



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแก๊สแบบพกพาสำหรับการวิเคราะห์นอกสถานที่
Portable gas sensing device for on-site analysis

ชื่อนิสิต นายพนัสศิลป์ อุทัย
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2559

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแก๊สแบบพกพาสำหรับการวิเคราะห์นอกสถานที่

Portable gas sensing device for on-site analysis

โดย

นายพนัสศิลป์ อุทัย

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

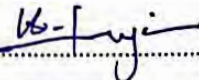
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

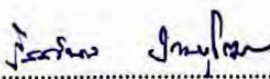
ปีการศึกษา 2559

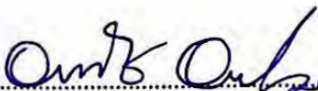
โครงการ การสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแก๊สแบบพกพาสำหรับการวิเคราะห์นอกสถานที่
โดย นายพนัสศิลป์ อุทัย

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ


.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.ภัสสรพล งามอุโฆษ)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนวัช อาชวาคม)

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี

.....หัวหน้าภาควิชาเคมี
(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พาราสุข)

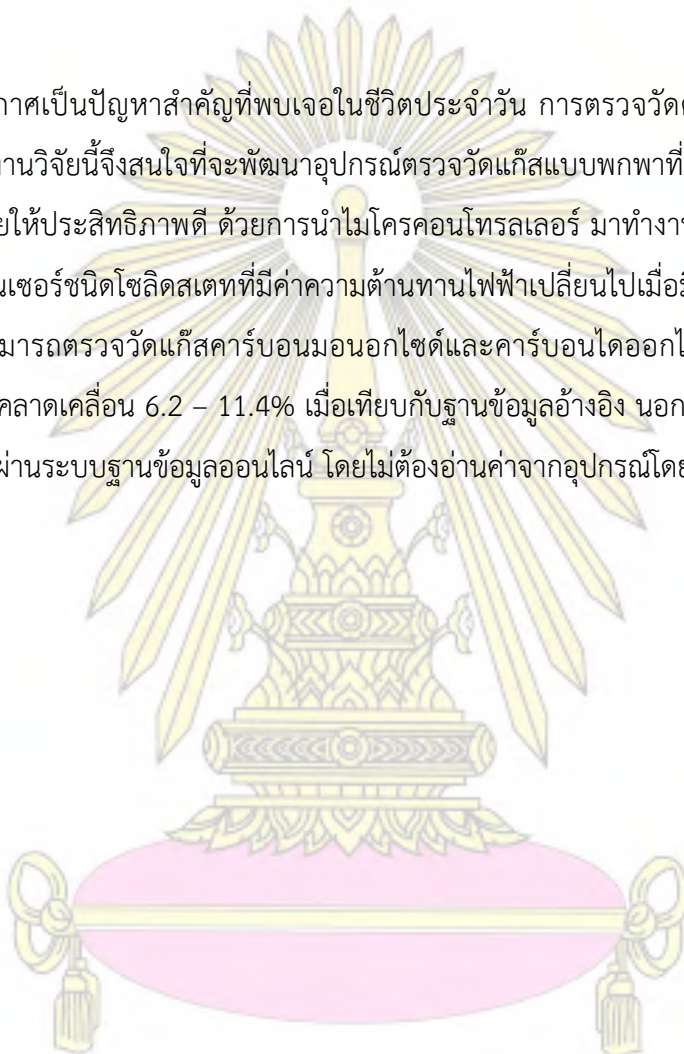
วันที่ เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2560

คุณภาพของการเขียนรายงานเล่มนี้อยู่ในระดับ ดีมาก ดี พอใช้

ชื่อโครงการ การสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแก๊สแบบพกพาสำหรับการวิเคราะห์นอกสถานที่
ชื่อนิติในโครงการ นายพนัสศิลป์ อุทัย เลขประจำตัว 5633109223
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.ภัสสรพล งามอุโฆษ
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

มลพิษทางอากาศเป็นปัญหาสำคัญที่พบเจอในชีวิตประจำวัน การตรวจวัดคุณภาพของอากาศจึงมีความสำคัญ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดแก๊สแบบพกพาที่สามารถเก็บข้อมูลระยะยาวได้และราคาถูก โดยให้ประสิทธิภาพดี ด้วยการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ มาทำงานร่วมกับซอฟต์แวร์ชนิดโอเพนซอร์ส โดยใช้เซ็นเซอร์ชนิดโซลิดสเตทที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนไปเมื่อมีแก๊สมาทำปฏิกิริยา ซึ่งอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้ในเวลาเดียวกัน โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 6.2 – 11.4% เมื่อเทียบกับฐานข้อมูลอ้างอิง นอกจากนี้ยังสามารถติดตามผลการตรวจวัดได้ทันทีผ่านระบบฐานข้อมูลออนไลน์ โดยไม่ต้องอ่านค่าจากอุปกรณ์โดยตรง



คำสำคัญ: ไมโครคอนโทรลเลอร์, อุปกรณ์ตรวจวัดแก๊ส, แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์, แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

กิตติกรรมประกาศ

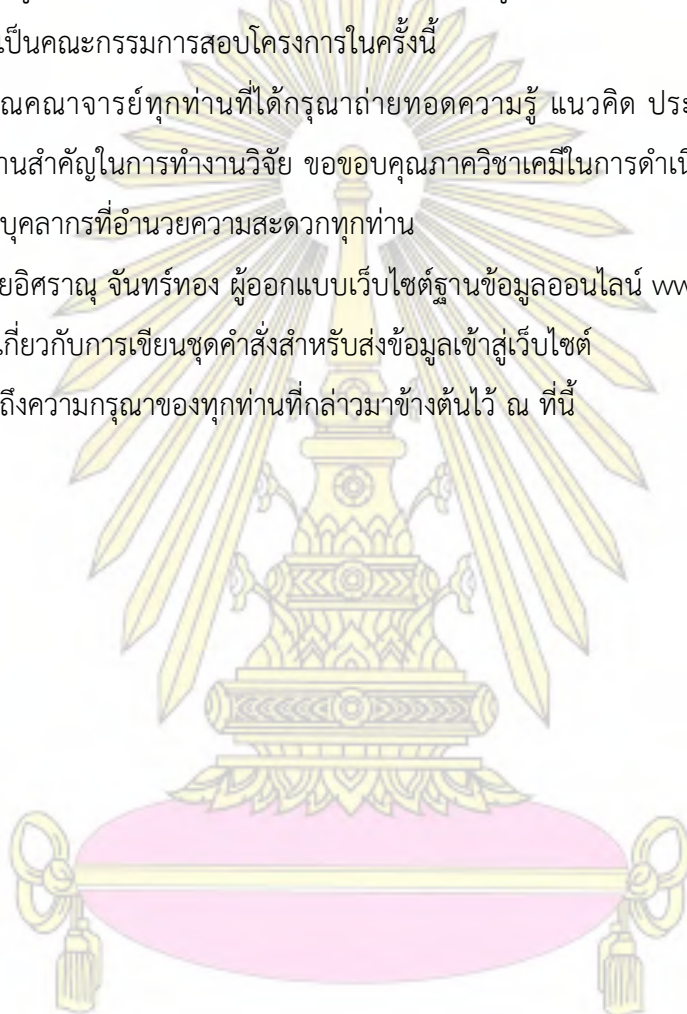
งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยการให้ความอนุเคราะห์อย่างยิ่งของอาจารย์ ดร.ภัสสรพล งามอุโฆษ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้ความรู้ คำอธิบาย เสียสละเวลาในการให้ความช่วยเหลือตลอดการทำงานวิจัย คอยให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความใส่ใจ ตลอดจนช่วยแก้ไขรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนวัช อาชาวาคม ที่สละเวลาให้เกียรติมาเป็นคณะกรรมการสอบโครงการในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้กรุณาถ่ายทอดความรู้ แนวคิด ประสบการณ์ และเทคนิค ปฏิบัติการอันเป็นพื้นฐานสำคัญในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาเคมีในการดำเนินงานด้านทุนสนับสนุน สำหรับงานวิจัย รวมถึงบุคลากรที่อำนวยความสะดวกทุกท่าน

ขอขอบคุณนายอิศราณู จันทร์ทอง ผู้ออกแบบเว็บไซต์ฐานข้อมูลออนไลน์ www.iottweet.com ที่ให้คำปรึกษา และแนะนำเกี่ยวกับการเขียนชุดคำสั่งสำหรับส่งข้อมูลเข้าสู่เว็บไซต์

ผู้วิจัยขอระลึกถึงความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้นไว้ ณ ที่นี้



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
Abstract	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ	1
1.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 แนวคิด เหตุผลและขอบเขต	5
1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 การทดลอง	6
2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	6
2.2 วิธีการออกแบบอุปกรณ์	10
2.3 วิธีการทดลอง	12
บทที่ 3 ผลการทดลอง	18
3.1 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส ด้วยคอมพิวเตอร์	18
3.2 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส ด้วยสมาร์ทโฟน	19
3.3 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส ด้วยเว็บไซต์ฐานข้อมูลออนไลน์	19
3.4 การทดสอบความเสถียรของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส	21
3.5 การวัดปริมาณแก๊สด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สในพื้นที่จริง	22
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	28
4.1 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สด้วยวิธีต่าง ๆ	28
4.2 การทดสอบความเสถียรของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส	28
4.3 การวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส	28
4.4 การวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส	29
เอกสารอ้างอิง	30
ภาคผนวก	31
ประวัติผู้วิจัย	38

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์	2
1.2 โมดูล	2
1.3 แผนภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์	2
1.4 อุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศ	2
1.5 อุปกรณ์ติดตามสภาพอากาศภายในอาคาร	3
1.6 กราฟแสดงการสอบเทียบอุปกรณ์	3
1.7 กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์กับค่าจริง	3
1.8 หลักการทำงานของระบบเซ็นเซอร์อัจฉริยะ	4
1.9 กราฟการตอบสนองของโมดูล MQ-2	4
1.10 กราฟการตอบสนองของโมดูล MQ-7	4
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP8266 NodeMCU	6
2.2 โมดูลเซ็นเซอร์แก๊สรุ่น MQ-2	7
2.3 การบัดกรีเพื่อเชื่อมต่อวงจร	8
2.4 เบริดบอร์ด หรือโปรโตบอร์ด	8
2.5 Male to Male	8
2.6 Female to Female	8
2.7 Male to Female	8
2.8 สายสำหรับเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์	9
2.9 แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบพกพา	9
2.10 แผนภาพลำดับการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สแบบพกพา	11
2.11 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับเบริดบอร์ด	12
2.12 การเชื่อมต่อโมดูลกับเบริดบอร์ด	12
2.13 การตั้งค่าโปรแกรมเพื่อดาวน์โหลดข้อมูลบอร์ด	13
2.14 การดาวน์โหลดข้อมูลบอร์ด	13
2.15 การเข้าเมนูเพื่อดาวน์โหลดข้อมูลบอร์ด	14
2.16 การเลือกชนิดบอร์ดเพื่อดาวน์โหลดข้อมูลบอร์ด	14
2.17 การเลือกชนิดบอร์ด	15
2.18 การอัปโหลดชุดคำสั่ง	15
2.19 การติดตามผลการตรวจวัดโดยใช้คอมพิวเตอร์	16

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.20 การตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์	16
2.21 การเชื่อมต่ออุปกรณ์กับแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า	16
2.22 บริเวณที่ใช้ตรวจวัดปริมาณแก๊ส	17
3.1 หน้าต่างการทำงานโปรแกรม Arduino IDE ขณะใช้คำสั่ง Serial Monitor	18
3.2 แถบสถานะเมื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์และสมาร์ทโฟนสำเร็จ	19
3.3 แถบสถานะเมื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์และสมาร์ทโฟนไม่สำเร็จ	19
3.4 แถบสถานะเมื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์กับฐานข้อมูลออนไลน์ www.iottweet.com สำเร็จ	20
3.5 กราฟข้อมูลที่จะแสดงในเว็บไซต์ฐานข้อมูลออนไลน์ www.iottweet.com	20
3.6 กราฟแสดงการตรวจสอบความเสถียรของอุปกรณ์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	21
3.7 กราฟแสดงการตรวจสอบความเสถียรของอุปกรณ์เป็นเวลา 60 นาที	22
3.8 กราฟแสดงการวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณรอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	23
3.9 กราฟแสดงปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยแต่ละบริเวณ เป็นเวลา 7 วัน	24
3.10 กราฟแสดงปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยแต่ละบริเวณรอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	26
3.11 กราฟแสดงปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยแต่ละบริเวณ เป็นเวลา 7 วัน	27



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยแต่ละบริเวณ	23
2 เปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ บริเวณถนนพระราม 4 กับแหล่งข้อมูลอ้างอิงที่น่าเชื่อถือ	25
3 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยแต่ละบริเวณ	26



บทที่ 1

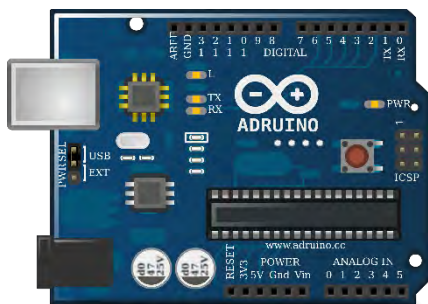
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

ในปัจจุบันมีการคำนึงถึงคุณภาพสิ่งแวดล้อมมากขึ้นโดยเฉพาะมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นสิ่งที่ทุกคนต้องพบเจอในชีวิตประจำวัน จากการรวบรวมข้อมูลพบว่ามลพิษทางอากาศเกิดจากสาเหตุที่สำคัญ เช่น แก๊สจากท่อไอเสียของรถยนต์ แก๊สที่ปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรม การสะสมของสิ่งปฏิกูล คิวไฟจากการเผาสิ่งต่าง ๆ เป็นต้น ผลกระทบจากมลพิษทางอากาศ นอกจากจะทำลายสุขภาพของผู้ที่ได้รับมลพิษแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศของโลกด้วย¹ ดังนั้น การตรวจวัดปริมาณแก๊สที่อยู่ในอากาศจึงมีความสำคัญในการลดความเสี่ยงในกรณีที่มีแก๊สที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทั่วไปออกมา

การตรวจวัดปริมาณแก๊สโดยใช้อุปกรณ์ มีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊ส และความเหมาะสมในการตรวจวัด เช่น อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สที่ใช้เซ็นเซอร์ชนิดที่เป็นโซลิดสเตท (Solid state) ชนิดที่เป็นกัลวานิก (Galvanic) เป็นต้น² ซึ่งเซ็นเซอร์ชนิดต่าง ๆ มีใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ราคาไม่สูงมากจึงเหมาะกับการนำมาใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์การตรวจวัดปริมาณแก๊สให้ใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น นอกจากนี้เทคโนโลยีในปัจจุบัน สามารถเข้าถึงได้ง่ายและสะดวกในการใช้งาน จึงมีการประดิษฐ์สิ่งต่าง ๆ ที่ใช้งานได้จริงในชีวิตประจำวันมากขึ้น โดยเฉพาะไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) (รูปที่ 1.1) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับนักพัฒนา เนื่องจาก มีขนาดเล็ก มีอุปกรณ์สำเร็จรูปสำหรับต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อวัดค่าต่าง ๆ เรียกว่า โมดูล (Module) (รูปที่ 1.2) โดยสามารถเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟน (Smartphone) หรือคอมพิวเตอร์เพื่อใช้สั่งการหรือติดตามข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ ทำให้นักพัฒนาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายด้าน นอกจากนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ยังสามารถเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless Network) ทำให้การส่งข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดเป็นไปได้อย่างต่อเนื่อง และรวดเร็ว สามารถติดตามข้อมูลได้ทุกเวลา

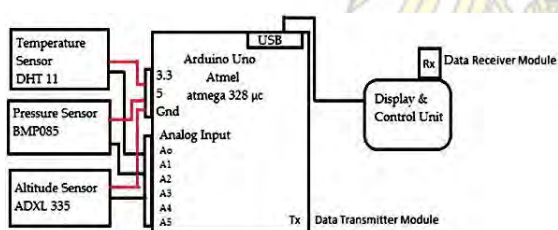
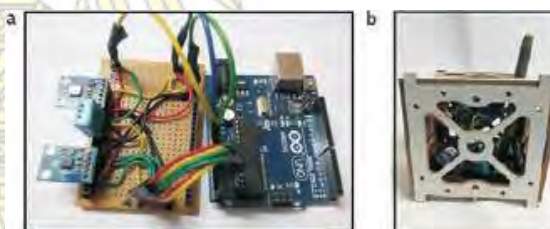
ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สที่สามารถติดตามผลการตรวจวัดได้อย่างต่อเนื่อง โดยให้อุปกรณ์เชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายไร้สาย และใช้เซ็นเซอร์ที่จำเพาะต่อชนิดของแก๊สที่ต้องการตรวจวัด มาประยุกต์รวมกับซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลระยะยาว ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถนำอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สนี้ไปใช้นอกสถานที่ หรือสถานที่ที่มีสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมอันตรายต่อการเข้าไปตรวจวัดด้วยตัวบุคคลได้ เพื่อลดความเสี่ยงในการได้รับสารปนเปื้อนจากการตรวจวัด

รูปที่ 1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์³รูปที่ 1.2 โมดูล⁴

1.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 การสร้างสถานีตรวจวัดสภาพอากาศโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

Laskar และคณะ⁵ สนใจศึกษาเกี่ยวกับสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ จึงออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศขึ้น โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ยี่ห้อ Arduino รุ่น Uno ซึ่งมีราคาถูก และใช้โมดูล 3 ชนิด ในการตรวจวัดสภาพอากาศ ได้แก่ โมดูลตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT11) โมดูลตรวจวัดแรงดันอากาศ (BMP085) และโมดูลตรวจวัดความเร็วลม (ADXL-335) นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ใช้โมดูลสำหรับรับส่งข้อมูลโดยไม่ใช้เครือข่ายอินเทอร์เน็ต (RF module) โดยข้อมูลที่ตรวจวัดได้ จะถูกเก็บและวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หรือโทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) มีแผนภาพการเชื่อมต่อ ดังรูปที่ 1.3 เมื่อออกแบบเรียบร้อยแล้ว อุปกรณ์จะมีลักษณะดังรูปที่ 1.4

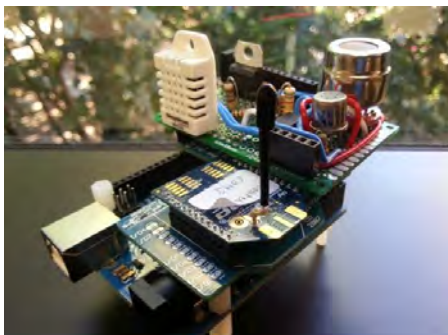
รูปที่ 1.3 แผนภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์⁵รูปที่ 1.4 อุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศ⁵

ต่อมา ผู้วิจัยได้ทดสอบอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น โดยนำไปตรวจวัดสภาพอากาศที่เมืองกัลกัตตา (Kolkata) ประเทศอินเดีย เป็นเวลา 4 เดือน พบว่า ข้อมูลที่ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดสภาพอากาศท้องถิ่นที่นำมาอ้างอิง จึงสรุปได้ว่า อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น สามารถใช้เป็นสถานีตรวจวัดสภาพอากาศได้จริง

1.2.2 การสร้างอุปกรณ์ติดตามสภาพอากาศภายในอาคารโดยใช้ระบบเครือข่ายไร้สาย

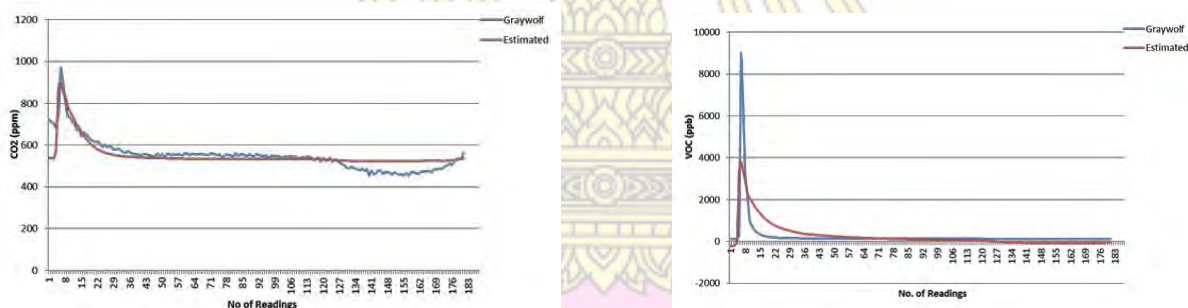
Sherin และ Xinrong⁶ ได้ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับมลพิษในอากาศ ซึ่งคนส่วนใหญ่ไม่ให้ความสนใจ จึงออกแบบอุปกรณ์ติดตามสภาพอากาศภายในอาคารที่มีราคาถูกกว่าอุปกรณ์ทั่วไป โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ยี่ห้อ Arduino รุ่น Uno และใช้โมดูล 6 ชนิด ในการติดตามสภาพอากาศและรับส่งข้อมูล (รูปที่ 1.5) ได้แก่

โมดูลตรวจวัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (MG811) โมดูลตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย (TGS2602) โมดูลตรวจวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (MQ7) โมดูลตรวจวัดแก๊สโอโซน (MQ131) โมดูลตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น (RTH03) และโมดูลสำหรับเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สาย (XBee)

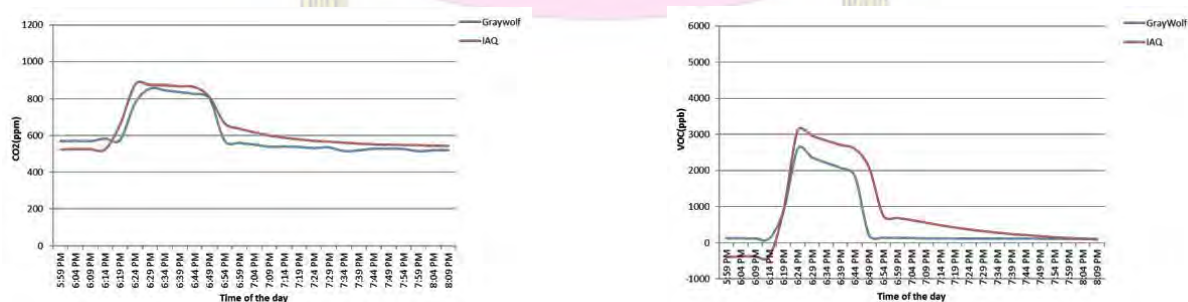


รูปที่ 1.5 อุปกรณ์ติดตามสภาพอากาศภายในอาคาร⁶

ทำการสอบเทียบเครื่องมือโดยวิธีทางคณิตศาสตร์ (Least Square Method) เพื่อให้อุปกรณ์มีความแม่นยำมากขึ้น (รูปที่ 1.6) จากนั้นนำไปตรวจวัดกับตัวอย่างจริง พบว่า ข้อมูลที่ได้ (รูปที่ 1.7) มีความเบี่ยงเบนเล็กน้อยจากค่าจริง โดยค่าอุณหภูมิสูงกว่าค่าจริง ค่าความชื้นต่ำกว่าค่าจริง และค่าของแก๊สชนิดต่าง ๆ มีความใกล้เคียงกับค่าจริง เนื่องจากโมดูลตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น ไม่สามารถสอบเทียบด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ได้ จึงมีการเบี่ยงเบนจากค่าจริงมากกว่า



รูปที่ 1.6 กราฟแสดงการสอบเทียบอุปกรณ์⁶

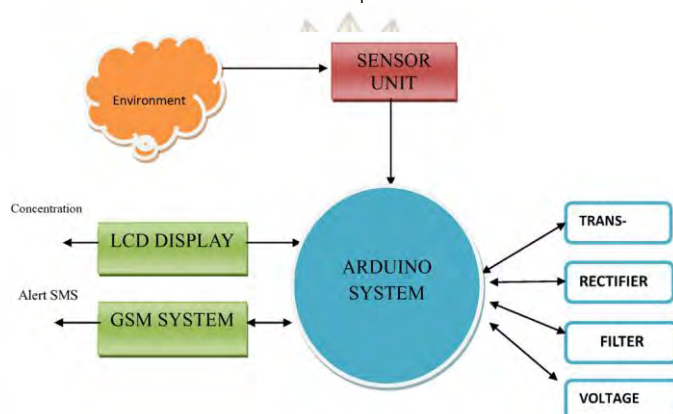


รูปที่ 1.7 กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์กับค่าจริง⁶

1.2.3 การใช้ระบบเซ็นเซอร์อัจฉริยะตรวจวัดแก๊สที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

Kumar⁷ ศึกษาการปนเปื้อนของแก๊สชนิดต่าง ๆ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สที่ติดไฟได้ โดยใช้อุปกรณ์ในการตรวจวัดแก๊สแบบใหม่ที่สามารถระบุชนิดของแก๊ส และบอกข้อมูลที่จำเป็นได้

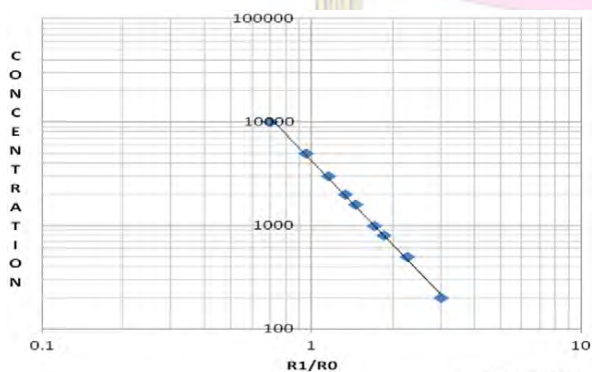
อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ยี่ห้อ Arduino รุ่น Atmega 328 สำหรับประมวลผล ใช้โมดูล 3 ชนิด คือ โมดูลตรวจวัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (MQ-2) โมดูลตรวจวัดแก๊สที่ติดไฟได้ (MQ-7) และโมดูลสำหรับเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายไร้สาย (GSM shield) นอกจากนี้ยังติดตั้งสัญญาณเตือนภัยและหลอดไฟสำหรับเตือนภัยเมื่อมีแก๊สในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ โดยมีหลักการทำงานดังรูปที่ 1.8



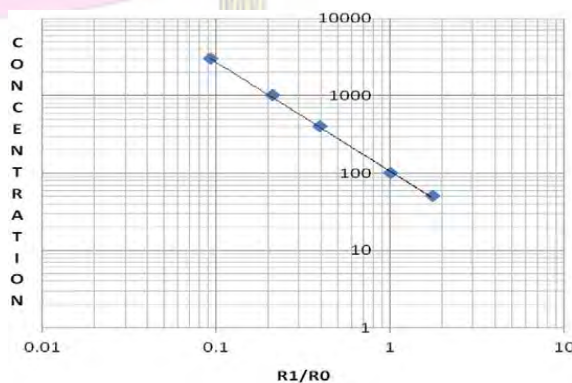
รูปที่ 1.8 หลักการทำงานของระบบเซ็นเซอร์อัจฉริยะ⁷

จากรูปที่ 1.8 จะเห็นว่าเมื่อมีแก๊สมากขึ้น เซ็นเซอร์จะสามารถตรวจจับแก๊สได้ และส่งไปประมวลผลที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยรายงานผลในรูปของความเข้มข้นผ่านหน้าจอ LCD หากมีปริมาณมากเกินไป หน่วยประมวลผลจะส่งข้อมูลแจ้งเตือนผ่านทางข้อความโดยใช้ระบบเครือข่ายไร้สาย

เมื่อทำการสอบเทียบโมดูลตรวจวัดแก๊สทั้ง 2 ชนิดโดยผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปริมาณต่าง ๆ เข้าไปที่เซ็นเซอร์ พบว่า เซ็นเซอร์มีการตอบสนองต่างกันเมื่อใช้ปริมาณต่างกัน สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปของโมดูล MQ-2 และโมดูล MQ-7 ได้ดังรูปที่ 1.9 และ รูปที่ 1.10 ตามลำดับ โดยหลังจากการสอบเทียบ พบว่า ค่าที่วัดได้มีค่าคลาดเคลื่อนสูงจากค่าจริงอยู่ในช่วง 1 – 8%



รูปที่ 1.9 กราฟการตอบสนองของโมดูล MQ-2⁷



รูปที่ 1.10 กราฟการตอบสนองของโมดูล MQ-7⁷

1.3 แนวคิด เหตุผลและขอบเขต

จากผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะเห็นได้ว่าแต่ละผลงานวิจัยยังมีข้อจำกัด คือ อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นไม่สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย ไม่สามารถติดตามผลการตรวจวัดได้ทันทีขณะทำการตรวจวัด และไม่สามารถเก็บข้อมูลระยะยาวได้ ซึ่งผู้วิจัยมองเห็นว่า ข้อด้อยดังกล่าว สามารถนำมาปรับปรุงและพัฒนาในงานวิจัยนี้ได้โดยใช้ข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ มีขนาดเล็ก และสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สายได้ ซึ่งผู้วิจัยคาดว่านอกจากเป็นการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สจากไมโครคอนโทรลเลอร์แล้ว ยังเป็นการเพิ่มความปลอดภัยต่อผู้วิเคราะห์ในการเข้าไปวิเคราะห์ในพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมอีกด้วย โดยมีขอบเขตงานวิจัยดังนี้

1. อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP8266 NodeMCU เท่านั้น โดยเชื่อมต่อกับโมดูลแก๊สเซ็นเซอร์ที่สามารถตรวจวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ได้
2. โปรแกรมสำหรับควบคุมอุปกรณ์ ใช้ภาษาซีที่เป็นลักษณะเฉพาะสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP8266 NodeMCU เท่านั้น

1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สสำหรับการวิเคราะห์ในพื้นที่ต่าง ๆ และสามารถติดตามผลการตรวจวัดได้ทันที
2. อธิบายและเปรียบเทียบความถูกต้องในการตรวจวัดจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น โดยอ้างอิงข้อมูลจากฐานข้อมูลของหน่วยงานที่น่าเชื่อถือ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สที่สามารถนำไปตรวจวัดภายนอกสถานที่ และติดตามผลได้ทันที

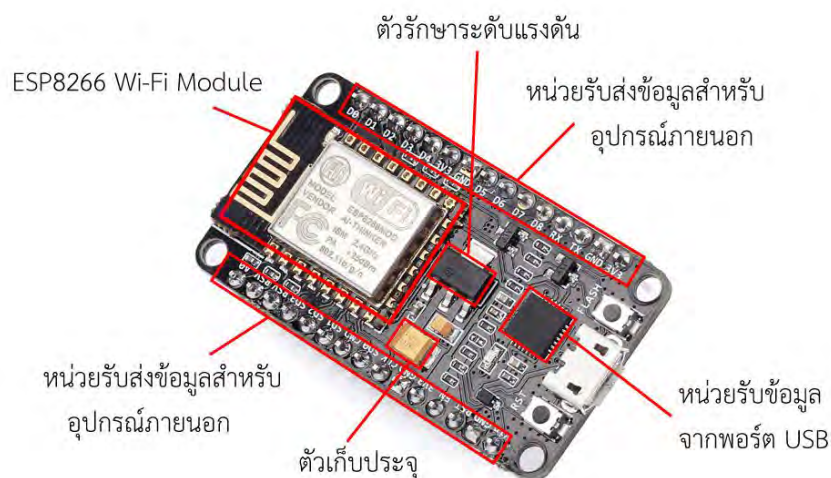
บทที่ 2 การทดลอง

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP8266 NodeMCU^๘

เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ประกอบด้วยตัวบอร์ด (Development Kit) เฟิร์มแวร์ (Firmware) และโมดูลสำหรับเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายไร้สาย (ESP8266 Wi-Fi Module) อยู่ในบอร์ดเดียวกัน (รูปที่ 2.1) โดยภายในบอร์ดประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- I. หน่วยประมวลผล (Processing Unit) ประกอบด้วย หน่วยควบคุม (Control Unit) และหน่วยคำนวณและตรรกะ (Arithmetic and Logical Unit)
- II. หน่วยความจำหลักแบบแก้ไขได้ (Random Access Memory) สามารถเขียนและอ่านข้อมูลได้อย่างอิสระ และรวดเร็ว
- III. หน่วยความจำหลักแบบอ่านได้อย่างเดียว (Read Only Memory) ใช้เก็บข้อมูลที่ไม่ต้องแก้ไข เช่น โปรแกรมไบออส (Basic Input Output System, BIOS), เฟิร์มแวร์ (Firmware) เป็นต้น
- IV. หน่วยรับส่งข้อมูลสำหรับอุปกรณ์ภายนอก (Input/Output Port, I/O Port) เป็นช่องทางสำหรับการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอก
- V. หน่วยรับแรงดันไฟฟ้าจากอุปกรณ์ภายนอก โดยบอร์ดชนิดนี้ สามารถรับแรงดันไฟฟ้าจากอุปกรณ์ภายนอก โดยการต่อทางพอร์ต USB
- VI. โมดูลสำหรับเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายไร้สาย (ESP8266 Wi-Fi Module)



รูปที่ 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP8266 NodeMCU^๙

2.1.2 โมดูลเซ็นเซอร์แก๊สรุ่น MQ-2

โมดูลเป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำมาเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาเป็นอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามที่ผู้พัฒนาต้องการ โดยโมดูลมีหลายชนิด เช่น โมดูลเซ็นเซอร์แก๊ส โมดูลเซ็นเซอร์อุณหภูมิ และความชื้น โมดูลสำหรับเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายไร้สาย เป็นต้น ซึ่งหน้าที่ของแต่ละโมดูลจะแตกต่างกันตามชนิดและการนำไปใช้

โมดูลเซ็นเซอร์แก๊ส เป็นโมดูลสำหรับตรวจวัดปริมาณแก๊สในอากาศโดยอาศัยหลักการทางไฟฟ้า ซึ่งโมดูลชนิดนี้ ได้รับการพัฒนามาหลายรุ่นเพื่อให้ตรวจวัดปริมาณแก๊สได้หลากหลายชนิดขึ้น โดยโครงการนี้เลือกโมดูลเซ็นเซอร์แก๊สรุ่น MQ-2 (รูปที่ 2.2) มาตรวจวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide, CO) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide, CO₂) ที่มีอยู่ในอากาศ โดยมีหลักการทำงานดังนี้

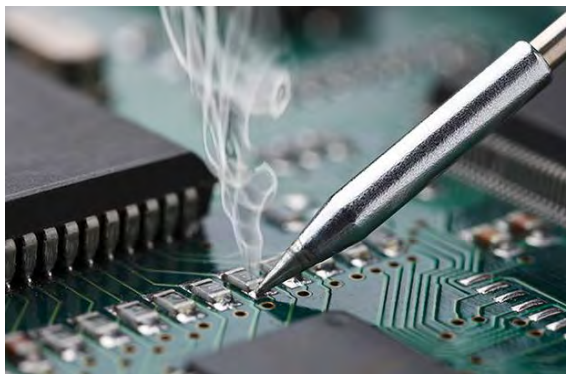
เซ็นเซอร์ MQ-2 ประกอบด้วยทินไดออกไซด์ (Tin dioxide, SnO₂) ซึ่งจะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงเมื่ออยู่ในสภาวะอากาศปกติ เมื่อให้กระแสไฟฟ้ากับเซ็นเซอร์ ขดลวดภายในเซ็นเซอร์จะได้รับความร้อน ทำให้ทินไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับแก๊สในอากาศได้ โดยในสภาวะอากาศปกติที่มีแก๊สออกซิเจน (Oxygen, O₂) ประมาณ 21% ของส่วนประกอบทั้งหมดในอากาศ อิเล็กตรอนบริเวณผิวของชั้นทินไดออกไซด์จะถูกแก๊สออกซิเจนจับไว้บริเวณผิว ทำให้เกิดกำแพงศักย์ขึ้น (Potential Barrier) อิเล็กตรอนจึงไหลเวียนในวงจรได้ยาก ความต้านทานไฟฟ้าจึงมีค่าสูง เมื่ออยู่ในสภาวะอากาศปกติ แต่เมื่อมีแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ (Combustion gas) เช่น แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนที่รับอิเล็กตรอนมาจากทินไดออกไซด์บริเวณผิว ทำให้จำนวนออกซิเจนที่จับอิเล็กตรอนของทินไดออกไซด์ลดลง เป็นผลให้กำแพงศักย์ต่ำลง อิเล็กตรอนในระบบจึงไหลเวียนในวงจรง่ายขึ้น ทำให้ความต้านทานไฟฟ้าลดลง¹⁰ โดยการลดลงของค่าความต้านทานไฟฟ้านี้ เมื่อนำมาวัดเทียบกับค่าความต้านทานไฟฟ้าในสภาวะปกติ จะสามารถคำนวณหาความเข้มข้นของแก๊สในอากาศได้ โดยการแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้เป็นความเข้มข้นของแก๊สแสดงในภาคผนวก



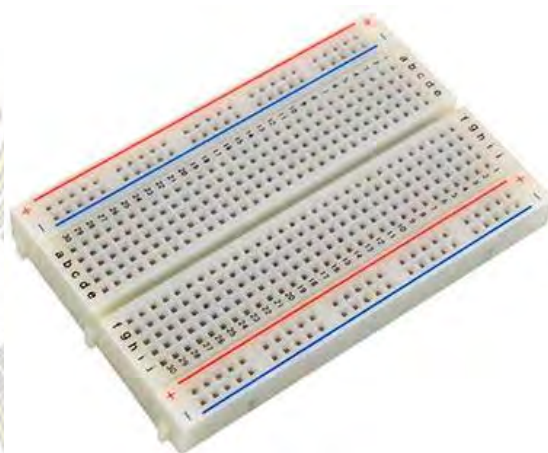
รูปที่ 2.2 โมดูลเซ็นเซอร์แก๊สรุ่น MQ-2¹¹

2.1.3 บอร์ดสำหรับต่อวงจรต้นแบบ

เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์มีความสะดวกขึ้น เนื่องจากไม่ต้องใช้วิธีบัดกรีในการเชื่อมต่อวงจร (รูปที่ 2.3) แต่ใช้วิธีการเสียบสายไฟต่อเข้ากับบอร์ดชนิดนี้เลย ทำให้ใช้เวลาน้อยในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยทั่วไปเรียกบอร์ดสำหรับต่อวงจรต้นแบบว่า เบริดบอร์ด (Breadboard) หรือ โปรโตบอร์ด (Protoboard) (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.3 การบัดกรีเพื่อเชื่อมต่อวงจร¹²



รูปที่ 2.4 เบริดบอร์ด หรือโปรโตบอร์ด¹³

2.1.4 สายไฟสำหรับเชื่อมต่อวงจร

ใช้สำหรับเชื่อมต่อวงจรระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ โมดูลเซ็นเซอร์แก๊ส และเบรคบอร์ด โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามชนิดของหัวที่อยู่ปลายสาย ดังนี้

- I. สายไฟหัวผู้ทั้ง 2 ด้าน (Male to Male) (รูปที่ 2.5)
- II. สายไฟหัวเมียทั้ง 2 ด้าน (Female to Female) (รูปที่ 2.6)
- III. สายไฟหัวผู้ 1 ด้าน หัวเมีย 1 ด้าน (Male to Female) (รูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.5 Male to Male¹⁴



รูปที่ 2.6 Female to Female¹⁴



รูปที่ 2.7 Male to Female¹⁴

2.1.5 สายสำหรับเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

ใช้ในการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ยังใช้สำหรับเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า เพื่อนำกระแสไฟฟ้าไปใช้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เชื่อมต่ออยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (รูปที่ 2.8)



รูปที่ 2.8 สายสำหรับเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์¹⁵

2.1.6 แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

เป็นแหล่งพลังงานหลักเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานได้ โดยการเลือกแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ต้องคำนึงถึงค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่อุปกรณ์สามารถรับได้ด้วย เพื่อป้องกันไม่ไห้แรงดันไฟฟ้าเกินค่าสูงสุดของไมโครคอนโทรลเลอร์ หากไม่คำนึงถึง อาจส่งผลต่ออายุการใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สามารถรับแรงดันสูงสุดได้ 10 V

ในงานวิจัยนี้ เลือกแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบพกพายี่ห้อ Eloop รุ่น E11 ขนาดความจุ 11,000 มิลลิแอมแปร์ โดยมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าด้วยแรงดัน 5.0 โวลต์ (รูปที่ 2.9)



รูปที่ 2.9 แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบพกพา¹⁶

2.1.7 คอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการตั้งแต่ Windows 7 ขึ้นไป

ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ รวมไปถึงการใช้ติดตามผลการตรวจวัดจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

2.2 วิธีการออกแบบอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น ต้องมีการรับส่งข้อมูลจากโมดูลเซ็นเซอร์แก๊สผ่านระบบเครือข่ายไร้สายได้ ดังนั้นจึงกำหนดลำดับการทำงานเป็นแผนภาพดังรูปที่ 2.10 โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 เริ่มต้นการทำงาน อุปกรณ์จะเริ่มต้นการทำงานเมื่อมีกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลมาเลี้ยงครบทั้งวงจร

2.2.2 เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ อุปกรณ์จะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกทันทีหลังจากเริ่มต้นการทำงาน โดยสามารถเชื่อมต่อได้ 3 อุปกรณ์ ได้แก่

1. อุปกรณ์สำหรับกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สาย (Wi-Fi Hotspot) เป็นการเชื่อมต่อผ่านระบบเครือข่ายไร้สายเพื่อรับส่งข้อมูลไปฐานข้อมูลออนไลน์ โดยสามารถติดตามผลการตรวจวัดได้ทันที
2. คอมพิวเตอร์ เป็นการเชื่อมต่อผ่านสายเคเบิลสำหรับเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ (USB)
3. สมาร์ทโฟน เป็นการเชื่อมต่อผ่านระบบเครือข่ายไร้สายเพื่อติดตามผลการตรวจวัด

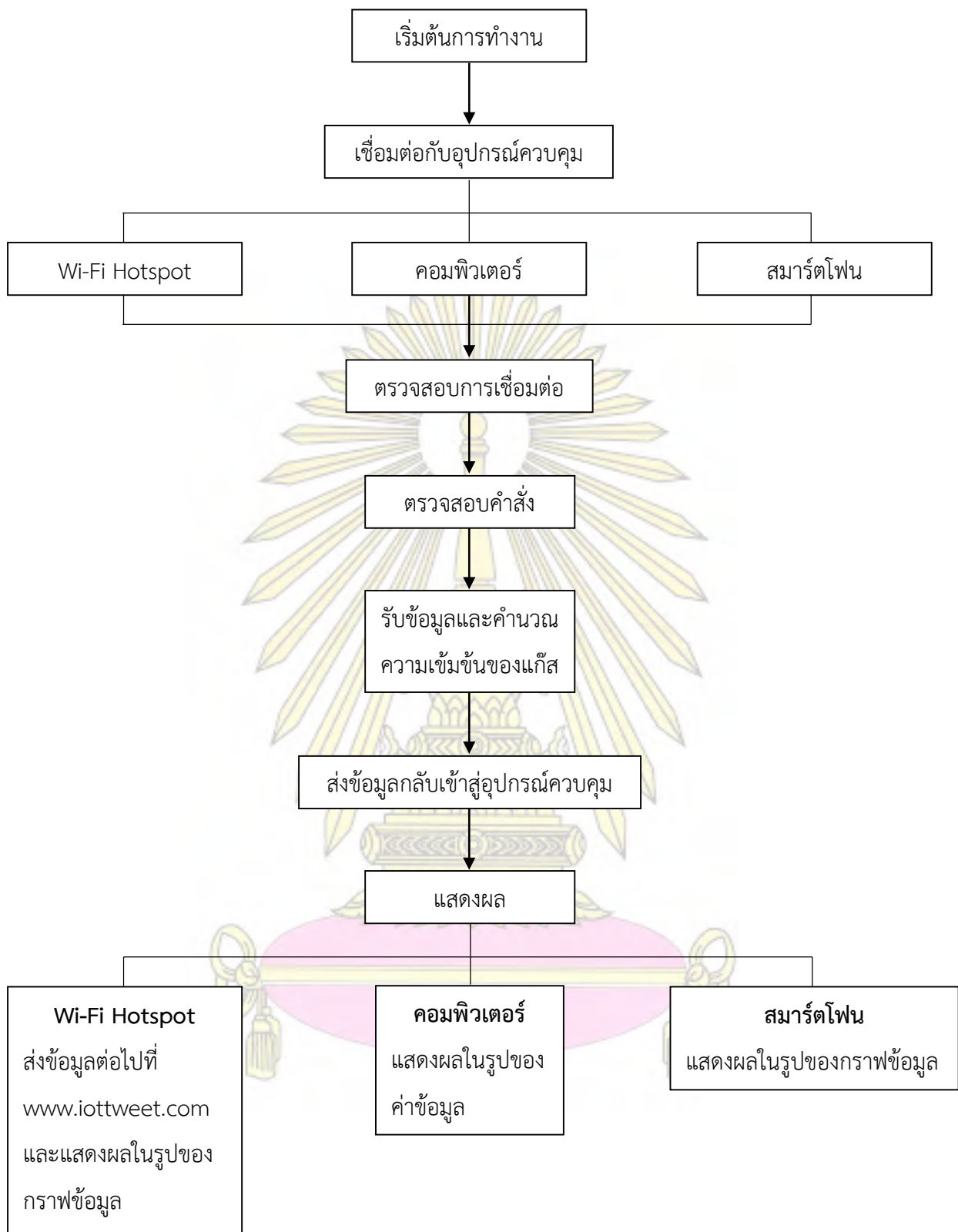
2.2.3 ตรวจสอบการเชื่อมต่อ อุปกรณ์สามารถตรวจสอบการเชื่อมต่อกับ Wi-Fi Hotspot ได้ หากไม่มีการเชื่อมต่อ จะทำการเชื่อมต่อใหม่ จนกว่าการเชื่อมต่อจะสำเร็จ

2.2.4 ตรวจสอบคำสั่ง อุปกรณ์จะตรวจสอบคำสั่งที่ผู้ใช้งานตั้งค่าผ่านโค้ดข้อมูลที่อัปโหลดลงไป

2.2.5 รับข้อมูลและคำนวณความเข้มข้นของแก๊ส อุปกรณ์จะรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์แก๊ส และคำนวณความเข้มข้นก่อนจะส่งข้อมูลออกไป

2.2.6 ส่งข้อมูลกลับเข้าอุปกรณ์ควบคุม อุปกรณ์จะส่งข้อมูลความเข้มข้นของแก๊สเข้าสู่อุปกรณ์ควบคุมเพื่อรายงานผลให้ผู้ใช้งานทราบ

2.2.7 แสดงผล การแสดงผลข้อมูลสามารถแสดงผลได้ 2 แบบ ได้แก่ กราฟข้อมูล และค่าข้อมูล



รูปที่ 2.10 แผนภาพลำดับการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สแบบพกพา

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส

ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ อุปกรณ์ และชุดคำสั่งการทำงาน

I. อุปกรณ์ เป็นการประกอบโมดูลต่าง ๆ เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนี้

1. เชื่อมต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP8266 NodeMCU เข้ากับเบรตบอร์ด โดยสังเกตที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์บริเวณหน่วยรับส่งข้อมูลสำหรับอุปกรณ์ภายนอก จะมีพอร์ตเชื่อมต่อที่มีลักษณะเป็นขายื่นออกมา

2. ใช้สายไฟแบบ Male to Female ในการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับเบรตบอร์ด โดยต่อจากพอร์ต A0, GND และ Vin ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ไปจุดเชื่อมต่อของเบรตบอร์ด ดังรูปที่ 2.11

3. เชื่อมต่อโมดูลเซ็นเซอร์แก๊สรุ่น MQ-2 เข้ากับเบรตบอร์ด โดยโมดูลดังกล่าว จะมีพอร์ตเชื่อมต่อที่มีลักษณะเป็นขายื่นออกมา นำโมดูลเชื่อมต่อกับเบรตบอร์ดโดยเสียบโมดูลเข้ากับจุดเชื่อมต่อของเบรตบอร์ดโดยตรง โดยให้พอร์ต A0, GND และ Vcc ของโมดูล ตรงกับจุดเชื่อมต่อที่มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์คือ A0, GND และ Vin ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.12

4. เชื่อมต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุม โดยใช้สายเคเบิลสำหรับเชื่อมต่อเพื่อรับชุดคำสั่งการทำงาน



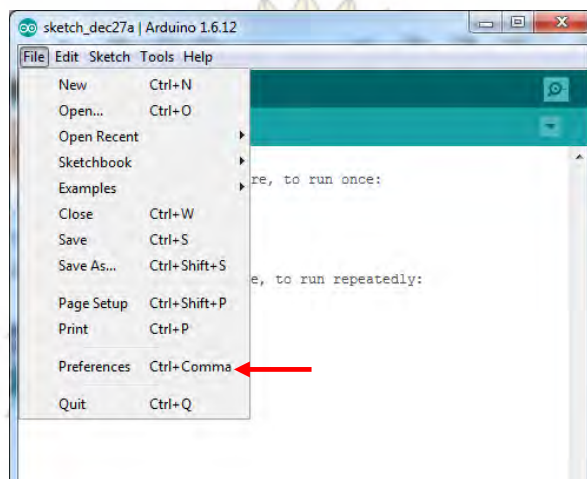
รูปที่ 2.11 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับเบรตบอร์ด



รูปที่ 2.12 การเชื่อมต่อโมดูลกับเบรตบอร์ด

II. ชุดคำสั่งการทำงาน เป็นการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ โดยใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรม มีวิธีการดังนี้

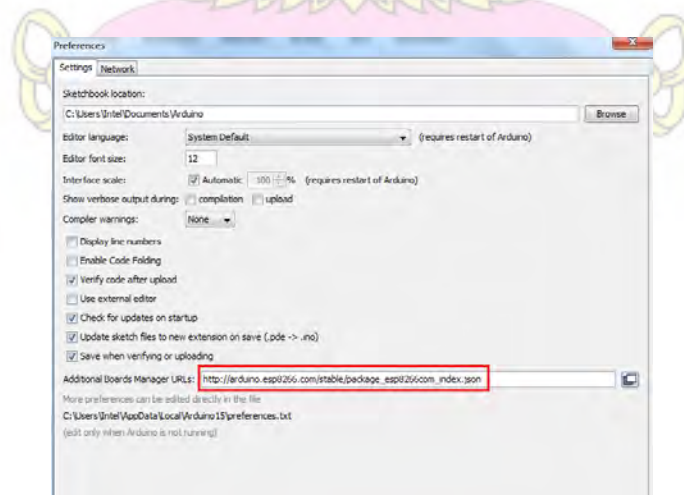
1. ดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรม Arduino IDE จาก <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> ลงคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุม
2. เชื่อมต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับคอมพิวเตอร์โดยใช้สายเคเบิลสำหรับเชื่อมต่อ
3. เข้าโปรแกรม Arduino IDE จากนั้นเลือกเมนู File > Preferences เพื่อดาวน์โหลดข้อมูลบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ESP8266 NodeMCU ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การตั้งค่าโปรแกรมเพื่อดาวน์โหลดข้อมูลบอร์ด

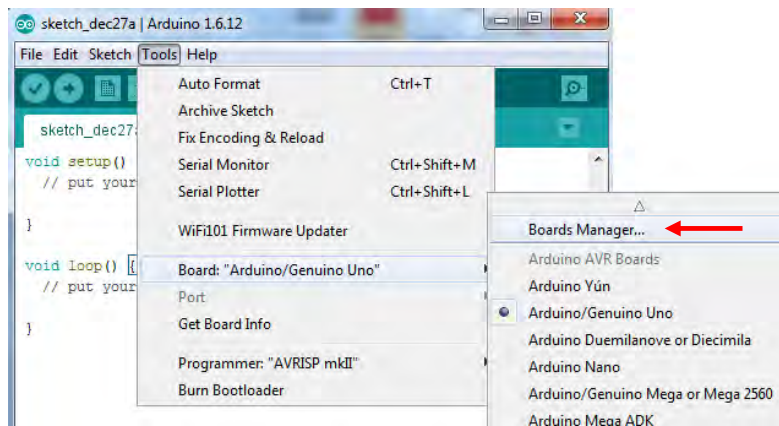
4. ที่แถบคำสั่ง Setting พิมพ์

http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json ลงในช่อง Additional Board Manager URLs เพื่อดาวน์โหลดข้อมูลบอร์ด ดังรูปที่ 2.14 จากนั้นกด OK

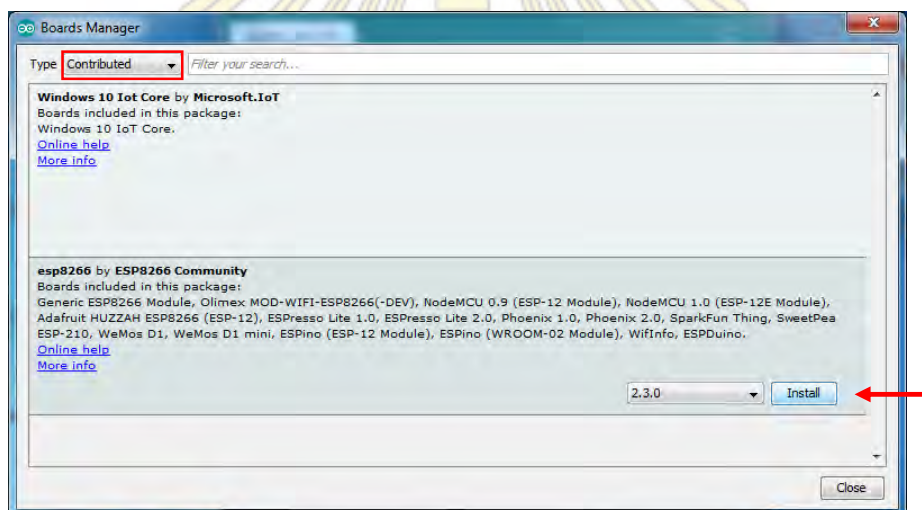


รูปที่ 2.14 การดาวน์โหลดข้อมูลบอร์ด

5. ที่เมนู Tools เลือก Board: “...” > Board Manager... ดังรูปที่ 2.15 จากนั้นเลือก Type เป็น Contributed จะสังเกตเห็นข้อมูลบอร์ด esp8266 by ESP8266 Community version 2.x.x ให้กด Install เพื่อดาวน์โหลดข้อมูลบอร์ด ดังรูปที่ 2.16 รอจนติดตั้งเสร็จ จากนั้นกด Close



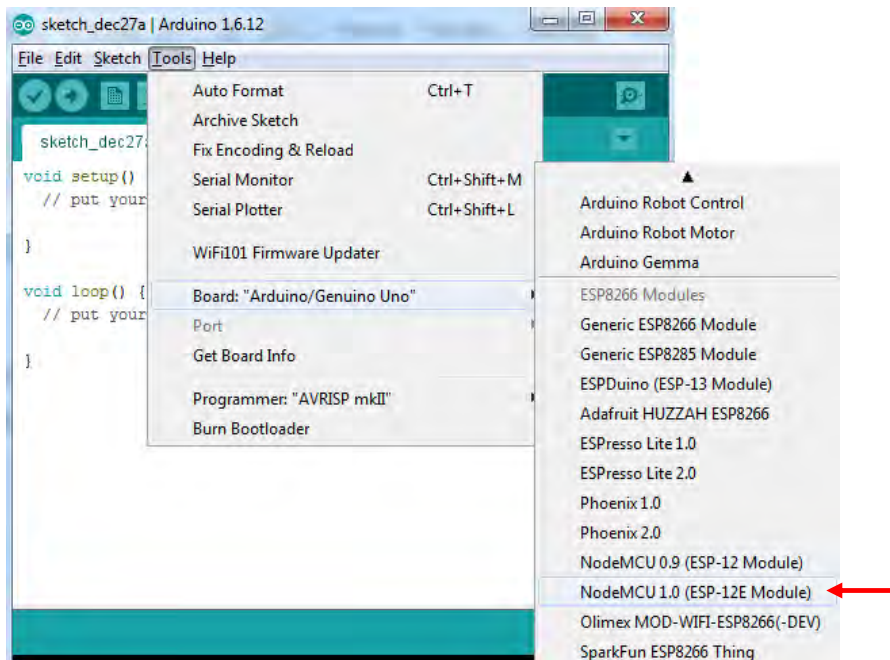
รูปที่ 2.15 การเข้าเมนูเพื่อดาวน์โหลดข้อมูลบอร์ด



รูปที่ 2.16 การเลือกชนิดบอร์ดเพื่อดาวน์โหลดข้อมูลบอร์ด

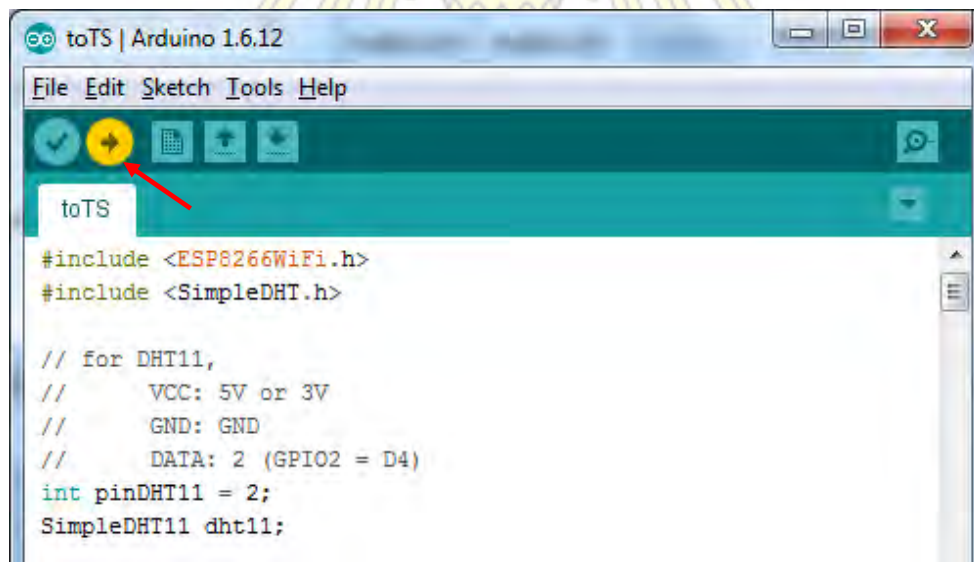
6. ปิดโปรแกรม Arduino IDE แล้วเปิดใหม่อีกครั้งเพื่ออัปเดตข้อมูลบอร์ดให้อยู่ในโปรแกรมดังกล่าว

7. ที่เมนู Tools เลือก Board: “...” แล้วเลื่อนลงไปที่ด้านล่าง จะสังเกตเห็นเมนูของ ESP8266 และ NodeMCU รวมถึงบอร์ดอื่น ๆ ของบริษัทผู้ผลิตที่ดาวน์โหลดมา ให้เลือก NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module) ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การเลือกชนิดบอร์ด

8. อัปโหลดชุดคำสั่ง (ภาคผนวก) เข้าสู่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยกดปุ่ม Upload ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การอัปโหลดชุดคำสั่ง

9. เมื่ออัปโหลดชุดคำสั่งเสร็จ ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถติดตามผลการตรวจวัดโดยกดปุ่ม Serial Monitor ดังรูปที่ 2.19

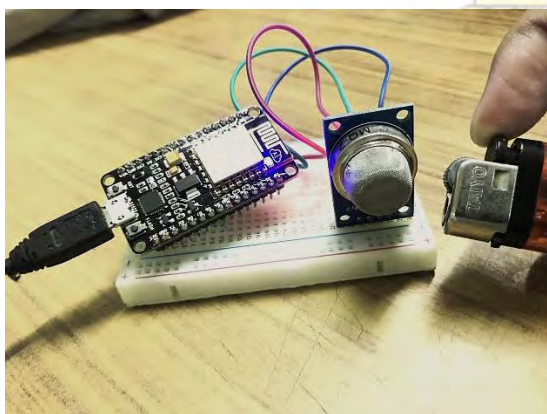


รูปที่ 2.19 การติดตามผลการตรวจวัดโดยใช้คอมพิวเตอร์

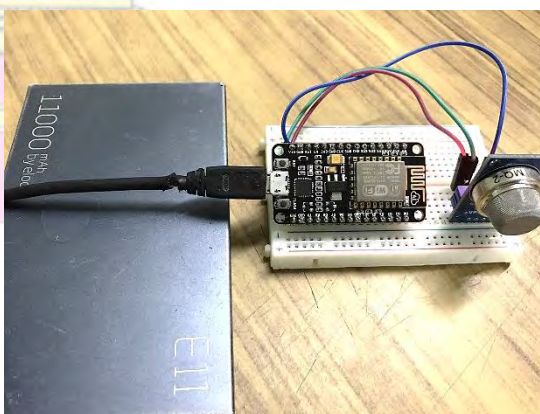
10. ใช้แก๊สจากไฟแช็กในการทำให้อุปกรณ์ตอบสนอง โดยปล่อยแก๊สเข้าสู่บริเวณเซ็นเซอร์ เพื่อให้ อุปกรณ์เริ่มวัดแก๊สที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.20

11. เมื่อทดสอบอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว หยุดการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับ คอมพิวเตอร์ โดยดึงสายเคเบิลที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ออก จากนั้นต่อแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้ากับบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 2.21

12. ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ โดยตรวจสอบจากสมาร์ทโฟนที่ใช้เป็น Wi-Fi Hotspot และใช้ เว็บไซต์ฐานข้อมูลออนไลน์ www.iottweet.com ในการติดตามผลการตรวจวัด



รูปที่ 2.20 การตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์



รูปที่ 2.21 การเชื่อมต่ออุปกรณ์กับแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

2.2.8 การทดสอบความเสถียรของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส

1. เปิดอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยต่อแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์
2. อ่านค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส เพื่อตรวจสอบว่าช่วงเวลาใดที่อุปกรณ์เริ่มทำงานเสถียร หากอุปกรณ์เริ่มทำงานเสถียร กราฟของปริมาณแก๊สที่วัดได้จะมีค่าคงที่
3. ทำการทดสอบซ้ำ 5 วัน เพื่อยืนยันว่าช่วงเวลาดังกล่าว อุปกรณ์ทำงานเสถียรจริง
4. เมื่อได้ช่วงเวลาที่เสถียรแล้ว สามารถใช้ช่วงเวลาดังกล่าว เป็นช่วงเวลาในการเปิดอุปกรณ์เพื่อรอให้อุปกรณ์พร้อมใช้งาน

2.2.9 การวัดปริมาณแก๊สด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สในพื้นที่จริง

1. เปิดอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สในบริเวณที่มีอากาศปกติก่อนนำไปตรวจวัด จนเครื่องมือเสถียร
2. นำอุปกรณ์ไปตรวจวัดบริเวณต่าง ๆ คือ บริเวณถนนพญาไท บริเวณถนนอังรีดูนังต์ บริเวณถนนพระราม 1 และบริเวณถนนพระราม 4 ดังรูปที่ 2.22 โดยใช้เวลาในการตรวจวัดแต่ละบริเวณ คือ 30 นาที
3. ขณะตรวจวัด บันทึกเวลาและตำแหน่งที่อยู่ เพื่อใช้ในการอ้างอิงกับข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์
4. นำข้อมูลที่ได้ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สกับเวลาในการตรวจวัด
5. เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด กับฐานข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ
6. เก็บข้อมูลเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อยืนยันว่าอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น สามารถตรวจวัดปริมาณแก๊สได้จริง

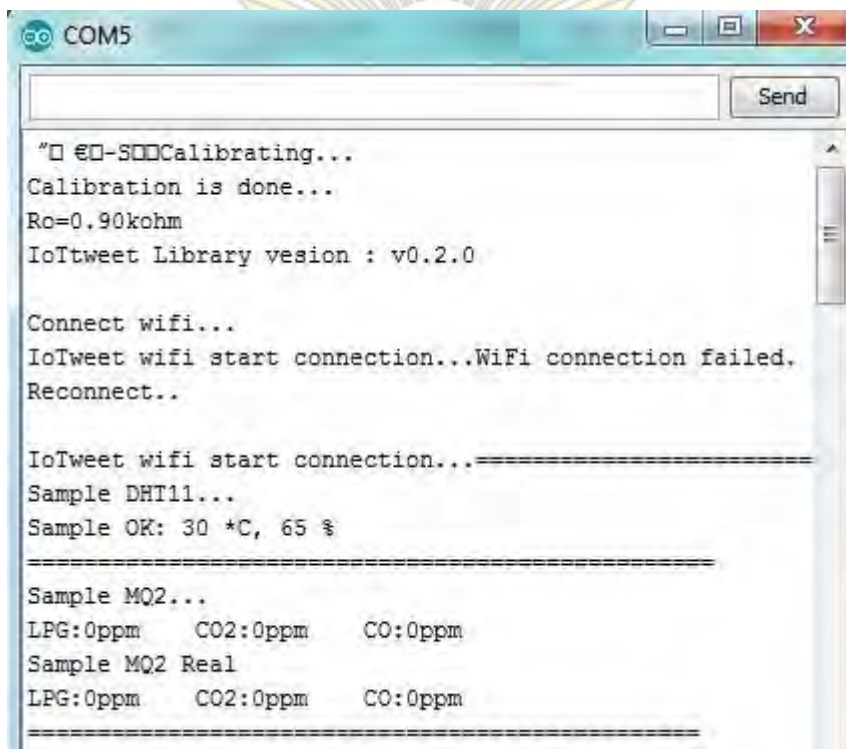


รูปที่ 2.22 บริเวณที่ใช้ตรวจวัดปริมาณแก๊ส

บทที่ 3 ผลการทดลอง

3.1 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส ด้วยคอมพิวเตอร์

หลังจากอัปโหลดชุดคำสั่งจากภาคผนวกเสร็จแล้ว จำเป็นต้องทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ เพื่อยืนยันว่า อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น สามารถใช้งานได้จริง โดยทดสอบจากโปรแกรม Arduino IDE ในคำสั่ง Serial Monitor เมื่อกดปุ่ม Serial Monitor แล้ว จะขึ้นหน้าต่างใหม่ แสดงการทำงานของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์อยู่ ดังรูปที่ 3.1



```
COM5
Send

"□ €□-S00Calibrating...
Calibration is done...
Ro=0.90kohm
IoTweet Library vesion : v0.2.0

Connect wifi...
IoTweet wifi start connection...WiFi connection failed.
Reconnect..

IoTweet wifi start connection...=====
Sample DHT11...
Sample OK: 30 *C, 65 %

=====
Sample MQ2...
LPG:0ppm   CO2:0ppm   CO:0ppm
Sample MQ2 Real
LPG:0ppm   CO2:0ppm   CO:0ppm
=====
```

รูปที่ 3.1 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรม Arduino IDE ขณะใช้คำสั่ง Serial Monitor

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าหน้าต่างการทำงานที่เปิดขึ้น จะแสดงผลตั้งแต่อุปกรณ์เริ่มทำงานจนถึงการตรวจวัดปริมาณแก๊ส แสดงว่าอุปกรณ์สามารถใช้งานได้จริง เนื่องจาก หน้าต่างการทำงานมีการตอบสนองเป็นไปตามชุดคำสั่งที่อัปโหลดเข้าไปในอุปกรณ์

3.2 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส ด้วยสมาร์ทโฟน

เมื่อทดสอบการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์เรียบร้อยแล้ว ต้องทดสอบให้แน่ใจก่อนว่า อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสามารถเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟน ซึ่งใช้เป็น Wi-Fi hotspot ได้ และสามารถทำงานได้เมื่อใช้แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบพกพา ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แถบสถานะเมื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์และสมาร์ทโฟนสำเร็จ

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นว่าอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น สามารถเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนที่ใช้เป็น Wi-Fi hotspot ได้ เนื่องจาก มีแถบสถานะแสดงการเชื่อมต่อปรากฏให้เห็นบริเวณหน้าจอ หากไม่มีการเชื่อมต่อหรือการเชื่อมต่อขัดข้อง แถบสถานะดังกล่าวจะไม่ปรากฏให้เห็นบริเวณหน้าจอ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แถบสถานะเมื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์และสมาร์ทโฟนไม่สำเร็จ

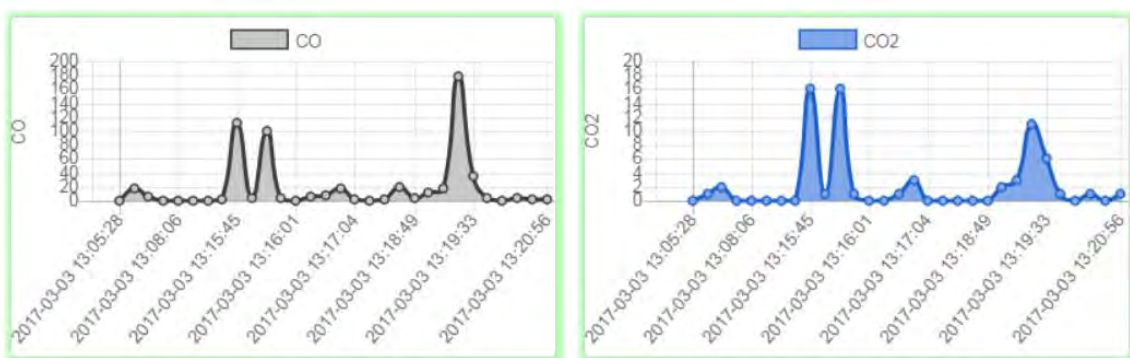
3.3 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส ด้วยเว็บไซต์ฐานข้อมูลออนไลน์

เมื่ออุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สสามารถเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนเรียบร้อยแล้ว อุปกรณ์จะเริ่มทำงานตามชุดคำสั่งที่อัปโหลดเข้าไปในอุปกรณ์ทันที สามารถติดตามผลการทำงานได้จากเว็บไซต์ฐานข้อมูลออนไลน์ www.iottweet.com ซึ่งเว็บไซต์ดังกล่าว จะแสดงสถานะการเชื่อมต่อดังรูปที่ 3.4 นอกจากนี้ยังแสดงผลการตรวจวัดปริมาณแก๊สในรูปของกราฟ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 แถบสถานะเมื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์กับฐานข้อมูลออนไลน์ www.iottweet.com สำเร็จ

จากรูปที่ 3.4 จะสังเกตเห็นสถานะการเชื่อมต่อ แสดงว่าอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสามารถเชื่อมต่อสมาร์ตโฟนและเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลออนไลน์ได้เรียบร้อยแล้ว หากไม่มีการเชื่อมต่อหรือการเชื่อมต่อขัดข้อง สถานะการเชื่อมต่อจะไม่ปรากฏให้เห็น

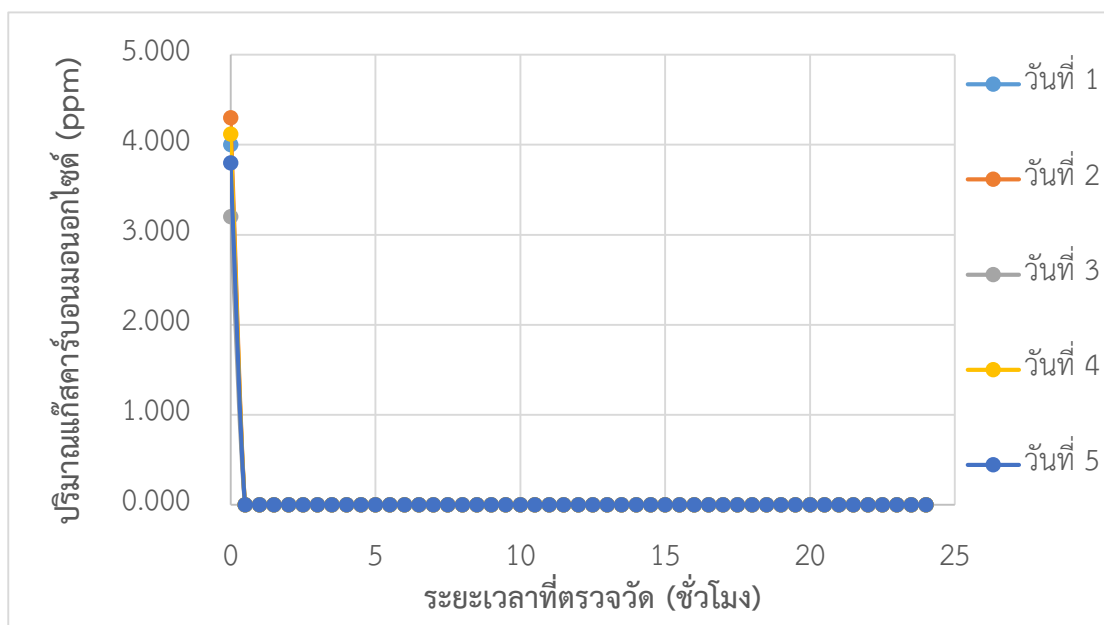


รูปที่ 3.5 กราฟข้อมูลที่จะแสดงในเว็บไซต์ฐานข้อมูลออนไลน์ www.iottweet.com

จากรูปที่ 3.5 จะสังเกตเห็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของแก๊สชนิดต่าง ๆ กับเวลาขณะทำการตรวจวัด ซึ่งกราฟที่แสดงนี้ สามารถติดตามผลได้ทันที เนื่องจาก อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สที่สร้างขึ้น จะอัปโหลดข้อมูลเข้าเว็บไซต์ฐานข้อมูลออนไลน์เก็บไว้ทันทีเมื่อตรวจวัดปริมาณแก๊สเรียบร้อยแล้ว โดยการนำข้อมูลมาใช้ สามารถดาวน์โหลดข้อมูลดิบจากเว็บไซต์ฐานข้อมูลออนไลน์ได้

3.4 การทดสอบความเสถียรของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส

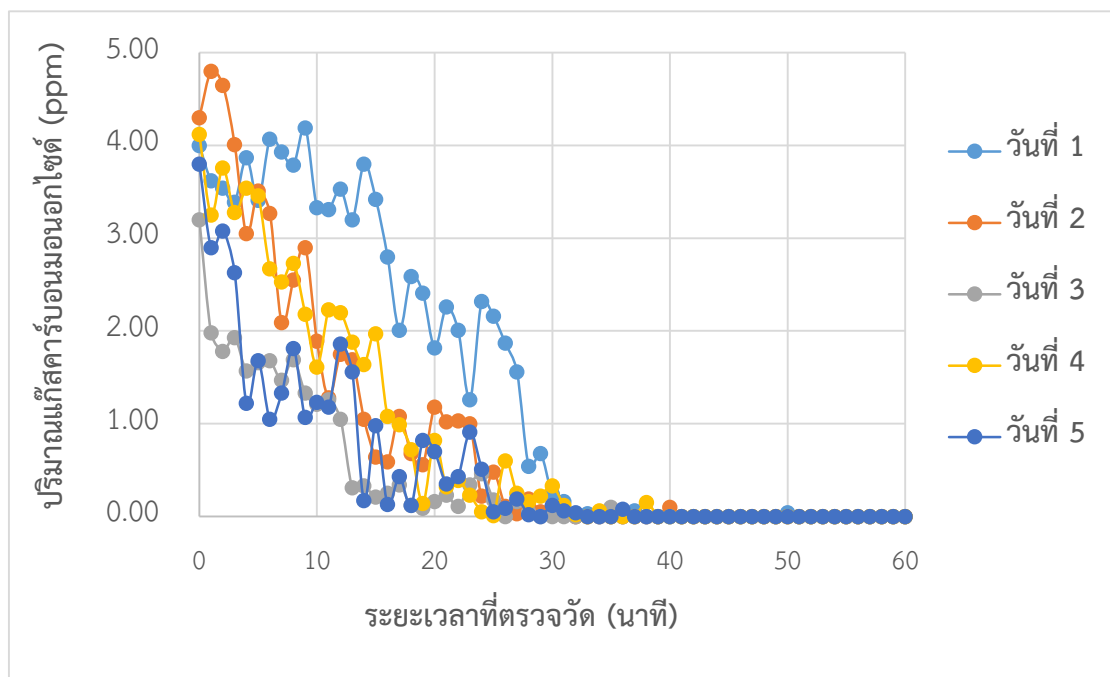
เมื่อเปิดอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในบริเวณที่มีอากาศปกติ โดยในการทดสอบนี้ ผู้วิจัยได้เลือกบริเวณบ้านของผู้วิจัยที่ อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม โดยการทดสอบความเสถียร จะต่ออุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สกับแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบพกพา แล้วทดสอบความเสถียรซ้ำเป็นเวลา 5 วัน จากนั้นนำข้อมูลดิบมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในอากาศกับเวลา พบว่า ได้ผลดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงการตรวจสอบความเสถียรของอุปกรณ์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

จากรูปที่ 3.6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในอากาศกับเวลา จะเห็นว่าช่วง 0 – 0.5 ชั่วโมง หรือ 0 – 30 นาที ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ไม่คงที่ เนื่องจาก เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัด จำเป็นต้องได้รับความร้อนด้วยปริมาณคงที่ เพื่อให้ค่าความต้านทานไฟฟ้ามีค่าคงที่ ซึ่งในช่วง 30 นาทีแรก ความร้อนที่ให้กับเซ็นเซอร์ยังไม่เพียงพอ ทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้ามีค่าไม่คงที่ ปริมาณที่วัดได้จึงเปลี่ยนแปลง

ในช่วง 0.5 – 24 ชั่วโมง จะเห็นว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์คงที่ โดยมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจาก ชุดคำสั่งที่อัปเดตเข้าไปในอุปกรณ์ มีคำสั่งที่ให้อุปกรณ์วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าภายใน โดยกำหนดว่า ถ้าความต้านทานไฟฟ้าภายในเปลี่ยนแปลง จะวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าใหม่จนได้ค่าคงที่ แล้วบันทึกไว้เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าเริ่มต้น ซึ่งในช่วง 0.5 – 24 ชั่วโมง ปริมาณความร้อนที่เซ็นเซอร์ได้รับมีค่าคงที่แล้ว ทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้ามีค่าคงที่ และจากหลักการการทำงานของเซ็นเซอร์ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 เมื่อไม่มีแก๊สมาทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยน ค่าความเข้มข้นที่วัดได้จะมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากค่าความต้านทานไฟฟ้าภายในไม่เปลี่ยนแปลง



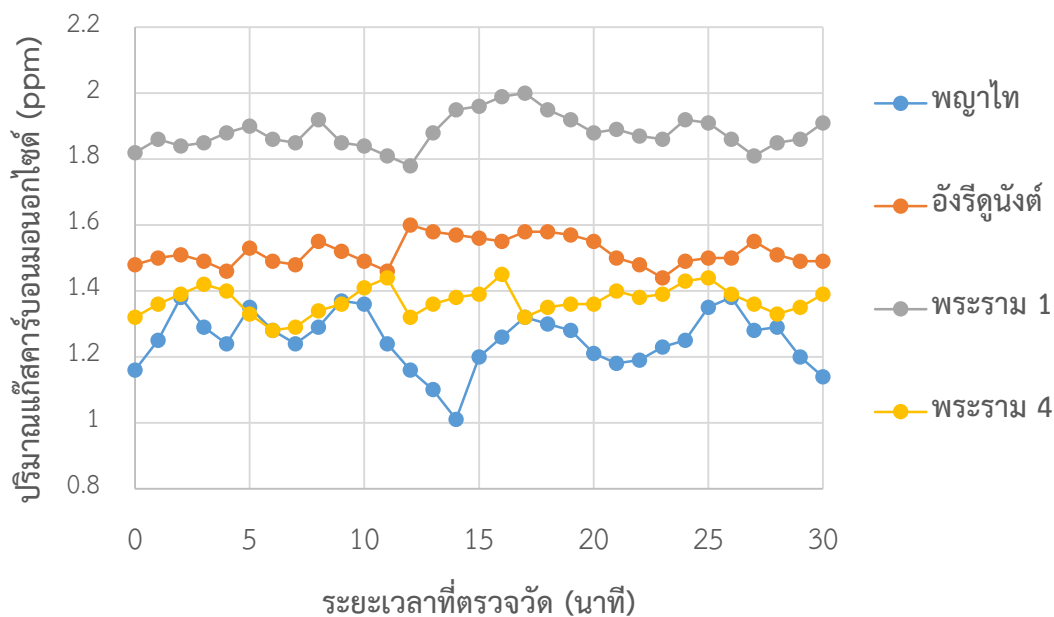
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงการตรวจสอบความเสถียรของอุปกรณ์เป็นเวลา 60 นาที

นอกจากนี้ หากนำรูปที่ 3.6 ในช่วง 0 – 1 ชั่วโมง มาขยายดังรูปที่ 3.7 พบว่า ปริมาณแก๊สที่วัดได้มีค่าไม่คงที่ในช่วง 0 – 30 นาที เนื่องจาก ในการทดสอบความเสถียร ไม่มีการควบคุมปริมาณแก๊ส เมื่อเซ็นเซอร์ได้รับความร้อนมากขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานไฟฟ้าจึงมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ปริมาณแก๊สที่วัดได้จึงมีค่าไม่คงที่ แต่เมื่อสังเกตช่วง 30 – 60 นาที พบว่า ปริมาณแก๊สที่วัดได้มีค่าคงที่แล้ว เนื่องจาก เซ็นเซอร์ได้รับความร้อนเพียงพอและคงที่แล้ว ทำให้ความต้านทานไฟฟ้าภายในที่วัดได้มีค่าคงที่

3.5 การวัดปริมาณแก๊สด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สในพื้นที่จริง

3.5.1 การวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

เมื่อได้ช่วงเวลาที่อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สทำงานเสถียรที่สุดแล้ว นำไปตรวจวัดปริมาณแก๊สในพื้นที่จริง โดยเปิดอุปกรณ์ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 - 45 นาที ในบริเวณที่มีอากาศปกติ ไม่มีมลพิษ เพื่อให้อุปกรณ์บันทึกค่าความต้านทานไฟฟ้าเริ่มต้นที่มีอากาศปกติก่อนนำไปตรวจวัด และใช้ระยะเวลาในการตรวจวัดบริเวณละ 30 นาที ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 3.8



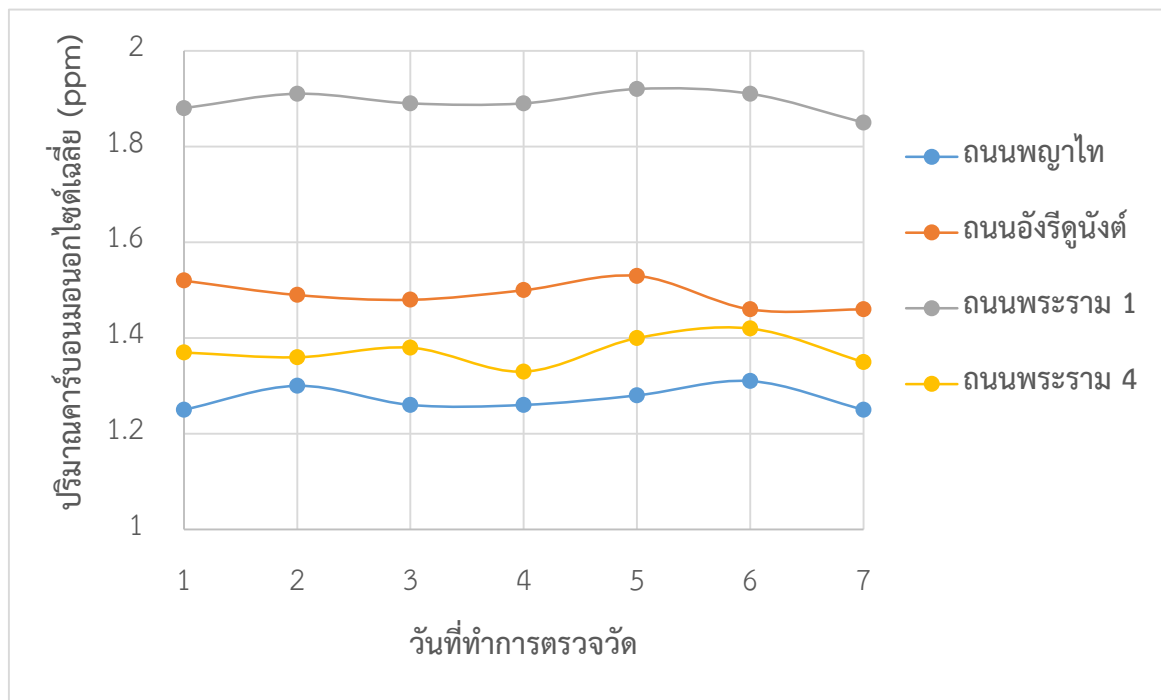
รูปที่ 3.8 กราฟแสดงการวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณรอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 3.8 พบว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์แต่ละบริเวณมีค่าต่างกัน เนื่องจากปริมาณรถซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในแต่ละบริเวณแตกต่างกัน ทำให้ค่าที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งการคำนวณปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ของอุปกรณ์ แสดงไว้ในภาคผนวก โดยค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สใน 1 วัน แสดงในตารางที่ 1

บริเวณที่ตรวจวัด	ค่าเฉลี่ย (ppm)
ถนนพญาไท	1.25
ถนนอังรีดูนังต์	1.52
ถนนพระราม 1	1.88
ถนนพระราม 4	1.37

ตารางที่ 1 ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยแต่ละบริเวณ

จากนั้นทำการตรวจวัดปริมาณแก๊สเป็นเวลา 7 วัน ในช่วงเวลาเดียวกัน แล้วหาค่าเฉลี่ยของปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่วัดได้ ได้ข้อมูลดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยแต่ละบริเวณ เป็นเวลา 7 วัน

จากรูปที่ 3.9 เป็นกราฟที่แสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยที่บริเวณต่าง ๆ เป็นเวลา 7 วัน จะเห็นได้ว่า แต่ละบริเวณ มีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยที่แตกต่างกัน และไม่คงที่ เนื่องจาก ปริมาณรถใน แต่ละวันไม่เท่ากัน และสภาพการจราจรแต่ละวันต่างกัน ทำให้ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ส่วนใหญ่มาจากท่อไอเสียรถยนต์ มีค่าต่างกันในแต่ละบริเวณ

เมื่อพิจารณาในแต่ละบริเวณ พบว่า บริเวณถนนพระราม 1 มีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยสูงที่สุด โดยอยู่ในช่วง 1.85 – 1.92 ppm เนื่องจาก เป็นบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดเวลา ทำให้มีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์สะสมอยู่มาก และบริเวณถนนพญาไท มีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยต่ำที่สุด โดยอยู่ในช่วง 1.25 – 1.31 ppm เนื่องจาก ช่วงเวลาที่ตรวจวัดเป็นช่วงที่มีการจราจรไม่หนาแน่น และบริเวณนี้มีต้นไม้อยู่มากกว่าบริเวณอื่น ทำให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยต่ำที่สุด

เมื่อนำข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ¹⁷ ที่ตรวจวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณถนนพระราม 4 มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส ได้ผลดังตารางที่ 2

	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7
อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น	1.37	1.36	1.38	1.33	1.40	1.42	1.35
กรมควบคุมมลพิษ ¹⁷	1.23	1.26	1.30	1.21	1.29	1.32	1.22
% ความคลาดเคลื่อน	11.4	7.9	6.2	9.9	8.5	7.6	10.7

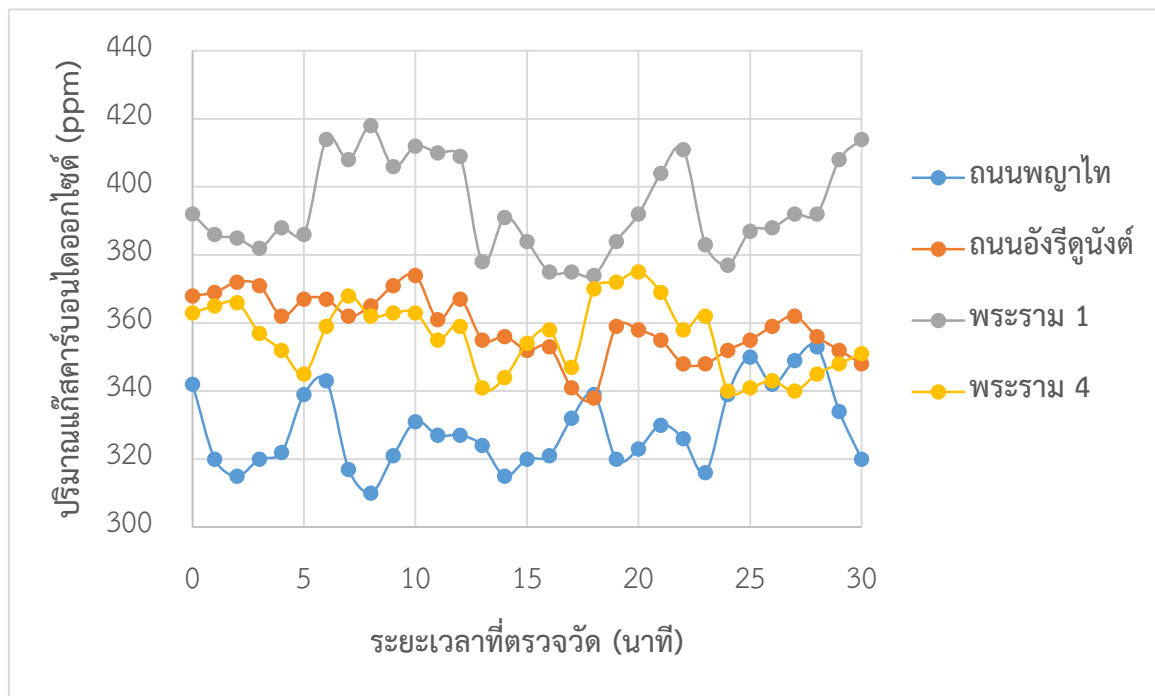
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ บริเวณถนนพระราม 4 กับแหล่งข้อมูลอ้างอิงที่นาเชือก

จากตารางที่ 2 พบว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยที่วัดจากอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สมีค่าตั้งแต่ 1.35 - 1.42 ppm และข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษบริเวณถนนพระราม 4 มีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยตั้งแต่ 1.21 - 1.32 ppm คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนได้ในช่วง 6.2 - 11.4% ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น เป็นผลมาจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดแตกต่างกัน และจุดในการตรวจวัดแตกต่างกัน โดยอุปกรณ์ตรวจวัดที่สร้างขึ้น มีการเคลื่อนย้ายขณะตรวจวัดตลอดเวลา เนื่องจาก ต้องเดินให้ทั่วบริเวณ ในขณะที่อุปกรณ์ของกรมควบคุมมลพิษถูกติดตั้งไว้ถาวร ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ อาจทำให้ปริมาณแก๊สที่เซ็นเซอร์ตรวจวัดได้มีค่าต่างกัน นอกจากนี้ อาจเป็นผลของแก๊สอื่นที่มีอยู่ในอากาศ เช่น แก๊สกลุ่มไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen oxides, NO_x) มารบกวนเซ็นเซอร์ ซึ่งสามารถรบกวนจากออกซิเจนบริเวณผิวเซ็นเซอร์ได้ ทำให้ค่าแก๊สต่ำลง ค่าความต้านทานไฟฟ้าจึงลดลง ตามหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ทำให้ค่าที่วัดได้สูงกว่าค่าอ้างอิง โดยการแก้ไข ควรเพิ่มชุดคำสั่งสำหรับตัดค่าการรบกวนของแก๊สชนิดอื่น และแก้ไขชุดคำสั่งในการแปลงค่าจากความต้านทานไฟฟ้ามาเป็นความเข้มข้นในหน่วย ppm ให้มีความละเอียดมากขึ้น เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงมากขึ้น



3.5.2 การวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

สำหรับการวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ใช้เวลาในการตรวจวัดแต่ละบริเวณ 30 นาที เช่นเดียวกับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งค่าการตรวจวัดที่ได้ใน 1 วันของแต่ละบริเวณ แสดงผลดังรูปที่ 3.10



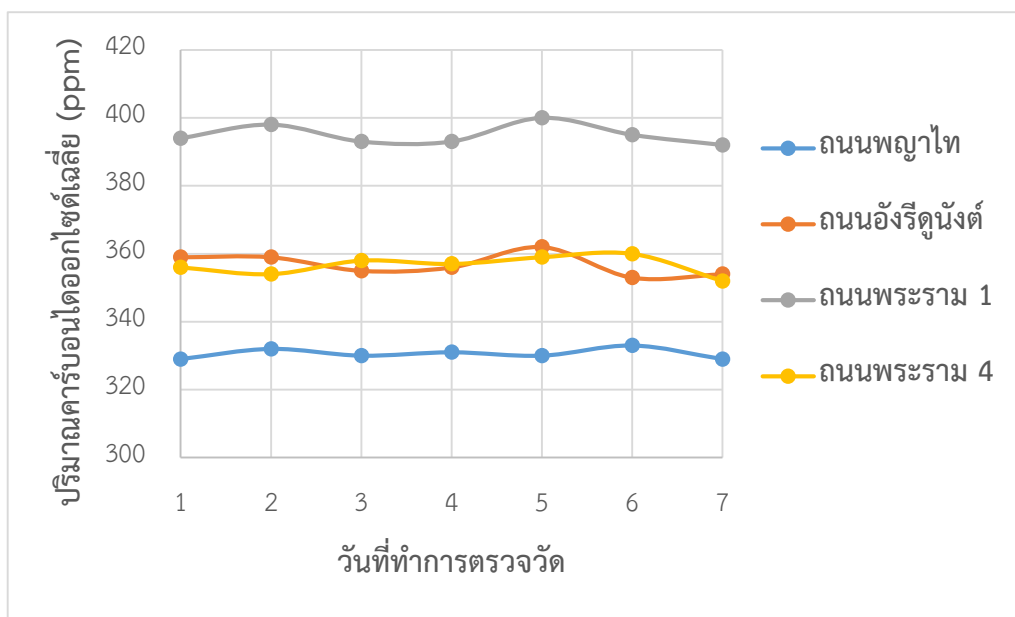
ดังรูปที่ 3.10 กราฟแสดงปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณรอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 3.10 พบว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แต่ละบริเวณมีค่าต่างกัน เนื่องจาก ปริมาณรถ และสภาพการจราจรขณะทำการตรวจวัดต่างกัน ทำให้ค่าที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งการคำนวณปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของอุปกรณ์ แสดงไว้ในภาคผนวก โดยค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สใน 1 วัน แสดงในตารางที่ 3

บริเวณที่ตรวจวัด	ค่าเฉลี่ย (ppm)
ถนนพญาไท	329
ถนนอังรีดูนังต์	359
ถนนพระราม 1	394
ถนนพระราม 4	356

ตารางที่ 3 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยแต่ละบริเวณ

จากนั้นทำการตรวจวัดปริมาณแก๊สเป็นเวลา 7 วัน ในช่วงเวลาเดียวกัน แล้วหาค่าเฉลี่ยของปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้ ได้ข้อมูลดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยแต่ละบริเวณ เป็นเวลา 7 วัน

จากรูปที่ 3.11 เป็นกราฟแสดงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยที่บริเวณต่าง ๆ เป็นเวลา 7 วัน จะเห็นได้ว่า แต่ละบริเวณ มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยที่แตกต่างกัน และไม่คงที่ เนื่องจาก ปริมาณรถในแต่ละวันไม่เท่ากัน และสภาพการจราจรแต่ละวันต่างกัน ทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่างกันในแต่ละบริเวณ

เมื่อพิจารณาในแต่ละบริเวณ พบว่า บริเวณถนนพระราม 1 มีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยสูงที่สุด โดยอยู่ในช่วง 392 - 400 ppm เนื่องจาก เป็นบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดเวลา นอกจากนี้ยังมีอาคารและห้างสรรพสินค้าอยู่มากในบริเวณนี้ ทำให้มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สะสมอยู่มาก ในขณะที่บริเวณถนนพญาไท เป็นบริเวณที่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยต่ำที่สุด อยู่ในช่วง 329 - 333 ppm เนื่องจาก ช่วงเวลาที่ตรวจวัดเป็นช่วงที่มีการจราจรไม่หนาแน่นเท่าบริเวณอื่น และบริเวณนี้มีต้นไม้อยู่มากกว่าบริเวณอื่น นอกจากนี้ บริเวณถนนพญาไทเป็นถนนที่มีความกว้างของถนนมาก ทำให้แก๊สสามารถแพร่ไปได้ทั่วบริเวณ ไม่มีการสะสมของแก๊ส ทำให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยต่ำที่สุด

เนื่องจากฐานข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ ไม่มีการวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จึงไม่สามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบหาความคลาดเคลื่อนได้ในแต่ละบริเวณ

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

4.1 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สด้วยวิธีต่าง ๆ

จากการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สที่สร้างขึ้น ด้วยวิธีต่าง ๆ โดยใช้แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า คือ แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบพกพาที่ห่อ Eloop รุ่น E11 ขนาดความจุ 11,000 มิลลิแอมแปร์ ที่มีการจ่ายไฟด้วยแรงดัน 5.0 โวลต์ พบว่า อุปกรณ์สามารถใช้งานได้และสามารถเคลื่อนย้ายไปตรวจวัดตามบริเวณต่าง ๆ ได้ โดยรับส่งข้อมูลผ่านทางระบบฐานข้อมูลออนไลน์ www.iottweet.com ซึ่งแสดงผลในรูปแบบของกราฟ และสามารถนำข้อมูลที่บันทึกไว้ในระบบมาวิเคราะห์ต่อได้

นอกจากนี้ อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น สามารถทำงานได้เมื่อเชื่อมต่อผ่านทางสาย USB กับคอมพิวเตอร์ โดยความสามารถในการทำงานเหมือนกับการใช้แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบพกพา แต่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปตรวจวัดตามบริเวณต่าง ๆ ได้

4.2 การทดสอบความเสถียรของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส

จากการทดสอบความเสถียรของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊สที่สร้างขึ้น พบว่า อุปกรณ์มีความเสถียรเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 – 45 นาที ดังนั้น ก่อนเริ่มตรวจวัดปริมาณแก๊สชนิดต่าง ๆ ควรเปิดอุปกรณ์ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 – 45 นาที ให้อุปกรณ์ทำงานเสถียร เพื่อวัดค่าได้แม่นยำมากขึ้น

4.3 การวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส

จากผลการทดลอง พบว่า อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น สามารถนำไปใช้ตรวจวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ บริเวณถนนพญาไท ถนนอังรีดูนังต์ ถนนพระราม 1 และถนนพระราม 4 รอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้

ในการตรวจวัดเป็นเวลา 7 วัน ในแต่ละบริเวณ บริเวณละ 30 นาที พบว่า บริเวณที่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยสูงสุด คือ บริเวณถนนพระราม 1 วัดได้ 1.85 – 1.92 ppm และบริเวณที่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยต่ำที่สุด คือ บริเวณถนนพญาไท วัดได้ 1.25 – 1.31 ppm

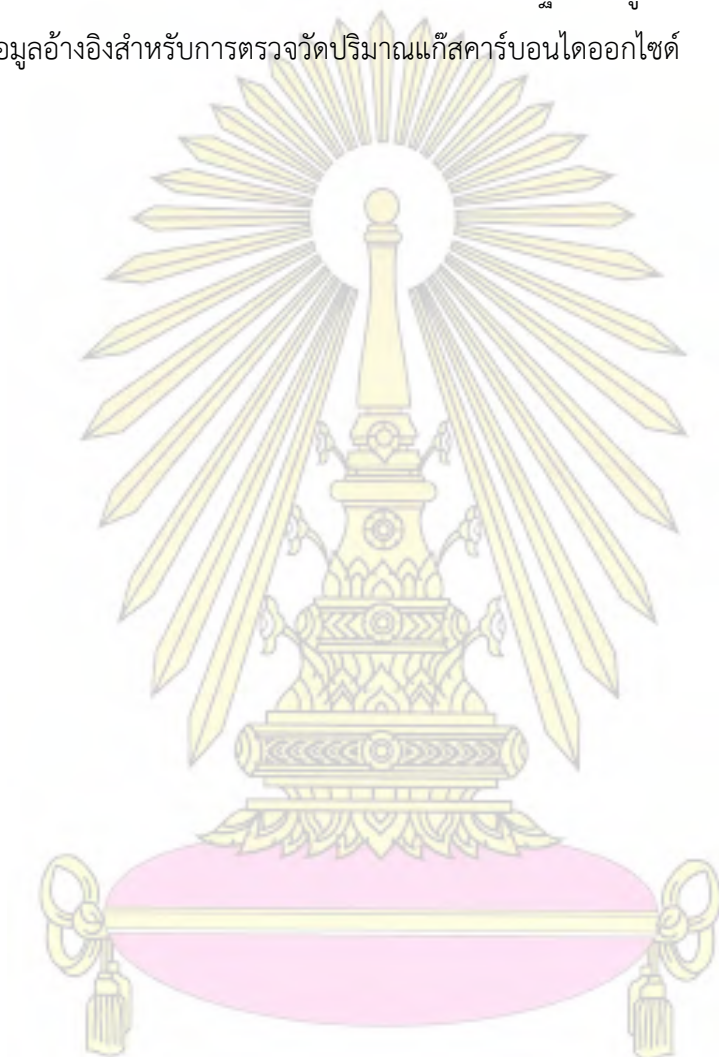
เมื่อนำข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษที่ตรวจวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์บริเวณถนนพระราม 4 มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จากอุปกรณ์ พบว่า ค่าที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส สูงกว่าค่าอ้างอิงจากฐานข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 6.2 – 11.4%

4.4 การวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส

จากผลการทดลอง พบว่า อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น สามารถนำไปใช้ตรวจวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ บริเวณถนนพญาไท ถนนอังรีดูนังต์ ถนนพระราม 1 และถนนพระราม 4 รอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้

ในการตรวจวัดเป็นเวลา 7 วัน ในแต่ละบริเวณ บริเวณละ 30 นาที พบว่า บริเวณที่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยสูงสุดที่สุด คือ บริเวณถนนพระราม 1 วัดได้ 392 - 400 ppm และบริเวณที่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยต่ำที่สุด คือ บริเวณถนนพญาไท วัดได้ 329 - 333 ppm

ค่าความคลาดเคลื่อนจากการตรวจวัดเมื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลอ้างอิงไม่สามารถคำนวณได้ เนื่องจาก ไม่มีฐานข้อมูลอ้างอิงสำหรับการตรวจวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์



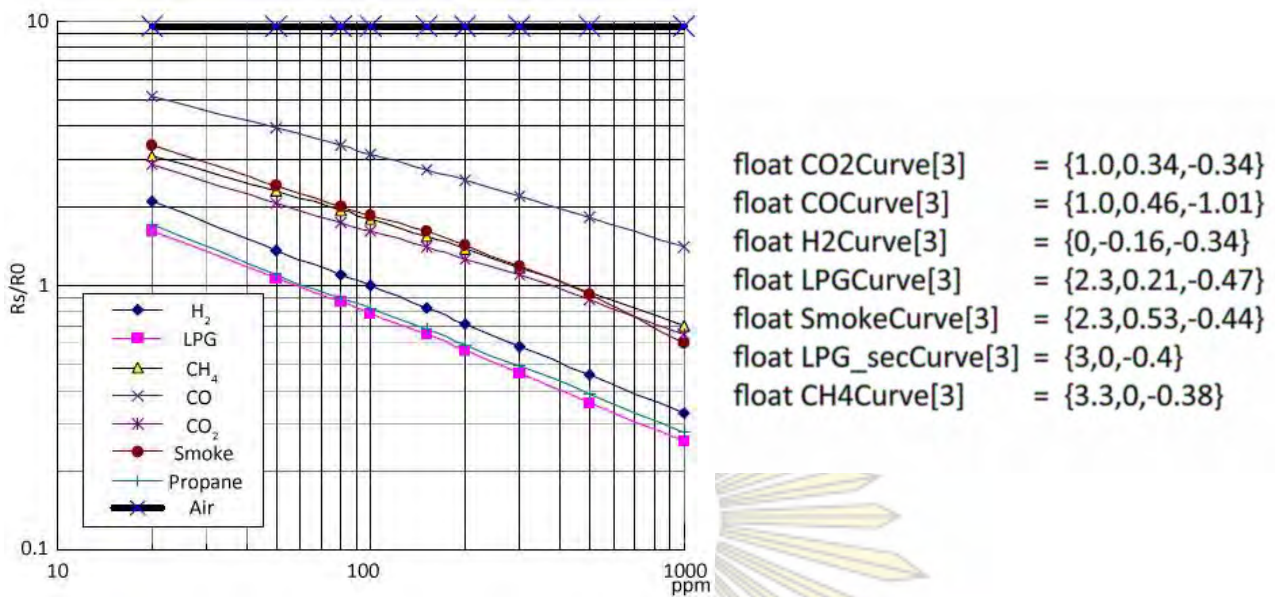
เอกสารอ้างอิง

1. <http://www.rmuti.ac.th/user/thanyaphak/Web%20EMR/Web%20IS%20Environmen%20gr.4/Mola2.html> (accessed November 20, 2016)
2. <https://www.factomart.com/th/factomartblog> (accessed May 25, 2017)
3. <http://www.epanorama.net/newepa/2014/06/26/cool-uses-for-arduino> (accessed May 25, 2017)
4. <https://rydepier.wordpress.com/2015/07/02/mq2-gas-sensor-and-arduino> (accessed May 25, 2017)
5. Laskar, R. M.; Bhattacharjee, R.; Giri, S. M.; Bhattacharya, P. Weather Forecasting Using Arduino Based Cube-Sat. *Procedia Comput Sci.* **2016**, *89*, 320-323.
6. Sherin, A.; Xinrong, L. A Cost-Effective Wireless Sensor Network System for Indoor Air Quality Monitoring Applications. *Procedia Comput Sci.* **2014**, *34*, 165-171.
7. Kumar, V. D. A. Human Security from Death Defying Gases Using an Intelligent Sensor System. *Sens Biosensing Res.* **2016**, *7*, 107-114.
8. <http://www.ayarafun.com/2015/08/introduction-arduino-esp8266-nodemcu> (accessed May 25, 2017)
9. <https://www.virtuabotix.com/product/flammable-gas-smoke-sensor-mq-2-arduino-electronic-prototyping> (accessed May 25, 2017)
10. <https://www.kruss.de/applications/soldering-processes> (accessed May 25, 2017)
11. <https://www.easybotics.com/product/letry-breadboard> (accessed May 25, 2017)
12. <http://www.thaitechno.net> (accessed May 25, 2017)
13. <https://browningtrailcameras.zendesk.com/hc/en-us/articles/206345707> (accessed May 25, 2017)
14. http://nodemcu.com/index_en.html (accessed December 11, 2016)
15. <http://www.figaro.co.jp/en/technicalinfo/principle/mos-type.html> (accessed December 11, 2016)
16. <http://www.solovethailand.com/eloop-e11.html> (accessed May 25, 2017)
17. <http://aqmthai.com/aqi.php> (accessed January 20, 2017)
18. <https://github.com/empierre/arduino/blob/master/1.3/MQv0.ino> (accessed May 25, 2017)

ภาคผนวก



การคำนวณปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของอุปกรณ์



รูปที่ ก กราฟและชุดข้อมูลสำหรับแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าเป็นความเข้มข้นในหน่วย ppm¹⁸

จากรูป ก เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปกับค่าความเข้มข้นของแก๊สในหน่วย ppm ซึ่งสามารถแปลงเป็นชุดข้อมูลได้ดังรูป โดยโมดูลเซ็นเซอร์แก๊สรุ่น MQ-2 สามารถตรวจวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ จึงใช้ชุดข้อมูลเฉพาะแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในการเขียนชุดคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์

ชุดคำสั่งที่ใช้ในอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <IoTtweet.h>

const char *userid = "000117"; //รหัสผู้ใช้งานในฐานข้อมูลออนไลน์
const char *key = "tt8pzvbsnce1"; //รหัสอุปกรณ์ที่ใช้ในฐานข้อมูลออนไลน์
const char *ssid = "Panassilp"; //ชื่อผู้ใช้งานสำหรับเชื่อมต่อ Wi-Fi Hotspot
const char *password = "5633109223"; //รหัสผ่านสำหรับเชื่อมต่อ Wi-Fi Hotspot
const char *private_tweet = "Online"; //ข้อความที่ต้องการแสดงเมื่อเชื่อมต่อสำเร็จ
const char *public_tweet = "Finished"; //ข้อความที่ต้องการแสดงเมื่อเชื่อมต่อสำเร็จ
IoTtweet myiot; //ชื่ออุปกรณ์สำหรับเชื่อมต่อ
```

```

#define MQ_PIN (0) //กำหนดขาที่เชื่อมต่อกับโมดูล MQ-2
#define RL_VALUE (1) //กำหนดค่าความต้านทานไฟฟ้าภายในบอร์ด
#define RO_CLEAN_AIR_FACTOR (9.83) //กำหนดค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงสุด
#define CALIBARAION_SAMPLE_TIMES (50) //กำหนดจำนวนครั้งที่วัดค่าความต้านทานไฟฟ้า
เริ่มต้น
#define CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL (500) //กำหนดระยะเวลาระหว่างการวัดค่าความ
ต้านทานไฟฟ้าเริ่มต้นในแต่ละครั้ง มีหน่วยเป็น
มิลลิวินาที
#define READ_SAMPLE_INTERVAL (50) //กำหนดจำนวนครั้งในการวัดตัวอย่างจริง
#define READ_SAMPLE_TIMES (5) //กำหนดระยะเวลาระหว่างการวัดตัวอย่างจริง
#define GAS_CO (1) //กำหนดให้ตัวแปร GAS_CO เป็นตัวแปรที่ 1
#define GAS_CO2 (2) //กำหนดให้ตัวแปร GAS_CO2 เป็นตัวแปรที่ 2

Float COCurve[3] = {1.0,0.46,-1.01}; //กำหนดข้อมูลกราฟสำหรับการแปลงความ
ต้านทานไฟฟ้าเป็นความเข้มข้นของ CO
Float CO2Curve[3] = {1.0,0.34,-0.34}; //กำหนดข้อมูลกราฟสำหรับการแปลงความ
ต้านทานไฟฟ้าเป็นความเข้มข้นของ CO2
Float Ro = 10; //กำหนดค่าความต้านทานไฟฟ้าภายนอก มี
หน่วยเป็นกิโลโอห์ม

float MQResistanceCalculation(int raw_adc)
//กำหนดตัวแปรสำหรับคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้า
{
return ( (((float)RL_VALUE*(1023.0 - (float) raw_adc)) / (float) raw_adc));
}
//กำหนดสูตรการคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้า

float MQCalibration(int mq_pin)
//กำหนดตัวแปรสำหรับการอ่านค่าเริ่มต้นจากโมดูล MQ-2
{
int i;

```

```

float val=0;
for (i=0;i<CALIBARAION_SAMPLE_TIMES;i++)
{
    val += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin));
    delay(CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL);
}
val = val/CALIBARAION_SAMPLE_TIMES;
val = val/RO_CLEAN_AIR_FACTOR;
return val;
}

```

//กำหนดสูตรการคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าเริ่มต้นจากโมดูล MQ-2

```

float MQRead(int mq_pin)
//กำหนดตัวแปรสำหรับเก็บค่าที่ได้จากโมดูล MQ-2
{
    int i;
    float rs=0;
    for (i=0;i<READ_SAMPLE_TIMES;i++)
    {
        rs += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin));
        delay(READ_SAMPLE_INTERVAL);
    }
    rs = rs/READ_SAMPLE_TIMES;
    return rs;
}

```

//กำหนดสูตรคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงภายในโมดูล MQ-2

```

int MQGetGasPercentage(float rs_ro_ratio, int gas_id)
//กำหนดตัวแปรสำหรับเก็บค่าความเข้มข้นของแก๊สแต่ละชนิด
{

```



```

if ( gas_id == GAS_CO )
{
return MQGetPercentage(rs_ro_ratio,COCurve);
}
else if ( gas_id == GAS_CO2 )
{
return MQGetPercentage(rs_ro_ratio,CO2Curve);
}
return 0;
}
//กำหนดสูตรการคำนวณค่าความเข้มข้นของแก๊สแต่ละชนิด

int MQGetPercentage(float rs_ro_ratio, float *pcurve)
//กำหนดตัวแปรสำหรับเก็บค่าความเข้มข้นของแก๊สแต่ละชนิดในหน่วย ppm
{
return (pow(10,(((log(rs_ro_ratio)-pcurve[1])/pcurve[2]) + pcurve[0])));
}
//กำหนดสูตรการคำนวณค่าความเข้มข้นของแก๊สแต่ละชนิดในหน่วย ppm

void setup () //เป็นส่วนการตั้งค่าอุปกรณ์ก่อนทำการตรวจวัดแก๊ส
{
Serial.begin (9600); //กำหนดอัตราเร็วในการอ่านข้อมูล
Serial.print("Calibrating...\n"); //กำหนดให้แสดงผลคำว่า Calibrating...
Ro = MQCalibration(MQ_PIN); //วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าเริ่มต้นที่โมดูล MQ-2
Serial.print("Calibration is done...\n"); //เมื่อวัดเสร็จให้แสดงผลคำว่า Calibration is done...
Serial.print("Ro="); //กำหนดให้แสดงผลคำว่า Ro=
Serial.print(Ro); //กำหนดให้แสดงผลค่าความต้านทานไฟฟ้าเริ่มต้น
Serial.print("kohm"); //กำหนดให้แสดงผลคำว่า kohm
Serial.print("\n"); //เว้นบรรทัด

```

```

String libvers = myiot.getVersion();          //รับเวอร์ชัน iottweet
Serial.println("IoTtweet Library vesion : " + String(libvers));
Serial.println("\nConnect wifi...");          //กำหนดให้แสดงผลคำว่า Connect wifi...
bool conn = myiot.begin(ssid,password);      //สั่งเชื่อมต่อ Wi-Fi
if (!conn)
{
  Serial.println("Wi-Fi connection failed.");
  Serial.println("Reconnect..");
  Serial.print("\n");
  myiot.begin(ssid,password);
}
//กำหนดให้ ถ้าเชื่อมต่อ Wi-Fi ไม่สำเร็จ ให้เชื่อมต่อใหม่จนเชื่อมต่อสำเร็จ
else
{
  Serial.println("Wi-Fi connected!");
}
}
//ถ้าเชื่อมต่อ Wi-Fi สำเร็จ ให้แสดงผลคำว่า Wi-Fi connected!

void loop ()                                //เป็นการสั่งให้อุปกรณ์ทำงานตามลำดับ
{
  Serial.println("Sample from MQ2...");      //กำหนดให้แสดงผลคำว่า Sample from MQ2...

  float CO2Read = MQGetGasPercentage(MQRead(MQ_PIN)/Ro,GAS_CO2);
  float CORead = MQGetGasPercentage(MQRead(MQ_PIN)/Ro,GAS_CO);

  Serial.print("CO2:");                      //กำหนดให้แสดงผลคำว่า CO2:
  Serial.print((int)CO2Read);                //กำหนดให้แสดงผลปริมาณ CO2 ที่วัดได้
  Serial.print( "ppm " );                    //กำหนดให้แสดงผลคำว่า ppm
  Serial.print("  ");

```

```

Serial.print("CO:"); //กำหนดให้แสดงผลคำว่า CO:
Serial.print((int)CORead); //กำหนดให้แสดงผลปริมาณ CO ที่วัดได้
Serial.print( "ppm" ); //กำหนดให้แสดงผลคำว่า ppm
Serial.print("\n");

String response =
myiot.WriteDashboard(userid,key,CO2Read,CORead,private_tweet,public_tweet);
Serial.println(response);
delay(2000); //หน่วงเวลา 2000 ไมโครวินาที ก่อนที่อุปกรณ์ทำงานซ้ำ
                คำสั่งเดิม
}

```



ประวัติผู้วิจัย

นายพนัสศิลป์ อุทัย เกิดเมื่อวันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2538 ที่จังหวัดสมุทรสาคร สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนนาครประสิทธิ์ จังหวัดนครปฐม เมื่อปีการศึกษา 2555 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2556 ได้ทุนเรียนดีวิทยาศาสตรแห่งประเทศไทย เมื่อ พ.ศ. 2556

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 26/4 หมู่ 7 ตำบลคลองจินดา อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม 73110 อีเมล panasilp.a@hotmail.com

