การพัฒนาชุดระบายอากาศ และตรวจสอบสภาพอากาศแบบเคลื่อนที่สำหรับพื้นที่อับอากาศ

นายเทพพิทักษ์ กุนอก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2565

DEVELOPMENT OF MOBILE AIR VENTILATING AND QUALITY MONITORING SYSTEM FOR CONFINED SPACE

THEPPITAK KUNOK

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical and Process
System Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2022

การพัฒนาชุดระบายอากาศ และตรวจสอบสภาพอากาศแบบเคลื่อนที่
สำหรับพื้นที่อับอากาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....

(นายวิเศษ วริศรางกูล)
ประธานกรรมการ

....

(ผศ. ดร.กีรติ สุลักษณ์)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

....

(ผศ. ดร.กระวี ตรีอำนรรค)
กรรมการ

....

(รศ. ดร.ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ

....

(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เทพพิทักษ์ กุนอก : การพัฒนาชุดระบายอากาศ และตรวจสอบสภาพอากาศแบบเคลื่อนที่สำหรับพื้นที่อับอากาศ (DEVELOPMENT OF MOBILE AIR VENTILATING AND QUALITY MONITORING SYSTEM FOR CONFINED SPACE)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กีรติ สุลักษณ์ , 87 หน้า.

คำสำคัญ : ที่อับอากาศ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เซนเซอร์วัดก๊าซ

ที่อับอากาศเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งอาจทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจน หรือได้รับก๊าซพิษ แหล่งที่เป็นพื้นที่อับอากาศ ได้แก่ บ่อบาดาล โรงเพาะเห็ด อุโมงค์ ท่อระบาย เป็นต้น จากข้อมูลของกองระบาดวิทยา กรมควบคุมโรคปี พ.ศ.2546-2561 พบการบาดเจ็บ 80 รายและเสียชีวิต 130 ราย จากสาเหตุร่างกายขาดออกซิเจนในพื้นที่อับอากาศ งานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศแบบเคลื่อนที่สำหรับใช้ในพื้นที่อับอากาศ ระบบถูกออกแบบให้มีชุดระบายอากาศที่ประกอบด้วย ท่อดูดอากาศและพัดลมที่มีอัตราการถ่ายเทอากาศ 540 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง มีเซนเซอร์เพื่อใช้ตรวจวัดก๊าซได้ 5 ชนิด ได้แก่ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และก๊าซมีเทน โดยค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ตรวจวัดได้แต่ละชนิดแสดงผลทางจอแสดงผล มีระบบการแจ้งเตือนสถานะความปลอดภัยด้วยเสียงและหลอดไฟแอลอีดี จากการทดสอบการใช้งานจริงในบ่อบาดาลขนาดกว้าง 90 เซนติเมตร ลึก 4.80 เมตร พบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถปรับสภาพอากาศในที่อับอากาศและแจ้งเตือนสถานะความปลอดภัยได้ภายใต้ความคลาดเคลื่อนในการแสดงผลที่ไม่เกิน 0.55 เปอร์เซ็นต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนักศึกษา ....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ....

THEPPITAK KUNOK : DEVELOPMENT OF MOBILE AIR VENTILATING AND QUALITY MONITORING SYSTEM FOR CONFINED SPACE. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.KEERATI SULUKSNA, D.Eng., 87 PP.

Keyword : CONFINED SPACE /MICROCONTROLLER /GAS SENSOR MODULE

Confined space has been accidental risk caused by hypoxia, which was obtains toxic gas, oxygen deficit along with sources such as an astersian well, a mushroom house, a tunnel, a sanitary sewer, etc. In addition, collective data of Bureau of Epidemiology, Department of Disease Control, Ministry of public health from 2003-2018 A.C. found 80 injuries and 130 deaths from lack of oxygen in confined spaces. This research is therefore interested in development a mobile ventilation and quality monitoring system for confined space. The system is designed with a ventilation kit that consists of exhaust duct and fan with air flow rate of 540 cubic meters per hour. There are 5 gas sensors: oxygen, carbon dioxide, carbon monoxide, Hydrogen sulfide and methane gas. The value of the gas concentration that can be measured for each type is displayed on the display. There is a system to alert the safety status by sound and LED lamp. From the actual use test in an artesian well sized 90 centimeters wide and 4.80 meters deep, it was found that the developed device can adjust the air condition in confined spaces and alert the safety status within the display error of not more than 0.55 percent

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Mechanical Engineering Student's Signature ....

Academic Year 2022 Advisor's Signature ....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กีรติ สุลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่มอบโอกาสในการศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา อีกทั้งยังเป็นผู้ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำและชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำหรับโอกาสในการศึกษาต่อ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ ที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการจัดทำเครื่องต้นแบบ

ขอขอบคุณสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 นครราชสีมา คุณวิเศษ วริศรางกูล นักวิชาการสาธารณสุขชำนาญการพิเศษ หัวหน้ากลุ่มงานโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อมและคณะ ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในด้านข้อมูล การลงพื้นที่เพื่อทดสอบเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นจนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณปฏิภาน นิ่มธานี ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยจนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้องในกลุ่มวิจัยพลศาสตร์การไหลเชิงคำนวณ รวมถึงบัณฑิตศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ กำลังใจ รวมถึงคำแนะนำในการเรียนและการทำวิจัยด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่ให้การสนับสนุน รวมทั้งให้กำลังใจในการศึกษามาโดยตลอด จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จ

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูบาอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิต

เทพพิทักษ์ กุนอก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)....ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)....ข

กิตติกรรมประกาศ....ค

สารบัญ....ง

สารบัญรูป....ซ

บทที่

1. บทนำ....1

 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา....1

 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย....3

 1.3 ขอบเขตการวิจัย....3

 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ....3

2. ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....4

 2.1 ที่อับอากาศ....4

  2.1.1 บรรยากาศอันตราย....4

  2.1.2 ประเภทของที่อับอากาศ....5

  2.1.3 สิ่งคุกคามต่อสุขภาพในที่อับอากาศ....5

  2.1.4 การเสียชีวิตจากการปฏิบัติงานในที่อับอากาศ....6

  2.1.5 ก๊าซที่เป็นอันตรายต่อร่างกายที่สามารถพบได้ในบริเวณที่อับอากาศ....6

  2.1.6 มาตรการความปลอดภัยในพื้นที่อับอากาศ....8

 2.2 บ่อน้ำบาดาลระดับตื้น....10

 2.3 การระบายอากาศ....11

 2.4 อัตราการไหลเชิงปริมาตร....12

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 การคำนวณปริมาณอากาศที่ไหลเวียนสำหรับการระบายอากาศ 12

2.6 ความดันสูญเสียการไหลของอากาศภายในท่อ.. 12

2.7 อุปกรณ์การวัดความเร็วของของไหลภายในท่อ 13

2.8 ตำแหน่งการวัดความเร็วภายในท่อ.. 13

2.9 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ.. 14

2.9.1 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในอากาศ.. 15

2.9.2 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.. 16

2.9.3 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซมีเทน 16

2.9.4 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 17

2.9.5 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 17

2.10 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 18

2.11 ปริทัศน์วรรณกรรม 19

3. วิธีดำเนินการวิจัย... 23

3.1 แนวคิดการออกแบบชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่.. ...23

3.2 การเขียนรหัสโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานและแสดงผลของระบบ 26

3.3 การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบการทำงาน การแจ้งเตือน และการแสดงผลของระบบ 26

3.4 การสร้างชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่ . 27

3.5 การทดสอบการทำงานชุดระบายอากาศในที่อับอากาศ 30

3.6 การทดสอบชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศ... 34

3.6.1 การทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซ 34

3.6.2 การทดสอบระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยของชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศ...38

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7 การทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่......39
3.7.1 การทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่กับโรงเพาะเห็ดฟาง......39
3.7.2 การทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่กับบ่อน้ำบาดาล......41
4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล......44
4.1 ผลการทดสอบวัดความดันที่ตำแหน่งจุดวัดทั้ง 5 จุด ที่ระยะความยาวท่อ 3,4,5 และ 6 เมตร......44
4.1.1 ผลการทดสอบวัดความดันที่ตำแหน่งจุดวัดทั้ง 5 จุด ที่ระยะความยาวท่อ 3 เมตร......44
4.1.2 ผลการทดสอบวัดความดันที่ตำแหน่งจุดวัดทั้ง 5 จุด ที่ระยะความยาวท่อ 4 เมตร......45
4.1.3 ผลการทดสอบวัดความดันที่ตำแหน่งจุดวัดทั้ง 5 จุด ที่ระยะความยาวท่อ 5 เมตร......46
4.1.4 ผลการทดสอบวัดความดันที่ตำแหน่งจุดวัดทั้ง 5 จุด ที่ระยะความยาวท่อ 6 เมตร......47
4.2 ผลการคำนวณหาค่าการสูญเสียหลักที่เป็นผลมาจากความเสียดทานภายในท่อตลอดความยาวท่อ......49
4.3 ผลการทดสอบเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซ......51
4.4 ผลการทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่......55
4.4.1 ผลการทดสอบกับโรงเพาะเห็ดฟาง......55
4.4.2 ผลการทดสอบกับบ่อน้ำบาดาล......56

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5. สรุปและข้อเสนอแนะ 59

5.1 สรุปผลการวิจัย 59

5.2 ข้อเสนอแนะ 60

รายการอ้างอิง... 61

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ผลการสอบเทียบเครื่องมือตรวจวัดก๊าซที่นำมาใช้ในการทดสอบ..................63

ภาคผนวก ข. บทความวิชาการที่เผยแพร่ระหว่างการศึกษา...73

ประวัติผู้เขียน 87

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 ตัวอย่างสถานที่อับอากาศที่สามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน..1

1.2 แสดงข้อมูลสถานที่เกิดเหตุจากการทำงานในพื้นที่อับอากาศปี พ.ศ.2546-2561..................2

2.1 ตัวอย่างสถานที่อับอากาศที่สามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน..4

2.2 ตัวอย่างบ่อน้ำบาดาลระดับตื้น..10

2.3 การระบายอากาศในที่อับอากาศด้วยวิธีทางกล...11

2.4 มาตรวัดความเร็วลมแบบเส้นลวดร้อน (Hot wire anemometer)................................ 13

2.5 ตำแหน่งการวัดความเร็วลมภายในท่อกลมตาม ASHRAE standard 41.2-1987...............14

2.6 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในอากาศ (Gravity : Electrochemical Oxygen Sensor)...16

2.7 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (MQ-136 Gas Sensor Module)............16

2.8 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซมีเทน (MQ-4 Gas Sensor Module).................................17

2.9 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (MQ-9 Gas Sensor Module)...........17

2.10 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CCS 811 Monitoring Indoor Air Quality Digital Gas Sensor)...18

2.11 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560..18

3.1 การออกแบบชุดระบายอากาศในที่อับอากาศ...23

3.2 ผังแสดงการทำงานของระบบที่ออกแบบ...25

3.3 ตัวอย่างรหัสโปรแกรมควบคุมการทำงานและแสดงผลของระบบ.......................................26

3.4 ผังแสดงการต่ออุปกรณ์..26

3.5 ชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่...28

3.6 กล่องควบคุมการทำงานชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่................28

3.7 ชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่.........................30

3.8 ต่อท่อลมเข้ากับพัดลมระบายอากาศ ยึดปลายท่อด้วยกระดาษแข็ง..................................31

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.9 ตำแหน่งและจุดวัดความเร็วลม....31
3.10 โมดูลปรับแรงดันไฟฟ้า (Dimmer AC 220 V 2,000 W) และการทำสัญลักษณ์อัตรา การไหลที่ทำการทดสอบ....32
3.11 การวัดความดันภายในท่อโดยใช้มาโนมิเตอร์ (Manometer) ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 922 Airflow Meter/Micromanometer....32
3.12 เงื่อนไขการทดสอบทั้ง 32 กรณี....33
3.13 จุดวัดทั้ง 5 จุดของความยาวท่อ 3,4,5 และ 6 เมตร....33
3.14 จุดวัดทั้ง 5 จุดของความยาวท่อ 3,4,5 และ 6 เมตร....34
3.15 เครื่องวัดก๊าซ ISC รุ่น MX6....35
3.16 เครื่องวัดก๊าซ TESTO รุ่น 350....36
3.17 ชุดทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดไอเสียที่ใช้ในการเทียบวัด....36
3.18 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนกับปริมาณก๊าซไฮโดรเจน ซัลไฟด์ด้วยเครื่องวัดก๊าซ ISC รุ่น MX6....37
3.19 การทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในชุด ตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศที่พัฒนาขึ้น....37
3.20 การทดสอบระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยของชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับ อากาศที่พัฒนาขึ้น....38
3.21 โรงเรือนเพาะเห็ดฟางที่ใช้ในการทดสอบ....40
3.22 การติดตั้งชุดชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่ ที่พัฒนาขึ้นเข้ากับโรงเพาะเห็ดฟาง....40
3.23 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซในอากาศ Gasmet DX4040....41
3.24 บ่อน้ำบาดาลที่ใช้ในการทดสอบ....41
3.25 วัดระดับความลึกของบ่อจากตำแหน่งปากบ่อถึงก้นบ่อ (บริเวณที่มีน้ำ)....42
3.26 การติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนที่พัฒนาขึ้น....42

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.27 ลักษณะบ่อและตำแหน่งวัดค่าออกซิเจนเริ่มต้นในบ่อ....................43
3.28 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบที่ระดับความลึก 4.50 เมตร ในบ่อบาดาล....................43
4.1 เปรียบเทียบความดันของอากาศภายในท่อระยะความยาว 3 เมตร ที่จุดวัดทั้ง 5 จุด ภายใต้อัตราการไหลทั้ง 4 ค่า (ก) เป่าอากาศ (ข) ดูดอากาศ....................45
4.2 เปรียบเทียบความดันของอากาศภายในท่อระยะความยาว 4 เมตร ที่จุดวัดทั้ง 5 จุด ภายใต้อัตราการไหลทั้ง 4 ค่า (ก) เป่าอากาศ (ข) ดูดอากาศ....................46
4.3 เปรียบเทียบความดันของอากาศภายในท่อระยะความยาว 5 เมตร ที่จุดวัดทั้ง 5 จุด ภายใต้อัตราการไหลทั้ง 4 ค่า (ก) เป่าอากาศ (ข) ดูดอากาศ....................47
4.4 เปรียบเทียบความดันของอากาศภายในท่อระยะความยาว 6 เมตร ที่จุดวัดทั้ง 5 จุด ภายใต้อัตราการไหลทั้ง 4 ค่า (ก) เป่าอากาศ (ข) ดูดอากาศ....................48
4.5 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียหลักที่เป็นผลมาจากความเสียดทานภายในท่อตลอดความยาวท่อกับอัตราการไหลทั้ง 4 ค่า ที่ระยะความยาวท่อ 3,4,5 และ 6 เมตร (ก) เป่าอากาศ (ข) ดูดอากาศ....................50
4.6 ผลการทดสอบเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เลือกใช้ในชุดตรวจสอบสภาพอากาศที่พัฒนาขึ้น....................51
4.7 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนกับปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์....................52
4.8 ผลการสอบเทียบเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เลือกใช้กับอุปกรณ์มาตรฐานเครื่องวัดก๊าซ TESTO รุ่น 350....................53
4.9 ความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลผลการทดสอบเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เลือกใช้กับอุปกรณ์มาตรฐานเครื่องวัดก๊าซ TESTO รุ่น 350....................54
4.10 ผลการทดสอบระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยของชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศที่พัฒนาขึ้น....................54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.11 ผลการทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศ
แบบเคลื่อนที่กับโรงเพาะเห็ดฟาง......55
4.12 ปริมาณก๊าซออกซิเจนก่อนการระบายอากาศที่ระดับความลึกต่างๆ......57
4.13 ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เปลี่ยนไปหลังการระบายอากาศที่ระดับความลึก 4.5 เมตร
......57

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ที่อับอากาศ (Confined space) หมายถึง ที่ซึ่งมีทางเข้าออกจำกัดและมีการระบายอากาศไม่เพียงพอที่จะทำให้อากาศภายในอยู่ในสภาพถูกสุขลักษณะและปลอดภัย ที่อับอากาศเป็นสถานที่อันตราย ที่พบได้ทั้งในภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และกิจการสาธารณูปโภค เป็นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นสถานที่ที่ประกอบไปด้วยบรรยากาศอันตราย ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้ (สุทธิศักดิ์ เด่นดวงใจ และ คทาวุธ ดีปรีชา, 2564)

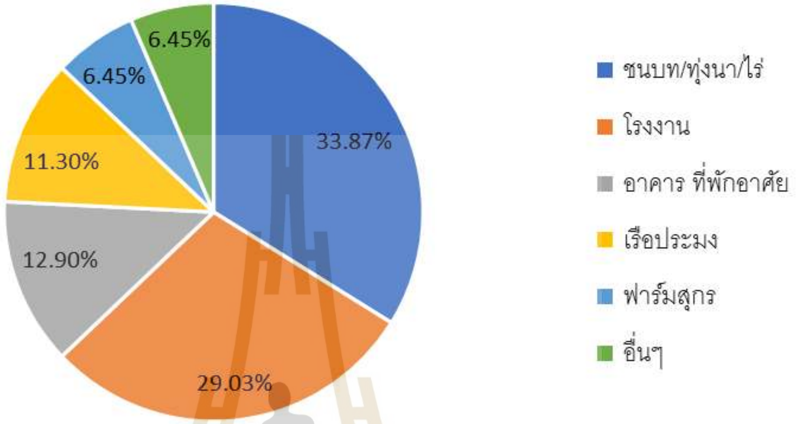
(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 1.1 ตัวอย่างสถานที่อับอากาศที่สามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน

(ก) บ่อบาดาล (ข) โรงเพาะเห็ดฟาง (ค) ช่องเก็บปลาในเรือประมง

การเสียชีวิตจากจากการปฏิบัติงานในที่อับอากาศหรือการเสียชีวิตจากภาวะอับอากาศนั้นมีสาเหตุหลัก 2 ส่วน ได้แก่ การที่ร่างกายขาดออกซิเจนโดยการหายใจเอาอากาศที่มีออกซิเจนต่ำหรือหายใจเอาก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ เข้าไปทดแทนปริมาณก๊าซออกซิเจนและอีกสาเหตุหนึ่งเกิดจากการที่ร่างกายหายใจเอาอากาศที่มีก๊าซพิษเข้าไป เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ซึ่งจะก่อให้เกิดอาการเวียนศีรษะ หมดสติ และเสียชีวิตได้ (สันติ เกิดทองทวี และคณะ, 2562) จากข้อมูลของกองระบาดวิทยา กรมควบคุมโรคปี พ.ศ.2546-2561 พบการบาดเจ็บและเสียชีวิตจากการทำงานในที่

อับอากาศ 62 เหตุการณ์ มีผู้บาดเจ็บ 80 ราย เสียชีวิต 130 ราย (สุธาทิพย์ บูรณสถิตนนท์ และคณะ, 2564)



รูปที่ 1.2 แสดงข้อมูลสถานที่เกิดเหตุจากการทำงานในพื้นที่อับอากาศปี พ.ศ.2546-2561 (สุธาทิพย์ บูรณสถิตนนท์ และคณะ, 2564)

สถานที่เกิดเหตุส่วนใหญ่เป็นลักษณะของบ่อน้ำบาดาลระดับตื้น เนื่องจากภายในบ่อมีการติดตั้งเครื่องสูบน้ำ เพื่อสูบน้ำขึ้นมาใช้อุปโภค จึงจำเป็นที่จะต้องลงไปต่อสายพานใส่เครื่องสูบน้ำและซ่อมบำรุงเครื่องสูบน้ำ สาเหตุของการเสียชีวิตโดยส่วนใหญ่คือการขาดอากาศหายใจหรือออกซิเจนไม่เพียงพอ วิธีการหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในปัจจุบันเพื่อเป็นการลดความเสี่ยงจากการปฏิบัติงานในที่อับอากาศคือการระบายอากาศในที่อับอากาศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อระบายอากาศที่ประกอบไปด้วยก๊าซพิษที่สะสมอยู่ในที่อับอากาศออกมาเจือจางในอากาศและเพื่อเพิ่มปริมาณก๊าซออกซิเจนให้กับที่อับอากาศ แต่พบว่าระบบระบายอากาศที่ใช้อยู่ในปัจจุบันยังไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าสภาพอากาศภายในที่อับอากาศบริเวณนั้นเหมาะสมต่อการใช้งานแล้วหรือไม่

การระบายอากาศเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการปฏิบัติงานในที่อับอากาศ การระบายอากาศมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับสภาพแวดล้อมของที่อับอากาศในบริเวณนั้นๆ ให้เหมาะสมต่อการปฏิบัติงาน ระบบระบายอากาศที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นยังมีข้อจำกัดในเรื่องของแหล่งพลังงานและไม่สามารถบอกได้ว่าที่อับอากาศบริเวณนั้นมีสภาพอากาศที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติงานแล้วหรือไม่ จึงควรพัฒนาชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศแบบเคลื่อนที่

สำหรับพื้นที่อับอากาศ โดยสามารถใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานให้กับระบบได้และมีระบบแจ้งเตือนพร้อมทั้งแสดงผลค่าของปริมาณก๊าซที่ตรวจวัดได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการพัฒนาชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศแบบเคลื่อนที่สำหรับที่อับอากาศ โดยสามารถแสดงผลและแจ้งเตือนค่าของปริมาณก๊าซที่เซนเซอร์ตรวจวัดได้ และนำไปทดสอบกับการใช้งานจริงเพื่อประเมินประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และความพึงพอใจในการใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกและสร้างชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่ โดยสามารถแสดงผลและแจ้งเตือนค่าของปริมาณก๊าซที่เซนเซอร์รับค่าได้

1.2.2 เพื่อทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศที่สร้างขึ้น

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ให้ที่อับอากาศเป็นบ่อน้ำตื้น/บ่อบาดาล ที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร ลึก 6 เมตร

1.3.2 ปริมาณก๊าซที่สนใจตรวจวัดในที่อับอากาศได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และก๊าซออกซิเจน

1.3.3 ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น Mega 2560 ในการประมวลผลและควบคุมการทำงาน

1.3.4 ออกแบบอุปกรณ์ให้รองรับอัตราการไหลเวียนของอากาศในที่อับอากาศไม่น้อยกว่า 6 ACH

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่ที่สามารถใช้งานได้จริง ต้นทุนต่ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ที่อับอากาศ

ที่อับอากาศ (Confined Space) ตามความหมายของกฎกระทรวงเรื่องมาตรฐานความปลอดภัยในที่อับอากาศปี พ.ศ.2547 หมายถึง ที่ซึ่งมีทางเข้าออกจำกัดและมีการระบายอากาศไม่เพียงพอที่จะทำให้อากาศภายในอยู่ในสภาพถูกสุขลักษณะและปลอดภัย ที่อับอากาศเป็นสถานที่อันตรายที่พบได้ทั้งในภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และกิจการสาธารณูปโภค เป็นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นสถานที่ที่ประกอบไปด้วยบรรยากาศอันตราย ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้ สำนักงานบริหารความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแห่งชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา (Occupational Safety and Health Administration : OSHA) ได้กำหนดหลักเกณฑ์ในการพิจารณาว่าพื้นที่ใดเป็นที่อับอากาศไว้ดังนี้ 1.มีบรรยากาศอันตราย 2.มีแหล่งพลังงานที่จะต้องปิดไม่ให้พลังงานนั้นเข้าไปในพื้นที่ขณะทำงาน 3.การถูกทับจากสิ่งของภายในพื้นที่ 4.ลักษณะโครงสร้างพื้นที่ไม่ปลอดภัย 5.มีสิ่งคุกคามอื่นทั้งจากภายในและภายนอกพื้นที่ (สุทธิศักดิ์ เด่นดวงใจ และ คฑาวุธ ดีปรีชา, 2564)

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างสถานที่อับอากาศที่สามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน

(ก) บ่อบาดาล (ข) ถังไซโล (ค) บ่อเกรอะ

2.1.1 บรรยากาศอันตราย

บรรยากาศอันตราย หมายถึง สภาพอากาศที่อาจทำให้ได้รับอันตรายจากการทำงานอย่างหนึ่งอย่างใด ดังต่อไปนี้ 1.มีออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 19.5 หรือมากกว่าร้อยละ 23.5 โดย

ปริมาตร (หน่วยเป็น %Volume) 2.มีก๊าซ ไอ หรือละอองที่ติดไฟหรือระเบิดได้เกินร้อยละ 10 ของค่าความเข้มข้นต่ำของสารเคมีแต่ละชนิดในอากาศที่อาจติดไฟหรือระเบิดได้ (Lower Flammable Limit หรือ Lower Explosive Limit) หน่วยเป็น %LEL 3.มีค่าความเข้มข้นของสารเคมีแต่ละชนิดเกินมาตรฐานที่กำหนดตามกฎกระทรวงว่าด้วยการกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับสารเคมีอันตราย (หน่วยเป็น PPM : Part Per Million คือสารเคมีหนึ่งส่วนในล้านส่วน) 4.สภาวะอื่นใดที่อาจเป็นอันตรายต่อร่างกายหรือชีวิตตามที่รัฐมนตรีประกาศกำหนด (สถาบันส่งเสริมความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน, 2563)

2.1.2 ประเภทของที่อับอากาศ

สำนักงานบริหารความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแห่งชาติ (Occupational Safety and Health Administration : OSHA) ได้แบ่งประเภทของที่อับอากาศ ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ไม่ต้องมีใบอนุญาตและประเภทที่ต้องมีใบอนุญาต โดยพื้นที่อับอากาศที่ต้องมีใบอนุญาตนั้นนายจ้างจะต้องมีระบบใบอนุญาตเข้าออกพื้นที่และช่วยชีวิตแต่มีข้อยกเว้นว่าถ้ามีสิ่งคุกคามเฉพาะบรรยากาศเท่านั้นและมีการตรวจวัดว่าการระบายอากาศเพียงอย่างเดียวนั้นสามารถกำจัดสิ่งคุกคามได้ ให้นายจ้างมอบเอกสารการตรวจวัดและใบรับรองให้แก่ลูกจ้างโดยไม่ต้องมีระบบใบอนุญาตและทีมช่วยชีวิต ทั้งนี้ถ้าพื้นที่ทำงานมีการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดอุบัติเหตุจะต้องประเมินใหม่อีกครั้ง ในประเทศไทยยังไม่ได้มีการแบ่งประเภทที่อับอากาศ แต่ต้องมีมาตรการความปลอดภัยและระบบใบอนุญาตเข้าพื้นที่ (สันติ เกิดทองทวี และคณะ, 2562)

2.1.3 สิ่งคุกคามต่อสุขภาพในที่อับอากาศ

สิ่งคุกคามต่อสุขภาพในที่อับอากาศแบ่งเป็น 1.สิ่งคุกคามจากบรรยากาศ ได้แก่ อันตรายจากออกซิเจนไม่เพียงพอจากการถูกใช้ในการเผาไหม้ การเกิดสนิม การย่อยสลายสารอินทรีย์หรือถูกแทนที่ด้วยก๊าซชนิดอื่น มีสารที่ติดไฟได้ในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นระหว่าง Lower Flammable Limit (LEL) และ Upper Flammable Limit (UEL) หรือมีก๊าซพิษแพร่กระจายจากพื้นที่ใกล้เคียงหรือจากงานที่ทำที่มีความเข้มข้นเกินขีดจำกัดสารเคมีในสิ่งแวดล้อม 2.สิ่งคุกคามจากลักษณะพื้นที่ ได้แก่ อันตรายจากการถูกโครงสร้างถล่มหรือกลบทับจากสิ่งของที่อยู่ในพื้นที่และอันตรายจากลักษณะพื้นที่คับแคบทำให้เคลื่อนไหวร่างกายได้ไม่สะดวก 3.สิ่งคุกคามจากงานที่ทำภายในพื้นที่ ได้แก่ สิ่งคุกคามทางกายภาพ (Physical Hazard) สิ่งคุกคามทางเคมี (Chemical Hazard) จากสารเคมีที่ใช้งานโดยดูจาก Safety Datasheet ของสารแต่ละชนิดและสารเคมีอื่นที่ตกค้างอยู่ในที่อับอากาศ สิ่งคุกคามทางชีวภาพ (Biological Hazard) จากแบคทีเรีย ไวรัส หรือเชื้อรา

ซึ่งในพื้นที่อับชื้น อากาศไม่ถ่ายเทจะเพิ่มความเสี่ยงมากขึ้น สิ่งคุกคามทางการยศาสตร์ (Biomechanical Hazard) เนื่องจากพื้นที่ไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อให้อยู่เป็นเวลานาน ทำให้ท่าทางในการทำงานไม่เหมาะสม สิ่งคุกคามทางจิตใจ (Psychological Hazard) เนื่องจากงานที่ทำมักมีความเสี่ยงสูงทำให้เกิดความเครียดต่อผู้ปฏิบัติงาน และอุบัติเหตุ (Accident) ซึ่งเกิดขึ้นได้ง่ายและมักจะมีความรุนแรงให้การช่วยเหลือยาก (สันติ เกิดทองทวี และคณะ, 2562)

2.1.4 การเสียชีวิตจากการปฏิบัติงานในที่อับอากาศ

จากข้อมูลสถานการณ์การบาดเจ็บและเสียชีวิตจากการทำงานในที่อับอากาศ โดยกรมควบคุมโรคระหว่างปี พ.ศ.2546 ถึง พ.ศ.2561 พบเหตุการณ์การบาดเจ็บและเสียชีวิต 62 เหตุการณ์ ผู้บาดเจ็บ 80 ราย เสียชีวิต 130 ราย สถานที่เกิดเหตุส่วนใหญ่มักพบในชนบท ทุ่งนา หรือไร่ จากการสอบสวนโรคของสำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค พบว่าสาเหตุของการบาดเจ็บและเสียชีวิตมีสาเหตุหลักจากการที่ร่างกายขาดก๊าซออกซิเจน มักเกิดจากการที่ก๊าซออกซิเจนถูกแทนที่ด้วยก๊าซอื่น เช่น ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นต้น (สุธาทิพย์ บูรณสถิตนนท์ และคณะ, 2564) รองลงมาคือร่างกายสูดดมก๊าซที่เป็นอันตราย เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (สันติ เกิดทองทวี และคณะ, 2562) ซึ่งจะก่อให้เกิดอาการเวียนศีรษะ หมดสติ และเสียชีวิตได้ โดยในการปฏิบัติงานในที่อับอากาศควรคำนึงถึงปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นภายในบริเวณที่อับอากาศที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย

2.1.5 ก๊าซที่เป็นอันตรายต่อร่างกายที่สามารถพบได้ในบริเวณที่อับอากาศ

ก๊าซออกซิเจน การขาดก๊าซออกซิเจนถือเป็นสาเหตุหลักของการเสียชีวิตในที่อับอากาศ ส่วนใหญ่เกิดจากการที่ก๊าซออกซิเจนในบริเวณที่อับอากาศนั้นๆถูกแทนที่ด้วยก๊าซอื่น โดยในการปฏิบัติงานในที่อับอากาศพื้นที่บริเวณที่ปฏิบัติงานควรมีปริมาณก๊าซออกซิเจนอยู่ระหว่าง 19.5-23.5 % โดยปริมาตร ถ้าบริเวณที่อับอากาศนั้นมีปริมาณก๊าซออกซิเจนสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนดจะส่งผลให้เป็นอันตรายต่อร่างกาย ระดับปริมาณของก๊าซออกซิเจนในอากาศที่ส่งผลกระทบกับร่างกายสามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

1) 23.50 % โดยปริมาตร ระดับปริมาณก๊าซออกซิเจนที่อนุญาตให้ทำงานได้

2) 21.00 % โดยปริมาตร ระดับปริมาณก๊าซออกซิเจนในสภาวะปกติ

3) 19.50 % โดยปริมาตร ระดับปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่อนุญาตทำงานได้

4) 16.00 % โดยปริมาตร หายใจเร็ว หัวใจเต้นแรง

5) 14.00 % โดยปริมาตร อ่อนล้า

6) 12.00 % โดยปริมาตร หมดสติ

7) 6.00 % โดยปริมาตร หายใจลำบาก,เสียชีวิต

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอันตรายต่อร่างกายถ้าหากได้รับในปริมาณที่มาก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีอยู่ทั่วไปในบรรยากาศ ถ้าร่างกายได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในปริมาณมากๆนั้นจะทำให้เลือดเป็นกรดและกระตุ้นระบบหายใจทำให้หายใจเร็วขึ้นส่งผลให้หัวใจเต้นเร็วขึ้น และกดสมอง ทำให้หมดสติ และเสียชีวิตได้ การได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ร่างกายจะได้รับผ่านการสูดหายใจเป็นหลัก ระดับของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่ส่งผลกระทบกับร่างกาย สามารถจำแนกได้ตามระดับความเข้มข้นดังต่อไปนี้

1) 250 - 400 ppm เป็นปริมาณความเข้มข้นที่สามารถพบได้ทั่วไปในสภาวะอากาศแวดล้อมภายนอกอาคารไม่มีผลต่อสุขภาพร่างกาย

2) 400 - 1,000 ppm เป็นปริมาณความเข้มข้นที่สามารถพบได้ทั่วไปในบริเวณพื้นที่โล่ง ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพร่างกาย

3) 1,000 - 2,000 ppm เป็นปริมาณความเข้มข้นที่พบได้ในบริเวณพื้นที่ที่อากาศไม่ถ่ายเท ทำให้รู้สึกอึดอัดและอ่อนเพลีย

4) 2,000 - 5,000 ppm เป็นปริมาณความเข้มข้นที่เริ่มทำให้มีอาการปวดหัว ง่วงนอน วิงเวียน หัวใจเต้นเร็ว คลื่นไส้ และอ่อนเพลีย

5) 5,000 ppm เป็นปริมาณความเข้มข้นที่บ่งบอกถึงสภาวะอากาศที่ผิดปกติ ซึ่งอาจจะมีปริมาณก๊าซอื่นๆปะปนอยู่ในระดับสูงด้วยเช่นกัน อาจเกิดความเป็นพิษหรือขาดก๊าซออกซิเจน เป็นปริมาณที่บ่งบอกถึงขีดจำกัดการสัมผัสที่อนุญาตสำหรับการเปิดรับในสถานที่ทำงาน ซึ่งขึ้นอยู่กับเวลาที่ได้รับสัมผัสหรือสูดดม

6) 40,000 ppm เป็นปริมาณความเข้มข้นที่ส่งผลให้สมองถูกทำลายอย่างถาวร เกิดอาการโคม่าเป็นอันตรายต่อชีวิตทันที ทำให้ชักและหมดสติหลังจากได้รับสารเป็นเวลานาน

7) 100,000 ppm เป็นปริมาณความเข้มข้นที่ส่งผลต่อชีวิต ทำให้หมดสติและเสียชีวิตภายในเวลาไม่กี่นาที

ก๊าซมีเทน ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในบ่อบำบัดน้ำเสียในท่อระบายน้ำหรือในบ่อน้ำที่มีการหมักหมมของขยะ บ่อหมักมูลสัตว์ เป็นต้น ก๊าซมีเทนเป็น

ก๊าซไวไฟที่ไม่มีสีไม่มีกลิ่น เบากว่าอากาศ จะลอยตัวได้ง่าย สะสมอยู่ในที่สูงๆ และในพื้นที่ปิด โดยเฉพาะในท่อระบายน้ำ บ่อบำบัดน้ำเสีย ซึ่งอันตรายส่วนใหญ่จะทำให้ติดไฟและเกิดการระเบิดได้ง่าย ดังนั้นจะต้องระวังในเรื่องของการทำให้เกิดประกายไฟ

ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น หากมีปริมาณมากจะเป็นอันตรายต่อร่างกาย อากาศเป็นพิษ โดยเฉพาะบริเวณที่มีการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอ เมื่อก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เข้าสู่ร่างกายผ่านทางปอดแล้วจะแทรกซึมเข้าไปกับระบบหมุนเวียนโลหิต จะรบกวนการทำงานของต่อมและเนื้อเยื่อต่างๆในร่างกาย โดยจะทำปฏิกิริยากับ Hemoglobin ได้เป็น Carboxyhemoglobin ซึ่งจะรบกวนประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนทำให้ร่างกายแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนได้น้อยลงจนถึงขั้นที่ทำให้เสียชีวิตได้

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นก๊าซที่สามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติเกิดขึ้นจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่มีธาตุกำมะถันเป็นองค์ประกอบ รวมทั้งเกิดจากการเน่าเสียของน้ำเสีย ก๊าซชนิดนี้จะมีกลิ่นเหม็นเหมือนไข่เน่า ไม่มีสี หนักกว่าอากาศ ผลกระทบต่อสุขภาพคือมีผลต่อระบบหายใจ โดยสามารถทำให้หัวใจหยุดเต้นได้หากมีความเข้มข้นสูง ก๊าซชนิดนี้จะเข้าไปจับและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์บางชนิด ทำให้เซลล์ไม่สามารถหายใจได้ คล้ายกับพิษของไซยาไนด์ นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ระคายเคืองต่อเยื่อบุโดยตรง เช่น ตา จมูก หลอดลม ปอด

2.1.6 มาตรการความปลอดภัยในพื้นที่อับอากาศ

ในประเทศสหรัฐอเมริกา OSHA ได้กำหนดให้นายจ้างทำระบบการเข้าที่อับอากาศ (Confined Space Entry Program) โดยมีหลักการดังต่อไปนี้

1) ต้องจัดให้มีการประเมินความเสี่ยงในพื้นที่ก่อนเข้าไป
2) ต้องมีป้ายแจ้งเตือนทั้งทางเข้าและทางออกที่อับอากาศและต้องป้องกันการเข้าพื้นที่โดยไม่ได้รับอนุญาต
3) ขณะลูกจ้างอยู่ในพื้นที่ต้องให้มีผู้ดูแลประจำนอกพื้นที่อย่างน้อย 1 คน
4) ต้องกำหนดวิธีการเตรียม ให้ใช้ และยกเลิกใบอนุญาตเข้าพื้นที่อับอากาศเป็นลายลักษณ์อักษรและมีการประเมินแผนการทำงานในพื้นที่อับอากาศเป็นประจำทุกปี รวมทั้งทำการปรับแก้ไขตามความเหมาะสม (สันติ เกิดทองทวี และคณะ, 2562)

สำหรับประเทศไทยได้มีกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการทำงานในที่อับอากาศได้แก่ กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานในที่อับอากาศ พ.ศ.2547 มีการกำหนดมาตรการด้านความปลอดภัยในการทำงานกับสถานที่อับอากาศ ไว้ดังนี้

1) ให้มีการจัดทำป้ายแจ้งข้อความ “ที่อับอากาศ อันตรายห้ามเข้า”
2) ขั้นตอนการขออนุญาตให้ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศ
3) จัดให้มีการฝึกอบรมความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศ
4) การแต่งตั้งลูกจ้างที่มีความรู้ความสามารถให้เป็นผู้ควบคุมงาน
5) การจัดลูกจ้างที่ได้รับการอบรมความปลอดภัยในที่อับอากาศเป็นผู้ช่วยเหลือ
6) การจัดอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล อุปกรณ์ช่วยเหลือและช่วยชีวิตที่เหมาะสม

กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานในที่อับอากาศ พ.ศ.2562 หมวด 2 มาตรการความปลอดภัย ข้อ 6 ให้นายจ้างจัดให้มีการตรวจวัด บันทึกผลการตรวจวัด และประเมินสภาพอากาศในที่อับอากาศก่อนให้ลูกจ้างเข้าไปทำงานและในระหว่างที่ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศ หากพบว่ามีสภาวะที่เป็นบรรยากาศอันตราย ให้นายจ้างดำเนินการ ดังต่อไปนี้

1) ห้ามบุคคลใดเข้าไปในที่อับอากาศ
2) กรณีลูกจ้างอยู่ระหว่างการทำงานในที่อับอากาศ ให้นำลูกจ้างออกจากบริเวณนั้นทันที
3) ประเมินและค้นหาสาเหตุของการเกิดบรรยากาศอันตราย
4) ดำเนินการเพื่อทำให้สภาพอากาศในที่อับอากาศนั้นไม่มีบรรยากาศอันตราย เช่น การระบายอากาศหรือการปฏิบัติตามมาตราการอื่นเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานแก่ลูกจ้าง ให้นายจ้างเก็บบันทึกการตรวจวัด การประเมินสภาพอากาศและการดำเนินการเพื่อให้สภาพอากาศในที่อับอากาศไม่มีบรรยากาศอันตรายไว้ ณ สถานประกอบกิจการหรือสถานที่ทำงาน เพื่อให้พนักงานตรวจความปลอดภัยตรวจสอบได้อย่างน้อย 1 ปี

หมวด 3 การอนุญาต ข้อ 18 ให้นายจ้างจัดให้มีหนังสืออนุญาตให้ลูกจ้างทำงานในที่อับอากาศทุกครั้งโดยอย่างน้อยต้องมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1) ที่อับอากาศที่อนุญาตให้ลูกจ้างเข้าไปทำงาน
2) วัน เวลาในการทำงาน
3) งานที่ให้ลูกจ้างเข้าไปทำ
4) ชื่อลูกจ้างที่อนุญาตให้เข้าไปทำงาน
5) ชื่อผู้ควบคุมงาน

6) ชื่อผู้ช่วยเหลือ

7) อันตรายที่ลูกจ้างอาจได้รับ และวิธีการปฏิบัติตนและช่วยเหลือลูกจ้างออกจากที่อับอากาศในกรณีฉุกเฉิน และวิธีการหลีกหนีภัย

8) ผลการประเมินสภาพอันตรายและบรรยากาศอันตราย

9) มาตราการความปลอดภัยที่เตรียมไว้ก่อนการให้ลูกจ้างเข้าไปทำงาน

10) อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลและอุปกรณ์ช่วยเหลือและช่วยชีวิต

11) ชื่อและลายมือชื่อผู้ขออนุญาต และชื่อและลายมือชื่อผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในการอนุญาต

12) ผลการตรวจสุขภาพของลูกจ้างที่ทำงานในที่อับอากาศโดยมีใบรับรองแพทย์

2.2 บ่อน้ำบาดาลระดับตื้น

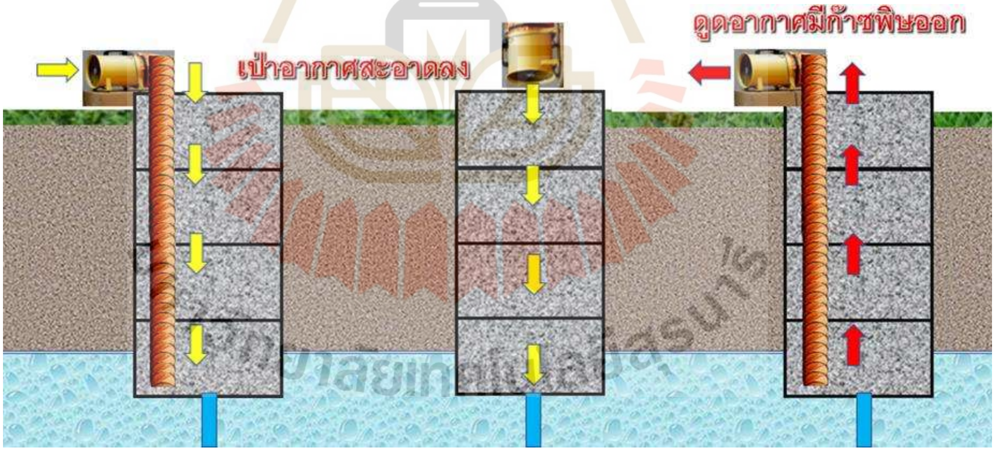
บ่อน้ำบาดาลระดับตื้นหรือบ่อน้ำตื้นถือว่าเป็นแหล่งน้ำขั้นพื้นฐานของชาวชนบทที่ใช้สำหรับการอุปโภคและบริโภคเพราะก่อสร้างง่ายและลงทุนต่ำเมื่อเทียบกับแหล่งน้ำประเภทอื่นๆ บ่อน้ำตื้นที่พบเห็นกันทั่วไปสามารถจำแนกตามลักษณะของผนังข้างได้เป็น 2 ประเภทคือบ่อดินขุดธรรมดาและบ่อที่มีการกรุผนังข้าง บ่อน้ำตื้นเป็นบ่อน้ำที่มีขนาดใหญ่ที่ขุดขึ้นมาเพื่อกักเก็บน้ำจากน้ำใต้ดินระดับตื้น ส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.8-2.0 เมตร และมีความลึกไม่เกิน 10 เมตร สร้างขึ้นสำหรับใช้อุปโภคทางด้านเกษตรกรรม บ่อน้ำบาดาลระดับตื้นส่วนใหญ่แล้วจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เมตร ความลึกของบ่อจะขึ้นอยู่กับระยะห่างจากระดับน้ำบาดาลส่วนใหญ่พบว่ามีค่าประมาณ 4 เมตร (กิจการ พรหมมา, 2552)

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างบ่อน้ำบาดาลระดับตื้น

2.3 การระบายอากาศ

การระบายอากาศ (Ventilation) หมายถึง กระบวนการของการจ่ายและการนำอากาศออกจากพื้นที่ใช้สอย เพื่อควบคุมระดับสารปนเปื้อนในอากาศ ความชื้น หรืออุณหภูมิภายในพื้นที่ใช้สอย การระบายอากาศแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ 1.การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ (Natural Ventilation) หมายถึง การระบายอากาศโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของอากาศภายนอกเข้าสู่พื้นที่ใช้สอย โดยใช้ผลจากความร้อน กระแสลม หรือการซึมผ่านให้อากาศไหลผ่านทางช่องเปิดที่จัดเตรียมไว้ เช่น หน้าต่าง ประตู หรือผ่านอุปกรณ์ระบายอากาศแบบที่ไม่ใช้พลังงาน 2.การระบายอากาศด้วยวิธีทางกล (Mechanical Ventilation) หมายถึง การระบายอากาศโดยใช้วิธีการทางกล โดยอาศัยอุปกรณ์หรือเครื่องมือทางกล เช่น พัดลมระบายอากาศสำหรับใช้ในการหมุนเวียนอากาศ

การระบายอากาศด้วยวิธีทางกล (Mechanical Ventilation) เป็นมาตรการความปลอดภัยที่นำมาใช้สำหรับการปฏิบัติงานในที่อับอากาศเพื่อกำจัด “บรรยากาศอันตราย” ให้หมดไป รวมถึงทำให้อากาศภายในถูกสุขลักษณะและปลอดภัยต่อการปฏิบัติงาน (ทำให้ปริมาณสารพิษภายในที่อับอากาศนั้นเจือจางจนถึงระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ไม่ติดไฟ และมีออกซิเจนเพียงพอ)



รูปที่ 2.3 การระบายอากาศในที่อับอากาศด้วยวิธีทางกล

ในการเลือกใช้พัดลมสำหรับการระบายอากาศในที่อับอากาศนั้นจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพหรือความสามารถของพัดลมที่สามารถทำให้อากาศไหลเวียนได้ โดยมีข้อกำหนดคือพัดลมที่เลือกใช้ต้องมีความสามารถในการเปลี่ยนถ่ายอากาศได้ไม่น้อยกว่า 6 รอบต่อชั่วโมง โดยขนาดพื้นที่จะมีผลกับขนาดของพัดลมที่เลือกใช้

2.4 อัตราการไหลเชิงปริมาตร

อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume flow rate) หมายถึง ปริมาตรของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดใดๆที่กำหนดต่อหนึ่งหน่วยเวลา ในการหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q = AV \tag{1}$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตร หน่วย (m^3/s)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อที่ของไหลไหลผ่าน หน่วย (m^2)

V คือ ความเร็วของของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดท่อ หน่วย (m/s)

2.5 การคำนวณปริมาณอากาศที่ไหลเวียนสำหรับการระบายอากาศ

การคำนวณปริมาณอากาศที่ไหลเวียนสำหรับการระบายอากาศมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ระบบมีการหมุนเวียนอากาศที่เหมาะสมและทำให้สามารถเลือกใช้พัดลมสำหรับการระบายอากาศในที่อับอากาศได้อย่างเหมาะสม โดยการคำนวณจะใช้วิธีการคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการระบายออก โดยใช้สูตรการคำนวณดังต่อไปนี้

ปริมาณลม (ลบ.ฟุต/นาที) = ปริมาตร (ลบ.ม.) x 35.28 x จำนวน Air Change / hr x (1/60) (2)

เมื่อ จำนวน Air Change / hr คือ จำนวนรอบของการเปลี่ยนถ่ายอากาศต่อชั่วโมง

2.6 ความดันสูญเสียการไหลของอากาศภายในท่อ

การไหลภายในท่อเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ความดันสูญเสียหรือความดันที่ลดลงเกิดขึ้นเนื่องจากความเสียดทานภายในท่อสามารถหาได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g H_f \tag{3}$$

เมื่อ H_f คือ เฮดที่สูญเสียจากแรงเสียดทานในท่อส่งลม หน่วย (m)

g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก หน่วย (9.81 m/s^2)

ΔP คือ ความดันสูญเสีย หน่วย (Pa)

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล หน่วย (kg/m^3)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

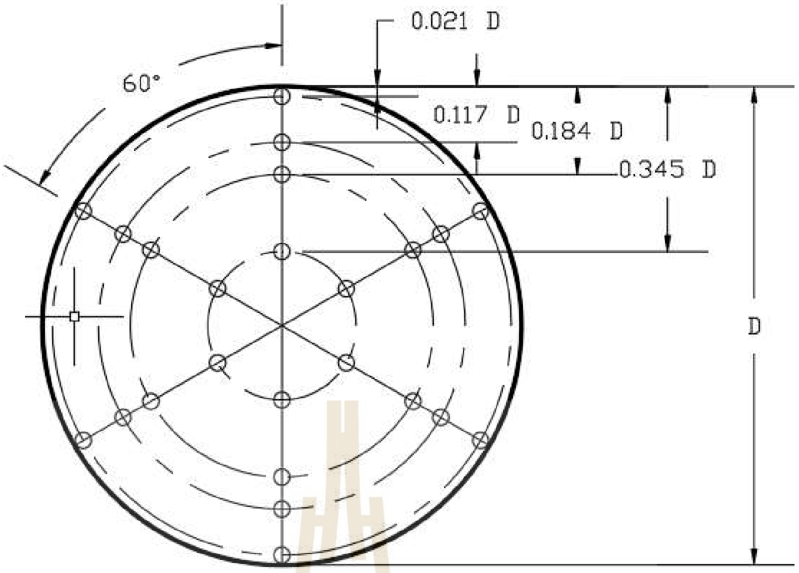
2.7 อุปกรณ์การวัดความเร็วของของไหลภายในท่อ

มาตรวัดความเร็วลมแบบเส้นลวดร้อน (Hot wire anemometer) เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้วัดความเร็วหรืออัตราการไหลของของไหลในงานระบบระบายอากาศและปรับอากาศ เนื่องจากการใช้งานที่สะดวกและสามารถปรับหัววัดตามทิศทางที่ต้องการได้ มาตรวัดความเร็วลมแบบเส้นลวดร้อนใช้หลักการนำเส้นลวดขนาดเล็กมาติดอยู่ที่ปลายหัววัดและให้ความร้อนกับเส้นลวดดังกล่าว เมื่อลมผ่านเส้นลวดจะทำให้เส้นลวดนั้นเย็นลง ตัวมาตรวัดจะมีวงจรที่พยายามเพิ่มความร้อนให้กับเส้นลวดเพื่อรักษาอุณหภูมิของเส้นลวดให้มีค่าคงที่ อัตราการเพิ่มความร้อนจะสัมพันธ์กับความเร็วของอากาศที่ผ่านตัวเส้นลวด วงจรปรับเทียบจะแปลงค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของความร้อนออกมาเป็นค่าความเร็วลม (สมศักดิ์ ไชยะภินันท์, 2552)

รูปที่ 2.4 มาตรวัดความเร็วลมแบบเส้นลวดร้อน (Hot wire anemometer)

2.8 ตำแหน่งการวัดความเร็วภายในท่อ

การไหลของของไหลภายในท่อจะมีลักษณะเป็นรูปร่างความเร็ว (velocity profile) ทำให้ค่าความเร็วในหน้าตัดของท่อมีค่าแปรตามตำแหน่งต่างๆในหน้าตัดของท่อ การหาค่าความเร็วของของไหลภายในท่อจึงใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยจากตำแหน่งต่างๆในหน้าตัดท่อ โดยการแบ่งพื้นที่หน้าตัดของท่อออกเป็นส่วนเล็กๆแล้วทำการวัดความเร็วในแต่ละตำแหน่งเพื่อมาหาค่าเฉลี่ย (สมศักดิ์ ไชยะภินันท์, 2552) การหาตำแหน่งในการวัดความเร็วลมที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดวงกลมตามคำแนะนำของสมาคมวิศวกรความร้อน ความเย็นและการปรับอากาศของสหรัฐอเมริกา (ASHRAE) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ตำแหน่งการวัดความเร็วลมภายในท่อกลมตาม ASHRAE standard 41.2-1987

2.9 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ

เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทได้แก่

1) Catalytic Sensor มีหลักการทำงาน คือ เมื่อมีก๊าซผ่านเข้ามายังตัวเซนเซอร์จะส่งผลให้ค่าความต้านทานลัพธ์ในวงจรวีตสโตนบริดจ์ (Wheatstone bridge circuit) เกิดการไม่สมดุล และส่งสัญญาณเอาท์พุตออกมา ซึ่งจะเป็นค่าที่แปรผันแบบเป็นสัดส่วนกับความหนาแน่นของก๊าซ เซ็นเซอร์ประเภทนี้มีข้อดี คือ ราคาไม่สูง อายุการใช้งานยาวนาน มีความทนทานสูง และง่ายต่อการออกแบบการใช้งาน ส่วนข้อเสียของเซนเซอร์ประเภทนี้ คือ อาจมีผลกระทบที่เป็นพิษจากสารเร่งปฏิกิริยาที่ฉาบเคลือบที่ขดลวดไฟฟ้า เซนเซอร์ประเภทนี้เหมาะกับการตรวจวัดก๊าซติดไฟ

2) Electrochemical Sensor มีหลักการทำงาน คือ โครงสร้างที่อยู่ภายในตัวเซนเซอร์จะมีสารอิเล็กโตรไลต์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับก๊าซที่ผ่านเข้ามายังตัวเซนเซอร์ แต่มีข้อจำกัด คือ สามารถตรวจวัดก๊าซได้บางชนิดเท่านั้น เช่น คลอรีน คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไฮโดรเจน เซนเซอร์ประเภทนี้เหมาะกับการตรวจวัดก๊าซพิษที่ไม่ติดไฟ

3) Infrared Sensor มีหลักการทำงาน คือ จะใช้อุปกรณ์ประเภทแสงในการทำหน้าที่ตรวจวัดก๊าซ โดยจะอาศัยแหล่งกำเนิดแสง Infrared พลังงานสูงยิงไปยังพื้นที่ตกกระทบ ผ่านไอระเหยของก๊าซที่ถูกส่งเข้ามาในห้อง Chamber ของเซนเซอร์ แล้วสะท้อนกลับเข้ามายังตัวแยกและวิเคราะห์แสงเพื่อเทียบกับค่ามาตรฐานและแปลงค่าในการแสดงผลออกมา เซนเซอร์ประเภทนี้มีข้อดี

คือ ไม่เกิดผลกระทบที่เป็นพิษจากสารเร่งปฏิกิริยาภายในตัวเซนเซอร์ ส่วนข้อเสียของเซนเซอร์ประเภทนี้ คือ ราคาสูง เซนเซอร์มีขนาดใหญ่

4) Solid State Sensor มีหลักการทำงาน คือ เมื่อมีก๊าซผ่านเข้ามายังตัวเซนเซอร์ ดีบุกออกไซด์ (Tin Oxide) ที่อยู่ภายในตัวเซนเซอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะจะทำการตอบสนองต่อก๊าซที่ผ่านเข้ามายังตัวเซนเซอร์ โดยจะเปลี่ยนค่าความต้านทานแปรผันตามสัดส่วนกับค่าความหนาแน่นของก๊าซ ข้อดีของเซนเซอร์ประเภทนี้ คือ สามารถตรวจวัดก๊าซได้หลายชนิด ราคาไม่สูง มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีความทนทานสูง ส่วนข้อเสียของเซนเซอร์ประเภทนี้ คือ ต้องมีการปรับตั้งค่าอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากอาจเกิดความผิดพลาดในการอ่านค่า เมื่อเซนเซอร์ตอบสนองกับก๊าซที่ปะปนอยู่ในธรรมชาติ เซนเซอร์ประเภทนี้เหมาะกับการตรวจวัดก๊าซพิษที่ไม่ติดไฟ

สมบัติของเซนเซอร์วัดก๊าซที่สำคัญได้แก่

1) ความไวในการตอบสนอง (Response Time) : สามารถตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว เมื่อก๊าซที่ทำการวัดมาสัมผัสกับเซนเซอร์

2) ความไวในการวัด (Sensitivity) : ความแตกต่างของปริมาณก๊าซ สมบัติข้อนี้จะสำคัญเฉพาะในกรณี คือ เมื่อก๊าซที่ต้องการวัดมีปริมาณที่น้อยมากหรือต้องการความถูกต้องในการวัดที่สูง

3) ความจำเพาะ (Selectivity) : สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างก๊าซที่ต้องการวัดกับก๊าซที่ไม่ต้องการวัดได้

4) ความเสถียร (Stability) : ผลของการวัดก๊าซคงที่ เซนเซอร์ไม่เสื่อมสภาพเร็ว สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง

5) พิสัยการวัด (Dynamic range) : ช่วงกว้างของการวัดค่าของเซนเซอร์

2.9.1 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในอากาศ

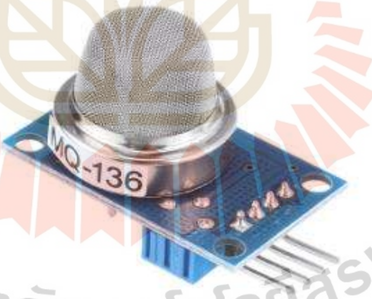
Gravity: Electrochemical Oxygen Sensor เป็นเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในอากาศ โดยใช้หลักการของไฟฟ้าเคมี สามารถวัดปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนที่อยู่โดยรอบได้อย่างแม่นยำ สะดวกต่อการใช้งาน มีความสามารถในการป้องกันการรบกวนสูง มีความเสถียรสูง และสามารถตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง นิยมนำไปออกแบบร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำเป็นอุปกรณ์แบบพกพา อุปกรณ์ตรวจสอบสภาพอากาศ เซนเซอร์สามารถรองรับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายได้หลากหลาย ตั้งแต่ 3.3 ถึง 5 โวลต์ ช่วงของการวัดปริมาณออกซิเจนอยู่ที่ 0 ถึง 25 % โดยปริมาตร ขีดจำกัดการวัดสูงสุดอยู่ที่ 30 % โดยปริมาตร อุณหภูมิในการทำงานอยู่ที่ -20 ถึง 50 องศาเซลเซียส ความชื้นในการทำงานอยู่ที่ 0 ถึง 99 %RH อายุการใช้งานมากกว่า 2 ปี มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 2.6 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในอากาศ (Gravity: Electrochemical Oxygen Sensor)

2.9.2 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

MQ-136 Gas Sensor Module เป็นเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ให้การตอบสนองที่รวดเร็ว มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เหมาะสำหรับใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศ ช่วงในการตรวจวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ระหว่าง 1 ถึง 100 ppm แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในวงจร 5 โวลต์ ช่วงอุณหภูมิการทำงานอยู่ระหว่าง -10 ถึง 45 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิในการจัดเก็บเซนเซอร์อยู่ระหว่าง -20 ถึง 70 องศาเซลเซียส ความชื้นในการทำงานอยู่ที่น้อยกว่า 95 %RH



รูปที่ 2.7 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (MQ-136 Gas Sensor Module)

2.9.3 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซมีเทน

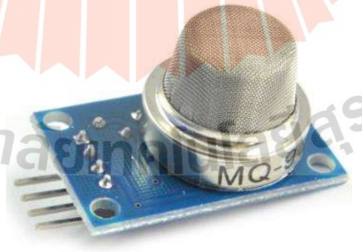
MQ-4 Gas Sensor Module เป็นเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดปริมาณก๊าซมีเทนในอากาศ โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเมื่อมีการดูดซับก๊าซมีเทน มีความไวสูงต่อก๊าซมีเทน ก๊าซธรรมชาติ แอลกอฮอล์ รวมถึงกลุ่มควัน เซนเซอร์สามารถตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว มีอายุการใช้งานยาวนาน เหมาะสำหรับใช้ในการออกอุปกรณ์ตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซในครัวเรือนรวมถึงในอุตสาหกรรม ช่วงในการตรวจวัดปริมาณก๊าซมีเทนอยู่ระหว่าง 200 ถึง 10,000 ppm แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในวงจร 5 โวลต์ ช่วงอุณหภูมิการทำงานอยู่ระหว่าง -10 ถึง 50 องศาเซลเซียส ช่วง

อุณหภูมิในการจัดเก็บเซนเซอร์อยู่ระหว่าง -20 ถึง 70 องศาเซลเซียส ความชื้นในการทำงานอยู่ที่น้อยกว่า 95 %RH

รูปที่ 2.8 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซมีเทน (MQ-4 Gas Sensor Module)

2.9.4 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

MQ-9 Gas Sensor Module เป็นเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในอากาศ โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเมื่อมีการดูดซับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ มีความไวต่อก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูง มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เหมาะสำหรับใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ช่วงในการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ระหว่าง 20 ถึง 2,000 ppm แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในวงจร 5 โวลต์ ช่วงอุณหภูมิการทำงานอยู่ระหว่าง -20 ถึง 50 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิในการจัดเก็บเซนเซอร์อยู่ระหว่าง -20 ถึง 50 องศาเซลเซียส ความชื้นในการทำงานอยู่ที่น้อยกว่า 95 %RH

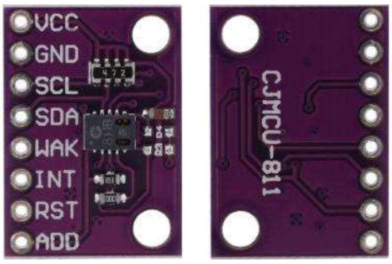


รูปที่ 2.9 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (MQ-9 Gas Sensor Module)

2.9.5 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

CCS 811 Monitoring Indoor Air Quality Digital Gas Sensor เป็นเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย ใช้พลังงานน้อย มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เหมาะสำหรับใช้ตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในอาคาร ช่วงในการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ระหว่าง 400 ถึง 8,192 ppm แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในวงจร 3.3 โวลต์

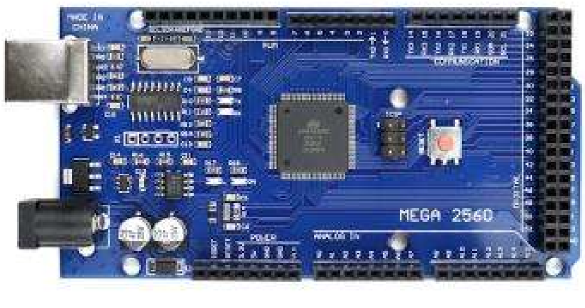
ช่วงอุณหภูมิการทำงานอยู่ระหว่าง -40 ถึง 85 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิในการจัดเก็บเซนเซอร์อยู่ระหว่าง -40 ถึง 125 องศาเซลเซียส ความชื้นในการทำงานอยู่ระหว่าง 10 ถึง 95 %RH



รูปที่ 2.10 เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CCS 811 Monitoring Indoor Air Quality Digital Gas Sensor)

2.10 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถนำไปพัฒนาต่อได้หลากหลายรูปแบบ ใช้งานง่าย และเหมาะสำหรับผู้ที่เริ่มต้นจะศึกษา บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino จะใช้ชิป AVR เป็นหลัก เนื่องจากมีความทันสมัยและสามารถเชื่อมต่อผ่าน USB ได้โดยตรง รวมถึงยังสามารถใช้กับคอมพิวเตอร์ได้เป็นอย่างดี บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR มีส่วนของโปรแกรมพิเศษที่เรียกว่า บูตโหลดเดอร์ (Boot loader) โดยจะเป็นส่วนโปรแกรมที่จะถูกเรียกขึ้นมาก่อนการเรียกโปรแกรมปกติ ทำให้สามารถเขียนสั่งการทำงานได้ก่อนการเรียกโปรแกรมปกติ บอร์ด Arduino Mega 2560 จะใช้แรงดันไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 7 ถึง 12 โวลต์ ใช้ภาษาที่พัฒนามาจากภาษาซีในการเขียนรหัสโปรแกรมผ่านโปรแกรม Arduino IDE



รูปที่ 2.10 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560

2.11 ปริทัศน์วรรณกรรม

สุทธิศักดิ์ เด่นดวงใจ และคทาวุธ ดีปรีชา (2564) ได้แสดงให้เห็นถึงสถานการณ์การบาดเจ็บและเสียชีวิตจากที่อับอากาศในประเทศไทย สาเหตุหลักของการเสียชีวิตได้แก่ การขาดออกซิเจน สถานที่เกิดเหตุส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ชนบทคิดเป็นร้อยละ 33.87 โรงงานคิดเป็นร้อยละ 29.03 อาคารที่พักอาศัยคิดเป็นร้อยละ 12.90 เรือประมงคิดเป็นร้อยละ 11.30 ฟาร์มสุกรคิดเป็นร้อยละ 6.45 และสถานที่อื่นๆคิดเป็นร้อยละ 6.45 รองลงมาตามลำดับ ได้แบ่งประเภทของที่อับอากาศและมาตราการความปลอดภัยในพื้นที่อับอากาศตามสำนักงานบริหารความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแห่งชาติ (Occupational Safety and Health Administration : OSHA) ของประเทศสหรัฐอเมริกาและได้นำเสนอวิธีการป้องกันอันตรายในที่อับอากาศ

แสงดาว อุประ (2557) ได้ทำการสอบสวนโรคกรณีเกษตรกรเสียชีวิตจากการทำงานในที่อับอากาศของโรงเรือนเพาะเห็ด จังหวัดอุบลราชธานี เพื่อยืนยันการวินิจฉัยหาสาเหตุการเสียชีวิตและหาแนวทางควบคุมและป้องกันการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตจากสถานการณ์ลักษณะเดียวกัน โดยทำการสอบสวนโรคกรณีการเสียชีวิตของเกษตรกร 4 ราย ขณะเข้าไปทำงานในโรงเรือนเพาะเห็ดฟางในขั้นตอนหลังจากการอบไอน้ำแล้ว ก่อนที่จะทำการเปิดโรงเรือนเพื่อทำการโรยเชื้อ โดยใช้วิธีการศึกษาคือ 1.การเดินสำรวจ (walkthrough survey) สภาพแวดล้อมการทำงานในโรงเพาะเห็ด ศึกษาวิธีการเพาะเห็ดฟางเพื่อหาสาเหตุว่ามีสิ่งใดที่คุกคามต่อสุขภาพได้บ้างและทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซในสถานที่เกิดเหตุและโรงเพาะเห็ดอื่นที่อยู่ในขั้นตอนเดียวกัน โดยใช้เครื่อง infrared spectrophotometer (Miran 1 Bx) และ 2.ศึกษาผลชันสูตรศพในสถานที่เกิดเหตุ ผลผ่าชันสูตรศพทางนิติเวชและผลการตรวจสิ่งส่งตรวจทางห้องปฏิบัติการเพื่อหาสาเหตุของการเสียชีวิต พบว่าสาเหตุของการเสียชีวิตเกิดจากการขาดอากาศหายใจขณะทำงานในที่อับอากาศ ซึ่งเป็นโรงเรือนเพาะเห็ดที่ถูกปิดคลุมมิดชิด โดยจากการวัดปริมาณระดับออกซิเจนในในสถานที่เกิดเหตุ (โรงเพาะเห็ดที่เป็นสถานที่เกิดเหตุได้ถูกเปิดโล่งมีอากาศถ่ายเทแล้ว) พบว่ามีระดับออกซิเจนอยู่ที่ร้อยละ 13 ซึ่งถือว่าต่ำกว่าระดับมาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 19.5 สาเหตุที่ออกซิเจนในอากาศบริเวณที่เกิดเหตุต่ำกว่าระดับปกตินั้น เกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการหมักวัสดุที่ใช้ในการเพาะเห็ดฟางนั้นก่อให้เกิดก๊าซชีวภาพขึ้น ก๊าซนี้จะไปแทนที่ปริมาณออกซิเจนในอากาศจึงทำให้มีระดับปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าที่กำหนดและสอดคล้องกับผลผ่าชันสูตรศพทางนิติเวช

สันติ เกิดทองทวี และคณะ (2562) ได้ทำการศึกษาผลการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนเทียบกับระดับความลึกในสถานที่อับอากาศ (บ่อบาดาล) โดยใช้วิธีการศึกษาสถานการณ์ (situation study) และวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) ลักษณะของบ่อเป็นบ่อ

บาดาลน้ำตื้นที่มีความลึกอยู่ในช่วง 6-13 เมตร โดยแบ่งความลึกออกเป็น 3 ระดับ คือ ปากบ่อ (ความลึกน้อยกว่า 3 เมตร) , กลางบ่อ (ความลึก 3.10 ถึง 6.00 เมตร) และก้นบ่อ (ความลึกตั้งแต่ 6.10 เมตรขึ้นไป) ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซ 4 ชนิด ได้แก่ ออกซิเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซติดไฟ (%LEL) ด้วยเครื่อง Q-RAE Plus-PGM-200 ผลการศึกษาการตรวจวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนจากการเลือกกลุ่มตัวอย่าง 57 บ่อจาก 163 บ่อ ในพื้นที่ 2 หมู่บ้านในอำเภอเมืองและอำเภอไทรงาม จังหวัดกำแพงเพชร พบว่ามีบ่อที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 9 บ่อ คิดเป็นร้อยละ 16.36 ค่าเฉลี่ยของปริมาณออกซิเจนที่ปากบ่อ , กลางบ่อ และก้นบ่ออยู่ที่ 20.32% , 19.47% และ17.91% ตามลำดับ ระดับต่ำสุดที่ตรวจพบคือ 0.3% อยู่ที่ระดับความลึก 10 เมตรจากปากบ่อและเป็นบ่อเดียวกันกับที่มีคนเสียชีวิต

สุธาทิพย์ บูรณสถิตนนท์ และคณะ (2564) ได้ทำการสอบสวนโรคกรณีผู้เสียชีวิต 2 ราย ในที่อับอากาศ จากการขุดลอกบ่อบาดาลปลอกคอนกรีตแห่งหนึ่ง อำเภอบางขัน จังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อยืนยันการวินิจฉัยและอธิบายการเกิดเหตุการณ์การเสียชีวิตในที่อับอากาศ โดยทำการศึกษาข้อมูลทั่วไปและสำรวจสภาพของสิ่งแวดล้อมรอบบ่อบาดาล ได้แก่ ลักษณะบ่อ กลิ่นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และใช้เครื่องมือตรวจวัดก๊าซเพื่อตรวจหาปริมาณก๊าซพิษ ซึ่งจะทำการวัดปริมาณก๊าซ 4 ชนิด พร้อมกัน ได้แก่ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และก๊าซมีเทน จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซในบ่อบาดาลที่เกิดเหตุและบ่อใกล้เคียง พบว่าในระยะความลึก 3 เมตรจากปากบ่อมีปริมาณก๊าซออกซิเจนอยู่เพียง 16% และ16.8% ตามลำดับ และจากการวัดปริมาณก๊าซพิษอื่นๆที่ความลึก 1-6 เมตรจากปากบ่อพบว่าไม่พบปริมาณของก๊าซพิษ จึงเป็นข้อสันนิษฐานว่าการเสียชีวิตของผู้ประสบเหตุในครั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากการขาดก๊าซออกซิเจนขณะที่ลงไปปฏิบัติงาน

กันต์ธกรณ์ เขาทอง และวีรชัย ชัยวรพฤกษ์ (2559) ได้ทำการศึกษาการไหลของอากาศในท่อลมผ้าใบเคลือบพีวีซี เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวเลขเรย์โนลด์กับเฟกเตอร์ของแรงเสียดทาน ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความดันสูญเสียต่อเมตรจากการทดลองการไหลของอากาศภายในท่อลมผ้าใบเคลือบพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 และ 0.35 เมตร โดยตำแหน่งการวัดความเร็วลมจะยึดตาม ASHRAE standard ในทุกการทดลองจะทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย จากการทดลองพบว่าค่าเฟกเตอร์ความเสียดทานการไหลของอากาศในท่อลมผ้าใบเคลือบพีวีซีมีค่าผกผันกับตัวเลขเรย์โนลด์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างขนาดของท่อกับค่าเฟกเตอร์ความเสียดทานแล้วพบว่าท่อที่มีขนาดใหญ่จะมีค่าเฟกเตอร์ความเสียดทานน้อยกว่าท่อที่มีขนาดเล็ก ความดันสูญเสียจะแปรผันตรงกับความเร็วแต่จะแปรผกผันกับขนาดของท่อ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ศิริพร เพชรชำนาญ และคณะ (2561) ได้สร้างแอพพลิเคชั่นตรวจจับก๊าซไวไฟด้วยเทคโนโลยี IOT โดยใช้เซนเซอร์ MQ2 ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไวไฟในหน่วย ppm ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP 8266 สำหรับประมวลผล จากนั้นจะส่งค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไวไฟที่อ่านได้ไปเก็บไว้บน NETPIE และเมื่อปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไวไฟมีค่าสูงเกินกว่าที่ตั้งไว้ ระบบจะส่งสัญญาณแจ้งเตือนไปยังแอพพลิเคชั่นผ่าน NETPIE ได้ทำการทดสอบอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่องตรวจวัดก๊าซ Gas Leak Detector EWOO EW401 พบว่าเครื่องตรวจวัดก๊าซ Gas Leak Detector EWOO EW401 ไม่สามารถบอกปริมาณก๊าซที่เจอได้ จะบอกแค่ระดับสถานะผ่านสี แต่ระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถแสดงข้อมูลได้ทั้งกราฟและตัวเลข แบบ Real-time ในต้นทุนที่ต่ำกว่า

จิรเดช ศรีพรงาม และคณะ (2563) ได้พัฒนาแพลตฟอร์มการส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือภายในยานหาหนะที่มีการเคลื่อนที่โดยการนำเทคโนโลยี Narrow-Band Internet of things (NB-IOT) มาประยุกต์ใช้ในการส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือจากเครื่องส่งสัญญาณ โดยนำเซนเซอร์ตรวจจับปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (MQ 9) และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (DHT 21) มาใช้ในการบันทึกผลและแสดงค่าข้อมูลส่งผ่านมาตรฐานโครงข่ายที่ใช้พลังงานต่ำ ตัวระบบที่พัฒนาขึ้นจะส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือจาก 2 กรณี คือ 1.ผู้ใช้งานกดปุ่มขอความช่วยเหลือ และ 2.เซนเซอร์ตรวจจับความผิดปกติของอุณหภูมิและปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกินค่ามาตรฐาน การแจ้งเตือนจะแจ้งเตือนในรูปแบบ Notification และส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพาของผู้ติดตาม บนแอปพลิเคชั่นที่ถูกพัฒนาขึ้นจะแสดงข้อมูลดังนี้ 1.ตำแหน่งที่ได้จากเซนเซอร์ Neo 6mv2 GPS 2.ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ตรวจวัดได้จากเซนเซอร์ MQ 9 3.อุณหภูมิจากเซนเซอร์ DHT21 4.ผลการเปรียบเทียบของข้อมูลอุณหภูมิกับปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และ 5.ข้อมูลผลกระทบหากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าสู่ร่างกาย จากข้อมูลอุณหภูมิและปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ จากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบพบว่าเครื่องส่งสัญญาณและแอปพลิเคชั่นบนอุปกรณ์พกพาสามารถทำงานได้จริง ใช้พลังงานต่ำ เชื่อมต่อได้สะดวก ระยะเวลาในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับระยะทางในลักษณะของความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น

ชูศักยฐ์ กมลขันติธร และคณะ (2563) ได้นำเสนอเครื่องวัดคุณภาพอากาศภายในรถยนต์ การออกแบบจะคำนึงถึงปริมาณก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ตัวเครื่องนี้จะใช้เซนเซอร์ ME2-O2 สำหรับตรวจวัดปริมาณก๊าซออกซิเจน เซนเซอร์ SenseAir S8 สำหรับตรวจวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และเซนเซอร์ MQ-7 สำหรับตรวจวัดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ใช้ Arduino Uno ในการประมวลผลและเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้กับค่าที่

กำหนด จากนั้นจะส่งค่าที่อ่านได้ไปแสดงผลยังส่วนแสดงผลและแจ้งเตือน ก่อนทำการทดสอบได้ทำการสอบเทียบเครื่องวัดคุณภาพอากาศภายในรถยนต์กับเครื่องมาตรฐาน พบว่าเครื่องวัดระดับก๊าซออกซิเจนมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 2.32 % เมื่อเทียบกับเครื่องวัดระดับก๊าซออกซิเจนมาตรฐาน รุ่น PONPE 310-O2 เครื่องวัดระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 1.2 % เมื่อเทียบกับเครื่องวัดระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาตรฐาน รุ่น MIC CO2 และเครื่องวัดระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 2.74 % เมื่อเทียบกับเครื่องวัดระดับก๊าซออกซิเจนมาตรฐาน รุ่น EXTECH CO/CO2 โดยการทดสอบจะทำการติดตั้งเครื่องวัดคุณภาพอากาศไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางห้องโดยสารของรถยนต์ขนาด 1,800 ซีซี แบ่งการทดสอบออกเป็น 4 กรณี คือ 1.รถวิ่งด้วยความเร็ว 60-80 กิโลเมตร/ชั่วโมง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสารอยู่ที่ 3,566.93 ppm ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐาน เนื่องจากมีบุคคลอยู่ภายในรถจึงทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ค่อยๆสูงขึ้น 2.รถจอดนิ่งกลางแจ้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมีค่าอยู่ในช่วงที่ปลอดภัย ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย 3.รถจอดนิ่งกลางแจ้งและปล่อยควันท่อไอเสียเข้าในรถยนต์เป็นเวลา 30 นาที พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องโดยสารอยู่ที่ 124 ppm ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน และ4.จอดนิ่งกลางแจ้งและปล่อยควันธูปด้านในรถยนต์ พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องโดยสารอยู่ที่ 1,183 และ 222.9 ppm ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน เนื่องจากการเผาไหม้ของธูปทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และธูปที่เผาไหม้ไม่หมดทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

Steffy Thankam Wilson et al. (2019) ได้นำเทคโนโลยี IOT มาประยุกต์ใช้สำหรับการออกแบบและสร้าง “ถังขยะอัจฉริยะสำหรับการจัดการของเสียด้วยเทคโนโลยี IOT” โดยใช้ Ultrasonic Sensor เป็นตัวตรวจจับปริมาณขยะในถังและใช้ MQ136 H_2S gas sensor เป็นตัวตรวจจับกลิ่นที่เกิดจากของเสียภายในถังขยะ เนื่องจากของเสียที่เกิดจากการหมักหมมหรือย่อยสลายโดยธรรมชาติจะก่อให้เกิดก๊าซไข่เน่า ซึ่งเมื่อก๊าซชนิดนี้มีปริมาณที่สูงขึ้นเกินกว่าค่ามาตรฐานจะก่อให้เกิดอันตรายต่อชีวิตและใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP 8266 ในการรับ ประมวลผล และส่งข้อมูล โดยตัวระบบจะตรวจจับปริมาณขยะและปริมาณก๊าซไข่เน่า จากนั้นจะแสดงผลผ่านหน้าจอเพื่อแสดงข้อมูลปัจจุบันแบบ Real-time ไปยังส่วนกลางเพื่อที่แจ้งเตือนปริมาณขยะและปริมาณก๊าซไข่เน่าที่เกิดขึ้น โดยการใช้เทคโนโลยี IOT ในการเชื่อมต่อและสื่อสารระหว่างปริมาณขยะและปริมาณก๊าซไข่เน่าที่เกิดขึ้นกับหน้าจอแสดงผล

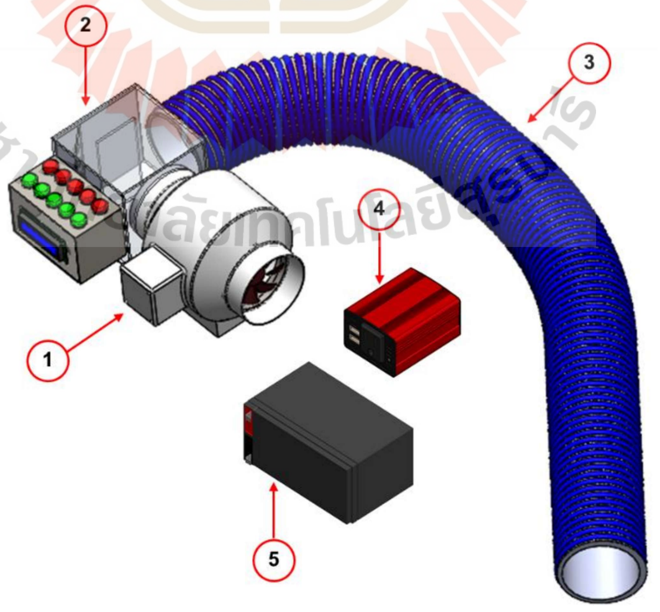
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้นำเสนอขั้นตอนการดำเนินการออกแบบและสร้างชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่เพื่อให้ผู้ที่ปฏิบัติงานในพื้นที่อับอากาศหรือผู้ที่สนใจสามารถนำไปปรับปรุงและประยุกต์ใช้ได้ โดยมีการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 แนวคิดการออกแบบชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่

ในการออกแบบชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่จะออกแบบชุดอุปกรณ์ให้สามารถใช้งานในที่อับอากาศได้สะดวก น้ำหนักเบา ต้นทุนต่ำ สามารถใช้ได้ทั้งกับไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ และรองรับอัตราการไหลเวียนของอากาศไม่น้อยกว่า 6 ACH โดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS 2021 ในการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

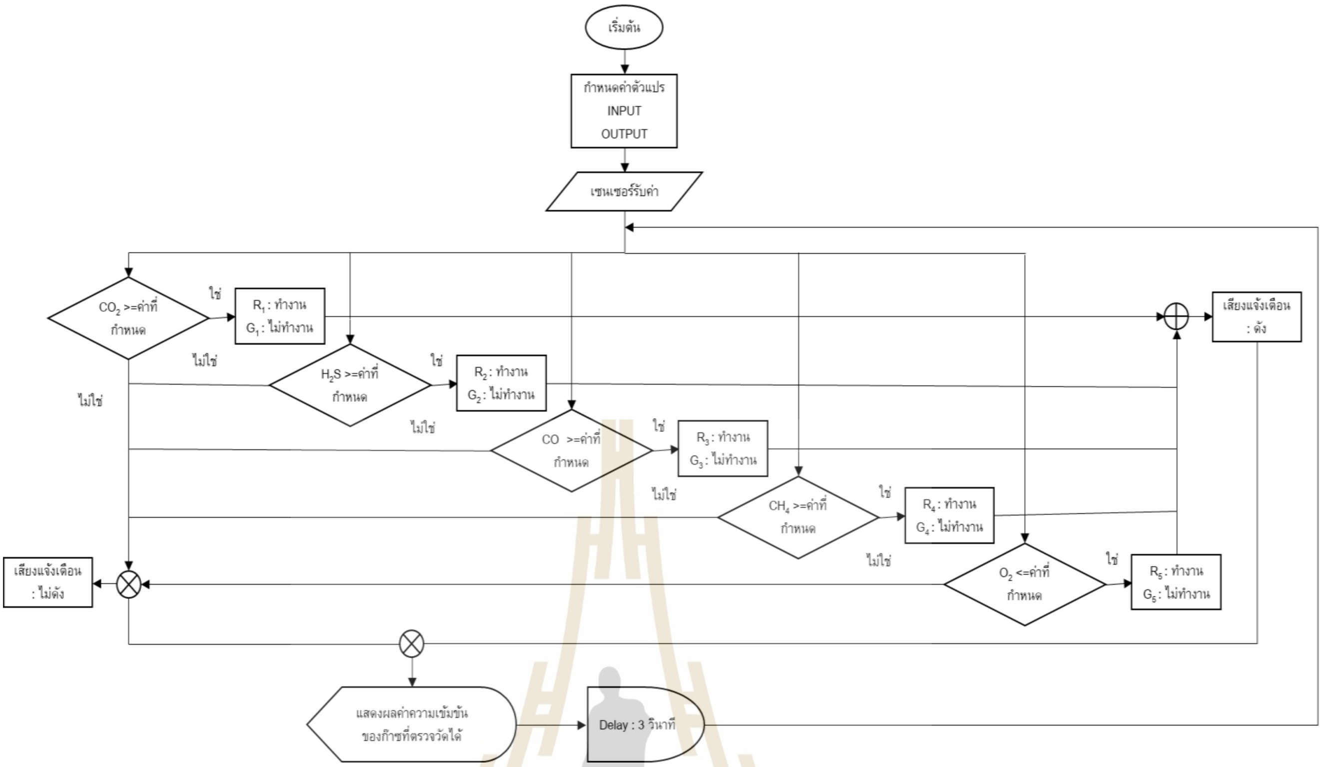


รูปที่ 3.1 การออกแบบชุดระบายอากาศในที่อับอากาศ

ชุดอุปกรณ์ที่ออกแบบจะประกอบด้วย หมายเลข 1 คือ พัดลมระบายอากาศ หมายเลข 2 คือ ชุดตรวจสอบสภาพอากาศออกแบบเป็นกล่อง 4 เหลี่ยมขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร และลึก 20 เซนติเมตร ภายในประกอบด้วยเซนเซอร์วัดก๊าซ 5 ชนิด ได้แก่ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซมีเทน เชื่อมต่อเข้ากับกล่องควบคุมขนาดกว้าง 19.50 เซนติเมตร สูง 14.50 เซนติเมตร และลึก 10.50 เซนติเมตร ภายในประกอบด้วย บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Mega 2560 อุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้าจากกระแสสลับ 220 โวลต์เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ บอร์ดแปลงไฟ DC to DC STEP DOWN หน้าจอแสดงผลค่าความเข้มข้นของก๊าซที่วัดได้ ระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยประกอบด้วยหลอดไฟแอลอีดีสีเขียวและสีแดงอย่างละ 5 หลอด (แทนก๊าซที่ตรวจวัดได้ทั้ง 5 ชนิด) และโมดูลเสียงแจ้งเตือน หมายเลข 3 คือ ท่อดูดอากาศ หมายเลข 4 คือ อุปกรณ์สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ และหมายเลข 5 คือ แบตเตอรี่ใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับชุดอุปกรณ์

ชุดตรวจสอบสภาพอากาศที่ออกแบบขึ้นจะมีเซนเซอร์วัดก๊าซทั้ง 5 ชนิดติดตั้งอยู่ภายในอากาศที่อยู่ภายในที่อับอากาศจะถูกดูดขึ้นมาโดยพัดลมระบายอากาศผ่านทางท่อดูดอากาศ อากาศที่ถูกดูดขึ้นมาจะไหลผ่านหัวเซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซทั้ง 5 ชนิด จากนั้นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Mega 2560 จะทำการประมวลผลค่าความเข้มข้นของก๊าซที่วัดได้แต่ละชนิดเพื่อควบคุมการทำงานของระบบแจ้งเตือน ค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ตรวจวัดได้แต่ละชนิดแสดงผลทางจอแสดงผล เงื่อนไขการทำงานของระบบเป็นไป ดังแสดงในรูปที่ 3.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.2 ผังแสดงการทำงานของระบบที่ออกแบบ

การทำงานของระบบจะเริ่มจากการกำหนดค่าตัวแปรที่จะใช้เป็นเงื่อนไขการทำงานในส่วนของการแจ้งเตือนความปลอดภัย เซนเซอร์จะทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซทั้ง 5 ชนิดและส่งข้อมูลที่เซนเซอร์รับค่าได้ในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล ควบคุมการทำงานในส่วนของการแจ้งเตือนความปลอดภัย และแสดงผลไปยังหน้าจอแสดงผลภายใต้รหัสโปรแกรมที่เขียนไว้ เงื่อนไขการทำงานของระบบจะเริ่มจากการพิจารณาค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ตามลำดับ เมื่อปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดหรือปริมาณก๊าซออกซิเจนมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด หลอดไฟแสดงสถานะความปลอดภัยของแต่ละก๊าซจะแสดงสถานะเป็นสีแดง (ไม่ปลอดภัย) และจะมีเสียงแจ้งเตือนดัง เสียงแจ้งเตือนจะดับลงและหลอดไฟแสดงสถานะความปลอดภัยของแต่ละก๊าซจะแสดงสถานะเป็นสีเขียว (ปลอดภัย) เมื่อปริมาณก๊าซทั้ง 5 ชนิดอยู่ในช่วงที่ปลอดภัยคือเมื่อปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดหรือปริมาณก๊าซออกซิเจนมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนด การทำงานของระบบจะแยกพิจารณาเป็นก๊าซแต่ละชนิด ดังนั้นเมื่อเซนเซอร์วัดก๊าซตัวใดตัวนึงเสียจะไม่ส่งผลถึงเซนเซอร์วัดก๊าซตัวอื่น

3.2 การเขียนรหัสโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานและแสดงผลของระบบ

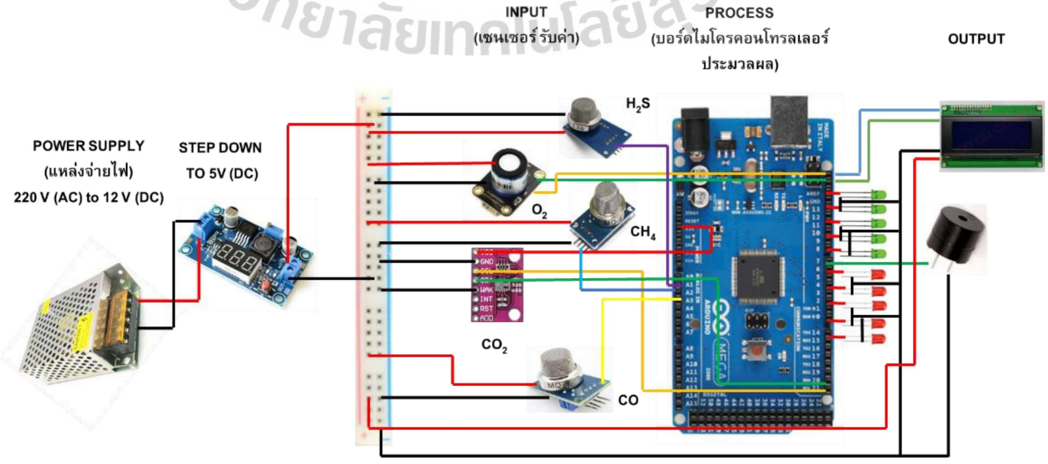
การเขียนรหัสโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานและแสดงผลของระบบจะใช้ภาษาซีในการเขียนรหัสโปรแกรมผ่านโปรแกรม Arduino IDE เพื่ออ่านค่าปริมาณก๊าซทั้ง 5 ชนิด ควบคุมการทำงานในส่วนของระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยและแสดงผลค่าปริมาณก๊าซทั้ง 5 ชนิดบนหน้าจอแสดงผล ดังแสดงในรูปที่ 3.3

```
//CO2
#include "Adafruit_CCS811.h"
Adafruit_CCS811 ccs;
//I2C O2 SS
#include "DFRobot_OxygenSensor.h"
#define COLLECT_NUMBER 10 // collect number,
#define Oxygen_IICAddress ADDRESS_3
DFRobot_OxygenSensor Oxygen;
//136
#define MQ_136 A1
float MQ_136_fc(int);
float Rs;
//MQ4
#define gas_sensor A2 //Sensor pin
float m = -0.318; //Slope
float b = 1.133; //Y-Intercept
float R0 = 5.5; //Sensor Resistance in fresh
//MQ 9
#define MQ_9 A3
//LCD
#include <Wire.h>
```

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างรหัสโปรแกรมควบคุมการทำงานและแสดงผลของระบบ

3.3 การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบการทำงาน การแจ้งเตือน และการแสดงผลของระบบ

การต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบการทำงาน การแจ้งเตือน และการแสดงผลของระบบที่ออกแบบขึ้นเป็นไปตามผังแสดงการต่ออุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ผังแสดงการต่ออุปกรณ์

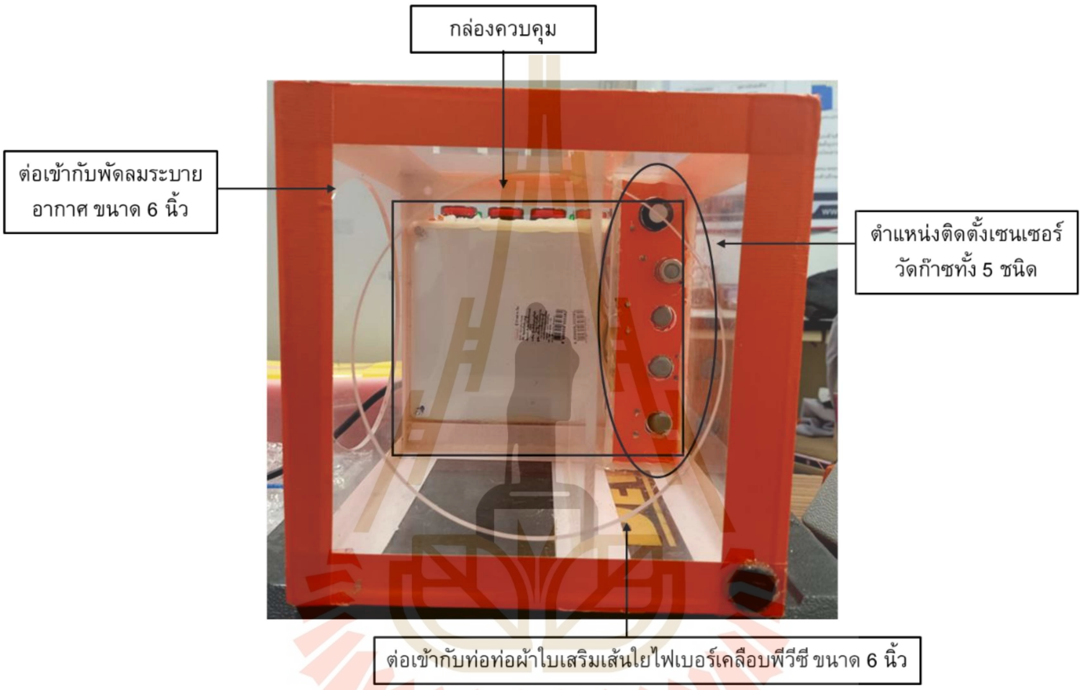
ชุดอุปกรณ์จะประกอบด้วย อุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้าจากกระแสสลับ 220 โวลต์เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ (Switching Power supply) กระแส 5 แอมป์ใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับระบบ จากนั้นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ถูกจ่ายผ่านบอร์ดแปลงไฟ DC to DC STEP DOWN LM2596S แบบมีจอวัดระดับแรงดันที่ขาเข้าและขาออกของตัวอุปกรณ์ เพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าลงให้เท่ากับ 5 โวลต์ ให้สามารถใช้งานได้กับอุปกรณ์ที่ประกอบด้วย เซนเซอร์ Gravity: Electrochemical Oxygen Sensor สำหรับตรวจวัดปริมาณก๊าซออกซิเจน เซนเซอร์ MQ-136 Gas Sensor Module สำหรับตรวจวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เซนเซอร์ MQ-4 Gas Sensor Module สำหรับตรวจวัดปริมาณก๊าซมีเทน เซนเซอร์ MQ-9 Gas Sensor Module สำหรับตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เซนเซอร์ CCS 811 Monitoring Indoor Air Quality Digital Gas Sensor สำหรับตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ใช้แรงดันไฟฟ้า 3.3 โวลต์ในการทำงานซึ่งสามารถใช้แรงดันไฟฟ้าจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 ได้เนื่องจากมีตัวปรับแรงดันไฟฟ้าอยู่ภายในทำให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตมีทั้ง 3.3 โวลต์และ 5 โวลต์) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 สำหรับประมวลผล ควบคุม และสั่งการทำงานของอุปกรณ์ จอแอลซีดี ขนาด 20 ตัวอักษร 4 แถว สำหรับแสดงผลค่าความเข้มข้นของก๊าซที่วัดได้ทั้ง 5 ชนิด หลอดไฟแอลอีดีแสดงสถานะความปลอดภัยทั้ง 10 หลอด (สีเขียวและสีแดงอย่างละ 5 หลอดแทนสถานะความปลอดภัยของก๊าซทั้ง 5 ชนิด สีเขียวคือปลอดภัย สีแดงคือไม่ปลอดภัย) และโมดูลเสียงแจ้งเตือนสถานะความปลอดภัย มีเงื่อนไขการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.2

3.4 การสร้างชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่

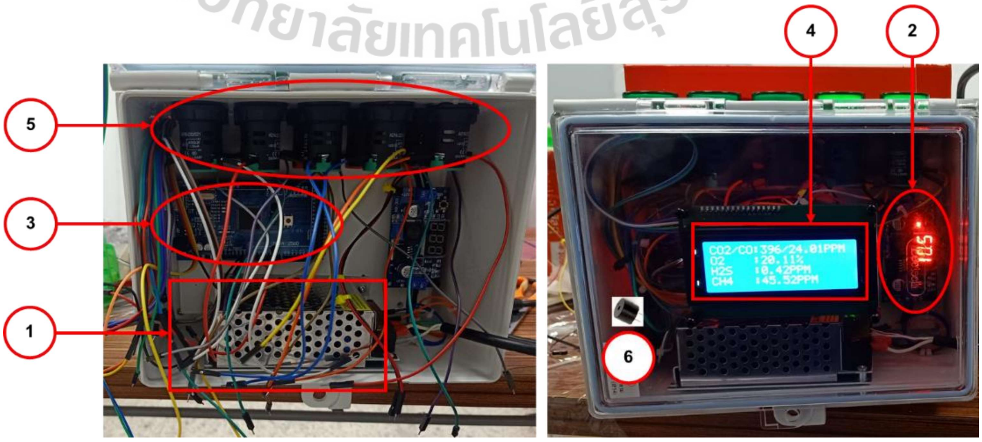
การสร้างชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศจะใช้แผ่นอะคริลิกใสขนาดกว้าง 30 มิลลิเมตร สูง 30 มิลลิเมตร และหนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 6 แผ่น มาตัดเป็นแผ่น 4 เหลี่ยม ขนาดกว้าง 19 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น (นำไปเจาะรูตรงกลางขนาดเส้นผ่าน 15 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่นเพื่อต่อเข้ากับท่อท่อผ้าใบเสริมเส้นใยไฟเบอร์เคลือบพีวีซี ขนาด 6 นิ้ว) ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น ขนาดกว้าง 19 เซนติเมตร สูง 19 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น (นำไปเจาะรูตรงกลางขนาดเส้นผ่าน 15 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่นเพื่อต่อเข้ากับพัดลมระบายอากาศ ขนาด 6 นิ้ว) จากนั้นทำการประกอบอะคริลิกเป็นกล่อง 4 เหลี่ยมขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร และลึก 20 เซนติเมตร ด้วยน้ำยาประสานอะคริลิก ด้านใน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กล่องจะติดตั้งเซนเซอร์วัดก๊าซทั้ง 5 ชนิด ตัวกล่องอะคริลิกจะเชื่อมต่อเข้ากับกล่องควบคุมการทำงานชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศขนาดกว้าง 19.50 เซนติเมตร สูง 14.50 เซนติเมตร และลึก 10.50 เซนติเมตร บริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นอะคริลิกจะถูกปิดด้วยกาวร้อนเพื่อป้องกันอากาศรั่วไหล ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่



รูปที่ 3.6 กล่องควบคุมการทำงานชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กล่องควบคุมการทำงานชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศประกอบด้วย หมายเลข 1 คือ อุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้าจากกระแสสลับ 220 โวลต์เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ (Switching Power supply) กระแส 5 แอมป์ ใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับระบบ หมายเลข 2 คือ บอร์ดแปลงไฟ DC to DC STEP DOWN LM2596S ปรับแรงดันไฟฟ้าลงให้เท่ากับ 5 โวลต์ให้ใช้งานได้กับอุปกรณ์ (ดังหัวข้อ 3.3) หมายเลข 3 คือ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 สำหรับประมวลผล ควบคุม และสั่งการทำงานของอุปกรณ์ หมายเลข 4 คือ จอแอลซีดี ขนาด 20 ตัวอักษร 4 แถว สำหรับแสดงผลค่าความเข้มข้นของก๊าซที่วัดได้ทั้ง 5 ชนิด หมายเลข 5 คือ หลอดไฟแอลอีดีแสดงสถานะความปลอดภัย 10 หลอด (สีเขียวและสีแดงอย่างละ 5 หลอด) และหมายเลข 6 คือ โมดูลเสียงแจ้งเตือนสถานะความปลอดภัย การต่ออุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ภายใต้เงื่อนไขการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.2

นำชุดตรวจสอบสภาพอากาศที่สร้างขึ้นต่อเข้ากับพัดลมระบายอากาศขนาด 6 นิ้วใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์ กระแส 0.22 แอมป์ กำลัง 75 วัตต์ อัตราการไหลเวียนของอากาศ 540 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พัดลมระบายอากาศที่เลือกใช้สามารถทำงานได้ทั้งในลักษณะของการดูดอากาศคือดูดเอาอากาศพิษที่อยู่ภายในที่อับอากาศออกมาเจือจางที่บรรยากาศภายนอก และลักษณะของการเป่าคือการเติมอากาศบริสุทธิ์เข้าไปในที่อับอากาศทำให้มีปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อการปฏิบัติงาน จากนั้นต่อเข้ากับท่อผ้าใบเสริมเส้นใยไฟเบอร์เคลือบพีวีซี ขนาด 6 นิ้ว ยาว 6 เมตร ยืดหยุ่นสูง สามารถดัด โค้ง งอตามทิศทางที่ต้องการได้ ทนต่อความชื้น เชื้อรา ทนต่อแรงดันและแรงดูดได้ดี เนื่องจากลักษณะของที่อับอากาศในบางพื้นที่ไม่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ทำให้พัดลมระบายอากาศและชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศไม่สามารถทำงานได้ จึงมีการออกแบบชุดอุปกรณ์สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้แบตเตอรี่แห้งขนาด 12 โวลต์ 12 แอมป์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับชุดอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.7

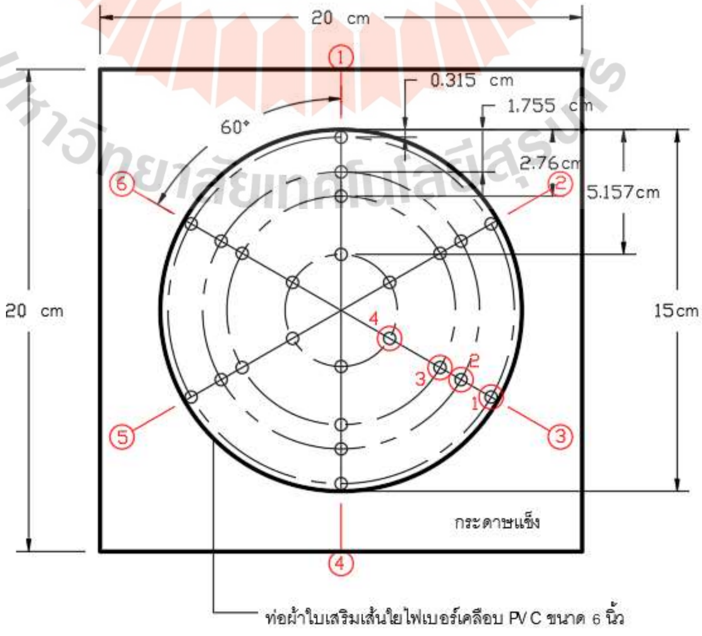
รูปที่ 3.7 ชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่

3.5 การทดสอบการทำงานชุดระบายอากาศในที่อับอากาศ

การทดสอบการทำงานชุดระบายอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่เป็นการทดสอบเพื่อหาความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการไหลของอากาศภายในท่อผ้าใบเสริมเส้นใยไฟเบอร์เคลือบพีวีซี ขนาด 6 นิ้วที่ต่อเข้ากับพัดลมระบายอากาศขนาด 6 นิ้ว อัตราการไหลเวียนของอากาศ 540 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยจะทำการทดสอบที่ความยาวท่อ 3,4,5 และ 6 เมตร อัตราการไหลของอากาศ 240,340,440 และ 540 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จะทำการทดสอบทั้งในกรณีของของการดูดอากาศและการเป่าอากาศ เริ่มจากการปรับค่าเพื่อหาอัตราการไหลที่จะใช้สำหรับทำการทดสอบโดยทำการต่อท่อลมออกมาจากพัดลมระบายอากาศ (ดังแสดงในรูปที่ 3.8) ยึดปลายท่อด้วยกระดาษแข็งที่ตัดเป็นรูป 4 เหลี่ยม ขนาด 20 x 20 เซนติเมตร ตรงกลางเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ทำสัญลักษณ์ตำแหน่งการวัดความเร็วลมทั้ง 6 ตำแหน่งไว้บนกระดาษแข็ง (อ้างอิงจาก ASHRAE standard 41.2-1987 ดังแสดงในรูปที่ 2.5) (ดังแสดงในรูปที่ 9) จากนั้นทำการยึดกระดาษแข็งเข้ากับปลายท่อ ทำการคำนวณหาความเร็วลมที่ต้องทำการปรับจากอัตราการไหลที่ทำการทดสอบ (จากสมการที่ 1) จุดที่จะใช้วัดความเร็วจะอ้างอิงจาก ASHRAE standard 41.2-1987 (ดังแสดงในรูปที่ 2.5) โดยการทำสัญลักษณ์ไว้ที่หัวมาตรวัดความเร็วลมแบบเส้นลวดร้อน (Hot wire anemometer)

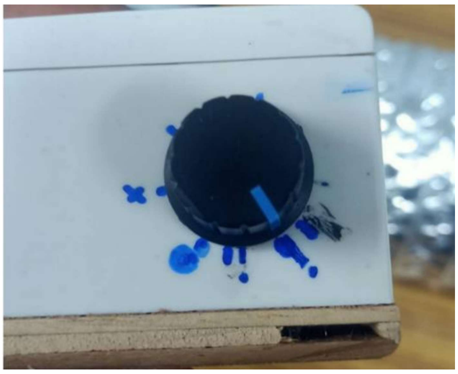
จะได้จุดที่ทำการวัดความเร็วลมทั้งหมด 24 จุด การปรับความเร็วลมจะใช้วิธีการปรับจากโมดูลปรับแรงดันไฟฟ้า (Dimmer AC 220 V 2,000 W) โดยการลดแรงดันไฟฟ้าเพื่อทำให้มอเตอร์หมุนช้าลงทำให้ความเร็วและอัตราการไหลของอากาศลดลง ทำการปรับอัตราการไหลของอากาศให้ใกล้เคียงกับอัตราการไหลที่ทำการทดสอบโดยการปรับจากความเร็วลมให้มีค่าใกล้เคียงกับความเร็วลมจากอัตราการไหลที่ต้องการทดสอบ การวัดความเร็วลมจะใช้วิธีการวัดจุดละ 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าความเร็วเฉลี่ยและทำการคำนวณเพื่อหาค่าอัตราการไหล จากนั้นทำสัญลักษณ์ตำแหน่งอัตราการไหลที่จะทำการทดสอบไว้บนโมดูลปรับแรงดันไฟฟ้า (ดังแสดงในรูปที่ 3.10)

รูปที่ 3.8 ต่อท่อลมเข้ากับพัดลมระบายอากาศ ยึดปลายท่อด้วยกระดาษแข็ง



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งและจุดวัดความเร็วลม

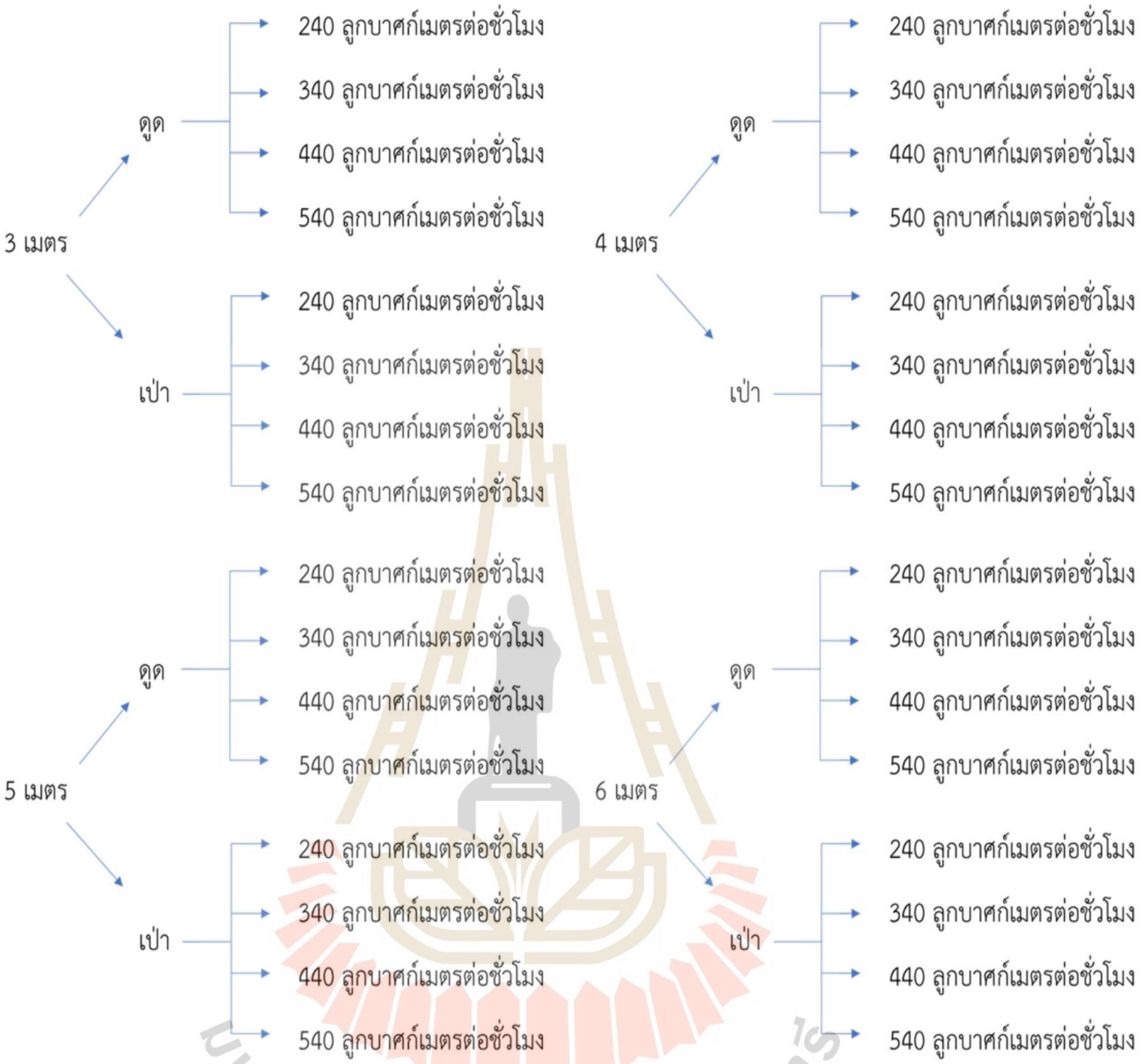
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.10 โมดูลปรับแรงดันไฟฟ้า (Dimmer AC 220 V 2,000 W) และการทำสัญลักษณ์อัตราการไหลที่ทำการทดสอบ

จากนั้นทำการต่อท่อผ้าใบเสริมเส้นใยไฟเบอร์เคลือบ PVC ขนาด 6 นิ้วเข้ากับพัดลมระบายอากาศในลักษณะของการเป่าอากาศ ปรับอัตราการไหลเท่ากับ 240 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ยืดท่อออกมาที่ระยะ 3 เมตร (วัดจากปากทางออกของพัดลมระบายอากาศถึงปลายท่อ) เพื่อทำการวัดความดันภายในท่อตามจุดวัดที่กำหนด (กำหนดจุดวัดจากการแบ่งความยาวท่อออกเป็น 4 ระยะเท่ากัน) ได้แก่ จุดวัดที่ตำแหน่ง 0,0.75,1.50,2.25 และ 3 เมตรตามลำดับ การวัดความดันภายในท่อจะเป็นการวัดความดันสถิตย์ที่เกิดขึ้นภายในท่อ (ที่ผิวท่อ) เทียบกับความดันบรรยากาศ โดยใช้มาโนมิเตอร์ (Manometer) ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 922 Airflow Meter/Micromanometer ในการวัดค่า ทำการวัดจุดละ 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย (ดังแสดงในรูปที่ 3.11) จากนั้นทำการบันทึกค่าและทำการทดสอบเงื่อนไขที่เหลือรวมทั้งหมด 32 กรณี (ดังแสดงในรูปที่ 3.12) โดยมีการกำหนดจุดวัดที่ระยะความยาวท่อ 3,4,5 และ 6 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.13 และ 3.14

รูปที่ 3.11 การวัดความดันภายในท่อโดยใช้มาโนมิเตอร์ (Manometer) ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 922 Airflow Meter/Micromanometer

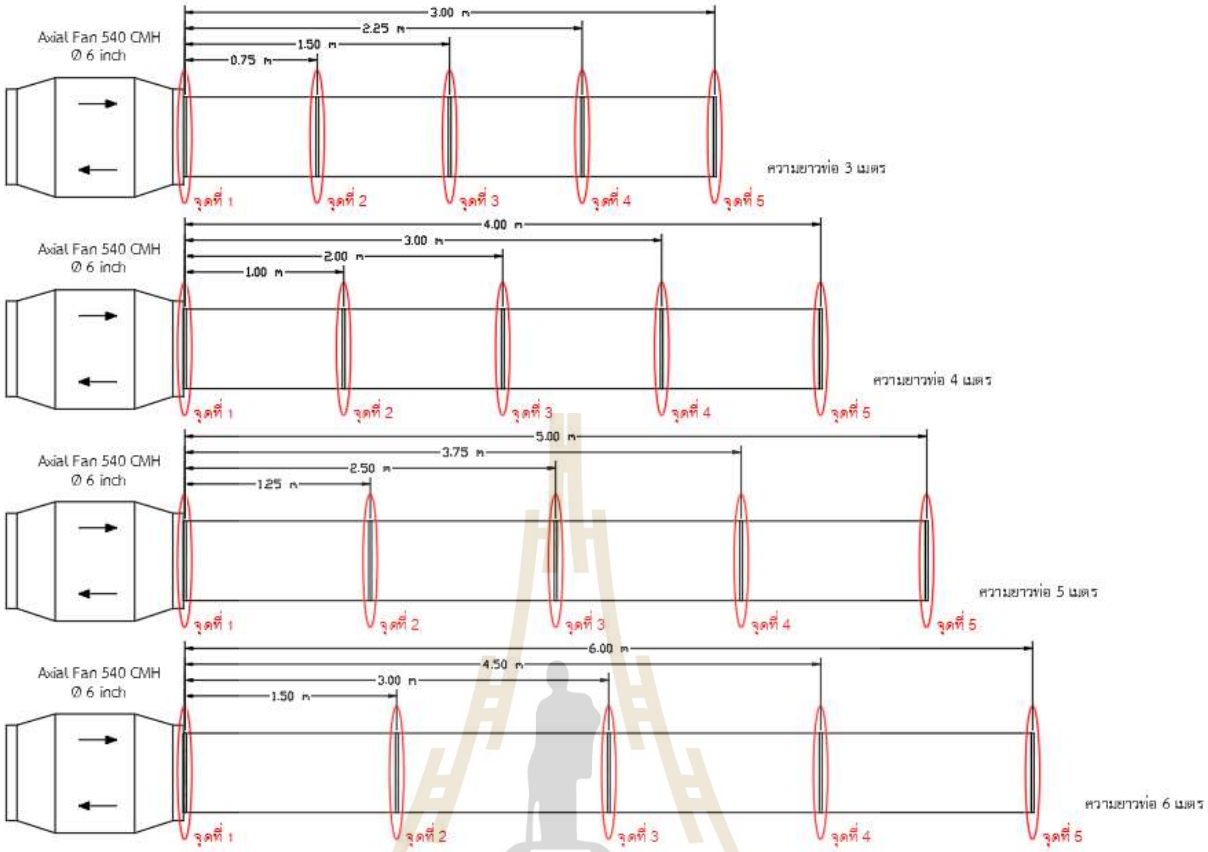


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3.12 เงื่อนไขการทดสอบทั้ง 32 กรณี

ระยะความยาวท่อ	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
3 เมตร (ระยะห่าง 0.75 เมตร)	0.00 เมตร	0.75 เมตร	1.50 เมตร	2.25 เมตร	3.00 เมตร
4 เมตร (ระยะห่าง 1.00 เมตร)	0.00 เมตร	1.00 เมตร	2.00 เมตร	3.00 เมตร	4.00 เมตร
5 เมตร (ระยะห่าง 1.25 เมตร)	0.00 เมตร	1.25 เมตร	2.50 เมตร	3.75 เมตร	5.00 เมตร
6 เมตร (ระยะห่าง 1.50 เมตร)	0.00 เมตร	1.50 เมตร	3.00 เมตร	4.50 เมตร	6.00 เมตร

รูปที่ 3.13 จุดวัดทั้ง 5 จุดของความยาวท่อ 3,4,5 และ 6 เมตร



รูปที่ 3.14 จุดวัดทั้ง 5 จุดของความยาวท่อ 3,4,5 และ 6 เมตร

จากนั้นทำการหาค่าการสูญเสียหลักที่เป็นผลมาจากความเสียดทานภายในท่อตลอดความยาวท่อ (ดังสมการที่ 3) โดยค่า ΔP จะเท่ากับผลต่างของความดันที่จุดที่ 1 กับ จุดที่ 5 (ดังแสดงในรูปที่ 3.14) ของแต่ละความยาวท่อ แต่ละอัตราการไหล ค่า g เท่ากับ 9.81 m/s^2 และค่า ρ เท่ากับ 1.184 kg/m^3 (ค่าความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส)

3.6 การทดสอบชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศ

การทดสอบชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบ่งออกเป็น 1.การทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซในชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศที่พัฒนาขึ้น 2.การทดสอบระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยของชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศที่พัฒนาขึ้น

3.6.1 การทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซ

การทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซในชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศที่พัฒนาขึ้นจะเน้นการทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์วัดปริมาณก๊าซออกซิเจนเป็นหลัก โดยการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 1.สอบเทียบกับความเข้มข้นของ Standard Gas

Mixture ที่ความเข้มข้น 18 %Vol 2.สอบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานเครื่องวัดก๊าซ ISC รุ่น MX6 (ดังแสดงในรูปที่ 3.15) โดยทำการทดสอบกับก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 2 นาที โดยทำการบันทึกผลทุก 15 วินาที การบันทึกผลจะใช้วิธีการอ่านค่าที่วัดได้ 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของทุก 15 วินาทีมาหาค่าเฉลี่ยจะได้เป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซออกซิเจนในช่วงเวลา 2 นาทีของเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนในชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศที่พัฒนาขึ้นเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานเครื่องวัดก๊าซ ISC รุ่น MX6 3.สอบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานเครื่องวัดก๊าซ TESTO รุ่น 350 (ดังแสดงในรูปที่ 3.16) โดยการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ 1.การทดสอบเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนในชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศที่พัฒนาขึ้นเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานเครื่องวัดก๊าซ TESTO รุ่น 350 ที่สภาวะปกติ (บรรยากาศทั่วไป) และ 2.การทดสอบเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนในชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศที่พัฒนาขึ้นเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานเครื่องวัดก๊าซ TESTO รุ่น 350 โดยใช้ชุดทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะการทำงานที่ 2,000 รอบ/นาที ภาระกรรมของเครื่องยนต์ 25 นิวตันเมตรเป็นแหล่งกำเนิดไอเสียที่จะวัดทดสอบ ในการอ่านค่าปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนในชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศที่พัฒนาขึ้นเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานเครื่องวัดก๊าซ TESTO รุ่น 350 จะใช้วิธีการอ่านค่า 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ในกรณีที่ทดสอบกับไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลจะใช้วิธีการวัดที่ปลายท่อไอเสียจนค่าปริมาณออกซิเจนที่อ่านได้คงที่แล้วจะทำการบันทึกผลการอ่านค่าครั้งที่ 1 จากนั้นจะนำเซนเซอร์ออกจากบริเวณที่มีก๊าซไอเสีย (บริเวณที่อากาศบริสุทธิ์) จนปริมาณออกซิเจนที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับที่สภาวะปกติ จึงเริ่มทำการวัดครั้งที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

รูปที่ 3.15 เครื่องวัดก๊าซ ISC รุ่น MX6

รูปที่ 3.16 เครื่องวัดก๊าซ TESTO รุ่น 350

รูปที่ 3.17 ชุดทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดไอเสียที่ใช้ในการเทียบวัด

การทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศที่พัฒนาขึ้นจะใช้วิธีการสอบเทียบกับความเข้มข้นของ Standard Gas Mixture ที่ความเข้มข้น 25 PPM จากนั้นจะทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนกับปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยวิธีการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้นสูงจากถังออกมาบริเวณภายนอกแล้วใช้เครื่องวัดก๊าซ ISC รุ่น MX6 (ดังแสดงในรูปที่ 3.15) ในการอ่านค่าพร้อมทั้งจดบันทึกค่าปริมาณก๊าซออกซิเจนและปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ตั้งแต่เริ่มทำการปล่อยก๊าซจนเวลาผ่านไป 2 นาที (ดังแสดงในรูปที่ 3.18) การอ่านค่าและการจดบันทึกค่าจะเป็นแบบเรียลไทม์ที่อ่านได้จากตัวเครื่อง จากนั้นจะทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้งเพื่อบันทึกผลและหาความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซทั้ง 2 ชนิด

รูปที่ 3.18 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนกับปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเครื่องวัดก๊าซ ISC รุ่น MX6

การทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศที่พัฒนาขึ้นจะทำการสอบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานเครื่องวัดก๊าซ TESTO รุ่น 350 (ดังแสดงในรูปที่ 3.16) การทดสอบจะทำการวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล (ดังแสดงในรูปที่ 3.17) ภายใต้สภาวะการทำงานที่ 2,000 รอบ/นาที ภาระกรรมของเครื่องยนต์ 25,50 และ 75 นิวตันเมตร ตามลำดับ ในการวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในแต่ละภาระกรรมของเครื่องยนต์จะทำการวัด 3 ครั้งแล้วนำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากอุปกรณ์มาตรฐานเครื่องวัดก๊าซ TESTO รุ่น 350 ซึ่งจะใช้วิธีการวัดแบบเดียวกัน เมื่อทำการวัดค่าเสร็จในแต่ละครั้งจะนำเซนเซอร์ตรวจปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ไปวางไว้ในตำแหน่งที่ห่างจากไอเสีย (บริเวณอากาศบริสุทธิ์) เพื่อให้ค่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่อ่านได้มีค่าใกล้เคียง 0 PPM จากนั้นจึงทำการวัดครั้งถัดไป

รูปที่ 3.19 การทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศที่พัฒนาขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.6.2 การทดสอบระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยของชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศ

การทดสอบระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยของชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศที่พัฒนาขึ้นจะเน้นวิธีการทดสอบการแจ้งเตือนปริมาณออกซิเจนเป็นหลัก ซึ่งจะใช้วิธีการจำลองสภาวะที่อับอากาศ โดยใช้ปฏิกิริยาการเผาไหม้เพื่อลดปริมาณออกซิเจนในอากาศ นำอุปกรณ์ทดสอบที่พัฒนาขึ้น ไปวางไว้ในกล่องปิดเพื่อป้องกันออกซิเจนจากภายนอกเข้าไปทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ภายในกล่อง การทดสอบนี้เลือกใช้กล่องโฟมที่มีฝาปิดขนาดความกว้าง 38.50 เซนติเมตร ลึก 25.50 เซนติเมตร สูง 32.50 เซนติเมตร และหนา 3.00 เซนติเมตร มีเทียนวางอยู่ภายใน จากนั้นจะทำการจุดเทียนแล้วปิดฝากล่องโฟมและทำการบันทึกผลค่าปริมาณออกซิเจนที่เกิดขึ้น (ดังแสดงในรูปที่ 3.20) ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในกล่องโฟมจะใช้ออกซิเจนภายในกล่องเป็นองค์ประกอบหลักในปฏิกิริยาการเผาไหม้ ดังนั้นหลังจากปิดฝากล่องปริมาณออกซิเจนจะลดลงตามเวลา เมื่อปริมาณออกซิเจนมีค่าน้อยกว่าที่กำหนด (กำหนดค่าออกซิเจนเท่ากับ 18 %Vol) หลอดไฟแสดงสถานะเป็นสีแดงและมีเสียงดังแจ้งเตือนดังออกมาจากอุปกรณ์ทดสอบ จากนั้นทำการเปิดฝากล่องโฟมออกเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนในอากาศและทำการบันทึกผลค่าปริมาณออกซิเจนที่เกิดขึ้น

รูปที่ 3.20 การทดสอบระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยของชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศที่พัฒนาขึ้น

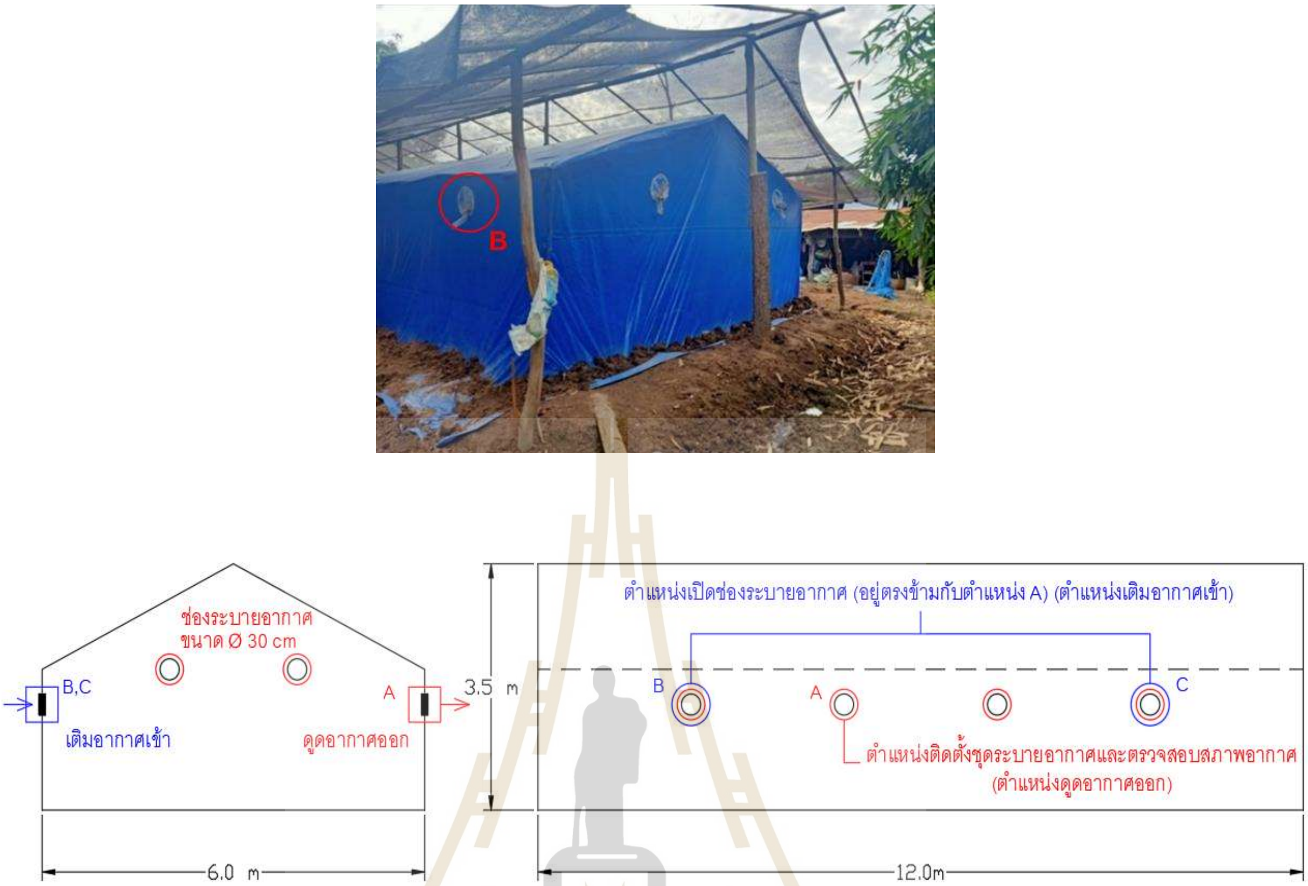
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.7 การทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่

การทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่จะเป็นการทดสอบการใช้งานชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นกับพื้นที่ปฏิบัติงานจริง 2 แห่ง ได้แก่ โรงเพาะเห็ดฟางในพื้นที่หมู่ที่ 13 บ้านทรัพย์อุดม ตำบล บ้านใหม่ อำเภอ ครบุรี จังหวัด นครราชสีมา และบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่หมู่ที่ 3 ตำบล หนองจะบก อำเภอ เมือง จังหวัด นครราชสีมา

3.7.1 การทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่กับโรงเพาะเห็ดฟาง

การทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่กับโรงเพาะเห็ดฟางในพื้นที่หมู่ที่ 13 บ้านทรัพย์อุดม ตำบล บ้านใหม่ อำเภอ ครบุรี จังหวัด นครราชสีมา ทำการทดสอบกับโรงเพาะเห็ดฟางขนาดความกว้าง 6.00 เมตร ยาว 12.00 เมตร และสูง 3.50 เมตร ลักษณะถูกปิดมิดชิดด้วยผ้าใบหนากันแสง มีช่องสำหรับเปิดระบายอากาศภายในเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30 เซนติเมตร (ดังแสดงในรูปที่ 3.21) การทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบกับโรงเรือนที่อยู่ในขั้นตอนหลังจากการอบฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ เริ่มจากการนำท่อผ้าใบเสริมเส้นใยไฟเบอร์เคลือบพีวีซี ของตัวชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นต่อเข้ากับกับชุดพัดลมระบายอากาศที่มีชุดตรวจสอบสภาพอากาศ (เซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซ 5 ชนิดพร้อมอุปกรณ์แจ้งเตือนและหน้าจอแสดงผล) ติดอยู่ก่อนถึงปากทางเข้าของพัดลมระบายอากาศ จากนั้นนำปลายท่ออีกด้านหนึ่งต่อเข้าไปภายในโรงเพาะเห็ดผ่านช่องระบายอากาศ (ดังแสดงในรูปที่ 3.22) ในการทดสอบจะเปิดช่องระบายอากาศ 2 จุด ที่อยู่ทางด้านซ้ายและด้านขวาตำแหน่งตรงข้ามกับช่องระบายอากาศที่ใช้สำหรับดูดอากาศออก เพื่อให้อากาศภายนอกเข้ามาแทนที่อากาศภายในโรงเพาะเห็ด (ดังแสดงในรูปที่ 3.21 และ 3.22) เปิดพัดลมระบายอากาศเพื่อดูดเอาอากาศพิษที่อยู่ภายในโรงเพาะเห็ดออกมาเจือจางกับอากาศทางด้านนอก อากาศจะถูกดูดผ่านเซนเซอร์ตรวจวัด ทำการบันทึกผลตามช่วงเวลาเพื่อศึกษาปริมาณออกซิเจนภายในโรงเพาะเห็ดตั้งแต่เริ่มทำการทดสอบไปจนถึงช่วงที่ปริมาณออกซิเจนภายในโรงเพาะเห็ดอยู่ในระดับที่ปลอดภัย (19.5 %Vol) เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ภายในโรงเรือนเพาะเห็ดฟางโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซในอากาศ Gasmet DX4040 (ดังแสดงในรูปที่ 3.23) (สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 จังหวัดนครราชสีมา, 2564)



รูปที่ 3.21 โรงเรือนเพาะเห็ดฟางที่ใช้ในการทดสอบ

รูปที่ 3.22 การติดตั้งชุดชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่ที่พัฒนาขึ้นเข้ากับโรงเพาะเห็ดฟาง

รูปที่ 3.23 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซในอากาศ Gasmet DX4040

3.7.2 การทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่กับบ่อน้ำบาดาล

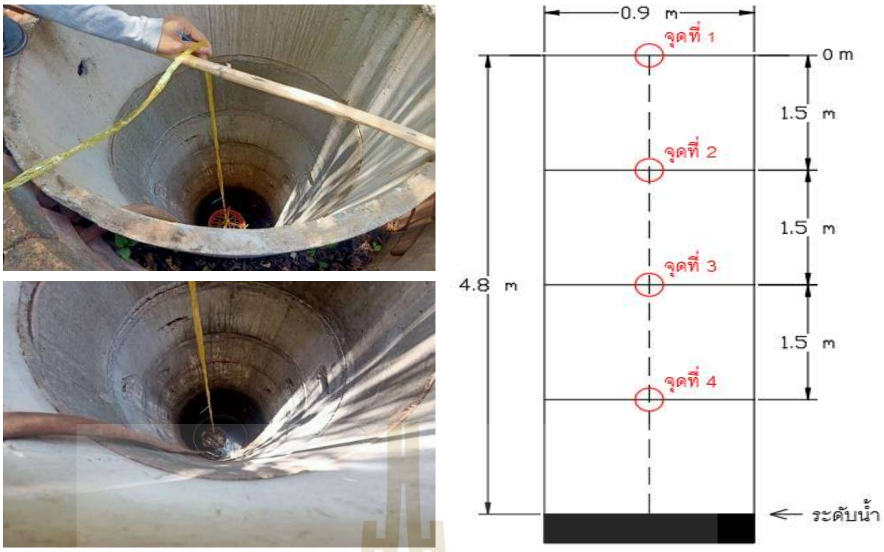
การทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่กับบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่หมู่ที่ 3 ตำบล หนองจะบก อำเภอ เมือง จังหวัด นครราชสีมา ทำการทดสอบกับบ่อน้ำบาดาลที่เป็นลักษณะของบ่อปิด (เนื่องจากเป็นบ่อเก่าไม่ได้ใช้งาน) โครงสร้างของบ่อเป็นวงบ่อคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร (ดังแสดงในรูปที่ 3.24) ลักษณะของบ่อเป็นบ่อน้ำบาดาลที่มีน้ำอยู่ภายในจากการวัดโดยใช้ตลับเมตรวัดจากปากบ่อถึงบริเวณที่มีน้ำอยู่พบว่าบ่อมีความลึกประมาณ 4.80 เมตร (ดังแสดงในรูปที่ 3.25)

รูปที่ 3.24 บ่อน้ำบาดาลที่ใช้ในการทดสอบ

รูปที่ 3.25 วัดระดับความลึกของบ่อจากตำแหน่งปากบ่อถึงก้นบ่อ (บริเวณที่มีน้ำ)

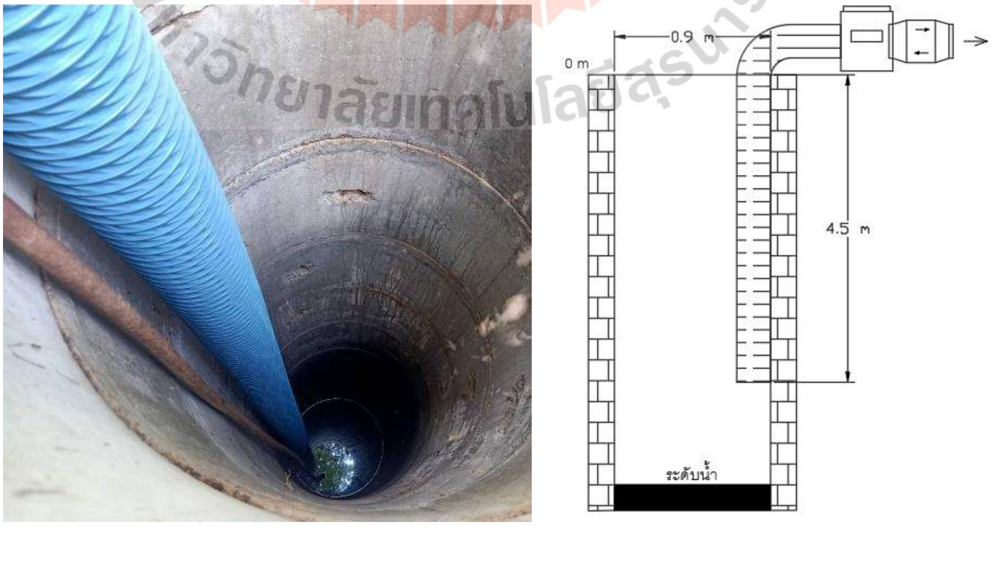
การทดสอบจะทำการวัดปริมาณออกซิเจนที่ระดับความลึกต่างๆ โดยการกำหนดระดับความลึกที่จะทำการทดสอบเป็นดังนี้ 0.00,1.50,3.00 และ 4.50 เมตรจากปากบ่อตามลำดับ โดยจะใช้วิธีการนำชุดอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนที่พัฒนาขึ้น (ในหัวข้อที่ 3.6.2) ไปวางยึดติดไว้ในตะกร้าที่จะทำการทดสอบ ผูกเชือกฟางเข้ากับตะกร้า (ดังแสดงในรูปที่ 3.26) วัดระยะเชือกฟางจากก้นตะกร้ามาเป็นระยะ 1.50,3.00 และ 4.50 เมตรตามลำดับ ทำสัญลักษณ์ไว้ตามระยะที่กล่าวมาข้างต้น ค่าปริมาณก๊าซออกซิเจนที่วัดได้จะแสดงผลมายังแอพพลิเคชั่น Line ทำการวัดออกซิเจนที่บริเวณปากบ่อแล้วบันทึกผล จากนั้นหย่อนตะกร้าลงไปในบ่อที่ระดับความลึก 1.50,3.00 และ 4.50 เมตรจากปากบ่อตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 3.27) แล้วบันทึกผล ในการวัดจะใช้วิธีการวัด 5 ครั้งที่แต่ละระดับความลึกแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย การวัดปริมาณออกซิเจนจะวัดที่จุดศูนย์กลางของบ่อที่ระดับความลึก 1.50,3.00 และ 4.50 เมตรจากปากบ่อตามลำดับ

รูปที่ 3.26 การติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 3.27 ลักษณะบ่อและตำแหน่งวัดค่าออกซิเจนเริ่มต้นในบ่อ

ขั้นตอนการทดสอบ เริ่มจากการนำท่อผ้าใบเสริมเส้นใยไฟเบอร์เคลือบพีวีซีของตัวชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นต่อเข้ากับกับชุดพัดลมระบายอากาศที่มีชุดตรวจสอบสภาพอากาศ (เซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซ 5 ชนิดพร้อมอุปกรณ์แจ้งเตือนและหน้าจอแสดงผล) จากนั้นนำปลายท่ออีกด้านหนึ่งหย่อนลงไปในบ่อที่ระดับความลึก 4.50 เมตร เปิดพัดลมระบายอากาศ อากาศภายในบ่อจะถูกดูดขึ้นมาผ่านท่อผ้าใบ ผ่านหัวเซนเซอร์ตรวจวัดก่อนที่จะถูกเจือจางด้วยอากาศภายนอก (ดังแสดงในรูปที่ 3.26) จากนั้นบันทึกค่าปริมาณก๊าซที่วัดได้ทุก 3 วินาที เป็นเวลา 60 วินาที



รูปที่ 3.28 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบที่ระดับความลึก 4.50 เมตร ในบ่อบาดาล

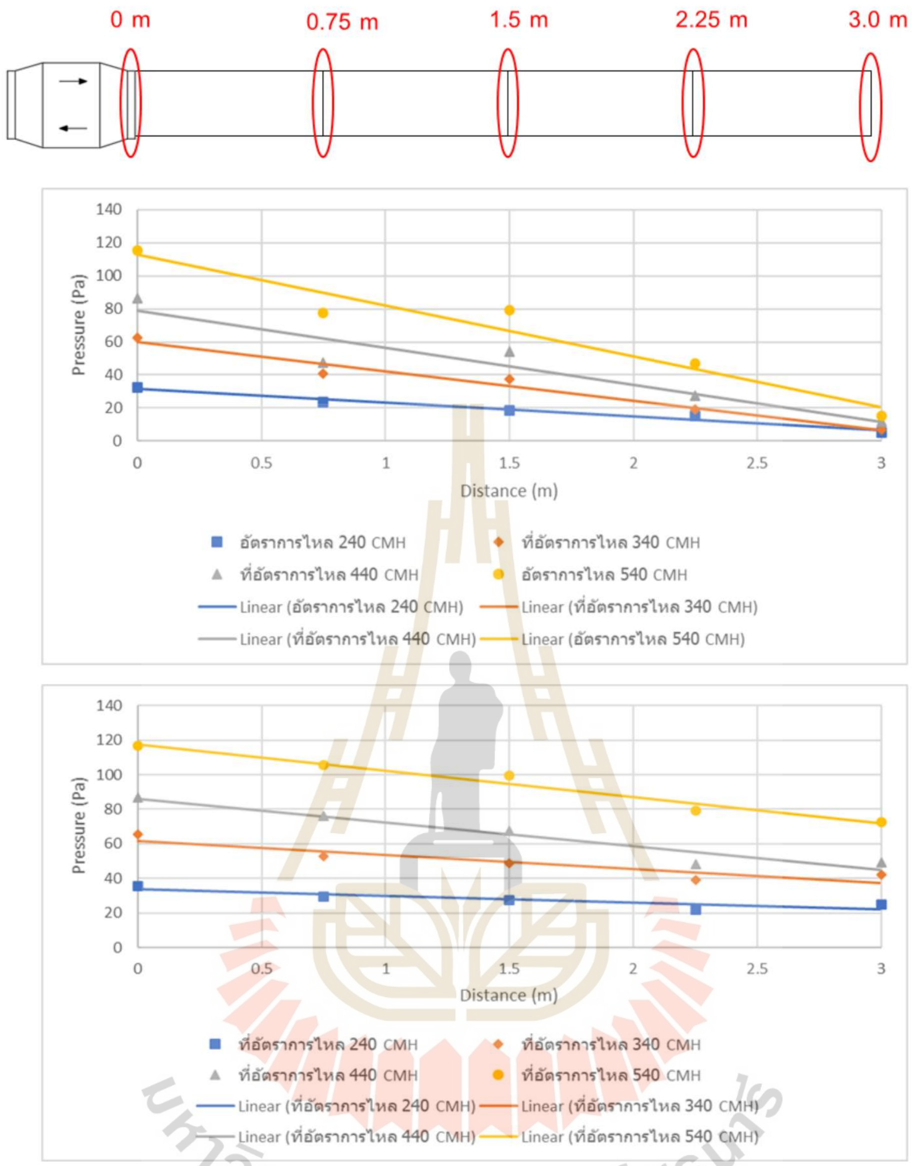
บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดสอบวัดความดันที่ตำแหน่งจุดวัดทั้ง 5 จุด ที่ระยะความยาวท่อ 3,4,5 และ 6 เมตร

4.1.1 ผลการทดสอบวัดความดันที่ตำแหน่งจุดวัดทั้ง 5 จุด ที่ระยะความยาวท่อ 3 เมตร

จากการทดสอบวัดความดันที่ตำแหน่งจุดวัดทั้ง 5 จุด ระยะความยาวท่อ 3 เมตร (จุดวัด แสดงได้ดังรูปที่ 3.13 และ 3.14) อัตราการไหลของอากาศในการทดสอบเท่ากับ 240,340,440 และ 540 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ทำการทดสอบทั้งในลักษณะของการเป่าอากาศและดูดอากาศ เพื่อทำการเปรียบเทียบความดันที่เกิดขึ้นที่จุดต่างๆภายใต้อัตราการไหลของอากาศที่แตกต่างกัน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ก)

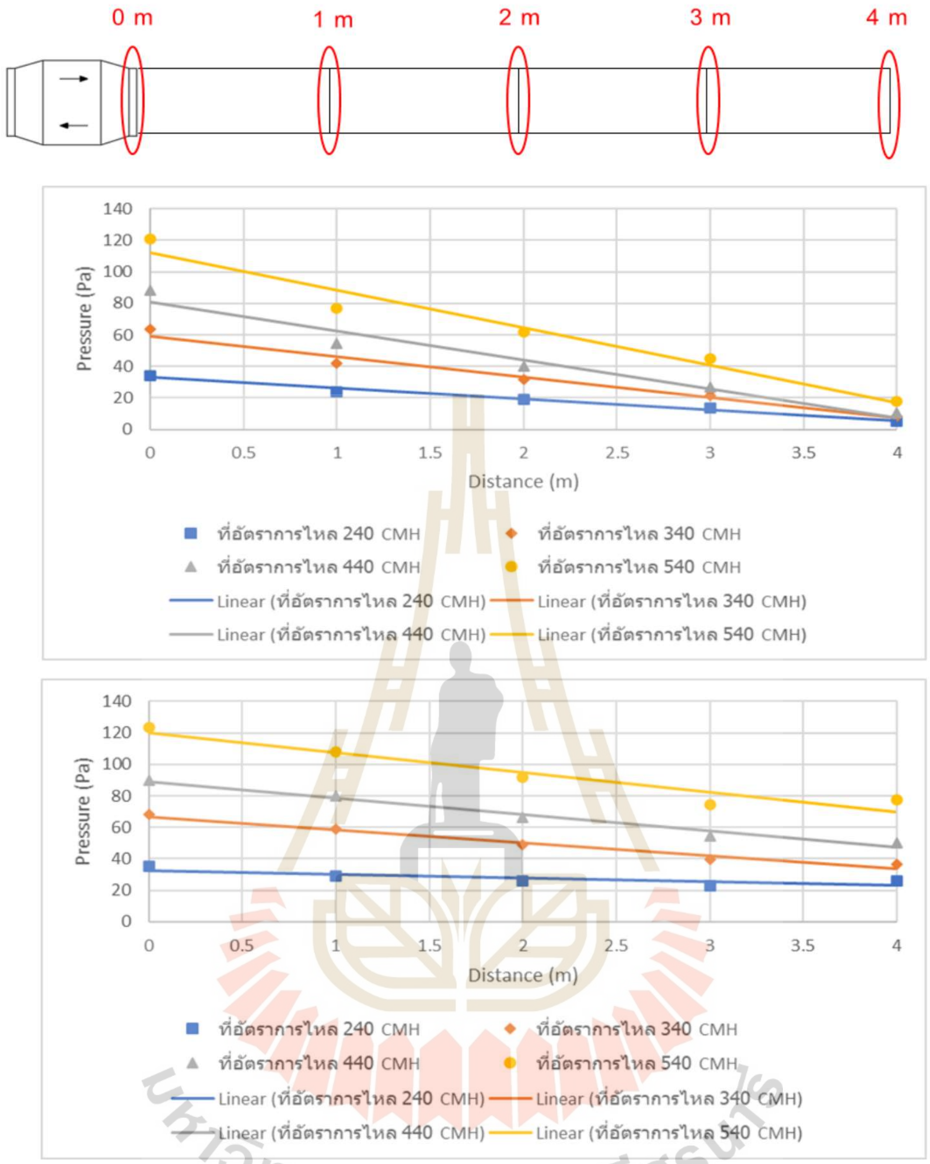
(ข)

รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบความดันของอากาศภายในท่อระยะความยาว 3 เมตร ที่จุดวัดทั้ง 5 จุด ภายใต้อัตราการไหลทั้ง 4 ค่า (ก) เป่าอากาศ (ข) ดูดอากาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.1.2 ผลการทดสอบวัดความดันที่ตำแหน่งจุดวัดทั้ง 5 จุด ที่ระยะความยาวท่อ 4 เมตร

จากการทดสอบวัดความดันที่ตำแหน่งจุดวัดทั้ง 5 จุด ระยะความยาวท่อ 4 เมตร (จุดวัด แสดงได้ดังรูปที่ 3.13 และ 3.14) อัตราการไหลของอากาศในการทดสอบเท่ากับ 240,340,440 และ 540 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ทำการทดสอบทั้งในลักษณะของการเป่าอากาศและดูดอากาศ เพื่อทำการเปรียบเทียบความดันที่เกิดขึ้นที่จุดต่างๆภายใต้อัตราการไหลของอากาศที่แตกต่างกัน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2



(ก)

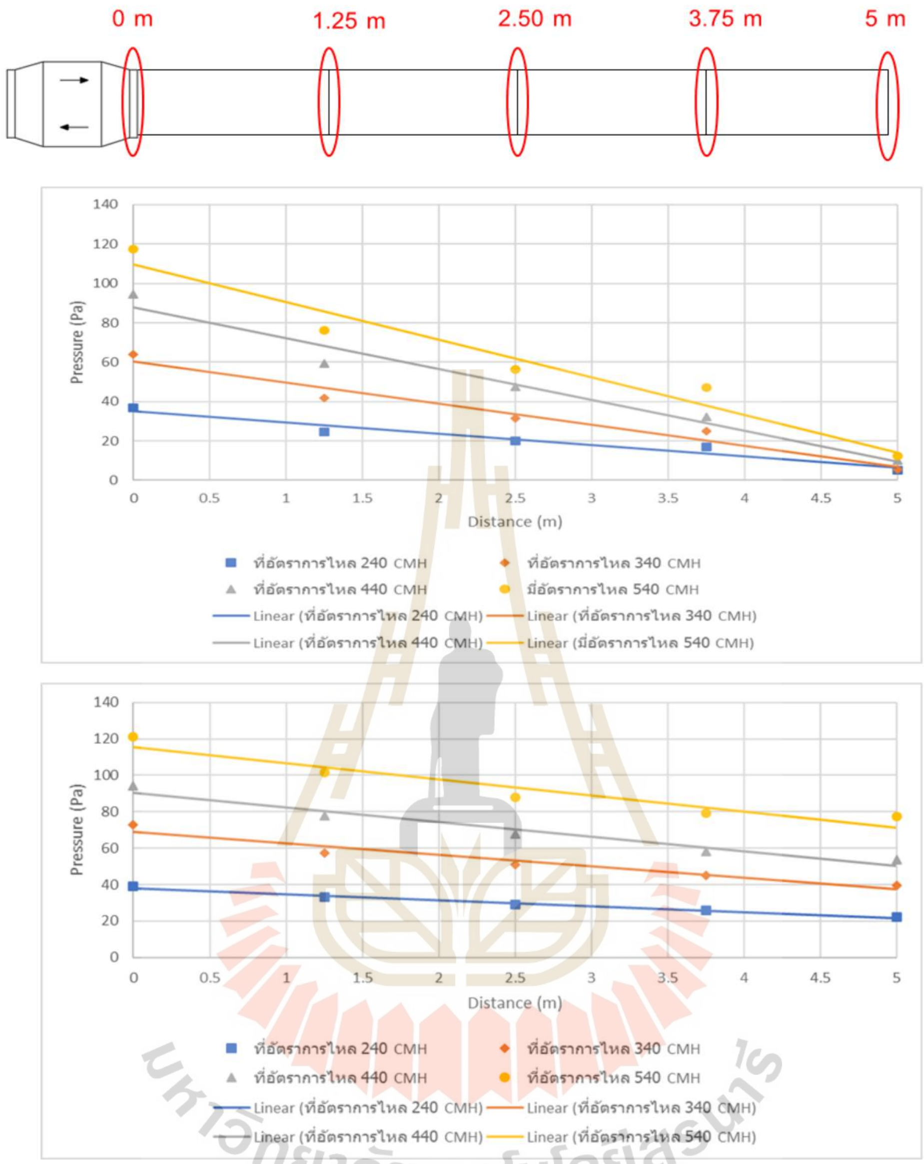
(ข)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบความดันของอากาศภายในท่อระยะความยาว 4 เมตร ที่จุดวัดทั้ง 5 จุด ภายใต้อัตราการไหลทั้ง 4 ค่า (ก) เป่าอากาศ (ข) ดูดอากาศ

4.1.3 ผลการทดสอบวัดความดันที่ตำแหน่งจุดวัดทั้ง 5 จุด ที่ระยะความยาวท่อ 5 เมตร

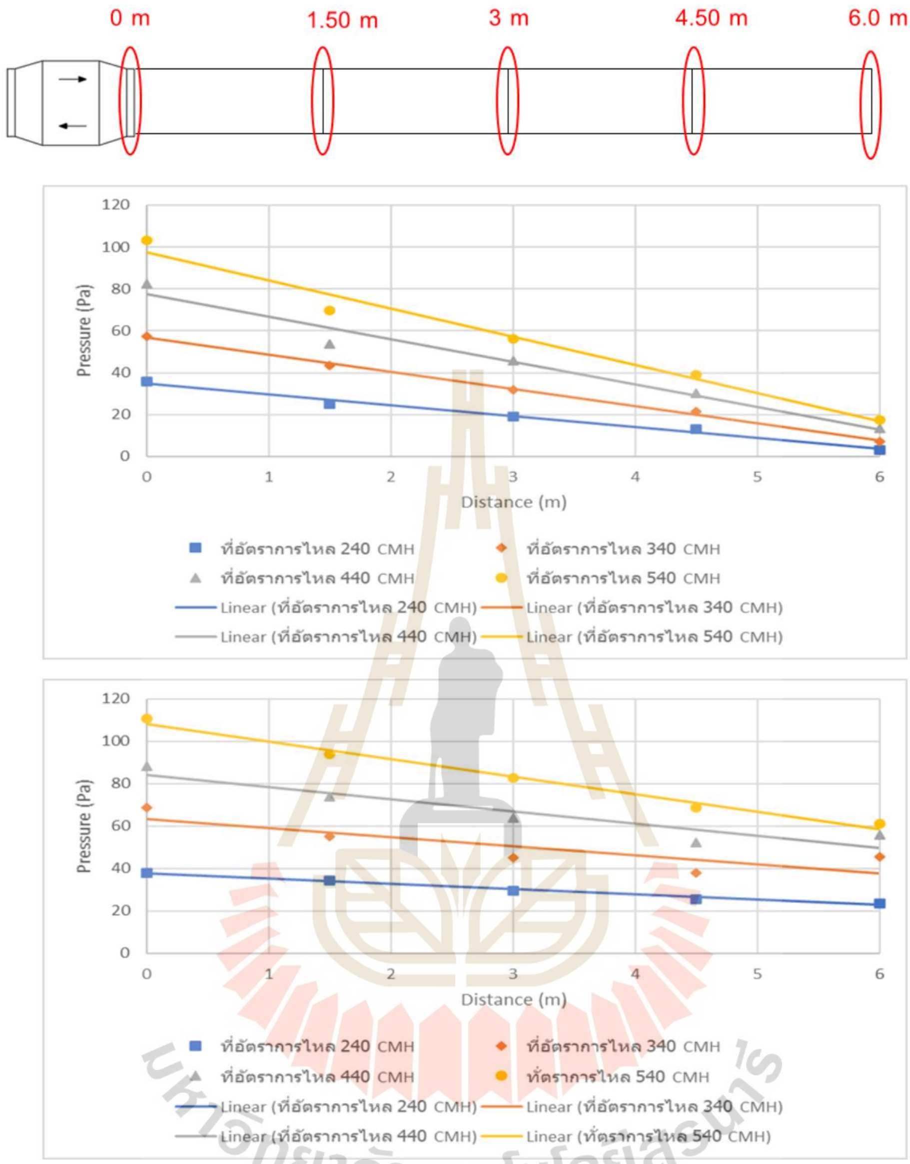
จากการทดสอบวัดความดันที่ตำแหน่งจุดวัดทั้ง 5 จุด ระยะความยาวท่อ 5 เมตร (จุดวัด แสดงได้ดังรูปที่ 3.13 และ 3.14) อัตราการไหลของอากาศในการทดสอบเท่ากับ 240,340,440 และ 540 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ทำการทดสอบทั้งในลักษณะของการเป่าอากาศและดูดอากาศ เพื่อทำการเปรียบเทียบความดันที่เกิดขึ้นที่จุดต่างๆภายใต้อัตราการไหลของอากาศที่แตกต่างกัน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบความดันของอากาศภายในท่อระยะความยาว 5 เมตร ที่จุดวัดทั้ง 5 จุด ภายใต้อัตราการไหลทั้ง 4 ค่า (ก) เป่าอากาศ (ข) ดูดอากาศ

4.1.4 ผลการทดสอบวัดความดันที่ตำแหน่งจุดวัดทั้ง 5 จุด ที่ระยะความยาวท่อ 6 เมตร

จากการทดสอบวัดความดันที่ตำแหน่งจุดวัดทั้ง 5 จุด ระยะความยาวท่อ 5 เมตร (จุดวัด แสดงได้ดังรูปที่ 3.13 และ 3.14) อัตราการไหลของอากาศในการทดสอบเท่ากับ 240,340,440 และ 540 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ทำการทดสอบทั้งในลักษณะของการเป่าอากาศและดูดอากาศ เพื่อทำการเปรียบเทียบความดันที่เกิดขึ้นที่จุดต่างๆภายใต้อัตราการไหลของอากาศที่แตกต่างกัน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบความดันของอากาศภายในท่อระยะความยาว 6 เมตร ที่จุดวัดทั้ง 5 จุด ภายใต้อัตราการไหลทั้ง 4 ค่า (ก) เป่าอากาศ (ข) ดูดอากาศ

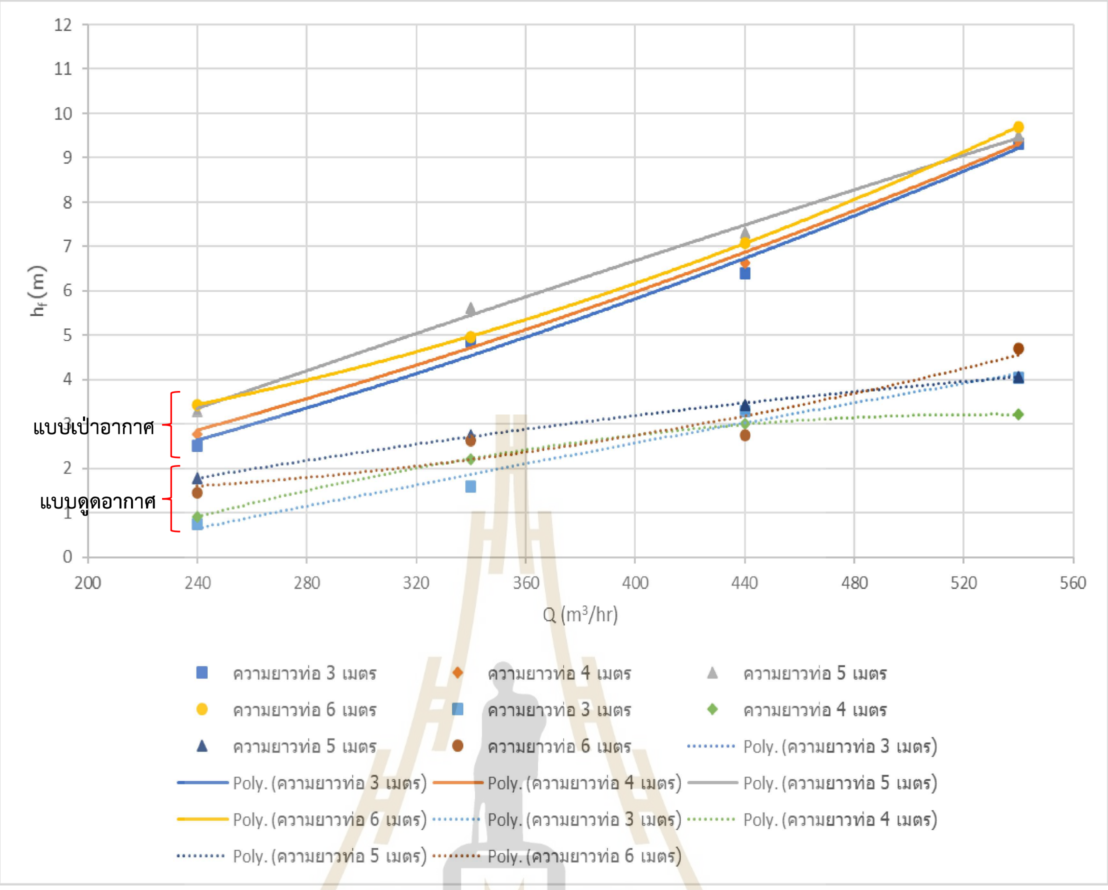
จากการทดสอบวัดความดันที่ตำแหน่งจุดวัดทั้ง 5 จุดที่ระยะความยาวท่อเดียวกัน พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลทำให้ความดันของอากาศในท่อเพิ่ม ที่อัตราการไหลเดียวกันความดันของอากาศภายในท่อที่จุดที่ 1 ของทั้งการเป่าและดูดอากาศมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากจุดที่ 1 เป็นจุดที่เป็นตำแหน่งของทางเข้า (กรณีดูดอากาศ) และทางออก (กรณีเป่าอากาศ) ของอากาศ ทำให้จุดที่ 1 มีค่าความดันสูงสุดเนื่องจากเป็นจุดที่ไม่เกิดการสูญเสียความดันเนื่องจากการไหลของอากาศภายในท่อ เมื่อพิจารณาจุดที่ 2,3,4 และ 5 พบว่าความดันของอากาศภายในท่อมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ

เนื่องจากเกิดการสูญเสียความดันจากการไหลภายในท่อคือเมื่อระยะความยาวท่อเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความดันของอากาศภายในท่อลดลงเป็นผลมาจากความฝืดที่เกิดขึ้นจากผนังท่อ ขดสปริงของท่อทำให้อากาศภายในท่อไหลไม่สะดวก เมื่อพิจารณาที่จุดวัดตำแหน่งเดียวกันที่อัตราการไหลเดียวกันแล้วพบว่าลักษณะของการเป่าอากาศทำให้ความดันของอากาศภายในท่อลดลงมากกว่าลักษณะของการดูดอากาศ เมื่อพิจารณาระยะความยาวท่อในการทดสอบแล้วพบว่าระยะความยาวท่อแปรผกผันกับความดันอากาศภายในท่อคือเมื่อระยะความยาวท่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ความดันอากาศที่อยู่ภายในท่อลดลงซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากความฝืดของผนังท่อ

4.2 ผลการคำนวณหาค่าการสูญเสียหลักที่เป็นผลมาจากความเสียดทานภายในท่อตลอดความยาวท่อ

การหาค่าการสูญเสียหลักที่เป็นผลมาจากความเสียดทานภายในท่อตลอดความยาวท่อ (ดังสมการที่ 3) โดยการแทนค่า ΔP เป็นผลต่างของความดันที่จุดที่ 1 กับ จุดที่ 5 ของแต่ละความยาวท่อ แต่ละอัตราการไหล ค่า g เท่ากับ 9.81 m/s^2 และค่า ρ เท่ากับ 1.184 kg/m^3 (ค่าความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) เพื่อเปรียบเทียบค่าการสูญเสียที่เกิดจากระยะความยาวท่อและอัตราการไหลของอากาศภายในท่อที่แตกต่างกัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียหลักที่เป็นผลมาจากความเสียดทานภายในท่อตลอดความยาวท่อกับอัตราการไหลทั้ง 4 ค่า ที่ระยะความยาวท่อ 3,4,5 และ 6 เมตร

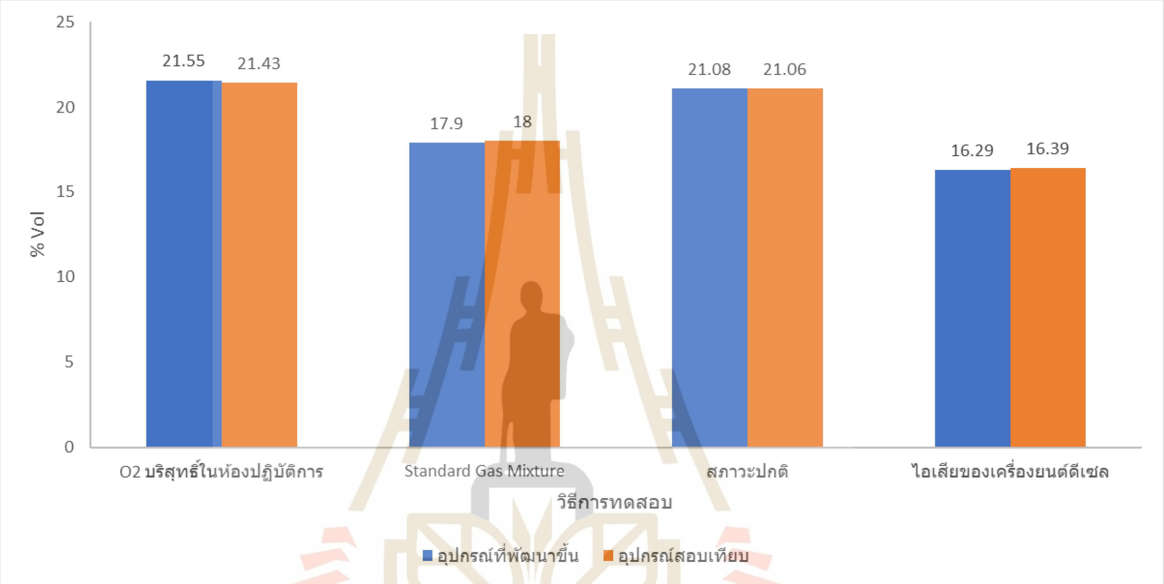
จากผลการคำนวณค่าการสูญเสียหลักที่เป็นผลมาจากความเสียดทานภายในท่อตลอดความยาวท่อเทียบกับอัตราการไหล 240,340,440 และ 540 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงที่ระยะความยาวท่อ 3,4,5 และ 6 เมตร เมื่อพิจารณาการเป่าอากาศ พบว่าที่อัตราการไหลเดียวกันค่าการสูญเสียหลักแปรผันตรงกับระยะความยาวท่อ ที่ระยะความยาวท่อเดียวกันค่าการสูญเสียหลักแปรผันตรงกับอัตราการไหลเป็นผลมาจากเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้นทำให้ผลต่างของแรงดันที่จุดที่ 1 กับจุดที่ 5 มากขึ้นทำให้ค่าการสูญเสียหลักที่คำนวณได้มีค่ามากขึ้นด้วยและเมื่อระยะความยาวท่อเพิ่มมากขึ้นทำให้ความดันของอากาศภายในท่อลดลงเป็นผลมาจากความฝืดที่เกิดขึ้นจากผนังท่อ ขดสปริงของท่อจึงทำให้ผลต่างของแรงดันที่จุดที่ 1 กับจุดที่ 5 มากขึ้นทำให้ค่าการสูญเสียหลักที่คำนวณได้มีค่ามากขึ้นด้วย และเมื่อพิจารณาการดูดอากาศพบว่าแนวโน้มของกราฟจากค่าที่คำนวณได้เป็นลักษณะเช่นเดียวกับการเป่าอากาศแต่ช่วงของค่าการสูญเสียหลักที่เป็นผลมาจากความเสียดทานภายในท่อจะสั้นกว่าการเป่ามากค่าของการสูญเสียหลักที่ได้จากการดูดน้อยกว่าค่าที่ได้จากการเป่ามาก เนื่องจากการเป่าอากาศทำให้

เกิดความหนืดที่บริเวณผิวท่อมากกว่าการดูดอากาศทำให้เกิดผลต่างของความดันที่จุดที่ 1 กับจุดที่ 5 มากกว่าส่งผลให้ค่าของการสูญเสียหลักที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า

4.3 ผลการทดสอบเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซ

การทดสอบเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซตามเงื่อนไขของการทดสอบ (หัวข้อที่ 3.6.1)

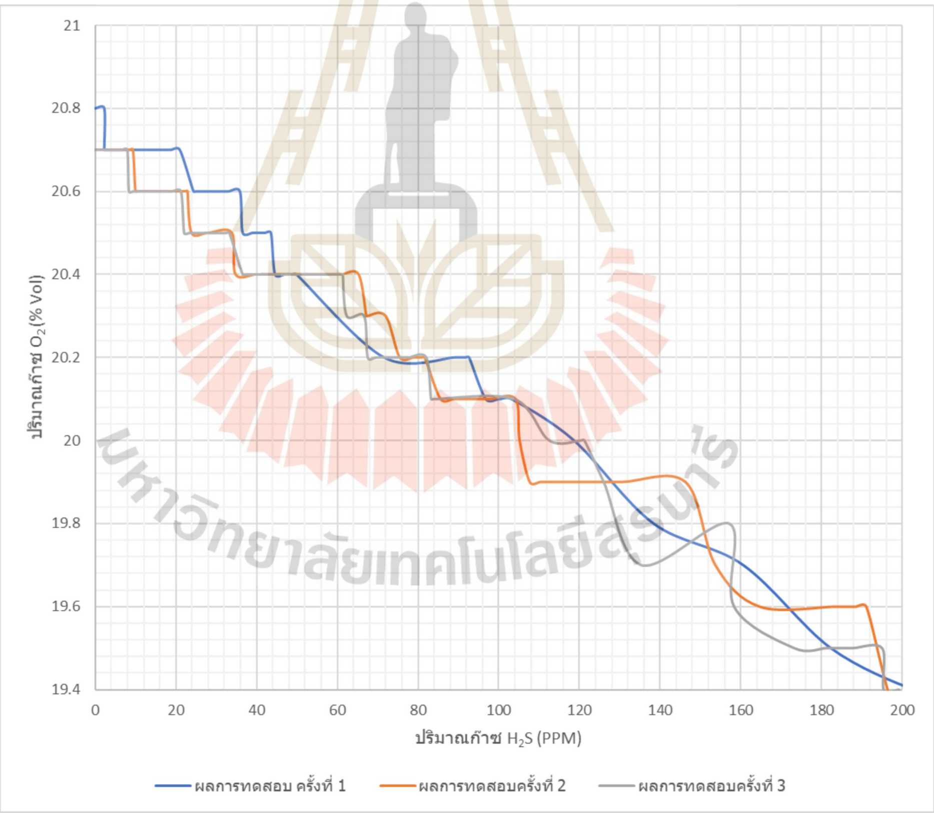
ผลการทดสอบเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เลือกใช้ในชุดตรวจสอบสภาพอากาศที่พัฒนาขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เลือกใช้ในชุดตรวจสอบสภาพอากาศที่พัฒนาขึ้น

จากการทดสอบเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เลือกใช้ในชุดตรวจสอบสภาพอากาศที่พัฒนาขึ้นพบว่า เซนเซอร์ที่เลือกใช้ให้ความคลาดเคลื่อน 0.55 % เมื่อสอบเทียบกับ Standard Gas Mixture เมื่อสอบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานเครื่องวัดก๊าซ ISC รุ่น MX6 ในการวัดออกซิเจนบริสุทธิ์ให้ความคลาดเคลื่อน 0.57 % เมื่อสอบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานเครื่องวัดก๊าซ TESTO รุ่น 350 ในกรณีที่สภาวะปกติให้ความคลาดเคลื่อน 0.11 % และในกรณีที่ทดสอบกับไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะการทำงานที่ 2,000 รอบ/นาที ภาระกรรมของเครื่องยนต์ 25 นิวตันเมตรให้ความคลาดเคลื่อน 0.61 % พบว่าจากการทดสอบเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่เลือกใช้ให้ความแม่นยำสูง ความคลาดเคลื่อนน้อยเมื่อเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ

จากการทดสอบเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เลือกใช้ในชุดตรวจสอบสภาพอากาศที่พัฒนาขึ้นด้วยวิธีการสอบเทียบกับ Standard Gas Mixture ที่ความเข้มข้น 25 PPM พบว่าเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เลือกใช้สามารถอ่านค่าความเข้มข้นได้เท่ากับ 19.25 PPM โดยคิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อน 23 % จากผลการทดสอบพบว่าเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากในการทดสอบเป็นการทดสอบวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ค่าความเข้มข้นก๊าซเพียงค่าเดียวทำให้ไม่สามารถหาสมการความสัมพันธ์ที่จะใช้ในการปรับค่าได้ อีกทั้งยังไม่สามารถปรับค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้ในการทดสอบได้ จึงทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนกับปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยวิธีการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้นสูงจากถังออกมาบริเวณภายนอก แล้วใช้เครื่องวัดก๊าซ ISC รุ่น MX6 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนกับปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แสดงได้ดังรูปที่ 4.7

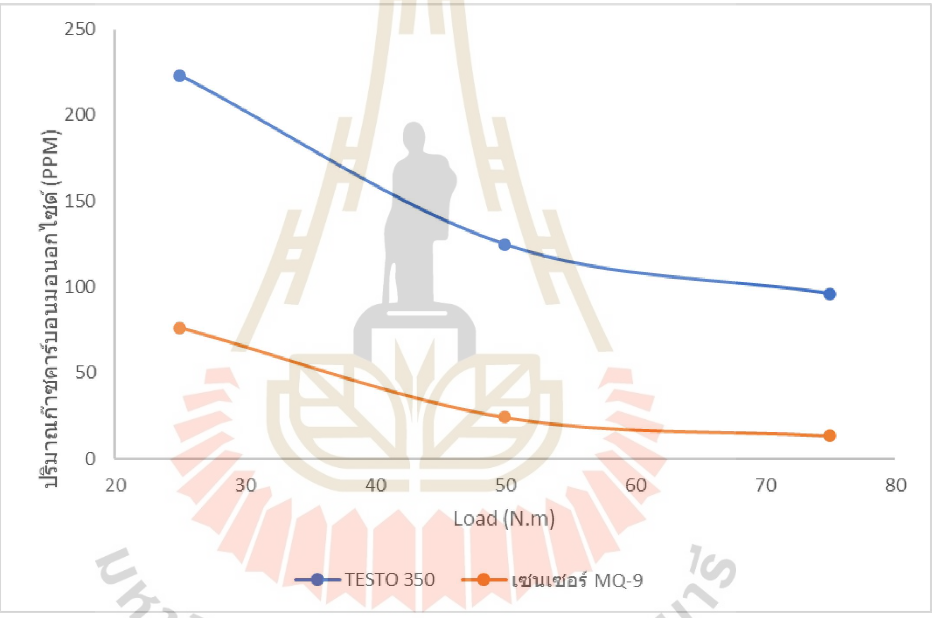


รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนกับปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนกับปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนแปรผกผันกับปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์คือเมื่อปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนลดลงเนื่องจากก๊าซ

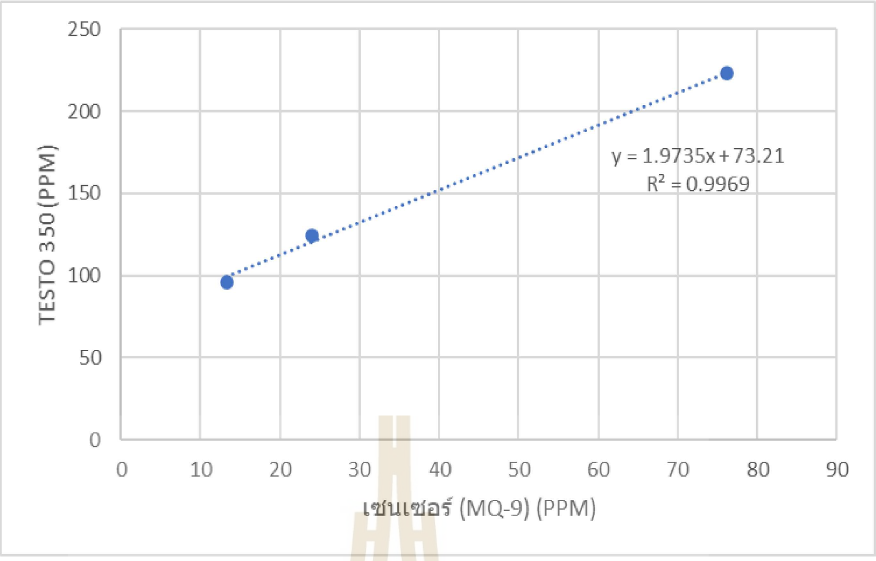
ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเข้าไปแทนที่ก๊าซออกซิเจนในอากาศ จากการทดสอบพบว่าที่ระดับปริมาณก๊าซออกซิเจน 19.5 % Vol (ระดับปริมาณก๊าซออกซิเจนน้อยที่สุดที่อนุญาตให้ปฏิบัติงานได้) ปริมาณก๊าซอยู่ในช่วงไม่เกิน 200 PPM ซึ่งไม่ได้ก่อให้เกิดอันตรายในทันใด ดังนั้นเมื่อมีการดูดอากาศออกจากที่อับอากาศก็จะเป็นการดูดเอาก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกมาด้วยและอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกก็จะเข้าไปแทนที่ทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้นและปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงหรือใช้วิธีการเป่าอากาศโดยการใช้พัดลมในการเติมอากาศเข้าไปในที่อับอากาศเพื่อไล่อากาศที่เป็นพิษมีปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำออกมาแล้วเติมอากาศบริสุทธิ์เข้าไป

ผลการทดสอบเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เลือกใช้ในชุดตรวจสอบสภาพอากาศที่พัฒนาขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ผลการสอบเทียบเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เลือกใช้กับอุปกรณ์มาตรฐานเครื่องวัดก๊าซ TESTO รุ่น 350

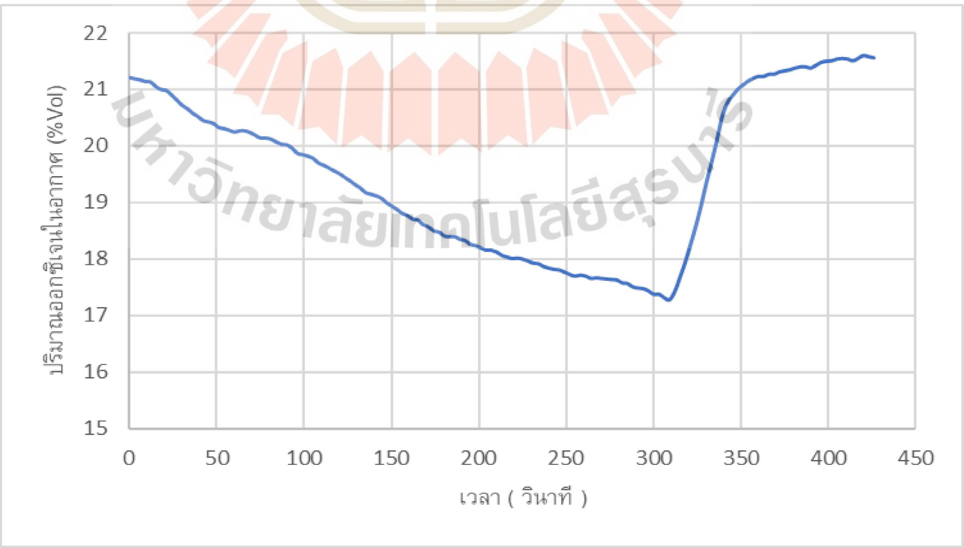
จากผลการทดสอบ (ดังแสดงในรูปที่ 4.8) พบว่าแนวโน้มของผลการทดสอบระหว่างเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เลือกใช้กับอุปกรณ์มาตรฐานเครื่องวัดก๊าซ TESTO รุ่น 350 มีลักษณะแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน จึงทำการหาความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลทั้งสองด้วยวิธีการพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์โดยให้แกน x เป็นค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เลือกใช้และแกน y เป็นค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์มาตรฐานเครื่องวัดก๊าซ TESTO รุ่น 350 แสดงได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลผลการทดสอบเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เลือกใช้กับอุปกรณ์มาตรฐานเครื่องวัดก๊าซ TESTO รุ่น 350

จากความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลทั้ง 2 สามารถแสดงได้ดังสมการ $y = 1.9735x+73.21$ ซึ่งหมายความว่าค่าความเข้มข้นของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นค่าจริงจะแปรผันตามค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ที่เลือกใช้ดังสมการ

ผลการทดสอบระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยของชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศที่พัฒนาขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยของชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศที่พัฒนาขึ้น

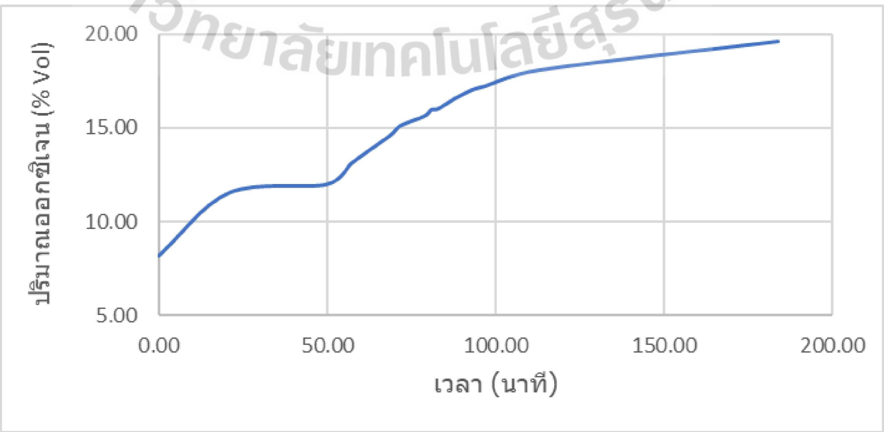
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากผลการทดสอบพบว่าหลังจากจุดเทียนและปิดฝากล่องโฟมปริมาณออกซิเจนในอากาศที่วัดได้ในช่วงเวลา 0-309 วินาที มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาเคมีที่สารประกอบไฮโดรคาร์บอนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ ดังนั้นปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจากการทดสอบจะใช้ออกซิเจนที่อยู่ภายในกล่องโฟมเป็นองค์ประกอบหลัก (อนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล และคณะ, 2563) พบว่าที่เวลา 228 วินาที ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 17.97 %Vol ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ตั้งเอาไว้ทำให้หลอดไฟแสดงสถานะสีแดง มีเสียงแจ้งเตือนดัง จากนั้นที่เวลา 309 วินาที ได้ทำการเปิดฝากล่องโฟมออกเนื่องจากปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาการคายความร้อนจึงทำให้เกิดพลังงานความร้อนออกมาด้วย (คณิตตา ธรรมจริยวงศา, 2550) เพื่อป้องกันอุปกรณ์เสียหายจากความร้อน ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 17.28 %Vol หลังจากเปิดฝากล่องโฟมออกแล้วพบว่าปริมาณออกซิเจนในอากาศที่วัดได้ในช่วงเวลา 309-360 วินาที มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพราะอากาศภายนอกที่มีออกซิเจนสูงจะแพร่ไปภายในกล่องโฟม ปริมาณออกซิเจนจึงเพิ่มขึ้นและพบว่าที่เวลา 321 วินาที ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 18.25 %Vol ซึ่งมากกว่าค่าที่ตั้งเอาไว้ทำให้หลอดไฟแสดงสถานะสีเขียว เสียงแจ้งเตือนดับลง

4.4 ผลการทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่

4.4.1 ผลการทดสอบกับโรงเพาะเห็ดฟาง

จากการทดสอบในหัวข้อ 3.7.1 ผลการทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่กับโรงเพาะเห็ดฟางแสดงได้ดังรูปที่ 4.11



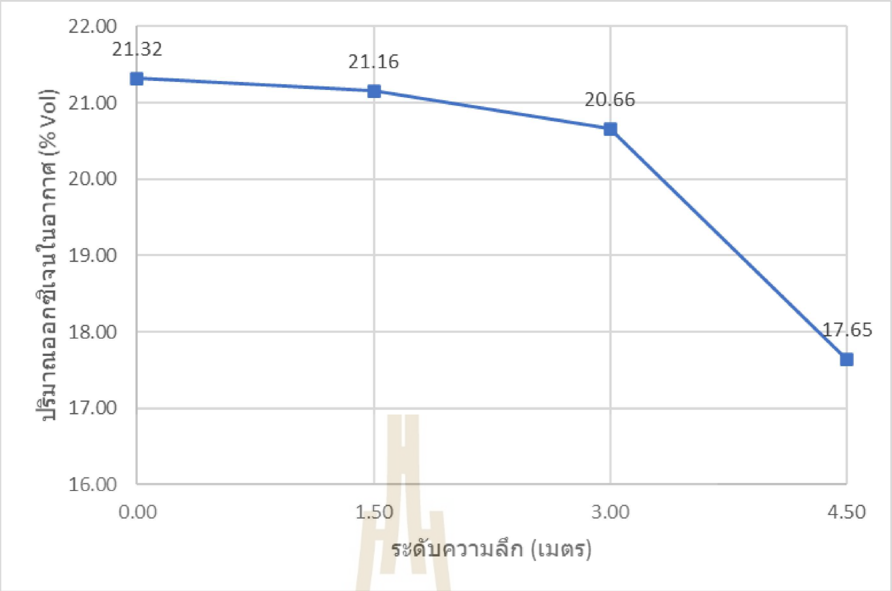
รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่กับโรงเพาะเห็ดฟาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าเมื่อเริ่มทำการทดสอบ อากาศที่อยู่ภายในโรงเพาะเห็ดที่ถูกดูดออกมาผ่านเซนเซอร์ตรวจวัดเป็นอากาศพิษที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำ ส่งผลโดยตรงต่อร่างกายเป็นผลทำให้เกิดภาวะพร่องออกซิเจน ส่งผลโดยตรงต่อระบบประสาทส่วนกลางและระบบหัวใจทำให้หมดสติและเสียชีวิตได้ใน 8 นาที ก๊าซออกซิเจนภายในโรงเพาะเห็ดจะถูกแทนที่ด้วยกลุ่มก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักวัสดุหลังจากอบไอน้ำ (แสงดาว อุประ, 2557) ก๊าซออกซิเจนบางส่วนจะถูกใช้ในการเกิดปฏิกิริยา เช่น ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หลังจากดูดอากาศออกพบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนจะค่อยๆเพิ่มขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อยๆลดลง โดยใช้ระยะเวลาในการดูด 3 ชั่วโมง 4 นาที ค่าปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในโรงเพาะเห็ดที่วัดได้เท่ากับ 19.58 %Vol และค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้เท่ากับ 4352.32 PPM (วัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซในอากาศ Gasmet DX4040) (สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 จังหวัดนครราชสีมา, 2564) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการดูดอากาศภายในโรงเพาะเห็ดออกมาเจือจางกับอากาศภายนอกจะทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบวัดค่าปริมาณก๊าซออกซิเจนและค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ภายในโรงเพาะเห็ดปิดมิดชิดไม่มีการดูดอากาศออกในขั้นตอนเดียวกัน พบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 13 %Vol ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 201,027 PPM จากนั้นเปิดประตูหน้าโรงเพาะเห็ดทิ้งไว้ 30 นาที แล้วเปิดประตูหลังโรงเพาะเห็ดทิ้งไว้อีก 30 นาที พบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 21 %Vol ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 59 PPM (แสงดาว อุประ, 2557) เนื่องจากเมื่อเปิดประตูโรงเพาะเห็ดออกจะทำให้อากาศภายในโรงเพาะเห็ดระบายออกมาด้านนอกและถูกเจือจางด้วยอากาศบริสุทธิ์ ในการทดสอบพบว่าระบบแจ้งเตือนที่ออกแบบไว้สามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขการทำงานที่ได้ออกแบบไว้

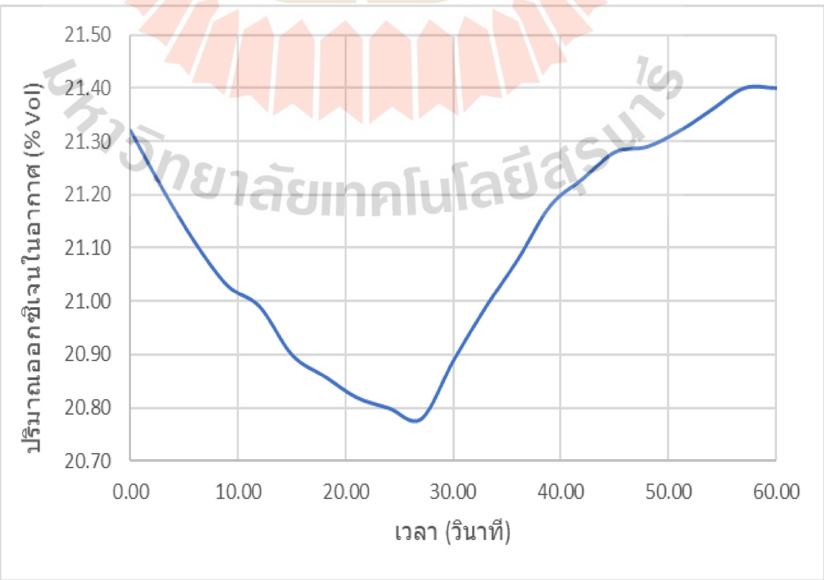
4.4.2 ผลการทดสอบกับบ่อน้ำบาดาล

จากการทดสอบในหัวข้อ 3.7.2 ผลการทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่กับบ่อบาดาลแสดงได้ดังรูปที่ 4.12 และ 4.13



รูปที่ 4.12 ปริมาณก๊าซออกซิเจนก่อนการระบายอากาศที่ระดับความลึกต่างๆ

จากผลการทดสอบพบว่าที่ระดับความลึก 0,1.5 และ 3 เมตรจากปากบ่อค่าปริมาณก๊าซออกซิเจนที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 21.32,21.16 และ 20.66 %Vol ซึ่งมีค่าลดลงตามระดับความลึกและพบว่าที่ระดับความลึก 4.5 เมตรจากปากบ่อค่าปริมาณก๊าซออกซิเจนที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 17.65 %Vol ซึ่งน้อยกว่าค่าที่กำหนด (กำหนดค่าออกซิเจนเท่ากับ 18 %Vol) ไฟแสดงสถานะบนตัวอุปกรณ์เปลี่ยนเป็นสีแดงและมีเสียงแจ้งเตือนดัง จากผลการทดสอบพบว่าระดับความลึกของบ่อแปรผกผันกับค่าปริมาณก๊าซออกซิเจน



รูปที่ 4.13 ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เปลี่ยนไปหลังการระบายอากาศที่ระดับความลึก 4.5 เมตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากการทดสอบพบว่าในช่วงเวลาที่ 0 ถึง 27 วินาทีค่าปริมาณออกซิเจนมีค่าลดลง เนื่องจากในช่วงแรกจะเป็นการดูดเอาอากาศที่ตกค้างอยู่ในท่อออกมาทำให้ค่าปริมาณก๊าซออกซิเจนที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับบรรยากาศ จากนั้นจะดูดเอาอากาศเสียที่อยู่ภายในบ่อออกมา เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.12 แล้วพบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ระดับความลึก 4.5 เมตรมีค่าเท่ากับ 17.65 %Vol แต่จากการวัดอากาศที่ถูกดูดออกมาในช่วงเวลาที่ 0 ถึง 27 วินาที ค่าปริมาณก๊าซออกซิเจนที่น้อยที่สุดที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 20.78 %Vol มีสาเหตุมาจากพัดลมที่เลือกใช้มีอัตราการไหลของอากาศสูงเมื่อเทียบกับปริมาตรของบ่อ จากการคำนวณจะใช้เวลาดูดประมาณ 20 วินาทีในการดูดเอาอากาศที่อยู่ภายในบ่อออกมา ทำให้เซนเซอร์ตรวจวัดค่าปริมาณก๊าซออกซิเจนในช่วงระดับความลึก 3 ถึง 4.5 เมตรไม่ทันเนื่องจากในการแสดงผลจะแสดงผลทุก 3 วินาที จากการคำนวณพบว่าที่ช่วงระดับความลึก 3 ถึง 4.5 เมตร มีปริมาตรอากาศเท่ากับ 0.32 ลูกบาศก์เมตร พัดลมระบายอากาศที่เลือกใช้มีอัตราการไหลของอากาศ 0.15 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ดังนั้นในช่วงระดับความลึกดังกล่าวจะใช้เวลาประมาณ 2 วินาทีในการระบายอากาศ ทำให้ไม่สามารถวัดค่าปริมาณก๊าซออกซิเจนในช่วงเวลาดังกล่าวได้ จากนั้นในช่วงเวลาที่ 27 ถึง 60 วินาทีค่าปริมาณก๊าซออกซิเจนมีค่าเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับบรรยากาศ ในการระบายอากาศภายในบ่อบาดาลจะใช้เวลาในการดูดเอาอากาศเสียออกจากบ่อน้อยกว่าในโรงเพาะเห็ดเนื่องจากบ่อมีปริมาตรน้อยกว่าโรงเพาะเห็ดมากและบ่อบาดาลลักษณะปากบ่อเป็นปากบ่อเปิดทำให้อากาศภายนอกเข้าไปแทนที่อากาศภายในบ่อได้เร็ว พัดลมที่เลือกใช้มีอัตราการไหลสูงเมื่อเทียบกับปริมาตรของบ่อจึงทำให้ใช้ระยะเวลาในการปรับสภาพอากาศภายในบ่อน้อย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่โดยสามารถแสดงผลและแจ้งเตือนค่าของปริมาณก๊าซที่เซนเซอร์รับค่าได้ และทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศที่สร้างขึ้น สามารถสรุปรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. การออกแบบชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่ ชุดอุปกรณ์ถูกออกแบบให้สามารถใช้งานในที่อับอากาศได้สะดวก น้ำหนักเบา ต้นทุนต่ำ สามารถใช้ได้ทั้งกับไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ รองรับอัตราการไหลเวียนของอากาศไม่น้อยกว่า 6 ACH ระบบสามารถแสดงผลค่าของปริมาณก๊าซที่เซนเซอร์รับค่าได้ สามารถแจ้งเตือนสถานะความปลอดภัยได้ ทำงานภายใต้รหัสโปรแกรมที่เขียนไว้

2. การทดสอบการทำงานชุดระบายอากาศในที่อับอากาศเพื่อหาความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการไหลของอากาศภายในท่อผ้าใบเสริมเส้นใยไฟเบอร์เคลือบ PVC ขนาด 6 นิ้ว ที่ความยาวท่อ 3,4,5 และ 6 เมตร อัตราการไหลของอากาศ 240,340,440 และ 540 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ทำการทดสอบทั้งในลักษณะของการเป่าและดูดอากาศ เพื่อหาค่าการสูญเสียหลักที่เป็นผลมาจากความเสียดทานภายในท่อตลอดความยาวท่อ พบว่าที่อัตราการไหลเดียวกันค่าการสูญเสียหลักแปรผันตรงกับระยะความยาวท่อ ที่ระยะความยาวท่อเดียวกันค่าการสูญเสียหลักแปรผันตรงกับอัตราการไหล

3. การทดสอบเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซ เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เลือกใช้ในชุดตรวจสอบสภาพอากาศที่พัฒนาขึ้นพบว่า เซนเซอร์ที่เลือกใช้ให้ความคลาดเคลื่อน 0.55 % เมื่อสอบเทียบกับ Standard Gas Mixture เมื่อสอบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานเครื่องวัดก๊าซ ISC รุ่น MX6 ในการวัดออกซิเจนบริสุทธิ์ให้ความคลาดเคลื่อน 0.57 % เมื่อสอบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานเครื่องวัดก๊าซ TESTO รุ่น 350 ในกรณีที่สภาวะปกติให้ความคลาดเคลื่อน 0.11 % และใน

กรณีที่ทดสอบกับชุดทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้สภาวะการทำงานที่ 2,000 รอบ/นาที ภาระกรรมของเครื่องยนต์ 25 นิวตันเมตรให้ความคลาดเคลื่อน 0.61 %

4. การทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่กับโรงเพาะเห็ดฟาง พบว่าค่าปริมาณก๊าซออกซิเจนแปรผกผันกับค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ระบบสามารถแจ้งเตือนสถานะความปลอดภัยได้และสามารถปรับบรรยากาศภายในให้ปลอดภัยจากบรรยากาศอันตราย มีปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เพียงพอและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายได้

5. การทดสอบการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่กับบ่อบาดาล พบว่าระดับความลึกของบ่อแปรผกผันกับค่าปริมาณก๊าซออกซิเจน ระบบสามารถแจ้งเตือนสถานะความปลอดภัยได้และสามารถปรับบรรยากาศภายในให้มีปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เพียงพอ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการใช้งานชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่ควรพึงระวังความชื้นสะสมที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน

2. ชุดเซนเซอร์วัดก๊าซในชุดตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศมีการทดสอบค่าความแม่นยำในเบื้องต้น ดังนั้นในอนาคตควรมีการสอบเทียบและปรับค่าอย่างละเอียดเพื่อลดค่าความผิดพลาดที่เกิดจากตัวอุปกรณ์และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความแม่นยำให้กับชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

3. การพัฒนาชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่ในอนาคต ออกแบบให้อุปกรณ์มีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบา พกพาสะดวก

4. การพัฒนาชุดระบายอากาศและตรวจสอบสภาพอากาศในที่อับอากาศแบบเคลื่อนที่ ให้คำนึงถึงแหล่งจ่ายพลังงานให้กับระบบ โดยให้เพียงพอต่อการใช้งานกับอุปกรณ์ที่ใช้งานทั้งหมด เนื่องจากเซนเซอร์ที่ใช้งานเป็นเซนเซอร์ที่อ่านค่าจากแรงดันไฟฟ้า ถ้าแรงดันไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อการใช้งาน เนื่องจากภาระกรรมของตัวอุปกรณ์จะทำให้ค่าที่อ่านได้คลาดเคลื่อน

5. ควรทำข้อกำหนด วิธีการใช้ ข้อควรระวังในการใช้งานอุปกรณ์

6. การพัฒนาในอนาคตมีความประสงค์ให้เกษตรกรกลุ่มเสี่ยงหรือผู้ที่สนใจสามารถนำไปพัฒนาต่อให้ครอบคลุมต่อการใช้งาน ในต้นทุนที่ต่ำ การทำงานของระบบไม่ซับซ้อน อุปกรณ์สามารถหาซื้อได้ทั่วไป ประยุกต์ใช้ได้กับงานหลากหลายประเภท อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถจัดรวมอยู่ให้เป็นชุดเดียวกันได้ และสามารถเลือกใช้เซนเซอร์วัดก๊าซกับก๊าซที่ต้องการได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

กันต์ธกรณ์ เขาทอง และวีรชัย ชัยวรพฤกษ์. (2559). Study of Air Flow in PVC Canvas Duct.

กิจการ พรหมมา. (2552). การเสียชีวิตของชาวนาจากการขาดออกซิเจนในบ่อน้ำบาดาลระดับตื้นที่ใช้เพื่อ การชลประทานนาข้าว : กรณี ศึกษา จังหวัด พิษณุโลกและพิจิตร.

คณิตตา ธรรมจริยวงศา. (2550). เตาเผาศพ : อันตรายจากคนตายสู่คนเป็น. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ปีที่ 22 ฉบับที่ 2 ประจำปี 2550 Retrieved from http://dspace.bru.ac.th/xmlui/handle/123456789/5635

จิรเดช ศรีพรงาม และคณะ. (2563). A SOS platform inside automotive vehicles based on Narrowband-Internet of Things (NB-IoT) technology

แพลตฟอร์มการส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือภายในโดยใช้เทคโนโลยี Narrowband-Internet of Things (NB-IoT). วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ(Vol 6 No 1 (2020): วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ), 27-31. Retrieved from http://scijournal.hcu.ac.th/ojs/index.php/scijournal/issue/view/18/24

ชูศักยฐ์ กมลขันติธร และคณะ. (2564). เครื่องวัดคุณภาพอากาศภายในรถยนต์ (Car Air Quality Meter). Paper presented at the The 5 th National Conference on Informatics,Agriculture,Management,Business administration,Engineering,Science and Technology. https://easychair.org/publications/preprint/qclp

ศิริพร เพชรชำนาญ และคณะ. (2561). แอพพลิเคชันตรวจจับก๊าซไวไฟด้วยอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง Flammable Gases Detection Application with Internet of Things. Paper presented at the The Fourteenth National Conference on Computing and Information Technology. https://www.computing.psu.ac.th/profile/backend/upload/530862289.5988.pdf

สถาบันส่งเสริมความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน. (2563). CONFINED SPACE AREA. OSHE(14), 60. Retrieved from https://www.tosh.or.th/index.php/media-relations/oshe/item/814-oshe-magazine

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์. (2552). กลศาสตร์ของไหล (FLUID MECHANICS). สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สันติ เกิดทองทวี และคณะ. (2562). การศึกษาผลการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนเมื่อเทียบกับ ระดับความลึกในสถานที่อับอากาศ (บ่อ บาดาล) เขตสุขภาพ ที่ 3. Journal of Disease and Health Risk DPC. 3, 13(1), 17-24.

สุทธิศักดิ์ เด่นดวงใจ และ คทาวุธ ดีปรีชา. (2564). บทความฟื้นวิชา ที่อับอากาศ (Confined Space). Royal Thai Army Medical Journal, 74(1), 47-52.

สุธาทิพย์ บูรณสถิตนนท์ และคณะ. (2564). การสอบสวนกรณีผู้เสียชีวิต 2 ราย ในที่อับอากาศ จากการขุดลอกบ่อบาดาลปลอกคอนกรีตแห่งหนึ่ง อำเภอบางขัน จังหวัดนครศรีธรรมราชในเดือนมีนาคม 2563. วารสารควบคุมโรค, 47(2), 376-386. doi:10.14456/dcj.2021.34

แสงดาว อุประ. (2557). การ สอบสวนโรคกรณีเกษตรกรเสียชีวิตจากการทำงานในที่อับอากาศของโรงเรือนเพาะเห็ด จังหวัดอุบลราชธานี. Journal of Health Science-วารสาร วิชาการสาธารณสุข, 210-216.

สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 จังหวัดนครราชสีมา. (2564). การพัฒนารูปแบบระบบบริหารจัดการความปลอดภัยในการทำงานในที่อับอากาศของแรงงานนอกระบบ(เฉพาะการประเมินและการจัดการความเสี่ยง). รายงานการสร้างนวัตกรรม/ชุดกิจกรรม Intervention ลดเสี่ยงลดโรคจากการประกอบอาชีพ สำหรับแรงงานนอกระบบ.

อนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล และคณะ. (2563). การปรับปรุงการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวโดยใช้ก๊าซโอโซนช่วยในการเผาไหม้. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 30(3), 406–415-406–415. doi:10.14416/j.kmutnb.2020.05.001

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

ผลการสอบเทียบเครื่องมือตรวจวัดก๊าซที่นำมาใช้ในการทดสอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ENTECH
Difference For Greater Value

Calibration Certificate

Certificate No: G 650251
Date of issue : 22-Apr-22

Instrument description	:	Flue gas Analyzer
Instrument model	:	Testo 350 New
Instrument serial no.	:	62204433
ID no. or control no.	:	-
Manufacturer	:	Testo SE & Co. KGaA
Probe description	:	-
Probe model	:	-
Probe serial	:	-
Customer name	:	SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Customer address	:	111 UNIVERSITY AVENUE, MUANG DISTRICT, NAKHON RATCHASIMA 30000 THAILAND
Total pages of certificate	:	2 Pages
Receiving no.	:	L-221318
Receiving date.	:	21-Apr-22
Parameter of calibration	:	Gas Calibration(Oxygen 2.498,10.00,21.00 %vol, Carbon Monoxide 80.97,309.9,1003 ppm, Nitrogen Dioxide 80.62 ppm, Nitric Oxide 150.9 ppm, Methane 22,000 ppm)
Condition of UUC.	:	Used
Ambient condition	:	All of the Measurement were caried out the stabilized labotary Temperature : 23 ±5 °C Humidity : 55 ± 15 %RH
Calibration place	:	17/121 Soi Ngamwongwan 47 Yaek 48, Toongsonghong, Laksi, Bangkok 10210
Calibration procedure no.	:	WI-CL-28-C

The calibration certificate expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurent Multiplied by coverage factor k=2, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%.

This certificate is applied only to item under test Environmental condition.

This Calibration Certificate may not be reporduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature and seal not valid.

This calibration certificate documents are tracebility to national standards, which realize measurement according to the International System of Units (SI).

Date of calibration : 22-Apr-22

Mr. Kwanchai Khamdoung	Mrs. Nongluck Wongsettee
Calibration Technician	**Technical Manager**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ENTECH
Difference For Greater Value

Calibration Certificate

Certificate No.: G 650251

Standard References (Table 1)

Standard	Certificate No.	Vendor	Due date
Oxygen (O_2) 2.498 % Vol	4219/21	Linde	30-Sep-25
Oxygen (O_2) 10.00 % Vol	2453/19	Linde	18-Jul-23
Oxygen (O_2) 21.00 % Vol	2426/19	Linde	16-Jul-23
Carbon monoxide (CO) 80.97 ppm	2842/21	Linde	24-Jun-23
Carbon monoxide (CO) 309.9 ppm	2803/21	Linde	22-Jun-23
Carbon monoxide (CO) 1003 ppm	2803/21	Linde	23-Apr-23
Nitrogen Dioxide (NO_2) 80.62 ppm	3240/21	Linde	25-Jul-23
Nitric Oxide (NO) 150.9 ppm	2857/21	Linde	27-Jun-23
Methane (CH_4) 22000 pm	CG-0123-21	NIMT	08-Sep-22

Measured room conditions

Temperature : 22.6 °C Humidity : 54.8 %RH Pressure : 1015.7 mbar

Calibration conditions

Gas Temperature : 23 °C Flow rate : 1,200 ml/min Gas pressure : 1022.3 mbar

Calibration Results (without adjustment) (Table 2)

Parameter of Standard	Standard Values	Mean of UUC	Error	Uncertainty (±)
O_2 (%Vol)	2.498	2.54	0.042	0.20
O_2 (%Vol)	10.00	10.08	0.08	0.40
O_2 (%Vol)	21.00	21.11	0.11	0.80
CO (ppm)	80.97	81	0.03	2.8
CO (ppm)	309.9	311	1.1	11
CO (ppm)	1003	1009	6	34
*NO_2 (ppm)	80.62	79.9	-0.7	5.0
*NO (ppm)	150.9	148	-2.9	5.0
*HC (ppm)	22000	22035	35	220

Remark : 1 cmol/mol = 1 %vol. , 1 µmol/mol = 1 ppm.

* Calibrations marked Not TISI Accredited "in this Certificate have been included for completeness."

End of Report

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บริษัท พร้อมธรรม เซอร์วิส จำกัด (สำนักงานใหญ่)
115 ซอยพหลโยธิน 52 แยก 7 (หมู่บ้านซื่อตรง)
ถนนพหลโยธิน แขวงคลองถนน เขตสายไหม
กรุงเทพมหานคร 10220.
โทร: 086-3675986 แฟกซ์: 0-2552-3031
Email: promptam_service@hotmail.com

PROMPT

PROMPTHAM SERVICE CO.,LTD. (HEAD OFFICE)
115 Soi Phaholyothin 52 Yak 7 (Suetrong village)
Phaholyothin Rd, Klong Thanon, Sai Mai
Bangkok 10220.
Tel: 086-3675986 Fax: 0-2552-3031
Email: promptam_service@hotmail.com

Certificate of Calibration

PTS028062020

Instrument Description	:	Multiple Gas Monitor
Instrument Model	:	MX6
Manufacture	:	Industrial Scientific
Instrument Serial No.	:	17101SH-001
Customer Name	:	Office of Disease Prevention and Control Region 9, Nakhon Ratchasima
Customer Address	:	KM. 7 Ratchasima-Chokchai Rd, T.Nong Bua Sala, A.Mueang Nakhon Ratchasima 30000.
Test Date	:	10 June 2020
Environment	:	Temperature 25.2°C Relative Humidity 53.8% RH Pressure 760 mmHg.
Basic of Calibration	:	The Unit under calibration was calibrated by comparison with reference standard gas mixer according to Manufacturer Calibration Procedure

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บริษัท พร้อมธรรม เซอร์วิส จำกัด (สำนักงานใหญ่)
115 ซอยพหลโยธิน 52 แยก 7 (หมู่บ้านซื่อตรง)
ถนนพหลโยธิน แขวงคลองถนน เขตสายไหม
กรุงเทพมหานคร 10220.
โทร: 086-3675986 แฟกซ์: 0-2552-3031
Email: promptam_service@hotmail.com

PROMPT

PROMPTHAM SERVICE CO.,LTD. (HEAD OFFICE)
115 Soi Phaholyothin 52 Yak 7 (Suetrong village)
Phaholyothin Rd, Klong Thanon, Sai Mai
Bangkok 10220.
Tel: 086-3675986 Fax: 0-2552-3031
Email: promptam_service@hotmail.com

Test Results

Sensor	Zero Air	Result
Hydrogen Sulphide	Oxygen 20.9 % Vol	Pass
PID	Oxygen 20.9 % Vol	Pass
Methane	Oxygen 20.9 % Vol	Pass
Oxygen	Oxygen 20.9 % Vol	Pass
Carbon Monoxide	Oxygen 20.9 % Vol	Pass

Calibration Results

Sensor	Standard Value	Result	Remark
Hydrogen Sulphide	25 ppm	25 ppm	-
PID	100 ppm	100 ppm	-
Methane	50 % LEL	failed	Chang Sensor
Oxygen	18 %	18 %	-
Carbon Monoxide	100 ppm	100 ppm	-

Method of Calibration: Injection of standard Calibration Gas
Pressure 500 PSI
Accuracy ± 5%

Result of Calibration Passed without remark

Calibrated by :

Napaporn K.

Napaporn K.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

GASCO

GASCO AFFILIATES, LLC.

320 Scarlet Blvd.
Oldsmar, FL 34677
(800) 910-0051
fax: (866) 755-8920
www.gascogas.com

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Data: June 9,2019
Order Number: LG1906-021
Lot Number: O-512-3

Customer: Labgaz(Thailand) Co.,Ltd
Use Before: 06/09/2022

Component	Specification (+/-10%)	Analytical Result (+/-2%)
Oxygen	20.9%	20.8%
Nitrogen	Balance	Balance

Cylinder Size: 2.0 Cu. Ft.
Contents: 58 Liters

Valve: 5/8"-18 UNF
Pressure: 500 psig

The calibration gas prepared by Gasco is considered a certified standard. It is prepared by gravimetric or partial pressure techniques. The calibration standard provided is certified against Gasco's G.M.I.S (Gas Manufacturer's Intermediate Standard) which is either prepared by weights traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST) or by using NIST Standard Reference Materials where available.

Analyst:

Brandon Brown

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

GASCO

GASCO AFFILIATES, LLC.

320 Scarlet Blvd.
Oldsmar, FL 34677
(800) 910-0051
fax: (866) 755-8920
www.gascogas.com

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Data: MARCH 25,2019
Order Number: LG1903-004
Lot Number: CBI-472-1

Customer: Labgaz(Thailand) Co.,Ltd
Use Before: 03/25/2021

Component	Specification (+/-10%)	Analytical Result (+/-2%)
Carbon Monoxide	100 PPM	100.18 PPM
Methane	2.5% vol. (50% LEL)	2.49% vol
Hydrogen Sulfide	25 PPM	25 PPM
Oxygen	18% vol.	17.74% vol.
Nitrogen	BALANCE	BALANCE

Cylinder Size: 2.0 Cu. Ft.
Contents: 58 Liter

Valve: 5/8"-18 UNF
Pressure: 500 psig

The calibration gas prepared by Gasco is considered a certified standard. It is prepared by gravimetric or partial pressure techniques. The calibration standard provided is certified against Gasco's G.M.I.S (Gas Manufacturer's Intermediate Standard) which is either prepared by weights traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST) or by using NIST Standard Reference Materials where available.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Analyst:

บริษัท พร้อมธรรม เซอร์วิส จำกัด (สำนักงานใหญ่)
115 ซอยพหลโยธิน 52 แยก 7 (หมู่บ้านซื่อตรง)
ถนนพหลโยธิน แขวงคลองถนน เขตสายไหม
กรุงเทพมหานคร 10220.
โทร: 086-3675986 แฟกซ์: 0-2552-3031
Email: promptam_service@hotmail.com

PROMPT

PROMPTHAM SERVICE CO.,LTD. (HEAD OFFICE)
115 Soi Phaholyothin 52 Yak 7 (Suetrong village)
Phaholyothin Rd, Klong Thanon, Sai Mai
Bangkok 10220.
Tel: 086-3675986 Fax: 0-2552-3031
Email: promptam_service@hotmail.com

<u>สรุปผลการทำงานของตัวเครื่อง</u>

- หัวตรวจวัด LEL ไม่สามารถปรับเช็คความถูกต้องได้ หัวตรวจวัดเสื่อมคุณภาพ แนะนำต้องเปลี่ยนหัวตรวจวัด
- ควรทำการทดสอบตัวเครื่องเดือนละ 1 ครั้ง และหมั่นตรวจสอบระดับพลังงานของแบตเตอรี่ โดยการทำการอัดประจุไฟทุก 30 วัน
- ควรทำการปรับเช็คความถูกต้องประจำทุกปี

<u>Calibrated by :</u>

Napaporn K.

Napaporn K.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

gasmet

Revised by: MH Checked: MA Accepted: MS Version: 5.0 Date: 3.5.2018

GASMET Reference Spectra GAS-LIB-402_SN28908

Date	11.05.2020
SN	28908
Path length	9.8 m
Temperature	32 °C
V/mol	22.4 l/mol

Nr	Component	Formula	Range	Concentration	File Name	Cal. Gas	Peak height	A/m/1000000 ppm	
1	Water vapor	H_2O	3 vol-%	1000	**Water vapor H2O_0.1 % calibrator.ref**		0.0005	0.05	2115 1/cm - (2501 1/cm)
				5000	**Water vapor H2O_0.5 % calibrator.ref**		0.0028	0.06	
				10000	**Water vapor H2O_1 % calibrator.ref**		0.0054	0.06	
				15000	**Water vapor H2O_1.5 % calibrator.ref**		0.0078	0.05	
				20000	**Water vapor H2O_2 % calibrator.ref**		0.0099	0.05	
				25000	**Water vapor H2O_2.5 % calibrator.ref**		0.0120	0.05	
				30000	**Water vapor H2O_3 % calibrator.ref**		0.0139	0.05	
2	Carbon dioxide	CO_2	2000 ppm	500	**Carbon dioxide CO2_0500 ppm diluted.ref**	2000 mol-ppm ± 2 %	0.1629	33	3728 1/cm
				1000	**Carbon dioxide CO2_1000 ppm diluted.ref**	2000 mol-ppm ± 2 %	0.2679	27	3728 1/cm
				1500	**Carbon dioxide CO2_1500 ppm diluted.ref**	2000 mol-ppm ± 2 %	0.3551	24	3728 1/cm
				2000	**Carbon dioxide CO2_2000 ppm cylinder.ref**	2000 mol-ppm ± 2 %	0.4356	22	3728 1/cm
3	Carbon monoxide	CO	200	ppm	**Non-instrument specific references**				
4	Nitrous oxide	N_2O	100	ppm					
5	Methane	CH_4	100	ppm					
6	Sevoflurane	$C_4H_3F_7O$	50	ppm					
7	Desflurane	$C_3H_2F_6O$	50	ppm					
8	Isoflurane	$C_3H_2ClF_5O$	50	ppm					
9	Halothane	$C_2HBrClF_3$	50	ppm					
10	Ethylene oxide (Oxirar	C_2H_4O	50	ppm					
11	Formaldehyde	CH_2O	50	ppm					
12	Glutaraldehyde	$C_5H_8O_2$	50	ppm					
13	Ammonia	NH_3	50	ppm					
14	Methanol	CH_4O	100	ppm					

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนาร

gasmet

Nr	Component	Formula	Range	Concentration	File Name	Cal. Gas	Peak height	A/m/1000000 ppm
15	Ethanol	C_2H_6O	200	ppm				
16	Isopropanol (2-Propan	C_3H_8O	100	ppm				
17	Acetone	C_3H_6O	200	ppm				
18	Toluene	C_7H_8	200	ppm				
19	*m*-Xylene	C_8H_{10}	200	ppm				
20	*n*-Propane	C_3H_8	100	ppm	**Non-instrument specific references**			
21	Chloroform (Trichloror	$CHCl_3$	100	ppm				
22	Benzene	C_6H_6	50	ppm				
23	Ethyl acetate	$C_4H_8O_2$	50	ppm				
24	Formic acid	CH_2O_2	100	ppm				
25	1-Propanol	C_3H_8O	100	ppm				

Calibration performed by: **11.5.2020 PR**

2/2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

บทความวิชาการที่เผยแพร่ระหว่างการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่และได้รับการตอบรับการตีพิมพ์ในระหว่างการศึกษา

เทพพิทักษ์ กุนอก, วิเศษ วริศรางกูล และ กีรติ สุลักษณ์. (2566). การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในพื้นที่อับอากาศ โดยใช้เทคโนโลยี IOT ในการแสดงผลและแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่น LINE. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 2 ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี 2566. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. วันที่ 10 มีนาคม พ.ศ. 2566.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

PCRUSCI
CONFERENCE 2023

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 2
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประจำปี พ.ศ. 2566

การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในพื้นที่อับอากาศ โดยใช้เทคโนโลยี IOT ในการแสดงผลและแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่น LINE

Development of oxygen measuring devices in confined spaces using IOT technology to display and notify through the LINE application

เทพพิทักษ์ กุนอก[1*] วิเศษ วริศรางกูล[2] กีรติ สุลักษณ์[1]
Theppitak Kunok[1*] Wisaed Warissarangkul[2] Keerati Sulaksna[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000
[1] School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.
[2] สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 จังหวัดนครราชสีมา 30000
[2] The Office of Disease Prevention and Control 9th Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.
*Corresponding author E-mail: Keerati@sut.ac.th

บทคัดย่อ

ที่อับอากาศเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ ทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจนหรือได้รับก๊าซพิษ แหล่งที่เป็นพื้นที่อับอากาศ ได้แก่ บ่อบาดาล โรงเพาะเห็ด อุโมงค์ ท่อระบาย เป็นต้น จากข้อมูลของกองระบาดวิทยา กรมควบคุมโรคปี 2546-2561 พบการบาดเจ็บและเสียชีวิตกว่า 210 ราย จากร่างกายขาดออกซิเจน และการหายใจเอาอากาศที่มีก๊าซพิษเข้าไป เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในพื้นที่อับอากาศ เทคโนโลยี IOT ถูกนำมาใช้ในการแสดงผลและแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่น LINE อุปกรณ์ประกอบด้วย เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในอากาศ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการประมวลผล ควบคุมสั่งการทำงาน และส่งข้อมูล ระบบถูกออกแบบให้แจ้งเตือนด้วยเสียงและหลอดไฟแสดงสถานะพร้อมทั้งส่งข้อมูลปริมาณออกซิเจนที่วัดได้ผ่าน Line Notify ทุก 3 วินาที มีข้อความแจ้งเตือนเมื่อปริมาณออกซิเจนที่วัดได้น้อยกว่าค่าที่กำหนดคือ 18 %Vol. จากการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ด้วยวิธีการจำลองสภาวะที่อับอากาศโดยใช้ปฏิกิริยาการเผาไหม้เพื่อลดปริมาณออกซิเจนในอากาศ พบว่าสามารถแจ้งเตือนสถานะความปลอดภัยได้ สามารถแจ้งเตือนผ่าน Line Notify ได้ และจากการสอบเทียบเซนเซอร์ออกซิเจนที่เลือกใช้พบว่าให้ค่าความคลาดเคลื่อน 0.55 %

คำสำคัญ : ที่อับอากาศ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เซนเซอร์วัดออกซิเจน

Abstract

Confined space has been accidental risk caused by hypoxia, which was obtains toxic gas, oxygen deficit along with sources such as an astersian well, a mushroom house, a tunnel, a sanitary sewer, etc. In addition, collective data of Bureau of Epidemiology, Department of Disease Control, Ministry of public health from 2003-2018 A.C. found more than 210 injured and dead due to oxygen deficit and inhaled toxic gas : hydrogen sulfide, ammonia, sulfur dioxide and carbon dioxide. This study focused on development of oxygen measuring devices in confined spaces using IOT technology to display and notify through the LINE application Equipment includes air oxygen sensor Microcontroller board for processing, controlling, commanding and sending data. The system is designed to alert with sound and indicator lights. Along with sending the measured oxygen data via Line Notify every 3 seconds, there is a notification message when the measured oxygen content is less than the specified value, which is 18 %Vol .From testing the operation of the equipment by simulating confined conditions by using a combustion reaction to reduce the amount of oxygen in the air, it was found that it could alert the safety status. Can be notified via Line Notify and from the calibration of the selected oxygen sensor, it was found that the error was 0.55%.

Keywords : Confined space, Microcontroller board, Oxygen sensor

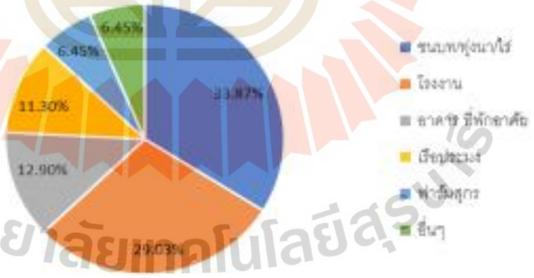
บทนำ

ที่อับอากาศ (Confined space) ตามกฎกระทรวงเรื่องมาตรฐานความปลอดภัยในที่อับอากาศปี พ.ศ. 2547 หมายถึง ที่ซึ่งมีทางเข้าออกจำกัดและมีการระบายอากาศไม่เพียงพอที่จะทำให้อากาศภายในอยู่ในสภาพถูกสุขลักษณะและปลอดภัย เช่น อุโมงค์ ถ้ำ บ่อ หลุม ห้องใต้ดิน ห้องนิรภัย ถังน้ำมัน ถังหมัก ถังไซโล ท่อ เตา ภาชนะหรือสิ่งอื่นที่มีลักษณะคล้ายกัน ที่อับอากาศเป็นสถานที่อันตรายที่พบได้ทั้งในภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และกิจการสาธารณูปโภค เป็นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นสถานที่ที่ประกอบไปด้วยบรรยากาศอันตรายซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้ (สุทธิศักดิ์ เด่นดวงใจ และ คทาวุธ ดีปรีชา, 2564) ดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 1 ตัวอย่างสถานที่อับอากาศที่สามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน (ก) บ่อบาดาล (ข) โรงเพาะเห็ด (ค) ช่องเก็บปลาในเรือประมง

การเสียชีวิตจากจากการปฏิบัติงานในที่อับอากาศหรือการเสียชีวิตจากภาวะอับอากาศมี 2 สาเหตุหลัก ได้แก่ 1.การที่ร่างกายขาดออกซิเจนโดยการหายใจเอาอากาศที่มีออกซิเจนต่ำหรือหายใจเอาก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปทดแทนปริมาณก๊าซออกซิเจนและ 2.ร่างกายหายใจเอาอากาศที่มีก๊าซพิษเข้าไป เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ทำให้ให้เกิดอาการเวียนศีรษะ หมดสติ และเสียชีวิตได้ (สันติ เกิดทองทวี และคณะ, 2562) จากการรวบรวมข้อมูลของกองระบาดวิทยา กรมควบคุมโรคปี 2546-2561 พบว่ามีรายงานเหตุการณ์การบาดเจ็บและเสียชีวิตจากการทำงานในที่อับอากาศ 62 เหตุการณ์ มีผู้บาดเจ็บ 80 ราย เสียชีวิต 130 ราย อัตราป่วยตาย ร้อยละ 61.9 (สุธาทิพย์ บูรณสถิตนนท์ และคณะ, 2564)



ภาพที่ 2 ข้อมูลสถานที่เกิดเหตุจากการทำงานในพื้นที่อับอากาศ ตั้งแต่ปี 2546-2561 (สุธาทิพย์ บูรณสถิตนนท์ และคณะ, 2564)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

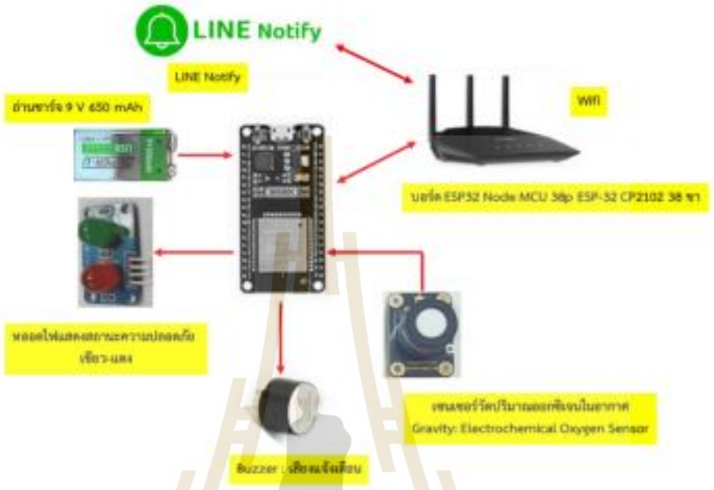
พบว่าผู้บาดเจ็บและเสียชีวิตส่วนใหญ่เป็นแรงงานนอกระบบที่อยู่ในภาคเกษตรกรรม การเสียชีวิตโดยส่วนใหญ่เกิดจากการขาดอากาศหายใจหรือออกซิเจนไม่เพียงพอ เมื่อพิจารณาถึงสาเหตุหลักของการเสียชีวิตแล้วพบว่ากลุ่มแรงงานนอกระบบยังขาดความรู้และทักษะเกี่ยวกับการทำงานในที่อับอากาศ ขาดเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่จำเป็นในการทำงานในที่อับอากาศ (ไม่สามารถประเมินสภาพอากาศในที่อับอากาศได้) เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในพื้นที่อับอากาศ โดยใช้เทคโนโลยี IOT (Internet of Things) หรืออินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่งมาเป็นแนวความคิดในการออกแบบการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้สื่อสารกันเองได้และสามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เทอร์เน็ตเพื่อติดต่อสื่อสาร รับ-ส่งข้อมูล และประมวลผลข้อมูลต่างๆกับระบบได้ (กำธร สารวรรณ และคณะ, 2563) โดยนำมาประยุกต์ใช้ในส่วนของการแสดงผลและแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่น Line หรือ Line Notify ซึ่งเป็นบริการที่ทางแอพพลิเคชั่น Line ได้จัดเตรียมไว้ให้ใช้งานในรูปแบบของ API เพื่อให้นักพัฒนารวมถึงผู้ที่สนใจนำไปประยุกต์ใช้ในการส่งข้อความการแสดงผล รวมถึงการแจ้งเตือนไปยังกลุ่มหรือบัญชีส่วนตัวได้ (อิมรอน แวมง และคณะ, 2563) และจะทำการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อช่วยลดความเสี่ยงจากการบาดเจ็บและเสียชีวิตจากการทำงานในที่อับอากาศ

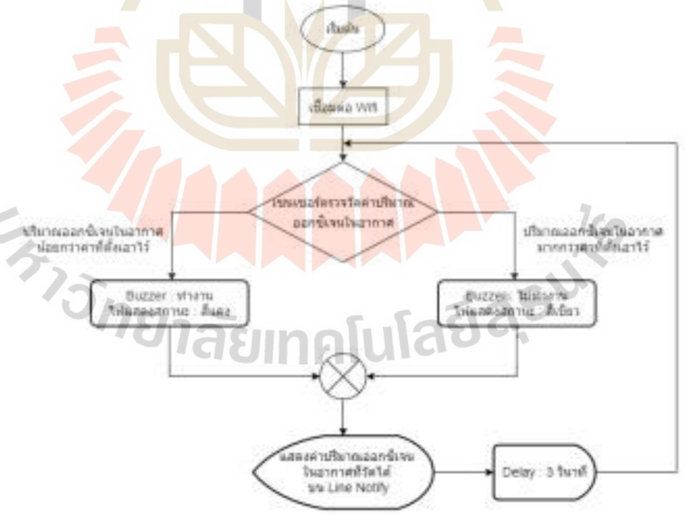
วิธีดำเนินการ

แนวคิดการออกแบบระบบ

งานวิจัยนี้ได้นำเทคโนโลยี IOT มาประยุกต์เข้ากับระบบที่ประกอบด้วย ถ่านชาร์จขนาด 9 V 650 mAh ใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้ระบบ เซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนในอากาศ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP 32 สำหรับประมวลผล ควบคุม สั่งการทำงาน และส่งข้อมูลไปยังแอพพลิเคชั่น Line Line Notify เพื่อแสดงผลค่าปริมาณออกซิเจนในอากาศที่วัดได้ หลอดไฟแสดงสถานะความปลอดภัย และเสียงแจ้งเตือน โดยระบบเริ่มทำงานเมื่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มีการเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตตามที่ได้ตั้งเอาไว้ จากนั้นระบบส่งค่าปริมาณออกซิเจนในอากาศที่วัดได้ไปแสดงผลบน Line Notify โดยแสดงผลทุก 3 วินาที เมื่อปริมาณออกซิเจนในอากาศมีค่ามากกว่า 18 %Vol หลอดไฟแสดงเป็นสีเขียวและไม่มีเสียงแจ้งเตือน แต่เมื่อปริมาณออกซิเจนในอากาศมีค่าน้อยกว่า 18 %Vol หลอดไฟแสดงเป็นสีแดงและมีเสียงแจ้งเตือนพร้อมกับแจ้งเตือนผ่าน Line Notify ดังแสดงในภาพที่ 3



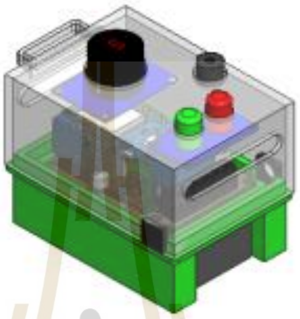
ภาพที่ 3 กรอบแนวความคิดการออกแบบระบบตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในพื้นที่อับอากาศ



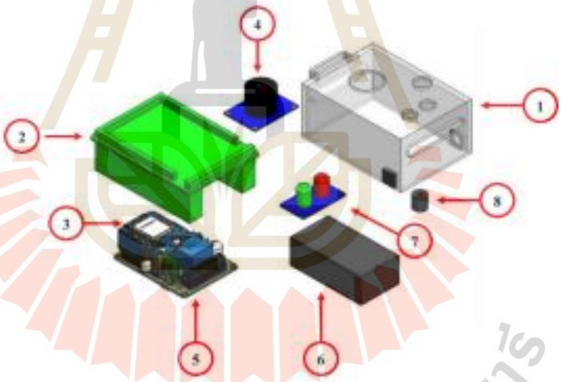
ภาพที่ 4 ผังการทำงานของระบบที่ออกแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การออกแบบอุปกรณ์โดยใช้โปรแกรม Solid Works 2021 ดังแสดงในภาพที่ 5 และ 6



ภาพที่ 5 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในพื้นที่อับอากาศ



ภาพที่ 6 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในพื้นที่อับอากาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อุปกรณ์ที่ออกแบบมีขนาดความกว้าง 9.40 เซนติเมตร สูง 8.00 เซนติเมตร และลึก 6.00 เซนติเมตร ประกอบด้วย หมายเลข 1 และ 2 คือ ตัวอุปกรณ์ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ วัสดุที่ใช้เป็นพลาสติกชนิด PLA+ หมายเลข 3 คือ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 DevKitC WiFi+Bluetooth (38 Pins) ที่พัฒนาต่อเนื่องมาจากบอร์ด ESP8266 มีทั้ง Wifi และ Bluetooth ในตัวเดียวกัน มีเซนเซอร์อุณหภูมิในตัว หน่วยความจำเพิ่มขึ้น และประมวลผลเร็วกว่า ESP8266 ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40 ถึง 125 องศาเซลเซียสเหมาะกับการใช้งานทางด้าน IOT หมายเลข 4 คือ เซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนในอากาศ Gravity: Electrochemical Oxygen Sensor ใช้ไฟเลี้ยง 3.3 หรือ 5 โวลต์ วัดความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในอากาศได้ตั้งแต่ 0 ถึง 30

%Vol เวลาในการตอบสนองน้อยกว่า 15 วินาที ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -20 ถึง 50 องศาเซลเซียส ความชื้น 0-99 %RH หมายเลข 5 คือ บอร์ดขยายขา ESP32 แบบ 38 ขา รับไฟเข้าได้ตั้งแต่ 7 ถึง 12 โวลต์ ใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับบอร์ด ESP32 มีสวิตช์เปิด/ปิดแหล่งจ่ายพลังงาน มีขาต่อไฟออก 3.3 และ 5 โวลต์ มีขาต่อสำหรับ ESP32 ทำให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ หมายเลข คือ 6 รางถ่าน 9 โวลต์ หมายเลข 7 คือ LED Module ไฟแสดงสถานะ 2 ดวง สีเขียว แดง ใช้ไฟเลี้ยง 3.3 ถึง 5 โวลต์ และหมายเลข 8 คือ Active Buzzer Module โมดูลเสียงแจ้งเตือน ทำงานแบบ Active High ใช้ไฟเลี้ยง 3.3 ถึง 5 โวลต์

การออกแบบและพัฒนาระบบ IOT สำหรับอุปกรณ์

ระบบ IOT (Internet of Things) หรือ อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง เป็นกรอบแนวคิดของระบบโครงข่ายที่รองรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์หลายชนิด ทำให้ระบบต่างๆสามารถติดต่อสื่อสารและทำงานร่วมกันได้ IOT มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า M2M หรือ Machine to Machine เป็นการเข้าถึงอุปกรณ์ รับส่งข้อมูลต่างๆ ผ่านอินเทอร์เน็ต ระบบที่ออกแบบจะใช้รูปแบบการเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์สื่อสารระยะสั้น ใช้กำลังส่งต่ำ เหมาะกับพื้นที่ควบคุมขนาดเล็กอยู่ในลักษณะของการเชื่อมต่อผ่านโครงข่าย Wifi มีการแสดงผลและแจ้งเตือนไปยัง Line Notify ที่เป็นส่วนหนึ่งของระบบ IOT ที่ถูกพัฒนาขึ้นให้สามารถส่งข้อความ การแจ้งเตือนไปยังกลุ่มหรือบุคคลได้ โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เป็นแกนหลักในการสื่อสาร รับส่งข้อมูล (วราภรณ์ ไทยมา และ วรพล อิทธิคเณศร, 2563) ผ่านการเขียนรหัสโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานและแสดงผลของระบบ โดยใช้โปรแกรม Arduino IDE ดังแสดงในภาพที่ 7

```
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
const char* ssid = "Dada";
const char* password = "77777721";
const char* serverName = "https://notify-api.line.me/api/notify";
unsigned long lastTime1 = 0;
unsigned long timerDelay1 = 500;
unsigned long lastTime2 = 0;
unsigned long timerDelay2 = 1000;
String token1 = "NYucwl3s6JTbenW4kJty4wffpSqqLFA&gGcJcK#nZhQ";
//=====================================================================
#include "DFRobot_OxygenSensor.h"
#define COLLECT_NUMBER    10            // collect number, the collection range is 1-100.
#define Oxygen_IICAddress ADDRESS_3
//=====================================================================
const float L_O2 = 16, H_O2 = 22;
#define red_led 32
#define green_led 33
#define buz 25
DFRobot_OxygenSensor Oxygen;
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(red_led, OUTPUT);
  pinMode(green_led, OUTPUT);
  pinMode(buz, OUTPUT);
  digitalWrite(red_led, HIGH);
  digitalWrite(green_led, HIGH);
```

ภาพที่ 7 ตัวอย่างรหัสโปรแกรมควบคุมการทำงานและแสดงผลของระบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

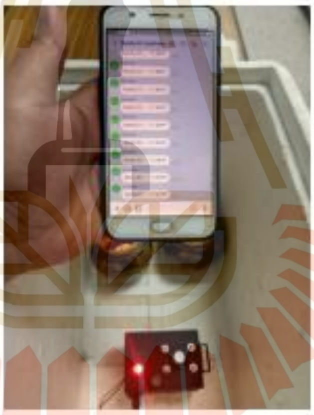
ใช้เทคโนโลยี IOT ในการแสดงผลและแจ้งเตือนผ่าน Line Notify ดังแสดงในภาพที่ 8

ภาพที่ 8 การแสดงผลและแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่น Line

การทดสอบการใช้งานของอุปกรณ์

ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นด้วยวิธีการจำลองสภาวะที่อับอากาศ โดยใช้ปฏิกิริยาการเผาไหม้เพื่อลดปริมาณออกซิเจนในอากาศ นำตัวอุปกรณ์เข้าไปวางไว้ในกล่องปิดเพื่อป้องกันออกซิเจนจากอากาศที่อยู่ภายนอกกล่องเข้าไปทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ภายในกล่อง การทดสอบนี้จะเลือกใช้กล่องโฟมที่มีฝาปิดขนาดความกว้าง 38.50 เซนติเมตร ลึก 25.50 เซนติเมตร สูง 32.50 เซนติเมตร และหนา 3.00 เซนติเมตร มีเทียนวางอยู่ภายใน จากนั้นจะทำการจุดเทียนแล้วปิดฝากล่องโฟมและทำการบันทึกผลค่าปริมาณออกซิเจนที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 9 ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในกล่องโฟมจะใช้ออกซิเจนภายในกล่องเป็นองค์ประกอบหลักในปฏิกิริยาการเผาไหม้ ดังนั้นหลังจากปิดฝากล่องปริมาณออกซิเจนจะลดลงตามเวลา เมื่อปริมาณออกซิเจนมีค่าน้อยกว่าที่กำหนดระบบแจ้งเตือนไปยัง LINE Notify หลอดไฟแสดงสถานะเป็นสีแดงและมีเสียงดังแจ้งเตือน ดังภาพที่ 10 จากนั้นทำการเปิดฝากล่องโฟมออกเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนในอากาศและทำการบันทึกผลค่าปริมาณออกซิเจนที่เกิดขึ้น

ภาพที่ 9 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในพื้นที่อับอากาศ



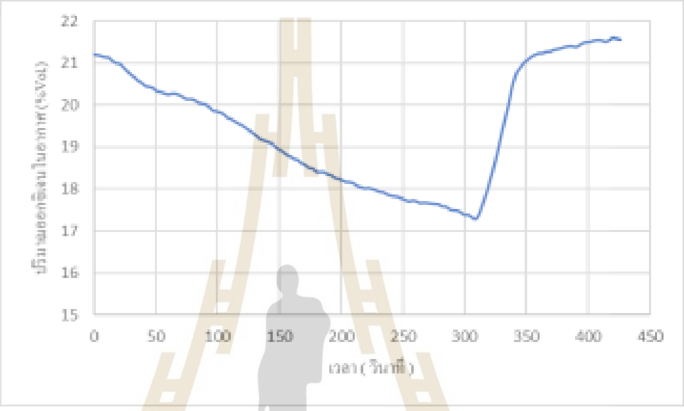
ภาพที่ 10 การทดสอบระบบแจ้งเตือนของอุปกรณ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

ในงานวิจัยนี้เซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนในอากาศที่เลือกใช้ได้ถูกทำการสอบเทียบด้วยวิธีการสอบเทียบกับ Standard Gas Mixer พบว่าให้ความคลาดเคลื่อน 0.55 % คือ Standard Gas Mixer ที่นำมาสอบเทียบประกอบด้วยออกซิเจน 18 %Vol เซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนที่เลือกใช้วัดค่าออกซิเจนได้ 17.9 %Vol

ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ด้วยวิธีการจำลองสภาวะที่อับอากาศ โดยใช้ปฏิกิริยาการเผาไหม้จากการจุดเทียนเพื่อลดปริมาณออกซิเจนที่อยู่ภายในกล่องโฟม (ดังแสดงในภาพที่ 9) เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปริมาณออกซิเจนที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา พบว่าการทดสอบเป็นไปดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (วินาที) กับ ปริมาณออกซิเจนในอากาศ (%Vol)

จากภาพที่ 11 พบว่าหลังจากจุดเทียนและปิดฝากล่องโฟมปริมาณออกซิเจนในอากาศที่วัดได้ในช่วงเวลา 0-309 วินาที มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาเคมีที่สารประกอบไฮโดรคาร์บอนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ ดังนั้นปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจากการทดสอบจะใช้ออกซิเจนที่อยู่ภายในกล่องโฟมเป็นองค์ประกอบหลัก (อนุรักษ์ ปิติรักษ์สกุล และคณะ, 2563) ภายในกล่องโฟมเป็นพื้นที่ปิดทำให้มีปริมาณออกซิเจนจำกัด ดังนั้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณออกซิเจนที่อยู่ภายในกล่องโฟมจะลดลงและพบว่าที่เวลา 228 วินาที ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 17.97 %Vol ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ตั้งเอาไว้ทำให้หลอดไฟแสดงสถานะสีแดง มีเสียงแจ้งเตือนดัง และมีข้อความแจ้งเตือนผ่าน Line Notify เป็นไปตามผังการทำงานของระบบในภาพที่ 4 จากนั้นที่เวลา 309 วินาที ได้ทำการเปิดฝากล่องโฟมออก เนื่องจากปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาการคายความร้อนจึงทำให้เกิดพลังงานความร้อนออกมาด้วย (คณิตดา ธรรมจริยวงศา, 2550) ทำให้เกิดความร้อนสะสมภายในกล่องโฟมเพื่อป้องกันอุปกรณ์เสียหายจากความร้อนจึงทำการเปิดฝากล่องโฟมออก พบว่าเทียนที่อยู่ภายในยังไม่ดับ ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 17.28 %Vol เนื่องจากยังมีออกซิเจนอยู่จึงทำให้เทียนไม่ดับปฏิกิริยาการเผาไหม้ยังคงดำเนินต่อไปได้ หลังจากเปิดฝากล่องโฟมออกแล้วพบว่าปริมาณออกซิเจนในอากาศที่วัดได้ในช่วงเวลา 309-360 วินาที มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพราะเมื่อเปิดฝากล่องโฟมออกอากาศภายนอกที่มีออกซิเจนสูงจะแพร่ไปภายในกล่องโฟม ปริมาณออกซิเจนจึงเพิ่มขึ้นและพบว่าที่เวลา 321 วินาที ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 18.25 %Vol ซึ่งมากกว่าค่าที่ตั้งเอาไว้ทำให้หลอดไฟแสดงสถานะสีเขียว เสียงแจ้งเตือนดับลง และ

แสดงค่าออกซิเจนผ่าน Line Notify เป็นปกติ ไม่แสดงข้อความแจ้งเตือน เป็นไปตามผังการทำงานของระบบในภาพที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนที่วัดได้ที่เวลา 0 วินาที กับ ที่เวลา 360 วินาทีเป็นต้นไป พบว่าที่เวลา 0 วินาที มีปริมาณออกซิเจนน้อยกว่า ทั้งนี้เพราะที่เวลา 0 วินาที เป็นการเริ่มจับเวลาขณะที่ตัวอุปกรณ์อยู่ในกล่องที่มีออกซิเจนน้อยกว่าอากาศภายนอกและที่เวลา 360 วินาทีเป็นต้นไปมีปริมาณออกซิเจนสูงกว่าที่ 0 วินาที ทั้งนี้เพราะได้นำอุปกรณ์ออกมาจากกล่องโฟมทำให้ออกซิเจนที่วัดได้เป็นออกซิเจนในอากาศภายนอกที่มีค่ามากกว่าออกซิเจนจากอากาศภายในกล่อง

สรุปผล

การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในพื้นที่อับอากาศ โดยใช้เทคโนโลยี IOT ในการแสดงผลและแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่น LINE จากการทดสอบด้วยวิธีการจำลองสภาวะที่อับอากาศ โดยใช้ปฏิกิริยาการเผาไหม้เพื่อลดปริมาณออกซิเจนในอากาศภายในกล่องโฟม พบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถแจ้งเตือนสถานะความปลอดภัยได้ คือ เมื่อปริมาณออกซิเจนที่วัดได้น้อยกว่าค่าที่กำหนด (ค่าออกซิเจนที่กำหนดจะมีค่าเท่ากับ 18 %Vol) หลอดไฟแสดงสถานะสีแดง มีเสียงแจ้งเตือนดังออกจากตัวเครื่องและมีการแจ้งเตือนข้อความผ่าน Line Notify และเมื่อปริมาณออกซิเจนที่วัดได้มากกว่าค่าที่กำหนดหลอดไฟแสดงสถานะเป็นสีเขียวและจะแจ้งเตือนค่าออกซิเจนที่วัดได้ผ่าน Line Notify ปกติ (จะไม่ขึ้นข้อความแจ้งเตือน) โดยอุปกรณ์จะทำงานภายใต้รหัสโปรแกรมที่เขียนไว้ มีลำดับการทำงานตามผังการทำงานของระบบที่ออกแบบ การสอบเทียบเซนเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัยกับก๊าซมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ พบว่าเซนเซอร์ที่เลือกใช้ในงานวิจัยให้ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.55 %

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณ บุคลากรกลุ่มงานโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 นครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการช่วยเหลือด้านต่างๆ ตลอดมา ทำให้งานวิจัยนี้ดำเนินงานบรรลุตามวัตถุประสงค์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

กำธร สารวรรณ และคณะ. (2563). การพัฒนาระบบสมาร์ทฟาร์มสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในบ่อ. Engineering Journal of Research and Development, 31(4), 185-194.

คณิตตา ธรรมจริยวงศา. (2550). เตาเผาศพ : อันตรายจากคนตายสู่คนเป็น. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ปีที่ 22 ฉบับที่ 2 ประจำปี 2550.

วราภรณ์ ไทยมา และ วรพล อิทธิคเณศร. (2563). การเปลี่ยนแปลงทางธุรกิจสู่เทคโนโลยีการสื่อสารในระบบ 5G. Vocational Education Central Region Journal, 4(1), 11-16.

สันติ เกิดทองทวี และคณะ. (2562). การศึกษาผลการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนเมื่อเทียบกับ ระดับความลึกในสถานที่อับอากาศ (บ่อ บาดาล) เขตสุขภาพ ที่ 3. Journal of Disease and Health Risk DPC. 3, 13(1), 17-24.

สุทธิศักดิ์ เด่นดวงใจ และ คทาวุธ ดีปรีชา. (2564). บทความฟื้นวิชา ที่อับอากาศ (Confined Space). Royal Thai Army Medical Journal, 74(1), 47-52.

สุธาทิพย์ บูรณสถิตนนท์ และคณะ. (2564). การสอบสวนกรณีผู้เสียชีวิต 2 ราย ในที่อับอากาศ จากการขุดลอกบ่อบาดาลปลอกคอนกรีตแห่งหนึ่ง อำเภอบางขัน จังหวัดนครศรีธรรมราชในเดือนมีนาคม 2563. วารสารควบคุมโรค, 47(2), 376-386. doi:10.14456/dcj.2021.34.

อนุรักษ์ ปิติรักษ์สกุล และคณะ. (2563). การปรับปรุงการเผาไหม้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวโดยใช้ก๊าซโอโซนช่วยในการเผาไหม้. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 30(3), 406–415-406–415. doi:10.14416/j.kmutnb.2020.05.001.

อิมรอน แวมง และคณะ. (2563). การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันขอใช้บริการ ถ่ายสำเนาเอกสารทางวิชาการร่วมกับการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์: กรณีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. Journal of Applied Information Technology, 62-71.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายเทพพิทักษ์ กุนอก เกิดเมื่อวันที่ 16 กันยายน พ.ศ. 2540 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นประถมศึกษาชั้นปีที่ 1-6 และระดับชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนมารีย์วิทยา อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ต่อมาได้รับทุนการศึกษาเฉลิมพระเกียรติ 84 พรรษา เพื่อเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีและสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี เกียรตินิยมอันดับ 2 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปีการศึกษา 2562 และได้รับทุนเรียนดีระดับบัณฑิตศึกษาเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2563 ในขณะศึกษาได้มีโอกาสทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยสอนในรายวิชาพื้นฐานวิศวกรรมเครื่องกล เขียนแบบวิศวกรรม 1 เขียนแบบวิศวกรรม 2 การเขียนแบบทางกล ปฏิบัติการการออกแบบระบบทางกล และปฏิบัติการด้านความร้อนและของไหลสำหรับยานยนต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี