

ต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลอรา

Prototype of a Remote Water Level Monitoring and Tracking System

Using LoRa Communication

นายณัฐวุฒิ วัฒนมาลา รหัส 65021600

นายปัญชรัสมิ ชำนาญยา รหัส 65021879

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

มหาวิทยาลัยพะเยา

ปีการศึกษา 2567

ต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลอรา

Prototype of a Remote Water Level Monitoring and Tracking System

Using LoRa Communication

นายณัฐวุฒิ วัฒนมาลา รหัส 65021600

นายปัญชรัสมิ ชำนาญยา รหัส 65021879

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

มหาวิทยาลัยพะเยา

ปีการศึกษา 2567

| | |
|------------------|---|
| หัวข้อโครงการ | ต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้ การสื่อสารลORA |
| ผู้ดำเนินโครงการ | นายณัฐวุฒิ วัฒนมาลา รหัสประจำตัวนิสิต 65021600 นายบุญชูธรรมี่ ชำนาญยา รหัสประจำตัวนิสิต 65021879 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | อาจารย์ อภิวัฒน์ วิทยารัฐ |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ |
| คณะ | เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร |
| ปีการศึกษา | 2567 |

.....

บทคัดย่อ

| | |
|------------------------|---|
| Project Title | Prototype of a Remote Water Level Monitoring and Tracking System Using LoRa Communication |
| Project Author | Mr. Nattawut Wattannamala ID. 65021600 Mr. Pucharat Chamnanya ID. 65021879 |
| Project Advisor | Mr. Apiwat Witayarat |
| Major | Computer Engineering |
| Department | School of Information and Communication Technology |
| Academic Year | 2024 |

.....

Abstract

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| สารบัญ..... | III |
| สารบัญรูป | VII |
| สารบัญรูป (ต่อ) | VIII |
| สารบัญตาราง..... | IX |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 1 |
| 1.3 สมมติฐานของการศึกษา..... | 2 |
| 1.4 ขอบเขตของการศึกษา..... | 2 |
| 1.5 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการทำโครงการ..... | 3 |
| 1.6 แผนดำเนินงาน | 4 |
| 1.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ | 5 |
| 1.7.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างระบบ | 5 |
| 1.7.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่พัฒนา..... | 6 |
| 1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 6 |
| 1.9 โครงสร้างของการศึกษา..... | 6 |
| | |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 8 |
| 2.1 การวัดระดับน้ำ [2] | 8 |
| 2.1.1 หลักการวัดระดับน้ำ [3] | 9 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 2.1.2 เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำในแม่น้ำ [4]..... | 10 |
| 2.2 เทคโนโลยีลอรา (LoRa) [5]..... | 13 |
| 2.2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับลอราโมดูเลตสัญญาณ (LoRa Modulation)..... | 14 |
| 2.2.2 การส่งข้อมูลด้วยลอรา (LoRa Transmission) | 16 |
| 2.3 หลักการออกแบบระบบโซลาร์เซลล์ [6] | 19 |
| 2.3.1 การประเมินความต้องการพลังงาน..... | 19 |
| 2.3.2 การเลือกแบตเตอรี่สำหรับจัดเก็บพลังงาน | 19 |
| 2.3.3 ตัวควบคุมการชาร์จ [7]..... | 20 |
| 2.3.4 การเลือกใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน [8] | 20 |
| 2.4 หลักการสร้างและออกแบบต้นแบบการวัดระดับน้ำ [9]..... | 21 |
| 2.4.1 อาร์ดูอิโนไอดีอี (Arduino IDE) [10] | 22 |
| 2.4.2 เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก (Ultrasonic Sensor) [11] | 23 |
| 2.4.3 อีเอสพี (Espressif Systems Processor 32bit : ESP 32) [12] | 24 |
| 2.4.4 โมดูลลอรา (LoRa SX1278 Ra – 01) [13] | 24 |
| 2.5 หลักการสร้างเว็บแอปพลิเคชัน [14]..... | 25 |
| 2.5.1 เอชทีเอ็มแอลไฟฟ์ (Hypertext Markup Language5 : HTML5) [15]..... | 25 |
| 2.5.2 หลักการตกแต่งหน้าเว็บด้วยชีเอสเอส (Cascading Style Sheets : CSS) [16].. | 27 |
| 2.5.3 หลักการเชื่อมต่อฐานข้อมูลด้วยจาวาสคริปต์ (JavaScript) [17]..... | 28 |
| 2.5.4 หลักการเชื่อมต่อฐานข้อมูลด้วยโนดเจเอส (Node.JS) [18]..... | 30 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 2.5.5 มองโกดีบี (MongoDB) [19]..... | 31 |
| 2.6 แผนภาพบริบท (Context Diagram) [20]..... | 32 |
| 2.7 แผนภาพกระแสการไหลของข้อมูล (Data Flow Diagram : DFD) [20] | 34 |
| 2.7.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนแผนภาพกระแสข้อมูล | 34 |
| 2.8 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (Entity Relationship Diagram : ERD) [21]..... | 37 |
| 2.8.1 เอนทิตี (Entity) | 38 |
| 2.8.2 แอททริบิวต์ | 39 |
| 2.8.3 ความสัมพันธ์ (Relationship)..... | 39 |
| 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 41 |
| 2.9.1 Tributary Water Depth and Velocity Remote Monitoring [22] | 42 |
| 2.9.2 Research on water meter reading system based on LoRa [23] | 42 |
| 2.9.3 Design & Development of Smart River Water Level Monitoring [24] | 43 |
| บทที่ 3 วิเคราะห์และการออกแบบระบบ | 45 |
| 3.1 ภาพรวมกิจกรรมต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ | 45 |
| 3.1.1 โมดูลวัดระดับน้ำ..... | 47 |
| 3.1.2 โมดูลส่งต่อข้อมูล | 47 |
| 3.1.3 โมดูลเกตเวย์ | 48 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 3.1.4 การเก็บข้อมูล..... | 49 |
| 3.1.5 เว็บแอปพลิเคชัน | 49 |
| 3.2 ภาพรวมต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ | 50 |
| 3.3 แผนภาพบริบทต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ | 50 |
| 3.4 แผนภาพกระแสข้อมูล | 53 |
| 3.4.1 ต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ | 53 |
| 3.5 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (Entity Relationship Diagram) | 62 |
| 3.6 การทดสอบการส่งข้อมูลด้วยลอรา | 62 |
| 3.6.1 การทดสอบเบื้องต้นแบบปราศจากสิ่งกีดขวาง | 62 |
| 3.7 การทดสอบการใช้พลังงาน | 66 |
| 3.8 บทสรุป | 66 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 67 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 แผ่นวัดระดับน้ำ..... | 9 |
| 2.2 ลูกกลอย..... | 9 |
| 2.3 ระบบโทรมาตร..... | 10 |
| 2.4 เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดเรดาร์..... | 10 |
| 2.5 เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดอัลตราโซนิก..... | 11 |
| 2.6 เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดลูกกลอย..... | 11 |
| 2.7 เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดเชือกนำ..... | 12 |
| 2.8 เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดความจุ..... | 12 |
| 2.9 เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดแรงดัน..... | 13 |
| 2.10 เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดความดันแตกต่างกัน..... | 13 |
| 2.11 ลอรา..... | 14 |
| 2.12 การส่งสัญญาณ..... | 15 |
| 2.13 อัตราการส่งข้อมูล..... | 17 |
| 2.14 อาร์ดูอิโนไอทีอี..... | 22 |
| 2.15 เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก..... | 23 |
| 2.16 สัญลักษณ์ของเอสทีเอ็มแอล..... | 26 |
| 2.17 สัญลักษณ์ของซีเอสเอส..... | 27 |
| 2.18 สัญลักษณ์ของจาวาสคริปต์..... | 29 |
| 2.19 สัญลักษณ์ของโนดเจเอส..... | 30 |
| 2.20 สัญลักษณ์ของมองโกดีบี..... | 31 |
| 2.21 ความสัมพันธ์ของแผนภาพบริบทกับแผนภาพกระแสข้อมูล..... | 33 |
| 2.22 ตัวอย่างแผนภาพบริบท..... | 33 |
| 2.23 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนแผนภาพกระแสข้อมูล..... | 34 |
| 2.24 ตัวอย่างประมวลผลการคำนวณผลผลิตสุทธิตายวันของโรงงาน..... | 35 |
| 2.25 ตัวอย่างแหล่งเก็บข้อมูลแฟ้มบัญชีธนาคาร..... | 36 |
| 2.26 แสดงภาพกระแสข้อมูล..... | 36 |
| 2.27 ตัวอย่างการเขียนสัญลักษณ์ที่อยู่ภายนอก..... | 37 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.28 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการออกแบบเอนดิติ์ปกติ..... | 38 |
| 2.29 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการออกแบบเอนดิติ์ปกติ..... | 39 |
| 2.30 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการออกแบบแอมพริบิต์ | 39 |
| 2.31 ความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อหนึ่ง | 40 |
| 2.32 ความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อกลุ่ม | 40 |
| 2.33 ความสัมพันธ์แบบกลุ่มต่อกลุ่ม | 41 |
| 3.1 ภาพรวมกิจกรรมต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ..... | 46 |
| 3.2 โมดูลวัดระดับน้ำ..... | 47 |
| 3.3 โมดูลส่งต่อข้อมูล..... | 48 |
| 3.4 โมดูลเกตเวย์..... | 48 |
| 3.5 การเก็บข้อมูล | 49 |
| 3.6 เว็บแอปพลิเคชัน..... | 49 |
| 3.7 ภาพรวมต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ | 50 |
| 3.8 แผนภาพต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ | 52 |
| 3.9 แผนภาพการไหลของข้อมูลระดับที่ 1 ของต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ | 54 |
| 3.10 แผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 2 ของการแสดงผลการวัดระดับน้ำ | 57 |
| 3.11 แผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 2 ของการแสดงผลการวัดระดับน้ำ..... | 58 |
| 3.12 แผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 3 ของกระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำย้อนหลัง ... | 59 |
| 3.13 แผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 3 ของกระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำย้อนหลัง ... | 60 |
| 3.14 แผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 2 ของกระบวนการการเพิ่มผู้ใช้..... | 61 |
| 3.15 แผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 2 ของกระบวนการการลบผู้ใช้ | 62 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 1.1 แผนดำเนินงาน | 5 |
| 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแต่ละงานวิจัย | 44 |
| 3.1 แสดงรายชื่อกระบวนการของระบบในแผนภาพกระแสน้ำข้อมูลระดับที่ 0 | 53 |
| 3.2 แสดงกระบวนการที่ 1.0 การแสดงผลการวัดระดับน้ำ | 55 |
| 3.3 แสดงกระบวนการที่ 2.0 การจัดการผู้ใช้งาน | 55 |
| 3.4 แสดงกระบวนการที่ 3.0 การตั้งค่า | 56 |
| 3.5 แสดงกระบวนการที่ 4.0 การบันทึกข้อมูลบนคลาวด์ | 56 |
| 3.6 แสดงกระบวนการที่ 1.1 กระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำปัจจุบัน | 57 |
| 3.7 แสดงกระบวนการที่ 1.2 กระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำย้อนหลัง | 58 |
| 3.8 แสดงกระบวนการที่ 1.2.1 กระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำย้อนหลังรายวัน | 59 |
| 3.9 แสดงกระบวนการที่ 1.2.2 กระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำย้อนหลังรายเดือน | 60 |
| 3.10 แสดงกระบวนการที่ 2.1 กระบวนการการเพิ่มผู้ใช้ | 61 |
| 3.11 แสดงกระบวนการที่ 2.2 กระบวนการการลบผู้ใช้ | 61 |
| 3.12 การทดสอบการส่งข้อมูลแบบปราศจากสิ่งกีดขวางระยะทาง 100 เมตร | 63 |
| 3.13 การทดสอบการส่งข้อมูลแบบปราศจากสิ่งกีดขวางระยะทาง 200 เมตร | 63 |
| 3.14 การทดสอบการส่งข้อมูลแบบปราศจากสิ่งกีดขวางระยะทาง 300 เมตร | 64 |
| 3.15 การทดสอบการส่งข้อมูลแบบปราศจากสิ่งกีดขวางระยะทาง 400 เมตร | 64 |
| 3.16 การทดสอบการส่งข้อมูลแบบปราศจากสิ่งกีดขวางระยะทาง 500 เมตร | 65 |
| 3.17 การทดสอบการส่งข้อมูลแบบปราศจากสิ่งกีดขวางระยะทาง 600 เมตร | 65 |
| 3.18 สรุปการทดสอบการส่งข้อมูลแบบปราศจากสิ่งกีดขวาง | 66 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

อุทกภัย ถือเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่เกิดจากสภาวะน้ำท่วมหรือน้ำท่วมฉับพลัน มีสาเหตุมาจากสภาพอากาศที่แปรปรวนอย่างหนัก การเกิดฝนตกหนักหรือฝนต่อเนื่องเป็นเวลานาน การเกิดอุทกภัยจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การตัดไม้ทำลายป่าทำให้อาจเกิดน้ำป่าไหลหลาก การสร้างสิ่งกีดขวางทางน้ำไหล ถ้าหากประชาชนไม่สามารถอพยพเคลื่อนที่ได้ทันก่อนเกิดน้ำท่วม [1] ก่อให้เกิดความสูญเสียที่ตามมาอีกมากมาย

การวัดระดับน้ำเพื่อป้องกันอุทกภัยที่อาจจะเกิดขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่ห่างไกลที่ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ตหรือสัญญาณโทรศัพท์และพื้นที่เสี่ยงจากฝนตกหนักหรือสภาพอากาศแปรปรวน การติดตั้งระบบตรวจวัดน้ำในแม่น้ำ ลำคลอง หรือพื้นที่ต่ำจะช่วยให้สามารถติดตามระดับน้ำได้อย่างต่อเนื่องซึ่งจะเป็นข้อมูลสำคัญในการคาดการณ์สถานการณ์ล่วงหน้าเมื่อเกิดน้ำท่วมฉับพลันจะช่วยให้ได้รับข้อมูลได้ทันที่ การติดตั้งระบบวัดระดับน้ำจะทำให้ได้รับข้อมูลอย่างรวดเร็ว

จากปัญหาข้างต้นที่กล่าวมาทางคณะผู้จัดทำมีแนวคิดที่นำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาพัฒนาต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลora และการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ เพื่อแก้ไขปัญหาการวัดระดับน้ำในพื้นที่ห่างไกล เพื่อป้องกันอุทกภัย การใช้เทคโนโลยีการสื่อสาร เช่น ลอราจะช่วยส่งข้อมูลระดับน้ำได้แม้พื้นที่ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ตหรือสัญญาณโทรศัพท์ได้และใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในการให้พลังงานกับต้นแบบการวัดระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกล โดยคาดหวังว่าต้นแบบการวัดระดับน้ำในพื้นที่ห่างไกลจะช่วยให้สามารถนำข้อมูลระดับน้ำไปวิเคราะห์เพื่อรับมือกับสถานการณ์ได้ทัน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากแหล่งน้ำที่อยู่ห่างไกลและไม่สามารถเชื่อมต่อสัญญาณเครือข่ายพื้นฐานได้

2. เพื่อพัฒนาระบบจ่ายพลังงานด้วยโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ให้กับเครื่องมือวัดและอุปกรณ์สื่อสารที่อยู่ไกลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐาน
3. เพื่อพัฒนาและออกแบบเว็บแอปพลิเคชันต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ
4. เพื่อพัฒนาการส่งข้อมูลระยะไกลแบบหลายฮอปบนเทคโนโลยีลอรา

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การออกแบบต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลอรา จำเป็นต้องนำองค์ความรู้และความสามารถทางด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบผ่าน Arduino IDE ด้วยภาษา C++ มาประยุกต์ร่วมกับองค์ความรู้ เพื่อใช้ในการออกแบบการทำงานของระบบให้อยู่ในแผนภาพต่าง ๆ เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ในการดำเนินงานของระบบ ได้แก่ แผนภาพกิจกรรม ผังบริบท (Context Diagram) เป็นแผนภาพที่ใช้อธิบายรายละเอียดสภาพแวดล้อมของระบบ แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram : DFD) ใช้เพื่ออธิบายกระบวนการและลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบ การออกแบบฐานข้อมูลนำเสนอในรูปแบบแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (ER-Diagram) ส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้งานทำการสร้างระบบด้วยเซทเอ็มแอล (HTML) ร่วมกับซีเอสเอส (CSS) และภาษาจาวาสคริปต์ (JavaScript) ในการพัฒนารูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) ส่วนของฐานข้อมูลที่ใช้ในการเก็บข้อมูลที่สร้างด้วยมอโกดีบี (MongoDB) ทำการเชื่อมต่อข้อมูลกับผู้ใช้งานด้วย (NodeJS) โดยคาดหวังว่าต้นแบบการวัดระดับน้ำในพื้นที่ห่างไกลจะช่วยให้สามารถนำข้อมูลระดับน้ำไปวิเคราะห์เพื่อรับมือกับสถานการณ์ได้ทัน

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตในการพัฒนาต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลอราด้วยองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อช่วยนำข้อมูลระดับน้ำไปวิเคราะห์สามารถแปลขอบเขตการศึกษาของระบบได้ 2 มุมคือมุมมองเชิงความสามารถในการทำงานของระบบและมุมมองในเชิงความสามารถของผู้ใช้งานระบบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.4.1 มุมมองเชิงความสามารถในการทำงานของระบบ

- ระบบสามารถวัดระดับน้ำ
- ระบบสามารถส่งข้อมูลระยะไกล
- ระบบสามารถส่งข้อมูลแบบหลายฮอป
- ระบบสามารถใช้พลังงานจากระบบจ่ายพลังงานด้วยโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่

1.4.2 มุมมองเชิงความสามารถในการทำงานของผู้ใช้

1.4.2.1 ผู้ใช้ทั่วไป

- ผู้ใช้สามารถติดตามข้อมูลระดับน้ำปัจจุบันและระดับน้ำย้อนหลังได้

1.4.2.2 ผู้ดูแลระบบ

- ผู้ดูแลระบบสามารถติดตามข้อมูลระดับน้ำปัจจุบันและระดับน้ำย้อนหลังได้
- ผู้ดูแลระบบสามารถกำหนดระดับความลึกของแหล่งน้ำเพื่อนำมาคำนวณระดับน้ำของแหล่งน้ำที่ต่างกันได้
- ผู้ดูแลระบบสามารถเพิ่มผู้ใช้งานและลบผู้ใช้งาน

1.5 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการทำโครงงาน

เพื่อให้ผู้เกี่ยวข้องสามารถนำต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลอรามาใช้งานได้ถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ ต้องทำความเข้าใจหลักการทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ได้แก่ หลักการพื้นฐานของการวัดระดับน้ำในแหล่งน้ำ หลักการส่งข้อมูลด้วยลอรา หลักการออกแบบระบบโซลาร์เซลล์ หลักการออกแบบผังต่างๆ หลักการในการออกแบบเชื่อมต่อฐานข้อมูลกับส่วนติดต่อประสานงานกับผู้ใช้งาน รวมถึงทฤษฎีในการสร้างและออกแบบต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ รายละเอียดของหลักการต่าง ๆ มีดังนี้

1. หลักการวัดระดับน้ำ

1.1 เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำในแม่น้ำ

2. เทคโนโลยีลอรา

2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับลอราโมดูเลตสัญญาณ (LoRa Modulation)

2.3 การส่งข้อมูลด้วยลอรา (LoRa Transmission)

2.4 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสัญญาณการสื่อสาร

3. หลักการออกแบบระบบโซลาร์เซลล์
 - 3.1 การประเมินพลังงาน
 - 3.2 ตัวควบคุมการชาร์จ
 - 3.3 การเลือกใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน
4. หลักการสร้างและออกแบบต้นแบบการวัดระดับน้ำ
5. หลักการสร้างเว็บแอปพลิเคชัน
 - 5.1 หลักการเขียนเว็บด้วยเฮชทีเอ็มแอล (HTML)
 - 5.2 หลักการตกแต่งหน้าเว็บด้วยชีเอสเอส (CSS)
 - 5.3 หลักการเชื่อมต่อฐานข้อมูลด้วยจาวาสคริปต์ (JavaScript)
 - 5.4 หลักการเชื่อมต่อฐานข้อมูลด้วยจาวาสคริปต์ (Node.js)
6. หลักการออกแบบผังต่าง ๆ
 - 6.1 หลักการออกแบบผังบริบท
 - 6.2 หลักการออกแบบแผนภาพกระแสการไหลของข้อมูล (Data Flow Diagram : DFD)
 - 6.3 หลักการออกแบบแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (ER Diagram)

1.6 แผนดำเนินงาน

สำหรับขั้นตอนการศึกษา และการจัดสร้างต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลORA เริ่มจากกระบวนการศึกษาค้นคว้าข้อมูลและทฤษฎีของพัฒนาต้นแบบการวัดระดับน้ำ กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา ลงพื้นที่สำรวจความต้องการระบบ วิเคราะห์ปัญหาและการออกแบบ ดำเนินการสร้างต้นแบบการวัดระดับน้ำ ทดสอบโปรแกรม และแก้ไขข้อผิดพลาดของระบบ ประเมินผล ข้อเสนอแนะ สรุปผล จัดทำรูปเล่มนำเสนอ และส่งมอบงาน โดยช่วงเวลาของแผนการดำเนินงานแสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แผนดำเนินงาน

| <div>ระยะเวลา</div> <div>ขั้นตอน</div> | ปีการศึกษา 2567 | | | | | | ปีการศึกษา 2568 | | | | | |
|--|-----------------|------|------|------|------|-------|-----------------|-------|------|------|------|------|
| | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. |
| 1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและทฤษฎีของต้นแบบการวัดระดับน้ำ | | | | | | | | | | | | |
| 2. กำหนดขอบเขตการศึกษา | | | | | | | | | | | | |
| 3. วิเคราะห์ปัญหาและการออกแบบ | | | | | | | | | | | | |
| 4. ดำเนินการขั้นตอนสร้าง | | | | | | | | | | | | |
| 5. ทดสอบและแก้ไขข้อผิดพลาด | | | | | | | | | | | | |
| 6. ประเมินผล ข้อเสนอแนะและสรุปผล | | | | | | | | | | | | |
| 7. จัดทำเอกสาร | | | | | | | | | | | | |
| 8. นำเสนอ | | | | | | | | | | | | |
| 9. ส่งมอบงาน | | | | | | | | | | | | |

1.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

1.7.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างระบบ

- ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

- ESP 32
- LoRa module SX 1278
- HC-SR04
- Battery li-ion
- Solar cell
- Charge controller

- ซอฟต์แวร์ (Software)

- Arduino IDE

1.7.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่พัฒนา

- ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

- CPU : Intel(R) Core(TM) i3-9100F CPU @ 3.60GHz
- Memory : RAM 16 GB DDR4
- Solid State Drive : 240 GB
- GPU : NVIDIA GeForce RTX 2060

- ซอฟต์แวร์ (Software)

- HTML
- CSS
- JavaScript

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ
2. ได้ต้นแบบวิธีการส่งข้อมูลจากระยะไกลแบบหลายฮอป
3. ได้ระบบจ่ายพลังงานด้วยโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ให้กับเครื่องมือวัดและอุปกรณ์สื่อสาร
4. ได้เว็บแอปพลิเคชันต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ

1.9 โครงสร้างของการศึกษา

ปฏิญานิพนธ์เล่มนี้แบ่งออกเป็น 5 บท แต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหาต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำเนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญขอปัญหาวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมุติฐานของการศึกษา ขอบเขตของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการทำโครงการ แผนการดำเนินงาน เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และโครงสร้างปฏิญานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในโครงการประกอบไปด้วย ความรู้เกี่ยวกับการวัดระดับน้ำ การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบหลักการใช้งานโซลาร์เซลล์

บทที่ 3 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ เนื้อหาในบทนี้เริ่มจากการสำรวจความต้องการของจัดสร้างพัฒนาด้านแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลอร่า การวิเคราะห์ ออกแบบสร้างต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลอร่า

บทที่ 4 ผลการทดสอบ เนื้อหาประกอบด้วยผลการออกแบบและสร้างส่วนติดต่อผู้ใช้งาน ตัวอย่างการทดสอบความถูกต้องของต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลอร่า การทดสอบความแม่นยำของเซ็นเซอร์ วิเคราะห์และอธิบายผลการทดสอบ และบทสรุป

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาและข้อเสนอแนะ สำหรับการพัฒนาต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของบทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎี และหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับหลักการวัดระดับน้ำ หลักการส่งข้อมูลด้วยลอราหลักการออกแบบและสร้างฐานข้อมูล หลักการสร้างและออกแบบต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลอรา หลักการออกแบบระบบโซลาร์เซลล์ หลักการสร้างเว็บแอปพลิเคชัน หลักการเขียนเว็บด้วยเอชทีเอ็มแอล หลักการตกแต่งหน้าเว็บด้วยซีเอสเอส หลักการเชื่อมต่อฐานข้อมูลด้วยจาวาสคริปต์ หลักการออกแบบผังต่าง ๆ หลักการออกแบบผังบริบท และหลักการออกแบบแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล

2.1 การวัดระดับน้ำ [2]

การวัดระดับน้ำในพื้นที่ต่าง ๆ เช่น อ่างเก็บน้ำ แม่น้ำ และคลอง มีเป้าหมายหลักเพื่อการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในด้านการป้องกันน้ำท่วม การเกษตร และการบริหารจัดการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค ซึ่งการวัดระดับน้ำนั้นมักจะอ้างอิงกับค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean Sea Level: MSL) หรือที่เรียกว่า ร.ท.ก. (ระดับทะเลปานกลาง) ระดับน้ำทะเลปานกลางนี้เป็นค่ามาตรฐานที่ได้จากการเฉลี่ยระดับน้ำทะเลสูงสุด (High Tide: HT) และระดับน้ำทะเลต่ำสุด (Low Tide: LT) ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด โดยในประเทศไทย มีการกำหนดค่ามาตรฐานระดับน้ำทะเลปานกลางที่ตำบลเกาะหลัก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้จากการเก็บบันทึกระดับน้ำทะเลต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 ปี ผลลัพธ์ที่ได้การอ้างอิงค่าระดับน้ำทะเลปานกลางนี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ช่วยให้สามารถเปรียบเทียบระดับน้ำในแต่ละพื้นที่ได้อย่างถูกต้อง อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการวางแผนในงานด้านวิศวกรรม เช่น การก่อสร้างเขื่อน การวางระบบระบายน้ำ และการติดตั้งระบบเตือนภัยน้ำท่วม ทั้งนี้ การเก็บข้อมูลที่มีความแม่นยำและต่อเนื่องจะช่วยสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อชุมชนและประเทศในระยะยาวคือค่าระดับน้ำทะเลปานกลางมีค่าเท่ากับ 0.000 เมตร และถูกใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงสำหรับการวัดระดับน้ำในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วประเทศ

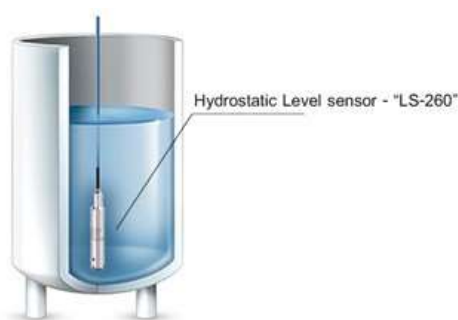
2.1.1 หลักการวัดระดับน้ำ [3]

1. การวัดระดับน้ำแบบไม่บันทึกข้อมูลต่อเนื่องการวัดระดับน้ำโดยใช้ แผ่นวัดระดับน้ำ ซึ่งมีขีดบอกระดับน้ำติดตั้งอยู่ในแหล่งน้ำ ผู้ปฏิบัติงานจะอ่านค่าระดับน้ำวันละ 1-2 ครั้ง หรือเมื่อจำเป็น วิธีนี้ไม่ซับซ้อนและใช้ต้นทุนต่ำ เหมาะสำหรับการใช้งานในพื้นที่ที่ไม่ต้องการข้อมูลระดับน้ำแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 2.1 แผ่นวัดระดับน้ำ [3]

2. ใช้เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบลูกลอย ต่อพ่วงกับอุปกรณ์เขียนกราฟเพื่อบันทึกข้อมูลระดับน้ำต่อเนื่อง โดยสามารถบันทึกข้อมูลได้ประมาณ 1 สัปดาห์ก่อนเปลี่ยนกระดาษกราฟใหม่ วิธีนี้เริ่มใช้ในกรมชลประทานมานานกว่า 60 ปี ปัจจุบันมีการพัฒนาเพิ่ม Data Logger สำหรับบันทึกข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้การเข้าถึงและจัดเก็บข้อมูลสะดวกและแม่นยำมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.2 ลูกลอย [3]

3. การวัดระดับน้ำด้วย ระบบโทรมาตร เป็นวิธีที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงเพื่อเก็บและส่งข้อมูลแบบอัตโนมัติในระยะไกล วิธีนี้เหมาะสำหรับการตรวจวัดระดับน้ำ ปริมาณฝนตก หรือค่าตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานชลประทาน



รูปที่ 2.3 ระบบโทรมาตร [3]

2.1.2 เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำในแม่น้ำ [4]

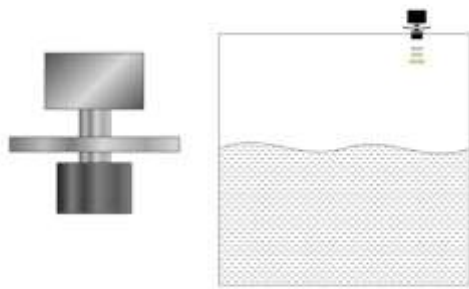
เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำในแม่น้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดและตรวจสอบระดับน้ำในแหล่งน้ำต่าง ๆ เช่น แม่น้ำ เขื่อน และพื้นที่น้ำขึ้นน้ำลง มีเครื่องส่งสัญญาณหลายประเภทที่นิยมใช้ ได้แก่ เรดาร์ อัลตราโซนิก ลูกลอย เชือกนำ ความจุ แรงดัน และความดันแตกต่าง เครื่องส่งสัญญาณชนิดเรดาร์ถือเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด

1. เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดเรดาร์ทำงานโดยการปล่อยคลื่นไมโครเวฟจากเซ็นเซอร์ไปยังพื้นผิวของน้ำ แล้ววัดเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา เพื่อกำหนดระยะทางและระดับน้ำ ข้อดีของเทคโนโลยีนี้คือไม่ถูกกระทบจากอุณหภูมิหรือก๊าซ และสามารถทำงานได้ดีในสถานะที่มีฝนหรือไอระเหย อาจมีข้อจำกัดเมื่อคลื่นสะท้อนทะลุผ่านวัตถุที่มีค่าสัมพัทธ์ต่ำ หรือเมื่อเกิดการควบแน่นของไอน้ำเพดานถึง



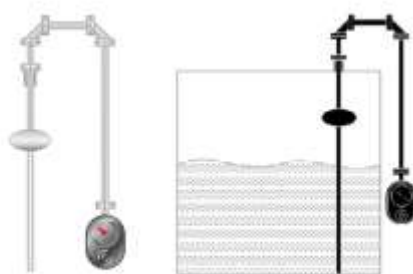
รูปที่ 2.4 เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดเรดาร์ [4]

2. เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดอัลตราโซนิกใช้คลื่นเสียงความถี่สูงในการวัดระดับน้ำ โดยปล่อยคลื่นเสียงจากเซ็นเซอร์ไปยังพื้นผิวของน้ำ แล้ววัดเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา ข้อดีคือมีราคาประหยัดและไม่ต้องสัมผัสกับน้ำ แต่ข้อเสียคืออาจได้รับผลกระทบจากฝุ่น ไอน้ำ หรือก๊าซ ซึ่งสามารถลดความแม่นยำของการวัดได้



รูปที่ 2.5 เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดอัลตราโซนิก [4]

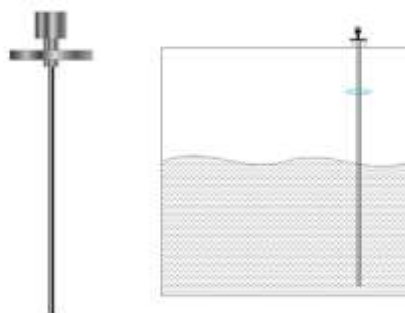
3. เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดลูกลอยบนผิวน้ำและติดตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ โดยวัดความยาวของเทปแทนเลขที่แขวนลูกลอย ข้อดีคือมีโครงสร้างเรียบง่ายและมีความแม่นยำสูง แต่ข้อเสียคืออาจได้รับผลกระทบจากสิ่งสกปรกหรือวัตถุลอยในน้ำที่เกาะติดกับชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว ทำให้เกิดการตรวจจับที่ผิดพลาด



รูปที่ 2.6 เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดลูกลอย [4]

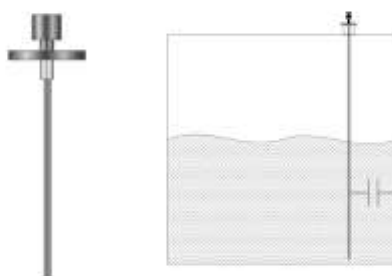
4. เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดเชือกนำปล่อยคลื่นไมโครเวฟไปตามเชือกที่ห้อยลงมาในถัง วัดเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมาเพื่อคำนวณระดับน้ำ ข้อดีคือสามารถวัดได้แม้

ในสถานะที่มีฝุ่นหรือไอระเหย แต่ข้อเสียคืออาจมีปัญหาจากการยึดเกาะของสิ่งสกปรกบนเชือก ทำให้การวัดไม่แม่นยำ



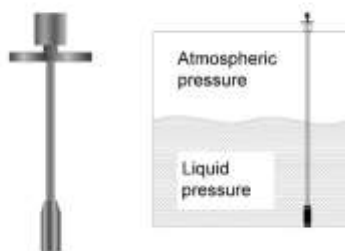
รูปที่ 2.7 เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดเชือกนำ [4]

5. เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดความจุไฟฟ้าระหว่างเซ็นเซอร์และน้ำซึ่งค่าความจุจะเปลี่ยนแปลงตามระดับน้ำ ข้อดีของเครื่องชนิดนี้คือมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่มีฝุ่นหรือไอระเหย และเหมาะสำหรับการใช้งานในพื้นที่แคบหรือถังที่มีของเหลวหลายชนิด อย่างไรก็ตาม ข้อเสียคือต้องสอบเทียบเครื่องมืออย่างสม่ำเสมอ และอาจได้รับผลกระทบจากคุณสมบัติของของเหลว เช่น ความหนืดหรือการเปลี่ยนแปลงของค่าความนำไฟฟ้า



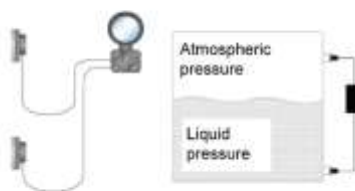
รูปที่ 2.8 เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดความจุ [4]

6. เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดแรงดันที่เกิดจากน้ำโดยตรง เซ็นเซอร์จะวางอยู่ใต้ระดับน้ำและคำนวณความดันเพื่อแปลงค่าเป็นระดับน้ำ ข้อดีคือสามารถใช้งานได้ในพื้นที่ที่แคบหรือถังที่มีของเหลวหลายชนิด อย่างไรก็ตาม ข้อเสียคืออาจมีปัญหาเมื่อเซ็นเซอร์ถูกสิ่งสกปรกหรือวัตถุแปลกปลอมเกาะติด



รูปที่ 2.9 เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดแรงดัน [4]

7. เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดความดันแตกต่างเครื่องชนิดนี้ทำงานโดยการเปรียบเทียบความดันระหว่างจุดสองจุด ซึ่งเหมาะสำหรับการวัดระดับน้ำในถังปิดหรือระบบที่มีแรงดัน ข้อดีคือมีความแม่นยำสูงสำหรับของเหลวที่มีความหนาแน่นคงที่ แต่ข้อเสียคือไม่เหมาะกับของเหลวที่มีความหนาแน่นเปลี่ยนแปลง หรือในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงบ่อย



รูปที่ 2.10 เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำชนิดความดันแตกต่าง [4]

2.2 เทคโนโลยีลอรา (LoRa) [5]

ลอราเป็นเทคโนโลยีการเชื่อมต่อแบบไร้สายที่ได้รับความนิยมในงานระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things : IOT) ซึ่งเน้นการรวบรวมและส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ อุปกรณ์ที่รองรับลอราได้รับการพัฒนาจากบริษัทชั้นนำที่ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อรองรับการเชื่อมต่อในระบบ IoT อย่างแพร่หลาย มีความสามารถเด่นในด้านการสื่อสาร

ระยะไกล โดยสามารถรับและส่งข้อมูลได้ในระยะทาง 5-15 กิโลเมตร มีข้อได้เปรียบในด้านการใช้พลังงานต่ำ อุปกรณ์สามารถเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานในช่วงที่ไม่มีการส่งข้อมูล ช่วยลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มความยั่งยืนสำหรับระบบที่ใช้งานแบตเตอรี่ และใช้เทคนิคการส่งสัญญาณแบบ *Spread Spectrum* ซึ่งช่วยลดสัญญาณรบกวนและเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลระยะไกล โดยมีความโดดเด่นกว่าระบบไร้สายอื่น ๆ เช่น Wi-Fi และ Bluetooth ซึ่งเหมาะสำหรับการสื่อสารระยะไกลและการใช้พลังงานต่ำในระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง



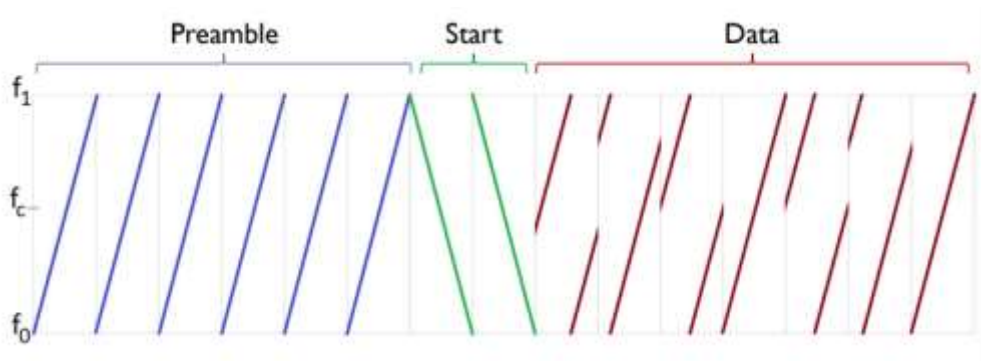
รูปที่ 2.11 ลอรา [5]

2.2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับลอราโมดูเลตสัญญาณ (LoRa Modulation)

ลอราโมดูเลตสัญญาณ เป็นเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณที่พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มความทนทานของการสื่อสารต่อสัญญาณรบกวนและเพิ่มระยะการส่งข้อมูล โดยใช้สัญญาณที่เรียกว่า (chirp) ซึ่งความถี่ของสัญญาณจะเพิ่มขึ้น หรือ ลดลง อย่างเป็นเส้นตรงหรือแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลในช่วงเวลา (Chirp Spread Spectrum : CSS) ได้รับการออกแบบให้ใช้แบนด์วิดท์ทั้งหมดที่จัดสรรไว้เพื่อแพร่กระจายสัญญาณ ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานต่อการรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกและเพิ่มความเสถียรของระบบการสื่อสาร

2.2.1.1 การส่งสัญญาณ

1. Preamble ส่วนเริ่มต้นของการส่งสัญญาณ ประกอบด้วย chirp ขาขึ้น (up-chirp) อย่างน้อย 6 สัญญาณ เพื่อเตรียมตัวรับให้พร้อมสำหรับการรับข้อมูล
2. Start of Frame ใช้ chirp ขาลง (down-chirp) 2 สัญญาณ เพื่อบ่งจุดเริ่มต้นของข้อมูลและซิงโครไนซ์ระหว่างตัวส่งและตัวรับ
3. Data ส่วนการส่งข้อมูลจริง ใช้ chirp ขาขึ้น (up-chirp) โดยข้อมูลจะถูกเข้ารหัสในรูปแบบ "chip" ซึ่ง chirp หนึ่งสัญญาณจะถูกแบ่งออกเป็นหลายระดับความถี่ (chip levels) ตามค่าของ Spreading Factor (SF)



รูปที่ 2.12 การส่งสัญญาณ [25]

2.2.1.2 การป้องกันปัญหาการสื่อสารระยะไกล (Chirp Spread Spectrum : CSS)

CSS มีความทนทานต่อ multi-path fading และ Doppler effect ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญในการสื่อสารระยะไกล

1. Multi-Path Fading ปรากฏการณ์ที่เกิดจากสัญญาณเดินทางผ่านหลายเส้นทาง เนื่องจากการสะท้อนหรือหักเห ทำให้เกิดการเสริมและหักล้างของคลื่น ส่งผลให้ความแรงของสัญญาณลดลงหรือไม่สม่ำเสมอ CSS ในลอราช่วยลดผลกระทบนี้ได้ด้วยการแพร่กระจายพลังงานในแบนด์วิดท์ที่กว้าง

2. Doppler Effect การเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดหรือตัวรับ ส่งผลต่อความแม่นยำของการรับ-ส่งข้อมูล CSS ในลอราสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงความถี่นี้ได้เป็นอย่างดี ทำให้เหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนที่

2.2.1.3 อัตราการส่งข้อมูล (Data Rate)

อัตราการส่งข้อมูลในถูกกำหนดโดยปัจจัยหลักมี 3 แบบดังนี้

1. Spreading Factor (SF) ค่า SF ที่สูงจะเพิ่มความไวของตัวรับสัญญาณ (Sensitivity) แต่ลดอัตราการส่งข้อมูล
2. แบนด์วิดท์ (Bandwidth BW) BW ที่กว้างขึ้นช่วยเพิ่มอัตราการส่งข้อมูล
3. อัตราการแก้ไขข้อผิดพลาด (Coding Rate CR) ช่วยเพิ่มความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับ แต่ลดอัตราการส่งข้อมูล

2.2.2 การส่งข้อมูลด้วยลอรา (LoRa Transmission)

การส่งข้อมูลด้วยลอราเป็นกระบวนการส่งข้อมูลแบบไร้สายที่ใช้เทคนิค ลอราโมดูลेट สัญญาณ ซึ่งพัฒนาขึ้นบนหลักการ Chirp Spread Spectrum (CSS) การส่งข้อมูลของลอรา ได้รับการออกแบบเพื่อรองรับการสื่อสารระยะไกลที่มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวน โดยใช้พลังงานต่ำรายละเอียดโครงสร้างการส่งข้อมูล

2.2.2.1 ความถี่ที่ใช้ในลอรา

ลอราใช้ย่านความถี่ที่อยู่ในกลุ่มย่านความถี่ที่ไม่ต้องขอใบอนุญาต (Industrial Scientific and Medical : ISM) ความถี่ที่ นิยมใช้มีดังนี้ ยุโรป (European Telecommunications Standards Institute : ETSI) 868 MHz สหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission : FCC) 915 MHz เอเชียและประเทศอื่น ๆ 433 MHz, 920–923 MHz ประเทศไทยกำหนดให้ใช้ย่านความถี่ 920–925 MHz สำหรับการสื่อสารลอราแวนโดยต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของ กสทช. (กองกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ)

2.2.2.2 ลอราแวน (LoRaWAN)

ลอราแวนคือโปรโตคอลสำหรับจัดการการสื่อสารในเครือข่ายลอราโดยทำงานในระดับ (MAC Layer) เพื่อจัดการการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์และเกตเวย์ (Gateway) จะแบ่งโครงสร้างเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. อุปกรณ์ปลายทาง (End Devices) เช่น เซ็นเซอร์ หรืออุปกรณ์ IoT
2. เกตเวย์ (Gateway) เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ปลายทางและส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์
3. เซิร์ฟเวอร์เครือข่าย (Network Server) ประมวลผลและจัดการข้อมูลที่ได้รับ

2.2.2.3 สเปรดดิ้งแฟกเตอร์ (Spreading Factor :SF)

สเปรดดิ้งแฟกเตอร์เป็นพารามิเตอร์สำคัญในระบบลอราที่กำหนดระดับการแพร่กระจายของสัญญาณ โดยค่า SF มีผลต่อความไวของสัญญาณ (Sensitivity) อัตราการส่งข้อมูล (Data Rate) และการใช้พลังงาน ค่า SF ที่ต่ำ เช่น SF 7 ช่วยเพิ่มอัตราการส่งข้อมูล ลดเวลาในการส่งสัญญาณ และเหมาะสำหรับการสื่อสารในระยะใกล้โดยใช้พลังงานต่ำ ในขณะที่ค่า SF ที่สูง เช่น SF 12 ช่วยเพิ่มความไวของสัญญาณ รองรับการสื่อสารในระยะไกล และมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนมากขึ้น แต่จะลดอัตราการส่งข้อมูลและเพิ่มการใช้พลังงาน ระบบลอราสามารถปรับค่า SF แบบอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสารในแต่ละสถานการณ์ผ่านเทคนิค Adaptive Data Rate เพื่อให้

เหมาะสมกับความต้องการในด้านระยะทางและพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างแสดง ดังรูปที่ 2.13

| DR | SF | BW | C/R | bps | Bps |
|----|----|--------|-----|----------|---------|
| 5 | 7 | 125000 | 4/5 | 5468.750 | 683.594 |
| 4 | 8 | 125000 | 4/5 | 3125.000 | 390.625 |
| 3 | 9 | 125000 | 4/5 | 1757.813 | 219.727 |
| 2 | 10 | 125000 | 4/5 | 976.563 | 122.070 |
| 1 | 11 | 125000 | 4/5 | 537.109 | 67.139 |
| 0 | 12 | 125000 | 4/5 | 292.969 | 36.621 |

รูปที่ 2.13 อัตราการส่งข้อมูล [25]

2.2.2.4 แบนด์วิดท์ (Bandwidth :BW)

แบนด์วิดท์เป็นพารามิเตอร์สำคัญที่กำหนดช่วงความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารของ ลอราโดยค่า BW มีผลต่ออัตราการส่งข้อมูล (Data Rate) และความไวของสัญญาณ (Sensitivity) ค่า BW ที่ใช้ได้ในลอรามีดังนี้

- 125 kHz เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้ใน LoRaWAN สำหรับการสื่อสารที่เน้นความไกลและความทนทาน
- 250 kHz เหมาะสำหรับการสื่อสารที่ต้องการอัตราการส่งข้อมูลสูงขึ้น
- 500 kHz ใช้สำหรับการส่งข้อมูลที่ต้องการแบนด์วิดท์กว้าง เช่น การใช้งานที่ความถี่ 915 MHz

2.2.2.5 ระดับความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength Indicator : RSSI)

อาร์เอสเอสไอเป็นตัวชี้วัดระดับความแรงของสัญญาณที่ตัวรับสัญญาณ (Receiver) ได้รับจากตัวส่งสัญญาณ (Transmitter) โดยมีหน่วยวัดเป็น เดซิเบลมิลลิวัตต์ (dBm) ค่านี้เป็นตัวบ่งชี้สำคัญในการประเมินคุณภาพของการสื่อสารแบบไร้สาย ช่วงค่าของ อาร์เอสเอสไอโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง -120 dBm ถึง -50 dBm

- ค่าที่ดี อยู่ใกล้ -50 dBm ซึ่งหมายถึงสัญญาณมีความแรงสูง
- ค่าที่อ่อน ใกล้ -120 dBm ซึ่งหมายถึงสัญญาณมีความแรงต่ำ

2.2.2.6 ความสำคัญของ RSSI

1. อาร์เอสเอสไอเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยประเมินคุณภาพของสัญญาณ โดยสัญญาณที่มีค่าอาร์เอสเอสไอดำมากอาจทำให้การสื่อสารล้มเหลวหรือข้อมูลสูญหาย
2. ลอรามีความไวต่อสัญญาณสูง จึงสามารถถอดรหัสข้อมูลได้ แม้ RSSI จะต่ำถึงประมาณ -120 dBm ซึ่งเหมาะสำหรับการสื่อสารระยะไกล

2.2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพสัญญาณการสื่อสาร

ลอราเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ใช้ในการส่งข้อมูลระยะไกล ซึ่งมีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลต่อคุณภาพของสัญญาณและการส่งข้อมูลในเครือข่าย ลอรารายงานนี้จะพิจารณาปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพสัญญาณ และการส่งข้อมูลปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพสัญญาณ มี 4 อย่างดังนี้

1. กำลังส่งสัญญาณเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดระยะทางที่สัญญาณลอราสามารถเดินทางได้ การเพิ่มกำลังส่งสัญญาณช่วยให้สัญญาณสามารถส่งถึงระยะทางไกลขึ้นและลดการสูญหายของข้อมูล แต่ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดทางกฎหมายของแต่ละประเทศเกี่ยวกับกำลังส่งสูงสุด เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนกับอุปกรณ์อื่นในเครือข่ายเดียวกัน
2. ความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณลอราส่งผลโดยตรงต่อระยะทางการส่งสัญญาณและการทะลุผ่านสิ่งกีดขวาง ความถี่ต่ำ เช่น 433 MHz, 868 MHz หรือ 915 MHz ช่วยให้สัญญาณสามารถเดินทางได้ไกลขึ้นและทะลุผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีขึ้น แต่จะมีอัตราการส่งข้อมูลที่ต่ำกว่า ขณะที่ความถี่สูงสามารถเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลได้ แต่จะลดระยะทางการส่งสัญญาณและการทะลุผ่านสิ่งกีดขวาง
3. สภาพแวดล้อมมีบทบาทสำคัญในการกระจายสัญญาณลอราสิ่งกีดขวางเช่น อาคารสูง หรือภูมิประเทศที่มีความชันหรือป่าไม้สามารถลดทอนคุณภาพของสัญญาณได้ การติดตั้งเครือข่ายในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางหลายประเภทจำเป็นต้องคำนึงถึงการสะท้อนและการดูดซับสัญญาณ
4. สัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ที่ใช้ความถี่เดียวกัน เช่น Wi-Fi หรือ Bluetooth สามารถลดคุณภาพของสัญญาณลอราได้ การเลือกความถี่ที่ไม่แออัดและช่วงเวลาที่มีการรบกวนต่ำจะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการส่งข้อมูล

ข้อดีของเทคโนโลยีลอรา

1. การสื่อสารระยะไกล รองรับระยะทางครอบคลุม 1-10 กิโลเมตร
2. การใช้พลังงานต่ำ เหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้แบตเตอรี่หรือพลังงานแสงอาทิตย์

3. รองรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์จำนวนมาก สามารถจัดการการสื่อสารของอุปกรณ์ในพื้นที่เดียวกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. ความปลอดภัยของข้อมูล มีการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อป้องกันการดักฟังและเพิ่มความมั่นใจในระบบ

ข้อเสียของเทคโนโลยี LoRa

1. ความเร็วในการส่งข้อมูลต่ำ ไม่เหมาะสำหรับงานที่ต้องการการสื่อสารข้อมูลปริมาณมากหรือความเร็วสูง
2. ข้อจำกัดด้านสิ่งกีดขวาง ระยะทางของสัญญาณอาจลดลงในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวาง เช่น อาคารหรือภูเขานั้นกีดขวางการสื่อสาร
3. การออกแบบระบบ LoRa จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยด้านระยะทาง พลังงาน และการออกแบบเครือข่าย เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

2.3 หลักการออกแบบระบบโซลาร์เซลล์ [6]

โซลาร์เซลล์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยมีบทบาทสำคัญในการช่วยประหยัดพลังงานและใช้พลังงานสะอาดในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นในบ้าน อาคารสำนักงาน หรืออุตสาหกรรมต่าง ๆ โซลาร์เซลล์ทำงานโดยการรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ผ่านพื้นผิวของแผงเซลล์ ซึ่งมักมีลักษณะเป็นวัสดุโลหะที่มีผลกลายเป็นเส้นตาราง เส้นตารางนี้จะช่วยกักเก็บพลังงานแสงที่ตกกระทบและนำไปแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า

2.3.1 การประเมินความต้องการพลังงาน

การประเมินความต้องการพลังงานเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก ช่วยให้งำหนดขนาดของแผงโซลาร์เซลล์ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม คำนวณโหลดไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่ต้องการใช้ คำนวณกำลังไฟฟ้าที่แต่ละอุปกรณ์ต้องใช้ (วัตต์) คำนวณเวลาการใช้งานของอุปกรณ์ในแต่ละวัน (ชั่วโมง) สูตรการคำนวณ

$$\text{พลังงานที่ต้องการ (Wh)} = \text{กำลังไฟฟ้า (W)} \times \text{เวลาการใช้งาน (h)}$$

2.3.2 การเลือกแบตเตอรี่สำหรับจัดเก็บพลังงาน

แบตเตอรี่เป็นตัวเก็บพลังงานที่แผงโซลาร์เซลล์ผลิตได้เพื่อใช้ในช่วงเวลาที่ไม่ได้มีแสงแดด การเลือกแบตเตอรี่สำหรับระบบ IoT ต้องพิจารณาจากความต้องการพลังงาน ความทนทานสภาพแวดล้อม และความปลอดภัย เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานในระยะยาว ความจุแบตเตอรี่ คำนวณความจุแบตเตอรี่โดยใช้สูตร

$$\text{ความจุแบตเตอรี่ (Ah)} = \text{แรงดันแบตเตอรี่ (V)} \div \text{พลังงานที่ต้องการ (Wh)}$$

2.3.3 ตัวควบคุมการชาร์จ [7]

ตัวควบคุมการชาร์จเป็นอุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญในระบบพลังงานแสงอาทิตย์และระบบแบตเตอรี่ โดยทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการชาร์จไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานไปยังแบตเตอรี่ เพื่อป้องกันการชาร์จเกินและการคายประจุเกินที่อาจทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายหรือเสื่อมสภาพก่อนเวลาอันควร ตัวควบคุมจะทำหน้าที่ควบคุมแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ส่งไปยังแบตเตอรี่ให้เหมาะสม หยุดการชาร์จเมื่อแบตเตอรี่เต็ม ป้องกันกระแสไฟย้อนกลับจากแบตเตอรี่ไปยังแผงโซลาร์เซลล์ในเวลากลางคืน และตัดการจ่ายไฟเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่ต่ำเกินไป นอกจากนี้ บางรุ่นยังมีระบบแสดงสถานะการทำงาน เช่น ระดับแรงดันแบตเตอรี่ สถานะการชาร์จ และกระแสไฟที่จ่ายเพื่อความสะดวกในการใช้งาน ตัวควบคุมการชาร์จ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ แบบ PWM (Pulse Width Modulation) ที่เหมาะสำหรับระบบขนาดเล็กและมีราคาประหยัด และแบบ MPPT (Maximum Power Point Tracking) ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า เหมาะสำหรับระบบขนาดใหญ่หรือระบบที่ต้องการดึงพลังงานสูงสุดจากแผงโซลาร์เซลล์ การใช้ตัวควบคุมการชาร์จ ช่วยป้องกันความเสียหาย ยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ เพิ่มประสิทธิภาพการชาร์จพลังงาน และลดความเสี่ยงจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าเกิน

2.3.4 การเลือกใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน [8]

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า "แบตเตอรี่ลิเทียม" เป็นแหล่งพลังงานที่สามารถชาร์จซ้ำได้ และได้รับความนิยมสูง เนื่องจากมีความจุพลังงานสูง น้ำหนักเบา และมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบตเตอรี่ประเภทอื่น ๆ โครงสร้างของแบตเตอรี่ประกอบด้วย ขั้วแคโทดที่ทำหน้าที่ปล่อยและเก็บไอออนลิเทียม ขั้วแอโนดที่เป็นตัวเก็บไอออนในระหว่างการชาร์จ อิเล็กโทรไลต์ที่ช่วยนำไอออนระหว่างขั้วทั้งสอง และตัวแยกที่ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ขั้วแคโทดและแอโนดสัมผัสกันโดยตรง หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน คือ ไอออนลิเทียมจะเคลื่อนที่จากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทดในระหว่างการใช้งาน

หรือการคายประจุ และจะเคลื่อนที่กลับจากขั้วแคโทดไปยังขั้วแอโนดในระหว่างการชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีข้อดีหลายประการ เช่น มีความจุพลังงานสูง ทำให้เก็บพลังงานได้มากในขนาดเล็ก มีอัตราการสูญเสียพลังงานในระหว่างการไม่ได้ใช้งานต่ำ รองรับการใช้งานซ้ำและใช้งานได้หลายรอบโดยไม่สูญเสียความจุ ไม่มีปัญหาเรื่องการลดทอนความจุ และไม่ต้องการการบำรุงรักษามาก อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ชนิดนี้ยังมีข้อจำกัด เช่น มีความไวต่ออุณหภูมิที่สูงหรือต่ำมากเกินไป ซึ่งอาจลดประสิทธิภาพหรืออายุการใช้งาน มีต้นทุนการผลิตที่ค่อนข้างสูง และอาจเกิดความเสี่ยงด้านความปลอดภัย เช่น การลัดวงจรหรือระเบิด หากเกิดความร้อนสะสมสูงเกินไป

2.3.4.1 หลักการของการชาร์จของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

การชาร์จแบตเตอรี่ กระแสไฟฟ้าจะถูกป้อนเข้าสู่แบตเตอรี่ในขั้นตอนแรก (Constant Current – CC) โดยกระแสจะคงที่จนกว่าแรงดันของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่กำหนด (ประมาณ 4.2 โวลต์สำหรับเซลล์ลิเทียมไอออน) จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนที่สอง (Constant Voltage – CV) ซึ่งแรงดันจะคงที่และกระแสจะลดลงจนถึงระดับที่แบตเตอรี่เต็ม การชาร์จจะหยุดเมื่อกระแสลดลงถึงค่าที่กำหนดหรือเมื่อแบตเตอรี่ถึงระดับการชาร์จเต็ม เพื่อป้องกันการชาร์จเกินและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

2.4 หลักการสร้างและออกแบบต้นแบบการวัดระดับน้ำ [9]

Internet of Things หมายถึงระบบเครือข่ายที่เชื่อมโยงอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน พร้อมด้วยเทคโนโลยีที่ช่วยให้การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์และระบบคลาวด์ รวมถึงระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นไปได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ การพัฒนาชิปคอมพิวเตอร์ที่มีราคาถูกลงและการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการสื่อสารด้วยแบนด์วิดท์ที่สูงทำให้โลกมีอุปกรณ์หลายพันล้านเครื่องที่สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ในปัจจุบัน สิ่งของในชีวิตประจำวัน เช่น เครื่องดูดฝุ่น รถยนต์ หรือเครื่องจักรในโรงงาน ถูกติดตั้งเซ็นเซอร์และตัวประมวลผลที่สามารถรวบรวมข้อมูล ตอบสนอง และปรับตัวตามความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างชาญฉลาด การเชื่อมโยงนี้ได้เปลี่ยนสิ่งของธรรมดาให้กลายเป็นอุปกรณ์ที่สามารถสื่อสารและทำงานร่วมกับระบบอัจฉริยะอื่น ๆ ได้

2.4.1 อาร์ดูโนไอดีอี (Arduino Integrated Development Environment : Arduino IDE) [10]

อาร์ดูโนไอดีอีคือซอฟต์แวร์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับการเขียน แก์ไข และอัปโหลดโค้ดไปยังบอร์ดอาร์ดูโนซึ่งช่วยให้นักพัฒนา นักเรียน และผู้ที่สนใจงานอิเล็กทรอนิกส์สามารถสร้างสรรค์โปรเจกต์ต่าง ๆ ได้อย่างง่ายดาย โดยไม่จำเป็นต้องมีความเชี่ยวชาญด้านการเขียนโปรแกรมมาก่อน ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถพัฒนาโปรเจกต์ได้อย่างครบวงจรในแพลตฟอร์มเดียว ตั้งแต่การเขียนโค้ดไปจนถึงการคอมไพล์และอัปโหลดโค้ดเข้าสู่บอร์ดอาร์ดูโนซอฟต์แวร์นี้มาพร้อมเครื่องมือที่ช่วยตรวจสอบความถูกต้องของโค้ด รวมถึงแสดงข้อผิดพลาดเพื่อให้สามารถแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีส่วนเสริมที่ช่วยให้นักพัฒนาสามารถใช้งานไลบรารีต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความสามารถให้กับโปรเจกต์ เช่น การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์หรือมอเตอร์



รูปที่ 2.14 อาร์ดูโนไอดีอี [10]

ข้อดี

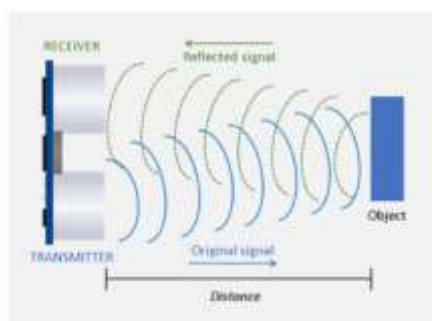
1. อินเทอร์เฟซของ Arduino IDE ถูกออกแบบมาให้ใช้งานง่ายเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น ด้วยรูปแบบที่เรียบง่ายและเข้าใจได้ไม่ยาก
2. รองรับหลายระบบปฏิบัติการ Arduino IDE สามารถใช้งานได้บน Windows, macOS, และ Linux
3. ผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดและใช้งานซอฟต์แวร์นี้ได้ฟรีเป็นโอเพ่นซอร์สรวมถึงปรับแต่งซอฟต์แวร์ได้ตามความต้องการ
4. ชุมชนผู้ใช้ที่แข็งแกร่ง Arduino IDE มีชุมชนออนไลน์ที่ใหญ่และพร้อมให้คำแนะนำ รวมถึงการแชร์โค้ดตัวอย่างและไอเดียต่าง ๆ

ข้อเสีย

1. ไม่เหมาะสำหรับงานที่ซับซ้อนหรือโปรเจกต์ขนาดใหญ่ เพราะการจัดการไฟล์และโค้ดทำได้ยาก
2. ไม่มีเครื่องมือดีบั๊กแบบเรียลไทม์ ต้องใช้ Serial Monitor ซึ่งไม่สะดวกในบางกรณี
3. รองรับภาษาโปรแกรมมิ่งน้อย ใช้ได้แค่ภาษา C และ C++ เท่านั้น

2.4.2 เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก (Ultrasonic Sensor) [11]

Ultrasonic Level Sensor เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้เทคโนโลยีคลื่นเสียงความถี่สูง Ultrasonic ในการตรวจวัดระดับหรือระยะของวัตถุ โดยหลักการทำงานจะอาศัยการปล่อยคลื่นเสียงความถี่สูง ซึ่งมีค่าความถี่เริ่มต้นที่ 20,000 Hz สูงกว่าความสามารถในการได้ยินของมนุษย์ผ่านตัวกลาง เช่น อากาศ แก๊ส หรือของเหลว เมื่อคลื่นเสียงเดินทางไปกระทบกับวัตถุเป้าหมาย มันจะสะท้อนกลับมายังตัวรับสัญญาณของเซ็นเซอร์ จากนั้นระบบจะคำนวณระยะทางหรือระดับของวัตถุโดยอ้างอิงเวลาที่คลื่นเดินทางกลับไปกลับ



รูปที่ 2.15 เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก [11]

ข้อดีของเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก

1. ความแม่นยำสูงสามารถวัดระดับหรือระยะได้อย่างแม่นยำในหลายสภาพแวดล้อม
2. สามารถใช้งานได้หลากหลาย เหมาะสำหรับการตรวจวัดวัตถุในสถานะต่าง ๆ รวมถึงสารเคมีและของเหลวที่มีความหนืด

3. ไม่สัมผัสวัตถุ ลดความเสี่ยงของการลื่นหรือและปนเปื้อน

ข้อเสียของเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก

1. คลื่น Ultrasonic อาจถูกรบกวนในสภาพแวดล้อมที่มีเสียงรบกวนความถี่สูงหรือวัตถุที่ไม่สะท้อนคลื่นได้ดี เช่น พื้นผิวที่ดูดซับเสียง
2. ประสิทธิภาพอาจลดลงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นสูงมาก เช่น โลหะหนาแน่น

2.4.3 อีเอสพี (Espressif Systems Processor 32bit : ESP 32) [12]

ESP32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ SoC (System-on-Chip) ที่รวมความสามารถด้านการสื่อสารไร้สายอย่าง WiFi และ Bluetooth 4.2 BLE (Bluetooth Low Energy) ถูกพัฒนาโดย Espressif Systems บริษัทเทคโนโลยีชั้นนำจากประเทศจีน ESP32 ได้รับความนิยมในหมู่นักพัฒนา IoT และอิเล็กทรอนิกส์เนื่องจากความคุ้มค่าและประสิทธิภาพสูง มีราคาประหยัด ถูกออกแบบมาเพื่อการพัฒนา IoT โดยเฉพาะ รองรับการทำงานเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์และอุปกรณ์เสริมได้หลากหลาย นอกจากนี้ยังมีฟีเจอร์เพิ่มเติม เช่น การจัดการพลังงาน (Power Management) และ GPIO (General Purpose Input/Output) ที่สามารถตั้งโปรแกรมได้

ข้อดีของอีเอสพี

1. รองรับการทำงานทั้ง Wi-Fi และ Bluetooth ในชิปเดียว
2. ขนาดเล็ก ติดตั้งง่าย และราคาย่อมเยา
3. มีความยืดหยุ่นในการพัฒนา และรองรับแพลตฟอร์มยอดนิยม
4. ใช้พลังงานต่ำ เหมาะสำหรับการใช้งานที่ใช้แบตเตอรี่

ข้อเสียของอีเอสพี

1. ความเข้ากันได้กับอุปกรณ์อื่นบางครั้งต้องอาศัยการปรับแต่ง
2. การใช้พลังงานในโหมดประมวลผลสูงยังคงใช้มากกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์แบบพื้นฐาน เช่น Arduino Uno

2.4.4 โมดูลลอรา (LoRa SX1278 Ra – 01) [13]

โมดูลลอราเป็นโมดูลสำหรับการสื่อสารไร้สายที่ใช้เทคโนโลยี LoRa ร่วมกับระบบคลื่นวิทยุ (Radio Frequency : RF) โมดูลนี้ถูกออกแบบมาเพื่อการส่งข้อมูลในระยะทางไกลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ต้องพึ่งพาโปรโตคอลการสื่อสารสำหรับระยะใกล้ เช่น Wi-

Fi หรือ Bluetooth ทำให้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการการสื่อสารที่ครอบคลุมพื้นที่กว้าง และมีเสถียรภาพสูง ใช้เทคนิคการส่งสัญญาณแบบกระจายสเปกตรัม (Spread Spectrum) ซึ่งช่วยลดการรบกวนจากสัญญาณอื่น และเพิ่มความน่าเชื่อถือในการสื่อสาร โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน รองรับความถี่ 433 MHz เป็นช่วงความถี่ที่ได้รับความนิยมในการสื่อสารไร้สาย

ข้อดีของโมดูลลอรา

1. การรองรับการสื่อสารระยะไกลที่มีความน่าเชื่อถือสูง
2. พลังงานต่ำ เหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้แบตเตอรี่
3. ความยืดหยุ่นและรองรับการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย

ข้อเสียของโมดูลลอรา

1. ไม่เหมาะสำหรับการส่งข้อมูลที่ต้องการความเร็วสูง
2. ระยะเวลาการส่งข้อมูลอาจได้รับผลกระทบจากสิ่งกีดขวาง เช่น อาคารหรือภูเขา

2.5 หลักการสร้างเว็บแอปพลิเคชัน [14]

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเป็นกระบวนการสำคัญที่ช่วยให้แอปพลิเคชันทำงานผ่านเว็บเบราว์เซอร์และสามารถเข้าถึงได้จากอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งแอปพลิเคชันเฉพาะบนเครื่องมือ สามารถใช้งานร่วมกันข้ามแพลตฟอร์มได้อย่างราบรื่น และยังสามารถปรับให้เข้ากับอุปกรณ์เคลื่อนที่เพื่อเพิ่มความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลหรือบริการต่าง ๆ ได้ทุกที่ทุกเวลา กระบวนการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเริ่มต้นจากการวางแผนที่รอบคอบ การออกแบบที่ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่ทันสมัย และการเลือกกรอบงาน (Framework) ที่เหมาะสมกับความต้องการของแอปพลิเคชันและทีมพัฒนา ในขั้นตอนนี้ นักพัฒนาจะใช้คุณสมบัติที่จำเป็นเพื่อเสริมประสิทธิภาพการทำงาน ความเข้ากันได้ของระบบ และประสบการณ์ที่ดีให้กับผู้ใช้

2.5.1 หลักการเขียนเว็บด้วยเฮกซ์ทีเอ็มแอลไฟฟ์ (Hypertext Markup Language5 : HTML5) [15]

เฮกซ์ทีเอ็มแอลไฟฟ์ คือ ภาษาหลักที่ใช้สร้างและจัดโครงสร้างเนื้อหาบนเว็บเพจ เช่น ข้อความ รูปภาพ หรือลิงก์ให้เบราว์เซอร์สามารถแสดงผลได้ HTML ใช้แท็กเพื่อกำหนดแต่ละส่วนของเอกสาร ซึ่งมีหน้าที่แตกต่างกัน เช่น การสร้างหัวข้อ ย่อหน้า หรือการใส่สื่อ

มัลติมีเดียภาษา HTML คำสั่งหรือแท็กที่ใช้ในเอกสารที่เอ็มแอลประกอบด้วยแท็กเริ่มต้น (<) เพื่อกำหนดจุดเริ่มต้นขององค์ประกอบ แท็กสิ้นสุด (>) เพื่อกำหนดจุดสิ้นสุดขององค์ประกอบนั้น ในแต่ละคำสั่งจะมีคำสั่งเริ่มต้นและสิ้นสุด คำสั่งสิ้นสุดของแต่ละคำสั่งจะมีลักษณะเหมือนคำสั่งเริ่มต้นแต่จะเพิ่ม / (Slash) นำหน้าคำสั่งสิ้นสุดเพื่อให้แตกต่างกัน และในคำสั่งเริ่มต้นบางคำสั่งอาจมีส่วนขยายเพิ่มเติมการเขียนด้วยตัวอักษรเล็กหรือใหญ่ทั้งหมด หรือเขียนผสมกันได้ ซึ่งไม่มีผลต่อการทำงาน



รูปที่ 2.16 สัญลักษณ์ของเอกสารที่เอ็มแอล [15]

ข้อดีของเอกสารที่เอ็มแอลไฟท์

1. เว็บไซต์ที่สร้างด้วยภาษาเอกสารที่เอ็มแอลไฟท์สามารถแสดงผลได้ดีในทุกเว็บเบราว์เซอร์โดยไม่มีปัญหาความเข้ากันได้
2. ง่ายต่อการเรียนรู้เอกสารที่เอ็มแอลไฟท์มีโครงสร้างที่เข้าใจง่ายและใช้แท็กที่ชัดเจนในการกำหนดเนื้อหาของเว็บไซต์
3. การจัดรูปแบบเนื้อหาที่ช่วยในการกำหนดโครงสร้างเนื้อหาภายในเว็บไซต์ เช่น หัวข้อ ย่อหน้า และลิงก์ ทำให้การจัดระเบียบข้อมูลภายในเว็บไซต์ทำได้ง่ายและมีความเข้าใจที่ชัดเจน
4. มีการตรวจสอบและจัดการข้อผิดพลาดในโค้ดที่ดีขึ้น ซึ่งช่วยให้การพัฒนาเว็บมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น
5. เอกสารที่เอ็มแอลไฟท์สามารถทำงานควบคู่กับ CSS3 ได้ดีช่วยเพิ่มฟังก์ชันต่างๆบนเว็บไซต์ใหม่มีความสวยงามมากขึ้น

ข้อเสียเอกสารที่เอ็มแอลไฟท์

1. บางแท็กอาจไม่รองรับในเบราว์เซอร์บางตัว โดยเฉพาะเวอร์ชันเก่า ซึ่งอาจต้องใช้ JavaScript หรือ CSS เพื่อรองรับ
2. ไม่มีการรักษาความปลอดภัยในตัวเอชทีเอ็มแอลพีทีเอชเองไม่ได้มีฟีเจอร์ด้านความปลอดภัย
3. เอชทีเอ็มแอลพีทีเอชจำกัดความได้ตอบและไม่สามารถประมวลผลทางคณิตศาสตร์หรือโลจิกได้ไม่รองรับการพัฒนาแอปพลิเคชันที่ซับซ้อนได้

2.5.2 หลักการตกแต่งหน้าเว็บด้วยชีเอสเอส (Cascading Style Sheets : CSS) [16]

ชีเอสเอส หรือสไคส์ชีต คือภาษาที่ใช้สำหรับการจัดรูปแบบการแสดงผลของเอกสารเอชทีเอ็มแอลโดยการกำหนดกฎเกณฑ์เกี่ยวกับการแสดงผล เช่น สีของข้อความ สีพื้นหลัง ประเภทของฟอนต์ และการจัดตำแหน่งข้อความ การใช้ชีเอสเอส ช่วยแยกส่วนของเนื้อหาของเอกสารเอชทีเอ็มแอลออกจากคำสั่งที่ใช้ในการตกแต่งทำให้การจัดรูปแบบเว็บไซต์ง่ายและมีความยืดหยุ่น นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถรักษาความสม่ำเสมอในการแสดงผลบนทุกหน้าในเว็บไซต์เดียวกัน หรือในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาบ่อย ๆ ก็สามารถจัดการได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.17 สัญลักษณ์ของชีเอสเอส [16]

ข้อดีของชีเอสเอส

1. การแยกการจัดรูปแบบจากเนื้อหาการใช้ชีเอสเอสในการจัดรูปแบบและตกแต่งเอกสารเว็บเพจช่วยลดการใช้ภาษาเอชทีเอ็มแอลเหลือเพียงเนื้อหาทำให้โค้ดดูสะอาด และเข้าใจง่ายขึ้นการแก้ไขเอกสารทำได้ง่ายและรวดเร็ว

2. การโหลดไฟล์เร็วขึ้นเนื่องจากไฟล์ซีเอสเอสมีขนาดเล็กลงจากการลดโค้ด
 เอกซ์ทีเอ็มแอลช่วยให้การโหลดหน้าเว็บเร็วขึ้น

3. การปรับปรุงหรือแก้ไขง่ายด้วยการกำหนดรูปแบบการแสดงผลจากข้อมูล
 ชุดเดียวกันทำให้การปรับแต่งหรือแก้ไขสามารถทำได้ทั่วทั้งเอกสารเอกซ์ทีเอ็มแอล
 โดยไม่ต้องแก้ไขแท็กในแต่ละหน้าหรือเอกสาร

4. การควบคุมการแสดงผลที่ยืดหยุ่นซีเอสเอสให้ความยืดหยุ่นในการควบคุม
 การแสดงผลขององค์ประกอบบนหน้าเว็บ เช่น ขนาด สี และตำแหน่ง ช่วยให้
 เว็บไซต์สามารถปรับให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ต่างๆ

5. การสร้างเว็บไซต์ที่ตอบสนอง (Responsive Design) ซีเอสเอสช่วยในการ
 ออกแบบเว็บไซต์ที่สามารถแสดงผลได้ดีทั้งบนอุปกรณ์มือถือและคอมพิวเตอร์ โดยการ
 ปรับแต่งรูปแบบให้เหมาะสมกับขนาดหน้าจอ

6. การแสดงผลที่เหมาะสมกับสื่อหลากหลายซีเอสเอสช่วยให้สามารถ
 กำหนดการแสดงผลที่เหมาะสมกับสื่อที่ต่างกัน เช่น การแสดงผลบนหน้าจอ การ
 พิมพ์ หรือการแสดงผลบนอุปกรณ์พกพา

ข้อเสียของซีเอสเอส

1. ข้อจำกัดในการออกแบบบางประเภทในบางกรณี ซีเอสเอส อาจมี
 ข้อจำกัดในการออกแบบที่ซับซ้อนสูง เช่น การสร้างแอนิเมชันที่ซับซ้อนหรือการ
 จัดตำแหน่งที่ซับซ้อน

2. ความยากในการปรับแต่งบนหลายอุปกรณ์การจัดการกับสไตล์ที่แตกต่างกัน
 กันในหลายอุปกรณ์หรือขนาดหน้าจออาจทำให้เกิดความยุ่งยากและซับซ้อนใน
 การพัฒนาเว็บไซต์

2.5.3 หลักการเชื่อมต่อฐานข้อมูลด้วยจาวาสคริปต์ (JavaScript) [17]

จาวาสคริปต์ คือ ภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับการเขียนโปรแกรมบนระบบอินเทอร์เน็ต
 ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างสูง Java JavaScript เป็น ภาษาสคริปต์เชิงวัตถุซึ่งในการสร้าง
 และพัฒนาเว็บไซต์ใช้ร่วมกับ เอกซ์ทีเอ็มแอล และการเชื่อมต่อฐานข้อมูลด้วย จาวาสคริปต์
 กับเอกซ์ทีเอ็มแอลคือกระบวนการที่ฝั่งไคลเอ็นต์ (Client-side) ซึ่งเป็นเว็บไซต์ที่พัฒนาด้วย
 เอกซ์ทีเอ็มแอลและ จาวาสคริปต์ทำการส่งคำขอข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ผ่านทาง API
 (Application Programming Interface) โดยปกติจะใช้เทคโนโลยีเช่น AJAX หรือ Fetch API
 ในการส่งคำขอและรับข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์ที่มีการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล เมื่อคำขอไปถึง
 เซิร์ฟเวอร์ เซิร์ฟเวอร์จะทำการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลเพื่อดึงข้อมูลที่ต้องการ และส่งกลับ

ไปยังฝั่งไคลเอนต์ JavaScript จะทำหน้าที่ในการประมวลผลและแสดงผลข้อมูลที่ได้รับจากเซิร์ฟเวอร์บนหน้าเว็บในลักษณะที่ไม่ต้องโหลดหน้าใหม่ โดยการทำงานนี้มักใช้ในการสร้างเว็บที่มีการโต้ตอบกับผู้ใช้แบบทันที (Real-time) เช่น การแสดงข้อมูลจากฐานข้อมูล การส่งข้อมูลที่ใช้กรอก หรือการอัปเดตข้อมูลโดยไม่ต้องรีเฟรชหน้าเว็บใหม่



รูปที่ 2.18 สัญลักษณ์ของจาวาสคริปต์ [17]

ข้อดีของจาวาสคริปต์

1. JavaScript เพิ่มความสามารถในการโต้ตอบกับผู้ใช้ เช่น การคลิกปุ่มและกรอกข้อมูล โดยไม่ต้องโหลดใหม่ ช่วยปรับปรุงประสบการณ์การใช้งาน
2. JavaScript ช่วยให้ทำงานฝั่งลูกค้า เช่น การตรวจสอบข้อมูลก่อนส่งเซิร์ฟเวอร์ และอัปเดตข้อมูลโดยไม่ต้องส่งคำขอ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ
3. JavaScript เหมาะสำหรับการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่ซับซ้อน เช่น การจัดการฐานข้อมูลและการคำนวณภายในหน้าเว็บ

ข้อเสียของจาวาสคริปต์

1. JavaScript อาจมีข้อผิดพลาดที่ยากในการดีบั๊ก และการทำงานข้ามเบราว์เซอร์หลายตัวอาจทำให้เกิดปัญหาความเข้ากันไม่ได้
2. การใช้งาน JavaScript ที่ไม่เหมาะสมหรือโค้ดที่ไม่ประสิทธิภาพสามารถลดประสิทธิภาพของเว็บไซต์ได้
3. ข้อจำกัดในฟังก์ชันแม้ JavaScript จะมีความสามารถมากมาย แต่ยังมีข้อจำกัดในบางฟังก์ชัน เช่น การทำงานกับไฟล์ในระบบปฏิบัติการหรือการเข้าถึงทรัพยากรที่ต้องการสิทธิพิเศษ

2.5.4 หลักการเชื่อมต่อฐานข้อมูลด้วยโนดเจเอส (Node.JS) [18]

โนดเจเอสเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้จาวาสคริปต์ สามารถทำงานภายนอกเว็บเบราว์เซอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผล โดยทำหน้าที่เป็น runtime สำหรับ จาวาสคริปต์ ที่ช่วยให้สามารถพัฒนาแอปพลิเคชันต่าง ๆ ได้โดยไม่ต้องจำกัดอยู่ในเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่งทำให้ จาวาสคริปต์ สามารถทำงานได้เหมือนกับภาษาอื่น ๆ เช่น Java ที่มี runtime ของตัวเอง แนวคิดหลักของ โนดเจเอส คือ "เขียนครั้งเดียว ทำงานได้ทุกที่" ซึ่งทำให้สามารถสร้างแอปพลิเคชันที่ทำงานข้ามแพลตฟอร์มได้ง่ายและสะดวกขึ้น ด้วยความเร็วในการประมวลผลจึงทำให้แอปพลิเคชันที่พัฒนาด้วย โนดเจเอส เติบโตอย่างรวดเร็วและทำให้การพัฒนาเว็บไซต์หรือบริการที่เกี่ยวข้องมีความเร็วและประสิทธิภาพที่สูงขึ้น



รูปที่ 2.19 สัญลักษณ์ของโนดเจเอส [18]

ข้อดีของโนดเจเอส

1. มีความเร็วสูงในการประมวลผล
2. รองรับการทำงานแบบ asynchronous ทำให้จัดการคำขอหลาย ๆ คำขอได้พร้อมกัน
3. ข้ามแพลตฟอร์มรองรับทั้ง Windows macOS และ Linux
4. เหมาะกับฐานข้อมูล NoSQL และ real-time applications เช่น MongoDB และการทำงานแบบ real-time
5. ใช้ JavaScript ทั้งฝั่งไคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์ ช่วยให้การพัฒนาแอปพลิเคชันสะดวกขึ้น

ข้อเสียของโนดเจเอส

1. ข้อจำกัดของเครื่องมือและเฟรมเวิร์กบางครั้งยังขาดเครื่องมือที่เหมาะสมในการพัฒนาแอปพลิเคชันขนาดใหญ่

2. การทำงาน synchronous ยุ่งยาก อาจยุ่งยากในการจัดการบางงานแบบ synchronous

2.5.5 มองโกดีบี (MongoDB) [19]

MongoDB เป็นระบบฐานข้อมูลประเภท (NoSQL) ที่ใช้การจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบเอกสารโดยมีโครงสร้างเป็น (JSON-like) ซึ่งช่วยให้สามารถจัดเก็บข้อมูลที่มีความหลากหลายและโครงสร้างที่ยืดหยุ่นได้ โดยไม่จำเป็นต้องมีโครงสร้างตายตัวเหมือนฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ซึ่งช่วยให้การจัดการข้อมูลที่มีขนาดใหญ่หรือข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงบ่อยเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.20 สัญลักษณ์ของมองโกดีบี [19]

ข้อดีของมองโกดีบี

1. ความยืดหยุ่นในการจัดเก็บข้อมูลสามารถเก็บข้อมูลในรูปแบบเอกสารคล้าย JSON ซึ่งแต่ละเอกสารสามารถมีโครงสร้างที่ต่างกันได้
2. การขยายตัวได้รองรับการขยายฐานข้อมูลไปยังหลายโหนดซึ่งช่วยให้การจัดการกับข้อมูลขนาดใหญ่เป็นไปได้ดี
3. รองรับการทำงานแบบกระจายระบบการทำสำเนาข้อมูลช่วยสำรองข้อมูลในหลายโหนด ทำให้มั่นใจในความทนทานและสามารถกู้คืนข้อมูลได้หากเกิดปัญหากับโหนดใด ๆ
4. ประสิทธิภาพในการค้นหาข้อมูลการค้นหาข้อมูลที่รวดเร็ว โดยใช้ ดัชนี ซึ่งสามารถสร้างได้ตามประเภทข้อมูลและการใช้งาน

ข้อเสียของมองโกดีบี

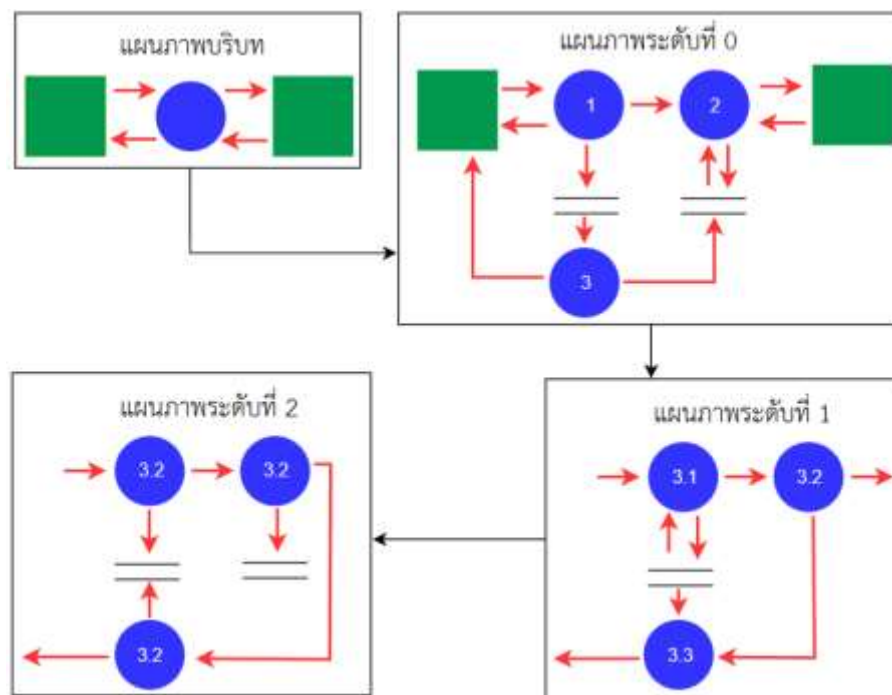
1. ไม่เหมาะกับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ซับซ้อนมีพีเจอร์ การเชื่อมโยงข้อมูล ที่รองรับการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างหลายตาราง ดังนั้นการทำงานกับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เชิงซ้อนอาจจะยากขึ้น

2. ไม่มีพีเจอร์ที่สมบูรณ์ในการทำธุรกรรมแบบ ACID แม้ว่าจะรองรับการทำธุรกรรมที่มีการตรวจสอบความถูกต้องแบบ ACID ในบางกรณี แต่ยังไม่เหมาะกับธุรกรรมที่ซับซ้อนหรือต้องการความแม่นยำสูงเหมือนฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์

3. ความสมบูรณ์ของข้อมูลไม่มีข้อกำหนดที่เข้มงวดในการบังคับใช้ ข้อจำกัดเพื่อรับรองความสมบูรณ์ของข้อมูล จึงอาจทำให้การจัดการข้อมูลที่ต้องการความสมบูรณ์เป็นเรื่องยากในบางกรณี

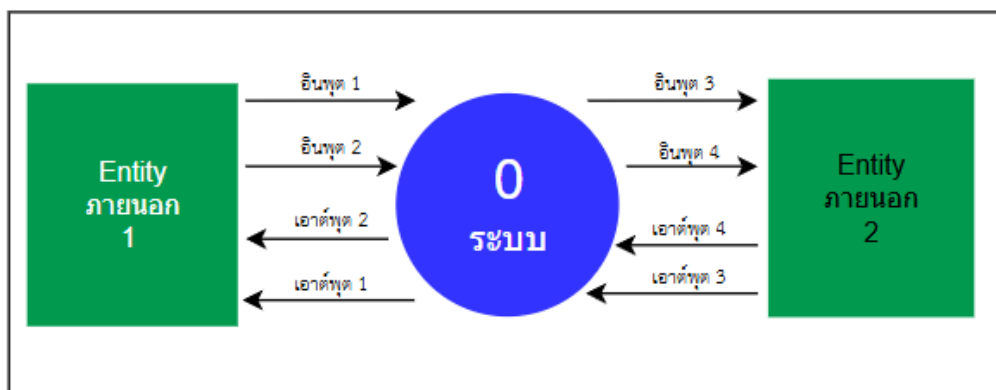
2.6 แผนภาพบริบท (Context Diagram) [20]

แผนภาพบริบทเป็นแผนภาพกระแสข้อมูลระดับบนสุด (DFD Diagram Level-0) ที่แสดงภาพรวมของระบบโดยมุ่งเน้นที่การแสดงขอบเขตของระบบ ความสัมพันธ์ระหว่างระบบกับแหล่งข้อมูลภายนอก (External Entities) และเส้นทางการไหลของข้อมูลระหว่างระบบกับองค์ประกอบภายนอกเหล่านั้น โดยไม่มีการลงรายละเอียดเกี่ยวกับกระบวนการภายในของระบบ ซึ่งแผนภาพบริบทนี้ถูกออกแบบมาเพื่อช่วยให้ผู้พัฒนาและผู้เกี่ยวข้องเข้าใจขอบเขตของระบบอย่างชัดเจน โดยระบบทั้งหมดจะถูกแสดงเป็นเพียงกระบวนการเดียว ทำให้สามารถมองเห็นภาพรวมของข้อมูลที่เข้าสู่ระบบและออกจากระบบได้อย่างง่ายดาย แผนภาพบริบทมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาระบบ เนื่องจากช่วยในการกำหนดขอบเขตที่ชัดเจนและอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างระบบกับปัจจัยภายนอก เช่น ผู้ใช้ ระบบอื่น หรือฐานข้อมูล โดยเมื่อมีความจำเป็นต้องลงลึกในรายละเอียด กระบวนการในแผนภาพบริบทสามารถถูกแยกย่อยออกเป็นแผนภาพระดับถัดไป เช่น (DFD Diagram Level-1) หรือ (DFD Diagram Level-2) เพื่อแสดงรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับกระบวนการต่าง ๆ ภายในระบบ ทั้งนี้ แผนภาพบริบทจึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยในการวางแผนและสื่อสารระหว่างทีมงานในการพัฒนาระบบอย่างมีประสิทธิภาพ ความสัมพันธ์ของแผนภาพบริบทกับแผนภาพกระแสข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 21



รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ของแผนภาพบริบทกับแผนภาพกระแสข้อมูล

หลักการสร้างแผนภาพบริบทนั้น ระบุให้ระบบมีการสร้างแผนภาพบริบทเพียง 1 ภาพเท่านั้น โดยแสดงกระบวนการทำงานหลักเพียง 1 กระบวนการ ซึ่งกำหนดชื่อกระบวนการดังกล่าวตามชื่อของระบบที่กำลังพัฒนาหรือออกแบบ และใช้หมายเลข 0 เพื่อระบุระดับของกระบวนการทำงานดังกล่าว พร้อมทั้งกำหนดเอนทิตีภายนอกที่เกี่ยวข้องกับระบบ จากนั้นทำการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ในรูปแบบของกระแสข้อมูลที่รับและส่งระหว่างระบบกับเอนทิตีทั้งหมด ซึ่งจะแสดงรายละเอียดในแผนภาพตามที่ 22



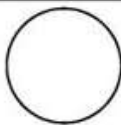
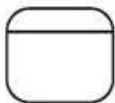






รูปที่ 2.22 ตัวอย่างแผนภาพบริบท

2.7 แผนภาพกระแสการไหลของข้อมูล (Data Flow Diagram : DFD) [20]

แผนภาพกระแสข้อมูล หรือแผนภาพการไหลของกระแสข้อมูลเป็นเครื่องมือที่ใช้แสดงภาพรวมของการไหลของข้อมูลภายในระบบ โดยประกอบด้วยการแสดงกระบวนการประมวลผล ข้อมูลที่รับและส่ง รวมถึงความสัมพันธ์กับแหล่งเก็บข้อมูลต่าง ๆ แผนภาพนี้ได้รับการออกแบบเพื่อช่วยให้การวิเคราะห์ระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังลดความซับซ้อนในการสื่อสารระหว่างผู้วิเคราะห์ระบบและนักพัฒนาซอฟต์แวร์ ด้วยการใช้สัญลักษณ์มาตรฐาน

2.7.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนแผนภาพกระแสข้อมูล

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนแผนภาพกระแสข้อมูล ประกอบด้วย 4 สัญลักษณ์หลัก ซึ่งแสดงถึงกระบวนการประมวลผล การไหลของข้อมูล แหล่งเก็บข้อมูล และสิ่งที่เกี่ยวข้องภายนอก โดยมีการพัฒนารูปแบบที่เป็นมาตรฐานออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มที่พัฒนาโดย Gane and Sarson และกลุ่มที่พัฒนาโดย Yourdon and DeMarco ทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันในลักษณะของสัญลักษณ์ที่ใช้ แต่หลักการและองค์ประกอบของแผนภาพกระแสข้อมูลที่ใช้ในการแสดงการไหลของข้อมูลและกระบวนการประมวลผลในระบบนั้นยังคงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน เพื่อให้สามารถวิเคราะห์และออกแบบระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 23

| ชื่อสัญลักษณ์ | DeMarco & Yourdon symbols | Gane & Sarson symbols |
|--|---|---|
| การประมวลผล (Process) |  |  |
| แหล่งเก็บข้อมูล (Data Store) |  |  |
| กระแสข้อมูล (Data Flow) |  |  |
| สิ่งที่อยู่ภายนอก (External Entity) |  |  |

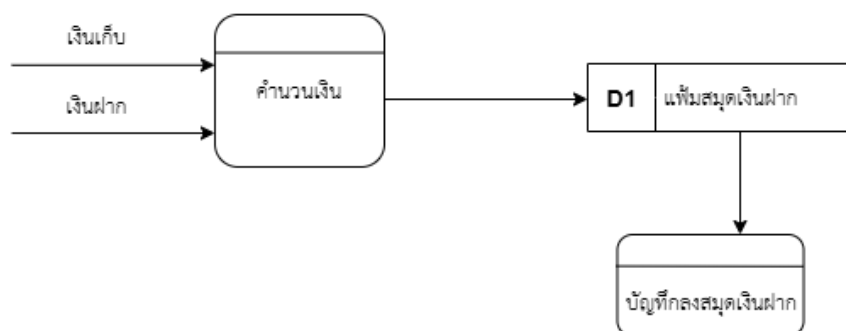
รูปที่ 2.23 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนแผนภาพกระแสข้อมูล [20]

1.สัญลักษณ์การประมวลผล (Process Symbol) ใช้สัญลักษณ์วงกลมเพื่อแทนกระบวนการที่รับข้อมูลเข้า (Input) และแปลงเป็นข้อมูลออก (Output) ซึ่งการประมวลผลนี้ต้องมีการเชื่อมต่อกับสัญลักษณ์การไหลของข้อมูล (Data Flow) เสมอ โดยลูกศรที่ชี้เข้าแสดงข้อมูลที่ถูกป้อนเข้ามา และลูกศรที่ชี้ออกแสดงข้อมูลที่ผ่านกระบวนการแล้ว กระบวนการเดียวสามารถมีข้อมูลเข้าและออกหลายเส้นได้ การตั้งชื่อกระบวนการควรให้เหมาะสมและสื่อถึงการทำงานที่ชัดเจน พร้อมทั้งควรมีทั้งข้อมูลเข้าและออก ไม่สามารถมีแค่ข้อมูลเข้า หรือออกเพียงเส้นเดียวได้



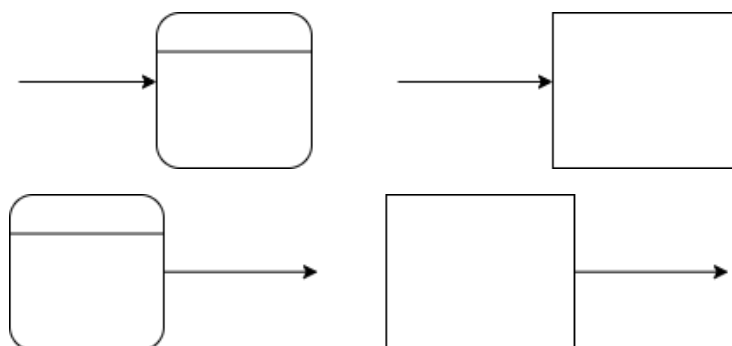
รูปที่ 2.24 ตัวอย่างประมวลผลการคำนวณผลผลิตสุทธิรายวันของโรงงาน

2.สัญลักษณ์แหล่งเก็บข้อมูล (Data Store) แสดงด้วยเส้นขนานสองเส้นและมักมีการกำกับชื่อของแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูล ซึ่งแสดงถึงตำแหน่งที่ข้อมูลจะถูกจัดเก็บเพื่อการใช้งานในอนาคต การประมวลผลต่าง ๆ ที่ต้องการใช้ข้อมูลจะเชื่อมโยงกับแหล่งเก็บข้อมูลนี้ โดยข้อมูลที่ถูกนำออกจากแหล่งเก็บข้อมูลจะถูกอ่านขึ้นมา ในขณะที่ข้อมูลที่ไหลเข้าสู่แหล่งเก็บข้อมูลจะถูกบันทึกไว้ แก้ไข หรือปรับปรุงตามความจำเป็น สัญลักษณ์นี้ต้องเชื่อมโยงกับกระบวนการประมวลผลเสมอ ซึ่งแสดงถึงข้อมูลที่ถูกเก็บไว้เกี่ยวกับสิ่งต่าง ๆ เช่น บุคคล สถานที่ หรือวัตถุ โดยมักใช้ชื่อของแหล่งเก็บข้อมูลด้วยคำนามและตัวอักษรย่อ "Dn" เพื่อระบุระดับการเก็บข้อมูล เช่น D1 D2 การทำด้วยมือหรือเก็บในรูปแบบคอมพิวเตอร์คือแฟ้มข้อมูลหรือฐาน ดังรูปที่ 25



รูปที่ 2.25 ตัวอย่างแหล่งเก็บข้อมูลเพิ่มบัญชีธนาคาร

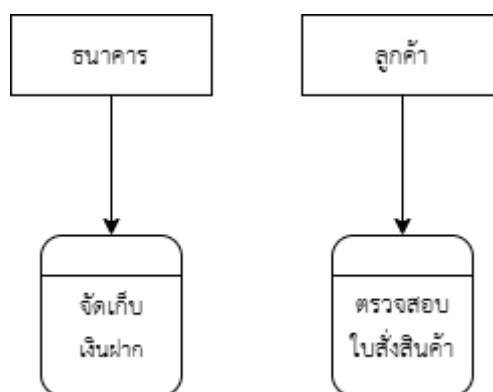
3. สัญลักษณ์กระแสข้อมูล (Data Flow) ใช้ลูกศรเพื่อแสดงทิศทางการไหลของข้อมูลจากส่วนหนึ่งไปยังอีกส่วนหนึ่งภายในระบบ ข้อมูลที่แสดงบนเส้นลูกศรสามารถเป็นข้อความ ตัวเลข หรือข้อมูลที่ระบบสามารถนำไปประมวลผลได้ การไหลของข้อมูลจะเกิดขึ้นจากปลายลูกศรไปยังหัวลูกศร โดยแต่ละกระบวนการประมวลผลจะต้องมีการเชื่อมต่อกับกระแสข้อมูลเข้าอย่างน้อย 1 ทิศทาง และกระแสข้อมูลออกอย่างน้อย 1 ทิศทาง ข้อมูลที่ไหลผ่านเส้นลูกศรสามารถมีหลายรายการได้ตามความต้องการของระบบ



รูปที่ 2.26 แสดงภาพกระแสข้อมูล

4. สัญลักษณ์ของสิ่งภายนอก (External Entity Symbol) ใช้ในการแทนบุคคล หน่วยงาน หรือระบบอื่นที่ทำการติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับระบบที่กำลังออกแบบหรือวิเคราะห์อยู่ในแผนภาพกระแสข้อมูล (DFD) สัญลักษณ์นี้มักจะถูกแสดงในรูปของสี่เหลี่ยมผืนผ้า และจะมีการกำกับด้วยชื่อที่บ่งบอกถึงประเภทหรือชื่อของสิ่งนั้น ๆ ซึ่งอาจเป็นแผนกต่าง ๆ ภายในองค์กร หรือองค์กรภายนอก ระบบอื่น ๆ ที่ทำการส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบหรือรับข้อมูลออกจากระบบ ในแผนภาพกระแสข้อมูล ข้อมูลที่ส่งเข้ามายังระบบ

จากภายนอกจะถูกแสดงด้วยลูกศรที่ชี้เข้าสู่ระบบ (input) ในขณะที่ข้อมูลที่ถูกส่งออกจากระบบไปยังภายนอกจะมีลูกศรที่ชี้ออกจากระบบ (output) สัญลักษณ์นี้มีบทบาทสำคัญในการช่วยให้ผู้พัฒนาและผู้ใช้ระบบสามารถเข้าใจว่าระบบนั้นทำการติดต่อกับสิ่งภายนอกอย่างไรและข้อมูลเหล่านั้นมีลักษณะเป็นอย่างไร



รูปที่ 2.27 ตัวอย่างการเขียนสัญลักษณ์ที่อยู่ภายนอก

2.8 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (Entity Relationship Diagram : ERD) [21]

เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการออกแบบฐานข้อมูลในระดับแนวคิด ซึ่งเป็นกระบวนการที่ช่วยให้นักพัฒนาและผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถเข้าใจโครงสร้างและความสัมพันธ์ของข้อมูลในระบบได้อย่างชัดเจนและแม่นยำ กระบวนการนี้มีความสำคัญในการสร้างระบบฐานข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลต่าง ๆ ที่สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แผนภาพ(ER Diagram)ได้รับการพัฒนาจากแนวคิดของ Peter Chen ในปี 1976 และเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการออกแบบฐานข้อมูล แผนภาพ (ER Diagram)ช่วยในการนำเสนอข้อมูลในรูปแบบแผนภาพที่เข้าใจง่าย โดยมีส่วนประกอบหลัก ๆ ที่ช่วยอธิบายโครงสร้างของฐานข้อมูล ดังนี้

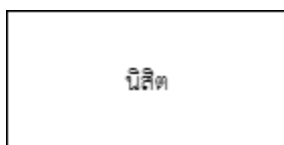
- เอนทิตี (Entity) แทนข้อมูลที่สำคัญในระบบ เช่น บุคคล สถานที่ หรือวัตถุ ตัวอย่างเช่น ลูกค้า สินค้า คำสั่งซื้อ
- แอททริบิวต์ (Attribute) คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับเอนทิตี เช่น ชื่อ ที่อยู่ หรือหมายเลขโทรศัพท์ ซึ่งช่วยอธิบายรายละเอียดของเอนทิตี

- ความสัมพันธ์ (Relationship) การเชื่อมโยงระหว่างเอนทิตีในระบบ เพื่ออธิบายการปฏิสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล เช่น ความสัมพันธ์ระหว่าง "ลูกค้า" และ "คำสั่งซื้อ" ซึ่งอธิบายว่าลูกค้าสั่งซื้อสินค้า

2.8.1 เอนทิตี (Entity)

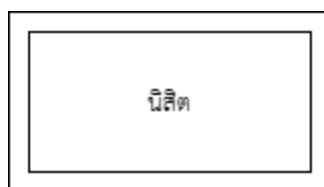
เอนทิตี หมายถึง สิ่งต่าง ๆ ที่สามารถระบุเอกลักษณ์เฉพาะในระบบฐานข้อมูลได้ ซึ่งอาจอยู่ในรูปของสิ่งที่จับต้องได้หรือมองเห็นได้ (เช่น ลูกค้า สินค้า หนังสือ นักเรียน อาจารย์) หรือในรูปของแนวคิดและการกระทำที่ไม่สามารถมองเห็นหรือจับต้องได้ (เช่น การซื้อสินค้า การขายสินค้า การลงทะเบียน การทำงาน เอนทิตีสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. เอนทิตีปกติ (Regular Entity) หมายถึง เอนทิตีที่มีคุณสมบัติหรือคุณลักษณะเด่นที่สามารถระบุเอกลักษณ์ของตัวเองได้อย่างชัดเจน เช่น การระบุสมาชิกที่แตกต่างกันในกลุ่มที่มีความเหมือนกัน ตัวอย่างเช่น ในกรณีของ เอนทิตี จะมีคุณสมบัติเฉพาะที่ช่วยแยกแยะนิสิตแต่ละคนได้ เช่น หมายเลขประจำตัวที่ไม่ซ้ำกันเอนทิตีปกติจะใช้สัญลักษณ์เป็น สี่เหลี่ยมผืนผ้า และมีชื่อเอนทิตีอยู่ภายในสัญลักษณ์ที่ใช้ในการออกแบบเอนทิตีปกติ ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการออกแบบเอนทิตีปกติ

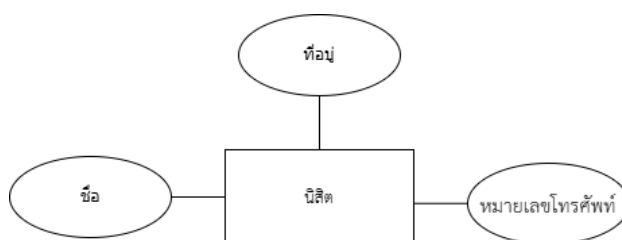
2. เอนทิตีแบบอ่อน (Weak Entity) คือ เอนทิตีที่ไม่สามารถระบุเอกลักษณ์ของตัวเองได้และต้องพึ่งพาเอนทิตีอื่น (เอนทิตีปกติ) เพื่อบรรยายลักษณะ โดยมักจะมีความสัมพันธ์กับเอนทิตีปกติ ตัวอย่างเช่น ใบสั่งซื้อ ที่ต้องเชื่อมโยงกับ ลูกค้า เพื่อบรรยายลักษณะ สัญลักษณ์ในการออกแบบจะใช้รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสองรูปซ้อนกัน ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการออกแบบเอนทิตีปกติ

2.8.2 แอททริบิวต์

แอททริบิวต์ (Attribute) คือ คุณสมบัติหรือข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับเอนทิตีหรือความสัมพันธ์ในระบบฐานข้อมูล ซึ่งใช้เพื่อให้ข้อมูลนั้นมีรายละเอียดมากขึ้น ตัวอย่างเช่น สำหรับเอนทิตี ลูกค้า แอททริบิวต์อาจประกอบด้วย ชื่อ ที่อยู่ "หมายเลขโทรศัพท์" แอททริบิวต์สามารถเป็นข้อมูลที่สามารถระบุได้และเก็บไว้ในฐานข้อมูล เช่น ข้อมูลประเภทข้อความ ตัวเลข วันที่ เป็นต้น



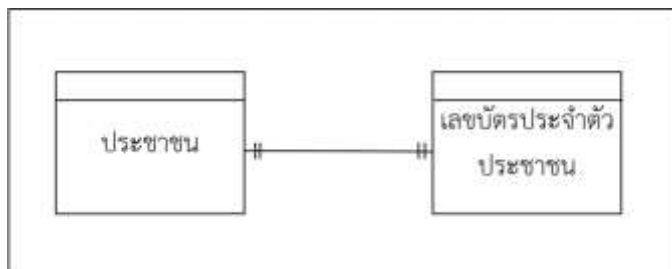
รูปที่ 2.30 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการออกแบบแอททริบิวต์

2.8.3 ความสัมพันธ์ (Relationship)

การเชื่อมโยงระหว่างเอนทิตีต่าง ๆ ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ในระบบฐานข้อมูล เพื่อให้เข้าใจการทำงานร่วมกันของข้อมูลในฐานข้อมูลนั้น ๆ ความสัมพันธ์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท มีดังนี้

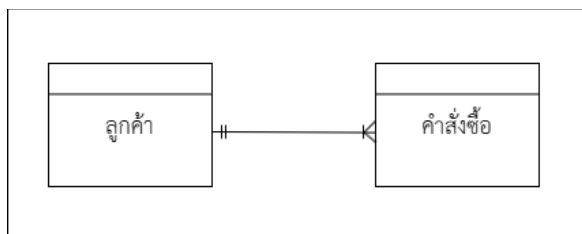
- ความสัมพันธ์เอนทิตีเดียว (Unary Relationship) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างเอนทิตีเดียวกับตัวมันเอง
- ความสัมพันธ์สองเอนทิตี (Binary Relationship) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างเอนทิตีสองตัว
- ความสัมพันธ์สามเอนทิตี (Ternary Relationship) คือ ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับเอนทิตีสองตัวขึ้นไป

1. ความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อหนึ่ง (One-to-One Relationship) คือ ความสัมพันธ์ที่แต่ละระเบียนในเอนทิตีหนึ่งจะเชื่อมโยงกับระเบียนเดียวในเอนทิตีอื่น เช่น ในระบบฐานข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ระหว่าง ประชาชน กับ เลขบัตรประจำตัวประชาชน ซึ่งแต่ละบุคคลจะได้รับหมายเลขบัตรเพียงหมายเลขเดียว



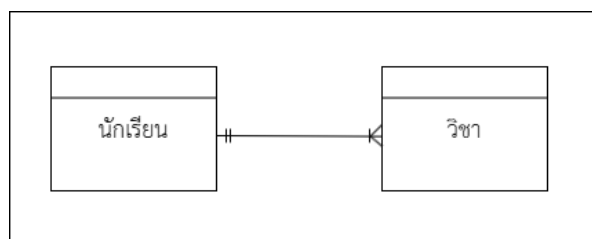
รูปที่ 2.31 ความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อหนึ่ง

2. ความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อหลาย (One-to-Many Relationship) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างเอนทิตีหนึ่งที่เชื่อมโยงกับหลายข้อมูลในเอนทิตีที่สอง แต่เอนทิตีที่สองเชื่อมโยงกับข้อมูลในเอนทิตีแรกได้เพียงหนึ่ง เช่น ลูกค้าสามารถมีคำสั่งซื้อหลายรายการ แต่คำสั่งซื้อแต่ละรายการเชื่อมโยงกับลูกค้าเพียงคนเดียว



รูปที่ 2.32 ความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อกลุ่ม

3. ความสัมพันธ์แบบกลุ่มต่อกลุ่ม (Many-to-Many Relationship) คือ ความสัมพันธ์ที่ข้อมูลในเอนทิตีหนึ่งสามารถเชื่อมโยงกับหลายข้อมูลในเอนทิตีอื่น ๆ และในทางกลับกัน ข้อมูลในเอนทิตีที่สองก็สามารถเชื่อมโยงกับหลายข้อมูลในเอนทิตีแรกได้ ตัวอย่างเช่น ความสัมพันธ์ระหว่าง นักเรียน กับ วิชา ซึ่งนักเรียนหนึ่งคนสามารถเรียนหลายวิชา และวิชาหนึ่งก็สามารถมีนักเรียนหลายคน



รูปที่ 2.33 ความสัมพันธ์แบบกลุ่มต่อกลุ่ม

ตารางที่ 2.5 สัญลักษณ์ ER DIAGRAM

| Chen Model | Crow's Foot Model | ความหมาย |
|------------|-------------------|------------------------------------|
| | | Entity เส้นเชื่อมความสัมพันธ์ |
| | | แสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง Entity |
| | | แสดง Attribute ของ Entity |
| | | ใช้แสดงคีย์หลัก |
| | | Associative Entity |
| | | Weak Entity |

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คณะผู้จัดทำได้ศึกษาค้นคว้า แนวคิด ทฤษฎี เอกสาร อินเทอร์เน็ต และศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลORA เพื่อนำความรู้ที่ศึกษามาพัฒนาระบบไว้ทั้งหมด 3 หัวข้อดังนี้

2.9.1 Tributary Water Depth and Velocity Remote Monitoring System using Arduino and LoRa [22]

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบตรวจสอบระดับน้ำและความเร็วของน้ำในแม่น้ำ โดยใช้เทคโนโลยีอาร์ดูโนและลอราเพื่อให้สามารถตรวจวัดและส่งข้อมูลระยะไกลไปยังศูนย์ควบคุมได้ ระบบนี้ประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกที่ใช้วัดระดับน้ำ และเซ็นเซอร์วัดความเร็วของน้ำ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะถูกส่งผ่านโมดูลลอราที่ช่วยในการสื่อสารข้อมูลระยะไกลในพื้นที่ที่ไม่สามารถใช้เครือข่ายโทรศัพท์หรืออินเทอร์เน็ตได้ โดยการออกแบบนี้มีเป้าหมายในการพัฒนาระบบที่สามารถติดตามระดับน้ำและกระแสน้ำอย่างแม่นยำในเวลาจริง เพื่อประโยชน์ในการจัดการน้ำและป้องกันอุทกภัยในพื้นที่เสี่ยง

ข้อดี

1. วัดระดับและความเร็วของน้ำแบบเรียลไทม์
2. การส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่านลอราช่วยให้สามารถส่งข้อมูลในระยะทางไกลโดยใช้พลังงานต่ำ

ข้อเสีย

1. ลอราจะเหมาะกับการส่งข้อมูลระยะไกล แต่หากมีสิ่งกีดขวางจำนวนมากหรือใช้ในพื้นที่ที่มีการรบกวนของสัญญาณสูง อาจทำให้ข้อมูลขาดหายหรือเกิดความล่าช้า
2. ไม่มีแหล่งพลังงานสำรอง เช่น แบตเตอรี่เซลล์ อาจต้องเปลี่ยนหรือชาร์จแบตเตอรี่อย่างสม่ำเสมอ

2.9.2 Research on water meter reading system based on LoRa communication [23]

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการพัฒนาระบบการอ่านค่ามิเตอร์น้ำแบบอัตโนมัติที่ใช้เทคโนโลยีลอราสำหรับการสื่อสารข้อมูล ระบบนี้ออกแบบให้สามารถอ่านค่ามิเตอร์น้ำจากระยะไกล โดยไม่จำเป็นต้องเข้าไปตรวจสอบที่มิเตอร์น้ำด้วยตนเอง ซึ่งจะช่วยลดข้อผิดพลาดจากการอ่านค่าด้วยมือ ระบบทำงานโดยการส่งข้อมูลจากมิเตอร์น้ำไปยังเกตเวย์ผ่านเครือข่ายลอราและข้อมูลเหล่านั้นจะถูกประมวลผลและแสดงผลในฐานข้อมูล

หรือแพลตฟอร์มออนไลน์ เพื่อใช้ในการออกใบแจ้งหนี้หรือการวิเคราะห์การใช้น้ำ ระบบนี้ยังมีข้อดีในการประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายในการจัดการมิเตอร์น้ำ

ข้อดี

1. ลดความผิดพลาดจากการอ่านค่ามิเตอร์แบบแมนนวล
2. ลดราช่วยให้การส่งข้อมูลมีความเสถียรและครอบคลุมพื้นที่กว้าง
3. การใช้พลังงานต่ำช่วยลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มอายุการใช้งานของอุปกรณ์

ข้อเสีย

1. มีความล่าช้าในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับระยะทางและสภาพแวดล้อม
2. ต้องมีการบำรุงรักษาแบตเตอรี่อย่างต่อเนื่อง
3. ไม่มีแหล่งพลังงานสำรอง เช่น แบตเตอรี่เซลล์ อาจต้องเปลี่ยนหรือชาร์จแบตเตอรี่อย่างสม่ำเสมอ

2.9.3 Design & Development of Smart River Water Level Monitoring System

[24]

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาระบบอัจฉริยะสำหรับการตรวจสอบระดับน้ำในแม่น้ำโดยใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกและเทคโนโลยีการสื่อสารระบบนี้สามารถตรวจสอบระดับน้ำในแม่น้ำแบบเรียลไทม์และส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายลoraWANไปยังแพลตฟอร์มออนไลน์ที่สามารถแสดงผลข้อมูลได้ทันที ระบบนี้ได้รับการออกแบบเพื่อใช้ในการเฝ้าระวังภัยน้ำท่วม และช่วยในการตัดสินใจด้านการจัดการทรัพยากรน้ำ โดยการใช้พลังงานต่ำและการส่งข้อมูลระยะไกล ระบบนี้จึงเหมาะสำหรับการติดตั้งในพื้นที่ห่างไกลและในสถานการณ์ที่ต้องการการแจ้งเตือนภัยได้ทันเวลา

ข้อดี

1. ติดตามระดับน้ำได้แบบเรียลไทม์
2. ใช้พลังงานต่ำ เหมาะสำหรับพื้นที่ห่างไกล

ข้อเสีย

1. เซ็นเซอร์อาจได้รับผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม เช่น ฝน หรือสิ่งสกปรกในแม่น้ำ
2. ต้องมีการบำรุงรักษาแบตเตอรี่อย่างต่อเนื่อง

3.ไม่มีแหล่งพลังงานสำรอง เช่น แบตเตอรี่เซลล์ อาจต้องเปลี่ยนหรือชาร์จ
แบตเตอรี่อย่างสม่ำเสมอ

2.10 เปรียบเทียบคุณสมบัติของงานวิจัย

ในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติแต่ละงานวิจัย จากการศึกษาค้นคว้าและรวบรวมแนวคิดงานที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ โดยกำหนดให้

งานวิจัยลำดับที่ 1 คือ Tributary Water Depth and Velocity Remote Monitoring System using Arduino and LoRa

งานวิจัยลำดับที่ 2 คือ Research on water meter reading system based on LoRa communication

งานวิจัยลำดับที่ 3 คือ Design & Development of Smart River Water Level Monitoring System

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแต่ละงานวิจัย

| ลักษณะเด่นของงานวิจัย | งานวิจัยที่ 1 | งานวิจัยที่ 2 | งานวิจัยที่ 3 |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|
| การส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ | ✓ | ✗ | ✓ |
| ส่งข้อมูลได้ไกล | ✓ | ✓ | ✓ |
| ส่งข้อมูลแบบหลายฮอป | ✗ | ✗ | ✗ |
| การใช้พลังงานต่ำ | ✓ | ✓ | ✓ |
| การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ | ✗ | ✗ | ✗ |
| การเก็บข้อมูลบนคลาวด์ | ✗ | ✓ | ✓ |

2.8 บทสรุป

จากเนื้อหาข้างต้นที่กล่าวเป็นทฤษฎีพื้นฐานที่จำเป็นเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในการสร้างต้นแบบการวัดระดับน้ำ โดยการออกแบบระบบในลักษณะของแผนภาพบริบท แผนภาพกระแสข้อมูลจะนำเสนอในบทถัดไป

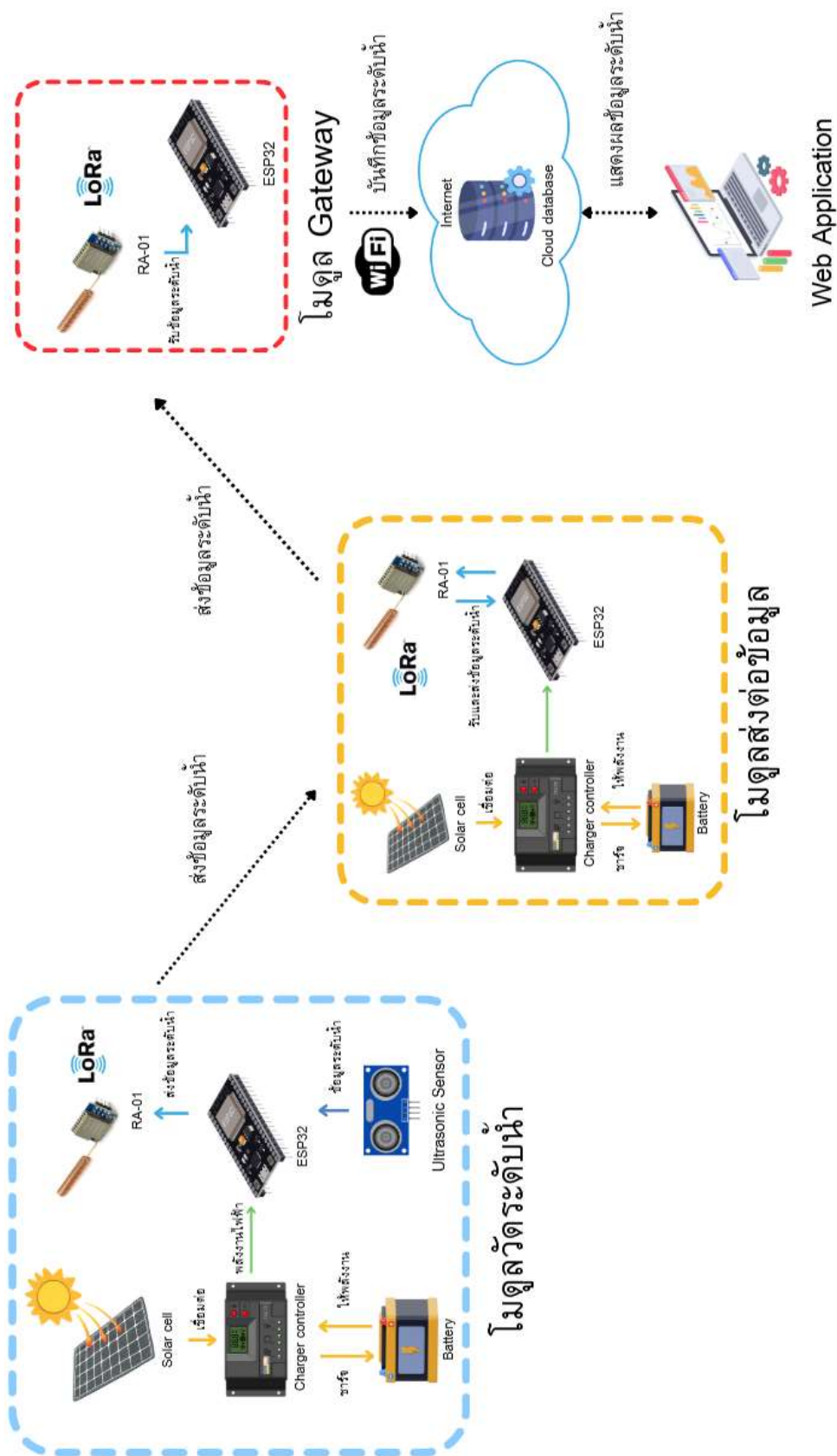
บทที่ 3

วิเคราะห์และการออกแบบระบบ

ในบทนี้จะกล่าวการสร้างและออกแบบต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ โดยประยุกต์ทฤษฎีและหลักการในบทที่ 2 มาช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบเริ่มจากภาพรวมของระบบออกแบบด้วยการใช้แผนภาพบริบท (Context Diagram) การทำงานในแต่ละกระบวนการจะถูก ออกแบบด้วยแผนภาพกระแสการไหลของข้อมูล (DFD Diagram) จากนั้นจะทำการออกแบบฐานข้อมูลของระบบซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลด้วยใช้แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (ER-Diagram) นอกเหนือนี้ยังได้ทำการออกแบบส่วนติดต่อประสานงานกับผู้ใช้ใน ส่วนของระบบต้นแบบการวัดระดับน้ำ ประกอบไปด้วยข้อมูลซึ่งจะถูกแสดงให้อยู่ในรูปแบบของแผนภาพต่าง ๆ เพื่อให้สามารถแสดงภาพความสัมพันธ์กระบวนการวิเคราะห์ และภาพรวม ของฐานข้อมูลระบบให้มีความชัดเจนเป็นไปตามหลักการการออกแบบฐานข้อมูลรวมถึงแสดง แบบจำลองการออกแบบฐานข้อมูลประกอบไปด้วยแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างระบบกับ สิ่งแวดล้อมจะถูกแสดงให้อยู่ในรูปแบบแผนภาพบริบทแบบจำลองขั้นตอนการทำงานของระบบ ที่แสดงในรูปแบบของแผนภาพกระแสข้อมูล ในลำดับสุดท้ายคือแผนภาพที่ใช้เป็นเครื่องมือ สำหรับจำลอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่เกิดขึ้นในระบบทั้งหมด ซึ่งจะถูกนำเสนอใน รูปแบบแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลดังรายละเอียดในหัวข้อต่อไปนี้

3.1 ภาพรวมกิจกรรมต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ

แผนภาพกิจกรรมจะแสดงให้เห็นถึงกระบวนการทำงานของระบบย่อยที่อยู่ภายนอกของต้นแบบการวัดระดับน้ำในรูปแบบของกระแสการไหลของระบบการทำงานมีการทำงานที่ละขั้นตอนจนกระทั่งจบกระบวนการทำงาน แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ภาพรวมกิจกรรมต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ

3.1.1 โมดูลวัดระดับน้ำ

โมดูลวัดระดับน้ำเป็นโมดูลที่ทำการวัดระดับน้ำและส่งข้อมูลให้โมดูลส่งต่อข้อมูลไมโครคอนโทรลเลอร์อีเอสพี 32 เชื่อมต่อกับเซนเซอร์อัลตราโซนิกวัดระดับน้ำ เชื่อมต่อกับลอราเพื่อส่งข้อมูลระดับน้ำที่วัด และโซล่าเซลล์แปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับผ่านควบคุมการชาร์จในการให้พลังงานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ แบตเตอรี่คอยกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ในตอนที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เมื่อไม่มีแสงอาทิตย์ไมโครคอนโทรลเลอร์จะได้พลังงานไฟฟ้าผ่านแบตเตอรี่ แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โมดูลวัดระดับน้ำ

3.1.2 โมดูลส่งต่อข้อมูล

โมดูลส่งต่อข้อมูลเป็นโมดูลที่คอยรับข้อมูลจากโมดูลวัดระดับน้ำและส่งต่อข้อมูลให้มูลเกตเวย์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ อีเอสพี 32 เชื่อมต่อกับลอราเพื่อรับข้อมูลระดับน้ำ และส่งต่อข้อมูลระดับน้ำ เชื่อมต่อกับตัวควบคุมการชาร์จในการให้พลังงานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ แบตเตอรี่คอยกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ในตอนที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เมื่อไม่มีแสงอาทิตย์ไมโครคอนโทรลเลอร์จะได้พลังงานไฟฟ้าผ่านแบตเตอรี่ แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 โมดูลส่งต่อข้อมูล

3.1.3 โมดูลเกตเวย์

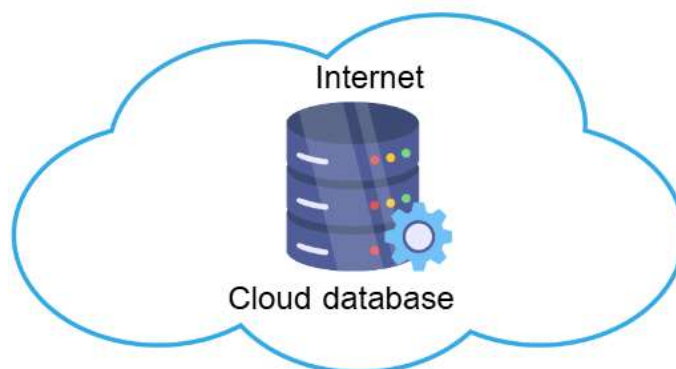
โมดูลเกตเวย์เป็นโมดูลที่คอยรับข้อมูลจากโมดูลส่งต่อข้อมูลไมโครคอนโทรลเลอร์ อีเอสพี 32 เชื่อมต่อกับลอราเพื่อรับข้อมูลระดับน้ำ แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 โมดูลเกตเวย์

3.1.4 การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลระดับน้ำที่ได้รับจากโมดูลเกตเวย์ถูกจัดเก็บในฐานข้อมูลแบบคลาวด์ไมโครคอนโทรลเลอร์ อีเอสพี 32 ทำการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตเพื่อบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูลแบบคลาวด์ แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การเก็บข้อมูล

3.1.5 เว็บแอปพลิเคชัน

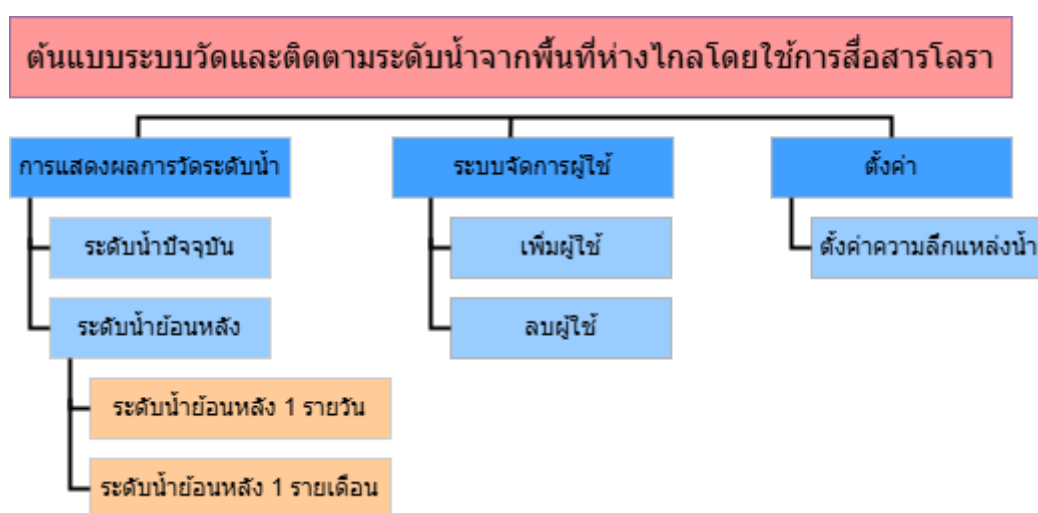
เว็บแอปพลิเคชันเป็นการแสดงผลข้อมูลระดับน้ำ ระบบทำการดึงข้อมูลระดับน้ำจากฐานข้อมูลแบบคลาวด์เพื่อนำมาแสดงผลให้กับผู้ใช้ แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เว็บแอปพลิเคชัน

3.2 ภาพรวมต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ

ต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบและบันทึกข้อมูลระดับน้ำในแหล่งน้ำต่าง ๆ โดยจะช่วยให้ผู้ใช้งานระบบสามารถตรวจสอบระดับน้ำในปัจจุบันและย้อนหลัง รวมถึงจัดการผู้ใช้งานและตั้งค่าความลึกแหล่งน้ำได้ ระบบวัดและติดตามระดับน้ำสามารถแบ่งออกเป็น 3 โมดูลหลักได้แก่ หน้าหลัก ระบบจัดการผู้ใช้ และตั้งค่า โมดูลแรกใช้สำหรับแสดงข้อมูลระดับน้ำในรูปแบบปัจจุบัน และย้อนหลัง แบ่งเป็น 2 โมดูลย่อยคือ ระดับน้ำย้อนหลัง 1 วัน และระดับน้ำย้อนหลัง 1 เดือน โมดูลต่อมาเป็นระบบจัดการผู้ใช้ โมดูลนี้ใช้สำหรับการจัดการผู้ใช้งานระบบ แบ่งออกเป็น 2 โมดูลย่อยคือ เพิ่มผู้ใช้ ลบผู้ใช้ และโมดูลตั้งค่าโมดูลนี้ใช้สำหรับปรับแต่งค่าต่าง ๆ ของระบบ โดยมี 1 โมดูลย่อยคือ ตั้งค่าความลึกแหล่งน้ำแสดงดังรูปที่ 3.7

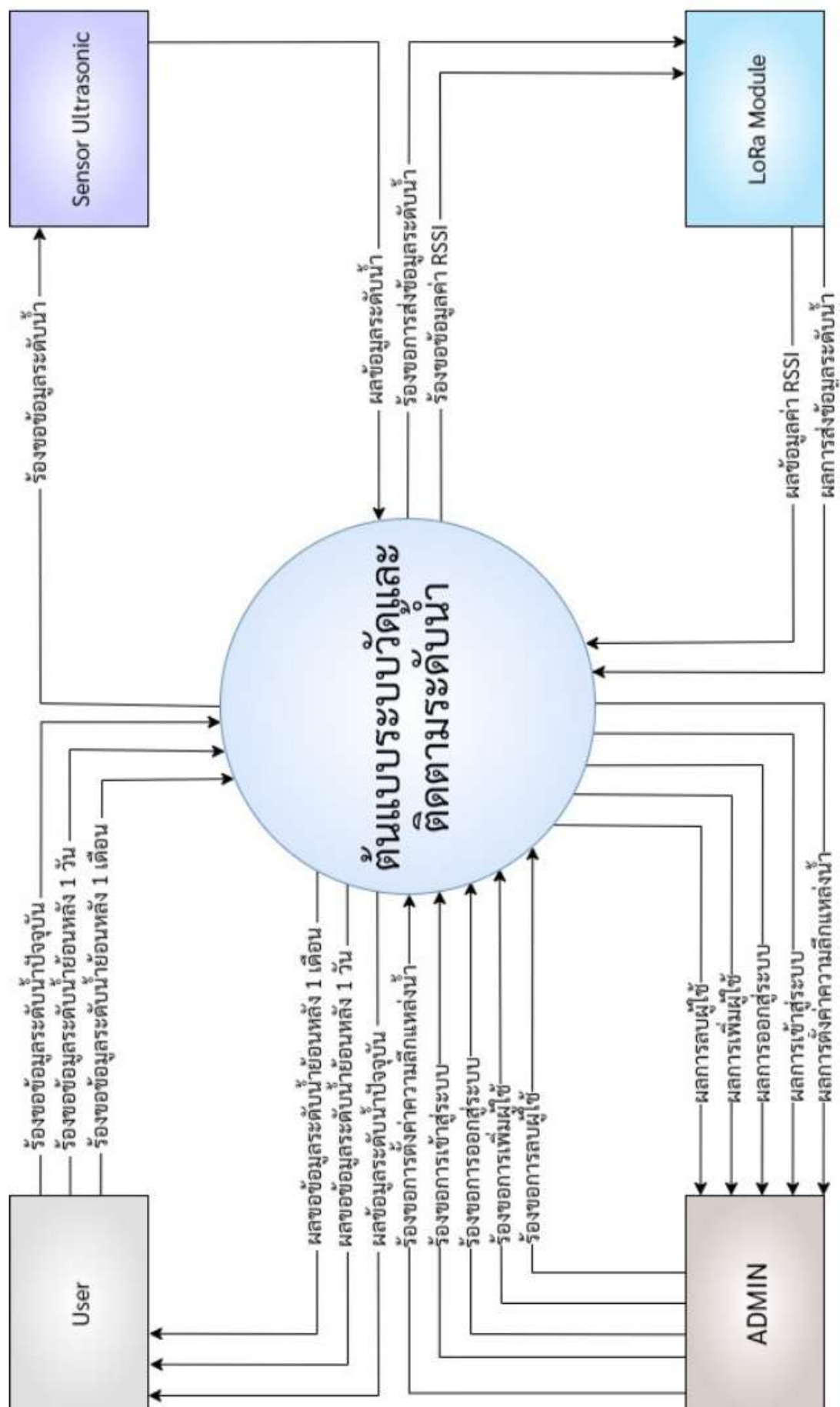


รูปที่ 3.7 ภาพรวมต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ

3.3 แผนภาพบริบทต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ

แผนภาพบริบทเป็นเครื่องมือเชิงโครงสร้างที่ใช้บรรยายภาพรวมของระบบแสดง ขั้นตอนการทำงานของระบบหรือโพรเซส (Process) ระบุแหล่งกำเนิดของข้อมูล การไหลของ ข้อมูล ปลายทางข้อมูล การเก็บข้อมูลและการประมวลผลข้อมูล โดยแผนภาพกระแสข้อมูล ระดับบนสุดที่แสดงภาพรวมการทำงานของระบบที่มีความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมภายนอก ระบบทั้งยังแสดงให้เห็นขอบเขต และเส้นแบ่งเขตของระบบที่ศึกษาและพัฒนาการสร้าง แบบจำลอง

ขั้นตอนการทำงานของระบบ สามารถออกแบบแผนภาพบริบทของต้นแบบการวัดระดับน้ำ ซึ่งมีกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับระบบทั้งหมด 4 ประเภทด้วยกัน ได้แก่ เซนเซอร์ LoRa โซลาร์ เซลล์ และผู้ใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผนภาพต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ

3.4 แผนภาพกระแสข้อมูล

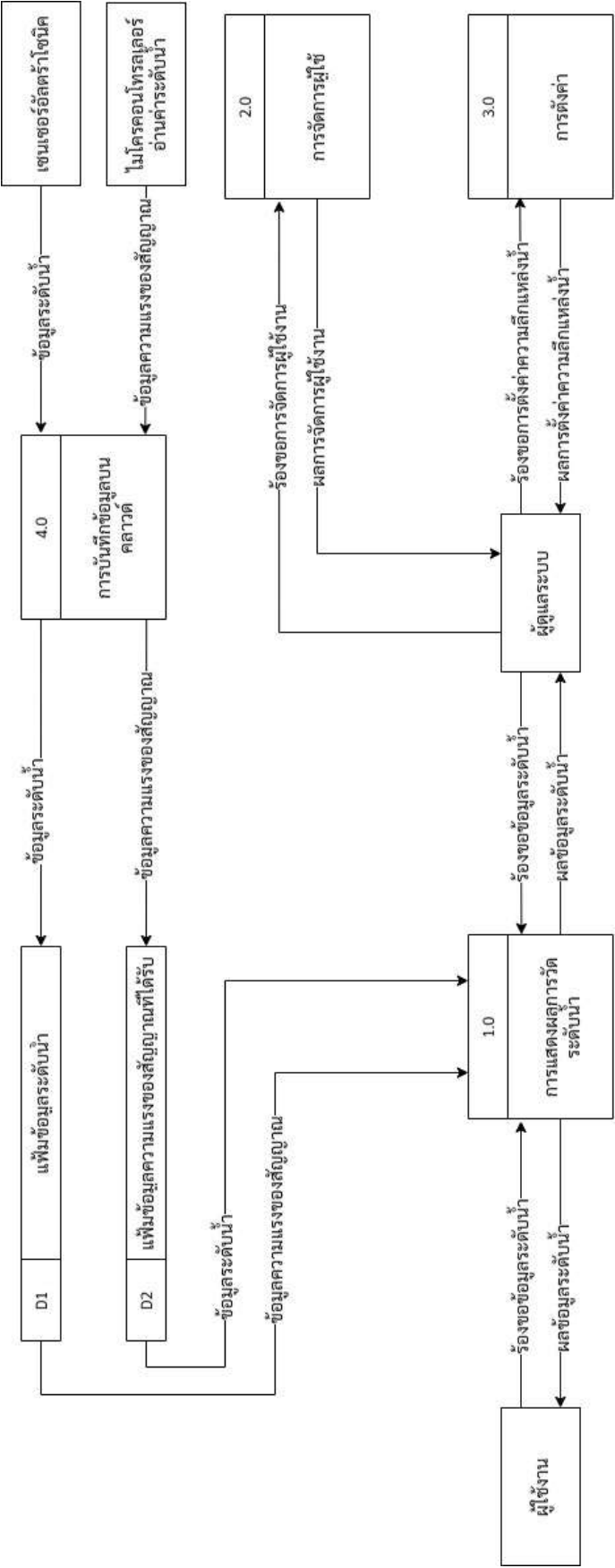
แผนภาพกระแสข้อมูลเป็นแบบจำลองการทำงานของระบบเพื่ออธิบายขั้นตอนการทำงานที่ได้จากการศึกษา แผนภาพแสดงทิศทางการไหลของข้อมูล และความสัมพันธ์ในการดำเนินงานของระบบทำให้ทราบถึงแหล่งที่มาของข้อมูล ทิศทางข้อมูล ปลายทางข้อมูล เกิดกิจกรรมใดกับข้อมูลในแต่ละขั้นตอนของระบบ จัดเก็บข้อมูลที่ไหนส่ง ส่งข้อมูลไปที่ใด แผนภาพกระแสข้อมูลจะแสดงภาพรวมของระบบ และรายละเอียดบางอย่างที่อยู่ในระบบ

3.4.1 ต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ

แบบจำลองต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำสามารถออกแบบเป็นแผนผังการไหลของกระแสข้อมูลในรูปแบบกระบวนการของระบบแผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 0 โดยต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ มีผู้เกี่ยวข้องกับระบบทั้งหมด 2 ประเภท ได้แก่ ผู้ใช้งาน ผู้ดูแลระบบ และมีอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบ 2 อุปกรณ์ ได้แก่ เซนเซอร์อัลตราโซนิก LoRa module มีกระบวนการทำงานย่อย 3 กระบวนการ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงรายชื่อกระบวนการของระบบในแผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 0

| กระบวนการที่ | รายละเอียดกระบวนการ |
|--------------|-------------------------|
| 1.0 | การแสดงผลการวัดระดับน้ำ |
| 2.0 | การจัดการผู้ใช้งาน |
| 3.0 | การตั้งค่า |
| 4.0 | การบันทึกข้อมูลบนคลาวด์ |



รูปที่ 3.9 แผนภาพการไหลของข้อมูลระดับที่ 1 ของต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำ

แผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 1 กระบวนการที่ 1.0 กล่าวถึงการแสดงผลการวัดระดับน้ำ โดยระบบทำการแสดงข้อมูลระดับน้ำและข้อมูลความแรงของสัญญาณจากแฟ้มข้อมูลระดับน้ำ แฟ้มข้อมูลความแรงของสัญญาณ เพื่อแสดงผลให้ผู้ใช้และผู้ดูแลระบบ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงกระบวนการที่ 1.0 การแสดงผลการวัดระดับน้ำ

| | |
|----------------------|---|
| ชื่อระบบ : | ต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลORA |
| กระบวนการที่ : | 1.0 |
| ชื่อกระบวนการ : | การแสดงผลการวัดระดับน้ำ |
| ข้อมูลเข้า : | คำร้องขอข้อมูลระดับน้ำ |
| ข้อมูลออก : | ผลข้อมูลระดับน้ำ |
| แหล่งจัดเก็บข้อมูล : | - แฟ้มข้อมูลระดับน้ำ - แฟ้มข้อมูลความแรงของสัญญาณ |
| คำอธิบายการทำงาน : | 1. ระบบแสดงผลข้อมูลระดับน้ำให้ผู้ใช้และผู้ดูแลระบบ 2. ระบบดึงข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลระดับน้ำ |

แผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 1 กระบวนการที่ 2.0 กล่าวถึงการจัดการผู้ใช้งาน ผู้ดูแลระบบสามารถจัดการผู้ใช้ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงกระบวนการที่ 2.0 การจัดการผู้ใช้งาน

| | |
|----------------------|---|
| ชื่อระบบ : | ต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลORA |
| กระบวนการที่ : | 2.0 |
| ชื่อกระบวนการ : | การจัดการผู้ใช้งาน |
| ข้อมูลเข้า : | คำร้องขอการจัดการผู้ใช้งาน |
| ข้อมูลออก : | ผลการจัดการผู้ใช้งาน |
| แหล่งจัดเก็บข้อมูล : | - |
| คำอธิบายการทำงาน : | 1. ผู้ดูแลระบบสามารถจัดการผู้ใช้ |

แผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 1 กระบวนการที่ 3.0 กล่าวถึงการตั้งค่า ผู้ดูแลระบบสามารถตั้งค่าความลึกแหล่งน้ำ เพื่อให้ทราบถึงความลึกของแหล่งน้ำ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงกระบวนการที่ 3.0 การตั้งค่า

| | |
|----------------------|---|
| ชื่อระบบ : | ต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลORA |
| กระบวนการที่ : | 3.0 |
| ชื่อกระบวนการ : | การตั้งค่า |
| ข้อมูลเข้า : | คำร้องขอการตั้งค่าความลึกแหล่งน้ำ |
| ข้อมูลออก : | ผลการตั้งค่าความลึกแหล่งน้ำ |
| แหล่งจัดเก็บข้อมูล : | - แฟ้มข้อมูลระดับน้ำ |
| คำอธิบายการทำงาน : | 1. ผู้ดูแลระบบสามารถตั้งค่าความลึกแหล่งน้ำ |

แผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 1 กระบวนการที่ 4.0 กล่าวถึงการบันทึกข้อมูลบนคลาวด์ เซนเซอร์อัลตราโซนิกและไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าระดับน้ำส่งข้อมูลระดับน้ำ ข้อมูลความแรงของสัญญาณ ระบบทำการบันทึกข้อมูลในฐานข้อมูลแบบคลาวด์ ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงกระบวนการที่ 4.0 การบันทึกข้อมูลบนคลาวด์

| | |
|----------------------|---|
| ชื่อระบบ : | ต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลORA |
| กระบวนการที่ : | 4.0 |
| ชื่อกระบวนการ : | การบันทึกข้อมูลบนคลาวด์ |
| ข้อมูลเข้า : | ข้อมูลระดับน้ำ/ข้อมูลความแรงของสัญญาณ |
| ข้อมูลออก : | ข้อมูลระดับน้ำ/ข้อมูลความแรงของสัญญาณ |
| แหล่งจัดเก็บข้อมูล : | - แฟ้มข้อมูลระดับน้ำ - แฟ้มข้อมูลความแรงของสัญญาณ |
| คำอธิบายการทำงาน : | 1. เซนเซอร์อัลตราโซนิกส่งข้อมูลระดับน้ำ 2. ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าระดับน้ำส่งข้อมูลความแรงของสัญญาณ 3. ระบบทำการบันทึกข้อมูลในฐานข้อมูลแบบคลาวด์ |

การแตกย่อยกระบวนการที่ 1.0 สามารถแยกย่อยกระบวนการออกเป็น 2 กระบวนการ กระบวนการที่ 1.1 กระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำปัจจุบัน กระบวนการที่ 1.2 กระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำย้อนหลัง แสดงดังที่ 3.6-3.7 และรูปที่ 3.10-3.11

ตารางที่ 3.6 แสดงกระบวนการที่ 1.1 กระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำปัจจุบัน

| | |
|----------------------|---|
| ชื่อระบบ : | ต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลORA |
| กระบวนการที่ : | 1.1 |
| ชื่อกระบวนการ : | กระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำปัจจุบัน |
| ข้อมูลเข้า : | คำร้องขอข้อมูลระดับน้ำปัจจุบัน |
| ข้อมูลออก : | ผลข้อมูลระดับน้ำปัจจุบัน |
| แหล่งจัดเก็บข้อมูล : | <ul style="list-style-type: none"> - แฟ้มข้อมูลระดับน้ำ - แฟ้มข้อมูลวันที่ - แฟ้มข้อมูลเวลา |
| คำอธิบายการทำงาน : | <ol style="list-style-type: none"> 1. ผู้ใช้และผู้ดูแลระบบสามารถทราบข้อมูลระดับน้ำปัจจุบัน 2. ระบบทำการดึงข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลระดับน้ำ 3. ระบบทำการดึงข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลวันที่ 4. ระบบทำการดึงข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลเวลา |



รูปที่ 3.10 แผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 2 ของการแสดงผลการวัดระดับน้ำ

ตารางที่ 3.7 แสดงกระบวนการที่ 1.2 กระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำย้อนหลัง

| | |
|----------------------|---|
| ชื่อระบบ : | ต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลORA |
| กระบวนการที่ : | 1.2 |
| ชื่อกระบวนการ : | กระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำย้อนหลัง |
| ข้อมูลเข้า : | คำร้องขอข้อมูลระดับน้ำย้อนหลัง |
| ข้อมูลออก : | ผลข้อมูลระดับน้ำย้อนหลัง |
| แหล่งจัดเก็บข้อมูล : | <ul style="list-style-type: none"> - แฟ้มข้อมูลระดับน้ำ - แฟ้มข้อมูลวันที่ - แฟ้มข้อมูลเวลา |
| คำอธิบายการทำงาน : | <ol style="list-style-type: none"> 1. ผู้ใช้และผู้ดูแลระบบสามารถทราบข้อมูลระดับน้ำย้อนหลัง 2. ระบบทำการดึงข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลระดับน้ำ 3. ระบบทำการดึงข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลวันที่ 4. ระบบทำการดึงข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลเวลา |



รูปที่ 3.11 แผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 2 ของการแสดงผลการวัดระดับน้ำ

การแตกย่อยกระบวนการที่ 1.2 สามารถแยกย่อยกระบวนการออกเป็น 2

กระบวนการ กระบวนการที่ 1.2.1 กระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำย้อนหลังรายวัน

กระบวนการที่ 1.2.2 กระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำย้อนหลังรายเดือน แสดงดังที่ 3.8–3.9 และรูปที่ 3.12–3.13

ตารางที่ 3.8 แสดงกระบวนการที่ 1.2.1 กระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำย้อนหลังรายวัน

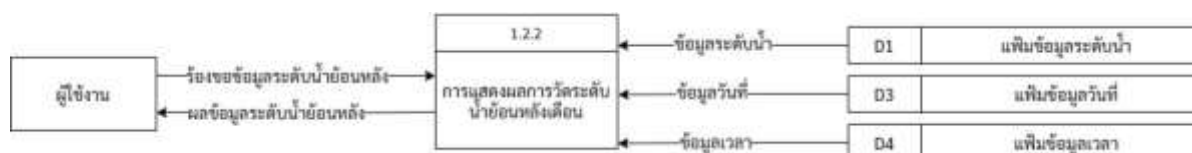
| | |
|----------------------|---|
| ชื่อระบบ : | ต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลอปรา |
| กระบวนการที่ : | 1.2.1 |
| ชื่อกระบวนการ : | กระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำย้อนหลังรายวัน |
| ข้อมูลเข้า : | คำร้องขอข้อมูลระดับน้ำย้อนหลังรายวัน |
| ข้อมูลออก : | ผลข้อมูลระดับน้ำย้อนหลังรายวัน |
| แหล่งจัดเก็บข้อมูล : | <ul style="list-style-type: none"> - แฟ้มข้อมูลระดับน้ำ - แฟ้มข้อมูลวันที่ - แฟ้มข้อมูลเวลา |
| คำอธิบายการทำงาน : | <ol style="list-style-type: none"> 1. ผู้ใช้และผู้ดูแลระบบสามารถทราบข้อมูลระดับน้ำย้อนหลังรายวัน 2. ระบบทำการดึงข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลระดับน้ำ 3. ระบบทำการดึงข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลวันที่ 4. ระบบทำการดึงข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลเวลา |



รูปที่ 3.12 แผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 3 ของกระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำย้อนหลัง

ตารางที่ 3.9 แสดงกระบวนการที่ 1.2.2 กระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำย้อนหลังรายเดือน

| | |
|----------------------|--|
| ชื่อระบบ : | ต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลORA |
| กระบวนการที่ : | 1.2.2 |
| ชื่อกระบวนการ : | กระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำย้อนหลังรายหลังรายเดือน |
| ข้อมูลเข้า : | คำร้องขอข้อมูลระดับน้ำย้อนหลังรายหลังรายเดือน |
| ข้อมูลออก : | ผลข้อมูลระดับน้ำย้อนหลังรายหลังรายเดือน |
| แหล่งจัดเก็บข้อมูล : | - แฟ้มข้อมูลระดับน้ำ แหล่งจัดเก็บข้อมูล : - แฟ้มข้อมูลวันที่ - แฟ้มข้อมูลเวลา |
| คำอธิบายการทำงาน : | 1. ผู้ใช้และผู้ดูแลระบบสามารถทราบข้อมูลระดับน้ำย้อนหลังรายหลังรายเดือน 2. ระบบทำการดึงข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลระดับน้ำ 3. ระบบทำการดึงข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลวันที่ 4. ระบบทำการดึงข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลเวลา |

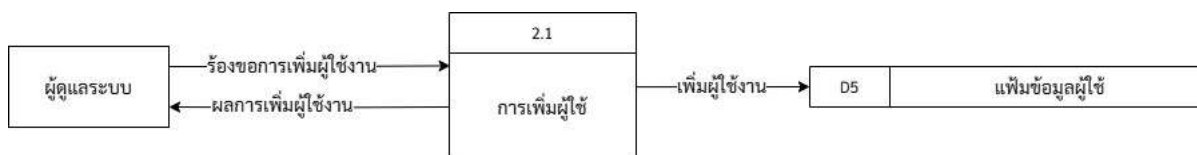


รูปที่ 3.13 แผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 3 ของกระบวนการแสดงผลการวัดระดับน้ำย้อนหลัง

การแตกย่อยกระบวนการที่ 2.0 สามารถแยกย่อยกระบวนการออกเป็น 2 กระบวนการ กระบวนการที่ 2.1 กระบวนการการเพิ่มผู้ใช้ กระบวนการที่ 2.2 กระบวนการลบผู้ใช้ แสดงดังที่ 3.10-3.11 และรูปที่ 3.14-3.15

ตารางที่ 3.10 แสดงกระบวนการที่ 2.1 กระบวนการการเพิ่มผู้ใช้

| | |
|----------------------|---|
| ชื่อระบบ : | ต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลORA |
| กระบวนการที่ : | 2.1 |
| ชื่อกระบวนการ : | กระบวนการการเพิ่มผู้ใช้ |
| ข้อมูลเข้า : | คำร้องขอการเพิ่มผู้ใช้ |
| ข้อมูลออก : | ผลการเพิ่มผู้ใช้ |
| แหล่งจัดเก็บข้อมูล : | - แฟ้มข้อมูลผู้ใช้ |
| คำอธิบายการทำงาน : | 1. ผู้ดูแลระบบสามารถเพิ่มผู้ใช้งาน |



รูปที่ 3.14 แผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 2 ของกระบวนการการเพิ่มผู้ใช้

ตารางที่ 3.11 แสดงกระบวนการที่ 2.2 กระบวนการการลบผู้ใช้

| | |
|----------------------|---|
| ชื่อระบบ : | ต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลORA |
| กระบวนการที่ : | 2.2 |
| ชื่อกระบวนการ : | กระบวนการการลบผู้ใช้ |
| ข้อมูลเข้า : | คำร้องขอการลบผู้ใช้ |
| ข้อมูลออก : | ผลการเพิ่มผู้ใช้ |
| แหล่งจัดเก็บข้อมูล : | - แฟ้มข้อมูลผู้ใช้ |
| คำอธิบายการทำงาน : | 1. ผู้ดูแลระบบสามารถลบผู้ใช้งาน |

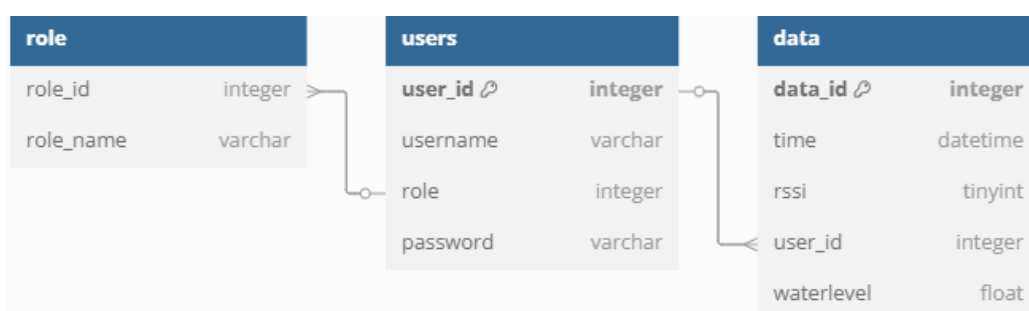


รูปที่ 3.15 แผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 2 ของกระบวนการการลบผู้ใช้

3.5 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (Entity Relationship

Diagram)

ต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลora แสดงความสัมพันธ์ของตารางของฐานข้อมูล มีการออกแบบฐานข้อมูล 3 ตาราง ประกอบไปด้วย ตารางข้อมูลผู้ใช้งาน (User) ตารางข้อมูลระดับน้ำ (Data) และตารางบทบาท (Role) โดยแต่ละตารางจะมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แผนภาพการออกแบบฐานข้อมูลของระบบ

3.6 การทดสอบการส่งข้อมูลด้วยลora

3.6.1 การทดสอบเบื้องต้นแบบปราศจากสิ่งกีดขวาง

การทดสอบเบื้องต้นแบบปราศจากสิ่งกีดขวางเป็นการทดสอบการส่งข้อมูลด้วยคำว่า “Hello Test” แล้วตามด้วยเลข 1-10 มีการเก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณทุกครั้งที่มีการส่ง และทำการตั้งค่าความถี่ในการส่งอยู่ที่ 433 MHz Spreading Factor 7 แบนด์วิดท์ 125 kHz Coding Rate 4/5 กำลังส่ง 17 dBm โดยการส่งข้อมูลทั้งหมด 3 ครั้ง ครั้งละ 10 แพคเกจ เพื่อทดสอบหาระยะที่ข้อมูลสามารถส่งได้และหาอัตราความสำเร็จในแต่ละระยะทางตั้งแต่ 100-600 เมตร ทำการเพิ่มระยะทางทุก 100 เมตร ดังตารางที่ 3.12-3.18

ตารางที่ 3.12 การทดสอบการส่งข้อมูลแบบปราศจากสิ่งกีดขวางระยะทาง 100 เมตร

| แพคเกจที่ | ครั้งที่1 | | ครั้งที่2 | | ครั้งที่3 | |
|-------------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| | RSSI | ข้อมูลที่ได้รับ | RSSI | ข้อมูลที่ได้รับ | RSSI | ข้อมูลที่ได้รับ |
| 1 | -86 | Hello Test 1 | -90 | Hello Test 1 | -89 | Hello Test 1 |
| 2 | -93 | Hello Test 2 | -87 | Hello Test 2 | -87 | Hello Test 2 |
| 3 | -92 | Hello Test 3 | -87 | Hello Test 3 | -87 | Hello Test 3 |
| 4 | -91 | Hello Test 4 | -87 | Hello Test 4 | -87 | Hello Test 4 |
| 5 | -87 | Hello Test 5 | -87 | Hello Test 5 | -87 | Hello Test 5 |
| 6 | -87 | Hello Test 6 | -87 | Hello Test 6 | -87 | Hello Test 6 |
| 7 | -88 | Hello Test 7 | -87 | Hello Test 7 | -87 | Hello Test 7 |
| 8 | -88 | Hello Test 8 | -87 | Hello Test 8 | -87 | Hello Test 8 |
| 9 | -91 | Hello Test 9 | -87 | Hello Test 9 | -87 | Hello Test 9 |
| 10 | -94 | Hello Test 10 | -87 | Hello Test 10 | -87 | Hello Test 10 |
| ค่าเฉลี่ย RSSI | -89.7 | | -87.3 | | -87.2 | |

ตารางที่ 3.13 การทดสอบการส่งข้อมูลแบบปราศจากสิ่งกีดขวางระยะทาง 200 เมตร

| แพคเกจที่ | ครั้งที่1 | | ครั้งที่2 | | ครั้งที่3 | |
|-------------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| | RSSI | ข้อมูลที่ได้รับ | RSSI | ข้อมูลที่ได้รับ | RSSI | ข้อมูลที่ได้รับ |
| 1 | -92 | Hello Test 1 | -95 | Hell_)Teru!1 | -95 | Hello Test 1 |
| 2 | -93 | Hello Test 2 | -93 | Hello Test 2 | -93 | Hello Test 2 |
| 3 | -93 | Hello Test 3 | -94 | Hello Test 3 | -94 | Hello Test 3 |
| 4 | -94 | Hello Test 4 | -95 | Hello Test 4 | -94 | Hello Test 4 |
| 5 | -94 | Hello Test 5 | -94 | Hello Test 5 | -94 | Hello Test 5 |
| 6 | -94 | Hello Test 6 | -95 | Hello Test 6 | -93 | Hello Test 6 |
| 7 | -94 | Hello Test 7 | -94 | Hello Test 7 | -97 | Hello Test 7 |
| 8 | -95 | Hello Test 8 | -94 | Hello Test 8 | -94 | Hello Test 8 |
| 9 | -94 | Hello Test 9 | -94 | Hello Test 9 | -94 | Hello Test 9 |
| 10 | -94 | Hello Test 10 | -95 | Hello Test 10 | -96 | Hello Test 10 |
| ค่าเฉลี่ย RSSI | -102.6 | | -99.4 | | -96 | |

ตารางที่ 3.14 การทดสอบการส่งข้อมูลแบบปราศจากสิ่งกีดขวางระยะทาง 300 เมตร

| แพคเกจที่ | ครั้งที่1 | | ครั้งที่2 | | ครั้งที่3 | |
|-------------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| | RSSI | ข้อมูลที่ได้รับ | RSSI | ข้อมูลที่ได้รับ | RSSI | ข้อมูลที่ได้รับ |
| 1 | -100 | Hello Test 1 | -103 | Hello Test 1 | -105 | Hello Test 1 |
| 2 | -96 | Hello Test 2 | -103 | Hello Test 2 | -102 | Hello Test 2 |
| 3 | -97 | Hello Test 3 | -103 | Hello Test 3 | -102 | Hello Test 3 |
| 4 | -98 | Hello Test 4 | -101 | Hello Test 4 | -103 | Hello Test 4 |
| 5 | -97 | Hello Test 5 | -101 | Hello Test 5 | -102 | Hello Test 5 |
| 6 | -96 | Hello Test 6 | -102 | Hello Test 6 | -103 | Hello Test 6 |
| 7 | -99 | Hello Test 7 | -102 | Hello Test 7 | -102 | Hello Test 7 |
| 8 | -101 | Hello Test 8 | -102 | Hello Test 8 | -101 | Hello Test 8 |
| 9 | -99 | Hello Test 9 | -102 | Hello Test 9 | -101 | Hello Test 9 |
| 10 | -99 | Hello Test 10 | -102 | Hello Test 10 | -102 | Hello Test 10 |
| ค่าเฉลี่ย RSSI | -98.2 | | -102.1 | | -102.3 | |

ตารางที่ 3.15 การทดสอบการส่งข้อมูลแบบปราศจากสิ่งกีดขวางระยะทาง 400 เมตร

| แพคเกจที่ | ครั้งที่1 | | ครั้งที่2 | | ครั้งที่3 | |
|-------------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| | RSSI | ข้อมูลที่ได้รับ | RSSI | ข้อมูลที่ได้รับ | RSSI | ข้อมูลที่ได้รับ |
| 1 | -96 | Hello Test 1 | -98 | Hello Test 1 | -103 | Hello Test 1 |
| 2 | -97 | Hello Test 2 | -99 | Hello Test 2 | -102 | Hello Test 2 |
| 3 | -97 | Hello Test 3 | -99 | Hello Test 3 | -102 | Hello Test 3 |
| 4 | -98 | Hello Test 4 | -98 | Hello Test 4 | -101 | Hello Test 4 |
| 5 | -97 | Hello Test 5 | -97 | Hello Test 5 | -101 | Hello Test 5 |
| 6 | -98 | Hello Test 6 | -98 | Hello Test 6 | -101 | Hello Test 6 |
| 7 | -97 | Hello Test 7 | -98 | Hello Test 7 | -101 | Hello Test 7 |
| 8 | -97 | Hello Test 8 | -98 | Hello Test 8 | -102 | Hello Test 8 |
| 9 | -97 | Hello Test 9 | -101 | Hello Test 9 | -101 | Hello Test 9 |
| 10 | -98 | Hello Test 10 | -97 | Hello Test 10 | -102 | Hello Test 10 |
| ค่าเฉลี่ย RSSI | -97.7 | | -98.3 | | -101.6 | |

ตารางที่ 3.16 การทดสอบการส่งข้อมูลแบบปราศจากสิ่งกีดขวางระยะทาง 500 เมตร

| แพคเกจที่ | ครั้งที่1 | | ครั้งที่2 | | ครั้งที่3 | |
|-------------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| | RSSI | ข้อมูลที่ได้รับ | RSSI | ข้อมูลที่ได้รับ | RSSI | ข้อมูลที่ได้รับ |
| 1 | -103 | Hello Test 1 | -105 | Hello Test 1 | -104 | Hello Test 1 |
| 2 | -104 | Hello Test 2 | -104 | Hello Test 2 | -103 | Hello Test 2 |
| 3 | -103 | Hello Test 3 | -103 | Hello Test 3 | -103 | Hello Test 3 |
| 4 | -103 | Hello Test 4 | -104 | Hello Test 4 | -104 | Hello Test 4 |
| 5 | -105 | Hello Test 5 | -105 | Hello Test 5 | -103 | Hello Test 5 |
| 6 | -103 | Hello Test 6 | -104 | Hello Test 6 | -103 | Hello Test 6 |
| 7 | -103 | Hello Test 7 | -104 | Hello Test 7 | -103 | Hello Test 7 |
| 8 | -103 | Hello Test 8 | -103 | Hello Test 8 | -103 | Hello Test 8 |
| 9 | -103 | Hello Test 9 | -103 | Hello Test 9 | -103 | Hello Test 9 |
| 10 | -103 | Hello Test 10 | -103 | Hello Test 10 | -103 | Hello Test 10 |
| ค่าเฉลี่ย RSSI | -103.3 | | -103.8 | | -103.2 | |

ตารางที่ 3. 17 การทดสอบการส่งข้อมูลแบบปราศจากสิ่งกีดขวางระยะทาง 600 เมตร

| แพคเกจที่ | ครั้งที่1 | | ครั้งที่2 | | ครั้งที่3 | |
|-------------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| | RSSI | ข้อมูลที่ได้รับ | RSSI | ข้อมูลที่ได้รับ | RSSI | ข้อมูลที่ได้รับ |
| 1 | | | -104 | Hello Test 1 | -105 | Hello Test 1 |
| 2 | -104 | Hello Test 2 | -97 | Hello Test 2 | -98 | Hello Test 2 |
| 3 | -103 | Hello Test 3 | -98 | Hello Test 3 | -98 | Hello Test 3 |
| 4 | -103 | Hello Test 4 | -97 | Hello Test 4 | -99 | Hello Test 4 |
| 5 | -103 | Hello Test 5 | -96 | Hello Test 5 | -99 | Hello Test 5 |
| 6 | -101 | Hello Test 6 | -97 | Hello Test 6 | -99 | Hello Test 6 |
| 7 | -100 | Hello Test 7 | -97 | Hello Test 7 | -99 | Hello Test 7 |
| 8 | -102 | Hello Test 8 | -98 | Hello Test 8 | -100 | Hello Test 8 |
| 9 | -101 | Hello Test 9 | -99 | Hello Test 9 | -99 | Hello Test 9 |
| 10 | -103 | Hello Test 10 | -100 | Hello Test 10 | -100 | Hello Test 10 |
| ค่าเฉลี่ย RSSI | -102.2 | | -98.3 | | -99.6 | |

ตารางที่ 3.18 สรุปการทดสอบการส่งข้อมูลแบบปราศจากสิ่งกีดขวาง

| ระยะ | ค่าเฉลี่ย RSSI | อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ |
|------|----------------|-------------------------|
| 100 | -88.07 | 100 % |
| 200 | -99.3 | 96.67 % |
| 300 | -100.87 | 100 % |
| 400 | -99.2 | 100 % |
| 500 | -103.43 | 100 % |
| 600 | -100.03 | 96.67 % |

3.7 การทดสอบการใช้พลังงาน

การทดสอบการใช้พลังงานจากการวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยการนำโมดูลวัดระดับน้ำและโมดูลส่งต่อข้อมูลที่ใช้แหล่งจ่ายจากแบตเตอรี่ที่มีความจุเต็มมาวัดแรงดันไฟฟ้าขณะทำงานใน 1 ชั่วโมง แล้วทำการวัดแรงดันไฟฟ้าทุก ๆ 5 นาที เพื่อทดสอบการใช้แรงดันไฟฟ้าของแต่ละโมดูล

ทดสอบพลังงานจากการวัดกระแสไฟฟ้าด้วยการนำโมดูลวัดระดับน้ำและโมดูลส่งต่อข้อมูลที่ใช้แหล่งจ่ายผ่าน USB ทำการวัดกระแสไฟฟ้าหากระแสไฟฟ้าสูงสุดเพื่อนำมาคำนวณหาความจุแบตเตอรี่ที่ใช้งาน

3.8 บทสรุป

จากหัวข้อที่กล่าวข้างต้นเป็นหลักการออกแบบระบบที่ใช้ในการพัฒนาต้นแบบระบบวัดและติดตามระดับน้ำจากพื้นที่ห่างไกลโดยใช้การสื่อสารลORA โดยแบ่งเป็น 4 แผนภาพ คือ แผนภาพกิจกรรมที่แสดงถึงการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบ แผนผังบริบทแสดงถึงระบบมีการเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้และอุปกรณ์กับระบบอย่างไร แผนผังการไหลข้อมูลมีกระบวนการของระบบทั้งหมดที่กระบวนการ แต่ละกระบวนการมีการเก็บข้อมูลการไหลของข้อมูลระหว่างกระบวนการ และแผนภาพการออกแบบฐานข้อมูลแสดงถึงข้อมูลที่เก็บรวมถึงแสดงความสัมพันธ์ของตาราง ทุกแผนภาพจำเป็นอย่างมากในการพัฒนาระบบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] unhcr. “อุทกภัย สํารวจสาเหตุ และลักษณะของการเกิดน้ำท่วมครั้งใหญ่.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://www.unhcr.org/th/floods>. วันที่สืบค้น 11 ธันวาคม 2567
- [2] kms-engineering. “เข้าใจกับเกณฑ์ระดับน้ำสมมุติ.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://www.kms-engineering.com/news/62-ทำความเข้าใจกับเกณฑ์ระดับน้ำสมมุติ->. ทำความเข้าใจกับเกณฑ์ระดับน้ำสมมุติ วันที่สืบค้น 12 ธันวาคม 2567
- [3] วัดระดับน้ำ111ปี. “วัดระดับน้ำ111ปี.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://water.rid.go.th/flood/ridtele/data/water%20level%20111%20y.pdf>. วันที่สืบค้น 14 ธันวาคม 2567
- [4] Matsushima. “เครื่องส่งสัญญาณระดับน้ำในแม่น้ำคืออะไร.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://sensing.matsushima-m-tech.com/en/3904269>. วันที่สืบค้น 2 มกราคม 2568
- [5] thethingsnetwork. “LoRa Physical Layer.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/loraphy-format/. วันที่สืบค้น 5 มกราคม 2568
- [6] primo. “โซล่าเซลล์ คืออะไร.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://primo.co.th/บทความ/โซล่าเซลล์-คืออะไร-และมี/>. วันที่สืบค้น 10 มกราคม 2568
- [7] solarcellguru. “โซล่าชาร์จเจอร์ ทำหน้าที่อะไรในระบบโซล่าเซลล์.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://solarcellguru.com/solar-charger/>. สืบค้น 13 มกราคม 2568
- [8] swapbatterystation. “แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนคืออะไร.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: www.swapbatterystation.com/lithium-ion-battery/. วันที่สืบค้น 13 มกราคม 2568

- [9] aws.amazon. “IoT (อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง) คืออะไร.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://aws.amazon.com/th/what-is/iot/>. วันที่สืบค้น 10 มกราคม 2568
- [10] futurekit. “รู้จักกับโปรแกรม Arduino IDE.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: www.futurekit.com/blog/11488/. วันที่สืบค้น 8 มกราคม 2568
- [11] omega. “อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ Ultrasonic Sensor.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://www.omi.co.th/th/article/ultrasonic-sensor>. วันที่สืบค้น 8 มกราคม 2568
- [12] artronshop. “ESP32 เบื้องต้น บทที่ 1 แนะนำ ESP32.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://www.artronshop.co.th/article/51/esp32-เบื้องต้น-บทที่-1-แนะนำ-esp32>. วันที่สืบค้น 8 มกราคม 2568
- [13] allnewstep. “Arduino ESP8266 ESP32 IoTการใช้งาน.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://www.allnewstep.com/article/137/2-lora-arduino-esp8266-esp32-iotการใช้งาน-arduino-กับ-lora-sx1278-ra-01-ra-02>. วันที่สืบค้น 8 มกราคม 2568
- [14] appmaster. “การพัฒนาเว็บแอปในปี 2024.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://appmaster.io/th/blog/kaarphathnaaeawbae-p>. วันที่สืบค้น 9 มกราคม 2568
- [15] mindphp. “HTMLคืออะไร.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://www.mindphp.com/คู่มือ/73-คืออะไร/2026-html-คืออะไร.html>. วันที่สืบค้น 9 มกราคม 2568
- [16] kongruksiam. “พื้นฐานCSS3เพื่อการเรียนรู้.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://kongruksiam.medium.com/พื้นฐาน-css3-สำหรับการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน-52947049bc56>. วันที่สืบค้น 9 มกราคม 2568
- [17] amazon. “JavaScript คืออะไรหลักการทำงานเป็นอย่างไร.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://aws.amazon.com/th/what-is/javascript/>. วันที่สืบค้น 9 มกราคม 2568

- [18] medium. “[Beginner] Node.js คืออะไร.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://medium.com/@settawatjanpuk/https-medium-com-settawatjanpuk-beginner-node-js-970383cc6e3a>. วันที่สืบค้น 9 มกราคม 2568
- [19] mongodb. “การใช้mongodbสำหรับผู้เริ่มต้น.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://www.mongodb.com>. วันที่สืบค้น 9 มกราคม 2568
- [20] analysisanddesignn. “สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนแผนภาพกระแสข้อมูล.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://analysisanddesignn.blogspot.com/p/42-4.html>. วันที่สืบค้น 11 มกราคม 2568
- [21] pumiphat. “แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://pumiphat.weebly.com/uploads/2/9/3/6/29364553/06.pdf>. วันที่สืบค้น 11 มกราคม 2568
- [22] Ammar Azizi Jasni , Yasser Asrul Ahmad. “Tributary Water Depth and Velocity Remote Monitoring System using Arduino and LoRa.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10009916>. วันที่สืบค้น 6 มกราคม 2568
- [23] Yuezhong Li , Xiaoqiang Yan. “Research on water meter reading system based on LoRa communication.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8038585>. วันที่สืบค้น 6 มกราคม 2568
- [24] Eldho Mathai , Akhil George. “Design & Development of Smart River Water Level Monitoring System.” (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10695993>. วันที่สืบค้น 6 มกราคม 2568
- [25] Witayarat, Apiwat. “Chirp Spread Spectrum.” [Slide] University of Phayao: Witayarat, Apiwat. 2568