามารถที่จะทำการเดินเคลื่อนที่ได้ ค่าของ Load (g) ยิ่งสูงมากเท่าไร ค่าของเวลา Time (s) ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ก็ยิ่งเพิ่มมากขึ้นตามจนกระทั่งหุ่นยนต์ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เปรียบเทียบได้จาก หุ่นยนต์มีแรงเท่าเดิมแต่เนื่องจากมวลมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเร่งลดลง ทำให้ใช้เวลาในการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นตามลำดับจนทำให้หุ่นยนต์ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ส่วนความเร็วก็จะมีค่าลดลงตาม ในการออกแบบหุ่นยนต์ทำความสะอาด น้ำหนักและแรงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบ เพราะทั้งสองสิ่งนี้จะส่งผลกระทบต่อการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

3) ทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่บนกระจกที่มุมต่างๆ ผลที่ได้คือ หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้จาก 0 ถึง 45 องศา โดยมีน้ำหนักถ่วงในขณะเคลื่อนที่ตั้งแต่ 500g ถึง 2500g แต่เมื่อเพิ่มน้ำหนักถ่วงขึ้นตั้งแต่ 3000g ถึง 3500g หุ่นยนต์จะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ถ้าน้ำหนักและมุมองศาความเอียงเพิ่มมากขึ้นการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะช้าลง เกิดความผิดปรกติในการเดินหรือจนกระทั่งไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ผลการทดลองที่เกิดขึ้นนี้จึงนำไปสู่การกำหนดความเหมาะสมในการใช้งานของตัวหุ่นยนต์ เพื่อใช้เดินทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ ที่มีความลาดเอียงตั้งแต่ 0 ถึง 25 หุ่นยนต์ถึงจะสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำงานได้ดี

4) ทดสอบหาระยะทางที่มากที่สุดในการบังคับหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ ผลที่ได้คือ หุ่นยนต์อยู่ในระยะที่สามารถควบคุมได้ไม่เกิน 12 เมตร หากเกินระยะการควบคุมนี้ไป จะไม่สามารถควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ได้

5) การศึกษาวัสดุที่นำมาใช้ทำแปรงทำความสะอาดผิวหน้ากระจกแผงโซล่าเซลล์ โดยทดสอบการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ ผลที่ได้พบว่า แปรงอุตสาหกรรมแบบขนอ่อน มีความสามารถในการปัดทำความสะอาดได้ดีกว่าอุปกรณ์ชนิดอื่น สามารถทำให้ค่าพลังงานหลังจากการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ มีค่าที่ใกล้กับตอนที่ยังไม่มีสิ่งสกปรกเกาะบริเวณผิวหน้ากระจกแผงโซล่าเซลล์

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำงานวิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณทางมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ และงบประมาณที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย ตั้งแต่ขั้นต้นจนแล้วเสร็จ อันเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้งานวิจัยบรรลุได้ ตามวัตถุประสงค์ ซึ่งทำให้คณะผู้จัดทำงานวิจัยได้รับความรู้ และความเข้าใจในทุกขั้นตอนการปฏิบัติงาน อันส่งผลต่อความสำเร็จของงานวิจัยนี้เป็นอย่างมาก

6. เอกสารอ้างอิง (References)

บทที่ 1 ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์. http://www.chumphon.kmitl.ac.th/me/images/stories/km/km002.pdf].

How to maintain a solar panel. [http://www.wikihow.com/maintain-a-solar-panel].

Sinfonia-resola-solar panel cleaning robot. [http://akihabaranews.com/2014/06/09/article-en/Sinfonia-resola-solar-panel-cleaning-robot-1961659473].

Uman Khalid, Muhammad Faizan Baloch, Haseeb Haider, Muhammad Usman Sardar, Muhammad Faisal Khan, Abdul Basit Zia and Tahseen Amin Khan Qasuria, "Smart Floor Cleaning Robot (CLEAR)" Faculty of Electronic Engineering, Ghulam Ishaq Khan Institute of Engineering Sciences and Technology, Pakistan, Hamdard Institute of Engineering & Technology, Hamdard University, Karachi, Pakistan

Andrew Ziegler, Christopher John Morse, Duane L. Gilbert, Jr., Andrew Jones, "Autonomous surface cleaning robot for dry cleaning," U.S. Patent 8782848 B2, July 22, 2014