ระบบควบคุมตำแหน่งของกังหันเติมอากาศแบบตักน้ำอัตโนมัติด้วยระบบจีพีเอส

วสันต์ วิชัย

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

ระบบควบคุมตำแหน่งของกังหันเติมอากาศแบบตักน้ำอัตโนมัติด้วยระบบจีพีเอส

วสันต์ วิชัย

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "ระบบควบคุมตำแหน่งของกังหันเติมอากาศแบบตักน้ำอัตโนมัติด้วยระบบจีพีเอส"
ของ วสันต์ วิชัย
ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ พรมภักดิ์)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(รองศาสตราจารย์ ดร.อนุชา แก้วพูลสุข)

อนุมัติ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.กรองกาญจน์ ชูทิพย์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง ระบบควบคุมตำแหน่งของกังหันเติมอากาศแบบตักน้ำอัตโนมัติด้วยระบบจีพีเอส

ผู้วิจัย วสันต์ วิชัย

ประธานที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ พรมภักดิ์

กรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน

ประเภทสารนิพนธ์ วิทยานิพนธ์ วท.ม. ฟิสิกส์ประยุกต์, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2564

คำสำคัญ กังหันเติมอากาศ, ระบบ GPS, การรักษาตำแหน่ง, ระบบไร้สาย

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอ ระบบควบคุมตำแหน่งของกังหันเติมอากาศแบบตักน้ำอัตโนมัติด้วยระบบจีพีเอส ที่สามารถเคลื่อนที่และรักษาตำแหน่ง การทำงานด้วยตัวเอง โดยระบบประกอบไปด้วยกังหันล้อหมุน คู่ 2 ล้อ 1 แกนหมุน ที่ถูกขับเคลื่อนด้วยพลังงาน จากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 350 วัตต์ และมีระบบขับเคลื่อนตัวเองด้วยปั๊มแบบดูด 2 ตัว ที่ได้รับพลังงานมาจากแบตเตอรี่ขนาด 12v 60Ah โดยมีระบบนำร่องควบคุมการเคลื่อนที่ด้วย GPS และเข็มทิศแม่เหล็กแบบดิจิทัล ซึ่งระบบถูกออกแบบให้ทำงานได้ 2 โหมด คือโหมดควบคุมด้วยรีโมท(บังคับมือ) และโหมดทำงานอัตโนมัติ ด้วยการกำหนดพิกัดและเวลาการทำงาน โดยในโหมดหลังนี้กังหันจะออกเดินทางจากท่าจอดไปยังตำแหน่งที่จะเติมอากาศที่กำหนดไว้ และเมื่อถึงตำแหน่งเป้าหมายกังหันน้ำจะหยุดระบบขับเคลื่อนตัวเอง แล้วเริ่มหมุนเพลาล้อตักน้ำเพื่อเติมอากาศ และเมื่อครบเวลาที่กำหนดกังหันก็จะหยุดหมุนเติมอากาศและเคลื่อนที่กลับมายังท่าจอด จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานและรักษาตำแหน่งขณะกังหันหมุนเพลาล้อตักน้ำเพื่อเติมอากาศได้เป็นอย่างดี โดยความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการรักษาตำแหน่งเท่ากับ 26.17 %

Title AUTOMATIC POSITIONING CONTROL OF AERATOR BASED ON GPS SYSTEM.

Author WASAN WICHAI

Advisor Assistant Professor Kriangsak Prompak

Co-Advisor Associate Professor Paramote Wardkein

Academic Paper M.S. Thesis in Applied Physics, Naresuan University, 2021

Keywords Aerator, GPS System, Maintaining Position, Wireless

ABSTRACT

This research presents an automatic position control system for turbine aerator using GPS. The proposed system has an ability to move precisely and maintain its specified position autonomously. The system consists of two twin wheel turbines, a rotating axis as driven by energy from a 350-watt solar cell with self-propelled system using two suction pumps that powered by a 12v 60Ah battery. The system also used a GPS navigation module and a digital magnetic compass. The system is designed to work in two modes: remote control mode (manual control) and automatic mode respectively. An automatic mode uses schedule of coordinates and time to process its tasks. Beyond automatic mode, the aerator travels from its starting point to the specified aeration position. When the aerator reaches the target position, the aerator stops its propelled system and starts its turbine. After the schedule reaches its specified time, the aerator stops the aeration turbine and returns to the specified landing position. As a result of research, it was found that the system was able to operate and maintain its position perfectly even while the aeration shaft wheels were spinning. The standard deviation of retention in position was 26.17%.

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงในความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกรียงศักดิ์ พรมภักดิ์ ประธานที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน ประธานที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพดล มณีรัตน์ รองศาสตราจารย์ ดร. อนุชา แก้วพูลสุข ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วสุ พันไพศาล ดร. ศุภโชค อุปาลี และ อ.ทศวรรษ อินเกาะช้าง ที่คอยให้คำแนะนำวิชาความรู้ และแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องต่าง ๆ และขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา สถานที่ และเครื่องมือทำการวิจัย และขอบคุณครอบครัวที่เป็นกำลังใจให้เสมอจนทำให้บทความฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าประโยชน์ที่พึงมีจากการศึกษาค้นคว้านี้ผู้วิจัยขอมอบอุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วสันต์ วิชัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

ประกาศคุณูปการ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

2. จุดมุ่งหมายของการวิจัย 3

3. ขอบเขตการวิจัย 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 7

7. อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 17

8. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 20

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 30

1. การออกแบบส่วนโครงสร้างของกังหันเติมอากาศ 30

2. คำนวณอัตราการไหลของน้ำจากซองตักน้ำ 32

3. การออกแบบทุ่น 35

4. ออกแบบระบบเกียร์ทด 35

5. การออกส่วนของแหล่งพลังงานที่ใช้ในระบบ....36
6. ส่วนของการควบคุมและการทำงาน....37
6.1 อธิบายการทำงานขอโหมดการทำงาน....37
6.3 วงจร GPS Ublox NEO-6M Module ที่ใช้ในการรับข้อมูลจากดาวเทียม....41
6.4 วงจร Compass Digital สำหรับใช้อ่านทิศทาง....43
6.5 วงจรโมดูลสื่อสารไร้สาย nrf24l01 2.4 GHz Wireless Transceiver....45
6.6 วงจรปั๊มน้ำ และเซอร์โวมอเตอร์ สำหรับใช้ในการขับเคลื่อนระบบเครื่องเติมอากาศ....46
6.7 วงจรควบคุมการหมุนของเพลาล้อตักน้ำ....48
6.8 การคำนวณหาทิศทางและการคำนวณการกระจัดระหว่างตำแหน่ง....49
6.8.1 การสอบเทียบโมดูล Digital Compass กับเข็มทิศจริง....49
บทที่ 4 ผลการทดลอง....56
1. ระยะเวลาของอัตราการไหลของน้ำภายในซอง....56
2. ความเร็วการหมุนของมอเตอร์กับชุดเกียร์ทด....57
3. ผลการทดลองความเข้มแสงกับความเร็วรอบของการหมุน....58
4. ผลการทดลองการรับสัญญาณของระบบ GPS....59
5. ผลการทดลองการเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งจุดเป้าหมาย....60
6. ผลการทดลองการรักษาตำแหน่งการทำงาน....61
7. ผลการทดสอบระบบควบคุมตำแหน่งของกังหันเติมอากาศแบบต่อเนื่อง 7 ตำแหน่งแบบอัตโนมัติ....62
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง....66
บรรณานุกรม....68

บรรณานุกรม 69
ภาคผนวก.....74
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่รับตีพิมพ์เผยแพร่.....75
ประวัติผู้วิจัย 87

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

ตาราง 2 ระยะเวลาอัตราการไหลของน้ำในซองแต่ละครั้ง 56

ตาราง 3 ผลข้อมูลความเข้มแสงและความเร็วรอบของเครื่องเติมอากาศ.....58

ตาราง 4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่ได้นำเสนอ 67

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 เครื่องเติมอากาศผิวน้ำ....5
ภาพ 2 เครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ....6
ภาพ 3 เครื่องเติมอากาศกังหันตีน้ำ....6
ภาพ 4 กังหันน้ำชัยพัฒนา....7
ภาพ 5 กระบวนการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้า....8
ภาพ 6 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์....8
ภาพ 7 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์....9
ภาพ 8 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอมอร์ฟัส....10
ภาพ 9 การต่างใช้งานพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ในแบบต่างๆ....10
ภาพ 10 การควบคุม แบบ ON-OFF Control....12
ภาพ 11 การรับสัญญาณ GPS จากดาวเทียม....12
ภาพ 12 Scatter Plot จากข้อมูลเพื่อหาค่ารัศมีของวงกลม (2DRMS)....14
ภาพ 13 ระบบพิกัดกริดแบบ UTM....17
ภาพ 14 nrf24l01 2.4 GHz wireless transceiver module ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลไร้สาย....17
ภาพ 15 แผนผังแสดงกระบวณการทำงานของการรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย....18
ภาพ 16 GPS Ublox NEO-6M Module....19
ภาพ 17 Compass Digital module....20
ภาพ 18 บล็อกไดอะแกรมการต่อใช้งานของหุ่นยนต์ขับเคลื่อนอัตโนมัติที่ใช้ GPS....20
ภาพ 19 หุ่นยนต์ขับเคลื่อนอัตโนมัติที่ใช้ GPS....21

ภาพ 20 รูปแบบของ Flexible Link Aerator.....21
ภาพ 21 การเชื่อมต่อการทำงานของเครื่องเติมอากาศแบบ Flexible Link Aerator.....22
ภาพ 22 การออกแบบการทำงานเครื่องเติมอากาศแบบพ่นน้ำ.....22
ภาพ 23 แผนผังส่วนประกอบต่างๆของเครื่องเติมอากาศแบบเคลื่อนที่อัตโนมัติ.....23
ภาพ 24 เครื่องเติมอากาศแบบเคลื่อนที่อัตโนมัติ.....23
ภาพ 25 การออกแบบการทำงานของเครื่องเติมอากาศแบบให้อากาศกุ้งอัตโนมัติ.....24
ภาพ 26 การออกแบบเครื่องเติมอากาศส่วนต่าง ๆ.....25
ภาพ 27 ระบบการติดตามแสงอาทิตย์แบบแกนคู่.....25
ภาพ 28 เครื่องเติมอากาศแบบตักน้ำให้มีระบบการเติมอากาศแบบระบบการอัดอากาศใต้น้ำ.....26
ภาพ 29 กระบวณการทำงานของหุ่นยนต์เก็บขยะ.....27
ภาพ 30 ภาพของหุ่นยนต์เก็บขยะภายในน้ำ.....27
ภาพ 31 การทำงานของระบบเรือส่งข้อมูลไร้สาย.....28
ภาพ 32 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ไดอะแกรม.....28
ภาพ 33 การเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งอัตโนมัติทั้ง 3 ตำแหน่ง.....29
ภาพ 34 ภาพฉายการออกแบบระบบโดยรวม.....30
ภาพ 35 ภาพฉายการออกแบบระบบโดยรวม (ด้านบน).....31
ภาพ 36 ภาพฉายการออกแบบระบบโดยรวม (ด้านหลัง).....31
ภาพ 37 ภาพฉายการออกแบบระบบโดยรวม (ด้านข้าง).....31
ภาพ 38 จำลองอัตราการไหลของน้ำจากแทงค์น้ำที่ความสูงระดับ h.....32
ภาพ 39 ซองตักน้ำที่ทำการออกแบบสำหรับเครื่องเติมอากาศที่นำเสนอ.....34
ภาพ 40 จำลองปริมาตรของทุ่นลอยน้ำ.....35

ภาพ 41 ชุดมอเตอร์ เกียร์ทด แล้วเพลาล้อตักน้ำ 35
ภาพ 42 การต่อใช้งานของชุดกักเก็บพลังงานของระบบขับเคลื่อน 36
ภาพ 43 ชุดชาร์จเจอร์และแบตเตอรี่ 36
ภาพ 44 แสดงถึงโหมดการทำงาน 37
ภาพ 45 แผนผังแสดงกระบวณการทำงานของระบบเครื่องเติมอากาศแบบล้อตักน้ำ 38
ภาพ 46 วงจรการต่อใช้งานรีโมทควบคุม 39
ภาพ 47 การออกแบบรีโมทควบคุม 40
ภาพ 48 แผนผังแสดงกระบวณการทำงานของรีโมทควบคุม 41
ภาพ 49 วงจรการรับค่าจากข้อมูลดาวเทียมด้วยโมดูล GPS NEO-6M 42
ภาพ 50 ติดตั้งโมดูล GPS NEO-6M Module ภายในกล่องควบคุม 42
ภาพ 51 แผนผังแสดงกระบวณการทำงานของโมดูล GPS NEO-6M 43
ภาพ 52 วงจรอ่านค่าทิศด้วยโมดูล Compass Digital 44
ภาพ 53 ติดตั้งโมดูล Compass Digital โดยจำลองให้วางตำแหน่งหัวเครื่องไปทางทิศเหนือ 44
ภาพ 54 ติดตั้งโมดูล Compass Digital ใช้งานจริง 44
ภาพ 55 แผนผังแสดงกระบวณการทำงานของโมดูล Compass Digital 45
ภาพ 56 วงจรรับส่งข้อมูลไร้สายด้วยโมดูล nrf24L01 2.4 GHz Wireless Transceiver 46
ภาพ 57 ติดตั้งโมดูล nrf24L01 2.4 GHz Wireless Transceiver เครื่องเติมอากาศ 46
ภาพ 58 วงจรขับเคลื่อนเครื่องเติมอากาศด้วยปั๊มน้ำและเซอร์โวมอเตอร์ 47
ภาพ 59 การติดตั้งปั๊มน้ำและเซอร์โวมอเตอร์ 47
ภาพ 60 หลักการขับเคลื่อนและการทำงานของปั๊มน้ำและเซอร์โวมอเตอร์ 48
ภาพ 61 วงจรควบคุมการหมุนของเพลาล้อตักน้ำ 49

ภาพ 62 แสดงระยะทางระว่างตำแหน่งบนพื้นผิวทรงกลม.....50

ภาพ 63 ภาพแสดงค่ามุมแบริ่งของทิศทางและตำแหน่งต่างๆ.....52

ภาพ 64 ผลการวัดระยะระหว่างตำแหน่งจากโปรแกรม GPS Visualizer.....55

ภาพ 65 ภาพเครื่องเติมอากาศในขณะที่มีการระบายน้ำออกจากซอง.....57

ภาพ 66 ใช้ Tachometer วัดความเร็วการหมุนของมอเตอร์.....57

ภาพ 67 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความเร็วของการหมุน.....58

ภาพ 68 ผลการทดสอบค่าความเที่ยงตรงของ GPS โดยเสาอากาศแบบ Passive ทั้งหมด 5 วัน.....59

ภาพ 69 ผลการทดสอบค่าความเที่ยงตรงของ GPS โดยเสาอากาศแบบ Active ทั้งหมด 3 วัน.....60

ภาพ 70 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมายรัศมี 7 เมตร.....61

ภาพ 71 ผลการทดสอบการรักษาตำแหน่งการทำงาน.....62

ภาพ 72 กำหนดจุดตำแหน่งการทำงานให้กับระบบ.....63

ภาพ 73 การทดสอบระบบทำงาน 7 ตำแหน่งวันที่ 1.....64

ภาพ 74 การทดสอบระบบทำงาน 7 ตำแหน่งวันที่ 2.....64

ภาพ 75 การทดสอบระบบทำงาน 7 ตำแหน่งวันที่ 3.....65

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญ เนื่องจากเป็นปัจจัยหลักของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลก โดยเฉพาะมนุษย์นั้น น้ำเป็นปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิตพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ในปัจจุบันมีการเพิ่มขึ้นของประชากรและการเจริญเติบโตด้านเศรษฐกิจและสังคม ทำให้เกิดอาชีพต่าง ๆ มากมายที่มีการใช้น้ำเป็นหลักอย่างเช่น การประมง ปศุสัตว์ และโรงงานอุตสาหกรรม [6] ซึ่งปัจจุบันนั้นน้ำที่มีอยู่บางส่วนไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากคุณภาพของน้ำ ไม่เหมาะสมอาจจะเกิดจากสิ่งแวดล้อมและผลกระทบอื่น ๆ ทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย ซึ่งปัญหานี้นับวันจะทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ สาเหตุมาจากการทิ้งขยะลงแม่น้ำลำคลองอยู่เป็นประจำ หรือเกิดจากการหมักของสิ่งสกปรกมากมายและก่อให้เกิดสารพิษในแหล่งน้ำได้ แหล่งน้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรม อย่างเช่น การปล่อยน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาจมีการปนเปื้อนสารเคมีต่าง ๆ และ จากการเกษตรกรรมที่มีการปนเปื้อนสารเคมีจากการเกษตร เช่น ยาฆ่าแมลง ยากำจัดศัตรูพืช และปุ๋ยเคมี ลงสู่แม่น้ำลำคลอง [7] ระบบบำบัดน้ำเสียมีวิธีการจัดการได้หลายรูปแบบ เช่น การบำบัดน้ำเสียด้วยการผสมผสานระหว่างพืชน้ำกับระบบเติมอากาศ ซึ่งเป็นวิธีธรรมชาติผสมผสานกับเทคโนโลยีแบบประหยัด ลดความสกปรกของน้ำเสียในระดับหนึ่งก่อนที่จะมีการปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม โดยทั่วไป และยังมีวิธีที่นิยมใช้กันคือ บ่อดักไขมันหรือถังดักไขมัน ระบบบ่อเกรอะ (Septic Tank) ระบบบ่อกรองไร้อากาศ การใช้น้ำหมักจุลินทรีย์ (EM) เติมลงในแหล่งน้ำ และที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ การบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระมหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช เช่น การใช้กังหันชัยพัฒนา [8] เครื่องเติมอากาศสามารถบำบัดน้ำเสียได้ทั้งน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่มีความสกปรกค่อนข้างมาก และน้ำเสียจากอุตสาหกรรม [9] เครื่องเติมอากาศจะต้องออกแบบให้มีประสิทธิภาพสามารถทำให้เกิดการผสมกันของตะกอนจุลินทรีย์ ออกซิเจน และน้ำเสีย ข้อดีของเครื่องเติมอากาศ คือ ค่าลงทุนก่อสร้างต่ำแต่ประสิทธิภาพของระบบสูง สามารถรับการเพิ่มภาระมลพิษอย่างกะทันหัน (Shock Load) ได้ดี มีกากตะกอนและกลิ่นเหม็นเกิดขึ้นน้อย การดำเนินการและบำรุงรักษาง่าย

โดยในปัจจุบันนั้นเครื่องเติมอากาศได้มีการวางจำหน่ายอยู่มากมายตามท้องตลาด และมีการคิดค้นและพัฒนาเครื่องเติมอากาศไว้หลากหลายรูปแบบ เพื่อให้เหมาะสมในการใช้งานกับในหลายๆกรณีและเหมาะสมกับทุกสภาพการทำงาน โดยในต่างประเทศมีการวิจัยและสร้างเครื่องเติมอากาศไว้มากมาย เช่น Letieri Avila and Deliel Oliveira [1] มีการสร้างและพัฒนาเครื่องเติม

อากาศแบบอัตโนมัติโดยใช้งานในภาคเกษตรกรรมเพื่อรักษาผลผลิตและเพิ่มผลผลิต โดยเป็นเครื่องเติมอากาศที่เป็นใบพัดบนผิวน้ำ มีการวัดและควบคุมโดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รวมถึงลดการทำงานที่คลาดเคลื่อนหรือผิดพลาดต่าง ๆ ในการเติมอากาศ จึงมีการนำอัลกอริทึม PID (Proportional Integral Derivative) มาช่วยในการควบคุม ต่อมางานวิจัยของ Muralidhar K and Amal D Nair [2] ได้นำเสนอการสร้างเครื่องเติมอากาศแบบเครื่องพ่นน้ำแบบน้ำพุขนาดเล็กเพื่อเติมอากาศในสระสวนสาธารณะเพื่อให้รูปลักษณ์สวยงามเหมาะกับการท่องเที่ยว ตกแต่งสถานที่ และยังสามารถเติมอากาศเพื่อลดน้ำเน่าเสียได้ ตัวเครื่องเติมอากาศยังใช้พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์และสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ของบ่อได้ Chuan Zhan and Mengcen Li [3] ได้สร้างเครื่องเติมอากาศแบบจำลองให้มีการเติมอากาศและเคลื่อนที่ไปยังรอบ ๆ บ่อน้ำโดยมีเซนเซอร์วัดระยะทางเพื่อไม่ให้เกิดการชนกับขอบบ่อโดยการเลี้ยวหลบ รวมถึงการควบคุมการทำงานได้ทั้งระบบอัตโนมัติและบังคับมือผ่านระบบ Remote Infrared Sensor ตัวเครื่องยังสามารถวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อุณหภูมิความชื้นภายในอากาศได้ Rizki Dian Rahayani and Arif Gunawan [4] ได้ออกแบบและสร้างเครื่องเติมอากาศแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนคู่พร้อมทั้งมีระบบการตรวจวัดค่าต่าง ๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้ง เช่น ค่าอุณหภูมิ ค่าความเค็มของน้ำและค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำและระบบยังจัดการการให้อาหารแก่กุ้งในบ่ออัตโนมัติและยังแจ้งเตือนส่งผลค่าที่วัดได้ต่าง ๆ ผ่าน SMS และแสดงผลบนจอ LCD (Liquid Crystal Display) และในประเทศไทย Darunee Chaythong and Saner Sa-ad [5] ได้พัฒนาสร้างระบบเครื่องเติมอากาศให้มี 2 ระบบในเครื่องเดียว คือ ระบบแบบตักน้ำและระบบการอัดอากาศใต้น้ำ พร้อมทั้งมีการเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตามแสงอัตโนมัติเพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดและยังติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อให้ระบบทำงานได้ 24 ชั่วโมง โดยจะสรุปคุณสมบัติการทำงานของแต่ละงาน ดังตาราง 1

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าควรจะมีเครื่องเติมอากาศแบบล้อตักน้ำที่สามารถควบคุมได้แบบไร้สายและเคลื่อนที่ไปยังจุดต่าง ๆ ของบ่อบำบัดหรือสระน้ำได้โดยการควบคุมจากผู้ใช้งานผ่านรีโมทควบคุมและยังเคลื่อนที่อัตโนมัติไปยังตำแหน่งที่ผู้ใช้งานกำหนดค่าที่เป็น ละติจูด (Latitude) ลองจิจูด (Longitude) ให้ระบบ และระบบสามารถรักษาตำแหน่งการทำงานได้ โดยที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องผูกเชือกมัดตรึงระบบไว้ อีกทั้งระบบการทำงานของเครื่องเติมอากาศนั้นยังใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 ควบคุมการทำงานของชุดบอร์ดขับมอเตอร์บัสเลส (Brushless Motor Driver Board) เพื่อควบคุมให้มอเตอร์บัสเลส (Motor Brushless) ขับเคลื่อนเพลาล้อตักน้ำของกังหันเติมอากาศ โดยผ่านเกียร์ทดในการทดแรง และยังควบคุมการเปิด-ปิดปั๊มน้ำที่ใช้ในการขับเคลื่อนระบบชุดกังหันเติมอากาศไปยังจุดต่าง ๆ ส่วนการเลี้ยวซ้าย ขวา เดินหน้า และถอยหลังนั้นใช้การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ให้หมุนเป็นมุม 0-180 องศา เพื่อใช้ในการเปลี่ยนทิศทางของปั๊มน้ำในการเคลื่อนที่ อีกทั้งระบบยังสามารถรู้ทิศทางการ

เคลื่อนที่โดยการอ่านค่าเข็มทิศมาจากโมดูลเข็มทิศดิจิทัล (GY-26 High-Precision High-Sensitivity Digital Electronic Compass Sensor) และสามารถทราบค่าตำแหน่งของเครื่องเติมอากาศที่อยู่ในปัจจุบันจากโมดูล GPS Ublox NEO-6M ซึ่งค่าตำแหน่งนี้จะถูกนำไปคำนวณร่วมกับค่าตำแหน่งเป้าหมายที่ถูกป้อนจากผู้ใช้งานเพื่อใช้ในการคำนวณหาการกระจัดระหว่างตำแหน่งปัจจุบันกับตำแหน่งเป้าหมายและทิศทางที่ชี้ไปยังตำแหน่งเป้าหมาย โดยระบบจะรับคำสั่งการทำงาน มาจากรีโมทควบคุมผ่านการสื่อสารไร้สายด้วยคลื่นวิทยุโมดูล nrf24l01 2.4 GHz Wireless Transceiver ในการปรับตั้งค่า เช่น โหมดการทำงาน สถานะการทำงาน การขับเคลื่อนไปยังตำแหน่งเป้าหมาย การระบุตำแหน่ง เป็นต้น ในส่วนของรีโมทควบคุมนั้นก็ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 และการสื่อสารไร้สายคลื่นวิทยุด้วยเช่นกันในการรับค่าจากเครื่องเติมอากาศ เช่น ตำแหน่งที่อยู่ของเครื่อง ค่าเข็มทิศ วันที่/เวลา โหมดการทำงาน นำมาแสดงผลผ่านจอ LCD เพื่อที่จะรู้และทราบการทำงานของระบบ

ตาราง 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คุณสมบัติ\งานวิจัย	งานวิจัยที่ 1	งานวิจัยที่ 2	งานวิจัยที่ 3	งานวิจัยที่ 4	งานวิจัยที่ 5
ตรวจวัดค่าต่างๆ	✓	✓	✓	✓	-
ควบคุมปริมาณออกซิเจน	✓	-	-	-	-
ใช้พลังงานแสงอาทิตย์	-	✓	-	✓	✓
ติดตามแสง	-	-	-	✓	✓
ให้อาหารปลา กุ้ง	-	-	-	✓	-
เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ อย่างอิสระ	-	✓	✓	-	-

2. จุดมุ่งหมายของการวิจัย

พัฒนาต้นแบบระบบขับเคลื่อนเครื่องเติมอากาศแบบตักน้ำ ที่สามารถควบคุมให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดและรักษาตำแหน่งได้แบบอัตโนมัติ

3. ขอบเขตการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างระบบขับเคลื่อนเครื่องเติมอากาศที่สามารถติดต่อสื่อสารแบบไร้สายได้ระหว่างเครื่องเติมอากาศและรีโมทควบคุมด้วยโมดูล nrf24l01 2.4 GHz Wireless Transceiver

2. ระบบเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเองไปยังตำแหน่งที่ต้องการหรือบังคับจากผู้ใช้งานได้ โดยการใช้ปั๊มน้ำ Seaflo Liquid Pump - 1100GPH ในการขับเคลื่อนและใช้เซอร์โวมอเตอร์ MG995 Servo Motor 0° - 180° ในการควบคุมทิศการเคลื่อนที่

3. ระบบสามารถรักษาตำแหน่งที่ต้องการการเติมอากาศตามที่ตั้งค่าไว้ได้แบบอัตโนมัติ โดยการใช้โมดูล GPS Ublox NEO-6M และโมดูลเข็มทิศ Compass Digital

4. ใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ ขนาด 350W ในการทำงานของระบบทั้งหมด

5. พื้นที่ในการทดสอบ 9,697.57 ตารางเมตร ณ สระน้ำมณีรัตนา ภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เครื่องเติมอากาศ [16,17,18]

เครื่องเติมอากาศ เป็นเครื่องที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในบ่อบำบัดน้ำหรือในแหล่งน้ำต่าง ๆ เพื่อจะเติมปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำ เครื่องเติมอากาศนั้นมีอยู่หลายประเภท ดังนี้

1.1 เครื่องเติมอากาศผิวน้ำ (Surface Aerator) เป็นเครื่องเติมอากาศในแนวตั้งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดที่ใหญ่ ทำหน้าที่ตีน้ำพร้อมทั้งกวนน้ำจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนเพื่อแลกเปลี่ยนอากาศ ทำให้เกิดการกวนอย่างทั่วถึงและมีประสิทธิภาพ สามารถใช้งานได้ดีกับบ่อน้ำ ที่มีขนาดใหญ่และค่อนข้างลึก ดังภาพที่ 1

ภาพ 1 เครื่องเติมอากาศผิวน้ำ

ที่มา : https://www.google.com/search?q=SURFACE+AERATOR

1.2 เครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ (Jet Aerator) เป็นเครื่องเติมอากาศชนิด Horizontal Aspirating Aerator อาศัยกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งติดตั้งอยู่บนทุ่นลอยน้ำ เชื่อมต่อกับใบพัดผ่านแกนเพลาเพื่อหมุนตีน้ำ ดังภาพที่ 2 ทำให้เกิดการไหลปั่นป่วนขึ้นภายในน้ำ อากาศภายนอกจะถูกดูดผ่านเข้ามาภายในบริเวณแกนเพลา ทำให้เกิดฟองอากาศในน้ำจำนวนมาก จึงเหมาะสำหรับ เติมอากาศ และเพิ่มการไหลเวียนของน้ำในบ่อ

ภาพ 2 เครื่องเติมอากาศใต้ผิวน้ำ

ที่มา : https://www.google.com/search?q=JET+AERATOR

1.3 เครื่องเติมอากาศกังหันตีน้ำ (Paddle Wheel) เป็นเครื่องเติมอากาศแบบผิวน้ำ ใช้มอเตอร์เกียร์ขับเคลื่อนใบพัดให้หมุนเพื่อตีน้ำที่ผิวน้ำ ทำให้เกิดการเติมอากาศในแนวระนาบและเกิดการเคลื่อนที่ของผิวน้ำ ฟองอากาศเล็ก ๆ ที่เกิดจากการตีน้ำจากใบพัดจะช่วยเพิ่มค่าออกซิเจนในน้ำมากขึ้น ดังภาพที่ 3 จึงเหมาะสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อกึ่งธรรมชาติ (Facultative Pone)

ภาพ 3 เครื่องเติมอากาศกังหันตีน้ำ

ที่มา : https://www.google.com/search?q=PADDLE+WHEEL

1.4 กังหันน้ำชัยพัฒนา คือ เครื่องกลเติมอากาศที่เป็นกังหันน้ำแบบทุ่นลอยซึ่งใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้กังหันวิดน้ำไปบนผิวน้ำแล้วปล่อยให้ตกลงผิวน้ำตามเดิม และน้ำจะถูกสาดกระจาย

สัมผัสอากาศทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำ ดังในภาพที่ 4 น้ำเสียจึงมีคุณภาพดีขึ้น สามารถนำไปใช้บำบัดน้ำเสียทั้งจากแหล่งชุมชน อุตสาหกรรมและการเกษตร

ภาพ 4 กังหันน้ำชัยพัฒนา

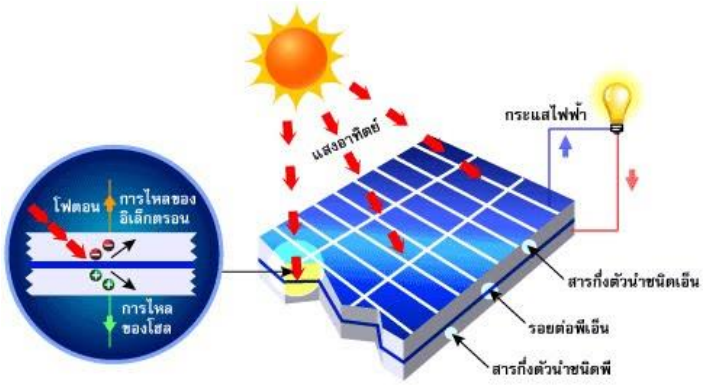
ที่มา : https://www.google.com/search?q=SURFACE+AERATOR

จากเครื่องเติมอากาศประเภทต่างๆที่กล่าวมาทั้งหมดผู้วิจัยได้เลือกใช้และออกแบบระบบเครื่องเติมอากาศให้อยู่ในรูปแบบ กังหันน้ำชัยพัฒนา เนื่องจากความเร็วในการหมุนเติมอากาศต่ำและเมื่อกังหันหมุนเติมอากาศจะส่งผลต่อการเลื่อนตำแหน่งน้อยกว่าแบบอื่นๆ จึงเหมาะกับการควบคุมตำแหน่งให้คงที่

2. ระบบแหล่งจ่ายพลังงานสำหรับเครื่องเติมอากาศแบบล้อตักน้ำ [19,20]

2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะมีส่วนประกอบหลักคือ แผ่นซิลิคอนที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนโฟตอนให้เป็นอิเล็กตรอน (กระแสไฟฟ้า) เมื่อแสงตกกระทบแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงาน ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จนเกิดเป็นไฟฟ้ากระแสตรง



ภาพ 5 กระบวนการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้า

ที่มา : https://www.google.com/search?q=%E0%B9%82%E0%B8%8B%E0%B8

ในปัจจุบันนั้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอยู่หลายประเภท ดังนี้

2.1.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Solar Cells) มีลักษณะเป็นช่องสี่เหลี่ยมตัดมุมเรียงต่อกัน ทำให้ดูเหมือนมีจุดขาว ๆ อยู่ตลอดทั้งแผง ดังภาพที่ 6 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ผลิตจากซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์สูง ใช้ซิลิคอนชิ้นเดียวในการผลิตเซลล์แต่ละชิ้น ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงตามไปด้วย โดยอยู่ที่ 17-20% และมีอายุการใช้งานยาวนานที่สุด สามารถใช้ได้นานมากกว่า 25 ปี

ภาพ 6 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์

ที่มา : https://www.google.com/search?q=Monocrystalline

2.1.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Solar Cells) แผงโพลีมีคุณภาพรองลงมาจากแผงโมโน ลักษณะจะเป็นตารางสี่เหลี่ยมเช่นกัน แต่บริเวณเหลี่ยมจะไม่มีการตัดมุมเหมือนแผงโมโน ดังในภาพที่ 7 การผลิตแผงโพลีจะใช้ซิลิคอนอัดรวมกันเป็นแผง ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจะอยู่ที่ 15-19% มีประสิทธิภาพต่างกับแผงโมโนไม่มากนัก ข้อดีคือมีราคาถูกกว่า และลดการทิ้งขยะเศษเหลือของซิลิคอนระหว่างผลิต และมีอายุการใช้งานประมาณ 20 ปี ซึ่งไม่ต่างกับแบบโมโนมากนัก

ภาพ 7 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์

ที่มา : https://www.google.com/search?q=%E0%B9%

2.1.3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอมอร์ฟัส (Amorphous Solar Cells) แผงแบบอมอร์ฟัสนั้นเป็นประเภทที่ไม่ได้ใช้ซิลิคอนผลิต แต่เป็นการใช้ Thin Film Technology เคลือบ “สาร” ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าได้ไว้บนแผงที่ทำมาจากแก้วหรือพลาสติก หน้าตาของแผงจะมีลายเส้นตรงถี่ ๆ เรียงต่อกัน ดังภาพ 8 ไม่ได้เป็นตารางเหมือนอีกสองชนิดข้างต้น ข้อดีคือมีราคาถูกที่สุด และสามารถทำงานได้แม้จะอยู่ในที่แสงน้อย รวมถึงการเคลือบสารบนพลาสติกได้ ทำให้ถูกนำไปปรับใช้กับพื้นที่ที่มีความโค้งมนได้ แต่มีข้อสังเกตในด้านประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของ แผงอมอร์ฟัสจะมีไม่สูงนัก รวมทั้งอายุการใช้งานสั้นประมาณ 5 ปีเท่านั้น ส่วนใหญ่แล้วแผงแบบอมอร์ฟัสมักจะใช้ในอุปกรณ์ขนาดเล็กที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าต่ำ เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกา

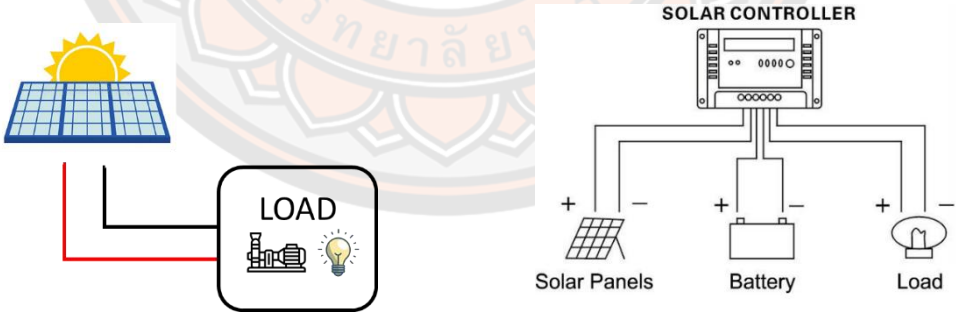
ภาพ 8 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอมอร์ฟัส

ที่มา : https://www.google.com/search?q=%E0%B9%81%E0%

เซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีประโยชน์ในด้านการใช้พลังงานทดแทนแทนพลังงานฟอสซิล เป็นการใช้พลังงานสะอาด ไม่สร้างมลพิษ และลดค่าใช้จ่าย ไม่ต้องมีการลากสายเชื่อมต่อในการส่งถ่ายพลังงาน จึงเหมาะกับการนำมาใช้กับระบบเครื่องเติมอากาศที่มีการเคลื่อนที่อย่างอิสระที่ได้นำเสนอมาในข้างต้น

2.2 ระบบแหล่งจ่ายและกักเก็บพลังงาน [21,22]

ระบบกักเก็บพลังงานโดยพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ ในปัจจุบันระบบที่นิยมใช้งานอยู่จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ ระบบที่ถูกต่อตรงๆจากเซลล์แสงอาทิตย์มายังโหลดโดยตรง กับระบบที่ต้องผ่าน Solar Charger และเก็บสะสมพลังงานในแบตเตอรี่ก่อนที่จะนำพลังงานไปจ่ายให้กับโหลด ซึ่งแสดงให้เห็นดังภาพ 9



ก. ใช้งานพลังแสงอาทิตย์มายังโหลดโดยตรง ข. ใช้งานผ่านชุดชาร์จเจอร์และเก็บพลังงานลงแบตเตอรี่

ภาพ 9 การต่างใช้งานพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ในแบบต่างๆ

สำหรับคอนโทรลชาร์จเจอร์เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Charger) แบ่งเป็น 2 ประเภทตามลักษณะหลักการทำงาน คือ

2.2.1 Solar Charger PWM (Pulse Width Modulation) หลักการทำงาน คือ จะปรับแรงดันจากแรงดันที่สูงลงมาเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ แต่จะได้กระแสไฟฟ้าในการชาร์จเท่าเดิม เหมาะสมกับงานที่ค่าความจุแบตเตอรี่ไม่สูงมาก ไม่ต้องมีการเร่งชาร์จพลังงาน ตัวอย่างเช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 360 W แรงดันไฟฟ้า 36 V กระแสไฟฟ้า 10 A เมื่อผ่าน Solar Charger PWM จะได้ แรงดันไฟฟ้า 12 V กระแสไฟฟ้า 10 A คือกำลังไฟฟ้าแค่ 120 W ซึ่งจะเห็นได้ว่า กำลังลดลงเหลือเพียง 50 % เท่านั้นเป็นต้น

2.2.2 Solar Charger MPPT (Maximum Power Point Tracking) หลักการทำงานของ MPPT Charger คือ มีระบบไมโครโพรเซสเซอร์ หรือตัวจับสัญญาณ คอยควบคุมดูแลค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับแรงดันกระแสในแบตเตอรี่ และเลือกสัญญาณไฟฟ้าที่สูงที่สุดจากแผงเพื่อประจุลงในแบตเตอรี่ ตัวอย่างเช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 360 W แรงดันไฟฟ้า 36 V กระแสไฟฟ้า 10 A เมื่อผ่าน Solar Charger MPPT จะได้ แรงดันไฟฟ้า 12 V กระแสไฟฟ้า 30 A คือได้กำลังไฟฟ้า 360 W เท่าเดิม ชาร์จเจอร์ประเภทนี้เหมาะกับการทำงานที่สภาพแสงแดดภายนอกไม่คงที่

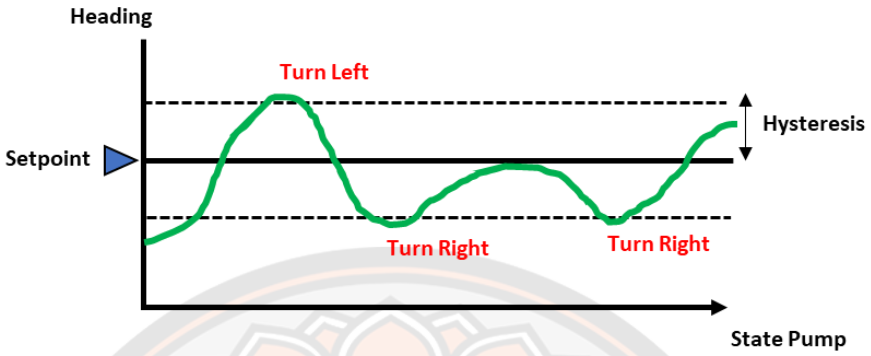
2.3 แบตเตอรี่ [23]

เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วย เซลล์ไฟฟ้าเคมี หนึ่งเซลล์หรือมากกว่า ที่มีการเชื่อมต่อภายนอกเพื่อให้กำลังงานกับอุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่อพิจารณาตามลักษณะของอิเล็กโทรไลต์สามารถแบ่งแบตเตอรี่ได้ 2 ชนิด ได้แก่ 1. แบตเตอรี่แห้ง และ 2. แบตเตอรี่น้ำ ซึ่งการใช้งานก็ขึ้นอยู่กับว่าผู้ใช้งานต้องการแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้ามากเท่าไรต่อการใช้งานกับชุดโหลดนั้นๆ

3. ON-OFF Control หรือ Bang-bang Controller [24]

ระบบควบคุมแบบ ON-OFF การควบคุมจะสั่งเอาต์พุตทำงานเพียง 2 สภาวะเท่านั้น คือ ON และ OFF เป็นการควบคุมแบบง่าย ดังนั้นจึงนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในงานควบคุมทางอุตสาหกรรม ยกตัวอย่างเช่น การควบคุมอุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม กรณีที่อุณหภูมิมีการกระเพื่อมรอบค่า Set Point จะมีผลทำให้เอาต์พุตของเครื่องควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงสถานะระหว่าง ON และ OFF อยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้ปัญหาดังกล่าวนี้สามารถแก้ไขได้โดยกำหนดช่วง Hysteresis เพื่อลดการเปลี่ยนสถานะที่เกิดขึ้น แต่ก็จะผลเสียที่ตามคือค่าความคลาดเคลื่อนของระบบก็จะเพิ่มขึ้น (เนื่องจากจะส่งผลให้เอาต์พุตของระบบแกว่งได้ถึงค่า Hysteresis ที่ตั้งไว้) ในงานวิจัยนี้มีการควบคุมการเลี้ยวเข้าหาทิศทางการเคลื่อนที่ ผู้วิจัยเลือกใช้การควบคุมแบบ ON-OFF เพราะการควบคุมให้ ค่า

ทิศทางเข้าหาจุด Set Point โดยได้มีการกำหนดค่า Hysteresis ของระบบไว้ที่ ± 10 องศา จาก Set Point ดังภาพที่ 10

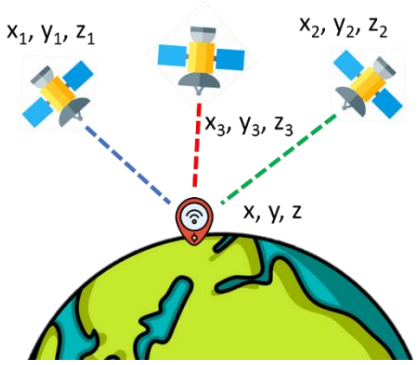


ภาพ 10 การควบคุม แบบ ON-OFF Control

จากภาพที่ 10 นั้นแสดงถึงการควบคุมการเลี้ยวของระบบให้ตำแหน่งตรงกับทิศทาง ถ้าทิศทางที่อ่านได้มีค่าสูงกว่าค่า Setpoint + Hysteresis ให้เลี้ยวซ้าย ถ้าทิศทางที่อ่านได้มีค่าต่ำกว่าค่า Setpoint - Hysteresis ให้เลี้ยวขวา ซึ่งถ้าอยู่ในช่วงที่กำหนดให้เคลื่อนที่ตรงไป

4. การติดตามตำแหน่ง [25,26]

ระบบ GPS (Global Positioning System) เป็นระบบระบุพิกัดบนพื้นผิวโลกที่อาศัยหลักการพื้นฐานในการวัดระยะทางจากตำแหน่งดาวเทียมอ้างอิงไม่น้อยกว่าสามดวง มายังตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการระบุตำแหน่ง โดยระยะทางดังกล่าวนี้สามารถคำนวณจากเวลาที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใช้ในการเคลื่อนที่จากดาวเทียมส่งมายังเครื่องรับคูณกับความเร็วของคลื่นซึ่งสามารถเขียนได้เป็น $d_i = t_i c$ แสดงดังภาพ 11



ภาพ 11 การรับสัญญาณ GPS จากดาวเทียม

เมื่อ d_i คือระยะห่างของดาวเทียมดวงที่ i กับเครื่องรับ t_i คือเวลาที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ และ c คือความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจากดาวเทียมดวงที่ i กับเครื่องรับสามารถแสดง ด้วยพิกัด x, y, z ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} d_i &= \sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2+(z-z_i)^2} \\ d_i^2 &= (x-x_i)^2+(y-y_i)^2+(z-z_i)^2 \end{aligned} \quad (1)$$

โดยที่ x_i, y_i, z_i คือพิกัดของดาวเทียมดวงที่ i ที่ทราบค่าจากการที่ดาวเทียมส่งตำแหน่งมาให้เครื่องรับ ดังนั้นถ้าเครื่องรับได้รับตำแหน่งของดาวเทียมทั้งสามดวง พร้อมกับระยะห่าง d_1, d_2, d_3 ที่คำนวณได้จากเวลา t_1, t_2, t_3 ที่คลื่นใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมทั้งสามดวงมายังเครื่องรับจากสมการที่ 1 จะได้ผลลัพธ์เป็น

$$\begin{aligned} d_1^2 &= (x-x_1)^2+(y-y_1)^2+(z-z_1)^2 \\ d_2^2 &= (x-x_2)^2+(y-y_2)^2+(z-z_2)^2 \\ d_3^2 &= (x-x_3)^2+(y-y_3)^2+(z-z_3)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

จากระยะทางทั้งสามและพิกัดของดาวเทียมทั้งสามที่ทราบค่า ทำให้สามารถแก้สมการหาค่าพิกัดตำแหน่งของเครื่องรับได้ โดยพิกัดตำแหน่งจะใช้ระบบละติจูดและลองจิจูด

5. การประเมินประสิทธิภาพการรับสัญญาณ GPS [27,28,29]

ในการประเมินประสิทธิภาพการรับสัญญาณ GPS ตามหลักการของระบบนำทางด้วยดาวเทียม (Global Navigation Satellite System : GNSS) เพื่อดูความแม่นยำและความถูกต้องข้อมูลที่ได้จากโมดูล GPS มีวิธีการที่แตกต่างกันและได้รับความนิยมอยู่ 2 แบบ คือ CEP และ 2DRMS เป็นค่าที่แสดงถึงความแม่นยำ (Accuracy) ในแบบ 2 มิติ ดังนี้

5.1 CEP (Circular Error Probable) [30] ถูกนิยามเป็นรัศมีของวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ตำแหน่งเป้าหมาย โดยที่จุดข้อมูล 50% ของจำนวนข้อมูลทั้งหมดจะอยู่ภายในวงกลมดังกล่าวนี้และอีก 50% ที่เหลือจะอยู่ภายนอกวงกลม ดังภาพที่ 12 ค่า CEP นี้สามารถหาได้ดังสมการที่ 3

$$CEP = 0.59\left(\sigma_x + \sigma_y\right) \quad (3)$$

โดยตัวแปรถูกนิยามได้ดังนี้

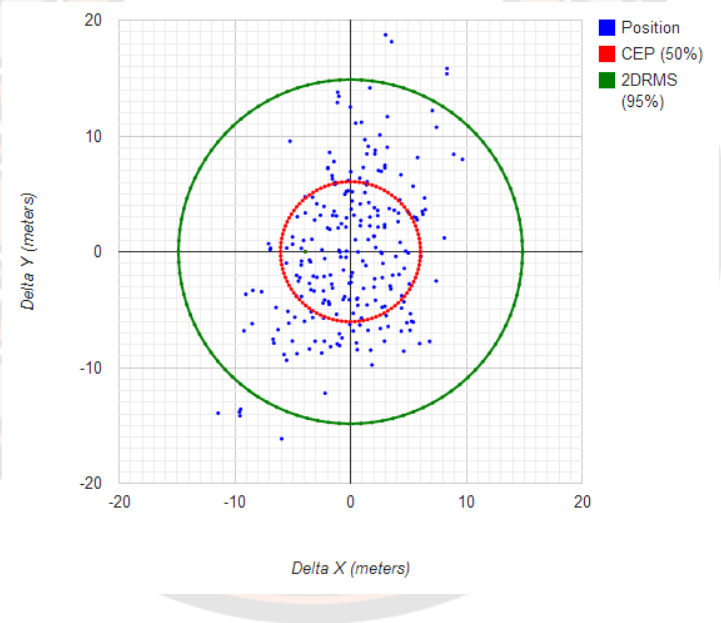
CEP คือ ค่าความผิดพลาดวงกลม

σ_x คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทิศตะวันออก

σ_y คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทิศเหนือ

5.2 2DRMS (Twice the Distance Root Mean Square) [31] คือ ค่าระยะทางเฉลี่ยกำลังสองสองเท่าที่จะมีข้อมูลที่รับประมาณ 95% – 98% ค่า 2DRMS นี้สามารถหาได้ดังสมการที่ 4 จากภาพ 12 ได้แสดงให้เห็นวงกลมสีเขียว 2DRMS เทียบกับวงกลมสีแดงของ CEP

ซึ่งค่า 2DRMS และ ค่า CEP นั้นมีค่าน้อยมากเท่าไร ความถูกต้องของข้อมูลยิ่งมาก



ภาพ 12 Scatter Plot จากข้อมูลเพื่อหาค่ารัศมีของวงกลม (2DRMS)

$$2DRMS = 2\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \tag{4}$$

โดยตัวแปรถูกนิยามได้ดังนี้

2DRMS คือ ค่าระยะทางเฉลี่ยกำลังสองสองเท่า

σ_x คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทิศตะวันออก

σ_y คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทิศเหนือ

โดยการหาค่า CEP และ 2DRMS จะต้องนำค่าตำแหน่งที่ได้จากการเก็บผลการทดลอง มาคำนวณเพื่อหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานของทิศตะวันออกและทิศเหนือ ดังสมการที่ 5 และ 6 ซึ่งค่าละติจูดจะใช้ในการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานของทิศตะวันออก ส่วนค่าลองจิจูดจะใช้ในการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานของทิศเหนือ

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\Sigma\left(x_i - \bar{x}\right)^2}{\left(n-1\right)}} \tag{5}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\Sigma\left(y_i - \bar{y}\right)^2}{\left(n-1\right)}} \tag{6}$$

โดยตัวแปรถูกนิยามได้ดังนี้

σ_x คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทิศตะวันออก

σ_y คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทิศเหนือ

x_i คือ ค่าข้อมูลตำแหน่งละติจูด ตัวที่ i (โดยที่ i = 1, 2, 3, ..., n)

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าละติจูด

y_i คือ ค่าข้อมูลตำแหน่งลองจิจูด ตัวที่ i (โดยที่ i = 1, 2, 3, ..., n)

$\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของลองจิจูด

n คือ จำนวนของข้อมูล

6. ระบบพิกัดแบบ Universal Transverse Mercator [32,33]

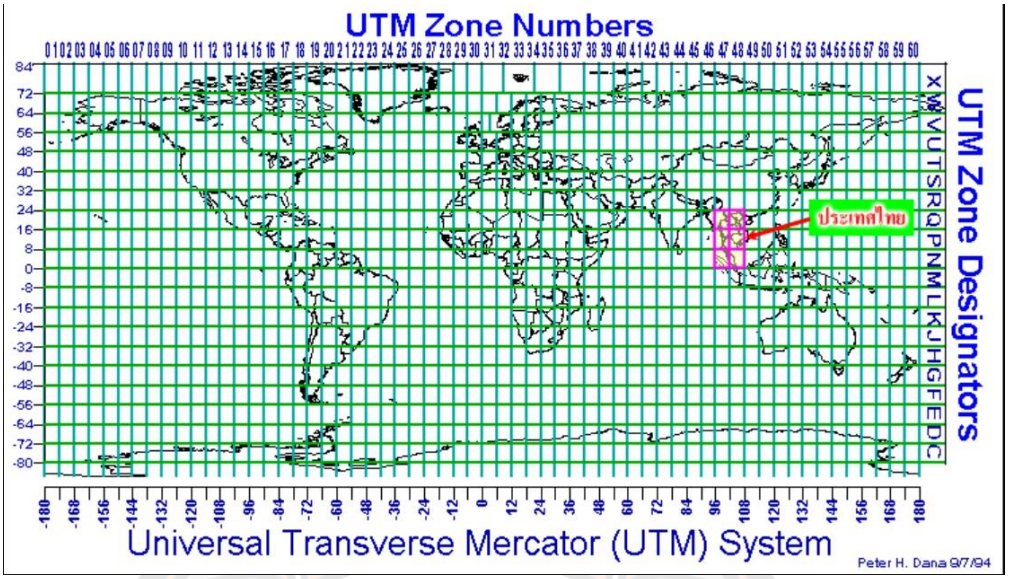
พิกัดกริด UTM เป็นระบบตารางกริดที่ใช้ช่วยในการกำหนดตำแหน่งและใช้อ้างอิง ในการบอกตำแหน่ง ที่นิยมใช้กับแผนที่ในกิจการทหารของประเทศต่าง ๆ เกือบทั่วโลกในปัจจุบัน เพราะเป็นระบบตารางกริดที่มีขนาดรูปร่างเท่ากันทุกตาราง และมีวิธีการกำหนดบอกค่าพิกัดที่ง่ายและถูกต้องเป็นระบบกริดที่นำเอาเส้นโครงแผนที่แบบ Universal Transverse Mercator Projection ของ Gauss Krugger มาใช้ดัดแปลงการถ่ายทอดรายละเอียดของพื้นผิวโลกให้รูปทรงกระบอก Mercator Projection อยู่ในตำแหน่ง Mercator Projection (แกนของรูปทรงกระบอกจะทับกับแนวเส้นอิเควเตอร์ และตั้งฉากกับแนวแกนของขั้วโลก) ประเทศไทยเราได้นำเอาเส้นโครงแผนที่แบบ UTM นี้มาใช้กับการทำแผนที่กิจการทหารภายในประเทศจากรูปถ่ายทางอากาศในปี 1953 ร่วมกับ

สหรัฐอเมริกา เป็นแผนที่มาตราส่วน 1 ต่อ 50,000 ชุด 708 และ ปรับปรุงใหม่เป็นชุด L7017 ที่ใช้ในปัจจุบัน

แผนที่ระบบพิกัดกริด ที่ใช้เส้นโครงแผนที่แบบ UTM เป็นระบบเส้นโครงชนิดหนึ่งที่ใช้ผิวรูปทรงกระบอกเป็นผิวแสดงเส้นเมริเดียน (หรือเส้นลองจิจูด) และเส้นละติจูดของโลก โดยใช้ทรงกระบอกตัดโลกระหว่างละติจูด 84 องศาเหนือ และ 80 องศาใต้ในลักษณะแกนรูปทรงกระบอกทำมุมกับแกนโลก 90 องศารอบโลก แบ่งออกเป็น 60 โซน โซนละ 6 องศา โซนที่ 1 อยู่ระหว่าง 180 องศา กับ 174 องศาตะวันตก และมีลองจิจูด 177 องศาตะวันตก เป็นเมริเดียนย่านกลาง (Central Meridian) มีเลขกำกับแต่ละโซนจาก 1 ถึง 60 โดยนับจากซ้ายไปทางขวาระหว่างละติจูด 84 องศาเหนือ 80 องศาใต้แบ่งออกเป็น 2 ช่อง ช่องละ 8 องศา ยกเว้นช่องสุดท้ายเป็น 12 องศา โดยเริ่มนับตั้งแต่ละติจูด 80 องศาใต้ ขึ้นไปทางเหนือให้ช่องแรกเป็นอักษร C และช่องสุดท้ายเป็นอักษร X (ยกเว้น 1 และ O) จากการแบ่งตามที่กล่าวแล้วจะเห็นพื้นที่ในเขตลองจิจูด 180 องศา ตะวันตก ถึง 180 องศา ตะวันออกและละติจูด 80 องศาใต้ ถึง 84 องศาเหนือ จะถูกแบ่งออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 1,200 รูป แต่ละรูปมีขนาดกว้างยาว 6 องศา x 8 องศา จำนวน 1,140 รูป และกว้างยาว 6 องศา x 12 องศา จำนวน 60 รูป รูปสี่เหลี่ยมนี้เรียกว่า Grid Zone Designation (GZD) การเรียกชื่อ Grid Zone Designation ประเทศไทยมีพื้นที่อยู่ระหว่างละติจูด 5 องศา 30 ลิปดา เหนือ ถึง 20 องศา 30 ลิปดาเหนือ และลองจิจูดประมาณ 97 องศา 30 ลิปดา ตะวันออก ถึง 105 องศา 30 ลิปดา ตะวันออก ดังนั้น ประเทศไทยจึงตกอยู่ใน GZD 4TN 47P 47Q 4SN 48P และ 48Q การอ่านค่าพิกัดกริดเพื่อให้พิกัดค่ากริดในโซนหนึ่งๆ มีค่าเป็นบวกเสมอ จึงกำหนดให้มีศูนย์สมมุติขึ้น 2 แห่ง ดังนี้

1) ในบริเวณที่อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร เส้นศูนย์สูตรมีระยะห่างจากศูนย์สมมุติเท่ากับ 0 เมตร และเส้นเมริเดียนย่านกลางห่างจากศูนย์สมมุติ 500,000 เมตร ทางตะวันออก

2) ในบริเวณที่อยู่ใต้เส้นศูนย์สูตร เส้นศูนย์สูตรมีระยะห่างจากศูนย์สมมุติไปทางเหนือ 10,000,000 เมตร และเมริเดียนย่านกลางห่างจากศูนย์สมมุติ 500,000 เมตร ทางตะวันออก



ภาพ 13 ระบบพิกัดกริดแบบ UTM

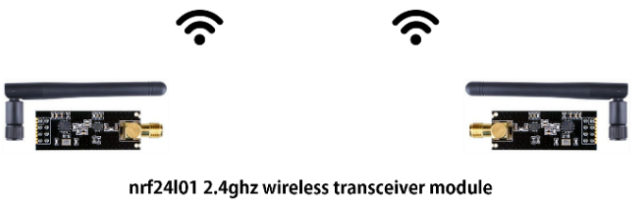
ที่มา : https://www.google.com/search?q=utm+coordinates

ซึ่งระบบพิกัดกริดแบบ UTM นี้จะถูกนำมาใช้ในการอธิบายการแปลงตำแหน่งจากการเก็บผลข้อมูลการรับสัญญาณด้วยโมดูล GPS และนำตำแหน่ง ละติจูด ลองจิจูด มาแปลงเป็นพิกัด UTM ให้อยู่ในแนวราบก่อนจะใช้ในการคำนวณหาค่า CEP และ 2DRMS ด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนและความแม่นยำของการรับค่าตำแหน่งจากดาวเทียม

7. อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

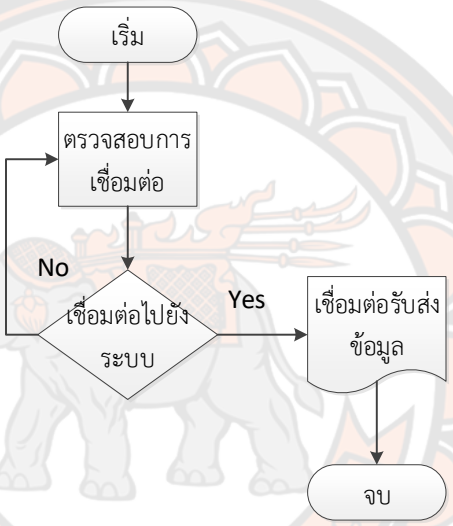
7.1 โมดูลสื่อสารไร้สาย nrf24l01 2.4 GHz Wireless Transceiver [34]

ในการรับส่งข้อมูลระหว่างตัวกังหันล้อตักน้ำและส่วนรีโมทควบคุมนั้นจะเป็นการส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่านโมดูลสื่อสารไร้สาย nrf24l01 2.4 GHz Wireless Transceiver ดังแสดงในภาพ 14



ภาพ 14 nrf24l01 2.4 GHz wireless transceiver module ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลไร้สาย

จากภาพ 14 ระบบรับส่งข้อมูลนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนกังหันล้อตักน้ำและส่วนรีโมทควบคุม โดยรีโมทควบคุมจะส่งข้อมูลจากผู้ใช้งานไปควบคุมกังหันเช่น การบังคับให้มีการเคลื่อนที่ กำหนดตำแหน่งการทำงาน สั่งให้ระบบเคลื่อนที่ไปยังจุดที่กำหนดอัตโนมัติ ในส่วนของเครื่องเติมอากาศนั้นจะทำการรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากโมดูลเช่น ค่าละติจูด ลองจิจูด เข็มทิศ ข้อมูลจากการคำนวณทิศทางระหว่างตำแหน่ง ระยะห่างจากจุดที่ กำหนดไว้ให้ระบบทำงาน ส่งค่าทั้งหมดนี้มายังรีโมทควบคุมให้ผู้ใช้งานได้ทราบถึงข้อมูลดังกล่าว โดยระบบมีหลักการทำงาน ดังภาพ 15



ภาพ 15 แผนผังแสดงกระบวณการทำงานของการรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย

โดยในงานวิจัยนี้จะมีการใช้โมดูลนี้ในการรับส่งข้อมูลต่างๆระหว่างกับแบบ Point to Point Communication โดยมีการสื่อสารโดยตรงระหว่างอุปกรณ์ 2 อุปกรณ์ คือ การส่งข้อมูลระหว่างเครื่องเติมอากาศแบบล้อตักน้ำ และรีโมทควบคุมจากผู้ใช้งาน

7.2. โมดูล GPS Ublox NEO-6M [35]

GPS Module เป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์รับสัญญาณของฮาร์ดแวร์ ที่สามารถเพิ่มเข้ากับชิ้นส่วนอื่นๆของฮาร์ดแวร์ได้ เช่น ติดเข้ากับส่วนคอนโซลหน้ารถ Raspberry PI Arduino หรือแม้แต่กระทั่งคอมพิวเตอร์ ดังภาพ 16 เพื่อให้สามารถรับข้อมูลจากดาวเทียม GPS ได้ ตัวอย่าง GPS Ublox NEO-6M คือ โมดูล GPS ที่ใช้ระบุตำแหน่งบนโลกโดยจะรับค่าจากดาวเทียมมาแสดงผลอย่างเช่น วันที่/เวลา ละติจูด ลองจิจูด ทิศทางการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมาย ความเร็วในการเคลื่อนที่ เป็นต้น

ภาพ 16 GPS Ublox NEO-6M Module

ที่มา : https://www.google.com/search?q=GPS+NEO-6M+module

จากภาพที่ 16 ตัวโมดูลจะมีจุดช่องการต่อเสาอากาศเพื่อจะสามารถให้โมดูลรับสัญญาณได้ดีขึ้น โดยเสาอากาศที่นำมาใช้งานมี 2 ชนิด ดังนี้

1. เสาอากาศแบบ Passive คือ เสาอากาศที่ไม่มีวงจรภายใน เป็นสายอากาศที่ทำด้วยเซรามิค และโลหะ ข้อดีของสายอากาศชนิดนี้ คือ ไม่ต้องใช้ไฟเลี้ยง

2. เสาอากาศแบบ Active คือ เสาอากาศที่มีวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำอยู่ด้านในเรียกว่า Low Noise Amplifier: LNA เสาอากาศแบบนี้จำเป็นต้องใช้ไฟเลี้ยง หากไม่ต่อไฟเลี้ยง วงจร LNA จะไม่ทำงานส่งผลให้ สายอากาศรับสัญญาณไม่ได้ ข้อดี คือ รับสัญญาณ GPS และ ขยายสัญญาณให้ชัดเจน ซึ่งส่งผลให้ GPS รับสัญญาณ ได้ดีขึ้นและเร็วขึ้น

โดยโมดูลจะมีการเชื่อมต่อใช้งานกับ Arduino ด้วย UART RS232 ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (baud rate) 9600 bps ในการรับชุดข้อมูลต่างๆมาประมวลผล

7.3. โมดูล Compass Digital [36]

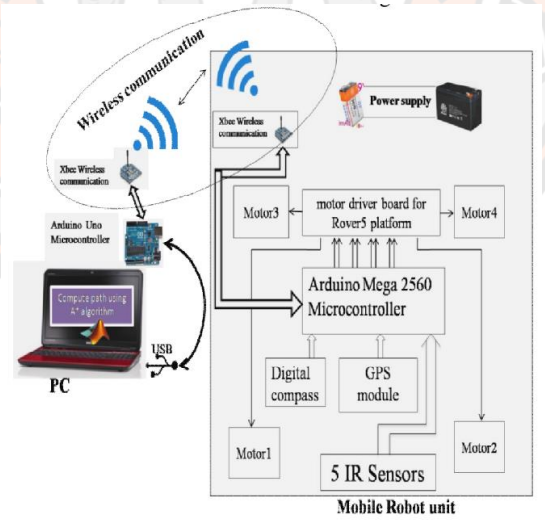
โมดูลเข็มทิศดิจิทัล ออกแบบมาเพื่อช่วยในการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของระบบหุ่นยนต์อัตโนมัติ และนำมาใช้ในการสร้างเครื่องมือวัดและตรวจสอบทิศระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยการนำมาต่อเข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นใช้การติดต่อสื่อสารแบบ UART RS232 ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (baud rate) 9600 bps ผู้วิจัยได้นำมาใช้ในการนำทางในการเคลื่อนที่ของเครื่องเติมอากาศเพื่อไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้อย่างถูกต้อง ในภาพที่ 17 บนตัวโมดูลจะมีสัญลักษณ์ลูกศรคือเพื่ออ้างอิงการอ่านทิศ ซึ่งการใช้งานจะทำการสอบเทียบก่อนเสมอโดยจะหันลูกศรไปทิศเหนือแล้วทำการอ่านค่าเทียบกับทิศของเข็มทิศจริง ถ้าสอบเทียบเสร็จเมื่อหันลูกศรไปทางทิศเหนือจะต้องได้ค่าเท่ากับ 0 องศา ทิศตะวันออก เท่ากับ 90 ทิศใต้ เท่ากับ 180 ทิศตะวันตก เท่ากับ 270 ตามลำดับ

ภาพ 17 Compass Digital module

ที่มา : https://www.google.com/search?q=Compass+Digital+module

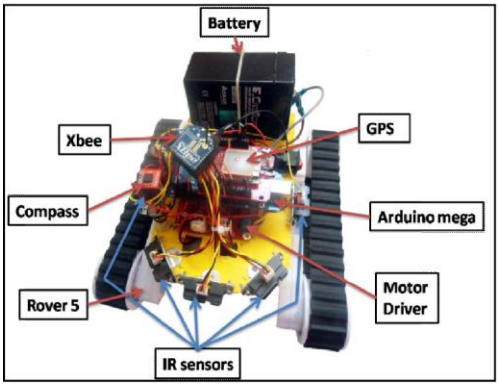
8. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2015 Mohammed Z. Al-Faiz and Ghufran E. Mahameda [10] ได้นำเสนอหุ่นยนต์ที่สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางจากการอ่านค่าระยะห่างระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขว้างด้วยโมดูลวัดระยะทางอินฟราเรดและค้นหาเส้นทางด้วยตัวเองจากแต่ละจุดบนเส้นทางด้วย GPS และเข็มทิศดิจิทัล โดยตัวหุ่นยนต์สามารถติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางโมดูลไร้สาย Xbee ดังแสดงในภาพ 18 ซึ่งมีการใช้งาน GPS ร่วมกันกับเข็มทิศดิจิตอลเพื่อหามุม Heading ให้กับหุ่นยนต์ ลักษณะรูปร่างของหุ่นยนต์เป็นดังภาพ 19



ภาพ 18 บล็อกไดอะแกรมการต่อใช้งานของหุ่นยนต์ขับเคลื่อนอัตโนมัติที่ใช้ GPS

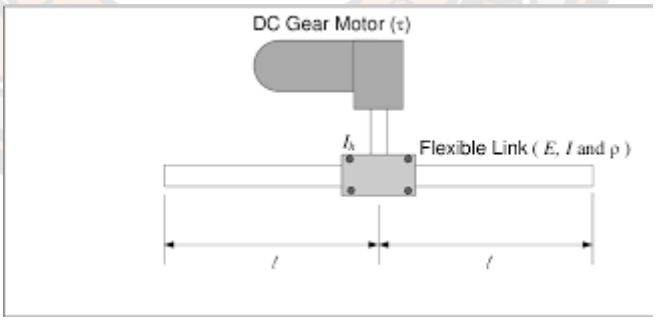
ที่มา : Mohammed Z. Al-Faiz and Ghufran E. Mahameda, 2015 [10]



ภาพ 19 หุ่นยนต์ขับเคลื่อนอัตโนมัติที่ใช้ GPS

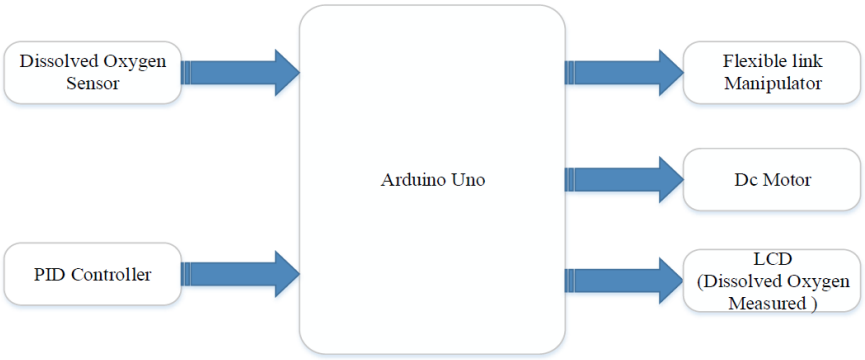
ที่มา : Mohammed Z. Al-Faiz and Ghufran E. Mahameda**,** 2015 [10]

ในปี 2018 Fatin Farhana Anuar และคณะ ได้นำเสนอเครื่องเติมอากาศในน้ำแบบ สายตีน้ำ (Flexible Link Aerator) ดังแสดงในรูป 20 ซึ่งระบบดังกล่าวได้ใช้บอร์ด Arduino เชื่อมต่อกับเซนเซอร์วัดออกซิเจนในน้ำ หน้าจอ LCD และมอเตอร์ที่มีสายตีน้ำยึดติดอยู่ที่แกนหมุน ดังแสดงในภาพ 21 ถ้าค่าออกซิเจนในน้ำน้อยกว่า 18 %O_2 มอเตอร์ก็จะทำงานซึ่งทำให้เกิดการตีน้ำ แต่ถ้าค่าออกซิเจนในน้ำมากกว่า 20%O_2 มอเตอร์ก็จะหยุดทำงาน ซึ่งการควบคุมให้มอเตอร์ทำงานจะอาศัยอัลกอริทึม PID



ภาพ 20 รูปแบบของ Flexible Link Aerator

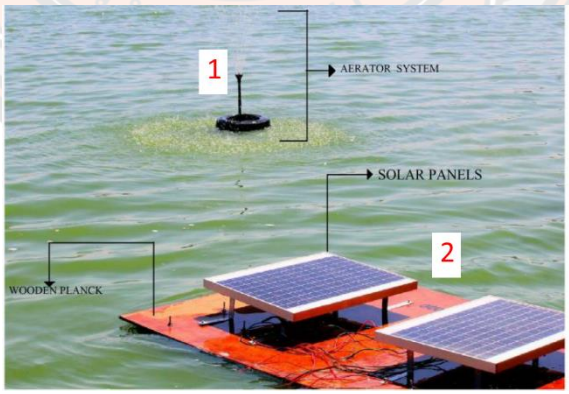
ที่มา : Fatin Farhana Anuar **,** 2018 [1]



ภาพ 21 การเชื่อมต่อการทำงานของเครื่องเติมอากาศแบบ Flexible Link Aerator

ที่มา : Fatin Farhana Anuar , 2018 [1]

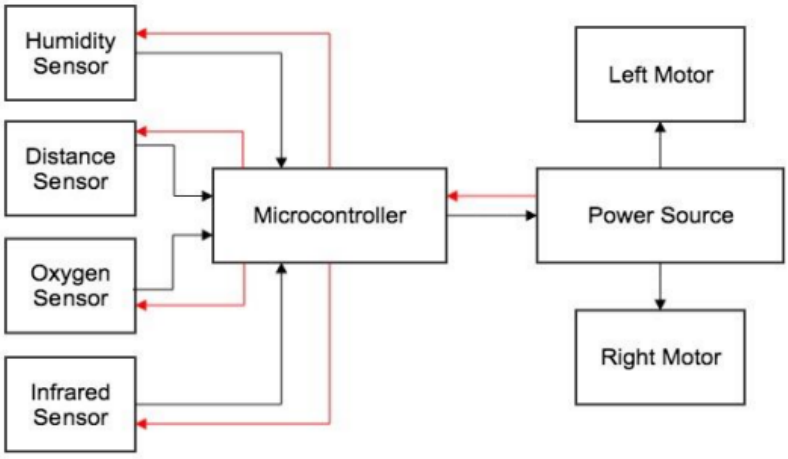
ในปี 2017 Muralidhar K And Poornima G R ได้นำเสนอเครื่องเติมอากาศที่มีการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ 1. ตัวเติมอากาศที่ทำจากปั๊มน้ำพุที่ติดอยู่กับห่วงยาง 2. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนฐานที่ทำจากวัสดุที่ลอยน้ำได้ ซึ่งแสดงให้เห็นดังภาพ 22 โดยตัวเติมอากาศจะผูกโยงกับฐานเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ไปด้วยกันได้ แต่จะห่างกันประมาณ 2-3 เมตร เพื่อป้องกันน้ำตกใส่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพของแผงมีค่าลดลง และที่ตัวเติมอากาศจะมีมอเตอร์ใต้น้ำ 2 ตัวเพื่อทำให้ระบบเคลื่อนที่ได้เมื่อได้รับพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพ 22 การออกแบบการทำงานเครื่องเติมอากาศแบบพ่นน้ำ

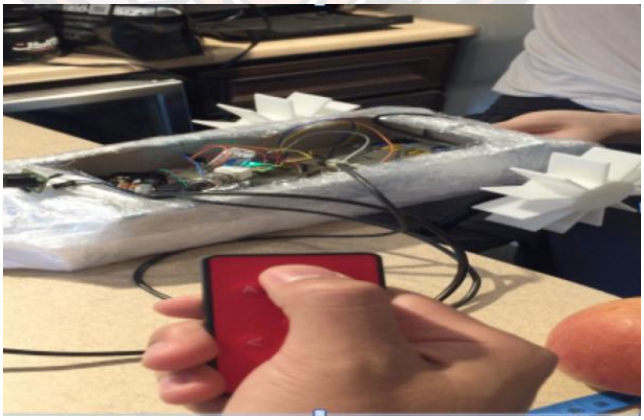
ที่มา : Muralidhar K, and Poornima G R , 2017 [2]

ในปี 2015 Chuan Zhan And Mengcen Li งานวิจัยได้คิดค้นและทดลองสร้างเครื่องเติมอากาศแบบจำลองในการขับเคลื่อนตัวเองไปรอบๆบ่อหรือสระที่ทำการเติมอากาศ ดังภาพ 24 โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ในการประมวลผล โดยตัวเครื่องสามารถวัดอุณหภูมิ ความชื้น ภายในอากาศ ควบคุมการทำงานของระบบเครื่องแบบไร้สายด้วยรีโมทอินฟราเรด ในส่วนที่ขับเคลื่อนไปยังรอบๆบ่อนั้นใช้การประมวลผลจากเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคในการวัดระยะทางเมื่อตรวจสอบค่าระยะต่ำกว่าที่กำหนด ตัวเครื่องจะเลี้ยวไปยังทางที่กำหนด ในภาพ 23 แสดงให้เห็นแผนผังส่วนประกอบต่างๆของเครื่องเติมอากาศ



ภาพ 23 แผนผังส่วนประกอบต่างๆของเครื่องเติมอากาศแบบเคลื่อนที่อัตโนมัติ

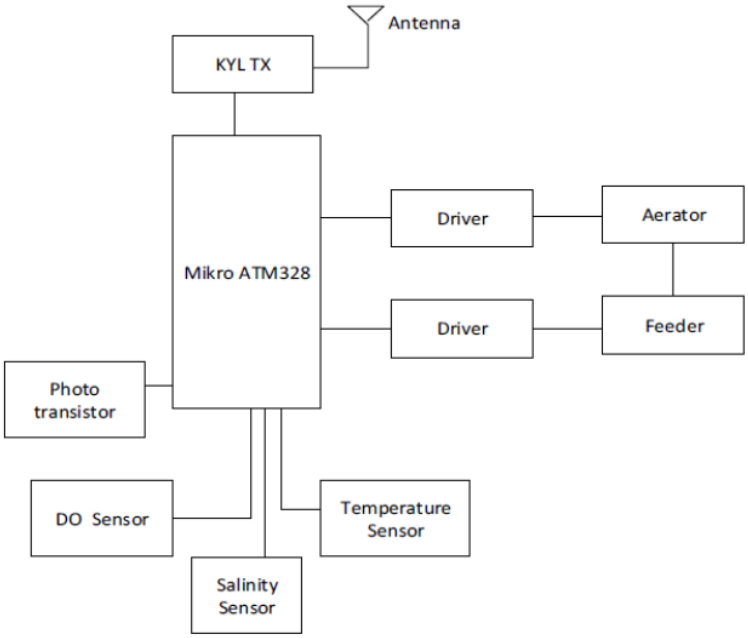
ที่มา : Chuan Zhan and Mengcen Li, 2015 [3]



ภาพ 24 เครื่องเติมอากาศแบบเคลื่อนที่อัตโนมัติ

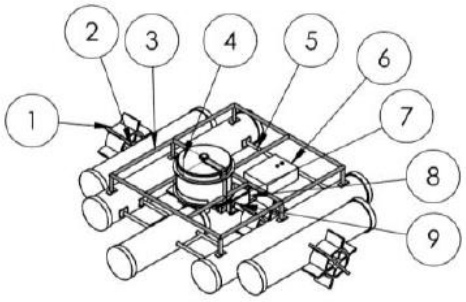
ที่มา : Chuan Zhan and Mengcen Li, 2015 [3]

ในปี 2018 Rizki Dian Rahayani And Arif Gunawan ได้นำเสอการออกแบบระบบเครื่องให้อาหารแก่กุ้งตามอายุกุ้งพร้อมกับเครื่องเติมอากาศแบบอัตโนมัติ โดยมีส่วนประกอบดังแผนผังในภาพ 25 เซนเซอร์ที่ติดอยู่กับเครื่องเติมอากาศได้แก่ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนในน้ำ เซนเซอร์วัดความเค็ม และเซนเซอร์แสง ซึ่งค่าของเซนเซอร์เหล่านี้จะถูกแสดงบนหน้าจอ LCD ที่อยู่ขอบบ่อผ่านระบบไร้สาย โดยรูปร่างของเครื่องให้อาหารและเติมอากาศมีลักษณะเป็นดังภาพ 26 ตัวระบบได้ใช้พลังจากแผงโซลาเซลล์แบบสองแกน ดังแสดงให้เห็นในภาพ 27 ที่สามารถติดตามแสงของดวงอาทิตย์ได้ โดยมีการเก็บพลังงานไว้ที่แบตเตอรี่ผ่านตัวชาร์จเจอร์



ภาพ 25 การออกแบบการทำงานของเครื่องเติมอากาศแบบให้อากาศกุ้งอัตโนมัติ

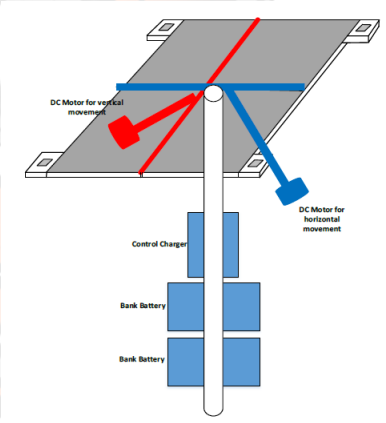
ที่มา : Rizki Dian Rahayani and Arif Gunawan, 2018 [4]



1. Wheel Aerator
2. Motor AC Aerator
3. Float
4. Feeder Bowl
5. 0.5 HP AC Motor
6. Sensor Panel
7. Feeder Servo
8. Feed Sensor
9. Timer

ภาพ 26 การออกแบบเครื่องเติมอากาศส่วนต่าง ๆ

ที่มา : Rizki Dian Rahayani and Arif Gunawan, 2018 [4]

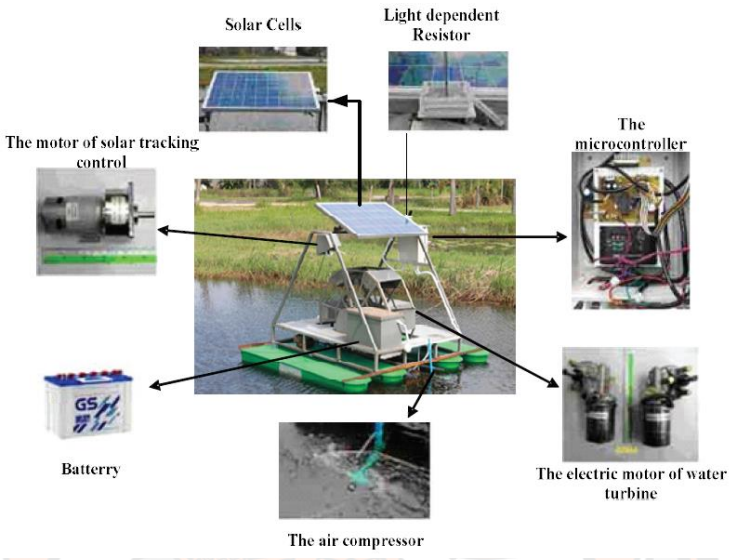


ภาพ 27 ระบบการติดตามแสงอาทิตย์แบบแกนคู่

ที่มา : Rizki Dian Rahayani and Arif Gunawan, 2018 [4]

ในปี 2016 Darunee Chaythong And Saner Sa-ad ผู้วิจัยในประเทศไทยได้ได้นำเสนอเครื่องเติมอากาศใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งออกแบบแยกกันเป็น 2 ระบบ คือ ระบบอัดอากาศใต้น้ำ และแบบตักน้ำ ตัวระบบได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมปรับเปลี่ยนการทำงานระหว่างระบบทั้งสอง ซึ่งนำไปใช้กับบ่อปลาขนาด 48 ลูกบาศก์เมตร ในระบบมีการติดตามดวงอาทิตย์

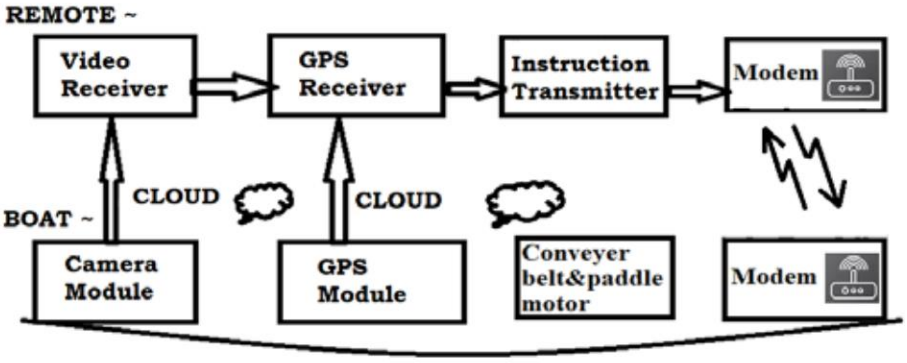
โดยใช้ LDR (Light dependent Resister) ตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ซึ่งเครื่องเติมอากาศดังกล่าวได้แสดงดังภาพ 28



ภาพ 28 เครื่องเติมอากาศแบบตักน้ำให้มีระบบการเติมอากาศแบบระบบการอัดอากาศใต้น้ำ

ที่มา : Darunee Chaythong And Saner Sa-ad, 2016 [5]

ในปี 2020 Bhaskar Banerjee [13] ได้ทำงานการวิจัยการเก็บขยะที่ลอยอยู่ในแม่น้ำด้วยหุ่นยนต์ขนาดเล็ก โดยตัวเรือมีล้อใบพาย 2 อันอยู่ด้านข้างเรือ ซึ่งจะช่วยให้เรือเคลื่อนที่ไปในน้ำได้ และยังมีสายพานลำเลียง ซึ่งทำหน้าที่ช้อนเก็บขยะจากน้ำ ดังภาพที่ 30 ในตัวเรือประกอบด้วยโมดูล GPS เพื่อใช้ติดตามเรือได้จาก Google Map และมีกล้องทำหน้าที่ถ่ายภาพสภาพแวดล้อมโดยรอบตัวเรือ ดังแผนผังในภาพที่ 29 ตัวกล้องสามารถหมุนได้เนื่องจากติดตั้งอยู่กลับเซอร์โวมอเตอร์ พลังงานที่ใช้กับเรือได้จากเพาเวอร์แบงก์



ภาพ 29 กระบวณการทำงานของหุ่นยนต์เก็บขยะ

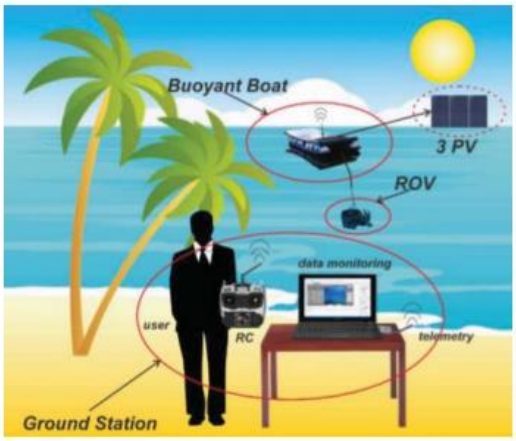
ที่มา : Bhaskar Banerjee, 2020 [13]

ภาพ 30 ภาพของหุ่นยนต์เก็บขยะภายในน้ำ

ที่มา : Bhaskar Banerjee, 2020 [13]

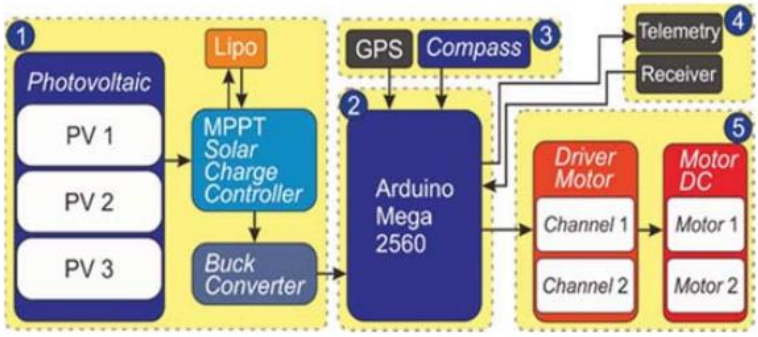
ในปี 2018 Ronny Mardiyanto [14] ได้ออกแบบการนำทางให้กับเรือที่ได้ติดตั้งยานพาหนะใต้น้ำ (ROV) โดยตัวเรือสามารถควบคุมได้จากระยะไกลจากภาคพื้นดิน และใช้พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ชาร์จให้กับแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบ ดังภาพ 31 ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาตำแหน่งของเรือให้ลอยอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดในขณะที่ ROV ทำงานอยู่ใต้น้ำ ลักษณะการทำงานมีอยู่สามโหมด 1. โหมดควบคุมด้วยมือ 2. โหมดเข้าหาตำแหน่งอัตโนมัติ และ 3. โหมดรักษาตำแหน่ง โดยที่โหมดเข้าหาตำแหน่งอัตโนมัติและโหมดรักษาตำแหน่งจะใช้ GPS ในการวัดตำแหน่งจริง โหมดควบคุมด้วยมือเป็นการรับคำสั่งของผู้ใช้ผ่านรีโมทคอนโทรล โหมดเข้าหาตำแหน่งอัตโนมัติใช้สำหรับการนำทางให้เรือเคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ โหมดรักษา

ตำแหน่งใช้สำหรับรักษาตำแหน่งของเรือที่ลอยอยู่ให้อยู่ตำแหน่งเดิมในขณะที่ ROV อยู่ในน้ำ อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย บอร์ด Arduino โมดูล GPS Ublox M8N และโมดูลเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ รุ่น HMC5883L ดังบล็อกไดอะแกรมภาพ 32 ระบบที่นำเสนอได้ถูกนำไปทดสอบในทะเลสาบของสถาบันเทคโนโลยี Sepuluh Nopember ผลการทดสอบพบว่า เรือสามารถขับเคลื่อนไปได้ทุกทิศทางตามคำสั่งของผู้ใช้ผ่านโหมดควบคุมด้วยมือ และสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังตำแหน่งเป้าหมาย 3 ตำแหน่งที่กำหนดไว้ในโหมดเข้าหาตำแหน่งอัตโนมัติ ดังภาพ 33 นอกจากนี้ ในโหมดการรักษาตำแหน่ง เรือยังคงอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดโดยมีข้อผิดพลาดสูงสุด 2 เมตร



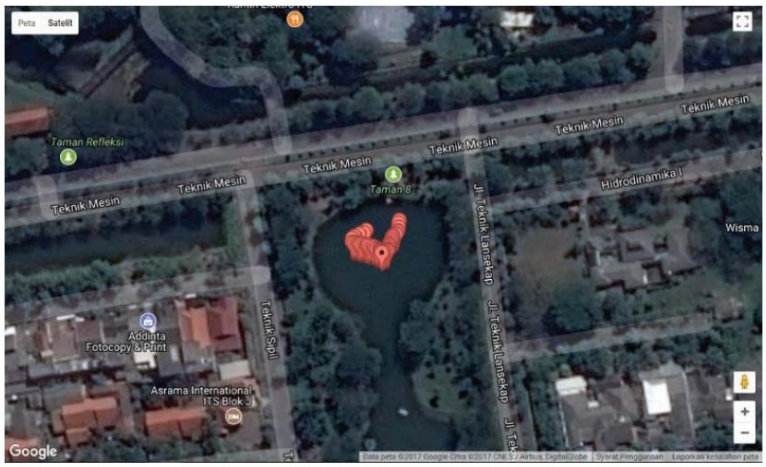
ภาพ 31 การทำงานของระบบเรือส่งข้อมูลไร้สาย

ที่มา : Ronny Mardiyanto, 2018 [14]



ภาพ 32 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ไดอะแกรม

ที่มา : Ronny Mardiyanto, 2018 [14]



ภาพ 33 การเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งอัตโนมัติทั้ง 3 ตำแหน่ง

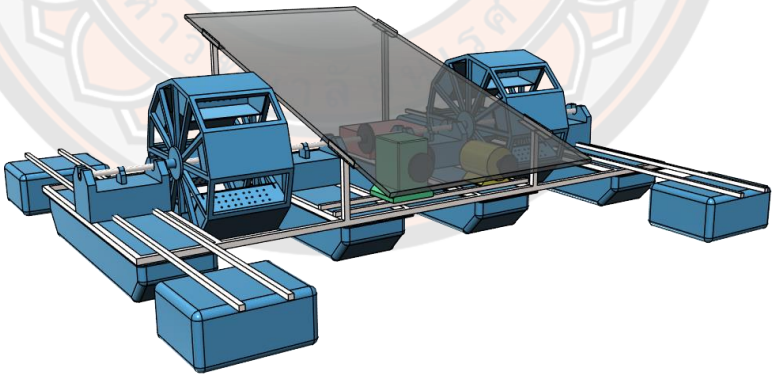
ที่มา : Ronny Mardiyanto, 2018 [14]

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

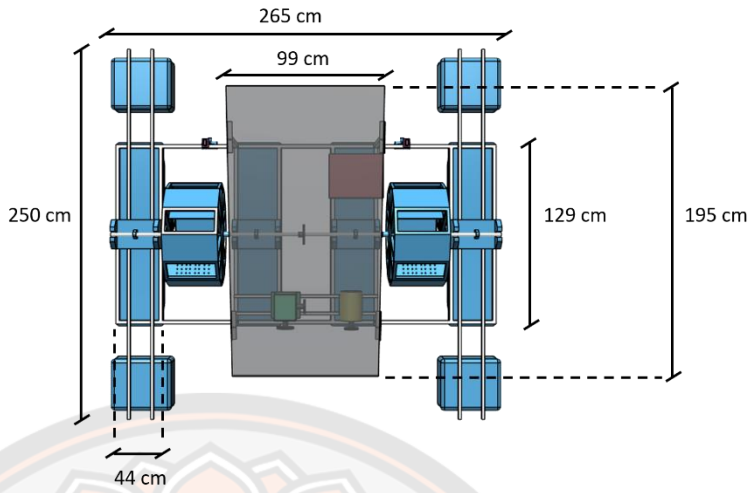
ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบควบคุมตำแหน่งของกังหันเติมอากาศแบบตักน้ำอัตโนมัติด้วยระบบจีพีเอส โดยจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก คือ การออกแบบส่วนโครงสร้างของกังหันเติมอากาศ การออกส่วนของแหล่งพลังงานที่ใช้ในระบบ ส่วนของการควบคุม และส่วนการคำนวณหาระยะทางและมุมทิศทางระหว่างตำแหน่ง ดังนี้

1. การออกแบบส่วนโครงสร้างของกังหันเติมอากาศ

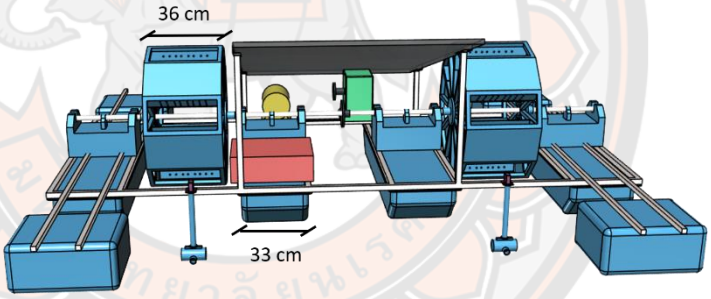
การออกแบบด้านโครงสร้างของเครื่องเติมอากาศแบบตักน้ำอัตโนมัติพร้อมติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพลาล้อตักน้ำ มอเตอร์บัสเลส เกียร์ทด ชุดปั๊มน้ำยึดแกนติดกับเซอร์โวมอเตอร์เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนระบบ และกล่องควบคุม ทางผู้วิจัยได้ออกแบบขนาดความกว้าง ความยาว ให้เหมาะสมกับการติดตั้งทุ่นลอยน้ำ ซึ่งคำนวณถึงน้ำหนักการวางอุปกรณ์ในแต่ละจุดและความสมดุลในเวลาลอยน้ำเพื่อให้ตัวกังหันไม่เกิดการพลิกคว่ำ และยังเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มุมองศา 14-18 องศา เพื่อให้ได้รับแสงแดดได้เต็มประสิทธิภาพ โดยการออกแบบนั้นผู้วิจัยได้เขียนภาพฉาย ดังในภาพ 34 35 36 และ 37



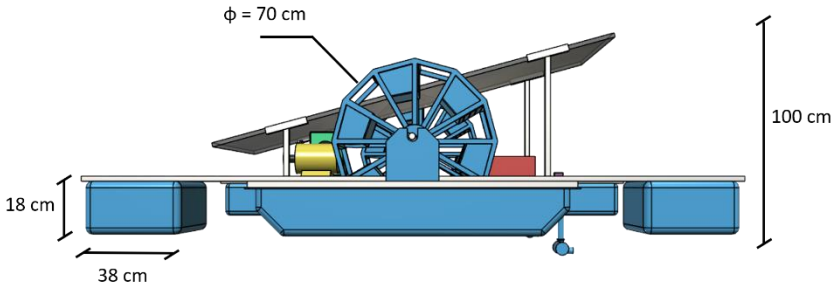
ภาพ 34 ภาพฉายการออกแบบระบบโดยรวม



ภาพ 35 ภาพฉายการออกแบบระบบโดยรวม (ด้านบน)



ภาพ 36 ภาพฉายการออกแบบระบบโดยรวม (ด้านหลัง)



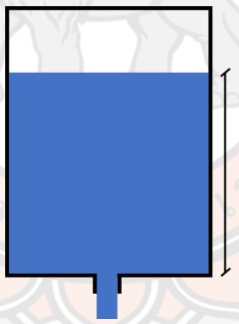
ภาพ 37 ภาพฉายการออกแบบระบบโดยรวม (ด้านข้าง)

จากการสร้างเครื่องเติมอากาศแบบล้อตักน้ำนั้นมีค่าน้ำหนักโดยรวมเท่ากับ 143 กิโลกรัม โดยแยกส่วนการชั่งน้ำหนัก ดังนี้

- ชุดโครงสร้าง 20.4 กิโลกรัม
- มอเตอร์ 3 กิโลกรัม
- ชุดเกียร์ทด โซ่ 10 กิโลกรัม
- เพลาล้อตักน้ำ 85.5 กิโลกรัม
- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 22 กิโลกรัม
- กล่องควบคุม 2 กิโลกรัม

2. คำนวณอัตราการไหลของน้ำจากซองตักน้ำ

การตักน้ำของล้อตักน้ำจะคำนวณอัตราการไหลของน้ำจากซองตักน้ำโดยน้ำจะไหลผ่านรูที่เจาะด้านใต้ ก้นซอง โดยจะให้น้ำไหลหมดซองก่อนที่ซองตักน้ำจะตั้งฉากกับผิวน้ำโดยจะให้มุมองศาในการเทน้ำอยู่ที่ 60-80 องศา เพื่อที่จะให้น้ำไหลเป็นสายได้ยาวและสัมผัสกับอากาศให้ได้มากที่สุด จากภาพที่ 38 เป็นการจำลองอัตราการไหลของน้ำจากแทงค์น้ำที่ความสูง h เมตร



ภาพ 38 จำลองอัตราการไหลของน้ำจากแทงค์น้ำที่ความสูงระดับ h

โดยอาศัยสมการความสัมพันธ์ตามทฤษฎีของเบอร์นูลี่ [37] แสดงดังสมการที่ 7

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \qquad (7)$$

จากรูปหากพิจารณาว่าตำแหน่งความสูงของทั้ง 2 ตำแหน่งไม่ได้อยู่แตกต่างกันมากจึงประมาณให้ค่าความดัน p_1 และ p_2 มีค่าเท่ากัน สมการที่ 7 จึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (8)$$

เมื่อพิจารณาให้จุดความสูง h_1 ให้เป็นจุดอ้างอิงให้เท่ากับ 0 และให้จุด h_2 มีค่าเท่ากับ h สมการความสัมพันธ์ จึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h \quad (9)$$

หากพิจารณาจุดการเติมน้ำด้านบนมีขนาดใหญ่กว่ารูด้านล่างมากส่งผลให้จุดการเติมน้ำด้านบนมีอัตราเร็วที่ต่ำมากๆ เมื่อเทียบกับด้านล่างหรือประมาณได้ว่าอัตราเร็ว v_2 เท่ากับ 0 ดังนั้นสมการที่ 9 จึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 = \rho g h \quad (10)$$

ดังนั้นจึงสามารถหาค่าอัตราเร็วของการไหลของน้ำขาออกได้เป็น

$$v_1 = \sqrt{2gh} \quad (11)$$

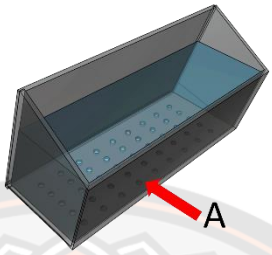
จากสมการการไหลของของไหล $Q = Avt$ จึงทำให้สามารถเขียนสมการปริมาตรน้ำที่ไหลออกโดยนำความเร็วที่หาได้จากสมการ 11 มาคูณกับพื้นที่หน้าตัดด้านขาออกและเวลาได้เป็น

$$Q = \sqrt{2gh}At \quad (12)$$

โดยตัวแปรถูกนิยามได้ดังนี้

Q	คือ ปริมาตรน้ำที่ไหลออก (m^3)	p_1	คือ ความดันจุดขาออก (Pa)
p_2	คือ ความดันจุดขาเข้า (Pa)	ρ	คือ ความหนาแน่นของน้ำ เท่ากับ 1 (g/cm^3)
v_1	คือ ความเร็วจุดขาออก (m/s)	v_2	คือ ความเร็วจุดขาเข้า (m/s)
g	คือ ความเร่งโน้มถ่วงเท่ากับ 9.81 m/s^2	h_1	คือ ความสูงจุดขาออก (m)
h_2	คือ ความสูงจุดขาเข้า (m)	t	คือ เวลา (s)

การคำนวณอัตราการไหลของซองตักน้ำ จากสมการที่ 12 เมื่อทำการพิจารณารูของซองตักน้ำที่มีรัศมี 3 mm ดังนั้น จึงมีพื้นที่หน้าตัดของรู πr^2 และมีจำนวนทั้งหมด 45 รู ดังนั้นขนาดของพื้นที่ของรูปล่อยน้ำสุทธิจึงมีค่าเท่ากับ $\pi r^2 n$ ซึ่งให้เท่ากับ A แสดงดังภาพ 39



ภาพ 39 ซองตักน้ำที่ทำการออกแบบสำหรับเครื่องเติมอากาศที่นำเสนอ

ดังนั้น ปริมาตรน้ำที่ไหลออก Q จึงมีค่าเท่ากับ

$$Q = w(\text{m}) \times l(\text{m}) \times h(\text{m}) \tag{13}$$

$$Q = 0.1 \times 0.31 \times 0.13 = 0.00403 \ m^3$$

และสามารถคำนวณหาเวลาที่น้ำจะหมดซอง t ได้จากปริมาตรหารด้วยความเร็วคูณกับพื้นที่หน้าตัด $\frac{Q}{Av}$ โดยที่ค่า v คำนวณได้จากสมการที่ 11

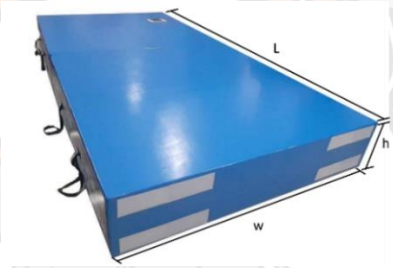
$$t = \frac{Q}{Av} = \frac{0.00403}{\pi(0.003^2)(45)\sqrt{2(9.81)(0.13)}} \tag{14}$$

$$t = \frac{0.00403}{0.002031} = 1.98 \ s$$

ผลการคำนวณของการทำงานของซองตักน้ำจะพบว่าสามารถคำนวณหาอัตราการไหลเมื่อซองตักน้ำยกขึ้นไปในระดับความสูง 0.13 เมตรได้เป็น 0.00403 ลูกบาศก์เมตรต่อ 1 ซองต่อหนึ่งรอบการตักน้ำ และคำนวณหาค่าเวลาที่น้ำจะหมดซอง 1 ซองได้เป็น 1.98 วินาทีตามลำดับ

3. การออกแบบทุ่น

ทุ่นคือส่วนที่ใช้ในการรองรับน้ำหนักโครงสร้างและระบบเครื่องเติมอากาศให้ลอยอยู่เหนือน้ำ ซึ่งทุ่นที่ใช้รับน้ำหนักนั้นสามารถรับน้ำหนักได้โดย ทุ่นปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร จะสามารถรับน้ำหนักได้ 1,000 กิโลกรัม โดยการคำนวณปริมาตร $V(m^3) = L(m) \times w(m) \times h(m)$ แสดงดังภาพที่ 40 การออกแบบเครื่องเติมอากาศนั้นจะต้องออกแบบโครงสร้างให้เสร็จก่อนโดยหาค่าน้ำหนักของโครงสร้างตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 1 ซึ่งมีค่าเป็น 143 กิโลกรัม ซึ่งทุ่นที่นำมาใช้งานสามารถรวมเป็นปริมาตรทั้งหมด 0.40986 ลูกบาศก์เมตร โดยสามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด 409 กิโลกรัม ระบบทุ่นที่พยุงชุดโครงสร้างเครื่องเติมอากาศแบบล้อตักน้ำลอยอยู่เหนือน้ำเป็นสัดส่วน 1 ใน 3 ความสูงของทุ่น จากการคำนวณน้ำหนักของโครงสร้างจะทำให้ทุ่นลอยเหนือน้ำ 6.3 เซนติเมตร



ภาพ 40 จำลองปริมาตรของทุ่นลอยน้ำ

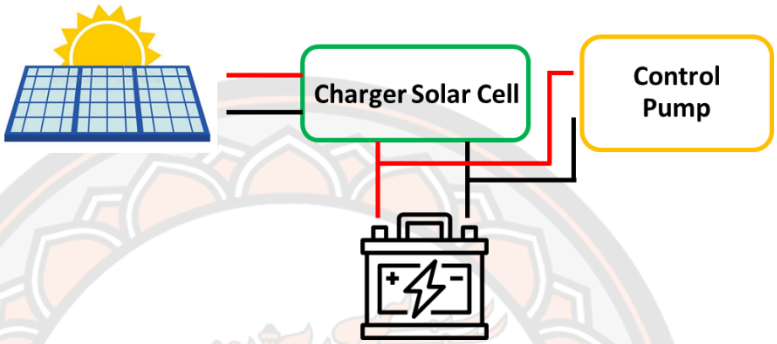
4. ออกแบบระบบเกียร์ทด

เนื่องจากการใช้มอเตอร์ขับล้อหมุนตักน้ำโดยตรงเลยนั้น ตัวมอเตอร์ไม่มีกำลังมากพอในการหมุนเพลาล้อตักน้ำ จึงจำเป็นต้องอาศัยชุดเกียร์ทดเพื่อให้ได้กำลังมากขึ้นและยังช่วยลดรอบการหมุนเพื่อทำความเร็วการหมุนให้เหมาะสมกับอัตราการไหลของน้ำในซอง โดยชุดเกียร์ทดที่ผู้วิจัยนำมาใช้นั้นมีอัตราการทดรอบอยู่ที่ 1 ต่อ 60 รอบ จะอธิบายได้ว่ามอเตอร์ (INPUT) หมุน 60 รอบต่อนาที เพลาล้อตักน้ำ (OUTPUT) หมุน 1 รอบต่อนาที การติดตั้งแสดงได้ดังภาพ 41

ภาพ 41 ชุดมอเตอร์ เกียร์ทด แล้วเพลาล้อตักน้ำ

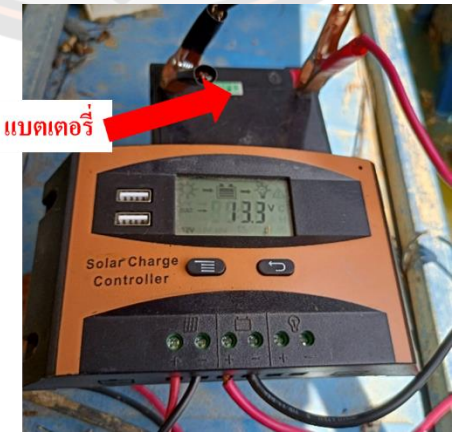
5. การออกส่วนของแหล่งพลังงานที่ใช้ในระบบ

เนื่องจากว่าถ้าการใช้พลังจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว จะเกิดปัญหาช่วงที่มีแดดอ่อน จะทำให้ระบบขับเคลื่อนทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องมีแบตเตอรี่และชุดชาร์จเจอร์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานสำรองเพื่อให้ระบบทำการเคลื่อนที่เพื่อรักษาตำแหน่งรวมถึงเคลื่อนที่เข้าจุดพักได้อย่างดี ซึ่งระบบที่ออกแบบไว้แสดงได้ดังภาพที่ 42



ภาพ 42 การต่อใช้งานของชุดกักเก็บพลังงานของระบบขับเคลื่อน

จากภาพที่ 42 ระบบประกอบไปด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชาร์จเจอร์ แบตเตอรี่ ชุดควบคุมระบบขับเคลื่อน โดยมีหลักการทำงาน คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสตรงมายังชาร์จเจอร์เพื่อประจุพลังงานไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ ชุดคอนโทรลระบบขับเคลื่อนก็จะนำพลังงานจากแบตเตอรี่ไปใช้งาน ตามลำดับ ซึ่งระบบที่ใช้งานจริงแสดงได้ดังภาพที่ 43

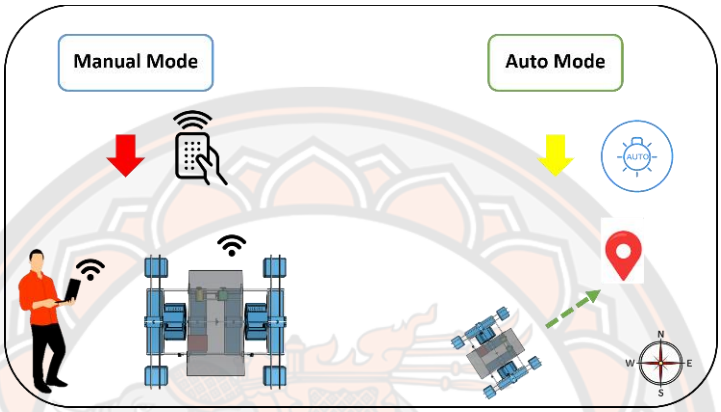


ภาพ 43 ชุดชาร์จเจอร์และแบตเตอรี่

6. ส่วนของการควบคุมและการทำงาน

6.1 อธิบายการทำงานขอโหมดการทำงาน

ส่วนของการออกแบบระบบโปรแกรมการทำงานของระบบนั้นผู้วิจัยได้ออกแบบไว้ 2 ส่วน คือ ส่วนของการทำงานแบบอัตโนมัติ และส่วนของการควบคุมด้วยรีโมท แสดงดังภาพ 44 โดยจะอธิบายในแต่ละส่วนดังนี้

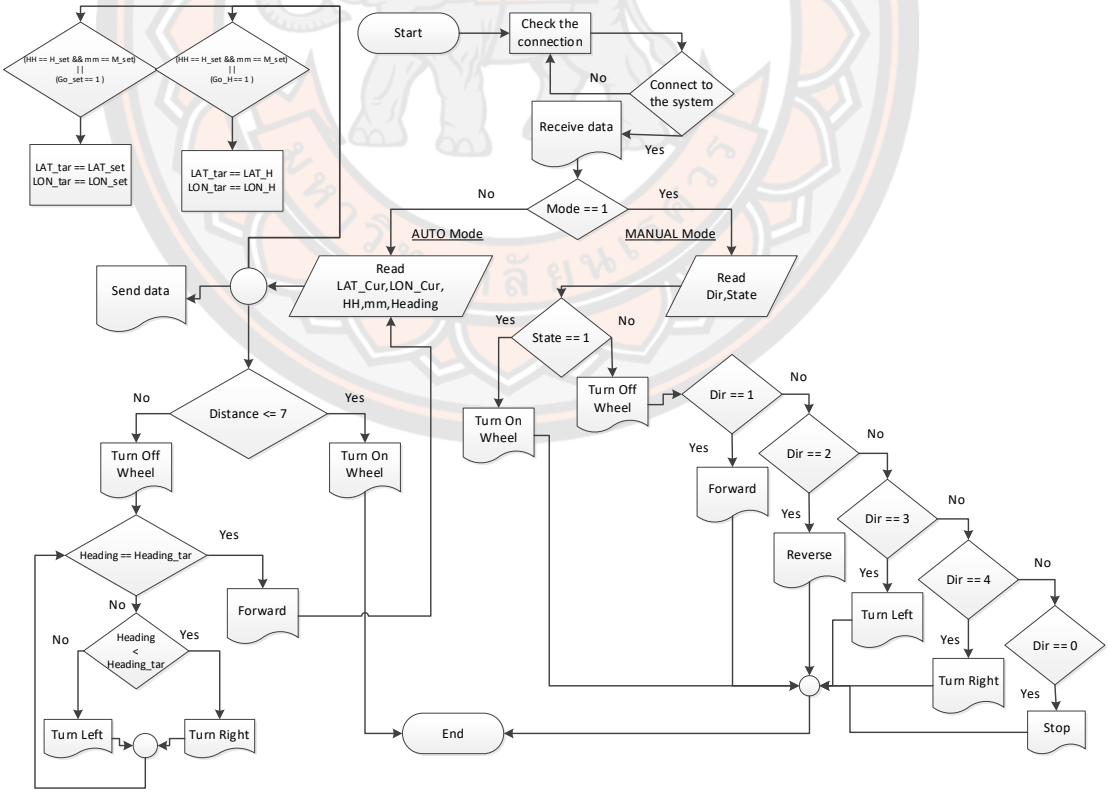


ภาพ 44 แสดงถึงโหมดการทำงาน

Manual Mode ประกอบไปด้วยวิทยุบังคับ โดยใช้โมดูลรับส่งไร้สาย nrf24l01 2.4 GHz Wireless Transceiver ทำการส่งคำสั่งบังคับการเคลื่อนที่ของกังหันเติมอากาศแบบตักน้ำ ด้วยคำสั่งปิดเปิดมอเตอร์ปั๊มซึ่งเป็นแหล่งกำลังขับเคลื่อนหลักด้วยการผลักดันน้ำ และส่งคำสั่งบังคับทิศทางไปยังเซอร์โวมอเตอร์เพื่อให้กังหันเคลื่อนไปยังตำแหน่งและทิศทางที่ต้องการ รวมทั้งยังสามารถส่งคำสั่งควบคุมระบบกังหันให้ทำการหมุนตักน้ำเพื่อเติมอากาศได้โดยแสดงแผนภาพขั้นตอนการทำงานดังภาพ 45 โดยเริ่มต้นการทำงานจากตัวเครื่องเติมอากาศรับส่งข้อมูลกับรีโมทควบคุม ตรวจสอบโหมดการทำงานถ้าโหมดการทำงาน เป็นโหมดควบคุมด้วยมือจะรอสถานะการทำงานต่างๆจะผู้ใช้งานโดยตัวเครื่องจะสามารถถูกบังคับให้เคลื่อนที่ เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา รวมยังสามารถเปิดปิด ระบบการเติมอากาศได้จากผู้ใช้งาน

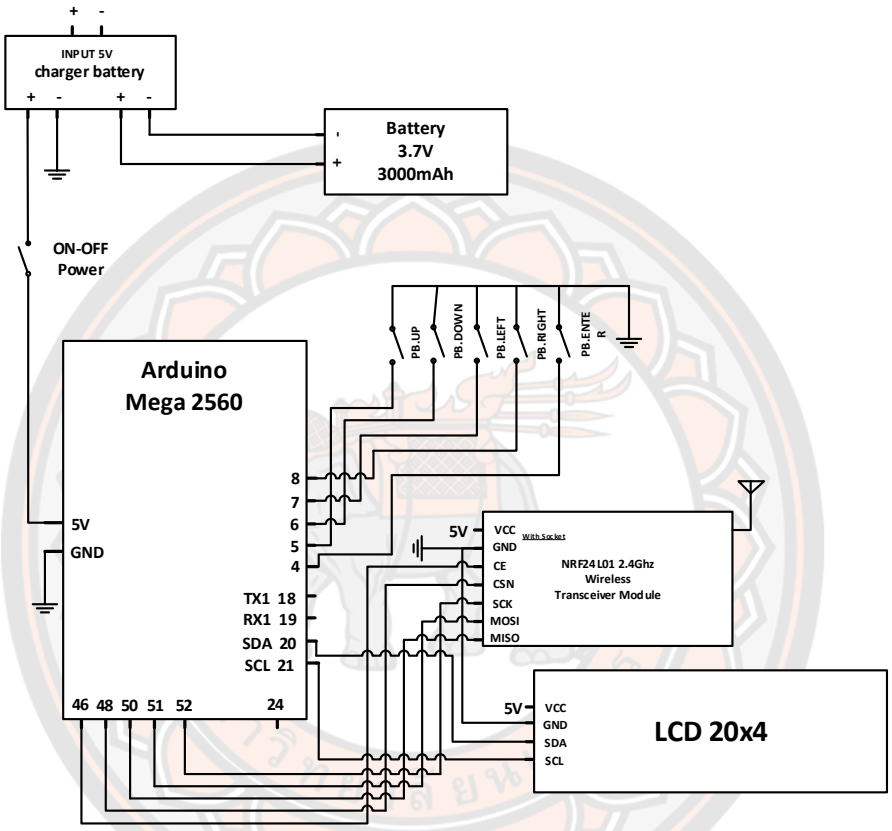
Automatic Mode ระบบประกอบไปด้วย โมดูล GPS โมดูลเข็มทิศ โดยระบบจะเริ่มการทำงานด้วยการนำค่าตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันและตำแหน่งเป้าหมายที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้งานไว้ล่วงหน้าไปทำการคำนวณเพื่อเส้นทางการเคลื่อนที่ เพื่อให้ตัวเครื่องกังหันเคลื่อนไปยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ โดยใช้โมดูลเข็มทิศเป็นตัวช่วยควบคุมทิศทางในการเคลื่อนที่ โดยพื้นที่เป้าหมายจะถูกกำหนดเป็นพื้นที่วงกลม ที่มีจุดศูนย์กลางคือจุดตำแหน่งเป้าหมาย โดยมีรัศมียาว 7 เมตร เมื่อกังหันเดินทางไปถึง

ภายในระยะของวงกลมดังกล่าวระบบผลักดันน้ำที่ใช้ในการเคลื่อนที่จะหยุดการทำงาน และกังหันเติมอากาศก็จะเริ่มหมุนเติมอากาศและถ้ากังหันมีการเคลื่อนออกนอกพื้นที่วงกลมที่กำหนดระบบการค้นจุนตำแหน่งก็จะทำงานด้วยการเปิดระบบผลักดันน้ำและหาทิศทางและควบคุมเซอร์โวมอเตอร์เพื่อทำให้กังหันเดินทางเข้ามาอยู่ในวงกลมอีกครั้งและระบบจะทำงานเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ เพื่อรักษาตำแหน่งให้อยู่ที่ตำแหน่งที่ได้ระบุเอาไว้ โดยจะอธิบายการทำงานของโปรแกรมตามภาพที่ 45 ดังต่อไปนี้ ถ้าหากระบบเข้าสู่โหมดอัตโนมัติ ระบบจะรับค่าตำแหน่งการทำงานจากโมดูล GPS หลังจากนั้นจะตรวจสอบระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันกับตำแหน่งเป้าหมาย ถ้าห่างเกิน 7 เมตร ระบบจะหันหัวเรือไปยังทิศทางเป้าหมายโดยการตรวจสอบค่าทิศทางการเคลื่อนที่จากโมดูลเข็มทิศเมื่อหันหน้าตรงทิศทางแล้วระบบจะทำการเคลื่อนเดินหน้าไปยังตำแหน่งเป้าหมายเมื่อตรวจสอบว่าตำแหน่งอยู่ใกล้กับตำแหน่งเป้าหมายภายใยระยะห่างไม่เกิน 7 เมตร ระบบจะเริ่มทำการหมุนเพลาล้อตักน้ำเพื่อทำการเติมอากาศ และจะทำเช่นนั้นไปเรื่อย ๆ จนครบเวลาที่ตั้งค่าในระบบ เมื่อครบเวลาระบบจะทำการเปลี่ยนตำแหน่งการทำงานโดยการตรวจสอบจากเวลาที่อ่านได้จากโมดูล GPS กับเวลาที่ผู้ใช้งานตั้งค่าให้กับระบบ



ภาพ 45 แผนผังแสดงกระบวณการทำงานของระบบเครื่องเติมอากาศแบบล้อตักน้ำ

6.2 รีโมทควบคุม ในส่วนนี้ได้ออกแบบและสร้างรีโมทเพื่อใช้บังคับควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องเติมอากาศ ประกอบไปด้วย จอแสดงผล โมดูลการรับส่งข้อมูลไร้สาย ปุ่มกด แบตเตอรี่ ชุดชาร์จแบตเตอรี่ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรการต่อใช้งานและรูปแบบกล่องพร้อมประกอบแสดงได้ดังภาพ 46 และ 47 ตามลำดับ



ภาพ 46 วงจรการต่อใช้งานรีโมทควบคุม

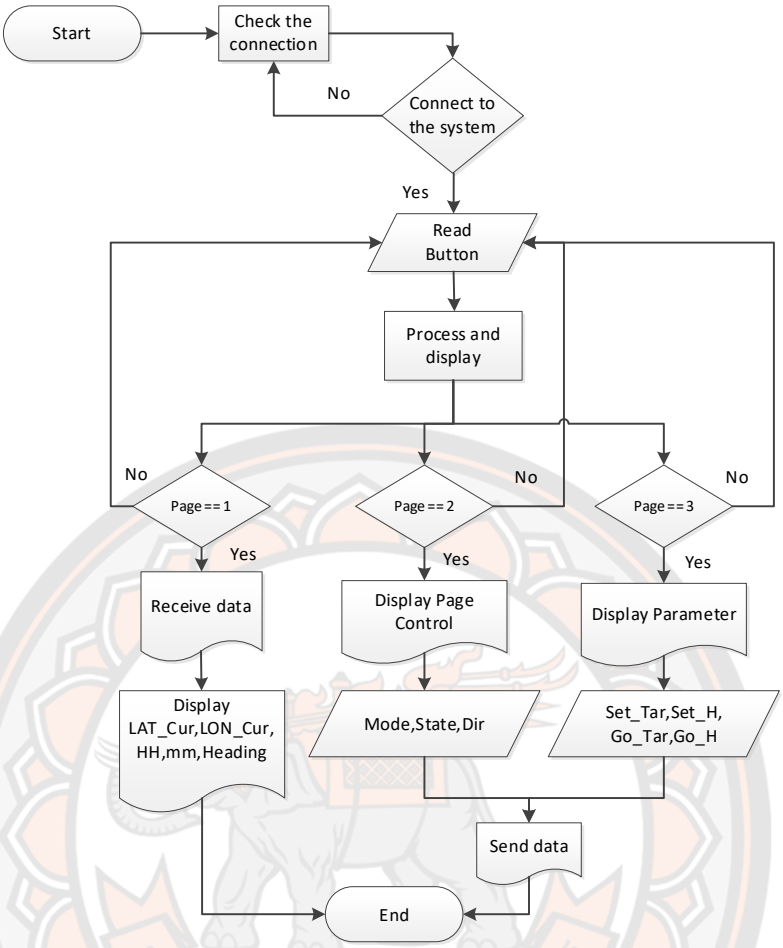
ภาพ 47 การออกแบบรีโมทควบคุม

ซึ่งมีหลักการทำงาน ดังนี้ รับส่งข้อมูลต่างๆกับเครื่องเติมอากาศ โดยข้อมูลที่รับมาจะแสดงผลบนจอ LCD ได้แก่ ละติจูด ลองจิจูด ทิศทาง เวลา/วันที่ และยังสามารถป้อนข้อมูลคำสั่งการกำหนดตำแหน่งการทำงานและสั่งในระบบเคลื่อนที่ไปยังจุดต่าง ๆ ตามการกำหนดตำแหน่งไว้ได้ โดยจะอธิบายการทำงานของโปรแกรมตามแผนผังภาพ 48 เมื่อระบบเริ่มทำงานจะตรวจสอบการเชื่อมต่อหลังจากนั้นจะทำการตรวจสอบสถานะการกดปุ่มเพื่อที่ระบบจะเข้าเมนูการทำงานต่างๆ ดังนี้

- หน้าต่างการแสดงผลข้อมูลโดยจะรับค่าต่างๆ ละติจูด ลองจิจูด เวลา/วันที่ ทิศทางการเคลื่อนที่ มาแสดงผล

- หน้าต่างการควบคุมโหมดการทำงาน ผู้ใช้งานจะสามารถปรับเปลี่ยนโหมดการทำงานควบคุมสถานะของเพลาล้อตักน้ำ และบังคับควบคุมการเคลื่อนที่ไปยังจุดต่างๆได้

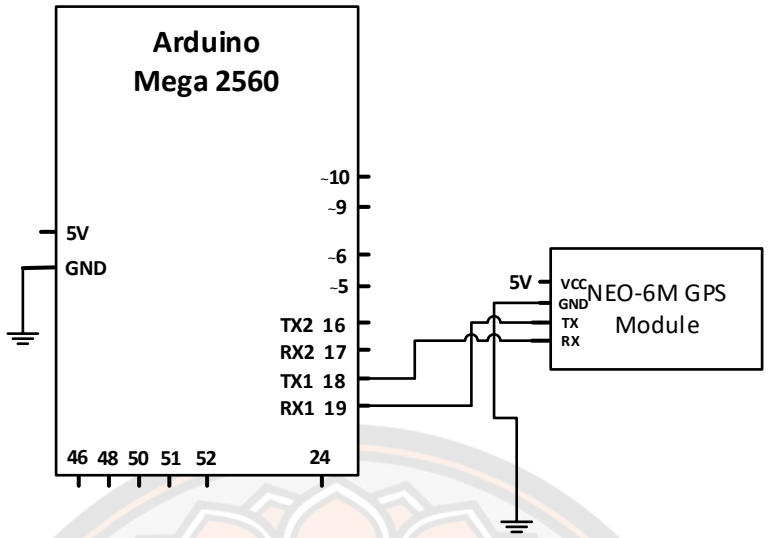
- หน้าต่างการตั้งค่าตำแหน่งการทำงาน ผู้ใช้งานจะสามารถตั้งค่าตำแหน่งการทำงานให้กับเครื่องเติมอากาศได้ และยังสามารถสั่งงานให้เครื่องเคลื่อนที่กลับมายังจุดพักได้แบบกะทันหัน



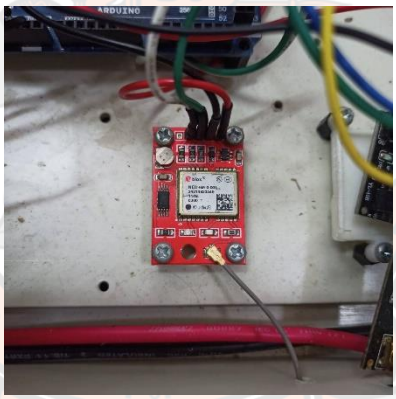
ภาพ 48 แผนผังแสดงกระบวณการทำงานของรีโมทควบคุม

6.3 วงจร GPS Ublox NEO-6M Module ที่ใช้ในการรับข้อมูลจากดาวเทียม

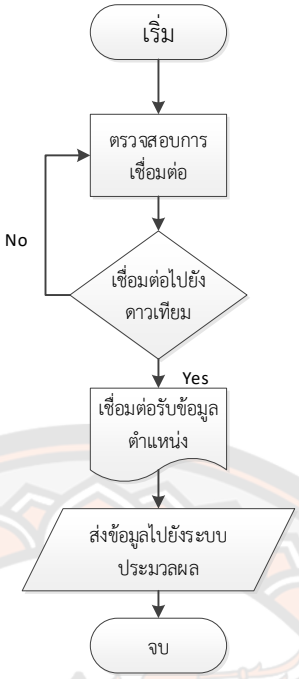
ในงานวิจัยนี้ได้นำโมดูล GPS NEO-6M ไปติดตั้งในกล่องควบคุมการทำงานของเครื่องเติมอากาศโดยจะนำเสาอากาศยื่นออกมาจากตัวกล่องเพื่อจะรับสัญญาณและข้อมูลต่าง ๆ อย่างเช่น วันที่/เวลา ละติจูด ลองจิจูด ดังภาพ 50 โดยการอ่านค่าจากการต่อวงจรเข้าร่วมกับบอร์ด Arduino Mega 2560 ผ่านช่อง UART1 ดังภาพ 49 แสดงกระบวณการทำงานดังภาพ 51



ภาพ 49 วงจรการรับค่าจากข้อมูลดาวเทียมด้วยโมดูล GPS NEO-6M



ภาพ 50 ติดตั้งโมดูล GPS NEO-6M Module ภายในกล่องควบคุม

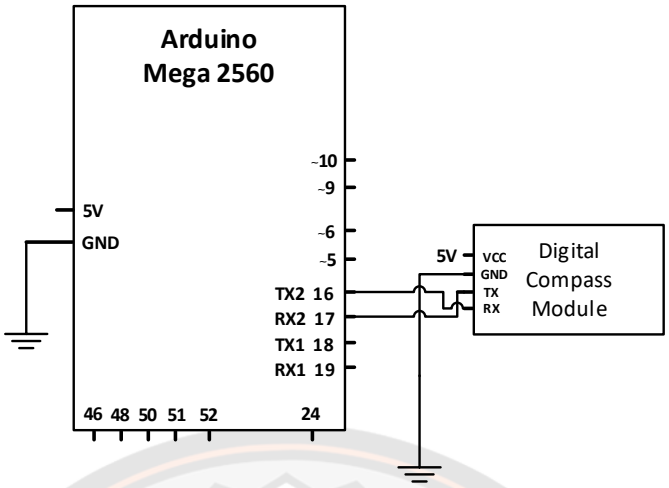


ภาพ 51 แผนผังแสดงกระบวณการทำงานของโมดูล GPS NEO-6M

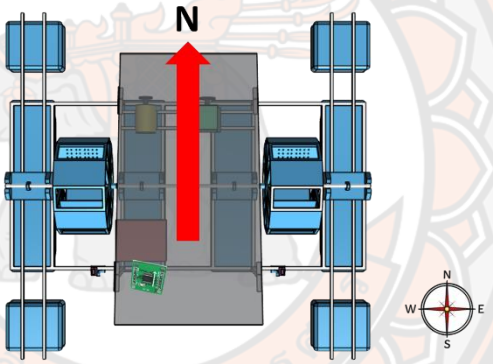
จากภาพ 51 เมื่ออุปกรณ์เริ่มทำงานจะตรวจสอบการเชื่อมต่อกับดาวเทียม เมื่อเชื่อมต่อสำเร็จจะส่งค่าตำแหน่งปัจจุบันของเครื่องเติมอากาศไปประมวลผลที่ระบบหลัก

6.4 วงจร Compass Digital สำหรับใช้อ่านทิศทาง

ในงานวิจัยได้นำโมดูล Compass Digital ไปติดตั้งบนโครงของเครื่องเติมอากาศโดยจะวางตำแหน่งของหัวเครื่องเติมอากาศไปทางทิศเหนือตามเข็มทิศที่นำมาเปรียบเทียบ ดังภาพที่ 53 และ 54 แล้วทำการสอบเทียบค่าที่ตัวโมดูลเพื่อให้อ่านออกมาเป็น 0 (ทิศเหนือ) โดยการต่อโมดูลเข้าร่วมกับบอร์ด Arduino Mega 2560 ผ่านช่อง UART2 ดังภาพ 52 โดยค่าที่อ่านมาได้นั้นจะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 359 (มีค่าทั้งหมด 360 ค่า) ซึ่ง ค่า 0 เท่ากับ ทิศเหนือ 90 เท่ากับ ทิศตะวันออก 180 เท่ากับ ทิศใต้ และ 270 เท่ากับ ทิศตะวันตก เป็นต้น แสดงกระบวณการทำงานดังภาพ 55

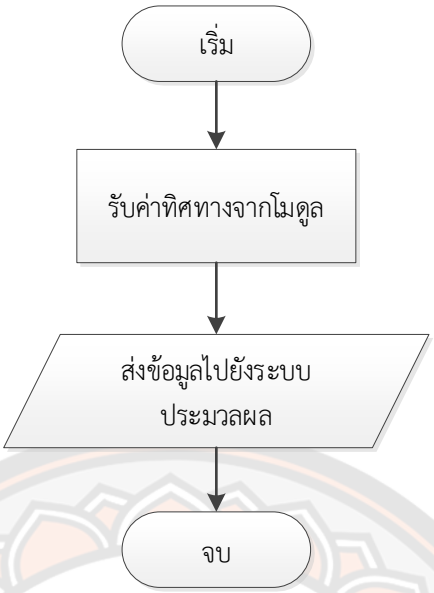


ภาพ 52 วงจรอ่านค่าทิศด้วยโมดูล Compass Digital



ภาพ 53 ติดตั้งโมดูล Compass Digital โดยจำลองให้วางตำแหน่งหัวเครื่องไปทางทิศเหนือ

ภาพ 54 ติดตั้งโมดูล Compass Digital ใช้งานจริง

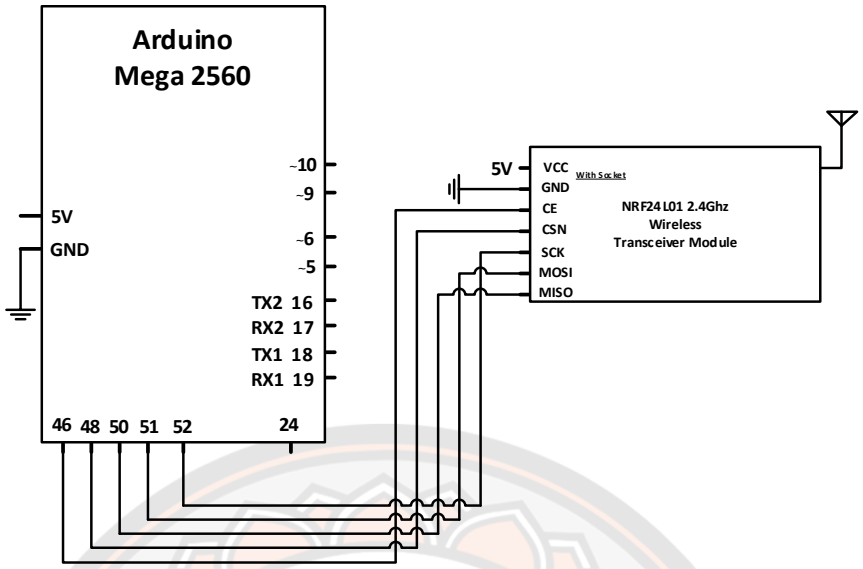


ภาพ 55 แผนผังแสดงกระบวณการทำงานของโมดูล Compass Digital

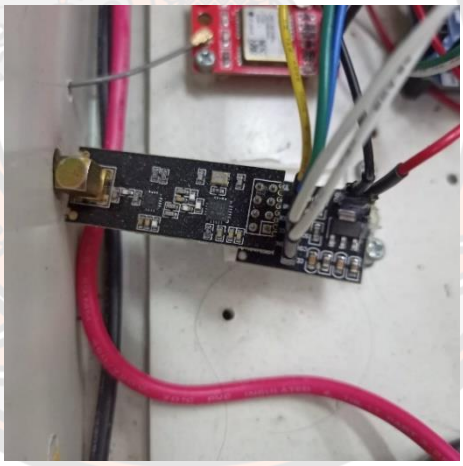
จากภาพ 55 เมื่ออุปกรณ์เริ่มทำงาน โมดูลจะเริ่มอ่านค่าทิศทาง และส่งไปประมวลผลที่ระบบหลัก เพื่อควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่

6.5 วงจรโมดูลสื่อสารไร้สาย nrf24l01 2.4 GHz Wireless Transceiver

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานของวงจรรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย โดยนำโมดูล nrf24L01 2.4 GHz Wireless Transceiver พร้อม Socket ที่ใช้สำหรับแปลงไฟการทำงาน ไปติดตั้งในกล่องควบคุมของเครื่องเติมอากาศและในชุดกล่องรีโมทควบคุมโดยจะนำเสาอากาศยื่นออกมาจากตัวกล่องเพื่อจะได้รับส่งข้อมูลได้เสถียรขึ้น ดังภาพ 57 โดยจะต่อชุดโมดูลเข้าร่วมกับบอร์ด Arduino Mega 2560 ผ่านช่องการติดต่อแบบ SPI แล้วจึงเขียนโปรแกรมรับส่งข้อมูล ดังภาพ 56 ในส่วนของรีโมทควบคุมจะมีการทำงานเหมือนกับระบบเครื่องเติมอากาศแต่มีการเพิ่มปุ่มกดกับจอแสดงผลเพิ่มเติม



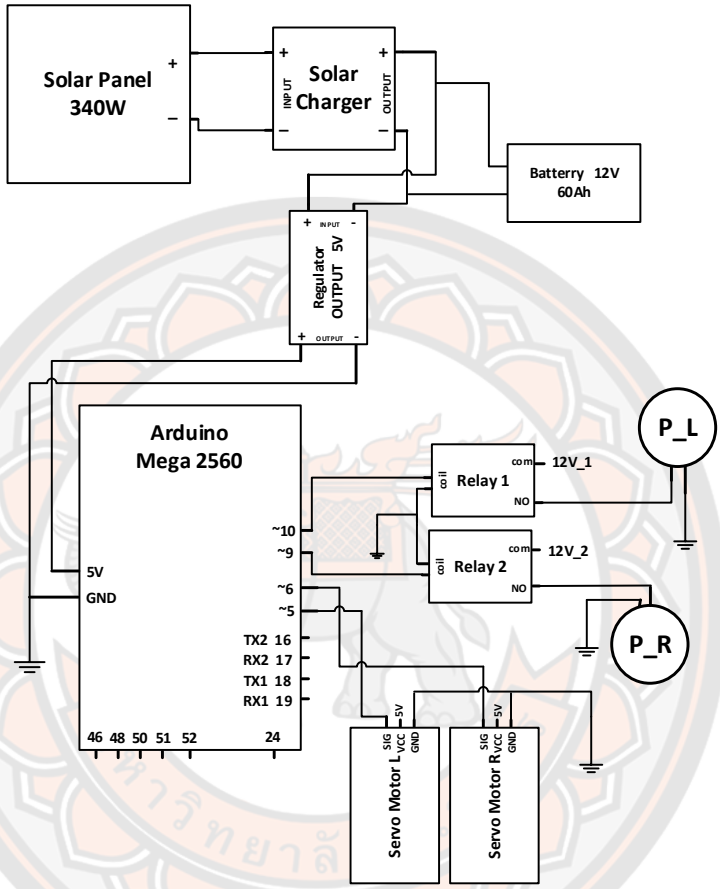
ภาพ 56 วงจรรับส่งข้อมูลไร้สายด้วยโมดูล nrf24L01 2.4 GHz Wireless Transceiver



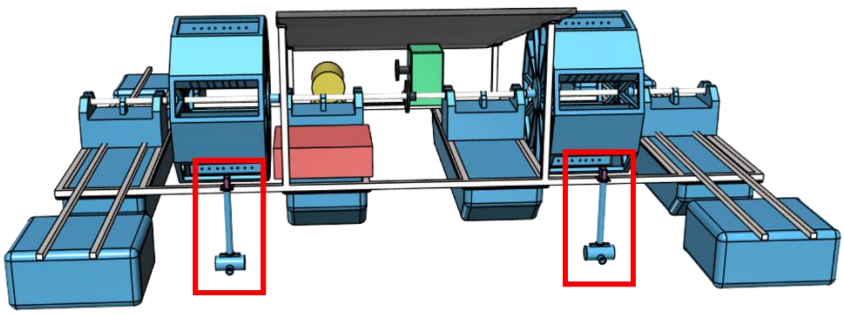
ภาพ 57 ติดตั้งโมดูล nrf24L01 2.4 GHz Wireless Transceiver เครื่องเติมอากาศ

6.6 วงจรปั๊มน้ำ และเซอร์โวมอเตอร์ สำหรับใช้ในการขับเคลื่อนระบบเครื่องเติมอากาศ วงจรในภาพที่ 58 ประกอบไปด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชาร์จเจอร์ แบตเตอรี่ ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับประมวลผล รีเลย์ใช้เปิด-ปิดการทำงานของปั๊ม และควบคุม เซอร์โวมอเตอร์ เป็นส่วนที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องเติมอากาศแบบล้อตักน้ำไปยังตำแหน่งเป้าหมาย โดยการติดตั้งนั้นจะนำปั๊มน้ำ 12 V_{DC} จุ่มลงน้ำโดยจะมีแกนในการหมุนติดอยู่กับเซอร์โวมอเตอร์ ที่ติดตั้งอยู่บนโครงท้ายเครื่องเติมอากาศทั้งซ้ายและขวาดังภาพที่ 59 โดยการควบคุมปั๊มน้ำให้ทำงาน

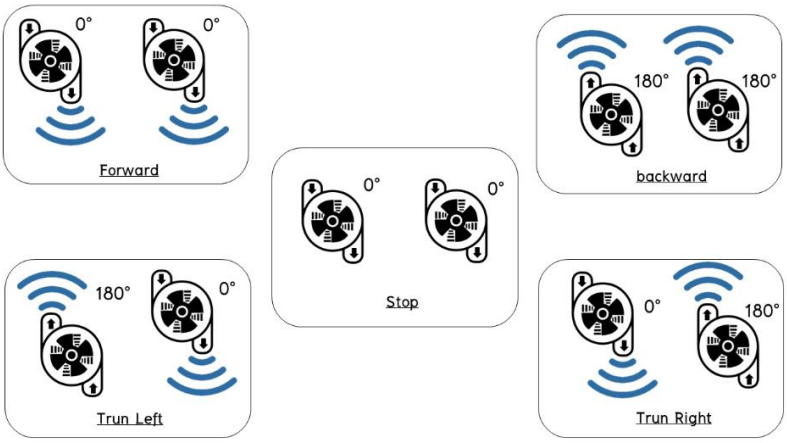
นั้นจะอาศัยการควบคุมการทำงานของ Relay เพื่อเปิด-ปิดปั๊ม โดยรับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ในส่วนการเคลื่อนที่ของเครื่องเติมอากาศให้มีการเลี้ยวซ้าย ขวา เดินหน้าและถอยหลังนั้นจะอาศัยการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ โดยมีรูปแบบการควบคุม แสดงดังภาพที่ 60



ภาพ 58 วงจรขับเคลื่อนเครื่องเติมอากาศด้วยปั๊มน้ำและเซอร์โวมอเตอร์



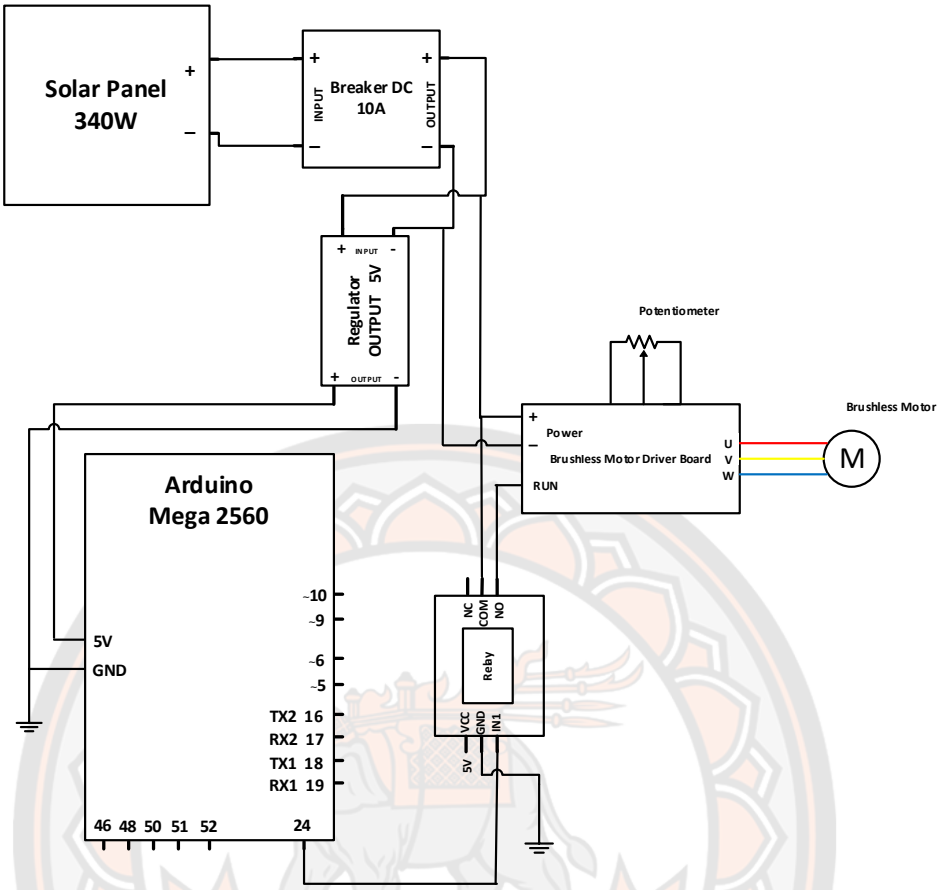
ภาพ 59 การติดตั้งปั๊มน้ำและเซอร์โวมอเตอร์



ภาพ 60 หลักการขับเคลื่อนและการทำงานของปั๊มน้ำและเซอร์โวมอเตอร์

6.7 วงจรควบคุมการหมุนของเพลาล้อตักน้ำ

วงจรควบคุมการหมุนของเพลาล้อตักน้ำแสดงได้ดังภาพที่ 61 ซึ่งประกอบไปด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับประมวล รีเลย์ใช้เปิด-ปิดการทำงานของชุดขับมอเตอร์ โดยมีหลักการทำงานเริ่มจากการประกอบมอเตอร์บัสเลส ชุดเกียร์ทด เพลาล้อตักน้ำ ให้ทำงานร่วมกัน โดยแต่ละจุดจะเชื่อมต่อกันด้วยโซ่ ในส่วนของวงจรจะนำชุดขับมอเตอร์บัสเลสต่อเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านเบรกเกอร์แล้วนำสายที่ควบคุมการทำงานนั้นมาต่อเข้ากับรีเลย์เพื่อให้ชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 สั่งการทำงานได้โดยการสั่งเปิด-ปิดรีเลย์ ซึ่งที่ชุดขับมอเตอร์บัสเลส นั้นจะมีตัวโพเทนชิโอมิเตอร์ไว้ปรับความเร็วการหมุนของมอเตอร์ โดยจะปรับความเร็วการหมุนของมอเตอร์ให้ความเร็วการหมุนอยู่ประมาณ 500 รอบต่อนาที เพื่อขับเพลาล้อตักน้ำผ่านชุดเกียร์ทดโดยเพลาจะหมุนด้วยความเร็ว 7-8 รอบต่อนาทีในช่วงแดดจัด ซึ่งการหมุนด้วยความเร็วนี้ เป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมกับการตักน้ำเนื่องจากจะทำให้น้ำที่ล้อตักขึ้นมาไหลออกผ่านรูจนหมดพอดีก่อนที่ซองตักน้ำจะตั้งฉากกับผิวน้ำ



ภาพ 61 วงจรควบคุมการหมุนของเพลาล้อตักน้ำ

6.8 การคำนวณหาทิศทางและการคำนวณการกระจัดระหว่างตำแหน่ง

6.8.1 การสอบเทียบโมดูล Digital Compass กับเข็มทิศจริง

ก่อนการใช้งานโมดูลเข็มทิศนั้นจะต้องทำการสอบเทียบค่าของทิศทางเสียก่อน ซึ่งการสอบเทียบค่านั้นมีขั้นตอนดังนี้ คือ เริ่มจากการติดตั้งตัวโมดูลกับชุดโครงสร้างโดยจะวางตำแหน่งสัญลักษณ์ของหัวลูกศรไปทางทิศเหนือ ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 6.4 หลังจากนั้นหมุนชุดโครงสร้างไปทางทิศเหนือแล้วเทียบกับเข็มทิศจริง เสร็จแล้วทำการอัพโหลดโปรแกรมเริ่มต้นเพื่อเริ่มสอบเทียบ หลังจากอัพโหลดโปรแกรมเสร็จให้เริ่มหมุนชุดโครงสร้างไปทางขวา 2 รอบ ใช้เวลาในการหมุนรอบละประมาณ 1 นาที โดยจะต้องหมุนให้มีความเร็วสม่ำเสมอ หลังจากหมุนครบจำนวน 2 รอบแล้วให้อัพโหลดโปรแกรมจบการสอบเทียบ เพื่อเป็นการสิ้นสุดการสอบเทียบตามวิธีการของคู่มือโมดูล

6.8.2 การคำนวณหาการกระจัดระหว่างตำแหน่ง [38]

ถ้าต้องการหาระยะทางทางภูมิศาสตร์ระหว่าง 2 จุด บนโลกที่มีละติจูดและลองจิจูดแตกต่างกันเราจะใช้สูตรที่เรียกว่าฮาเวอร์ซีน (Haversine) ซึ่งสูตรนี้จะทำให้สามารถคำนวณระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างสองจุดบนพื้นผิวทรงกลมดังภาพ 62 สูตรนี้ได้ถูกนิยามคิดค้นโดย Prof.James Inman ในปี 1835 เป็นสูตรที่ได้รับความนิยมและใช้อย่างแพร่หลาย ในการพัฒนางานด้านวิเคราะห์แผนที่และเส้นทาง

ภาพ 62 แสดงระยะทางระว่างตำแหน่งบนพื้นผิวทรงกลม

ซึ่งสูตรดังกล่าวได้แสดงดังสมการ

$$a = \sin^2\left(\frac{Rlat_1 - Rlat_2}{2}\right) + \cos\left(Rlat_1\right) \times \cos\left(Rlat_2\right) \times \sin^2\left(\frac{Rlon_1 - Rlon_2}{2}\right) \quad (15)$$

$$c = 2 \times \arctan\left(\frac{\sqrt{(1-a)}}{\sqrt{a}}\right) \quad (16)$$

$$d = R \times c \quad (17)$$

โดยตัวแปรถูกนิยามได้ดังนี้

d คือ ระยะทางระหว่างสองตำแหน่ง (km)

R คือ รัศมีของโลก เท่ากับ 6,371 km

$Rlat_1$ คือ ละติจูด ตำแหน่งที่ 1 (เรเดียน)

$Rlat_2$ คือ ละติจูด ตำแหน่งที่ 2 (เรเดียน)

$Rlon_1$ คือ ลองจิจูด ตำแหน่งที่ 1 (เรเดียน)

$Rlon_2$ คือ ลองจิจูด ตำแหน่งที่ 2 (เรเดียน)

ตัวอย่างการคำนวณระยะทาง

กำหนดค่าตัวอย่างดังนี้

- ตำแหน่งละติจูด ของเครื่องเติมอากาศ เท่ากับ 16.74312 องศาตะวันออก
- ตำแหน่งลองจิจูด ของเครื่องเติมอากาศ เท่ากับ 100.193325 องศาเหนือ
- ตำแหน่งละติจูด ของเป้าหมาย เท่ากับ 16.743378 องศาตะวันออก
- ตำแหน่งลองจิจูด ของเป้าหมาย เท่ากับ 100.192802 องศาเหนือ

ก่อนคำนวณต้องแปลงค่าตำแหน่งจากมุมองศา เป็น เรเดียน ก่อน จะได้ค่า ดังนี้

- 16.74312 เท่ากับ 0.292222571
- 100.193325 เท่ากับ 1.74870341
- 16.743378 เท่ากับ 0.292227074
- 100.192802 เท่ากับ 1.748694282

แทนค่าเข้าสมการที่ 15 เพื่อหาค่า a ดังนี้

$$a = \sin^2\left(\frac{0.292222571 - 0.292227074}{2}\right) + \cos(0.292222571) \times \cos(0.292227074) \times \sin^2\left(\frac{1.74870341 - 1.748694282}{2}\right)$$

$$a = 2.41708\ x\ 10^{-11}$$

แทน a เพื่อหาค่า c ในสมการที่ 16 ดังนี้

$$c = 2 \times \arctan\left(\frac{\sqrt{(1 - 2.41708\ x\ 10^{-11})}}{\sqrt{2.41708\ x\ 10^{-11}}}\right)$$

$$c = 9.83276\ \ x\ 10^{-6}$$

นำค่า c แทนในสมการที่ 17 เพื่อหาการกระจัด โดยคูณกับ ค่า R คือ รัศมีของโลก

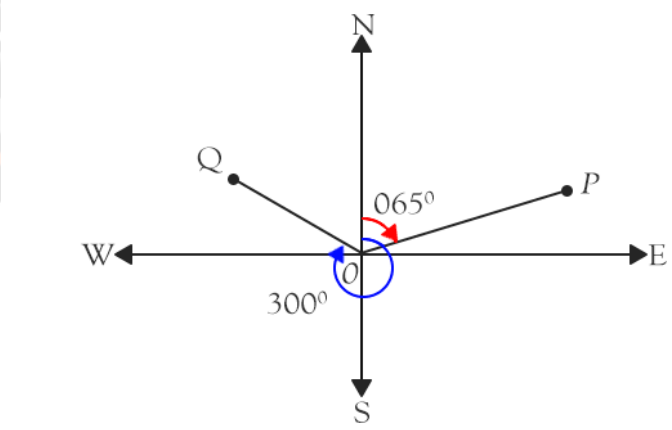
$$d = 6,371\ x\ 9.83276\ \ x\ 10^{-6}$$

$$d = 0.062644528\ \ km$$

$$d = 62.64453\ \ m$$

6.8.3 การคำนวณหาทิศทางระหว่างตำแหน่ง [39]

ในทางเรขาคณิตมุมจะถูกวัดโดยไม่คำนึงถึงทิศทางหรือการวางแนว เช่นเดียวกับในทางตรีโกณมิติ เราจะวัดมุมหมุนทวนเข็มนาฬิกาโดยให้แกน x จะเป็น 0 องศา และแกน y อยู่ที่ 90 องศา แต่มุมแบริ่งจะเป็นการคำนวณหามุมระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่ง เพื่อใช้ในการนำทางหรือหาทิศทาง ซึ่งมุมแบริ่งเป็นทิศทางที่วัดจากทิศเหนือและหมุนตามเข็มนาฬิกา เส้นตรงที่ชี้ไปทิศเหนือหมายถึง 0 องศา ทิศตะวันออก 90 องศา ทิศใต้ 180 องศา และทิศตะวันตก 270 องศา โดยมีตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 63



ภาพ 63 ภาพแสดงค่ามุมแบริ่งของทิศทางและตำแหน่งต่างๆ

จากภาพ 63 จุด O เป็นจุดเริ่มต้น จุด P และ Q เป็นจุดเป้าหมาย โดยที่จุด P มีมุมแบริ่งเท่ากับ 65 องศา จุด Q มีมุมแบริ่งเท่ากับ 300 องศา

ในการหาทิศทางระหว่างตำแหน่งปัจจุบันที่เครื่องเติมอากาศอยู่กับตำแหน่งเป้าหมายที่ผู้ใช้งานกำหนดนั้น จะใช้สูตรสำหรับการหามุมแบริ่งหรือมุมทิศทาง (Bearing Angle or Heading

Angle) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วถูกใช้ในด้านการนำทางของเครื่องบินหรือการเดินเรือและการนำทางของยานพาหนะซึ่งเป็นสูตรที่ใช้ในการหามุมทิศทางระหว่าง 2 ตำแหน่งบนโลกที่ซึ่งอ้างอิงเป็นพิกัดละติจูด ลองจิจูด ซึ่งสูตรดังกล่าวแสดงได้ดังสมการ

$$x = \cos\left(Rlat_1\right) \times \sin\left(Rlat_2\right) - y \tag{18}$$

$$y = \sin\left(Rlat_1\right) \times \cos\left(Rlat_2\right) \times \cos\left(Rlon_2 - Rlon_1\right) \tag{19}$$

$$z = \sin\left(Rlon_2 - Rlon_1\right) \times \cos\left(Rlat_2\right) \tag{20}$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{z}{x}\right) \tag{21}$$

โดยตัวแปรถูกนิยามได้ดังนี้

β คือ มุมแบริ่งระหว่างตำแหน่งที่ 1 กับตำแหน่งที่ 2 (องศา)

$Rlat_1$ คือ ละติจูด ตำแหน่งที่ 1 (เรเดียน)

$Rlat_2$ คือ ละติจูด ตำแหน่งที่ 2 (เรเดียน)

$Rlon_1$ คือ ลองจิจูด ตำแหน่งที่ 1 (เรเดียน)

$Rlon_2$ คือ ลองจิจูด ตำแหน่งที่ 2 (เรเดียน)

โดยจะยกตัวอย่างการคำนวณดังต่อไปนี้

แทนค่าตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด ที่แปลงเป็นเรเดียนแล้ว ที่ได้จากหัวข้อ 6.8.2 ในสมการที่ 19 เพื่อหาค่า y

$$y = \sin\left(0.292222571\right) \times \cos\left(0.292227074\right) \times \cos\left(1.748694282 - 0.292227074\right)$$

$$y = 0.275867979$$

แทนค่าตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด ที่แปลงเป็นเรเดียนแล้ว ที่ได้จากหัวข้อ 6.8.2 และ y ในสมการที่ 18 เพื่อหาค่า x

$$x = \cos(0.292222571) \times \sin(0.292227074) - 0.275867979$$

$$x = 4.50296 \times 10^{-6}$$

แทนค่าตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด ที่แปลงเป็นเรเดียนแล้ว ที่ได้จากหัวข้อ 6.8.2 ในสมการที่ 20 เพื่อหาค่า z

$$z = \sin(1.748694282 - 1.74870341) \times \cos(0.292222571)$$

$$z = -8.74108 \times 10^{-6}$$

แทนค่า x และ z ลงในสมการ 21 เพื่อหาค่า β

$$\beta = \arctan\left(\frac{-8.74108 \times 10^{-6}}{4.50296 \times 10^{-6}}\right)$$

เมื่อได้ค่าผลลัพธ์ต้องแปลงกลับมาเป็นมุมในหน่วย องศา จะได้ค่า ดังนี้

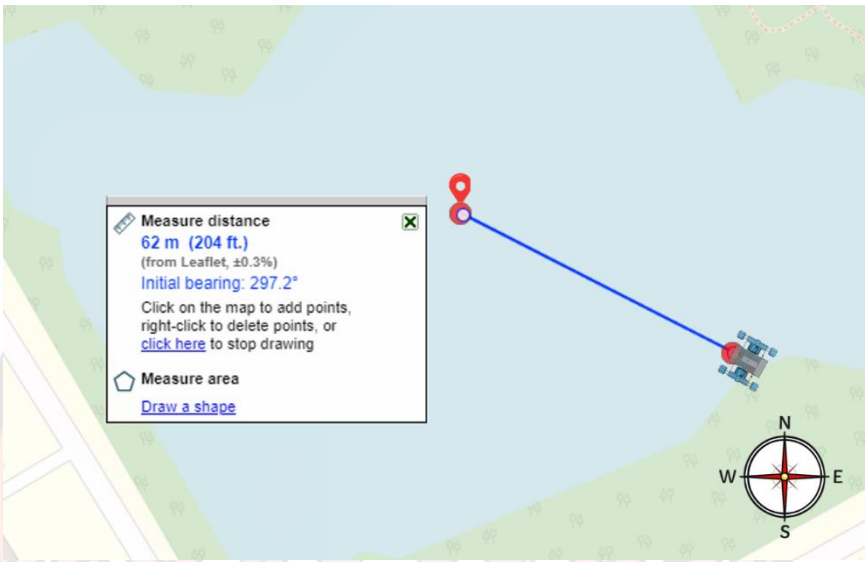
$$\beta = -1.0951 \text{ (rad)}$$

$$\beta = -62.7448 \text{ (deg)}$$

เมื่อเปลี่ยนมุมอยู่ในหน่วย องศา แล้วถ้าหากค่าที่คำนวณ ติดลบหรือน้อยกว่า 0 องศา จะเป็นมุมกลับให้บวก 360 จะได้มุมแบริ่งจริงที่พร้อมนำไปใช้งาน ได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$\beta = 297.2552152 \text{ (deg)}$$

จากตัวอย่างคำนวณหาระยะทางและมุมแบริ่งระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่งในหัวข้อที่ 6.8.2 และ 6.8.3 ตามลำดับ ได้ผลลัพธ์คือ ระยะทาง 62.6 เมตร และมุมแบริ่ง เท่ากับ 297.2 องศา โดยผลลัพธ์มุมแบริ่ง คือ ทิศทางเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมาย จากการคำนวณนั้นตรงกับการคำนวณของโปรแกรม GPS Visualizer ซึ่งเป็นโปรแกรมคำนวณสำเร็จรูป ตามเว็บไซต์ https://www.gpsvisualizer.com/ แสดงให้เห็นดังภาพที่ 64



ภาพ 64 ผลการวัดระยะระหว่างตำแหน่งจากโปรแกรม GPS Visualizer

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลทดลองของระบบควบคุมตำแหน่งของกังหันเติมอากาศแบบตักน้ำอัตโนมัติด้วยระบบจีพีเอส โดยผลการทดลองแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆ ได้แก่ ระยะเวลาของอัตราการไหลของน้ำภายในซอง ความเร็วการหมุนของมอเตอร์กับชุดเกียร์ทด ความเร็วการหมุนของล้อตักน้ำกับความเข้มแสง ทดสอบการรับสัญญาณของโมดูล GPS ทดสอบการรักษาตำแหน่งการทำงาน และผลการทดลองทดสอบระบบบำบัดแบบต่อเนื่อง 7 ตำแหน่งโดยอัตโนมัติ โดยจะอธิบายละเอียด ดังนี้

1. ระยะเวลาของอัตราการไหลของน้ำภายในซอง

ตาราง 2 ระยะเวลาอัตราการไหลของน้ำในซองแต่ละครั้ง

ครั้งที่	ระยะเวลา (วินาที)	ครั้งที่	ระยะเวลา (วินาที)
1	1.409944	6	1.503196
2	1.453638	7	1.803965
3	1.596318	8	1.744847
4	1.538771	9	1.558635
5	1.455764	10	1.51345

โดยได้ระยะเวลาเฉลี่ย คือ 1.55 วินาที จากผลการทดลองเห็นได้ว่าระยะเวลาการระบายของน้ำออกจากซองนั้นเร็วกว่าที่คำนวณไว้ในหัวข้อที่ 2 เป็นเวลาประมาณ 0.5 วินาที เนื่องจากมีการระบายออกของน้ำจากซอกเล็ก ๆ ตรงด้านขอบของซองตักน้ำด้วย แต่ก็ถือว่ามีความสอดคล้องกับการคำนวณตามทฤษฎี

ภาพ 65 ภาพเครื่องเติมอากาศในขณะที่มีการระบายน้ำออกจากซอง

2. ความเร็วการหมุนของมอเตอร์กับชุดเกียร์ทด

การหมุนของมอเตอร์กับชุดเกียร์ทดนั้น ผู้วิจัยต้องการที่จะกำหนดให้เพลาล้อตักน้ำนั้นหมุนด้วยความเร็วคงที่ 7 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วในการหมุนที่เหมาะสมที่สุดอย่างที่กล่าวไว้ข้างต้น ฉะนั้น เมื่อชุดเกียร์ทดมีอัตราการทดอยู่ที่ 1 ต่อ 60 มอเตอร์ที่จะหมุนขับชุดเกียร์ทดจึงต้องหมุนอยู่ประมาณ 500 รอบต่อนาที เพื่อให้ด้านที่ไปขับเพลาล้อตักน้ำมีความเร็วอยู่ที่ 7-8 รอบต่อนาที โดยผู้วิจัยได้ทดสอบวัดค่าความเร็วในการหมุนด้วยการใช้ Tachometer ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพ 66

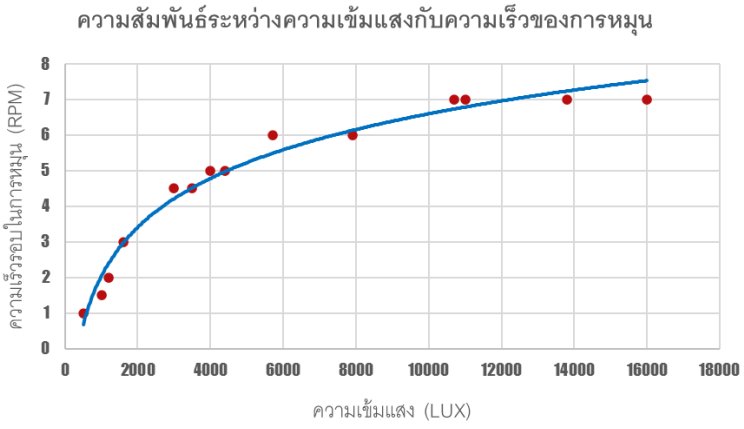
ภาพ 66 ใช้ Tachometer วัดความเร็วการหมุนของมอเตอร์

3. ผลการทดลองความเข้มแสงกับความเร็วรอบของการหมุน

ทดสอบเก็บข้อมูลความเร็วรอบของกังหันเติมอากาศที่ความเข้มแสง 500 - 16,000 LUX โดยการทดลองที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน ซึ่งช่วงเวลาที่เก็บผลการทดลองนั้นอยู่ในช่วงเดือนตุลาคม จะมีความเข้มแสงที่สูงอยู่ช่วงเวลาประมาณ 9 นาฬิกา จนถึง 16 นาฬิกา สามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 3 และภาพที่ 67

ตาราง 3 ผลข้อมูลความเข้มแสงและความเร็วรอบของเครื่องเติมอากาศ

LUX	RPM	LUX	RPM
500	1	4400	5
1000	1.5	5700	6
1200	2	7900	6
1600	3	10700	7
3000	4.5	11000	7
3500	4.5	13800	7
4000	5	16000	7



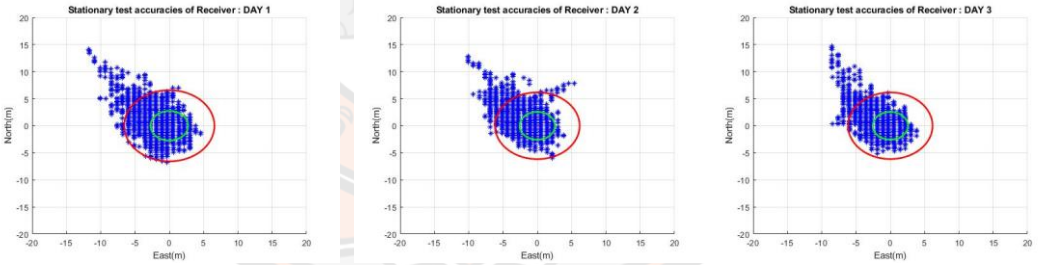
ภาพ 67 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความเร็วของการหมุน

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่ากังหันเติมอากาศจะเริ่มหมุนด้วยความเร็วคงที่ 7 รอบต่อนาที ตั้งแต่ความเข้มแสง 10,700 LUX ขึ้นไป

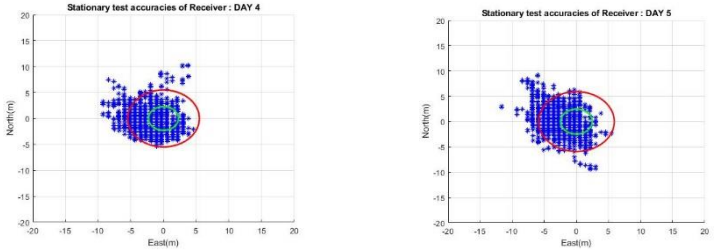
4. ผลการทดลองการรับสัญญาณของระบบ GPS

ทดสอบค่าความแม่นยำของระบบระบุพิกัดแบบหยุดอยู่กับที่ (Static) ด้วยการมัดตรึงชุดกังหันเติมอากาศไว้กับที่แล้วทำการเก็บผลการทดลองค่าละติจูด และค่าลองจิจูด โดยจะทดสอบเทียบผลการรับข้อมูลของเสาอากาศแต่ละชนิด คือ 1. เสาอากาศแบบ Passive 2. เสาอากาศแบบ Active โดยจะเก็บผลการทดลอง 1 ชั่วโมงเว้น 1 ชั่วโมง ทั้งหมด 6 ช่วงเวลาตั้งแต่เวลา 7 นาฬิกา ถึง 18 นาฬิกา เป็นเวลา 5 วัน ในเสาอากาศแบบ Passive และใน 3 วันของเสาอากาศแบบ Active ได้ค่าผลการทดลองของ CEP (วงกลมสีเขียว) และ 2DRMS (วงกลมสีแดง) ดังนี้

- วันที่ 1 เสาอากาศแบบ Passive ค่า CEP เท่ากับ 2.7356 m และ 2DRMS เท่ากับ 6.5755 m
- วันที่ 2 เสาอากาศแบบ Passive ค่า CEP เท่ากับ 2.5705 m และ 2DRMS เท่ากับ 6.1692 m
- วันที่ 3 เสาอากาศแบบ Passive ค่า CEP เท่ากับ 2.5623 m และ 2DRMS เท่ากับ 6.1543 m
- วันที่ 4 เสาอากาศแบบ Passive ค่า CEP เท่ากับ 2.2904 m และ 2DRMS เท่ากับ 5.4908 m
- วันที่ 5 เสาอากาศแบบ Passive ค่า CEP เท่ากับ 2.4612 m และ 2DRMS เท่ากับ 5.9027 m



ก. วันที่ 1 (Passive) ข. วันที่ 2 (Passive) ค. วันที่ 3 (Passive)

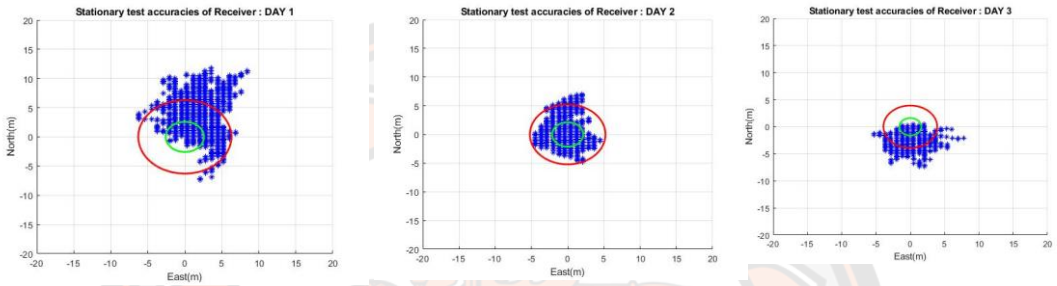


ง. วันที่ 4 (Passive) จ. วันที่ 5 (Passive)

ภาพ 68 ผลการทดสอบค่าความเที่ยงตรงของ GPS โดยเสาอากาศแบบ Passive ทั้งหมด 5 วัน

จากผลการทดลองตลอด 5 วัน ได้ค่า CEP เฉลี่ยเท่ากับ 2.524 เมตร และ 2DRMS เฉลี่ยเท่ากับ 6.0585 เมตร

- วันที่ 1 เสาอากาศแบบ Active ค่า CEP เท่ากับ 2.5824 m และ 2DRMS เท่ากับ 6.2856 m
- วันที่ 2 เสาอากาศแบบ Active ค่า CEP เท่ากับ 2.1343 m และ 2DRMS เท่ากับ 5.2147 m
- วันที่ 3 เสาอากาศแบบ Active ค่า CEP เท่ากับ 1.6101 m และ 2DRMS เท่ากับ 3.9199 m



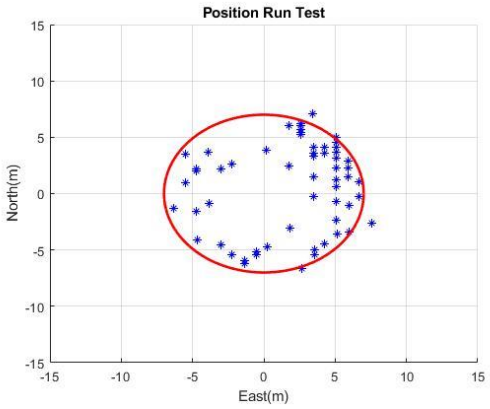
ก. วันที่ 1 (Active) ข. วันที่ 2 (Active) ค. วันที่ 3 (Active)

ภาพ 69 ผลการทดสอบค่าความเที่ยงตรงของ GPS โดยเสาอากาศแบบ Active ทั้งหมด 3 วัน

จากผลการทดลองตลอด 3 วัน ได้ค่า CEP เฉลี่ยเท่ากับ 2.1089 เมตร และ 2DRMS เฉลี่ยเท่ากับ 5.140 เมตร ซึ่งบงบอกได้ว่าเครื่องรับ GPS สามารถระบุตำแหน่งในการทำงานได้เป็นอย่างดี และเสาอากาศแบบ Active นั้นมีความแม่นยำในการรับสัญญาณมากกว่าเสาอากาศแบบ Passive

5. ผลการทดลองการเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งจุดเป้าหมาย

ทดสอบการเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมาย โดยการบังคับกังหันเติมอากาศให้ไปอยู่ที่ตำแหน่งใด ๆ ที่ไม่ใช่ตำแหน่งเป้าหมาย และเปลี่ยนโหมดการทำงานให้เป็นแบบอัตโนมัติซึ่งเครื่องเติมอากาศแบบล้อตักน้ำนั้นจะเริ่มตรวจสอบตำแหน่งเป้าหมาย และตำแหน่งปัจจุบันของตัวเอง และทำการคำนวณหาทิศทางการเคลื่อนเข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมาย จากนั้นจะทำการเคลื่อนที่มายังตำแหน่งเป้าหมายที่กำหนด โดยการทดสอบทำทั้งหมด 60 ครั้ง มีการเข้ามาจอดในพื้นที่รัศมีเป้าหมาย 56 ครั้ง นอกพื้นที่ 4 ครั้ง คิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ 93.3 % โดยมีผลการทดสอบแสดงดังภาพ 70



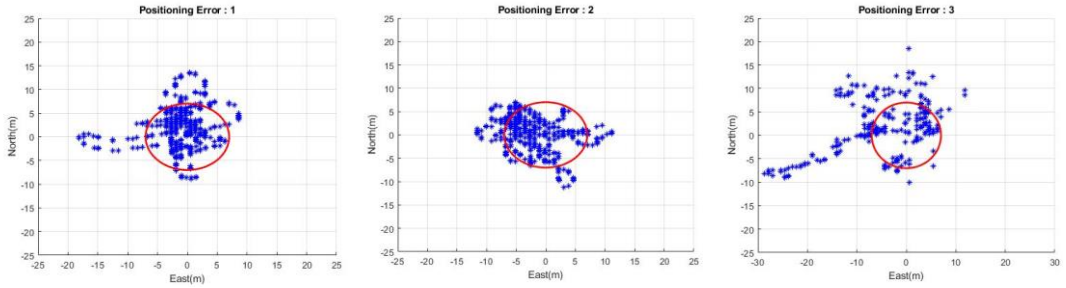
ภาพ 70 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมายรัศมี 7 เมตร

และเนื่องจากว่ารัศมีพื้นที่เป้าหมายมีขนาด 7 เมตร และชุดโครงสร้างของเครื่องเติมอากาศแบบล้อตักน้ำมีขนาดกว้าง 2.5 เมตร ยาว 2.65 เมตร ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนได้ 1 ต่อ 3 ของพื้นที่เป้าหมาย ดังนั้นจึงมีโอกาสที่ชุดโครงสร้างของเครื่องเติมอากาศนั้นจะยื่นออกนอกพื้นที่เป้าหมายในขณะที่ค่าละติจูดและลองจิจูดที่อ่านได้จาก GPS ยังอยู่ในพื้นที่เป้าหมาย

6. ผลการทดลองการรักษาตำแหน่งการทำงาน

การทดสอบระบบในการรักษาตำแหน่งนั้น ผู้วิจัยได้ทดสอบโดยการให้ระบบได้ทำงานจริงและเก็บผลข้อมูลเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จำนวน 3 ครั้ง โดยผู้วิจัยกำหนดตำแหน่งเป้าหมายให้กับชุดกังหัน เมื่อระบบเริ่มทำงาน เครื่องเติมอากาศจะเคลื่อนที่ไปสู่ตำแหน่งเป้าหมาย เมื่อถึงตำแหน่งเป้าหมายแล้วระบบระบบขับเคลื่อนจะหยุดการทำงาน แล้วทำการเติมอากาศ (ล้อกังหันตักน้ำเริ่มหมุน) และเมื่อกังหันหลุดออกจากรัศมีตำแหน่งเป้าหมาย 7 เมตร ก็จะเคลื่อนกลับสู่ตำแหน่งเป้าหมายเดิมด้วยการเคลื่อนที่อัตโนมัติโดยจะทำงานซ้ำ ๆ เช่นนี้ไปตลอดการทำงาน โดยจะมีการ ส่งค่าละติจูด และลองจิจูดแบบไร้สายมายังผู้รับบนฝั่ง ทุก ๆ 2 วินาที ได้ผลการทดลองแสดงดังภาพ 71 ดังนี้

- ครั้งที่ 1 ได้ข้อมูลของตำแหน่งมา 1736 ตำแหน่ง ซึ่งอยู่ในพื้นที่วงกลม 1436 ตำแหน่ง และ นอกพื้นที่วงกลม 300 ตำแหน่ง ได้ความคลาดเคลื่อน 17.28 %
- ครั้งที่ 2 ได้ข้อมูลของตำแหน่งมา 1738 ตำแหน่ง ซึ่งอยู่ในพื้นที่วงกลม 1331 ตำแหน่ง และ นอกพื้นที่วงกลม 407 ตำแหน่ง ได้ความคลาดเคลื่อน 23.42 %
- ครั้งที่ 3 ได้ข้อมูลของตำแหน่งมา 1775 ตำแหน่ง ซึ่งอยู่ในพื้นที่วงกลม 1104 ตำแหน่ง และ นอกพื้นที่วงกลม 671 ตำแหน่ง ได้ความคลาดเคลื่อน 37.8 %



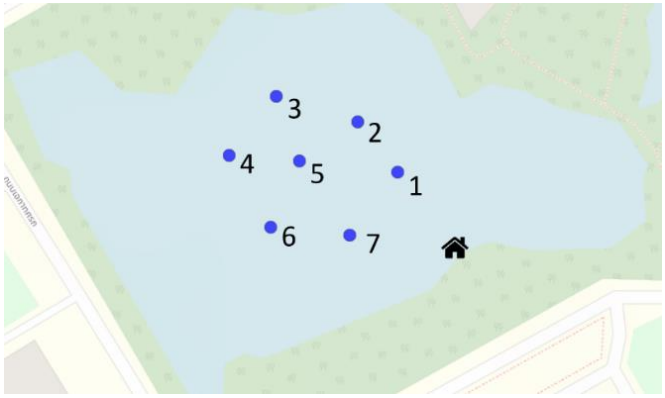
ก. ครั้งที่ 1 ข. ครั้งที่ 2 ค. ครั้งที่ 3

ภาพ 71 ผลการทดสอบการรักษาตำแหน่งการทำงาน

จากผลการทดลองครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 3 พบว่ามีการเบี่ยงเบนของตำแหน่งออกจากพื้นที่เป้าหมายเป็นจำนวนมากเนื่องจากมีลมพัดค่อนข้างแรง แต่อย่างไรก็ตามระบบก็ยังพยายามที่จะรักษาตำแหน่งให้อยู่ในพื้นที่เป้าหมายได้ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรวม 26.17 %

7. ผลการทดสอบระบบควบคุมตำแหน่งของกังหันเติมอากาศแบบต่อเนื่อง 7 ตำแหน่ง แบบอัตโนมัติ

หลังจากที่ได้ทดสอบระบบส่วนต่าง ๆ ทั้งหมด ผู้วิจัยได้ทดลองให้เครื่องเติมอากาศแบบล้อตักน้ำ เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งการทำงานที่กำหนดขึ้นไว้ 7 ตำแหน่ง โดยจะตั้งค่าให้ระบบทำงานในแต่ละตำแหน่ง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยจะเริ่มทำงานตั้งแต่เวลา 9 นาฬิกาจนถึง 16 นาฬิกา เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้วตัวเครื่องเติมอากาศแบบล้อตักน้ำ จะเคลื่อนที่กลับมายังตำแหน่งพัก ซึ่งตำแหน่งที่กำหนดจะแสดงให้เห็น ดังภาพ 72



ภาพ 72 กำหนดจุดตำแหน่งการทำงานให้กับระบบ

จากภาพที่ 72 ตำแหน่งพิกัดทั้ง 8 ตำแหน่งเป้าหมายมีดังต่อไปนี้

ตำแหน่งพัก : 16.743120 องศาตะวันออก และ 100.193325 องศาเหนือ

ตำแหน่งที่ 1 : 16.743342 องศาตะวันออก และ 100.193132 องศาเหนือ

ตำแหน่งที่ 2 : 16.743502 องศาตะวันออก และ 100.192998 องศาเหนือ

ตำแหน่งที่ 3 : 16.743586 องศาตะวันออก และ 100.192724 องศาเหนือ

ตำแหน่งที่ 4 : 16.743396 องศาตะวันออก และ 100.192566 องศาเหนือ

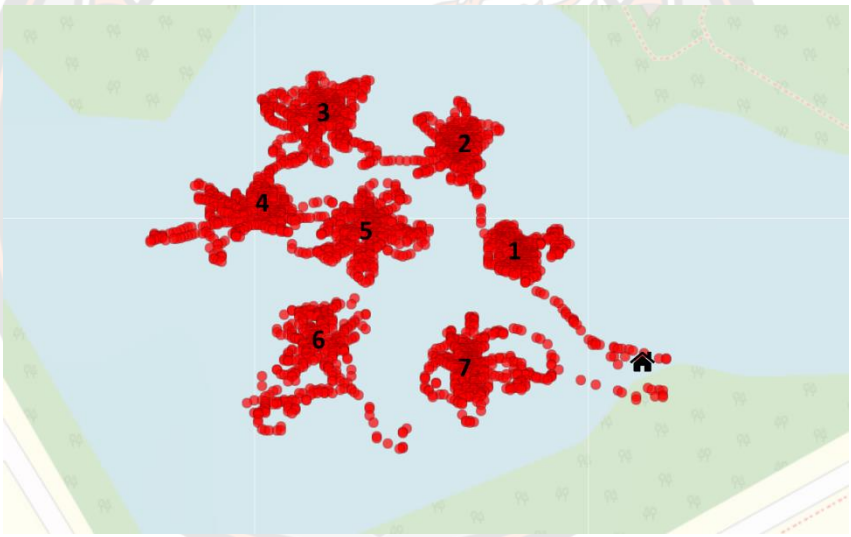
ตำแหน่งที่ 5 : 16.743378 องศาตะวันออก และ 100.192802 องศาเหนือ

ตำแหน่งที่ 6 : 16.743165 องศาตะวันออก และ 100.192705 องศาเหนือ

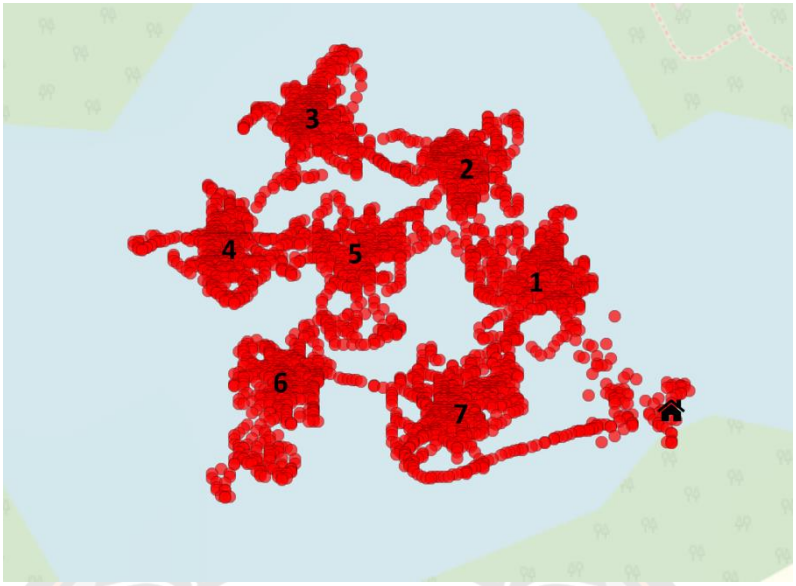
ตำแหน่งที่ 7 : 16.743139 องศาตะวันออก และ 100.192971 องศาเหนือ

โดยจะทำการเก็บผลการทดลองทั้งหมด 3 วัน หลังจากนั้นนำค่า ละติจูด ลองจิจูด มาทำการพล็อตกราฟติดตามจะได้ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 73 74 และ 75 ตามลำดับ ดังนี้

ภาพ 73 การทดสอบระบบทำงาน 7 ตำแหน่งวันที่ 1



ภาพ 74 การทดสอบระบบทำงาน 7 ตำแหน่งวันที่ 2



ภาพ 75 การทดสอบระบบทำงาน 7 ตำแหน่งวันที่ 3

จากผลการทดสอบระบบควบคุมตำแหน่งของกังหันเติมอากาศแบบต่อเนื่อง 7 ตำแหน่งโดยอัตโนมัติ ทั้ง 3 วัน ได้ผลลัพธ์ ค่า CEP และ 2DRMS เฉลี่ย ดังนี้

- วันที่ 1 ค่า CEP เฉลี่ย เท่ากับ 4.389 เมตร และ ค่า 2DRMS เฉลี่ย เท่ากับ 10.646 เมตร
- วันที่ 2 ค่า CEP เฉลี่ย เท่ากับ 5.533 เมตร และ ค่า 2DRMS เฉลี่ย เท่ากับ 13.494 เมตร
- วันที่ 3 ค่า CEP เฉลี่ย เท่ากับ 6.663 เมตร และ ค่า 2DRMS เฉลี่ย เท่ากับ 16.055 เมตร

จากจุดพล็อตกราฟในภาพที่ 73 74 และ 75 มีบางช่วงเวลาที่ระบบนั้นหลุดออกจากตำแหน่งการทำงานด้วยปัจจัยต่าง ๆ อย่างเช่น ลมพัด การไหลของกระแสน้ำ แต่ตัวระบบก็ยังสามารถที่จะเคลื่อนที่กลับมายังตำแหน่งการทำงานที่กำหนดและเปลี่ยนตำแหน่งการทำงานตามเวลาที่ผู้ใช้งานได้ตั้งไว้ ซึ่งจากภาพจะเห็นการเกาะกลุ่มของตำแหน่งข้อมูล สอดคล้องกับตำแหน่งจุดการอ้างอิงการทำงานทั้ง 7 ตำแหน่ง

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบ สร้าง และทดสอบการทำงานของระบบควบคุมตำแหน่งของกังหันเติมอากาศแบบตักน้ำอัตโนมัติด้วยระบบจีพีเอส ที่มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งได้ด้วยการทำงานทั้งในรูปแบบกำหนดด้วยมือและอัตโนมัติ จากการทดสอบการทำงาน แสดงให้เห็นว่าระบบการเติมอากาศสามารถทำงานได้ดีในสภาวะที่ความเข้มแสงมากกว่า 10,000 LUX โดยมีการหมุน เติมอากาศที่คงที่ 7 รอบต่อนาที (เป็นความเร็วสูงสุด) โดยความเร็วของการหมุนขนาดนี้จะทำให้น้ำภายในซองที่ตักลอยขึ้นสูงจากผิวน้ำและสัมผัสกับอากาศได้นานมากขึ้น อีกทั้งน้ำจะไหลจากซองหมดพอดีก่อนที่ซองจะหมุนตั้งฉากกับผิวน้ำก่อนที่จะตักน้ำในซองถัดไปเพื่อที่จะไม่ให้รับหนักเกินจากการตักน้ำ ซึ่งน้ำหนักที่เกินนั้นอาจจะทำให้ ระบบเพลา ชุดเกียร์ทด และมอเตอร์เสียหายได้ และในส่วนของการรักษาตำแหน่งในการเคลื่อนที่เข้าสู่เป้าหมาย สามารถทำงานได้ดีและมีความคลาดเคลื่อนในการเข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมาย CEP เท่ากับ 4.5999 เมตร และ 2DRMS เท่ากับ 11.0266 เมตร และในส่วนการรักษาตำแหน่งการทำงานนั้น เครื่องเติมอากาศสามารถรักษาตำแหน่งให้อยู่ในพื้นที่เป้าหมายภายใต้รัศมี 7 เมตร ด้วยความคลาดเคลื่อน 26.17 % โดยความคลาดเคลื่อนนี้ เป็นผลจากความคลาดเคลื่อนของโมดูล GPS ที่มีอยู่แล้วระดับหนึ่ง นอกจากนี้ยังได้ทดสอบการทำงานของระบบให้มีการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการทั้งหมด 7 ตำแหน่งทั่วสระน้ำ ในการทดลองระบบสามารถเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งการทำงานที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง และรักษาตำแหน่งให้อยู่กับที่ได้ตามเวลาที่กำหนด

นอกจากนี้ยังพบว่ามีปัจจัยภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบขับเคลื่อน เช่น ลมพัดแรงทำให้เครื่องเติมอากาศหลุดลอยออกจากตำแหน่งเป้าหมาย แสงแดดมีความเข้มไม่เพียงพอทำให้ระบบไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพในการหมุนเติมอากาศ ซึ่งผลการทดสอบโดยรวมแสดงให้เห็นว่ากังหันเติมอากาศที่ได้นำเสนอมีการทำงานเติมอากาศและรักษาตำแหน่งได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยในอนาคตจะมีการต่อยอดวิเคราะห์และทดสอบการหาค่าประสิทธิภาพการเติมอากาศ

ตาราง 4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่ได้นำเสนอ

คุณสมบัติ\งานวิจัย	งานวิจัยที่ 1	งานวิจัยที่ 2	งานวิจัยที่ 3	งานวิจัยที่ 4	งานวิจัยที่ 5	งานวิจัยที่ได้นำเสนอ
ตรวจวัดค่าต่างๆ	✓	✓	✓	✓	-	-
ควบคุมปริมาณออกซิเจน	✓	-	-	-	-	-
ใช้พลังงานแสงอาทิตย์	-	✓	-	✓	✓	✓
ติดตามแสง	-	-	-	✓	✓	-
ให้อาหารปลา กุ้ง	-	-	-	✓	-	-
เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ อย่างอิสระ	-	✓	✓	-	-	-
เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดแบบอัตโนมัติ	-	-	-	-	-	✓
รักษาตำแหน่งการทำงานให้อยู่กับที่	-	-	-	-	-	✓
ติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งานระยะไกล	-	-	-	-	-	✓

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

[1] Fatin Farhana Anuar and Badrul Aisham Md Zain, 2018, **Comparative Study on Flexible Link Aerator Using Arduino Programming and Dissolved Oxygen Meter**, Advanced Dynamic Control Research Group (ADCARe), Faculty of Mechanical Engineering & Manufacturing Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM)

[2] Muralidhar K and Amal D Nair, 2017, **Mobile Solar Aerator**, U G student, Dept. of E&CE,SVCE,Bengaluru, Karnataka, India

[3] Chuan Zhan and Mengcen Li, 2015, **AUTO IMPELLER AERATOR**, Final Report for ECE 445, Senior Design

[4] Rizki Dian Rahayani and Arif Gunawan, 2018, **Proposed Design of an Automatic Feeder and Aerator Systems for Shrimps Farming**, Electrical Engineering Departement, Pekanbaru. Indonesia

[5] Darunee Chaythong and Saner Sa-ad, 2016, **The solar tracking powered aerator: A case study of wastewater treatment**, Electronic Engineering, Faculty of Engineering Rajamangala University, Songkhla, Thailand

[6] จิระพล พุ่มสกุล, 2557, **ปัญหาน้ำเสียจากบ้านพักอาศัยและสถานปนะกอบการในเขตเทศบาลตำบลดอนหัวฬ่อ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี**, สาขาวิชาการเมืองการปกครอง คณะรัฐศาสตร์และนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[7] สุเมธ อาวสกุลสุทธิ. 2562. **ปัญหาน้ำเน่าเสียในประเทศไทย**, อพวช.องค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ

[8] ดรุณี ศริวิไล, 2555, **การจัดการน้ำเสียขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น: กรณีศึกษาเทศบาลตำบลเมืองแกลง จังหวัดระยอง**, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

[9] สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2560, **คู่มือ ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน**

[10] Mohammed Z. Al-Faiz and Ghufran E. Mahameda, 2015, **GPS-based Navigated Autonomous Robot**, College of Information Engineering Al-Nahrain University, Baghdad, Iraq

[11] Rilene Carolina Goelzer, 2017, **Autonomous Paddle Aerator for Shrimp Tanks**, Control and Automation Engineering Federal University of Rio Gra

[12] R. Azhagumurugan, 2017, **GUIDING & CONTROL OF FISHERMEN BOAT USING GPS**, Department of Electrical and Electronics Engineering. Sri Sai Ram Engineering college Chennai, India.

[13] Bhaskar Banerjee, 2020, **The Best Way to Utilize Robotic Trash Boat with GPS Navigation**, Department of ECE, Bengal Institute of Technology, Kolkata, India

[14] Ronny Mardiyanto, 2018, **Development of Navigation Method of Buoyant Boat for Maintaining Position of The Boat and Underwater Remotely Operated Vehicle**, Electrical Engineering Department Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Indonesia

[15] Douglas Soares dos Santos, 2013, **Autonomous navigation of a small boat using IMU/GPS/digital compass integration**, Division of Electronic Engineering Instituto Tecnológico de Aeronáutica

[16] บริษัท ย่งฮง (ประเทศไทย) จำกัด, 2018, **ประเภทของเครื่องเติมอากาศมีอะไรบ้าง???** เข้าถึงได้จาก : https://www.yonghong.co.th/the-article/%E0%B8%9B%E0%B (วันที่สืบค้นข้อมูล 16 กุมภาพันธ์ 2564)

[17] บริษัท เอ็นท์วิคเลอร์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด, 2018, **เครื่องเติมอากาศ** เข้าถึงได้จาก : https://www.entwickler-engineering.com/th/%E0%B9%80% (วันที่สืบค้นข้อมูล 16 กุมภาพันธ์ 2564)

[18] บริษัท ทีทีเอฟ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด, 2016, **“กังหันน้ำชัยพัฒนา” สุดยอดนวัตกรรมจากพระอัจฉริยภาพของพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9** เข้าถึงได้จาก : https://www.buildernews.in.th/techproductscate/techinnovation (วันที่สืบค้นข้อมูล 16 กุมภาพันธ์ 2564)

[19] อดีตนักเรียนวารสารศาสตร์, 2562, **รู้จักการทำงานของ "เซลล์แสงอาทิตย์" พลังงานทดแทนที่เปลี่ยนแดดร้อนๆ ให้เป็นความเย็นในหน้าร้อนนี้** เข้าถึงได้จาก : https://www.mangozero.com/how-solar-cell-work/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 3 กุมภาพันธ์ 2565)

[20] กระทรวงพลังงาน, 2021, **ทำความรู้จักกับ ‘3 ชนิด ของโซลาร์เซลล์**

เข้าถึงได้จาก : https://old.energy.go.th/3-%e0%b8%8a%e0%b8%9
(วันที่สืบค้นข้อมูล 3 กุมภาพันธ์ 2565)

[21] ดิชิตชัย เมตตาริกานนท์, 2015, **เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการจัดการสารสนเทศ**. สนพ.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[22] จิรภัทร จันทร์แก้ว ,2562, **ระบบควบคุมไฟส่องสว่างจากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโทรศัพท์มือถือ** ,โรงเรียนอิเล็กทรอนิกส์กองวิทยาการ กรมอิเล็กทรอนิกส์ทหารเรือ

[23] รักษพล ธนานุวงศ์, 2564, **แบตเตอรี่: ตอนที่ 2 อุปกรณ์ให้พลังงานแห่งอนาคต**
เข้าถึงได้จาก : https://www.scimath.org/article-physics/item/12467-2-2
(วันที่สืบค้นข้อมูล 3 กุมภาพันธ์ 2565)

[24] บริษัท แฟ็คโตมาร์ท จำกัด, 2562, **วิธีควบคุม Temperature Controller ก่อนนำไปใช้งาน**
เข้าถึงได้จาก : https://mall.factomart.com/how-to-control-a-temperature
(วันที่สืบค้นข้อมูล 3 กุมภาพันธ์ 2565)

[25] บริษัท โปรซอฟท์ คอมเทค จำกัด, 2018, **GPS Tracking คืออะไร**
เข้าถึงได้จาก : https://www.prosoftgps.com/Article/Detail/70625
(วันที่สืบค้นข้อมูล 4 กุมภาพันธ์ 2565)

[26] คาร์แทรค เทคโนโลยี (ไทยแลนด์), 2018, **GPS Module คืออะไร มารู้จัก GPS Module กันเถอะ**
เข้าถึงได้จาก : https://www.cartrack.co.th/gps-module#:~:text=GPS%20Modu
(วันที่สืบค้นข้อมูล 4 กุมภาพันธ์ 2565)

[27] Juniper Systems. **GNSS/GPS ACCURACY EXPLAINED**
เข้าถึงได้จาก : https://junipersys.com/index.php/support/article/6614.
(วันที่สืบค้นข้อมูล 6 กุมภาพันธ์ 2565)

[28] dragons8mycat. **GPS – a quick guide**
เข้าถึงได้จาก : https://dragons8mycat.com/2014/06/ 16/gps-a-quick-guide/.
(วันที่สืบค้นข้อมูล 6 กุมภาพันธ์ 2565)

[29] Movable Type Scripts. **Calculate distance, bearing and more between Latitude/Longitude points**
เข้าถึงได้จาก : https://www.movable-type.co.uk/scripts/ latlong.html.
(วันที่สืบค้นข้อมูล 6 กุมภาพันธ์ 2565)

[30] aeroscience, 2014, **Circular Error Probable approximations for weapons testing**
เข้าถึงได้จาก : https://aeroscience.wordpress.com/2014/12/27/circular-error-pr
(วันที่สืบค้นข้อมูล 6 กุมภาพันธ์ 2565)

[31] MICHAEL COYLE, 2012, **Calculating your own GPS accuracy**
เข้าถึงได้จาก : https://blog.oplopanax.ca/2012/11/calculating-gps-accuracy/
(วันที่สืบค้นข้อมูล 6 กุมภาพันธ์ 2565)

[32] คาร์แทรค เทคโนโลยี. **พิกัด UTM คือ อะไร**
เข้าถึงได้จาก : https://www.cartrack.co.th/%E0%B8%9E%E0%B8
(วันที่สืบค้นข้อมูล 6 กุมภาพันธ์ 2565)

[33] สำนักงานการพิมพ์ของรัฐบาลสหรัฐอเมริกาวอชิงตัน ดี.ซี. **ระบบพิกัด Universal Transverse Mercator**
เข้าถึงได้จาก : https://hmong.in.th/wiki/Universal_Transverse_Mercator
(วันที่สืบค้นข้อมูล 6 กุมภาพันธ์ 2565)

[34] รุ่งโรจน์ สงวนวัฒนา และพินิจ กาหอม, 2558, **ระบบตรวจนับและตรวจสอบเครื่องมือด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย**, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[35] อาทิตย์ อยู่เย็น วรุตม์ บุญเลี่ยม และศิริเรือง พัฒน์ช่วย, 2561, **ระบบสร้างแผนที่แนวการวางอวนปูบริเวณแนวฝั่งเพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรสัตว์น้ำ “กรณีศึกษาหมู่บ้านชาวประมง ต.อ่าวน้อย อ.เมือง จ.ประจวบคีรีขันธ์”**, สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

[36] ardubotics. **GY-26 HMC1022 Electronic guide module**
เข้าถึงได้จาก : https://ardubotics.eu/en/sensors/1200-gy-26-hmc1022-electronic
(วันที่สืบค้นข้อมูล 6 กุมภาพันธ์ 2565)

[37] นวภัทรา และ ทวีพล, 2555, **การวัดและเครื่องมือวัด ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร**
เข้าถึงได้จาก : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4360/flow
(วันที่สืบค้นข้อมูล 6 กุมภาพันธ์ 2565)

[38] Akshay Upadhyay, 2019, **Haversine Formula – Calculate geographic distance on earth.**

เข้าถึงได้จาก : https://www.igismap.com/haversine-formula-calculate-geographic (วันที่สืบค้นข้อมูล 6 กุมภาพันธ์ 2565)

[39] Akshay Upadhyay, 2015, **Formula to Find Bearing or Heading angle between two points: Latitude Longitude.**
เข้าถึงได้จาก : https://www.igismap.com/formula-to-find-bearing-or-heading (วันที่สืบค้นข้อมูล 6 กุมภาพันธ์ 2565)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่รับตีพิมพ์เผยแพร่

1. กังหันเติมอากาศแบบตักน้ำ 2 ล้ออัตโนมัติควบคุมตำแหน่งด้วยระบบจีพีเอส โดย วสันต์ วิชัย, วสุ พันไพศาล, เกรียงศักดิ์ พรมภักดิ์, อนุชา แก้วพูลสุข, นพดล สีสุข และปราโมทย์ วาดเขียน. Conference Proceedings The 11th Phayao Research Conference Online 2022, Page 1213-1223.

2. เครื่องช่วยการเคลื่อนไหวข้อเข่าอย่างต่อเนื่องด้วยการควบคุมผ่านระบบไร้สายบนแอพพลิเคชั่นโทรศัพท์มือถือ โดย ธนวัฒน์ อุ่นใจ, วสันต์ วิชัย และวสุ พันไพศาล. การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ราชภัฏวิจัย ครั้งที่ 6 วันที่ 17-18 สิงหาคม 2563
ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

กังหันเติมอากาศแบบตักน้ำ 2 ล้ออัตโนมัติควบคุมตำแหน่งด้วยระบบจีพีเอส

Autometic 2 wheel solar areator bot controlled with GPS

วสันต์ วิชัย[1*], วสุ พันไพศาล[2], เกรียงศักดิ์ พรมภักดี[1*], อนุชา แก้วพูลสุข[1], นพดล สีสุข[1] และ ปราโมทย์ วาดเขียน[3]

Wasan Wichai[1*], Wasu Panpaisan[2], Kriengsak Phromphak[1*], Anucha Kaewpoonsuk[1], Noppadon Sisuk[1] and Pramote Wardkien[3]

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ กังหันน้ำล้อหมุนเพิ่มอากาศแบบล้อหมุนคู่ 12 ซองตักน้ำที่เคลื่อนที่และรักษาตำแหน่งการทำงานด้วยตัวเอง ได้ถูกนำเสนอโดยระบบประกอบไปด้วยกังหันล้อหมุน คู่ 2 ล้อ 1 แกนหมุน ที่ถูกขับด้วยพลังงาน จากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 350 วัตต์ และมีระบบขับเคลื่อนตัวเองด้วยปั๊มแบบดูด 2 ตัว โดยมีระบบนำร่องควบคุมการเคลื่อนที่ด้วย GPS และเข็มทิศแม่เหล็ก ซึ่งกังหันถูกออกแบบให้ทำงานได้ 2 โหมด คือโหมดควบคุมด้วยรีโมท(บังคับมือ) และโหมดทำงานอัตโนมัติด้วยการกำหนดพิกัดการทำงาน และเวลา โดยในโหมดนี้กังหันจะออกเดินทางจากท่าจอดไปยังตำแหน่งที่จะเติมอากาศ และเมื่อถึงตำแหน่งเป้าหมายกังหันน้ำก็จะเริ่มหมุนทำงานเติมอากาศ และเมื่อครบเวลาที่กำหนดกังหันก็จะหยุดหมุนเติมอากาศและเคลื่อนที่กลับมายังท่าจอด จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานและรักษาตำแหน่งขณะกังหันหมุนเติมอากาศได้เป็นอย่างดี ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการรักษาตำแหน่งเท่ากับ 26.17 %

คำสำคัญ: กังหันเติมอากาศ, ระบบ GPS, การรักษาตำแหน่ง, ระบบควบคุมไร้สาย

Abstract

This research presents an automatic pinned-position of double-wheel twelve-blades surface aerator. The proposed system consists of a 350 watts solar-powered single-shaft double-wheel aerator together with double jet pumps as propulsion system. GPS and electronic compass were used to control and achieve its navigation. An aerator was designed to operate in two modes as manual and automatic. Automatic mode was designed to operate beyond a schedule of position and time. When automatic mode is selected, the aerator navigates to its position a start rotation until it reaches its scheduled timer. Then, the aerator stops rotation and navigates back to its parking port. The proposed system showed satisfactory results with an error in position of 26.17%

Keywords: Aerator, GPS system, Maintaining position, Wireless

[1] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

[2] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000

[3] ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

[1] Department of Physics, Faculty of Science, Naresuan University Phitsanulok 65000

[2] Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University Phitsanulok 65000

[3] Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang 10520

* Corresponding author e-mail: kriangsakp@nu.ac.th

บทนำ

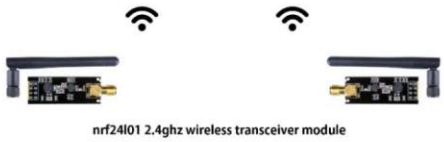
น้ำนับได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่เป็นปัจจัยพื้นฐานของการดำรงชีวิตของมนุษย์ และสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ กิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ต้องใช้น้ำเช่น การเพาะปลูก การชำระล้าง ทำความสะอาด หรือแม้แต่ใช้ในการบริโภค ท่ามกลางสภาวะที่ประชากรของโลกเพิ่มจำนวนมากขึ้นส่งผลให้มีความต้องการใช้น้ำในการอุปโภคและบริโภค และใช้น้ำทำการเพาะปลูก และอุตสาหกรรมมากขึ้น ส่งผลให้เกิดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสิ่งสกปรกเพิ่มปริมาณมากเกินกว่าความสามารถของธรรมชาติที่จะกำจัดได้ จึงมีความจำเป็นที่มนุษย์จะต้องเข้ามาจัดการแก้ไข กระบวนการในการแก้ไขทำให้น้ำเสียกลายเป็นน้ำดีได้วิธีหนึ่งก็คือ การเติมอากาศให้กับน้ำ [1, 2] ซึ่งจะมีส่วนช่วยทำให้จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของเสียที่อยู่ในน้ำทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ของเสียดังกล่าวกลายเป็นตะกอนตกลงสู่ก้นแม่น้ำ โดยการเติมอากาศให้แก่น้ำโดยหลักการก็คือ การทำให้อากาศสัมผัสกับน้ำมากขึ้นจึงทำให้ก๊าซที่อยู่ในอากาศ เช่นออกซิเจนละลายปนไปกับน้ำได้มาก โดยวิธีการที่พบเห็น ได้โดยธรรมชาติ ได้แก่ น้ำตกเป็นต้น จนกระทั่งในปัจจุบันจากการสืบค้นก็พบว่ามีการประดิษฐ์สร้างอุปกรณ์ที่ทำให้อากาศสัมผัสกับน้ำได้มากขึ้นเพื่อเติมอากาศลงไปในน้ำในหลากหลายรูปแบบโดยสามารถ แบ่งออกได้เป็นประเภทหลักใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท คือ Air into Water และ Water into Air [3] โดยเครื่องเติมอากาศที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นซึ่งสามารถจะแบ่งได้เป็นการใช้แรงโน้มถ่วงก็คือการปล่อยให้น้ำไหลจากที่สูงลงมาผ่านขั้นบันไดเพื่อเพิ่มพื้นที่ให้น้ำสัมผัสกับอากาศมากขึ้น ซึ่งเป็นเทคนิคเดียวกับน้ำตก วิธีต่อมาก็คือ การทำให้น้ำกลายเป็นละอองด้วยการใช้สเปรย์ในการแพร่กระจาย และวิธีสุดท้ายก็เป็นวิธีทางกลโดยใช้การตักน้ำและโยนขึ้นไปในอากาศเพื่อสร้างพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศให้มีปริมาณมากขึ้น เช่นน้ำพุ เครื่องกังหันกวักน้ำหรือกังหันตักน้ำ [4] และปล่อยให้น้ำไหลออกจากซองตักน้ำตามรูที่เจาะไว้ก็จะเป็นอีกเทคนิคหนึ่งในการสร้างพื้นที่สัมผัสให้มากขึ้น โดยที่ผ่านมากังหันตักน้ำแบบซองปล่อย [5] ก็จะอาศัยแหล่งพลังงานทั้งหลายในธรรมชาติ เช่น พลังงานจากน้ำที่กำลังไหลและพลังงานจากฟอสซิลทั้งไฟฟ้า และน้ำมันและเนื่องจากในปัจจุบันแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาถูกลงและมีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงทำให้มีการนำแหล่งพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้กับกังหันตักน้ำมากขึ้น [6] แต่อย่างไรก็ตามกังหันตักน้ำทั้งหมดที่กล่าวมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งกังหันแบบซองตักน้ำแล้วปล่อยจะต้องมีการยึดจับตัวกังหันเอาไว้ถ้าไม่เช่นนั้นแล้ว เมื่อกังหันตักน้ำมันจะมีแรงกระทำให้กังหันมีการเคลื่อนที่ไปได้ในทิศทางและตำแหน่งที่ไม่ต้องการอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่ตัวกังหันเองได้ [7] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการสร้างกังหันตักน้ำเพิ่มอากาศแบบซองปล่อย 2 ล้อ ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเองและรักษาตำแหน่งของตัวเองได้โดย GPS และใช้แหล่งพลังงาน จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยกังหันดังกล่าวนี้มีพื้นฐานอยู่บนระบบกังหันชัยพัฒนา [8]

ในบทความวิจัยนี้มีการจัดเนื้อหาออกเป็น 5 หัวข้อดังนี้ ความเป็นมาของการเติมอากาศและกังหันเติมอากาศถูกแสดงไว้ในหัวข้อที่ 1 หัวข้อที่ 2 จะได้กล่าวถึงหลักการที่เกี่ยวข้องในการออกแบบและสร้างกังหันตักน้ำแล้วปล่อยเพื่อเติมอากาศ หัวข้อที่ 3 การออกแบบและสร้างกังหันตักน้ำเติมอากาศ หัวข้อที่ 4 เป็นการทดสอบการทำงานและผลของการทดลอง และหัวข้อสุดท้ายก็เป็นการสรุปและวิจารณ์ผลการทำงานของกังหันเติมอากาศที่ได้นำเสนอ

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1 ระบบรับส่งข้อมูล

ในการรับส่งข้อมูลระหว่างตัวกังหันล้อตักน้ำและส่วนรีโมทควบคุมนั้นจะเป็นการส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่านโมดูลสื่อสารไร้สาย nrf24l01 ดังแสดงในรูปที่ 1



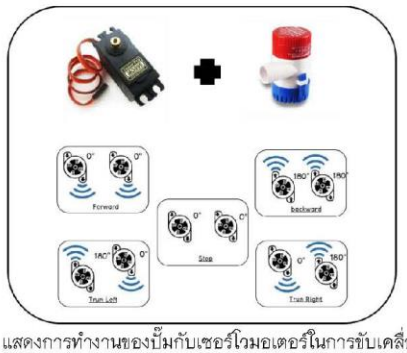
รูปที่ 1 nrf24l01 2.4 GHz wireless transceiver module ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลไร้สาย

จากรูปที่ 1 ระบบรับส่งข้อมูลนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนกังหันล้อตักน้ำและส่วนรีโมทควบคุม โดยรีโมทควบคุมจะส่งข้อมูลจากผู้ใช้งานไปควบคุมกังหันเช่น การบังคับให้มีการเคลื่อนที่ กำหนดตำแหน่งการทำงาน สั่งให้ระบบเคลื่อนที่ไปยังจุดที่กำหนดอัตโนมัติ ในส่วนของเครื่องเติมอากาศนั้นจะทำการรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากโมดูลเช่น ค่าละติจูด ลองจิจูด เข็มทิศ ข้อมูลจากการคำนวณทิศทางระหว่างตำแหน่ง ระยะห่างจากจุดที่กำหนดไว้ให้ระบบทำงาน ส่งค่าทั้งหมดนี้มายังรีโมทควบคุมให้ผู้ใช้งานได้ทราบถึงข้อมูลดังกล่าว

1.2 ระบบการขับเคลื่อน

ในส่วนของการขับเคลื่อนผู้วิจัยใช้ปั๊มแบบจุ่มน้ำดูดและฟ่นใต้น้ำ ตัวปั๊มถูกออกแบบให้มีแกนติดอยู่กับเซอร์โวมอเตอร์ที่หมุนได้ 0-180 องศา ซึ่งชุดนี้จะติดตั้งอยู่ที่ด้านหลังของโครงกังหันตรงด้านซ้ายและขวาลักษณะการทำงานเป็นดังนี้คือ เมื่อจะให้กังหันเคลื่อนที่ไป

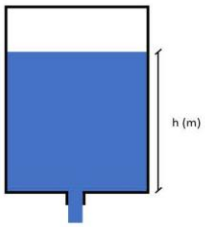
- ด้านหน้า เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนไปที่มุม 0 องศา ปั๊มน้ำจะทำงานทั้งสองตัว
- ถอยหลัง เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนไปที่มุม 180 องศา ปั๊มน้ำจะทำงานทั้งสองตัว
- เลี้ยวซ้าย เซอร์โวมอเตอร์ด้านซ้ายจะหมุนไปที่มุม 180 องศาและเซอร์โวมอเตอร์ด้านขวาจะหมุนไปที่มุม 0 องศา ปั๊มน้ำจะทำงานทั้งสองตัว
- เลี้ยวขวา เซอร์โวมอเตอร์ด้านซ้ายจะหมุนไปที่มุม 0 องศาและเซอร์โวมอเตอร์ด้านขวาจะหมุนไปที่มุม 180 องศา ปั๊มน้ำจะทำงานทั้งสองตัว



รูปที่ 2 แสดงการทำงานของปั๊มกับเซอร์โวมอเตอร์ในการขับเคลื่อนชุดโครงกังหัน

1.3 การตักน้ำ

การตักน้ำของล้อตักน้ำจะคำนวณอัตราการไหลของน้ำจากซองตักน้ำโดยน้ำจะไหลผ่านรูที่เจาะด้านใต้ก้นซอง โดยจะให้น้ำไหลหมดซองก่อนที่ซองตักน้ำจะตั้งฉากกับผิวน้ำโดยจะให้มุมองศาในการเทน้ำอยู่ที่ 60-80 องศา เพื่อที่จะให้น้ำไหลเป็นสายได้ยาวและสัมผัสกับอากาศให้ได้มากที่สุด จากรูปจำลองอัตราการไหลของน้ำจากแทงค์น้ำที่ความสูง h เมตร



รูปที่ 3 จำลองอัตราการไหลของน้ำจากแทงค์น้ำที่ความสูงระดับ h

โดยอาศัยสมการความสัมพันธ์ตามทฤษฎีของเบอร์นูลี่แสดงดังสมการที่ 1

$$p_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2+\rho g h_1=p_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2+\rho g h_2 \quad (1)$$

จากรูปหากพิจารณาว่าตำแหน่งความสูงของทั้ง 2 ตำแหน่งไม่ได้อยู่แตกต่างกันมากจึงประมาณให้ค่าความดันมีค่าเท่ากันดังนั้นสมการที่ 1 เขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2+\rho g h_1=\frac{1}{2}\rho v_2^2+\rho g h_2 \quad (2)$$

เมื่อพิจารณาให้จุดความสูง h_1 ให้เป็นจุดอ้างอิงให้เท่ากับ 0 และให้จุด h_2 มีค่าเท่ากับ h สมการความสัมพันธ์จึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2=\frac{1}{2}\rho v_2^2+\rho g h \quad (3)$$

หากพิจารณาจุดการเติมน้ำด้านบนมีขนาดใหญ่กว่ารูด้านล่างมากส่งผลให้จุดการเติมน้ำด้านบนมีอัตราเร็วที่ต่ำมากๆ เมื่อเทียบกับด้านล่างหรือประมาณได้ว่าอัตราเร็ว v_2 เท่ากับศูนย์ดังนั้นสมการที่ 3 จึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2=\rho g h \quad (4)$$

ดังนั้นจึงสามารถหาค่าอัตราเร็วของการไหลของน้ำขาออกได้เป็น

$$v_1=\sqrt{2gh} \quad (5)$$

จากสมการการไหลของของไหล $Q=Avt$ จึงทำให้สามารถเขียนสมการปริมาตรน้ำที่ไหลออกโดยนำความเร็วที่หาได้จากสมการ (5) มาคูณกับพื้นที่หน้าตัดด้านขาออกและเวลาได้เป็น

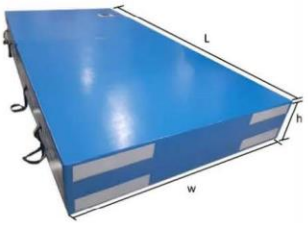
$$Q = \sqrt{2gh}At \quad (6)$$

โดยตัวแปลต่างๆ ถูกนิยามได้ดังนี้

Q คือ ปริมาตรน้ำที่ไหลออก (m^3)
p_1 คือ ความดันจุดขาออก (Pa)
p_2 คือ ความดันจุดขาเข้า (Pa)
ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ เท่ากับ 1 (kg/m^3)
v_1 คือ ความเร็วจุดขาออก (m/s)
v_2 คือ ความเร็วจุดขาเข้า (m/s)
g คือ ความเร่งโน้มถ่วง เท่ากับ 9.81 m/s^2
h_1 คือ ความสูงจุดขาออก (m)
h_2 คือ ความสูงจุดขาเข้า (m)
t คือ เวลา (s)

1.4 ทุ่นลอย

ทุ่นคือส่วนที่ใช้ในการรองรับน้ำหนักโครงสร้างและระบบเครื่องเติมอากาศให้ลอยอยู่เหนือน้ำ ซึ่งทุ่นที่ใช้รับน้ำหนักนั้นสามารถรับน้ำหนักได้โดย ทุ่นปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร จะสามารถรับน้ำหนักได้ 1000 กิโลกรัม โดยการคำนวณปริมาตร $V(m^3) = L(m) \times w(m) \times h(m)$ การออกแบบเครื่องเติมอากาศนั้นจะต้องออกแบบโครงสร้างให้เสร็จก่อนหลังจากนั้นทำการหาค่าน้ำหนักของโครงสร้างเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการติดตั้งทุ่นลอยเพื่อทำฐานรองรับโครงสร้างโดยรูปจำลองทุ่นลอยน้ำแสดงดังรูปที่ 4



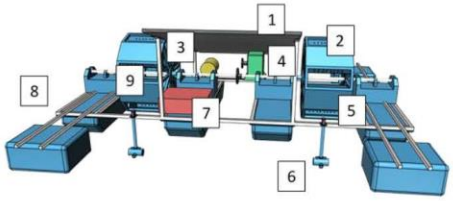
รูปที่ 4 จำลองปริมาตรของทุ่นลอยน้ำ

วิธีการศึกษา

จากที่กล่าวมาข้างต้นในหัวข้อหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่กล่าวถึงกระบวนการที่เป็นพื้นฐานในการออกแบบระบบเครื่องเติมอากาศ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงกระบวนการในการออกแบบและสร้างเครื่องเติมอากาศซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 หัวข้อดังนี้

1.1 องค์ประกอบส่วนต่างๆของเครื่องเติมอากาศ

การออกแบบและสร้างเครื่องเติมอากาศจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนของการดักน้ำเติมอากาศ และส่วนของการบังคับการเคลื่อนที่ โดยเครื่องเติมอากาศที่นำเสนอแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ส่วนประกอบหลักของกังหันเติมอากาศที่นำเสนอ

หมายเลข 1 แผงโซล่าเซลล์เป็นแหล่งพลังงานของกังหันน้ำ ตั้งทำมุมเอียง
หมายเลข 2 เพลาล้อตักน้ำ 12 เหลี่ยม 6 ซอง พร้อมเจาะรูระบายน้ำ
หมายเลข 3 มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน ขนาด 350W
หมายเลข 4 ชุดเกียร์ทด 1:60
หมายเลข 5 เซอร์โวมอเตอร์
หมายเลข 6 ปั๊มน้ำ
หมายเลข 7 กล่องควบคุม
หมายเลข 8 ทุ่นลอยน้ำหลัก และทุ่นลอยประคอง
หมายเลข 9 โครงเหล็กสำหรับยึดและติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ

จากรูปที่ 5 ส่วนของการตักน้ำเติมอากาศประกอบไปด้วยอุปกรณ์หมายเลข 1 2 3 4 5 และ 7 โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าหลักมายังชุดกล่องควบคุมแล้วสั่งให้มอเตอร์ไร้แปรงถ่านที่ต่ออยู่กับชุดเกียร์ทดหมุน ทำให้เพลาล้อตักน้ำหมุนตามไปด้วย

ส่วนของการบังคับเคลื่อนที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หมายเลข 1 5 6 และ 7 โดยกล่องควบคุมรับพลังงานไฟฟ้ามาจากโซล่าเซลล์แล้วทำการประมวลผลรับค่าต่างๆจากโมดูล GPS และเข็มทิศดิจิทัล แล้วสั่งการให้เซอร์โวมอเตอร์และปั๊มน้ำทำงานเพื่อที่จะขับเคลื่อน เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา เป็นต้น

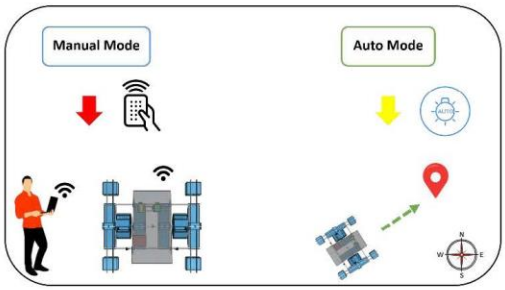
ซึ่งทั้ง 2 ส่วนนั้นจำเป็นต้องมีชุดโครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กล่องควบคุมทุ่นลอย อุปกรณ์หมายเลข 8 และ 9 เป็นส่วนประกอบที่สำคัญเสมอ

1.2 โหมดการทำงาน

เครื่องเติมอากาศที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะสามารถแบ่งโหมดการทำงานในการขับเคลื่อนเครื่องเติมอากาศและการหมุนของล้อตักน้ำของเครื่องเติมอากาศออกเป็น 2 โหมดการทำงานคือ Manual Mode และ Automatic Mode ซึ่งระบบการทำงานทั้ง 2 ระบบแสดงดังรูปที่ 6 และมีรายละเอียดการทำงานของแต่ละโหมดเป็นดังนี้

Manual Mode ประกอบไปด้วยวิทยุบังคับ โดยใช้โมดูลรับส่งไร้สาย nrf24l01 2.4 GHz ทำการส่งคำสั่งบังคับการเคลื่อนที่ของกังหันเติมอากาศแบบตักน้ำ ด้วยคำสั่งบิดเปิดมอเตอร์ปั๊มซึ่งเป็นแหล่งกำลังขับเคลื่อนหลักด้วยการผลักดันน้ำ และส่งคำสั่งบังคับทิศทางไปยังเซอร์โวมอเตอร์เพื่อให้กังหันเคลื่อนไปยังตำแหน่งและทิศทางที่ต้องการ รวมทั้งยังสามารถส่งคำสั่งควบคุมระบบกังหันให้ทำการหมุนตักน้ำเพื่อเติมอากาศได้

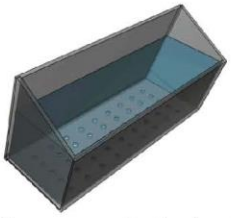
Automatic Mode ระบบประกอบไปด้วย GPS โมดูลเข็มทิศ โดยระบบจะเริ่มการทำงานด้วยการนำค่าพิกัดที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้งานไว้ล่วงหน้า ไปทำการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ เพื่อให้ตัวเครื่องกังหันเคลื่อนไปยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ โดยใช้โมดูลเข็มทิศเป็นตัวช่วยควบคุมทิศทางในการเคลื่อนที่ โดยเป้าหมายจะถูกกำหนดเป็นพื้นที่วงกลม ที่มีจุดศูนย์กลางคือจุดตำแหน่งเป้าหมาย โดยมีรัศมียาว 7 เมตร เมื่อกังหันเดินทางไปถึงภายในระยะของวงกลมดังกล่าวระบบผลักดันน้ำที่ใช้ในการเคลื่อนที่จะหยุดการทำงาน และกังหันเติมอากาศก็จะเริ่มหมุนเติมอากาศ และถ้ากังหันมีการเคลื่อนออกนอกพื้นที่วงกลมที่กำหนดระบบการค้ำจุนตำแหน่งก็จะทำงานด้วยการเปิดระบบผลักดันน้ำและหาทิศทางและควบคุมเซอร์โวมอเตอร์เพื่อทำให้กังหันเดินทางเข้ามาอยู่ในวงกลมอีกครั้งและระบบจะทำงานเช่นนี้ไปเรื่อยๆเพื่อรักษาตำแหน่งให้อยู่ที่ตำแหน่งที่ได้ระบุเอาไว้



รูปที่ 6 การทำงาน Manual Mode และ Automatic Mode

1.3 การคำนวณอัตราการไหลของซองตักน้ำ

จากสมการที่ 6 เมื่อทำการพิจารณารูของซองตักน้ำที่มีรัศมี 3 mm ดังนั้น จึงมีพื้นที่หน้าตัดของรู πr^2 และมีจำนวนทั้งหมด 45 รู ดังนั้นขนาดของพื้นที่ของรูปล่อยน้ำสุทธิจึงมีค่าเท่ากับ $\pi r^2 n$ ซึ่งให้เท่ากับ A แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ซองตักน้ำที่ทำการออกแบบสำหรับเครื่องเติมอากาศที่นำเสนอ

ดังนั้น ปริมาตรน้ำที่ไหลออก (Q) จึงมีค่าเท่ากับ

$$Q = w(\mathrm{m}) \times l(\mathrm{m}) \times h(\mathrm{m}) \quad (7)$$

$$Q = 0.1 \times 0.31 \times 0.13 \; = 0.00403 \; m^3$$

และสามารถคำนวณหาเวลาที่น้ำจะหมดซอง (t) ได้จากปริมาตรหารด้วยความเร็วคูณกับพื้นที่หน้าตัด ($\frac{Q}{Av}$) โดยที่ค่า v คำนวณได้จากสมการที่ 5

$$t = \frac{Q}{Av} = \frac{0.00403}{\pi(0.003^2)(45)\sqrt{2(9.81)(0.13)}} \quad (8)$$

$$t = \frac{0.00403}{0.002031} = 1.98\ s$$

ผลการคำนวณของการทำงานของซองตักน้ำจะพบว่าสามารถคำนวณหาอัตราการไหลเมื่อซองตักน้ำยกขึ้นไปในระดับความสูง 0.13 เมตรได้เป็น 0.00403 ลูกบาศก์เมตรต่อ 1 ซองต่อหนึ่งรอบการตักน้ำ และคำนวณหาค่าเวลาที่น้ำจะหมดซอง 1 ซองได้เป็น 1.98 วินาทีตามลำดับ

ผลการศึกษา

เมื่อทำการออกแบบระบบเครื่องเติมอากาศตามที่นำเสนอในหัวข้อวิธีการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ในส่วนนี้จะมุ่งเน้นแสดงผลการทดสอบความเร็วของการหมุนที่ความเข้มแสงช่วงต่างๆ และทดสอบระบบการขับเคลื่อนเพื่อไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้อย่างมีความถูกต้องและแม่นยำ โดยผลการทดสอบแสดงได้ดังนี้

1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความเร็วของการหมุน ทดสอบเก็บข้อมูลความเร็วรอบของกังหันเติมอากาศที่ความเข้มแสง 500 – 16,000 LUX โดยการทดลองที่ช่วงเวลาต่างๆของวัน จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่ากังหันเติมอากาศจะเริ่มหมุนด้วยความเร็วคงที่ 7 รอบต่อนาที (RPM) ตั้งแต่ความเข้มแสง 10,700 LUX ขึ้นไป สามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังรูปที่ 8

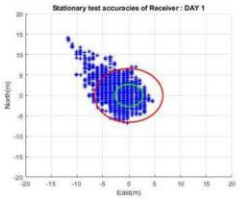
รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความเร็วของการหมุน

1.2 ทดสอบการรับค่าของระบบจีพีเอส

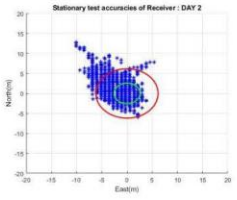
ทดสอบค่าความเที่ยงตรง (Precision) ของระบบระบุพิกัดแบบหยุดอยู่กับที่ (Static) ด้วยการมัดตรึงชุดกังหันเติมอากาศไว้กับที่แล้วทำการเก็บผลการทดลองค่าละติจูด และค่าลองจิจูด 1 ชั่วโมงเว้น 1 ชั่วโมง ทั้งหมด 6 ช่วงเวลาตั้งแต่เวลา 7 นาฬิกา ถึง 18 นาฬิกา เป็นเวลา 5 วัน ได้ค่าผลการทดลอง ข้อผิดพลาดแบบวงกลมน่าจะเป็น (Circular error probable) และค่าระยะทางเฉลี่ยกำลังสองสองเท่า (Twice the Distance Root Mean Square) ดังนี้

- วันที่ 1 ค่า CEP เท่ากับ 2.7356 m และ 2DRMS เท่ากับ 6.5755 m
- วันที่ 2 ค่า CEP เท่ากับ 2.5705 m และ 2DRMS เท่ากับ 6.1692 m
- วันที่ 3 ค่า CEP เท่ากับ 2.5623 m และ 2DRMS เท่ากับ 6.1543 m

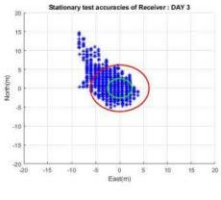
- วันที่ 4 ค่า CEP เท่ากับ 2.2904 m และ 2DRMS เท่ากับ 5.4908 m
- วันที่ 5 ค่า CEP เท่ากับ 2.4612 m และ 2DRMS เท่ากับ 5.9027 m



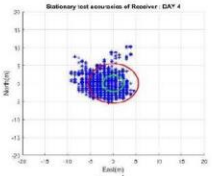
ก. วันที่ 1



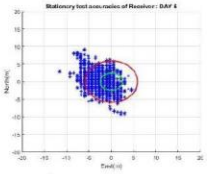
ข. วันที่ 2



ค. วันที่ 3



ง. วันที่ 4



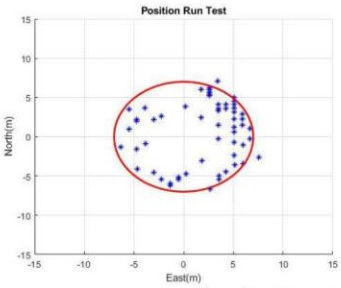
จ. วันที่ 5

รูปที่ 8 ผลการทดสอบค่าความเที่ยงตรงของ GPS ทั้งหมด 5 วัน

จากผลการทดลองตลอด 5 วัน ได้ค่า CEP เฉลี่ยเท่ากับ 2.524 เมตร และ 2DRMS เฉลี่ย เท่ากับ 6.0585 เมตร ซึ่งบงบอกได้ว่าเครื่องรับ GPS สามารถระบุตำแหน่งในการทำงานได้เป็นอย่างดี

1.3 ทดสอบการเคลื่อนที่มายังตำแหน่งการทำงาน

ทดสอบการเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมาย โดยการบังคับกังหันเติมอากาศให้ไปอยู่ที่ตำแหน่งใดๆ ที่ไม่ใช่ตำแหน่งเป้าหมาย และเปลี่ยนโหมดการทำงานให้เป็นแบบอัตโนมัติซึ่งตัวกังหันเติมอากาศจะเริ่มตรวจสอบตำแหน่งเป้าหมาย และตำแหน่งปัจจุบันของตัวเอง และทำการคำนวณหาทิศทางการเคลื่อนเข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมาย แล้วชุดกังหันจะทำการเคลื่อนที่มายังตำแหน่งเป้าหมายที่กำหนด โดยการทดสอบทำทั้งหมด 60 ครั้ง มีการเข้ามาจอดในพื้นที่รัศมีเป้าหมาย 56 ครั้ง นอกพื้นที่ 4 ครั้ง โดยมีผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 9



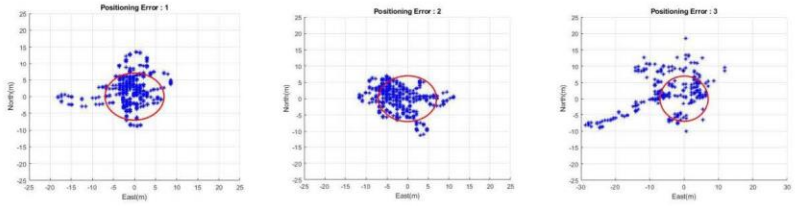
รูปที่ 9 วงกลมผลการทดสอบการเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมาย

จากผลการทดสอบจะได้ค่าความเที่ยงตรง CEP เท่ากับ 4.5999 m และ 2DRMS เท่ากับ 11.0266 m ซึ่งบ่งบอกได้ว่าระบบเครื่องเติมอากาศที่นำเสนอสามารถรักษาตำแหน่งในการทำงานของระบบ และเคลื่อนที่เข้าไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

1.4 ทดสอบการรักษาตำแหน่งการทำงาน

การทดสอบระบบในการรักษาตำแหน่งนั้น ผู้วิจัยได้ทดสอบโดยการให้ระบบได้ทำงานจริงและเก็บผลข้อมูลระยะเวลา 1 ชั่วโมง เป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยผู้วิจัยกำหนดตำแหน่งเป้าหมายให้กับชุดกังหันเมื่อระบบเริ่มทำงานจะเคลื่อนที่ไปสู่ตำแหน่งเป้าหมายระบบก็จะทำการเริ่มเติมอากาศ(ล้อกังหันตักน้ำเริ่มหมุน) และเมื่อกังหันหลุดออกจากรัศมีตำแหน่งเป้าหมาย 7 เมตร ก็จะเคลื่อนกลับสู่ตำแหน่งเป้าหมายเดิมด้วยการเคลื่อนที่อัตโนมัติโดยจะทำงานซ้ำๆเช่นนี้ไปตลอดการทำงาน ซึ่งเก็บผลการทดลองโดยการรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย ละติจูด ลองจิจูด มายังผู้รับบนฝั่งทุกๆ 2 วินาที ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 10 ดังนี้

- ครั้งที่ 1 ผลทดลองจำนวน 1736 ตำแหน่ง โดยอยู่ในพื้นที่ 1436 และนอกพื้นที่ 300 ได้ความคลาดเคลื่อน 17.28 %
- ครั้งที่ 2 ผลทดลองจำนวน 1738 ตำแหน่ง โดยอยู่ในพื้นที่ 1331 และนอกพื้นที่ 407 ได้ความคลาดเคลื่อน 23.42 %
- ครั้งที่ 3 ผลทดลองจำนวน 1775 ตำแหน่ง โดยอยู่ในพื้นที่ 1104 และนอกพื้นที่ 671 ได้ความคลาดเคลื่อน 37.8 %



ก. ครั้งที่ 1 ข. ครั้งที่ 2 ค. ครั้งที่ 3

รูปที่ 10 ผลการทดสอบการรักษาตำแหน่งการทำงาน

จากผลการทดลองครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 3 พบว่ามีเบี่ยงเบนของตำแหน่งออกจากพื้นที่เป้าหมายเป็นจำนวนมากเนื่องมีลมพัดค่อนข้างแรง แต่อย่างไรก็ตามระบบก็ยังพยายามที่จะรักษาตำแหน่งให้อยู่ในพื้นที่เป้าหมายได้ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรวม 26.17 %

อภิปรายและสรุปผล

สำหรับในงานวิจัยนี้การออกแบบสร้างและทดสอบการทำงานของกังหันเติมอากาศแบบ 2 ล้อหมุน 1 แกน ที่มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งได้ด้วยการทำงานทั้งในรูปแบบกำหนดด้วยมือและอัตโนมัตินั้น จากการทดสอบการทำงานแสดงให้เห็นว่าระบบการเติมอากาศสามารถทำงานได้ดีในสภาวะที่ความเข้มแสงมากกว่า 10,000 LUX โดยมีการหมุนเติมอากาศที่คงที่ 7 รอบต่อนาที (เป็นความเร็วสูงสุด) โดยความเร็วของการหมุนขนาดนี้จะทำให้น้ำภายในซองที่

ตักลอยขึ้นสูงจากผิวน้ำและสัมผัสกับอากาศได้นานมากขึ้น อีกทั้งน้ำจะไหลจากซองหมดพอดีก่อนที่ซองจะหมุนตั้งฉากกับผิวน้ำก่อนที่จะตักน้ำในซองถัดไปเพื่อที่จะไม่ให้รับหนักเกินจากการตักน้ำ ซึ่งน้ำหนักที่เกินนั้นอาจจะทำให้ระบบเพลา ชุดเกียร์ทด และมอเตอร์เสียหายได้ และในส่วนของการรักษาตำแหน่งในการเคลื่อนที่เข้าสู่เป้าหมายสามารถทำงานได้ดีและมีความคลาดเคลื่อนในการเข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมาย CEP เท่ากับ 4.5999 เมตร และ 2DRMS เท่ากับ 11.0266 เมตร และในส่วนสุดท้ายซึ่งเป็นการรักษาตำแหน่งการทำงานของการเติมอากาศ เมื่อกังหันมีการหมุน โดยระบบมีการรักษาตำแหน่งได้เป็นอย่างดี และอยู่ในพื้นที่เป้าหมายภายใต้รัศมี 7 เมตร ด้วยความคลาดเคลื่อน 26.17 % โดยความคลาดเคลื่อนนี้ เป็นผลจากการรับสัญญาณจากดาวเทียมโดยโมดูลอุปกรณ์รับสัญญาณนั้นมีความคลาดเคลื่อนอยู่แล้วระดับหนึ่ง รวมถึงปัจจัยภายนอกอย่างเช่น ลมพัดแรงทำให้เครื่องเติมอากาศหลุดลอยออกจากตำแหน่งเป้าหมาย แสงแดดมีความเข้มไม่เพียงพอทำให้ระบบไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งผลการทดสอบโดยรวมแสดงให้เห็นว่ากังหันเติมอากาศที่ได้นำเสนอมีการทำงานเติมอากาศและรักษาตำแหน่งได้เป็นอย่างดีตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยปัญหาในเรื่องของการทำงานหากมีแสงแดดไม่คงที่สม่ำเสมอนั้นอาจต้องแก้ไขด้วยการเพิ่มแบตเตอรี่ในการกักเก็บพลังงานไว้สำรองในสภาวะไม่มีแสงแดด เพื่อให้ตัวเครื่องเคลื่อนที่กลับเข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมาย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร. ศุภโชค อุปาลี และ อ.ทศวรรษ อินเกาะช้าง ที่คอยให้คำแนะนำวิชาความรู้และแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องต่าง ๆ และขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา สถานที่ และเครื่องมือทำการวิจัย จนทำให้บทความฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

จิระพล พุ่มสกุล. (2557). ปัญหาน้ำเสียจากบ้านพักอาศัยและสถานประกอบการในเขตเทศบาลตำบลดอนหัวฬ่อ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี. สาขาวิชาการเมืองการปกครอง คณะรัฐศาสตร์อละนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

ดร.สุเมธ อาวสกุลสุทธิ. (2562). ปัญหาน้ำเน่าเสียในประเทศไทย. อพวช.องค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ.

Pn Maznah. (2017). water supply distribution- Aeration. Universiti Malaya.

Mohammad Tanveer Subha M Roy and M Vikneswaran. (2018). Surface aeration systems for application in aquaculture. College of Fisheires Engineering, Tamil Nadu Dr. J. Jayalalithaa Fisheries University, Nagapattinam, Tamil Nadu, India.

Darunee Chaythong and Saner Sa-ad. (2016). The solar tracking powered aerator: A case study of wastewater treatment. Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Rachadumnernork Rd, Bor-yang, Muang, Songkhla, Thailand.

Rizki Dian Rahayani and Arif Gunawan. (2018). Proposed Design of an Automatic Feeder and Aerator Systems for Shrimps Farming. Electrical Engineering Departement, Pekanbaru. Indonesia.

Chuan Zhan and Mengcen Li. (2015). AUTO IMPELLER AERATOR. Final Report for ECE 445, Senior Design.

สุรศักดิ์ แสนทวีสุข, นิกร สุขปรุง และวิชุดา ภาโสม. (2558). การใช้เซลล์แสงอาทิตย์กับเครื่องกลเติมอากาศแบบ ศทม. สำหรับบ่อเลี้ยงปลา. สังกัด ศูนย์เทคโนโลยีที่เหมาะสม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.