การพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ

The Development of Gas Detector for Installation on Drone

พงษ์ฑิพัฒน์ ไชยมงค์

สัจจา เดโชพล

ภาสวิชญ์ บุญศรีทอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2561

การพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ

The Development of Gas Detector for Installation on Drone

พงษ์ฑิพัฒน์ ไชยมงค์
สัจจา เดโชพล
ภาสวิชญ์ บุญศรีทอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อปริญญานิพนธ์ การพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ

ชื่อ – นามสกุล นายพงษ์ทิพัฒน์ ไชยมงค์

นายสัจจา เดโชพล

นายภาสวิชญ์ บุญศรีทอง

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.คณาวุฒิ อินทร์แก้ว

คณะกรรมการสอบได้ให้ความเห็นชอบปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

.... ประธานกรรมการ

(ดร.วรินธร บุญยะโรจน์)

.... กรรมการ

(ผศ.ณัฐชมัย ลักษณ์อำนวยพร)

.... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.คณาวุฒิ อินทร์แก้ว)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

อนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

วันที่ 1 1 เดือน มี.ค. พ.ศ. 2562

ชื่อปริญญานิพนธ์ การพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ

ชื่อ – นามสกุล นายพงษ์ฑิพัฒน์ ไชยมงค์
นายสัจจา เดโชพล
นายภาสวิชญ์ บุญศรีทอง

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 2 ประการคือ 1) เพื่อพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ และ 2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซที่พัฒนาขึ้น โดยมีขั้นตอนประกอบด้วยการออกแบบชุดตรวจวัดก๊าซ การต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้ากับเซนเซอร์ การประกอบชุดตรวจวัดก๊าซ การทดสอบระบบไฟและการเชื่อมต่อออนไลน์อีกทั้งมีการทดสอบการทำงานของเครื่องเปรียบเทียบค่าการตรวจวัดกับเครื่องตรวจวัดก๊าซรุ่น Gas Alert Micro 5 IR ทั้งในห้องปฏิบัติการและในภาคสนามผลการศึกษาพบว่า ชุดตรวจวัดก๊าซที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดก๊าซได้ 3 ชนิดคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซมีเทน อีกทั้งสามารถส่งข้อมูลการตรวจวัดก๊าซผ่านแอปพลิเคชันไลน์ได้ทุก 1 นาที นอกจากนี้ยังพบว่าการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตรวจด้วยเซนเซอร์ รุ่น MG-811 ให้ผลที่ใกล้เคียงกับชุดตรวจวัดก๊าซอ้างอิงโดยค่าเฉลี่ยการตรวจวัดในห้องปฏิบัติการและในภาคสนามเท่ากับ 700-915 ppm และ 138-399 ppm ตามลำดับ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนการตรวจก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซมีเทนให้ผลที่ค่อนข้างแตกต่างจากเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง เป็นที่จะต้องมีการปรับเทียบการตรวจวัดของเซนเซอร์รวมทั้งการเปลี่ยนชนิดของเซนเซอร์เพื่อให้การทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน คาร์บอนมอนอกไซด์ เซนเซอร์ พื้นที่พักขยะ

Thesis title The Development of Gas Detector for Installation on Drone

Author Mr. Pongtipat Chaiyamong

Mr. Satja Dechopon

Mr. Passavit Boonsrithong

Degree Bachelor of Science

Major program Environmental Science and Natural Resources

Faculty of Science and Technology

Academic Year 2018

ABSTRACT

The objective of this study were 1) to develop the gas detector unit for installation on Drone, and 2) to test the operational sensitivity of the developed device. The development steps included designing, complying the electrical circuit, testing the electrical system and online connecting system. Besides, the operational sensitivity of the developed device was tested comparing the Gas Alert Micro 5 IR, the reference gas detector device, both in the laboratory and the field site. The results showed that the developed gas detector could detect carbon dioxide, carbon monoxide, and methane, and displayed the results via Line notification every minute. Additionally, carbon dioxide detection by MG-811 sensor gave the results similar to the reference device by 95 percent of significant level, with the average amount of detected carbon dioxide in the laboratory and the field site were 700-915 ppm and 138-399 ppm, respectively. However, the measured results of carbon monoxide and methane from the develop device were relatively different to the reference device. Further study on carbon monoxide sensor and methane sensor calibration are recommended.

English : Carbon Dioxide, Methane, Carbon Monoxide, Sensor, Waste Dumping Site

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและอนุเคราะห์อย่างดี จากคณาจารย์หลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.คณาวุฒิ อินทร์แก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ดร.วรินธร บุญยะโรจน์ ประธานกรรมการ และผศ.ณัฐชมัย ลักษณ์อำนวยพร กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำ ตลอดจนคำปรึกษาและข้อเสนอแนะ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ซึ่งผู้วิจัยต้องกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ บริษัท ต.คิดดี โปรดักส์ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อและอนุญาตให้เข้าใช้พื้นที่วิจัย

ขอขอบคุณ โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่งบประมาณ พ.ศ. 2562 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ให้การสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

พงษ์ษิพัฒน์ ไชยมงค์

สัจจา เดโชพล

ภาสวิชญ์ บุญศรีทอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 กรอบแนวความคิด	3
1.5 ระยะเวลาที่ดำเนินโครงการและแผนการดำเนินงาน	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ	5
1.8 คำสำคัญ	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 พื้นที่พักขยะ	7
2.1.1 ข้อมูลพื้นฐานจังหวัดปทุมธานี	7
2.1.2 ปัญหาการจัดการขยะในจังหวัดปทุมธานี	8
2.1.3 การจัดองค์กรเพื่อบริหารจัดการ	8
2.1.4 แนวทางการจัดการปัญหาขยะชุมชน	9
2.1.5 พื้นที่วิจัย	9
2.2 การเกิดเพลิงไหม้ในพื้นที่พักขยะ	10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 ก๊าซในพื้นที่พักขยะ 10
2.3.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10
2.3.2 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 11
2.3.3 ก๊าซมีเทน 12
2.4 อากาศยานไร้คนขับ 12
2.4.1 การจำแนกประเภทของอากาศยานไร้คนขับ 13
2.4.2 ส่วนประกอบของอากาศยานไร้คนขับ 15
2.5 เครื่องมือตรวจวัดก๊าซแบบพกพา 16
2.5.1 เครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ รุ่น MX6 16
2.5.2 เครื่องตรวจวัดก๊าซ รุ่น Gas Alert Micro 5 IR 17
2.6 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซ 18
2.6.1 บอร์ด ESP32 18
2.6.2 สายจัมเปอร์ (Jumpers) 18
2.6.3 เซนเซอร์ (Sensor) 19
2.6.4 เบรดบอร์ด (Breadboard) 22
2.6.5 กระบอกอะคริลิค 23
2.6.6 พาวเวอร์แบงค์ (Power Bank) 23
2.6.7 โปรแกรมอาดุยโน่ 24
(Integrated Development Environment : IDE) เวอร์ชั่น 1.8.7
2.6.8 LINE Notify 25
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ 28
3.1 วัสดุอุปกรณ์ 28
3.1.1 โครงสร้างอากาศยานไร้คนขับ 28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.2 ชุดตรวจวัดก๊าซ 28

3.2 วิธีการพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ 29

3.2.1 การออกแบบโครงสร้างชุดตรวจวัดก๊าซ 29

3.2.2 วงจรภายในชุดตรวจวัดก๊าซ 29

3.2.3 การประกอบชุดตรวจวัดก๊าซ 31

3.2.4 การเขียนโปรแกรมสั่งการทำงานชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ 33

3.3 การสุ่มเก็บตัวอย่างขยะและการตรวจวัดก๊าซในพื้นที่เบื้องต้น 39

3.4 การทดสอบระบบไฟฟ้าและการเชื่อมต่อ 40

3.4.1 การทดสอบระบบไฟฟ้า 40

3.4.2 การทดสอบการเชื่อมต่อและแสดงผลข้อมูลผ่านสัญญาณไวไฟ 40

3.5 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ภายในห้องปฏิบัติการ 41

3.6 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ในภาคสนาม 41

3.7 การควบคุมคุณภาพและการวิเคราะห์ผล 42

บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล 44

4.1 ผลการพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซ 44

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพ 44

4.1.2 คุณสมบัติทางเทคนิค 44

4.2 ผลการสำรวจพื้นที่วิจัยเบื้องต้น 45

4.2.1 ชนิดและปริมาณขยะ 46

4.2.2 การตรวจวัดก๊าซเบื้องต้น 46

4.3 ผลการทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซในห้องปฏิบัติการ 47

4.3.1 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 47

4.3.2 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 48

4.3.3 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซมีเทน 49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 ผลการทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซในภาคสนาม 51

4.4.1 การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 51

4.4.2 การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 53

4.4.3 การตรวจวัดก๊าซมีเทน 53

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 54

5.1 สรุปผลการวิจัย 54

5.1.1 การพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ 54

5.1.2 การเชื่อมต่อออนไลน์และการแสดงข้อมูล 54

5.1.3 การทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซ 54

5.2 ข้อเสนอแนะ 55

เอกสารอ้างอิง 56

ภาคผนวก 60

ภาคผนวก ก ข้อมูลการลงพื้นที่สุ่มเก็บตัวอย่างขยะและการตรวจวัดก๊าซ 60

ภาคผนวก ข ข้อมูลทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซห้องในปฏิบัติการ 62

ภาคผนวก ค ข้อมูลทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซในพื้นที่ภาคสนาม 66

ภาคผนวก ง ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติ (t-test) 68

ประวัติการศึกษา 75

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1 ขยะที่เกิดขึ้นในชุมชน 9

2.2 ระดับความเป็นพิษของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 11

4.1 การทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซ 45

4.2 องค์ประกอบและปริมาณขยะ 46

4.3 การตรวจวัดก๊าซเบื้องต้นโดยใช้เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง 47

4.4 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซมีเทน 50

ตารางภาคผนวก ก ข้อมูลการลงพื้นที่สุ่มเก็บตัวอย่างขยะมูลฝอยและการตรวจวัดก๊าซ 60

ตารางภาคผนวก ข ข้อมูลทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซในห้องปฏิบัติการ 62

ตารางภาคผนวก ค ข้อมูลทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซในพื้นที่ภาคสนาม 66

ตารางภาคผนวก ง ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติ (t-test) 68

สารบัญภาพ

ภาพ **หน้า**

1.1 กรอบแนวความคิด 3
2.1 ปัญหาการจัดการขยะจังหวัดปทุมธานี 8
2.2 อากาศยานไร้คนขับ 13
2.3 เครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ รุ่น MX6 17
2.4 เครื่องตรวจวัดก๊าซ รุ่น Gas Alert Micro 5 IR 17
2.5 บอร์ด ESP32 18
2.6 สายต่อ Jumpers 19
2.7 เซนเซอร์ รุ่น MQ-4 20
2.8 เซนเซอร์ รุ่น MQ-7 21
2.9 เซนเซอร์ รุ่น MG 811 21
2.10 เบรดบอร์ดกลุ่มแนวตั้ง 22
2.11 เบรดบอร์ดกลุ่มแนวนอน 23
2.12 กระบอกอะคริลิค 23
2.13 Power Bank 24
2.14 โปรแกรมอาดุยโน่ IDE (Integrated Development Environment) เวอร์ชั่น 1.8.7 24
2.15 LINE Notify 25
3.1 Flow Chart แสดงวงจรควบคุมชุดตรวจวัดก๊าซ 30
3.2 กระบอกอะคริลิคสำหรับติดตั้งวงจร 31
3.3 ฝากระบอกอะคริลิคที่ผ่านการเจาะรูสำหรับติดตั้งเซนเซอร์ 31
3.4 วงจรควบคุมชุดตรวจวัดก๊าซ 32
3.5 การประกอบชุดตรวจวัดก๊าซเข้ากับอากาศยานไร้คนขับ 33
3.6 Flowchart แสดงลำดับการทำงานของชุดคำสั่ง 34
3.7 ชุดคำสั่งของเครื่องตรวจวัดก๊าซ 35
3.8 ชุดคำสั่งการตั้งชื่อสัญญาณwifiและรหัสผ่าน 36
3.9 ชุดคำสั่งกำหนดขาเชื่อมต่อเซนเซอร์ 36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ **หน้า**

3.10 ชุดคำสั่งการเชื่อมต่อสัญญาณไวไฟ 37

3.11 ชุดคำสั่งรับข้อมูลจากเซนเซอร์ 38

3.12 ชุดคำสั่งการสั่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชันไลน์ 38

3.13 ตำแหน่งจุดเก็บขยะ 39

3.14 ทดสอบระบบเซนเซอร์ 40

3.15 ข้อความแสดงปริมาณก๊าซที่ตรวจวัดได้ผ่านแอปพลิเคชันไลน์ 40

3.16 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ 41

3.17 จุดทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซในภาคสนาม 42

3.18 การทดสอบภาคสนาม ณ พื้นที่พักขยะ ตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 43

4.1 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 48

4.2 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 49

4.3 การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัญหาการเกิดเพลิงไหม้ในพื้นที่พักขยะสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคนในพื้นที่ เนื่องจากเพลิงไหม้ก่อให้เกิดก๊าซที่มีฤทธิ์เฉียบพลัน เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไฮโดรเจนคลอไรด์อีกทั้งยังเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก และมีน้ำเสียจากการดับเพลิงไหลล้นสู่พื้นที่ใกล้เคียงหรือแหล่งน้ำสาธารณะ (สุวรรณา, 2555) การป้องกันหรือเฝ้าระวังการเกิดเพลิงไหม้ในพื้นที่พักขยะสามารถดำเนินการได้โดยการตรวจสอบองค์ประกอบของก๊าซในพื้นที่ซึ่งจะมีปริมาณก๊าซเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีความเสี่ยงที่จะเกิดเพลิงไหม้ขึ้นในบริเวณใดของพื้นที่หรือไม่ ซึ่งการตรวจวัดผู้ปฏิบัติงานจะต้องนำอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซมีเทน (CH_4) ออกซิเจน (O_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไปตรวจ ทั้งนี้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นตัวชี้วัดที่มีความสำคัญมากที่สุดในการตรวจสอบเพลิงไหม้ได้ เพราะเมื่อเกิดปฏิกิริยาการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์จะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดขึ้นและจะเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนจึงสามารถบอกแนวโน้มการเกิดเพลิงไหม้ในพื้นที่พักขยะได้ (สุวรรณา, 2555)

อย่างไรก็ตามเมื่อต้องการตรวจวัดก๊าซในพื้นที่พักขยะอาจมีอันตรายเกิดขึ้นได้เพราะบางจุดในพื้นที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายจากการถล่มของขยะ เช่น การถล่มของขยะในพื้นที่พักขยะที่เกิดเหตุนั้นเป็นจุดทิ้งขยะขนาดใหญ่ที่สุดที่ตั้งอยู่นอกกรุงอาดดิสอาบาบา เมืองหลวงของเอธิโอเปียที่เป็นเหตุให้มีผู้เสียชีวิตถึง 47 คน (ไทยรัฐ, 2561)

ทั้งนี้การตรวจวัดก๊าซในพื้นที่พักขยะจึงควรกระทำด้วยความระมัดระวังและอาจจำเป็นที่จะต้องมีวิธีการช่วยหลีกเลี่ยงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น ในปัจจุบันได้มีการนำอากาศยานไร้คนขับมาใช้ในงานสิ่งแวดล้อมมากขึ้นโดยใช้ในการสำรวจพื้นที่ในการทำ GIS เช่น การตรวจหาพื้นที่เหมาะสมสร้างโรงไฟฟ้า (บุษบง, 2556) การทำนายการลุกลามของไฟป่า (สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ, 2561) การสำรวจหาสัตว์ป่าหายากที่กำลังจะสูญพันธุ์ การสำรวจพื้นที่อนุรักษ์ต้นไม้และการเพิ่มพื้นที่สีเขียวด้วยการนำเอาอากาศยานไร้คนขับขึ้นบินเพื่อโปรยเมล็ดพันธุ์ต่าง ๆ ลงสู่พื้นป่า เป็นต้น (พนาวัลย์,

2545) ดังนั้นการนำอากาศยานไร้คนขับมาใช้ในงานด้านสิ่งแวดล้อมจึงถือว่ามีประโยชน์อย่างมาก (ไทยรัฐ, 2561)

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้คณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นถึงอุปสรรคในการตรวจวัดก๊าซบนพื้นที่พักกองขยะโดยเฉพาะพื้นที่พักขยะขนาดใหญ่ที่อาจเกิดอุบัติเหตุในการตรวจวัดขึ้นได้ เพื่อเป็นการลดความเสี่ยงดังกล่าวและช่วยอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน คณะผู้จัดทำจึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ โดยมีการบันทึกและแสดงผลระยะไกลเพื่อให้งานตรวจวัดก๊าซและเฝ้าระวังในการเกิดเพลิงไหม้ในพื้นที่พักขยะสามารถดำเนินการได้อย่างปลอดภัยและสะดวกมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ

1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

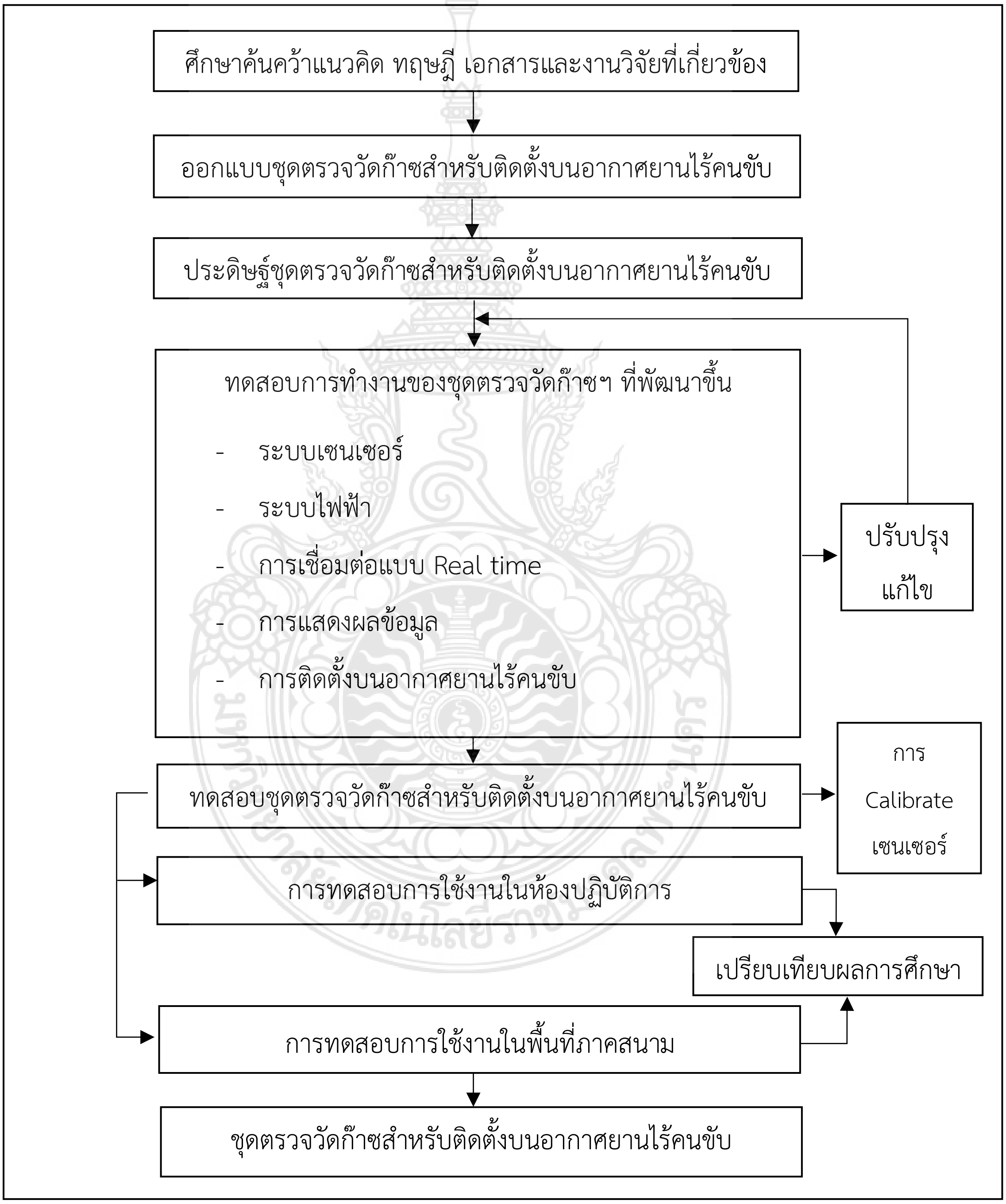
1.3.1 ชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับสามารถตรวจวัดก๊าซได้ 3 ชนิดคือ มีเทน (CH_4) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

1.3.2 ใช้บอร์ดอาดุยโน่เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการเชื่อมต่อเซนเซอร์และถ่ายโอนข้อมูลระยะไกล

1.3.3 พื้นที่ทดสอบประสิทธิภาพของชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ ได้แก่ ห้องปฏิบัติการทางสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ 9405 และพื้นที่พักขยะ ตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 พิกัดที่ 14.1405941, 100.6738954

1.4 กรอบแนวความคิด

ในการวิจัยครั้งนี้คณะผู้จัดทำได้มุ่งเน้นศึกษาการพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ โดยมีแนวความคิดในการผลิตชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ ดังภาพ 1.1



ภาพ 1.1 กรอบแนวความคิด

1.5 ระยะเวลาที่ดำเนินโครงการและแผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	ระยะเวลาที่ดำเนินโครงการ					
	พ.ศ. 2561			พ.ศ. 2562		
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	↔	↔	↔			
2.ออกแบบชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับและโปรแกรมสำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์		↔	↔			
3.ประดิษฐ์ชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ			↔	↔	↔	
4.ทดสอบประสิทธิภาพและเก็บข้อมูล				↔	↔	
5.แก้ไขปรับปรุง				↔	↔	
6.สรุปผลการวิจัย				↔	↔	
7.จัดทำรูปเล่ม				↔	↔	↔
8.เผยแพร่และนำเสนอ						↔

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ต้นแบบชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ

1.6.2 ทราบประสิทธิภาพการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.7.1 อากาศยานไร้คนขับ คือ อากาศยานที่ไม่มีนักบินประจำการอยู่บนเครื่อง แต่สามารถควบคุมได้ด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติระยะไกล ซึ่งต้องอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ติดตั้งไว้ภายในอากาศยานเป็นตัวสั่งการอาจมีการติดตั้งกล้องถ่ายภาพคุณภาพสูงเพื่อใช้ในการควบคุมชุดตรวจวัดก๊าซ

1.7.2 ชุดตรวจวัดก๊าซ เป็นเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นสำหรับการตรวจวัดก๊าซติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ มีลักษณะเป็นอุปกรณ์รูปทรงกระบอกภายในบรรจุบอร์ดอาดุยโน่ ESP32 และระบบเซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซอีกทั้งมีช่องสำหรับให้อากาศเข้าไปได้

1.7.3 เซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถรับและตอบสนองต่อก๊าซโดยสามารถแยกความหนาแน่นของก๊าซที่อยู่ในอากาศได้ โดยมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถเปลี่ยนความหนาแน่นของก๊าซเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้

1.7.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ตซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน

1.7.5 เบรดบอร์ด คือ อุปกรณ์ที่ช่วยให้สามารถเชื่อมต่อวงจรได้ง่ายขึ้น มีลักษณะเป็นพลาสติกมีรูจำนวนมาก ภายใต้รูเหล่านั้นจะมีการเชื่อมต่อถึงกันอย่างมีรูปแบบ เมื่อนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาเสียบ จะทำให้พลังงานไฟฟ้าสามารถไหลจากอุปกรณ์หนึ่งไปยังอุปกรณ์หนึ่งได้

1.7.6 อาดุยโน่ คือ ระบบโปรแกรมที่ออกคำสั่งในรูปของภาษาซีให้เซนเซอร์ทำการตรวจวัดก๊าซและรายงานการประมวลผลออกมาตามช่องทางที่กำหนด

1.7.7 ภาษาซี คือ ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทั่วไป เป็นภาษาที่สนับสนุนการเขียนโปรแกรมที่มีโครงสร้าง การกำหนดขอบเขตของตัวแปร การเรียกใช้ตัวเอง (Recursion) และเป็นภาษาที่อยู่ในระดับต่ำ (Low level) กล่าวคือ เป็นภาษาที่สามารถทำงานได้ดีในระดับของฮาร์ดแวร์

1.8 คำสำคัญ

ภาษาไทย : คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน คาร์บอนมอนอกไซด์ เซนเซอร์ พื้นที่พักขยะ

English: Carbon Dioxide, Methane, Carbon Monoxide, Sensor, Waste Dumping Site

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ คณะผู้จัดทำได้ศึกษาค้นคว้าแนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับโดยครอบคลุมหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 พื้นที่พักขยะ

2.2 การเกิดเพลิงไหม้ในพื้นที่พักขยะ

2.3 ก๊าซในพื้นที่พักขยะ

2.4 อากาศยานไร้คนขับ

2.5 เครื่องตรวจวัดก๊าซแบบพกพา

2.6 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พื้นที่พักขยะ

2.1.1 ข้อมูลพื้นฐานจังหวัดปทุมธานี

จังหวัดปทุมธานีเป็นจังหวัดปริมณฑลที่ตั้งอยู่บนสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่ม มีคูคลองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและคลองขุดจำนวนมากเชื่อมต่อกัน มีย่านชุมชนที่หนาแน่นตามริมฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยาและริมคลองสายต่าง ๆ สำหรับพื้นที่ที่ห่างจากแม่น้ำเจ้าพระยาและลำคลอง จะเป็นหมู่บ้าน สวนผัก ผลไม้ และไร่นา ปัจจุบันพื้นที่ของจังหวัดในบางอำเภอซึ่งเคยเป็นสวนผลไม้และมีเขตติดต่อกับกรุงเทพมหานคร ได้เปลี่ยนแปลงเป็นชุมชนที่อยู่อาศัยเพื่อรองรับการขยายตัวของเศรษฐกิจ ธุรกิจการจัดสรรที่ดินการก่อสร้างและโรงงานอุตสาหกรรมมีปัญหาสำคัญ คือ ปัญหาขยะมูลฝอยและปัญหาความเสื่อมโทรมของแหล่งธรรมชาติ เช่น แหล่งน้ำคูคลองต่าง ๆ เป็นต้น (จังหวัดปทุมธานี, 2561)

2.1.2 ปัญหาการจัดการขยะในจังหวัดปทุมธานี

ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาลของจังหวัดปทุมธานี มีปริมาณค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 587.7 ตันต่อวัน สามารถขนย้ายเพื่อนำไปกำจัดได้ประมาณ 485 ตันต่อวัน และมีปริมาณที่ตกค้างอยู่ประมาณ 102.7 ตันต่อวัน ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบในด้านต่าง ๆ เช่น ปัญหากลิ่นเหม็น ปัญหาน้ำเสีย ปัญหาสุขภาพ และก่อให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่สวยงามภายในพื้นที่โดยการจัดการขยะมีแนวโน้มเป็นปัญหาที่สำคัญของจังหวัดปทุมธานี เนื่องจากปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ ปีประกอบกับ เช่น การขาดแคลนที่ดินในการก่อสร้างศูนย์กำจัดขยะมูลฝอย การต่อต้านจากประชาชนจนไม่สามารถเข้าใช้พื้นที่เพื่อการจัดการขยะมูลฝอย การขาดแคลนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเก็บรวบรวมและขนส่ง อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในด้านงบประมาณและบุคลากรในการดำเนินการรวมทั้งขาดการมีส่วนร่วมของประชาชนในท้องถิ่นในการจัดการขยะมูลฝอยทำให้ปัญหาการจัดการขยะในจังหวัดปทุมธานีมีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างปัญหาการจัดการขยะแสดงดังภาพ 2.1 (จังหวัดปทุมธานี, 2561)

ภาพ 2.1 ปัญหาการจัดการขยะจังหวัดปทุมธานี

ที่มา : http://ewt.prd.go.th/ewt/region8/ewt_news.php?nid=12732&filename=index_59

2.1.3 การจัดองค์กรเพื่อบริหารจัดการ

จังหวัดปทุมธานีร่วมกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น สถาบันที่ปรึกษาเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในราชการ (สปร.) กระทรวงวิทยาศาสตร์ และสถาบันการศึกษา ตลอดจนส่วนราชการที่เกี่ยวข้องในพื้นที่จัดตั้ง ตั้งคณะทำงาน และได้ประชุมพิจารณาเพื่อเสริมสร้างความร่วมมือระหว่างท้องถิ่นในการกำหนดแนวทางการกำจัดขยะ โดยพิจารณาจากความพร้อมในการดำเนินการ เช่น

เทศบาลกับเทศบาล เทศบาลกับ อบต. อบจ. กับ อบต. เป็นต้น หากองค์กรใดพร้อมก็ดำเนินการก่อน ทั้งในส่วนของการลดปริมาณขยะหรือการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม โดยดำเนินการไประดับหนึ่งแล้ว เช่น เทศบาลเมืองคูคต กับ อบต.คูคต เป็นต้น นอกจากนี้ยังสร้างองค์กรในการบริหารจัดการขยะที่มาจากภาคส่วนต่าง ๆ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และภาคประชาชน 2 ระดับ คือ คณะกรรมการบริหารในระดับจังหวัด เพื่อกำหนดนโยบาย ประสานงาน กำกับดูแล ประชาสัมพันธ์ และคณะกรรมการบริหารระดับพื้นที่ชุมชนซึ่งเป็นผู้ดำเนินการในระดับท้องที่ (จังหวัดปทุมธานี, 2561)

2.1.4 แนวทางการจัดการปัญหาขยะชุมชน

จังหวัดปทุมธานีมีแนวทางการจัดการขยะโดยเน้นการมีส่วนร่วมขององค์ปกครองส่วนท้องถิ่น และมุ่งเป้าลดปริมาณโดยเน้นการแปรรูปแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) หรือใช้ซ้ำ (Reuse) ซึ่งองค์ปกครองส่วนท้องถิ่นในพื้นที่ได้รณรงค์ให้มีการลดปริมาณการก่อให้เกิดขยะที่แหล่งกำเนิด จากรายงานการสำรวจขยะที่เกิดขึ้นในชุมชนดังตาราง 2.1 พบว่าประเภทของขยะส่วนใหญ่เป็น เศษอาหาร ร้อยละ 63.75 รองลงมาคือ พลาสติก ร้อยละ 16.80 แสดงให้เห็นศักยภาพของขยะชุมชนที่จะสามารถนำไปแปรรูปและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ อย่างไรก็ตามขยะที่ตกค้างส่วนใหญ่จะถูกลำเลียงไปที่พักขยะเพื่อรอจัดการต่อไป

ตาราง 2.1 ขยะที่เกิดขึ้นในชุมชน

ประเภทของขยะ	ร้อยละ
เศษอาหารและอินทรียสาร	63.75
พลาสติก	16.80
กระดาษ	8.19
ของแห้ง	3.47
โลหะ	2.10
ไม้ หนัง ผ้า ของเสียอันตราย	5.69

ที่มา : (สำนักงานสถิติจังหวัดปทุมธานี, 2561)

2.1.5 พื้นที่วิจัย

พื้นที่วิจัยในการค้นหาครั้งนี้ใช้พื้นที่พักขยะที่ตั้งอยู่ที่ ตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 พิกัดที่ 14.1405941, 100.6738954 เป็นพื้นที่พักขยะแบบเปิดบริหารจัดการรูปแบบบริษัทที่จดทะเบียนถูกต้องตามกฎหมาย คือ บริษัท ต.คิดดี โปรดักชัน จำกัด มีพื้นที่ทั้งหมด 40

ไร่ ขยะทั้งหมดที่รับเข้าเป็นขยะจากตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ซึ่งในหนึ่งวันจะมีปริมาณขยะที่รับเข้าประมาณ 600 ตัน/วัน โดยขยะทั้งหมดเป็นขยะจากภาคครัวเรือน (สำนักงานสถิติจังหวัดปทุมธานี, 2561)

2.2 การเกิดเพลิงไหม้ในพื้นที่พักขยะ

จากสถานการณ์ปัญหาขยะมูลฝอยของประเทศไทยพบว่ามีแนวโน้มของปัญหาการเกิดเพลิงไหม้ในพื้นที่พักขยะเพิ่มขึ้นทุกปี อีกทั้งประเทศไทยยังขาดรูปแบบการจัดการขยะที่เหมาะสมทางหลักวิชาการ โดย พ.ศ.2556 พบว่า มีพื้นที่พักขยะถูกต้องรวม 40 แห่ง แต่มีพื้นที่พักขยะที่ไม่ถูกต้องถึง 509 แห่ง โดยหลายพื้นที่มีการกำจัดขยะที่เป็น ลักษณะเทกองรวมกัน (open dump) ในบริเวณกลางแจ้ง ทั้งที่อยู่ในเขตรับผิดชอบ ของภาครัฐ เช่น อบต. เทศบาล ฯลฯ รวมทั้งพื้นที่ของเอกชน ซึ่งจากลักษณะการกำจัดขยะในรูปแบบดังกล่าวทำให้มีโอกาสเกิดเหตุการณ์เพลิงไหม้ในพื้นที่พักขยะตามมาได้ ซึ่งสาเหตุของการเกิดเพลิงไหม้อาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น มีความร้อน สะสมอยู่ภายในกองขยะเป็นจำนวนมากหรืออาจเกิดจากการเผาของมนุษย์โดยตรง ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสถานการณ์เพลิงไหม้ในพื้นที่พักขยะที่ผ่านมาพบว่า ตั้งแต่ปีพ.ศ.2556 - 2558 ประเทศไทยมีเหตุการณ์เพลิงไหม้บ่อขยะทั้งสิ้น 34 เหตุการณ์กระจายอยู่ในพื้นที่ทุกภาคของประเทศไทย โดยมีเหตุการณ์เพลิงไหม้บ่อขยะที่สำคัญ คือ เหตุการณ์เพลิงไหม้บ่อขยะของเอกชนในพื้นที่ ต.แพรกษา อ.เมือง จ.สมุทรปราการ จำนวน 2 ครั้ง คือ ระหว่างวันที่ 16 - 22 มีนาคม 2557 และ 12 พฤษภาคม 2557 ซึ่งพบว่า มีประชาชนจำนวนมากได้รับผลกระทบจากควันที่กระจายตัวอยู่บริเวณโดยรอบ (กรมควบคุมโรค, 2559)

2.3 ก๊าซในพื้นที่พักขยะ

2.3.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสี อยู่ในชั้นบรรยากาศมีสัดส่วนประมาณ 0.03% โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอมและออกซิเจน 2 อะตอม (CO_2) เมื่ออยู่ในสถานะของแข็ง จะเรียกว่า น้ำแข็งแห้ง (Dry Ice) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเกิดจากธรรมชาติ และเกิดจากฝีมือมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอย่างสมบูรณ์ โรงงานอุตสาหกรรม การตัดไม้ ทำลายป่า เป็นต้น ปัจจุบันพบว่ามีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พบในอากาศเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากก๊าซชนิดนี้สามารถสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศได้หลายปีส่งผลให้เกิดภาวะ

เรือนกระจก จึงมีความจำเป็นต้องเฝ้าติดตามปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ,2561) โดยในพื้นที่พักขยะมีโอกาสเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ก็ต่อเมื่อมีการเผาไหม้เกิดขึ้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลอยตัวขึ้นมา

ในสภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสูง ผู้ที่หายใจเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ร่างกายจะมีอาการ ปวดศีรษะ หายใจถี่ วิงเวียน ความดันโลหิตสูง หัวใจเต้นแรง ไปจนถึงหมดสติ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดผ่านทางปอด ผู้ที่หายใจเข้าไปจะยังไม่แสดงอาการ จนกระทั่งปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นจนแทนที่ก๊าซออกซิเจนในอากาศ เมื่ออากาศมีปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 18 จะทำให้มีอาการปวดเมื่อย ปวดศีรษะ สับสน ตาพร่า คลื่นไส้ อาเจียน หมดสติ สมองถูกทำลาย และเสียชีวิตในที่สุด (สวิตา, 2559) ซึ่งแสดงระดับความเป็นพิษของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 ระดับความเป็นพิษของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ความเข้มข้น (ppm)	ระยะเวลาที่ได้รับ (นาที)	อากาศ
250-350	-	ระดับปกติกลางแจ้ง
351-1,000	-	ระดับปกติในอาคารที่มีการระบายอากาศที่ดี
5,000	480	ง่วงนอน กระตุ้นการหายใจ
40,000	15	มีผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง หมดสติ
30,000	30	มีลักษณะแสดงการเป็นพิษ
มากกว่า 69,000	30	เสียชีวิต

ที่มา : (สวิตา, 2559)

2.3.2 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและไม่มีรส แต่มีความเป็นอันตรายอย่างร้ายแรงต่อระบบลำเลียงเลือด โมเลกุลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ประกอบไปด้วยคาร์บอน 1 อะตอมและออกซิเจน 1 อะตอมเชื่อมกันด้วยพันธะโควาเลนต์ (CO) อาจจัดได้ว่าเป็นสารประกอบแอนไฮไดรด์อย่างหนึ่งของกรดฟอร์มิก ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบคาร์บอน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะเกิดได้มากเมื่อออกซิเจนไม่เพียงพอในการสันดาป สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ เมื่อเกิดการเผาไหม้ในอากาศจะเกิดเปลวเพลิงสีน้ำเงินและเกิดกลายเป็น

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมา ถ้ามีการตรวจวัดพบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในพื้นที่พักขยะอยู่จำนวนมาก อาจจะสันนิษฐานได้ว่ามีการเผาไหม้เกิดขึ้นในบริเวณนั้น (กระทรวงพลังงาน, 2561)

2.3.3 ก๊าซมีเทน

ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่ไม่มีสีและกลิ่น มีน้ำหนักเบากว่าอากาศจึงลอยตัวได้ง่ายเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของก๊าซในธรรมชาติประมาณร้อยละ 75 โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอม และ ไฮโดรเจน 4 อะตอม (CH_4) เป็นสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอนอย่างง่ายที่สุด ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีความสำคัญเป็นอันดับที่ 2 รองมาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แหล่งกำเนิดของก๊าซมีเทนในพื้นที่พักขยะมาจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์และสิ่งปฏิกูล ในภาวะอุณหภูมิห้องปกติก๊าซมีเทนที่มีส่วนผสมในอากาศ ร้อยละ 5 โดยปริมาตร (Lower Explosive Limit, LEL) ถึงร้อยละ 15 (Upper Explosive Limit, UEL) จะสามารถติดไฟและระเบิดได้ถ้ามีประกายไฟ ซึ่งสามารถเรียกความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเมื่อถึงความเข้มข้น LEL ว่าร้อยละ 100 LEL ถ้ามีปริมาณมีเทนเกินกว่า UEL จะทำให้สามารถเกิดการระเบิดได้และเรียกสภาวะนี้ว่า Rich Concentration โดยจะส่งผลให้มีปริมาณก๊าซออกซิเจนไม่เพียงพอ อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอากาศหรือก๊าซออกซิเจนจะทำให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนลดลง (สถาบันมาตราวิทยาแห่งชาติ, 2561)

2.4 อากาศยานไร้คนขับ

อากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) ดังภาพ 2.2 เป็นอากาศยานที่ไม่มีนักบินประจำการอยู่บนเครื่อง แต่สามารถควบคุมได้ อาจมีรูปร่าง ขนาด รูปแบบ และเอกลักษณ์ที่แตกต่างกันออกไป บางแห่งเรียกว่า โดรน (Drone) สามารถควบคุมจากระยะไกล โดยใช้การควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งต้องอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการออกคำสั่งและควบคุม อาจมีการติดตั้งกล้องถ่ายภาพคุณภาพสูง เช่น กล้องถ่ายภาพในเวลากลางวัน (Electro Optical) หรือกล้องอินฟาเรด (Infrared Sensor) ที่สามารถบันทึกภาพระยะไกลได้แล้วแพร่ภาพสัญญาณมายังจอภาพทำให้ผู้ควบคุมที่อยู่ภาคพื้นดินสามารถตรวจสอบวิเคราะห์ข้อมูลได้ (อาภาภร, 2554)

ภาพ 2.2 อากาศยานไร้คนขับ
ที่มา : https://officemate.blog

2.4.1 การจำแนกประเภทของอากาศยานไร้คนขับ

อากาศยานไร้คนขับมีการใช้งานหลากหลายรูปแบบแตกต่างกันไป อาทิ เช่น การแข่งขัน การบันทึกวีดีโอ และการเก็บภาพต่าง ๆ การจัดทำแผนที่ การตรวจสภาพอากาศ การสื่อสาร การวิจัย และการเกษตร เป็นอุปกรณ์ทางอากาศที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวซึ่งได้ถูกออกแบบตามวัตถุประสงค์การใช้งาน โดยสามารถจำแนกได้ ดังนี้ (Xirodronethailand, 2561)

2.4.1.1 การจำแนกตามการออกแบบ

1) Quad copter เป็นอากาศยานไร้คนขับที่ใช้ใบพัด 4 ใบถูกจัดวางในรูปแบบสี่เหลี่ยม โดยใบพัดจะถูกวางอยู่บนแกนแต่ละมุมของตัวเครื่อง ทำให้มีแรงพยุงในการออกตัวจากพื้นและการเลี้ยวไปยังทิศทางต่าง ๆ

2) GPS Drone เป็นอากาศยานไร้คนขับที่มีการติดตั้งระบบระบุพิกัดภูมิศาสตร์ ในตัวเครื่องซึ่งช่วยให้สามารถตามหาอากาศยานไร้คนขับได้ง่ายขึ้นหากแบตเตอรี่หมดหรือสูญเสียการควบคุม แต่มีข้อจำกัดคือต้องอาศัยท้องฟ้าโปร่งเพื่อให้การหาพิกัดทำได้ง่ายขึ้น

3) RTF Drone (Ready to Fly Drone) เป็นอากาศยานไร้คนขับที่เหมาะสำหรับบุคคลที่เพิ่งเริ่มใช้งานอากาศยานไร้คนขับเนื่องจาก สามารถมาใช้งานได้ทันทีหลังจากการชาร์ตแบตเตอรี่ให้เต็ม

4) Trick Drone เป็นอากาศยานไร้คนขับที่ถูกออกแบบมาสำหรับการทำท่าหมุนคว้างในอากาศ (barrel rolls) และตีลังกา โดยมีความกว้างไม่เกิน 12 เซนติเมตร บางรุ่นอาจมี

กล้องติดมาภายใน แต่จะเป็นกล้องที่เล็กและไม่สามารถบันทึกภาพที่มีคุณภาพสูงได้ เหมาะสำหรับผู้ที่พึ่งเริ่มศึกษาใช้งาน

5) Helicopter Drone เป็นอากาศยานไร้คนขับที่ใช้ใบพัดแค่อันเดียว และเหมาะสำหรับการบินอยู่ในอากาศในระยะเวลาที่นาน แต่มีข้อเสียคือสามารถบินตรง ได้เพียงทิศทางเดียว การบังคับต้องคอยติดตามอากาศยานไร้คนขับอย่างใกล้ชิด

6) Delivery Drone เป็นอากาศยานไร้คนขับที่ถูกออกแบบมาเพื่อขนส่งสิ่งของและมักถูกใช้งานร่วมกับส่วนที่คล้ายกับตะกร้าบริเวณด้านล่างของอากาศยานไร้คนขับเพื่ออำนวยความสะดวกในการขนส่งสิ่งของ

2.4.1.2 การจำแนกประเภทตามการใช้งาน

1) อากาศยานไร้คนขับสำหรับการถ่ายภาพนิ่ง เป็นอากาศยานที่มีการติดตั้งกล้องคุณภาพสูง พร้อมกับชุดป้องกันรอบเลนส์การ์ดป้องกันความเสียหายจากสภาพอากาศในพื้นที่หรือจากฝุ่นที่อยู่ในอากาศ ตัวควบคุมที่ใช้สำหรับอากาศยานไร้คนขับประเภทนี้สามารถกดเพื่อให้กล้องถ่ายรูปได้อีกทั้งสามารถแสดงภาพแบบเรียลไทม์ของภาพที่ถ่ายได้ และสามารถเชื่อมต่อสมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ตกับอากาศยานไร้คนขับผ่านการเชื่อมต่อ Wifi เพื่อสามารถดูสิ่งที่กล้องบันทึกไว้ได้อย่างรวดเร็ว

2) อากาศยานไร้คนขับสำหรับแข่ง เป็นอากาศยานไร้คนขับได้รับการออกแบบให้สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วประมาณ 40 ถึง 60 ไมล์ต่อชั่วโมง ในบางกรณีสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วด้วยตัวควบคุมที่ต้องมีการเชื่อมต่อวิทยุที่ไม่ซ้ำกันเพื่อให้ชัดเจนว่าการเชื่อมต่อระหว่างอากาศยานไร้คนขับกับตัวควบคุมจะไม่มีการรบกวนจากสัญญาณอื่น ๆ อากาศยานไร้คนขับประเภทนี้ จะถูกออกแบบให้มีโครงสร้างที่บางและไม่ได้รับผลกระทบจากลม อีกทั้งจำเป็นต้องใช้เครื่องยนต์ที่แรงกว่าเครื่องยนต์ไฟฟ้าแบบดั้งเดิมค่อนข้างมาก

3) อากาศยานไร้คนขับที่ขับเคลื่อนด้วยน้ำมัน เป็นอากาศยานที่สามารถทำงานได้นานกว่าแบบที่ขับเคลื่อนด้วยแบตเตอรี่ไฟฟ้าโดยมีกำลังที่มากกว่าประเภทอื่น ๆ มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก

4) อากาศยานไร้คนขับที่ขับเคลื่อนด้วยน้ำมันไนโตร เป็นอากาศยานไร้คนขับที่คล้ายคลึงกับประเภทที่ขับเคลื่อนด้วยน้ำมัน แต่ต้องใช้น้ำมันไนโตรเพื่อให้สามารถทำงานได้

ที่ผสมไนโตรมีเทนกับเมทานอลช่วยให้สามารถเผาไหม้ได้ดีขึ้นโดยมีกำลังขับเคลื่อนที่มากขึ้นแต่จะมีน้ำหนักที่มากและมีข้อจำกัดในการหาแหล่งเชื้อเพลิงไนโตรเจน

5) อากาศยานไร้คนขับแบบบินได้นาน เป็นประเภทที่ออกแบบเพื่อบินให้นานที่สุด อากาศยานไร้คนขับประเภทนี้สามารถบินได้สูงหลายพันฟุตและสามารถทำงานได้หลายชั่วโมงต่อครั้งเป็นประเภทที่นิยมใช้สำหรับการเฝ้าระวังทางทหาร ผู้ดำเนินการต้องได้รับใบอนุญาตเฉพาะเพื่อให้สามารถใช้งานอากาศยานไร้คนขับชนิดนี้ได้

2.4.2 ส่วนประกอบของอากาศยานไร้คนขับ

ส่วนประกอบของอากาศยานไร้คนขับทุกชิ้นส่วนมีความสำคัญอย่างมากในการบิน บุคคลที่ใช้อากาศยานไร้คนขับในการขึ้นบินจึงจะต้องทราบส่วนประกอบทั้งหมดเพื่อทำให้สามารถควบคุมได้อย่างมีเสถียรภาพ โดยมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

2.4.2.1 ใบพัด เป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่ติดตั้งไว้เพื่อใช้ในการดันอากาศสำหรับการขับเคลื่อน จำนวนใบพัดขึ้นกับการออกแบบ วัสดุอาจผลิตจากพลาสติกหรือคาร์บอนไฟเบอร์

2.4.2.2 มอเตอร์ เป็นอุปกรณ์สำหรับหมุนใบพัดโดยจำเป็นต้องมีมอเตอร์ทั้งหมด 4 มอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนใบพัดแต่ละใบ

2.4.2.3 อุปกรณ์สำหรับการลงจอด เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยพยุงเครื่องระหว่างการลงจอดสำหรับอากาศยานไร้คนขับที่ต้องใช้ระยะห่างที่สูง อุปกรณ์ลงจอดอาจจะปรับเปลี่ยนรูปแบบเป็นรางเลื่อนให้ยึดติดโดยตรงกับตัวโครงสร้างได้ หากเป็นอากาศยานที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุกอาจไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์สำหรับการลงจอดก็ได้

2.4.2.4 ตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์ เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการควบคุมความเร็วมอเตอร์ การเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์และทิศทางให้เป็นไปตามที่ผู้ควบคุมบังคับ

2.4.2.5 ระบบควบคุมการบิน เป็นระบบที่ช่วยแปลคำสั่งจากตัวรับสัญญาณเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบต่าง ๆ ของอากาศยานไร้คนขับ เช่น GPS โมดูล อุปกรณ์ตรวจจับแบตเตอรี่ หรือเซนเซอร์ เป็นต้น ระบบควบคุมการบินนี้จะควบคุมความเร็วของมอเตอร์ผ่านชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์เพื่อนำทางรวมถึงกระตุ้นตัวกล้องควบคุมเครื่องยนต์ขับเคลื่อนอัตโนมัติ ทิศทางการบิน และการทำงานอื่น ๆ ที่ควบคุมด้วยตนเอง

2.4.2.6 โมดูลระบุตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ หรือ จีพีเอส (GPS) โมดูล ประกอบไปด้วยตัวรับสัญญาณ GPS และเครื่องวัดความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กเพื่อบอกละติจูด ลองจิจูด ระดับความสูง และการมุ่งหน้าของเข็มทิศ เป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับการนำทิศทางและโหมดการบินอัตโนมัติ เป็นโมดูลที่ช่วยให้อากาศยานไร้คนขับมีข้อจำกัดในการใช้งานที่ลดลง

2.4.2.7 เครื่องรับสัญญาณ เป็นหน่วยรับสัญญาณมาตรฐาน r/c สำหรับการควบคุม

2.4.2.8 แบตเตอรี่ เป็นแหล่งจ่ายพลังงานในการขับเคลื่อนให้กับอากาศยานไร้คนขับ แบตเตอรี่ลิเธียม โพลิเมอร์ (LiPo) อาจเป็นแบตเตอรี่ชนิดอื่น หรือ น้ำมันขึ้นกับการออกแบบ

2.4.2.9 อุปกรณ์ตรวจวัดแบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดระดับของพลังงานระหว่างบินเพื่อให้เกิดความปลอดภัยระหว่างการบิน

2.4.2.10 กล้อง เป็นอุปกรณ์สำหรับบันทึกภาพและวิดีโอที่มีคุณภาพสูงโดยจำเป็นต้องมีวงแหวนยึดเข็มทิศติดตั้งอยู่เพื่อให้สามารถกำหนดทิศทางในการบังคับกล้องไปยังมุมมองที่ต้องการได้

2.5 เครื่องมือตรวจวัดก๊าซแบบพกพา

เครื่องตรวจวัดก๊าซแบบพกพา เป็นเครื่องมือที่สามารถตรวจวัดก๊าซได้ตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป ก๊าซที่สามารถตรวจวัดได้ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยปกติใช้ในงานเฝ้าระวังการรั่วไหลของก๊าซ เพื่อให้เกิดความปลอดภัย มีหลายแบบขึ้นกับการออกแบบและบริษัทผู้ผลิต สำหรับเครื่องมือตรวจวัดก๊าซแบบพกพาที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มี 2 รุ่นคือ

2.5.1 เครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ รุ่น MX6

เป็นเครื่องตรวจวัดวัดก๊าซแบบพกพาที่ประกอบด้วยตัวอ่านค่าและโพรบวัด มีขนาดกะทัดรัดพกพาสะดวก ใช้งานง่าย สามารถปรับการตั้งค่าการแจ้งเตือนต่าง ๆ ได้โดยแสดงผลเป็นตัวเลขเหมาะสำหรับงานภาคสนาม และการตรวจวัดปริมาณเข้มข้นเฉพาะจุด เช่น งานห้องปฏิบัติการ อาคารที่พักผู้โดยสาร พื้นที่พักขยะ เป็นต้น ดังภาพ 2.3

ภาพ 2.3 เครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ รุ่น MX6

ที่มา : https://www.entech.co.th/product/mx6-ibrid-gas-detector/?lang=th

2.5.2 เครื่องตรวจวัดก๊าซ รุ่น Gas Alert Micro 5 IR

เป็นเครื่องตรวจวัดก๊าซที่สามารถตรวจวัดก๊าซอันตรายได้สูงสุด 5 ชนิด มีคุณสมบัติกำหนดรหัสผ่านเพื่อป้องกันการแก้ไขการอนุญาตการตั้งค่าเครื่องมือโดยสามารถใช้ในงานตรวจจับการรั่วไหลและการวัดปริมาณความเข้มข้นเฉพาะจุดได้เช่นเดียวกับเครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์รุ่น MX6 ดังภาพ 2.4

ภาพ 2.4 เครื่องตรวจวัดก๊าซ รุ่น Gas Alert Micro 5 IR

ที่มา : https://pksafety.com/bw-gasalert-micro-5-pid-multi-gas-monitor-m5pid-xwqy/

2.6 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซ

ในการพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับต้องใช้วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

2.6.1 บอร์ด ESP32

เป็นไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่อ Wifi และ Bluetooth 4.2 BEL ในตัว ผลิตโดยบริษัท Espressif จากประเทศจีน รองรับการเข้ารหัสแบบ WEP และ WPA / WPA2 PSK Enterprise สามารถรับส่งข้อมูลได้ความเร็วสูงสุดที่ 150 Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11n HT40 72 Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11n HT20 54 Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11g และ 11 Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11b ในโหมดประหยัดไฟ ใช้กระแสไฟฟ้าเพียง 2.5 μA เหมาะสำหรับงานพัฒนาต้นแบบ อุปกรณ์รูปแบบ Portable และ Wearable (Arduino, 2562) ดังภาพ 2.5

ภาพ 2.5 บอร์ด ESP32
ที่มา : https://www.amazon.com/HiLetgo-Internet-Development-Wireless-Micropython/dp/B010O1G1ES

2.6.2 สายจัมเปอร์ (Jumpers)

คือสายไฟที่มีหัวเสียบเข้ากับบอร์ดดังภาพ 2.6 ใช้สำหรับการต่อเชื่อมวงจร โดยเสียบลงไปในรูของบอร์ดที่ต้องการให้วงจรเชื่อมต่อ ปลายหัวเสียบ แบ่งออกเป็นตัวเมีย (Female) ซึ่งปลายเป็นรูเสียบ และตัวผู้ (Male) ซึ่งมีปลายแหลมคล้ายเข็มในการเชื่อมต่อ หากไม่มีสายจัมเปอร์ชนิดตัวผู้ สามารถใช้สายไฟหรือสายโทรศัพท์ที่ลอก (ฉนวนที่ปลายออกประมาณ 4-5 มิลลิเมตรแทนได้) ดังภาพ 2.6 (makerlab-electronics, 2561)

ภาพ 2.6 สายต่อ Jumpers

ที่มา : https://www.makerlab-electronics.com/product/nodemcu-v3-esp8266-esp-12e

2.6.3 เซนเซอร์ (Sensor)

เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณหรือปริมาณทางฟิสิกส์ เช่น อุณหภูมิ เสียง แสง แรงทางกล ความดันบรรยากาศ ระยะกระจัด ความเร็ว อัตราเร่ง ระดับของเหลว และอัตราการไหล รวมทั้งก๊าซชนิดต่าง ๆ โดยจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณที่ได้จากการวัดไปเป็นสัญญาณ อีกรูปแบบหนึ่งที่สามารถนำไปประมวลผลต่อได้ (Arduino, 2561)

2.6.3.1 ประเภทของเซนเซอร์วัดก๊าซ โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังนี้คือ

1) Solid State Sensor มีหลักการทำงานคือ เมื่อมีก๊าซผ่านเข้ามายังตัวเซนเซอร์จะมีโครงสร้างภายในที่ประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำ คือ ดีบุกออกไซด์ (Tin Oxide) ที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวในการตอบสนองต่อก๊าซที่ผ่านเข้ามา โดยเกิดการเปลี่ยนค่าความต้านทานทำให้สามารถตรวจจับก๊าซได้หลายชนิดในย่านส่วนในล้านส่วน หรือ ppm ราคาไม่แพงมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน รวมถึงมีความทนทานสูง แต่ก็มีข้อเสีย คือ อาจมีความจำเป็นในการปรับเทียบเครื่องบ่อย เนื่องจากความผิดพลาดในการอ่านค่าเมื่อเซนเซอร์ตอบสนองกับก๊าซที่ปะปนอยู่ในธรรมชาติ ที่มีปริมาณสูง เซนเซอร์ประเภทนี้เหมาะกับการตรวจจับก๊าซพิษที่ไม่ติดไฟ (สาธิต และคณะ, 2556)

2) Catalytic Sensor มีหลักการทำงานคือ เมื่อมีก๊าซผ่านเข้ามายังตัวเซนเซอร์ ก็จะส่งผลให้ค่าความต้านทานลัพธ์ในวงจรบริดจ์เกิดการไม่สมดุลและส่งสัญญาณเอาต์พุตออกมา ซึ่งเป็นค่าที่แปรผันแบบเป็นสัดส่วนกับค่าความหนาแน่นของก๊าซ เซนเซอร์ชนิดนี้มีข้อดี คือ ราคาไม่แพง มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ง่ายต่อการออกแบบในการใช้งาน รวมถึงมีความทนทานสูง

แต่มีข้อเสีย คือ อาจมีผลกระทบที่เป็นพิษได้จากสารเร่งปฏิกิริยาที่ฉาบเคลือบที่ขดลวดไฟฟ้า เซนเซอร์ประเภทนี้เหมาะกับการตรวจจับก๊าซติดไฟได้ (สาธิต และคณะ, 2556)

3) Infrared Sensor มีหลักการทำงานคือ ใช้อุปกรณ์ประเภทแสงในการทำหน้าที่ตรวจจับก๊าซ เซนเซอร์ชนิดนี้มีข้อดี คือ ไม่เกิดผลกระทบที่เป็นพิษจากสารเร่งปฏิกิริยาภายในตัวเซนเซอร์ ส่วนข้อเสีย คือ แสงที่ใช้ในการตรวจจับก๊าซอาจถูกเบี่ยงเบนโดยสิ่งกีดขวางอื่น ๆ ได้ เซนเซอร์ประเภทนี้เหมาะกับการตรวจจับก๊าซติดไฟได้ (สาธิต และคณะ, 2556)

4) Electrochemical Sensor มีหลักการทำงานคือ โครงสร้างที่อยู่ภายในอันประกอบไปด้วยสารอิเล็กโตรไลต์จะทำปฏิกิริยากับก๊าซที่ผ่านเข้ามายังตัวเซนเซอร์ แต่ก็มีข้อจำกัดคือสามารถตรวจจับก๊าซได้เพียงบางชนิด เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไฮโดรเจน ซึ่งเซนเซอร์ประเภทนี้เหมาะกับการตรวจจับก๊าซพิษที่ไม่ติดไฟ (สาธิต และคณะ, 2556)

2.6.3.2 เซนเซอร์วัดก๊าซมีเทน

เซนเซอร์ในการตรวจวัดก๊าซมีเทนเป็นเซนเซอร์ประเภท Catalytic Sensor รุ่น MQ-4 ดังภาพ 2.7 จะมีแรงดันไฟฟ้าในวงจร 5.0 โวลต์ สามารถตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซได้ตั้งแต่ 300 ถึง 10,000 ppm ซึ่งจะมีความรวดเร็วในการตรวจจับก๊าซสูง (Thaieasyelec, 2561)

ภาพ 2.7 เซนเซอร์ รุ่น MQ-4

ที่มา : https://www.arduino4.com/product/289/mq-4-

2.6.3.3 เซนเซอร์วัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ในการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะใช้เซนเซอร์ ประเภท Electrochemical Sensor รุ่น MQ-7 ดังภาพ 2.8 ซึ่งจะมีแรงดันไฟฟ้าในวงจร 10 โวลต์ สามารถตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซได้ตั้งแต่ 200 ถึง 10,000 ppm (Arduino, 2561)

ภาพ 2.8 เซนเซอร์ รุ่น MQ-7

ที่มา : https://www.arduino4.com/product/289/mq-4-

2.6.3.4 เซนเซอร์วัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ในการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะใช้เซนเซอร์ ประเภท Electrochemical Sensor รุ่น MG 811 ดังภาพ 2.9 ซึ่งจะมีแรงดันไฟฟ้าในวงจร 6.0โวลต์ สามารถตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซได้ตั้งแต่ 350 ถึง 10,000 ppm (Arduinothai, 2561)

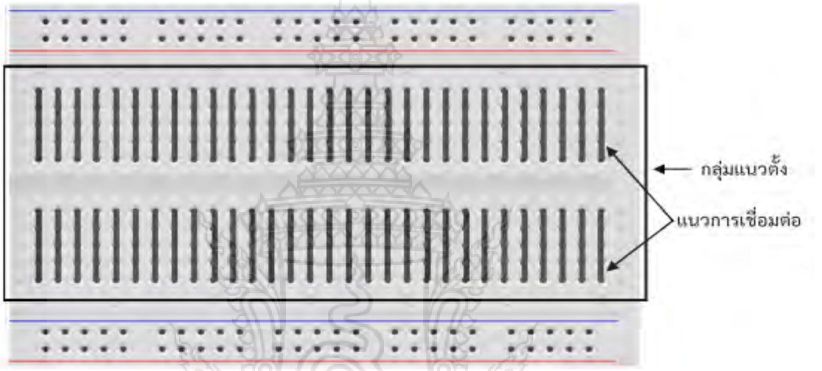
ภาพ 2.9 เซนเซอร์ รุ่น MG 811

ที่มา : https://www.arduino4.com/product/289/mq-4-

2.6.4 เบรดบอร์ด (Breadboard)

เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้สามารถเชื่อมต่อวงจรได้ง่ายขึ้น ลักษณะของบอร์ดจะเป็นพลาสติกมีรูจำนวนมากภายใต้รูเหล่านั้นจะมีการเชื่อมต่อถึงกันอย่างมีรูปแบบเมื่อนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาเสียบจะทำให้พลังงานไฟฟ้าสามารถไหลจากอุปกรณ์หนึ่งไปยังอุปกรณ์หนึ่งได้ พื้นที่การเชื่อมต่อกันจะแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ (Inventor, 2561) ดังนี้

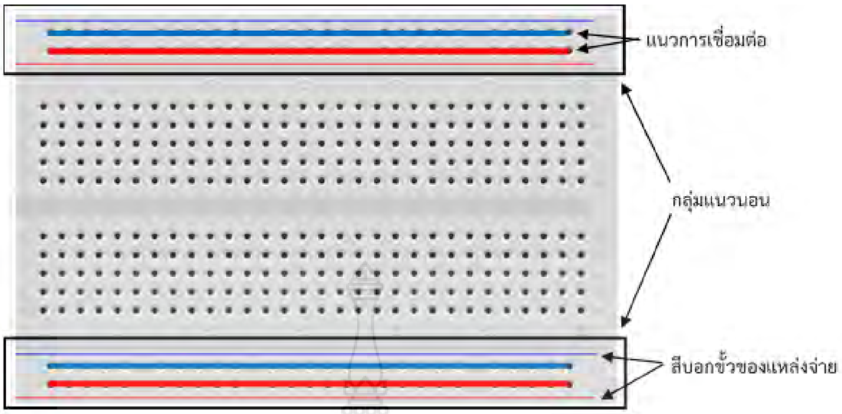
2.6.4.1 กลุ่มแนวตั้ง เป็นกลุ่มที่เป็นพื้นที่สำหรับการเชื่อมต่อวงจร วางอุปกรณ์ จะมีช่องเว้นกลางกลุ่มสำหรับเสียบไอซีตัวถังแบบ DIP และบ่งบอกการแบ่งเขตเชื่อมต่อดังภาพ 2.10



ภาพ 2.10 เบรดบอร์ดกลุ่มแนวตั้ง

ที่มา : https://sites.google.com/site/somyongregina/academic/electronic/protoboard

2.6.4.2 กลุ่มแนวนอน เป็นกลุ่มที่มีการเชื่อมต่อกันในแนวนอน ใช้สำหรับพักไฟที่มาจากแหล่งจ่าย เพื่อใช้สำหรับเชื่อมต่อไฟจากแหล่งจ่ายเลี้ยงให้วงจรต่อไป และจะมีสีสัญลักษณ์สกรีนเพื่อบอกขั้วที่ของแหล่งจ่ายที่ควรนำมาพักไว้ โดยสีแดงหมายถึงขั้วบวก สีดำหรือสีน้ำเงินหมายถึงขั้วลบ ดังภาพ 2.11



ภาพ 2.11 เบรดบอร์ดกลุ่มแนวนอน

ที่มา : https://sites.google.com/site/somyongregina/academic/electronic/protoboard

2.6.5 กระบอกอะคริลิค

เป็นกระบอกที่บรรจุอุปกรณ์ชุดตรวจวัดก๊าซมีปริมาตร 44.1 ลูกบาศก์เซนติเมตร และพื้นที่ผิวด้านข้าง 81 ตารางเซนติเมตร สีใสและมีฝาพลาสติกปิดหัวและท้าย ดังภาพ 2.12

ภาพ 2.12 กระบอกอะคริลิค

2.6.6 พาวเวอร์แบงค์ (Power Bank)

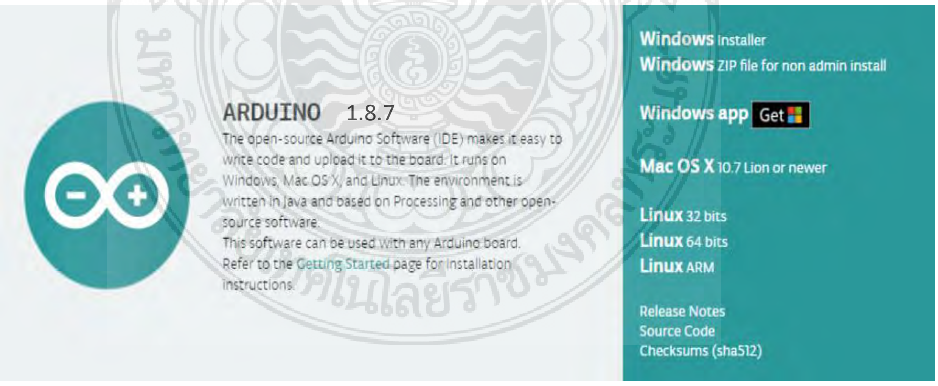
พาวเวอร์แบงค์หรือแบตเตอรี่สำรองดังภาพ 2.13 เป็นอุปกรณ์สำรองและจ่ายกระแสไฟให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคที่ใช้แบตเตอรี่ ซึ่งไม่ใช้ไฟมากสามารถนำออกไปใช้ทำงานนอกสถานที่หรือในภาคสนามได้ตามความต้องการของผู้ใช้

ภาพ 2.13 Power Bank

ที่มา : https://www.lazada.co.th/eloop/

2.6.7 โปรแกรมอาดุยโน่ (Integrated Development Environment : IDE) เวอร์ชั่น 1.8.7

โปรแกรมอาดุยโน่ดังภาพ 2.14 เป็นโปรแกรมประเภท Integrated Development Environment หรือ IDE ประเภทหนึ่งที่มีเครื่องมือช่วยในการพัฒนาโปรแกรมโดยมีสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น คำสั่ง Compile Run จัดเป็นเมนู และ GUI ต่าง ๆ ช่วยสร้างสภาพแวดล้อม (environment) ให้เหมาะแก่การเขียนโปรแกรมโดยทำงานภายใต้ภาษาซี หน้าที่เพื่อสั่งการบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่น ๆ (mindph, 2561)



ภาพ 2.14 โปรแกรมอาดุยโน่ IDE (Integrated Development Environment) เวอร์ชั่น 1.8.7

ที่มา : https://www.arduino4.com/product/289/

2.6.8 LINE Notify

LINE Notify ดังภาพ 2.15 เป็นบริการที่สามารถส่งหรือรับข้อความแจ้งเตือนจากเว็บเซอร์วิสต่าง ๆ โดยหลังจากเสร็จสิ้นการเชื่อมต่อกับทางเว็บเซอร์วิสแล้ว จะได้รับการแจ้งเตือนจากบัญชีทางการของ “LINE Notify” ซึ่งให้บริการโดยแอปพลิเคชันไลน์ (LINE) บริการหลัก ๆ ที่สามารถเชื่อมต่อกับ LINE Notify ได้แก่ GitHub, IFTTT หรือ Mackerel ในการพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซนี้ Line Notify ถูกนำมาใช้รับข้อมูลการตรวจวัดก๊าซและแสดงผลแบบ Realtime (Engineering, 2561)

ภาพ 2.15 LINE Notify
ที่มา : https://engineering.thinknet.co.th

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สาวิตรี และพีรัชญา (2560) ได้พัฒนาเครื่องตรวจติดตามการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบออนไลน์ด้วยเซนเซอร์ พบว่า เครื่องสามารถรับ - ส่งข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสถานที่กำจัดขยะแบบออนไลน์ได้โดยแอพพลิเคชั่น LINE และแอพพลิเคชั่น GasApp โดยส่งแบบ Realtime ทำให้สามารถตรวจการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ในทันที ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องตรวจติดตามการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบออนไลน์ได้ค่าตามมาตรฐานเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ รุ่น MX6 และเครื่องตรวจวัดก๊าซรุ่น Gas Alert Micro 5 IR

วิชัย และคณะ (2560) ได้ศึกษาการวิจัยอากาศยานไร้คนขับ (Drone) สำหรับเกษตรอินทรีย์ โดยทดสอบพ่นสารในแปลงผักคะน้า หอม ผักชี นาข้าว และในไร่อ้อย พบว่าอากาศยานไร้คนขับที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการทำงานได้ในอัตรา 3-5 นาที/ไร่ ซึ่งเร็วกว่าการใช้แรงงานคนที่ใช้เครื่องพ่นแบบสะพายหลัง 6-9 เท่า รวมทั้งมีละอองสารติดที่ใต้ใบน้อยกว่า สามารถลดการตกค้างจากสารที่พ่นที่บริเวณใต้ใบของพืชเนื่องจากมีลมจากใบพัดของอากาศยานไร้คนขับช่วยพัดออก และทดสอบพ่นสารในสวนมะพร้าวน้ำหอมมีความสูงเฉลี่ย 11 เมตร ใช้เวลาประมาณ 15 นาที/ไร่ ในการพ่นสาร

จักราพิชญ์ และ นิพนธิ์ (2551) ได้ทำการวิจัยการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์แบบออนไลน์ พบว่า เครื่องมือตรวจวัดก๊าซ CO 210 Carbon monoxide probe ที่เชื่อมเข้ากับ Web server board ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR รุ่น AT Mega 168 จะควบคุมเซนเซอร์ตามโปรแกรมคำสั่งที่เขียนขึ้นด้วยภาษาซีและมีอินเทอร์เน็ตชิปทำหน้าที่เป็นอินเตอร์เฟสบอร์ดเข้าระบบเครือข่ายแลนให้คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลสัญญาณและแสดงผลในรูปที่สามารถอ่านได้ จากนั้นสร้างเว็บเพจเพื่อแสดงข้อมูลจากเซนเซอร์ ซึ่งเครื่องที่สร้างขึ้นสามารถตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ถูกต้องตามที่ออกแบบมีค่าความแตกต่างจากการวัด ± 5 ppm

จัตุพล และ ธงรบ (2557) ได้ศึกษาและพัฒนาระบบโดรนอัตโนมัติ (ACD) เพื่อให้สามารถบินอัตโนมัติไปยังสถานที่ที่เราต้องการควบคุมและทำการบินขึ้น-ลงจอดโดยใช้หลักการอัลตร้าโซนิควัดระดับความสูงซึ่งคำนวณโดยการประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ในการทำงานของการระบุตำแหน่งเส้นทางการบิน และใช้สัญญาณจีพีเอสทำการทดสอบระบบจำนวน 40 ไฟท์ จากการทดสอบการบินระบบออโตเมติกในที่โล่งแจ้ง สามารถบินได้หนึ่งร้อยเปอร์เซนต์และยัง พบว่าระบบโดรนจำเป็นต้องอาศัยสัญญาณจากจีพีเอสเป็นตัวนำทาง และลมมีผลในการบินเป็นอย่างมาก

ชัชวาล (2561) ได้พัฒนานาฬิกา IOT แจ้งเตือนก๊าซพิษแบบออนไลน์พบว่า นาฬิกาที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น สามารถแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ที่สามารถทำงาน บันทึกข้อมูลแจ้งเตือนควบคุมผ่านโทรศัพท์มือถือในระบบ Android เพื่อป้องกันอันตรายจากมลพิษทางอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งแก๊สพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือก๊าซพิษที่อยู่รอบตัวมนุษย์ในชีวิตประจำวัน

ศิริเรือง และคณะ (2559) ได้ศึกษาและพัฒนาอากาศยานไร้คนขับสำหรับเฝ้าระวังและควบคุมการแพร่ขยายของหอยเชอรี่ในนาข้าวหอมนิลพบว่า ใช้หลักไมโครคอนโทรเลอร์มาควบคุมการทำงานของอากาศยานไร้คนขับการทำงานจะเริ่มจากการใช้ยานบิน Quad rotor บินสำรวจพื้นที่แปลงทดลองนาข้าวหอมนิลเพื่อตรวจจับไข่หอยเชอรี่ เมื่อบินสำรวจเจอก็จะทำการประมวลผลเพื่อส่งผ่านระบบเครือข่ายไร้สายมายังจอมอนิเตอร์ และทำการส่งข้อมูลต่อไปยัง Motor Pump ทำงานและทำการพ่นสารกำจัดหอยเชอรี่ การบังคับทิศทางการบินอากาศยานไร้คนขับจะเริ่มต้นบังคับโดยใช้รีโมทในโหมดการทำงานแบบ Manual เมื่ออากาศยานไร้คนขับทรงตัวในอากาศได้แล้ว ก็จะทำการล๊อกตำแหน่งความสูงเพื่อทำการบินตรวจจับไข่หอยเชอรี่

ปวริศ (2557) ได้ทำการวิจัยระบบตรวจจับก๊าซแอลพีจี และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทำการศึกษาการทำงานของเซนเซอร์ MQ-5 และ MG-811 ที่ใช้ตรวจจับก๊าซแอลพีจี และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยที่ระบบเซนเซอร์ทั้งสองจะส่งสัญญานอนาลอกให้กับบอร์ด Raspberry Pi ทำการส่งสัญญาณเอาต์พุตออกเป็นเสียงเตือนเป็นคำพูด และเสียงแจ้งเตือนลำโพงพบว่าเซนเซอร์มีความแม่นยำในการตรวจจับก๊าซ พร้อมแสดงปริมาณของก๊าซแอลพีจีและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านทางเบราว์เซอร์

Wagiram (2004) ได้ทำการวิจัยพัฒนาวิธีการใช้ก๊าซเซนเซอร์สำหรับตรวจคุณภาพอากาศประกอบด้วยเซนเซอร์คาร์บอนมอนอกไซด์ เก็บและบันทึกผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีโปรแกรมคำสั่งควบคุม ซึ่งเขียนด้วยภาษา Assembly ทำการแปลงแรงดันไฟจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล จากเซนเซอร์เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงผลความเข้มข้นของก๊าซผ่านจอแอลซีดี และระบบแจ้งเตือนเมื่อความเข้มข้นของก๊าซมีค่าสูงเกินมาตรฐาน พบว่าเครื่องสามารถตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอกไซด์ได้อย่างรวดเร็ว

วัศพล และคณะ (2557) ได้ทำการวิจัยระบบตรวจจับควันบุหรี่ เพื่อศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับควันบุหรี่ภายในอาคาร โดยทำการออกแบบเครื่องตรวจจับควันแบบที่ใช้ตัวเซนเซอร์ตรวจจับก๊าซและควัน (MQ-2) โดยบอร์ดอาดุยโน่จะทำการเก็บค่าที่ได้จากเซนเซอร์เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า เมื่อเซนเซอร์ตรวจพบควันจนค่าแรงดันไฟฟ้าเกินจากที่กำหนดไว้ บอร์ดอาดุยโน่จะทำการส่งข้อมูลไปในระบบเพื่อทำงานเก็บวัน เวลา และตำแหน่งของเซนเซอร์ที่ตรวจพบควัน พร้อมทั้งข้อความแจ้งให้กับผู้ดูแลทราบ จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตรวจจับควันบุหรี่พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับควันสามารถเก็บข้อความและส่งข้อความหาผู้ดูแลได้ในทันทีที่ตรวจพบควันบุหรี่

ยอดรัก (2557) ได้ทำการวิจัยเครื่องตรวจจับและแจ้งเตือนก๊าซไวไฟรั่วไหลพบว่า เครื่องตรวจจับก๊าซไวไฟรั่วไหล สามารถเลือกระดับปริมาณก๊าซที่จะทำการแจ้งเตือนได้ ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผล รับค่าเซนเซอร์ตรวจจับก๊าซไวไฟ ควบคุมการแสดงผลจอแสดงปริมาณก๊าซที่สามารถวัดได้จากเซนเซอร์ และสร้างสัญญาณเสียงเพื่อเตือนในกรณีที่ตรวจพบว่าในบริเวณนั้นมีปริมาณที่มากกว่าที่ได้ตั้งกำหนดค่าไว้ ผลการตรวจจับก๊าซไวไฟ ลำโพงจะดังขึ้นเพื่อทำการแจ้งเตือนมีก๊าซในปริมาณมากกว่าที่ได้กำหนดไว้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

ในการพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ ทางคณะผู้จัดทำได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อที่จะนำมาใช้ในการออกแบบและสร้างต้นแบบชุดตรวจวัดก๊าซเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแล้ว ได้นำชุดตรวจวัดก๊าซไปทดสอบประสิทธิภาพการทำงานด้วยการเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซอ้างอิงทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนามที่มีอยู่ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 โครงสร้างอากาศยานไร้คนขับ

3.1.1.1 TL 650 Carbon

3.1.1.2 มอเตอร์ใบพัด

3.1.1.3 ใบพัด

3.1.1.4 แบตเตอรี่

3.1.1.5 บอร์ดควบคุม

3.1.1.6 เครื่องระบุตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS)

3.1.1.7 ไฟ LED

3.1.2 ชุดตรวจวัดก๊าซ

3.1.2.1 กระบอกอะคริลิค

3.1.2.2 บอร์ดอาดุยโน่ ESP32

3.1.2.3 เบรดบอร์ด

3.1.2.4 เซนเซอร์สำหรับก๊าซมีเทน MQ-4

3.1.2.5 เซนเซอร์สำหรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ MG-811

3.1.2.6 เซนเซอร์สำหรับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ MQ-7

3.1.2.7 สายจัมเปอร์

3.1.2.8 พาวเวอร์แบงค์

3.1.2.9 สาย Micro USB

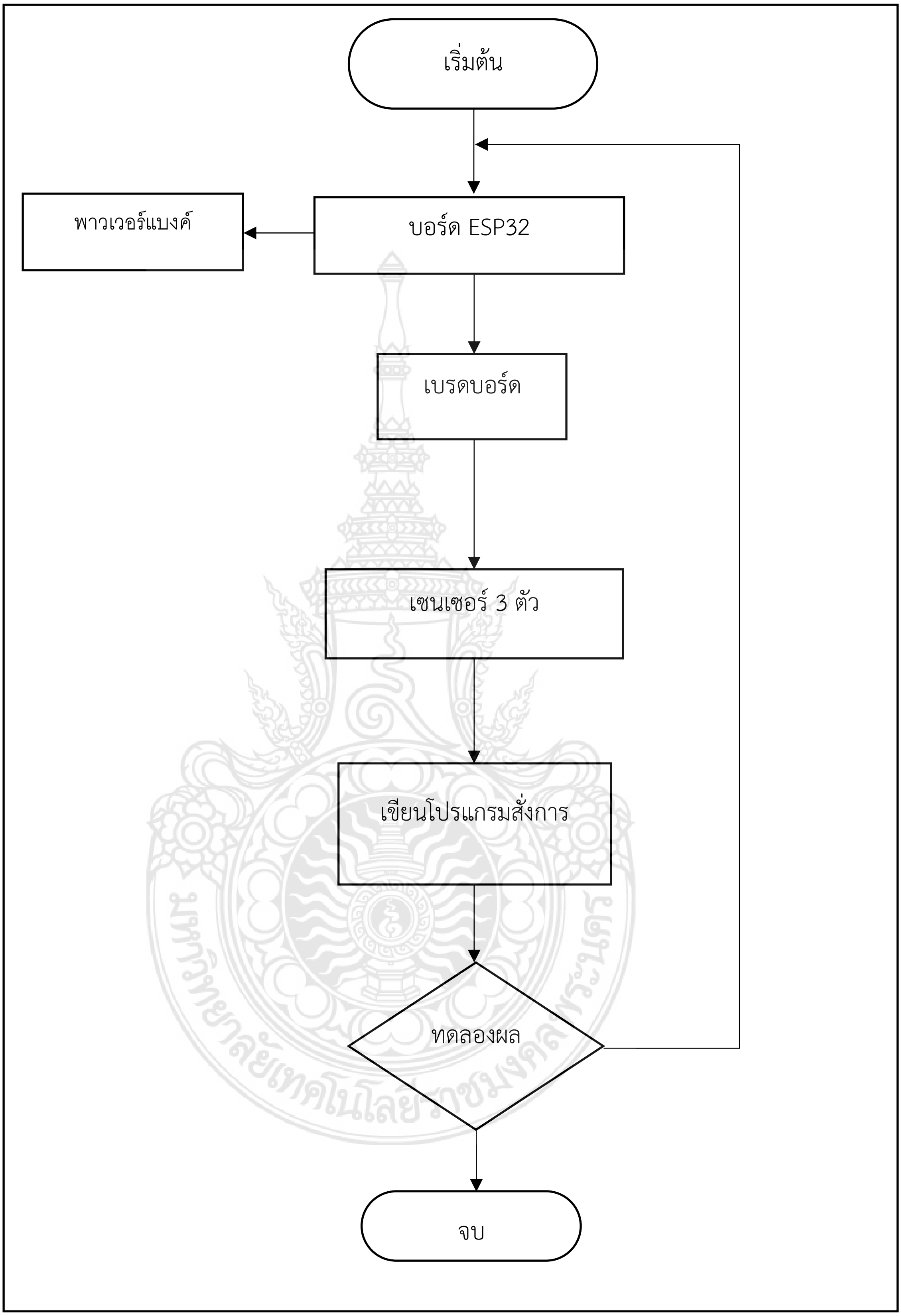
3.2 วิธีการพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ

3.2.1 การออกแบบโครงสร้างชุดตรวจวัดก๊าซ

การออกแบบชุดตรวจวัดก๊าซที่จะนำไปติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับ จะทำการติดตั้งตัวเซนเซอร์ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ทั้ง 3 ตัว เข้ากับบอร์ดอาดุยโน่ โดยจะใช้บอร์ดทดลองมาเป็นตัวเชื่อมระหว่างตัวเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัวกับบอร์ดอาดุยโน่ หลังจากนั้นจะนำไปบรรจุไว้ สุดท้ายนำกระบอกอะคริลิคติดตั้งเข้ากับอากาศยานไร้คนขับ

3.2.2 วงจรภายในชุดตรวจวัดก๊าซ

ในการต่อชุดวงจรของเครื่องตรวจวัดก๊าซ โดยใช้บอร์ดอาดุยโน่ ESP32 ซึ่งจะเป็นบอร์ดหลักที่สามารถควบคุมการทำงานของเซนเซอร์และเป็นโมดูลเชื่อมต่อกับสัญญาณ Wifi แล้วส่งข้อมูลเข้าไปยังแอปพลิเคชันไลน์ โดยวงจรการทำงาน ดังภาพ 3.1



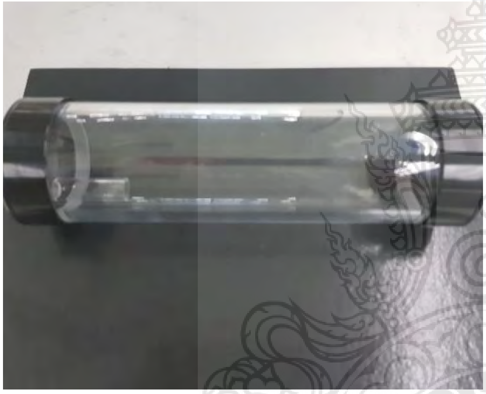
ภาพ 3.1 Flow Chart แสดงวงจรควบคุมชุดตรวจวัดก๊าซ

3.2.3 การประกอบชุดตรวจวัดก๊าซ

สำหรับขั้นตอนการผลิตชุดตรวจวัดก๊าซจะนำบอร์ดควบคุมที่เชื่อมต่อกับเซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซติดตั้งเข้าไปภายในกระบอกอะคริลิค โดยขั้นตอนการประกอบดังนี้

3.2.3.1 ขั้นตอนการติดตั้งระบบเซนเซอร์

1) นำกระบอกที่จะติดตั้งดังภาพ 3.2 ระบบเซนเซอร์ไปเจาะรูขนาดเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเซนเซอร์ไว้บริเวณด้านหัวและท้ายของกระบอกทั้ง 2 ด้านของกระบอกจำนวน 3 รูเพื่อติดตั้งเซนเซอร์และให้อากาศผ่านเข้าไปสัมผัสกับเซนเซอร์ได้



ภาพ 3.2 กระบอกอะคริลิคสำหรับติดตั้งวงจร

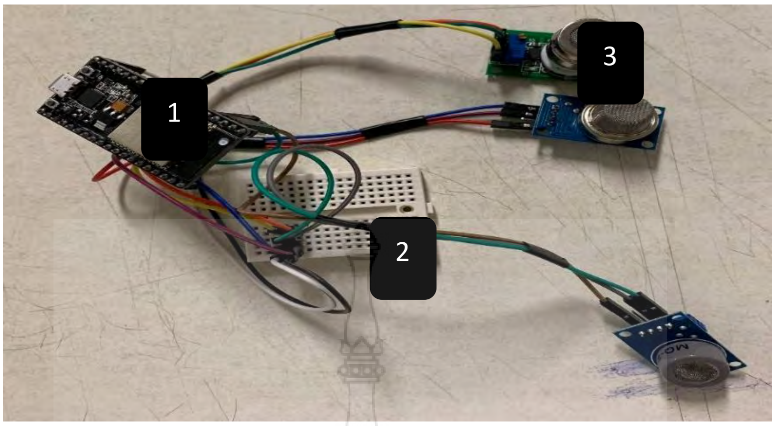
ภาพ 3.3 ฝากระบอกอะคริลิคที่ผ่านการเจาะรูสำหรับติดตั้งเซนเซอร์

2) ต่อวงจรเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัวเข้ากับบอร์ดอาดุยโน่ ESP32 โดยจะใช้สายไฟที่มาพร้อมเซนเซอร์เชื่อมต่อเข้ากับเบรดบอร์ดเพื่อนำไฟฟ้าจากบอร์ดอาดุยโน่ไปยังเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัวดังภาพ 3.4

3) เขียนโปรแกรมสั่งการบอร์ดโดยใช้โปรแกรมอาดุยโน่ IDE เวอร์ชั่น 1.8.7 โดยกำหนดให้ส่งข้อมูลที่เซนเซอร์ตรวจวัดได้ไปยังแอปพลิเคชัน

4) ติดตั้งตัววงจรภายในกระบอกโดยใช้สกรูยึดตัวเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัว

5) ใช้สาย Micro usb เชื่อมต่อระบบเซนเซอร์กับพาวเวอร์แบงค์เพื่อให้จ่ายพลังงานกับบอร์ดและระบบเซนเซอร์



ภาพ 3.4 วงจรควบคุมชุดตรวจวัดก๊าซ

วงจรควบคุมชุดตรวจวัดก๊าซดังภาพ 3.4 ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

หมายเลขที่ 1 บอร์ดอาดุยโน่ ESP32 เป็นบอร์ดหลักที่ใช้ควบคุมการทำงานของเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัวของชุดตรวจวัดก๊าซ และเป็นโมดูล Wifi ในตัวที่สามารถส่งข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้

หมายเลขที่ 2 เบรดบอร์ดเป็นบอร์ดที่ใช้ในการนำไฟฟ้าจากตัวบอร์ดอาดุยโน่ไปยังตัวเซนเซอร์

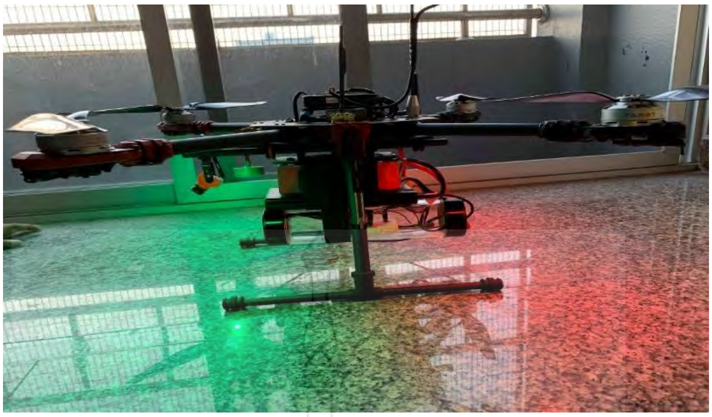
หมายเลขที่ 3 เซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดก๊าซประกอบไปด้วย เซนเซอร์สำหรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (MG-811) เซนเซอร์สำหรับก๊าซมีเทน (MQ-4) และเซนเซอร์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (MQ-7)

3.2.3.2 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องตรวจวัดก๊าซเข้ากับอากาศยานไร้คนขับ

1) ติดตั้งตีนแถบหนามเตยบนพาวเวอร์แบงค์และตำแหน่งแบตเตอรี่ของอากาศยานไร้คนขับ

2) นำสายรัดขนาดกว้าง 3 เซนติเมตร ยาว 32 เซนติเมตรจำนวน 2 เส้น รัดพาวเวอร์แบงค์และแบตเตอรี่ของอากาศยานไร้คนขับให้ติดกันแน่น

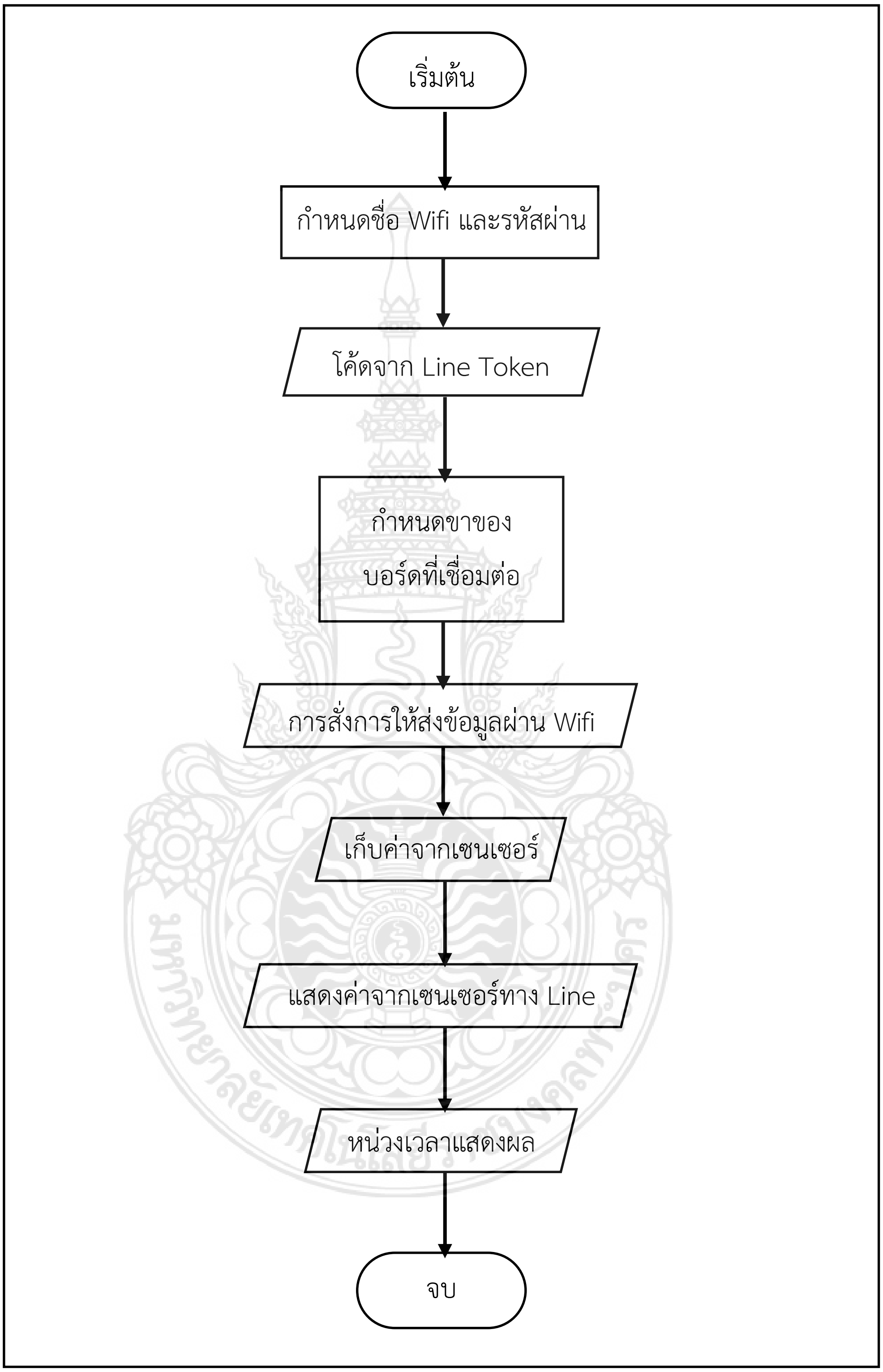
3) ติดตั้งชุดตรวจวัดก๊าซไว้ใต้พาวเวอร์แบงค์โดยใช้สายรัดขนาด 3 เซนติเมตร ยาว 32 เซนติเมตรอีก 1 เส้น



ภาพ 3.5 การประกอบชุดตรวจวัดก๊าซเข้ากับอากาศยานไร้คนขับ

3.2.4 การเขียนโปรแกรมสั่งการทำงานชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ

โปรแกรมที่จะใช้สั่งการควบคุมตัวบอร์ดจะใช้คำสั่งภาษาซีผ่านโปรแกรมอาดุยโน่ IDE เวอร์ชั่น 1.8.7 โดยลำดับการทำงานของชุดคำสั่งดังภาพ 3.6 จะเริ่มจากการกำหนดชื่อ Wifi และรหัสผ่านการกำหนดโค้ดจาก LINE Token การกำหนดขาของบอร์ดที่เชื่อมต่อ การสั่งการให้ส่งข้อมูล Wifi เก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ แสดงข้อมูลจากเซนเซอร์ทางแอปพลิเคชันไลน์ และทำการหน่วงเวลาแสดงผลดังภาพ 3.7



ภาพ 3.6 Flowchart แสดงลำดับการทำงานของชุดคำสั่ง

```
#include <TridentTD_LineNotify .h>
#define  SSID          "disk2"  //SSID    WIFI
#define  PASSWORD   "satja0552"        //PASSWORD WIFI
#define  LINE_TOKEN  "tzpxUg9tKeBfP5aD7LS2mbkz2mbk7rD31FHB2FGKiYy"    //TOKEN LINE
Void  setup () {
    pinMode (36, INPUT) ;
    pinMode (39, INPUT) ;
    pinMode (34, INPUT) ;


   Serial.begin(115200) ;  Serial.println() ;
    Serial.println  (LINE.getVersion() ) ;
    WiFi.begin (SSID, PASSWORD) ;
    Serial.printf ("WiFi  connecting  to  %s/n",   SSID) ;
    while (WiFi.status ()  != WL_CONNECTED)  {  Serial.print(".") ; delay(400) ;  }
    Serial.printf ("/nWiFi  connected/nIP  :  ") ;
    Serial.println(WiFi.localIP() ) ;
    LINE.setToken(LINE_TOKEN) ;  //   กำหนด Line Token
}
void loop()  {
   float  CO = analogRead(36) ;   //เก็บค่าจากเซนเซอร์MQ7
   float  CH4 = analogRead(39) ;   //เก็บค่าจากเซนเซอร์MQ4
   float  CO2 = analogRead(36) ;   //เก็บค่าจากเซนเซอร์Mg811



            LINE.notify("-----------------------------------------------") ;
            LINE.notify("COขณะนี้ "+String (CO)+"  ") ;
            LINE.notify("CH4ขณะนี้ "+String (CH4)+"  ") ;
            LINE.notify("CO2ขณะนี้ "+String (CO2)+"  ") ;

            LINE.notify("-----------------------------------------------") ;
            delay(60000) ;
}
```

ภาพ 3.7 ชุดคำสั่งของเครื่องตรวจวัดก๊าซ

จากภาพ 3.7 รายละเอียดของชุดคำสั่งแบ่งออกเป็นแต่ละส่วนได้ดังนี้

1. การเชื่อมต่อกับสัญญาณ Wifi ดำเนินการกำหนดชื่อตัวต้นสัญญาณและรหัสผ่านของสัญญาณไวไฟที่จะเชื่อมต่อกับบอร์ด และระบบ Line Token ที่ได้จาก Line Notify ดังภาพ 3.8

```
#include <TridentTD_LineNotify.h>

#define SSID        "disk2"  //SSID  WIFI

#define PASSWORD     "satja0552"     //PASSWORD WIFI

#define  LINE_TOKEN    "tzpxUg9tKeBfP5aD7LSZEckz2mbk7rD3lFHB2FGKiYy"    //TOKEN
LINE
```

ภาพ 3.8 ชุดคำสั่งการตั้งชื่อสัญญาณ Wifi และรหัสผ่าน

2. การกำหนดขาของบอร์ดที่เชื่อมต่อกับเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัว โดยจะใช้ขาที่ 36 39 34

```
void setup() {

pinMode(36,INPUT);

pinMode(39,INPUT);

pinMode(34,INPUT);
```

ภาพ 3.9 ชุดคำสั่งกำหนดขาเชื่อมต่อเซนเซอร์

3. การสั่งการบอร์ดให้สามารถส่งข้อมูลผ่านสัญญาณไวไฟดำเนินการเขียนคำสั่งให้บอร์ดเชื่อมต่อกับ Wifi ที่กำหนดรหัสผ่านในหัวข้อที่ 1. โดยระบบ serial begin เป็น 115200 ของบอร์ด และระบุ serial.print เพื่อให้ส่งข้อมูล และแสดงข้อมูลทางแอปพลิเคชันไลน์

```
Serial.begin(115200); Serial.println();

Serial.println(LINE.getVersion());

WiFi.begin(SSID, PASSWORD);

Serial.printf("WiFi connecting to %s\n",  SSID);

while(WiFi.status() != WL_CONNECTED) { Serial.print("."); delay(400); }

Serial.printf("\nWiFi connected\nIP : ");

Serial.println(WiFi.localIP());

LINE.setToken(LINE_TOKEN);  // กำหนด Line Token
```

ภาพ 3.10 ชุดคำสั่งการเชื่อมต่อสัญญาณไวไฟ

4.การเก็บข้อมูลตรวจวัดจากเซนเซอร์ดำเนินการการเขียนคำสั่งให้บอร์ดอ่านสัญญาณอนาล็อกจากเซนเซอร์ในชุดตรวจวัดก๊าซโดย กำหนดให้เก็บข้อมูลการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากเซนเซอร์ MQ-7 โดยใช้ช่องสัญญาณ 36 ก๊าซมีเทนจากเซนเซอร์ MQ-4 โดยใช้ช่องสัญญาณ 39 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเซนเซอร์ MG-811 โดยใช้ช่องสัญญาณ 34 ดังภาพ 3.11

.

```
void loop() {

float CO = analogRead(36);  //เก็บค่าจากเซนเซอร์MQ7

float CH4 = analogRead(39);  //เก็บค่าจากเซนเซอร์MQ4

float CO2 = analogRead(34);  //เก็บค่าจากเซนเซอร์MG811
```

ภาพ 3.11 ชุดคำสั่งรับข้อมูลจากเซนเซอร์

5.การกำหนดให้แสดงผลข้อมูลทางแอปพลิเคชันไลน์ โดยระบุ string ให้สัมพันธ์กับข้อมูลจากเซนเซอร์ที่ต้องการแสดงผลและกำหนดการหน่วงเวลาเป็น 1 นาทีโดยระบุ delay เป็น 60000 ดังภาพ 3.12

```
LINE.notify("----------------------------");

LINE.notify("COขณะนี้ "+String(CO)+" ");  //แสดงค่าจากเซนเซอร์MQ7ทางLine

LINE.notify("CH4ขณะนี้ "+String(CH4)+" ");  //แสดงค่าจากเซนเซอร์MQ4ทางLine

LINE.notify("CO2ขณะนี้ "+String(CO2)+" ");  //แสดงค่าจากเซนเซอร์MG811ทางLine

LINE.notify("----------------------------");

delay(60000);  //หน่วงเวลาการแสดงผล
```

ภาพ 3.12 ชุดคำสั่งการสั่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชันไลน์

3.3 การสุ่มเก็บตัวอย่างขยะและการตรวจวัดก๊าซในพื้นที่เบื้องต้น

เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลพื้นฐานและโอกาสในการเกิดก๊าซคณะผู้จัดทำได้มีการเข้าพื้นที่และดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างขยะโดยใช้เทคนิค Cone and quartering ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

1) การกำหนดตำแหน่งจุดสุ่มเก็บตัวอย่างขยะทั้งหมด 4 จุด ให้ครอบคลุมพื้นที่ของจุดพักขยะ ทั้งตำแหน่งที่รับขยะเข้ามาใหม่ ตำแหน่งที่มีการพลิกกลับขยะอัดแท่ง และตำแหน่งที่เตรียมขนถ่ายไปยังพื้นที่กำจัดขยะดังภาพ 3.13

ภาพ 3.13 การกำหนดตำแหน่งจุดเก็บขยะ

2) สุ่มเก็บตัวอย่างขยะในแต่ละจุดที่กำหนดไว้ จุดละ ประมาณ 5 กิโลกรัม ± 1 กิโลกรัม
3) นำตัวอย่างขยะที่สุ่มเก็บมาเทกองรวมกันเป็นรูปโคนแล้วแบ่งออกเป็น 4 ส่วน เท่า ๆ กัน
4) กำหนดหมายเลขและสุ่มจับสลากเพื่อชักตัวอย่างมา 1 กอง
5) จำแนกประเภทของขยะจากกองที่ชักตัวอย่างชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

3.4 การทดสอบระบบไฟฟ้าและการเชื่อมต่อ

3.4.1 การทดสอบระบบไฟฟ้า

ดำเนินการเชื่อมต่อพาวเวอร์แบค์และชุดตรวจวัดก๊าซ ตรวจเช็คการจ่ายไฟและการรับไฟ โดยสังเกตความสว่างของหลอด led บนพาวเวอร์แบงค์และบอร์ด ดังภาพ 3.14

ภาพ 3.14 ทดสอบระบบเซนเซอร์

3.4.2 การทดสอบการเชื่อมต่อและแสดงผลข้อมูลผ่านสัญญาณไวไฟ

เปิดสัญญาณ Wifi และ เปิดแอปพลิเคชันไลน์ หากการจ่ายไฟและการเชื่อมต่อสัญญาณของชุดตรวจวัดก๊าซสมบูรณ์ข้อมูลจะถูกส่งมาแสดงผลที่แอปพลิเคชันไลน์ทุก ๆ 1 นาที

ภาพ 3.15 ข้อความแสดงปริมาณก๊าซที่ตรวจวัดได้ผ่านแอปพลิเคชันไลน์

3.5 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ภายในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ ภายในห้องปฏิบัติการดำเนินการทั้งหมด 4 ครั้ง แบ่งเป็นครั้งละ 30 นาที โดยใช้ก๊าซกระป๋องที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนเป็นแหล่งกำเนิดก๊าซภายในตู้อะคริลิคทรงลูกบาศก์ขนาดกว้าง 45 เซนติเมตร ยาว 45 เซนติเมตร และสูง 45 เซนติเมตร หลังจากนั้น ใช้เซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซที่ปล่อยภายในตู้โดยไปเปรียบเทียบกับเครื่องตรวจวัดก๊าซรุ่น Gas Alert Micro 5 IR บันทึกข้อมูลการตรวจวัดทุก 1 นาที

ภาพ 3.16 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

3.6 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ในภาคสนาม

ดำเนินการติดตั้งชุดตรวจวัดก๊าซเข้ากับอากาศยานไร้คนขับ และนำไปทดสอบการตรวจวัดก๊าซในภาคสนาม ณ พื้นที่พักขยะ ตำบล คลองสาม อำเภอ คลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 พิกัดที่ 14.1405941, 100.6738954 โดยแบ่งจุดการทดสอบออกเป็น 4 จุด ดังภาพ 3.17 เก็บข้อมูลแต่ละจุด จุดละ 10 - 15 นาที

ภาพ 3.17 จุดทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซในภาคสนาม

3.7 การควบคุมคุณภาพและการวิเคราะห์ผล

เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพการวิจัยในทุกการทดลองได้ดำเนินการ 3 ซ้ำ แล้วนำค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดไปหาค่าความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ t-test โดยพิจารณาค่าความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

ภาพ 3.18 การทดสอบภาคสนาม ณ พื้นที่พักขยะ
ตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1ผลการพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซ

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพ

ชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับที่พัฒนาเสร็จแล้ว มีลักษณะเป็นทรงกระบอกใส ขนาดความยาว 234 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5 มิลลิเมตร ภายในบรรจุไปด้วยบอร์ดอาดุยโน่ ESP32 เซนเซอร์ MG811 สำหรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เซนเซอร์ MQ7 สำหรับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เซนเซอร์ MQ4 สำหรับก๊าซมีเทน เบรดบอร์ดและสายต่อจัมเปอร์ โดยใช้พาวเวอร์แบงค์ eloop ความจุไฟฟ้า 30,000 มิลลิแอมแปร์ สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ 5 โวลต์ และ 9 โวลต์ มีขนาดความกว้างประมาณ 9 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 15 เซนติเมตร ความสูงประมาณ 1 เซนติเมตร เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับชุดตรวจวัดก๊าซททั้งนี้ชุดตรวจวัดก๊าซที่พัฒนาขึ้น มีน้ำหนักโดยรวมประมาณ 800 กรัม

4.1.2 คุณสมบัติทางเทคนิค

ชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติทางเทคนิคหลายประการ ดังตาราง 4.1 โดยระบบเซนเซอร์สามารถวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ตั้งแต่ 350-10,000 ppm วัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ตั้งแต่ 200-10,000 ppm และวัดก๊าซมีเทนได้ตั้งแต่ 300-10,000 ppm ใช้พาวเวอร์แบงค์เป็นแหล่งพลังงานให้กับชุดตรวจวัดก๊าซ ส่วนการแสดงผลข้อมูลมีการเชื่อมต่อออนไลน์ผ่านแอปพลิเคชันไลน์ สามารถรับข้อมูลได้ทุก 1 นาที

ตาราง 4.1 การทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซ

ระบบ	คุณสมบัติทางเทคนิค
ระบบเซนเซอร์	วัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)
	200 - 10,000 ppm
	วัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)
	350 - 10,000 ppm
	วัดก๊าซมีเทน (CH_4)
	300 - 10,000 ppm
ระบบไฟฟ้า	ใช้พาวเวอร์แบงค์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานหลัก
	ให้กับชุดตรวจวัดก๊าซ
การเชื่อมต่อแสดงผลข้อมูล	การรับข้อมูลทางแอปพลิเคชันไลน์ทุก 1 นาที

4.2 ผลการสำรวจพื้นที่วิจัยเบื้องต้น

การสำรวจพื้นที่วิจัยเบื้องต้น ณ พื้นที่พักขยะ ตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 พิกัดที่ 14.1405941, 100.6738954 ทำการสุ่มเก็บขยะเพื่อตรวจหาปริมาณค่าเฉลี่ยของขยะแต่ละประเภท และทำการตรวจวัดก๊าซเบื้องต้น ได้ผลดังนี้

4.2.1 ชนิดและปริมาณขยะ

ผลการสุ่มเก็บขยะจากจุดตัวแทนของพื้นที่ 4 จุด เพื่อตรวจหาองค์ประกอบและปริมาณของขยะ แสดงดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 องค์ประกอบและปริมาณขยะ

ชนิดขยะ	น้ำหนัก(กิโลกรัม)		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
	ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ	
พลาสติก	2.75	40.56	1.26
ผ้า	0.83	12.24	0.78
ไม้	0.1	1.47	0.00
โลหะและอลูมิเนียม	0.5	7.37	0.14
แก้ว	0.4	5.90	0.25
หนัง	0.2	2.95	0.00
พลาสติกแข็งและยาง	0.5	7.37	0.43
อินทรียวัตถุ	1.5	22.12	0.58
รวม	6.78	100	3.44

จากตาราง 4.2 ชนิดของขยะที่มีปริมาณมากที่สุดคือ พลาสติก คิดเป็นร้อยละ 40.56 รองลงมา คือ อินทรียวัตถุมีปริมาณร้อยละ 22.12 ส่วน ผ้า ไม้ แก้ว โลหะ และอลูมิเนียม แก้ว หนัง และพลาสติกแข็งและยางมีปริมาณที่น้อยกว่าร้อยละ 15 การที่มีขยะพลาสติกในปริมาณมากแสดงให้เห็นถึงโอกาสในการเป็นเชื้อเพลิงอย่างดี และการที่มีอินทรียวัตถุปริมาณมากก็มีโอกาสที่จะเกิดก๊าซได้มาก

4.2.2 การตรวจวัดก๊าซเบื้องต้น

ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) โดยเครื่องอ้างอิงแสดงดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 การตรวจวัดก๊าซเบื้องต้นโดยใช้เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง

ก๊าซ	หน่วย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ค่าเฉลี่ย	S.D.
CO	ppm	0	6	0	0	1.5	3.00
CO_2	ppm	750	1300	850	850	937.5	246.2
O_2	ppm	20.9	20.9	21.3	21.4	21.1	0.2
H_2S	ppm	0	0	0	0	0	0.00
LEL	%LEL	0	0	0	0	0	0.00

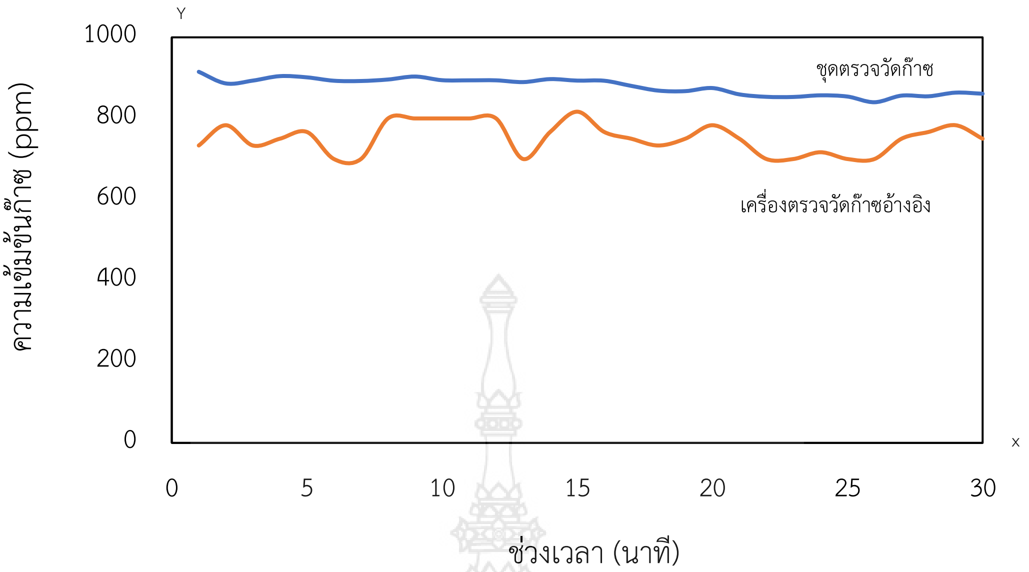
จากตาราง 4.3 จะเห็นได้ว่าในพื้นที่พักขยะสามารถตรวจวัดก๊าซเบื้องต้นพบเพียง 3 ชนิด คือ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และออกซิเจน โดยจะพบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในช่วง 0-6 ppm ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 750-1,300 ppm และก๊าซออกซิเจนอยู่ในช่วง 20.9-21.4 ppm

4.3 ผลการทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซ โดยนำเครื่องตรวจวัดก๊าซที่พัฒนาขึ้น ไปทดสอบการทำงานและเปรียบเทียบค่าที่ตรวจวัดกับเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง ได้ผลการทดสอบดังนี้

4.3.1 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ด้วยชุดตรวจวัดก๊าซที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง โดยบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 30 นาที ได้ผลดังภาพ 4.1

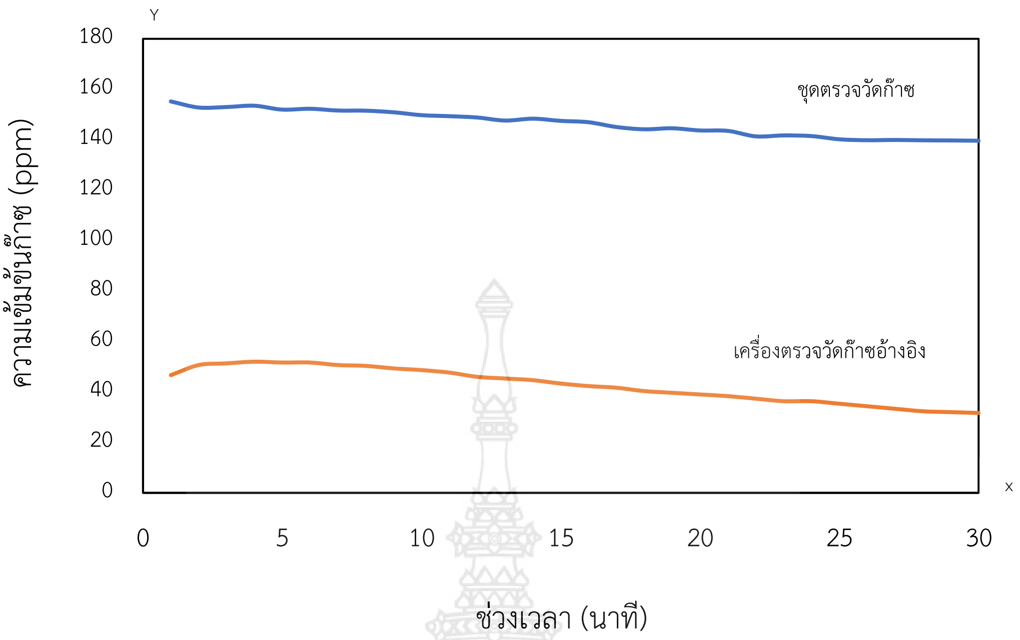


ภาพ 4.1 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากภาพ 4.1 ช่วงเวลาที่ 1 – 30 ชุดตรวจวัดก๊าซที่พัฒนาขึ้นมีแนวโน้มการตรวจวัดที่คงที่ ช่วงเวลาที่ 1 – 30 เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิงมีแนวโน้มการตรวจวัดที่ไม่คงที่เนื่องจากเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิงมีปั๊มที่สามารถดูดก๊าซจึงส่งผลให้ปริมาณก๊าซที่ตรวจพบมีค่าแตกต่างกับชุดตรวจวัดก๊าซ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจด้วยชุดตรวจวัดก๊าซและเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิงมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 700 - 915 ppm จากการทดสอบทางสถิติ (t-test) เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดก๊าซ พบว่าทั้งสองเครื่องไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

4.3.2 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ด้วยชุดตรวจวัดก๊าซที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง โดยบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 30 นาที ดังภาพ 4.2



ภาพ 4.2 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

จากภาพ 4.2 ช่วงเวลาที่ 1 – 30 ชุดตรวจวัดก๊าซและเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิงมีแนวโน้มการตรวจวัดที่คงที่ จากค่าที่แสดงจะเห็นได้ชัดว่ามีค่าการตรวจวัดที่ไม่ใกล้เคียงกันเนื่องจากเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิงมีปั๊มที่สามารถดูดก๊าซจึงส่งผลให้ปริมาณก๊าซที่ตรวจพบมีค่าแตกต่างกับชุดตรวจวัดก๊าซ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจด้วยชุดตรวจวัดก๊าซและเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิงมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 155 – 32 ppm อย่างไรก็ตามจากการทดสอบทางสถิติ (t-test) เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดก๊าซ พบว่าทั้งสองเครื่องไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

4.3.3 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซมีเทน

การตรวจวัดก๊าซมีเทน (CH_4) ด้วยชุดตรวจวัดก๊าซ เปรียบเทียบกับเครื่องตรวจก๊าซอ้างอิงโดยบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 30 นาที ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซมีเทน

เวลาที่ทำการทดสอบ (นาที)	ชุดตรวจวัดก๊าซ		เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	0.60	0.27	100	0
2	0.17	0.18	100	0
3	0.30	0.19	100	0
4	0.72	0.47	100	0
5	0.72	0.53	100	0
6	0.55	0.11	100	0
7	0.39	0.34	100	0
8	0.43	0.37	100	0
9	0.36	0.28	100	0
10	0.60	0.62	100	0
11	0.55	0.21	100	0
12	0.28	0.13	100	0
13	0.25	0.19	100	0
14	0.18	0.22	100	0
15	0.29	0.15	100	0
16	0.33	0.12	100	0
17	0.53	0.16	100	0
18	0.54	0.51	100	0
19	0.29	0.12	100	0
20	0.51	0.17	100	0
21	0.35	0.26	100	0
22	0.55	0.24	100	0
23	0.44	0.18	100	0
24	0.40	0.08	100	0
25	0.35	0.03	100	0
26	0.41	0.18	100	0
27	0.47	0.30	100	0
28	0.30	0.29	100	0
29	0.22	0.11	100	0
30	0.35	0.06	100	0

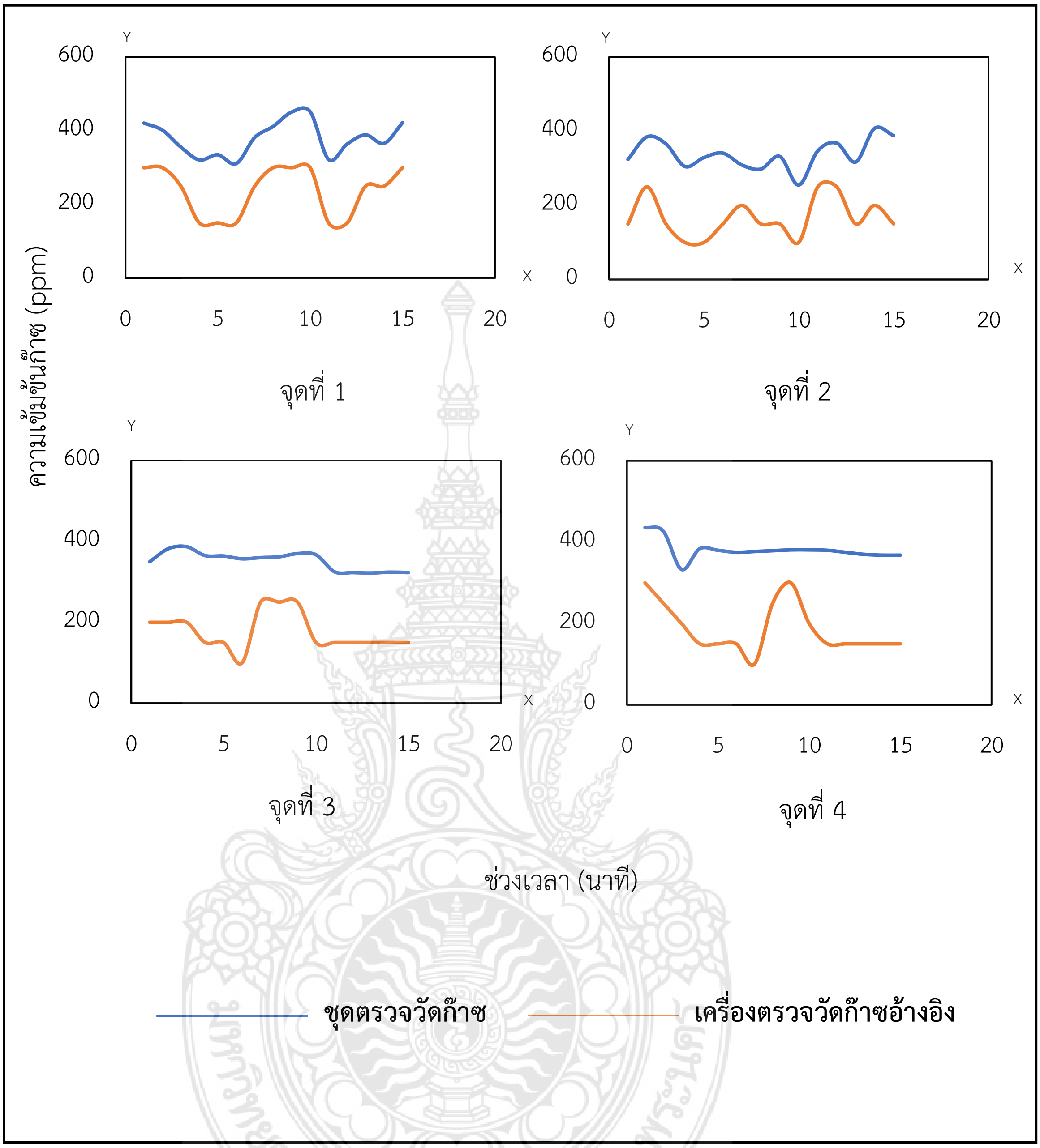
จากตาราง 4.4 จะเห็นได้ว่าก๊าซมีเทนที่ชุดตรวจวัดก๊าซเก็บข้อมูลได้มีค่าที่แตกต่างจากเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะชุดตรวจวัดก๊าซสามารถตรวจวัดก๊าซมีเทนได้ 1 %LEL (10,000 ppm เท่ากับ 1 %LEL) แต่เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิงสามารถวัดก๊าซได้ในช่วงที่กว้างกว่า ทำให้ผลการตรวจวัดที่ได้มีค่าแตกต่างกัน

4.4 ผลการทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซในภาคสนาม

การทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน ณ สถานที่ พื้นที่พักขยะ ตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 ได้ผลการทดสอบดังนี้

4.4.1 การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

เก็บข้อมูลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ด้วยชุดตรวจวัดก๊าซ และเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง ณ วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2562 ตั้งแต่เวลา 10:30 – 12:00 น. ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 3 ครั้ง บันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 15 นาที ดังภาพ 4.3



ภาพ 4.3 ผลการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากภาพ 4.3 พบว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดก๊าซโดยชุดตรวจวัดก๊าซและเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันในแต่ละจุดที่ทำการตรวจวัด ซึ่งจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ช่วง 138 - 399 ppm โดยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จุดที่ 1 - จุดที่ 4 เมื่อทดสอบทางสถิติ (t-test) เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดก๊าซ พบว่าผลการตรวจวัดจากทั้งสองเครื่องไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

4.4.2 การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

การเก็บข้อมูลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ด้วยชุดตรวจวัดก๊าซและเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง ณ วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2562 ตั้งแต่เวลา 10:30 – 12:00 น. ดำเนินการเช่นเดียวกับการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นเวลา 15 นาที จากจุดตรวจวัดก๊าซทั้ง 4 จุด ตรวจไม่พบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

4.4.3 การตรวจวัดก๊าซมีเทน

การเก็บข้อมูลของก๊าซมีเทน (CH_4) ด้วยชุดตรวจวัดก๊าซและเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง ณ วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2562 ตั้งแต่เวลา 10:30 – 12:00 น. ดำเนินการเช่นเดียวกับการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นเวลา 15 นาที จากจุดตรวจวัดก๊าซทั้ง 4 จุด ตรวจไม่พบก๊าซมีเทน (CH_4)

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ

ผลการพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซมีลักษณะทางกายภาพตามที่ได้ออกแบบโครงสร้างไว้ ตัวชุดตรวจวัดก๊าซมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ขนาดความยาว 234 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5 มิลลิเมตร รวมทั้งคุณสมบัติทางด้านเทคนิคด้านระบบไฟฟ้า ใช้พาวเวอร์แบงค์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับชุดตรวจวัด มีน้ำหนักโดยรวมประมาณ 800 กรัม

5.1.2 การเชื่อมต่อออนไลน์และการแสดงข้อมูล

การเชื่อมต่อออนไลน์และการแสดงผลข้อมูลของชุดตรวจก๊าซสามารถใช้งานได้ตามเกณฑ์ที่ออกแบบไว้ โดยระบบเซนเซอร์สามารถวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ตั้งแต่ 350-10,000 ppm วัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ตั้งแต่ 200-10,000 ppm และวัดก๊าซมีเทนได้ตั้งแต่ 300-10,000 ppm ส่วนการเชื่อมต่อออนไลน์ผ่านแอปพลิเคชันไลน์ส่งข้อมูลได้ทุก 1 นาที

5.1.3 การทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซ

5.1.3.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องตรวจติดตามในห้องปฏิบัติการ

ข้อมูลตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซมีเทน ด้วยชุดตรวจวัดก๊าซและเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิงพบว่าการตรวจวัดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันในแต่ละครั้งที่ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 700 – 915 ppm โดยผลการตรวจวัดที่ได้มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 32 - 155 ppm โดยผลการตรวจวัดที่ได้มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อทดสอบผลทางสถิติ (t-test) พบว่าทั้งสองเครื่องไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ก๊าซมีเทนที่ชุดตรวจวัดก๊าซเก็บข้อมูลได้มีค่าที่แตกต่างจากเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิงเป็นเช่นนี้เพราะชุดตรวจวัดก๊าซสามารถวัดก๊าซมีเทนได้ 1 %LEL (10,000 ppm เท่ากับ 1 %LEL) ทำให้ผลการตรวจวัดที่ได้มีค่าแตกต่างกัน

5.1.3.2 การทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซในภาคสนาม

ข้อมูลตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยชุดตรวจวัดก๊าซและเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง พบว่าการตรวจวัดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันในแต่ละจุดที่ตรวจวัดโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 138-399 ppm โดยผลการตรวจวัดที่ได้แต่ละจุดมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย และจากการตรวจวัดก๊าซทั้ง 4 จุด ไม่พบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซมีเทน เนื่องจากพื้นที่พักขยะมีการจัดการขยะที่เป็นระบบ มีการวางแผนเฝ้าระวังการเกิดก๊าซ มีการขัดแยกขยะด้วยระบบ RDF และมีการขนย้ายขยะเป็นประจำจึงเป็นสาเหตุให้ตรวจไม่พบก๊าซ ทั้งนี้ในการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้แต่ละจุดมีความมีค่าแตกต่างกันแต่เมื่อทดสอบผลทางสถิติ (t-test) พบว่าทั้งสองเครื่องไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยเปรียบเทียบเซนเซอร์ที่มีช่วงการตรวจวัดที่ละเอียดมากขึ้น

5.2.2 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการเพิ่มชนิดเซนเซอร์เพื่อให้สามารถตรวจวัดก๊าซหรือพารามิเตอร์อื่น ๆ ได้มากขึ้น

5.2.3 เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้มีความละเอียดอ่อนในการใช้งานจึงควรใช้ด้วยความระมัดระวัง

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมโรค. 2559. **“แนวทางการเตรียมความพร้อมตอบโต้ภาวะฉุกเฉินด้านสาธารณสุข : กรณีไฟไหม้บ่อขยะ.”** สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม, กระทรวงสาธารณสุข.

กรมควบคุมมลพิษ. 2561. **ขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในชุมชน.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : www.pcd.go.th. 17 มกราคม 2562.

กระทรวงพลังงาน. 2561. **ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.dede.go.th. 27 พฤศจิกายน 2561.

จังหวัดปทุมธานี. 2561. **การจัดการขยะปทุมธานี.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : www.pathumthani.go.th/webKM/pan3.doc. 24 มกราคม 2562.

จักราพิชญ์ และนิพนธิ์. 2551. **“ศึกษาเครื่องตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์แบบออนไลน์ โดยใช้ CO 210 Carbon monoxide probe ร่วมกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น.”** วิทยานิพนธ์ปริญญา. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

จัตุพล และ ธงรบ. 2557. **“ระบบโดรนอัตโนมัติ ACB.”** วิทยานิพนธ์ปริญญา, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

ชัชวาล วงศ์ชูสุข. 2561. **“นาฬิกา IoT แจ้งเตือนก๊าซพิษออนไลน์.”** สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.

ไทยรัฐ. 2561. **เหยื่อภูเขาขยะเอธิโอเปียถล่มพุ่ง 47 ศพ**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : https://www.thairath.co.th/content/883737

บุษบง กาญจนสาขา. 2556. **“ถิ่นอาศัยและประชากรของสมเสร็จในประเทศไทย.”** กลุ่มงานวิจัยสัตว์ป่า. สำนักอนุรักษ์สัตว์ป่า. กรมอุทยานแห่งชาติและพันธุ์พืช. กรุงเทพฯ.

ปวริศ ภูมิวัฒนะ. 2557. **“ระบบตรวจจับ LPG และ CO_2.”** วิทยานิพนธ์ปริญญา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พนาวัลย์ จันทร์สระคู. 2545. **“การประยุกต์การสำรวจจากระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการจำแนกและจัดทำแผนที่พื้นที่ชุ่มน้ำ บริเวณทุ่งกุราร้องไห้.”** สาขาวิชาการวางแผนสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาชุมชนและชนบท. มหาวิทยาลัยมหิดล.

วิชัย และคณะ.2560. **ศึกษาการวิจัยอากาศยานไร้คนขับ (Drone) สำหรับเกษตรอินทรีย์ ผลการทดสอบพ่นสาร ในแปลงผักคะน้า หอม ผักชี นาข้าว และในไร่อ้อย.** สถาบันวิจัยเกษตร. กรมวิชาการเกษตร.

ยอดรัก ดิษกร. 2556. **"เครื่องตรวจจับและแจ้งเตือนก๊าซไวไฟ."** สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์. คณะครุศาสตร์อุสาหกรรม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วัศพล และคณะ. 2557. "ระบบตรวจจับควันบุหรี่ภายในอาคารอัจฉริยะ." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริเรือง และคณะ. 2559. **"การพัฒนาอากาศยานไร้คนขับสำหรับการเฝ้าระวังและควบคุมการแพร่ขยายของหอยเชอรีในนาข้าวหอมนิล."** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

สถาบันมาตราวิทยาแห่งชาติ. 2561. **ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.nimt.or.th/main. 27 พฤศจิกายน 2561.

สถาบันมาตราวิทยาแห่งชาติ. 2561. **ก๊าซมีเทน**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.nimt.or.th/main. 17 ธันวาคม 2561.

สำนักงานสถิติจังหวัดปทุมธานี. 2561. **ปัญหาการจัดการขยะจังหวัดปทุมธานี.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://ewt.prd.go.th/ewt/region8/ ewt_news.php?nid=12732&filename=index_59._24 มกราคม 2562

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ. 2561. **"วัสดุอ้างอิงเพื่อการตรวจวัดปริมาณ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ."** กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

สาวิตา เลิศสุโภชาวณชย์. 2559. **"การประเมินความเสี่ยงของการรั่วไหลของก๊าซคาร์ไดออกไซด์ในกระบวนการถ่ายเทคาร์บอนไดออกไซด์เหลวเข้ารถขนส่ง."** วิทยานิพนธ์ปริญญา, คณะวิศวกรรมเคมีและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สาธิต และคณะ. **ตัวรับรู้หรือเซนเซอร์** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://gas-lpos -alam-sensor.blogspot.com/2017/02/blogpost_54.html. 24 มกราคม 2562

สาวิตรี และพีรัชฌา. 2560. **"พัฒนาเครื่องตรวจติดตามการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบออนไลน์."** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

สุวรรณา เตียรถ์สุวรรณ. 2555. **"คู่มือแนวทางการระงับเหตุไฟไหม้ในสถานที่กำจัดขยะมูล."** สำนักงานกำจัดของเสียและสารอันตราย, กรมควบคุมมลพิษ.

อาภาภร พลเสน. 2554. **“บทความพิเศษ : รู้จักกับอากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี.”** สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ.

สถาบันเทคโนโลยีปป้องกันประเทศ. 2561. **อากาศยานไร้คนขับ.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://officemate.blog. 24 มกราคม 2562.

Arduino. 2562. **บอร์ด ESP32.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : https://www.arduino4.com/product/289/ ESP32 24 มกราคม 2562.

Arduino. 2561. **เซนเซอร์ รุ่น MQ-7**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : https://www.arduino4.com/product/289/mq-4-. 5 ธันวาคม 2561.

Arduinothai. 2561. **เซนเซอร์ รุ่น MG 811**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : https://www.arduinothai.com/product/1033/mg-811-carbon-dioxide-sensor-module. 12 มกราคม 2562

Engineering. 2561. **LINE Notify.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : https://engineering.thinknet.co.th. 12 มกราคม 2562

Inventor. 2561. **เบรดบอร์ด (Breadboard)**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : https://www.Inventor.in.th. 12 มกราคม 2562.

makerlab-electronics. 2561. **สายต่อ Jumpers**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : https://www.makerlab-electronics.com/product/nodemcu-v3-esp8266-esp-12e. 24 มกราคม 2562.

mindph. 2561. **โปรแกรมอาดุยโน่ IDE (Integrated Development Environment).** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : https://mindphp.com. 6 ธันวาคม 2561.

Thaieasyelec. 2561. **เซนเซอร์ รุ่น MQ-4.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : https://www.thaieasyelec.com/products/sensors/gas/methane-cng-or-ngv-forthailand-gas-sensor-mq-4-detail.html. 5 ธันวาคม 2561.

Wagiram, S.L. Loh and A.B. Salled. 2004. **“Development of portable sensor array system for the air quality measurement.”** Ph.D. dissertation, Dept. Electrical and Electronic Engineering, Univ. Putra Malaysia,.

Xirodronethailand. 2561. **ประเภทของอากาศยานไร้คนขับและการใช้งานในประเภทต่าง ๆ**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.xirodronethailand.com/types-of-drones-2.html. 17 ธันวาคม 2561.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการลงพื้นที่สุ่มเก็บตัวอย่างขยะและการตรวจวัดก๊าซ

ข้อมูลการลงพื้นที่สุ่มเก็บตัวอย่างขยะและการตรวจวัดก๊าซ

1.ข้อมูลการสุ่มเก็บตัวอย่างขยะ

การสุ่มเก็บตัวอย่างขยะบริเวณพื้นที่พักขยะ จะสุ่มเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 จุด ดังตารางภาคผนวก ก 1

ตารางภาคผนวก ก 1 แสดงข้อมูลการสุ่มเก็บตัวอย่างขยะ

ชนิดขยะ	จุดที่ 1 (กิโลกรัม)	จุดที่ 2 (กิโลกรัม)	จุดที่ 3 (กิโลกรัม)	จุดที่ 4 (กิโลกรัม)	ค่าเฉลี่ย (กิโลกรัม)	S.D. (กิโลกรัม)
พลาสติก	3	1	3	4	2.75	1.26
ผ้า	1.9	0.2	0.9	0.3	0.83	0.78
ไม้	0.1	-	-	-	0.1	0.00
โลหะและอลูมิเนียม	0.6	0.4	-	-	0.5	0.14
แก้ว	0.6	-	0.1	0.4	0.4	0.25
หนัง	-	-	0.2	-	0.2	0.00
พลาสติกแข็งและยาง	0.5	1.1	0.1	0.3	0.5	0.43
อินทรียวัตถุ	2	1	2	1	1.5	0.58

1.2 ข้อมูลการตรวจวัดก๊าซ

การตรวจวัดก๊าซ บริเวณพื้นที่พักขยะ จะสุ่มเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 จุด ดังตารางภาคผนวก ก 2

ตารางภาคผนวก ก 2 แสดงข้อมูลก๊าซที่ตรวจพบในบริเวณพื้นที่พักขยะ

ก๊าซ	หน่วย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ค่าเฉลี่ย	S.D.
CO	ppm	0	6	0	0	1.5	2.60
CO_2	ppm	750	1300	850	850	937.5	213.23
O_2	ppm	20.9	20.9	21.3	21.4	21.13	0.23
H_2S	ppm	0	0	0	0	0	0
LEL	%LEL	0	0	0	0	0	0

ภาคผนวก ข

ข้อมูลทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซห้องในปฏิบัติการ

1. ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องปฏิบัติการ

การเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซด้วยชุดตรวจวัดก๊าซและเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที เป็นเวลา 30 นาที ดังตารางภาคผนวก ข 1

ตารางภาคผนวก ข 1 ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องปฏิบัติการ

เวลาทดสอบ (นาที)	ชุดตรวจวัดก๊าซ					เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง				
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	959	944	842	915	64	700	800	700	733	58
2	960	860	839	886	65	850	800	700	783	76
3	959	863	858	893	57	850	700	650	733	104
4	967	887	859	904	56	850	700	700	750	87
5	961	896	847	901	57	850	700	750	767	76
6	972	870	837	893	70	700	700	700	700	0
7	967	862	848	892	65	700	700	700	700	0
8	929	911	848	896	43	850	850	700	800	87
9	948	907	855	903	47	850	850	700	800	87
10	943	913	827	894	60	850	850	700	800	87
11	951	902	829	894	61	850	850	700	800	87
12	960	895	827	894	67	850	850	700	800	87
13	971	866	832	890	72	700	700	700	700	0
14	985	863	843	897	77	850	700	750	767	76
15	959	886	835	893	62	1000	700	750	817	161
16	961	879	839	893	62	850	700	750	767	76
17	947	865	829	880	60	850	700	700	750	87
18	917	868	821	869	48	850	700	650	733	104
19	913	859	830	867	42	850	700	700	750	87
20	941	845	839	875	57	850	850	650	783	115
21	912	833	833	859	46	800	700	750	750	50
22	905	828	827	853	45	700	700	700	700	0
23	898	827	834	853	39	700	700	700	700	0
24	907	832	832	857	43	700	750	700	717	29
25	898	832	832	854	38	700	700	700	700	0
26	890	807	823	840	44	700	700	700	700	0
27	907	832	830	856	44	850	700	700	750	87
28	919	826	819	855	56	850	800	650	767	104
29	926	833	832	864	54	850	800	700	783	76
30	927	826	830	861	57	850	700	700	750	87

2 ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องปฏิบัติการ

ตารางภาคผนวก ข 2 ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องปฏิบัติการ

เวลาทดสอบ (นาที)	ชุดตรวจวัดก๊าซ					เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง				
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	161.9	160.5	143.1	155	10.5	67	48	25	47	21
2	160.3	152.5	145.5	153	7.4	73	53	26	51	24
3	161.6	152.0	145.3	153	8.19	73	55	26	51	24
4	162.2	153.5	144.7	153	8.75	74	56	26	52	24
5	159.9	153.5	142.4	152	8.85	73	57	25	52	24
6	161.6	152.3	142.9	152	9.35	73	57	25	52	24
7	160.3	151.7	142.7	152	8.8	72	57	23	51	25
8	158.7	153.5	142.3	152	8.38	71	57	23	50	25
9	158.4	153.5	140.7	151	9.14	70	57	21	49	25
10	157.8	153.5	137.9	150	10.5	69	57	20	49	26
11	158.4	151.9	137.7	149	10.6	67	56	20	48	25
12	158.1	151.4	136.9	149	10.8	66	54	18	46	25
13	158.5	148.8	135.5	148	11.5	64	54	18	45	24
14	160.0	147.2	137.8	148	11.1	63	53	18	45	24
15	157.7	149.4	135.3	147	11.3	61	53	16	43	24
16	155.8	148.6	136.4	147	9.81	60	52	15	42	24
17	153.5	146.8	134.8	145	9.47	59	51	15	42	23
18	151.3	147.7	133.4	144	9.47	57	49	15	40	22
19	151.9	147.3	134.4	145	9.07	55	49	15	40	22
20	152.0	145.9	133.1	144	9.65	55	48	14	39	22
21	151.4	145.0	134.1	144	8.75	54	48	13	38	22
22	148.2	144.0	131.8	141	8.52	53	46	13	37	21
23	149.7	142.4	133.0	142	8.37	51	46	12	36	21
24	148.2	143.3	132.8	141	7.87	51	45	13	36	20
25	147.3	141.5	131.7	140	7.89	50	44	12	35	20
26	147.5	140.8	131.1	140	8.25	49	43	11	34	20
27	147.5	141.1	131.1	140	8.27	47	42	11	33	20
28	147.3	142.4	129.6	140	9.14	46	41	10	32	20
29	147.2	142.4	129.5	140	9.15	45	41	10	32	19
30	147.2	141.5	130.1	140	8.71	45	40	10	32	19

3 ข้อมูลปริมาณก๊าซมีเทนในห้องปฏิบัติการ

ตารางภาคผนวก ข 3 ข้อมูลปริมาณก๊าซมีเทนในห้องปฏิบัติการ

เวลาทดสอบ (นาที)	ชุดตรวจวัดก๊าซ					เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง				
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	0.41	0.91	0.47	0.60	0.27	100	100	100	100	0
2	0.36	0.00	0.15	0.17	0.18	100	100	100	100	0
3	0.33	0.10	0.48	0.30	0.19	100	100	100	100	0
4	0.46	1.26	0.43	0.72	0.47	100	100	100	100	0
5	0.35	1.32	0.48	0.72	0.53	100	100	100	100	0
6	0.45	0.53	0.67	0.55	0.11	100	100	100	100	0
7	0.43	0.70	0.03	0.39	0.34	100	100	100	100	0
8	0.43	0.80	0.06	0.43	0.37	100	100	100	100	0
9	0.41	0.61	0.06	0.36	0.28	100	100	100	100	0
10	0.47	1.28	0.06	0.60	0.62	100	100	100	100	0
11	0.39	0.79	0.47	0.55	0.21	100	100	100	100	0
12	0.42	0.24	0.17	0.28	0.13	100	100	100	100	0
13	0.37	0.35	0.04	0.25	0.19	100	100	100	100	0
14	0.43	0.00	0.11	0.18	0.22	100	100	100	100	0
15	0.44	0.14	0.30	0.29	0.15	100	100	100	100	0
16	0.43	0.35	0.20	0.33	0.12	100	100	100	100	0
17	0.39	0.49	0.70	0.53	0.16	100	100	100	100	0
18	0.33	1.12	0.16	0.54	0.51	100	100	100	100	0
19	0.38	0.16	0.33	0.29	0.12	100	100	100	100	0
20	0.35	0.69	0.48	0.51	0.17	100	100	100	100	0
21	0.35	0.60	0.09	0.35	0.26	100	100	100	100	0
22	0.38	0.82	0.44	0.55	0.24	100	100	100	100	0
23	0.35	0.64	0.32	0.44	0.18	100	100	100	100	0
24	0.39	0.48	0.33	0.40	0.08	100	100	100	100	0
25	0.35	0.38	0.33	0.35	0.03	100	100	100	100	0
26	0.29	0.61	0.32	0.41	0.18	100	100	100	100	0
27	0.33	0.82	0.27	0.47	0.30	100	100	100	100	0
28	0.29	0.59	0.01	0.30	0.29	100	100	100	100	0
29	0.33	0.21	0.11	0.22	0.11	100	100	100	100	0
30	0.31	0.32	0.41	0.35	0.06	100	100	100	100	0

ภาคผนวก ค

ข้อมูลทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซในพื้นที่ภาคสนาม

ข้อมูลทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซในพื้นที่ภาคสนาม

1. ข้อมูลการตรวจวัดก๊าซในพื้นที่ภาคสนาม

การเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซด้วยชุดตรวจวัดก๊าซและเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ดำเนินการทดสอบ 4 จุด สามารถตรวจพบเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังตารางภาคผนวก ค 1 ส่วนก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ตรวจไม่พบ

ตารางภาคผนวก ค 1 ข้อมูลการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ภาคสนาม ทั้ง 4 จุด

เวลาที่ทำการทดสอบ (นาที)	ชุดตรวจวัดก๊าซ						เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง					
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ค่าเฉลี่ย	S.D.	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	421	324	350	436	383	54	300	150	200	300	238	75
2	402	385	382	427	399	21	300	250	200	250	250	41
3	356	366	387	333	361	22	250	150	200	200	200	41
4	321	305	365	384	344	37	150	100	150	150	138	25
5	335	329	364	380	352	24	150	100	150	150	138	25
6	311	341	357	375	346	27	150	150	100	150	138	25
7	382	309	360	377	357	33	250	200	250	100	200	71
8	412	298	362	379	363	48	300	150	250	250	238	63
9	451	332	370	381	384	50	300	150	250	300	250	71
10	452	255	367	381	364	81	300	100	150	200	188	85
11	322	347	325	380	344	27	150	250	150	150	175	50
12	364	368	323	375	358	23	150	250	150	150	175	50
13	389	317	322	370	350	36	250	150	150	150	175	50
14	366	408	324	368	367	34	250	200	150	150	188	48
15	422	388	323	368	375	41	300	150	150	150	188	75

ภาคผนวก ง

ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติ (t-test)

ผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน ที่ได้นำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (t-test) กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.05 ดังนี้

H_0 : ประสิทธิภาพของการตรวจวัดก๊าซโดยชุดตรวจวัดก๊าซและเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ประสิทธิภาพของการตรวจวัดก๊าซโดยชุดตรวจวัดก๊าซ และเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง แตกต่างกัน

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซในห้องปฏิบัติการ

1.1 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณก๊าซเก็บข้อมูลโดยชุดตรวจวัดก๊าซ และเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง ดังตารางภาคผนวก ง 1 – ตารางภาคผนวก ง 9

ตารางภาคผนวก ง 1 ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องปฏิบัติการ ครั้งที่ 1

เครื่องตรวจจับ	จำนวนการทดสอบ	ค่าเฉลี่ยการทดสอบ	S.D.	t-test	Sig (2-tailed)
ชุดตรวจวัดก๊าซ	30	939	718	9.51	2.03*
เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง	30	808	6049		

*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางภาคผนวก ง 2 ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องปฏิบัติการ ครั้งที่ 2

เครื่องตรวจจับ	จำนวนการทดสอบ	ค่าเฉลี่ยการทดสอบ	S.D.	t-test	Sig (2-tailed)
ชุดตรวจวัดก๊าซ	30	864	1096	11.47	2.65*
เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง	30	745	4026		

*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางภาคผนวก ง 3 ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องปฏิบัติการ ครั้งที่ 3

เครื่องตรวจจับ	จำนวนการทดสอบ	ค่าเฉลี่ยการทดสอบ	S.D.	t-test	Sig (2-tailed)
ชุดตรวจวัดก๊าซ	30	836	107	26.03	1.16*
เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง	30	702	773		

*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

1.2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องปฏิบัติการ

ตารางภาคผนวก ง 4 ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องปฏิบัติการ ครั้งที่ 1

เครื่องตรวจจับ	จำนวนการทดสอบ	ค่าเฉลี่ยการทดสอบ	S.D.	t-test	Sig (2-tailed)
ชุดตรวจวัดก๊าซ	30	155	31	107	2.88*
เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง	30	60	97		

*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางภาคผนวก ง 5 ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องปฏิบัติการ ครั้งที่ 2

เครื่องตรวจจับ	จำนวนการทดสอบ	ค่าเฉลี่ยการทดสอบ	S.D.	t-test	Sig (2-tailed)
ชุดตรวจวัดก๊าซ	30	148	25	161.3	2.21*
เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง	30	50	32		

*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางภาคผนวก ง 6 ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องปฏิบัติการ ครั้งที่ 3

เครื่องตรวจจับ	จำนวนการทดสอบ	ค่าเฉลี่ยการทดสอบ	S.D.	t-test	Sig (2-tailed)
ชุดตรวจวัดก๊าซ	30	137	26	639.7	9.97*
เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง	30	17	30		

*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

1.3 ปริมาณก๊าซมีเทนในห้องปฏิบัติการ

ตารางภาคผนวก ง 7 ข้อมูลปริมาณก๊าซมีเทนในห้องปฏิบัติการ ครั้งที่ 1

เครื่องตรวจจับ	จำนวนการทดสอบ	ค่าเฉลี่ยการทดสอบ	S.D.	t-test	Sig (2-tailed)
ชุดตรวจวัดก๊าซ	30	0.38	0.0025	10890	1.98*
เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง	30	100	0		

*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางภาคผนวก ง 8 ข้อมูลปริมาณก๊าซมีเทนในห้องปฏิบัติการ ครั้งที่ 2

เครื่องตรวจจับ	จำนวนการทดสอบ	ค่าเฉลี่ยการทดสอบ	S.D.	t-test	Sig (2-tailed)
ชุดตรวจวัดก๊าซ	30	0.577	0.134	1484	2.47*
เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง	30	100	0		

*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางภาคผนวก ง 9 ข้อมูลปริมาณก๊าซมีเทนในห้องปฏิบัติการ ครั้งที่ 3

เครื่องตรวจจับ	จำนวนการทดสอบ	ค่าเฉลี่ยการทดสอบ	S.D.	t-test	Sig (2-tailed)
ชุดตรวจวัดก๊าซ	30	0.28	0.37	2832	1.82*
เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง	30	100	0		

*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซในภาคสนาม

2.1 การตรวจวัดก๊าซในพื้นที่ภาคสนาม จุดที่ 1

ทำการเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซ โดยชุดตรวจวัดก๊าซ และเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง นำข้อมูลมาวิเคราะห์ ดังตารางภาคผนวก ง 10 - ตารางภาคผนวก ง 13

ตารางภาคผนวก ง 10 ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคสนาม

เครื่องตรวจจับ	จำนวนการทดสอบ	ค่าเฉลี่ยการทดสอบ	S.D.	t-test	Sig (2-tailed)
ชุดตรวจวัดก๊าซ	15	380	2137	17.18	8.32*
เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง	15	237	4452		

*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2.2 การตรวจวัดก๊าซในพื้นที่ภาคสนาม จุดที่ 2

ตารางภาคผนวก ง 11 ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคสนาม

เครื่องตรวจจับ	จำนวนการทดสอบ	ค่าเฉลี่ยการทดสอบ	S.D.	t-test	Sig (2-tailed)
ชุดตรวจวัดก๊าซ	15	338	1611	10.77	3.68*
เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง	15	160	7214		

*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2.3 การตรวจวัดก๊าซในพื้นที่ภาคสนาม จุดที่ 3

ตารางภาคผนวก ง 12 ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคสนาม

เครื่องตรวจจับ	จำนวนการทดสอบ	ค่าเฉลี่ยการทดสอบ	S.D.	t-test	Sig (2-tailed)
ชุดตรวจวัดก๊าซ	15	352	520	10.58	4.64*
เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง	15	137	9095		

*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2.4 การตรวจวัดก๊าซในพื้นที่ภาคสนาม จุดที่ 4

ตารางภาคผนวก ง 13 ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคสนาม

เครื่องตรวจจับ	จำนวนการทดสอบ	ค่าเฉลี่ยการทดสอบ	S.D.	t-test	Sig (2-tailed)
ชุดตรวจวัดก๊าซ	15	381	572	10.01	9.2*
เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง	15	143	11381		

*นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประวัติการศึกษา

ชื่อ นามสกุล นายสัจจา เดโชพล

วัน เดือน ปีเกิด 30 กันยายน 2539

ภูมิลำเนา สระบุรี

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีการศึกษา**
วท.บ.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2558 - 2561
มัธยมศึกษาปีที่ 6	โรงเรียนแก่งคอย	2551 - 2558

ทุนการศึกษา

โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562

ประวัติการศึกษา

ชื่อ นามสกุล นายภาสวิชญ์ บุญศรีทอง

วัน เดือน ปีเกิด 10 ตุลาคม 2539

ภูมิลำเนา สมุทรสาคร

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีการศึกษา**
วท.บ.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2558 - 2561
มัธยมศึกษาปีที่ 6	โรงเรียนวัดอินทาราม	2551 - 2558

ทุนการศึกษา

โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562

ประวัติการศึกษา

ชื่อ นามสกุล นายพงษ์ฑิพัฒน์ ไชยมงค์

วัน เดือน ปีเกิด 2 ธันวาคม 2539

ภูมิสำเนา นนทบุรี

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีการศึกษา**
วท.บ.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2558 - 2561
มัธยมศึกษาปีที่ 6	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า นนทบุรี	2551 - 2558

ทุนการศึกษา

โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562