

ระบบป้องกันไฟป่าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa
WILDFIRE SURVEILLANCE SYSTEM USING LoRa MESH NETWORK



ปริญญำนพนธ์นี้เป็นส่วนหน่งของการศีกษาตามหลักสูตรปริญญำวิศวกรรมศำสตรบัณฑิต
ภำควิชำวิศวกรรมโทรคมนำคม
คณะวิศวกรรมศำสตร
สถำบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลำดกระบัง
ปีการศีกษำ 2567

เอกสำรนี้เป็นเอกสำรที่สงวนไว้สำหรับการใช้งำนเพื่อการศีกษำเท่านั้น ไม่อนุญำตให้ นำไปใช้ประโยชน์ด้ำนการค้ำ
ไม่วำกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกรั้หำมมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้ำอิงถึงเจ้าของเอกสำรทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบป้องกันไฟป่าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa
WILDFIRE SURVEILLANCE SYSTEM USING LoRa MESH NETWORK



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2567

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบป้องกันไฟป่าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa

WILDFIRE SURVEILLANCE SYSTEM USING LoRa MESH NETWORK

ผู้จัดทำ

- | | | |
|--------------------|------------|----------|
| 1. นายกฤตเมธ | เสื่องศิริ | 64010016 |
| 2. นางสาวจรัสพร | สะเดา | 64010087 |
| 3. นางสาวพิมพ์พิศา | ชุมทอง | 64010603 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินโครงการเรื่อง “ระบบป้องกันไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa” จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ รศ.ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง ที่กรุณาให้คำสั่งสอนและแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เป็นประโยชน์ ตลอดระยะเวลาเวลาในการจัดทำโครงการนี้ ขอขอบพระคุณท่านสำหรับความห่วงใยและความหวังดีที่ให้แก่คณะผู้จัดทำเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ประจำภาควิชาโทรคมนาคมและโครงข่าย คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และประสบการณ์ให้แก่ผู้จัดทำ

ขอกราบขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง อาทิ บิดา มารดา ที่ให้ความรัก ความห่วงใย คอยให้กำลังใจเสมอมา และที่สำคัญคือเป็นผู้สนับสนุนให้โอกาสด้านการศึกษาอันมีค่ายิ่งแก่ผู้จัดทำ

นายกฤตเมธ เสื่องศิริ

นางสาวจรัสพร สะเดา

นางสาวพิมพ์พิศา ชุมทอง

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบป้องกันไฟป่าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa
Wildfire Surveillance System Using LoRa Mesh Network

โดย	นายกฤตเมธ	เสื่องศิริ	64010016
	นางสาวจรัสพร	สะเดา	64010087
	นางสาวพิมพ์พิศา	ชุมทอง	64010603

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.พิสิษฐ บุญศรีเมือง

บทคัดย่อ

ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน โลกเราได้รับผลกระทบ จากการที่โลกร้อนขึ้นทุกปี ซึ่งสภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาที่เราทุกคนต่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ไม่ว่าจะจากคนสัตว์รวมทั้งสิ่งมีชีวิตในป่าและแน่นอนว่าหนึ่งในปัญหาที่เกิดจากสภาวะโลกร้อนคือการเกิดไฟป่า จากสถานการณ์ไฟป่าในปัจจุบันจะเห็นได้ว่า เกิดไฟไหม้ป่าในหลายพื้นที่ ทั้งป่าธรรมชาติ และป่าอนุรักษ์ ที่นับวันยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น อีกทั้งในการเกิดไฟไหม้ป่าแต่ละครั้ง นอกจากก่อให้เกิดความเสียหายแก่พื้นที่นั้นๆ ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศของโลกอีกด้วย

ทางผู้จัดทำเห็นถึงความสำคัญของชีวิตและการสูญเสีย ของสิ่งมีชีวิตสัตว์ป่ารวมทั้งระบบนิเวศที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดไฟป่า จึงมีความประสงค์ทำโปรเจกต์ เรื่องระบบป้องกันไฟป่าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Heltec WiFi LoRa V2 ผ่านรูปแบบการสื่อสารโครงข่ายไร้สายแบบตาข่าย โดยทำการใช้เซนเซอร์ DHT-22 MQ-7 และ MQ-135 เพื่อตรวจสอบว่าถึงเงื่อนไขที่จะเกิดไฟไหม้หรือไม่ พร้อมส่งข้อมูลผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังServer หากมีโหนดที่ไม่สามารถติดต่อกับเกตเวย์ได้โดยตรงจะใช้โหนดอื่นๆที่อยู่ในระยะเป็นตัวกลาง ผ่านโหนดนั้นๆและส่งต่อไปยังเกตเวย์ปลายทางที่ต้องการ สิ่งที่ทำผู้จัดทำคาดหวังจากปริญญาบัตรนี้ คือสามารถตรวจจับไฟป่า โดยใช้ระบบป้องกันไฟป่าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa เพื่อเป็นตัวกลางในการเฝ้าระวังการเกิดไฟป่าและเพื่อให้สามารถเตรียมความพร้อมรับมือกับการเกิดไฟป่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

From the past to present, our world has been impacted by global warming every year. Global warming is an unavoidable issue that affects everyone, including humans, animals, and all living beings in the forest. One of the problems arising from global warming is the occurrence of wildfires. In the current wildfire situation, it is evident that fires are occurring in many areas, both in natural forests and conservation forests, with increasing severity over time. Each wildfire not only causes damage to the affected areas but also impacts on the environment and the world's ecosystem. The organizers recognize the importance of life and the loss experienced by wild animals and ecosystems affected by wildfires. Therefore, they intend to implement a project on the Wildfire Surveillance System Using LoRa Mesh Network. Using the Heltec WiFi LoRa V2 microcontroller board with a wireless mesh network communication model, this project employs a DHT-22 sensor, an MQ-7 sensor, and an MQ-135 sensor to measure carbon dioxide levels to determine fire risk conditions. The collected data is then transmitted via the microcontroller board to a server. If any node cannot directly communicate with the gateway, nearby nodes within range act as intermediaries, relaying data to the desired gateway. The objective of this thesis is to develop Wildfire Surveillance System Using LoRa Mesh Network, aiming to prevent forest fires effectively. This system aims to serve as a monitoring tool for wildfire occurrences and to prepare for effective responses to wildfires.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	IX
สารบัญตาราง	XV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความหมายและสาเหตุการเกิดไฟฟ้า	3
2.1.1 ความหมายของไฟฟ้า	3
2.1.2 สาเหตุการเกิดไฟฟ้า	3
2.1.3 องค์ประกอบของไฟฟ้า	4
2.1.4 ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้	4
2.2 ปริมาณแก๊สที่เป็นปัจจัยในการเกิดไฟฟ้า	6
2.3 พิจารณาความสูงของการติดตั้งเซนเซอร์	7
2.4 โครงข่ายแบบตาข่าย (Mesh Network)	8
2.5 LoRa	8
2.5.1 แบนด์วิดท์ของ LoRa	9
2.5.2 Spreading Factor (SF)	10
2.5.3 Coding Rate	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.4 ช่วงเวลาที่ทำงานในประเทศไทย	12
2.5.5 เฟรมข้อมูล	14
2.6 การบริโภคพลังงาน (Power Consumption)	15
2.6.1 การคำนวณพลังงานต่อบิต (Energy Per Bit)	15
2.7 Battery	15
2.8 เซนเซอร์	16
2.8.1 DHT-22	16
2.8.2 MQ-7	17
2.8.3 MQ-135	18
2.9 การปรับเทียบ (Calibration)	18
2.10 Server	19
2.11 Dashboard	19
2.12 Database SQLite	20
2.13 เกตเวย์ LoRa	21
2.14 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32	21
2.15 Flash Memory	22
2.16 MQTT	23
2.17 MATLAB	25
2.17.1 MATLAB App Designer	26
2.17.2 MATLAB Web App Server	26
2.18 ระบบเว็บไซต์	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.18.1 ภาษา HTML	27
2.18.2 ภาษา CSS	27
2.18.3 ภาษา JavaScript	28
2.18.4 Internet Information Services (IIS)	28
2.19 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)	28
2.19.1 Free-Space Path Loss	29
2.19.2 Log Distance Path Loss	29
2.19.3 Least Square Method	30
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปฏิญญานิพนธ์	31
3.1 การออกแบบ	31
3.1.1 การออกแบบระบบ	31
3.1.2 การออกแบบระบบการทำงานการอ่านค่าจาก เซนเซอร์	31
3.1.3 การต่อวงจร เซนเซอร์ เข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCU	33
3.1.4 การปรับเทียบเซนเซอร์	35
3.1.5 การออกแบบระบบโครงข่ายแบบตาข่าย (Mesh Network)	38
3.1.6 การออกแบบระบบเพื่อให้เกตเวย์ ส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตไปเก็บข้อมูลบน Server	51
3.1.7 ออกแบบตารางข้อมูลและกำหนดประเภทข้อมูลที่เก็บข้อมูล	54
3.1.8 คำนวณค่าพารามิเตอร์	55
3.1.9 Power Consumption	57
3.1.10 Battery Life	61
3.1.10 การออกแบบ MATLAB App Designer	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.11 การออกแบบหน้า Web App ระบบป้องกันไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อ โครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa	66
3.1.12 การออกแบบการทดสอบคุณภาพสัญญาณเทียบกับการสูญเสียเชิงวิถี	71
3.1.13 การออกแบบและประกอบกล่องใส่อุปกรณ์	73
3.1.14 การทดสอบเซนเซอร์โดยการจำลองเมื่อเกิดการเผาไหม้	77
3.1.15 การออกแบบเพื่อกำหนดขนาดของพื้นที่ป่าที่ต้องการติดตั้ง	83
3.1.16 การออกแบบการคำนวณจำนวนโหนดที่ใช้ในการติดตั้ง	85
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	86
3.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์	86
3.2.2 เซนเซอร์	86
3.2.3 Server	86
3.2.4 C++	87
3.2.5 โปรแกรม MATLAB	87
3.2.6 ภาษา HTML JavaScript และ CSS	87
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	87
3.3.1 การทดสอบระบบการทำงานการอ่านค่าจาก เซนเซอร์	87
3.3.2 การทดสอบการส่งข้อมูลระหว่างเกตเวย์และ Server	87
3.3.3 การทดสอบระบบโครงข่ายแบบตาข่าย (Mesh Network)	88
3.3.4 การทดสอบระบบการทำงานของ Flash Memory	88
3.3.5 การทดสอบระบบการทำงานของฐานข้อมูล SQLite	88
3.3.6 การทดสอบระบบการทำงานของ Dashboard	88
3.3.7 การทดสอบคุณภาพสัญญาณเทียบกับการสูญเสียเชิงวิถี	88
บทที่ 4 ผลการทดลอง	89
4.1 ผลการทดสอบระบบการทำงานการอ่านค่าจากเซนเซอร์	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.1 ผลลัพธ์ของข้อมูลที่ได้จากการอ่านค่าจาก เซนเซอร์	89
4.2 ผลการทดสอบการส่งข้อมูลระหว่างเกตเวย์และ Server	90
4.2.1 ผลลัพธ์ที่ได้บนหน้าจอแสดงผล (Terminal) ของเกตเวย์	90
4.2.2 ผลลัพธ์ที่ได้บนหน้าจอแสดงผล (Terminal) ของ Server	90
4.3 ผลการทดสอบระบบโครงข่ายแบบตาข่าย (Mesh Network)	91
4.3.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการที่โหนดต้นทางสามารถส่งข้อมูลติดต่อกับเกตเวย์ ปลายทางได้โดยตรง	91
4.3.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากการที่โหนดต้นทางส่งข้อมูลผ่านโหนดอื่นๆไปยังเกตเวย์ ปลายทาง	91
4.3.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดจากเครื่อง Spectrum Analyzer	92
4.4 ผลการทดสอบระบบการทำงานของ Flash Memory	93
4.5 ผลการทดสอบระบบการทำงานของฐานข้อมูลและการนำมาแสดงผลบน Dashboard	94
4.5.1 ฝั่งฐานข้อมูล	94
4.5.2 ฝั่งการนำมาแสดงผลบน Dashboard	95
4.6 ผลการวัดการบริโภคกระแส	97
4.7 ผลการทดสอบคุณภาพสัญญาณเทียบกับการสูญเสียเชิงวิถึ	98
4.8 ผลการทดสอบเซนเซอร์โดยการจำลองเมื่อเกิดการเผาไหม้	99
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	101
5.1 สรุปผล	101
5.2 ข้อเสนอแนะ	102
บรรณานุกรม	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	บล็อกไดอะแกรมของโครงการ	2
2.1	สามเหลี่ยมไฟ	4
2.2	สัญญาณรูปแบบ Chirp ทั้ง Up chirp และ Down chirp	9
2.3	หน้าตาของสัญญาณของ Spreading Factor แต่ละค่า	10
2.4	Spreading Factor เทียบกับ บิทเรท และ ระยะทาง	11
2.5	ตัวอย่างของ Coding Rate	12
2.6	ช่วงของความถี่ที่อนุญาตตามระเบียบ กสทช.	13
2.7	เฟรมข้อมูลของ LoRa	14
2.8	เซนเซอร์ DHT-22	16
2.9	เซนเซอร์ MQ-7	17
2.10	เซนเซอร์ MQ-135	18
2.11	บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32	21
2.12	ตัวอย่างหัวข้อที่มีอุปกรณ์เซนเซอร์อุณหภูมิ	25
2.13	MATLAB	25
2.14	HTML	27
2.15	CSS	27
2.16	JavaScript	28
3.1	บล็อกไดอะแกรมของปริยญาณีพนธ์	31
3.2	ระบบการทำงานการอ่านค่าจาก เซนเซอร์	32
3.3	จำลองการต่อวงจร เซนเซอร์ เข้ากับ โหนด MCU	33
3.4	รายละเอียด Pinout ของ Heltec WiFi LoRa 32 (V2)	33
3.5	ต่อมัลติมิเตอร์ เข้ากับวงจรเพื่อวัดแรงดัน	36
3.6	แรงดันตกคร่อมระหว่างขา A0 และ GND ของเซนเซอร์ MQ135	36
3.7	ระบบการทำงานของ Mesh Network	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.8	จำลองโครงข่ายเพื่อทดสอบระบบโครงข่ายแบบตาข่าย	41
3.9	ภาพประกอบโครงข่ายแบบตาข่าย	41
3.10	การ broadcast ไปยังโหนดอื่นๆในโครงข่าย	42
3.11	หลังจากบันทึกที่อยู่ตนเองก็ส่งข้อความต่อไปยังโหนดอื่นๆ	43
3.12	routing table ของโหนดปลายทางเกตเวย์	44
3.13	การส่งข้อมูลตอบกลับไปยังโหนดต้นทางแบบ unicast	44
3.14	หากโหนดที่ส่งข้อมูลเกิดหยุดทำงานจึงทำขั้นตอน 1-6 อีกรอบหนึ่ง	45
3.15	แผนผังเส้นทางทดสอบระบบโครงข่ายบริเวณรอบอาคาร	46
3.16	ตำแหน่งติดตั้งเกตเวย์	46
3.17	ตำแหน่งติดตั้งโหนด 1 สำหรับการทดสอบระบบโครงข่ายบริเวณรอบอาคาร	47
3.18	ตำแหน่งติดตั้งโหนด 2 สำหรับการทดสอบระบบโครงข่ายบริเวณรอบอาคาร	47
3.19	ตำแหน่งติดตั้งโหนด 3 สำหรับการทดสอบระบบโครงข่ายบริเวณรอบอาคาร	48
3.20	แผนผังเส้นทางทดสอบระบบโครงข่ายแนวเส้นตรง	49
3.21	ตำแหน่งติดตั้งเกตเวย์	49
3.22	ตำแหน่งติดตั้งโหนด 1 สำหรับการทดสอบระบบโครงข่ายแนวเส้นตรง	50
3.23	ตำแหน่งติดตั้งโหนด 2 สำหรับการทดสอบระบบโครงข่ายแนวเส้นตรง	50
3.24	ตำแหน่งติดตั้งโหนด 3 สำหรับการทดสอบระบบโครงข่ายแนวเส้นตรง	51
3.25	ระบบการทำงานของเกตเวย์	53
3.26	การรับข้อมูลของฝั่งServerด้วยโปรโตคอล MQTT	54
3.27	รายละเอียดฐานข้อมูล	55
3.28	วงจรวัดการบริโภคกระแส	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.29	การบริโภคกระแสในโหมด Light Sleep ของบอร์ด ESP32	58
3.30	การบริโภคกระแสในโหมด Light Sleep ของบอร์ด ESP32 เมื่อเชื่อมต่อกับเซนเซอร์	58
3.31	การบริโภคกระแสในโหมด Active ของบอร์ด ESP32	59
3.32	การบริโภคกระแสในโหมด Active ของบอร์ด ESP32 เมื่อเชื่อมต่อกับเซนเซอร์	59
3.33	การบริโภคกระแสในโหมด Transmit ของบอร์ด ESP32	60
3.34	การบริโภคกระแสในโหมด Transmit ของบอร์ด ESP32 เมื่อเชื่อมต่อกับเซนเซอร์	60
3.35	ภาพรวมของ Dashboard	64
3.36	การบันทึกแอปพลิเคชัน	65
3.37	หน้า Web Page เมื่อกดปุ่ม Home	66
3.38	หน้า Web Page เมื่อกดปุ่ม Project	66
3.39	หน้า Web Page เมื่อกดปุ่ม Contact	67
3.40	การสร้างเว็บแอปพลิเคชันบน IIS	68
3.41	การกำหนดที่อยู่ไฟล์ของหน้าเว็บแอปพลิเคชัน	68
3.42	การเปิดพอร์ต 443	69
3.43	การเปิด Service ของ MATLAB Web App Server	70
3.44	การเปิดใช้งาน Web App Server	70
3.45	หน้า Dashboard เมื่อทำการเปิดผ่านเว็บเบราว์เซอร์	71
3.46	ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ	72
3.47	การทดสอบคุณภาพสัญญาณเทียบกับการสูญเสียเชิงวิถึ	72
3.48	ออกแบบขนาดชิ้นส่วนอะคริลิกด้วยโปรแกรม Auto Laser ของโหมดที่ 1	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.49	ออกแบบขนาดชิ้นส่วนอะคริลิกด้วยโปรแกรม Auto Laser ของโหนดที่ 2 และโหนดที่ 3	73
3.50	ออกแบบขนาดชิ้นส่วนอะคริลิกด้วยโปรแกรม Auto Laser ของเกตเวย์	74
3.51	ทำการประสานชิ้นส่วนอะคริลิกด้วยน้ำยาประสานอะคริลิก โหนด 1	74
3.52	ทำการประสานชิ้นส่วนอะคริลิกด้วยน้ำยาประสานอะคริลิก โหนด 2 และ โหนด 3	75
3.53	ทำการประสานชิ้นส่วนอะคริลิกด้วยน้ำยาประสานอะคริลิกเกตเวย์	75
3.54	ทำการเจาะอะคริลิกเพื่อยึดบานพับกล่องอุปกรณ์ใส่โหนดที่ 1	76
3.55	ทำการเจาะอะคริลิกเพื่อยึดบานพับกล่องอุปกรณ์ใส่โหนดที่ 2 และโหนดที่ 3	76
3.56	ทำการเจาะอะคริลิกเพื่อยึดบานพับกล่องอุปกรณ์ใส่เกตเวย์	77
3.57	การทดสอบเซนเซอร์ DHT22 ในสภาพอากาศปกติ	77
3.58	การทดสอบเซนเซอร์ MQ7 ในสภาพอากาศปกติ	78
3.59	การทดสอบเซนเซอร์ MQ7 ในสภาพอากาศปกติ	79
3.60	การทดสอบเซนเซอร์ DHT22 เพื่อทดสอบอุณหภูมิและความชื้น	79
3.61	การทดสอบเซนเซอร์ MQ7 ขณะเกิดการเผาไหม้	80
3.62	การทดสอบเซนเซอร์ MQ135 ขณะเกิดการเผาไหม้	81
3.63	การทดสอบเซนเซอร์ DHT22 เพื่อทดสอบอุณหภูมิและความชื้น หลังเกิดการเผาไหม้	81
3.64	การทดสอบเซนเซอร์ MQ7 หลังเกิดการเผาไหม้	82
3.65	การทดสอบเซนเซอร์ MQ135 หลังเกิดการเผาไหม้	82
3.66	พื้นที่ป่าลักษณะพื้นที่สี่เหลี่ยมโดยวางระยะห่างของโหนดต่างกัน 1 กิโลเมตร	83
3.67	พื้นที่ป่าลักษณะพื้นที่สี่เหลี่ยมโดยวางระยะห่างของโหนดต่างกัน 500 เมตร	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	ผลลัพธ์ที่ได้จากเซนเซอร์	89
4.2	ผลลัพธ์ที่ได้จากเกตเวย์บนหน้าจอแสดงผล	90
4.3	ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นบนหน้าจอแสดงผลของ Server	90
4.4	ผลลัพธ์ที่ได้จากการที่โหนดสื่อสารกับเกตเวย์ได้โดยตรง	91
4.5	ผลลัพธ์ที่ได้ในฝั่งของเกตเวย์	92
4.6	ผลลัพธ์ที่ได้ในฝั่งของโหนดต้นทางโดยโหนด 1 ส่งข้อมูลผ่านโหนดอื่นๆ ไปยังเกตเวย์	92
4.7	ผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่อง Spectrum Analyzer ที่ความถี่ 923.20 MHz	93
4.8	ผลลัพธ์จากโหนดที่หนึ่งหรือต้นทางส่งข้อมูลที่อยู่ใน Flash-Memory ไปยังเกตเวย์	93
4.9	ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บบน Server	94
4.10	หน้าเว็บของระบบป้องกันไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa	95
4.11	หน้า Dashboard ของระบบป้องกันไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa	96
4.12	กราฟแสดงค่าของ Path loss ที่วัดได้จริง	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	6
2.2	6
2.3	7
2.4	13
2.5	15
2.6	20
2.7	22
2.8	22
3.1	38
3.2	55
4.1	97
4.2	99
4.3	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน โลกเราได้รับผลกระทบ จากการที่โลกร้อนขึ้นทุกปี ซึ่งสภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาที่เราทุกคนต่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ไม่ว่าจะจากคนสัตว์รวมทั้งสิ่งมีชีวิตในป่าและแน่นอนว่าหนึ่งในปัญหาที่เกิดจากสภาวะโลกร้อนคือการเกิดไฟป่า จากสถานการณ์ไฟป่าในปัจจุบันจะเห็นได้ว่า เกิดไฟไหม้ป่าในหลายพื้นที่ ทั้งป่าธรรมชาติ และป่าอนุรักษ์ ที่นับวันยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น อีกทั้งในการเกิดไฟไหม้ป่าแต่ละครั้ง นอกจากก่อให้เกิดความเสียหายแก่พื้นที่นั้นๆ ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศของโลกอีกด้วย ยกตัวอย่าง เช่น สัตว์ป่าและสิ่งมีชีวิตได้รับบาดเจ็บล้มตายจากไฟป่า บางส่วนที่หนีรอดได้ก็ขาดที่อยู่อาศัยและแหล่งอาหาร ผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของมนุษย์ เกิดจากการที่ไฟป่าลุกลามเข้าหมู่บ้านและทรัพย์สินประชาชน สร้างฝุ่นควันก่อให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ

ทางผู้จัดทำเห็นถึงความสำคัญของชีวิตและการสูญเสีย ของสิ่งมีชีวิตสัตว์ป่ารวมทั้งระบบนิเวศที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดไฟป่า จึงมีความประสงค์ทำโปรเจกต์ เรื่อง ระบบป้องกันไฟป่าโดยใช้ LoRa เพื่อเป็นตัวกลางในการเฝ้าระวังการเกิดไฟป่าและเพื่อให้สามารถเตรียมความพร้อมรับมือกับการเกิดไฟป่าได้

1.2 วัตถุประสงค์

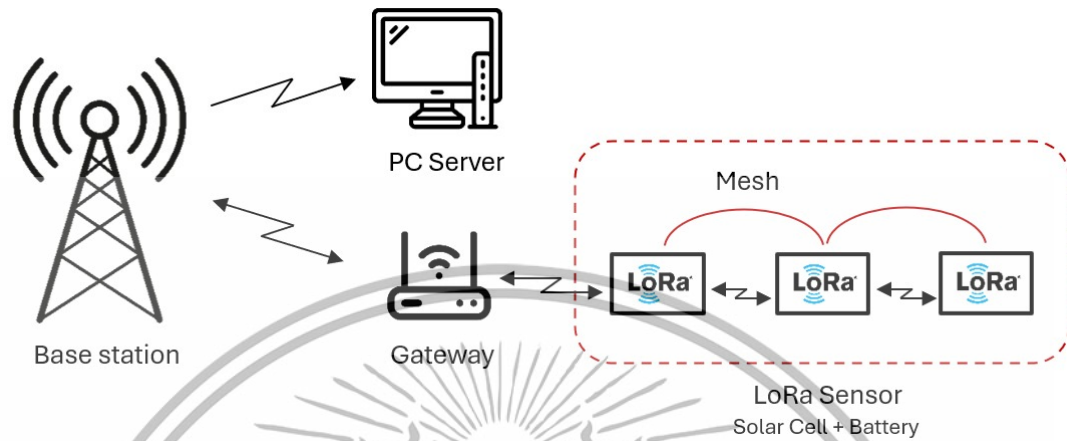
1. เพื่อเป็นระบบเตือนภัยให้สามารถเตรียมความพร้อมรับมือกับการเกิดไฟป่าได้
2. เพื่อทำการศึกษาระบบเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa

1.3 ขอบเขตของปริญญาณิพนธ์

เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับระบบนิเวศและสัตว์ป่าโดยใช้ เซนเซอร์ ตรวจสอบปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศจากนั้นส่งข้อมูลกลับมาที่ Server โดยใช้เทคโนโลยี LoRa ในการส่งเพื่อนำข้อมูลมาแสดงเป็น Dashboard โดยบล็อกไดอะแกรมของโครงการแสดงดังรูปที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บล็อกไดอะแกรมของโครงงานที่นำเสนอ



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมของโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายและสาเหตุการเกิดไฟป่า

2.1.1 ความหมายของไฟป่า

ไฟป่า (Wildfire) คือไฟที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงธรรมชาติ เช่น เศษดิน เศษหญ้า กิ่งไม้ และใบไม้แห้ง รวมไปถึงต้นไม้ที่ยังมีชีวิตอยู่ภายในป่า (Forest) หรือสวนป่า (Urban Forest) จนเกิดไฟลุกลามที่ปราศจากการควบคุม สามารถลุกลามต่อเนื่องอย่างอิสระ โดยไม่มีขอบเขต

2.1.2 สาเหตุการเกิดไฟป่า

ไฟป่าสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทหลักคือ สาเหตุธรรมชาติและสาเหตุจากกิจกรรมของมนุษย์

2.1.2.1 สาเหตุธรรมชาติ

ไฟป่าสามารถเกิดขึ้นได้ในสภาพอากาศแห้งแล้ง เมื่อมีประกายไฟจากฟ้าผ่า กิ่งไม้เสียดสีกัน เหตุภูเขาไฟระเบิด หรือเมื่อแสงแดดตกกระทบผลึกหินหรือส่องผ่านหยดน้ำ สามารถเป็นชนวนของการเผาไหม้และก่อให้เกิด ไฟป่าขึ้นเองได้ในธรรมชาติ

2.1.2.2 สาเหตุจากมนุษย์

ไฟป่าที่เกิดในประเทศกำลังพัฒนาในเขตร้อนส่วนใหญ่จะมีสาเหตุมาจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยมีสาเหตุต่าง ๆ กันไป ได้แก่ การจุดไฟเพื่อเก็บหาของป่า การเผาไร่ การจุดไฟเพื่อล่าสัตว์ ลอบจุดไฟเผาป่าเพื่อให้พื้นที่โล่งเป็นทุ่งหญ้า สำหรับเลี้ยงปศุสัตว์ หรืออาจเกิดจากความประมาทและความคึกคะนอง สำหรับประเทศไทยจากการเก็บสถิติไฟป่า 73,630 ครั้ง พบว่าเกิดจากสาเหตุตามธรรมชาติคือฟ้าผ่าเพียง 4 ครั้ง ดังนั้นถือได้ว่าไฟป่าในประเทศไทยเกือบทั้งหมดมีสาเหตุมาจากการกระทำของมนุษย์ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 องค์ประกอบของไฟป่า

ไฟป่าเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีองค์ประกอบที่จำเป็น 3 ประการ ที่เรียกรวมกันว่า “สามเหลี่ยมไฟ” (Fire Triangle) มารวมตัวกันในสัดส่วนที่เหมาะสมที่จะเกิดการสันดาป (Combustion) และทำให้การสันดาปสามารถดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง โดยองค์ประกอบที่จำเป็น 3 ประการของการเกิดไฟ แสดงดังรูปที่ 2.1



1) เชื้อเพลิง (Fuel) คืออินทรีย์สารทุกชนิดที่มีคุณสมบัติติดไฟได้ง่ายหรือวัสดุไวไฟทั้งหลาย เช่น หญ้าแห้ง วัชพืช กิ่งไม้ ต้นไม้ พุ่มไม้ และตอไม้ รวมไปถึงอาคารบ้านเรือน ดินอินทรีย์ (Peat Soil) และชั้นถ่านหินที่อยู่ใต้ผิวดิน (Coal Seam)

2) อากาศ (Air) คือแหล่งสะสมออกซิเจน (Oxygen) ที่สนับสนุนกระบวนการเผาไหม้ (Combustion) ซึ่งปริมาณและสัดส่วนของออกซิเจนภายในป่า ณ จุดใดจุดหนึ่งอาจแปรผันตามทิศทางการเคลื่อนไหวและความเร็วลม

3) แหล่งความร้อน (Heat Source) คือตัวจุดประกายไฟที่ทำให้เกิดไฟป่า ทั้งแหล่งความร้อนในธรรมชาติ เช่น ไฟผ่า การเสียดสีของกิ่งไม้ หรือการระเบิดของภูเขาไฟ รวมไปถึงแหล่งความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การตั้งแคมป์ไฟ การเผาหญ้า การเผาขยะ หรือการทิ้งก้นบุหรี่ข้างทาง เป็นต้น [2]

2.1.4 ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้

การเผาไหม้ควันทันไฟป่าเกิดจากการสันดาปไม่สมบูรณ์ การสันดาปหรือการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาเคมีอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นระหว่างเชื้อเพลิงและตัวออกซิไดซ์ โดยการสันดาปหรือการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน จะได้รับพลังงาน ความร้อน หรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ออกมา ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์

ปฏิกิริยาการเผาไหม้

การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (O₂ เพียงพอ) เป็นดังสมการที่ (2.1)



การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (O₂ ไม่เพียงพอ) เป็นดังสมการที่ (2.2)



2.1.4.1 การเผาไหม้ที่สมบูรณ์

การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารไฮโดรคาร์บอน โดยทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ซึ่งจะได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ออกมาเท่านั้น คาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาวะปกติจะเป็นก๊าซ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส หนักกว่าอากาศ โอกาสการเกิดพิษของแก๊สชนิดนี้ ในการทำงานโดยปกติมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อย อย่างไรก็ตามหากได้รับแก๊สนี้เข้าไปในปริมาณมาก จะทำให้หายใจเร็ว ชีพจรเร็ว หัวใจเต้นเร็ว กตสมอง ซึม มึนงง สับสน หมดสติ และอาจเสียชีวิตได้

2.1.4.2 การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อออกซิเจนไม่มีประสิทธิภาพมากพอหรือปริมาณไม่มากพอ ที่จะทำให้เชื้อเพลิงเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้ทั้งหมด ดังนั้น จึงเกิดเป็นผลิตภัณฑ์บางอย่างหลงเหลืออยู่นอกจากน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ก่อให้เกิดควันท่อ ฝุ่นละออง หมอก ควัน และแก๊สพิษต่าง ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂), ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และ ก๊าซโอโซน (O₃) เป็นต้น

[3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ปริมาณแก๊สที่เป็นปัจจัยในการเกิดไฟฟ้า

ปริมาณแก๊สที่เป็นปัจจัยในการเกิดไฟฟ้า มีหลายชนิด โดยหลักๆ แก๊สที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสันดาปและการลุกไหม้ของวัตถุดิบในธรรมชาติ ที่ผู้จัดทำนำมาเป็นตัววิเคราะห์การเกิดไฟฟ้าในปฏิกิริยานิวเคลียร์มีดังนี้ อุณหภูมิ ความชื้น ระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ [4]

ตารางที่ 2.1 อุณหภูมิและความชื้นที่เป็นปัจจัยในการเกิดไฟฟ้า

ระดับอุณหภูมิและความชื้น		ผลกระทบ
อุณหภูมิ	ความชื้น	
น้อยกว่า 32 องศาเซลเซียส	มากกว่า 72 %	เป็นระดับปกติในสภาพแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกอาคาร ไม่มีการเผาไหม้
32-33 องศาเซลเซียส	62-72 %	มีการเผาไหม้เกิดขึ้น และมีการใช้เชื้อเพลิงบางส่วน
มากกว่า 33 องศาเซลเซียส	น้อยกว่า 62 %	มีการเผาไหม้อย่างรุนแรง

ตารางที่ 2.2 ระดับความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เป็นปัจจัยในการเกิดไฟฟ้า

ระดับความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์	ผลกระทบ
ต่ำกว่า 30 ppm	ระดับต่ำ เป็นระดับปกติในสภาพแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกอาคาร ไม่มีการเผาไหม้
30-100 ppm	ระดับปานกลาง มีการเผาไหม้เกิดขึ้นแต่ไม่สมบูรณ์
สูงกว่า 100 ppm	ระดับสูง มีการเผาไหม้อย่างรุนแรง
800 ppm หรือสูงกว่า	ระดับสูงมาก เป็นอันตรายต่อสุขภาพและชีวิตมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ระดับความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เป็นปัจจัยในการเกิดไฟฟ้า

ระดับความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	ผลกระทบ
ต่ำกว่า 500 ppm	ระดับต่ำ เป็นระดับปกติในสภาพแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกอาคาร ไม่มีการเผาไหม้
500-5,000 ppm	ระดับปานกลาง มีการเผาไหม้เกิดขึ้น และมีการใช้เชื้อเพลิงบางส่วน
5,000-40,000 ppm	ระดับสูง มีการเผาไหม้อย่างรุนแรง
สูงกว่า 40,000 ppm	ระดับสูงมาก บ่งชี้ถึงการเผาไหม้ที่รุนแรงและไม่สามารถควบคุมได้

2.3 พิจารณาความสูงของการติดตั้งเซนเซอร์

ความสูงในการติดตั้งอุปกรณ์ขึ้นอยู่กับการใช้งานโดยพิจารณาจากพฤติกรรมไฟฟ้าในแต่ละชนิดและความสูงยอดเปลวไฟ โดยประเทศไทยมักเกิดไฟฟ้าช่วงหน้าแล้ง (ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกรกฎาคม) เกิดมากที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ เวลา 10.00 - 16.00 น. ไฟฟ้าที่พบในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นไฟผิวดิน ไหม้เป็นหย่อม ไม่รุนแรงมาก มักเกิดใน ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง ป่าสน ทุงหญ้า ไนไร่ร้าง และสวนป่า ซึ่งมีชนิดไฟฟ้าและความสูงดังนี้ [5]

1) ป่าเบญจพรรณหรือป่าผสมผลัดใบ

ชนิดไฟฟ้า: ไฟผิวดิน และ ไฟผิวดิน

ความยาวเปลวไฟ: 0.8 – 1.5 เมตร

2) ป่าเต็งรัง

ชนิดไฟฟ้า: ไฟผิวดิน

ความยาวเปลวไฟ: 0.5 – 8 เมตร

3) ป่าสน

ชนิดไฟฟ้า: ไฟผิวดิน

ความยาวเปลวไฟ: 1 – 6 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) สวนป่า

ชนิดไฟฟ้า: ไฟผิวดิน และ ไฟเรือนยอด

ความยาวเปลวไฟ: 2.5 เมตร

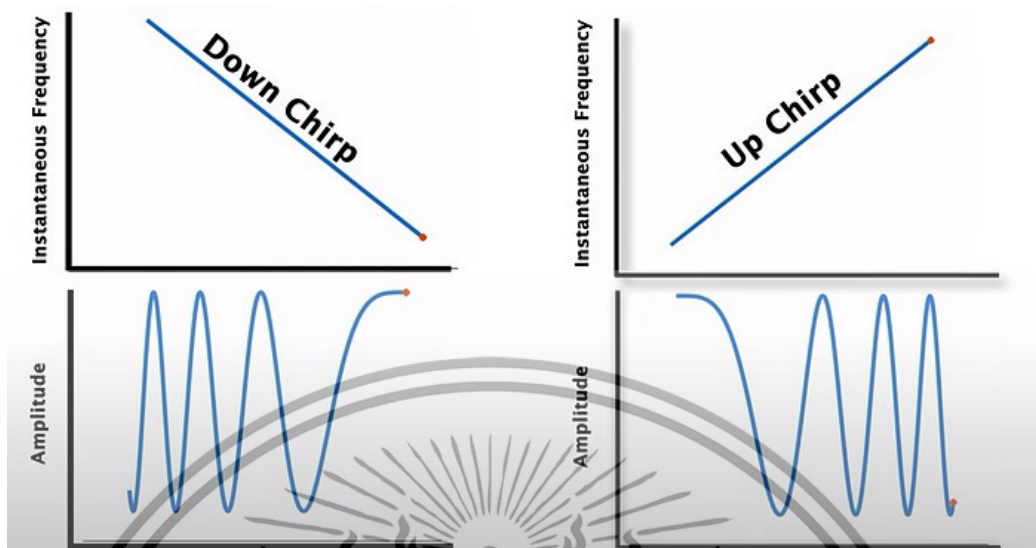
2.4 โครงข่ายแบบตาข่าย (Mesh Network)

โครงข่ายแบบตาข่าย (Mesh topology) เป็นรูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่ายที่แต่ละอุปกรณ์ (End Node) ในระบบเครือข่ายจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ โดยตรงหรือผ่านอุปกรณ์อื่น ทำให้เกิดเครือข่ายที่มีความยืดหยุ่นและความน่าเชื่อถือสูง ในเครือข่ายแบบนี้ ถ้าอุปกรณ์หนึ่งเกิดขัดข้อง ระบบจะสามารถปรับเปลี่ยนเส้นทางการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่นได้อย่างอิสระ โดยไม่ทำให้เครือข่ายทั้งหมดหยุดทำงาน ข้อดีของโครงข่ายแบบตาข่ายคือความทนทานและการกระจายความเสี่ยง หากมีปัญหาในเส้นทางการเชื่อมต่อ เครือข่ายยังคงทำงานได้โดยใช้เส้นทางอื่น ซึ่งเหมาะกับระบบเครือข่ายที่ต้องการความมั่นคงสูง เช่น ระบบ IoT ระบบเครือข่าย LoRa ที่มีระยะทางการส่งข้อมูลค่อนข้างไกล หากไม่สามารถส่งถึงโหนดที่ต้องการก็สามารถส่งผ่านโหนดอื่น ๆ ได้อย่างไรก็ตาม โครงข่ายนี้มีความซับซ้อนในการตั้งค่าและค่าใช้จ่ายสูงกว่าโครงข่ายแบบอื่น ๆ [6]

2.5 LoRa

LoRa หรือ Long Range Radio เป็นการมอดูเลตไร้สายที่มีการออกแบบมาให้มีการส่งที่ข้อมูลทีไกล และใช้พลังงานน้อย เหมาะสำหรับอุปกรณ์ IoT ที่ต้องการส่งข้อมูล เช่น ค่าอุณหภูมิ, ความชื้น และค่าต่างๆ ที่ไม่ต้องการความเร็วในการส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่สูงเทคโนโลยี LoRa ถูกพัฒนาโดยบริษัท Semtec Corporation มีพื้นฐานมาจากการมอดูเลต Chirp Spread Spectrum (CSS) โดย Chirp ในที่นี้คือ Compressed High Intensity Radar Pulse เป็นสัญญาณที่ความถี่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามระยะเวลา ทำให้สามารถรับสัญญาณที่มี sensitivity ต่ำและ ทนทานการแทรกสอดได้ดี ถูกออกแบบมาเพื่อ การสื่อสารในระยะไกลโดยไม่ถูกรบกวนจากสัญญาณแทรกสอด แบ่งได้เป็นสองประเภทคือ Up chirp (ความถี่เพิ่มขึ้น) และ Down chirp (ความถี่ลดลง) แสดงดังรูปที่ 2.2 [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 สัญญาณรูปแบบ Chirp ทั้ง Up chirp และ Down chirp

CSS หรือ Chirp Spread Spectrum เป็นเทคนิคที่จะช่วยสัญญาณสามารถที่จะเดินทางได้ไกล

- 1) แบนด์วิดท์ คูณกับ เวลา มีค่ามากกว่า 1 เสมอ ($B * T > 1$)
- 2) CSS ต้านทานต่อ Doppler effect
- 3) ใช้ พลังงาน และ data rate ต่ำ

2.5.1 แบนด์วิดท์ของ LoRa

แบนด์วิดท์คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณและปริมาณของข้อมูลสูงสุดที่สามารถสื่อสารได้ต่อหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น Hertz (Hz) ในทางทฤษฎีเราสามารถใช่ แบนด์วิดท์ใดๆก็ได้ แต่ในทางปฏิบัติแล้วเรามักจะถูกจำกัดด้วยสเปกตรัมที่มีอยู่เสมอ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของกฎหมายการใช้งาน และ ข้อจำกัดทางกายภาพของเครื่องรับ เพราะอย่างนั้น แบนด์วิดท์ที่ใช้กันทั่วไปใน LoRa ที่มีความถี่ต่ำ GHz ได้แก่ 125 kHz, 250 kHz และ 500 kHz ในย่านความถี่ HF ISM 868 และ 915 MHz โดยเกณฑ์หลักๆของแบนด์วิดท์นั้นคือ

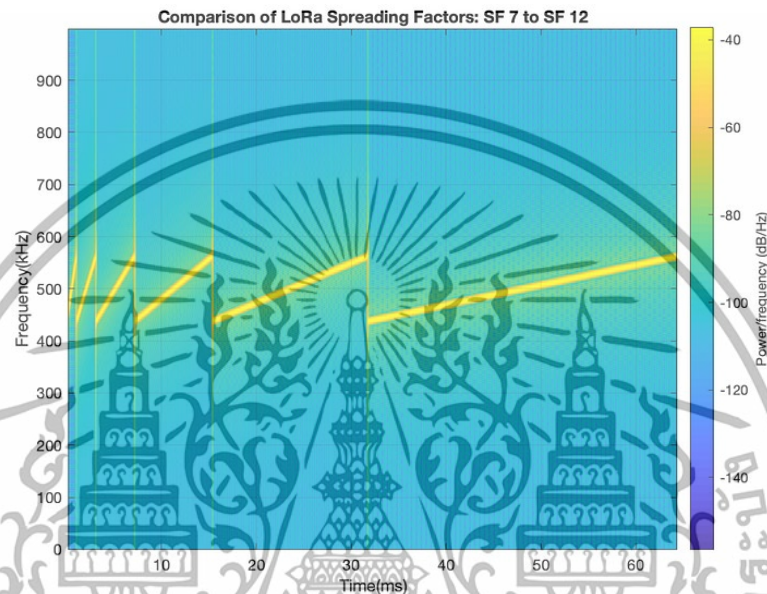
- หากแบนด์วิดท์มีค่าสูง, อัตราข้อมูลก็จะสูงตามไปด้วย
- หากแบนด์วิดท์มีค่าต่ำ, อัตราข้อมูลก็จะยิ่งต่ำลงไปด้วย

สำหรับอัตราข้อมูล (Data Rate) สิ่งสำคัญที่ต้องใช้ในการพิจารณาอีกสองประการ คือ Spreading Factor และ อัตราการเข้ารหัส (Coding Rate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 Spreading Factor (SF)

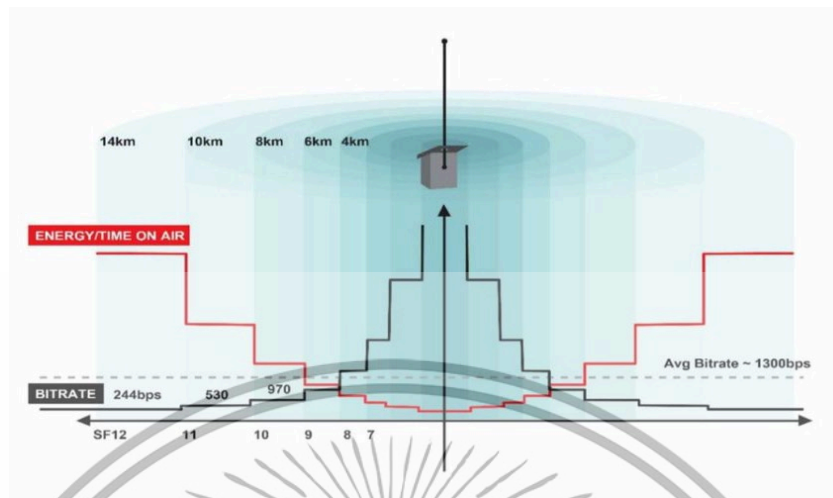
Spreading Factor เป็นอัตราส่วนระหว่าง แบนด์วิดท์ และ อัตราข้อมูล จะเป็นตัวบอกว่าสัญญาณ Chirp (ข้อมูล) ของเรานั้นมีการ sweep เร็วหรือช้าแค่ไหนในช่วงแบนด์วิดท์ที่เราเลือกไว้ แสดงดังรูปที่ 2.3 [8]



รูปที่ 2.3 หน้าตาของสัญญาณของ Spreading Factor แต่ละค่า

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าหากค่า Spreading Factor มีค่าสูงขึ้น สเปกตรัมก็จะยิ่งกวาดมากขึ้นใช้เวลามากขึ้น แต่ก็ทำให้ฝั่งรับนั้นมีการถอดรหัสของสัญญาณง่ายขึ้นด้วยเช่นกัน หมายความว่าเราสามารถเลือกใช้ Spreading Factor เพื่อเพิ่มระยะเวลาการสื่อสารให้ไกลขึ้นได้โดยที่ยังสามารถมีการติดต่อกันได้อยู่ ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้เสาอากาศขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มเกนและระยะส่ง การที่สเปกตรัมกวาดมากขึ้นนั้นหากแบนด์วิดท์ของเรานั้นมีค่าคงที่ นั้นหมายความว่ายิ่ง Spreading Factor มีค่าสูงขึ้น เราก็จะได้ อัตราข้อมูล(Symbol Rate) ที่ต่ำลง และมีระยะเวลาในการส่งบนอากาศนานขึ้น (Time on Air) ซึ่งก็หมายความว่าเวลาในการส่งข้อมูลก็นานขึ้นด้วย ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 Spreading Factor เทียบกับ บิทเรท และ ระยะทาง

หากต้องการที่จะคำนวณอัตราสัญลักษณ์(Symbol rate) จากแบนด์วิดท์ที่ได้จากสมการที่ (2.3)

$$R_s = \frac{BW}{SF} \tag{2.3}$$

เมื่อ
 R_s = Symbol Rate
 SF = Spreading Factor

ดังนั้นจึงสามารถที่จะสรุปได้ว่า หากเพิ่ม Spreading Factor ขึ้น จะลด อัตราสัญลักษณ์ (Symbol rate) ลงครึ่งหนึ่ง และ ค่าของ Spreading Factor จะมีค่าเท่ากับ จำนวนบิตต่อ หนึ่งสัญลักษณ์

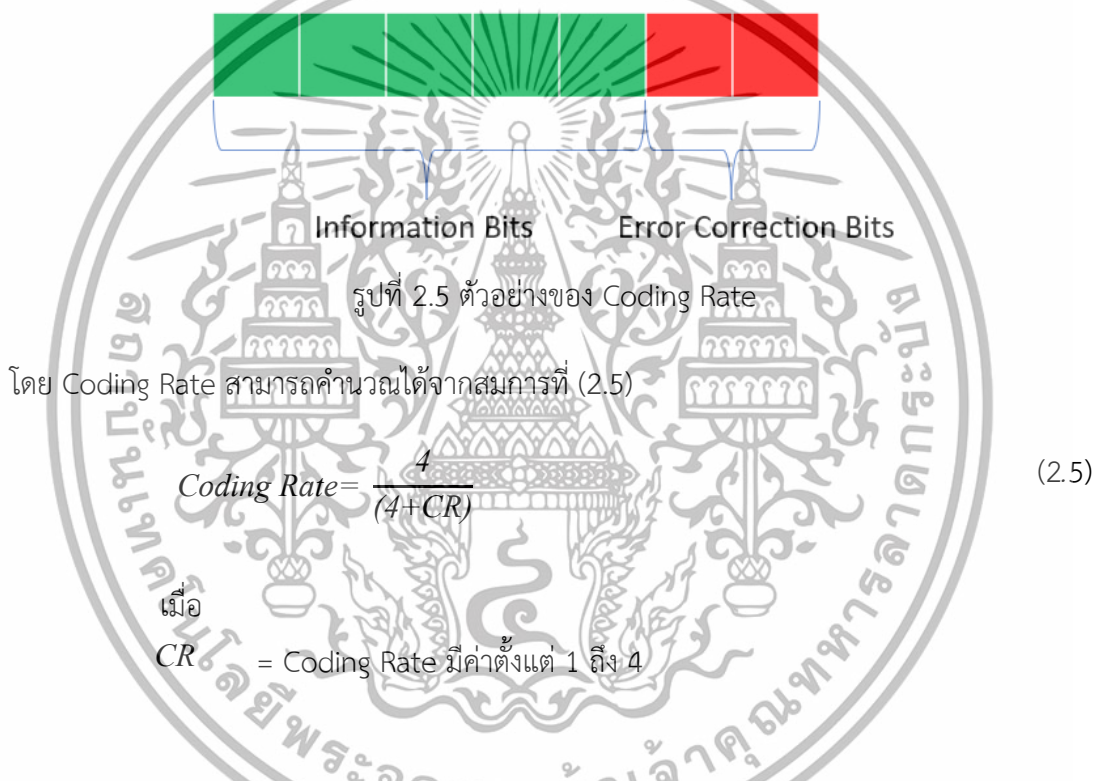
ในการมอดูเลตข้อมูลนั้นจะใช้ Chirp Modulation ซึ่งก็จะขึ้นกับ Spreading Factor โดยค่าที่เหมาะสมคือช่วง 7 - 12 ซึ่งทำให้สามารถหา Chip ได้จากสมการที่ (2.4)

$$2^{SF} \tag{2.4}$$

ยกตัวอย่าง หากกำหนดให้ Spreading Factor มีค่าเท่ากับ 7 จะมีทั้งหมด 128 Chips ที่เป็นไปได้

2.5.3 Coding Rate

อัตราการเข้ารหัส หรือ Coding Rate เป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของการแก้ไขข้อผิดพลาด(error-correcting) รูปแบบจะแสดงให้เห็นเป็นเลขของอัตราส่วน เช่น 4/5, โดยเลขด้านบนจะสื่อถึง จำนวนบิตของข้อมูล ส่วนตัวหารคือ จำนวนบิตที่ส่งไปทั้งหมด โดย จำนวนบิตของข้อมูลจะต้องมีค่าน้อยกว่าจำนวนบิตที่ส่งไปทั้งหมดเสมอ เพราะถ้าหากมีค่าเท่ากันทั้งเศษส่วนจะทำให้ไม่มีการ error correcting บิตสำรองที่ใส่ไว้ในข้อมูลใช้เพื่อกันการ คีโมดุลชัน ที่ผิดพลาด ดังรูปที่ 2.5 [9]

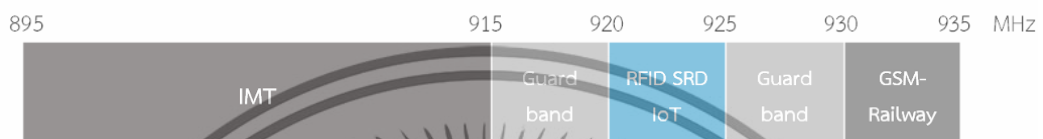


2.5.4 ช่วงความถี่ที่ทำงานในประเทศไทย

อ้างอิงจากประกาศ กสทช. พ.ศ. 2563 คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz เป็นคลื่นความถี่ในย่าน UHF (Ultra High Frequency: 300 - 3,000 MHz) และเป็นส่วนหนึ่งของคลื่นความถี่ ISM (Industrial, Scientific and Medical frequency bands) ย่าน 915 MHz (ช่วงความถี่ตั้งแต่ 902 - 928 MHz) โดยปัจจุบันในประเทศไทย กำหนดให้มีการใช้คลื่นความถี่ย่าน 920 - 925 MHz ร่วมกันเป็นการทั่วไป และมีคลื่นความถี่ใกล้เคียงที่ต่ำกว่า คือ คลื่นความถี่ย่าน 895 - 915 MHz ซึ่งปัจจุบันถูกใช้สำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (International Mobile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Telecommunications: IMT) และคลื่นความถี่ใกล้เคียงที่สูงกว่า คือ 930 - 935 MHz ซึ่งถูกกำหนดให้ใช้สำหรับระบบอาณัติสัญญาณของระบบคมนาคมขนส่งทางราง (GSM-Railway: GSM-R) โดยมีแถบความถี่ป้องกัน (Guard band) ด้านละ 5 MHz เพื่อป้องกันการรบกวนจากการใช้งานระหว่างกิจการ ดังรูปที่ 2.6 โดยที่โครงข่ายสื่อสารบริเวณกว้างกำลังส่งต่ำ Narrow-band Low-Power Wide-Area Network (LPWAN) เป็นแบบจำลองสำหรับระบบโครงข่าย LoRa [10]



รูปที่ 2.6 ช่วงของความถี่ที่อนุญาตตามระเบียบ กสทช.

ตารางที่ 2.4 ค่าพารามิเตอร์สำหรับการจำลองระบบ

พารามิเตอร์ สำหรับการจำลองระบบ (Simulation Parameters)	LoRa
ความถี่กลาง/ความถี่ใช้งาน (Frequency range)	920 – 925 MHz
Bandwidth	400 kHz
Tx power E.I.R.P.	50 mW, 500 mW, 4 W (17, 27, 36 dBm)
Typical operational range urban environment	10 km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณ Bit rate ได้จากสมการที่ (2.6)

$$R_b = SF \times \frac{4}{(4+CR)} \times \frac{BW}{2^{SF}} \quad (2.6)$$

เมื่อ

R_b = Data rate หรือ Bit rate

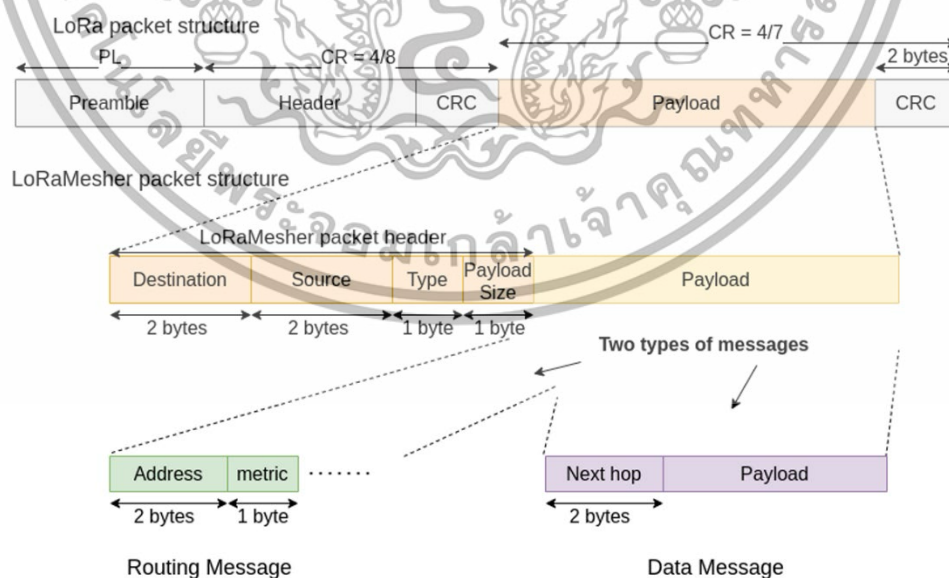
SF = Spreading Factor (6 ถึง 12)

CR = Code Rate (1 ถึง 4)

BW = Bandwidth (7.8 kHz ถึง 500 kHz)

2.5.5 เฟรมข้อมูล

แพ็คเกจข้อมูลของ LoRa ขนาดจำกัดไม่เกิน 255 ไบต์ จากรูปที่ 2.7 แพ็คเกจ LoRa ประกอบด้วย Header และ Payload ในส่วนของ Header ประกอบด้วย 4 ไบต์ เพื่อเก็บที่อยู่ของต้นทางและปลายทาง 1 ไบต์ เพื่อระบุประเภทข้อมูล และ 1 ไบต์เพื่อแสดงขนาดของ Payload ดังรูปที่ 2.7 [11]



รูปที่ 2.7 เฟรมข้อมูลของ LoRa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การบริโภคพลังงาน (Power Consumption)

ESP32 สามารถสลับโหมดพลังงานต่างๆได้ทำให้มีการจัดการพลังงานที่ดี ซึ่งแต่ละเงื่อนไขมีรายละเอียดการใช้พลังงานแสดงดังตารางที่ 2.5 [12]

ตารางที่ 2.5 การใช้พลังงานของ ESP32

เงื่อนไข	พลังงานที่ใช้
LoRa 10dB output	50 mA
LoRa 12dB output	60 mA
LoRa 15dB output	110 mA
LoRa 20dB output	130 mA

2.6.1 การคำนวณพลังงานต่อบิต (Energy Per Bit)

พลังงานต่อบิต (Energy per bit) คำนวณได้จากสมการที่ (2.7)

$$E_b = \frac{P}{R_b} \quad (2.7)$$

เมื่อ

E_b = Energy Per Bit

P = Power Consumption

R_b = Data Rate

2.7 Battery

การประมาณอายุการใช้งานจากแบตเตอรี่สำหรับอุปกรณ์ LoRa ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลากหลายได้แก่ การใช้พลังงานของอุปกรณ์ ประเภทและความจุของแบตเตอรี่ ความถี่และระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลล้วนมีผลต่ออายุการใช้งานแบตเตอรี่ โดยต้องเริ่มที่การพิจารณา การใช้พลังงาน (Power Consumption) โดยพิจารณาจาก Data sheet ในส่วนข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ และจำแนกการใช้พลังงานในโหมดต่างๆ เช่น sleep, transmit, receive ในแต่ละโหมดใช้กระแสไฟและระยะเวลาแตกต่างกัน จากนั้นคำนวณหาพลังงานรวมที่ใช้ในแต่ละวันเพื่อประมาณอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่ที่ใช้สำหรับโมเดลนี้คือ Lithium 3.7V [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 เซนเซอร์

2.8.1 DHT-22

DHT22 เป็นเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับวัด อุณหภูมิ และ ความชื้นสัมพัทธ์ ของอากาศ โดยมีความแม่นยำสูงและใช้งานง่าย เป็นที่นิยมใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์และ IoT (Internet of Things) สำหรับการตรวจสอบสภาพแวดล้อม อีกทั้ง DHT22 เป็นเซนเซอร์วัดความชื้น และอุณหภูมิ ที่ไม่ต้องปรับค่าใดๆ สามารถแสดงผล ตามค่าที่อ่านได้จากขา ดิจิตอลได้เลย โดย เซนเซอร์ DHT-22 แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 เซนเซอร์ DHT-22

2.8.1.1 การใช้งาน Pins ของ เซนเซอร์ DHT-22

การเชื่อมต่อ Pins เพื่อใช้งาน เซนเซอร์ DHT-22 ร่วมกับ โหนด MCU ประกอบไปด้วย

- VCC : ขาไฟฟ้าบวก (+) โดยปกติใช้แรงดัน 3.3V ถึง 6V โดยในที่นี้ใช้ 5V
- GND : ขากราวด์ลบ (-)
- DATA : ขาส่งข้อมูล (Digital Output) ซึ่งบน เซนเซอร์ DHT-22

จะแสดงด้วย Out [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 MQ-7

เซนเซอร์ MQ-7 ใช้สำหรับตรวจวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ส่งผลให้เราไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า จึงมีความจำเป็นต้องใช้เซนเซอร์ โดย MQ-7 เป็นแก๊สที่อันตรายต่อร่างกายมนุษย์ มักเกิดจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์ การเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม MQ-7 สามารถวัดความเข้มข้นได้ตั้งแต่ 10 - 10,000 ppm (ส่วนในล้านส่วน) โดยส่งค่าออกมาเป็นสัญญาณความต้านทาน โดย MQ-7 ให้ค่าออกมาเป็นดิจิตอล และอนาล็อก ซึ่งเราสามารถเลือกขาต่อใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ตามต้องการ เซนเซอร์ MQ-7 แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 เซนเซอร์ MQ-7

2.8.2.1 การใช้งาน Pins ของ เซนเซอร์ MQ-7

- VCC : ขาไฟฟ้าบวก (+) แรงดัน 5V
- GND : ขากราวด์ลบ (-)
- AO (Analog Output) : Pin ส่งออกค่า Analog
- DO (Digital Output) : Pin ส่งออกค่า Digital [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 MQ-135

MQ-135 เป็น Air Quality เซนเซอร์ คือเซนเซอร์ที่ใช้วัดคุณภาพของอากาศ ซึ่ง MQ-135 ไม่เป็นเพียงเซนเซอร์วัดแก๊สใดแก๊สหนึ่งโดยเฉพาะ โดย MQ-135 สามารถตรวจจับแก๊สได้หลายชนิด ได้แก่ NH₃, NO_x, Alcohol, Benzene, CO₂ อีกทั้งยังสามารถตรวจจับควันได้อีกด้วย ในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ เราใช้ เซนเซอร์ MQ-135 สำหรับตรวจวัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ MQ-135 นั้นสามารถตรวจจับได้ในช่วง 10 - 10000 ppm (ส่วนในล้านส่วน) ให้ค่าการวัดออกมาเป็นดิจิตอลและอนาล็อก โดยเราสามารถเลือกขาต่อใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ตามต้องการ เซนเซอร์ MQ-135 แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เซนเซอร์ MQ-135

2.8.3.1 การใช้งาน Pins ของ เซนเซอร์ MQ-135

- VCC : ขาไฟฟ้าบวก (+) แรงดัน 5V
- GND : ขากราวด์ลบ (-)
- AO (Analog Output) : Pin ส่งออกค่า Analog
- DO (Digital Output) : Pin ส่งออกค่า Digital [16]

2.9 การปรับเทียบ (Calibration)

การปรับเทียบค่าที่เซนเซอร์ที่อ่านได้ให้มีความเที่ยงตรงกับความเป็นจริง ซึ่งพิจารณาประกอบกับ Data Sheet ซึ่งหลักการทำงานของเซนเซอร์เป็นการแปลงค่าที่ได้รับมาจากขา Analog ของเซนเซอร์ให้อยู่ในรูป ppm อ้างอิงจาก Data Sheet เซนเซอร์ MQ-135 วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ตั้งแต่ 10-1000 ppm และคุณสมบัติของบอร์ด ESP32 12 บิตแสดงว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากอ่านค่า ADC เท่ากับ 0 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีค่า 10 ppm และเมื่อ ADC เท่ากับ 4095 ปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์มีค่า 1000 ppm แต่เนื่องจากเซนเซอร์ที่วัดอาจอ่านค่าได้ไม่ตรงกับความเป็นจริงจึงต้องมีการปรับเทียบกับเซนเซอร์มาตรฐาน โดยทำการ Offset ค่า ADC เพื่อให้ได้ระดับ ppm ที่ตรงกับความเป็นจริง ในการปรับเทียบค่า MQ-7 ทำเช่นเดียวกันโดยเปลี่ยนช่วงที่สามารถวัดระดับคาร์บอนมอนอกไซด์เป็น 20-2000 ppm ตาม data sheet เมื่อ ADC เท่ากับ 0 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่า 20 ppm และเมื่อ ADC เท่ากับ 4095 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่า 2000 ppm การคาลิเบรตทำได้โดยปรับจูนค่า ADC เพื่อให้มีค่าใกล้เคียงหรือเทียบเคียงกับค่าจริงที่วัดได้ในอากาศ

2.10 Server

เป็นคอมพิวเตอร์แม่ข่ายเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดการ ประมวลผล จัดเก็บ และ ส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ในเครือข่าย เป็นส่วนสำคัญของโครงสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อหน่วยงานและองค์กรในปัจจุบัน โดยServerที่เราใช้นั้นเป็นServerที่เป็น Database Server เป็นServerที่ใช้ในการจัดเก็บ และจัดการข้อมูลในระบบฐานข้อมูล สามารถจัดการกับข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ในรูปแบบตารางและสามารถรับคำสั่ง SQL เพื่อดึงข้อมูลหรือปรับปรุงข้อมูลในฐานข้อมูล [17]

2.11 Dashboard

Dashboard หรือ หน้าจอแสดงผลแบบสรุป ที่รวบรวมและนำเสนอข้อมูลสำคัญในรูปแบบภาพหรือกราฟที่เข้าใจง่าย โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ผู้ใช้สามารถติดตาม ตรวจสอบ และวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพในเวลาจริง (real-time) ที่ผู้ใช้สามารถมองเห็นข้อมูลสำคัญได้ทันที เพื่อดำเนินการแก้ไขสถานการณ์เมื่อเกิดความผิดปกติ หรือการแสดงผลย้อนหลัง โดยข้อมูลที่แสดงบน Dashboard มักจะมาในรูปแบบของกราฟ ตัวเลข หรือสัญญาณเตือน และจะเน้นแสดงข้อมูลที่สำคัญที่สุดตามที่ต้องการ โดยในปริญญาานิพนธ์นี้เราใช้ Dashboard แสดงข้อมูลจาก เซนเซอร์ เพื่อแสดงค่าของ เซนเซอร์ MQ-7 MQ-135 และ DHT-22 ทั้งในรูปแบบ แสดงค่าล่าสุดและย้อนหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 Database SQLite

Database หรือ ฐานข้อมูล คือ กลุ่มข้อมูลขนาดใหญ่ที่ถูกเก็บรวบรวมไว้อย่างเป็นระบบหรือข้อมูลที่มีโครงสร้าง ช่วยให้สามารถจัดการข้อมูลจำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว ปลอดภัย ลดความซับซ้อนของข้อมูล ง่ายต่อการใช้งาน ถูกควบคุมโดยระบบจัดการฐานข้อมูล DBMS (Database Management System) Database พยายามลดข้อมูลซ้ำให้มากที่สุด เก็บไว้ส่วนกลาง เรียกใช้งานจากที่เดียว รู้ข้อมูลแค่บางส่วนก็สามารถค้นหาข้อมูลส่วนที่เหลือได้ เช่นเบอร์โทร เลขบัตรสมาชิก เป็นต้น

ระบบจัดการฐานข้อมูลมีมากมายในปัจจุบัน เช่น SQLite, MySQL, PostgreSQL, Oracle DB, และ SQL Server ในปฏิญานิพนธ์นี้ ผู้จัดทำได้ใช้ SQLite ช่วยในการจัดการข้อมูล เนื่องจาก SQLite เหมาะกับงานที่ไม่ซับซ้อนและโครงสร้างข้อมูลที่ไม่ใหญ่มาก

SQLite เป็นระบบจัดการฐานข้อมูลที่สามารถบันทึกฐานข้อมูลลงไฟล์เดียวได้ ทำให้สะดวกในการจัดเก็บและเคลื่อนย้ายข้อมูลในฐานข้อมูลโดยมีโครงสร้างคำสั่งการเรียกใช้ในการค้นหาข้อมูลด้วยภาษา SQL [18]

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างคำสั่ง SQL

การใช้งาน	คำสั่ง
Create Database	.open file name.db
List Database	.database
Create Table	CREATE TABLE
List table	.table
Insert Data	INSERT INTO
Show Data	SELECT * FROM
List Mode	.mode list
Column Mode	.mode column
CSV Mode	.mode csv
Header	.header on .header off
Import Data	.import filename tablename
Close Program	.quit หรือ .exit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 เกตเวย์ LoRa

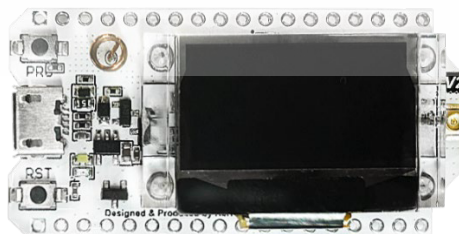
เกตเวย์ LoRa เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูลจาก โหนด และทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่เชื่อมต่อระหว่าง โหนด กับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต อาจถือได้ว่า เกตเวย์ LoRa เป็นเราเตอร์ชนิดหนึ่ง โดยจะรวบรวมข้อมูลที่รับจากอุปกรณ์ที่อยู่ในระยะครอบคลุมผ่านโปรโตคอลการสื่อสาร LoRa และส่งข้อมูลนั้นผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อไปจัดเก็บยัง Server เพื่อนำข้อมูลที่ได้รับมาทำการแสดงผลและวิเคราะห์ต่อ [19]

ประโยชน์ของการใช้ เกตเวย์ LoRa กับ โหนด

- 1) การสื่อสารระยะไกล: สามารถเชื่อมต่อได้ในระยะไกลสุด 2-15 กิโลเมตร ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับงานที่มีพื้นที่ครอบคลุมกว้าง
- 2) การใช้พลังงานต่ำ: วิธีการมอดูเลต LoRa ถูกออกแบบมาเพื่อลดการใช้พลังงาน และช่วยยืดอายุแบตเตอรี่ให้ยาวนาน เหมาะสำหรับการใช้งานในระยะยาว
- 3) มีความยืดหยุ่นสูง: สามารถรับหรือขยายขนาดเพื่อรองรับอุปกรณ์ได้จำนวนมาก และมีการรบกวนที่น้อย เหมาะสำหรับการใช้งานในแอปพลิเคชันที่มีขนาดใหญ่
- 4) มีความปลอดภัย: ช่วยให้เครือข่ายมีความน่าเชื่อถือ และทำงานได้โดยมีการหยุดชะงักของบริการน้อยที่สุด

2.14 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32

ESP32 หรือ โหนด MCU คือบอร์ดที่สามารถเชื่อมต่อได้กับ Wi-Fi และ Bluetooth ได้ สามารถสื่อสารได้ในระยะไกล ประกอบเข้ากับชิป SX1276 หรือ SX1278 สำหรับการใช้งานการสื่อสารบนโปรโตคอลของ LoRa ซึ่งรุ่นที่เลือกใช้ในปฏิญญาฉบับนี้ คือ Heltec WiFi LoRa 32(V2) ต่อเข้ากับชิป SX1276 เพื่อให้ใช้งานในย่านความถี่ตามที่ กสทช. กำหนด แสดงดังรูปที่ 2.11 ข้อมูลจำเพาะของบอร์ดแสดงดังตารางที่ 2.7 [20]



รูปที่ 2.11 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 ข้อมูลจำเพาะของบอร์ด

พารามิเตอร์	คำอธิบาย
Master Chip	ESP32 (240MHz)
Processor	Tensilica LX6 Dual Core
Computing capacity	up to 600DMIPS
LoRa Chip	SX1276
USB to Serial Chip	CP2102
UDP continuous throughput	135 Mbps
Support frequency band	920-925 MHz
Operating voltage	3.3-7 V

SX1276 คือ ชิพที่ออกแบบมาสำหรับการสื่อสารด้วยเทคโนโลยี LoRa ใช้ LoRa spread spectrum modem ในการมอดูเลตแทนการมอดูเลตแบบ FSK หรือ OOK สามารถส่งข้อมูลได้ในระยะไกล และมีย่านความถี่ที่รองรับการใช้งาน LoRa สำหรับประเทศไทย (920-925 MHz) คุณลักษณะของ SX1276 แสดงดังตารางที่ 2.8 [21]

ตารางที่ 2.8 คุณลักษณะของ SX1276

Part Number	Frequency Range	Spreading Factor	Bandwidth
SX1276	137-1020 MHz	6-12	7.8-500 kHz

2.15 Flash Memory

Flash Memory เป็นหน่วยความจำถาวร (non-volatile memory) ที่สามารถเก็บรักษาข้อมูลได้แม้ไม่มีแหล่งจ่ายไฟ หน่วยความจำประเภทนี้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีความเร็วในการเข้าถึงข้อมูลสูง ทนทานต่อแรงกระแทก และใช้พลังงานต่ำ อุปกรณ์ที่ใช้ Flash Memory ได้แก่ ไดรฟ์ USB การ์ดหน่วยความจำ (SD card) และอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลประเภท SSD (Solid State Drive)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการการทำงานของ Flash Memory ทำงานโดยใช้ Floating-Gate Transistors ซึ่งสามารถเก็บประจุไฟฟ้าเพื่อกำหนดสถานะของข้อมูล การเปลี่ยนแปลงสถานะของเซลล์หน่วยความจำเกิดจากการควบคุมแรงดันไฟฟ้าในทรานซิสเตอร์

กระบวนการทำงานหลักจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

1. การเขียนข้อมูล (Program) : อิเล็กตรอนจะถูกส่งเข้าสู่ Floating-Gate Transistors ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าและกำหนดสถานะของข้อมูล
 2. การอ่านข้อมูล (Read) : ระบบตรวจสอบว่าทรานซิสเตอร์สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้หรือไม่ เพื่อตีความเป็นค่าดิจิทัล (0 หรือ 1)
 3. การลบข้อมูล (Erase) : ใช้แรงดันไฟฟ้าสูงในการดึงอิเล็กตรอนออกจาก Floating-Gate Transistors ซึ่งจะรีเซ็ตเซลล์หน่วยความจำให้กลับสู่สถานะเดิม
- โดยในระบบป้องกันไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa จะใช้ Flash Memory สำหรับการเก็บข้อมูลที่มีการส่งผิดพลาด เช่น ไม่สามารถส่งข้อมูลถึงเกตเวย์ได้, ส่งข้อมูลผิดพลาดไม่สามารถส่งข้อมูลได้ จะทำการบันทึกข้อมูลดังกล่าวไว้ เมื่อถึงช่วงระยะเวลาหนึ่งตามที่กำหนด จะทำการอ่านค่าข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ใน Flash Memory แล้วส่งไปยังปลายทางหรือเกตเวย์ทั้งหมด ทีละข้อความ [22]

2.16 MQTT

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) เป็น โพรโทคอลที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อรับส่งข้อมูลขนาดเล็ก ในรูปแบบการสื่อสารแบบเผยแพร่/สมัครรับ และใช้ส่วนหัวข้อมูล (header) ขนาดเพียงแค่ 2 ไบต์ และกำหนดให้ใช้ TCP พอร์ต 1883

MQTT ถูกกำหนดโดยองค์กร Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS) ในปี ค.ศ. 2013 โดยใช้ TCP ในการรับส่งข้อมูล สำหรับ Server จะเรียกว่า broker เปิดบริการรอรับการเชื่อมต่อจากไคลเอนต์และจะทำการส่ง ข้อมูลไปมาระหว่างไคลเอนต์ ในการสื่อสารแบบนี้ ไคลเอนต์จะไม่ได้เชื่อมต่อกับไคลเอนต์โดยตรง ถ้าไคลเอนต์จะส่งข้อมูลไปยัง broker เรียกว่า ผู้ประกาศ publisher ส่วนไคลเอนต์ที่จะรอรับข้อมูลจาก broker เรียกว่าผู้รับข้อความ subscriber topic คือหัวข้อที่ publisher devices ลงทะเบียนไว้กับ broker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จะลงประกาศ เผยแพร่ข้อความ ไปที่ broker และมี subscriber devices ที่ได้ลงทะเบียนกับ broker ถึงหัวข้อ (topic) ที่สนใจรับข้อความ

ผู้ประกาศข้อความมักเป็นอุปกรณ์เซนเซอร์ เช่น เครื่องวัดอุณหภูมิที่ติดตั้งในห้องนอน ภายในบ้าน เพราะเราอาจจะมีเซนเซอร์หลายชนิดติดตั้งในบ้านและภายในห้องแตกต่างกันแต่ละเซนเซอร์ของอุปกรณ์ IOT จะกำหนดใช้หัวข้อเป็นลำดับชั้น แบ่งตามหัวข้อย่อย ทำให้ publisher devices ส่งข้อความประกาศแยกตามหัวข้อ ทำให้รู้ว่ามาจากเซนเซอร์อุปกรณ์ไหนเมื่อประกาศเผยแพร่ข้อความ ขึ้นไปยัง broker แสดงดังรูปที่ 2.12

ผู้รับข้อความ subscriber devices มักจะเป็นคอมพิวเตอร์โปรแกรม ที่คอยวิเคราะห์หรือจัดการข้อมูล ที่ได้ลงทะเบียนเป็นผู้รับสมัครข้อความ ตามหัวข้อที่ต้องจัดการ จะได้รับข้อความจาก broker ทำให้เรารู้ว่าเป็นเซนเซอร์จากอุปกรณ์ไหน ดังนั้นหัวข้อที่กำหนดตามลำดับชั้นโดยแบ่งด้วย " / " จะทำให้ ผู้รับข้อความเลือกที่จะบอกรับสมัครข้อความ subscribe ตามหัวข้อที่สนใจ

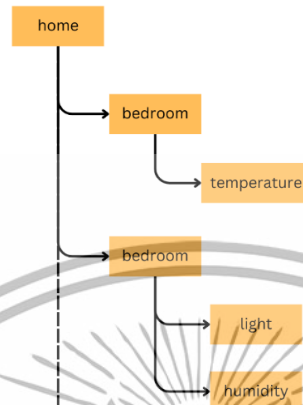
อุปกรณ์ IoT บางประเภทสามารถเป็นทั้งผู้ประกาศและผู้รับข้อความได้พร้อมๆ กัน เช่น อุปกรณ์ที่เป็นหลอดไฟที่สามารถอ่านค่าความสว่างจะประกาศข้อความค่าความสว่างที่วัดได้ไปยัง broker และสมัครรับ ข้อความ รอรับคำสั่งให้ปิดหรือเปิดหลอดไฟได้ จากคอมพิวเตอร์โปรแกรมที่ส่งข้อความประกาศไปยัง broker

โดยใน โครงการของเราจะใช้การสื่อสารแบบ MQTT นี้ระหว่าง เกตเวย์ และ server เพื่อส่งข้อมูลกันเนื่องจากมีขนาด header ที่เล็กจึงเหมาะกับอุปกรณ์ที่ต้องการการส่งข้อมูลที่ไม่ว่ายยะ [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

home/ bedroom/ temperature

Topic level Topic level

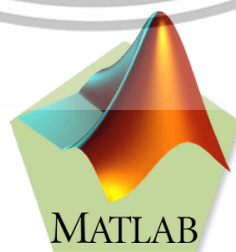


รูปที่ 2.12 ตัวอย่างหัวข้อที่มีอุปกรณ์เซนเซอร์อุณหภูมิ

2.17 MATLAB

MATLAB (Matrix Laboratory) เป็นภาษาการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ระดับสูง พร้อมด้วยสภาพแวดล้อมสำหรับการคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical Computing) ที่พัฒนาโดยบริษัท MathWorks ซึ่ง MATLAB ถูกออกแบบมาให้ใช้งานง่าย โดยเน้นการคำนวณทางคณิตศาสตร์ วิศวกรรม และวิทยาศาสตร์ที่ต้องใช้การประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ซับซ้อนได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ MATLAB ยังรองรับการแสดงผลทางกราฟฟิก การเขียนโปรแกรมเชิงประยุกต์ และสามารถทำให้เราคำนวณผลลัพธ์ เพื่อสร้างแบบจำลองได้อย่างง่ายดายภายในซอฟต์แวร์มีชุดคำสั่งที่สามารถเรียกใช้งานได้สะดวกและรวดเร็ว ซึ่งทำให้ MATLAB เป็นตัวเลือกสำคัญสำหรับงานวิเคราะห์ข้อมูลและจำลองสถานการณ์ในหลายแขนงวิชา แสดงดังรูปที่

2.13



รูปที่ 2.13 MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17.1 MATLAB App Designer

MATLAB App Designer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบและสร้างส่วนติดต่อผู้ใช้งานแบบกราฟิก (Graphic User Interface) ได้อย่างง่ายดาย และมีประสิทธิภาพ MATLAB App Designer ประกอบด้วย 2 กระบวนการหลักของการพัฒนา App เข้าด้วยกัน ได้แก่ การจัดวางองค์ประกอบส่วนติดต่อผู้ใช้งานแบบกราฟิก (Graphic User Interface) ซึ่งสามารถลากและวางองค์ประกอบกราฟิกลงบนพื้นที่ออกแบบได้ตามต้องการ และการเขียนโค้ดเพื่อกำหนดพฤติกรรมของ App สามารถใช้ตัวแก้ไข MATLAB Editor ที่รวมอยู่ใน App Designer ซึ่งมี Code Analyzer ช่วยตรวจสอบข้อผิดพลาดของโค้ดแบบอัตโนมัติ พร้อมแสดงข้อความแจ้งเตือนและข้อผิดพลาดระหว่างการเขียนโค้ด ทำให้สามารถแก้ไขและปรับปรุง App ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [24]

2.17.2 MATLAB Web App Server

MATLAB Web App Server เป็น Server ที่สามารถให้บริการ Web App ที่พัฒนาใน MATLAB ให้อยู่ในรูปแบบ Web App แบบโต้ตอบ เพื่อให้ผู้ใช้งานปลายทางสามารถเข้าถึงและใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ได้โดยไม่ต้องติดตั้งซอฟต์แวร์ MATLAB เพิ่มเติมบนเครื่องของผู้ใช้ปลายทาง ระบบนี้ช่วยให้สามารถเผยแพร่แอปพลิเคชันได้อย่างสะดวก นอกจากนี้ MATLAB Web App Server ยังรองรับการทำงานร่วมกับฟังก์ชันและไลบรารีของ MATLAB ทำให้เหมาะสำหรับการพัฒนาและใช้งาน App ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณเชิงตัวเลข การวิเคราะห์ข้อมูล และการสร้างแบบจำลอง [25]

2.18 ระบบเว็บไซต์

เว็บไซต์ เป็นสื่อที่แสดงหน้าเว็บที่เชื่อมโยงกันผ่านอินเทอร์เน็ต ซึ่งสามารถเข้าถึงได้โดยใช้เว็บเบราว์เซอร์ เช่น Google Chrome, Firefox หรือ Safari เว็บไซต์มักจะประกอบไปด้วยเนื้อหาหรือข้อมูลต่างๆ เช่น ข้อความ รูปภาพ วิดีโอ หรือฟังก์ชันต่างๆ ที่ผู้ใช้สามารถเข้ามาดูหรือโต้ตอบได้ โดยเว็บไซต์สามารถมีได้หลายประเภท เช่น เว็บไซต์ส่วนบุคคล เว็บไซต์ธุรกิจ เว็บไซต์ข่าวสาร หรือเว็บไซต์สังคมออนไลน์ เป็นต้น [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.18.1 ภาษา HTML

HTML ย่อมาจาก Hyper Text Markup Language คือภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแสดงผลของเอกสารบน website HTML ใช้ในการสร้างและกำหนดโครงสร้างของเนื้อหาบนเว็บไซต์ เช่น การกำหนดหัวข้อ ย่อหน้า ลิงก์ รูปภาพ ตาราง หรือฟอร์มข้อมูล ซึ่งเว็บเบราว์เซอร์จะใช้ไฟล์ HTML ในการแสดงผลข้อมูลให้ผู้ใช้เห็นบนหน้าเว็บไซต์ โดย HTML ไม่ได้เกี่ยวข้องกับการออกแบบหรือฟังก์ชันการทำงานใด ๆ แต่จะเน้นที่การจัดระเบียบเนื้อหาภายในหน้าเว็บ แสดงดังรูปที่ 2.16 [27]



รูปที่ 2.14 HTML

2.18.2 ภาษา CSS

CSS ย่อมาจาก Cascading Style Sheets เป็นภาษาที่ใช้ในการจัดแต่งรูปลักษณ์หรือดีไซน์ให้กับหน้าเว็บ เช่น การกำหนดสี ขนาด ฟอนต์ การจัดตำแหน่ง และระยะห่างขององค์ประกอบต่างๆ บนเว็บไซต์ โดย CSS ช่วยให้สามารถแยกการออกแบบและการจัดการรูปลักษณ์ออกจาก HTML ทำให้โค้ด HTML ดูสะอาดและเข้าใจง่ายขึ้น โดย CSS ยังสามารถควบคุมการแสดงผลเว็บไซต์ในรูปแบบต่างๆ สำหรับอุปกรณ์ที่มีขนาดหน้าจอหรือการตั้งค่าต่างๆ เช่น มือถือหรือคอมพิวเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.14 [28]



รูปที่ 2.15 CSS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.18.3 ภาษา JavaScript

JavaScript เป็นภาษาการเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการเพิ่มฟังก์ชันการทำงานให้กับเว็บไซต์ โดยเฉพาะการโต้ตอบกับผู้ใช้ เช่น การตอบสนองต่อการคลิกปุ่ม หรือการคำนวณข้อมูล หรือแสดงผลลัพธ์ต่างๆ โดยไม่ต้องรีเฟรชหน้าเว็บทั้งหมด JavaScript ช่วยให้เว็บไซต์มีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้งาน ตัวอย่างการใช้งานของ JavaScript ได้แก่ การแสดงข้อความเตือนเมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม การเปลี่ยนแปลงเนื้อหาของหน้าเว็บตามการกระทำของผู้ใช้ รวมถึงการตั้งค่าให้ปุ่มต่างๆ เปลี่ยนรูปแบบเมื่อเลื่อนเมาส์ไปโดน แสดงดังรูปที่ 2.15 [29]

JavaScript



รูปที่ 2.16 JavaScript

2.18.4 Internet Information Services (IIS)

IIS ย่อมาจาก Internet Information Services เป็นซอฟต์แวร์เว็บ Server ที่พัฒนาโดย Microsoft ซึ่งใช้ในการจัดการและให้บริการเว็บไซต์และแอปพลิเคชันบนโปรโตคอลมาตรฐาน HTTP และ HTTPS โดยทั่วไปแล้ว IIS จะถูกใช้ในระบบปฏิบัติการ Windows Server เพื่อให้บริการเว็บไซต์หรือเว็บแอปพลิเคชัน IIS รองรับการให้บริการเว็บไซต์และแอปพลิเคชันที่พัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีต่างๆ เช่น ASP.NET, PHP, HTML และ JavaScript โดยสามารถจัดการการรับส่งข้อมูล HTTP/HTTPS, การกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงไฟล์, การบันทึกข้อมูลการเข้าชม (logs) และการกำหนดค่าอื่นๆ เพื่อให้เว็บไซต์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ [30]

2.19 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)

การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) เป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรผลตามระยะทางระหว่างฝั่งส่งและฝั่งรับเนื่องมาจากการแพร่กระจายในช่องทางการสื่อสาร (Propagation Channel) ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของระบบสื่อสารไร้สาย [31]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.19.1 Free-Space Path Loss

เป็นการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกระจายของคลื่นแม่เหล็ก ในอากาศ โดยที่ไม่มีสิ่งกีดขวางหรือ Line Of Sight สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$P_L(dB) = 20 \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{c} \right) \quad (2.8)$$

เมื่อ

d = ระยะทางระหว่างฝั่งส่งและฝั่งรับ (m)

d_0 = ระยะทางอ้างอิง

f = ความถี่ (Hz)

c = ความเร็วของแสง (3×10^8 m/s)

2.19.2 Log Distance Path Loss

เป็นแบบจำลองที่ใช้ประมาณค่าการสูญเสียของสัญญาณ ในสภาพแวดล้อมที่มี สิ่งกีดขวางและการสะท้อนของคลื่น โดยอาศัยหลักการที่ว่า การสูญเสียจะเพิ่มขึ้นตามลอการิทึมของ ระยะทาง

$$P_L(dB) = P_L(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma \quad (2.9)$$

เมื่อ

$P_L(d)$ = คือค่าการสูญเสียสัญญาณที่ระยะ d

$P_L(d_0)$ = ระยะทางอ้างอิง

n = ค่าดัชนีการลดทอนของสัญญาณ

d = ระยะห่างระหว่างตัวส่งและตัวรับ

X_σ = คือค่าการกระจายของสัญญาณแบบสุ่ม ที่มีการแจกแจงแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.19.3 Least Square Method

เป็นกระบวนการในการหาสมการ Linear Regression หรือหาเส้นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับชุดข้อมูลข้อมูลที่เราถืออยู่ เพื่อดูแนวโน้มของค่าอื่นๆ[32] โดยสมการเส้นตรงที่ต้องการหาจะอยู่ในรูปของ

$$y = mx + c \quad (2.10)$$

โดยที่

y คือ ตัวแปรอิสระ ในที่นี้คือ ค่า Path loss ที่ต้องการทำนาย

x คือ ตัวแปรตาม ในที่นี้คือ ค่า log ของ ระยะทาง (m)

โดยสามารถหา ค่าความชันหรือ m ได้จาก

$$m = \frac{(n \sum xy - \sum y \sum x)}{[n \sum x^2 - (\sum x)^2]} \quad (2.11)$$

และค่า Intercept หรือ C คือ

$$c = \frac{(\sum y - m \sum x)}{n} \quad (2.12)$$

โดยที่

n คือ จำนวนของชุดข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

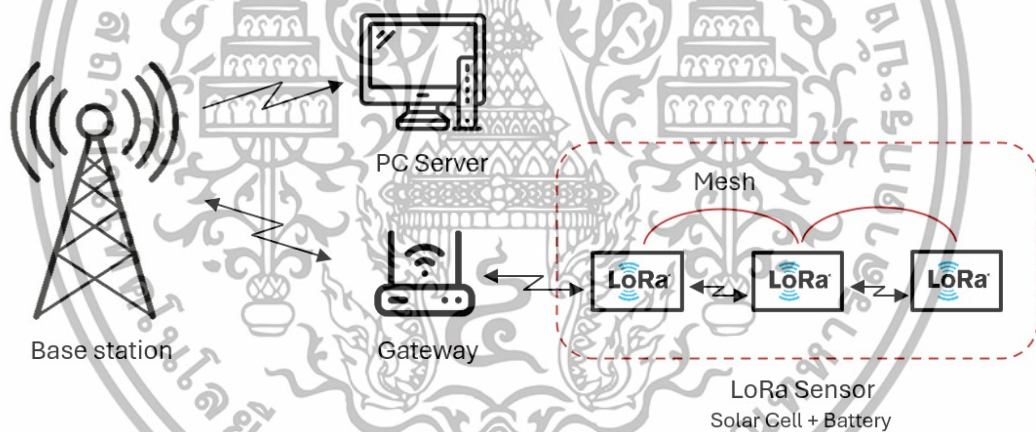
บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

3.1 การออกแบบ

3.1.1 การออกแบบระบบ

บล็อกไดอะแกรมของระบบป้องกันไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa แสดงดังรูปที่ 3.1 ฝั่ง โหนด ซึ่งมี เซนเซอร์ อยู่ จะทำการอ่านข้อมูลแล้วส่งค่าที่ได้มาเก็บที่ Server โดย ผ่าน โหนด ด้วยวิธีการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์แบบโครงข่าย ไปยัง เกตเวย์จากนั้นทำการแสดงผลในรูปแบบ Dashboard เพื่อให้ผู้ใช้งานหรือฝั่งผู้พัฒนาสามารถตรวจสอบสถานะ และ ข้อมูลต่างๆของ เซนเซอร์ จากฝั่ง โหนด ได้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของปริญญานิพนธ์

3.1.2 การออกแบบระบบการทำงานการอ่านค่าจาก เซนเซอร์

ในส่วนแรกของการทำระบบป้องกันไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa จำเป็นต้องมีฐานข้อมูล เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในส่วนต่างๆได้ ซึ่งในส่วนนี้จะ เป็นแผนผังแสดงระบบการทำงานการอ่านค่าจาก เซนเซอร์ แสดงดังรูปที่ 3.2 โดยเริ่มจาก เซนเซอร์ ทำการอ่านค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) อุณหภูมิ (Temperature) และ ความชื้น (Humidity) จาก เซนเซอร์ MQ-7 MQ-135 และ DHT-22 ตามลำดับ แล้วทำการตรวจสอบต่อว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

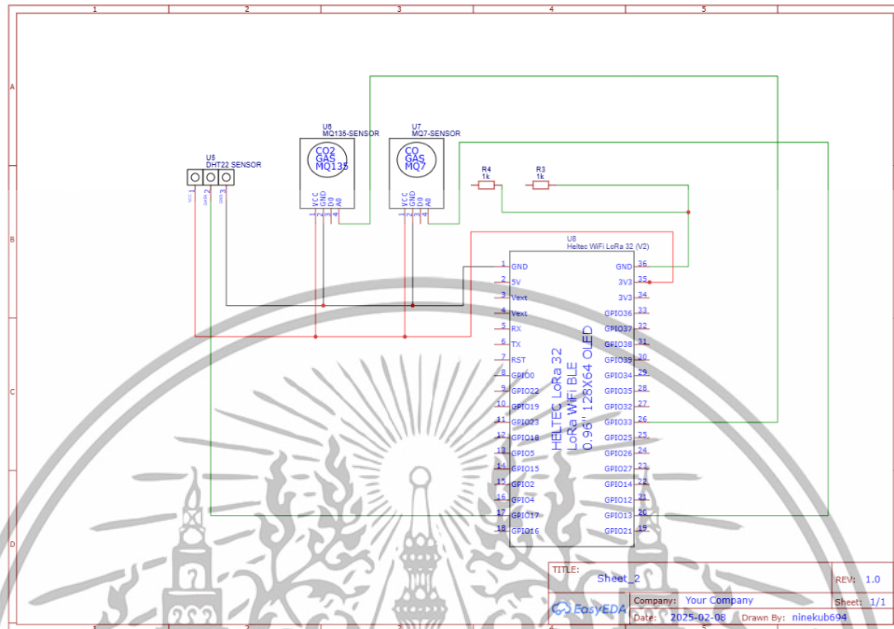
สามารถรับค่าจาก เซนเซอร์ ได้หรือไม่ ถ้าหากไม่สามารถรับค่าจาก เซนเซอร์ ได้จะทำการกลับไปอ่านค่าจาก เซนเซอร์ ใหม่ แต่ถ้าสามารถรับค่าจาก เซนเซอร์ ได้ จะทำการแสดงผลข้อมูล และจะทำงานวนซ้ำเช่นนี้ทุกครั้งที่มีการรับค่าจากเซนเซอร์



รูปที่ 3.2 ระบบการทำงานการอ่านค่าจากเซนเซอร์

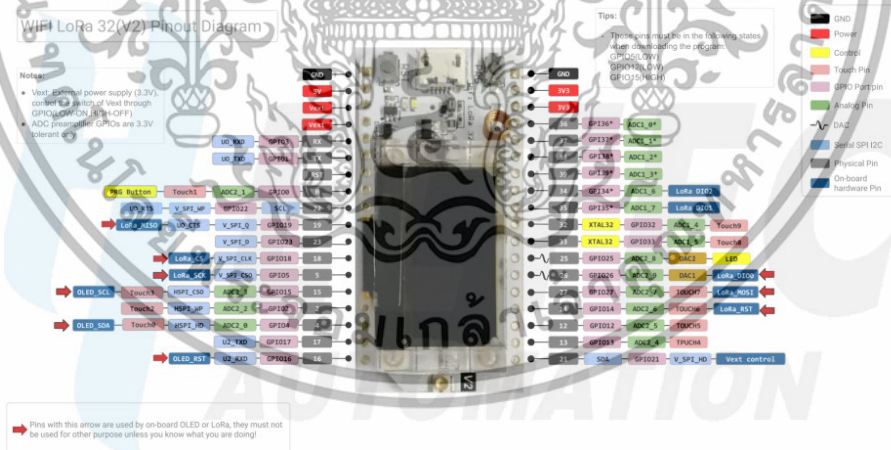
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การต่อวงจร เซนเซอร์ เข้ากับ โหนด MCU



รูปที่ 3.3 จำลองการต่อวงจร เซนเซอร์ เข้ากับ โหนด MCU

3.1.3.1 WiFi LoRa 32 (V2) Pinout Diagram



รูปที่ 3.4 รายละเอียด Pinout ของ Heltec WiFi LoRa 32 (V2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.2 Pinout ที่ใช้ในการทดลอง

ในปฏิญานิพนธ์นี้ ทำการต่อวงจร เซนเซอร์ เข้ากับ โหนด MCU โดยใช้ Pinout ดังนี้

1) Pinout GND

ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟ

2) Pinout 5V

เป็นขาไฟเลี้ยง 5V สำหรับจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ที่ต้องการ โดยในที่นี้ เป็นการจ่ายไฟให้กับเซนเซอร์ DHT-22 MQ-7 และ MA-135

3) Pinout 33

- GPIO 1 (General Purpose Input/Output) เป็นพอร์ตดิจิทัลที่สามารถตั้งค่าให้เป็น Input หรือ Output ได้ ใช้เพื่อรับหรือส่งสัญญาณดิจิทัล (HIGH หรือ LOW) ไปยังอุปกรณ์ภายนอก

- ADC1_5 (Analog to Digital Converter Channel) เป็นช่องแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลบน ADC1 ของ โหนด MCU Pinout ที่ 5 สามารถอ่านค่าสัญญาณอนาล็อก เช่น จากเซนเซอร์วัดความชื้นหรืออุณหภูมิ ที่ต่อเข้ามาในช่วง 0 ถึง 3.3V แล้วแปลงค่านั้นเป็นตัวเลขดิจิทัล ซึ่งคือค่าตั้งแต่ 0 ถึง 4095

4) Pinout 13

- GPIO 13 (General Purpose Input/Output) เป็นพอร์ตดิจิทัลที่สามารถตั้งค่าให้เป็น Input หรือ Output ได้ ใช้เพื่อรับหรือส่งสัญญาณดิจิทัล (HIGH หรือ LOW) ไปยังอุปกรณ์ภายนอก

- ADC2_4 เป็นช่องแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลบน ADC2 ของ โหนด MCU Pinout ที่ 4 สามารถอ่านค่าสัญญาณอนาล็อก เช่น จากเซนเซอร์วัดความชื้นหรืออุณหภูมิ ที่ต่อเข้ามาในช่วง 0 ถึง 3.3V แล้วแปลงค่านั้นเป็นตัวเลขดิจิทัล ซึ่งคือค่าตั้งแต่ 0 ถึง 4095

5) Pinout 32

- GPIO 32 (General Purpose Input/Output) เป็นพอร์ตดิจิทัลที่สามารถตั้งค่าให้เป็น Input หรือ Output ได้ ใช้เพื่อรับหรือส่งสัญญาณดิจิทัล (HIGH หรือ LOW) ไปยังอุปกรณ์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ADC1_4 เป็นช่องแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลบน ADC1 ของ โหนด MCU Pinout ที่ 4 สามารถอ่านค่าสัญญาณอนาล็อก เช่น จากเซนเซอร์วัดความชื้นหรืออุณหภูมิ ที่ต่อเข้ามาในช่วง 0 ถึง 3.3V แล้วแปลงค่านั้นเป็นตัวเลขดิจิทัล ซึ่งคือค่าตั้งแต่ 0 ถึง 4095

3.1.4 การเปรียบเทียบเซนเซอร์

เซนเซอร์ที่ใช้วัดองค์ประกอบของไฟฟ้าในปริญญานิพนธ์นี้ประกอบด้วย DHT22 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น MQ7 เซนเซอร์วัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และ MQ135 เซนเซอร์วัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเซนเซอร์ทั้งสามเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 โดยมีหลักการและขั้นตอนการอ่านค่าดังนี้

3.1.4.1 เชื่อมต่อเซนเซอร์ทั้งสามตัวเข้ากับบอร์ด ESP32 โดยกำหนดให้ DHT22 เชื่อมต่อกับขา 17 MQ135 เชื่อมต่อกับขาที่ 33 และ MQ7 เชื่อมต่อกับขา 13 โดยจ่ายไฟเลี้ยงให้ขา Analog 3.3 V ดังรูปที่ 3.3

3.1.4.2 การอ่านค่าสำหรับ DHT22 สามารถอ่านค่าอุณหภูมิ และความชื้น ได้โดยตรงผ่าน Library

3.1.4.3 การอ่านค่าสำหรับ MQ135 และ MQ7 เป็นการอ่านค่าจากขา Analog ค่าที่ได้คือค่า ADC โดยปกติแล้วความเข้มข้นของก๊าซจะอยู่ในหน่วย ppm (part per million) ดังนั้นจึงต้องทำการ mapping ค่าโดยมีหลักการดังนี้

1) ศึกษาข้อมูลอุปกรณ์จาก Datasheet มีรายละเอียดดังนี้
- บอร์ด ESP32 ประกอบด้วย 12 บิต ADC input ดังนั้นค่า ADC ที่อ่านได้ทั้งหมดคือ 2^{12} หรือ 4096 ค่าโดยมีค่าตั้งแต่ 0-4095

- เซนเซอร์ MQ135 เป็นเซนเซอร์วัดคุณภาพอากาศสามารถวัด CO₂ ได้ตั้งแต่ 10-1000 ppm

- เซนเซอร์ MQ7 เป็นเซนเซอร์วัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ สามารถวัด CO ได้ตั้งแต่ 20-2000 ppm

- ไฟเลี้ยงที่จ่ายให้ขา Analog ของเซนเซอร์ต้องมีค่าไม่เกิน 3.3 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) mapping ค่าจาก ADC ให้อยู่ในหน่วย ppm
 ประมาณให้สภาพอากาศปกติมี CO2 อยู่ที่ประมาณ 423 ppm
 จ่ายไฟเลี้ยง 3.3 V แล้วทำการวัดค่าแรงดันระหว่างขา AO และ GND และคำนวณเทียบจากสมการ
 ที่ (3.1) หากแทน 423 ppm จะวัดแรงดันได้ประมาณ 1.3 V

$$\frac{3.3V}{990} \times (ppm - 10) \quad (3.1)$$

$$\frac{3.3V}{990} \times (423 - 10) = 1.3 V$$

วัดแรงดันตกคร่อมขา A0 และ GND ดังรูปที่ 3.5 และ 3.6



รูปที่ 3.5 ต่อมัลติมิเตอร์ เข้ากับวงจรเพื่อวัดแรงดัน



รูปที่ 3.6 แรงดันตกคร่อมระหว่างขา A0 และ GND ของเซนเซอร์ MQ135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสภาพอากาศปกติ CO จะมีค่า 0 ppm แต่เนื่องจากเซนเซอร์ตรวจวัดได้ในช่วงตั้งแต่ 20 ppm – 20000 ppm จึง offset ค่าลดลงมาอีก 20 ppm ในสภาพอากาศปกติค่าเริ่มต้นที่เซนเซอร์ตรวจวัดได้คือ 20 ppm จะวัดแรงดันได้ประมาณ 0.03 V ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3.2)

$$\frac{3.3V}{1980} \times (ppm - 20) \quad (3.2)$$

$$\frac{3.3}{1980} \times (20 - 20) = 0 V$$

3) Offset ค่า ADC เพิ่มเติม

สำหรับการวัด CO₂ หากปรับความต้านทานจนสุดแล้วยังมีค่าต่างจาก 1.3 V อยู่ให้ทำการ offset ค่า ADC เพิ่มเติม ซึ่งค่าที่ offset คำนวณที่ 400 ppm ADC มีค่า 1708 คำนวณได้จากสมการที่ (3.3)

$$\frac{4095}{990} \times (ppm - 10) \quad (3.3)$$

$$\frac{4095}{990} \times (423 - 10) = 1708$$

ที่ 400 ppm ค่า ADC อ่านได้ 1708 ดังนั้นจะใช้ค่านี้ในการปรับเทียบ

สำหรับการวัด CO หากปรับความต้านทานจนสุดแล้วยังมีค่าต่างจาก 0.03 V อยู่ให้ทำการ offset ค่า ADC เพิ่มเติม ซึ่งค่าที่ offset คำนวณที่ 20 ppm แล้วลบค่าความเข้มข้นออกอีก 20 ppm ดังนั้นที่ 0 ppm ADC มีค่า 0

$$\frac{4095}{990} \times (ppm - 20) \quad (3.4)$$

$$\frac{4095}{1980} \times (20 - 20) = 0$$

ที่ 0 ppm ค่า ADC อ่านได้ 0 ดังนั้นจะใช้ค่านี้ในการปรับเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

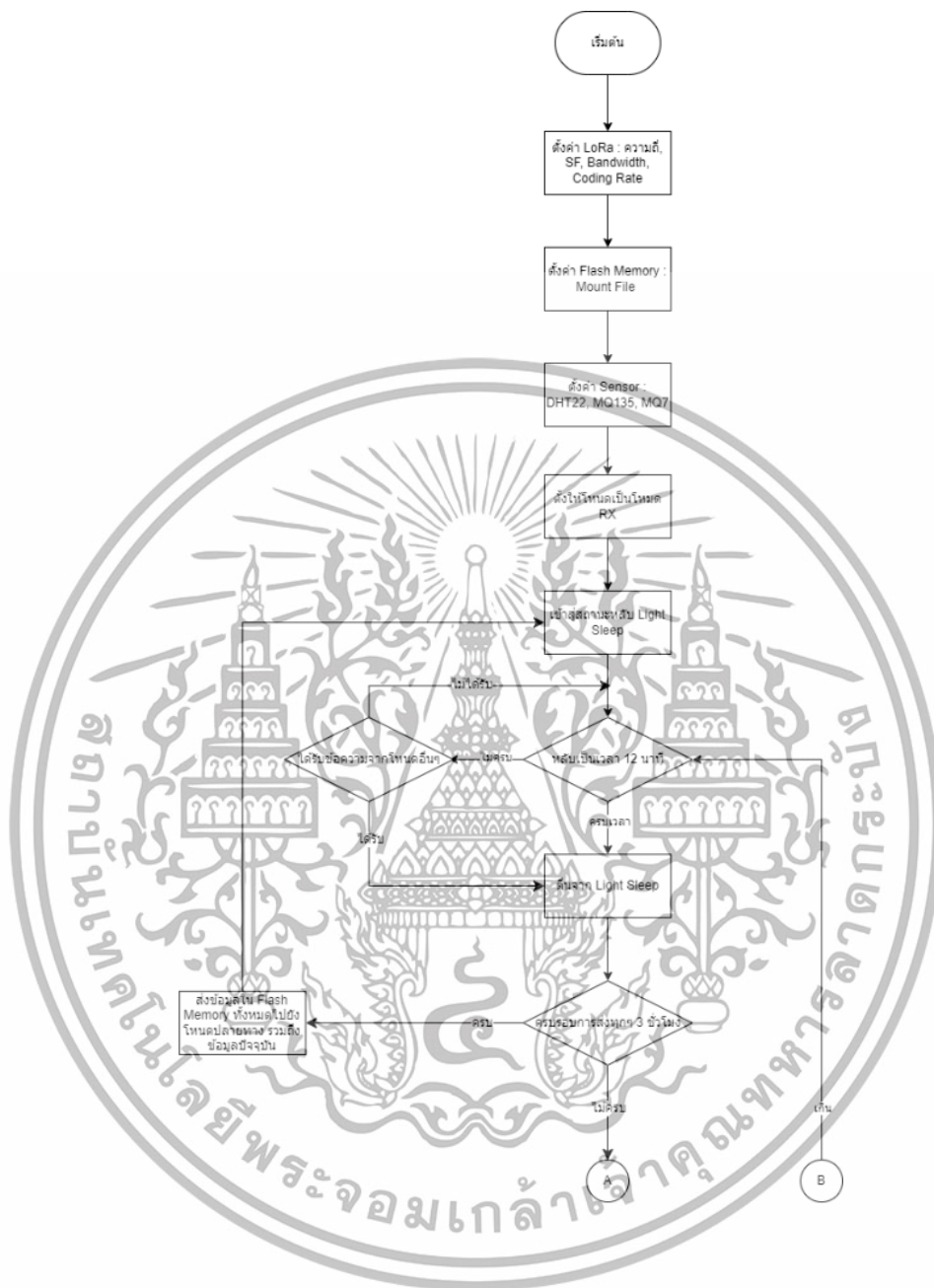
ตารางที่ 3.1 การ Offset ค่าเซนเซอร์

End node	MQ-135		MQ-7	
	ADC	Offset	ADC	Offset
Node 1	1260	+ 448	150	- 150
Node 2	462	+ 1246	657	- 657
Node 3	1171	+ 537	468	- 468

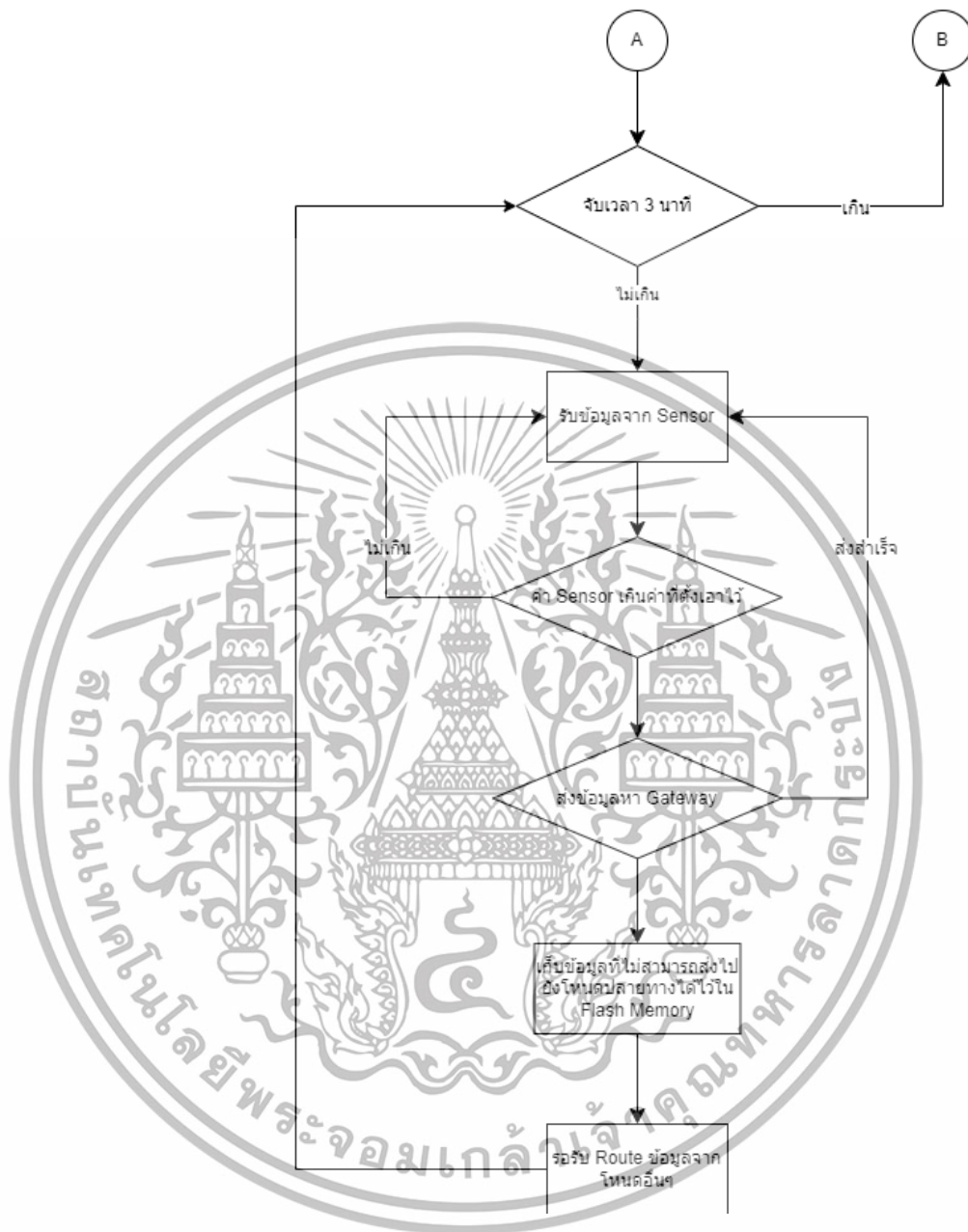
3.1.5 การออกแบบระบบโครงข่ายแบบตาข่าย (Mesh Network)

ในการออกแบบระบบโครงข่ายแบบตาข่าย (Mesh Network) นั้น เป้าหมายคือหากมีโหนดใดที่ไม่สามารถติดต่อกับเกตเวย์ (Gateway) ได้โดยตรงไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของปัญหา ระยะทาง, สัญญาณรบกวน หรือ สัญญาณแทรกสอด โหนดนั้นต้องสามารถที่จะใช้โหนดอื่นๆที่อยู่ในระยะเป็นตัวกลาง ทำการส่งข้อมูลผ่านโหนดนั้นๆและส่งต่อไปยังเกตเวย์ (Gateway) ปลายทางที่ต้องการได้ โหนดทุกโหนดต้องสามารถเป็นทั้งตัวรับและตัวส่งข้อมูลได้ โดยการส่งข้อมูลนั้นจะส่งทุกๆสามชั่วโมงเพื่อไม่ให้เป็นการใช้ช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัดและตามระเบียบของ กสทช. โดยปกติแล้วโหนดทุกตัวจะอยู่ในสถานะ Light Sleep เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน โดยเงื่อนไขการตื่นของโหนดมีสองอย่างที่จะทำให้ตื่นได้คือ การตื่นจากการที่โหนดอื่นมีการส่งข้อความที่เป็นรูปแบบ LoRa หากได้รับข้อความจะทำให้การ Interrupt ตื่นขึ้น และ ตื่นจากเวลาที่ตั้งไว้เป็นเวลาคงที่ทุกๆ 12 นาที หลังจากที่โหนดตื่นขึ้นมาแล้วจะตื่นขึ้นมาเป็นเวลา 3 นาทีเพื่อรอรับและส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นๆไปยังโหนดปลายทาง และวัดอุณหภูมิ, ความชื้น, คาร์บอนมอนอกไซด์ และ คาร์บอนไดออกไซด์ หากมีค่าเกินกว่าที่ตั้งค่าเอาไว้จะทำการส่งข้อมูลไปยังปลายทางทันที หลังจากครบเวลา 3 นาทีก็จะกลับไปหลับเหมือนเดิมแล้วรอตื่นใหม่ตามสาเหตุการตื่น ซึ่งเขียนเป็นขั้นตอนการทำงานได้ดังรูปที่ 3.5 ในส่วนของการทดสอบโครงข่ายแบบตาข่ายนั้นจะประกอบไปด้วย โหนด (End Node) และ เกตเวย์ (Gateway) นำไปวางตามจุดต่างๆดังรูปที่ 3.6 โดยจะมีการปรับค่าของ Power ของบางโหนดเพื่อให้โหนดนั้นไม่สามารถส่งข้อมูลหรือข้อความไปยังเกตเวย์ได้โดยตรงเพื่อทดสอบโครงข่ายแบบตาข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ระบบการทำงานของ Mesh Network

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

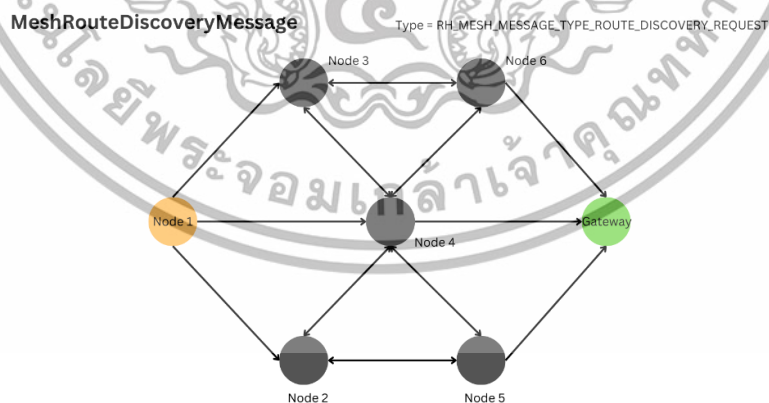


รูปที่ 3.8 จำลองโครงข่ายเพื่อทดสอบระบบโครงข่ายแบบตาข่าย

3.1.5.1 ขั้นตอนการค้นหาเส้นทางของโครงข่ายแบบตาข่าย

ขั้นตอนการค้นหาเส้นทางของโครงข่ายแบบตาข่ายสามารถอธิบายได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) ในการเริ่มต้น หากหนดใดที่ต้องการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง ระบบจะตรวจสอบตารางเส้นทาง (Routing Table) ว่ามีเส้นทางที่สามารถใช้ได้หรือไม่

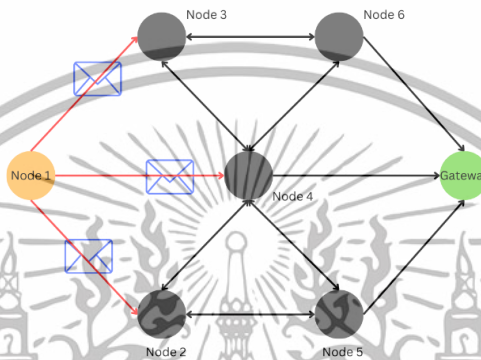


รูปที่ 3.9 ภาพประกอบโครงข่ายแบบตาข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) หากพบเส้นทางที่กำหนด ระบบจะส่งข้อมูลตามเส้นทางใน Routing Table แต่หากไม่พบ ระบบจะเริ่มกระบวนการค้นหาเส้นทาง (Route Discovery) โดยส่งข้อความประเภท "MeshRouteDiscoveryMessage" ในรูปแบบการกระจายสัญญาณ (Broadcast) ไปยังทุกโหนดในเครือข่าย

MeshRouteDiscoveryMessage Type = RH_MESH_MESSAGE_TYPE_ROUTE_DISCOVERY_REQUEST



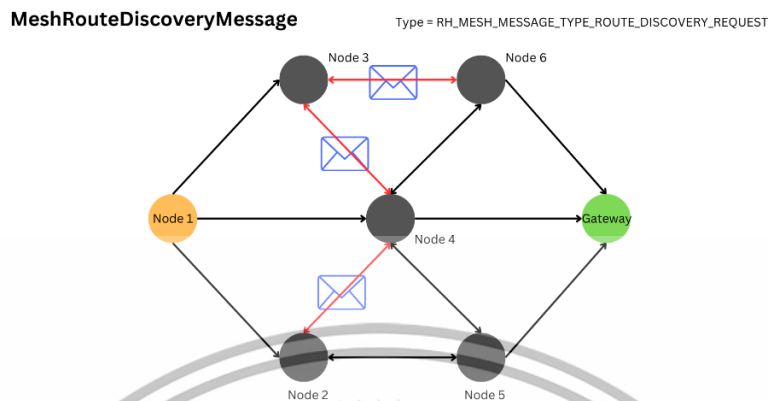
รูปที่ 3.10 การ broadcast ไปยังโหนดอื่นๆในเครือข่าย

3) เมื่อโหนดใดได้รับข้อความดังกล่าว ระบบจะตรวจสอบว่าข้อความนั้นมีปลายทางเป็นตนเองหรือไม่

a. หากใช่ โหนดจะตอบกลับไปยังต้นทางในรูปแบบ Unicast โดยข้อความที่ใช้คือ "MeshRouteDiscoveryMessage" และกำหนดให้เป็นข้อความประเภท "RH_MESH_MESSAGE_TYPE_ROUTE_DISCOVERY_RESPONSE"

b. หากไม่ใช่ โหนดจะบันทึกที่อยู่ของโหนดต้นทางลงในรายการเส้นทางที่ผ่านไปแล้ว และส่งข้อความต่อไปยังโหนดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

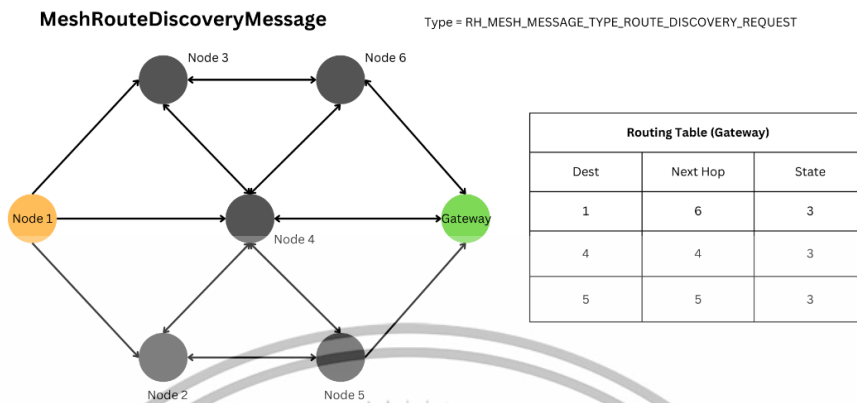


รูปที่ 3.11 หลังจากบันทึกที่อยู่ตนเองก็ส่งข้อความต่อไปยังโหนดอื่นๆ

4) หากโหนดใดได้รับข้อความที่ส่งมาในรูปแบบ Broadcast และตรวจพบว่าที่อยู่ของตนเองมีอยู่ในส่วนหัวของข้อความแล้ว (เนื่องจากเคยได้รับข้อความนี้มาก่อน) โหนดจะละเว้นข้อความดังกล่าว (Ignore) เพื่อป้องกันปัญหาการส่งซ้ำที่อาจนำไปสู่ "Broadcast Storms"

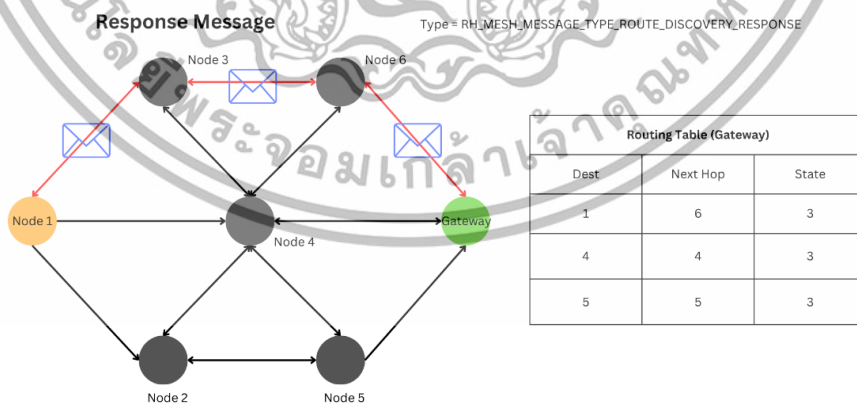
5) เมื่อโหนดปลายทาง (เกตเวย์) ได้รับข้อความที่มีประเภท "RH_MESH_MESSAGE_TYPE_ROUTE_DISCOVERY_REQUEST" ระบบจะบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับโหนดต้นทาง รวมถึงเส้นทางที่ข้อมูลถูกส่งผ่านมายังเกตเวย์ และอัปเดตข้อมูลดังกล่าวลงใน Routing Table

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 routing table ของโหนดปลายทางเกตเวย์

- 6) หลังจากที่โหนดปลายทางได้รับข้อความที่มาจาก การ Broadcast แล้ว ระบบจะส่งข้อความตอบกลับไปยังโหนดต้นทาง โดยอ้างอิงเส้นทางที่บันทึกไว้ใน Routing Table
- c. ข้อความตอบกลับจะประกอบด้วยเส้นทางทั้งหมดที่ใช้ในการเดินทางไปยังโหนดต้นทาง
 - d. การส่งข้อความกลับไปยังโหนดต้นทางจะใช้รูปแบบ Unicast แทน Broadcast

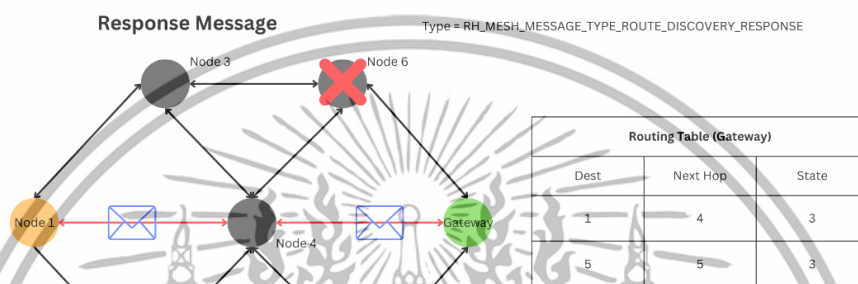


รูปที่ 3.13 การส่งข้อมูลตอบกลับไปยังโหนดต้นทางแบบ unicast

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

e. เมื่อโหนดต้นทางได้รับข้อความตอบกลับ จะทำการบันทึกเส้นทางที่ได้รับลงใน Routing Table เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลครั้งต่อไปโดยไม่ต้องเริ่มกระบวนการ Route Discovery ใหม่

7) หากเกิดโหนดที่ส่งข้อมูลเกิดการหยุดทำงานไปจะทำกลับไปทำขั้นตอน 1 – 6 ใหม่อีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 3.14 หากโหนดที่ส่งข้อมูลเกิดการหยุดทำงานจึงทำขั้นตอน 1-6 อีกรอบหนึ่ง

3.1.5.2 ออกแบบการทดสอบระบบโครงข่ายบริเวณรอบอาคาร ภาควิชา

โทรคมนาคม

ทดสอบระบบโครงข่ายแบบตาข่าย โดยกำหนดตำแหน่งเกตเวย์และโหนดแต่ละโหนดดังรูปที่ 3.15 โดยกำหนดพารามิเตอร์ในการสื่อสารให้ Spreading Factor เท่ากับ 7, Bandwidth มีค่าเท่ากับ 500 kHz กำลังส่งเท่ากับ 5 dBm เพื่อให้มีระยะรับส่งที่ไกล เนื่องจากต้องการทดสอบระบบโครงข่ายแบบตาข่าย ให้โหนดที่อยู่ไกลไม่สามารถติดต่อกับเกตเวย์ได้โดยตรง จะต้องส่งข้อมูลผ่านโหนดข้างเคียงและส่งต่อมายังเกตเวย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แผนผังเส้นทางทดสอบระบบโครงข่ายบริเวณรอบอาคาร

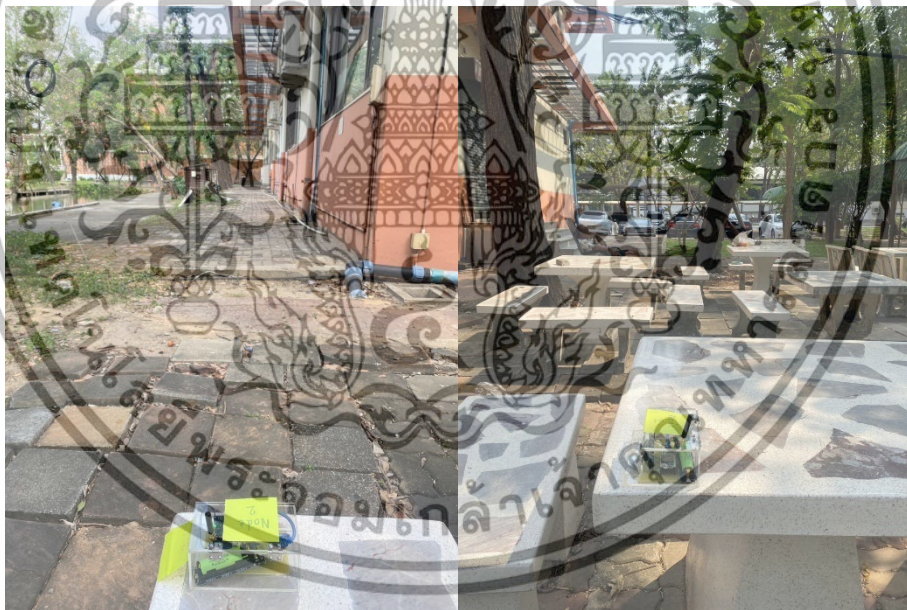


รูปที่ 3.16 ตำแหน่งติดตั้งเกตเวย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 ตำแหน่งติดตั้งโหนด 1 สำหรับการทดสอบระบบโครงข่ายบริเวณรอบอาคาร



รูปที่ 3.18 ตำแหน่งติดตั้งโหนด 2 สำหรับการทดสอบระบบโครงข่ายบริเวณรอบอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ตำแหน่งติดตั้งโหนด 3 สำหรับการทดสอบระบบโครงข่ายบริเวณรอบอาคาร

3.1.5.3 ออกแบบการทดสอบระบบโครงข่ายในแนวเส้นตรง

ทดสอบระบบโครงข่ายแบบตาข่ายบริเวณทางเดินคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ โดยกำหนดตำแหน่งเกตเวย์และโหนดแต่ละโหนดดังรูปที่ 3.20 โดยกำหนดพารามิเตอร์ในการสื่อสารให้ Spreading Factor เท่ากับ 7, Bandwidth มีค่าเท่ากับ 500 kHz กำลังส่งเท่ากับ 5 dBm เพื่อให้มีระยะรับส่งที่ไกล เนื่องจากต้องการทดสอบระบบโครงข่ายแบบตาข่าย ให้โหนดที่อยู่ไกลไม่สามารถติดต่อกับเกตเวย์ได้โดยตรง จะต้องส่งข้อมูลผ่านโหนดข้างเคียงและส่งต่อมายังเกตเวย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 แผนผังเส้นทางทดสอบระบบโครงข่ายแนวเส้นตรง



รูปที่ 3.21 ตำแหน่งติดตั้งเกตเวย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 ตำแหน่งติดตั้งโหนด 1 สำหรับการทดสอบระบบโครงข่ายแนวเส้นตรง



รูปที่ 3.23 ตำแหน่งติดตั้งโหนด 2 สำหรับการทดสอบระบบโครงข่ายแนวเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 ตำแหน่งติดตั้งโหนด 3 สำหรับการทดสอบระบบโครงข่ายแนวเส้นตรง

3.1.6 การออกแบบระบบเพื่อให้เกตเวย์ ส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตไปเก็บข้อมูลบน

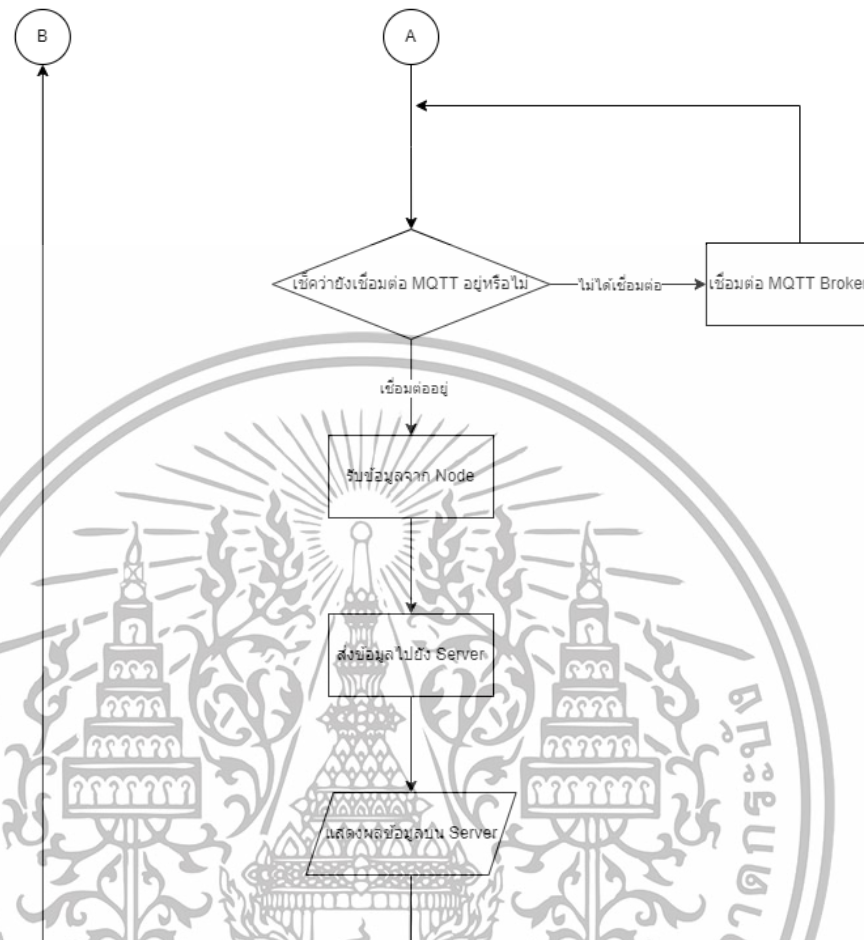
Server

ในส่วนถัดมาเมื่อได้รับข้อมูลจาก เซนเซอร์ แล้วเกตเวย์ จะทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลที่ได้รับมาและส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อนำมาเก็บและแสดงผลที่ Server ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นแผนผังแสดงระบบการทำงานการรับค่าจาก เซนเซอร์จากโหนดต่างๆ และส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อเก็บข้อมูลบน Server แสดงดังรูปที่ 3.25 เริ่มต้นที่การเชื่อมต่อ Wi-Fi หากยังเชื่อมต่อไม่สำเร็จจะพยายามเชื่อมต่อเรื่อยๆ เมื่อเชื่อมต่อสำเร็จแล้วจะเข้าสู่โหมด Light Sleep เพื่อประหยัดพลังงานหากมีการรับข้อมูลจากโหนดอื่นๆ จะทำการ Interrupt ให้ตื่นขึ้นมาจากนั้นทำการเชื่อมต่อกับ Server และส่งข้อมูลที่ได้รับมาไปจัดเก็บและแสดงผลบน Server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 ระบบการทำงานของเกตเวย์

โดยโปรโตคอลที่ทำการสื่อสารระหว่างเกตเวย์ และ Server คือโปรโตคอล MQTT เนื่องจากมีขนาดของ header ที่เล็ก ทำให้ขนาดของเฟรมข้อมูลเล็กลง โดยกำหนดให้เกตเวย์ เป็น publisher ที่จะนำส่งข้อมูลจากโหนดต่างๆ ไปยัง Server ที่ทำหน้าที่เป็น broker เพื่อรับข้อมูลจากนั้นก็บันทึกข้อมูลลงไปยังฐานข้อมูลและดึงข้อมูลมาแสดงยังหน้า Dashboard

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Windows PowerShell
Windows Terminal can be set as the default terminal application in your settings. Open Settings
KeyboardInterrupt
S D:\Bachelor_Projects\2567_LoRaMesh\Server App> python.exe .\Server_LoRa_MQTT_ver.py
S D:\Bachelor_Projects\2567_LoRaMesh\Server App\Server_LoRa_MQTT_ver.py:95: DeprecationWarning: Callback API version 1 is deprecated, update to latest version
mqtt_client = mqtt.Client()
connected to MQTT Broker!
received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 30.20, 'Humidity': 47.52, 'CO': 347.13, 'CO2': -329.97} from topic: sensor/data
data saved: {'NodeID': 1.0, 'Temperature': 30.2, 'Humidity': 47.52, 'CO': 347.13, 'CO2': -329.97}
received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 33.20, 'Humidity': 42.22, 'CO': 347.30, 'CO2': -361.69} from topic: sensor/data
data saved: {'NodeID': 1.0, 'Temperature': 33.2, 'Humidity': 42.22, 'CO': 347.3, 'CO2': -361.69}
received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 32.80, 'Humidity': 41.12, 'CO': 344.28, 'CO2': -436.20} from topic: sensor/data
data saved: {'NodeID': 1.0, 'Temperature': 32.8, 'Humidity': 41.12, 'CO': 344.28, 'CO2': -436.2}
received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 52.20, 'Humidity': 43.48, 'CO': 348.65, 'CO2': -389.25} from topic: sensor/data
data saved: {'NodeID': 1.0, 'Temperature': 52.2, 'Humidity': 43.48, 'CO': 348.65, 'CO2': -389.25}
received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 56.50, 'Humidity': 21.00, 'CO': 348.58, 'CO2': -399.11} from topic: sensor/data
data saved: {'NodeID': 1.0, 'Temperature': 56.5, 'Humidity': 21.0, 'CO': 348.58, 'CO2': -399.11}
received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 41.60, 'Humidity': 30.60, 'CO': 341.16, 'CO2': -413.76} from topic: sensor/data
data saved: {'NodeID': 1.0, 'Temperature': 41.6, 'Humidity': 30.6, 'CO': 341.16, 'CO2': -413.76}
received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 38.50, 'Humidity': 34.06, 'CO': 340.75, 'CO2': -417.58} from topic: sensor/data
data saved: {'NodeID': 1.0, 'Temperature': 38.5, 'Humidity': 34.06, 'CO': 340.75, 'CO2': -417.58}
received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 35.90, 'Humidity': 37.16, 'CO': 340.63, 'CO2': -418.84} from topic: sensor/data
data saved: {'NodeID': 1.0, 'Temperature': 35.9, 'Humidity': 37.16, 'CO': 340.63, 'CO2': -418.84}
received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 34.20, 'Humidity': 39.82, 'CO': 340.46, 'CO2': -422.56} from topic: sensor/data
data saved: {'NodeID': 1.0, 'Temperature': 34.2, 'Humidity': 39.82, 'CO': 340.46, 'CO2': -422.56}
received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 33.00, 'Humidity': 42.00, 'CO': 340.31, 'CO2': -423.40} from topic: sensor/data
data saved: {'NodeID': 1.0, 'Temperature': 33.0, 'Humidity': 42.00, 'CO': 340.31, 'CO2': -423.40}
received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 32.00, 'Humidity': 43.94, 'CO': 340.31, 'CO2': -424.98} from topic: sensor/data
data saved: {'NodeID': 1.0, 'Temperature': 32.0, 'Humidity': 43.94, 'CO': 340.31, 'CO2': -424.98}
received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 31.20, 'Humidity': 46.22, 'CO': 370.97, 'CO2': -413.86} from topic: sensor/data
data saved: {'NodeID': 1.0, 'Temperature': 31.2, 'Humidity': 46.22, 'CO': 370.97, 'CO2': -413.86}

```

รูปที่ 3.26 การรับข้อมูลของฝั่งServerด้วยโปรโตคอล MQTT

3.1.7 ออกแบบตารางข้อมูลและกำหนดประเภทข้อมูลที่เก็บข้อมูล

ออกแบบตารางข้อมูลและกำหนดประเภทข้อมูลที่จัดเก็บ ประกอบด้วย 8 คอลัมน์ ได้แก่ ID วันที่ เวลาอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณ คาร์บอนมอนอกไซด์ ปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ และ โหนด ID โดยกำหนดประเภทของข้อมูลดังนี้

- 1) ID หรือลำดับ กำหนดเป็น Primary key
- 2) โหนด ID กำหนดให้เป็นข้อมูลประเภท INTEGER
- 3) วันที่ กำหนดให้เป็นข้อมูลประเภท TEXT
- 4) เวลา กำหนดให้เป็นข้อมูลประเภท TEXT
- 5) ปริมาณ คาร์บอนมอนอกไซด์ กำหนดให้เป็นข้อมูลประเภท REAL
- 6) ปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ กำหนดให้เป็นข้อมูลประเภท REAL
- 7) อุณหภูมิ กำหนดให้เป็นข้อมูลประเภท REAL
- 8) ความชื้น กำหนดให้เป็นข้อมูลประเภท REAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บ

ID	Node ID	Date	Time	CO (ppm)	CO2 (ppm)	Temp (°C)	Humidity (%)
1	2	11/9/2024	10.02.36	12	216	26.7	86
2	3	11/9/2024	10.03.12	10	220	26.4	88
3	1	11/9/2024	10.04.06	18	235	25.9	88

ตัวอย่างฐานข้อมูล แสดงดังรูปที่ 3.27



#	#	Date	T...	M...	MQ...	T...	H...
1	2	11/10/2024	00:00:00	59.93	36136.37	81.7	85.84
2	3	11/10/2024	03:00:00	880.52	36620.09	86.55	71.58
3	1	11/10/2024	06:00:00	862.58	34909.84	59.77	64.03
4	1	11/10/2024	09:00:00	920.01	37629.69	27.4	83.64

รูปที่ 3.27 รายละเอียดฐานข้อมูล

3.1.8 คำนวณค่าพารามิเตอร์

ทางผู้จัดทำได้กำหนดให้ค่าของ Spreading Factor มีค่าเท่ากับ 12 เพื่อต้องการให้ได้ระยะทางที่ไกล, กำหนดให้ Bandwidth มีค่าเท่ากับ 125 kHz กำลังส่งเท่ากับ 20 dBm เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

คำนวณจำนวนบิตต่อสัญลักษณ์ (Symbol) ได้จากสมการที่ (3.5)

$$\text{Bit per symbol} = SF \quad (3.5)$$

$$\text{Bit per symbol} = 12$$

คำนวณ Chip Rate ได้จากสมการที่ (3.6)

$$RC = BW \quad (3.6)$$

$$RC = 125,000 \text{ chips/s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณ Symbol Rate ได้จากสมการที่ (3.7)

$$R_s = \frac{BW}{2^{SF}} \quad (3.7)$$

$$R_s = \frac{125,000}{2^{12}}$$

$$R_s = 30.51 \text{ symbol/sec}$$

คำนวณ Data Rate ได้จากสมการที่ (3.8)

$$R_b = SF \times \frac{BW}{2^{SF}} \times \frac{4}{(4+CR)} \quad (3.8)$$

$$R_b = 12 \times \frac{125,000}{2^{12}} \times \frac{4}{(4+1)}$$

$$R_b = 292.97 \text{ bits/sec}$$

คำนวณ Chip duration ได้จากสมการที่ (3.9)

$$T_c = \frac{1}{BW} \quad (3.9)$$

$$T_c = \frac{1}{125,000}$$

$$T_c = 8 \mu\text{s}$$

คำนวณ Symbol duration ได้จากสมการที่ (3.10)

$$T_s = \frac{2^{SF}}{BW} \quad (3.10)$$

$$T_s = \frac{2^{12}}{125,000}$$

$$T_s = 0.032768 \text{ sec}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณ Energy Per bits โดยกำหนดให้ P = 20 dBm ได้จากสมการที่ (3.11)

$$P(W) = \frac{10^{\frac{P(dBm)}{10}}}{1000}$$

$$P(W) = \frac{10^{\frac{20}{10}}}{125,000}$$

$$P(W) = 0.1 \text{ W}$$

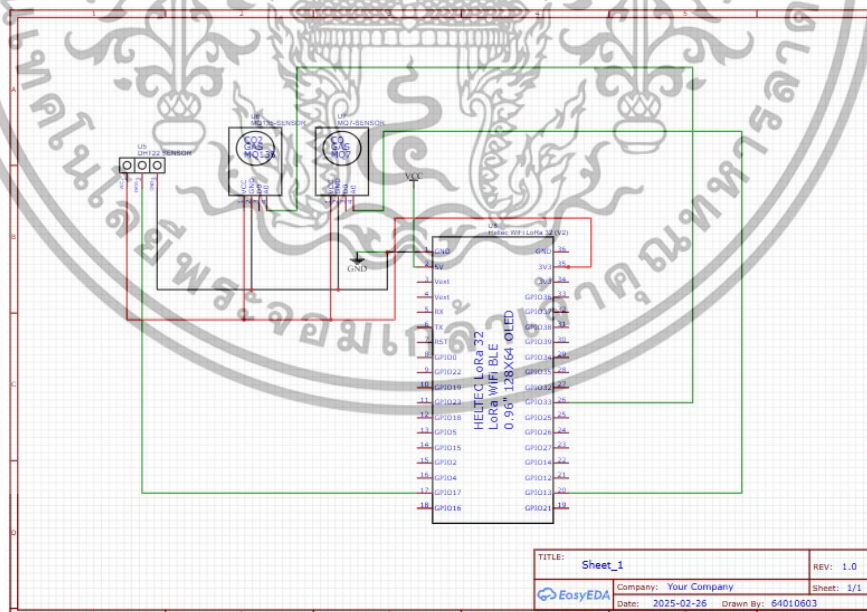
$$E_b = \frac{P}{R_b}$$

$$E_b = \frac{0.1}{292.97} = 341.3 \mu\text{J/bit}$$

(3.11)

3.1.9 Power Consumption

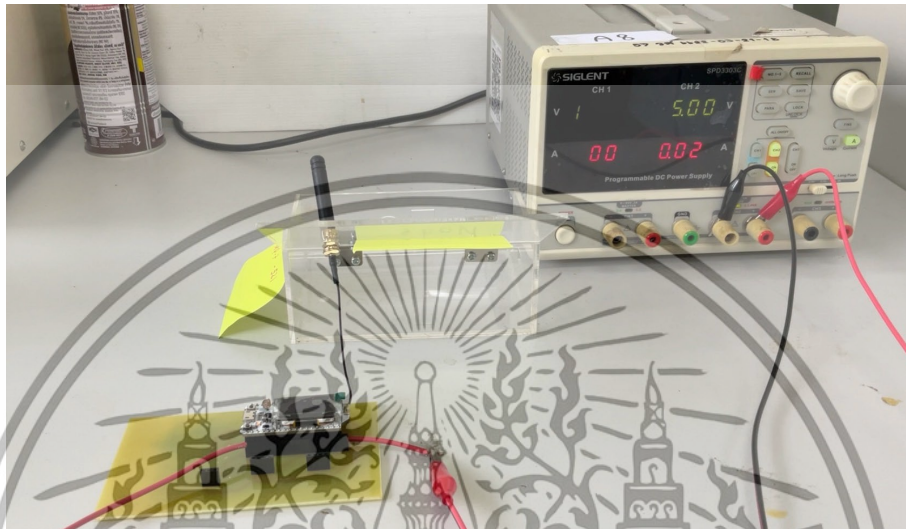
การหา Power Consumption ทำได้โดยวัด Current Consumption ในการทำงาน แต่ละโหมดที่โดยต่อแหล่งจ่ายไฟเข้าสู่วงจรที่ขา 5 แตกต่างกัน



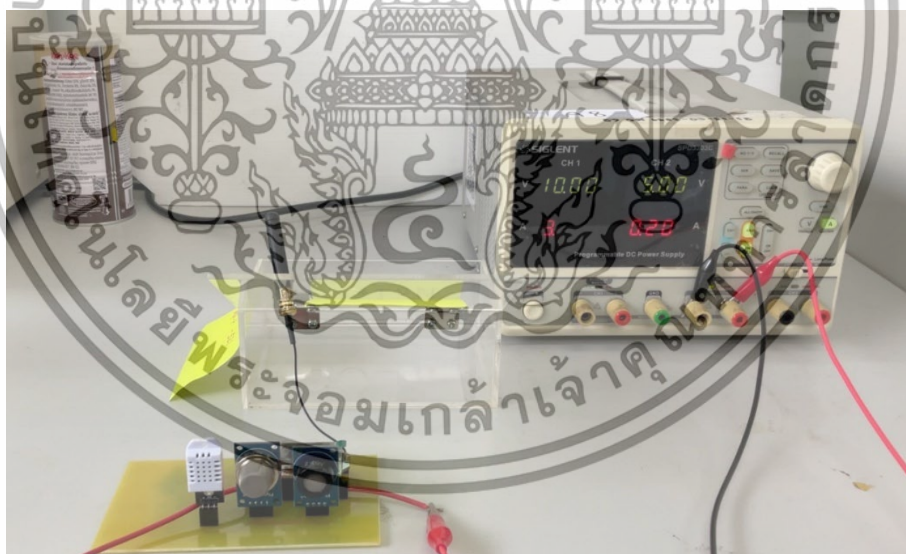
รูปที่ 3.28 วงจรวัดการบริโภคกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.9.1 วัดการบริโภคกระแสในโหมด Light sleep ตามวงจรดังรูปที่ 3.28 โดยจะวัดเทียบค่ากระแส ระหว่าง ESP32 เพียงอย่างเดียว และ ESP32 ที่เชื่อมต่อกับเซนเซอร์ ดังรูปที่ 3.29 และ 3.30



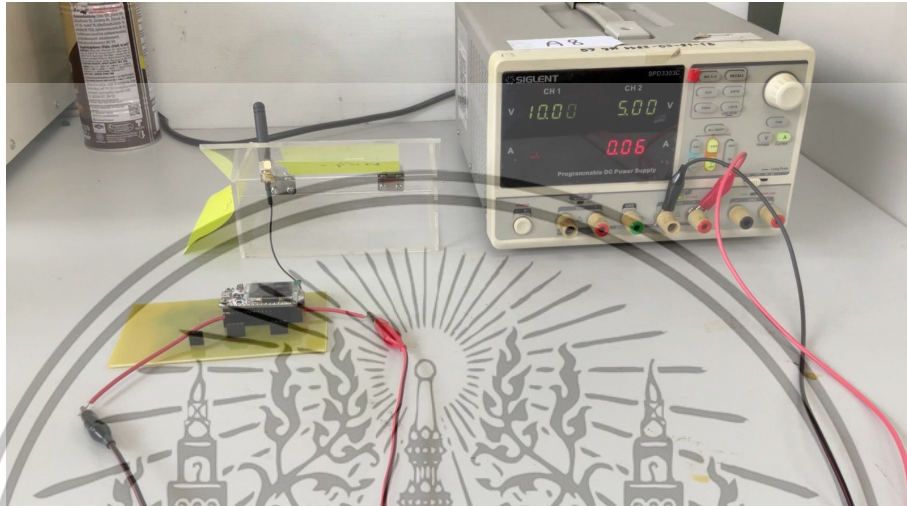
รูปที่ 3.29 การบริโภคกระแสในโหมด Light Sleep ของบอร์ด ESP32



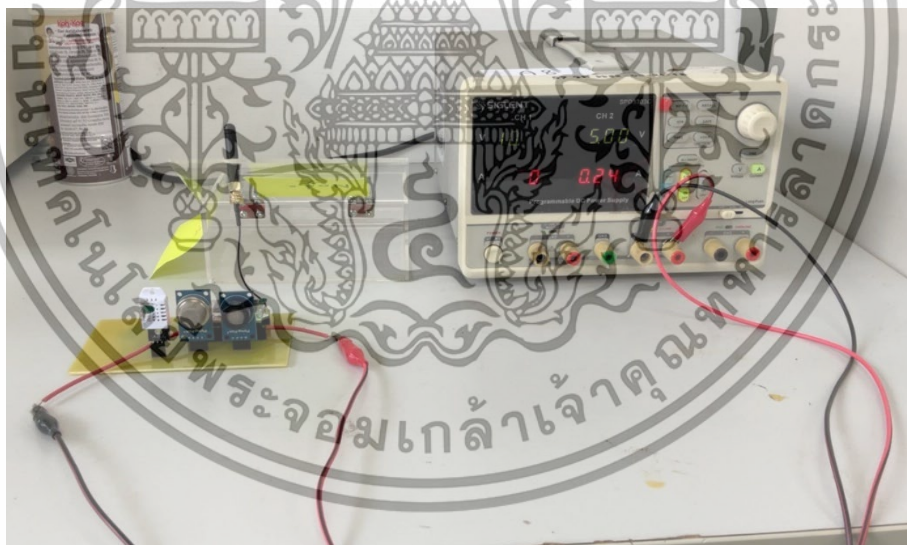
รูปที่ 3.30 การบริโภคกระแสในโหมด Light Sleep ของบอร์ด ESP32 เมื่อเชื่อมต่อกับเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.9.2 วัดการบริโภคกระแสในโหมด Active ตามวงจรดังรูปที่ 3.28 โดยจะวัดเทียบค่ากระแส ระหว่าง ESP32 เพียงอย่างเดียว และ ESP32 ที่เชื่อมต่อกับเซนเซอร์ ดังรูปที่ 3.31 และ 3.32



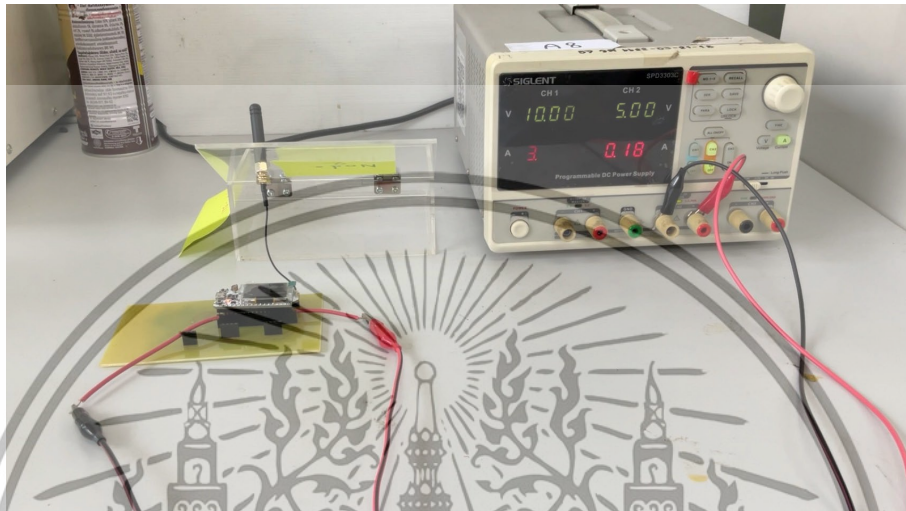
รูปที่ 3.31 การบริโภคกระแสในโหมด Active ของบอร์ด ESP32



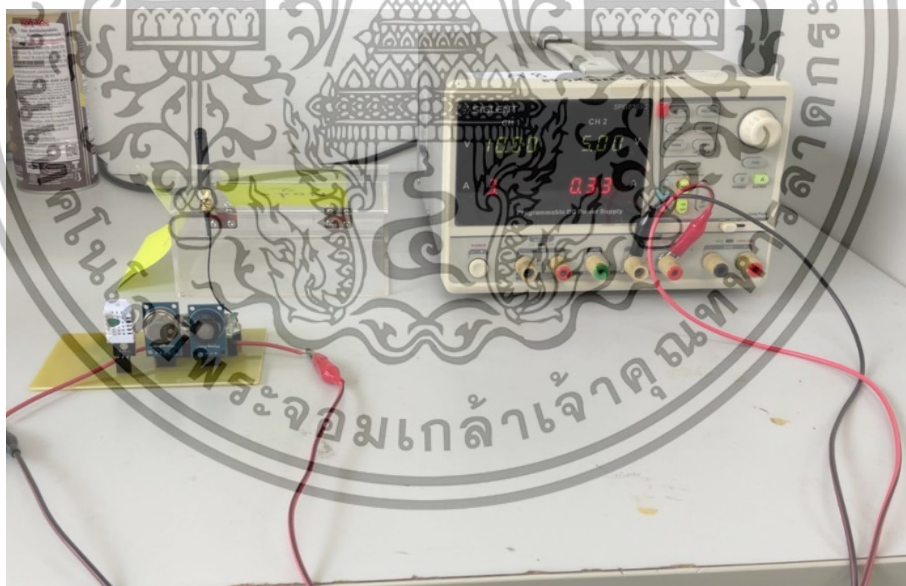
รูปที่ 3.32 การบริโภคกระแสในโหมด Active ของบอร์ด ESP32 เมื่อเชื่อมต่อกับเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.9.3 วัดการบริโภคกระแสในโหมด Transmitted ตามวงจรดังรูปที่ 3.28 โดยจะวัดเทียบค่ากระแส ระหว่าง ESP32 เพียงอย่างเดียว และ ESP32 ที่เชื่อมต่อกับ เซนเซอร์ ดังรูปที่ 3.33 และ 3.34



รูปที่ 3.33 การบริโภคกระแสในโหมด Transmit ของบอร์ด ESP32



รูปที่ 3.34 การบริโภคกระแสในโหมด Transmit ของบอร์ด ESP32 เมื่อเชื่อมต่อกับเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณ Power Consumption ได้จากสมการที่ (3.12)

$$P = I \times V \quad (3.13)$$

Light Sleep Mode

$$P_{sleep} = I_{sleep} \times V_{sleep}$$

$$P_{sleep} = 200 \text{ mA} \times 5 \text{ V}$$

$$P_{sleep} = 1.000 \text{ W}$$

Active Mode

$$P_{active} = I_{active} \times V_{active}$$

$$P_{active} = 240 \text{ mA} \times 5 \text{ V}$$

$$P_{active} = 1.200 \text{ W}$$

Transmit Mode

$$P_{transmit} = I_{transmit} \times V_{transmit}$$

$$P_{transmit} = 330 \text{ mA} \times 5 \text{ V}$$

$$P_{transmit} = 1.650 \text{ W}$$

3.1.10 Battery Life

คำนวณอายุแบตเตอรี่ได้จากสมการที่ (3.14)

$$\text{Battery life} = \frac{\text{Battery capacity (mAh)}}{\text{Average Current Drain (mA)}} \quad (3.14)$$

คำนวณการใช้งานกระแสเฉลี่ยต่อรอบในแต่ละโหมด และนำกระแสรวมมาคำนวณหาอายุของแบตเตอรี่ ซึ่งหลักการและระยะเวลาการทำงานในแต่ละโหมด ในหนึ่งรอบใช้ระยะเวลา 3 ชั่วโมง

คำนวณค่าเฉลี่ยการบริโภคได้จากสมการที่ (3.15)

$$I_{avg} = \frac{(I_{sleep} \times T_{sleep}) + (I_{active} \times T_{active}) + (I_{transmit} \times T_{transmit})}{T_{total}} \quad (3.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดค่าตัวแปรแต่ละโหมด

Light Sleep Mode

$$\text{อัตราการบริโภคพลังงาน } I_{\text{sleep}} = 20 \text{ mA}$$

$$\text{ระยะเวลา } T_{\text{sleep}} = 12 \text{ นาที ต่อรอบ}$$

Active Mode

$$\text{อัตราการบริโภคพลังงาน } I_{\text{active}} = 240 \text{ mA}$$

$$\text{ระยะเวลา } T_{\text{active}} = 7 \text{ นาที ต่อรอบ}$$

Transmit Mode

$$\text{อัตราการบริโภคพลังงาน } I_{\text{transmit}} = 330 \text{ mA}$$

$$\text{ระยะเวลา } T_{\text{transmit}} = 0.5 \text{ นาที ต่อรอบ}$$

รอบเวลาการทำงาน 3 ชั่วโมง

คำนวณกระแสที่ใช้ในแต่ละโหมดต่อ 3 ชั่วโมงได้จากสมการที่ (3.16)

$$Q = I \times t \quad (3.16)$$

Sleep Mode

$$Q_{\text{sleep}} = I_{\text{sleep}} \times t_{\text{sleep}}$$

$$Q_{\text{sleep}} = 200 \text{ mA} \times \frac{12}{60} \text{ h} \times 9$$

$$Q_{\text{sleep}} = 360 \text{ mAh}$$

Active Mode

$$Q_{\text{active}} = I_{\text{active}} \times t_{\text{active}}$$

$$Q_{\text{active}} = 240 \text{ mA} \times \frac{7}{60} \text{ h} \times 9$$

$$Q_{\text{active}} = 252 \text{ mAh}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transmission Mode

$$Q_{transmit} = I_{transmit} \times t_{transmit}$$

$$Q_{transmit} = 330 \text{ mA} \times \frac{0.5}{60} \text{ h}$$

$$Q_{transmit} = 2.75 \text{ mAh}$$

คำนวณกระแสเฉลี่ยจากสมการที่ (3.15)

$$I_{avg} = \frac{360 + 252 + 2.75}{3}$$

$$I_{avg} = 204.917 \text{ mA}$$

คำนวณอายุการใช้งานแบตเตอรี่จากสมการที่ (3.14)

$$\frac{9600 \text{ mAh}}{204.917 \text{ mA}} = 46.84 \text{ h}$$

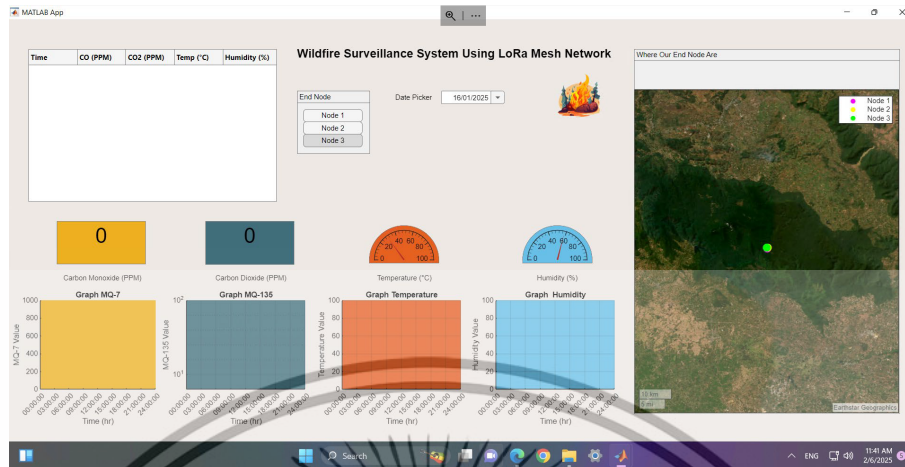
3.1.10 การออกแบบ MATLAB App Designer

ทำการออกแบบเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึง Dashboard ได้สะดวก ทำการออกแบบบน MATLAB App Designer โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.1.10.1 ทำการออกแบบหน้า Dashboard โดยใช้ MATLAB App Designer

ทำการออกแบบหน้า Dashboard โดยใช้ MATLAB App Designer ดัง รูปที่ 3.16 โดยมีองค์ประกอบทั้งหมด 4 ส่วน ได้แก่ 1. ส่วนของ Header ที่แสดงชื่อของ Dashboard ที่ทำ 2. ส่วนที่ให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกวันที่และโหนดตามที่ต้องการ 3. ส่วนที่ให้ผู้ใช้งานดูข้อมูลจากเซนเซอร์ ได้ทั้งรูปแบบเวลา ณ ปัจจุบัน (Real Time) รูปแบบตาราง และรูปแบบกราฟ 4. ส่วนที่ระบุตำแหน่งของโหนดในแผนที่ภูมิศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.35 ภาพรวมของ Dashboard

3.1.10.2 ทำการเขียนโปรแกรมการทำงาน MATLAB App Designer

หลังจากทำการออกแบบหน้า Dashboard โดยใช้ MATLAB App Designer แล้วทำการเขียนโปรแกรมการทำงาน MATLAB App Designer ใน Callback Function เพื่อตอบสนองการทำงานของปุ่มเมื่อผู้ใช้งานกดปุ่มนั้นๆ

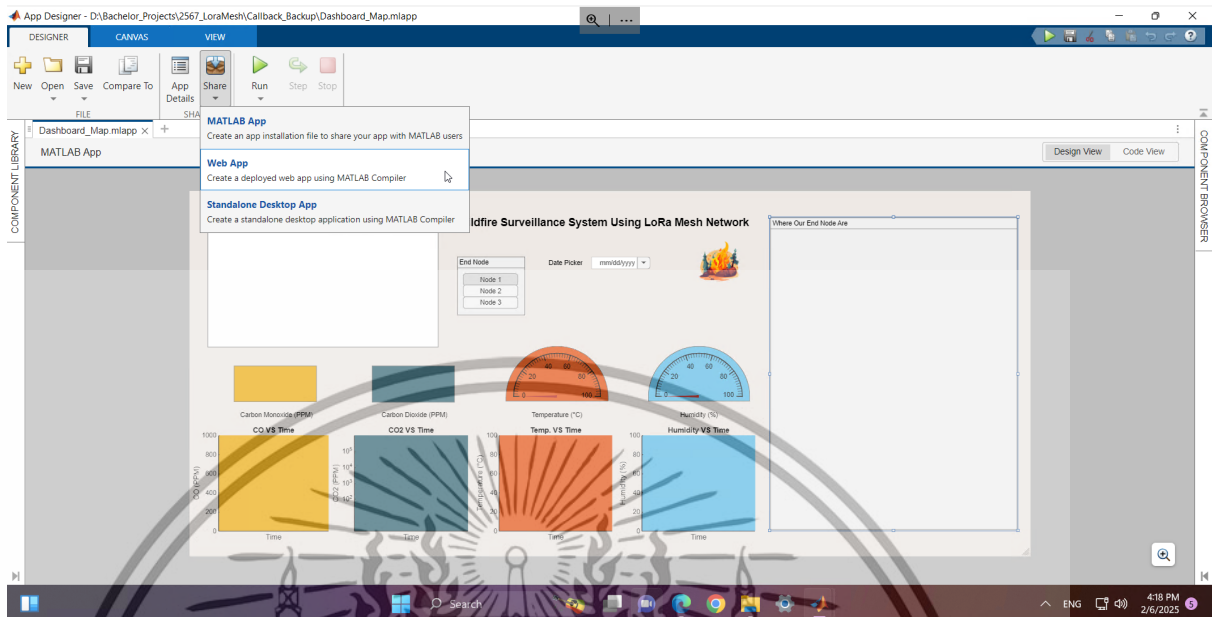
3.1.10.3 ทดสอบการทำงานของหน้า Dashboard

หลังจากทำการเขียนโปรแกรมการทำงาน MATLAB App Designer ใน Callback Function แล้วทำการทดสอบการทำงานของหน้า Dashboard จากนั้นปรับปรุงให้เหมาะสมกับการใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3.1.10.4 ทำการบันทึก MATLAB App Designer

เมื่อทำการเขียนโปรแกรมการทำงาน MATLAB App Designer ใน Callback Function เรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการบันทึกไฟล์ของ MATLAB App Designer แสดงดังรูปที่ 3.17 เพื่อนำไปใช้งานบน MATLAB Server โดยใช้ไฟล์ .ctf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.36 การบันทึกแอปพลิเคชัน

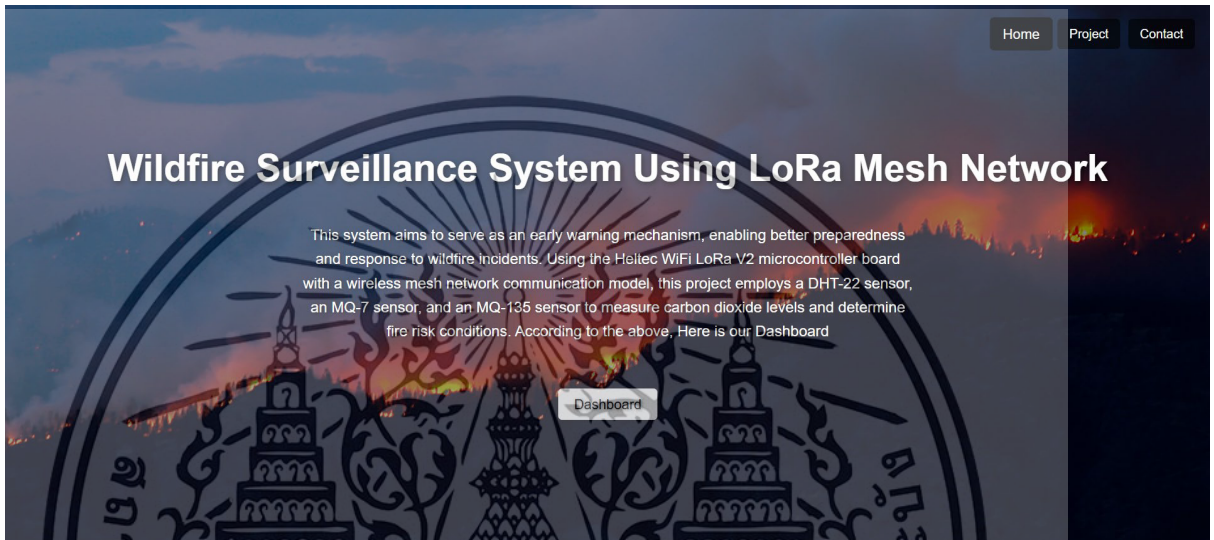
3.1.10.5 นำ MATLAB App Designer ไปใช้งานบน MATLAB Server

หลังจากได้ไฟล์ .cft แล้วนำไฟล์ที่ได้ไปวางในโฟลเดอร์ webapps ของโปรแกรม MATLAB เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงหน้าเว็บแอปพลิเคชันที่สร้างขึ้นได้โดยไม่ต้องติดตั้งโปรแกรม MATLAB

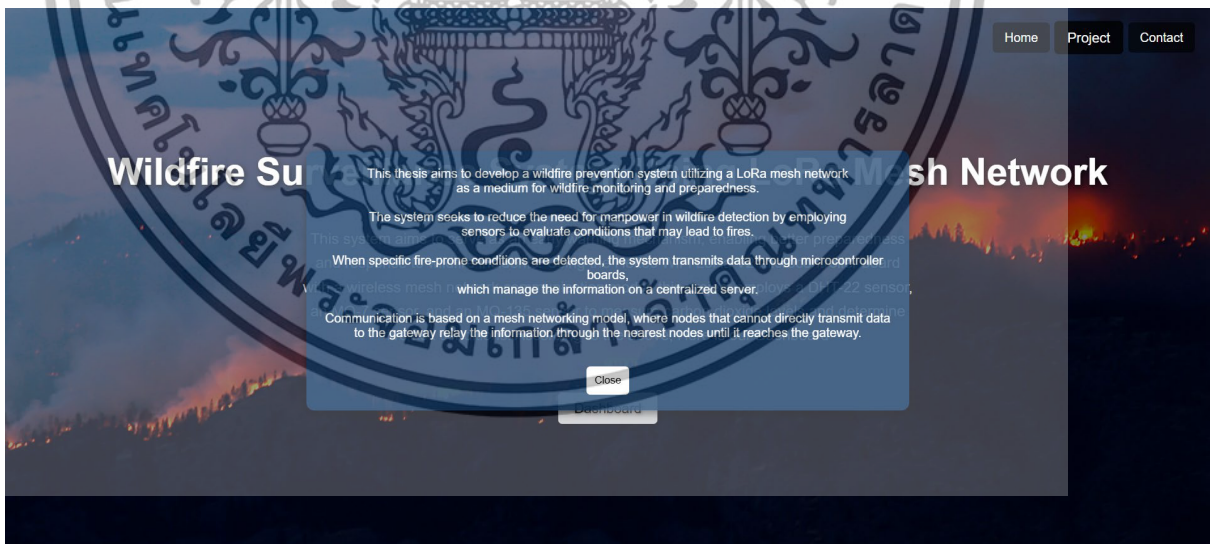
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.11 การออกแบบหน้า Web App ระบบป้องกันไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa

3.1.11.1 ทำการเขียนโปรแกรมหน้า Web App เพื่อแสดงค่าที่ได้รับจากเซนเซอร์ มาแสดงผลบน Dashboard

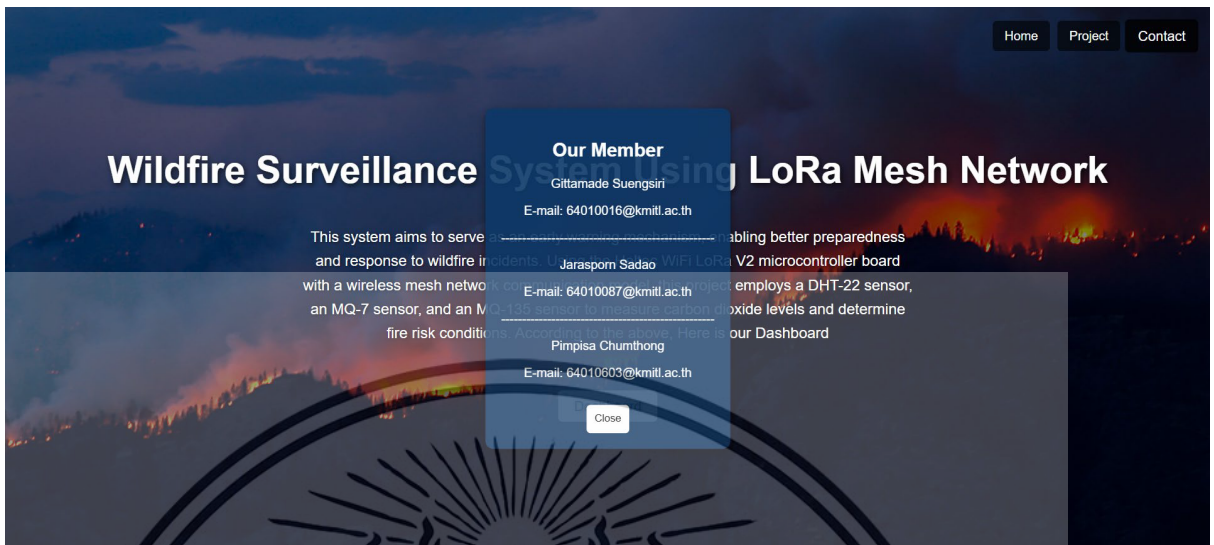


รูปที่ 3.37 หน้า Web Page เมื่อกดปุ่ม Home



รูปที่ 3.38 หน้า Web Page เมื่อกดปุ่ม Project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

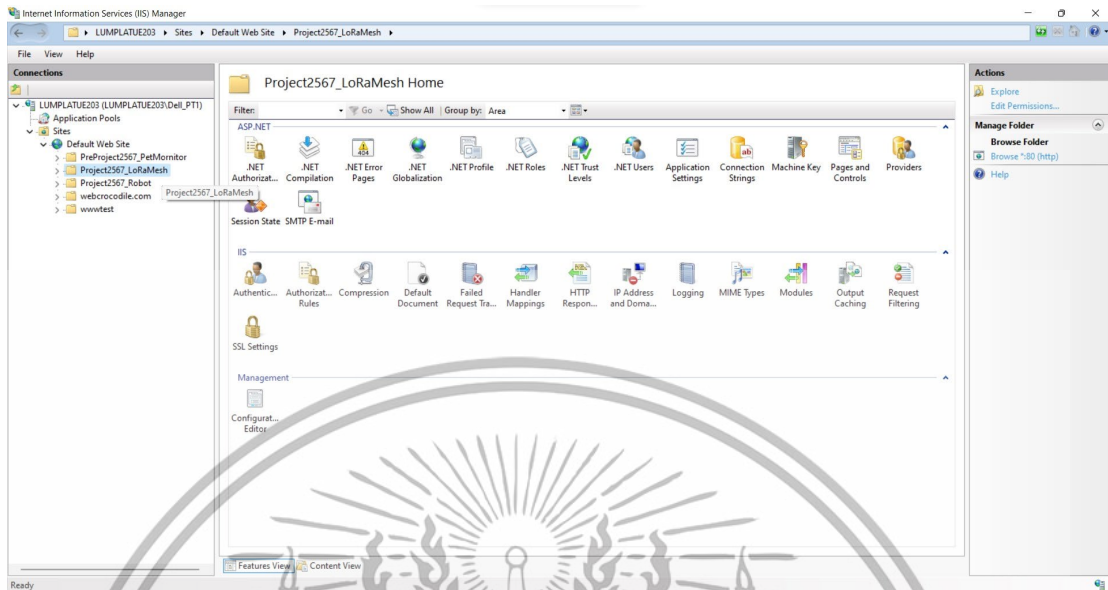


รูปที่ 3.39 หน้า Web Page เมื่อกดปุ่ม Contact

3.1.11.2 ทำการสร้างเว็บแอปพลิเคชันบน IIS

ทำการสร้างไฟล์เตอร์ Project2567_LoRaMesh สำหรับเว็บไซต์บน IIS และเปิดใช้งานผ่านพอร์ต 80 จากนั้นตั้งค่าให้ IIS ใช้พอร์ต 80 เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงเว็บไซต์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ได้ เนื่องจาก IIS (Internet Information Services) เป็นโปรแกรม Web Server บนระบบปฏิบัติการ Windows ที่ช่วยให้คอมพิวเตอร์สามารถให้บริการเว็บไซต์และเข้าถึงข้อมูลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ต่าง ๆ เช่น Internet Explorer (IE), Google Chrome และ Mozilla Firefox แสดงดังรูปที่ 3.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.40 การสร้างเว็บแอปพลิเคชันบน IIS

3.1.11.3 ทำการกำหนดที่อยู่ไฟล์ของหน้าเว็บแอปพลิเคชัน

ทำการย้ายที่อยู่ของไฟล์ .html ที่ได้ทำการเขียนไปเก็บไว้บน wwwroot ที่อยู่ไฟล์แสดงดังรูปที่ 3.22

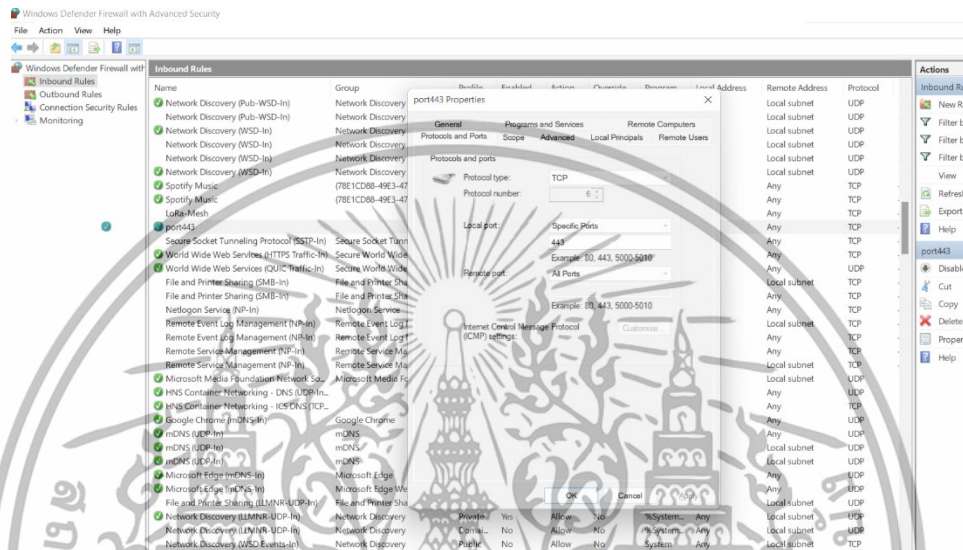


รูปที่ 3.41 การกำหนดที่อยู่ไฟล์ของหน้าเว็บแอปพลิเคชัน

3.1.11.4 ทำการเปิดพอร์ต Firewall ของเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแสดงผลหน้า Dashboard ที่สร้างขึ้นโดยใช้ MATLAB App Designer จำเป็นต้องทำงานบน MATLAB Web App Server ซึ่งต้องมีการเปิดพอร์ต Firewall ของเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ ซึ่งในที่นี้จะใช้พอร์ต 443 ขั้นตอนการเปิดพอร์ต Firewall แสดงดังรูปที่ 3.42

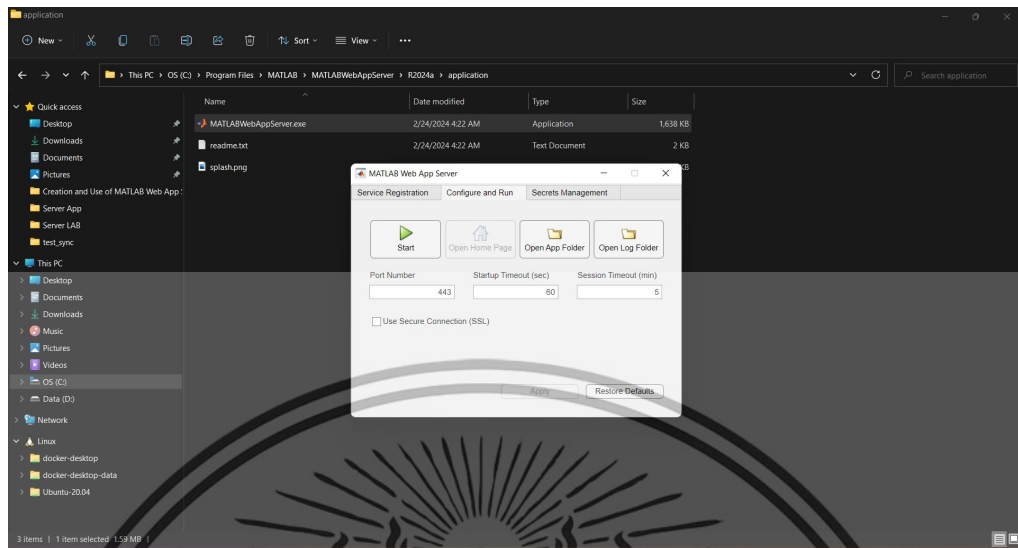


รูปที่ 3.42 การเปิดพอร์ต 443

3.1.11.5 ทำการเปิด Service ของ MATLAB Web App Server

ทำการเปิด Service ของ MATLAB Web App Server เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงและใช้งานหน้า Dashboard ที่พัฒนาโดย MATLAB ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ได้ โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้ง MATLAB บนเครื่องของผู้ใช้ ซึ่งเมื่อทำการเปิด Service ของ MATLAB Web App Server จะสามารถเข้าถึงหน้าเว็บแอปพลิเคชันได้ดังรูปที่ 3.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

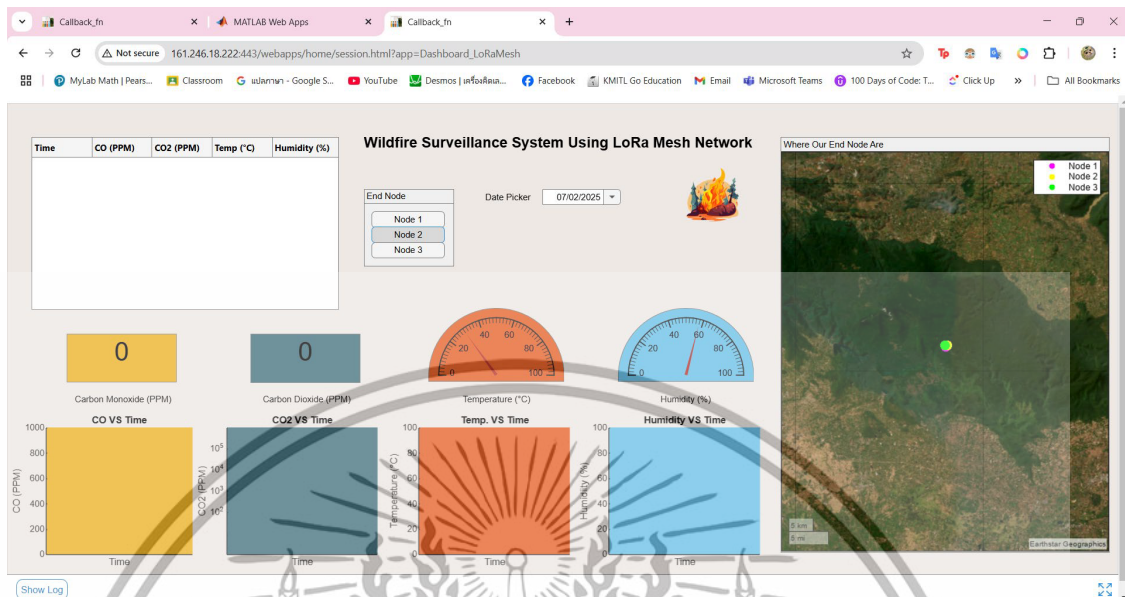


รูปที่ 3.43 การเปิด Service ของ MATLAB Web App Server



รูปที่ 3.44 การเปิดใช้งาน Web App Server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.45 หน้า Dashboard เมื่อทำการเปิดผ่านเว็บเบราว์เซอร์

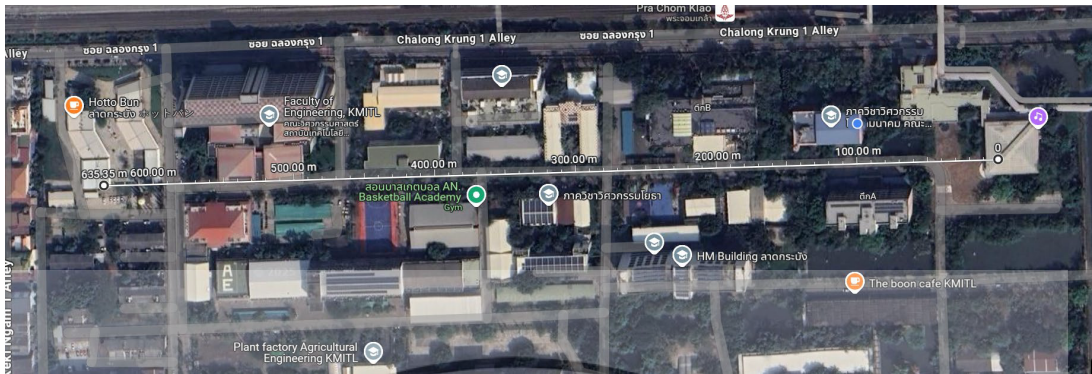
3.1.12 การออกแบบการทดสอบคุณภาพสัญญาณเกี่ยวกับการสูญเสียเชิงวิถี

ทำการออกแบบการทดสอบคุณภาพสัญญาณเกี่ยวกับการสูญเสียเชิงวิถี เพื่อให้แน่ใจว่าระบบสื่อสารไร้สายเหมาะสมกับเงื่อนไขการใช้งานจริง และสัญญาณจากแต่ละโหนดสามารถสื่อสารกับเกตเวย์ได้

3.1.12.1 การออกแบบตำแหน่งที่ทำการทดสอบ

ทำการออกแบบการทดสอบคุณภาพสัญญาณเกี่ยวกับการสูญเสียเชิงวิถี โดยตำแหน่งที่ทำการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.46 ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ

3.1.12.2 ทำการทดสอบคุณภาพสัญญาณเทียบกับการสูญเสียเชิงวิถี

ทำการทดสอบคุณภาพสัญญาณเทียบกับการสูญเสียเชิงวิถี โดยเริ่มเก็บค่าคุณภาพสัญญาณเมื่อวางเกตเวย์ห่างจากโหนดตั้งแต่ระยะ 5 เมตร จากนั้นทำการเพิ่มระยะอีก 5 เมตร ทำเช่นนี้เข้าไปเรื่อยๆ โดยสามารถทำการเก็บค่าคุณภาพสัญญาณได้ถึงระยะ 635 เมตร เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องระยะทาง การทดสอบคุณภาพสัญญาณเทียบกับการสูญเสียเชิงวิถี แสดงดังรูปที่ 3.47



รูปที่ 3.47 การทดสอบคุณภาพสัญญาณเทียบกับการสูญเสียเชิงวิถี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.13 การออกแบบและประกอบกล่องใส่อุปกรณ์

3.1.13.1 การออกแบบขนาดของชิ้นส่วนอะคริลิกสำหรับนำไป Laser Cut

ทำการออกแบบขนาดของชิ้นส่วนอะคริลิกด้วยโปรแกรม Auto Laser เพื่อนำไปตัดอะคริลิกด้วยเครื่องตัดเลเซอร์ โดยใช้อะคริลิกความหนา 3 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.48

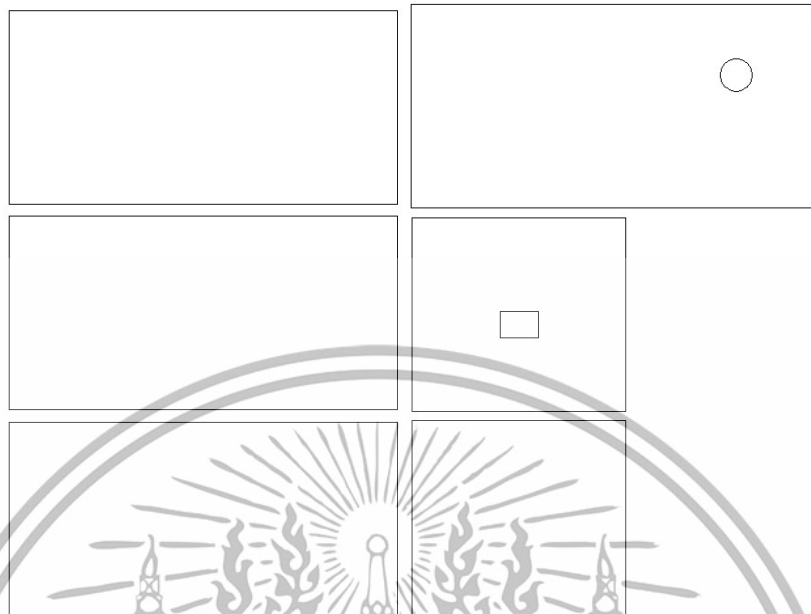


รูปที่ 3.48 ออกแบบขนาดชิ้นส่วนอะคริลิกด้วยโปรแกรม Auto Laser ของโหนดที่ 1



รูปที่ 3.49 ออกแบบขนาดชิ้นส่วนอะคริลิกด้วยโปรแกรม Auto Laser ของโหนดที่ 2 และโหนดที่ 3

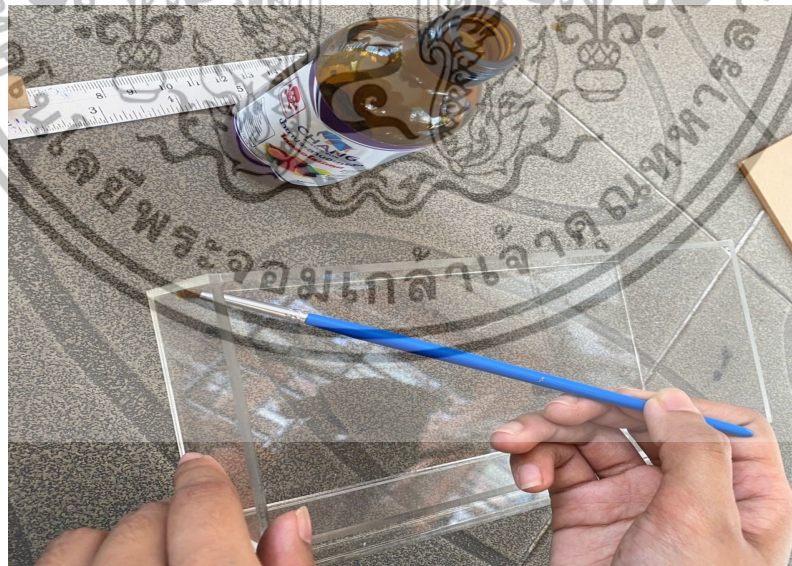
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.50 ออกแบบขนาดชิ้นส่วนอะคริลิกด้วยโปรแกรม Auto Laser ของเกตเวย์

3.1.13.2 การประสานชิ้นส่วนอะคริลิก

ทำการประสานชิ้นส่วนอะคริลิกด้วยน้ำยาประสานอะคริลิกเพื่อประกอบเป็นกล่องใส่อุปกรณ์ แสดงดังรูปที่ 3.51



รูปที่ 3.51 ทำการประสานชิ้นส่วนอะคริลิกด้วยน้ำยาประสานอะคริลิก โหนด 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.52 ทำการประสานชิ้นส่วนอะคริลิกด้วยน้ำยาประสานอะคริลิก โหนด 2 และ โหนด 3



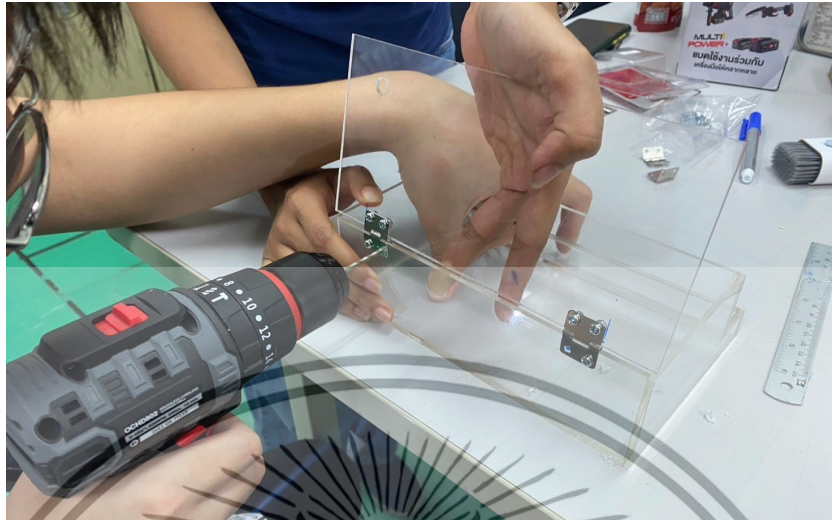
รูปที่ 3.53 ทำการประสานชิ้นส่วนอะคริลิกด้วยน้ำยาประสานอะคริลิกเกตเวย์

3.1.13.3 การเจาะอะคริลิกเพื่อยึดบานพับกล่องใส่อุปกรณ์

ทำการเจาะอะคริลิกเพื่อยึดบานพับกล่องใส่อุปกรณ์โดยใช้สว่านในการยึด

แสดงดังรูปที่ 3.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

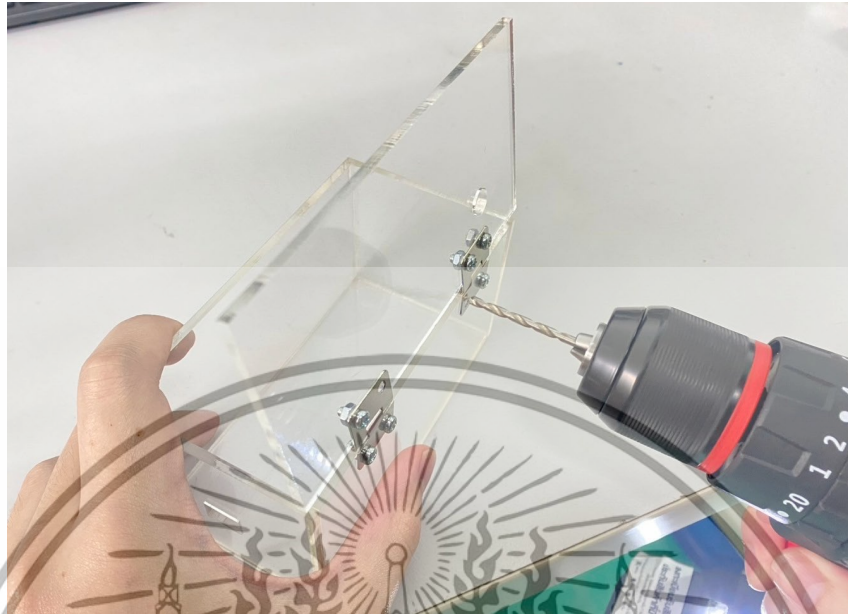


รูปที่ 3.54 ทำการเจาะอะคริลิกเพื่อยึดบานพับกล่องอุปกรณ์สี่เหลี่ยมที่ 1



รูปที่ 3.55 ทำการเจาะอะคริลิกเพื่อยึดบานพับกล่องอุปกรณ์สี่เหลี่ยมที่ 2 และเหลี่ยมที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.56 ทำการเจาะอะคริลิกเพื่อยึดบานพับกล่องอุปกรณ์ใส่เกตเวย์

3.1.14 การทดสอบเซนเซอร์โดยการจำลองเมื่อเกิดการเผาไหม้

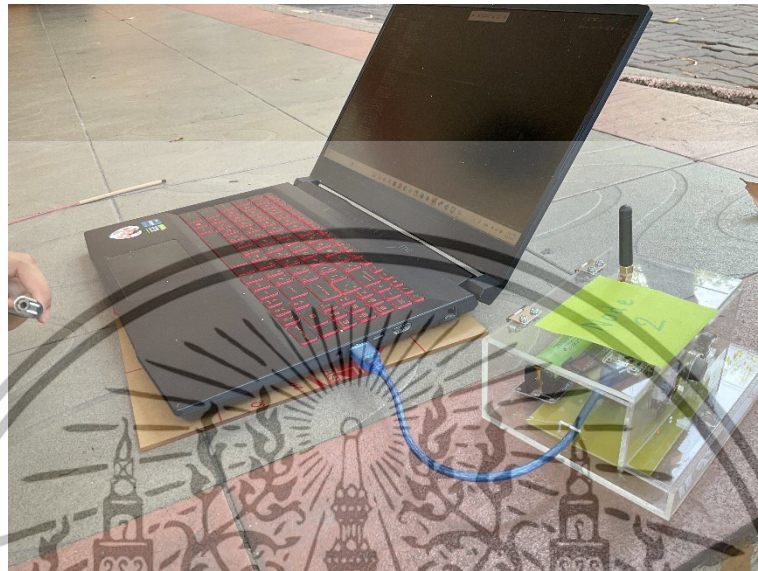
3.1.14.1 ทำการทดสอบเซนเซอร์ DHT22 เพื่อทดสอบอุณหภูมิและความชื้น ก่อนเกิดการเผาไหม้ โดยทำการวางเซนเซอร์ไว้ในสภาพอากาศปกติ แสดงดังรูปที่ 3.57



รูปที่ 3.57 การทดสอบเซนเซอร์ DHT22 ในสภาพอากาศปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

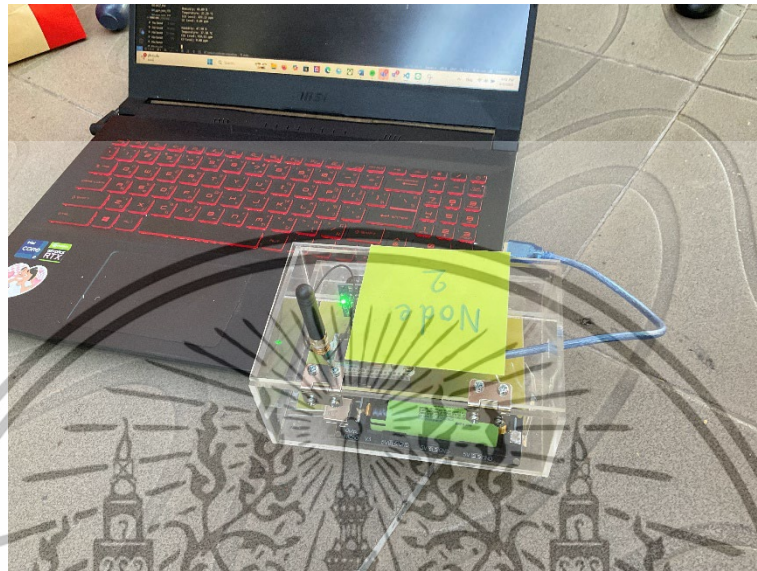
3.1.14.2 ทำการทดสอบเซนเซอร์ MQ7 เพื่อตรวจจับ CO ก่อนเกิดการเผาไหม้ โดยทำการวางเซนเซอร์ไว้ที่สภาพอากาศปกติ แสดงดังรูปที่ 3.58



รูปที่ 3.58 การทดสอบเซนเซอร์ MQ7 ในสภาพอากาศปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.14.3 ทำการทดสอบเซนเซอร์ MQ135 เพื่อตรวจจับปริมาณ CO₂ ก่อนเกิดการเผาไหม้ โดยทำการวางเซนเซอร์ไว้ที่สภาพอากาศปกติ แสดงดังรูปที่ 3.59



รูปที่ 3.59 การทดสอบเซนเซอร์ MQ135 ในสภาพอากาศปกติ

3.1.14.4 ทำการทดสอบเซนเซอร์ DHT22 เพื่อทดสอบอุณหภูมิและความชื้น ขณะเกิดการเผาไหม้ โดยใช้เครื่องเป่าผมเพื่อให้ความร้อนและทำให้อุณหภูมิและความชื้นในอากาศลดลง แสดงดังรูปที่ 3.60



รูปที่ 3.60 การทดสอบเซนเซอร์ DHT22 เพื่อทดสอบอุณหภูมิและความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.14.5 ทำการทดสอบเซนเซอร์ MQ7 เพื่อตรวจจับ CO ขณะเกิดการเผาไหม้ โดยทำการจุดกิ่งไม้และใบไม้แห้ง แสดงดังรูปที่ 3.61



รูปที่ 3.61 การทดสอบเซนเซอร์ MQ7 ขณะเกิดการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.14.6 ทำการทดสอบเซนเซอร์ MQ135 เพื่อตรวจจับ CO₂ ขณะเกิด
การเผาไหม้ โดยทำการจุดกิ่งไม้และใบไม้แห้ง แสดงดังรูปที่ 3.62



รูปที่ 3.62 การทดสอบเซนเซอร์ MQ135 ขณะเกิดการเผาไหม้

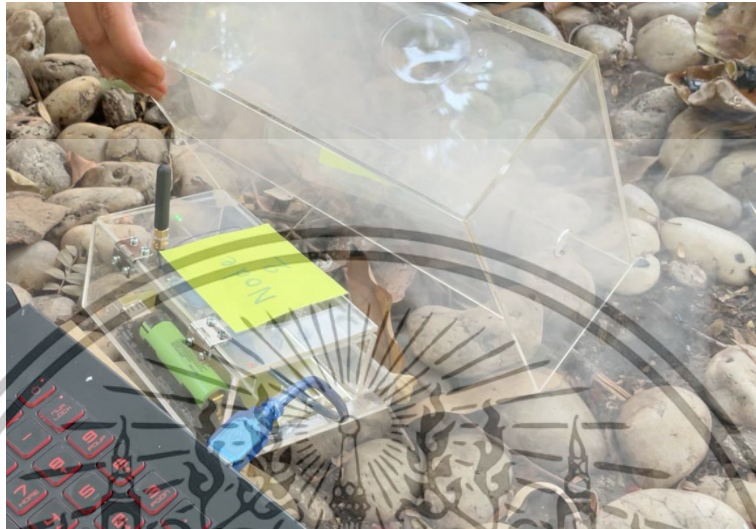
3.1.14.7 ทำการทดสอบเซนเซอร์ DHT22 เพื่อทดสอบอุณหภูมิและ
ความชื้น หลังเกิดการเผาไหม้ โดยทำการดับไฟแล้วส่งค่าจากเซนเซอร์ แสดงดังรูปที่ 3.63



รูปที่ 3.63 การทดสอบเซนเซอร์ DHT22 เพื่อทดสอบอุณหภูมิและความชื้น หลังเกิดการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.14.8 ทำการทดสอบเซนเซอร์ MQ7 เพื่อตรวจจับ CO หลังเกิดการเผาไหม้ โดยทำการดับไฟแล้วสังเกตค่าจากเซนเซอร์ แสดงดังรูปที่ 3.64



รูปที่ 3.64 การทดสอบเซนเซอร์ MQ7 หลังเกิดการเผาไหม้

3.1.14.9 ทำการทดสอบเซนเซอร์ MQ135 เพื่อตรวจจับ CO₂ หลังเกิดการเผาไหม้ โดยทำการดับไฟแล้วสังเกตค่าจากเซนเซอร์ แสดงดังรูปที่ 3.65



รูปที่ 3.65 การทดสอบเซนเซอร์ MQ135 หลังเกิดการเผาไหม้

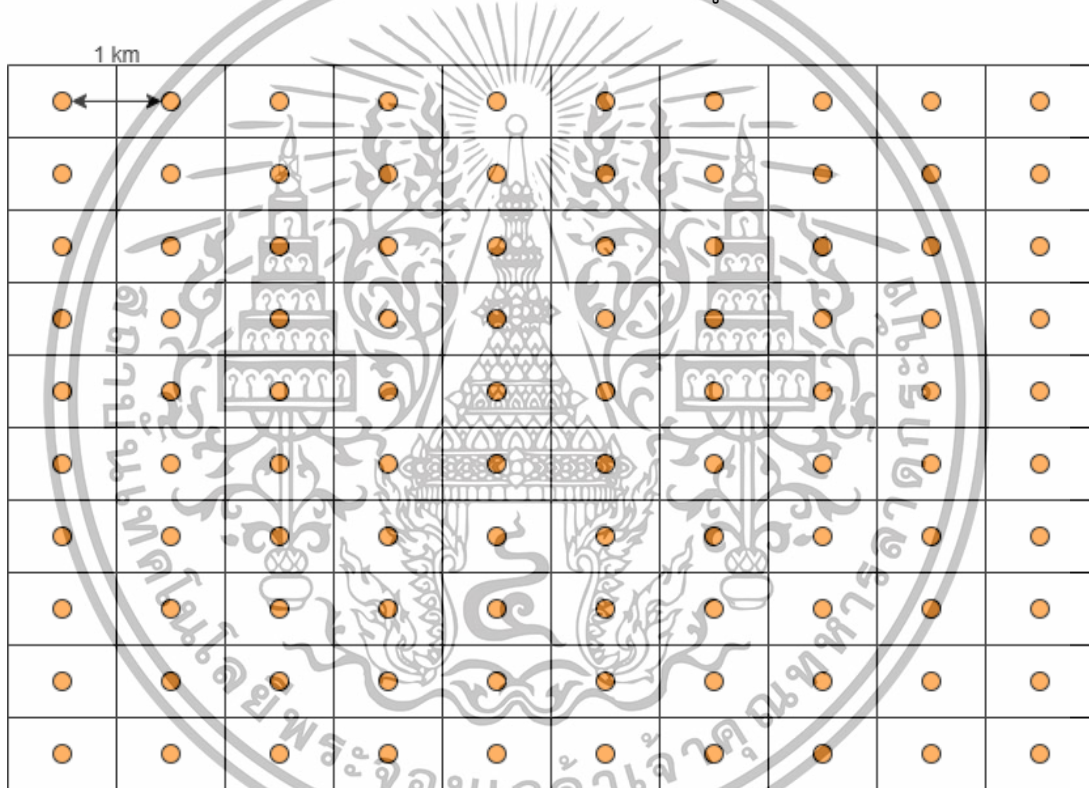
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.15 การออกแบบเพื่อกำหนดขนาดของพื้นที่ป่าที่ต้องการติดตั้ง

ทำการออกแบบเพื่อกำหนดขนาดของพื้นที่ป่าที่ต้องการติดตั้งโดยในตัวอย่างการออกแบบในปฏิญญาพันธบัตรนี้ทำการยกตัวอย่างขนาดของพื้นที่ป่าเป็นรูปแบบเรขาคณิต เป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมและพื้นที่หกเหลี่ยมเพื่อให้สามารถจำลองการคำนวณจำนวนโหนดที่ต้องการติดตั้งได้

3.1.15.1 การออกแบบเพื่อกำหนดขนาดของพื้นที่ป่าลักษณะพื้นที่สี่เหลี่ยม

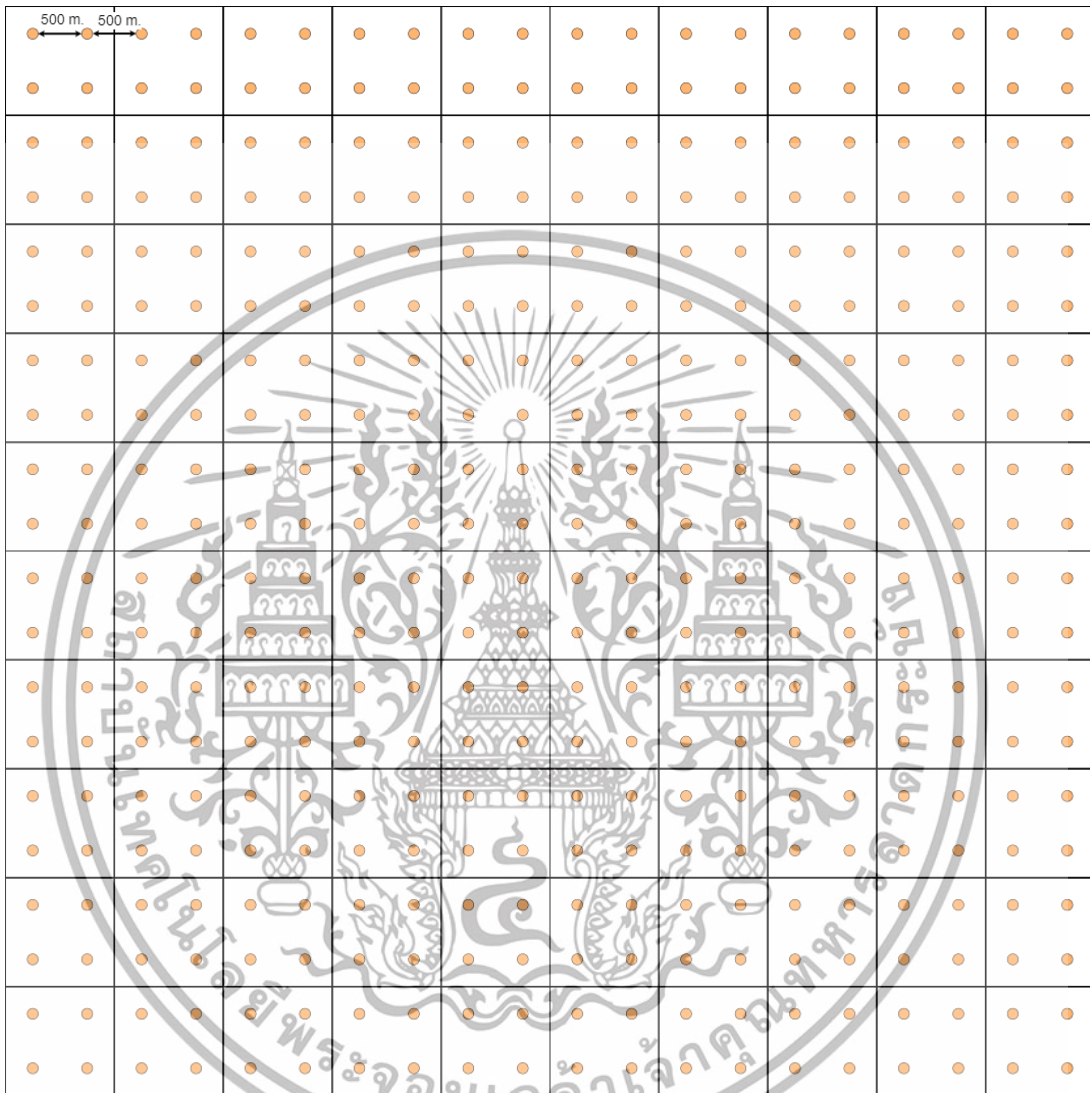
1) ทำการออกแบบเพื่อกำหนดขนาดของพื้นที่ป่าลักษณะพื้นที่สี่เหลี่ยมโดยวางระยะห่างของโหนดห่างกัน 1 กิโลเมตร แสดงดังรูปที่ 3.66



รูปที่ 3.66 พื้นที่ป่าลักษณะพื้นที่สี่เหลี่ยมโดยวางระยะห่างของโหนดห่างกัน 1 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ทำการออกแบบเพื่อกำหนดขนาดของพื้นที่ป่าลักษณะพื้นที่
สี่เหลี่ยมโดยวางระยะห่างของโหนดห่างกัน 500 เมตร แสดงดังรูปที่ 3.67



รูปที่ 3.67 พื้นที่ป่าลักษณะพื้นที่สี่เหลี่ยมโดยวางระยะห่างของโหนดห่างกัน 500 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.16 การออกแบบการคำนวณจำนวนโหนดที่ใช้ในการติดตั้ง

3.1.16.1 การออกแบบการคำนวณจำนวนโหนดที่ใช้ในการติดตั้งพื้นที่
สี่เหลี่ยม

ในกรณีพื้นที่ป่าที่ต้องการติดตั้งเซนเซอร์มีลักษณะเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยม ซึ่ง
ยกตัวอย่าง พื้นที่ป่า 150 ตารางกิโลเมตร โดยมีความกว้างประมาณ 10 กิโลเมตร และมีความยาว
ประมาณ 15 กิโลเมตร หรือคิดเป็น 93,750 ไร่ ทำการคำนวณจำนวนเซนเซอร์ตามขนาดของพื้นที่
โดยแบ่งตามระยะการวางตำแหน่งโหนดได้ จากสมการที่ (3.17)

$$N = \left(\frac{W}{d} + 1\right) \times \left(\frac{H}{d} + 1\right) \quad (3.17)$$

เมื่อ

N = จำนวนโหนดที่ใช้ในการติดตั้ง

W = ความกว้างของพื้นที่ป่า (กิโลเมตร)

H = ความยาวของพื้นที่ป่า (กิโลเมตร)

d = ระยะห่างของการวางโหนด

1) กรณีวางโหนดห่างกันเป็นระยะทุกๆ 1 กิโลเมตร

คำนวณจำนวนเซนเซอร์ได้จากสมการที่ (3.17)

$$N = \left(\frac{10}{1} + 1\right) \times \left(\frac{15}{1} + 1\right)$$

$$N = (10 + 1) \times (15 + 1)$$

$$N = (11) \times (16)$$

$$N = 176$$

แสดงว่าพื้นที่ป่า 150 ตารางกิโลเมตร โดยมีความกว้างประมาณ 10 กิโลเมตร และมีความยาว
ประมาณ 15 กิโลเมตร หรือคิดเป็น 93,750 ไร่ เมื่อวางโหนดห่างกันเป็นระยะทุกๆ 1 กิโลเมตรต้อง
ใช้จำนวน 176 โหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) กรณีวางโหนดห่างกันเป็นระยะทุกๆ 500 เมตร

คำนวณจำนวนเซนเซอร์ได้จากสมการที่ (3.17)

$$N = \left(\frac{10}{0.5} + 1\right) \times \left(\frac{15}{0.5} + 1\right)$$

$$N = (20 + 1) \times (30 + 1)$$

$$N = (21) \times (31)$$

$$N = 651$$

แสดงว่าพื้นที่ป่า 150 ตารางกิโลเมตร โดยมีความกว้างประมาณ 10 กิโลเมตร และความยาวประมาณ 15 กิโลเมตร หรือคิดเป็น 93,750 ไร่ เมื่อวางโหนดห่างกันเป็นระยะทุกๆ 500 เมตรต้องใช้จำนวน 651 โหนด

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ปริญญานิพนธ์นี้มีอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองดังนี้

3.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในปริญญานิพนธ์นี้ ผู้จัดทำได้เลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โหนด MCU เนื่องจากมีคุณสมบัติรองรับการสื่อสารแบบ LoRa และสามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ มีขาสำหรับเชื่อมต่อ Analog และ Digital ในตัว รองรับการเขียนโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม Arduino IDE โดยสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยสายเคเบิล USB เพื่อเริ่มต้นใช้งาน

3.2.2 เซนเซอร์

ในปริญญานิพนธ์นี้ ผู้จัดทำใช้ เซนเซอร์ เพื่อวัดค่าต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มข้นของ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งมีความสำคัญในการติดตามคุณภาพอากาศและความปลอดภัยในพื้นที่ เนื่องจากการใช้เซนเซอร์ทำให้สามารถเก็บข้อมูลและตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้

3.2.3 Server

ในปริญญานิพนธ์นี้ ผู้จัดทำเลือกใช้Serverเพื่อเก็บและจัดการข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มข้นของ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่ส่งมาจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากServerช่วยให้สามารถจัดเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบต่อเนื่องและเป็นระเบียบ ทำให้ง่ายต่อการเรียกใช้งานข้อมูลย้อนหลัง วิเคราะห์แนวโน้มหรือศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม

3.2.4 C++

ในปฏิญานิพนธ์นี้ ผู้จัดทำเลือกใช้ภาษา C++ เนื่องจากภาษา C++ เป็นภาษาที่ได้รับความนิยมในการเขียนโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้การพัฒนาโค้ดสำหรับบอร์ดไมโคร MCU สะดวกและมีประสิทธิภาพ

3.2.5 โปรแกรม MATLAB

ในปฏิญานิพนธ์นี้ ผู้จัดทำเลือกใช้โปรแกรม MATLAB ทำ Dashboard โดยใช้ MATLAB App Designer ในการแสดงผลระบบป้องกันไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa

3.2.6 ภาษา HTML JavaScript และ CSS

ในปฏิญานิพนธ์นี้ ผู้จัดทำเลือกใช้ ภาษา HTML JavaScript และ CSS ในการออกแบบหน้าเว็บไซต์ ระบบป้องกันไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 การทดสอบระบบการทำงานการอ่านค่าจาก เซนเซอร์

ทำการทดสอบโดยทำการต่อวงจร เซนเซอร์ เข้ากับ ไมโคร MCU เพื่ออ่านค่าจากเซนเซอร์จะสามารถอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นจากเซนเซอร์ DHT-22 อ่านค่าคาร์บอนมอนอกไซด์จากเซนเซอร์ MQ-7 และอ่านค่าคาร์บอนไดออกไซด์จากเซนเซอร์ MQ-135 จากนั้นทำการแสดงผลที่อ่านได้จาก เซนเซอร์ ที่จอแสดงผล

3.3.2 การทดสอบการส่งข้อมูลระหว่างเกตเวย์และ Server

ทำการทดสอบโดยการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต WiFi เข้ากับ ไมโคร MCU และใช้โปรโตคอล MQTT ส่งข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์ไปยังServer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การทดสอบระบบโครงข่ายแบบตาข่าย (Mesh Network)

ทำการทดสอบโดยทำการส่งข้อมูล และหากมีโหนดใดที่ไม่สามารถติดต่อกับเกตเวย์ (เกตเวย์) ได้โดยตรงจะใช้โหนดอื่นๆที่อยู่ในระยะเป็นตัวกลาง ผ่านโหนดนั้นๆและส่งต่อไปยังเกตเวย์ (เกตเวย์) ปลายทางที่ต้องการ

3.3.4 การทดสอบระบบการทำงานของ Flash Memory

ทำการทดสอบโดยให้โหนดส่งข้อความทุกๆช่วงที่กำหนด โดยข้อมูลจะส่งแต่ละโหนดๆ มายังเกตเวย์ซึ่งเป็นปลายทาง

3.3.5 การทดสอบระบบการทำงานของฐานข้อมูล SQLite

ทำการทดสอบโดยบันทึกข้อมูลที่ได้จากเกตเวย์โดยผ่านโปรโตคอล MQTT มาบันทึกลงในฐานข้อมูล SQLite

3.3.6 การทดสอบระบบการทำงานของ Dashboard

ทำการทดสอบโดยการสังเกตการทำงานของ Dashboard ว่าทุกครั้งที่ได้รับค่าจากเซนเซอร์ ข้อมูลบน Dashboard มีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่

3.3.7 การทดสอบคุณภาพสัญญาณเทียบกับการสูญเสียเชิงวิถี

ทำการออกแบบการทดสอบคุณภาพสัญญาณเทียบกับการสูญเสียเชิงวิถี เพื่อตรวจสอบว่าคุณภาพของสัญญาณเมื่อมีการเดินทางเป็นระยะทางหนึ่งๆ มีคุณภาพเป็นอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

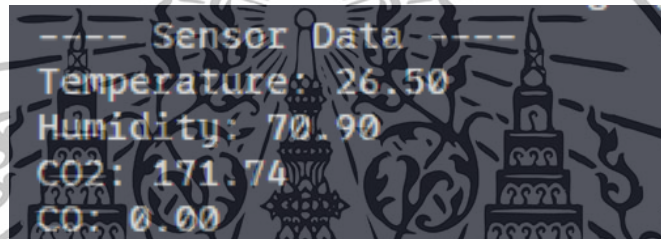
ผลการทดลอง

ผู้จัดทำได้เก็บผลการทดลอง โดยแบ่งส่วนผลการทดลองเป็นส่วนๆ ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบระบบการทำงานการอ่านค่าจากเซนเซอร์

4.1.1 ผลลัพธ์ของข้อมูลที่ได้จากการอ่านค่าจาก เซนเซอร์

ผลลัพธ์ของข้อมูลที่ได้จากการอ่านค่าจาก เซนเซอร์ บนหน้าจอแสดงผล (Terminal) แสดงดังรูปที่ 4.1



```
--- Sensor Data ---  
Temperature: 26.50  
Humidity: 70.90  
CO2: 171.74  
CO: 0.00
```

รูปที่ 4.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากเซนเซอร์

โดยแต่ละค่าที่แสดงได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น คาร์บอนไดออกไซด์ และ คาร์บอนมอนอกไซด์ โดยค่าที่แสดงดังกล่าว หากมีค่าที่เกินค่าที่ตั้งไว้ จะทำการส่งข้อมูลทั้งหมดที่กล่าวมารวมถึง Address ของโหนดนั้นๆไปยัง เกตเวย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบการส่งข้อมูลระหว่างเกตเวย์และ Server

4.2.1 ผลลัพธ์ที่ได้บนหน้าจอแสดงผล (Terminal) ของเกตเวย์

ผลลัพธ์ที่ได้บนหน้าจอแสดงผล (Terminal) ของเกตเวย์ แสดงดังรูปที่ 4.8

```
Connecting to WiFi...
Connecting to WiFi...
Connecting to WiFi...
Connected to WiFiGenerated message: Test message from ESP32 at 3128 ms
Connected to server
Message sent to server
```

รูปที่ 4.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากเกตเวย์บนหน้าจอแสดงผล

โดยหลังจากที่เกตเวย์ เริ่มต้นขึ้นจะทำการเชื่อมต่อกับ WiFi หากยังเชื่อมต่อไม่สำเร็จ จะเชื่อมต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าจะเชื่อมต่อสำเร็จหากเชื่อมต่อสำเร็จ จะทำการเช็คค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และเชื่อมต่อกับ MQTT Broker Server หลังจากเช็คค่าเสร็จสิ้นก็จะรอรับข้อมูลจากโหนดต่างๆ เพื่อส่งข้อมูลไปยัง Server

4.2.2 ผลลัพธ์ที่ได้บนหน้าจอแสดงผล (Terminal) ของ Server

ผลลัพธ์ที่ได้บนหน้าจอแสดงผล (Terminal) ของServer

```
PS C:\Machinet-Projects\IoT\GateWay> python 3\server\main.py
D:\Machinet-Projects\IoT\GateWay\Server App\Server_001\main.py:99: DeprecationWarning: callback=opt is deprecated, update to latest version mqtt_client = mqtt.Client()
Connected to MQTT Broker
Received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 32.40, 'Humidity': 52.20, 'CO': 89.88, 'CO2': 328.32} from topic: sensor/data
Data saved: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 32.3, 'Humidity': 52.2, 'CO': 89.88, 'CO2': 328.32}
Received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 32.40, 'Humidity': 52.20, 'CO': 89.87, 'CO2': 328.27} from topic: sensor/data
Data saved: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 32.3, 'Humidity': 52.0, 'CO': 89.87, 'CO2': 328.27}
Received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 32.30, 'Humidity': 52.00, 'CO': 89.88, 'CO2': 328.22} from topic: sensor/data
Data saved: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 32.2, 'Humidity': 49.9, 'CO': 89.88, 'CO2': 327.72}
Received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 32.30, 'Humidity': 51.80, 'CO': 89.89, 'CO2': 328.41} from topic: sensor/data
Data saved: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 32.5, 'Humidity': 51.8, 'CO': 89.9, 'CO2': 328.41}
Received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 32.20, 'Humidity': 49.60, 'CO': 89.22, 'CO2': 327.87} from topic: sensor/data
Data saved: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 32.3, 'Humidity': 50.6, 'CO': 88.22, 'CO2': 327.87}
Received message: {'NodeID': 2.00, 'Temperature': 33.00, 'Humidity': 51.00, 'CO': 89.65, 'CO2': 327.75} from topic: sensor/data
Data saved: {'NodeID': 2.00, 'Temperature': 33.0, 'Humidity': 51.0, 'CO': 89.65, 'CO2': 327.75}
Received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 33.00, 'Humidity': 50.20, 'CO': 89.88, 'CO2': 328.01} from topic: sensor/data
Data saved: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 33.0, 'Humidity': 50.2, 'CO': 89.88, 'CO2': 328.01}
Received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 33.00, 'Humidity': 49.90, 'CO': 89.88, 'CO2': 327.75} from topic: sensor/data
Data saved: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 33.0, 'Humidity': 49.9, 'CO': 89.88, 'CO2': 327.75}
Received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 33.00, 'Humidity': 49.70, 'CO': 89.43, 'CO2': 327.81} from topic: sensor/data
Data saved: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 33.0, 'Humidity': 49.7, 'CO': 89.43, 'CO2': 327.81}
Received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 33.10, 'Humidity': 51.10, 'CO': 89.20, 'CO2': 327.61} from topic: sensor/data
Data saved: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 33.1, 'Humidity': 51.1, 'CO': 89.2, 'CO2': 327.61}
Received message: {'NodeID': 2.00, 'Temperature': 33.50, 'Humidity': 54.00, 'CO': 205.00, 'CO2': 327.73} from topic: sensor/data
Data saved: {'NodeID': 2.00, 'Temperature': 33.5, 'Humidity': 54.0, 'CO': 205.0, 'CO2': 327.73}
Received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 32.70, 'Humidity': 52.3, 'CO': 89.0, 'CO2': 326.88} from topic: sensor/data
Data saved: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 32.7, 'Humidity': 52.3, 'CO': 89.0, 'CO2': 326.88}
Received message: {'NodeID': 2.00, 'Temperature': 34.70, 'Humidity': 51.90, 'CO': 208.90, 'CO2': 327.58} from topic: sensor/data
Data saved: {'NodeID': 2.00, 'Temperature': 34.7, 'Humidity': 51.9, 'CO': 208.9, 'CO2': 327.58}
Received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 32.10, 'Humidity': 53.00, 'CO': 88.71, 'CO2': 328.53} from topic: sensor/data
Data saved: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 32.1, 'Humidity': 53.0, 'CO': 88.71, 'CO2': 328.53}
Received message: {'NodeID': 2.00, 'Temperature': 35.50, 'Humidity': 50.20, 'CO': 205.00, 'CO2': 327.53} from topic: sensor/data
Data saved: {'NodeID': 2.00, 'Temperature': 35.5, 'Humidity': 50.2, 'CO': 205.0, 'CO2': 327.53}
Received message: {'NodeID': 1.00, 'Temperature': 32.00, 'Humidity': 53.20, 'CO': 88.10, 'CO2': 328.83} from topic: sensor/data
```

รูปที่ 4.3 ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นบนหน้าจอแสดงผลของServer

หลังจากที่เกตเวย์มีการเชื่อมต่อด้วย MQTT เข้ามาแล้ว หากมีข้อมูลส่งมา Server ก็จะได้รับข้อมูลเหล่านั้นแล้วเก็บไว้ในฐานข้อมูล SQLite เพื่อนำไปแสดงต่อที่แดชบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดสอบระบบโครงข่ายแบบตาข่าย (Mesh Network)

4.3.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการที่โหนดต้นทางสามารถส่งข้อมูลติดต่อกับเกตเวย์ปลายทางได้โดยตรง

ผลลัพธ์ที่ได้จากการที่โหนดต้นทางสามารถส่งข้อมูลติดต่อกับเกตเวย์ปลายทางได้โดยตรง แสดงดังรูปที่ 4.4

```

Debugging
Temperature: 28.10
Humidity: 65.70
Co2: 167.38
Co: 0.00
Temperature is over threshold
error_log = 0
Send to Next Node Success

Sending Time : 2653
Routing Table of Node : 1
0 Dest: 254 Next Hop: 254 State: 2
1 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
2 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
3 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
4 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
5 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
6 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
7 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
8 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
9 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0

```

รูปที่ 4.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการที่โหนดสื่อสารกับเกตเวย์ได้โดยตรง

หากโหนดที่อยู่ในระยะที่สามารถที่จะส่งข้อมูลไปยังเกตเวย์ได้โดยตรงจะทำการส่งข้อมูลไปยังเกตเวย์โดยตรงโดยไม่ผ่านโหนดอื่นๆเป็นตัวกลางในการส่งและหลังจากที่เกตเวย์ได้รับข้อมูลก็จะส่งข้อมูลไปยัง Server ด้วยโปรโตคอล MQTT เพื่อไปเก็บในฐานข้อมูล SQLite

4.3.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากการที่โหนดต้นทางส่งข้อมูลผ่านโหนดอื่นๆไปยังเกตเวย์ปลายทาง

ผลลัพธ์ที่ได้จากการที่โหนดต้นทางส่งข้อมูลผ่านโหนดอื่นๆไปยังเกตเวย์ปลายทางได้ผล ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Message received from Node: 1
Node ID: 1.00
Temperature: 35.00
Humidity: 53.70
CO: 0.00
CO2: 489.89
RSSI: -122
SNR: -8

```

รูปที่ 4.5 ผลลัพธ์ที่ได้ในฝั่งของเกตเวย์

```

Message received from Node: 1
Node ID: 1.00
Temperature: 34.70
Humidity: 54.60
CO: 0.00
CO2: 472.24
RSSI: -101
SNR: 4
Routing Table
0 Dest: 1 Next Hop: 3 State: 2
1 Dest: 2 Next Hop: 3 State: 2
2 Dest: 3 Next Hop: 3 State: 2
3 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
4 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
5 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
6 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
7 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
8 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
9 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0

```

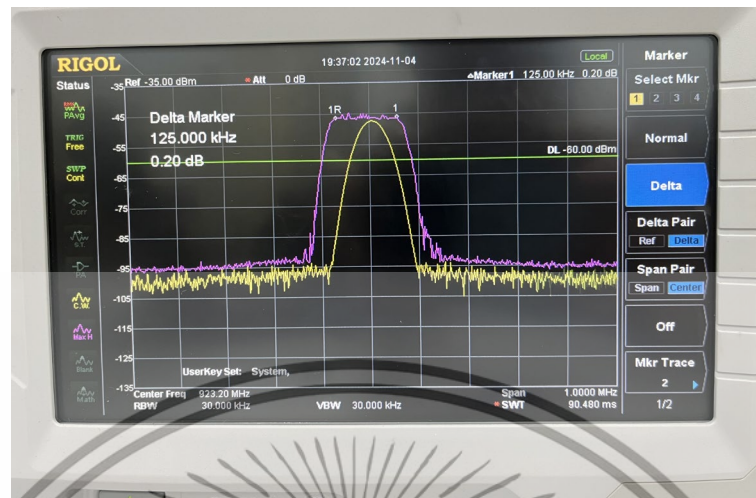
รูปที่ 4.6 ผลลัพธ์ที่ได้ในฝั่งของโหนดต้นทางโดยโหนด 1 ส่งข้อมูลผ่านโหนดอื่นๆ ไปยังเกตเวย์

เมื่อโหนดที่ต้องการส่งข้อมูลไม่สามารถสื่อสารหรือส่งข้อมูลไปยังเกตเวย์ได้โดยตรง โหนดที่ต้องการส่งข้อมูลจะเริ่มต้นการ Route Discovery โดยทำการ Broadcast ไปยังทุกๆ โหนดเพื่อค้นหาเส้นทางไปยังปลายทางหลังจากที่ Route Discovery เสร็จสิ้นก็จะส่งข้อมูลไปยังเกตเวย์โดยผ่านโหนดนั้นๆ

4.3.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดจากเครื่อง Spectrum Analyzer

นำเครื่อง Spectrum Analyzer เพื่อวัดค่ารูปแบบสัญญาณที่ได้รับจริงๆ เมื่อกำหนดให้ Spreading Factor = 12, Bandwidth = 125 kHz ได้ผล ดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่อง Spectrum Analyzer ที่ความถี่ 923.20 MHz

4.4 ผลการทดสอบระบบการทำงานของ Flash Memory

ผลลัพธ์ที่ได้จากการที่โหนดที่หนึ่งหรือโหนดต้นทางส่งข้อมูลที่อยู่ใน Flash Memory ไปยังเกตเวย์ปลายทางแสดงดังรูปที่ 4.8

```
nodeID: 1.00, temperature: 32.50, humidity: 48.20, Co: 89.63, Co2: 319.60
error_log: = 0
Send to Next Node Success

Sending Time: 23000
Routing Table of Node: 1
0 Dest: 254 Next Hop: 254 State: 2
1 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
2 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
3 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
4 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
5 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
6 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
7 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
8 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0
9 Dest: 0 Next Hop: 0 State: 0

Send Fail Message Success
```

รูปที่ 4.8 ผลลัพธ์จากโหนดที่หนึ่งหรือต้นทางส่งข้อมูลที่อยู่ใน Flash Memory ไปยังเกตเวย์

เมื่อโหนดที่ต้องการส่งข้อมูลไม่สามารถที่จะส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้ จะทำการบันทึกข้อมูลลงใน Flash Memory จากนั้นหลังจากที่เวลาครบรอบที่จะส่งจะทำการดึงข้อมูลจาก Flash Memory เพื่อส่งข้อมูลที่มีการส่งผิดพลาดก่อนหน้านี้ไปยังเกตเวย์ เมื่อส่งข้อมูลสำเร็จจะทำการเคลียร์ข้อมูลที่อยู่ใน Flash Memory ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดสอบระบบการทำงานของฐานข้อมูลและการนำมาแสดงผลบน

Dashboard

4.5.1 ฝั่งฐานข้อมูล

เมื่อมีข้อมูลล่าสุดเข้ามาฝั่งฐานข้อมูลจะมีการเก็บข้อมูลใน Server โดยข้อมูลประกอบไปด้วย โหนด วันที่ เวลา ค่าคาร์บอนมอนนอกไซด์ ค่าคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้น แสดงดังรูปที่ 4.9

```

Windows PowerShell
Windows Terminal can be set as the default terminal application in your settings. Open Settings

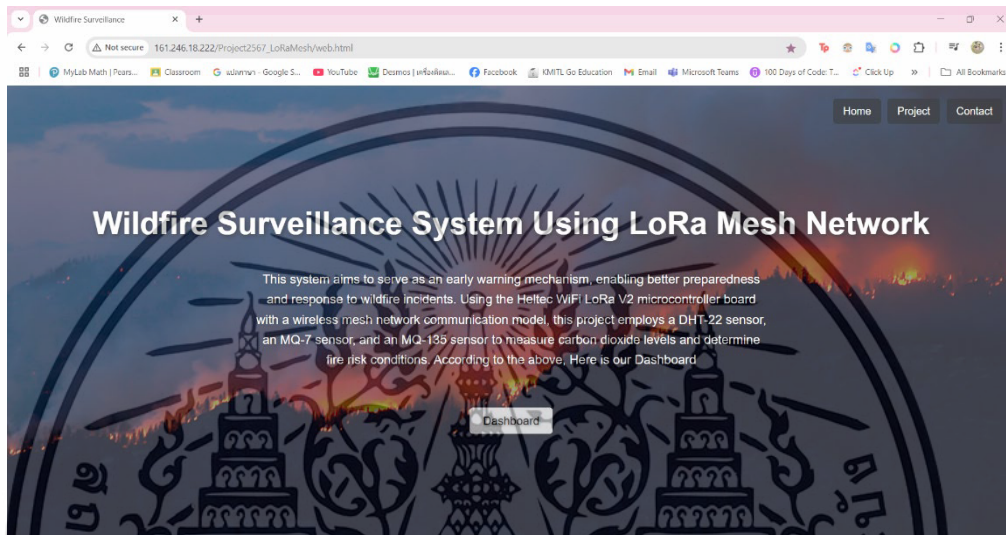
3481 | 1 | 23/02/2025 | 16:54:11 | 0.0 | 260.46 | 29.2 | 58.0
3482 | 1 | 23/02/2025 | 16:54:27 | 0.0 | 260.46 | 29.1 | 58.3
3483 | 1 | 23/02/2025 | 16:54:51 | 0.0 | 260.46 | 29.0 | 58.9
3484 | 1 | 23/02/2025 | 16:55:07 | 0.0 | 260.46 | 31.3 | 56.4
3485 | 1 | 23/02/2025 | 16:55:20 | 0.0 | 260.46 | 30.4 | 55.4
3486 | 1 | 23/02/2025 | 16:55:36 | 0.0 | 260.46 | 30.1 | 55.3
3487 | 1 | 23/02/2025 | 16:55:52 | 0.0 | 260.46 | 29.5 | 55.4
3488 | 1 | 23/02/2025 | 16:56:17 | 0.0 | 260.46 | 29.3 | 55.3
3489 | 1 | 23/02/2025 | 16:56:31 | 0.0 | 260.46 | 29.2 | 55.4
3490 | 1 | 23/02/2025 | 16:56:48 | 0.0 | 260.46 | 29.1 | 55.4
3491 | 1 | 23/02/2025 | 16:57:14 | 0.0 | 260.46 | 29.0 | 61.3
3492 | 1 | 23/02/2025 | 16:57:37 | 0.0 | 260.46 | 29.0 | 61.3
3493 | 1 | 23/02/2025 | 16:57:55 | 0.0 | 260.46 | 29.0 | 61.2
3494 | 1 | 23/02/2025 | 16:58:16 | 0.0 | 260.46 | 29.0 | 61.1
3495 | 1 | 23/02/2025 | 16:58:38 | 0.0 | 260.46 | 29.0 | 61.1
3496 | 1 | 23/02/2025 | 16:59:01 | 0.0 | 260.46 | 29.0 | 61.2
3497 | 1 | 23/02/2025 | 16:59:22 | 0.0 | 260.46 | 29.0 | 61.2
3498 | 1 | 23/02/2025 | 16:59:42 | 0.0 | 260.46 | 29.0 | 61.2
3499 | 1 | 23/02/2025 | 17:00:07 | 0.0 | 260.46 | 29.0 | 61.2
3500 | 1 | 23/02/2025 | 17:00:28 | 0.0 | 260.46 | 29.0 | 61.2
3501 | 1 | 23/02/2025 | 17:00:53 | 0.0 | 260.46 | 29.0 | 61.2
3502 | 1 | 23/02/2025 | 17:01:11 | 0.0 | 260.46 | 29.0 | 61.2
3503 | 1 | 23/02/2025 | 17:01:29 | 0.0 | 260.46 | 29.0 | 61.2
3504 | 1 | 23/02/2025 | 17:01:48 | 0.0 | 260.46 | 29.1 | 61.1
3505 | 1 | 23/02/2025 | 17:02:05 | 0.0 | 260.46 | 29.1 | 61.0
3506 | 1 | 23/02/2025 | 17:02:06 | 0.0 | 260.46 | 29.2 | 60.9
3507 | 1 | 23/02/2025 | 17:02:26 | 0.0 | 260.46 | 29.2 | 60.8
3508 | 1 | 23/02/2025 | 17:02:48 | 0.0 | 260.46 | 29.2 | 60.7
3509 | 1 | 23/02/2025 | 17:03:05 | 0.0 | 260.46 | 29.3 | 60.7
3510 | 1 | 23/02/2025 | 17:03:21 | 0.0 | 260.46 | 29.3 | 60.6
3511 | 1 | 23/02/2025 | 17:03:40 | 0.0 | 260.46 | 29.5 | 59.8
3512 | 1 | 23/02/2025 | 17:03:56 | 0.0 | 260.46 | 29.5 | 59.7
3513 | 1 | 23/02/2025 | 17:04:17 | 0.0 | 260.46 | 29.5 | 59.8
3514 | 1 | 23/02/2025 | 17:04:32 | 0.0 | 260.46 | 29.5 | 59.8
3515 | 1 | 23/02/2025 | 17:04:52 | 0.0 | 260.46 | 29.5 | 59.8
  
```

รูปที่ 4.9 ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บบน Server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ฟังก์ชันนำมาแสดงบน Dashboard

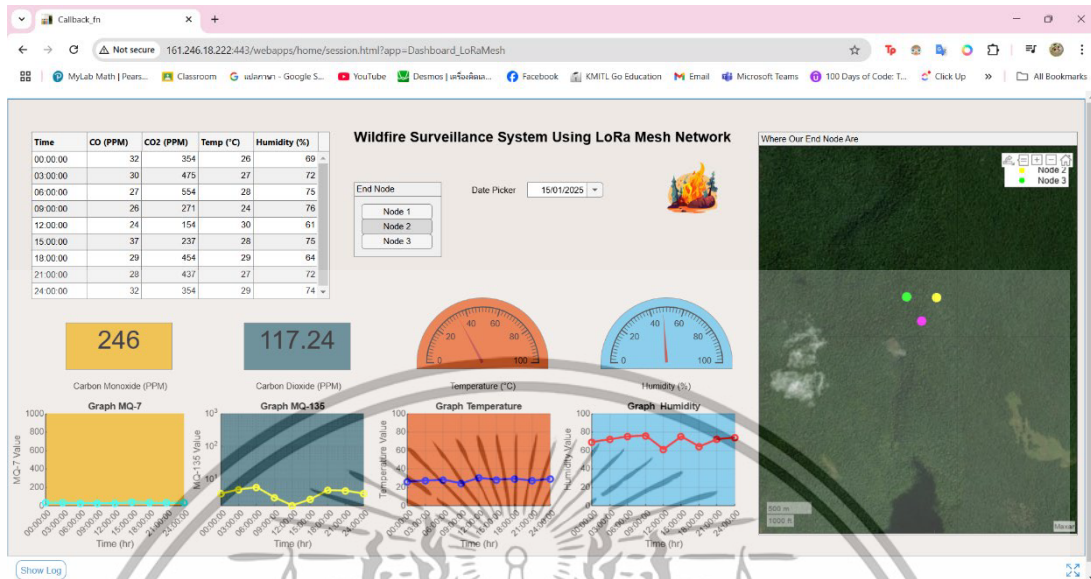
เมื่อเข้าไปที่หน้าเว็บระบบป้องกันไฟป่าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa ผ่าน URL http://161.246.18.222/Project2567_LoRaMesh/web.html แสดงผลดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 หน้าเว็บของระบบป้องกันไฟป่าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa จากนั้นทำการกดปุ่ม Dashboard เพื่อทำการเข้าถึงข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์ โดยในหน้า Dashboard ประกอบด้วย 4 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนของการแสดงผลในรูปแบบ Real Time
2. ส่วนของการแสดงผลในรูปแบบกราฟ เพื่อใช้ดูแนวโน้มค่าของข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์
3. ส่วนของการแสดงผลในรูปแบบตาราง เพื่อให้ง่ายต่อการดูรายละเอียดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์
4. ส่วนของการแสดงผลตำแหน่งโหนดตามพิกัดภูมิศาสตร์ เพื่อระบุตำแหน่งของเซนเซอร์และให้ง่ายต่อการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 หน้า Dashboard ของระบบป้องกันไฟป่าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการวัดการบริโภคกระแส

วัดการบริโภคกระแสในแต่ละโหมด โดยต่อแหล่งจ่ายไฟ 5 V เข้าบอร์ด ESP32 โดยตรง และอ่านค่ากระแสที่ได้

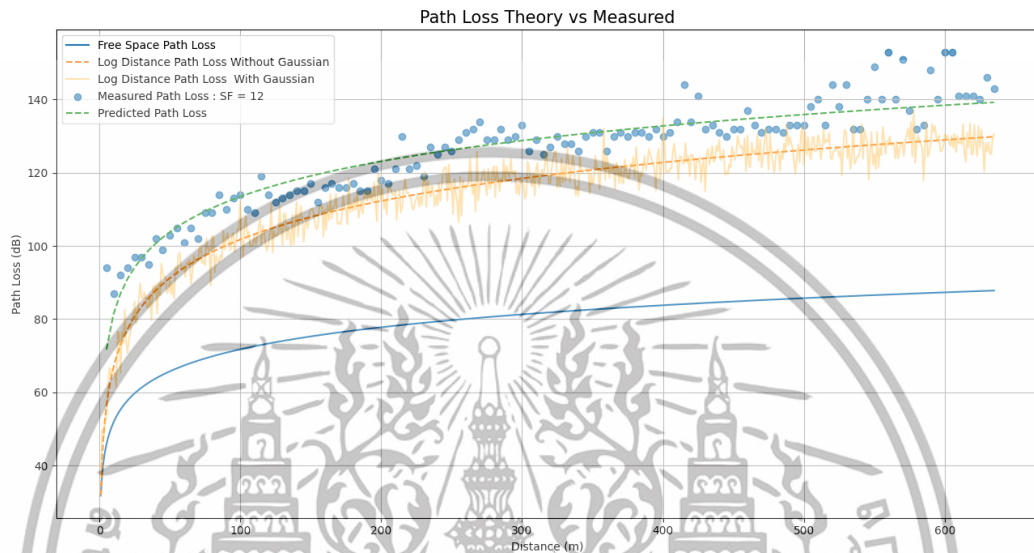
ตารางที่ 4.1 การบริโภคกระแสแต่ละโหมด

โหมด	โหลด	การบริโภคกระแส (mA)
Light sleep mode	ESP32	20
	ESP32+Sensors (DHT22, MQ7, MQ135)	200
Active mode	ESP32	60
	ESP32+Sensors (DHT22, MQ7, MQ135)	240
Transmit mode	ESP32	180
	ESP32+Sensors (DHT22, MQ7, MQ135)	330

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ผลการทดสอบคุณภาพสัญญาณเทียบกับการสูญเสียเชิงวิถี

ผลการทดสอบคุณภาพของสัญญาณ RSSI ที่แปลงเป็น Path Loss เทียบกับ Friis Free Space Path Loss และ Log Distance Path Loss



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าของ Path loss ที่วัดได้จริง

หลังจากที่ได้ค่าสัญญาณ RSSI ที่ได้จากการวัดจริงมา ทำการแปลงเป็นค่า Path Loss จากนั้นนำข้อมูลที่แปลงเป็น Path Loss แล้ว เข้าไปยังสัมภาระ Least Square เพื่อหาค่าของเส้นที่ใกล้กับชุดข้อมูลมากที่สุดจากนั้นนำมาพล็อตกราฟ จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดจริง และจากทฤษฎี Log-Distance Path Loss มีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยที่ค่าที่ได้จากการวัดจริงมีการ off-set ขึ้นมาอยู่บ้าง แต่แนวโน้มและความชันที่ได้ไปในทางเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ผลการทดสอบเซนเซอร์โดยการจำลองเมื่อเกิดการเผาไหม้

ตารางที่ 4.2 ทดสอบอุณหภูมิและความชื้นของเซนเซอร์ DHT22 ด้วยเครื่องเป่าลม

อุณหภูมิ	ความชื้น	หมายเหตุ
35.60	51.80	สภาพอากาศปกติ
36.30	53.00	ใช้เครื่องเป่าลมทดสอบ
36.60	48.90	ใช้เครื่องเป่าลมทดสอบ
37.20	46.80	ใช้เครื่องเป่าลมทดสอบ
39.20	47.70	ใช้เครื่องเป่าลมทดสอบ
41.20	44.00	ใช้เครื่องเป่าลมทดสอบ
48.70	33.20	ใช้เครื่องเป่าลมทดสอบ
52.00	27.90	ใช้เครื่องเป่าลมทดสอบ
55.80	24.10	ใช้เครื่องเป่าลมทดสอบ
60.70	19.90	ใช้เครื่องเป่าลมทดสอบ
64.30	17.70	ใช้เครื่องเป่าลมทดสอบ
62.90	18.30	ใช้เครื่องเป่าลมทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ทดสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เมื่อทดลองจุดไฟ

อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%)	ค่า CO (ppm)	ค่า CO2 (ppm)	หมายเหตุ
35.50	49.20	0.00	424.86	สภาพอากาศปกติ
36.00	49.60	0.48	445.65	เริ่มจุดไฟ
36.70	47.20	0.97	454.11	เกิดเปลวไฟและควันไฟ
36.80	49.80	3.87	462.09	เกิดเปลวไฟและควันไฟ
36.90	48.80	6.77	467.65	เกิดเปลวไฟและควันไฟ
37.00	52.30	29.01	503.67	เกิดเปลวไฟและควันไฟ
37.10	47.60	66.73	550.57	เกิดเปลวไฟและควันไฟ
37.10	49.00	95.74	580.31	เกิดเปลวไฟและควันไฟ
37.20	48.70	115.08	599.65	เกิดเปลวไฟและควันไฟ
37.20	48.70	135.87	619.23	เกิดเปลวไฟและควันไฟ
37.80	48.00	199.69	669.52	เกิดเปลวไฟและควันไฟ
38.20	45.60	223.38	659.12	เกิดเปลวไฟและควันไฟ
37.80	46.00	214.20	639.54	ดับไฟ
37.50	46.70	199.69	620.20	เกิดควันไฟ
37.40	46.60	180.84	596.99	เกิดควันไฟ
37.30	46.70	165.85	579.10	เกิดควันไฟ
37.30	46.50	145.54	557.82	เกิดควันไฟ
37.20	46.30	106.86	521.08	เกิดควันไฟ
37.30	46.80	76.88	495.93	เกิดควันไฟ
37.20	46.70	32.40	460.64	เกิดควันไฟ
37.30	46.40	12.57	445.89	เริ่มเข้าสู่สภาพอากาศปกติ
37.40	46.20	3.87	439.60	เริ่มเข้าสู่สภาพอากาศปกติ
37.40	46.30	0.48	436.22	เริ่มเข้าสู่สภาพอากาศปกติ
37.40	47.70	0.00	425.82	สภาพอากาศปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์นี้ มีเป้าหมายเพื่อเป็นตัวกลางในการเฝ้าระวังการเกิดไฟฟ้าและเพื่อให้สามารถเตรียมความพร้อมรับมือกับการเกิดไฟฟ้าได้ ผู้จัดทำได้ทำการออกแบบและสร้างระบบป้องกันไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa โดยระบบจะถูกส่งข้อมูล ที่ได้จาก เซนเซอร์ ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ในรูปของโครงข่ายแบบตาข่าย จากนั้นเกตเวย์จะทำการส่งข้อมูลไปเก็บที่ Server เป็นฐานข้อมูลเพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่ได้ มาวิเคราะห์ความปลอดภัยและโอกาสการที่จะเกิดไฟฟ้าได้ โดย ระบบป้องกันไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายแบบตาข่ายด้วย LoRa มีการแบ่งส่วนการทำงาน เป็น 4 ส่วนหลักๆ ดังนี้ 1. ส่วนของการรับข้อมูลโดยใช้เซนเซอร์ 2. ส่วนของการติดต่อสื่อสารระหว่าง โหนด 3. ส่วนของการนำข้อมูลไปเก็บที่ Server และ 4. ส่วนของการดึงฐานข้อมูลจาก Server มาแสดงผลในรูปของ Dashboard

ในการดำเนินงานครั้งนี้ผู้จัดทำได้ทำการดำเนินงานต่อจากแผนการปฏิบัติงานภาคการศึกษาที่ 1 และได้ดำเนินงานตามแผนการปฏิบัติงานภาคการศึกษาที่ 2 โดยได้ทำการทดสอบระบบโครงข่ายแบบตาข่าย (Mesh Network) โดยทดสอบการส่งข้อมูลจากโหนดไปยังเกตเวย์โดยตรง และจากโหนดส่งข้อมูลผ่านโหนดตัวอื่นไปยังเกตเวย์ พบว่าสามารถส่งข้อมูลหาเกตเวย์ได้ทั้งสองแบบ จากนั้นได้ทำการออกแบบและทดสอบระบบการทำงานของ Flash Memory พบว่าสามารถทำการเก็บข้อมูลที่มีการส่งผิดพลาดเอาไว้ใน Flash Memory แล้วส่งข้อมูลนั้นๆอีกครั้งหนึ่งไปยังเกตเวย์ได้ ส่วนการออกแบบระบบเพื่อให้เกตเวย์ ส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตไปเก็บข้อมูลบน Server พบว่าสามารถทำการส่งข้อมูลไปยัง Server ได้ผ่านโปรโตคอล MQTT และได้ทำการทดสอบระบบการทำงานของ Dashboard พบว่าเมื่อมีข้อมูลล่าสุดเข้ามาในฐานข้อมูล Dashboard สามารถแสดงผลของข้อมูลล่าสุดและข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในขั้นตอนถัดไปจะเป็นการรวมองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ เซนเซอร์ โหนด และ เกตเวย์ เข้าด้วยกันเพื่อให้ระบบใช้งานได้จริง จำเป็นต้องศึกษาเกี่ยวกับโปรโตคอลที่ใช้สื่อสารและวิธีการเก็บข้อมูลให้ละเอียดมากยิ่งขึ้นเพื่อนำมาปรับใช้ในปริญญานิพนธ์นี้ต่อไป สิ่งที่จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติม ได้แก่ วิธีการเก็บและส่งข้อมูลไปยัง Server การวัดและอ่านค่าจาก เซนเซอร์ ให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น พัฒนาให้แต่ละโหนดสามารถติดต่อสื่อสารกันให้ได้ระยะครอบคลุมที่ไกลที่สุด วางแผนเรื่องระยะเวลาและความถี่ของการส่งข้อมูลเพื่อประเมินอายุการใช้แบตเตอรี่ให้เหมาะสมต่อการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] สนง.ปภ.น่าน สาขาเชียงใหม่. ไฟป่า. [ออนไลน์]. 2557. แหล่งที่มา : <https://dpmpotckg.disaster.go.th/ckg/cms/4848?id=7317> [20 สิงหาคม 2567]
- [2] National Geographic. การเกิดไฟป่า. [ออนไลน์]. 2563. แหล่งที่มา : <https://ngthai.com/science/27026/wildfire/> [20 สิงหาคม 2567]
- [3] Holis Medicare. ไฟป่าก่อปัญหาฝุ่นละออง สารพันปัญหามลพิษที่เกิดจากการเผาป่า. [ออนไลน์]. ม.ป.ป. แหล่งที่มา : <https://www.holismedicare.com/content/4719> [20 สิงหาคม 2567]
- [4] Leadthai Supply. ผลกระทบของก๊าซมลพิษจากการเผาไหม้. [ออนไลน์]. ม.ป.ป. แหล่งที่มา : https://www.leadthaisupply.co.th/news/view.php?main_id=6 [20 สิงหาคม 2567]
- [5] กรมป่าไม้. องค์ความรู้เกี่ยวกับไฟป่า. [ออนไลน์]. 2564. แหล่งที่มา: <https://www.forest.go.th/wp-content/uploads/2021/09/องค์ความรู้เกี่ยวกับไฟป่า.pdf>
- [6] Aditi Ambadkar. Mesh Topology. [ออนไลน์]. 2566. แหล่งที่มา : <https://www.wevolver.com/article/mesh-topology#mesh-topology:-a-comprehensive-overview> [23 สิงหาคม 2567]
- [7] Tapadyuti Baral. Understanding of LoRa. [ออนไลน์]. 2566. แหล่งที่มา: <https://shorturl.at/ndeMA> [2 กันยายน 2567]
- [8] Vit Prajzler. What is LoRa. [ออนไลน์]. 2566. แหล่งที่มา: What is LoRa: The fundamentals. It is not a protocol. Not an audio... | by Vit Prajzler | Medium [14 กันยายน 2567]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [9] The Things Network. Forward Error Correction. [ออนไลน์]. ม.ป.ป. แหล่งที่มา : Forward Error Correction and Code Rate | The Things Network [25 กันยายน 2567]
- [10] กสทช. ประกาศกสทช. เรื่อง หลักเกณฑ์การจัดสรรและบริหารเลขหมายโทรคมนาคม. [ออนไลน์]. 2563. แหล่งที่มา: <https://numbering.nbt.go.th/getattachment/Announcement/Announcement-manual/474/หลักเกณฑ์การจัดสรรและบริหารเลขหมายโทรคมนาคม.PDF.aspx>
- [11] IEEE Access. Implementation of a LoRa Mesh Library. [ออนไลน์]. 2565. แหล่งที่มา: https://www.researchgate.net/figure/Standard-LoRa-packet-Structure-using-the-Explicit-Header-Mode-top-and-the-LoRaMesh_fig1_365105860
- [12] LoRa Node Development Kit. Wi-Fi LoRa 32 (V2). [ออนไลน์]. 2563. แหล่งที่มา: https://resource.hetec.cn/download/WiFi_LoRa_32/WiFi%20Lora32.pdf
- [13] MACHINEQ. How to Determine Battery Life for Your LoRa Devices. [ออนไลน์]. ม.ป.ป. แหล่งที่มา: <https://support.machineq.com/s/article/How-can-I-determine-the-battery-life-of-my-LoRa-devices>
- [14] lady ada. DHT11, DHT22 and AM2302 Sensor. [ออนไลน์]. 2567. แหล่งที่มา: <https://www.mouser.com/datasheet/2/737/dht-932870.pdf>
- [15] HANWEI. TECHNICAL MQ-135 GAS SENSOR. [ออนไลน์]. ม.ป.ป. แหล่งที่มา: <https://cdn.sparkfun.com/assets/b/b/b/3/4/MQ-7.pdf>
- [16] HANWEI. ELECTRONICS CO., LTD https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-135_Hanwei.pdf
- [17] Thai Data Cloud. Server คืออะไร. [ออนไลน์]. 2567. แหล่งที่มา : Server คืออะไร? ความสำคัญอย่างไร (thaidata.cloud) [1 ตุลาคม 2567]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [18] MFEC. SQLite ฐานข้อมูลขนาดเล็กที่ศักยภาพมากกว่าที่คิด. [ออนไลน์]. 2565. แหล่งที่มา: <https://www.mfec.co.th/en/tech-talk/sqlite>
[3 ตุลาคม 2567]
- [19] Shivam Rathore. What is a LoRaWAN เกตเวย์. [ออนไลน์]. 2567. แหล่งที่มา :
Understanding LoRaWAN เกตเวย์: A Comprehensive Guide
[4 ตุลาคม 2567]
- [20] Khaled Magdy. ESP32. [ออนไลน์]. 2567. แหล่งที่มา:
<https://deepbluembedded.com/esp32-sleep-modes-power-consumption/>
[12 ตุลาคม 2567]
- [21] SEMTECH. SX1276/77/78/79. [ออนไลน์]. 2558. แหล่งที่มา:
https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/3179/sx1276_77_78_79.pdf [12
ตุลาคม 2567]
- [22] Kinza Yasar. Definition flash memory. [ออนไลน์]. 2566. แหล่งที่มา:
<https://www.techtarget.com/searchstorage/definition/flash-memory>
- [23] ผศ. ดร. กฤษณ์ วรจุริระ. MQTT. NETWORK PROGRAMMING. 2567
- [24] MATLAB. MATLAB App Designer. [ออนไลน์]. ม.ป.ป. แหล่งที่มา:
<https://www.mathworks.com/products/matlab/app-designer.html>
- [25] MATLAB. MATLAB Web App Server. [ออนไลน์]. ม.ป.ป. แหล่งที่มา:
<https://www.mathworks.com/products/matlab-web-app-server.html>
- [26] สมาคมคนดูแลเว็บไซต์และสื่อออนไลน์ไทย. เว็บไซต์ (Website) คืออะไร?. [ออนไลน์].
ม.ป.ป. แหล่งที่มา: <https://www.webmaster.or.th/website>
- [27] HTML คืออะไร เอชทีเอ็มแอล ภาษาคอมพิวเตอร์ในการสร้างเว็บเพจ ใช้เขียนโปรแกรม ย่อมาจากอะไร. [ออนไลน์]. 2565. แหล่งที่มา: <https://www.mindphp.com/คู่มือ/73-คืออะไร/2026-html-คืออะไร.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [28] seo-winner.com. CSS คืออะไร มีประโยชน์อย่างไรกับเราบ้าง. [ออนไลน์]. 2565. แหล่งที่มา: <https://seo-winner.com/What-is-CSS-and-how-does-it-benefit-us>
- [29] Software development tips. มารู้จักกับ JavaScript ภาษาสารพัดประโยชน์แห่งโลก นักพัฒนาซอฟต์แวร์. [ออนไลน์]. 2568. แหล่งที่มา: <https://www.techupth.com/articles/what-is-javascript>
- [30] Best Internet. IIS (Internet Information Services) คืออะไร ?. [ออนไลน์]. 2561. แหล่งที่มา: https://www.bestinternet.co.th/single_blog.php?id=113&IIS (Internet Information Services) คืออะไร%20
- [31] Takoua mahjoub. Experimental Analysis of LoRa Signal in Urban Environment. [ออนไลน์]. 2565. แหล่งที่มา: https://www.researchgate.net/publication/362964899_Experimental_Analysis_of_LoRa_Signal_in_Urban_Environment
- [32] CUEMAT. Least Square Method. [ออนไลน์]. 2565. แหล่งที่มา: <https://www.cuemath.com/data/least-squares/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้