

## ระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย



นายชิตพัทธ์ ไกรโสดา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2562

# **SOLAR PANEL CLEANING SYSTEM FOR HOUSE**



**Chitipath Kraisoda**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the  
Degree of Master of Engineering in Mechatronics Engineering**

**Suranaree University of Technology**

**Academic Year 2019**

## ระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


  
(อ. ดร.สมศักดิ์ สีวดำรงพงศ์)

ประธานกรรมการ

  
สุรเดช ตัญตรีชัยรัตน์

(อ. ดร.สุรเดช ตัญตรีชัยรัตน์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

  
(ดร.สุพัฒน์ กลิ่นเขียว)

กรรมการ



(ศ. ดร.สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชานีประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ชิติพัทธ์ ไกรโสคา : ระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย  
(SOLAR PANEL CLEANING SYSTEM FOR HOUSE) อาจารย์ที่ปรึกษา :  
อาจารย์ ดร.สุรเดช ตัญจรัยรัตน์, 97 หน้า.

ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์เป็นที่นิยมใช้เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากพลังงานที่ได้นั้นเป็นพลังงานสะอาดปราศจากมลพิษและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย อย่างไรก็ตามเซลล์แสงอาทิตย์ต้องการการดูแลรักษาอย่างต่อเนื่อง เพื่อความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและมีอายุการใช้งานที่นานขึ้น ความสะอาดบนพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงมีการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย โดยใช้ระบบที่มีโครงสร้างแบบคาร์ทีเซียนที่ถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงระบบเปิด แบบใช้น้ำในการทำ ความสะอาด ออกแบบการทดลองด้วยวิธีแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ( $2^k$ ) ทดลอง 2 ซ้ำ โดยกำหนดตัวแปรหลักในการทดลอง ได้แก่ แรงดันน้ำ ความเร็วการเคลื่อนที่ และการเป่าแห้งโดยใช้พัดลม เพื่อให้ทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาด จากผลการทดลองพบว่า แรงดันน้ำ ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ และการเป่าแห้งโดยใช้พัดลม มีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น .05 โดยตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ แรงดันน้ำ ความเร็วของการเคลื่อนที่ และการเป่าแห้งโดยใช้พัดลม ตามลำดับ

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนักศึกษา



ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา สุรเดช ตัญจรัยรัตน์

CHITIPATH KRAISODA : SOLAR PANEL CLEANING SYSTEM FOR  
HOUSE. THESIS ADVISOR : SURADET TANTRAIRATN, Ph.D., 97 PP.

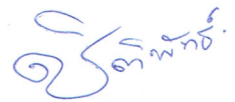
CLEANING ROBOT/CLEANING/SOLAR CELL/2<sup>k</sup> FULL FACTORIAL

At present, solar panel is popularly used for electricity production since it produces clean energy and has low environmental impacts. However, the solar panel needs continuously intensive monitoring, in order to achieve the efficient electricity production and longer its lifespan. Cleanliness of the solar panel was one of the key impacts on the electricity production. Therefore, there was a need to conduct the study to enhance the effectiveness of solar panel cleaning. The objective of this research was to study cleaning parameters affecting the solar panel cleaning efficiency on a household scale by using the prototype system. The system was using Cartesian structure and water as cleaning liquid. 2<sup>k</sup> Full Factorial Design Techniques was conducted with 2 replicates. Water pressure, speed and air-drying fan were 3 parameters used in the study. The experimental results showed that water pressure, speed, and air-drying fan-on were statistically significant to electricity production with 0.05 significant level. The factors on the electricity production were water pressure, speed, and air-drying fan respectively.

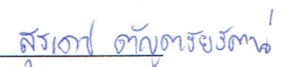
School of Mechanical Engineering

Academic year 2019

Student's Signature



Advisor's Signature



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้จะดำเนินการสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคคลต่าง ๆ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และช่วยเหลือ ทั้งในด้านวิชาการ การดำเนินการวิจัย กำลังใจและสิ่งอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สุรเดช ตัญจรัยรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ทิวคำรังพงศ์ รองคณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ (ฝ่ายบริหาร) ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในการใช้เทคนิคทางสถิติในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.นัฐรัมภาพร ธนปิยวัฒน์ ประธานหลักสูตรพยาบาลศาสตรมหาวิทาลัยราชภัฏชัยภูมิ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในการใช้ภาษาในงานวิจัย

ขอขอบคุณ คณาจารย์สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้คำแนะนำมาด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัท ตะวันเอ็นเนอร์ยี จำกัด ที่ให้การสนับสนุนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับใช้ในการวิจัย

สุดท้ายนี้ คุณงามความดีอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่ คุณตา คุณยาย คุณพ่อ คุณแม่ คุณป้า และคุณน้า รวมถึงทุกคนในครอบครัวที่ให้การอบรมเลี้ยงดู และให้กำลังใจช่วยเหลือจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

จิตพัทธ์ ไกรโสดา

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 คำอธิบายศัพท์.....	4
<b>2 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>5</b>
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell).....	5
2.1.2 ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.1.2.1 แบบผลึก (Crystalline Silicon).....	6
2.1.2.2 แบบฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cell).....	7
2.1.2.3 แบบแกเลียมอาเซไนด์ (Gallium Arsenide Solar Cell).....	8
2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	9
2.1.3.1 ความเข้มของแสงอาทิตย์.....	9
2.1.3.2 อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	10
2.1.3.3 ทิศและมุมเอียงของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	10
2.1.3.4 การสะสมของฝุ่นละอองหรือคราบสกปรก.....	10

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2	วิธีการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	11
2.2.1	ทำความสะอาดโดยตามธรรมชาติ.....	11
2.2.2	แรงงานมนุษย์.....	12
2.2.3	เครื่องทำความสะอาดเคลื่อนที่.....	13
2.2.4	ทำความสะอาดด้วยหัวฉีด.....	14
2.2.5	การกำจัดฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต.....	15
2.3	ความรู้เกี่ยวกับหุ่นยนต์.....	16
2.3.1	ความหมายของหุ่นยนต์.....	16
2.3.2	ประเภทของหุ่นยนต์.....	16
2.3.3	ส่วนประกอบของหุ่นยนต์.....	21
2.3.4	หลักการสร้างหุ่นยนต์.....	23
2.3.5	ข้อดีและข้อเสียของหุ่นยนต์.....	24
2.4	ระบบการเคลื่อนที่ที่ถูกใช้ในหุ่นยนต์ทำความสะอาดบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	26
2.4.1	วิธีการเคลื่อนที่ด้วยระบบราง.....	27
2.4.2	วิธีการเคลื่อนที่ด้วยเส้นเชือก.....	28
2.4.3	วิธีการเคลื่อนที่ด้วยระบบหุ่นยนต์แบบเคลื่อนย้ายได้.....	29
2.5	การออกแบบการทดลองแฟกโทเรียลแบบสองระดับ (Design of Experiment) แบบ $2^k$ Factorial Design.....	30
2.6	การใช้โปรแกรมมินิแทบเพื่อออกแบบการทดลอง.....	31
2.6.1	ขั้นตอนการใช้โปรแกรมมินิแทบ (Minitab).....	31
2.6.2	ความสามารถด้านฟังก์ชันและกราฟของโปรแกรม Minitab.....	32
2.6.2.1	Basic Statistics.....	32
2.6.2.2	Regression Analysis.....	33
2.6.2.3	ANOVA.....	34
2.6.2.4	Statistical Quality Tools.....	34
2.6.2.5	Design of Experiment.....	35



## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.2.6 Reliability.....	36
2.6.2.7 Simulation and Distribution.....	36
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
2.7.1 งานวิจัยในประเทศ.....	37
2.7.2 งานวิจัยต่างประเทศ.....	38
<b>3 วิธีดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>40</b>
3.1 การออกแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	40
3.2 การออกแบบระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย.....	41
3.2.1 ระบบโครงสร้าง.....	41
3.2.2 ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์.....	50
3.3 การออกแบบระบบฉีดน้ำ.....	51
3.4 ทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดด้วยระบบทำความสะอาด.....	52
3.4.1 การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้า.....	52
3.4.2 ขั้นตอนการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบ.....	53
3.4.3 ออกแบบการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	56
<b>4 ผลการดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>58</b>
4.1 ผลการพัฒนากระบวนการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย.....	58
4.1.1 ผลการสร้างระบบต้นแบบ.....	58
4.1.2 การทดสอบหาขีดจำกัดของความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ.....	61
4.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดด้วยระบบทำความสะอาด.....	62
4.2.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2 <sup>3</sup> ).....	62
4.2.2 ผลการทดลองการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2 <sup>3</sup> ).....	64
4.2.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง.....	64

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความผันแปรของ พลังงานไฟฟ้า.....	65
4.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสม.....	68
4.2.4 เวลาที่เหมาะสมในการทำความสะอาดด้วยระบบทำความสะอาด.....	69
4.2.4.1 ฟังงานการตัดสินใจที่จะทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยระบบทำความสะอาด.....	70
<b>5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>71</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	71
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	72
รายการอ้างอิง.....	73
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. วิธีการเลือกหัวฉีดน้ำ.....	76
ภาคผนวก ข. การคำนวณความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ.....	81
ภาคผนวก ค. การวัดค่าพลังงานไฟฟ้า.....	83
ภาคผนวก ง. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	88
ประวัติผู้เขียน.....	97

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดสอบหาขีดจำกัดของความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ.....	61
4.2 ระดับปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูป.....	62
4.3 ลำดับของการทดลองและผลของค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปกำลังไฟฟ้า จากการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูป ( $2^3$ ).....	63
ข.1 การคำนวณความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ.....	82
ค.1 ผลค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่บันทึกได้.....	87

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน ..... 6
2.2	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน ..... 7
2.3	แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง ..... 7
2.4	แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแกเลียมอาเซนไนด์ ..... 9
2.5	การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยตามธรรมชาติ ..... 11
2.6	การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยมือ ..... 12
2.7	การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ยานพาหนะ ..... 13
2.8	การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยหุ่นยนต์ ..... 13
2.9	การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเครื่องฉีด ..... 14
2.10	การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์บนพื้นผิวหน้าจอสัมผัสไฟฟ้าแบบโปร่งใส ..... 15
2.11	ตัวอย่าง The Cartesian Robot ..... 18
2.12	ตัวอย่าง The Cylindrical Robot ..... 18
2.13	ตัวอย่าง The Spherical Robot ..... 19
2.14	ตัวอย่าง The Articulated Robot หรือ The Revolute Robot ..... 19
2.15	ตัวอย่าง The SCARA Robot ..... 20
2.16	ตัวอย่าง The Parallel Robot ..... 20
2.17	หุ่นยนต์ที่มีวิธีการเคลื่อนที่ด้วยระบบราง (Rails System) ..... 27
2.18	หุ่นยนต์ที่มีวิธีการเคลื่อนที่ด้วยเส้นเชือก (Tethers System) ..... 28
2.19	หุ่นยนต์ที่มีวิธีการเคลื่อนที่ด้วยระบบหุ่นยนต์แบบเคลื่อนย้ายได้ (Mobile System) ..... 29
2.20	การกำหนดระดับปัจจัยในการวิเคราะห์ผล ..... 30
2.21	ฟังก์ชัน Basic Statistics ในโปรแกรม Minitab ..... 33
2.22	ฟังก์ชัน Regression Analysis ในโปรแกรม Minitab ..... 33
2.23	ฟังก์ชัน ANOVA ในโปรแกรม Minitab ..... 34
2.24	ฟังก์ชัน Statistical Quality Tools ในโปรแกรม Minitab ..... 35
2.25	ฟังก์ชัน Design of Experiment ในโปรแกรม Minitab ..... 35

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26	ฟังก์ชัน Reliability ใน โปรแกรม Minitab..... 36
2.27	ฟังก์ชัน Simulation and Distribution ใน โปรแกรม Minitab ..... 36
3.1	การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามแนวระดับ..... 40
3.2	การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เอียงจากพื้น โลก 15 องศา ..... 41
3.3	แนวการเคลื่อนที่ของระบบทำความสะอาด ..... 42
3.4	ภาพรวมของระบบ ..... 42
3.5	แบบระบบจากมุมมองด้านบน (Top View)..... 43
3.6	แบบระบบจากมุมมองด้านข้าง (Side View) ..... 43
3.7	ชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งในแบบจำลองระบบ มุมมองด้านบน (Top View) ..... 44
3.8	มอเตอร์กำลังหลัก..... 44
3.9	ล้อยางซิลิโคน..... 45
3.10	ล้อลูกปืน..... 46
3.11	รูปกล่องพลาสติกกันน้ำกันฝุ่น..... 46
3.12	ไมโครคอนโทรลเลอร์ ยี่ห้อ Arduino รุ่น Nano ..... 47
3.13	ชุดควบคุมมอเตอร์ชนิด H-Bridge รุ่น L298N..... 47
3.14	ปุ่มกดเปิด-ปิด..... 47
3.15	หัวฉีดน้ำแบบทรงพัดแบน (Flan Fan)..... 48
3.16	มอเตอร์พัดลมเป่าแห้ง..... 49
3.17	ใบพัดพัดลมเป่าแห้ง..... 49
3.18	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์..... 50
3.19	การเชื่อมต่อระหว่างบอร์ด Arduino กับ Motor Drive Module..... 51
3.20	ภาพรวมของระบบฉีดน้ำ..... 51
3.21	การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้า..... 52
3.22	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกทำความสะอาดก่อนการทดลอง ..... 53
3.23	เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมปริมาณของคราบสกปรกจำลอง..... 54
3.24	การจำลองคราบสกปรกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยดินสอพอง..... 54

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.25 การปรับสภาพของคราบสกปรกจำลอง.....	55
3.26 การทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์ทำความสะอาด .....	55
3.27 การทดสอบการวัดพลังงานไฟฟ้าและบันทึกผล .....	56
4.1 ระบบต้นแบบจากมุมมองด้านหน้า (Front View) .....	58
4.2 ระบบต้นแบบจากมุมมองด้านข้าง (Side View) .....	59
4.3 ระบบต้นแบบจากมุมมองด้านบน (Top View) .....	59
4.4 ระบบต้นแบบจากมุมมองด้านหลัง (Back View) .....	60
4.5 แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูป ( $2^3$ ) .....	62
4.6 Residual Plots ของค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้าจากการออกแบบการทดลอง เชิงแฟกทอเรียลเต็มรูป ( $2^3$ ) .....	64
4.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง.....	65
4.8 แผนภูมิพารेटโต (Pareto Chart) ของอิทธิพลในแต่ละปัจจัย .....	66
4.9 อิทธิพลหลัก (Main Effect) 3 ปัจจัย .....	67
4.10 อิทธิพลร่วม 2 ทาง (2 Way Interaction) .....	67
4.11 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมจากค่าแนะนำของโปรแกรม Minitab.....	68
4.12 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมจากฟังก์ชัน Cube Plot .....	69
4.13 ผังงานการตัดสินใจที่จะทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบทำความสะอาด .....	70
ก.1 หัวฉีดที่ผู้วิจัยเลือกใช้ .....	77
ก.2 ระยะเวลาครอบคลุมของหัวฉีดที่เหมาะสมตามทฤษฎี .....	78
ก.3 Data sheet ของหัวฉีดทรงพัดแบน (Flat Fan Nozzle) .....	79
ก.4 คุณสมบัติของหัวฉีดแต่ละรุ่นจาก Data sheet.....	80
ค.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า .....	84
ค.2 การเชื่อมต่อเครื่องมือที่ใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า.....	85
ค.3 ห้องทดลองที่ใช้ในการวิจัย .....	86

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

โลกมีการขับเคลื่อนไปได้ด้วยพลังงาน เนื่องจากพลังงานเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก จากการขยายตัวของประชากร และความรุดหน้าทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการคาดการณ์ว่าจะมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นอีกกว่าเท่าตัว โดยประเทศไทยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นหลักในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีการคาดการณ์ว่าก๊าซธรรมชาตินั้นจะหมดลงภายใน 10 ปี ฉะนั้นพลังงานทางเลือกจึงเป็นนโยบายเร่งด่วนระดับชาติที่รัฐบาลให้ความสำคัญ โดยกระทรวงพลังงานได้กำหนดให้มีแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555-2564) (กระทรวงพลังงาน 2558, น.2) จากสถานการณ์ความต้องการพลังงานของประเทศไทยและทั่วโลกที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี จึงจำเป็นต้องมีการจัดหาพลังงานให้มีปริมาณที่เพียงพอ มีราคาที่เหมาะสม และมีคุณภาพที่ดี เพื่อทดแทนพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด ด้วยเหตุผลและความจำเป็นดังกล่าวจึงต้องมีการค้นหาหรือใช้พลังงานทดแทนหรือเรียกว่า “พลังงานทางเลือก” คือพลังงานที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เพื่อลดปัญหาการขาดแคลนพลังงาน รวมทั้งลดมลพิษ

แผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 ฉบับปรับปรุงใหม่ (Power Development Plan : PDP 2015) แผนระยะยาว 22 ปี มีแนวทางในการพัฒนาตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ และการเตรียมตัวเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC) รวมถึงให้สอดคล้องกับแนวโน้มทิศทางพลังงานโลก (World Energy Outlook) ของทบวงพลังงานโลก (International Energy Agency : IEA) โดยสาระสำคัญของแผน PDP 2015 ระบุให้มีการกำหนดสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และให้ความสำคัญเรื่องการผลิตไฟฟ้าสำรองของประเทศ (กระทรวงพลังงาน 2558, น.42) อย่างน้อย

พลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นตัวเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันจึงได้นำเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ซึ่งเป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลก มาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบาง

บริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า “โฟตอน (Photon)” จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (Atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งเป็นเวลาที่เหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า

จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นตัวเลือกที่มีความเหมาะสมในการนำมาเป็นพลังงานทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้า ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรทำให้ได้รับแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง และคงที่ตลอดทั้งปี มีความเข้มของรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 5.0 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (kWh/m<sup>2</sup>/day) รัฐบาลจึงมีนโยบายสนับสนุนให้ประชาชนเข้ามามีบทบาทและร่วมในการผลิตไฟฟ้าใช้เอง และหากมีส่วนเกินสามารถจำหน่ายให้กับการไฟฟ้าในรูปแบบของการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย (นรินพร มาลาศรี, 2562) จึงมีภาคประชาชนที่เริ่มสนใจติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านพักอาศัยเพื่อผลิตไฟฟ้าขายให้กับภาครัฐ

การที่จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น มีหลายปัจจัยด้วยกัน อาทิเช่น มุมของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบต่อแผง ความเข้มของแสง และความสะอาดบนหน้าพื้นที่ผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีการศึกษาที่พบว่าความสะอาดบนหน้าพื้นที่ผิวเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้เนื่องจากความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ความเข้มแสงที่จะกระทบที่เซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าลดลง (นรินพร มาลาศรี, 2562; ภิรมย์สุข สวยศม, 2560; Savani Nirav., Korat Zalak., Kikani Harsh., Khunt Chintan. and Dhaval patel, 2019; Saravanan V. S., Darvekar S. K., 2018; HIroyuki Kawamoto, 2019) อีกทั้งเซลล์แสงอาทิตย์นิยมติดตั้งในที่โล่งแจ้งจึงมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ เช่น ฝุ่นละออง หรือมูลสัตว์ปีก ติดบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ง่าย และเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลง (Dipankar Deb. Nisarg L. Brahmabhatt, 2018; Anna M. Klepacka., Wojciech J. Florkowski. Ting Meng, 2018) ดังนั้นกระบวนการทำความสะอาดหน้าพื้นที่ผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีความสำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อรักษาระดับการผลิตพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงที่สุด

ในปัจจุบันระบบการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีกันอยู่หลายรูปแบบ เช่น ใช้คนทำความสะอาดด้วยการใช้ฟองน้ำชุบน้ำยาทำความสะอาด ใช้ไม้ถูทำความสะอาดใช้เครื่องพ่นน้ำฉีด



ใช้เครื่องทำความสะอาดโดยมนุษย์ควบคุม หรือแม้กระทั่งใช้เครื่องทำความสะอาดแบบอัตโนมัติ เพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงการเกิดอันตรายของผู้ที่ต้องปฏิบัติงาน เนื่องจากการปฏิบัติงานบนพื้นที่สูง ดังนั้นการใช้เครื่องทำความสะอาดปฏิบัติงานแทนจึงเป็นทางเลือกที่มีความปลอดภัยมากที่สุด

สอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12 พ.ศ. 2560-2579 ในข้อยุทธศาสตร์ที่ 4 การเติบโตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน รวมทั้งนโยบายของรัฐบาลเรื่องประเทศไทย 4.0 ที่เป็นการพัฒนาเครื่องยนต์เพื่อขับเคลื่อนการเติบโตทางเศรษฐกิจชุดใหม่ (New Engine of Growth) ที่กล่าวถึงกลุ่มเครื่องมืออุปกรณ์อัจฉริยะ และระบบเครื่องกลที่ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ควบคุม (Smart Device , Robotics & Mechatronics) ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในบ้านพักอาศัย โดยระบบสามารถทำงานในพื้นที่ที่มีความสูงและยากต่อการทำความสะอาด และทดสอบประสิทธิภาพการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยปัจจัยดังนี้คือแรงดันน้ำ ความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ และการใช้พัดลมเป่าแห้ง เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบที่สามารถทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในบ้านพักอาศัยที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อออกแบบระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย
- 1.2.2 เพื่อทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดด้วยระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษากลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านพักอาศัย เพื่อออกแบบและสร้างระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 1.3.2 การศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองด้วยวิธีแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ( $2^k$  full factorial design)
- 1.3.3 ขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความกว้างไม่เกิน 276 เซนติเมตร และติดตั้งแบบเรียงกันไม่มีช่องว่างระหว่างแผง

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ระบบต้นแบบที่สามารถทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในบ้านพักอาศัย

1.4.2 ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในบ้านพักอาศัย

## 1.5 คำอธิบายศัพท์

1.5.1 ระบบทำความสะอาด หมายถึง เครื่องจักรใช้งานแทนมนุษย์ ที่ออกแบบให้สามารถตั้งลำดับการทำงานสำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

1.5.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมายถึง สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

1.5.3 บ้านพักอาศัย หมายถึง สถานที่ที่บุคคลในครอบครัวใช้ชีวิตอยู่ร่วมกันเป็นส่วนใหญ่



## บทที่ 2

### ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสร้างระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการตามรายละเอียดดังนี้

- 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์
- 2.2 วิธีการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 2.3 ความรู้เกี่ยวกับหุ่นยนต์
- 2.4 ระบบการเคลื่อนที่ที่ถูกใช้ในหุ่นยนต์ทำความสะอาดบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 2.5 การออกแบบการทดลองแฟกโทเรียลแบบสองระดับ
- 2.6 การใช้โปรแกรมมินิแทบเพื่อออกแบบการทดลอง
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

##### 2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

กระทรวงพลังงาน (2558, น.14-15) กล่าวถึง เซลล์แสงอาทิตย์ไว้ว่า “Solar Cell” หรือ “Pv” มีชื่อเรียกกันไปหลายอย่าง เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์สุริยะ หรือเซลล์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic) ซึ่งต่างก็มีที่มาจากคำว่า “Photovoltaic” โดยแยกออกเป็น Photo หมายถึง แสง Volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วหมายถึง กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัสดุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แนวความคิดนี้ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1839 แต่เซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังไม่ถูกสร้างขึ้นมา จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1954 จึงมีการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ และได้ถูกนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับดาวเทียมในอวกาศเมื่อปี ค.ศ. 1959

โซลาร์เซลล์หรือโฟโตโวลตาอิก หรือเซลล์แสงอาทิตย์ คือสิ่งประดิษฐ์จากสารกึ่งตัวนำที่สร้างขึ้นเพื่อทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สำหรับการเปลี่ยนพลังงานแสง (ส่วนใหญ่เป็นดวงอาทิตย์) ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยทั่วไปเซลล์แสงอาทิตย์มักสร้างจากสารกึ่งตัวนำ

เช่น ซิลิคอนที่ได้จากการถลุงจากแร่ควอตซ์ ซึ่งซิลิคอนเป็นธาตุที่มีราคาถูกที่สุดและมีมากบนพื้นโลก โดยเมื่อมีแสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “โฟโตโวลตาอิก” กล่าวคือ พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบ (อิเล็กตรอน) และอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเสมือนบวกขึ้นมาจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นซึ่งไฟฟ้าที่เกิดจากเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

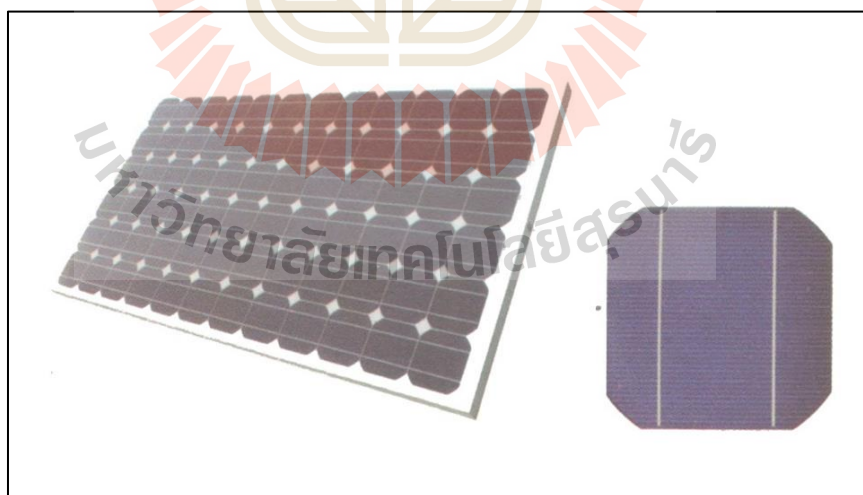
โดยสรุปเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) คือ สิ่งประดิษฐ์ที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์ใช้ในการเปลี่ยนจากพลังงานแสง ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบของไฟฟ้ากระแสตรง

### 2.1.2 ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

กระทรวงพลังงาน (2558, น.16-18) กล่าวถึง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

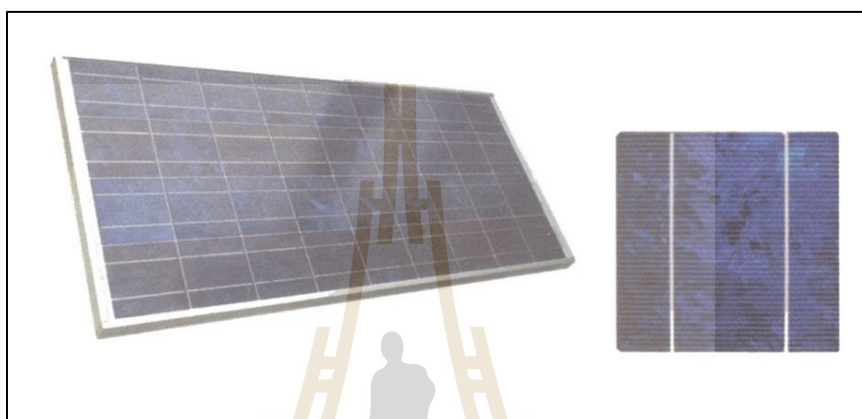
#### 2.1.2.1 แบบผลึก (Crystalline Silicon)

1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline or Monocrystalline Silicon Solar Cell) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดที่ได้รับการพัฒนามาเป็นเวลานานผลิตจากแผ่นเวเฟอร์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน มีความหนาประมาณ 150-200 ไมครอน มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 25% (สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์พื้นที่ขนาดเล็ก) หรือประมาณ 18-20% สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปแต่ข้อเสียคือราคาสูง



รูปที่ 2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน  
(ที่มา: กระทรวงพลังงาน, 2558)

2) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline or Multi Crystalline Silicon Solar Cell) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดที่มีการใช้งานมากที่สุดในปัจจุบันผลิตจากแผ่นเวเฟอร์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน มีความหนาประมาณ 150-200 ไมครอน มีราคาปานกลาง มีประสิทธิภาพสูงสุดประมาณ 20% (สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์พื้นที่ขนาดเล็ก) หรือประมาณ 14-16% สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป



รูปที่ 2.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอนซิลิคอน  
(ที่มา: กระทรวงพลังงาน, 2558)

#### 2.1.2.2 แบบฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cell)



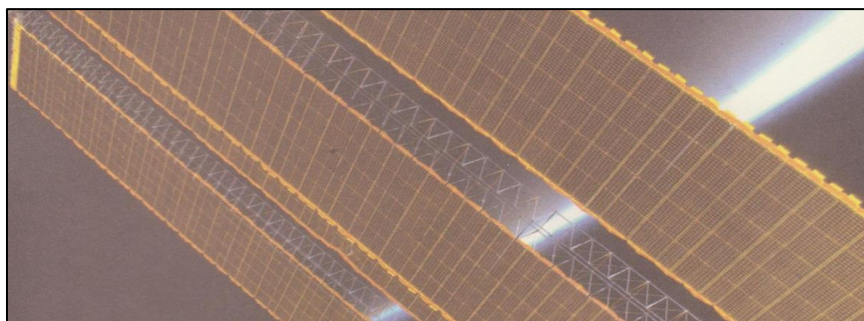
รูปที่ 2.3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง  
(ที่มา: กระทรวงพลังงาน, 2558)

1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Thin Film Amorphous Silicon (a-Si : H) Solar Cell) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน มีลักษณะเป็นฟิล์มบางขนาด 0.5-3.0 ไมครอน เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้สามารถพบเห็นได้รอบ ๆ ตัวเรา เช่น ถูกใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานในเครื่องคิดเลข หรือนาฬิกา ซึ่งมีลักษณะสีม่วงหรือน้ำตาลเข้ม มีความบางเบา ราคาถูก มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 14% (สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์พื้นที่ขนาดเล็ก) หรือประมาณ 10% สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป

2) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ (Thin Film Cadmium Telluride (CdTe) Solar Cell) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ ทำจากแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) เป็นชั้นของสารกึ่งตัวนำเพื่อดูดซึมและแปลงแสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CdTe มีลักษณะเป็นฟิล์มบางขนาด 1.0-3.0 ไมครอน และปัจจุบันมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 21% (สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์พื้นที่ขนาดเล็ก) หรือประมาณ 15% สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป ข้อเสียอย่างหนึ่งของเทคโนโลยีนี้คือ มีสารประกอบจากแคดเมียมซึ่งเป็นสารพิษ และเทลลูเรียม เป็นโลหะที่หายากมากในเปลือกโลก ทำให้ในบางประเทศยังไม่ค่อยยอมรับกับการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดดังกล่าวนี้

3) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางคอปเปอร์อินเดียมแกลเลียมเซเลไนด์ (Thin Film Cadmium Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) Solar Cell) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางคอปเปอร์อินเดียมแกลเลียมเซเลไนด์ (CIGS) เป็นชั้นของสารกึ่งตัวนำเพื่อดูดกลืนและแปลงแสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIGS มีลักษณะเป็นฟิล์มบางขนาด 1.0- 3.0 ไมครอน ปัจจุบันมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 22% (สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์พื้นที่ขนาดเล็ก) หรือประมาณ 15% สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป

2.2.2.3 แบบแกลเลียมอาเซไนด์ (Gallium Arsenide Solar Cell) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก มีประสิทธิภาพสูงประมาณ 30% (สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์พื้นที่ขนาดเล็ก) แต่มีราคาสูงมากเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิคอน จึงไม่นิยมนำมาใช้ในงานทั่วไป แต่จะนิยมใช้ในงานที่ต้องการประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าสูงในพื้นที่จำกัด เช่น ในยานอวกาศหรือดาวเทียม



รูปที่ 2.4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเกล็ดลิเทียมอะไซด์  
(ที่มา: กระทรวงพลังงาน, 2558)

โดยสรุปปัจจุบันแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการใช้งาน 3 กลุ่ม คือ (1) แบบผลึกได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม (2) แบบฟิล์มบางได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางแคดเมียมเทลลูไรด์ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางคอปเปอร์อินเดียมแกลเลียมเซลล์ในด (3) แบบเกล็ดลิเทียมอะไซด์

### 2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะทำให้สามารถผลิตพลังงานได้สูงสุดนั้นมีอยู่หลายปัจจัย ซึ่งมีปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ดังนี้

#### 2.1.3.1 ความเข้มของแสงอาทิตย์

อมรรัตน์ ลิ้มมณี (2560, น.4) กล่าวไว้ว่า “เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์สูงขึ้นจะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้นประสิทธิภาพสูงขึ้น” สอดคล้องกับ กระทรวงพลังงาน (2558, น.23) ได้กล่าวถึงความเข้มของแสงที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ ซึ่งเมื่อมีความเข้มของแสงสูง เช่น ตอนกลางวัน ในช่องท้องฟ้าปลอดโปร่ง กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูง หากเมื่อมีความเข้มของแสงน้อย เช่น ในเวลาเย็น หรือในช่วงที่มีเมฆมาก ก็จะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์น้อยลงด้วยตามไปด้วย

โดยสรุปความเข้มของแสงอาทิตย์ส่งผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง กล่าวคือ เมื่อมีความเข้มของแสงมากพลังงานไฟฟ้าที่แผงผลิตได้ก็จะมาก เมื่อมีความเข้มของแสงน้อยพลังงานไฟฟ้าที่แผงผลิตได้ก็จะน้อยตามไปด้วย

### 2.1.3.2 อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์

อมรรัตน์ ลิ้มมณี (2560, น.4) กล่าวว่าไว้ว่า “เมื่ออุณหภูมิแสงอาทิตย์สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าแรงดันไฟฟ้าลดลงประสิทธิภาพลดลง” สอดคล้องกับกระทรวงพลังงาน (2558, น.24) ได้กล่าวถึงอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยเมื่ออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ลดลง ซึ่งการลดลงของแรงดันไฟฟ้านี้ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ลดลงตามไปด้วย

โดยสรุปอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะส่งผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะมีค่าลดลงตามไปด้วย

### 2.1.3.3 ทิศและมุมเอียงของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

อมรรัตน์ ลิ้มมณี (2560, น.5) ได้กล่าวถึงทิศและมุมเอียงของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย ควรหันไปทางทิศใต้ และเอียงทำมุมประมาณ 14-15 องศา เพื่อให้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดตลอดทั้งปี สอดคล้องกับ วิรัตน์ พิษิตกฤษกร และ กิรติ ชยะกุลศิริ (2561, น.27) ได้กล่าวถึงมุมเอียงที่เหมาะสมกับการติดตั้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย ที่ส่งผลต่อปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุดอยู่ในช่วงมุมประมาณ 14-15 องศา โดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้

โดยสรุปการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมในประเทศไทยควรติดตั้งให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปทางทิศใต้ และมีช่วงของมุมเอียงประมาณ 14-15 องศา

### 2.1.3.4 การสะสมของฝุ่นละอองหรือคราบสกปรก

การสะสมของฝุ่นละอองหรือคราบสกปรก เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยอ้างอิงข้อมูลจาก Arash Sayyah, Mark N. Horenstein, Malay K. Mazumder (2014) ได้กล่าวถึงประสิทธิภาพการผลิตพลังงานที่ลดลงโดยมีสาเหตุมาจากการสะสมของฝุ่นละอองบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ว่า ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์มี 2 ปัจจัยคือ อุณหภูมิแวดล้อม และความหนาแน่นของฝุ่นละอองในอากาศ โดยหากมีฝุ่นละอองหรืออนุภาคขนาดเล็กสะสมอยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในปริมาณมากจะทำให้การส่งผ่านแสงอาทิตย์ในระบบการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง สอดคล้องกับ Ali Al Shehri และคณะ (2016) ได้กล่าวถึง ผลกระทบจากการสะสมของฝุ่นและการทำความสะอาดแบบแห้งด้วยแปรงบนกระจกสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ว่า พลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีส่วนมาจากแสงแดดที่ส่องกระทบบนพื้นผิวของแผงโดยตรง โดยประสิทธิภาพการผลิตมีผลมาจาก



อุณหภูมิของแผง ประสิทธิภาพของระบบ และปัจจัยอื่นทางด้านสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น อุณหภูมิ การสะสมของฝุ่นละอองบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พายุทราย หิมะ และดัชนีรังสี UV

โดยสรุปปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็น ปัจจัยหลัก ประกอบด้วย (1) ความเข้มของแสงอาทิตย์ (2) อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (3) ทิศและ มุมเอียงของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และ (4) การสะสมของฝุ่นละอองหรือคราบสกปรก

## 2.2 วิธีการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Mohammad J. Al-Jawah (2014) ได้อธิบายวิธีการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ 5 วิธี คือ

### 2.2.1 ทำความสะอาดโดยตามธรรมชาติ



รูปที่ 2.5 การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยตามธรรมชาติ  
(ที่มา: [www.fpte.br](http://www.fpte.br))

ปริมาณน้ำฝนที่เพียงพอสามารถให้การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ โดยไม่มีค่าใช้จ่าย อย่างไรก็ตามฤดูกาลนั้นมีการเปลี่ยนแปลงทำให้น้ำฝนจึงเป็นต้นกำเนิดการ ทำความสะอาดที่ไม่น่าเชื่อถือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อคราบสกปรกมีปริมาณมากและหากปริมาณ น้ำฝนมีไม่เพียงพอจะไม่สามารถทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างทั่วถึง อ้างถึงใน Kimber et al. (2006) ที่จะไม่สามารถปฏิเสธได้โดยที่มีการสังเกตประสิทธิภาพหลังจากที่มีฝนตก หนักในบางกรณี เช่นเดียวกับลมก็สามารถลดความสกปรกที่เกิดจากใบไม้รวมทั้งฝุ่นผงแต่เพียงแค่ ระดับหนึ่งเท่านั้นแต่ก็ยังจำเป็นต้องใช้น้ำเพื่อทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากฝุ่นผงที่ตกค้าง

ข้อเด่น

- 1) ไม่มีค่าใช้จ่าย

ข้อด้อย

- 1) ประสิทธิภาพการทำความสะอาดน้อย
- 2) ไม่สามารถกำหนดเวลาในการทำความสะอาดได้

## 2.2.2 แรงงานมนุษย์



รูปที่ 2.6 การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยมือ

(ที่มา: <https://www.quora.com>)

วิธีนี้เป็นวิธีที่คล้ายกับวิธีที่บริษัทผู้เชี่ยวชาญทางด้านการทำความสะอาดหน้าต่างทำได้ โดยใช้แปรงที่มีขนแปรงพิเศษที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันรอยขีดข่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งแปรงบางชนิดสามารถเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายน้ำเพื่อดำเนินการล้างและขัดไปพร้อมกัน และสำหรับการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกประกอบกันให้มีขนาดใหญ่ขึ้น อาจจะต้องใช้แรงงานมาก หรือใช้เวลานาน นอกจากนี้ยังไม่แนะนำให้ทำความสะอาดในระหว่างวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพอากาศร้อน เนื่องจากอาจทำให้น้ำที่ใช้ล้างนั้นมีอุณหภูมิสูงทำให้อายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง แต่การทำความสะอาดด้วยวิธีนี้ก็ยังมีข้อดีกว่าวิธีอื่นนั่นคือสามารถตรวจความสะอาดได้ด้วยสายตาของผู้ทำความสะอาดด้วยตนเอง

ข้อเด่น

- 1) สามารถกำหนดเวลาการทำความสะอาดได้
- 2) การทำความสะอาดมีประสิทธิภาพสูง

ข้อด้อย

- 1) ใช้แรงงานคนมาก
- 2) มีค่าใช้จ่ายสูง
- 3) การทำความสะอาดใช้เวลาานาน
- 4) มีความเสี่ยงในการเกิดอันตรายจากที่สูง

### 2.2.3 เครื่องทำความสะอาดเคลื่อนที่

เครื่องทำความสะอาดเคลื่อนที่สามารถให้การทำความสะอาดได้อย่างคล่องแคล่ว เนื่องจากสามารถใช้ยานพาหนะหรือเครื่องจักร เพื่อทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบกันเป็นแถวดังรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ยานพาหนะ  
(ที่มา: <http://www.bitimec.com>)



รูปที่ 2.8 ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยหุ่นยนต์  
(ที่มา: <http://www.schletter.jp>)

## ข้อเด่น

- 1) การทำความสะอาดมีประสิทธิภาพสูง
- 2) การทำความสะอาดมีความรวดเร็ว
- 3) สามารถกำหนดเวลาการทำความสะอาดได้

## ข้อด้อย

- 1) มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน

#### 2.2.4 ทำความสะอาดด้วยหัวฉีด

ระบบหัวฉีด ดังรูปที่ 2.9 สามารถทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้หลายแผ่นในครั้งเดียวกัน หลักการทำงานของระบบดังกล่าวมีระบบที่คล้ายกับการฉีดน้ำในสนามหญ้าหรือสนามกอล์ฟ



รูปที่ 2.9 การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเครื่องฉีด  
(ที่มา: <http://www.solarpanelcleaningsystems.com>)

## ข้อเด่น

- 1) ทำความสะอาดได้รวดเร็ว
- 2) สามารถทำงานโดยอัตโนมัติ

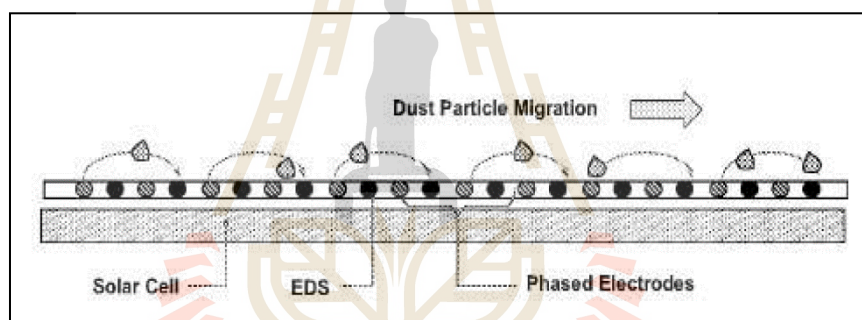
## ข้อด้อย

- 1) ประสิทธิภาพการทำความสะอาดปานกลาง
- 2) สิ้นเปลืองทรัพยากรน้ำ

### 2.2.5 การกำจัดฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต

การกำจัดฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตเป็นเทคโนโลยีที่กำลังพัฒนาอยู่ในปัจจุบัน เพื่อแก้ปัญหาการกำจัดฝุ่นในพื้นที่แห้งแล้งที่มีการสะสมของปริมาณฝุ่นละอองสูง ซึ่งพัฒนาโดย NASA ในภารกิจที่ดาวอังคารในอนาคต เพื่อปกป้องแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อ้างถึงใน Bullis. (2010) จากฝุ่นละอองที่อาจส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามที่ระบุไว้ในเว็บไซต์ของ NASA อ้างถึงใน NASA. (2009)

ขั้นตอนการกำจัดทำได้โดยใช้หน้าจอไฟฟ้าแบบโปร่งใส (EDS) โดยมีฟิล์มอิเล็กทรอนิกส์ฝังตัวอยู่กับขั้วไฟฟ้าที่ทำจากดีบุกออกไซด์อินเดียม อ้างถึงใน (Mazumder et al., 2011, น.167) เมื่อถูกใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับจะมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นบนผิวของหน้าจอและอนุภาคของฝุ่นละอองจะกลิ้งและม้วนตัวตามแนว ดังรูปที่ 2.10 ภายใต้การกระทำของประจุไฟฟ้าและแรงของไดอิเล็กโตรโพลีซิส ซึ่งเป็นสาเหตุของการเก็บและคายประจุไฟฟ้า



รูปที่ 2.10 การเคลื่อนที่ของฝุ่นละอองบนพื้นผิวหน้าจอไฟฟ้าแบบโปร่งใส  
(ที่มา: Mazumder et al., 2011)

ข้อเด่น

- 1) ไม่ต้องทำความสะอาด
- 2) ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าคงที่

ข้อด้อย

- 1) มีค่าลงทุนสูงมาก
- 2) ยังไม่แพร่หลายมากนัก

โดยสรุปแล้วการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 วิธี คือ (1) ทำความสะอาดโดยตามธรรมชาติ (2) แรงงานมนุษย์ (3) เครื่องทำความสะอาดเคลื่อนที่

(4) ทำความสะอาดด้วยหัวฉีด และ (5) การกำจัดฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต ซึ่งแต่ละวิธีนั้นมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับปัจจัยของผู้ใช้งาน

สำหรับงานวิจัยนี้มีความสนใจในวิธีการทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดเคลื่อนที่ เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการวิจัยการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย จึงต้องให้ความสำคัญกับความปลอดภัยกับผู้ใช้งาน โดยเฉพาะการใช้เครื่องทำความสะอาดเคลื่อนที่ในการทำความสะอาดเพราะสามารถทำความสะอาดได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงเมื่อหักล้างกับการที่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนก็ยังถือว่ามีความคุ้มค่าต่อการนำระบบนี้มาใช้

## 2.3 ความรู้เกี่ยวกับหุ่นยนต์

### 2.3.1 ความหมายของหุ่นยนต์

Craig,J.J. (อ้างถึงใน พฤทธิกร สมิตไมตรี, 2555, น.1) ได้ให้ความหมายของหุ่นยนต์ไว้ว่า หุ่นยนต์ คือ เครื่องจักรกลหรือสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกสร้างขึ้นอย่างมีวัตถุประสงค์ เช่น เพื่อทำงานหรือเพื่อคิดคำนวณ

สถาบันหุ่นยนต์อเมริกา (อ้างถึงในเดชฤทธิ์ มณีธรรม, 2549, น.3) ได้ให้ความหมายของหุ่นยนต์ไว้ว่า หุ่นยนต์ คือ เครื่องจักรใช้งานแทนมนุษย์ที่ออกแบบให้สามารถตั้งลำดับการทำงาน การใช้งานได้หลายหน้าที่ ใช้เคลื่อนย้ายวัสดุ ส่วนประกอบ เครื่องมือหรืออุปกรณ์พิเศษ ตลอดจนการเคลื่อนที่ได้หลากหลายตามที่ตั้งลำดับการทำงาน เพื่อใช้ในงานหลายประเภท

Karel Capck (อ้างถึงในเดชฤทธิ์ มณีธรรม, 2549, น.3) ได้ให้ความหมายของหุ่นยนต์ไว้ว่า หุ่นยนต์ คือ คนงานที่มีแรงหรือคนงานที่มีพลัง

โดยสรุปหุ่นยนต์หมายถึง เครื่องจักรกลหรือสิ่งประดิษฐ์ที่มนุษย์สร้างขึ้น เพื่อใช้งานแทนมนุษย์โดยได้มีการออกแบบให้สามารถทำงานได้หลากหลายหน้าที่เปรียบเสมือนคนที่มีแรงหรือคนงานที่มีพลัง

### 2.3.2 ประเภทของหุ่นยนต์

ทิมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง (2552, น.2-3) ได้กล่าวถึงประเภทของหุ่นยนต์ตามโครงสร้างได้ 2 ประเภท คือ

1. หุ่นยนต์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ ส่วนมากจะเป็นหุ่นยนต์ที่ทำงานเฉพาะอย่างแบบซ้ำ ๆ จะมีส่วนที่เคลื่อนไหว่ได้เพื่อปฏิบัติภารกิจต่าง ๆ แต่ไม่สามารถจะเคลื่อนที่ขยับไปที่อื่นได้ โดยเฉพาะหุ่นยนต์ในทางอุตสาหกรรม เช่น หุ่นยนต์ประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ หุ่นยนต์ที่ใช้ในการเชื่อม หุ่นยนต์ที่ใช้งานในทางการแพทย์

2. หุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้จะมีจุดเด่นที่สำคัญคือ ส่วนที่ใช้ในการเคลื่อนที่ อาจเป็นการเคลื่อนที่ด้วยล้อแบบต่าง ๆ เช่น ล้อดินตะขาบ ล้อยาง และรวมทั้งการเคลื่อนที่บนราง และมีส่วนที่เคลื่อนไหวหรือส่วนที่ใช้สำหรับปฏิบัติการ กิจต่าง ๆ เช่นเดียวกับหุ่นยนต์ที่ติดตั้งอยู่กับที่

สถาบันวิชาการหุ่นยนต์แห่งอเมริกา หรือ Robotics Institute of America (RIA) (อ้างถึงใน พุทธทศกร สมิตไมตรี, 2551, น.4) แบ่งประเภทหุ่นยนต์ตามลักษณะการเคลื่อนที่ออกเป็น 4 แบบ คือ

A : อุปกรณ์ขนย้าย ที่ถูกควบคุมด้วยมนุษย์

B : อุปกรณ์ขนย้ายอัตโนมัติ ซึ่งทำงานตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ล่วงหน้า

C : หุ่นยนต์ที่โปรแกรมได้ และถูกควบคุมด้วยระบบเซอร์โว ซึ่งสามารถควบคุมเส้นทางการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง หรือ จากตำแหน่งหนึ่ง ไปยังตำแหน่งหนึ่งได้

D : หุ่นยนต์ที่มีความสามารถเหมือนหุ่นยนต์แบบ C แต่สามารถนำข้อมูลจากสิ่งแวดล้อมมาใช้ในการกำหนดการเคลื่อนที่

สมาคมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมญี่ปุ่น (อ้างถึงใน พุทธทศกร สมิตไมตรี, 2551, น. 4-5) แบ่งประเภทหุ่นยนต์ตามความสามารถที่ซับซ้อนต่างกัน ออกเป็น 6 ระดับ คือ

ระดับที่ 1 อุปกรณ์ขนย้าย : อุปกรณ์ขนย้ายที่มีการเคลื่อนที่หลายองศาอิสระและถูกควบคุมโดยผู้ปฏิบัติการ

ระดับที่ 2 หุ่นยนต์ลำดับแน่นอน : อุปกรณ์ที่ทำงานตามขั้นตอนที่ถูกกำหนดไว้ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงการลำดับการทำงาน หรือ ยากต่อการเปลี่ยนแปลงแก้ไข

ระดับที่ 3 หุ่นยนต์สำหรับเปลี่ยนได้ : เป็นหุ่นยนต์ลักษณะเดียวกับหุ่นยนต์ระดับที่ 2 แต่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขลำดับการทำงาน ได้โดยง่าย

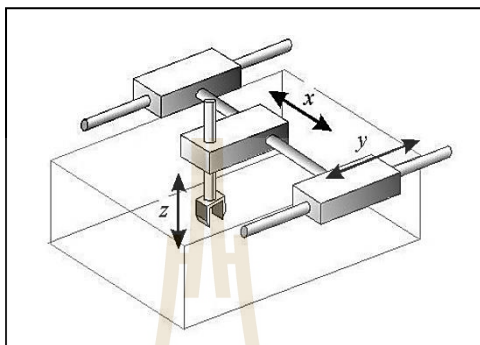
ระดับที่ 4 หุ่นยนต์ควบคุมตามข้อมูลบันทึก : หุ่นยนต์ประเภทนี้มีผู้ปฏิบัติการสั่งงานหรือ สอนขั้นตอนการปฏิบัติงานให้กับหุ่นยนต์ในครั้งแรก และจะถูกบันทึกเก็บไว้ จากนั้นหุ่นยนต์จะทำงานซ้ำตามข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ในครั้งต่อ ๆ ไป

ระดับที่ 5 หุ่นยนต์ควบคุมเชิงตัวเลข : หุ่นยนต์ประเภทนี้ถูกควบคุมด้วยโปรแกรม ซึ่งผู้ปฏิบัติการป้อนข้อมูลการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ แทนการสอนขั้นตอนการทำงาน

ระดับที่ 6 หุ่นยนต์อัจฉริยะ : หุ่นยนต์ประเภทนี้สามารถตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมและทำงานได้สำเร็จถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมขณะปฏิบัติงาน

พันศักดิ์ เนระแก (2558, น.7-10) ได้กล่าวถึงประเภทของหุ่นยนต์ตามลักษณะการทำงานออกเป็น 6 ชนิด คือ

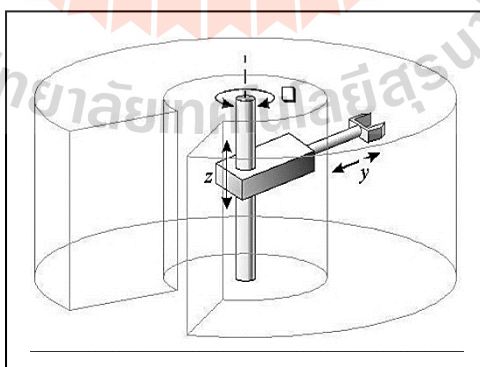
1. The Cartesian Robot เป็นหุ่นยนต์ที่มีการเคลื่อนที่เป็นแบบเชิงเส้นทั้ง 3 แกน มีลักษณะการทำงานที่ไม่ซับซ้อนสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย แต่หุ่นยนต์ชนิดนี้มีขีดจำกัดเรื่องของพื้นที่ ที่สามารถทำงานได้เฉพาะอาณาเขตการเคลื่อนที่เป็นแบบกล่องสี่เหลี่ยม ส่วนมากหุ่นยนต์ประเภทนี้จะนำไปใช้ในลักษณะเคลื่อนย้ายของหนัก ซึ่งหุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีลักษณะ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ตัวอย่าง The Cartesian Robot

(ที่มา: พันศักดิ์ นระแก, 2558)

2. The Cylindrical Robot เป็นหุ่นยนต์ที่ลักษณะของการทำงานแบบทรงกระบอก โดยการเคลื่อนที่นั้นจะเป็นเชิงเส้น 2 แกน และเคลื่อนที่เชิงมุมอีกแกน สามารถนำหุ่นยนต์ชนิดนี้ไปใช้ในลักษณะงานจับวางได้ ซึ่งหุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีลักษณะ ดังรูปที่ 2.12

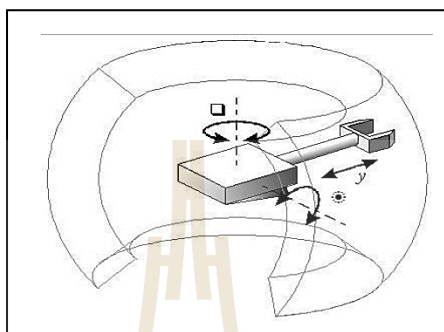


รูปที่ 2.12 ตัวอย่าง The Cylindrical Robot

(ที่มา: พันศักดิ์ นระแก, 2558)



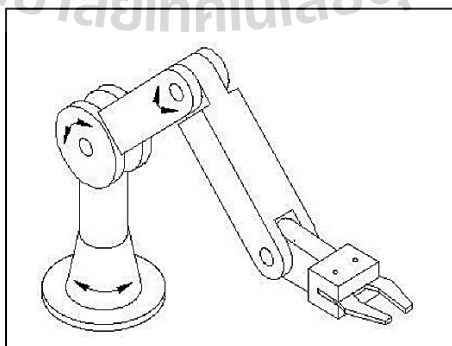
3. The Spherical Robot หุ่นยนต์ประเภทนี้เป็นหุ่นยนต์ที่มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น 1 แกน กับการเคลื่อนที่เชิงมุมอีก 1 แกน หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ที่มีความซับซ้อนได้ในระดับหนึ่ง แต่หุ่นยนต์ชนิดนี้จะไม่สามารถรับวัตถุหรือสิ่งของที่มีน้ำหนักมากได้ ซึ่งหุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีลักษณะ ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ตัวอย่าง The Spherical Robot

(ที่มา: พันศักดิ์ เนระแก, 2558)

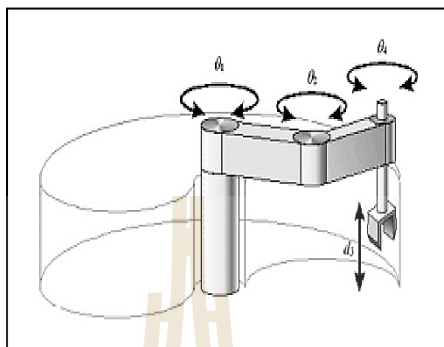
4. The Articulated Robot หรือ The Revolute Robot เป็นหุ่นยนต์ที่มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบเชิงมุมทั้ง 3 แกน และมีพื้นที่การทำงานรอบตัว โดยหุ่นยนต์ชนิดนี้จะสามารถเข้าถึงพื้นที่ที่ยากต่อการเข้าถึงได้ โดยทั่วไปจะมี 2 แขน กับอีก 1 ฐาน ซึ่งหุ่นยนต์ชนิดนี้สามารถประยุกต์ใช้งานได้อีกมากมาย เช่น การเพิ่มแขนและข้อต่อเข้าไปอีก ก็จะสามารถทำงานในจุดที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าได้ โดยหุ่นยนต์ชนิดนี้มีลักษณะ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ตัวอย่าง The Articulated Robot หรือ The Revolute Robot

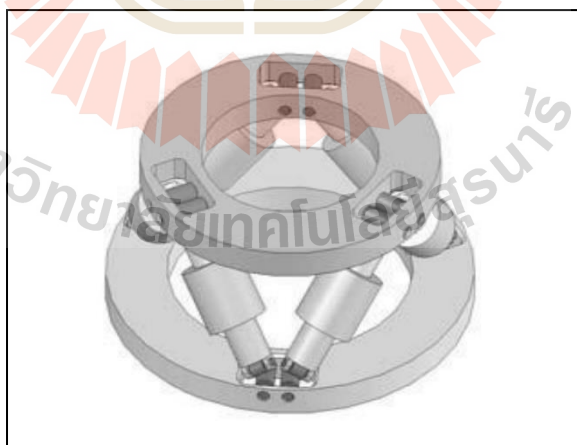
(ที่มา: พันศักดิ์ เนระแก, 2558)

5. The SCARA Robot เป็นหุ่นยนต์ที่มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น 1 แกน และแบบเชิงมุมอีก 2 แกน โดยส่วนมากจะใช้ในการป้อนชิ้นงานตามรางขนส่ง (Conveyer) หรือ ประกอบชิ้นงานที่มีขนาดไม่ใหญ่นัก ซึ่งหุ่นยนต์ชนิดนี้มีลักษณะ ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ตัวอย่าง The SCARA Robot  
(ที่มา: พันศักดิ์ เนระแก, 2558)

6. The Parallel Robot เป็นหุ่นยนต์อีกแบบหนึ่งที่มีลักษณะเป็นระนาบ 2 ระนาบ ควบคุมโดยขาแต่ละขา ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อีกมาก ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ตัวอย่าง The Parallel Robot  
(ที่มา: พันศักดิ์ เนระแก, 2558)

โดยสรุปหุ่นยนต์มีการแบ่งประเภทแตกต่างกันออกไปดังนี้ คือ (1) แบ่งประเภทตามโครงสร้าง ได้ 2 ประเภท ได้แก่ หุ่นยนต์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ และหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ (2) แบ่งประเภทตามลักษณะการเคลื่อนที่ได้ 4 ประเภท ได้แก่ A : อุปกรณ์ขนย้ายที่ถูกควบคุมด้วยมนุษย์ B : อุปกรณ์ขนย้ายอัตโนมัติ C : หุ่นยนต์ที่โปรแกรมได้ D : หุ่นยนต์ที่มีความสามารถเหมือนหุ่นยนต์แบบ C แต่สามารถนำข้อมูลจากสิ่งแวดล้อมมาใช้ในการกำหนดการเคลื่อนที่ (3) แบ่งประเภทหุ่นยนต์ตามความสามารถที่ซับซ้อนต่างกัน ได้ 6 ระดับ ได้แก่ ระดับที่ 1 อุปกรณ์ขนย้าย ระดับที่ 2 หุ่นยนต์ลำดับแน่นอน ระดับที่ 3 หุ่นยนต์สำหรับเปลี่ยนได้ ระดับที่ 4 หุ่นยนต์ควบคุมตามข้อมูลบันทึก ระดับที่ 5 หุ่นยนต์ควบคุมเชิง และระดับที่ 6 หุ่นยนต์อัจฉริยะ (4) แบ่งประเภทตามลักษณะการทำงานได้ 6 ชนิด ได้แก่ The Cartesian Robot, The Cylindrical Robot, The Spherical Robot, The Articulated Robot หรือ The Revolute Robot, The SCARA Robot และ The Parallel Robot

### 2.3.3 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์

พลุทธิกร สมิตไมตรี (2551, น.5-6) กล่าวถึงระบบหุ่นยนต์ที่สามารถทำงานได้ ประกอบ ด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. โครงสร้าง (Manipulator) เป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญของระบบหุ่นยนต์ โครงสร้างเปรียบเสมือนร่างกายที่มาประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อให้หุ่นยนต์ทำงานได้ มีส่วนประกอบ ได้แก่ แขนหรือที่เรียกว่าลิงค์ (Link) ข้อต่อ (Joint) และส่วนอื่น ๆ ที่ต่อเข้าด้วยกันเป็นโครงสร้างของตัวหุ่นยนต์

2. ตัวทำงานส่วนปลาย (End effector) เป็นส่วนที่ทำงานตามวัตถุประสงค์การใช้งานหลักของหุ่นยนต์ เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ที่ปลายสุดของโครงสร้างหุ่นยนต์ มีหน้าที่ เช่น หยิบจับ เชื่อม หรือประกอบชิ้นส่วน เป็นต้น ผู้ผลิตหุ่นยนต์โดยทั่วไปไม่ออกแบบหรือจำหน่ายตัวทำงานส่วนปลายที่ทำงานเฉพาะทาง โดยส่วนใหญ่จะมีเฉพาะมือจับ (Gripper) แบบธรรมดา แต่แขนกลหุ่นยนต์จะถูกออกแบบให้มีส่วนต่อไว้รองรับกับตัวทำงานส่วนปลายที่ทำงานเฉพาะทางไว้ วิศวกรจะต้องเป็นผู้ออกแบบและติดตั้งตัวทำงานส่วนปลาย ซึ่งขึ้นกับการใช้งาน ตัวอย่างเช่น หัวเชื่อม เครื่องพ่นสี กระจกนิรภัย หรือกระจกไฮดรอลิก การทำงานของตัวทำงานส่วนปลายมักถูกควบคุมโดยระบบควบคุมของหุ่นยนต์ หรือใช้อุปกรณ์ควบคุมแยกต่างหากได้ เช่นระบบพีแอลซี (PLC) ซึ่งย่อมาจาก “Programmable Logic Control”

3. ตัวทำงาน (Actuator) มีหน้าที่หลักในการบังคับการเคลื่อนที่ของโครงสร้างหุ่นยนต์เปรียบเสมือนกล้ามเนื้อ ตัวทำงานที่ใช้ในระบบหุ่นยนต์ส่วนใหญ่ ได้แก่ มอเตอร์เซอร์โว

มอเตอร์สเตปเปอร์ กระจบอกนิวเมติก กระจบอกไฮดรอลิก และนอกเหนือจากนี้ยังมีตัวทำงานอีกหลายชนิด ตัวทำงานเหล่านี้ถูกควบคุมจากส่วนควบคุมของหุ่นยนต์

4. เซนเซอร์ (Sensor) ใช้ตรวจวัดข้อมูลสถานะของหุ่นยนต์ หรือตรวจสอบสถานะของสิ่งแวดล้อม เซนเซอร์ทำหน้าที่คล้ายกับระบบประสาทสัมผัสของมนุษย์ ในการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์จำเป็นต้องทราบว่าโครงสร้างของหุ่นยนต์อยู่ที่ตำแหน่งใด หรือมีลักษณะการวางตัวอย่างไร เซนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ในตัวหุ่นยนต์จะส่งข้อมูลบอกตำแหน่งของโครงสร้างของตัวหุ่นยนต์ ได้แก่ ตำแหน่งของข้อต่อและลิงค์ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะบ่งชี้ถึงสถานะของตัวหุ่นยนต์ นอกเหนือจากนี้ยังมีการติดตั้งเซนเซอร์หรืออุปกรณ์พิเศษอื่น ๆ ที่ใช้ในการตรวจวัดสภาพของสิ่งแวดล้อมด้วย เช่น ระบบการมองเห็น เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ หรือเซนเซอร์วัดการสัมผัส

5. ส่วนควบคุม (Controller) เป็นส่วนที่สั่งการทำงานของหุ่นยนต์ ส่วนควบคุมทำหน้าที่รับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์เพื่อบังคับการเคลื่อนไหวของตัวทำงาน และกำหนดตำแหน่งของการเคลื่อนที่จากข้อมูลที่ส่งกลับมาจากเซนเซอร์ ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ต้องการให้หุ่นยนต์ขนย้ายสิ่งของไปยังตำแหน่งที่ไกลออกไป ข้อต่อของแขนหุ่นยนต์จะต้องเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 1 เมตร หากข้อต่อยังเคลื่อนที่ไม่ถึงระยะที่กำหนดไว้ ส่วนควบคุมจะสั่งการให้ตัวทำงานเคลื่อนที่จนกระทั่งได้ระยะตามกำหนด

6. ส่วนประมวลผล (Processor) มีหน้าที่ในการคำนวณ เพื่อหาค่าหาระยะทางและความเร็วในการเคลื่อนที่ของข้อต่อต่าง ๆ ที่ส่งผลให้ตำแหน่งและความเร็วของปลายแขนหุ่นยนต์เป็นไปตามกำหนด โดยทั่วไปส่วนประมวลผลคือคอมพิวเตอร์ แต่จะทำหน้าที่เฉพาะคำนวณและประมวลผลเท่านั้น ถึงแม้ว่าส่วนควบคุมและส่วนประมวลผลอาจจะติดตั้งอยู่ด้วยกัน แต่ส่วนควบคุมและส่วนประมวลผลทำหน้าที่ต่างกัน

7. ซอฟต์แวร์ (Software) สามารถจัดแบ่งตามหน้าที่การทำงานในระบบของหุ่นยนต์ได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

- 1) ระบบปฏิบัติการ (operating system) ของคอมพิวเตอร์
- 2) โปรแกรมหลักของหุ่นยนต์ ทำหน้าที่คำนวณการเคลื่อนที่ของข้อต่อต่าง ๆ จากสมการที่กำหนดการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ข้อมูลหลังจากการคำนวณจะถูกส่งไปยังส่วนควบคุมต่อไป
- 3) โปรแกรมย่อยหรือโปรแกรมประยุกต์ ที่พัฒนาสำหรับการทำงานของอุปกรณ์พิเศษที่ติดตั้งอยู่กับหุ่นยนต์ เช่นระบบการมองเห็น โปรแกรมที่ใช้ในหุ่นยนต์มีตั้งแต่ภาษาระดับพื้นฐานของตัวหุ่นยนต์เอง จนไปถึงภาษาขั้นสูงสำหรับหุ่นยนต์สมัยใหม่

ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง (2552, น.4-5) กล่าวถึงส่วนประกอบของหุ่นยนต์ ดังนี้

1. โครงสร้าง โครงสร้างเป็นส่วนที่ทำเลียนแบบมนุษย์ คือ ส่วนของร่างกาย ซึ่งต้องเป็นส่วนที่แข็งแรง วัสดุที่ใช้ทำเป็นส่วน โครงสร้างจะขึ้นอยู่กับว่า ต้องการให้หุ่นยนต์ทำงานแบบใด เช่น การยกของหนักหรือเลือกวัสดุที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในการทำงาน

2. ส่วนการเคลื่อนที่ เป็นส่วนที่เลียนแบบมนุษย์ คือ ส่วนของขา แต่เนื่องจากว่าการที่จะทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่หรือเดินแบบ 2 ขาเหมือนมนุษย์นั้นเป็นเรื่องค่อนข้างยาก หุ่นยนต์ที่พบเห็นทั่วไปจึงเป็นการเคลื่อนที่ด้วยล้อ อาจเป็นล้อยาง หรือตีนตะขาก และจะมีหุ่นยนต์บางส่วนที่มีการเคลื่อนที่ด้วยขา 4 ขา หรือมากกว่า

3. ส่วนการทำงานหรือปฏิบัติงาน เป็นส่วนที่เลียนแบบมนุษย์ คือ ส่วนของแขน หรือมือที่ทำหน้าที่ในการหยิบจับสิ่งของต่าง ๆ แต่ในส่วนของหุ่นยนต์ก็มักจะเป็นแขนกล

4. ส่วนประกอบของการประมวลผลและการควบคุม เป็นส่วนที่ทำงานคล้ายกับสมองของคน คือ การคิด การประมวลผล ตัดสินใจ และการสั่งงานให้อวัยวะต่าง ๆ ทำงาน ส่วนประกอบนี้ในตัวหุ่นยนต์ก็มักเป็นวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ และไมโครคอนโทรลเลอร์

5. ส่วนของเซนเซอร์ เป็นส่วนที่เลียนแบบประสาทสัมผัสของมนุษย์ ได้แก่ การมองเห็น การได้ยิน การได้กลิ่น การรับรสชาติ และความรู้สึกร้อนหรือเย็น เป็นต้น ในส่วนของเซนเซอร์ก็ทำหน้าที่ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว แล้วส่งข้อมูลไปยังส่วนของการประมวลผล และการควบคุม เพื่อสั่งการให้ส่วนปฏิบัติงานทำงานต่อไป

6. แหล่งจ่ายพลังงาน เป็นส่วนที่สำคัญมาก เนื่องจากว่าเป็นตัวจ่ายพลังงานให้ส่วน ประกอบต่าง ๆ ถ้าหากขาดแหล่งพลังงานก็จะทำให้หุ่นยนต์ไม่สามารถทำงานได้

โดยสรุปส่วนประกอบของหุ่นยนต์จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าหุ่นยนต์ถูกออกแบบมาให้เหมือนมนุษย์ ดังนั้นส่วนประกอบของหุ่นยนต์จึงมีส่วนที่เลียนแบบส่วนต่าง ๆ ของมนุษย์ ได้แก่ โครงสร้าง ส่วนการเคลื่อนที่ ส่วนการทำงานหรือส่วนปฏิบัติงาน ส่วนของการประมวลผลและการควบคุม ส่วนของเซนเซอร์และแหล่งจ่ายพลังงาน โดยมีซอฟต์แวร์จัดแบ่งตามหน้าที่การทำงานในระบบของหุ่นยนต์

#### 2.3.4 หลักการสร้างหุ่นยนต์

ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง (2552, น.5) ได้กล่าวถึงหลักการในการสร้างหุ่นยนต์ มีดังต่อไปนี้

1. กำหนดขอบเขตความสามารถของหุ่นยนต์ โดยต้องรู้ว่าหุ่นยนต์ที่เราจะสร้างนั้นสามารถทำอะไรได้บ้าง เช่น สามารถหยิบจับสิ่งของได้สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้สามารถทำงานตามเสียงหรือแสงได้

2. วางแผน ในขั้นตอนการวางแผนจะต้องคิดและประเมินสถานการณ์ล่วงหน้าไว้ว่าจะใช้วัสดุหรืออุปกรณ์อะไรบ้างในการทำโครงสร้าง ส่วนขับเคลื่อนจะใช้อุปกรณ์ใดในการขับเคลื่อน ส่วนของการประมวลผลและการควบคุมใช้วงจรอะไร จำเป็นต้องใช้เซนเซอร์หรือไม่ และแหล่งจ่ายพลังงานจะใช้พลังงานแบบใด

3. ออกแบบ ในการออกแบบหุ่นยนต์ จะต้องออกแบบไว้ล่วงหน้าก่อนลงมือทำจริงว่า หุ่นยนต์ที่จะสร้างจะมีรูปร่างอย่างไร ส่วนของโครงสร้างเป็นอย่างไร ต่อวงจรเซนเซอร์เข้ากับวงจรประมวลผลอย่างไร และวงจรควบคุมสั่งงานไปยังชุดปฏิบัติงานอย่างไร ซึ่งสิ่งเหล่านี้ผู้สร้างหุ่นยนต์จะต้องคิดและวางแผนไว้ล่วงหน้าก่อนที่จะสร้างหุ่นยนต์ขึ้นมาจริง ๆ

4. เตรียมอุปกรณ์ เมื่อเรารู้แล้วว่าหุ่นยนต์ที่จะสร้างขึ้นมา จำเป็นต้องใช้วัสดุและอุปกรณ์อะไรบ้าง ก็ต้องมีการจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์เหล่านั้นไว้ให้พร้อม เพื่อง่ายต่อการสร้างเมื่อลงมือสร้างจริง

5. ประกอบส่วนประกอบหลัก ๆ เข้าด้วยกัน ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนการลงมือประกอบส่วนประกอบหลัก ๆ เข้าด้วยกัน โดยทำการประกอบชิ้นส่วนแต่ละส่วนให้สามารถใช้งานได้ก่อน แล้วจึงนำชิ้นส่วนแต่ละส่วนนั้นมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นหุ่นยนต์

6. ทดสอบ เมื่อประกอบเป็นชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกันเรียบร้อยแล้ว ก็ให้ทดลองว่าชิ้นส่วนต่าง ๆ สามารถทำงานร่วมกันได้ดีหรือไม่

7. แก้ไข หากส่วนประกอบแต่ละส่วน ทำงานร่วมกันไม่ได้หรือประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกันแล้ว ปรากฏว่า มีปัญหาทำให้ทำการแก้ไข โดยลองตรวจสอบดูว่า ส่วนไหนที่มีปัญหาและทำให้หุ่นยนต์ไม่ทำงาน แต่ถ้าหาสาเหตุไม่พบว่ามี ส่วนประกอบไหนที่ทำให้เกิดปัญหา ก็ให้ปรึกษาผู้ที่มีประสบการณ์

8. ปรับแต่งและปรับปรุง เมื่อแก้ไขจนหุ่นยนต์สามารถทำงานได้ แล้วก็ให้ปรับแต่งและปรับปรุงหุ่นยนต์นั้น ให้สามารถทำงานได้เต็มความสามารถหรือทำงานได้ดีที่สุด

โดยสรุปหลักการสร้างหุ่นยนต์มีหลักการและขั้นตอนคือ กำหนดขอบเขตความสามารถของหุ่นยนต์ วางแผน ออกแบบ เตรียมอุปกรณ์ ประกอบส่วนประกอบหลัก ๆ เข้าด้วยกันทดสอบ แก้ไขปรับแต่งและปรับปรุง

### 2.3.5 ข้อดีและข้อเสียของหุ่นยนต์

ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง (2552, น.3) ได้กล่าวถึงข้อดีของหุ่นยนต์ไว้ดังนี้

1. หุ่นยนต์สามารถปฏิบัติงานแทนมนุษย์ได้เป็นอย่างดี เช่น การยกของ

2. หุ่นยนต์สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องหยุดพัก เนื่องจากหุ่นยนต์เป็นเครื่องกลที่สามารถทำงานได้ตลอดเวลา ต้องการเพียงแค่พลังงานและการดูแลรักษาให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานเท่านั้น

3. หุ่นยนต์สามารถทำงานออกมาให้ได้มาตรฐานเดียวกัน เนื่องจากว่าหุ่นยนต์มีลักษณะการทำงานแบบซ้ำ คือ ทำงานแบบเดิม ๆ ซ้ำ ๆ ทำให้ชิ้นงานหรือผลงานที่ได้นั้นมีมาตรฐานเดียวกันทั้งหมด

4. หุ่นยนต์สามารถทำงานได้ตามเวลาที่กำหนด เพราะหุ่นยนต์จะทำงานตลอดเวลา และใช้เวลากับชิ้นงานแต่ละชิ้นเท่า ๆ กัน ดังนั้นเราจึงกำหนดเวลาที่ใช้ในการทำงานได้

5. หุ่นยนต์สามารถเป็นเพื่อนหรือสร้างความบันเทิงให้มนุษย์ได้ เช่น หุ่นยนต์ที่ถูกออกแบบมาให้มีรูปร่างภายนอกเลียนแบบมนุษย์หรือสัตว์

6. หุ่นยนต์สามารถทำงานในสถานที่เสี่ยงต่ออันตรายได้ เช่น การเก็บกู้วัตถุระเบิดหรือทำงานในสภาพไร้อากาศ

7. หุ่นยนต์สามารถปฏิบัติตามคำสั่งได้โดยไม่มีข้อโต้แย้ง

พทุทธิกร สมิตไมตรี (2551, น.11-12) กล่าวถึงข้อดีและข้อเสียของหุ่นยนต์ ดังนี้  
ข้อดี

1) หุ่นยนต์สามารถทำงานในสิ่งแวดล้อมที่เป็นมลพิษ โดยไม่จำเป็นต้องกังวลเรื่องความปลอดภัยสุขภาพ หรือการสูญเสียชีวิต

2) หุ่นยนต์ทำงานได้ในหลายสภาวะแวดล้อม โดยไม่ต้องคำนึงถึงแสงสว่าง อากาศหายใจ หรือเสียงรบกวน

3) หุ่นยนต์สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง โดยไม่ต้องคำนึงถึงปัจจัยเรื่องความล้าจากการทำงาน เบื่องาน การประกันสุขภาพ หรือ วันลาพัก

4) หุ่นยนต์สามารถทำงานที่มีความแม่นยำสูงซ้ำ ๆ กันได้ทุกครั้ง เมื่อหุ่นยนต์อยู่ในสภาพสมบูรณ์

5) หุ่นยนต์สามารถทำงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูงได้ดีกว่ามนุษย์ เช่น การเคลื่อนย้ายของในแนวเส้นตรง หรือการผลิตไมโครชิป

6) หุ่นยนต์และเซนเซอร์ที่ติดตั้งใช้งานบางชนิด สามารถตรวจวัดในสิ่งที่มนุษย์ไม่สามารถทำได้ เช่น การตรวจวัดรอยเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์จากภายใน

7) หุ่นยนต์สามารถทำงานหลาย ๆ อย่างพร้อมกันได้จากการสั่งการเพียงครั้งเดียว ในขณะที่มนุษย์ทำงานได้เพียงอย่างเดียว

8) หุ่นยนต์สามารถทำงานแทนคนได้ ในงานที่เสี่ยงต่อการบาดเจ็บหรือที่เป็นอันตรายต่อชีวิต เช่น การหล่อโลหะที่อุณหภูมิสูง

ข้อเสีย

1) หุ่นยนต์ไม่สามารถตอบสนองต่อสิ่งที่เกิดขึ้นโดยไม่คาดคิด นอกเสียจากว่าจะมีการตั้งโปรแกรมไว้ล่วงหน้า จึงจำเป็นต้องมีมาตรการป้องกันในกรณีฉุกเฉิน เพื่อไม่ให้เกิดการบาดเจ็บต่อผู้ควบคุม หรือสร้างความเสียหายต่อหุ่นยนต์ มาตรการป้องกันควรประกอบด้วย

- การป้องกันไฟฟ้าดับ
- การป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์รอบข้าง
- การป้องกันการบาดเจ็บต่อผู้ควบคุม
- การป้องกันการตอบสนองของหุ่นยนต์ต่อสิ่งผิดปกติ

2) ถึงแม้ว่าหุ่นยนต์และเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดจะมีขีดความสามารถสูงในบางด้าน แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในบางเรื่อง เช่น

- การเข้าถึงจุดอับ
- ข้อจำกัดในรูปแบบการเคลื่อนที่
- การตอบสนองต่อสถานการณ์จริง
- ระบบการมองเห็นที่ไม่สมบูรณ์

3) หุ่นยนต์มีราคาแพง เนื่องจาก

- ราคาของอุปกรณ์
- ค่าติดตั้ง
- ต้องการเครื่องมือเสริมหรืออุปกรณ์ประกอบในการทำงาน
- ต้องมีการตั้งโปรแกรมการทำงานล่วงหน้า
- ต้องมีการฝึกผู้ควบคุมหรือดูแลหุ่นยนต์ ก่อนทำงานจริง

โดยสรุปหุ่นยนต์สร้างขึ้นมีข้อดี คือ ทำงานแทนมนุษย์ในงานที่ต้องเสี่ยงอันตรายงานที่มีความแม่นยำและเที่ยงตรงสูงซึ่งสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง ข้อเสียของหุ่นยนต์คือ มีข้อจำกัดในเรื่องการเคลื่อนที่ การมองเห็น การแก้ปัญหาในกรณีฉุกเฉินและหุ่นยนต์ในปัจจุบันยังมีราคาแพง

## 2.4 ระบบการเคลื่อนที่ที่ถูกใช้ในหุ่นยนต์ทำความสะอาดบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ธนพล ศรเดช (2561) ได้กล่าวถึง ประเภทของระบบการเคลื่อนที่ในหุ่นยนต์ที่ใช้ทำความสะอาดบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ 3 ประเภท คือ



### 2.4.1 วิธีการเคลื่อนที่ด้วยระบบราง

วิธีการเคลื่อนที่ด้วยระบบราง (Rails system) เป็นวิธีเคลื่อนที่ที่ไม่ซับซ้อนและง่าย โดยอาศัยส่วนของรางที่จะถูกติดตั้งที่ขอบบนและล่างของแผงโซลาร์เซลล์ โดยจะนิยมใช้กับแผงโซลาร์เซลล์ที่เป็นในลักษณะของโซลาร์ฟาร์มที่มีลักษณะของการติดตั้งแผงเป็นแถวแนวยาว และเป็นระเบียบ รวมไปถึงความชันขององศาการเอียงของแผงโซลาร์เซลล์เทียบจากแนวระนาบของพื้นดินที่ใช้ในการติดตั้งแผงที่มาก หรือมีการปรับเปลี่ยนองศาของแผงโซลาร์เซลล์อยู่ตลอดเวลา เนื่องจากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทำความสะอาดบนแผงโซลาร์เซลล์ด้วยระบบรางนั้นต้องมีการออกแบบ ติดตั้ง และยึดติดกับตัวแผงไว้ล่วงหน้า ทำให้ระบบมีความคงทน และแข็งแรงจากสภาพแวดล้อมได้ดี แต่เนื่องจากการเคลื่อนที่รูปแบบนี้จะต้องอาศัยการติดตั้งรางไว้ที่ขอบด้านบนและล่างของแผงโซลาร์เซลล์ทุก ๆ แผง ดังนั้นจะทำให้การติดตั้งมีต้นทุนสูงขึ้น และไม่เหมาะกับแผงโซลาร์เซลล์ที่มีการติดตั้งที่ไม่เป็นระเบียบ



รูปที่ 2.17 หุ่นยนต์ที่มีวิธีการเคลื่อนที่ด้วยระบบราง

(ที่มา: <http://www.eztechsys.com>)

#### ข้อดี

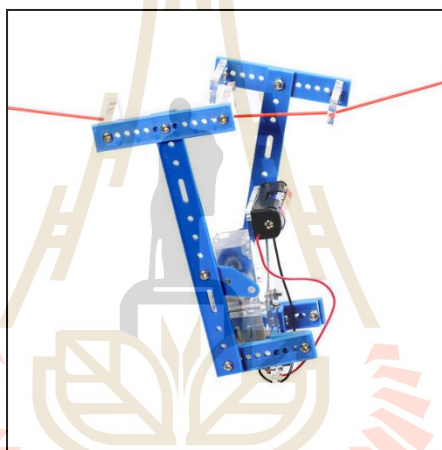
- 1) ระบบมีความคงทนมาก
- 2) การทำความสะอาดมีความรวดเร็ว
- 3) ต้นทุนของระบบน้อย
- 4) ต้นทุนการติดตั้งน้อย

#### ข้อด้อย

- 1) มีความยืดหยุ่นในการใช้งานน้อย

### 2.4.2 วิธีการเคลื่อนที่ด้วยเส้นเชือก

วิธีการเคลื่อนที่ด้วยเส้นเชือก (Tethers System) เป็นการเคลื่อนที่ค่อนข้างซับซ้อน มีความสัมพันธ์กันในการเคลื่อนที่ของเส้นเชือกแต่ละเส้น ที่ทำให้ตัวชุดทำความสะอาดเคลื่อนที่ไปยังจุดหรือเส้นทางต่าง ๆ ซึ่งส่วนสำคัญของระบบการเคลื่อนที่ด้วยระบบเส้นเชือกนั้น คือ ตัวรถที่ใช้ขับเคลื่อนตัวของตัวชุดทำความสะอาด ทำให้การใช้ระบบเส้นเชือกนั้นบริเวณพื้นที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์จะต้องมีพื้นที่เพื่อสำหรับติดตั้งชุดรถ หรือเสาที่ใช้ตรึงเชือกนอกจากการเคลื่อนที่ที่ค่อนข้างซับซ้อนแล้ว ข้อจำกัดอีกอย่างหนึ่งก็คือ ขนาดของพื้นที่ที่สามารถทำความสะอาดได้นั้นต้องมีขนาดที่ไม่กว้างมาก เนื่องจากหากพื้นที่ที่กว้างมากจะทำให้ความยาวของเส้นเชือกยาวทำให้เกิดการหย่อน หรือเรียกว่า “ตกท้องช้าง” จึงทำให้ไม่เป็นที่นิยม



รูปที่ 2.18 หุ่นยนต์ที่มีวิธีการเคลื่อนที่ด้วยเส้นเชือก  
(ที่มา: [www.sea-m.banggood.com](http://www.sea-m.banggood.com))

ข้อดี

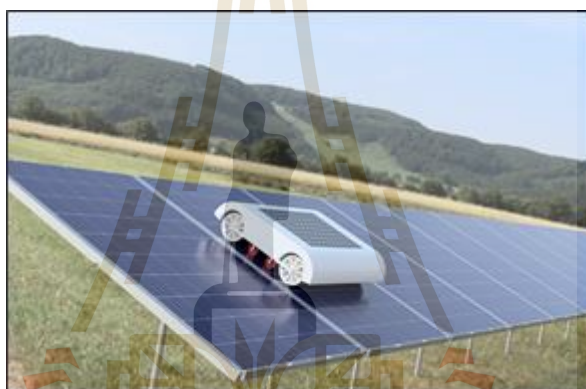
- 1) ระบบมีความคงทนมาก
- 2) การทำความสะอาดมีความรวดเร็ว

ข้อด้อย

- 1) ต้นทุนการติดตั้งมาก
- 2) ต้นทุนของระบบมาก
- 3) มีความยืดหยุ่นในการใช้งานน้อย

### 2.4.3 วิธีการเคลื่อนที่ด้วยระบบหุ่นยนต์แบบเคลื่อนย้ายได้

วิธีการเคลื่อนที่ด้วยระบบหุ่นยนต์แบบเคลื่อนย้ายได้ (Mobile System) วิธีการเคลื่อนที่ด้วยระบบนี้จะมีลักษณะของหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ลักษณะคล้ายกับหุ่นยนต์ที่ใช้จุดฝุ่นภายในบ้าน ข้อได้เปรียบที่สุดของการเคลื่อนที่รูปแบบนี้คือ มีความยืดหยุ่นสูง ใช้ได้กับลักษณะของการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ทุกรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นแบบโซลาร์ฟาร์ม หรือแบบติดตั้งบนหลังคาอาคาร ไม่จำเป็นต้องมีพื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์เสริม สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายทำให้มีหุ่นยนต์เพียงตัวเดียวก็สามารถทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ได้จำนวนมาก โดยเทคนิคและลักษณะการเคลื่อนที่ที่มีแตกต่างออกไปมากมาย เช่น แบบใช้รอกสายพาน แบบใช้ล้อยาง แบบใช้ตัวดูดสูญญากาศ



รูปที่ 2.19 หุ่นยนต์ที่มีวิธีการเคลื่อนที่ด้วยระบบหุ่นยนต์แบบเคลื่อนย้ายได้  
(ที่มา: [www.saurenergy.com](http://www.saurenergy.com))

ข้อดี

- 1) ต้นทุนการติดตั้งน้อย
- 2) การทำความสะอาดมีความรวดเร็ว

ข้อด้อย

- 1) ต้นทุนของระบบมาก
- 2) ระบบมีความคงทนน้อย
- 3) มีความยืดหยุ่นในการใช้งานน้อย

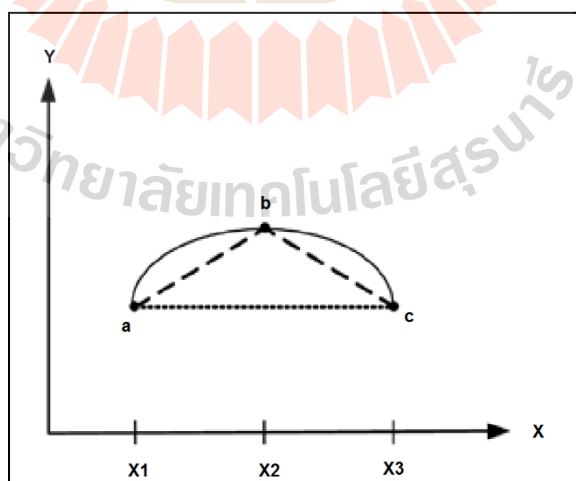
โดยสรุปแล้วจะสามารถแบ่งประเภทของระบบการเคลื่อนที่ในหุ่นยนต์ที่ใช้ทำ ความสะอาดบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ 3 วิธีคือ (1) วิธีเคลื่อนที่ด้วยระบบราง (Rails system) (2) วิธีการเคลื่อนที่ด้วยเส้นเชือก (Tethers System) และ (3) วิธีการเคลื่อนที่ด้วยระบบหุ่นยนต์แบบ เคลื่อนย้ายได้ (Mobile System) ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อด้อยต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับระบบ การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และวิธีการใช้งานของผู้ใช้งาน

สำหรับงานวิจัยนี้มีความสนใจระบบการเคลื่อนที่ด้วยวิธีการเคลื่อนที่ด้วยระบบราง เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการวิจัยการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย ที่มนุษย์ต้องอาศัยระบบที่ความปลอดภัยในการทำมาสะอาด จึงต้องอาศัยระบบที่มีความคงทน นอกจากนี้ระบบที่กล่าวมามีความรวดเร็วในการทำมาสะอาด มีการลงทุนกับระบบ และการติดตั้ง น้อย

## 2.5 การออกแบบการทดลองแฟกโทเรียลแบบสองระดับ (Design of Experiment)

### แบบ $2^k$ Factorial Design

วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์ (2560, น.6-8) ได้กล่าวถึงการออกแบบการทดลองที่มีระดับของปัจจัย เพียง 2 ระดับ คือ  $2^k$  Factorial Design ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรตอบสนองบน ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นเท่านั้น หากความสัมพันธ์ของตัวแปรตอบสนองบนปัจจัยที่ สนใจไม่เป็นเชิงเส้น อาจส่งผลให้การวิเคราะห์ผลผิดพลาดได้ ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 การกำหนดระดับปัจจัยในการวิเคราะห์ผล

จากรูปที่ 2.20 หากความสัมพันธ์ระหว่างแกน Y และแกน X มีความสัมพันธ์ที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง เมื่อทำการทดลองโดยกำหนดระดับปัจจัย (แกน X) เป็น 3 ระดับ ได้แก่ X1, X2 และ X3 ได้ความสัมพันธ์ออกมาเป็นเส้น a, b และ c (เส้นประ) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น แต่หากกำหนดระดับปัจจัย X เหลือเพียง 2 ระดับ คือ X1 และ X3 จะได้ความสัมพันธ์ออกมาเป็นเส้นตรง ac (เส้นไขว้ปลา) ซึ่งเป็นเส้นที่ไม่มีความชัน (ความชันเป็น 0) สามารถตีความได้ว่า ปัจจัย X ไม่ส่งผลกระทบต่อตัวแปร Y ซึ่งเป็นการตีความที่ไม่ถูกต้องจึงจำเป็นต้องอาศัยความรู้เฉพาะทางในการพิจารณาความสัมพันธ์ในช่วงที่เลือกมาศึกษาว่ามีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นหรือไม่ และในการกำหนดระดับปัจจัยสำหรับการทดลองแบบ 2k Factorial Design มีการกำหนดปัจจัยเพียง 2 ระดับ เช่น -1 กับ 1 หรือ Low Level กับ High Level

โดยสรุปการออกแบบการทดลองแบบ 2<sup>k</sup> Factorial Design เป็นการออกแบบการทดลองที่มีการกำหนดระดับปัจจัยเพียง 2 ระดับ โดยที่มีเงื่อนไขคือความสัมพันธ์ในช่วงที่สนใจต้องมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นเท่านั้น

## 2.6 การใช้โปรแกรมมินิแทบเพื่อออกแบบการทดลอง

อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ (2562, น.1) ได้กล่าวถึงการใช้โปรแกรมมินิแทบเพื่อออกแบบการทดลอง โดยมีบทบาทสำหรับผู้ใช้งานในส่วนของการประมวลผลเนื่องจากโปรแกรมมินิแทบ (Minitab) สามารถแสดงผลข้อมูลในลักษณะของตัวเลข และกราฟช่วยให้ผู้ทำการวิจัยสามารถหาคำตอบสำหรับการทดลองได้ง่าย เที่ยงตรง และแม่นยำยิ่งขึ้น

### 2.6.1 ขั้นตอนการใช้โปรแกรมมินิแทบ (Minitab)

อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ (2562, น.3) ได้กล่าวถึงการใช้โปรแกรม Minitab เพื่อออกแบบการทดลองสามารถแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเปิดโปรแกรมหรือเริ่มต้นเข้าสู่การทำงานบนแฟ้มงาน

ขั้นตอนที่ 2 ป้อนข้อมูลเข้าสู่เวิร์กชีท เนื่องจากโปรแกรม Minitab เป็นโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล ดังนั้นเมื่อเราเปิดแฟ้มงานแล้วสิ่งที่จำเป็นมากสำหรับการใช้งานโปรแกรมคือ ข้อมูลซึ่งจะเป็นการป้อนจากแป้นพิมพ์ การนำข้อมูลจากฐานข้อมูลชนิดอื่น เช่น Excel, Access หรือ Text เป็นต้น หรือการเปิดจากไฟล์เวิร์กชีทของ Minitab ก็แล้วแต่ ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ใช้เอง

ขั้นตอนที่ 3 เป็นส่วนการจัดการข้อมูลเป็นขั้นตอนที่สามารถข้ามไปยังขั้นตอนต่อไปได้ ถ้าหากว่าข้อมูลที่อยู่ในเวิร์กชีทมีความพร้อมและอยู่ในรูปแบบที่ถูกต้องสำหรับการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab แต่ถ้าหากไม่เราจำเป็นต้องจัดการข้อมูลดังกล่าวก่อนอาจใช้

ฟังก์ชันที่มีใน Minitab หรือการจัดการจากโปรแกรมอื่นก่อนนำเข้าสู่เวิร์กชีทใน Minitab ก็ได้แล้ว แต่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัญหาและประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูลของผู้ใช้งาน โปรแกรมตัวอย่าง ขั้นตอนนี้ คือ การรวมข้อมูล (Stack) การเปลี่ยนทิศทางการเรียงข้อมูล (Transpose Data) การคำนวณข้อมูล (Calculate) การสร้างชุดข้อมูลย่อย (Subset) เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ทางสถิติโดยเราจะเลือกฟังก์ชันหรือตัวสถิติที่เราจะทำการวิเคราะห์ เช่นการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การออกแบบการทดลอง (DOE) เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 5 เป็นส่วนในรายละเอียดของการวิเคราะห์ใด ๆ ที่เราเลือก โดยปกติแล้วถ้าเราใช้การตั้งค่าเริ่มต้นของโปรแกรม (Default) ซึ่งเป็นค่าที่มีการใช้ทั่วไปแล้ว เมื่อเราใส่ข้อมูลครบถ้วนตามที่โปรแกรมต้องการแล้ว เราสามารถข้ามขั้นตอนนี้ไปได้ แต่ในบางครั้งเราต้องการปรับเปลี่ยนค่าดังกล่าว เช่น ค่าความเชื่อมั่น 95% เป็น 99% การสร้างกราฟ หรือจะเป็นการสั่งให้โปรแกรมแสดงค่าหรือเก็บค่าใด ๆ ที่เราต้องการ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 6 เป็นการจัดการกับผลการประมวลผลที่โปรแกรม Minitab ดำเนินการให้ซึ่งจะออกมาใน 2 รูปแบบ คือ ผลทางตัวเลขหรือตัวอักษรและกราฟ ตัวอย่างของการทำงานในขั้นตอนนี้ เช่น การสร้างรายงาน ตัดข้อมูลผิดปกติ การเปลี่ยนสีกราฟ เป็นต้น

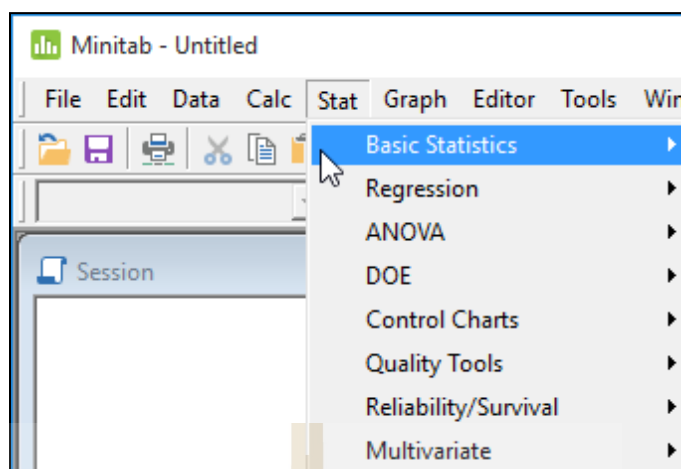
โดยสรุปการใช้โปรแกรมมินิแทบเพื่อออกแบบการทดลองสามารถแบ่งขั้นตอนออกเป็น 6 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 คือ การเปิดโปรแกรม ขั้นตอนที่ 2 คือ การนำเข้าข้อมูล ขั้นตอนที่ 3 คือการจัดการข้อมูล ขั้นตอนที่ 4 คือ การเลือกฟังก์ชันที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ขั้นตอนที่ 5 คือ การวิเคราะห์ข้อมูล และขั้นตอนที่ 6 คือ การจัดการกับผลการประมวลผล

## 2.6.2 ความสามารถด้านฟังก์ชันและกราฟของโปรแกรม Minitab

อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ (2562, น.3-4) ได้กล่าวถึงความสามารถด้านฟังก์ชันและกราฟของโปรแกรม Minitab โดยแบ่งออกเป็น 7 ฟังก์ชัน ดังนี้

### 2.6.2.1 Basic Statistics

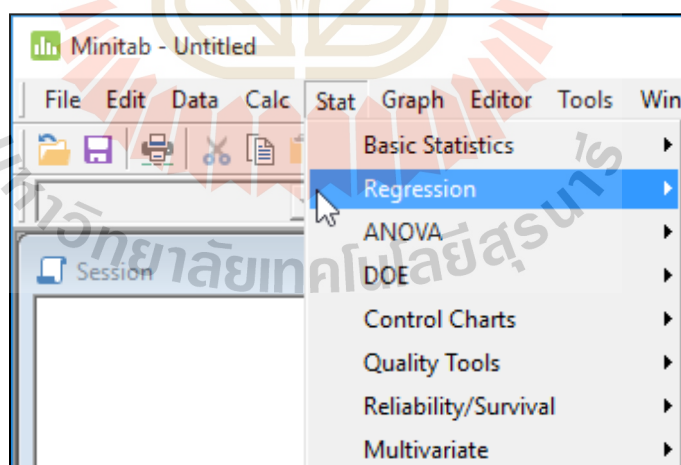
Basic Statistics เป็นฟังก์ชันพื้นฐานทางสถิติ ซึ่งประกอบด้วย สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive) และสถิติเชิงอนุมาน (Inferential) เช่น การหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย (Mean), ค่าความแปรปรวน (Variance), ค่าพิสัย (Range) เป็นต้นนอกจากนั้นยังมีคำสั่งในการหาช่วงความเชื่อมั่นและการทดสอบสมมติฐาน (Confidence interval และ Hypothesis testing) โดยผลการคำนวณให้ทั้งผลลัพธ์บน Session และกราฟ



รูปที่ 2.21 ฟังก์ชัน Basic Statistics ในโปรแกรม Minitab

#### 2.6.2.2 Regression Analysis เป็นฟังก์ชันการวิเคราะห์

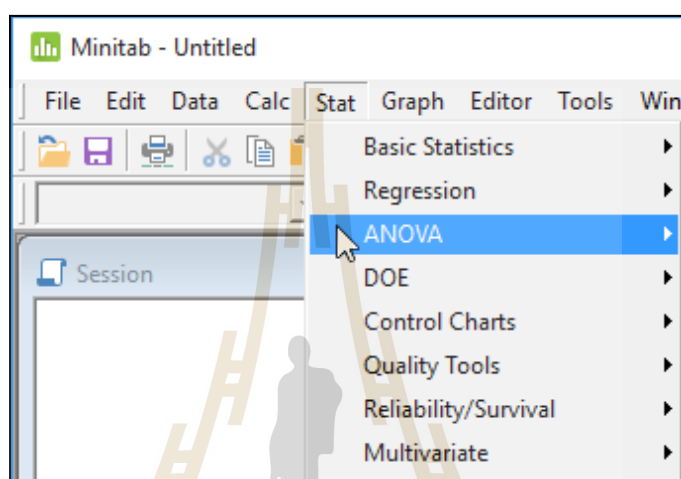
การถดถอยเชิงเส้นได้ทั้งรูปแบบสมการเส้นตรง (Linear) และสมการกำลัง (Polynomial) หรือรูปแบบอื่น ๆ ที่ต้องการรวมถึงการเก็บค่าเศษเหลือ (Residual) และกราฟประกอบการวิเคราะห์



รูปที่ 2.22 ฟังก์ชัน Regression Analysis ในโปรแกรม Minitab

### 2.6.2.3 ANOVA

ANOVA เป็นฟังก์ชันการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยสามารถวิเคราะห์ปัจจัยตั้งแต่ 1 ปัจจัย (One-way) 2 ปัจจัย (Two-way) หรือมากกว่า (Genera) รวมถึงการแสดงผลกราฟปัจจัยอิทธิพลหลัก (Main effect plot) และปัจจัยอิทธิพลร่วม (Interaction effect plot) และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

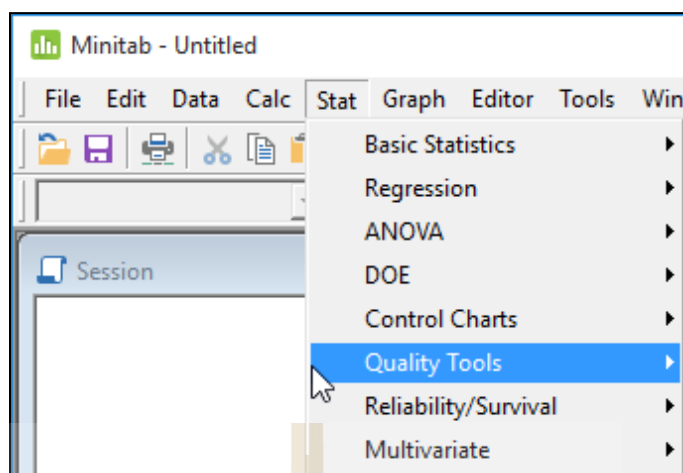


รูปที่ 2.23 ฟังก์ชัน ANOVA ในโปรแกรม Minitab

### 2.6.2.4 Statistical Quality Tools

Statistical Quality Tools เป็นฟังก์ชันสนับสนุนงานทางการวิเคราะห์ด้านคุณภาพ ประกอบด้วยหัวเรื่องหลัก 4 เรื่อง คือ Quality Tools สามารถทำการสร้างกราฟพาเรโต (Pareto), รันชาร์ต (Run Chart) เป็นต้น, Control Charts ชุดคำสั่งสร้างแผนภูมิควบคุมมากมายหลากหลายครอบคลุมข้อมูลทุกประเภท รวมถึงคำสั่งเพิ่มเติมช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลผิดปกติ, Capability Analysis เป็นคำสั่งวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ โดยการนำเอาความผันแปรข้อมูลเทียบกับข้อกำหนด (Specification) ซึ่งสามารถจัดการได้ทั้งกรณีข้อมูลเป็นปกติ (Normal) หรือไม่ปกติ (Non-normal) และ Measurement System เป็นคำสั่งวิเคราะห์และประเมินความสามารถกระบวนการวัด เช่น Stability Bias Linearity และ Gage R&R

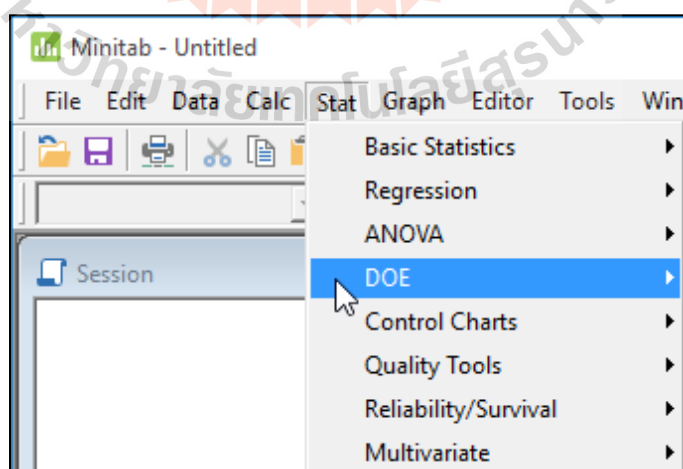




รูปที่ 2.24 ฟังก์ชัน Statistical Quality Tools ในโปรแกรม Minitab  
(ที่มา: โปรแกรม Minitab 18.1)

#### 2.6.2.5 Design of Experiment

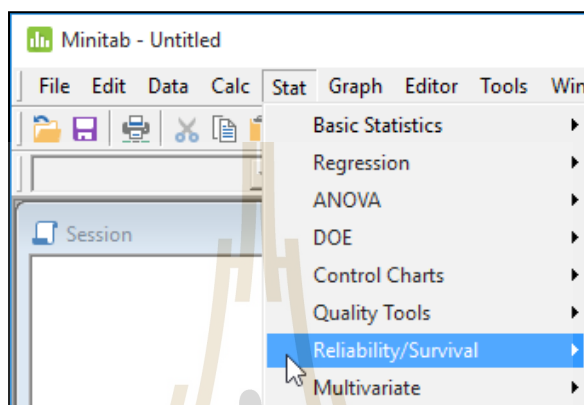
Design of Experiment เป็นชุดคำสั่งในการออกแบบการทดลอง ประกอบด้วย Factorial, Response Surface, Mixture และ Taguchi สำหรับคำสั่งการออกแบบการทดลองในโปรแกรม Minitab จะช่วยเหลือตั้งแต่การออกแบบการทดลอง การจัดเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ผลที่ได้และกราฟประกอบการแปลผล รวมถึงการหาค่าเพื่อผลลัพธ์ที่ต้องการ (Response Optimizer)



รูปที่ 2.25 ฟังก์ชัน Design of Experiment ในโปรแกรม Minitab

### 2.6.2.6 Reliability

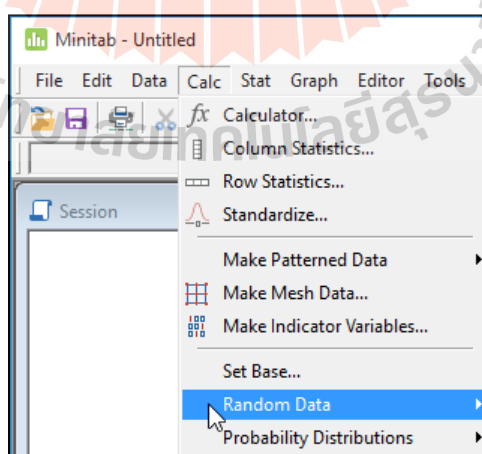
Reliability เป็นฟังก์ชันสำหรับวิเคราะห์ค่าความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ โดยอาศัยหลักการทางสถิติ โดยมีฟังก์ชันช่วยในการหาฟังก์ชันความน่าจะเป็น (Distribution) แบบต่าง ๆ และทำการวิเคราะห์ผ่านฟังก์ชัน โดยอาศัยหลักการความน่าจะเป็น



รูปที่ 2.26 ฟังก์ชัน Reliability ในโปรแกรม Minitab

### 2.6.2.7 Simulation and Distribution

Simulation and Distribution เป็นคำสั่งช่วยในการสุ่มชุดข้อมูลผ่านฟังก์ชันความน่าจะเป็น (Distribution) เพื่อประโยชน์ในการทำการทดสอบโมเดลหรือการวิเคราะห์ที่ต้องการ



รูปที่ 2.27 ฟังก์ชัน Simulation and Distribution ในโปรแกรม Minitab

โดยสรุปความสามารถด้านฟังก์ชันและกราฟของโปรแกรม Minitab ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิตินั้นมีอยู่หลากหลายฟังก์ชัน แต่จะมีฟังก์ชันหลักที่ใช้โดยทั่วไปอยู่ 7 ฟังก์ชัน ขึ้นอยู่กับการใช้ของผู้ที่ทำการวิจัยว่าการวิจัยนั้นจะใช้สถิติอะไรเพื่อหาคำตอบของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.7.1 งานวิจัยในประเทศ

ขจรศักดิ์ จันทร์แจ่ม (2557) ได้วิจัยหุ่นยนต์ดูดตะกอนใต้น้ำสำหรับถังพักน้ำขนาดใหญ่ ผลการวิจัยพบว่าหุ่นยนต์ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความสะอาดและลดเวลาในการทำงานของบุคลากร โดยหุ่นยนต์ดูดตะกอนใต้น้ำสามารถขับเคลื่อนได้ 4 ทิศทาง สามารถส่งสัญญาณภาพขณะปฏิบัติงานใต้น้ำภายในถังพักน้ำประปาใต้ดิน เพื่อให้ผู้บังคับหุ่นยนต์ที่อยู่ด้านบนมองเห็นวิสัยทัศน์ภายในถังพักน้ำ ส่วนการกำจัดตะกอนนั้นจะใช้หลักการของการสูบน้ำด้านล่างที่มีตะกอนสะสมเป็นจำนวนมากอยู่ขึ้นมาข้างด้านบนของถังพักน้ำ พร้อมทั้งออกแบบอุปกรณ์ช่วยเหลือในการนำหุ่นยนต์ขึ้นและลงจากถังพักน้ำใต้ดินและจากผลการทดสอบหุ่นยนต์สามารถปฏิบัติภารกิจได้ตามที่ออกแบบโดยใช้เวลาปฏิบัติงานลดลงจากเดิมประมาณ 2 เท่า

ชัยพร ศิลาวัชานาไย และกิริยา สมเกียรติกุล (2561) ได้วิจัยการพัฒนาและควบคุมการเคลื่อนที่สำหรับหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือการพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ ระบบควบคุมการเคลื่อนที่จึงต้องมีความแม่นยำเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเดินทำความสะอาดตามเส้นทางที่ได้วางแผนไว้ด้วยตัวเองโดยไม่ต้องใช้คนบังคับ ผลการวิจัยพบว่าหุ่นยนต์สามารถดำเนินตามเส้นทางที่กำหนดไว้แม้ว่าแผงโซลาร์เซลล์มีความลาดเอียงที่แตกต่างกันสามารถเดินทำความสะอาดได้ด้วยตัวเอง ทำให้การผลิตกระแสไฟฟ้าได้ดีขึ้น

ธนพล ศรีเดช (2561) ได้วิจัยหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ที่เคลื่อนที่ด้วยล้อ ออมนิ วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือการออกแบบและจัดสร้างระบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ต้นแบบด้วยล้อแบบ Omni wheel ที่สามารถเคลื่อนที่ได้บนแผงโซลาร์เซลล์ที่มีความลาดเอียงด้วยระบบอัตโนมัติ และวิเคราะห์ความถูกต้อง และประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เทียบกับงานวิจัยที่มีผ่านมา ผลการวิจัยพบว่ามีแนวโน้มของความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำการเคลื่อนที่ด้วยล้ออมนิ (Omni) ไปประยุกต์ใช้สำหรับระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ทำความสะอาดบนแผงโซลาร์เซลล์ได้

## 2.7.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Kandil และ Elsherif (2011) ได้ทำการวิจัยระบบการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการใช้น้ำ มีการออกแบบระบบการทำความสะอาดโดยการติดตั้งหัวฉีดแบบตายตัว และแบบที่ปรับเลื่อนได้ มีแปรงทำความสะอาดแบบเคลื่อนที่หรือแบบหมุน ผลการวิจัยพบว่าระบบที่ได้ออกแบบนั้นสามารถเพิ่มความสามารถในการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ โดยการทำความสะอาดแบบใช้น้ำเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพเพียงแต่จะต้องมีแรงดันน้ำที่สูงเพียงพอ หรืออาจมีแปรงทำความสะอาดร่วมด้วยเพื่อช่วยให้น้ำขจัดคราบเหนียวหรือโคลน

K.A. Moharram et al. (2013) ได้วิจัยผลกระทบของการทำความสะอาดโดยใช้น้ำ และสารลดแรงตึงผิวบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วัตถุประสงค์ของการวิจัยคือการกำจัดฝุ่นละออง สะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้น้ำและพลังงานในปริมาณน้อย ทำการทดลองโดยใช้ระบบน้ำแบบไม่อัดแรงดัน แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่กำลังกล่าวถึงนี้เป็นส่วนหนึ่งของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลัง 14 กิโลวัตต์ ที่ได้ติดตั้งอยู่ภายในมหาวิทยาลัยเยอรมัน เมืองคาร์ริโอ ประเทศอียิปต์ ผลการวิจัยพบว่าภายหลังจากการทำความสะอาดด้วยน้ำแบบไม่อัดแรงดัน ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ลดลงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาผ่านไป 45 วัน ในขณะที่ประสิทธิภาพนั้นจะยังคงที่เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนผสมของประจุลบและประจุบวกในการทำความสะอาด ดังนั้นการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการพัฒนาระบบการทำความสะอาดด้วยน้ำที่มีส่วนผสมของสารลดแรงตึงผิวสามารถลดปริมาณน้ำที่จำเป็นในการล้างรวมทั้งลดพลังงานในการฉีดน้ำอีกด้วย

Mohammad J. Al-Jawah (2014) ได้ทำการวิจัยเรื่องการตัดสินใจของนักลงทุน ในการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่แห้งแล้ง ผลการวิจัยพบว่า การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการสิ้นเปลืองน้ำปริมาณมากและส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม แต่ประโยชน์ของการทำความสะอาดวิธีนี้ก็ยังคงคุ้มค่าต่อการลงทุน และการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับสถานการณ์เพื่อที่จะนำมาใช้กำหนดวิธีการทำความสะอาดที่เหมาะสม นอกจากนี้ผลการวิจัยได้ระบุด้วยว่าการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อถึงเกณฑ์ความสกปรกจะเป็นวิธีที่ดีกว่าการทำความสะอาดในเวลาที่ถูกกำหนดเอาไว้

Matthias KEGELEERS (2015) ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาหุ่นยนต์ทำความสะอาดสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วัตถุประสงค์คือหาวิธีการแก้ปัญหาความคุ้มค่าด้านราคาสำหรับผลิตภัณฑ์ให้เกิดการลดต้นทุนรวมของหุ่นยนต์ซึ่งสามารถสร้างผลกำไรต่อโรงงานพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กได้ เพื่อให้โรงงานเหล่านี้สามารถคืนต้นทุนจากการลงทุนได้ภายในระยะเวลา

2 ปี (ระยะเวลาประกันส่วนใหญ่ในกลุ่มประเทศแถบยุโรป) ในขณะที่ยังคงรักษาความสะอาดสำหรับค่าเฉลี่ยของโรงงานพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับครัวเรือนหลักการคือหุ่นยนต์จะใช้สายพานสองเส้น ซึ่งติดอยู่ที่ขอบด้านข้างของหลังคาเพื่อคอยตรวจสอบ หลักการนี้ได้ถูกสร้างเป็นต้นแบบเสมือนจริงขึ้นมาเพื่อจำลองการทำงานของหุ่นยนต์ หลังจากนั้นจึงสร้างเป็นต้นแบบเพื่อพิสูจน์หลักการข้างต้นผลการวิจัยพบว่าหลักการนี้เป็นทางเลือกที่เชื่อถือได้เมื่อประยุกต์ใช้กับโรงงานผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก ระบบมีความคล่องตัว ยืดหยุ่น และมีประสิทธิภาพด้านราคาอย่างมากจากการคาดการณ์อย่างคร่าวๆสำหรับครัวเรือนทั่วไปนั้น หุ่นยนต์สามารถคุ้มทุนได้ในระยะเวลา 2 ปี จากความเสื่อมสภาพ 15% โดยโรงงานที่มีขนาดใหญ่กว่าจะสามารถคุ้มทุนได้ที่ระดับความเสื่อมสภาพน้อยกว่า ความคงทนควรต้องได้รับการพัฒนาเพิ่มขึ้น

Ali Al Shehri et al. (2016) ได้วิจัยผลกระทบของการสะสมของฝุ่นละอองและการทำความสะอาดแบบแห้งด้วยแปรงบนกระจกแก้วที่ใช้สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการวิจัยพบว่าผลของการทำความสะอาดแบบแห้งสำหรับการขจัดฝุ่นละอองบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แปรงในลอนเป็นอุปกรณ์ทำความสะอาดนั้น ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แม้พื้นผิวจะเต็มไปด้วยฝุ่นละออง สิ่งสำคัญที่ได้รับจากการทำความสะอาดด้วยแปรงในลอนทำให้แสงสามารถส่องผ่านพื้นผิวที่ไม่มีมีฝุ่นละอองปิดบังไว้และยังเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการทำความสะอาดด้วยแปรงในลอนไม่ได้สูงเท่ากับการทำความสะอาดโดยใช้น้ำและแปรงปัดน้ำฝนที่ละเอียดอ่อน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการสร้างหุ่นยนต์ทำความสะอาดพบว่ามีสถาบันการศึกษาและองค์กรต่าง ๆ มีการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า และพบปัญหาว่ามีฝุ่นละอองหรือคราบสกปรกที่ปกคลุมอยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดน้อยลงจึงมีการวิจัยเกี่ยวกับการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้น้ำที่มีส่วนผสมของสารลดแรงตึงผิวการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยหัวฉีดน้ำที่สามารถปรับการเคลื่อนที่ได้ หรือการทำความสะอาดด้วยหุ่นยนต์ทำความสะอาดในลักษณะต่าง ๆ และทราบว่าการทำงานสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยน้ำเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ

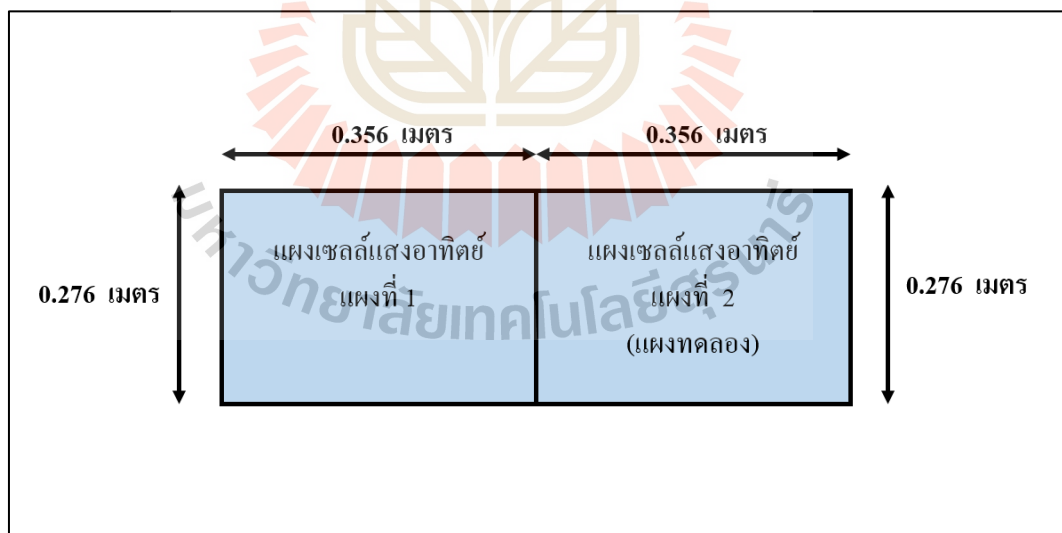
### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินการวิจัย

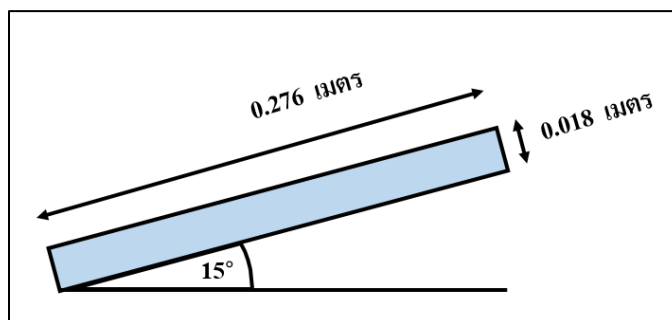
งานวิจัยนี้จะเป็นการออกแบบระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย และทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำความสะอาดด้วยระบบทำความสะอาด ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอถึงวิธีการและรายละเอียดของการดำเนินการวิจัยซึ่งจะอธิบายสรุปรวมของการออกแบบ เพื่อสร้างต้นแบบระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์และทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดด้วยระบบทำความสะอาด มีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

#### 3.1 การออกแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในการวิจัยนี้มีการจำลองการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาด  $0.356 \times 0.276 \times 0.018$  เมตร (กว้าง  $\times$  ยาว  $\times$  สูง) ทำมุมเอียงจากพื้นโลก 15 องศา โดยมีการต่อเรียงกันตามแนวระดับ จำนวน 2 แผง ดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามแนวระดับ

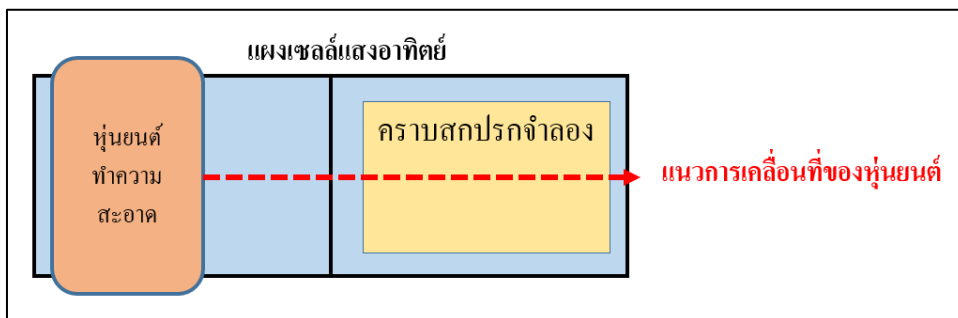


รูปที่ 3.2 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เอียงจากพื้น โลก 15 องศา

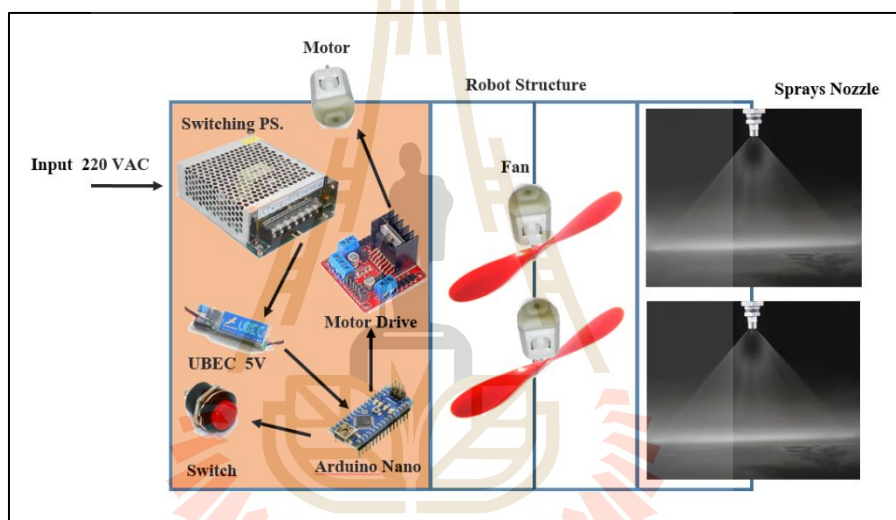
จากรูปที่ 3.1 แสดงการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการต่อเรียงกันตามแนวระดับจำนวน 2 แผง โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงที่ 1 ใช้สำหรับการเตรียมความพร้อมการเคลื่อนที่ในการทดลอง การทำความสะอาด และแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงที่ 2 ใช้สำหรับการจำลองความสกปรกที่ใช้ในการทำความสะอาดโดยใช้ระบบ และรูปที่ 3.2 แสดงการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีมุมเอียงจากพื้น โลก 15 องศา เพื่อให้สอดคล้องกับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำให้เกิดการผลิตกำลังไฟฟ้า สูงสุดสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย

### 3.2 การออกแบบระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย

จากการทบทวนวรรณกรรมผู้วิจัยเลือกพัฒนาระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีวิธีการเคลื่อนที่ด้วยระบบราง (Rails System) เนื่องจากมีความสอดคล้องกับระบบการติดตั้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมติดตั้งในประเทศไทย โดยการออกแบบระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัยทั่วไป ผู้วิจัยจะออกแบบระบบการทำงานของระบบต้นแบบให้เป็นระบบที่มีการควบคุมด้วยมือ (Manual Control) คือ ใช้คนทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบด้วยการกดปุ่มบนแผงที่อยู่บนกล่องควบคุม เพื่อให้ระบบนั้นสามารถขับเคลื่อนไปตามขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามแนวการเคลื่อนที่ของระบบแสดงดังรูปที่ 3.3 โดยจะมีมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนและทำงานร่วมกับลูกปืนที่เป็นตัวประกอบ เพื่อป้องกันไม่ให้ระบบต้นแบบหลุดออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนี้ยังมีหัวฉีดน้ำที่ทำหน้าที่ฉีดทำความสะอาดคราบสกปรกจำลองที่อยู่บนพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และมีพัดลมเป่าแห้งหลังจากที่มีการฉีดน้ำ โดยแสดงภาพรวมของระบบดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 แนวการเคลื่อนที่ของระบบทำความสะอาด



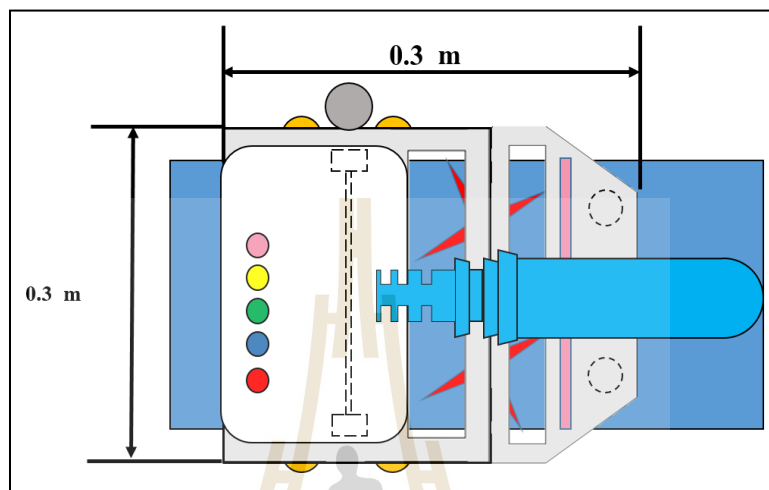
รูปที่ 3.4 ภาพรวมของระบบ

### 3.2.1 ระบบโครงสร้าง

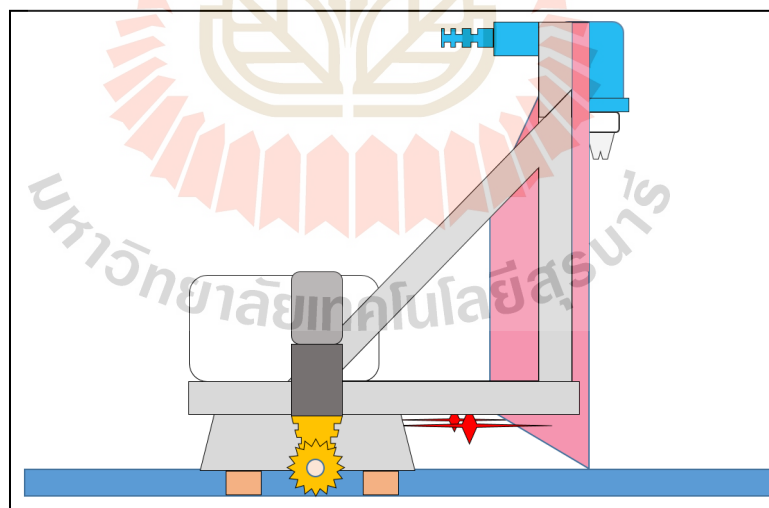
การออกแบบระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทั่วไปจะต้องคำนึงถึงขนาดและน้ำหนักของระบบทำความสะอาด เนื่องจากหากระบบที่มีขนาดและน้ำหนักมากอาจส่งผลต่อโครงสร้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และยังส่งผลต่อการออกแบบระบบขับเคลื่อนที่ต้องมีระบบต้นกำลังที่มีขนาดใหญ่หรือมีกำลังในการขับเคลื่อนมาก ทำให้ต้นทุนของรากระบบนั้นสูงขึ้นตามไปด้วย รวมทั้งคำนึงถึงความทนทานต่อสภาพอากาศตามธรรมชาติด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงเลือกออกแบบให้ระบบทำความสะอาดมีวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างที่ทำด้วยอลูมิเนียม ด้วยเหตุผลคือเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงทนทานและไม่เกิดปฏิกิริยาการเกิดสนิมในการใช้งานกลางแจ้ง นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ระบบมีขนาด  $0.30 \times 0.30 \times 0.30$  เมตร (กว้าง  $\times$  ยาว  $\times$  สูง)



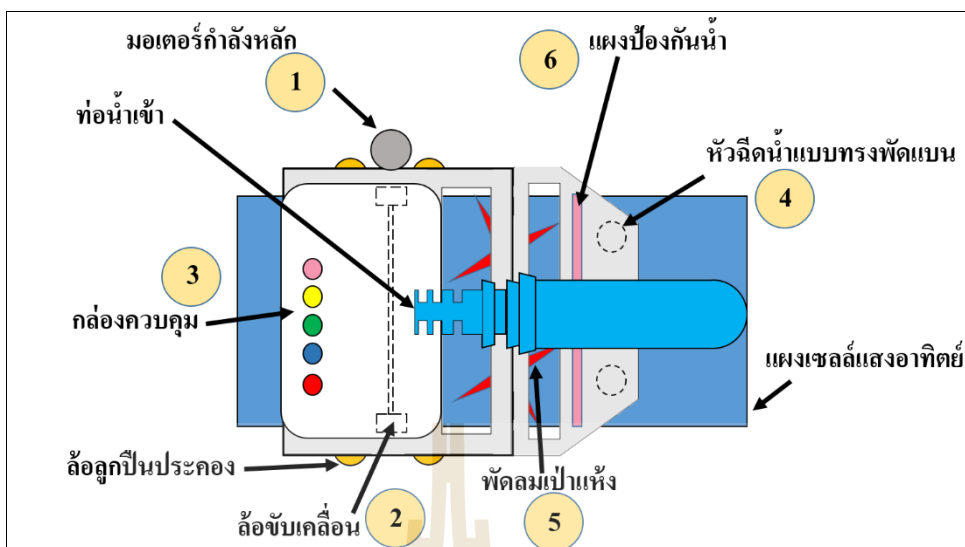
เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ไปตามแนวขอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความกว้าง 0.276 เมตร ดังแสดง  
ในรูปที่ 3.5 แบบจำลองระบบจากมุมมองด้านบน (Top View) และรูปที่ 3.6 แบบจำลองระบบจาก  
มุมมองด้านข้าง (Side View)



รูปที่ 3.5 แบบระบบจากมุมมองด้านบน (Top View)



รูปที่ 3.6 แบบระบบจากมุมมองด้านข้าง (Side View)



รูปที่ 3.7 ชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งในแบบจำลองระบบ มุมมองด้านบน (Top View)

จากรูปที่ 3.7 มีอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ถูกติดตั้งบนโครงสร้างระบบซึ่งจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์สำคัญดังนี้

1) มอเตอร์กำลังหลัก (Drive Motor) เป็นมอเตอร์กำลังหลักที่ถูกติดตั้งอยู่กับเฟรมหลักด้านข้างของ โครงสร้างระบบ ทำหน้าที่ส่งกำลังให้กับการเคลื่อนที่เดินหน้า ถอยหลังแบบเส้นตรง สำหรับมอเตอร์กำลังหลักในการวิจัยนี้ต้องการมอเตอร์ที่สามารถรับน้ำหนักของระบบ และลากจูงสายยางท่อน้ำเข้า จึงเลือกมอเตอร์ที่มีแรงบิดสูงและหาได้ง่ายตามท้องตลาด ดังนั้นจึงได้เลือกมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 มอเตอร์กำลังหลัก

### คุณสมบัติของมอเตอร์กำลังหลัก

- ขนาดแรงดัน 12 VDC
- แกนเพลลา 10 มิลลิเมตร
- กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์
- ความเร็วรอบ 110 rpm

2) ล้อขับเคลื่อน (Drive Wheels) เป็นล้อที่ถูกติดตั้งไว้ทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของระบบ ซึ่งล้อขับเคลื่อนนี้ถูกติดตั้งร่วมกับมอเตอร์กำลังหลัก มีหน้าที่ขับเคลื่อนระบบไปตามแนวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้ออกแบบให้ใช้ล้อขับเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นล้อยางซิลิโคนแบบเรียบ เพื่อการรับน้ำหนัก และป้องกันการเสียหายต่อการเคลื่อนที่ในแนวขอบด้านข้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 นอกจากนี้การดำเนินการวิจัยนี้ได้มีการออกแบบให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีมุมเอียง 15 จากแนวระดับ เพื่อป้องกันไม่ให้โครงสร้างของระบบหลุดออกจากเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะหยุดนิ่งและเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงออกแบบให้ล้อขับเคลื่อนทำงานร่วมกับล้อลูกปืนประกอบ (Roller) เพื่อประกอบส่วน โครงสร้างของระบบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ไม่หลุดออกออกจากกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 ล้อยางซิลิโคน

### คุณสมบัติล้อขับเคลื่อน

- วัสดุทำจากซิลิโคน
- เส้นรอบวง 6 เซนติเมตร

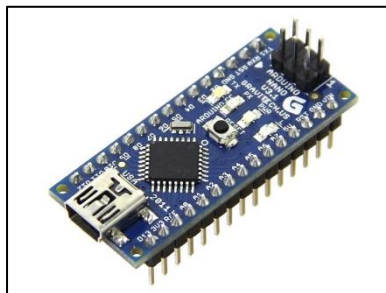


รูปที่ 3.10 ล้อลูกปืน

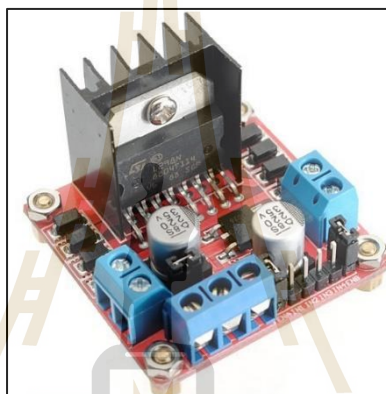
3) ก่อควบคุม (Controller) มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบ โดยจะใช้แผงควบคุมที่มีความสามารถในการกันน้ำและฝุ่นจากสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ แสดงดังรูปที่ 3.11 และในกล่องนี้ประกอบไปด้วยบอร์ด (1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ ยี่ห้อ Arduino รุ่น Nano เป็นหลักในการควบคุมและประมวลผลในการทำงานของระบบทำความสะอาด เนื่องจากบอร์ดรุ่นนี้มี I/O เพียงพอสำหรับการใช้งานในการวิจัยนี้รวมทั้งหาซื้อได้ง่ายและราคาไม่แพง แสดงดังรูปที่ 3.12 (2) ชุดควบคุมมอเตอร์ (Motor Drive Module) การออกแบบระบบทำความสะอาดจะใช้ชุดควบคุมมอเตอร์ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยออกแบบให้ใช้ชุดควบคุมมอเตอร์ชนิด H-Bridge รุ่น L298N เนื่องจากชุดควบคุมมอเตอร์นี้มีฟังก์ชันการใช้งานที่เพียงพอกับการวิจัยนี้ นอกจากนั้นยังมีราคาไม่แพง และหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด แสดงดังรูปที่ 3.13 ผู้วิจัยได้ออกแบบกำหนดให้กล่องควบคุมนี้มีปุ่มกด แสดงดังรูปที่ 3.14 เพื่อควบคุมความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ และปุ่มเปิด-ปิด พัดลมเป่าแห้ง รวมอยู่ในส่วนควบคุมนี้ด้วย



รูปที่ 3.11 รูปกล่องพลาสติกกันน้ำกันฝุ่น



รูปที่ 3.12 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ยี่ห้อ Arduino รุ่น Nano



รูปที่ 3.13 ชุดควบคุมมอเตอร์ชนิด H-Bridge รุ่น L298N



รูปที่ 3.14 ปุ่มกดเปิด-ปิด

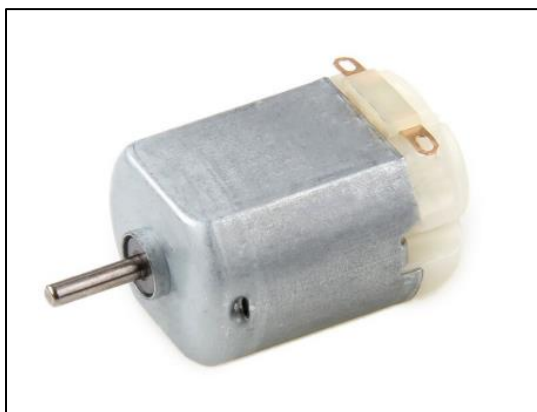
4) หัวฉีดน้ำ (Spray Nozzle) มีหน้าที่ฉีดน้ำเพื่อขจัดสิ่งสกปรกที่อยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ติดตั้งบริเวณด้านหน้าของระบบทำความสะอาด เพื่อความเหมาะสมในงานวิจัยจึงได้เลือกใช้หัวฉีดน้ำแบบทรงพัดแบน (Flat Fan) ดังรูปที่ 3.15

เนื่องจากหัวฉีดน้ำประเภทนี้จะมีลักษณะของการฉีดน้ำออกมาเหมือนใบพัดทรงแบนกระจายในพื้นที่เป็นแนวเรียบขอบเรียบกัน ทำให้ได้น้ำที่พ่นออกมามีความแรงของน้ำกระจายเรียบกัน ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยออกแบบร่วมกับการใช้แรงดันของน้ำสูงสุดโดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้ปั๊มน้ำที่มีแรงดันสูงสุดอยู่ที่ 1.9 Bar สำหรับบ้าน 1-2 ชั้น และแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับงานวิจัยนี้มีขนาดความกว้างเพียง 0.276 เมตร ดังนั้นจึงออกแบบให้มีหัวฉีดน้ำเพียง 2 หัว เพื่อรักษาระดับความแรงของน้ำ และติดตั้งอยู่สูงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระยะ 20 เซนติเมตร เพื่อให้ระยะในการฉีดน้ำกระจายในแนวเรียบกันครอบคลุมระยะความกว้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงวิธีการเลือกหัวฉีดในภาคผนวก ข

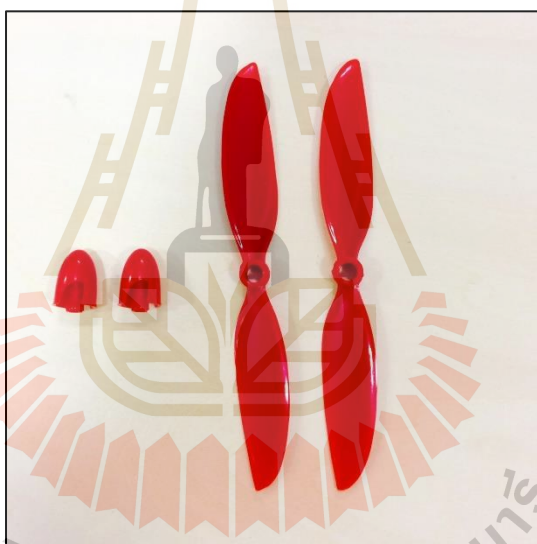


รูปที่ 3.15 หัวฉีดน้ำแบบทรงพัดแบน (Flan Fan)

5) ส่วนพัดลมเป่าแห้ง (Fan) ในการทดสอบประสิทธิภาพการทำความสะอาดของระบบทำความสะอาด การใช้พัดลมเป่าแห้งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ผู้วิจัยได้กำหนดเป็นตัวแปรในการทดลอง โดยพัดลมนี้มีหน้าที่เป่าลมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลังการทำความสะอาดด้วยระบบทำความสะอาด การเลือกใช้มอเตอร์ให้เหมาะสมในการออกแบบระบบทำความสะอาด ซึ่งระบบมีขนาดเพียง 0.30 เมตร ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบให้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ขนาด 5 V ดังรูปที่ 3.16 ซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้มีความเร็วรอบที่สูง หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดจึงเหมาะที่ใช้สำหรับการเป่าแห้งในงานวิจัยนี้ โดยทำงานร่วมกับใบพัดแบบ Falcon ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 นิ้ว ดังรูปที่ 3.17 ติดตั้งไว้บริเวณด้านหลังของระบบทำความสะอาด ซึ่งสามารถครอบคลุมระยะความกว้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.16 มอเตอร์พัดลมเป่าแห้ง

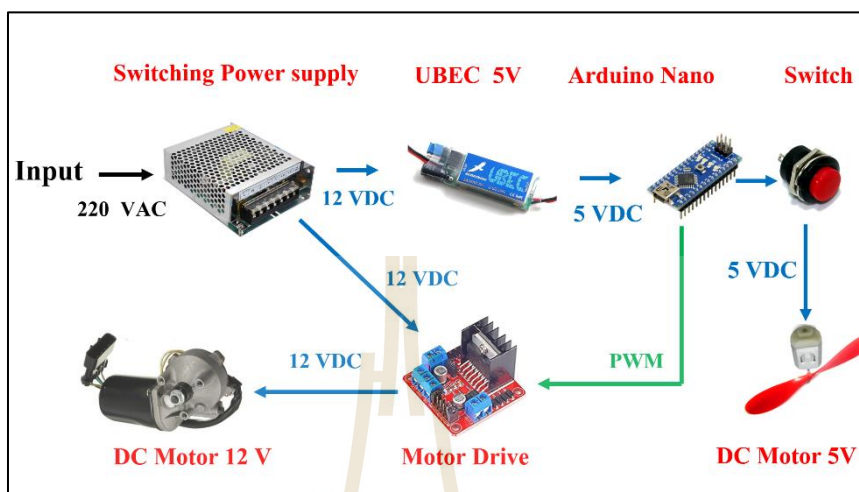


รูปที่ 3.17 ใบพัดพัดลมเป่าแห้ง

6) แผงป้องกันน้ำ เป็นแผงที่กั้นอยู่ระหว่างหัวฉีดน้ำกับกล่องควบคุม มีหน้าที่ในการป้องกันน้ำจากการทำความสะอาดกระทบลงแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกระเด็นจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มายังกล่องควบคุม เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อวงจรไฟฟ้าในกล่องควบคุม

### 3.2.2 ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

#### 3.2.2.1 ภาพรวมการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์



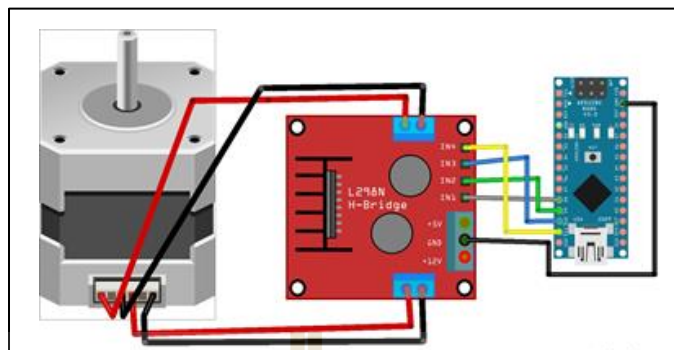
รูปที่ 3.18 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

จากรูปที่ 3.18 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของต้นแบบระบบทำความสะอาด โดยเริ่มต้นที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ผ่านตัวแปลงกระแสไฟฟ้าที่เรียกว่า “สวิชชิงเพาเวอร์ซัพพลาย” ให้เปลี่ยนจากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ โดยจะเป็นไฟเลี้ยงทั้งหมดของวงจรจากนั้นกระแสไฟฟ้าตรง 12 โวลต์ จะมีการแยกเป็นสองทาง (1) ผ่าน Motor Drive เพื่อเป็นไฟเลี้ยงกับมอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ ทำงานเป็นมอเตอร์กำลังหลัก และ (2) ผ่านวงจรสวิชชิงเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ เพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ และจากไมโครคอนโทรลเลอร์จ่ายไฟผ่านสวิชช์ปุ่มกดเปิด-ปิด ให้กับมอเตอร์กระแสตรง 5 โวลต์ ทำงานเป็นพัดลมเป่าแห้ง

#### 3.2.2.2 การเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับชุดควบคุมมอเตอร์ (Motor Drive Module)

ในส่วนนี้ทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ของลํ้าระบบให้เคลื่อนที่เดินหน้า ถอยหลัง ที่ตามขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบให้สามารถควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง ดังแสดงในรูปที่ 3.19

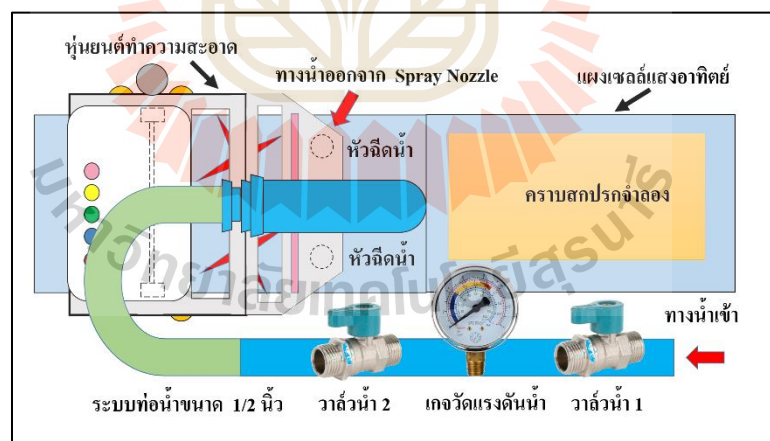




รูปที่ 3.19 การเชื่อมต่อระหว่างบอร์ด Arduino กับ Motor Drive Module

### 3.3 การออกแบบระบบฉีดน้ำ

ในการทดสอบประสิทธิภาพการทำความสะอาดด้วยระบบทำความสะอาด แรงดันน้ำเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ผู้วิจัยได้กำหนดเป็นตัวแปรสำคัญในการวิจัย ดังนั้นจึงได้ออกแบบระบบระบบฉีดน้ำ ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ภาพรวมของระบบฉีดน้ำ

จากรูปที่ 3.20 แสดงภาพรวมของระบบฉีดน้ำ โดยแสดงทิศทางการไหลของน้ำผ่านท่อน้ำ ผ่านวาล์วน้ำ 1 ไปวัดเกจวัดแรงดันน้ำ ผ่านวาล์วน้ำ 2 แล้วออกทางหัวฉีดน้ำ ซึ่งการวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบการฉีดน้ำจากข้อมูลแรงดันน้ำที่ใช้ในบ้านพักอาศัย โดยบ้านพักอาศัยส่วนใหญ่ที่มีการติดตั้ง

ระบบปั๊มน้ำจะมีการใช้ท่อน้ำ PVC ขนาด 1/2 นิ้ว แรงดันน้ำสูงสุดอยู่ที่ 1.9 bar คิด อัตราการสูญเสียจากข้อต่อ 5% จะได้แรงดันน้ำที่นำมาใช้ในการออกแบบการทดลอง 1.8 bar จึงมีการควบคุมแรงดันน้ำโดยใช้เกจวัดแรงดันน้ำเป็นอุปกรณ์ควบคุม ในขั้นตอนของการทดลองจะมีขั้นตอนของการควบคุมระบบลัดน้ำดังนี้

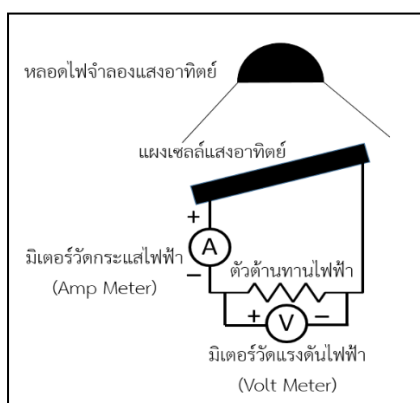
- 1) ชั้นที่ 1 วาล์วน้ำ 1 เปิด และวาล์วน้ำ 2 ปิด ในขั้นนี้เป็นการทำให้แรงดันน้ำอันไว้ที่วาล์วน้ำ 2 และเกจวัดแรงดันน้ำสามารถวัดแรงดันน้ำได้ที่ความแรง 1.8 bar
- 2) ชั้นที่ 2 วาล์วน้ำ 1 เปิด และวาล์วน้ำ 2 ปิด ในขั้นนี้จะเป็นการต่อเนื่องจากขั้นที่แล้ว โดยหลังจากที่มั่นใจว่าน้ำมีความแรง 1.8 bar จากค่าที่อ่านได้บนหน้าปัดของเกจวัดแรงดันน้ำ โดยทำการเปิดวาล์วน้ำ 1 พร้อมกับกดปุ่มการทำงานของระบบไปพร้อมกัน

### 3.4 ทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดด้วยระบบทำความสะอาด

ในการทดสอบประสิทธิภาพในการทำความสะอาดด้วยระบบทำความสะอาด ผู้วิจัยได้มีการกำหนดปัจจัย คือ แรงดันน้ำ (Pressure) ความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ (Speed) และการใช้พัดลมเป่าแห้ง (Fan) เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบที่สามารถทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในบ้านพักอาศัยให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีการออกแบบการดำเนินงานดังนี้

#### 3.4.1 การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้า

ผู้วิจัยได้มีการออกแบบการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าด้วยการต่ออุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ด้วยมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าที่ต่ออนุกรม (Series) ขั้วบวกต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขั้วลบต่อกับตัวต้านทานไฟฟ้า และมิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าต่อขนาน (Parallel) กับตัวต้านทานไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.21



### รูปที่ 3.21 รูปการณั้วัดค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้า

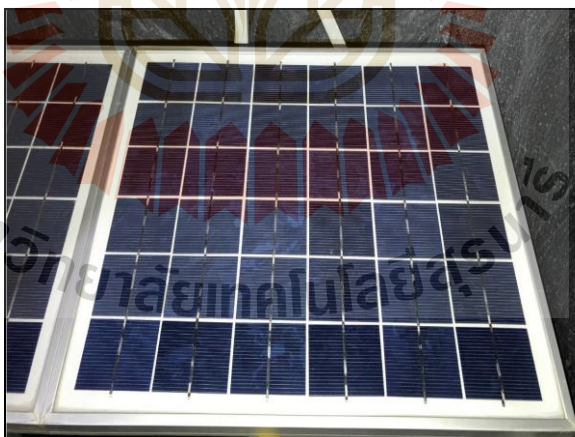
จากรูปที่ 3.21 มีส่วนประกอบของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่อพ่วงดังนี้

- 1) หลอดไฟจำลองแสงอาทิตย์ ชนิด โซเดียมความดันไอสูง ขนาด 500 วัตต์ จำนวน 1 หลอด
- 2) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 วัตต์ จำนวน 2 แผง
- 3) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอล จำนวน 1 เครื่อง
- 4) เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าแบบดิจิตอล จำนวน 1 เครื่อง
- 5) ตัวต้านทานไฟฟ้าขนาด 33 โอห์ม พิกัด 15 วัตต์  $\pm 5\%$  จำนวน 1 ตัว

#### 3.4.2 ขั้นตอนการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบ

ขั้นตอนการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบผู้วิจัยได้ทำการออกแบบ มีทั้งหมด 6 ขั้นตอนดังนี้

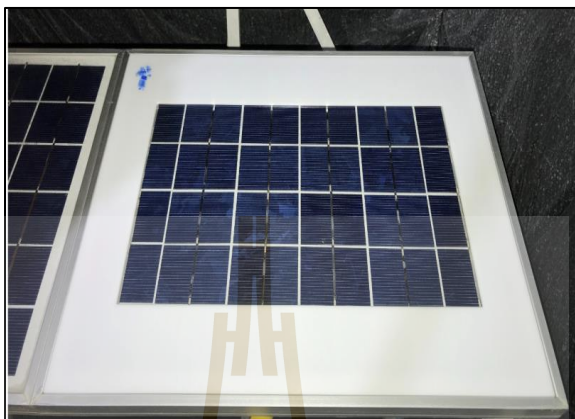
- 1) ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนทำการทดลอง ในขั้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้มั่นใจว่า การทดลองการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบในแต่ละครั้งจะมีสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาทดลองเหมือนกันทุกครั้ง ดังรูปที่ 3.22



#### รูปที่ 3.22 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกทำความสะอาดก่อนการทดลอง

- 2) นำแผ่นแม่แบบทาบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในขั้นนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อให้มั่นใจว่าความหนา และพื้นที่ของคราบสกปรกจำลองได้ถูกควบคุมปริมาณเท่ากันทุกครั้ง โดยผู้วิจัย

ได้ออกแบบวัสดุที่ใช้ทำแผ่นแม่แบบด้วยแผ่นอะคริลิก (Acrylic) ที่มีขนาด กว้าง 16 เซนติเมตร ยาว 27 เซนติเมตร และสูง 2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.23



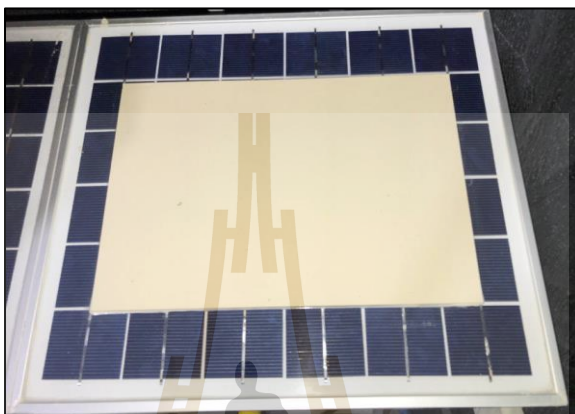
รูปที่ 3.23 เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมปริมาณของคราบสกปรกจำลอง

3) จำลองคราบสกปรกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในขั้นนี้เป็นการจำลองคราบสกปรกที่เกิดขึ้นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผู้วิจัยได้จำลองคราบสกปรกด้วยดินสอพองผสมน้ำ ที่มีอัตราส่วนดินสอพอง 200 กรัม ต่อน้ำ 50 มิลลิลิตร โดยควบคุมปริมาณด้วยแผ่นแม่แบบ ดังรูปที่ 3.24



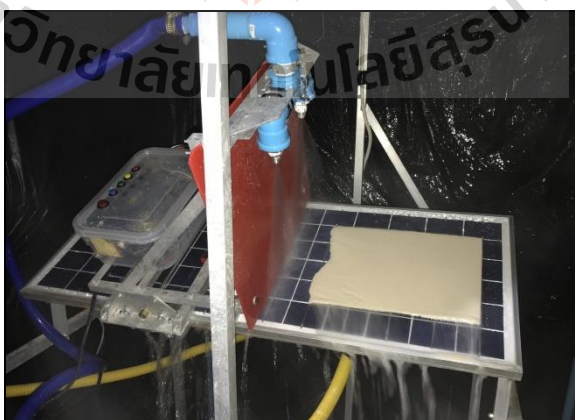
รูปที่ 3.24 การจำลองคราบสกปรกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยดินสอพอง

4) ปรับสภาพของคราบสกปรกจำลอง ในขั้นนี้เป็นการปรับสภาพของคราบสกปรกจำลองด้วยการพັคราบสกปรกทิ้งไว้เพื่อให้ดินสอพองเกิดการแข็งตัว และสามารถยึดติดอยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดียิ่งขึ้น โดยใช้เวลา 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบ ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 การปรับสภาพของคราบสกปรกจำลอง

5) ทำความสะอาดด้วยระบบทำความสะอาด ในขั้นนี้เป็นการใช้ระบบทำความสะอาดคราบสกปรกจำลองที่เกิดขึ้นอยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามแผนการและลำดับขั้นตอนที่ผู้วิจัยได้กำหนดขึ้น ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 การทำความสะอาดด้วยระบบทำความสะอาด

6) ทดสอบการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าและบันทึกผล ในขั้นนี้เป็นการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้หลังการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 3.27 การทดสอบการวัดพลังงานไฟฟ้าและบันทึกผล

แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกทำความสะอาด เพื่อวัดค่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นตัวเลขอ้างอิง ทำการจำลองคราบสกปรกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยดินสอพองผสมน้ำในอัตราส่วนดินสอพอง 200 กรัม ต่อน้ำ 50 มิลลิลิตร และใช้แผ่นแม่แบบในการควบคุมความหนาและขนาดพื้นที่คราบสกปรก จากนั้นทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบและวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ในห้องทดลองที่ไม่มีแสงจากภายนอกบริเวณ

### 3.4.3 ออกแบบการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการออกแบบการวิเคราะห์ผลการทดลอง ผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการทำความสะอาด 3 ตัวแปร คือ แรงดันน้ำ (Pressure) ความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ (Speed) และการใช้พัดลมเป่าแห้ง (Fan) มาทำการออกแบบทดลองเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ของกระบวนการ โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1) ออกแบบการวิเคราะห์ด้วยการทดลองเชิงแฟกโทเรียลเต็มรูป ( $2^k$  Full Factorial Design) เป็นการออกแบบการทดลองจากจำนวนของตัวแปรต้นที่จะส่งผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $k$  ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยประกอบไปด้วย 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ และระดับสูง ซึ่งจะต้องทำการทดลอง  $2^k$  การทดลอง

2) กำหนดพารามิเตอร์ที่สนใจในการวิจัยนี้กำหนดตัวแปรตอบสนองคือ พลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้า (Power)

3) เมื่อได้ผลการทดลองครบถ้วนจากการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูป ( $2^k$  Full Factorial Design) แล้วจึงนำผลไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 18.1 และสรุปผลว่าปัจจัยใดมีนัยสำคัญต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

4) หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย (Optimization) เป็นการเปรียบเทียบผลของค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้าจากปัจจัยที่มีนัยสำคัญว่าหากจะทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมนั้นควรที่จะมีการกำหนดระดับปัจจัยนั้นไว้อย่างไร

5) หาเวลาที่เหมาะสมในการทำความสะดวกด้วยระบบทำความสะดวกเป็นการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการทำความสะดวกด้วยระบบทำความสะดวก โดยคำนึงถึงความคุ้มค่าจากพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่สะดวก เปรียบเทียบกับการลงทุนในการทำความสะดวกในแต่ละครั้ง



## บทที่ 4

### ผลการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงผลของการวิจัย การดำเนินงานของระบบต้นแบบเพื่อการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย โดยมีผลการดำเนินงานดังนี้

#### 4.1 ผลการพัฒนาระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย

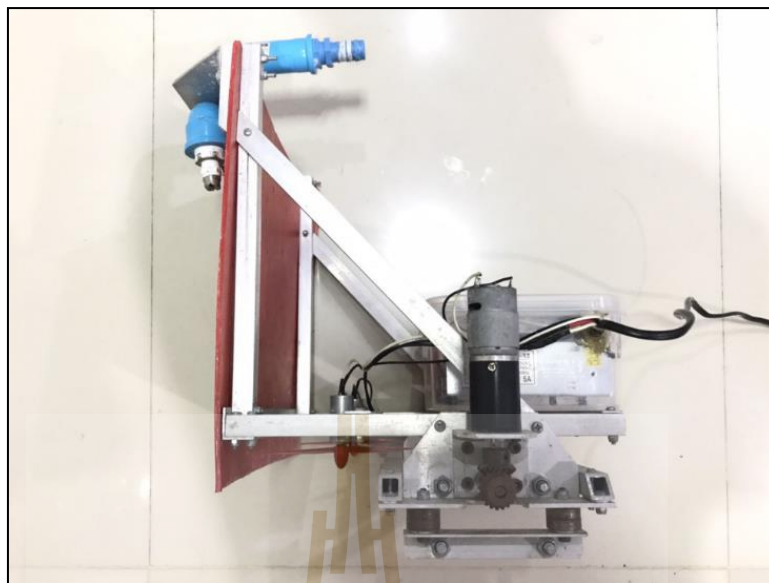
##### 4.1.1 ผลการสร้างระบบต้นแบบ

ระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัยที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นเป็นระบบที่มีการควบคุมด้วยมือ (Manual Control) คือใช้คนทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบด้วยการกดปุ่มบนแผงควบคุมระบบ โดยมีปุ่มควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบ เดินหน้า และถอยหลังซึ่งสามารถปรับความเร็วได้ตั้งแต่ 5.5 cm/s ถึง 11.0 cm/s มีปุ่มควบคุมการเปิด/ปิดด้วยพัดลมสามารถปรับได้ 2 ระดับ คือ เปิดพัดลม (ON) และปิดพัดลม (OFF) โดยมีโครงสร้างที่ทำด้วยอะลูมิเนียม มีขนาดของโครงสร้าง 30 × 30 × 30 เซนติเมตร (กว้าง × ยาว × สูง) น้ำหนักโดยรวม 2.8 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.1-4.4



รูปที่ 4.1 ระบบต้นแบบจากมุมมองด้านหน้า (Front View)

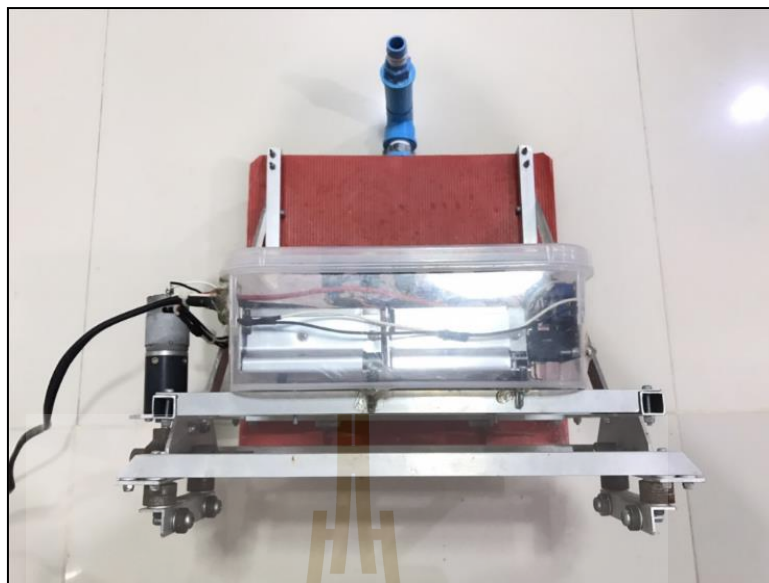




รูปที่ 4.2 ระบบต้นแบบจากมุมมองด้านข้าง (Side View)



รูปที่ 4.3 ระบบต้นแบบจากมุมมองด้านบน (Top View)



รูปที่ 4.4 รูประบบต้นแบบจากมุมมองด้านหลัง (Back View)

1) มอเตอร์กำลังหลัก (Drive Motor) ระบบต้นแบบที่ได้ มีความสามารถในการเดินหน้า-ถอยหลัง โดยมีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 V 110 RPM เป็นอุปกรณ์ต้นกำลัง พร้อมด้วยเกียร์ที่มีชุดเพลาแบบเฟืองคอกจอก (Bevel Gears) ช่วยในการขับเคลื่อนล้อภายใน การเดินหน้า-ถอยหลัง และมีล้อแบบลูกปืน (Bearings) ข้างละ 2 ตัว เป็นตัวยึดระหว่างระบบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อป้องกันการหล่นออกนอกแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2) ล้อขับเคลื่อน (Drive Wheels) ระบบต้นแบบที่ได้ มีล้อที่ทำด้วยวัสดุซิลิโคนที่มีความยาวเส้นรอบวง 6 เซนติเมตร ติดตั้งอยู่บริเวณขอบของทั้ง 2 ข้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำหน้าที่ร่วมกับมอเตอร์กำลังหลัก เพื่อเป็นส่วนในการขับเคลื่อนระบบไปตามขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3) กล่องควบคุม (Controller) ระบบต้นแบบที่ได้มีกล่องควบคุมที่ทำด้วยวัสดุกันน้ำและกันฝุ่น ซึ่งข้างในประกอบด้วยอุปกรณ์ทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบ โดยในกล่องนี้ประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ ชุดควบคุมมอเตอร์ วงจรสวิตชิงแรงดันไฟฟ้า วงจรสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย และสวิตซ์สั่งการทำงาน

4) หัวฉีดน้ำ (Spray Nozzle) ระบบต้นแบบที่ได้มีหัวฉีดน้ำแบบทรงพัดแบน มีมุมการกระจายของน้ำ  $45^{\circ}$  จำนวน 2 หัว ถูกติดตั้งให้สูงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 20 เซนติเมตร ใช้สำหรับฉีดเพื่อทำความสะอาดสิ่งสกปรกบนพื้นผิวของเซลล์แสงอาทิตย์

5) ส่วนพัดลมเป่าแห้ง (Fan) ระบบต้นแบบที่ได้มีพัดลมเป่าแห้งที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 V จำนวน 2 ตัว ทำงานร่วมกับใบพัดแบบ Falcon ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 นิ้ว ใช้สำหรับเป่าแห้งหลังจากที่ระบบฉีดน้ำเพื่อทำความสะอาดสิ่งสกปรกบนพื้นผิวของเซลล์แสงอาทิตย์

6) แผงป้องกันน้ำ มีแผงป้องกันน้ำที่ติดตั้งระหว่างหัวฉีดน้ำกับกล่องควบคุม เพื่อทำหน้าที่ในการป้องกันความเสียหายจากน้ำที่ตกกระทบลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์กระเด็นมายังกล่องควบคุม

#### 4.1.2 การทดสอบหาขีดจำกัดของความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ

การทดสอบหาขีดจำกัดนี้ ทำได้โดยการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีมุมเอียง 15 องศาจากพื้นโลก แล้วทดสอบให้ระบบเคลื่อนที่ตามแนวขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์พร้อมกับมีสายยางในการฉีดน้ำ โดยการทดสอบความเร็วด้วยการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ตั้งแต่ 25%, 50%, 75% และ 100% ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบหาขีดจำกัดของความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ

ความเร็วรอบของมอเตอร์	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
25%	✗	✗	✗
50%	✓	✓	✓
75%	✓	✓	✓
100%	✓	✓	✓

จากการทดลองที่ได้กล่าวมาข้างต้น เป็นการทดลองการเคลื่อนที่ของระบบทำความสะอาดบนแผงเซลล์โดยมีการทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์ตั้งแต่ 25%, 50%, 75% และ 100% ตามลำดับและมีการทดสอบซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1 นั้นจะสังเกตได้ว่าระบบสามารถเคลื่อนที่ได้ก็ต่อเมื่อมีความเร็วรอบของมอเตอร์ตั้งแต่ 50% ขึ้นไป

ดังนั้นจากผลการทดลองการเคลื่อนที่ของระบบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถสรุปได้ว่าระบบต้นแบบที่ผู้วิจัยได้ออกแบบนั้นสามารถเคลื่อนที่ได้ เมื่อมีความเร็วรอบของมอเตอร์ตั้งแต่ 50% ขึ้นไป หรือคิดเป็นความเร็ว 5.50 cm/s ดังที่ได้แสดงวิธีคำนวณเอาไว้ภาคผนวก ค และระบบที่ได้ออกแบบนั้นยังสามารถพาสายยางเพื่อการฉีดน้ำเคลื่อนที่ไปพร้อมด้วยโดยไม่มี การลื่นไถล รวมทั้งสามารถใช้งานในสภาพความเอียงของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดของความเอียง 15 องศาจากพื้นโลกได้เป็นอย่างดี

## 4.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดด้วยระบบทำความสะอาด

ตารางที่ 4.2 ระดับปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2<sup>3</sup>)

ปัจจัย	ชื่อเรียก	ระดับปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง		หน่วย
		ระดับต่ำ (Low)	ระดับสูง (High)	
แรงดันน้ำ	Pressure	1.0	1.8	bar
ความเร็วของการเคลื่อนที่ของระบบ	Speed	5.5	11.0	cm/s
การเป่าแห้งของพัดลม	Fan	OFF	ON	-

### 4.2.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2<sup>3</sup>)

1) กำหนดระดับของปัจจัยที่จะใช้ในการออกแบบการทดลอง ดังตารางที่ 4.2 โดยการกำหนดระดับของปัจจัยจะพิจารณาจากค่าความเหมาะสมของแรงดันน้ำที่ใช้ในบ้าน ความเหมาะสมของความเร็วของการเคลื่อนที่ของระบบ และการเปิด-ปิด พัดลมเป่าแห้ง

2) กำหนดการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2<sup>3</sup>) ซึ่งจะมีจำนวนการทดลองเท่ากับ  $2 \times 2 \times 2 = 8$  การทดลอง โดยการวิจัยนี้จะมีการทำซ้ำ 2 ครั้ง (2 Replicates) รวมทั้งหมด 16 การทดลอง โดยใช้โปรแกรม Minitab 18.1 ช่วยในการจัดลำดับและขั้นตอนในการออกแบบการทดลองจะได้แผนการทดลอง ดังรูปที่ 4.5 และลำดับของการทดลองตามตารางที่ 4.3

Full Factorial Design			
<b>Design Summary</b>			
Factors:	3	Base Design:	3, 8
Runs:	16	Replicates:	2
Blocks:	1	Center pts (total):	0
All terms are free from aliasing.			

รูปที่ 4.5 แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2<sup>3</sup>)

3) กำหนดพารามิเตอร์ที่สนใจหรือตัวแปรตอบสนอง คือ พลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้า (Power)

4) ทำการทดลองโดยตั้งค่าตามตารางที่ 4.2 โดยที่ลำดับของการทดลองเป็นไปแบบสุ่ม และเรียงลำดับในคอลัมน์ Run Order เพื่อลดผลของสิ่งรบกวน (Experimental error or residuals) ที่ไม่สามารถควบคุมได้ในระหว่างทำการทดลอง

5) หลังจากทำการทดลองเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงทำการวัดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแสดงวิธีการวัดไว้ในภาคผนวก ก และจะได้ค่าพลังงานไฟฟ้า จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ( $2^3$ )

6) นำผลที่ได้จากการทดลองไปคำนวณโดย Minitab 18.1 และทำการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ตามหลักของการออกแบบการทดลองเพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 4.3 ลำดับของการทดลองและผลของค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปกำลังไฟฟ้าจากการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ( $2^3$ )

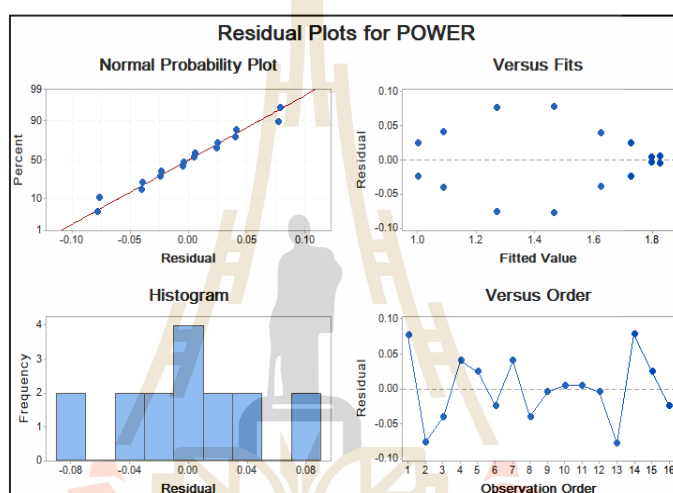
StdOrder	RunOrder	Pressure	Speed	Fan	Power	คำอธิบาย
1	1	1.0	5.5	OFF	1.34	Pressure คือ แรงดันน้ำ (Bar)
4	2	1.8	11.0	OFF	1.38	Speed คือ ความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ (cm/s)
15	3	1.0	11.0	ON	1.13	Fan คือ การเปิด-ปิดพัดลมเป่า
16	4	1.8	11.0	ON	1.75	แห้ง
8	5	1.8	11.0	ON	1.70	- พัดลมเป่าแห้งเปิด (ON)
9	6	1.0	5.5	OFF	1.19	- พัดลมเป่าแห้งปิด (OFF)
6	7	1.8	5.5	ON	1.83	Power คือ พลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้า (W)
10	8	1.8	5.5	OFF	1.79	
5	9	1.0	5.5	ON	1.58	
13	10	1.0	5.5	ON	1.66	
3	11	1.0	11.0	OFF	1.02	
14	12	1.8	5.5	ON	1.82	
11	13	1.0	11.0	OFF	0.97	
2	14	1.8	5.5	OFF	1.80	
7	15	1.0	11.0	ON	1.05	
12	16	1.8	11.0	OFF	1.54	

#### 4.2.2 ผลการทดลองการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2<sup>3</sup>)

ผลการทดลองการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2<sup>3</sup>) โดยใช้โปรแกรม Minitab 18.1 ในการวิเคราะห์ สามารถสรุปได้ดังนี้

##### 4.2.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking) เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองว่ารูปแบบการทดลองที่ได้ออกแบบนั้นมีความเหมาะสมและข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความถูกต้อง แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 Residual Plots ของค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบของกำลังไฟฟ้า

จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2<sup>3</sup>) ดังรูปที่ 4.6 ทำให้สามารถสรุปได้ว่า

1) การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) จากแผนภาพ Normal Probability Plot โดยแกน X คือ ค่าส่วนตกค้าง และแกน Y คือ ค่าความเป็นปกติมาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ทำให้ประมาณได้ว่าการกระจายตัวของข้อมูลเป็นการแจกแจงแบบปกติ

2) การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) จากแผนภาพ Versus Order โดยแกน X คือ ลำดับการทดลอง และแกน Y คือ ค่าส่วนตกค้าง แสดงให้เห็นว่า การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบสุ่ม หรือ ไม่มีแนวโน้ม แสดงให้เห็นว่าค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน

3) การตรวจสอบความเสถียรของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) จากแผนภาพ Versus Fits แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีความเสถียรของค่าความแปรปรวน เนื่องจากความแปรปรวนของส่วนตกค้างนั้นไม่คงที่ ไม่มีลักษณะที่เป็นแนวโน้มแต่อย่างใด

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ( $2^3$ ) เป็นข้อมูลที่ต้องการและมีความเหมาะสม เนื่องจากข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ เป็นอิสระต่อกัน และมีความเสถียรของค่าความแปรปรวน สามารถนำข้อมูลนี้ไปทำการวิเคราะห์ต่อได้

#### 4.2.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความผันแปรของพลังงานไฟฟ้า

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองแสดงให้เห็นว่า ไม่พบความผิดปกติของข้อมูลจากการทดลองเกิดขึ้น เนื่องจากข้อมูลนั้นกระจายตัวเป็นเส้นตรง จึงได้นำข้อมูลในตารางที่ 4.2 มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยทั้งหมด จากผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ( $2^3$ ) โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่น 95% ( $\alpha = 0.05$ ) ด้วยโปรแกรม Minitab 18.1 ดังรูปที่ 4.7

Factorial Regression: Power versus Pressure, Speed, Fan					
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	1.46259	0.208942	50.58	0.000
Linear	3	1.36187	0.453956	109.88	0.000
Pressure	1	0.84181	0.841806	203.77	0.000
Speed	1	0.38131	0.381306	92.30	0.000
Fan	1	0.13876	0.138756	33.59	0.000
2-Way Interactions	3	0.03947	0.013156	3.18	0.084
Pressure*Speed	1	0.03331	0.033306	8.06	0.022
Pressure*Fan	1	0.00601	0.006006	1.45	0.262
Speed*Fan	1	0.00016	0.000156	0.04	0.851
3-Way Interactions	1	0.06126	0.061256	14.83	0.005
Pressure*Speed*Fan	1	0.06126	0.061256	14.83	0.005
Error	8	0.03305	0.004131		
Total	15	1.49564			

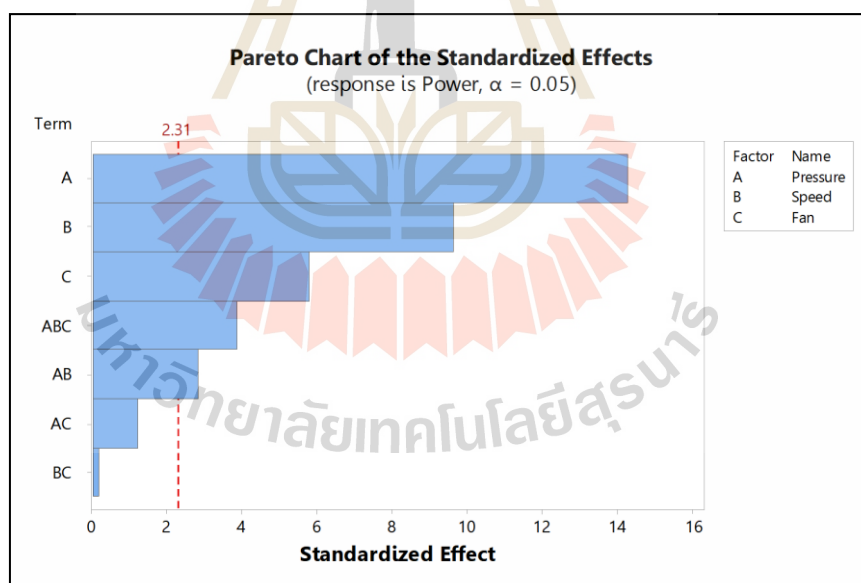
  

Model Summary			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0642748	97.79%	95.86%	91.16%

รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง

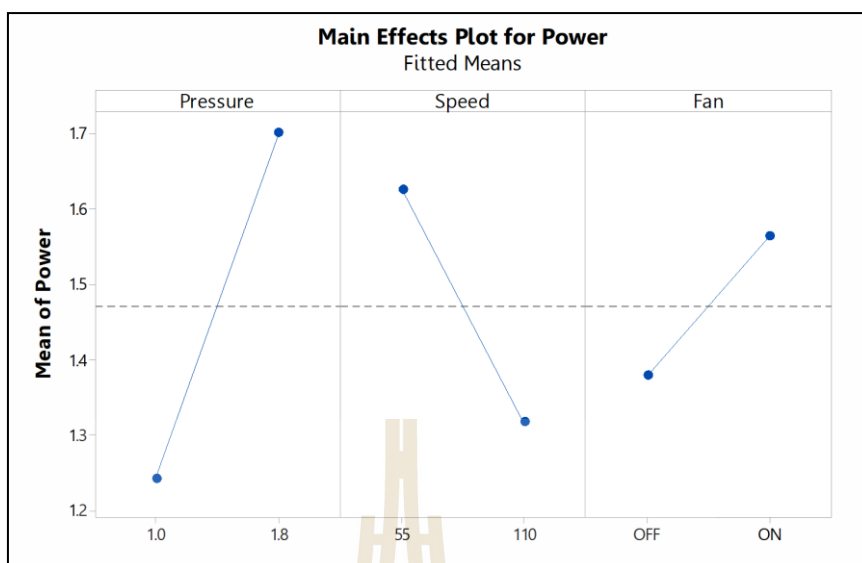
1) พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R Square) จากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าตัวแปรอิสระคือ แรงดันน้ำ (Pressure) ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของระบบ (Speed) และการเป่าแห้งโดยใช้พัดลม (Fan) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม คือ พลังงานไฟฟ้าในรูปแบบของกำลังไฟฟ้า (Power) โดยสามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามได้ดีมากในระดับ 97.79%

2) พิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการพิจารณาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ดังรูปที่ 4.7 และแผนภูมิพารेटอ (Pareto Chart) ดังรูปที่ 4.8 พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 มีปัจจัยที่มีผลโดยตรง (Main Effect) คือ แรงดันน้ำ (Pressure) ความเร็วรอบการเคลื่อนที่ของระบบ (Speed) และพัดลมเป่าแห้ง (Fan) มีปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วม 2 ทาง (2 Way Interaction) คือ แรงดันน้ำและความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ รวมทั้งมีอิทธิพลร่วม 3 ทาง (3 Way Interaction Effect) ทั้งแรงดันน้ำ ความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ และพัดลมเป่าแห้ง ดังรูปที่ 4.8



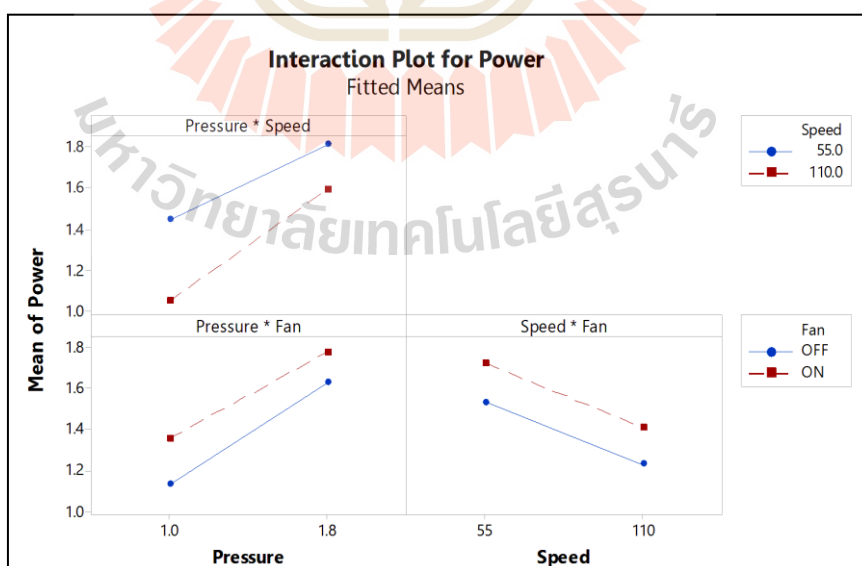
รูปที่ 4.8 แผนภูมิพารेटอ (Pareto Chart) ของอิทธิพลในแต่ละปัจจัย





รูปที่ 4.9 กราฟแสดงอิทธิพลหลัก (Main Effect) 3 ปัจจัย

จากรูปที่ 4.9 เป็นกราฟแสดงอิทธิพลหลัก (Main Effect) 3 ปัจจัย พบว่าเส้นกราฟมีความชันทำให้ทราบว่า มีปัจจัยที่มีผลโดยตรง (Main Effect) คือ แรงดันน้ำ (Pressure) ความเร็วรอบการเคลื่อนที่ของระบบ (Speed) และพัดลมเป่าแห้ง (Fan)

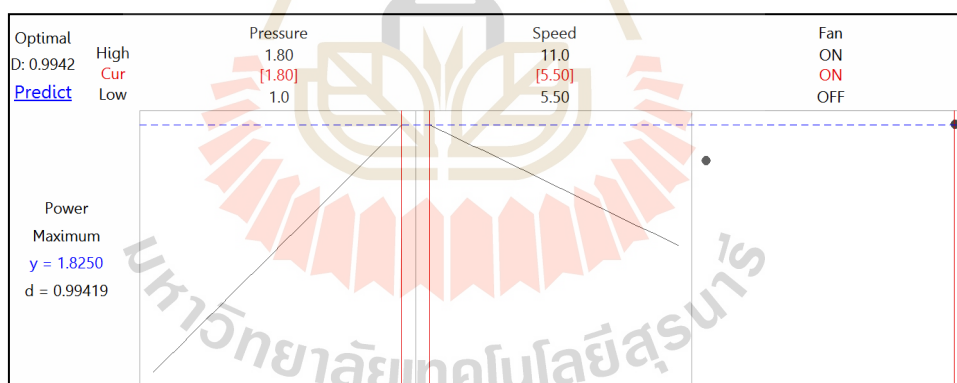


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงอิทธิพลร่วม 2 ทาง (2 Way Interaction)

จากรูปที่ 4.10 เป็นกราฟแสดงอิทธิพลร่วม 2 ทาง (2 Way Interaction) พบว่าเส้นกราฟระหว่างแรงดันน้ำกับความเร็วรอบการเคลื่อนที่ของระบบมีความชันของเส้นกราฟไม่ขนานกัน แต่เส้นกราฟระหว่าง แรงดันน้ำกับพัดลมเป่าแห้ง และความเร็วรอบการเคลื่อนที่ของระบบกับพัดลมเป่าแห้ง มีความชันของเส้นกราฟขนานกันทำให้ทราบว่า มีปัจจัยที่เป็นอิทธิพลร่วม 2 ทาง (2 Way Interaction) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำ (Pressure) กับความเร็วรอบการเคลื่อนที่ของระบบ (Speed)

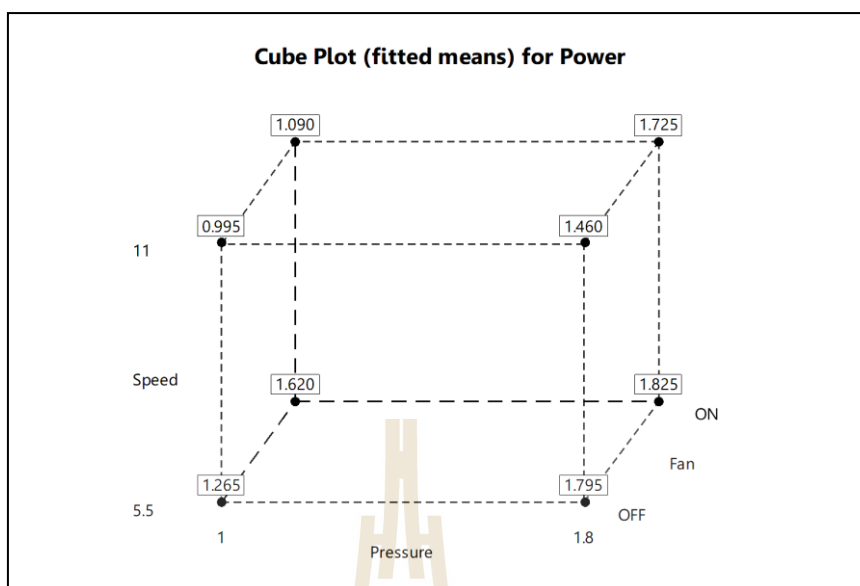
#### 4.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสม

ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยในการทำความสะดวกที่ส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab 18.1 ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้าที่ค่าสูงสุดนี้จะให้ความพึงพอใจของผลตอบสนองอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 กล่าวคือความพึงพอใจผลการตอบสนองมีค่าใกล้เคียง 1 ผลตอบสนองนั้น ได้รับความพึงพอใจอย่างมาก หรือความพึงพอใจมีค่าเท่ากับ 1 ผลตอบสนองนั้น ได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ และจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ร่วมด้วย ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมจากค่าแนะนำของโปรแกรม Minitab

จากรูปที่ 4.11 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมจากค่าแนะนำของโปรแกรม Minitab แสดงให้เห็นว่าค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้าที่ค่าสูงสุดคือ 1.8250 วัตต์ โดยมีค่าความพึงพอใจเท่ากับ 0.99419 ที่ระดับแรงดันน้ำ (Pressure) เท่ากับ 1.8 bar ความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ (Speed) เท่ากับ 5.5 cm/s และพัดลมเป่าแห้ง (Fan) เปิด (ON) ซึ่งมีผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับฟังก์ชัน Cube Plot ของโปรแกรม Minitab 18.1 ดังรูปที่ 4.12



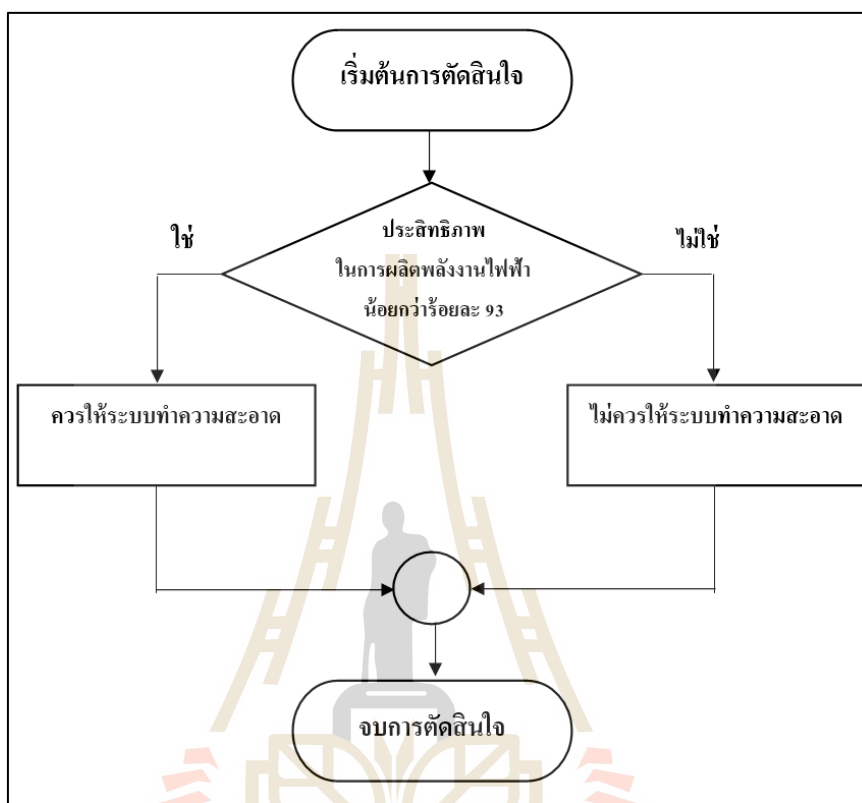
รูปที่ 4.12 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมจากฟังก์ชัน Cube Plot

จากรูปที่ 4.12 เป็นการแสดงระดับปัจจัยที่เหมาะสมจากฟังก์ชัน Cube Plot แสดงให้เห็นว่าค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้าที่ค่าสูงสุดคือ 1.8250 วัตต์ (W) ที่ระดับแรงดันน้ำ (Pressure) เท่ากับ 1.8 bar ความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ (Speed) เท่ากับ 5.5 cm/s และพัดลมเป่าแห้ง (Fan) เปิด (ON) และค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้าที่ค่าต่ำสุดคือ 0.995 วัตต์ ที่ระดับแรงดันน้ำ (Pressure) เท่ากับ 1 bar ความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ (Speed) เท่ากับ 11 cm/s และพัดลมเป่าแห้ง (Fan) ปิด (OFF)

#### 4.2.4 เวลาที่เหมาะสมในการทำความสะอาดด้วยระบบทำความสะอาด

ในการวิจัยนี้ได้กำหนดจุดเริ่มต้น (Threshold) สำหรับการตัดสินใจในการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบทำความสะอาด โดยการตัดสินใจนั้นระบบจะไม่ยอมให้สิ่งสกปรกและฝุ่นละอองมาทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 93 (ภิรมย์สุข สวยสม, 2560)

#### 4.2.4.1 ฟังงานการตัดสินใจที่จะทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบทำความสะอาด



รูปที่ 4.13 ฟังงานการตัดสินใจที่จะทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบทำความสะอาด

จากรูปที่ 4.13 สามารถอธิบายกระบวนการตัดสินใจในการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบทำความสะอาดคือ หากพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีผลกระทบจากความสกปรกหรือฝุ่นละอองที่ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้า น้อยกว่าร้อยละ 93 ถ้าใช่ควรให้ระบบทำความสะอาด ถ้าไม่ใช่ไม่ควรให้ระบบทำความสะอาด

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัยทั่วไป และทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดด้วยระบบทำความสะอาดโดยใช้ต้นแบบระบบที่มีโครงสร้างแบบคาร์ทีเซียนที่ถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ระบบเปิดแบบใช้น้ำในการทำความสะอาด ออกแบบการทดลองด้วยวิธีแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ( $2^k$  Factorial Design) ทดลองซ้ำ 2 ครั้ง โดยกำหนดตัวแปรหลักในการทดลอง ได้แก่ แรงดันน้ำ ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของระบบ และการเป่าแห้งโดยใช้พัดลม เพื่อใช้ทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาด

การวิจัยพบว่า ระบบที่ได้ออกแบบนั้นสามารถขับเคลื่อนไปตามขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยจะมีมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนทำงานร่วมกับล้อที่เป็นตัวประกอบ มีหัวฉีดน้ำที่ทำหน้าที่ฉีดทำความสะอาดพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และมีพัดลมเพื่อเป่าแห้งหลังการทำความสะอาดด้วยระบบแบบต้องใช้น้ำ ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ตามแนวขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกติดตั้งให้มีมุมเอียงจากพื้นโลก 15 องศา โดยมีความเร็วในการเคลื่อนที่ตั้งแต่ 5.5 cm/s ไปจนถึง 11.0 cm/s ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้งานวิจัยยังได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดด้วยระบบทำความสะอาดพบว่า ตัวแปรอิสระคือ แรงดันน้ำ (Pressure) ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของระบบ (Speed) และการเป่าแห้งโดยใช้พัดลม (Fan) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามคือ พลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้า (Power) ซึ่งสามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามได้ดีมากในระดับ 97.79 % โดยปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 คือ ปัจจัยที่มีผลโดยตรง (Main Effect) ปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วม 3 ทาง (3 Way Interaction) และปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วม 2 ทาง (2 Way Interaction) จากมากไปน้อยตามลำดับ โดยปัจจัยที่มีผลโดยตรง (Main Effect) มากที่สุดคือ แรงดันน้ำ (Pressure) ความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ (Speed) และการทำงานของพัดลมเป่าแห้ง (Fan) จากมากไปน้อยตามลำดับ มีปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วม 2 ทาง (2 Way Interaction) คือ มีความสัมพันธ์ของแรงดันน้ำ (Pressure) กับความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ (Speed) รวมทั้งมีอิทธิพลร่วม 3 ทาง (3 Way Interaction Effect) คือ ความสัมพันธ์ของทั้งแรงดันน้ำ (Pressure) ความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ

(Speed) และการทำงานของพัดลมเป่าแห้ง (Fan) และสำหรับเงื่อนไขที่ทำให้การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบมีการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ 1.8250 วัตต์ แรงดันน้ำ (Pressure) 1.8 bar ความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ (Speed) 5.5 cm/s และพัดลมเป่าแห้ง (Fan) เปิด (ON) และค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้าที่ค่าต่ำสุดคือ 0.995 วัตต์ ที่ระดับแรงดันน้ำ (Pressure) 1 bar ความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ (Speed) 11 cm/s และพัดลมเป่าแห้ง (Fan) ปิด (OFF) นอกจากนี้ยังทราบถึงในสภาวะปกติในธรรมชาติที่มีคราบสกปรกปกคลุมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สมควรที่จะทำความสะอาดเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีผลกระทบจากความสกปรกและฝุ่นละอองที่ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าร้อยละ 93

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากต้นแบบของระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของงานวิจัยนี้เป็นระบบควบคุมแบบเปิด ยังเป็นระบบที่ใช้คนคอยควบคุม (Manual) ดังนั้นอาจจะเพิ่มระบบกลไกให้มีการพัฒนาสู่ระบบการทำงานที่เป็นแบบอัตโนมัติ (Auto) ที่มีความสมบูรณ์มากขึ้น
2. เนื่องจากต้นแบบของระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของงานวิจัยนี้เป็นระบบที่ใช้ไฟฟ้าทำความสะอาด เพื่อป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรกับระบบต้นแบบ และเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน อาจพิจารณาอุปกรณ์ของหุ่นยนต์แบบที่มีมาตรฐาน IP ในระดับตั้งแต่ IP 65 ขึ้นไป
3. ในการวิจัยนี้ทำการศึกษาเฉพาะการทำทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบทำความสะอาด ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการที่ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น การที่จะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้ายังมีวิธีการอื่นอีก ดังนั้นอาจพิจารณาทำการศึกษาวิธีการอื่นเพิ่มเติมต่อไป
4. ในการวิจัยนี้ทำการศึกษาตัวแปรอิสระคือ แรงดันน้ำ (Pressure) ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของระบบ (Speed) และการใช้พัดลมเป่าแห้ง (Fan) โดยตัวแปรเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามคือ พลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้า (Power) ซึ่งสามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามได้ 97.79 % ดังนั้นอาจพิจารณาตัวแปรอิสระอื่น เพื่อให้สามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามให้มีความสมบูรณ์มากขึ้นต่อไป

## รายการอ้างอิง

- กระทรวงพลังงาน. (2558). **ALoHa Solar Cell** สวัสดิ์ โซลาร์เซลล์. กรุงเทพมหานคร สำนักงานนโยบาย และแผนพลังงาน.
- ขจรศักดิ์ จันทร์แจ่ม. (2557). **หุ่นยนต์ดูดตะกอนใต้น้ำสำหรับถังพักน้ำขนาดใหญ่**. (วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม.
- คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2 พลังงานแสงอาทิตย์**. (2558). สืบค้น 12 มีนาคม 2561 จาก [http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/h\\_solar.pdf](http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/h_solar.pdf).
- ชัยพร ศิลาวัณนาไฉน กริธา สมเกียรติกุล. (2561). การพัฒนาและควบคุมการเคลื่อนที่สำหรับหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์. **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32**, จังหวัดมุกดาหาร. วันที่ 3-6 กรกฎาคม 2561.
- เดชฤทธิ์ มณีธรรม (2551). **คัมภีร์หุ่นยนต์ (ROBOT)**. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร เพชรเกษม.
- พรินดีง ทีมงานสมาร์ตเลิร์นนิ่ง (2552). **สร้างหุ่นยนต์ง่าย ๆ สไตล์คุณ**. กรุงเทพมหานคร สมาร์ตเลิร์นนิ่ง.
- เทิดศักดิ์ อินทโชติ, กิตติศักดิ์ วาดสันทัด, นภัสดล สิงหะดา และวิชวุธ บุญญานุกูล. (2559). “หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์”, **การประชุมวิชาการระดับชาติด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม ครั้งที่ 2**. วันที่ 19 ตุลาคม 2559.
- ชนพล ศรีเดช. (2561). **หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ที่เคลื่อนที่ด้วยล้ออ้อมนิ**. (วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต.
- นรินพร มาลาศรี. (2562). **GREEN Focus. Green Network**. 94 (4): 17-21.
- บุญเทียม เลียมพระจันทร์, พงษ์ศักดิ์ ทามแก้ว, กฤติเดช บัวใหญ่ และกานท์ เกิดชื่น. (2017). **การศึกษาเพื่อหาแนวทางปรับเพิ่มสมรรถนะระบบโซลาร์เซลล์ที่แผงมีความสกปรก**. วารสารเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า. 1 (1), 6-9.
- พฤทธิกร สมิตไมตรี. (2551). **วิทยาการหุ่นยนต์และเทคโนโลยี (Robotics and Technology)**. สงขลา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ภิรมย์สุข สวดยสม. (2560). **เครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำมาความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อให้ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าสูงสุด.** (วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน.

อมรรัตน์ ลิ้มมณี. (2558). **พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell).** สืบค้น 17 พฤศจิกายน 2562, จาก <http://www.iie.or.th/iie2016/images/postdoc/files/1.> การดำเนินการด้านธุรกิจพลังงานทดแทน.pdf.

Anna M. Klepacka., Wojciech J. Florkowski, Ting Meng. (2018). **Clean, accessible, and cost-saving: Reasons for rural household investment in solar panels in Poland.** Resources, Conservation and Recycling. Volume 139, December 2018, Pages 338-350

Cabanillas, R.E. Munguía, H., (2011). **Dust accumulation effect on efficiency of Si photovoltaic modules.** J. Renew. Sustain. Energy 3, 043114.

Dipankar Deb. Nisarg L. Brahmhatt. (2018). **Review of yield increase of solar panels through soiling prevention, and a proposed water-free automated cleaning solution.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 82, Part 3, February 2018, Pages 3306-3313.

Hiroyuki Kawamoto. (2019). **Electrostatic cleaning equipment for dust removal from soiled solar panels.** Journal of Electrostatics. Volume 98, March 2019, Pages 11-16

Mohammad Hammoud., Bassel Shokr., Ali Assi., Jaafar Hallal., and Paul Khoury. (2019). **Effect of dust cleaning on the enhancement of the power generation of a coastal PV-power plant at Zahrani Lebanon.** Solar Energy. Volume 184, 15 May 2019, Pages 195-201.

R. A. Sims., A. S. Biris., J. D. Wilson., C. U. Yurteri., M. K. Mazumder., C. I. Calle., and C. R. Buhler. **Development of a Transparent Self-Cleaning Dust Shield for Solar Panels.** University of Arkansas.

Rehman, S., El-Amin, I. (2012). **Performance evaluation of an off-grid photovoltaic system in Saudi Arabia.** Energy 46, 451-458.

Saravanan V. S., Darvekar S. K. (2018). **Solar Photovoltaic Panels Cleaning Methods A Review.** Bhivarabai Sawant College of Engineering

Savani Nirav., Korat Zalak., Kikani Harsh., Khunt Chintan. and Asst. Prof. Dhaval patel. (2019).

**Design and Analysis of Integrated Solar Panel Cleaning System.** 6 (4), 2164-2168.

[http://www.bitimec.com/bitimec\\_page.asp?IDProdotto=315.](http://www.bitimec.com/bitimec_page.asp?IDProdotto=315) เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 พฤษภาคม 2560.



<https://www.fpte.br/cms/wp-content/uploads/2016/07/wet-solarpanels1024.jpg>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 พฤษภาคม 2559.

<http://www.hycleaner.eu/hycleaner-black-solar-en.html> เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 พฤษภาคม 2560.

<https://www.quora.com/What-is-the-maintenance-cost-of-a-10-MW-Solar-power-plant>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 พฤษภาคม 2560.

<http://www.solarpanelcleaningsystems.com/blog/secret-keeping-solar-panels-clean> เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 พฤษภาคม 2560.





ภาคผนวก ก

วิธีการเลือกหัวข้อวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.1 วิธีการเลือกหัวฉีดน้ำ

การเลือกหัวฉีดน้ำของการทดลองนี้ คำนึงถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำ ความสะอาดและวัสดุในการทำหัวฉีด โดยมีวิธีการเลือกดังนี้

1) เลือกหัวฉีดน้ำที่มีแรงปะทะและมุมที่กระจายของน้ำที่เหมาะสมในการทดลอง ดังนั้นจึง เลือกใช้หัวฉีดน้ำแบบทรงพัดแบน (Flat Fan) เนื่องจากหัวฉีดน้ำประเภทนี้จะมีลักษณะของการฉีด น้ำออกมาเหมือนใบพัดทรงแบน กระจายในพื้นที่ที่เป็นแนวเรียบขอบเรียงกัน ทำให้ได้น้ำที่พ่นออกมา มีความแรงของน้ำกระจายเรียงกันเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการทำความสะอาด เช่น ล้างสายพานลำเลียงอาหาร ล้างรถ ล้างพื้น เป็นต้น

2) เลือกหัวฉีดที่มีแรงดันน้ำสอดคล้องกับการทดลอง ในการทดลองนี้เป็นการทดลอง ระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัยทั่วไป โดยทั่วไปแล้วบ้านพักอาศัยที่ มีความสูง 1-2 ชั้น หากมีการติดตั้งปั๊มแรงดันน้ำ ปั๊มแรงดันน้ำนั้นมักจะมีความแรงสูงสุดอยู่ที่ 1.9 bar ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกหัวฉีดน้ำที่มีแรงดันน้ำอยู่ในช่วง 1.5-2 bar

3) เลือกหัวฉีดน้ำที่มีความคงทน สำหรับหัวฉีดน้ำแบบทรงพัดแบนที่ผู้วิจัยได้เลือกมาใช้ ในการทดลองนั้น เลือกวัสดุที่ทำจาก Stainless steel เนื่องจากวัสดุนี้มีความคงทน และไม่เป็นสนิม อันเกิดจากผลกระทบจากสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ

4) ขนาดของหัวฉีด สำหรับบ้านพักอาศัยโดยทั่วไป ส่วนใหญ่จะมีระบบประปาที่มีท่อ PCV ขนาด 1/2 นิ้ว ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้หัวฉีดที่สามารถใช้กับท่อ PVC ขนาดดังกล่าว

5) มุมกระจายของหัวฉีด เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการใช้ระบบทำความสะอาด ซึ่งระยะของหัวฉีด และมุมกระจายของหัวฉีดเป็นปัจจัยที่อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำ ความสะอาด ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกหัวฉีดที่มีมุมกระจายแบบทรงพัดแบนขนาด 45 องศา ซึ่งเป็นมุมที่มีมุมกระจายที่ทำให้เกิดแรงดันน้ำบริเวณรอบนอกมากที่สุด

Spray angle (3 bar)	Capacity (l/min)	Nozzle Type / Inlet Conn. NPT				Capacity (l/min)	Spray angle																				
		CC	CC-L	CC-N	CC-M																						
		1/8	1/8	1/4	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	2	0.3 bar	1	2	3	4	5	6	7	10	20	35	1.5	3	6	14	
4000	0.08	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
5000	0.09	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
6000	0.10	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
8000	0.12	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
10000	0.14	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
15000	0.18	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
20000	0.24	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
30000	0.36	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
40000	0.48	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
50	0.6	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
100000	1.2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

รูปที่ ก.1 หัวฉีดที่ผู้วิจัยเลือกใช้

จากรูปที่ ก.1 แสดงให้เห็นถึงหัวฉีดที่เหมาะสมกับการทดลองของผู้วิจัยที่ออกแบบจาก มุมกระจายของหัวฉีด (Spray Angle) ที่กำหนดไว้คือ 45 องศา และมีขนาดของหัวฉีดที่ 1/4 นิ้ว คือ CC-N Type ซึ่งมีเบอร์ที่สามารถใช้ได้คือ 5010, 5015, 5020, และ 5030 แต่เมื่อเปรียบเทียบความแรง ที่ได้จากหัวฉีดเหล่านี้หัวฉีดเบอร์ 5030 มีความแรงที่มากที่สุดจึงถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้

6) ระยะเวลาสูงของหัวฉีด จากการเลือกใช้หัวฉีดน้ำแบบทรงพัดแบน ที่มีวัสดุทำด้วย Stainless Steel มีแรงดันน้ำที่ใช้อยู่ระหว่าง 1.5-2 bar และมีมุมกระจายแบบทรงพัดแบนขนาด 45 องศา เนื่องจากคำนึงถึงความแตกต่างของแรงดันน้ำหากมีหัวฉีดมากกว่า 1 หัว ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ ออกแบบให้มีหัวฉีดน้ำจำนวน 2 หัว และมีมุมกระจายที่สามารถครอบคลุมความกว้างของแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ที่มีความกว้าง 0.276 เมตร หรือ 27.6 เซนติเมตร ดังนั้นระยะเวลาสูงของหัวฉีด ที่เหมาะสมในการติดตั้ง ควรมีความสูงห่างจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือ 20 เซนติเมตร ดังรูปที่ ก.2

THEORETICAL SPRAY COVERAGE																								
at Various Distances in Inches (cm) from Nozzle Orifice																								
Spray Angle	2"	5 cm	4"	10 cm	6"	15 cm	8"	20 cm	10"	25 cm	12"	30 cm	15"	40 cm	18"	50 cm	24"	60 cm	30"	70 cm	36"	80 cm	48"	100 cm
5°	.2	.4	.4	.9	.5	1.3	.7	1.8	.9	2.2	1.1	2.6	1.3	3.5	1.6	4.4	2.1	5.2	2.6	6.1	3.1	7.0	4.2	8.7
10°	.4	.9	.7	1.8	1.1	2.6	1.4	3.5	1.8	4.4	2.1	5.3	2.6	7.0	3.1	8.8	4.2	10.5	5.2	12.3	6.3	14.0	8.4	17.5
15°	.5	1.3	1.1	2.6	1.6	4.0	2.1	5.3	2.6	6.6	3.2	7.9	3.9	10.5	4.7	13.2	6.3	15.8	7.9	18.4	9.5	21.1	12.6	26.3
20°	.7	1.8	1.4	3.5	2.1	5.3	2.8	7.1	3.5	8.8	4.2	10.6	5.3	14.1	6.4	17.6	8.5	21.2	10.6	24.7	12.7	28.2	16.9	35.3
25°	.9	2.2	1.8	4.4	2.7	6.7	3.5	8.9	4.4	11.1	5.3	13.3	6.6	17.7	8.0	22.2	10.6	26.6	13.3	31.0	15.9	35.5	21.2	44.3
30°	1.1	2.7	2.1	5.4	3.2	8.0	4.3	10.7	5.4	13.4	6.4	16.1	8.1	21.4	9.7	26.8	12.8	32.2	16.1	37.5	19.3	42.9	25.7	53.6
35°	1.3	3.2	2.5	6.3	3.8	9.5	5.0	12.6	6.3	15.8	7.6	18.9	9.5	25.2	11.3	31.5	15.5	37.8	18.9	44.1	22.7	50.5	30.3	63.1
40°	1.5	3.6	2.9	7.3	4.4	10.9	5.8	14.6	7.3	18.2	8.7	21.8	10.9	29.1	13.1	36.4	17.5	43.7	21.8	51.0	26.2	58.2	34.9	72.8
45°	1.7	4.1	3.3	8.3	5.0	12.4	6.6	16.6	8.3	20.7	9.9	24.9	12.4	33.1	14.9	41.4	19.9	49.7	24.8	58.0	29.8	66.3	39.7	82.8
50°	1.9	4.7	3.7	9.3	5.6	14.0	7.5	18.7	9.3	23.3	11.2	28.0	14.0	37.3	16.8	46.6	22.4	56.0	28.0	65.3	33.6	74.6	44.8	93.3

รูปที่ ก.2 ระยะเวลาครอบคลุมของหัวฉีดที่เหมาะสมตามทฤษฎี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Series Common Nozzle

## CC Series Flat Fan Nozzle

**CC series flat fan nozzle Series**



Small capacity (CC)  
1/8"-1/4"  
NPT or BSPT(male)



Medium capacity (CC-N)  
1/8"-3/4"  
NPT or BSPT(male)



Large capacity (CC-M)  
1"-2"  
NPT or BSPT(male)



With strainer (CC-L)  
1/8"-1/4"  
NPT or BSPT(male)

**Design features**

CC flat fan spray nozzles feature a high impact solid stream or a flat fan spray pattern with the spray angles between 0°-110°.

They produce a uniform distribution of small to medium sized drops. Properly aligned, the specially tapered spray edges make a evenly coverage.

CC and CC-L series nozzles have external piping thread connector and their flow rate are lower than 3.9 l/min at 3 bar. Inner strainer is available for CC-L Series nozzle with male connector only.

Standard flow rates of CC-N and CC-M Series are 3.9 l/min or larger at 3 bar. All have external piping thread connector.

**Jet stabilizer for reducing turbulence**



**Jet stabilizer type**

Jet stabilizer for reducing turbulence number	Inlet Conn. NPT or BSPT	Nozzle inlet Conn. NPT or BSPT(in)	High(mm)	Net weight (kg)
CY21370-1/8x1/8	1/8	1/8	19	0.007
CY21370-1/4x1/4	1/4	1/4	24	0.01
CY21370-3/8x3/8	3/8	3/8	27	0.03
CY21370-1/8x1/8	1/2	1/2	32	0.05
CY21370-1/2x1/2	3/4	3/4	38	0.10
CY21370-1x1	1	1	46	0.18
CY21370-1 1/4x1 1/4	1 1/4	1 1/4	57	0.33

**Design features**

Jet stabilizers installed in the heads of flat fan spray nozzle increase the spray distance and the durative power. When spray nozzles are installed on T-shape pipe, branching pipe or bend pipe and the fluid swerve into the nozzle, turbulence occurs, which diffuses the jet flow. The stabilizer minimize the diffusion and concentrate the jet flow through a thinner and stabler way, offering a better performance in jet distance and durative power.



**Common application**

- Chemical cleaning
- Product washing /rinsing
- Pressure cleaning
- cooling and quenching
- Fire suppression / prevention
- Fire fighting
- Net blanket low pressure cleaning
- Spray coating
- Roller and scraper ordering

**Fan ceramic core**



CCTC

**Fan tungalloy**



CTCK

**ordering info**

**Jet stabilizer type**

**CY21370-SS-1/8x1/8**

Jet stabilizer type    Material code    Connection dimension

**ordering info**

**CC 1/4-SS 6505**

Nozzle type    Inlet size    Material code    Capacity size

Remark:  
BRASS  
SS-stainless steel  
316SS-316 stainless steel

รูปที่ ก.3 Data sheet ของหัวฉีดทรงพัดแบน (Flat Fan Nozzle)

A Series Common Nozzle

Spray angle (3 bar)	Capacity Size	Nozzle Type /Inlet Conn. NPT										Equivalent spray orifice (mm)	Capacity(L/min)															Spray angle									
		CC		CC-L		CC-N				CC-M			0.3 bar	1 bar	2 bar	3 bar	4 bar	5 bar	6 bar	7 bar	10 bar	20 bar	35 bar	1.5 bar	3 bar	6 bar	14 bar										
		1/8	1/4	1/8	1/4	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1		1 1/4	2																							
50°	5001	•	•	•	•								0.66																								
	5002	•	•	•	•								0.91																								
	5003	•	•	•	•								1.1	0.37	0.68	0.97	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	2.2	3.1	4.0	40°	50°	56°	62°									
	5004	•	•	•	•								1.3	0.50	0.91	1.3	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.9	4.1	5.4	42°	50°	56°	61°									
	5005	•	•	•	•								1.4	0.62	1.1	1.6	2.0	2.3	2.5	2.8	3.0	3.6	5.1	6.7	44°	50°	56°	61°									
	5006	•	•	•	•								1.6	0.75	1.4	1.9	2.4	2.7	3.1	3.3	3.6	4.3	6.1	8.1	45°	50°	56°	60°									
	5008	•	•	•	•								1.8	1.0	1.8	2.6	3.2	3.6	4.1	4.5	4.8	5.8	8.2	10.8	45°	50°	55°	60°									
	5010	•	•	•	•	•	•	•					2.0	1.2	2.3	3.2	3.9	4.6	5.1	5.6	6.0	7.2	10.2	13.5	45°	50°	55°	59°									
	5015	•	•	•	•	•	•	•	•	•			2.4	1.9	3.4	4.8	5.9	6.8	7.6	8.4	9.0	10.8	15.3	20	45°	50°	55°	59°									
	5020	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		2.8	2.5	4.6	6.5	7.9	9.1	10.2	11.2	12.1	14.4	20	27	45°	50°	55°	59°									
	5030	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	3.6	3.7	6.8	9.7	11.8	13.7	15.3	16.7	18.1	22	31	40	45°	50°	55°	59°									
	5040	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	4.0	5.0	9.1	13.9	15.8	18.2	20	22	24	29	41	54	46°	50°	54°	59°									
	5050	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	4.4	6.2	11.4	16.1	19.7	23	25	28	30	36	51	68	46°	50°	54°	59°									
	5060	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	4.8	7.5	13.7	19.3	24	27	31	33	36	43	61	81	46°	50°	54°	59°									
	5070	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	5.2	8.7	16.0	23	28	32	36	39	42	50	71	94	46°	50°	54°	59°									
	50100	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	6.4	12.5	23	32	39	46	51	56	60	72	102	135	44°	50°	52°	54°									
	50120	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	6.7	15.0	27	39	47	55	61	67	72	86	122	162	44°	50°	53°	55°									
	50150	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	7.5	18.7	34	48	59	68	76	84	90	108	153	205	45°	50°	52°	55°									
	50200	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	8.7	25	46	64	79	91	102	112	121	144	205	270	46°	50°	52°	55°									
	50400	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	12.7	50	91	129	158	182	205	225	240	290	410	540	46°	50°	52°	55°									
	50500	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	13.1	62	114	161	197	230	255	280	300	360	510	680	49°	50°	51°	54°									
50580	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	13.9	72	132	187	230	265	295	325	350	420	600	780	49°	50°	51°	53°										
50750	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	15.9	94	171	240	295	340	385	420	455	540	770	1010	49°	50°	51°	53°										
501000	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	18.3	125	230	325	395	455	510	560	610	720	1020	1350	49°	50°	51°	53°										
501500	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	22.6	187	340	485	600	690	770	840	910	1080	1530	2020	49°	50°	51°	52°										
502000	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	26.2	250	460	650	790	910	1020	1120	1210	1440	2040	2700	49°	50°	51°	52°										
40°	4001	•	•	•	•								0.66																								
	40015	•	•	•	•								0.79																								
	4002	•	•	•	•								0.91	0.46	0.64	0.79	0.91	1.0	1.1	1.2	1.4	2.0	2.7	29°	40°	51°	58°										
	4003	•	•	•	•								1.1	0.68	0.97	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	2.2	3.1	4.0	30°	40°	50°	57°										
	4004	•	•	•	•								1.3	0.91	1.3	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.9	4.1	5.4	30°	40°	50°	56°										
	4005	•	•	•	•								1.4	1.1	1.6	2.0	2.3	2.5	2.8	3.0	3.6	5.1	6.7	31°	40°	49°	55°										
	4006	•	•	•	•								1.6	1.4	1.9	2.4	2.7	3.1	3.3	3.6	4.3	6.1	8.1	31°	40°	49°	55°										
	4008	•	•	•	•								1.8	1.0	1.8	2.6	3.2	3.6	4.1	4.5	4.8	5.8	8.2	10.8	31°	40°	47°	53°									
	4010	•	•	•	•	•	•	•					2.0	1.2	2.3	3.2	3.9	4.6	5.1	5.6	6.0	7.2	10.2	13.5	32°	40°	45°	48°									
	4015	•	•	•	•	•	•	•	•	•			2.4	1.9	3.4	4.8	5.9	6.8	7.6	8.4	9.0	10.8	15.3	20	32°	40°	45°	48°									
	4020	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		2.8	2.5	4.6	6.5	7.9	9.1	10.2	11.2	12.1	14.4	20	27	32°	40°	45°	48°									
	4030	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	3.6	3.7	6.8	9.7	11.8	13.7	15.3	16.7	18.1	22	31	40	33°	40°	45°	48°									
	4040	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	4.0	5.0	9.1	12.9	15.8	18.2	20	22	24	29	41	54	34°	40°	45°	48°									
	4050	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	4.4	6.2	11.4	16.1	19.7	23	25	28	30	36	51	68	35°	40°	45°	48°									
	4060	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	4.8	7.5	13.7	19.3	24	27	31	33	36	43	61	81	35°	40°	45°	48°									
4070	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	5.2	8.7	16.0	23	28	32	36	39	42	50	71	94	35°	40°	45°	48°										
40100	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	6.4	12.5	23	32	39	46	51	56	60	72	102	135	34°	40°	43°	46°										
40150	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	7.5	18.7	34	48	59	68	76	84	90	108	153	205		40°	43°	44°										
40200	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	8.7	25	46	64	79	91	102	112	121	144	205	270	36°	40°	42°	44°										
25°	2501	•	•	•	•								0.66																								
	2502	•	•	•	•								0.91	0.46	0.64	0.79	0.91	1.0	1.1	1.2	1.4	2.0	2.7	15°	25°	33°	40°										
	2503	•	•	•	•								1.1	0.68	0.97	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	2.2	3.1	4.0	15°	25°	33°	40°										
	2504	•	•	•	•								1.3	0.91	1.3	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.9	4.1	5.4	16°	25°	32°	39°										
	2505	•	•	•	•								1.4	1.1	1.6	2.0	2.3	2.5	2.8	3.0	3.6	5.1	6.7	16°	25°	32°	39°										
	2506	•	•	•	•								1.6	1.4	1.9	2.4	2.7	3.1	3.3	3.6	4.3	6.1	8.1	17°	25°	31°	38°										
	2508	•	•	•	•								1.8	1.8	2.6	3.2	3.6	4.1	4.5	4.8	5.8	8.2	10.8	17°	25°	31°	38°										
	2510	•	•	•	•	•	•	•					2.0	2.3	3.2	3.9	4.6	5.1	5.6	6.0	7.2	10.2	13.5	18°	25°	31°	3										



ข.1 การคำนวณความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย

การคำนวณความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัยจากความเร็วรอบของมอเตอร์สามารถแปลงความเร็วรอบของมอเตอร์ (%) เป็นความเร็วการเคลื่อนที่ (cm/s) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังแสดงในตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 การคำนวณความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ

A	B	C	D = A*B*C	D/60
Max. RPM	% Motor	C (cm)	V (cm/min)	V (cm/s)
110	25%	6	165	2.75
110	50%	6	330	5.50
110	75%	6	495	8.25
110	100%	6	660	11.00

จากตารางที่ ข.1 มีคำอธิบายของตัวแปรแต่ละตัวดังนี้

Max. RPM คือ ความเร็วรอบสูงสุดของมอเตอร์ มีค่า 110 rpm

% Motor คือ % การทำงานของมอเตอร์

C (cm) คือ เส้นรอบวงของล้อระบบ มีค่า 6 cm

V (cm/min) คือ ความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ cm/min

V (cm/s) คือ ความเร็วการเคลื่อนที่ของระบบ cm/s





ภาคผนวก ค

การวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## ค.1 วิธีการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

### 1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวัด

#### 1) เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ ค.1

- ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT136B
- แรงดันไฟฟ้า DC: 400 mV/ 4 V/ 40 V/ 400 V/ 500 V
- กระแสไฟฟ้า DC: 400 uA/ 4 mA/ 40 mA/ 400 mA/ 4 A/ 10 A
- ความต้านทานอินพุต: 10 mohm
- ความต้านทาน: 400 Ohm/ 4000 ohm/ 40 kOhm/ 400 kOhm/ 4 mOhm/ 40 mOhm



รูปที่ ค.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

## ค.2 ขั้นตอนการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

ในการวิจัยนี้จะนำค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้า (Electric Power) หน่วย วัตต์ (Watt) เป็นตัวกำหนดเพื่อหาประสิทธิภาพการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ระบบ โดยเปรียบเทียบได้ว่าประสิทธิภาพการทำความสะอาดจะแปรเปลี่ยนตามพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

กล่าวคือประสิทธิภาพการทำความสะอาวมก พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็จะมากตาม ในทางกลับกันถ้าประสิทธิภาพในการทำความสะอาदन้อย พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็จะน้อยตามไปด้วย

## 2.1 พลังงานไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้า

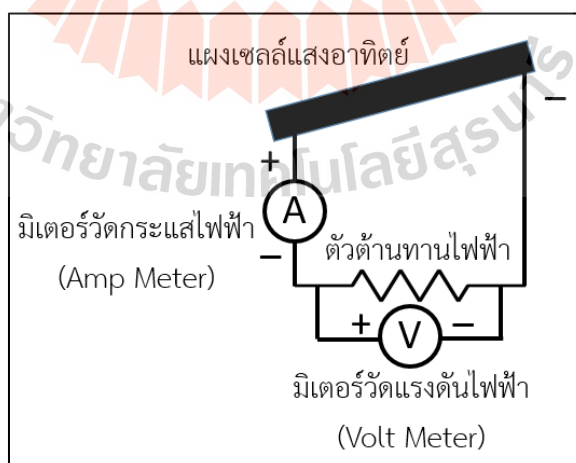
ในการวิจัยนี้จะไม่มีการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยตรง แต่จะใช้ทฤษฎีในการหาค่ากำลังไฟฟ้าจากสมการดังนี้

$$P = IV$$

โดยที่	P	คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
	I	คือ ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)
	V	คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

## 2.2 ค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

ในการวิจัยนี้จะทำการใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์เครื่องที่ 1 เครื่องมือ ดังรูปที่ ค.1 ปรับฟังก์ชันการวัดไปที่โหมควัดค่ากระแสไฟฟ้า แบบไฟฟ้ากระแสตรง โดยต่ออนุกรมกับขั้วบวกของเซลล์แสงอาทิตย์ และขั้วลบต่อกับตัวต้านทานไฟฟ้า และใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ เครื่องที่ 2 วัดค่าแรงดันไฟฟ้าปรับฟังก์ชันการวัดไปที่โหมควัดค่าแรงดันไฟฟ้า แบบไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูปที่ ค.2



รูปที่ ค.2 การเชื่อมต่อเครื่องมือที่ใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

### ค.3 การบันทึกผล

การวิจัยนี้จะทำการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าในห้องมืดที่ไม่มีแสงไฟจากภายนอกบริเวณดังรูปที่ ค.1 ในขั้นตอนการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าหลังการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำการวัดตามลำดับการทดลอง (Run Order) ตามที่โปรแกรม Minitab แนะนำโดยผู้วิจัยทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่เริ่มเปิดหลอดจำลองแสงอาทิตย์เป็นเวลา 5 นาที และบันทึกค่าเหล่านั้นทุก ๆ 15 วินาที จากภายนอกห้องทดลองเพื่อป้องกันการคลาดเคลื่อนของข้อมูล จากนั้นนำค่าที่ได้ของแต่ละการทดลองมาหาค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ได้แล้วบันทึกผล ดังตารางที่ ค.1



รูปที่ ค.3 ห้องทดลองที่ใช้ในการวิจัย

ตารางที่ ก.1 ผลค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่บันทึกได้

StdOrder	RunOrder	Pressure	Speed	Fan	Power
1	1	1.0	5.5	OFF	1.34
4	2	1.8	11.0	OFF	1.38
15	3	1.0	11.0	ON	1.13
16	4	1.8	11.0	ON	1.75
8	5	1.8	11.0	ON	1.70
9	6	1.0	5.5	OFF	1.19
6	7	1.8	5.5	ON	1.83
10	8	1.8	5.5	OFF	1.79
5	9	1.0	5.5	ON	1.58
13	10	1.0	5.5	ON	1.66
3	11	1.0	11.0	OFF	1.02
14	12	1.8	5.5	ON	1.82
11	13	1.0	11.0	OFF	0.97
2	14	1.8	5.5	OFF	1.80
7	15	1.0	11.0	ON	1.05
12	16	1.8	11.0	OFF	1.54

ภาคผนวก ง

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

ชิตีพัทธ์ ไกรโศดา, สุรเดช ตัญญูธีรรัตน์ และสมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ (2019). การพัฒนาหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย. การประชุมวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 (TREC12). ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก, 6-8 พฤศจิกายน 2562.



## การพัฒนาหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย Development of solar panel cleaning robot for house

ชิติพัทธ์ ไกรโสตา<sup>1\*</sup> สุรเดช ตัญญูรัตน์<sup>2</sup> และสมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์<sup>3</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

<sup>3</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์เป็นที่นิยมใช้เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากพลังงานที่ได้เป็นพลังงานสะอาด ปราศจากมลพิษและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย อย่างไรก็ตามเซลล์แสงอาทิตย์ต้องการการดูแลรักษาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ดีและมีอายุการใช้งานที่นานขึ้น ความสะอาดบนพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นปัจจัยหนึ่ง ที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงมีการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย โดยใช้ต้นแบบหุ่นยนต์ที่มีโครงสร้างแบบคาร์ทีเซียนที่ถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงระบบเปิด แบบใช้น้ำในการทำความสะอาด ออกแบบการทดลองด้วยวิธีแฟคโทเรียลเต็มรูปแบบ (2<sup>4</sup>) ทดลองซ้ำ 2 ครั้ง โดยกำหนดตัวแปรหลักในการทดลองได้แก่ แรงดันน้ำ ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และการเป่าแห้ง โดยใช้พัดลม เพื่อให้ทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาด จากผลการทดลอง พบว่า แรงดันน้ำ ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และการเป่าแห้งโดยใช้พัดลม มีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น .05 โดยตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ แรงดันน้ำ ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และการเป่าแห้งโดยใช้พัดลม ตามลำดับ

คำสำคัญ: หุ่นยนต์ทำความสะอาด การทำความสะอาด แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แฟคโทเรียลเต็มรูปแบบ (2<sup>4</sup>)

### บทนำ

สถานการณ์ด้านความต้องการพลังงานของประเทศไทยและทั่วโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี ดังนั้นจึงต้องมีการจัดหาพลังงานให้มีปริมาณที่เพียงพอ มีราคาที่เหมาะสม และมีคุณภาพที่ดี พลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นตัวเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ประกอบกับประเทศไทยอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรทำให้ได้รับแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง และคงที่ ตลอดทั้งปี มีความเข้มของรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 5.0 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (kWh/m<sup>2</sup>/day) [1] รัฐบาลจึงมีนโยบายสนับสนุนให้ประชาชนเข้ามามีบทบาทและร่วมในการผลิตไฟฟ้าใช้เองและหากมีส่วนเกินสามารถจำหน่ายให้กับการไฟฟ้า ในรูปแบบของการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย [2] จึงมีภาคประชาชนที่เริ่มสนใจติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านพักอาศัยเพื่อผลิตไฟฟ้าขายให้กับภาครัฐ

\* Corresponding author: Tel: 092-6199153. E-mail address: chitipath@gmail.com



ความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ความเข้มแสงที่จะกระทบที่เซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าลดลง [2-9] อีกทั้งเซลล์แสงอาทิตย์นิยมติดตั้งในที่โล่งแจ้งจึงมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ เช่น ฝุ่นละออง หรือมูลสัตว์ปีก ติดบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ง่าย และเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลง [10-12] ดังนั้น กระบวนการทำความสะอาดหน้าพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีความสำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อรักษา ระดับการผลิตพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงที่สุด

ในปัจจุบันระบบการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีกันอยู่หลายรูปแบบ เช่น ใช้คนทำความสะอาดด้วยการใช้ฟองน้ำชุบน้ำยาทำความสะอาด ใช้ไม้ถูทำความสะอาด ใช้เครื่องพ่นน้ำฉีด ใช้หุ่นยนต์ทำความสะอาดโดยมนุษย์ควบคุม หรือแม้กระทั่งใช้หุ่นยนต์ทำความสะอาดแบบอัตโนมัติ เพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงการเกิดอันตรายของผู้ที่ต้องปฏิบัติงาน เนื่องจากเป็นการปฏิบัติงานบนพื้นที่สูง ดังนั้นการใช้หุ่นยนต์ปฏิบัติงานแทนจึงเป็นทางเลือกที่มีความปลอดภัยมากที่สุด

ผู้วิจัย จึงสนใจที่จะพัฒนาหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในบ้านพักอาศัย โดยหุ่นยนต์สามารถทำงานในพื้นที่ที่มีความสูงและยากต่อการทำความสะอาด และทดสอบประสิทธิภาพการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยปัจจัยดังนี้คือแรงดันน้ำ ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และ การใช้พัดลมเป่าแห้ง เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาหุ่นยนต์ที่สามารถทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในบ้านพักอาศัยที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

### วิธีการวิจัย

#### 1. การออกแบบหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

##### 1.1 ส่วนประกอบตัวหุ่นยนต์

ออกแบบให้โครงสร้างหลักมีขนาด  $30 \times 30 \times 30$  เซนติเมตร (กว้าง  $\times$  ยาว  $\times$  สูง) และส่วนขับเคลื่อนเป็นล้อยาง 2 ล้อ เคลื่อนที่ไปตามแนวขอบด้านบนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โครงสร้างหลักได้ติดตั้งล้อประกอบ การเคลื่อนที่ตามแนวขอบด้านข้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 2 ล้อ โครงสร้างหลักได้ติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้ คือ 1) หัวฉีดน้ำที่มีระยะหัวฉีดรวมครอบคลุมขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 27.6 เซนติเมตร ติดตั้งที่ด้านหน้าของหุ่นยนต์ จำนวน 2 หัว และพัดลมเป่าแห้งติดตั้งที่ด้านหลังของหุ่นยนต์ จำนวน 2 ตัว

##### 1.2 ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) 220 โวลต์ ความถี่ 50 Hz ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ขนาด 12 โวลต์ ผ่านวงจรควบคุมลดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เหลือ 5 โวลต์จ่ายไฟฟ้าให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino nano ซึ่งใช้ชิปตระกูล ATmega328 โดยจะติดตั้งในกล่องควบคุม มีอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อ ดังนี้ 1) แผงวงจรชุดขับมอเตอร์ L298N สามารถควบคุมทิศทางและความเร็วของมอเตอร์ จำนวน 1 แผง 2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ขนาด 5 โวลต์ ความเร็วรอบ 110 rpm 3) สวิตช์เปิด-ปิด การทำงานของพัดลม จำนวน 1 ปุ่ม 4) สวิตช์ปรับระดับความเร็วของหุ่นยนต์ 2 ปุ่ม (LOW และ HIGH) และ 5) สวิตช์ควบคุมการถอยหลังของหุ่นยนต์ 1 ปุ่ม

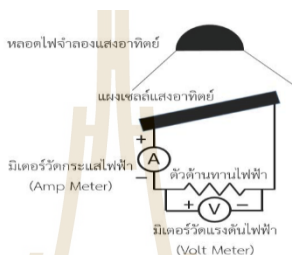
##### 1.3 ระบบการทำงานของหุ่นยนต์

ออกแบบการควบคุมด้วยมือ (Manual Control) ใช้คนทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ด้วยการกดปุ่มบนแผงควบคุมหุ่นยนต์ ซึ่งประกอบด้วยปุ่มควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เดินหน้า และถอยหลังซึ่งสามารถปรับความเร็วรอบได้ 2 ระดับ คือ LOW และ HIGH และปุ่มควบคุมการเป่าแห้งด้วยพัดลม สามารถปรับได้ 2 ระดับคือ พัดลมทำงาน และพัดลมไม่ทำงาน ปรับแรงดันน้ำได้ 2 ระดับคือ LOW และ HIGH จากท่อน้ำเข้าด้วยเกจวัดแรงดันน้ำ

2. การทดลองเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดของหุ่นยนต์

2.1 การวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

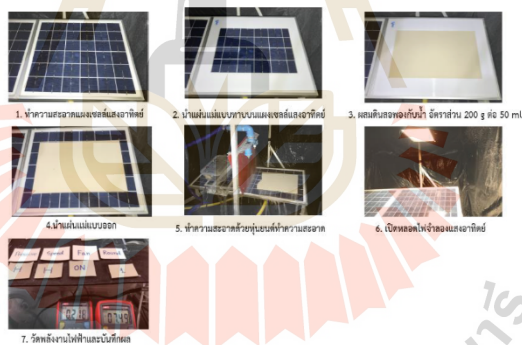
จากภาพที่ 1 แสดงการออกแบบการต่ออุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ด้วยมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าที่ต่ออนุกรม (Series) ขั้วบวกต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขั้วลบต่อกับตัวต้านทานไฟฟ้า และมีมิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าต่อขนาน (Parallel) กับตัวต้านทานไฟฟ้า มีอุปกรณ์ดังนี้ 1) หลอดไฟจำลองแสงอาทิตย์ ชนิดโซเดียมความดันไอสูง ขนาด 500 วัตต์ จำนวน 1 หลอด 2) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 วัตต์ จำนวน 1 แผง 3) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอล จำนวน 1 เครื่อง 4) เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าแบบดิจิตอล จำนวน 1 เครื่อง และ 5) ตัวต้านทานไฟฟ้าขนาด 33 โอห์ม พิกัด 15 วัตต์  $\pm 5\%$  จำนวน 1 ตัว ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

2.2 การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยหุ่นยนต์

ออกแบบขั้นตอนการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยหุ่นยนต์ มีทั้งหมด 7 ขั้นตอน ซึ่งแสดงขั้นตอนทั้งหมดดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยหุ่นยนต์

2.3 ออกแบบการวิเคราะห์ผลการทดลอง

2.3.1 การทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (2<sup>3</sup>) กำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อทำความสะอาด 3

ตัวแปร คือแรงดันน้ำ ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และการเป่าแห้งของพัดลมพิจารณาผลการทดลองด้วยผลลัพธ์ต่อไปนี้ 1) Factorial Regression 2) Pareto Chart 3) Residual Plots

### ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

#### 1. หุ่นยนต์ต้นแบบ

จากภาพที่ 3 หุ่นยนต์ที่ได้ออกแบบสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ โดยสามารถขับเคลื่อนไปตามขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนทำงานร่วมกับล้อลูกปืนที่เป็นตัวประกอบ ปรับความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ได้ 2 ระดับคือ LOW (55 rpm) และ HIGH (110 rpm) มีพัดลมเพื่อเป่าแห้งที่สามารถสั่งปิด (OFF) เปิด (ON) และมีหัวฉีดน้ำทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ปรับแรงดันน้ำได้ 2 ระดับ คือ LOW (1.0 bar) และHIGH (1.8 bar)



ภาพที่ 3 หุ่นยนต์ต้นแบบ

#### 2. ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดของหุ่นยนต์

##### 2.1 การทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (2<sup>3</sup>)

จากตารางที่ 1 แสดงลำดับของการทดลองและผลของค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปกำลังไฟฟ้า จากการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (2<sup>3</sup>) มีลำดับการทดลอง 16 ครั้ง จากการกำหนดตัวแปรในการทดลอง 3 ตัวคือ Pressure Speed และ Fan

ตารางที่ 1 ลำดับของการทดลองและผลของค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปกำลังไฟฟ้า จากการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (2<sup>3</sup>)

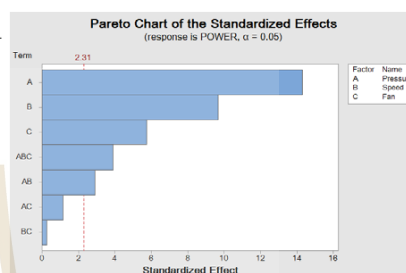
StdOrder	RunOrder	Pressure	Speed	Fan	Power	คำอธิบาย
1	1	LOW	LOW	OFF	1.34	Pressure คือ
4	2	HIGH	HIGH	OFF	1.38	แรงดันน้ำ (Bar)
15	3	LOW	HIGH	ON	1.13	
16	4	HIGH	HIGH	ON	1.75	Speed คือ
8	5	HIGH	HIGH	ON	1.70	ความเร็วรอบ
9	6	LOW	LOW	OFF	1.19	การเคลื่อนที่
6	7	HIGH	LOW	ON	1.83	ของหุ่นยนต์ (rpm)
10	8	HIGH	LOW	OFF	1.79	
5	9	LOW	LOW	ON	1.58	Fan คือ
13	10	LOW	LOW	ON	1.66	การเปิด
3	11	LOW	HIGH	OFF	1.02	ปิดพัดลม
14	12	HIGH	LOW	ON	1.82	
11	13	LOW	HIGH	OFF	0.97	Power คือ
2	14	HIGH	LOW	OFF	1.80	พลังงานไฟฟ้า
7	15	LOW	HIGH	ON	1.05	ในรูปของกำลังไฟฟ้า
12	16	HIGH	HIGH	OFF	1.54	(Watt)

## 2.2 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า

เมื่อพิจารณาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยการทดสอบ Analysis of Variance และ Pareto Chart พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 คือมี แรงดันน้ำ (Pressure) ความเร็วรอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Speed) และ พัดลมเป่าแห้ง (Fan) เป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรง (Main Effect) และมีอิทธิพลร่วม 3 ทาง (3 Way Interaction Effect) รวมทั้งมีปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วม 2 ทาง (2 Way Interaction) คือ แรงดันน้ำและความเร็วการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

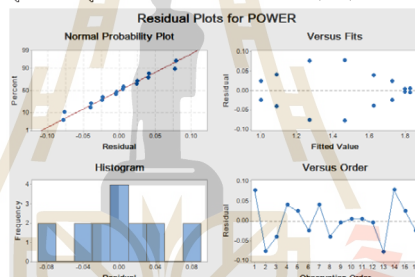
### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	1.46841	0.209773	50.95	0.000
Linear	3	1.36469	0.454898	110.48	0.000
Pressure	1	0.84283	0.842827	204.69	0.000
Speed	1	0.38542	0.385419	93.60	0.000
Fan	1	0.13645	0.136448	33.14	0.000
2-Way Interactions	3	0.04107	0.013690	3.32	0.077
Pressure*Speed	1	0.03517	0.035167	8.54	0.019
Pressure*Fan	1	0.00560	0.005595	1.36	0.277
Speed*Fan	1	0.00031	0.000307	0.07	0.792
3-Way Interactions	1	0.06265	0.062646	15.21	0.005
Pressure*Speed*Fan	1	0.06265	0.062646	15.21	0.005
Error	8	0.03294	0.004118		
Total	15	1.50135			



ภาพที่ 4 แสดงผลการทดสอบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า

## 2.3 ตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model adequacy checking)



ภาพที่ 5 แสดง Residual plots ของค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง

จากภาพที่ 5 ทำให้สรุปได้ว่า การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) พบว่า ค่าส่วนตกค้าง มีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ทำให้ประมาณได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงปกติ การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) พบว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีรูปแบบที่อิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน หรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงให้เห็นว่า ค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน การตรวจสอบความเสถียรของค่าความแปรปรวน (Variance stability) ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) เทียบกับ Fitted value พบว่า ค่าความแปรปรวนของค่าส่วนตกค้างในแต่ละตำแหน่งมีค่าใกล้เคียงกัน และไม่พบว่ามีรูปแบบการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีลักษณะเป็นแนวโน้มแต่อย่างใด จึงสรุปว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

## สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย ซึ่งออกแบบให้หุ่นยนต์นั้นสามารถขับเคลื่อนไปตามขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยจะมีมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนทำงานร่วมกับล้อที่

เป็นตัวประกอบ มีพัดลมเพื่อเป่าแห้ง แบบต้องใช้คนบังคับ และมีหัวฉีดน้ำที่ทำหน้าที่ฉีดทำความสะอาดพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากผลการทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า พบว่า แรงดันน้ำ ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และการเป่าแห้งโดยใช้พัดลม มีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ทั้งทางตรง (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) โดยตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ แรงดันน้ำ ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และการเป่าแห้งโดยใช้พัดลมตามลำดับ และเงื่อนไขที่จะทำให้การทำทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยหุ่นยนต์มีการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ แรงดันน้ำ HIGH (1.8 bar) ความเร็วรอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ LOW (55 rpm) และพัดลมเป่าแห้งเปิด (ON)

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2 พลังงานแสงอาทิตย์. (2558). สืบค้น 12 มีนาคม 2561 จาก [http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/h\\_solar.pdf](http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/h_solar.pdf)
- [2] นรินทร์ มาลาศรี. (2562). GREEN Focus. Green Network. 94 (4): 17-21.
- [3] ภิรมย์สุข สวายสม. (2560). เครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำมาสะอาดแผงโซลาร์เซลล์เพื่อให้อัตราประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้สูงที่สุด. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- [4] เท็ดดี้ศักดิ์ อินทโชติ กิตติศักดิ์ วาดสันหัตถ์ นภัสศล สิงหะดา และวิฑูรย์ บุญญานุกูล. (2559) “หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซลาร์เซลล์” , ใน การประชุมวิชาการระดับชาติด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม ครั้งที่ 2 , วันที่ 19 ตุลาคม 2559
- [5] บุญเทียม เสียมพระจันทร์ พงษ์ศักดิ์ ทามแก้ว กฤติเดช บัวใหญ่ และกานนท์ เกิดชื่น. (2017). การศึกษาเพื่อหาแนวทางปรับเพิ่มสมรรถนะระบบโซลาร์เซลล์ที่แผงมีความสกปรก. วารสารเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า. 1 (1), 6-9
- [6] Savani Nirav., Korat Zalak., Kikani Harsh., Khunt Chintan. and Asst. Prof. Dhaval patel. (2019). Design and Analysis of Integrated Solar Panel Cleaning System. 6 (4), 2164-2168
- [7] Saravanan V. S., Darvekar S. K. (2018). Solar Photovoltaic Panels Cleaning Methods A Review. Bhivarabai Sawant College of Engineering
- [8] R. A. Sims., A. S. Biris., J. D. Wilson., C. U. Yurteri., M. K. Mazumder., C. I. Calle., and C. R. Buhler. Development of a Transparent Self-Cleaning Dust Shield for Solar Panels. University of Arkansas
- [9] Hiroyuk iKawamoto. (2019). Electrostatic cleaning equipment for dust removal from soiled solar panels. Journal of Electrostatics. Volume 98, March 2019, Pages 11-16
- [10] Dipankar Deb. Nisarg L. Brahmabhatt. (2108). Review of yield increase of solar panels through soiling prevention, and a proposed water-free automated cleaning solution. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 82, Part 3, February 2018, Pages 3306-3313
- [11] Anna M. Klepacka., Wojciech J. Florkowski. Ting Meng. (2018). Clean, accessible, and cost-saving: Reasons for rural household investment in solar panels in Poland. Resources, Conservation and Recycling. Volume 139, December 2018, Pages 338-350

- [12] Mohammad Hammoud, Bassel Shokr, Ali Assi, Jaafar Hallal, and Paul Khoury. (2019). Effect of dustcleaning on the enhancement of the power generation of a coastal PV-power plant at Zahrani Lebanon. Solar Energy. Volume 184, 15 May 2019, Pages 195-201



## ประวัติผู้เขียน

นายชิตพัทธ์ ไกรโสดา เกิดเมื่อวันอังคารที่ 10 ตุลาคม พ.ศ. 2532 ที่อำเภอเมือง จังหวัด นครราชสีมา เริ่มการศึกษาในระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนประสารวิทยา อำเภอสีคิ้ว จังหวัด นครราชสีมา และโรงเรียนวัดสระแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ตามลำดับ และจบศึกษา ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย จากโรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัด นครราชสีมา จากนั้น ปี พ.ศ. 2551 เข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ภายหลังสำเร็จการศึกษา ในปี พ.ศ. 2555-2557 ได้เข้าทำงานกับบริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า และในปี พ.ศ. 2557-2560 ได้เข้าทำงานกับบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ตำแหน่ง วิศวกร อำนวยการผลิต (Process Engineer) จึงทำให้เกิดแรงจูงใจที่จะศึกษาต่อในระดับปริญญาโททาง ด้านวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ ณ สถาบันการศึกษาเดิม

ปัจจุบันรับราชการครู ตำแหน่ง ครูผู้ช่วย โรงเรียนบ้านปรางคล้า ต.หมูสี อ.ปากช่อง จังหวัด นครราชสีมา สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ

