

การควบคุมและแสดงผลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะหลายช่วงผ่านระบบ
ไอโอที

SMART MULTI-RANGE AMMONIA GAS SENSOR CONTROL AND
DISPLAY VIA IOT SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2566

KMITL-2023-SC-M-030-008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SMART MULTI-RANGE AMMONIA GAS SENSOR CONTROL AND
DISPLAY VIA IOT SYSTEM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
DEPARTMENT OF PHYSICS SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2023

KMITL-2023-SC-M-030-008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---------------------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การควบคุมและแสดงผลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะหลายช่วงผ่านระบบไอโอที |
| ชื่อนักศึกษา | นางสาวอภิชา เครือเขื่อนเพชร |
| รหัสประจำตัว | 63605029 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) |
| ภาควิชา | ฟิสิกส์ |
| พ.ศ. | 2566 |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | ดร.กฤษฎ์ ศรีนวลจันทร์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม | ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข |

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการควบคุมและแสดงผลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะหลายช่วงผ่านระบบไอโอที ด้วยความสามารถของเซ็นเซอร์ MQ-137 ที่มีช่วงการวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่จำกัด ไม่สอดคล้องกับความต้องการในการวัดก๊าซแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นต่ำที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานโหลดภายในวงจรแบ่งแรงดันของเซ็นเซอร์ MQ-137 เพื่อให้สามารถวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นต่ำได้อย่างแม่นยำ โดยทำการสอบเทียบเซ็นเซอร์ MQ-137 ที่เงื่อนไขของความต้านทานโหลดเป็น 100 Ω , 500 Ω , 1 k Ω , 1.2 k Ω , 1.4 k Ω , 1.6 k Ω , 1.8 k Ω , และ 2 k Ω ภายในกล่องสอบเทียบด้วยความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ 1, 3, 5, 10, และ 30 ppm ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้จากการสอบเทียบจะถูกป้อนเข้าสู่โปรแกรม Arduino IDE และประมวลผลด้วย ESP8266 ผลการสอบเทียบพบว่าค่าความต้านทานโหลดส่งผลต่อความแม่นยำในการวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย โดยที่ค่าความต้านทานโหลด 100 Ω เหมาะสำหรับการวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในช่วง 5–30 ppm ค่าความต้านทานโหลด 500 Ω เหมาะสำหรับการวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่มากกว่า 30 ppm ขึ้นไป และค่าความต้านทานโหลด 1.2 k Ω เหมาะสำหรับการวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในช่วง 1–3 ppm หลังการสอบเทียบจะได้เซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะสำหรับวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียแบบหลายช่วง ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานโหลดได้อัตโนมัติ เพื่อให้เหมาะสมกับช่วงการวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและสามารถแสดงผลบนสมาร์ทโฟนผ่านระบบ IoT ได้

คำสำคัญ : จมูกอิเล็กทรอนิกส์ เซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง แอปพลิเคชันบลูทึธ MQ-137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|-------------------|---|
| Thesis Title | Smart multi-range ammonia gas sensor control and display via IoT system |
| Student Name | Aphichaya Kruakuanphet |
| Student ID | 63605029 |
| Degree | Master of Science (Applied Physics) |
| Department | Physics |
| Year | 2023 |
| Thesis Advisor | Dr. Keerayoot Srinuanjan |
| Thesis Co-advisor | Dr. Witoon Yindeesuk |

Abstract

This thesis presents smart multi-range ammonia gas sensor control and display via IoT system. According to an MQ-137 sensor with the limit of measurement range is inconsistent with the need to measure low concentrations of ammonia produced by agricultural activities. In this thesis, the load resistance within the voltage divider circuit of the sensor was adjusted to accurately measure the low concentrations of ammonia gas. The MQ-137 sensor was calibrated with load resistance conditions of 100 Ω , 500 Ω , 1 k Ω , 1.2 k Ω , 1.4 k Ω , 1.6 k Ω , 1.8 k Ω , and 2 k Ω inside a calibration box with ammonia gas concentration conditions of 1, 3, 5, 10, and 30 ppm, respectively. The calibration data is input to Arduino IDE program and processed by ESP8266 microprocessor. The calibration results showed that the load resistance influenced the accuracy of ammonia gas concentration measurement. Where a load resistance of 100 Ω is suitable for measuring ammonia gas concentrations in the range of 5–30 ppm, a load resistance of 500 Ω is suitable for ammonia gas concentrations greater than 30 ppm, and the 1.2 k Ω load is suitable for measuring ammonia gas concentrations in the range of 1–3 ppm. After calibration, a smart multi-range ammonia gas sensor is obtained. The load resistance can be automatically adjusted to suit the ammonia concentration measurement range and can be displayed on a smartphone via IoT system.

Keywords: electronic nose, ammonia gas sensor, internet of things, Blynk application, MQ-137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความรู้เป็นอย่างสูงจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.กฤษฎ์ ศรีนวลจันทร์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข ที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการดำเนินงาน ตลอดจนการแก้ไขปัญหาในการดำเนินงานวิจัยจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สีปตระกูล สุชาติ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เมตยา กิติวรรณ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรประจำภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่าน ที่กรุณาถ่ายทอดวิชาความรู้ และประสบการณ์ในงานวิจัย รวมถึงการให้คำปรึกษาที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับโอกาสทางการศึกษาและทุนการศึกษาที่มอบให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณบิดา-มารดา ที่ได้อบรมสั่งสอนเลี้ยงดูข้าพเจ้า ตลอดจนมอบโอกาสทางการศึกษา และเป็นแรงผลักดันในการดำเนินงานทุกอย่างให้สำเร็จได้ด้วยดี คุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบแต่บิดา-มารดา และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้าด้วยดีเสมอมา

นางสาวอภิชา ครือเขื่อนเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญตาราง..... | ช |
| สารบัญรูป | ซ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 3 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย | 3 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 4 |
| 2.1 แอมโมเนีย..... | 4 |
| 2.2 จมูกอิเล็กทรอนิกส์..... | 6 |
| 2.2.1 เซ็นเซอร์ก๊าซชนิดสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์..... | 7 |
| 2.2.2 เซ็นเซอร์สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ MQ-137 | 8 |
| 2.3 อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง | 12 |
| 2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์..... | 13 |
| 2.4.1 NodeMCU ESP8266..... | 13 |
| 2.5 โปรแกรม Arduino IDE | 16 |
| 2.6 ทริสมอเตอร์โพเทนชิโอมิเตอร์..... | 17 |
| 2.7 โมดูลรีเลย์..... | 17 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|-----------|
| 2.8 แอปพลิเคชันบลิงค์ | 20 |
| 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 21 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย | 22 |
| 3.1 วัตถุประสงค์สำหรับใช้ในงานวิจัย | 22 |
| 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย | 25 |
| 3.2.1 การออกแบบระบบสำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย | 25 |
| 3.2.2 การสอบเทียบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเพื่อเลือกค่าความต้านทานโหลดที่เหมาะสม สำหรับวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ต่างกัน | 26 |
| 3.2.3 การออกแบบระบบสำหรับควบคุมและแสดงผลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ หลายช่วงผ่านระบบไอโอที | 28 |
| 3.2.4 การตรวจสอบความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียด้วยเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ ผ่านระบบไอโอที | 31 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล | 33 |
| 4.1 ผลการสอบเทียบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเพื่อเลือกค่าความต้านทานโหลดที่เหมาะสม สำหรับวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ต่างกัน | 33 |
| 4.1.1 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียและความ ต้านทานเซ็นเซอร์ในสภาวะอากาศบริสุทธิ์ | 33 |
| 4.1.2 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียและความ ต้านทานเซ็นเซอร์ในสภาวะเงื่อนไขความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่กำหนด | 34 |
| 4.1.3 ผลการคำนวณอัตราส่วนความต้านทานสำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย | 36 |
| 4.2 ผลการตรวจสอบความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียด้วยเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ ผ่านระบบไอโอที | 43 |
| 4.2.1 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ | 43 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

| | |
|--|-----------|
| 4.2.2 ผลการคำนวณความต้านทานเซ็นเซอร์สำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ | 45 |
| 4.2.3 ผลการคำนวณอัตราส่วนความต้านทานสำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ ... | 46 |
| 4.2.4 การตรวจสอบความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย อัจฉริยะผ่านระบบไอโอที | 50 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 51 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย..... | 51 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 52 |
| เอกสารอ้างอิง | 53 |
| ภาคผนวก..... | 56 |
| ภาคผนวก ก..... | 57 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 62 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ผลจากการสัมผัสกับแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ | 5 |
| 2.2 ขาสัญญาณของบอร์ด NodeMCU ESP8266 V3.0 | 15 |
| 2.3 คำอธิบายขาสัญญาณของโมดูลรีเลย์ 3 ช่อง..... | 19 |
| 3.1 ตารางแสดงเงื่อนไขความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในหน่วยหนึ่งในล้านส่วน..... | 26 |
| 4.1 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียและความต้านทานเซ็นเซอร์ ในสภาวะอากาศบริสุทธิ์..... | 34 |
| 4.2 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียในสภาวะเงื่อนไขความเข้มข้น ของก๊าซแอมโมเนีย 1-5 ppm..... | 35 |
| 4.3 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียในสภาวะเงื่อนไขความเข้มข้น ของก๊าซแอมโมเนีย 10 ppm และ 30 ppm | 35 |
| 4.4 ผลการคำนวณความต้านทานเซ็นเซอร์ในสภาวะเงื่อนไขความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่กำหนด... | 36 |
| 4.5 ผลการคำนวณอัตราส่วนความต้านทานสำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย..... | 37 |
| 4.6 ผลการคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียจากสมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซ แอมโมเนีย 3 ppm และ 5 ppm..... | 42 |
| 4.7 ผลการคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียจากสมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซ แอมโมเนีย 10 ppm และ 30 ppm | 42 |
| 4.8 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะในสภาวะอากาศ บริสุทธิ์และในสภาวะความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย 1 ppm และ 3 ppm..... | 43 |
| 4.9 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะในสภาวะความ เข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย 5-30 ppm | 43 |
| 4.10 ผลการคำนวณความต้านทานเซ็นเซอร์ | 45 |
| 4.11 ผลการคำนวณอัตราส่วนความต้านทานสำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ | 46 |
| 4.12 ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ ที่เงื่อนไขความ ต้านทานโหลด 100 Ω และ 500 Ω | 49 |
| 4.13 ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ ที่เงื่อนไขความ ต้านทานโหลด 1200 Ω | 49 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 โครงสร้างทางเคมีของแอมโมเนีย | 4 |
| 2.2 ระบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ | 6 |
| 2.3 โครงสร้างของเซ็นเซอร์ก๊าซชนิดสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ | 7 |
| 2.4 การนำไฟฟ้าของเซ็นเซอร์ก๊าซชนิดสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (ก) สภาวะอากาศบริสุทธิ์ และ (ข) สภาวะที่มีก๊าซรีดิวซ์ | 8 |
| 2.5 เซ็นเซอร์ MQ-137 | 8 |
| 2.6 วงจรสมมูลของเซ็นเซอร์ MQ-137 | 8 |
| 2.7 วงจรแบ่งแรงดันแบบไม่มีโหลด | 9 |
| 2.8 วงจรแบ่งแรงดันแบบมีโหลด | 10 |
| 2.9 ส่วนประกอบของเซ็นเซอร์สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ MQ-137 | 11 |
| 2.10 บอร์ด NodeMCU ESP8266 V3.0 และตำแหน่งขาสัญญาณ | 14 |
| 2.11 บอร์ดขยายขา NodeMCU Base Ver 1.0 (ก) ส่วนประกอบของบอร์ดขยายขา NodeMCU Base Ver 1.0 (ข) ลักษณะการใช้งานของบอร์ด NodeMCU ESP8266 V3.0 และ NodeMCU Base Ver 1.0 | 14 |
| 2.12 เมนูคำสั่งหลักของโปรแกรม Arduino IDE | 16 |
| 2.13 ไดอะแกรมทริเมอร์โพเทนชิโอมิเตอร์ | 17 |
| 2.14 วงจรโมดูลรีเลย์ (ก) สภาวะปกติ (ข) สภาวะจ่ายกระแสไฟฟ้า | 18 |
| 2.15 ประเภทของสวิตช์ (ก) Single Pole Single Throw (ข) Single Pole Double Throw (ค) Double Pole Single Throw และ (ง) Double Pole Double Throw | 19 |
| 2.16 โมดูลรีเลย์ 3 ช่อง | 19 |
| 2.17 หน้า Widget box | 20 |
| 2.18 ตัวอย่างชุดคำสั่งที่มีการใส่รหัส TOKEN | 20 |
| 2.19 ภาพแสดงการทำงานของแอปพลิเคชันบลิงค์ | 21 |
| 3.1 โมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซ MQ-137 | 22 |
| 3.2 โมดูลรีเลย์ 3 ช่อง ยี่ห้อ Songle โมเดล SRD | 22 |
| 3.3 NodeMCU ESP8266 V3.0 | 23 |
| 3.4 NodeMCU Base Ver 1.0 | 23 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.5 ทริมเมอร์โพเทนชิโอมิเตอร์..... | 23 |
| 3.6 สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์..... | 23 |
| 3.7 ไมโครปีเปต | 24 |
| 3.8 จานเพาะเชื้อ | 24 |
| 3.9 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น | 24 |
| 3.10 กล้องสอบเทียบ..... | 24 |
| 3.11 ระบบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย | 25 |
| 3.12 การติดตั้งระบบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียบนกล้องสอบเทียบ..... | 27 |
| 3.13 วงจรควบคุมเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ | 29 |
| 3.14 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมและแสดงผลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะหลายช่วงผ่านระบบไอโอที | 30 |
| 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความต้านทานและความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω, 500 Ω, 1 kΩ, และ 1.2 kΩ..... | 38 |
| 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความต้านทานและความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 1.4 kΩ, 1.6 kΩ, 1.8 kΩ, และ 2 kΩ..... | 38 |
| 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและอัตราส่วนความต้านทาน ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด (ก) 100 Ω (ข) 500 Ω (ค) 1 kΩ (ง) 1.2 kΩ (จ) 1.4 kΩ (ฉ) 1.6 kΩ (ช) 1.8 kΩ (ซ) 2 kΩ..... | 40 |
| 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาออกและความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω, 500 Ω, และ 1.2 kΩ..... | 44 |
| 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความต้านทานและความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω, 500 Ω, และ 1.2 kΩ..... | 46 |
| 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและอัตราส่วนความต้านทาน ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด (ก) 100 Ω (ข) 500 Ω (ค) 1.2 kΩ..... | 48 |
| 4.7 หน้าหลักผู้ใช้งานบนแอปพลิเคชันบลิ๊งค์ สำหรับ (ก) ความต้านทานโหลด 100 Ω (ข) ความต้านทานโหลด 500 Ω (ค) ความต้านทานโหลด 1.2 kΩ..... | 50 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แอมโมเนีย (Ammonia, NH_3) จัดเป็นก๊าซพิษชนิดหนึ่งที่มีกลิ่นฉุนรุนแรง ไม่มีสี มีฤทธิ์กัดกร่อน และมีความเป็นด่างสูง [1] โดยทั่วไปแอมโมเนียสามารถพบได้ทุกสภาพแวดล้อมในธรรมชาติที่มีการย่อยสลายของพืชและสัตว์ รวมไปถึงกิจกรรมทางการเกษตรเช่น การขับถ่ายของเสียจากสัตว์น้ำ การย่อยสลายของโปรตีนในมูลไก่ และการใช้ปุ๋ยที่มีแอมโมเนียเป็นส่วนประกอบสำหรับเพาะปลูกพืช นอกจากนี้แอมโมเนียที่มีความเข้มข้นสูงโดยมากแล้วพบว่ามาจากภาคอุตสาหกรรมที่ใช้แอมโมเนียเป็นวัตถุดิบในการผลิตเช่น การผลิตปุ๋ยยูเรีย การผลิตปุ๋ยแอมโมเนียฟอสเฟต การผลิตกรดไนตริก สำหรับทำความสะอาดผิวโลหะ หรือการใช้เป็นสารทำความเย็น เป็นต้น สำหรับมนุษย์เริ่มได้กลิ่นแอมโมเนียที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 5 ppm ขึ้นไป เมื่อร่างกายได้รับแอมโมเนียผ่านการสัมผัสหรือสูดดมที่ความเข้มข้นมากกว่า 50 ppm จะส่งผลให้เกิดการระคายเคืองต่อดวงตา จมูก คอ และทางเดินหายใจ และอาจส่งผลทำให้ตาบอด ปวดเกิดความเสียหาย หรืออาจเสียชีวิตได้ สำหรับสัตว์ปีกพบว่าแอมโมเนียเริ่มเป็นอันตรายที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 10 ppm ขึ้นไป [2] และสัตว์น้ำเริ่มเป็นอันตรายที่ความเข้มข้น 2.9 หรือ 5.0 mg N/L สำหรับการสัมผัสในระยะสั้น และ 0.26 หรือ 1.8 mg N/L สำหรับการสัมผัสเป็นระยะเวลานาน [3]

โดยทั่วไปกิจกรรมในภาคการเกษตรมักก่อให้เกิดก๊าซแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าภาคอุตสาหกรรม สำหรับกิจกรรมทางการเกษตร สาหร่าย *Chlorella sp.* เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญสำหรับการเพาะเลี้ยงไรแดง (*Moina macrocopa*) ซึ่งเป็นแหล่งอาหารสำหรับการอนุบาลสัตว์น้ำจืดวัยอ่อน เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง สาหร่าย *Chlorella sp.* เป็นสาหร่ายเซลล์เดียวขนาดเล็กประมาณ 2.5–3.5 ไมโครเมตร เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในแหล่งน้ำที่มีค่า pH ประมาณ 4–9 และมีแสงแดดเพียงพอ ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่บ่งชี้ถึงการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้เป็นอย่างดี โดยไนโตรเจนที่พบในแหล่งน้ำแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ อันได้แก่ รูปที่เป็นอนุภาค (Particulate form) และรูปที่ละลายน้ำ (Dissolved form) ซึ่งประกอบด้วย ไนไตรท์ ไนเตรต และแอมโมเนีย โดยสาหร่ายจะดึงเอาไนโตรเจนเหล่านี้มาใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนโดยเฉพาะในรูปแอมโมเนีย ดังนั้นเมื่อสาหร่ายเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่แล้วปริมาณแอมโมเนียจะลดต่ำลง แต่หากมีปริมาณแอมโมเนียมากเกินไป เมื่อนำสาหร่ายไปเพาะเลี้ยงไรแดง อาจทำให้เป็นอันตรายต่อไรแดงได้ เนื่องจากแอมโมเนียมีความเป็นพิษต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต [4–6] ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีวิธีการสำหรับวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่เกิดจากการระเหยภายในบ่อเลี้ยงเพื่อตรวจสอบการเจริญเติบโตของสาหร่าย และหลีกเลี่ยงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการที่

แอมโมเนียมีปริมาณมากเกินไป หนึ่งในวิธีการวัดที่ได้รับความนิยมในการตรวจวัดความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าไม่เหมาะสมในการนำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของก๊าซแอมโมเนียคือการใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose, E-nose) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่จำลองระบบดมกลิ่นเลียนแบบการทำงานของจมูกมนุษย์เพื่อตรวจสอบและจำแนกประเภทของก๊าซ โดยใช้เซ็นเซอร์ที่มีคุณสมบัติให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปเมื่อสัมผัสกับก๊าซ โดยก๊าซแอมโมเนียที่เกิดจากการเลี้ยงสาหร่ายมีความเข้มข้นต่ำ ทำให้ต้องใช้เซ็นเซอร์ที่มีความแม่นยำในการวัด

เซ็นเซอร์ MQ-135 และ MQ-137 เป็นเซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัดก๊าซแอมโมเนียในอากาศที่มีความเข้มข้นในช่วง 10–300 ppm และ 5–500 ppm ตามลำดับ [7–8] เซ็นเซอร์ทั้งสองชนิดนี้เป็นเซ็นเซอร์สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ที่ทำจากดีบุกออกไซด์ (Tin oxide, SnO₂) ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในการสร้างระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ทั้งในภาคการเกษตรและอุตสาหกรรมเช่น การตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแอมโมเนียในโรงงาน [9] การตรวจสอบคุณภาพของเนื้อสัตว์ [10] การตรวจวัดก๊าซแอมโมเนียในบ่อเลี้ยงปลา [11] และการตรวจวัดก๊าซแอมโมเนียในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ปีก [12] เนื่องจากมีความไวสูง ด้วยช่วงการตรวจจับที่กว้าง และราคาค่อนข้างถูก จากการศึกษาความน่าเชื่อถือของเซ็นเซอร์ MQ-135 และ MQ-137 พบว่าประสิทธิภาพในการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียของ MQ-137 สูงกว่า MQ-135 เนื่องจากเซ็นเซอร์ MQ-137 มีความไวต่อการตรวจจับก๊าซแอมโมเนียได้ดีกว่า MQ-135 และมีความไวต่อก๊าซอื่น ๆ ในอากาศเช่น เอทานอล (Ethanol, C₂H₆O) คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide, CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide, CO₂) น้อยกว่าเซ็นเซอร์ MQ-135 [13]

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things, IoT) คือ เทคโนโลยีที่เชื่อมต่ออุปกรณ์หรือเครื่องมือต่าง ๆ เข้าไว้ด้วยกัน โดยสามารถเชื่อมโยงและสื่อสารกันได้ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ทำให้มนุษย์สามารถควบคุมสั่งการอุปกรณ์ต่าง ๆ จากที่ใดก็ได้ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ด้วยเหตุนี้เทคโนโลยีไอโอที จึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายและเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของผู้คนมากขึ้นทั้งในภาคครัวเรือน ภาคการเกษตร และภาคอุตสาหกรรม เช่น บ้านอัจฉริยะ (Smart home) ฟาร์มอัจฉริยะ (Smart farm) รถยนต์อัจฉริยะ (Smart car) หรือโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart grid) เป็นต้น [14]

ในงานวิจัยนี้ MQ-137 ถูกนำมาใช้เป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตรซึ่งมีความเข้มข้นต่ำ แต่เนื่องจาก MQ-137 เป็นเซ็นเซอร์ที่มีช่วงการตรวจจับก๊าซแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นสูงตั้งแต่ 5–500 ppm ทำให้ไม่สามารถวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ต่ำกว่า 5 ppm ได้อย่างแม่นยำ ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานโหลดภายในวงจรแบ่งแรงดันของเซ็นเซอร์ MQ-137 เพื่อให้สามารถวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียได้แม่นยำมากขึ้นแม้ที่ความเข้มข้นต่ำ โดยการสอบเทียบเซ็นเซอร์ที่ค่าความต้านทานโหลดคือ 100 Ω, 500 Ω, 1 kΩ, 1.2 kΩ, 1.4 kΩ, 1.6 kΩ, 1.8 kΩ, และ 2 kΩ ภายในกล่องสอบเทียบด้วยความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ 1, 3, 5, 10, และ 30 ppm ตามลำดับ หลังการสอบเทียบแล้วจะได้เซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะสำหรับวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียแบบหลายช่วง จากแนวความคิด

เกี่ยวกับเทคโนโลยีไอโอที ผู้วิจัยได้นำเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ให้สามารถเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอกโดยไม่ผ่านการอนุมัติฯ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานโหลดได้อัตโนมัติเมื่อความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียเปลี่ยนไป เพื่อให้เหมาะสมกับช่วงการวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและสามารถแสดงผลบนสมาร์ทโฟนด้วยแอปพลิเคชันบลิงค์ผ่านระบบไอโอทีได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อออกแบบระบบควบคุมและแสดงผลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะหลายช่วงผ่านระบบไอโอทีให้สามารถปรับค่าความต้านทานโหลดที่เหมาะสมกับช่วงการวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียได้แบบอัตโนมัติ

2) เพื่อศึกษาผลของความต้านทานโหลดต่อการตอบสนองและความแม่นยำในการวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียของเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ

3) เพื่อให้สามารถนำเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะไปใช้วัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0–30 ppm ได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ออกแบบระบบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย

2) สอบเทียบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียที่ค่าความต้านทานโหลด 100 Ω , 500 Ω , 1 k Ω , 1.2 k Ω , 1.4 k Ω , 1.6 k Ω , 1.8 k Ω , และ 2 k Ω ภายในกล่องสอบเทียบด้วยความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ 1, 3, 5, 10, และ 30 ppm ตามลำดับ เพื่อเลือกค่าความต้านทานโหลดที่เหมาะสมสำหรับวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0–30 ppm

3) ออกแบบระบบสำหรับควบคุมและแสดงผลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะหลายช่วงผ่านระบบไอโอที

4) ตรวจสอบการวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียด้วยเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะผ่านระบบไอโอที

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถออกแบบระบบควบคุมและแสดงผลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะหลายช่วงผ่านระบบไอโอทีให้สามารถปรับค่าความต้านทานโหลดที่เหมาะสมกับช่วงการวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียได้แบบอัตโนมัติ

2) ทราบผลของความต้านทานโหลดต่อการตอบสนองและความแม่นยำในการวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียของเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ

3) สามารถนำเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0–30 ppm ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

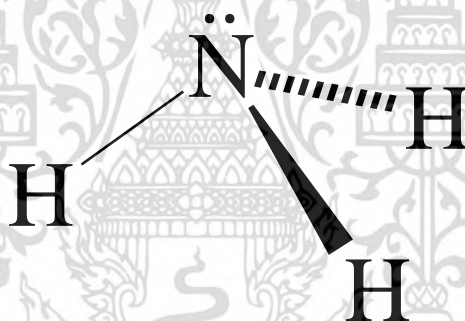
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแอมโมเนีย จมูกอิเล็กทรอนิกส์ เช่น เซอร์ก๊าซ MQ-137 อินเทอร์เน็ทของสรรพสิ่ง ไมโครคอนโทรลเลอร์ โปรแกรม Arduino IDE และแอปพลิเคชันบลิงค์

2.1 แอมโมเนีย

แอมโมเนีย (Ammonia) จัดเป็นก๊าซพิษชนิดหนึ่งที่มีกลิ่นฉุน ละลายน้ำได้ดี เบากว่าอากาศ มีฤทธิ์เป็นด่างรุนแรง และมีความเป็นพิษสูง แอมโมเนียเป็นสารประกอบเคมีที่ประกอบด้วยธาตุไนโตรเจน (Nitrogen, N) 1 อะตอม และไฮโดรเจน (Hydrogen, H) 3 อะตอม โดยมีสูตรเคมี คือ NH_3 [15] ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของแอมโมเนีย

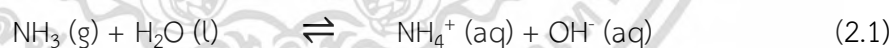
เนื่องจากแอมโมเนียมีฤทธิ์ในการกัดกร่อน การสัมผัสหรือสูดดมแอมโมเนียเข้าสู่ร่างกาย จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง ดวงตา จมูก คอ รวมถึงระบบทางเดินหายใจ ผลจากการสัมผัสกับแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อสุขภาพของมนุษย์ [16] แสดงดังตารางที่ 2.1 สำหรับสัตว์ปีก เมื่อสัมผัสกับก๊าซแอมโมเนียจะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่ออ่อนเช่น อวัยวะสืบพันธุ์ ตา ปาก และระบบทางเดินหายใจ เป็นผลให้สัตว์เกิดความเครียด มีน้ำมูก ไอ จาม และเชื้อโรคสามารถแทรกเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายทำให้เกิดโรคต่าง ๆ ตามมา [17] ความเป็นพิษของแอมโมเนียที่ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำมักอยู่ในรูปของแอมโมเนียอิสระ เมื่อสัตว์น้ำสัมผัสกับระดับแอมโมเนียอิสระในน้ำสูง 1–2 mg/L เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จะทำให้ขับถ่ายแอมโมเนียได้น้อยลง ระดับแอมโมเนียในเนื้อเยื่อและเลือดสูงขึ้นทำให้ค่า pH ในเลือดสูง ส่งผลให้ปฏิกิริยาชีวเคมีทำงานผิดปกติ ความสามารถในการลำเลียงออกซิเจนลดลง เหงือกเสียหาย และเสียชีวิตในที่สุด [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ผลจากการสัมผัสกับแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

| ระดับความเข้มข้น (ppm) | ผลที่เกิดขึ้น | ระยะเวลาที่สัมผัส |
|------------------------|--|--|
| 5 | เริ่มไต่กลิ่น ไม่เกิดอาการระคายเคือง | – |
| 25 | ไต่กลิ่น ไม่เกิดอาการระคายเคือง | ทำงานได้ 8 ชั่วโมง |
| 35 | ไต่กลิ่น ไม่เกิดอาการระคายเคือง | ทำงานได้ 15 นาที |
| 50–100 | ระคายเคืองเล็กน้อย | ทนได้นาน 2 ชั่วโมง |
| 400–700 | ระคายเคืองปานกลางต่อดวงตา จมูก และลำคอ | สัมผัสไม่เกิน 1 ชั่วโมง ไม่ส่งผลกระทบต่อร่างกาย |
| 1,000–2,000 | ไออย่างรุนแรง มีอาการแสบดวงตา จมูก และลำคอ | หากสัมผัสนาน 30 นาที เนื้อเยื่อตา จมูก และระบบทางเดินหายใจถูกทำลาย |
| 3,000–4,000 | ไออย่างรุนแรง มีอาการแสบดวงตา จมูก และลำคอ | อาจเสียชีวิตได้ภายใน 30 นาที |
| 5,000–12,000 | กลัมน้ำหนักหัวใจเกิดการหดเกร็ง ขาดออกซิเจนอย่างเฉียบพลัน | เสียชีวิตได้ในเวลาไม่กี่นาที |

เมื่อก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ทำปฏิกิริยากับน้ำ (H_2O) จะทำให้เกิดแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ที่มีสถานะเป็นของเหลว ใส มีกลิ่นฉุนเช่นเดียวกับก๊าซแอมโมเนีย โดยโมเลกุลของแอมโมเนียที่ละลายน้ำจะทำปฏิกิริยากับน้ำเพื่อผลิตแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ปฏิกิริยาดังกล่าวนี้เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ดังอธิบายในสมการที่ (2.1)



สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์สำหรับระเหยเป็นก๊าซแอมโมเนียภายในกล่องสอบเทียบ โดยความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ppm} = \frac{V_{\text{solute}}}{V_{\text{solution}}} \times 10^6 \quad (2.2)$$

โดยที่ ppm คือ ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในหน่วยหนึ่งในล้านส่วน

V_{solute} คือ สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

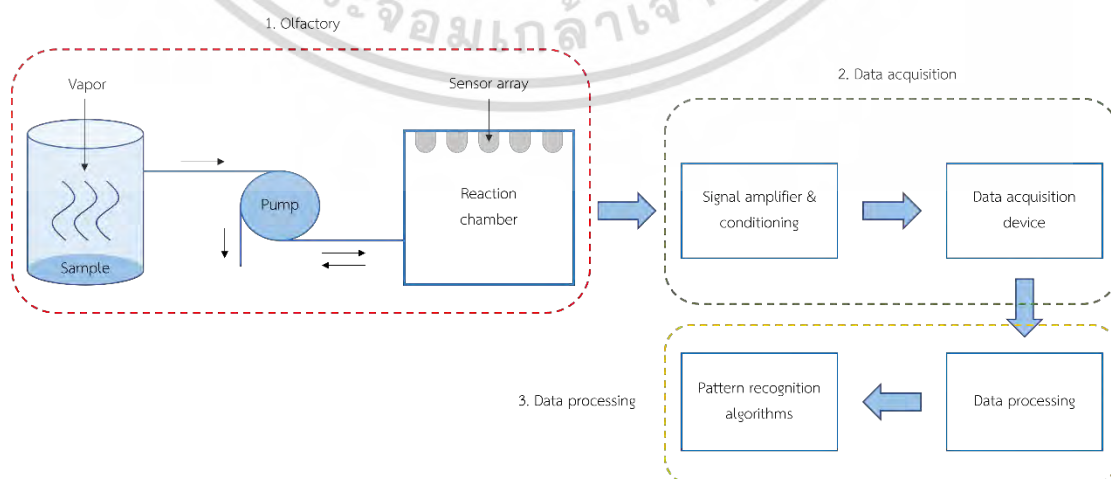
V_{solution} คือ ปริมาตรของกล่องสอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 จมูกอิเล็กทรอนิกส์

จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose, E-nose) เป็นอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อเลียนแบบการรับรู้กลิ่นของจมูกมนุษย์ โดยธรรมชาติแล้วมนุษย์มีกลไกในการรับรู้กลิ่นคือ เมื่อมีการสูดดมอากาศเข้าไปภายในโพรงจมูก โมเลกุลของก๊าซในอากาศจะเข้าไปสัมผัสกับต่อมรับรู้กลิ่นที่อยู่บนเซลล์ประสาทรับกลิ่น จากนั้นเมื่อต่อมรับรู้กลิ่นตอบสนองต่อกลิ่นต่าง ๆ จะส่งสัญญาณประสาทไปยังสมองเพื่อแปลผลสัญญาณกลิ่นที่ได้รับโดยเปรียบเทียบกับกลิ่นที่จดจำได้จากความทรงจำนำมาประมวลผลเปรียบเทียบกับกัน จึงสามารถจำแนกและระบุประเภทของกลิ่นได้ แต่เนื่องจากประสิทธิภาพในการตรวจจบบกลิ่นของจมูกของมนุษย์ยังมีข้อจำกัดในหลาย ๆ ด้าน อาทิ ไม่สามารถรับกลิ่นที่มีความเข้มข้นของโมเลกุลก๊าซต่ำหรือสูงเกินขีดจำกัดได้ ขาดความเที่ยงตรง และความแม่นยำในการตรวจสอบกลิ่นต่าง ๆ อีกทั้งเมื่อเกิดปัญหาสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับจมูกเช่น มีน้ำมูกหรือเป็นหวัด การรับรู้กลิ่นอาจเกิดการผิดเพี้ยนไป รวมถึงการสูดดมกลิ่นบางประเภทที่เป็นพิษในปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้จึงมีการสร้างเครื่องมือสำหรับใช้ในการตรวจวัดกลิ่นแทนจมูกของมนุษย์ โดยการใช้เซ็นเซอร์ก๊าซที่อยู่ภายในจมูกอิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่เป็นตัวรับกลิ่น ซึ่งเซ็นเซอร์จะทำการวัดค่าของกลิ่นออกมาในรูปแบบของสัญญาณที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิดของกลิ่นหรือโมเลกุลของก๊าซ [19–21]

โครงสร้างของระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ถูกแบ่งออกเป็นสามส่วนประกอบด้วย ส่วนแรกเป็นส่วนของการรับกลิ่น มีตัวนำกลิ่นที่นำพาอากาศเข้ามาอาจมีมอเตอร์ที่ใช้ดูดอากาศเช่น บั๊มลม ในการปั๊มอากาศหรือก๊าซตัวอย่างเข้าไปในระบบ มีท่อรวมกลิ่น เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของกลิ่นให้สูงขึ้น และมีเซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัดกลิ่น ส่วนที่สองเป็นส่วนของการรวบรวมสัญญาณ ซึ่งจะทำการแปรสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์และจัดการสัญญาณรบกวน จากนั้นจึงทำการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และส่วนที่สามเป็นส่วนประมวลผล ทำหน้าที่ในการนำสัญญาณที่ได้รับมาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่มีอยู่เดิม จากนั้นอัลกอริทึมจะทำการแยกแยะและจดจำรูปแบบกลิ่น [22]

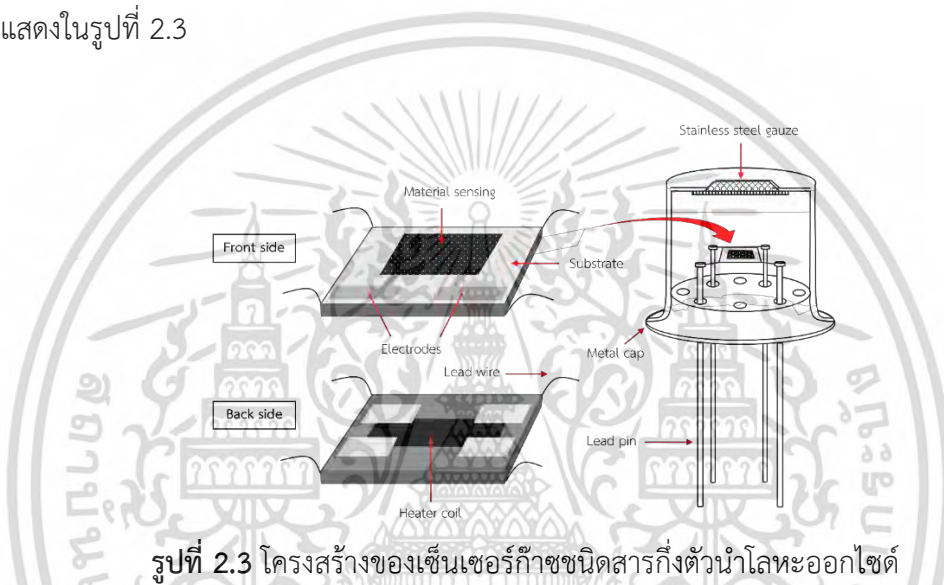


รูปที่ 2.2 ระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 เซ็นเซอร์ก๊าซชนิดสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์

เซ็นเซอร์ก๊าซชนิดสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal oxide semiconductor, MOS) เป็นเซ็นเซอร์ชนิดสารกึ่งตัวนำที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้าในการตรวจวัดก๊าซ โครงสร้างภายในของเซ็นเซอร์มีวัสดุตรวจจับ (Material sensing) เป็นสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์เช่น ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO₂) คอปเปอร์ออกไซด์ (Copper oxide, CuO) และดีบุกออกไซด์ (Tin oxide, SnO₂) ฯลฯ วางอยู่บนซับสเตรท (Substrate) ที่ต่อเข้ากับขั้วอิเล็กโทรด (Electrode) ซึ่งจะถูกให้ความร้อนด้วยขดลวดความร้อน (Heater coil) เพื่อควบคุมอุณหภูมิและเป็นตัวช่วยในการ Deoxidizing [23–24] ดังแสดงในรูปที่ 2.3

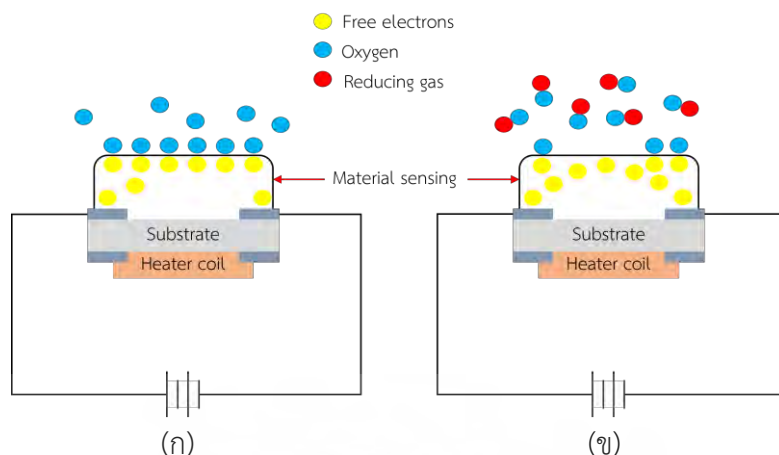


รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเซ็นเซอร์ก๊าซชนิดสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์

ในการนำไฟฟ้าของเซ็นเซอร์ อิเล็กตรอนอิสระจะต้องเคลื่อนที่ข้ามไปมาระหว่างผิวสัมผัสของผลึกสารกึ่งตัวนำ ในสภาวะอากาศบริสุทธิ์ที่ปราศจากก๊าซรีดิวซ์ ผิวสัมผัสของผลึกสารกึ่งตัวนำจะถูกเคลือบด้วยชั้นบาง ๆ ของออกซิเจน ซึ่งจะดึงดูดอิเล็กตรอนอิสระมาที่บริเวณผิวสัมผัส ทำให้อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ผ่านไปยังขั้วอิเล็กโทรดได้น้อยจึงส่งผลให้กระแสไฟฟ้าขาออกมีค่าเข้าใกล้ศูนย์และค่าความต้านทานไฟฟ้าของเซ็นเซอร์เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.4 (ก) ในทางตรงกันข้ามเมื่อเซ็นเซอร์อยู่ในสภาวะที่มีก๊าซรีดิวซ์ซึ่งมีสมบัติทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และทำลายพันธะเคมีระหว่างออกซิเจนกับอิเล็กตรอนอิสระ จะทำให้ชั้นของออกซิเจนที่เคลือบอยู่บริเวณผิวสัมผัสลดลง อิเล็กตรอนอิสระจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังขั้วอิเล็กโทรดได้ ส่งผลให้เซ็นเซอร์สามารถนำไฟฟ้าได้และมีค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลง ดังรูปที่ 2.4 (ข) โดยคุณสมบัติดังกล่าวนี้เองที่ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดก๊าซที่มีสมบัติในการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน [25–26]

เซ็นเซอร์ชนิดนี้เป็นเซ็นเซอร์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีระบบการวัดที่ไม่ซับซ้อนทำให้ง่ายต่อการใช้งาน ความแม่นยำในการตรวจวัดก๊าซค่อนข้างสูง ราคาถูก รวมถึงมีการศึกษาและพัฒนาเซ็นเซอร์ชนิดนี้มาอย่างยาวนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การนำไฟฟ้าของเซ็นเซอร์ก๊าซชนิดสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (ก) สภาวะอากาศบริสุทธิ์ และ (ข) สภาวะที่มีก๊าซรีดิวซ์

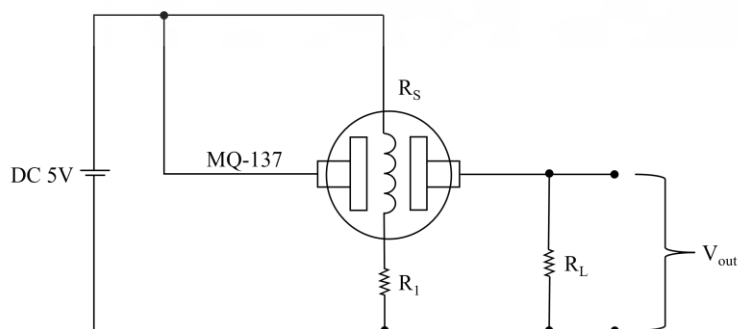
2.2.2 เซ็นเซอร์สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ MQ-137

เซ็นเซอร์สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ MQ-137 เป็นเซ็นเซอร์สำหรับใช้ในการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เอทานอล และแอมโมเนีย ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เซ็นเซอร์ MQ-137

โดยเซ็นเซอร์ MQ-137 อาศัยหลักการวัดค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์เมื่อความเข้มข้นของก๊าซเปลี่ยนแปลง วงจรสมมูลของเซ็นเซอร์แสดงดังรูปที่ 2.6 โดยวงจรสมมูลนี้เปรียบได้กับวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage divider) ซึ่งภายในมีแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (Input voltage, V_{in}) 5 โวลต์ (Volt, V) ที่จ่ายให้กับขดลวดทำความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิของเซ็นเซอร์ให้คงที่ ทำให้เซ็นเซอร์มีความไว (Sensitivity) คงที่ เพราะอุณหภูมิมีผลต่อความไวของเซ็นเซอร์ [27–28]

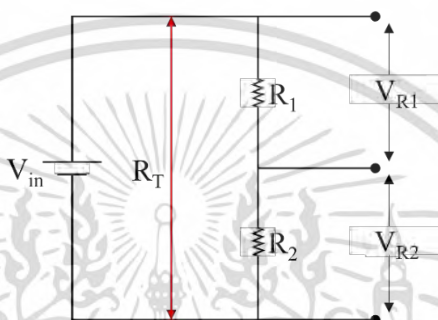


รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของเซ็นเซอร์ MQ-137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแบ่งแรงดัน หมายถึง วงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน 2 ตัวขึ้นไป ต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Power supply) โดยความต้านทานภายในวงจรจะทำหน้าที่ในการแบ่งแรงดันไฟฟ้าในวงจร ประเภทของวงจรแบ่งแรงดันสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ ดังนี้

- วงจรแบ่งแรงดันแบบไม่มีโหลด เป็นวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมที่ยังไม่มีการต่อโหลดเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.7 แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัวเมื่อนำมารวมกันแล้วจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย และตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานมากที่สุดจะมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมมากที่สุดด้วย



รูปที่ 2.7 วงจรแบ่งแรงดันแบบไม่มีโหลด

จากวงจรในรูปที่ 2.7 สามารถหาค่าความต้านทานรวม (R_T) ได้จากสมการ

$$R_T = R_1 + R_2 \quad (2.5)$$

จากกฎของโอห์ม (Ohm's law) จะได้สมการกระแส

$$I = \frac{V_{in}}{R_T} \quad (2.6)$$

และ

$$V = IR \quad (2.7)$$

จะได้ว่า

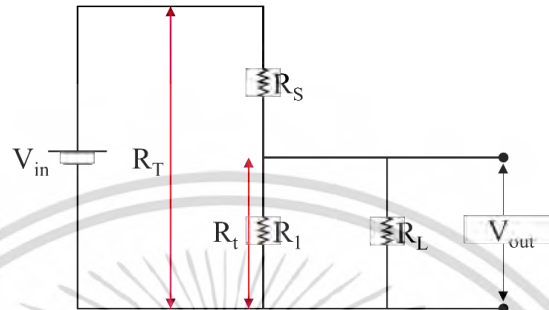
$$V_{R1} = V_{in} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (2.8)$$

และ

$$V_{R2} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรแบ่งแรงดันแบบมีโหลด เป็นวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมที่นำโหลดมาต่อขนานกับตัวต้านทานภายในวงจร แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่อขนานกับโหลด โดยวงจรสมมูลของเซ็นเซอร์ MQ-137 เป็นวงจรแบ่งแรงดันแบบมีโหลด ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 วงจรแบ่งแรงดันแบบมีโหลด

จากรูปที่ 2.8 จะได้ความสัมพันธ์ของสมการดังนี้

$$R_t = \frac{R_1 R_L}{R_1 + R_L} \quad (2.10)$$

ดังนั้น

$$R_T = R_S + R_t \quad (2.11)$$

สามารถหาค่าแรงดันขาออก (Output voltage, V_{out}) ได้จากสมการ

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_t}{R_T} \quad (2.12)$$

แทนค่าสมการที่ (2.11) ลงในสมการที่ (2.12) จะได้ว่า

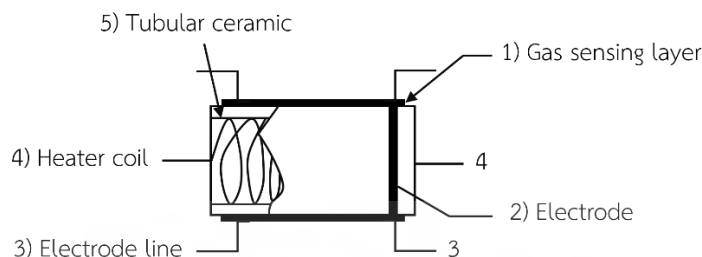
$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_t}{R_S + R_t} \quad (2.13)$$

ดังนั้น ค่าความต้านทานเซ็นเซอร์ (Sensor resistance, R_S) สามารถหาได้จากสมการที่ (2.14) โดยมีแรงดันไฟฟ้าขาออกเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานโหลด (Load resistance, R_L)

$$R_S = \frac{R_1 R_L}{R_1 + R_L} \left(\frac{V_{in}}{V_{out}} - 1 \right) \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของเซ็นเซอร์สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ MQ-137 ประกอบด้วย ชั้นตรวจจับก๊าซ อิเล็กโทรด อิเล็กโทรดไลน์ ขดลวดความร้อน และท่อเซรามิก แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของเซ็นเซอร์สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ MQ-137

- 1) ชั้นตรวจจับก๊าซ (Gas sensing layer) : เป็นส่วนประกอบหลักของเซ็นเซอร์ ทำหน้าที่ในการตรวจจับก๊าซ โดยมีวัสดุตรวจจับเป็นสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ชนิด N-type คือ ดีบุกออกไซด์ ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำในอากาศบริสุทธิ์ เมื่อชั้นตรวจจับตรวจพบก๊าซเป้าหมายค่าการนำไฟฟ้าของเซ็นเซอร์จะสูงขึ้นพร้อมกับความเข้มข้นของก๊าซที่เพิ่มขึ้น
- 2) อิเล็กโทรด (Electrode) : สร้างขึ้นจากทอง (Gold, Au) ทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างอิเล็กโทรดไลน์กับชั้นตรวจจับ เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลไปที่ขั้วไฟฟ้า
- 3) อิเล็กโทรดไลน์ (Electrode line) : เป็นวัสดุที่ทำจากแพลตตินัม (Platinum, Pt) เนื่องจากวัสดุตรวจจับเมื่อตรวจพบก๊าซจะสร้างกระแสไฟฟ้าที่ต่ำมาก จึงต้องมีการรักษาประสิทธิภาพในการนำกระแสไฟฟ้าไว้ ดังนั้นอิเล็กโทรดไลน์จึงเข้ามาช่วยในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนให้มีประสิทธิภาพ
- 4) ขดลวดความร้อน (Heater coil) : สร้างขึ้นจากนิกเกิล-โครเมียม (Nickel-Chromium, NiCr) ทำหน้าที่ในการให้ความร้อนแก่วัสดุตรวจจับ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความไวของการตรวจจับก๊าซเป้าหมาย โดยขดลวดนี้มีจุดหลอมเหลวสูงช่วยคงความร้อนไว้โดยไม่ทำให้ขดลวดละลาย
- 5) ท่อเซรามิก (Tubular ceramic) : อยู่ระหว่างชั้นตรวจจับก๊าซกับขดลวดความร้อน ทำมาจากอะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum oxide, Al_2O_3) ช่วยป้องกันชั้นตรวจจับก๊าซจากความร้อน ส่งผลให้ชั้นตรวจจับมีความไวสูง

2.3 อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เป็นระบบเทคโนโลยีที่อุปกรณ์หรือสิ่งของต่าง ๆ สามารถสื่อสารและเชื่อมโยงหากันได้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้มนุษย์สามารถควบคุมสั่งการอุปกรณ์ต่าง ๆ จากที่ใดก็ได้ตลอดเวลาผ่านอินเทอร์เน็ตเช่น การเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่าน การตรวจสอบกล้องวงจรปิดผ่านสมาร์ตโฟนจากระยะไกล หรือการทำฟาร์มเกษตรอัจฉริยะ

อิริฟิรุห์ ทองคำวิฑูรย์ (2559) อธิบายว่า Internet of Things ตามนิยามของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union, ITU) หมายถึง โครงข่ายสื่อสารที่เชื่อมต่ออุปกรณ์สื่อสาร เครื่องใช้ไฟฟ้า ยานพาหนะ สิ่งก่อสร้าง หรือวัตถุอื่น ๆ โดยอาศัยการฝังระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ เซ็นเซอร์ และส่วนเชื่อมต่อโครงข่าย ที่ทำให้อุปกรณ์ดังกล่าวมีความสามารถเก็บหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันได้

บทความพิเศษเรื่อง เทคโนโลยี Internet of Things และนโยบาย Thailand 4.0 ของคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ หรือ กสทช. (National Broadcasting and Telecommunication Commission) ได้อธิบายความหมายของ Internet of Things ว่าเป็นกรอบแนวคิดของระบบโครงข่ายที่รองรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์หลายชนิด ตั้งแต่ คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ อุปกรณ์โครงข่าย อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เซ็นเซอร์ และวัตถุต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ทำให้ระบบต่าง ๆ สามารถสื่อสารและทำงานร่วมกันได้อย่างอัตโนมัติ ทั้งเป็นผลให้มนุษย์สามารถเข้าถึงข้อมูลได้หลากหลายขึ้น ควบคุมอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

แนวคิดของ Internet of Things เดิมมาจาก Kevin Ashton ในปี ค.ศ.1999 ในขณะที่ทำวิจัยที่สถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซตส์ (Massachusetts Institute of Technology, MIT) โดยนำเสนอโครงการที่มีชื่อว่า Auto-ID Center ซึ่งต่อยอดมาจากเทคโนโลยี RFID ที่ขณะนั้นถือเป็นมาตรฐานโลกสำหรับตรวจจับสัญญาณเซ็นเซอร์ต่าง ๆ (RFID Sensors) ว่าสามารถเชื่อมต่อสื่อสารกันได้ผ่านระบบ Auto-ID ในการบรรยายให้กับบริษัท Procter & Gamble (P&G) ครั้งนั้น Kevin ได้ใช้คำว่า “Internet of Things” ในสไลด์การบรรยายเป็นครั้งแรก โดยนิยามว่า อุปกรณ์ใด ๆ ก็ตามที่สามารถสื่อสารกันได้ถือเป็น “Internet-like” ซึ่งก็คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สื่อสารแบบเดียวกันกับระบบอินเทอร์เน็ต และคำว่า “Things” ใช้แทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เหล่านั้น ต่อมาในปี ค.ศ.2000 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ถูกผลิตออกมาจำหน่ายเป็นจำนวนมาก เริ่มมีการใช้คำว่า Smart เช่น Smart device, Smart home, Smart grid ต่าง ๆ ซึ่งถูกฝัง RFID Sensors ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ และกลายมาเป็นแนวคิดที่ว่าอุปกรณ์เหล่านั้นสามารถสื่อสารกันได้ด้วยเช่นกัน โดยอาศัยเซ็นเซอร์ในการสื่อสาร ซึ่งแปลว่า Smart device ต่าง ๆ นอกจากจะสามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้แล้วยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ ได้อีกด้วย [29]

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller, MCU) เป็นอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก โดยมีโครงสร้างคล้ายคลึงกับคอมพิวเตอร์ คือ ภายในประกอบด้วยหน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นการรวบรวมองค์ประกอบสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน ทำให้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาดเล็ก สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายผ่านการออกแบบวงจรให้เหมาะสมกับงานประเภทต่าง ๆ นอกจากนี้ยังสามารถเขียนโปรแกรมคำสั่งควบคุมขาอินพุต/เอาต์พุต (Input/Output, I/O) เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อีกด้วย (ทันตพงษ์, 2559)

โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบด้วย 5 ส่วนสำคัญ ดังต่อไปนี้

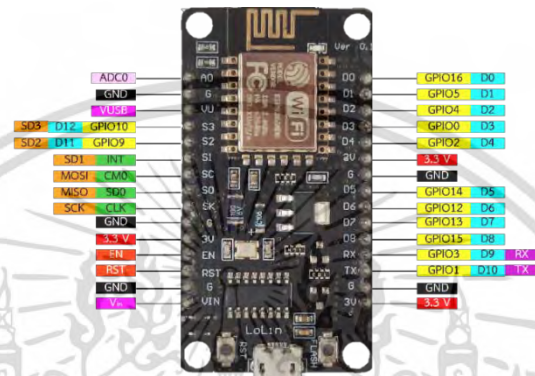
- 1) หน่วยประมวลผลกลาง (Central processing unit, CPU) เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ประมวลผลตามชุดคำสั่งจากซอฟต์แวร์ เปรียบเสมือนสมองของคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ในการตัดสินใจหรือคำนวณคำสั่งที่ได้รับมา
- 2) หน่วยความจำ (Memory unit) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูล แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำข้อมูล (Data memory) เปรียบเสมือนกระดานจดสำหรับคำนวณของ CPU และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน ข้อมูลจะสูญหายไปเมื่อหยุดจ่ายไฟเลี้ยงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมหลัก (Program memory) เปรียบได้กับฮาร์ดดิสก์ของคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายแม้ไม่มีไฟเลี้ยง
- 3) พอร์ต (Port) เป็นส่วนที่ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก แบ่งออกเป็น พอร์ตอินพุต (Input port) ใช้สำหรับการรับสัญญาณเพื่อนำไปประมวลผล จากนั้นจึงส่งไปยังพอร์ตเอาต์พุต (Output port) ที่ใช้ส่งสัญญาณเพื่อแสดงผล
- 4) ช่องทางเดินสัญญาณหรือบัส (Bus) เป็นลักษณะของสายสัญญาณจำนวนมากภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับเป็นเส้นทางแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง CPU หน่วยความจำ และพอร์ต
- 5) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Clock) ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณนาฬิกาโดยใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator circuit) ที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ มีอุปกรณ์ที่เรียกว่าคริสตัล (X-TAL) ทำหน้าที่กำหนดช่วงเวลาในการประมวลผลของส่วนประมวลผล

2.4.1 NodeMCU ESP8266

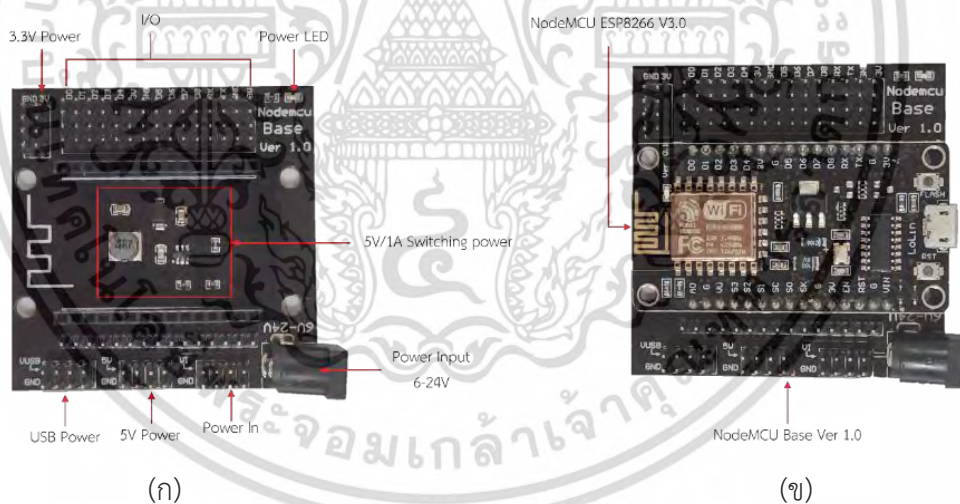
Node microcontroller unit ESP8266 (NodeMCU ESP8266) คือ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 บิต ที่ภายในบอร์ดมีชิป ESP8266 ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับ Wi-Fi ได้ โดยมีโครงสร้างแบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) ทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3.3–3.6 V ความถี่สัญญาณนาฬิกา 80–160 เมกะเฮิร์ตซ์ และสายอากาศที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ สำหรับการเขียนคำสั่งควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สามารถใช้โปรแกรม Arduino IDE ได้เช่นเดียวกับบอร์ด Arduino ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้บอร์ด NodeMCU ESP8266 V3.0 ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ MQ-137 แล้วส่งค่าข้อมูลที่ตรวจวัดได้ขึ้นสู่เซิร์ฟเวอร์ของแอปพลิเคชันบลิงค์ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบค่าความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียได้จากระยะไกลผ่านสมาร์ตโฟน และเนื่องจากมีบอร์ดขยายขา NodeMCU Base Ver 1.0 สำหรับใช้งานร่วมกับบอร์ด NodeMCU ESP8266 V3.0 ทำให้สามารถเชื่อมต่อตัวบอร์ดเข้ากับเซ็นเซอร์และอุปกรณ์เสริมได้สะดวกมากยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 2.11 สำหรับหน้าที่ของขาสัญญาณของบอร์ด NodeMCU ESP8266 V3.0 แสดงดังตารางที่ 2.2 [30]



รูปที่ 2.10 บอร์ด NodeMCU ESP8266 V3.0 และตำแหน่งขาสัญญาณ



รูปที่ 2.11 บอร์ดขยายขา NodeMCU Base Ver 1.0 (ก) ส่วนประกอบของบอร์ดขยายขา NodeMCU Base Ver 1.0 (ข) ลักษณะการใช้งานของบอร์ด NodeMCU ESP8266 V3.0 และ NodeMCU Base Ver 1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ขาสัญญาณของบอร์ด NodeMCU ESP8266 V3.0

| ขา | ขา GPIO | หน้าที่ |
|-----------------|---------|--|
| D0 | GPIO16 | พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต |
| D1 | GPIO5 | พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต และเป็นขา SCL สำหรับเชื่อมต่อแบบ I2C |
| D2 | GPIO4 | พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต, PWM (Pulse Width Modulation), และ เป็นขา SDA สำหรับเชื่อมต่อแบบ I2C |
| D3 | GPIO0 | พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต |
| D4 | GPIO2 | พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต |
| D5 | GPIO14 | พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต และ PWM |
| D6 | GPIO12 | พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต และ PWM |
| D7 | GPIO13 | พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต |
| D8 | GPIO15 | พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต และ PWM |
| D9/RX | GPIO3 | พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต และขาสัญญาณรับข้อมูล |
| D10/TX | GPIO1 | พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต และขาสัญญาณรับข้อมูล |
| 3V3 | | แรงดันไฟฟ้า 3.3 V |
| GND | | กราวด์ |
| ADC0 | | แอนะล็อกอินพุตขนาด 10 บิต (0-1023) |
| VUSB | | สัญญาณไฟ |
| SD3 | GPIO10 | รับ-ส่งข้อมูลบิต 3 กับ SDIO (Secure digital input/output) ซึ่งเป็นอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุตแบบ SD |
| SD2 | GPIO9 | รับ-ส่งข้อมูลบิต 2 กับ SDIO |
| SD1 | | รับ-ส่งข้อมูลบิต 1 กับ SDIO |
| SC | | ส่งชุดคำสั่งไปยัง SDIO |
| S0 | | รับ-ส่งข้อมูลบิต 0 กับ SDIO |
| SCK | | ส่งสัญญาณนาฬิกาที่ความถี่ 0-25 เมกะเฮิร์ตซ์ สำหรับ SDIO |
| EN | | Active HIGH : ทำงานปกติ และ Active LOW ประหยัดไฟ |
| RST | | รีเซ็ตการทำงาน |
| V _{in} | | ขาแรงดันอินพุต 7-12 V |

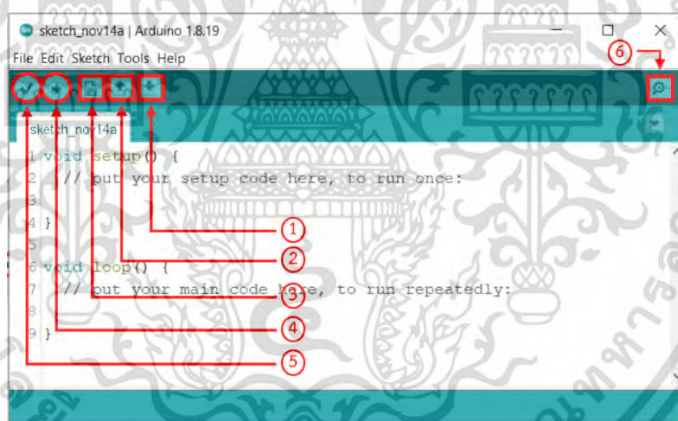
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 โปรแกรม Arduino IDE

Arduino IDE (Arduino Integrated Development Environment) คือ ซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมหรือพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 และ Arduino โดยสามารถดาวน์โหลดโปรแกรมได้ที่ www.arduino.cc

เมนูคำสั่งของโปรแกรม Arduino IDE ประกอบด้วยคำสั่งหลักดังแสดงในรูปที่ 2.12 โดยที่ตัวเลขบนรูปภาพสามารถอธิบายได้ดังนี้

- หมายเลข 1 คือ Save : บันทึกไฟล์ปัจจุบันนามสกุล *.ino
- หมายเลข 2 คือ Open : เปิดไฟล์ที่บันทึกไว้
- หมายเลข 3 คือ New : สร้างไฟล์ใหม่เพื่อเริ่มเขียนโปรแกรม
- หมายเลข 4 คือ Upload : คอมไพล์หรือแปลโปรแกรมภาษา C/C++ ให้เป็นภาษาสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์และอัปโหลดไฟล์ลงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์
- หมายเลข 5 คือ Verify : คอมไพล์และตรวจสอบความถูกต้อง
- หมายเลข 6 คือ Serial monitor : แสดงผลลัพธ์จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.12 เมนูคำสั่งหลักของโปรแกรม Arduino IDE

เมนูคำสั่งของโปรแกรมประกอบด้วยเมนูคำสั่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

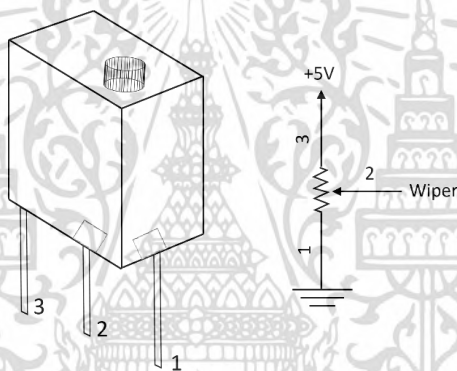
- 1) เมนู File เป็นเมนูคำสั่งสำหรับจัดการคำสั่งต่าง ๆ เกี่ยวกับไฟล์ เช่น สร้างไฟล์ใหม่ เปิดไฟล์ เปิดไฟล์ตัวอย่าง บันทึกไฟล์ พิมพ์งาน เปิดหน้าต่างการตั้งค่า และออกจากโปรแกรม
- 2) เมนู Edit เป็นเมนูคำสั่งสำหรับการแก้ไข เช่น การย้อนกลับ การตัด การคัดลอก การวาง การเลือกข้อความทั้งหมด การเพิ่มหรือลดขนาดตัวอักษร และการค้นหา
- 3) เมนู Sketch เป็นเมนูคำสั่งเกี่ยวกับการคอมไพล์ ตรวจสอบความถูกต้องของการเขียนโปรแกรม การอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และการเรียกใช้ไลบรารีหรือชุดคำสั่งโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) เมนู Tools เป็นเมนูคำสั่งสำหรับการใช้เครื่องมือต่าง ๆ โดยมีสิ่งที่ต้องกำหนดคือ ประเภทของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้ และพอร์ตอนุกรมในเครื่อง
- 5) เมนู Help เป็นเมนูคำสั่งสำหรับการให้ความช่วยเหลือ เช่น การเรียนรู้การใช้งานเบื้องต้น การเรียนรู้เกี่ยวกับโปรแกรม Arduino IDE การเรียนรู้คำสั่งต่าง ๆ เป็นต้น

2.6 ทริมเมอร์โพเทนซิโอมิเตอร์

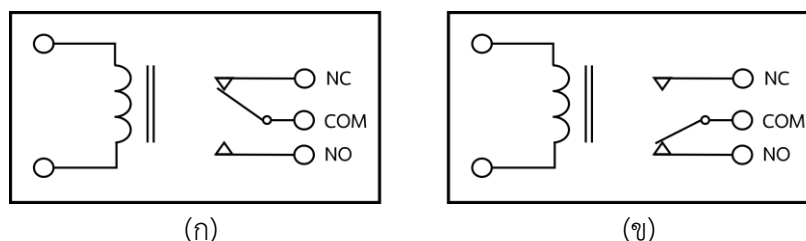
ทริมเมอร์โพเทนซิโอมิเตอร์ หรือ ตัวต้านทานแบบปรับละเอียด (Trimmer potentiometer) เป็นตัวต้านทานโพเทนซิโอมิเตอร์ชนิดหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.13 โดยส่วนมากนิยมใช้ประกอบวงจรประเภทเครื่องมือวัดและทดสอบ เนื่องจากสามารถหมุนปรับเพื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานได้ทีละน้อย ซึ่งสามารถหมุนได้ 15 รอบหรือมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับโพเทนซิโอมิเตอร์ที่ใช้ในเครื่องรับวิทยุที่หมุนได้ไม่ถึง 1 รอบ ทำให้ค่าความต้านทานเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.13 ไดอะแกรมทริมเมอร์โพเทนซิโอมิเตอร์

2.7 โมดูลรีเลย์

รีเลย์ (Relay) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ทำหน้าที่เสมือนสวิตช์ไฟที่ใช้แรงดันไฟฟ้าเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อควบคุมวงจรต่าง ๆ โดยรีเลย์มีหลักการทำงานคือ เมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าให้แก่ขดลวด ตัวขดลวดจะเกิดการสร้างสนามแม่เหล็กให้แกนโลหะเคลื่อนที่ไปกระทบหน้าสัมผัสให้ติดกัน กระแสไฟฟ้าจึงสามารถไหลผ่านหน้าสัมผัสไปยังโหลดหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ได้ ในกรณีที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าให้แก่ขดลวด ตัวขดลวดจะหยุดการสร้างสนามแม่เหล็ก ทำให้แกนโลหะเคลื่อนที่กลับสู่ตำแหน่งเดิม หน้าสัมผัสจึงแยกออกจากกัน ทำให้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านโหลดได้ [31–32] ลักษณะของวงจรโมดูลรีเลย์แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วงจรโมดูลรีเลย์ (ก) สภาวะปกติ (ข) สภาวะจ่ายกระแสไฟฟ้า

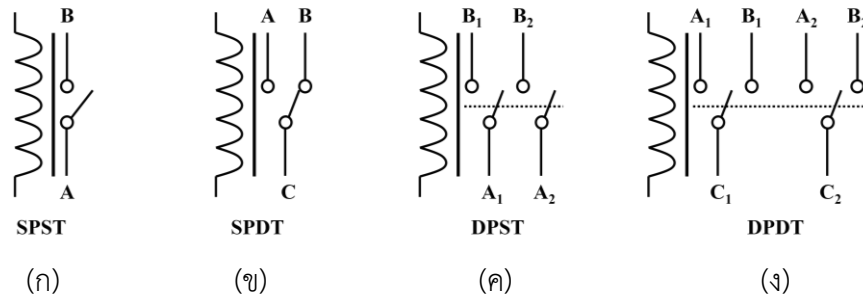
หน้าสัมผัส NC (Normal close) หรือ หน้าสัมผัสปกติปิด ในสภาวะปกติที่ไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสนี้จะต่อเข้ากับขา COM (Common) และในสภาวะที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดหน้าสัมผัสจะแยกออกจากกัน โดยทั่วไปจุดนี้จะถูกต่อเข้ากับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการให้ทำงานตลอดเวลา

ขา COM (Common) เป็นขาใช้งานร่วมกันระหว่าง NC และ NO กรณีที่ไม่มีการป้อนกระแสไฟฟ้าให้แก่ขดลวดขา COM นี้จะต่อเข้ากับหน้าสัมผัส NC และหากมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดขา COM นี้จะต่อเข้ากับหน้าสัมผัส NO

หน้าสัมผัส NO (Normal open) หรือ หน้าสัมผัสปกติเปิด ในสภาวะปกติที่ไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสนี้จะลอยอยู่ไม่ถูกต่อเข้ากับขา COM และในสภาวะที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดหน้าสัมผัสจะเชื่อมติดกัน โดยทั่วไปจุดนี้จะถูกต่อเข้ากับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการควบคุมการเปิด-ปิดการทำงาน

ประเภทของสวิตช์ภายในโมดูลรีเลย์ถูกจำแนกออกเป็น 4 ประเภท ตามจำนวนขั้ว (Pole) และจำนวนทาง (Throw) จำนวนของขั้วบ่งบอกถึงจำนวนของขา COM และจำนวนของทางบ่งบอกถึงจำนวนของตัวเลือกของขั้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.15

- 1) สวิตช์แบบ 1 ขั้ว 1 ทาง (Single Pole Single Throw, SPST) เป็นสวิตช์ที่สามารถเลือกได้เพียงอย่างเดียวคือปกติเปิดหรือปกติปิด ดังรูปที่ 2.15 (ก)
- 2) สวิตช์แบบ 1 ขั้ว 2 ทาง (Single Pole Double Throw, SPDT) มีสวิตช์หนึ่งคู่เป็นปกติเปิด และอีกหนึ่งคู่เป็นปกติปิด ดังรูปที่ 2.15 (ข)
- 3) สวิตช์แบบ 2 ขั้ว 1 ทาง (Double Pole Single Throw, DPST) มีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับสวิตช์แบบ SPST แต่มีขั้วเพิ่มขึ้นมาอีก 1 ขั้ว ทำให้สามารถเปิด-ปิดวงจรได้ 2 วงจร ดังรูปที่ 2.15 (ค)
- 4) สวิตช์แบบ 2 ขั้ว 2 ทาง (Double Pole Double Throw, DPDT) มีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับสวิตช์แบบ SPDT แต่มีขั้วเพิ่มขึ้นมาอีก 2 ขั้ว และ 1 ทาง ทำให้สามารถเปิด-ปิดวงจรได้ 4 วงจร ดังรูปที่ 2.15 (ง)



รูปที่ 2.15 ประเภทของสวิตช์ (ก) Single Pole Single Throw (ข) Single Pole Double Throw (ค) Double Pole Single Throw และ (ง) Double Pole Double Throw

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้โมดูลรีเลย์ 3 ช่อง (Relay module 3 channels) ดังรูปที่ 2.16 มีสวิตช์แบบ SPDT และเอาต์พุตคอนเนคเตอร์เป็น NO/COM/NC สามารถใช้กับวงจรได้ทั้งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ ควบคุมการทำงานด้วยสัญญาณลอจิก TTL



รูปที่ 2.16 โมดูลรีเลย์ 3 ช่อง

ตารางที่ 2.3 คำอธิบายขาสัญญาณของโมดูลรีเลย์ 3 ช่อง

| ขาที่ | คำอธิบาย |
|-------|---|
| 1 | หน้าสัมผัส NC (Normal close) เป็นหน้าสัมผัสแบบปกติปิด |
| 2 | ขา COM (Common) เป็นจุดร่วมที่ต่อมาจากแหล่งจ่ายไฟ |
| 3 | หน้าสัมผัส NO (Normal open) เป็นหน้าสัมผัสแบบปกติเปิด |
| 4 | CH1 คือ ขาสัญญาณอินพุต 1 |
| 5 | CH2 คือ ขาสัญญาณอินพุต 2 |
| 6 | CH3 คือ ขาสัญญาณอินพุต 3 |
| 7 | GND คือ กราวด์ |
| 8 | VCC คือ ขาไฟ 5VDC |
| 9 | RGND คือ กราวด์ |

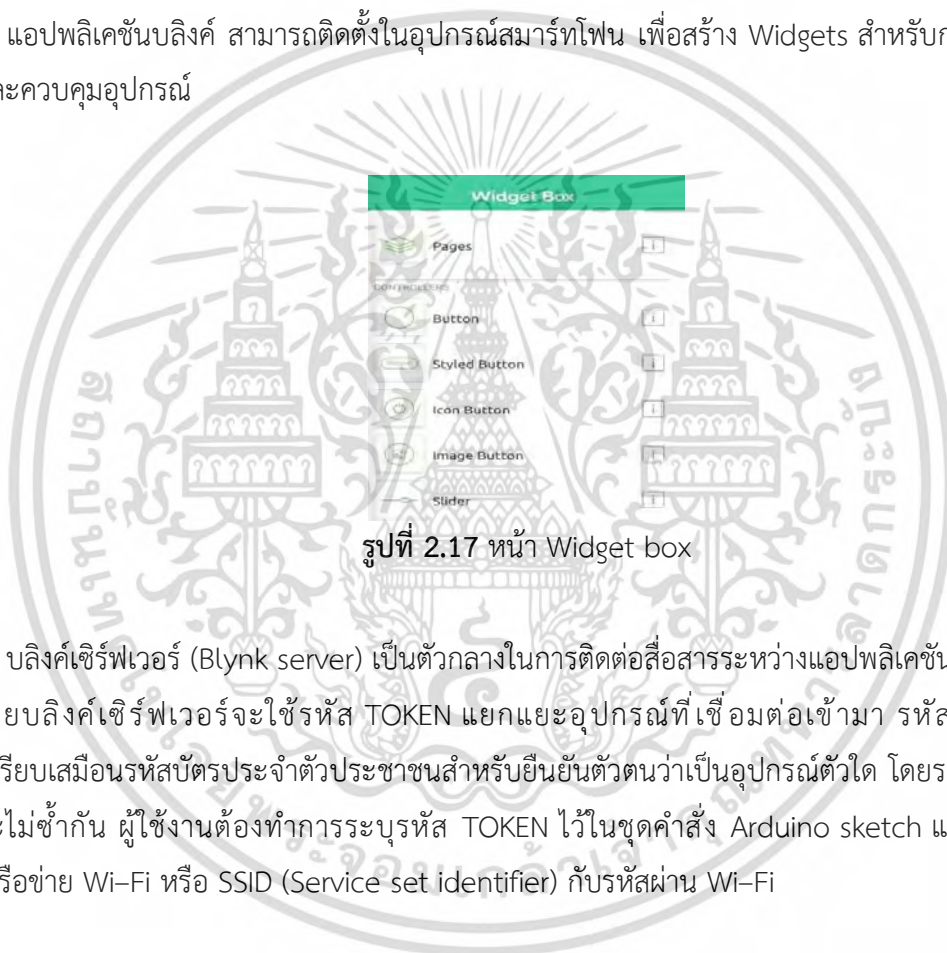
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 แอปพลิเคชันบลิงค์

แอปพลิเคชันบลิงค์ (Blynk) เป็นแอปพลิเคชันสำหรับใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบไอโอที ทำให้สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในลักษณะของการเชื่อมต่อเซิร์ฟเวอร์หรือเครื่องแม่ข่าย (Server) ไปยังอุปกรณ์ลูกข่าย (Client) เช่น NodeMCU ESP8266 Arduino, ESP 32 หรือ Raspberry Pi โดยสามารถรองรับการใช้งานได้ทั้งระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) และ IOS (iPhone operating system) ทำให้แอปพลิเคชันบลิงค์มีคุณสมบัติในการควบคุมอุปกรณ์จากระยะไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและสามารถแสดงผลค่าที่อ่านจากเซ็นเซอร์ได้อีกด้วย โดยการทำงานของแอปพลิเคชันบลิงค์ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ดังนี้

1) แอปพลิเคชันบลิงค์ สามารถติดตั้งในอุปกรณ์สมาร์ทโฟน เพื่อสร้าง Widgets สำหรับการแสดงผลและควบคุมอุปกรณ์



รูปที่ 2.17 หน้า Widget box

2) บลิงค์เซิร์ฟเวอร์ (Blynk server) เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างแอปพลิเคชันกับอุปกรณ์ โดยบลิงค์เซิร์ฟเวอร์จะใช้รหัส TOKEN แยกแยะอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อเข้ามา รหัส TOKEN นี้เปรียบเสมือนรหัสบัตรประจำตัวประชาชนสำหรับยืนยันตัวตนว่าเป็นอุปกรณ์ตัวใด โดยรหัสแต่ละตัวจะไม่ซ้ำกัน ผู้ใช้งานต้องทำการระบุรหัส TOKEN ไว้ในชุดคำสั่ง Arduino sketch และแก้ไขชื่อเครือข่าย Wi-Fi หรือ SSID (Service set identifier) กับรหัสผ่าน Wi-Fi

```

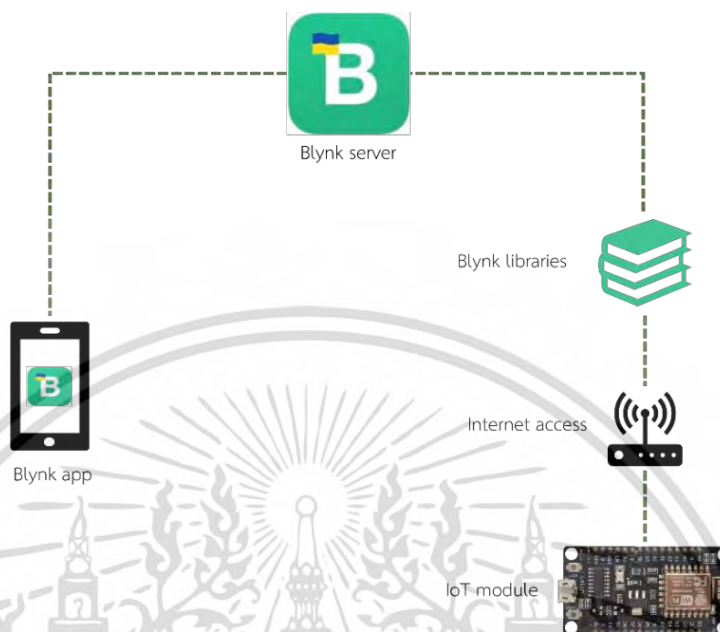
Auto_R | Arduino 1.8.19
File Edit Sketch Tools Help
Auto_R
9
10 #define BLYNK_TEMPLATE_ID [REDACTED]
11 #define BLYNK_DEVICE_NAME [REDACTED]
12 #define BLYNK_AUTH_TOKEN [REDACTED]
13 #define BLYNK_PRINT Serial
14
15 #include <TridentTD_LineNotify.h>
16 #include <BlynkSimpleEsp8266.h>
17
18 char auth[] = [REDACTED]
19
20 //-----SSID dan Password wifi mu gan.
21 const char* ssid = [REDACTED]; //--> Nama Wifi / SSID.
22 const char* password = [REDACTED]; //--> Password wifi .
23 //

```

รูปที่ 2.18 ตัวอย่างชุดคำสั่งที่มีการใส่รหัส TOKEN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) บลิงค์ไลบรารี (Blynk libraries) คือ ชุดข้อมูลที่รวบรวมชุดคำสั่งของโปรแกรม ถูกออกแบบมาสำหรับพัฒนาโปรแกรมในแพลตฟอร์มของอุปกรณ์ต่าง ๆ



รูปที่ 2.19 ภาพแสดงการทำงานของแอปพลิเคชันบลิงค์

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 ในปี ค.ศ.2019 Makro Petric และคณะ ได้นำเสนอการตรวจสอบความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียโดยใช้เซ็นเซอร์ MQ-137 เชื่อมต่อกับบอร์ด Croduino Basic 2 ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0-500 ppm ในระบบควบคุม เพื่อสอบเทียบเซ็นเซอร์ MQ-137 และทดสอบความสามารถในการทำซ้ำของอุปกรณ์ โดยมีเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซ Geotech GA5000 เป็นเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ ผลการทดสอบพบว่าเซ็นเซอร์ MQ-137 มีความสามารถในการวัดซ้ำและสามารถตรวจวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียได้ใกล้เคียงกับเครื่องมือมาตรฐาน [8]

2.9.2 ในปี ค.ศ.2019 Prachi Pahare และ Preet Jain ได้ทำการศึกษาความเชื่อถือได้ของเซ็นเซอร์ไฟฟ้าเคมี MQ-135 และ MQ-137 เกี่ยวกับก๊าซแอมโมเนียที่เกิดจากปัสสาวะในโถปัสสาวะของเพศชายด้วยระบบไอโอที จากการทดลองพบว่าเซ็นเซอร์ MQ-137 มีความเฉพาะเจาะจงในการตรวจจับก๊าซแอมโมเนียมากกว่า MQ-135 เนื่องจาก MQ-137 มีความไวต่อก๊าซชนิดอื่นเช่น เอทานอล คาร์บอนมอนอกไซด์ น้อยกว่า MQ-135 ทำให้การตรวจจับก๊าซแอมโมเนียทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า [13]

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวิธีการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็นสี่ส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่ง คือ การออกแบบระบบสำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย ส่วนที่สอง คือ การสอบเทียบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเพื่อเลือกค่าความต้านทานโหลดที่เหมาะสมสำหรับวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ต่างกัน ส่วนที่สาม คือ การออกแบบระบบสำหรับควบคุมและแสดงผลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะหลายช่วงผ่านระบบไอโอที และ ส่วนที่สี่ คือ การตรวจสอบความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียด้วยเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะผ่านระบบไอโอที โดยรายละเอียดวิธีการดำเนินงานมีดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุอุปกรณ์สำหรับใช้ในงานวิจัย

1) โมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซ MQ-137 เป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย มีความสามารถในการวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียอยู่ในช่วงการวัดตั้งแต่ 5–500 ppm ทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิ $-10^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}$ ที่ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 95%



รูปที่ 3.1 โมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซ MQ-137

2) โมดูลรีเลย์ 3 ช่อง ยี่ห้อ Songle โมเดล SRD รองรับการทำงานกระแสสลับ 125V@10A หรือ 250V@10A รองรับแรงดันกระแสตรงที่ 28VDC@10A ทำงานด้วยแรงดัน 5 V



รูปที่ 3.2 โมดูลรีเลย์ 3 ช่อง ยี่ห้อ Songle โมเดล SRD

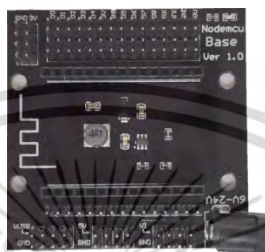
3) NodeMCU ESP8266 V3.0 ทำหน้าที่เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 NodeMCU ESP8266 V3.0

4) NodeMCU Base Ver 1.0 ทำหน้าที่ขยายจำนวนขา GPIO ของบอร์ด NodeMCU ESP8266



รูปที่ 3.4 NodeMCU Base Ver 1.0

5) ทริสมเมอร์โพเทนชิโอมิเตอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานแบบปรับค่าได้



รูปที่ 3.5 ทริสมเมอร์โพเทนชิโอมิเตอร์

6) สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) 30% w/w



รูปที่ 3.6 สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

7) ไมโครปิเปต ขนาด 10–100 ไมโครลิตร (μL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ไมโครปิเปต

8) งานเพาะเชื้อ สำหรับใส่สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 3.8 งานเพาะเชื้อ

9) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น



รูปที่ 3.9 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น

10) กล่องสอบเทียบ ทำจากอะคริลิกใสความหนา 5 มิลลิเมตร ขนาด 30.00 × 30.00 × 30.00 เซนติเมตร ด้วยปริมาตร 27,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ช่องด้านหน้าขนาด 15.00 × 15.00 เซนติเมตร ประตูสำหรับเปิด-ปิดขนาด 20.00 × 20.00 เซนติเมตร และรูด้านบนกึ่งกลางกล่องสอบเทียบขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 19.20 มิลลิเมตร สำหรับใส่หัววัดเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย



รูปที่ 3.10 กล่องสอบเทียบ

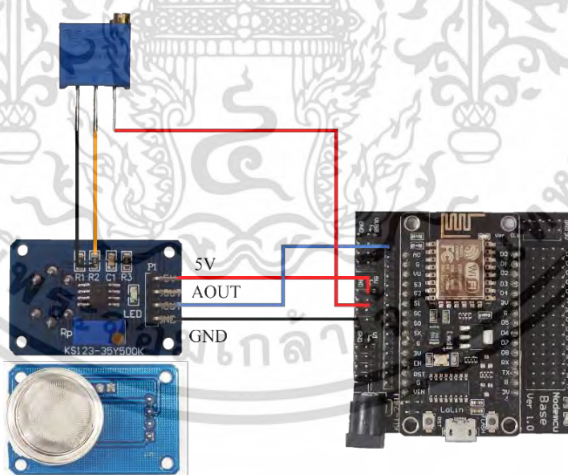
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยสำหรับการออกแบบระบบสำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย การสอบเทียบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเพื่อเลือกค่าความต้านทานโหลดที่เหมาะสมสำหรับวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ต่างกัน การออกแบบระบบสำหรับควบคุมและแสดงผลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะหลายช่วงผ่านระบบไอโอที และการตรวจสอบความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียด้วยเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะผ่านระบบไอโอที แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

3.2.1 การออกแบบระบบสำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย

ระบบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียที่ถูกออกแบบสำหรับใช้ในการสอบเทียบแสดงดังรูปที่ 3.11 NodeMCU ESP8266 รับไฟเลี้ยงขาเข้าผ่านบอร์ดขยายขา NodeMCU Base Ver 1.0 แล้วทำการจ่ายไฟเลี้ยง 5 V ไปยังเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียผ่านขาแรงดันไฟบวก โดยที่ขาแอนะล็อกและขากราวด์ของเซ็นเซอร์ถูกต่อเข้ากับขา A0 และ ขากราวด์ของบอร์ดขยายขา NodeMCU Base Ver 1.0 ตามลำดับ ตัวต้านทานโหลดขนาด 1 k Ω ภายในโมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียถูกแทนที่ด้วยทริเมอร์โพเทนซิโอมิเตอร์ที่กำหนดให้เงื่อนไขของความต้านทานในการทดลองมีค่าเท่ากับ 100 Ω , 500 Ω , 1 k Ω , 1.2 k Ω , 1.4 k Ω , 1.6 k Ω , 1.8 k Ω , และ 2 k Ω โดยที่ขาซ้ายถูกต่อเข้ากับด้านกราวด์และขากลางต่อเข้ากับด้านเอาต์พุตบนโมดูล และขาขวาต่อเข้ากับขาแรงดันไฟ 5 V บนบอร์ดขยายขา NodeMCU Base Ver 1.0



รูปที่ 3.11 ระบบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในโมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียจะทำการแปลงค่าการนำไฟฟ้าของเซ็นเซอร์เป็นสัญญาณเอาต์พุตที่สอดคล้องกัน และสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะถูกนำไปประมวลผลด้วย NodeMCU ESP8266 ซึ่งถูกป้อนโปรแกรมคำสั่งควบคุมการทำงานให้สามารถอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก โดยการแปลงค่าสัญญาณแอนะล็อกเอาต์พุตที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์เป็นสัญญาณ

ดิจิทัลจากสมการที่ (3.1)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{\text{out}} = \text{ADC} \times \frac{5}{1023} \quad (3.1)$$

โดยที่ ADC คือ การแปลงค่าจากสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นดิจิทัล

3.2.2 การสอบเทียบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเพื่อเลือกค่าความต้านทานโหลดที่เหมาะสมสำหรับวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ต่างกัน

การสอบเทียบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

3.2.2.1 การกำหนดเงื่อนไขความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในหน่วยหนึ่งในล้านส่วน (Parts per million, ppm)

1) กำหนดเงื่อนไขความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียสำหรับการสอบเทียบเป็น 1, 3, 5, 10, และ 30 ppm ตามลำดับ

2) คำนวณหาปริมาตรของสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องใช้เพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่กำหนดไว้ในข้อ 1) จากสมการ (2.2)

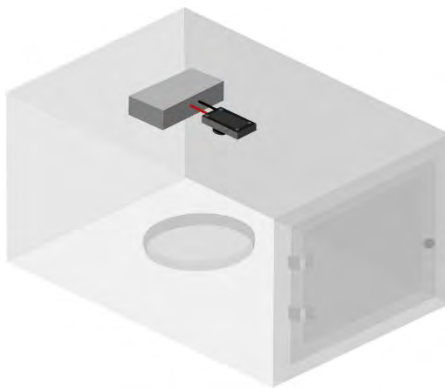
จากการกำหนดเงื่อนไขความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียสำหรับการสอบเทียบเป็น 1, 3, 5, 10, และ 30 ppm สามารถคำนวณหาปริมาตรของสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงเงื่อนไขความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในหน่วยหนึ่งในล้านส่วน

| ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในหน่วยหนึ่งในล้านส่วน (ppm) | ปริมาตรของสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (μL) |
|---|--|
| 1 | 66.60 |
| 3 | 199.99 |
| 5 | 333.29 |
| 10 | 666.59 |
| 30 | 1999.79 |

3.2.2.2 การสอบเทียบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย

1) ติดตั้งระบบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย โดยใส่หัววัดเซ็นเซอร์ลงบนรูด้านบนกึ่งกลางของกล่องสอบเทียบ ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การติดตั้งระบบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียบนกล่องสอบเทียบ

- 2) เปิดเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเป็นเวลา 30 นาที
- 3) บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นก่อนใส่สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
- 4) กำหนดค่าความต้านทานโหลดที่ใช้ในการทดลองเริ่มต้นเป็น 100 Ω สำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียในสภาวะอากาศบริสุทธิ์เป็นเวลา 3 นาที แล้วทำการบันทึกผล
- 5) เปลี่ยนค่าความต้านทานโหลดภายในระบบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเป็น 500 Ω , 1 k Ω , 1.2 k Ω , 1.4 k Ω , 1.6 k Ω , 1.8 k Ω , และ 2 k Ω ตามลำดับ แล้วทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกเป็นเวลา 3 นาที จนครบเงื่อนไขของค่าความต้านทานโหลดที่กำหนด
- 6) ทำการทดลองในข้อ 4) และ 5) ซ้ำอีก 2 ครั้ง
- 7) เปลี่ยนค่าความต้านทานโหลดภายในระบบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเป็น 100 Ω อีกครั้ง แล้วปิดเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย
- 8) นำไมโครปิเปตดูดสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 30% w/w ปริมาตร 66.60 μL ที่ความเข้มข้น 1 ppm ใส่ลงบนจานเพาะเชื้อ
- 9) นำจานเพาะเชื้อใส่เข้าไปในกล่องสอบเทียบจากนั้นทำการปิดประตูกล่องให้สนิทแล้วทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ระเหยเป็นก๊าซแอมโมเนีย
- 10) เปิดเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเป็นเวลา 3 นาที แล้วทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเป็นเวลา 3 นาที
- 11) ปิดเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเป็นเวลา 3 นาที
- 12) เปลี่ยนค่าความต้านทานโหลดเป็น 500 Ω , 1 k Ω , 1.2 k Ω , 1.4 k Ω , 1.6 k Ω , 1.8 k Ω , และ 2 k Ω ตามลำดับ แล้วทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกเป็นเวลา 3 นาที จนครบเงื่อนไขของค่าความต้านทานโหลดที่กำหนด
- 13) ทำการทดลองในข้อ 7) – 12) ซ้ำอีก 2 ครั้ง

- 14) ทำการทดลองในข้อ 7) – 13) ซ้ำอีกครั้ง โดยเปลี่ยนปริมาตรของสารละลาย แอมโมเนียไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 30% w/w ตามปริมาตรที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.1 เป็น 199.99, 333.29, 666.59, และ 1999.79 μL ที่ความเข้มข้น 3, 5, 10, และ 30 ppm ตามลำดับ
- 15) นำค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย
- 16) นำค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกเฉลี่ยไปคำนวณหาค่าความต้านทานเซ็นเซอร์สำหรับแต่ละเงื่อนไขของค่าความต้านทานโหลดจากสมการ (2.14)
- 17) คำนวณหาอัตราส่วนความต้านทาน (Resistance ratio) ดังสมการ (3.2)

$$\text{Resistance ratio} = \frac{R_s}{R_0} \quad (3.2)$$

โดยที่ R_s คือ ค่าความต้านทานเซ็นเซอร์

R_0 คือ ค่าความต้านทานเซ็นเซอร์ในสภาวะอากาศบริสุทธิ์

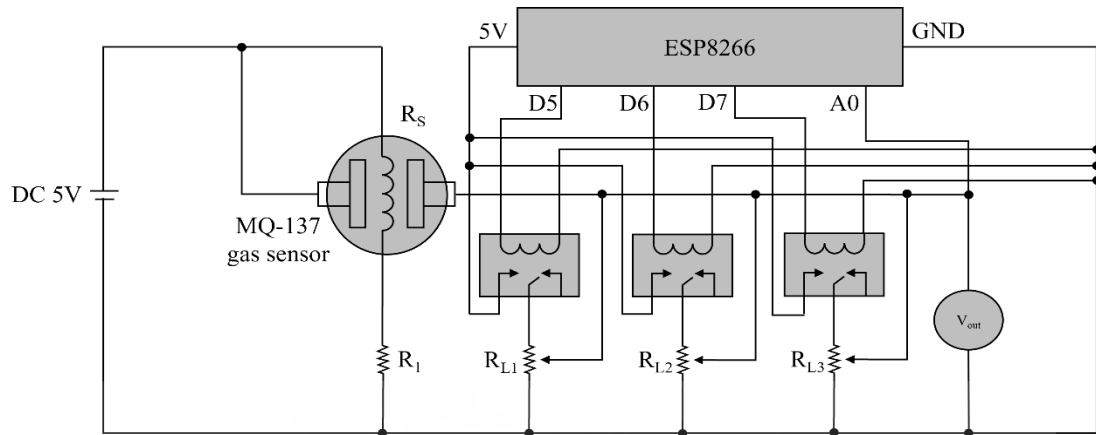
18) สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความต้านทานและความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในสเกลลอการิทึมและอัตราส่วนความต้านทาน เพื่อหาสมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย

19) นำค่าอัตราส่วนความต้านทานที่ได้จากข้อ 17) แทนลงในสมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ได้จากข้อ 18) จากนั้นเลือกค่าความต้านทานโหลดที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้วัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่กำหนด

3.2.3 การออกแบบระบบสำหรับควบคุมและแสดงผลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะหลายช่วงผ่านระบบไอโอที

3.2.3.1 การออกแบบวงจรควบคุมเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ

ในการออกแบบวงจรควบคุมเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะนี้ ผู้วิจัยได้ทำการเลือกค่าความต้านทานโหลดที่เหมาะสมสำหรับวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ 1, 3, 5, 10, และ 30 ppm ได้อย่างแม่นยำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3.13



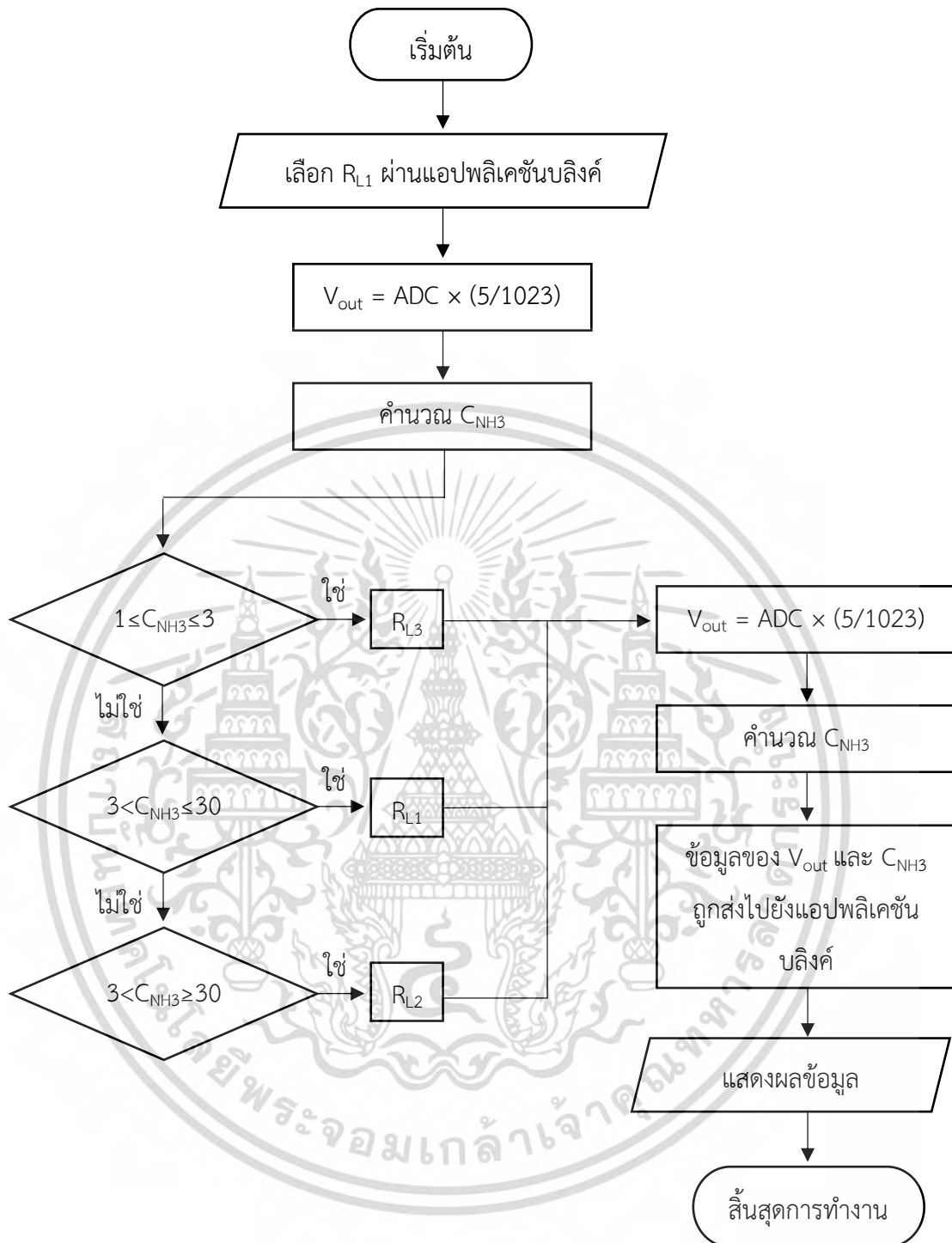
รูปที่ 3.13 วงจรควบคุมเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ

ตัวต้านทานโหลดในระบบนี้เป็นการใช้ทริเมอร์โพเทนชิโอมิเตอร์แทนที่ตัวต้านทานเดิมภายในโมดูลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งตัวต้านทานโหลดจะถูกต่อเข้ากับโมดูลรีเลย์ โดยมี NodeMCU ESP8266 เป็นตัวควบคุมการทำงานของรีเลย์ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิด เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังตัวต้านทานโหลดที่เชื่อมต่ออยู่กับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย

3.2.3.2 การออกแบบโปรแกรมคำสั่งสำหรับระบบควบคุมและแสดงผลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะหลายช่วงผ่านระบบไอโอที

ทำการออกแบบโปรแกรมคำสั่งสำหรับระบบควบคุมและแสดงผลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะหลายช่วงผ่านระบบไอโอทีด้วยโปรแกรม Arduino IDE ร่วมกับแอปพลิเคชันบลิงค์ โดยใช้คำสั่งให้เมื่อเริ่มต้นการทำงาน ผู้ใช้งานต้องทำการเลือกความต้านทานโหลดค่าใดค่าหนึ่งที่สามารถวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในช่วงการวัดที่กว้างที่สุดได้ผ่านแอปพลิเคชันบลิงค์ โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกเป็น $R_{L1} = 100 \Omega$ จากนั้น NodeMCU ESP8266 จะทำการรับค่าคำสั่งเพื่อนำคำสั่งนั้นไปควบคุมโมดูลรีเลย์ที่เชื่อมต่ออยู่กับตัวต้านทานโหลด R_{L1} ให้ทำงาน ค่าสัญญาณเอาต์พุตในรูปของสัญญาณแอนะล็อกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยวงจร ADC (Analog to digital converter) ที่อยู่ภายใน NodeMCU ESP8266 จากนั้นจะถูกนำไปคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก และค่าความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย เมื่อความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่คำนวณได้เข้าเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งในโปรแกรมคำสั่ง NodeMCU ESP8266 จะทำการสั่งให้โมดูลรีเลย์ที่เชื่อมต่ออยู่กับตัวต้านทานโหลดที่สอดคล้องกันเปิดการทำงานเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าสามารถผ่านเข้าไปยังตัวต้านทานโหลดนั้นได้ จากนั้นค่าสัญญาณเอาต์พุตที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียจะถูกนำไปคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกและค่าความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียอีกครั้งด้วยตัวต้านทานโหลดที่เหมาะสม และข้อมูลจะถูกส่งไปยังแอปพลิเคชันบลิงค์ เพื่อแสดงผลต่อไป เป็นการสิ้นสุดการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมและแสดงผลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะหลายช่วงผ่านระบบไอโอที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การตรวจสอบความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียด้วยเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะผ่านระบบไอโอที

เพื่อตรวจสอบการวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียจากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ ผู้วิจัยได้ทำการสอบเทียบและทดสอบการวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียด้วยเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะภายในกล่องสอบเทียบด้วยความเข้มข้น 1–30 ppm และตรวจสอบผลการวัดผ่านระบบไอโอที โดยมีกระบวนการดำเนินงานดังขั้นตอนต่อไปนี้

3.2.4.1 การสอบเทียบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ

- 1) ติดตั้งระบบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย โดยใส่หัววัดเซ็นเซอร์ลงบนรูด้านบนกึ่งกลางของกล่องสอบเทียบ ดังแสดงในรูปที่ 3.12 แล้วทำการเปิดเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเป็นเวลา 30 นาที
- 2) บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นก่อนใส่สารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์
- 3) กำหนดค่าความต้านทานโหลดที่ใช้ในการทดลองเริ่มต้นเป็น 100 Ω สำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียในสภาวะอากาศบริสุทธิ์เป็นเวลา 3 นาที แล้วทำการบันทึกผล
- 4) เปลี่ยนค่าความต้านทานโหลดภายในระบบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเป็น 500 Ω และ 1.2 k Ω ตามลำดับ แล้วทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกเป็นเวลา 3 นาที จนครบเงื่อนไขของความต้านทานโหลดที่กำหนด
- 5) ทำการทดลองในข้อ 3) และ 4) ซ้ำอีก 2 ครั้ง
- 6) เปลี่ยนค่าความต้านทานโหลดภายในระบบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเป็น 100 Ω อีกครั้ง แล้วปิดเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย
- 7) นำไมโครปิเปตดูดสารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 30% w/w ปริมาตร 66.60 μL ที่ความเข้มข้น 1 ppm ใส่ลงบนจานเพาะเชื้อ
- 8) นำจานเพาะเชื้อใส่เข้าไปในกล่องสอบเทียบ จากนั้นทำการปิดประตูกล่องให้สนิทแล้วทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้สารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ระเหยเป็นก๊าซแอมโมเนีย
- 9) เปิดเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเป็นเวลา 3 นาที แล้วทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเป็นเวลา 3 นาที
- 10) ปิดเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเป็นเวลา 3 นาที
- 11) เปลี่ยนค่าความต้านทานโหลดเป็น 500 Ω และ 1.2 k Ω ตามลำดับ แล้วทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกเป็นเวลา 3 นาที จนครบเงื่อนไขของความต้านทานโหลดที่กำหนด
- 12) ทำการทดลองในข้อ 6) – 11) ซ้ำอีก 2 ครั้ง
- 13) ทำการทดลองในข้อ 6) – 12) ซ้ำอีกครั้ง โดยเปลี่ยนปริมาตรของสารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 30% w/w ตามปริมาตรที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.1 เป็น 199.99, 333.29, 666.59, และ 999.79 μL ที่ความเข้มข้น 3, 5, 10, และ 30 ppm ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 14) นำค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย
- 15) นำค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกเฉลี่ยไปคำนวณหาค่าความต้านทานเซ็นเซอร์สำหรับแต่ละเงื่อนไขของค่าความต้านทานโหลดจากสมการ (2.14)
- 16) คำนวณหาอัตราส่วนความต้านทาน (Resistance ratio) ดังสมการ (3.2)
- 17) สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความต้านทานและความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในสเกลลอการิทึมและอัตราส่วนความต้านทาน เพื่อหาสมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย
- 18) นำสมการที่ได้จากกราฟในข้อ 17) ป้อนเข้าสู่โปรแกรม Arduino IDE เพื่อทำการอัปโหลดลงบน NodeMCU ESP8266 ในระบบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ

3.2.4.2 การวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียด้วยเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ

- 1) ติดตั้งระบบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ โดยใส่หัววัดเซ็นเซอร์ลงบนรูด้านบนกึ่งกลางของกล่องสอบเทียบ ดังแสดงในรูปที่ 3.12
- 2) เปิดเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะเป็นเวลา 30 นาที
- 3) บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นก่อนใส่สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
- 4) เลือกค่าความต้านทานโหลดที่ใช้ในการทดลองเริ่มต้นเป็น 100 Ω ผ่านแอปพลิเคชันบลิงค์
- 5) นำไมโครปิเปตดูดสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 30% w/w ปริมาตร 66.60 μL ที่ความเข้มข้น 1 ppm ใส่ลงบนจานเพาะเชื้อ
- 6) นำจานเพาะเชื้อใส่เข้าไปในกล่องสอบเทียบ จากนั้นทำการปิดประตูกล่องให้สนิทแล้วทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ระเหยเป็นก๊าซแอมโมเนีย
- 7) เปิดเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะเป็นเวลา 3 นาที แล้วทำการบันทึกค่าความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ
- 8) ปิดเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะเป็นเวลา 3 นาที
- 9) เปลี่ยนค่าความต้านทานโหลดผ่านแอปพลิเคชันบลิงค์ เป็น 500 Ω และ 1.2 k Ω ตามลำดับ แล้วทำการบันทึกค่าความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียจนครบเงื่อนไขของค่าความต้านทานโหลดที่กำหนด
- 10) ทำการทดลองในข้อ 4) – 9) ซ้ำอีก 2 ครั้ง
- 11) ทำการทดลองในข้อ 4) – 10) ซ้ำอีกครั้ง โดยเปลี่ยนปริมาณของสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 30% w/w ตามปริมาณที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.1 เป็น 199.99, 333.29, 666.59, และ 1999.79 μL ที่ความเข้มข้น 3, 5, 10, และ 30 ppm ตามลำดับ
- 12) นำค่าความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

หลังจากการศึกษาวิจัยเราสามารถแบ่งผลการวิจัยออกได้เป็น 4 ส่วน โดยส่วนแรก คือ ผลการออกแบบระบบสำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียพบว่า เมื่อเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียด้วยความต้านทานโหลด 100 Ω , 500 Ω , 1 k Ω , 1.2 k Ω , 1.4 k Ω , 1.6 k Ω , 1.8 k Ω , และ 2 k Ω ถูกเชื่อมต่อเข้ากับ NodeMCU ESP8266 แล้วทำการประมวลผล ระบบสามารถอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ โดยการตรวจสอบค่าบนโปรแกรม Arduino IDE ส่วนที่สอง คือ ผลการสอบเทียบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเพื่อเลือกค่าความต้านทานโหลดที่เหมาะสมสำหรับวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ต่างกัน ส่วนที่สาม คือ ผลการออกแบบระบบสำหรับควบคุมและแสดงผลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะหลายช่วงผ่านระบบไอโอทีพบว่า ระบบสามารถควบคุมการเปิด-ปิด การทำงานของรีเลย์เพื่อเลือกความต้านทานโหลดที่ต้องการใช้งานได้ และเมื่อเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียได้ในช่วงความเข้มข้นที่กำหนด ระบบสามารถทำการปรับค่าความต้านทานโหลดที่เหมาะสมได้เองโดยอัตโนมัติ นอกจากนี้ข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่วัดได้ยังถูกแสดงบนแอปพลิเคชันบลิงค์อีกด้วย และส่วนที่สี่ คือ ผลการตรวจสอบการวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียด้วยเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะผ่านระบบไอโอที รายละเอียดของผลการวิจัยและการอภิปรายผลแสดงดังต่อไปนี้

4.1 ผลการสอบเทียบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเพื่อเลือกค่าความต้านทานโหลดที่เหมาะสมสำหรับวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ต่างกัน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสอบเทียบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียเพื่อเลือกค่าความต้านทานโหลดที่เหมาะสมสำหรับวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ต่างกัน โดยกำหนดเงื่อนไขความต้านทานโหลดเป็น 100 Ω , 500 Ω , 1 k Ω , 1.2 k Ω , 1.4 k Ω , 1.6 k Ω , 1.8 k Ω , และ 2 k Ω ตามลำดับ เป็นตัวอย่างในการสอบเทียบ วิธีการจัดการทดลองสำหรับสอบเทียบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียดังแสดงรายละเอียดไว้ในขั้นตอนที่ 3.2.2.1 โดยผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียและความต้านทานเซ็นเซอร์ในสภาวะอากาศบริสุทธิ์

ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียสำหรับเงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω , 500 Ω , 1 k Ω , 1.2 k Ω , 1.4 k Ω , 1.6 k Ω , 1.8 k Ω , และ 2 k Ω และผลการคำนวณความต้านทานเซ็นเซอร์ในสภาวะอากาศบริสุทธิ์จากสมการ (2.14) แสดงในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียและความต้านทานเซ็นเซอร์ในสภาวะอากาศบริสุทธิ์

| ความต้านทานโหลด (Ω) | แรงดันไฟฟ้าขาออก (V) | ความต้านทานเซ็นเซอร์ในสภาวะอากาศบริสุทธิ์ (Ω) |
|------------------------------|----------------------|--|
| 100 | 1.0933±0.0027 | 0.0093 |
| 500 | 2.5118±0.0032 | 0.0011 |
| 1000 | 2.5318±0.0059 | 0.0011 |
| 1200 | 0.4427±0.0030 | 0.0323 |
| 1400 | 1.5404±0.0120 | 0.0054 |
| 1600 | 1.8808±0.0157 | 0.0034 |
| 1800 | 1.2237±0.0191 | 0.0082 |
| 2000 | 1.3696±0.0489 | 0.0067 |

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าอยู่ในช่วง 0.4427–2.5318 V และความต้านทานเซ็นเซอร์ในสภาวะอากาศบริสุทธิ์มีค่าอยู่ในช่วง 0.0011–0.0323 Ω

4.1.2 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียและความต้านทานเซ็นเซอร์ในสภาวะเงื่อนไขความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่กำหนด

ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียสำหรับเงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω , 500 Ω , 1 k Ω , 1.2 k Ω , 1.4 k Ω , 1.6 k Ω , 1.8 k Ω , และ 2 k Ω ในสภาวะเงื่อนไขความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ 1, 3, 5, 10, และ 30 ppm แสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 แสดงให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าขาออกในสภาวะที่มีก๊าซแอมโมเนียมีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าขาออกในสภาวะอากาศบริสุทธิ์ ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω – 1.4 k Ω พบว่าเมื่อความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียเพิ่มขึ้นจากช่วงความเข้มข้น 1–5 ppm เป็น 10–30 ppm ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าเพิ่มขึ้น และที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 1.6– 2 k Ω พบว่าเมื่อความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียเพิ่มขึ้นจากช่วงความเข้มข้น 1–5 ppm เป็น 10–30 ppm ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าลดลง

ผลการคำนวณความต้านทานเซ็นเซอร์จากสมการ (2.14) สำหรับเงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω , 500 Ω , 1 k Ω , 1.2 k Ω , 1.4 k Ω , 1.6 k Ω , 1.8 k Ω , และ 2 k Ω ในสภาวะเงื่อนไขความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ 1, 3, 5, 10, และ 30 ppm แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียในสภาวะเงื่อนไข ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย 1–5 ppm

| ความต้านทานโหลด (Ω) | แรงดันไฟฟ้าขาออก (V) | | |
|------------------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|
| | ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย (ppm) | | |
| | 1 | 3 | 5 |
| 100 | 1.2099±0.0046 | 1.2323±0.0280 | 1.2648±0.0353 |
| 500 | 2.6990±0.0205 | 2.6486±0.0209 | 2.6953±0.0022 |
| 1000 | 2.8013±0.0046 | 2.7141±0.0172 | 2.7840±0.0120 |
| 1200 | 1.3835±0.0141 | 1.0314±0.0081 | 1.2948±0.0145 |
| 1400 | 2.2111±0.0097 | 1.9920±0.0055 | 2.1824±0.0081 |
| 1600 | 2.4800±0.0081 | 2.2916±0.0132 | 2.4723±0.0516 |
| 1800 | 2.1669±0.0026 | 1.8685±0.0268 | 2.1457±0.0106 |
| 2000 | 2.2973±0.0129 | 2.0561±0.0500 | 2.1487±0.0537 |

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียในสภาวะเงื่อนไข ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย 10 ppm และ 30 ppm

| ความต้านทานโหลด (Ω) | แรงดันไฟฟ้าขาออก (V) | |
|------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| | ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย (ppm) | |
| | 10 | 30 |
| 100 | 1.2820±0.0341 | 1.4077±0.0429 |
| 500 | 2.7024±0.0221 | 2.7319±0.0497 |
| 1000 | 2.8029±0.0077 | 2.8398±0.0470 |
| 1200 | 1.3018±0.0261 | 1.3389±0.1569 |
| 1400 | 2.1591±0.0656 | 2.3873±0.1858 |
| 1600 | 2.3380±0.0221 | 2.3769±0.0140 |
| 1800 | 1.9323±0.0309 | 1.9394±0.0712 |
| 2000 | 2.1577±0.0239 | 2.0857±0.0530 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณความต้านทานเซ็นเซอร์ในสภาวะเงื่อนไขความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่กำหนด

| ความต้านทานโหลด (Ω) | ความต้านทานเซ็นเซอร์ (Ω) | | | | |
|------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย (ppm) | | | | |
| | 1 | 3 | 5 | 10 | 30 |
| 100 | 0.0079 | 0.0077 | 0.0073 | 0.0072 | 0.0061 |
| 500 | 0.0007 | 0.0008 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0006 |
| 1000 | 0.0005 | 0.0006 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0004 |
| 1200 | 0.0066 | 0.0107 | 0.0074 | 0.0073 | 0.0070 |
| 1400 | 0.0021 | 0.0029 | 0.0022 | 0.0022 | 0.0015 |
| 1600 | 0.0012 | 0.0018 | 0.0013 | 0.0016 | 0.0015 |
| 1800 | 0.0022 | 0.0034 | 0.0023 | 0.0031 | 0.0031 |
| 2000 | 0.0018 | 0.0026 | 0.0023 | 0.0022 | 0.0025 |

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าความต้านทานเซ็นเซอร์ในสภาวะที่มีก๊าซแอมโมเนียมีค่าน้อยกว่าความต้านทานเซ็นเซอร์ในสภาวะอากาศบริสุทธิ์ ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω – 1.4 k Ω พบว่าเมื่อความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียเพิ่มขึ้นจากช่วงความเข้มข้น 1–5 ppm เป็น 10–30 ppm ส่งผลให้ความต้านทานเซ็นเซอร์มีค่าลดลง และที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 1.6–2 k Ω พบว่าเมื่อความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียเพิ่มขึ้นจากช่วงความเข้มข้น 1–5 ppm เป็น 10–30 ppm ส่งผลให้ความต้านทานเซ็นเซอร์มีค่าเพิ่มขึ้น

4.1.3 ผลการคำนวณอัตราส่วนความต้านทานสำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย

อัตราส่วนความต้านทาน คือ อัตราส่วนระหว่างความต้านทานเซ็นเซอร์ในสภาวะเงื่อนไขความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียต่อความต้านทานเซ็นเซอร์ในสภาวะอากาศบริสุทธิ์ โดยสามารถคำนวณหาอัตราส่วนความต้านทานได้จากสมการที่ (3.2) ผลการคำนวณอัตราส่วนความต้านทานสำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียแสดงในตารางที่ 4.5

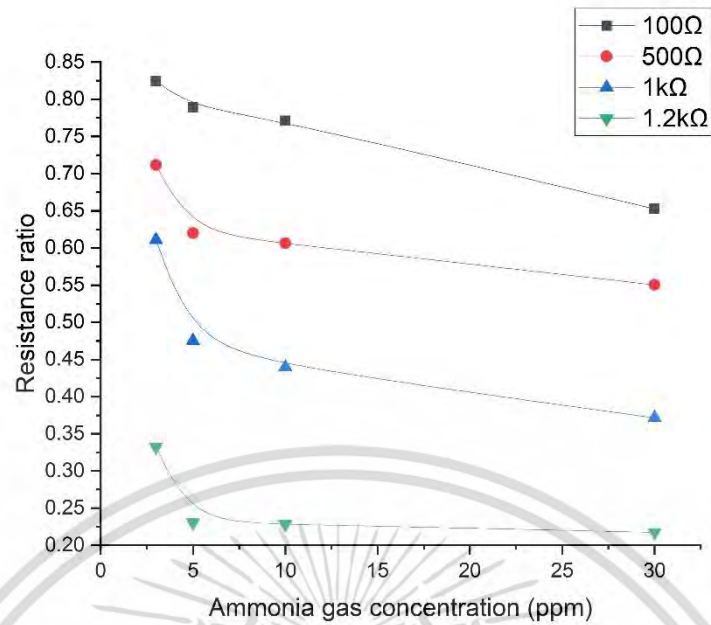
ตารางที่ 4.5 ผลการคำนวณอัตราส่วนความต้านทานสำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย

| ความต้านทานโหลด (Ω) | อัตราส่วนความต้านทาน (Ω) | | | | |
|------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย (ppm) | | | | |
| | 1 | 3 | 5 | 10 | 30 |
| 100 | 0.8500 | 0.8245 | 0.7890 | 0.7710 | 0.6524 |
| 500 | 0.6127 | 0.7116 | 0.6199 | 0.6062 | 0.5503 |
| 1000 | 0.4425 | 0.6109 | 0.4751 | 0.4395 | 0.3715 |
| 1200 | 0.2049 | 0.3326 | 0.2305 | 0.2284 | 0.2174 |
| 1400 | 0.3892 | 0.5434 | 0.4076 | 0.4229 | 0.2856 |
| 1600 | 0.3730 | 0.5348 | 0.3791 | 0.4925 | 0.4583 |
| 1800 | 0.2746 | 0.4249 | 0.2839 | 0.3889 | 0.3850 |
| 2000 | 0.2690 | 0.3955 | 0.3436 | 0.3388 | 0.3784 |

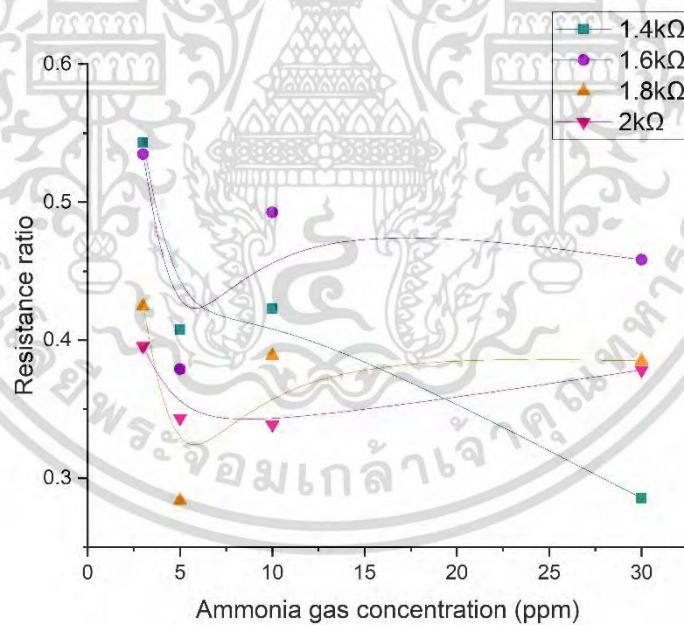
จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω – 1.4 k Ω เมื่อความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียเพิ่มขึ้นจากช่วงความเข้มข้น 1–5 ppm เป็น 10–30 ppm ส่งผลให้อัตราส่วนความต้านทานมีค่าลดลง และที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 1.6–2 k Ω พบว่าเมื่อความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียเพิ่มขึ้นจากช่วงความเข้มข้น 1–5 ppm เป็น 10–30 ppm ส่งผลให้อัตราส่วนความต้านทานมีค่าเพิ่มขึ้น

ข้อมูลของอัตราส่วนความต้านทานในตารางที่ 4.5 และเงื่อนไขความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่กำหนด ถูกนำไปสร้างเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความต้านทานและความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2

ข้อมูลที่ได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความต้านทานและความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω , 500 Ω , 1 k Ω , 1.2 k Ω , 1.4 k Ω , 1.6 k Ω , 1.8 k Ω , และ 2 k Ω ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ถูกนำไปสร้างเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและอัตราส่วนความต้านทาน สำหรับแต่ละเงื่อนไขความต้านทานโหลด ดังรูปที่ 4.3 โดยที่สเกลของความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในแนวแกน Y ถูกแปลงให้เป็นลอการิทึม เพื่อให้ได้สมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย

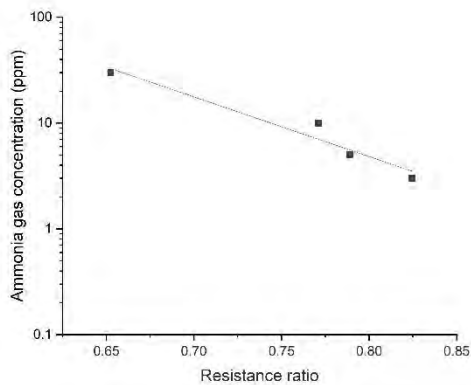


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความต้านทานและความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω, 500 Ω, 1 kΩ, และ 1.2 kΩ

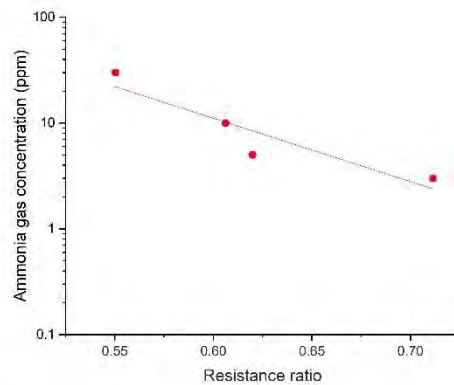


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความต้านทานและความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 1.4 kΩ, 1.6 kΩ, 1.8 kΩ, และ 2 kΩ

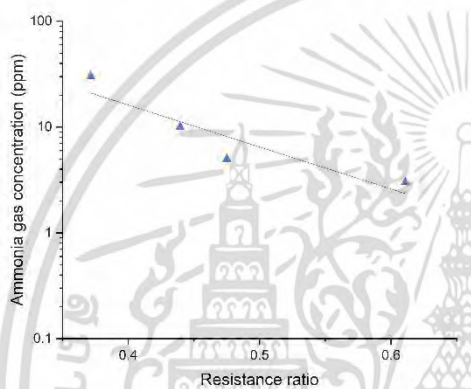
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



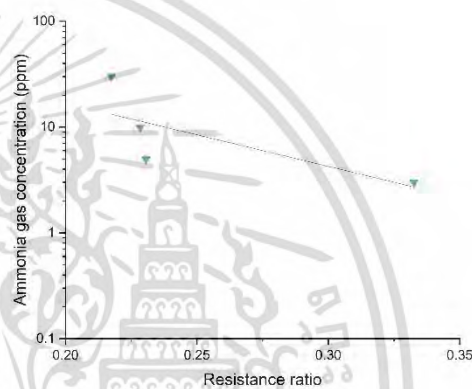
(ก)



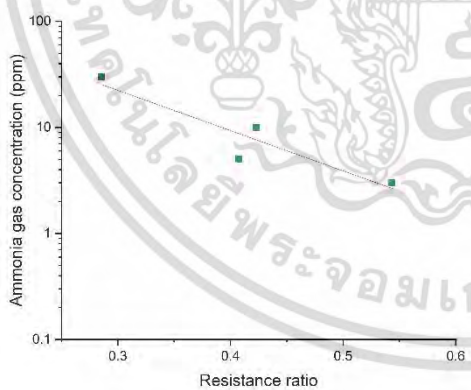
(ข)



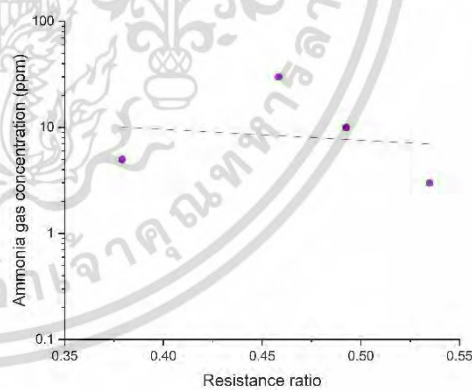
(ค)



(ง)

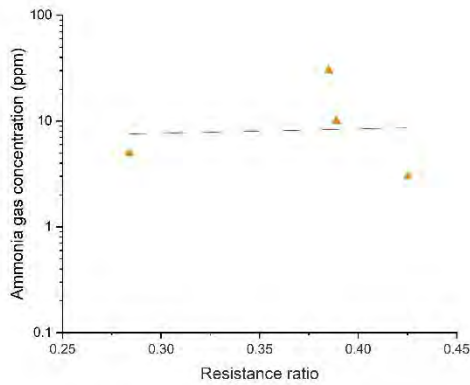


(จ)

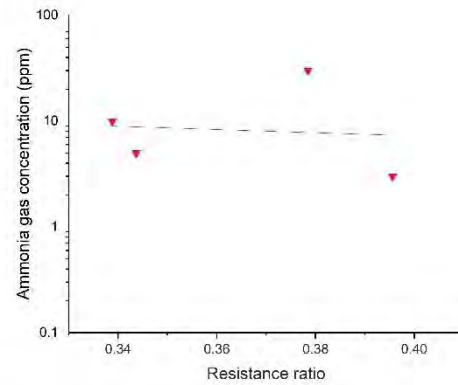


(ฉ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและอัตราส่วนความต้านทาน ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด (ก) 100 Ω (ข) 500 Ω (ค) 1 k Ω (ง) 1.2 k Ω (จ) 1.4 k Ω (ฉ) 1.6 k Ω (ช) 1.8 k Ω (ซ) 2 k Ω

จากรูปที่ 4.3 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและอัตราส่วนความต้านทาน ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω จะได้สมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียดังสมการที่ (4.1) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) = 0.979

$$y = 155698e^{-12.98x} \quad (4.1)$$

จากรูปที่ 4.3 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและอัตราส่วนความต้านทาน ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 500 Ω จะได้สมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียดังสมการที่ (4.2) โดยมีค่า $R^2 = 0.9407$

$$y = 43714e^{-13.8x} \quad (4.2)$$

จากรูปที่ 4.3 (ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและอัตราส่วนความต้านทาน ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 1 k Ω จะได้สมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียดังสมการที่ (4.3) โดยมีค่า $R^2 = 0.9188$

$$y = 623.46e^{-9.134x} \quad (4.3)$$

จากรูปที่ 4.3 (ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและอัตราส่วนความต้านทาน ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 1.2 k Ω จะได้สมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียดังสมการที่ (4.4) โดยมีค่า $R^2 = 0.4291$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y = 264.28e^{-13.77x} \quad (4.4)$$

จากรูปที่ 4.3 (จ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและอัตราส่วนความต้านทาน ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 1.4 k Ω จะได้สมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียดังสมการที่ (4.5) โดยมีค่า $R^2 = 0.9479$

$$y = 308.54e^{-8.746x} \quad (4.5)$$

จากรูปที่ 4.3 (ฉ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและอัตราส่วนความต้านทาน ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 1.6 k Ω จะได้สมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียดังสมการที่ (4.6) โดยมีค่า $R^2 = 0.0012$

$$y = 24.654e^{-2.364x} \quad (4.6)$$

จากรูปที่ 4.3 (ช) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและอัตราส่วนความต้านทาน ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 1.8 k Ω จะได้สมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียดังสมการที่ (4.7) โดยมีค่า $R^2 = 0.0192$

$$y = 5.7369e^{0.9604x} \quad (4.7)$$

จากรูปที่ 4.3 (ซ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและอัตราส่วนความต้านทาน ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 2 k Ω จะได้สมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียดังสมการที่ (4.8) โดยมีค่า $R^2 = 0.0337$

$$y = 29.263e^{-3.497x} \quad (4.8)$$

โดยที่ x คือ อัตราส่วนความต้านทาน

y คือ ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย

เมื่อแทนค่าอัตราส่วนความต้านทานสำหรับแต่ละเงื่อนไขความต้านทานโหลดจากตารางที่ 4.5 ลงในสมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย ผลการคำนวณที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.6 และ 4.7

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียจากสมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย 3 ppm และ 5 ppm

| ความต้านทานโหลด (Ω) | ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ได้จากการคำนวณ (ppm) | | | |
|---------------------------------|--|-----------|----------------|-----------|
| | ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย (ppm) | | | |
| | 3 | Error (%) | 5 | Error (%) |
| 100 | 3.5022±1.7444 | 16.7404 | 5.5515±2.3976 | 11.0301 |
| 500 | 2.3753±1.4168 | 20.8217 | 8.4191±0.5122 | 68.3825 |
| 1000 | 2.3514±0.7849 | 21.6170 | 8.1305±1.8278 | 62.6110 |
| 1200 | 2.7075±0.1490 | 9.7478 | 11.0436±0.6785 | 120.8713 |
| 1400 | 2.6602±0.1020 | 11.3249 | 8.7303±0.4141 | 74.6062 |
| 1600 | 6.9627±0.2043 | 132.0906 | 10.0613±0.9638 | 101.2267 |
| 1800 | 8.6285±0.1270 | 187.6190 | 7.5354±0.0337 | 50.7099 |
| 2000 | 7.3371±0.7766 | 144.5710 | 8.7989±0.8814 | 75.9784 |

ตารางที่ 4.7 ผลการคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียจากสมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย 10 ppm และ 30 ppm

| ความต้านทานโหลด (Ω) | ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ได้จากการคำนวณ (ppm) | | | |
|---------------------------------|--|-----------|------------------|-----------|
| | ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย (ppm) | | | |
| | 10 | Error (%) | 30 | Error (%) |
| 100 | 7.0152±2.8739 | 29.8476 | 32.6711±13.5065 | 8.9037 |
| 500 | 10.1646±9.8975 | 1.6468 | 22.0017±120.7725 | 26.6606 |
| 1000 | 11.2488±1.4698 | 12.4883 | 20.9302±26.5055 | 30.2326 |
| 1200 | 11.3762±1.2782 | 13.7618 | 13.2392±10.1079 | 55.8692 |
| 1400 | 7.6344±2.5140 | 23.6555 | 25.3670±39.9192 | 15.4432 |
| 1600 | 7.6951±0.3639 | 23.0483 | 8.3419±0.2382 | 72.1934 |
| 1800 | 8.3348±8.3445 | 16.6510 | 8.3039±0.2918 | 72.3200 |
| 2000 | 8.9488±0.3958 | 10.5110 | 7.7892±0.8502 | 74.0359 |

จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 แสดงให้เห็นว่าความต้านทานโหลด 100 Ω เหมาะสำหรับการนำไปวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ 5 ppm และ 30 ppm ด้วยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 11.0301 % และ 8.9037 % ตามลำดับ ความต้านทานโหลด 500 Ω เหมาะสำหรับการนำไปวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ 10 ppm ด้วยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 1.6468 % และความต้านทานโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 k Ω เหมาะสำหรับการนำไปวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ 3 ppm ด้วยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 9.7478 % ดังนั้นที่ความต้านทานโหลด 100 Ω , 500 Ω , และ 1.2 k Ω จึงถูกเลือกนำไปใช้ในเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ

4.2 ผลการตรวจสอบความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียด้วยเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะผ่านระบบไอโอที

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะและตรวจสอบผลการวัดผ่านระบบไอโอที โดยวิธีการจัดการทดลองได้แสดงรายละเอียดไว้ในขั้นตอนที่ 3.2.4 ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ

ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะสำหรับเงื่อนไขความต้านทานโหลดที่เหมาะสม 100 Ω , 500 Ω , และ 1.2 k Ω แสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.8 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะในสภาวะอากาศบริสุทธิ์และในสภาวะความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย 1 ppm และ 3 ppm

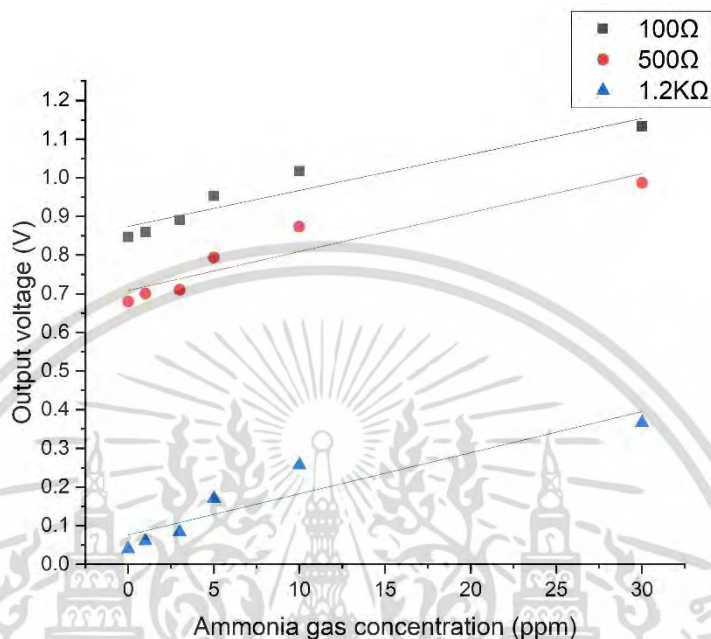
| ความต้านทานโหลด (Ω) | แรงดันไฟฟ้าขาออก (V) | | |
|------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|
| | ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย (ppm) | | |
| | อากาศบริสุทธิ์ | 1 | 3 |
| 100 | 0.8466 \pm 0.0054 | 0.8600 \pm 0.0000 | 0.8900 \pm 0.0094 |
| 500 | 0.6800 \pm 0.0000 | 0.7000 \pm 0.0000 | 0.7100 \pm 0.0000 |
| 1200 | 0.0400 \pm 0.0000 | 0.0600 \pm 0.0000 | 0.0833 \pm 0.0027 |

ตารางที่ 4.9 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะในสภาวะความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย 5–30 ppm

| ความต้านทานโหลด (Ω) | แรงดันไฟฟ้าขาออก (V) | | |
|------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|
| | ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย (ppm) | | |
| | 5 | 10 | 30 |
| 100 | 0.9533 \pm 0.0054 | 1.0167 \pm 0.0190 | 1.1333 \pm 0.0144 |
| 500 | 0.7933 \pm 0.0054 | 0.8733 \pm 0.0190 | 0.9867 \pm 0.0054 |
| 1200 | 0.1700 \pm 0.0000 | 0.2567 \pm 0.0217 | 0.3667 \pm 0.0027 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.8 และ 4.9 แสดงให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าขาออกในสถานะที่มีก๊าซแอมโมเนียมีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าขาออกในสถานะอากาศบริสุทธิ์ เมื่อความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียเพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาออกและความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω, 500 Ω, และ 1.2 kΩ

เมื่อพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาออกและความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω, 500 Ω, และ 1.2 kΩ ดังรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงที่มีความชัน แรงดันไฟฟ้าขาออกแปรผันตรงตามความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย เมื่อค่าความต้านทานโหลดมากขึ้น แรงดันไฟฟ้าขาออกที่วัดได้มีค่าลดลง โดยที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω มีสมการเส้นตรงแสดงดังสมการที่ (4.9) โดยมีค่า $R^2 = 0.9113$

$$y = 0.0093x + 0.8739 \quad (4.9)$$

ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 500 Ω มีสมการเส้นตรงแสดงดังสมการที่ (4.10) โดยมีค่า $R^2 = 0.8912$

$$y = 0.0101x + 0.7083 \quad (4.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 1.2 k Ω มีสมการเส้นตรงแสดงดังสมการที่ (4.11) โดยมีค่า $R^2 = 0.8713$

$$y = 0.0106x + 0.0759 \quad (4.11)$$

โดยที่ x คือ ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย

y คือ แรงดันไฟฟ้าขาออก

เมื่อพิจารณาความชันจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาออกและความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω , 500 Ω , และ 1.2 k Ω พบว่าเมื่อความแตกต่างของความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียมีค่าเท่ากัน ที่ความชันของกราฟมากจะทำให้ความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่ามาก นั่นคือเซ็นเซอร์สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของก๊าซแอมโมเนียได้ดี จากสมการเส้นตรงของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาออกและความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียพบว่า ที่ความต้านทานโหลด 1.2 k Ω มีค่าความชันมากที่สุด รองลงมาคือ 500 Ω และ 100 Ω ตามลำดับ

4.2.2 ผลการคำนวณความต้านทานเซ็นเซอร์สำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ

ผลการคำนวณความต้านทานเซ็นเซอร์สำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะที่เงื่อนไขความต้านทานโหลดที่เหมาะสม 100 Ω , 500 Ω , และ 1.2 k Ω แสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการคำนวณความต้านทานเซ็นเซอร์

| ความต้านทานโหลด (Ω) | ความต้านทานเซ็นเซอร์ (Ω) | | | | | |
|------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย (ppm) | | | | | |
| | อากาศบริสุทธิ์ | 1 | 3 | 5 | 10 | 30 |
| 100 | 0.0136 | 0.0133 | 0.0127 | 0.0115 | 0.0104 | 0.0088 |
| 500 | 0.0190 | 0.0183 | 0.0180 | 0.0155 | 0.0136 | 0.0114 |
| 1200 | 0.4133 | 0.2737 | 0.1955 | 0.0930 | 0.0597 | 0.0402 |

จากตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าความต้านทานเซ็นเซอร์ในสถานะที่มีก๊าซแอมโมเนียมีค่าน้อยกว่าความต้านทานเซ็นเซอร์ในสถานะอากาศบริสุทธิ์ เมื่อความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความต้านทานเซ็นเซอร์มีค่าลดลง

4.2.3 ผลการคำนวณอัตราส่วนความต้านทานสำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ

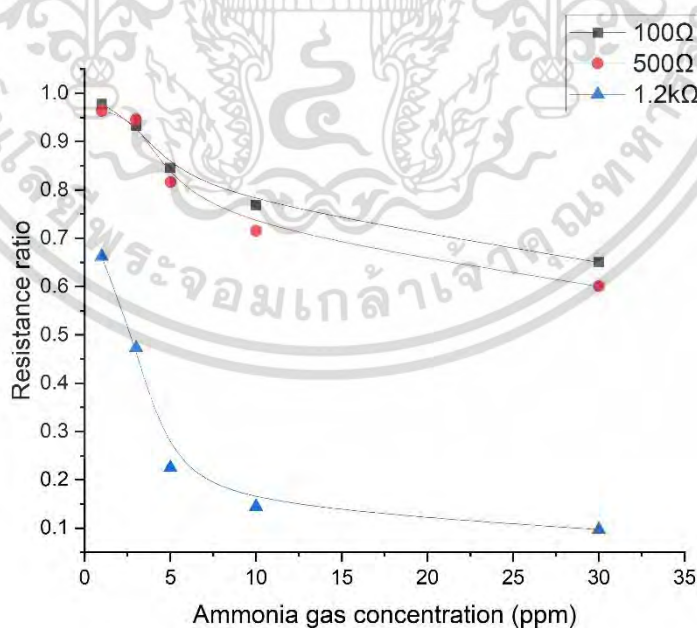
ผลการคำนวณอัตราส่วนความต้านทานสำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการคำนวณอัตราส่วนความต้านทานสำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ

| ความต้านทานโหลด (Ω) | อัตราส่วนความต้านทาน (Ω) | | | | |
|------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย (ppm) | | | | |
| | 1 | 3 | 5 | 10 | 30 |
| 100 | 0.9785 | 0.9326 | 0.8453 | 0.7688 | 0.6503 |
| 500 | 0.9632 | 0.9456 | 0.8163 | 0.7153 | 0.6003 |
| 1200 | 0.6622 | 0.4731 | 0.2251 | 0.1446 | 0.0972 |

จากตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราส่วนความต้านทานมีค่าลดลง

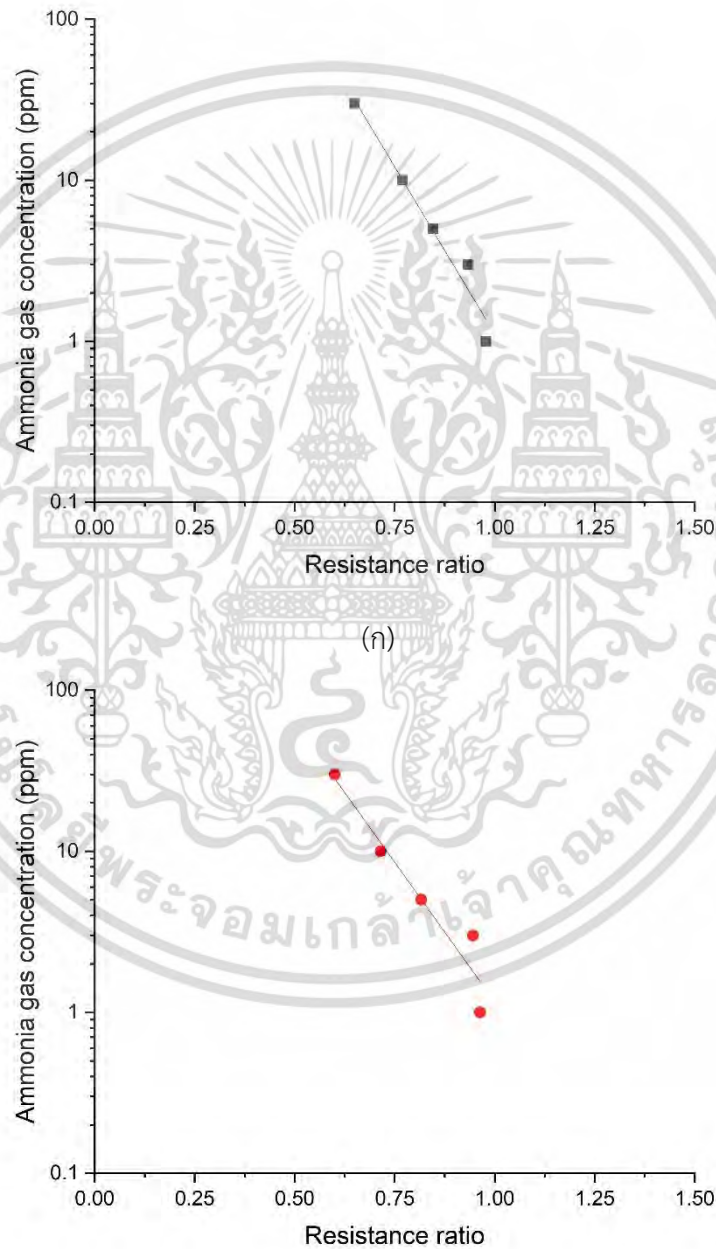
ข้อมูลของอัตราส่วนความต้านทานในตารางที่ 4.11 และเงื่อนไขความต้านทานโหลดของเซ็นเซอร์แอมโมเนียที่กำหนด ถูกนำไปสร้างเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความต้านทานและความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย ดังแสดงในรูปที่ 4.5



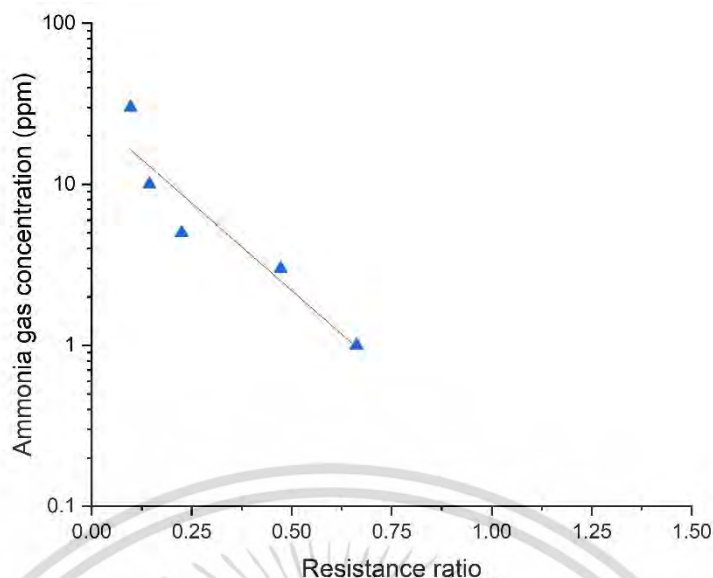
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความต้านทานและความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω , 500 Ω , และ 1.2 k Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความต้านทานและความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω , 500 Ω , และ 1.2 k Ω ดังรูปที่ 4.5 ถูกนำไปสร้างเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและอัตราส่วนความต้านทาน สำหรับแต่ละเงื่อนไขความต้านทานโหลด ดังรูปที่ 4.6 โดยที่สเกลของความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในแนวแกน Y ถูกแปลงให้เป็นลอการิทึม เพื่อให้ได้สมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและอัตราส่วนความต้านทาน ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด (ก) 100 Ω (ข) 500 Ω (ค) 1.2 kΩ

จากรูปที่ 4.6 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและอัตราส่วนความต้านทาน ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω จะได้สมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียดังสมการที่ (4.12) โดยมีค่า $R^2 = 0.9985$

$$y = 15880e^{-9.568x} \quad (4.12)$$

จากรูปที่ 4.6 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและอัตราส่วนความต้านทาน ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 500 Ω จะได้สมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียดังสมการที่ (4.13) โดยมีค่า $R^2 = 0.9911$

$$y = 3397.6e^{-7.979x} \quad (4.13)$$

จากรูปที่ 4.6 (ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและอัตราส่วนความต้านทาน ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 1.2 kΩ จะได้สมการสำหรับคำนวณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียดังสมการที่ (4.14) โดยมีค่า $R^2 = 0.7348$

$$y = 26.714e^{-5.001x} \quad (4.14)$$

โดยที่ x คือ อัตราส่วนความต้านทาน

y คือ ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำสมการที่ได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและอัตราส่วนความต้านทาน ดังรูปที่ 4.6 ป้อนเข้าสู่โปรแกรม Arduino IDE และอัปโหลดสู่ระบบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ แล้วนำเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะไปวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียภายในกล่องสอบเทียบด้วยความเข้มข้น 1–30 ppm ผลการวัดแสดงดังตารางที่ 4.12 และ 4.13

ตารางที่ 4.12 ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω และ 500 Ω

| ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย (ppm) | ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ (ppm) | | | |
|-----------------------------------|--|-----------|----------------|-----------|
| | ความต้านทานโหลด (Ω) | | | |
| | 100 Ω | Error (%) | 500 Ω | Error (%) |
| 1 | 1.2900±0.0000 | 29.2500 | 1.4200±0.0000 | 42.0000 |
| 3 | 2.1733±0.2909 | 27.5555 | 2.0033±0.0777 | 33.2222 |
| 5 | 5.0100±0.0464 | 0.2000 | 5.1133±0.0462 | 2.2667 |
| 10 | 9.9667±0.1741 | 0.3333 | 9.6533±0.3647 | 3.4667 |
| 30 | 30.0000±0.0000 | 0.0000 | 30.0000±0.0000 | 0.0000 |

ตารางที่ 4.13 ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 1200 Ω

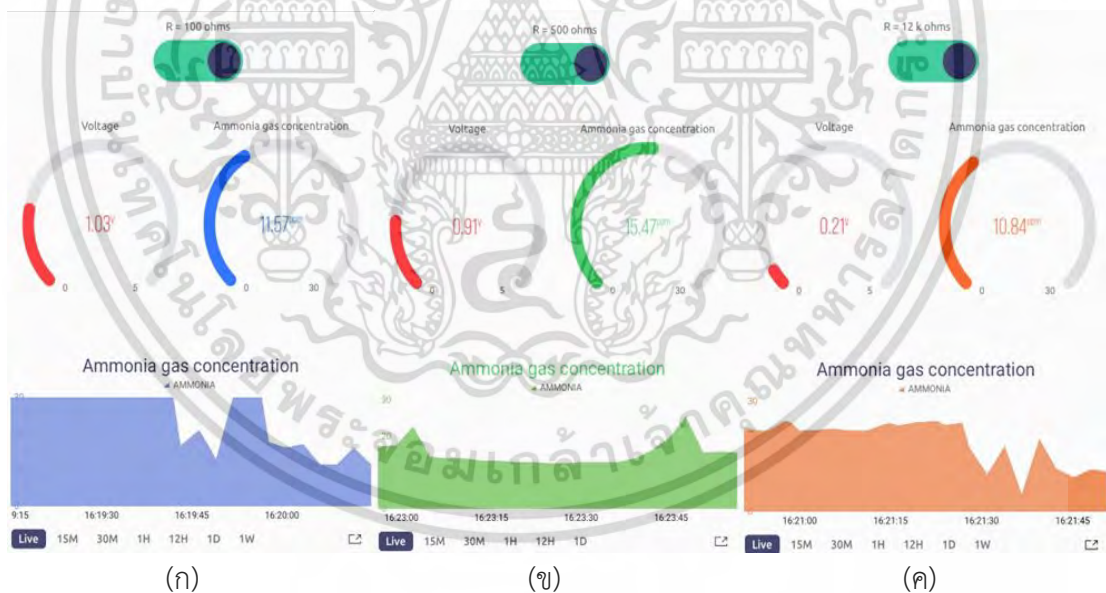
| ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย (ppm) | ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ (ppm) | |
|-----------------------------------|--|-----------|
| | ความต้านทานโหลด (Ω) | |
| | 1.2 k Ω | Error (%) |
| 1 | 1.0975±0.0000 | 9.7500 |
| 3 | 2.9800±0.0000 | 0.6667 |
| 5 | 7.5566±0.1605 | 51.1333 |
| 10 | 11.1766±0.2093 | 11.7667 |
| 30 | 14.0900±0.0989 | 53.0333 |

จากตารางที่ 4.12 และ 4.13 แสดงให้เห็นว่าความต้านทานโหลด 100 Ω เหมาะสำหรับการนำไปวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในช่วงความเข้มข้น 5–30 ppm ด้วยเปอร์เซ็นต์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความผิดพลาด 0.2000 %, 0.3333 % และ 0.0000 % ตามลำดับ ความต้านทานโหลด 500 Ω เหมาะสำหรับการนำไปวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในช่วงความเข้มข้นมากกว่า 30 ppm ด้วยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 0.0000 % และความต้านทานโหลด 1.2 k Ω เหมาะสำหรับการนำไปวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในช่วงความเข้มข้น 1–3 ppm ด้วยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 9.7500 % และ 0.6667 % ตามลำดับ

4.2.4 การตรวจสอบความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะผ่านระบบไอโอที

ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและแรงดันไฟฟ้าขาออกสำหรับเงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω , 500 Ω , และ 1.2 k Ω แสดงบนหน้าหลักผู้ใช้งาน (User interface, UI) บนแอปพลิเคชันบลิงค์ นอกจากนี้สถานะเปิด-ปิดของรีเลย์สำหรับควบคุมการเลือกช่วงการวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียถูกแสดงและสามารถควบคุมได้บนหน้าหลักผู้ใช้งาน ข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ถูกวัดในแต่ละช่วงเวลาถูกแสดงอยู่บนหน้าหลักผู้ใช้งานในลักษณะของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียและเวลา ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกช่วงวัน-เวลาที่ต้องการดูข้อมูลย้อนหลังได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ก), (ข), และ (ค)



รูปที่ 4.7 หน้าหลักผู้ใช้งานบนแอปพลิเคชันบลิงค์ สำหรับ (ก) ความต้านทานโหลด 100 Ω (ข) ความต้านทานโหลด 500 Ω (ค) ความต้านทานโหลด 1.2 k Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการควบคุมและแสดงผลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะหลายช่วงผ่านระบบไอโอที โดยทำการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานโหลดภายในวงจรแบ่งแรงดันของเซ็นเซอร์ MQ-137 เพื่อให้ได้ค่าความต้านทานโหลดที่เหมาะสมสำหรับช่วงการวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่สอดคล้องกับกิจกรรมทางการเกษตร ผลการดำเนินงานสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การออกแบบระบบสำหรับเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนีย เริ่มจากการออกแบบให้เซ็นเซอร์ MQ-137 สามารถปรับค่าความต้านทานโหลดได้ที่เงื่อนไข 100 Ω , 500 Ω , 1 k Ω , 1.2 k Ω , 1.4 k Ω , 1.6 k Ω , 1.8 k Ω , และ 2 k Ω โดยการแทนที่ตัวต้านทานโหลดภายในโมดูลเซ็นเซอร์ด้วยทริเมอร์โพเทนซิโอมิเตอร์ และเชื่อมต่อเซ็นเซอร์เข้ากับ NodeMCU ESP8266 เพื่อแปลงค่าสัญญาณแอนะล็อกเอาต์พุตที่เซ็นเซอร์วัดได้เป็นสัญญาณดิจิทัล ผลการออกแบบแสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกได้

5.1.2 เมื่อได้เซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียแล้ว เซ็นเซอร์ดังกล่าวจะถูกนำไปสอบเทียบเพื่อเลือกค่าความต้านทานโหลดที่เหมาะสมสำหรับวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 1, 3, 5, 10, และ 30 ppm ผลการดำเนินการสอบเทียบพบว่า กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในสเกลลอการิทึมและอัตราส่วนความต้านทานเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω , 500 Ω , 1 k Ω , 1.2 k Ω , 1.4 k Ω , 1.6 k Ω , 1.8 k Ω , และ 2 k Ω มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9790, 0.9407, 0.9188, 0.4291, 0.9479, 0.0012, 0.0192, และ 0.0337 ตามลำดับ โดยความต้านทานโหลด 100 Ω เหมาะสำหรับการนำไปวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ 5 ppm และ 30 ppm ด้วยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 11.0301 % และ 8.9037 % ตามลำดับ ที่ความต้านทานโหลด 500 Ω เหมาะสำหรับการนำไปวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ 10 ppm ด้วยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 1.6468 % และที่ความต้านทานโหลด 1.2 k Ω เหมาะสำหรับการนำไปวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ 3 ppm ด้วยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 9.7478 % ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าค่าความต้านทานโหลด 100 Ω , 500 Ω , และ 1.2 k Ω เหมาะสำหรับการนำไปวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในช่วงความเข้มข้นต่ำ ด้วยเหตุนี้ความต้านทานโหลดทั้งสามค่าจึงถูกเลือกนำไปใช้ในเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะ

5.1.3 การออกแบบระบบสำหรับควบคุมและแสดงผลเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะหลายช่วงผ่านระบบไอโอทีพบว่า ระบบสามารถควบคุมการเปิด-ปิด การทำงานของรีเลย์เพื่อเลือกความต้านทานโหลดที่ต้องการใช้งานได้ เมื่อเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียได้ในช่วงความเข้มข้นที่กำหนด ระบบสามารถปรับค่าความต้านทานโหลดที่เหมาะสมได้เองโดยอัตโนมัติ และข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียสามารถแสดงบนแอปพลิเคชันบลูทู้ธได้

5.1.4 ผลการสอบเทียบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะด้วยความต้านทานโหลด 100 Ω , 500 Ω , และ 1.2 k Ω ที่ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย 1, 3, 5, 10, และ 30 ppm พบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในสเกลลอการิทึมและอัตราส่วนความต้านทานเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น ที่เงื่อนไขความต้านทานโหลด 100 Ω , 500 Ω , และ 1.2 k Ω มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9985, 0.9911, และ 0.7348 ตามลำดับ ผลการตรวจสอบความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียผ่านระบบไอโอที พบว่าค่าความต้านทานโหลด 100 Ω เหมาะสำหรับการนำไปวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในช่วงความเข้มข้น 5–30 ppm ด้วยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 0.2000 %, 0.3333 % และ 0.0000 % ตามลำดับ ค่าความต้านทานโหลด 500 Ω เหมาะสำหรับการนำไปวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในช่วงความเข้มข้นมากกว่า 30 ppm ด้วยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 0.0000 % และค่าความต้านทานโหลด 1.2 k Ω เหมาะสำหรับการนำไปวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในช่วงความเข้มข้น 1–3 ppm ด้วยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 9.7500 % และ 0.6667 % ตามลำดับ โดยสรุปเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะด้วยความต้านทานโหลดที่เหมาะสมสามารถวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียได้แม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถเลือกช่วงการวัดความเข้มข้นและแสดงผลผ่านระบบไอโอทีบนสมาร์ตโฟนของผู้ใช้งานได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากเซ็นเซอร์สามารถตอบสนองต่อก๊าซชนิดอื่นได้ เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการอ่านค่าเมื่อเซ็นเซอร์ตอบสนองต่อก๊าซที่ปะปนอยู่ในอากาศ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการสอบเทียบเซ็นเซอร์อย่างสม่ำเสมอ เพื่อเพิ่มความแม่นยำของข้อมูลที่ทำให้การวัด

2. หากต้องการให้ข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่วัดได้มีความเที่ยงตรง ควรเพิ่มจำนวนครั้งของการวัดซ้ำ จะทำให้ข้อมูลที่วัดได้มีความเที่ยงตรงมากขึ้น

3. เนื่องจากเครื่องมือวัดมาตรฐานสำหรับตรวจวัดก๊าซแอมโมเนียมีราคาค่อนข้างสูง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการสอบเทียบเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะกับความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ได้จากการระเหยของสารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์แทน หากต้องการยืนยันความน่าเชื่อถือและความแม่นยำของเซ็นเซอร์ที่มากขึ้น ผู้ใช้งานอาจต้องใช้เครื่องมือวัดมาตรฐานสำหรับตรวจวัดก๊าซแอมโมเนียร่วมด้วย ทั้งนี้อาจเลือกใช้ก๊าซแอมโมเนียมาตรฐานสำหรับใช้ในงานวิจัยแทนการใช้สารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ก็จะทำให้ได้ก๊าซแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นถูกต้องมากขึ้น อีกทั้งยังสามารถลดความผิดพลาดในการอ่านค่าของเซ็นเซอร์ได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตามแม้ว่าการวัดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียด้วยเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียอัจฉริยะจะมีความคลาดเคลื่อนไปบ้าง แต่ยังสามารถวัดก๊าซแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นต่ำซึ่งสอดคล้องกับกิจกรรมทางการเกษตรได้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาเซ็นเซอร์ก๊าซแอมโมเนียให้มีความแม่นยำสูงขึ้นต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Turun, G.M. Swetha, S. and Abhishek, M. 2017. “Interfacing of Ammonia Gas Sensors using IoT Technology.” *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 6(6) : 168–171.
- [2] Lingying, Z. Roderick, M. and Lara, J.H. 2014. **Ammonia Emission from Animal Feeding Operations and Its Impacts**. [Online]. Available : <https://ohioline.osu.edu/factsheet/AEX-723.1>
- [3] ATSDR. 2004. **Toxicological Profile for Ammonia**. [Online]. Available : <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp126.pdf>.
- [4] Thuchapol, K. Darinthon, A. Chonticha, R. and Piyawat, P. 2018. “Powdered Dried *Chlorella* sp. as a Food Source for Mass Culture of Water Flea (*Moina macrocopa*).” *Thai Science and Technology Journal*. 27(4) : 684–694.
- [5] นริศรา สุวรรณโชติ. 2557. “การศึกษาผลของปริมาณไนเตรตต่อการเจริญเติบโตของคลอเรลลา (*Chlorella vulgaris*).” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [6] Retno, F.A. Arbye, S. Yano, S.P. Eko, A.S. Mochamad, D.K. Lucia, T.S. Ulfah, J.S. and Arief, B. 2020. “Growth kinetic of *Chlorella* sp. microalgae at flate plate photobioreactor.” *AIP Conf. Proc.* 2296 : 020049–1–020049–5.
- [7] Essam, I. S. Noha, S. D. Amr, M. S. and Mohamed, N. E. 2019. “Design of a Sensor Network Node for Air Quality Monitoring in Nuclear Installations.” *J. Environ. Sci.* 45(3) : 69–85.
- [8] Marko, P. Filip, D. Ivana, G. Peter, M. Lucija, R. and Mateo, T. 2019. “Ammonia Concentration Monitoring Using Arduino Platform.” *Environment Engineering*. 6(1) : 21–26.
- [9] Vijayalakshmi, J. Puthilibhai, G. and Siddarth, L. 2019. “Implementation of Ammonia Gas Leakage Detection & Monitoring System using Internet of Things.” *2019 Third International conference on I-SMAC*. 778–781.
- [10] Muhammad, R. Fajar, B. Djoko, P. and Joshwa, S. 2018. “Meat Freshness Identification System Using Gas Sensor Array and Color Sensor in Conjunction with Neural Network Pattern Recognition.” *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 96(12) : 3861–3872.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] Fajar, B. Muhammad, R. and Muhammad, A.N. 2019. “Monitoring and Control System for Ammonia and pH Levels for Fish Cultivation Implemented on Raspberry Pi 3B.” *International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications*. 68–73.
- [12] Wariston, F.P. Leonardo, S.F. Fernando, F.P. Bruno, C.G. and Luciana, P.N. 2020. “Environmental Monitoring in a Poultry Farm Using an Instrument Developed with the Internet of Things Concept.” *Computers and Electronics in Agriculture*. 170 : 1–7.
- [13] Prachi, P. and Preet, J. 2019. “Study of Reliability of Electrochemical Sensor MQ–135 and MQ–137 in Concern of Ammonia Gas in Male Urinals Implemented on IOT Based System.” *International Journal for Research in Engineering Application and Management*. 5(4) : 319–324.
- [14] ประภาพร กุลลิมรัตน์ชัย. 2559. “Internet of Things: Current Technology Trends for Future.” *EAU HERITAGE JOURNAL Science and Technology*. 10(1) : 29–36.
- [15] โศรดา ชุนโห. 2544. “แอมโมเนียกับอุตสาหกรรม.” *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*. 49(157) : 11–13.
- [16] ยุทธศรี หล้ามณี. 2546. “คุณสมบัติของแอมโมเนียและการรั่วซึม.” *วารสารสมาคมเครื่องทำความเย็นไทย*. 3(8) : 10–13.
- [17] Khanittha, R. Suwannee, S. Duangnapa, P. Kanokwan, P. Ratchadaporn, C. and Suwanna, P. 2012. “Effect of Dietary Supplement Mixed Culture Microorganisms and Guava Leaf on the Odor Emission in Broilers Manure.” *KHON KAEN AGR. J.* 40(2) : 424–427.
- [18] นิคม ละอองศิริวงศ์, คมนัน ติลปาจารย์ และลักขณา ละอองศิริวงศ์. 2554. “แอมโมเนียกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.” *วารสารการประมง*. 64(5) : 441–445
- [19] ชีร์เกียรติ์ เกิดเจริญ. 2557. **จมูกอิเล็กทรอนิกส์: เครื่องมือตรวจวิเคราะห์ชนิดใหม่สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร.** [Online]. Available : <http://www.clinictech.ops.go.th/online/techlist/attachFile/20156161524351.pdf>.
- [20] เทียนชัย จำรัสสกุล. 2553. **จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Nose).** [Online]. Available : <http://oldweb.most.go.th/main/index.php/flagship/116-nstda/1681-electronic-nose.html>.
- [21] ธารทิพย์ เอี่ยมสะอาด และชีร์เกียรติ์ เกิดเจริญ. 2563. **จมูกอิเล็กทรอนิกส์ : เครื่องมือตรวจวิเคราะห์กลิ่นตัว.** [Online]. Available : <https://science.mahidol.ac.th/sdgs/2020/3-electronicnose.php>.

- [22] Juzhong, T. and Jie, X. 2020. "Applications of Electronic Nose (E-Nose) and Electronic Tongue (E-Tongue) in Food Quality-Related Properties Determination: A Review." *Artificial Intelligence in Agriculture*. 4 : 104-115.
- [23] ชนะ จันท์ศรี. 2553. "การพัฒนาจมูกอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์มวลติเปิลดิสคริมิแนนต์." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [24] วิชิตชัย ชาญสงคราม. 2560. "การวิเคราะห์การเน่าเสียของลองกองโดยเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [25] ชนะ จันท์ศรี และจักรี ศรีนนท์ฉัตร. 2016. "Efficiency Enhancement of Electronic Nose Classification Using Artificial Neural Network." *Research Journal-Rajamangala University of Technology Thanyaburi*. 15(1) : 21-26.
- [26] ชลินทร์ สุทธิเนตร, อัสสุชล แสงนวล และเต็มพงษ์ เพ็ชรกุล. 255. "เซนเซอร์ท่อนานาโนคาร์บอนสำหรับจมูกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการตรวจสอบเบียร์สด." หน้า 236-245. ใน **การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 13**. ขอนแก่น : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [27] Lander, L.L. 2017. "Gas Data Acquisition Using Arduino." Bachelor Thesis in Electronic, University of Gavle.
- [28] Anton, Y. Subhas, M. Oky, D.A.P. Son, A.A. Fatma, N. Ilham, M. Khoirul, H.F. and Nurul, A.N. 2021. "Multi Sensor Application-Based for Measuring the Quality of Human Urine on First-Void Urine." *Sensing and Bio-Sensing Research*. 34 : 1-12.
- [29] ธนวิษณุ กมลฉ่ำ และหทัยรัตน์ พิณจสุวรรณ. 2559. "อินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งของการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าและบันทึกข้อมูลการใช้พลังงาน." วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [30] ดอนสัน ปงผาน, อภิศักดิ์ พรหมฝาย และพีรพล จันท์หอม. 2565. IoT เบื้องต้นบน NodeMCU. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [31] พีรพงษ์ อุฑารสกุล. 2562. รายงานการวิจัย การพัฒนาโมดูลไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สั่งการด้วยคลื่นสมอง. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [32] นพ มหิษานนท์. 2563. **Arduino Smart Home Project**. นนทบุรี : คอร์ฟิงก์ซัน.
- [33] A. Kruakuanphet, P. Phongwisit, W. Yindeesuk, S. Kamoldilok and K. Srinuanjan, "Multi-range Ammonia Gas Sensor Control and Monitor via IoT System," *2022 26th International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC), Sakon Nakhon, Thailand, 2022*, pp. 182-185, doi: 10.1109/ICSEC56337.2022.10049351.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MQ137 Ammonia Gas Sensor

Profile

Sensitive material of MQ137 gas sensor is SnO_2 , which with lower conductivity in clean air. When NH_3 gas exists, the sensor's conductivity gets higher along with the gas concentration rising. Users can convert the change of conductivity to correspond output signal of gas concentration through a simple circuit. MQ137 gas sensor has high sensitivity to NH_3 gas, also can monitor organic amine such as trimethylamine, cholamine well. It can detect kinds of gases including ammonia and is a kind of low-cost sensor for kinds of applications.

Features

It has good sensitivity to NH_3 gas in wide range, and has advantages such as long lifespan, low cost and simple drive circuit &etc.

Main Applications

It is widely used in domestic NH_3 gas alarm, industrial NH_3 gas leakage alarm, portable NH_3 gas detector.

Technical Parameters table.1

| | | | |
|---|-----------------------|---|--|
| Model | | MQ137 | |
| Sensor Type | | Semiconductor | |
| Standard Encapsulation | | Bakelite, Metal cap | |
| Target Gas | | Ammonia Gas(NH_3) | |
| Detection range | | 5~500ppm NH_3 | |
| Standard Circuit Conditions | Loop Voltage | V_L | $\leq 24\text{V DC}$ |
| | Heater Voltage | V_H | $5.0\text{V} \pm 0.1\text{V AC or DC}$ |
| | Load Resistance | R_L | Adjustable |
| Sensor character under standard test conditions | Heater Resistance | R_H | $29\Omega \pm 3\Omega$ (room tem.) |
| | Heater consumption | P_H | $\leq 900\text{mW}$ |
| | Sensitivity | S | $R_S(\text{in air})/R_S(50\text{ppm NH}_3) \geq 2$ |
| Standard test conditions | Output Voltage | ΔV_S | $\geq 0.5\text{V}$ (in 50ppm NH_3) |
| | Concentration Slope | α | $\leq 0.6(R_{20\text{ppm}}/R_{50\text{ppm}} \text{ NH}_3)$ |
| Standard test conditions | Tem. Humidity | $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}; 55\% \pm 5\% \text{RH}$ | |
| | Standard test circuit | $V_L: 5.0\text{V} \pm 0.1\text{V};$ $V_H: 5.0\text{V} \pm 0.1\text{V}$ | |
| | Preheat time | Over 48 hours | |

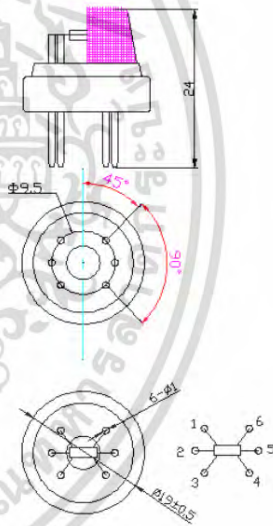


Fig1. Sensor Structure
Unit: mm

NOTE: The change of Output voltage(ΔV_S) is the difference value between V_{RL} in test environment and

Basic Circuit

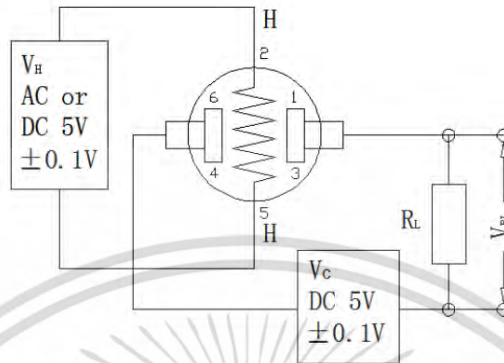


Fig2. MQ137 Test Circuit

Instructions: The above fig is the basic test circuit of MQ137. The sensor requires two voltage inputs: heater voltage (V_H) and circuit voltage (V_C). V_H is used to supply standard working temperature to the sensor and it can adopt DC or AC power, while V_{RL} is the voltage of load resistance R_L which is in series with sensor. V_C supplies the detect voltage to load resistance R_L and it should adopt DC power.

Description of Sensor Characters

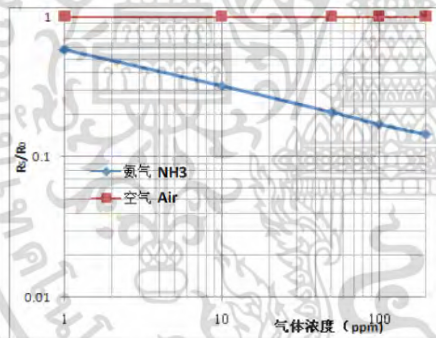


Fig3. Typical Sensitivity Curve

The ordinate is resistance ratio of the sensor (R_s/R_0), the abscissa is concentration of gases. R_s means resistance in target gas with different concentration, R_0 means resistance of sensor in clean air. All tests are finished under standard test conditions.

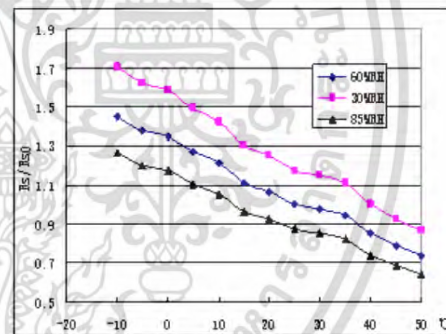


Fig4. Typical temperature/humidity characteristics

The ordinate is resistance ratio of the sensor (R_s/R_0). R_s means resistance of sensor in 50ppm NH_3 gas under different tem. and humidity. R_0 means resistance of the sensor in 50ppm NH_3 gas under 20°C/55%RH.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

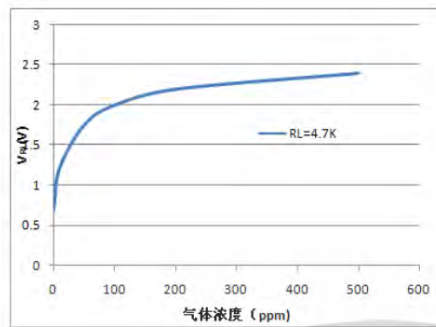
**Fig5.Sensitivity Curve**

Fig5 shows the V_{RL} in NH_3 with different concentration. The resistance load R_L is 4.7 K Ω and the test is finished in standard test conditions.

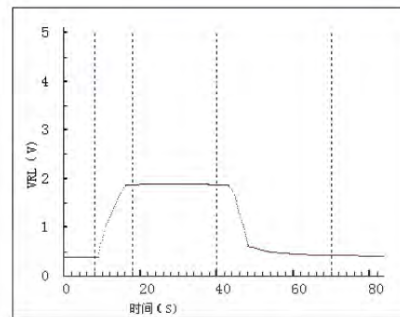
**Fig6.Response and Resume**

Fig5 shows the changing of V_{RL} in the process of putting the sensor into target gas and removing it out.

Cautions

1 .Following conditions must be prohibited

1.1 Exposed to organic silicon steam

Sensing material will lose sensitivity and never recover if the sensor absorbs organic silicon steam. Sensors must be avoid exposing to silicon bond, fixture, silicon latex, putty or plastic contain silicon environment.

1.2 High Corrosive gas

If the sensors are exposed to high concentration corrosive gas (such as H_2S , SO_x , Cl_2 , HCl etc.), it will not only result in corrosion of sensors structure, also it cause sincere sensitivity attenuation.

1.3 Alkali, Alkali metals salt, halogen pollution

The sensors performance will be changed badly if sensors be sprayed by alkali metals salt especially brine, or be exposed to halogen such as fluorine.

1.4 Touch water

Sensitivity of the sensors will be reduced when splattered or dipped in water.

1.5 Freezing

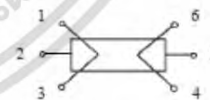
Do avoid icing on sensor's surface, otherwise sensing material will be broken and lost sensitivity.

1.6 Applied higher voltage

Applied voltage on sensor should not be higher than stipulated value, even if the sensor is not physically damaged or broken, it causes down-line or heater damaged, and bring on sensors' sensitivity characteristic changed badly.

1.7 Voltage on wrong pins

For 6 pins sensor, Pin 2&5 is heating electrodes, Pin (1,3)/(4,6) are testing electrodes (Pin 1 connects with Pin 3, while Pin 4 connects with Pin 6).If apply voltage on Pin 1&3 or 4&6, it will make lead broken; and no signal putout if apply on pins 2&4.

**Fig7. Lead sketch**

2. Following conditions must be avoided

2.1 Water Condensation

Indoor conditions, slight water condensation will influence sensors' performance lightly. However, if water condensation on sensors surface and keep a certain period, sensors' sensitive will be decreased.

2.2 Used in high gas concentration

No matter the sensor is electrified or not, if it is placed in high gas concentration for long time, sensors characteristic will be affected. If lighter gas sprays the sensor, it will cause extremely damage.

2.3 Long time storage

The sensors resistance will drift reversibly if it's stored for long time without electrify, this drift is related with storage conditions. Sensors should be stored in airproof bag without volatile silicon compound. For the sensors with long time storage but no electrify, they need long galvanical aging time for stability before using. The suggested aging time as follow:

Stable2.

| Storage Time | Suggested aging time |
|----------------------|------------------------|
| Less than one month | No less than 48 hours |
| 1 ~ 6 months | No less than 72 hours |
| More than six months | No less than 168 hours |

2.4 Long time exposed to adverse environment

No matter the sensors electrified or not, if exposed to adverse environment for long time, such as high humidity, high temperature, or high pollution etc., it will influence the sensors' performance badly.

2.5 Vibration

Continual vibration will result in sensors down-lead response then break. In transportation or assembling line, pneumatic screwdriver/ultrasonic welding machine can lead this vibration.

2.6 Concussion

If sensors meet strong concussion, it may lead its lead wire disconnected.

2.7 Usage Conditions

2.7.1 For sensor, handmade welding is optimal way. The welding conditions as follow:

- Soldering flux: Rosin soldering flux contains least chlorine
- homothermal soldering iron
- Temperature: 250°C
- Time: less than 3 seconds

2.7.1 If users choose wave-soldering, the following conditions should be obey:

- Soldering flux: Rosin soldering flux contains least chlorine
- Speed: 1-2 Meter/Minute
- Warm-up temperature: 100±20°C
- Welding temperature: 250±10°C
- One time pass wave crest welding machine

If disobey the above using terms, sensors sensitivity will be reduced.

Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd
 Add: No.299, Jinsuo Road, National Hi-Tech Zone,
 Zhengzhou 450001 China
 Tel: +86-371-67169097/67169670
 Fax: +86-371-60932988
 E-mail: sales@winsensor.com
 Website: www.winsen-sensor.com

Tel: 86-371-67169097/67169670 Fax: 86-371-60932988

Email: sales@winsensor.com

Leading gas sensing solutions supplier in China!

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

| | |
|----------------------|--|
| ชื่อ | นางสาวอภิชา เครือเขื่อนเพชร |
| วัน เดือน ปีเกิด | 21 กรกฎาคม 2540 |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | 33 หมู่ที่ 2 ตำบล โนนสะอาด อำเภอ โนนสะอาด จังหวัด อุตรธานี 41240 |
| ประวัติการศึกษา | (2562) วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ เกรดเฉลี่ย 3.26 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| ทุนการศึกษาที่ได้รับ | ทุนการศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2563 |
| ผลงานทางการวิชาการ | 1. นำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ The 26 th International Computer Science and Engineering Conference 2022 (ICSEC2022) ระหว่างวันที่ 21-23 ธันวาคม 2565 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จ.สกลนคร ในหัวข้อ “Multi-range Ammonia Gas Sensor Control and Monitor via IoT System” [33] |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Plagiarism Checking Report

Created on Mar 2, 2023 at 15:20 PM

Submission Information

| ID | SUBMISSION DATE | SUBMITTED BY | ORGANIZATION | FILENAME | STATUS | SIMILARITY INDEX |
|---------|-------------------------|----------------------|--|---|---|------------------|
| 3006993 | Mar 1, 2023 at 15:20 PM | 63605029@kmitl.ac.th | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง | SMART MULTI-RANGE AMMONIA GAS SENSOR CONTROL AND DISPLAY VIA IOT SYSTEM.pdf |   | |

Match Overview

| NO. | TITLE | AUTHOR(S) | SOURCE | SIMILARITY INDEX |
|-----|--|----------------------|--|------------------|
| 1 | การหาประสิทธิภาพของระบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมการจ่ายน้ำทางการเกษตร, The efficiency of electronic system for controlling agricultural water supply. | จิราภรณ์ ชมเล็ก | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง | 0.60 % |
| 2 | การพัฒนาระบบควบคุมการรับชมโทรทัศน์ผ่านระบบการจัดอันดับของโทรทัศน์โดยผ่านระบบอินเทอร์เน็ต | พิชานญชู่ เศษะวีจิตร | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | 0.34 % |
| 3 | การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์บนห้องถนนโดยใช้เครือข่ายตรวจวัดแบบไร้สาย | กลอยใจ กางกรดี | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ | 0.24 % |
| 4 | การออกแบบโปรแกรมควบคุมมือเทียมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์, Hand Prosthesis Program Design by Microcontrollers. | วิไลพร เงินบาท | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี | 0.19 % |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Match Details

TEXT FROM SUBMITTED DOCUMENT

งสารบัญหน้าบทคัดย่อบทคัดย่อภาษาอังกฤษชกติดกรรมประกาศสารบัญง
สารบัญตารางสารบัญรูปขบขทที่ 1 บทนำ 1 11 ความเป็นมาและความสำคัญ
ของปัญหา 1 12 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3 13 ขอบเขตของงานวิจัย 3 14
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3 บทที่ 2 ทฤษฎีแ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4 21
แอมโมเนีย 4 22 จมกัอิเล็กทรอนิกส์ 6 221 เซ็นเซอร์ก๊าซชนิดสารกึ่งตัวนำ
โลหะออกไซด์ 7 222 หลักการตรวจวัดของเซ็นเซอร์สารกึ่งตัวนำโลหะ
ออกไซด์ 9 223 เซ็นเซอร์สารกึ่งตัวนำ

หลัก Program memory เปรียบได้กับฮาร์ดดิสก์ของคอมพิวเตอร์โดยข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายแม้ไม่มีไฟเลี้ยงสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ในปัจจุบันมีทั้งหน่วยความจำแรม Random access memory RAM ที่ข้อมูลจะหายไปเมื่อหยุดจ่ายไฟเลี้ยงและแรมที่เป็นอีพรอม Erasable electrically readonly memory EEPROM ที่สามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง 3 พอร์ต Port เป็นส่วนที่ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกแบ่งออกเป็นพอร์ตอินพุต Input port ใช้สำหรับ

การรับสัญญาณเพื่อนำไปประมวลผลจากบัสรับส่งไปยังพอร์ตเอาต์พุต Output port ที่ใช้ส่งสัญญาณเพื่อแสดงผล 4 ช่องทางเดินสัญญาณหรือบัส Bus เป็นลักษณะของสายสัญญาณจำนวนมากภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับเป็นเส้นทางแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง CPU หน่วยความจำและพอร์ตโดยแบ่งบัสออกเป็น

TEXT FROM SOURCE DOCUMENT(S)

ไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ปรัทษาวิทยานิพนธ์และคุณสัมพันธสร้อยกลมภักทวิทยาศาสตร์ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรมคณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของกรวิจัยมาโดยตลอดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาซึ่งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตลอดมารวมถึงโอกาสในการดำเนินการศึกษาระดับชั้นค่าแนะนำจากเพื่อนที่เน่องร่วมชั้นเรียนขอขอบคุณญาติที่ด้วยเช่นภริยาภานภีที่ได้รับทุนอุดหนุนบางส่วนจากทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์สำหรับนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือกลอยใจทางรณงสารบัญหน้าบทคัดย่อภาษาไทยบทคัดย่อภาษาอังกฤษชกติดกรรมประกาศสารบัญตารางสารบัญภาพขบขทที่ 1 บทนำ 1 11 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1 12 วัตถุประสงค์ 3 13 ขอบเขตของกรวิจัย 3 14 วิธีการวิจัย 3 15 เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ 3 16 ประโยชน์ของผลการวิจัย 4 บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5 21 ความรู้เบื้องต้นมลพิษอากาศ 5 22 คำนยและหน่วยของการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ 9 23 เซ็นเซอร์ก๊าซ Gas Sensors 11 24 ตัวอย่างเซ็นเซอร์ก๊าซที่ใช้งาน 15 25 การตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในอากาศ 17 26 เครื่องข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย 20 27 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 25 บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการ

ในขณะที่มีความสามารถสูงขึ้นภายใต้งบประมาณที่เหมาะสมโครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นสามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ดังต่อไปนี้ 10.1 หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู CPU Central Processing Unit 2 หน่วยความจำ Memory สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือหน่วยความจำที่มิไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก Program Memory เปรียบเสมือนส่วนเก็บข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งได้คือข้อมูลใดๆที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายแม้ไม่มีไฟเลี้ยงอีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล Data Memory ใช้เป็นเหมือนกระดาษทดในการคำนวณของซีพียูและเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงานแต่หากไม่มีไฟเลี้ยงข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำของแรม RAM ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปแต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรมซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยงและเป็นอีพรอม EEPROM Erasable Electrically ReadOnly Memory ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง 3 ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกหรือพอร์ต Port มี 2 ชนิดคือพอร์ตอินพุต Input Port และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต Output Port ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมากใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุตเพื่อรับสัญญาณอาจจะด้วยการกดสวิตช์เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุตเพื่อแสดงผลเช่นการติดสว่างของหลอดไฟเป็นต้น 4 ช่องทางเดินของสัญญาณหรือบัส BUS คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่างซีพียูหน่วยความจำและพอร์ตเป็นลักษณะของสายสัญญาณจำนวนมากภายในตัวไมโคร

ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก*ถือว่า n เป็นส่วนที่สำคัญมากใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต*เพื่อรับสัญญาณ*อาจจะด้วยการกดสวิตช์เพื่อ n นำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุตเพื่อแสดงผล n *****2,3,1,4**ช่องทางเดินของสัญญาณ*คือ*เส้นทางในการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูล* ระหว่าง*ซีพียู*หน่วยความจำและพอร์ตเป็นลักษณะของสายสัญญาณจำนวนมากภายในตัว* n ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล*บัสแอดเดรส*และบัสควบคุม*บัสข้อมูลเป็น* n สายสัญญาณที่บรรจุข้อมูลเพื่อการประมวลผลทั้งหมดขนาดของบัสจะขึ้นอยู่กับความสามารถ* n ประมวลผลของซีพียูสำหรับในงานที่* n ไปขนาดของบัสข้อมูลจะเป็น* 8 *บิตและในปัจจุบันได้* n มีการพัฒนายึ้นมาจนถึง* 16 * 32 * และ* 64 *บิตบัสแอดเดรสเป็นสายสัญญาณที่บรรจุค่าแ่ง* n หน่วยความจำโดยการติดต่อกับหน่วยความจำที่ซีพียูต้องกำหนดตำแหน่งที่ต้องการอ่านหรือ* n เขียนก่อนดังนั้นจำนวนสายสัญญาณของแอดเดรสจึงต้องมีจำนวนมากยิ่งมากเท่าไรก็จะเป็นการ* n แสดงขนาดของหน่วยความจำที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEXT FROM SUBMITTED DOCUMENT

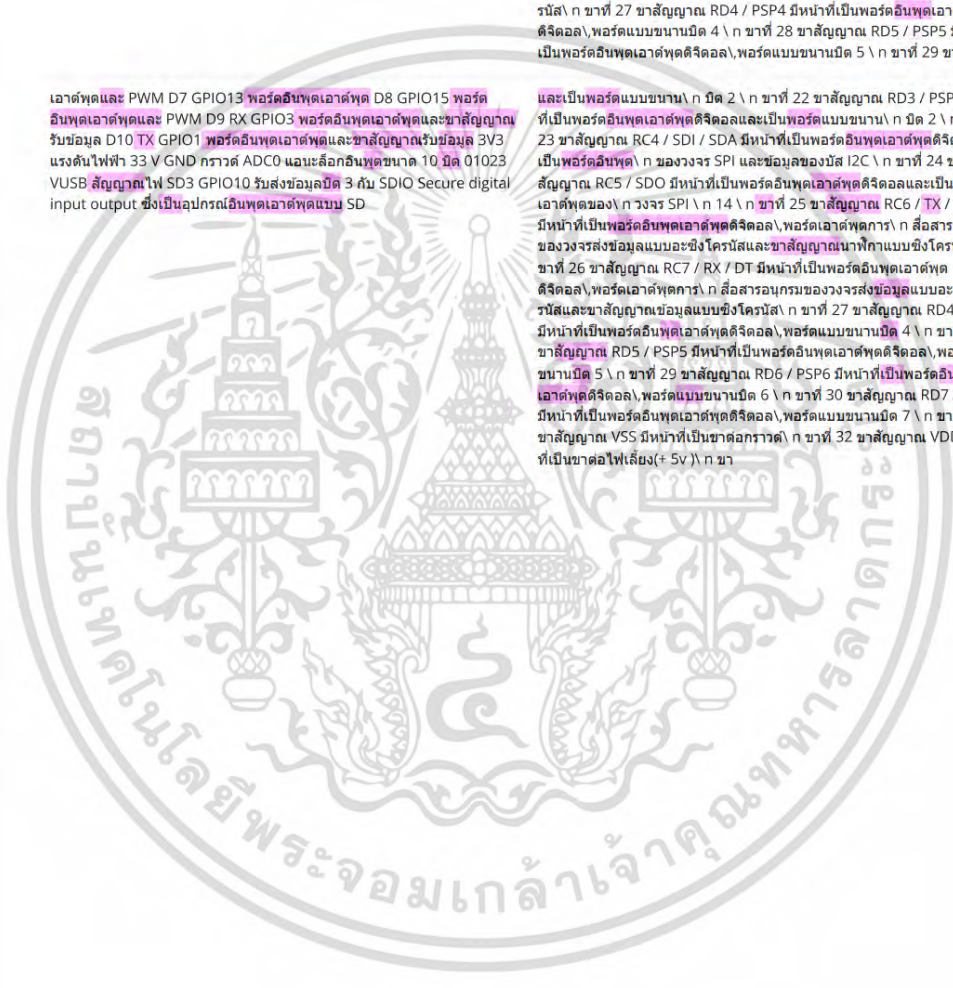
20 ตารางที่ 22 ขาสัญญาของบอร์ด NodeMCU ESP8266 V30 ขาขา GPIO หน้าที่ D0 GPIO16 พอร์ตอินพุตเอาต์พุต D1 GPIO5 พอร์ตอินพุตเอาต์พุตและเป็นขา SCL สำหรับเชื่อมต่อแบบ I2C D2 GPIO4 พอร์ตอินพุตเอาต์พุต PWM Pulse Width Modulation และเป็นขา SDA สำหรับเชื่อมต่อแบบ I2C D3 GPIO0 พอร์ตอินพุตเอาต์พุต D4 GPIO2 พอร์ตอินพุตเอาต์พุต D5 GPIO14 พอร์ตอินพุตเอาต์พุตและ PWM D6 GPIO12 พอร์ตอินพุต

เอาต์พุตและ PWM D7 GPIO13 พอร์ตอินพุตเอาต์พุต D8 GPIO15 พอร์ตอินพุตเอาต์พุตและ PWM D9 RX GPIO3 พอร์ตอินพุตเอาต์พุตและขาสัญญา รับข้อมูล D10 TX GPIO1 พอร์ตอินพุตเอาต์พุตและขาสัญญา รับข้อมูล 3V3 แรงดันไฟฟ้า 3.3 V GND กราวด์ ADC0 แอนะล็อกอินพุตขนาด 10 บิต 01023 VUSB สัญญาไฟ SD3 GPIO10 รับส่งข้อมูลบิต 3 บิต SDIO Secure digital input output ซึ่งเป็นอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตแบบ SD

TEXT FROM SOURCE DOCUMENT(S)

พอร์ตสัญญาณนาฬิกา \n ของวงจรถ SPI และบัส I2C \n ขาที่ 19 ขาสัญญา RD0 / PSp0 มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลและเป็นพอร์ตแบบขนาน \n บิต 0 \n ขาที่ 20 ขาสัญญา RD1 / PSp1 มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลและพอร์ตแบบขนานบิต 1 \n ขาที่ 21 ขาสัญญา RD2 / PSp2 มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลและเป็นพอร์ตแบบขนาน \n บิต 2 \n ขาที่ 22 ขาสัญญา RD3 / PSp3 มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลและเป็นพอร์ตแบบขนาน \n บิต 2 \n ขาที่ 23 ขาสัญญา RC4 / SDI / SDA มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลและเป็นพอร์ตอินพุต \n ของวงจรถ SPI และข้อมูลของบัส I2C \n ขาที่ 24 ขาสัญญา RC5 / SDO มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลและเป็นพอร์ตเอาต์พุตของ \n วงจรถ SPI \n ขาที่ 14 \n ขาที่ 25 ขาสัญญา RC6 / TX / CK มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล, พอร์ตเอาต์พุตการ \n สื่อสารอนุกรมของวงจรถส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสและขาสัญญา นาฬิกาแบบซิงโครนัส \n ขาที่ 26 ขาสัญญา RC7 / RX / DT มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล, พอร์ตเอาต์พุตการ \n สื่อสารอนุกรมของวงจรถส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสและขาสัญญา ข้อมูลแบบซิงโครนัส \n ขาที่ 27 ขาสัญญา RD4 / PSp4 มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล, พอร์ตแบบขนานบิต 4 \n ขาที่ 28 ขาสัญญา RD5 / PSp5 มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล, พอร์ตแบบขนานบิต 5 \n ขาที่ 29 ขา

และเป็นพอร์ตแบบขนาน \n บิต 2 \n ขาที่ 22 ขาสัญญา RD3 / PSp3 มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลและเป็นพอร์ตแบบขนาน \n บิต 2 \n ขาที่ 23 ขาสัญญา RC4 / SDI / SDA มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลและเป็นพอร์ตอินพุต \n ของวงจรถ SPI และข้อมูลของบัส I2C \n ขาที่ 24 ขาสัญญา RC5 / SDO มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลและเป็นพอร์ตเอาต์พุตของ \n วงจรถ SPI \n ขาที่ 14 \n ขาที่ 25 ขาสัญญา RC6 / TX / CK มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล, พอร์ตเอาต์พุตการ \n สื่อสารอนุกรมของวงจรถส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสและขาสัญญา นาฬิกาแบบซิงโครนัส \n ขาที่ 26 ขาสัญญา RC7 / RX / DT มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล, พอร์ตเอาต์พุตการ \n สื่อสารอนุกรมของวงจรถส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสและขาสัญญา ข้อมูลแบบซิงโครนัส \n ขาที่ 27 ขาสัญญา RD4 / PSp4 มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล, พอร์ตแบบขนานบิต 4 \n ขาที่ 28 ขาสัญญา RD5 / PSp5 มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล, พอร์ตแบบขนานบิต 5 \n ขาที่ 29 ขาสัญญา RD6 / PSp6 มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล, พอร์ตแบบขนานบิต 6 \n ขาที่ 30 ขาสัญญา RD7 / PSp7 มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล, พอร์ตแบบขนานบิต 7 \n ขาที่ 31 ขาสัญญา VSS มีหน้าที่เป็นขาคอกราวด์ \n ขาที่ 32 ขาสัญญา VDD มีหน้าที่เป็นขาคอไฟเลี้ยง (+5V) \n ขา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้