

ระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่ม  
FLOOD AND LANDSLIDE MONITORING SYSTEM

โดย

|             |            |
|-------------|------------|
| นางสาวจิตยา | ดาวังปา    |
| นายณัฐพงศ์  | วงศ์แสงนาค |
| นายธนภูมิ   | พรหมแก้ว   |

ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

ระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่ม  
FLOOD AND LANDSLIDE MONITORING SYSTEM

โดย

|             |            |
|-------------|------------|
| นางสาวจิตยา | ดาวังปา    |
| นายณัฐพงศ์  | วงศ์แสงนาค |
| นายธนภูมิ   | พรหมแก้ว   |

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

ระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่ม  
FLOOD AND LANDSLIDE MONITORING SYSTEM

โดย

|             |            |          |
|-------------|------------|----------|
| นางสาวทิตยา | ดาวังปา    | 53010414 |
| นายณัฐพงศ์  | วงศ์แสงนาค | 53010472 |
| นายธนภูมิ   | พรหมแก้ว   | 53010648 |

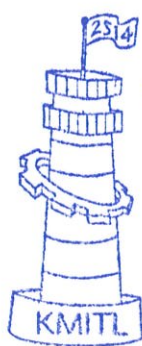
อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ณัฐกานต์ พุทธิรักษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ผศ.ดร.ตุลยา ลิ้มปิติ

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556



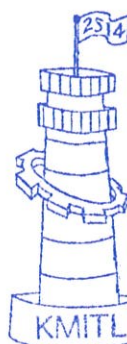
ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(*Mute*)

อาจารย์ที่ปรึกษา

11/3/57

วิศวกรรมโทรคมนาคม  
Telecommunications Engineering



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(*Dr. Pm*)

กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน

14/03/14

วิศวกรรมโทรคมนาคม  
Telecommunications Engineering

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


เรื่อง ระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่ม

FLOOD AND LANDSLIDE MONITORING SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นางสาวทิตยา ดาวังปา รหัสนักศึกษา 53010414
2. นายณัฐพงศ์ วงศ์แสงนาค รหัสนักศึกษา 53010472
3. นายธนภูมิ พรหมแก้ว รหัสนักศึกษา 53010648

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ดร.ณัฐกานต์ พุทธรักษ์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ผศ.ดร.ตุลยา ลิมปิติ)

## กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินโครงการ “ระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่ม” จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีได้เลย หากขาดการสนับสนุน และกำลังใจจากหลายๆ ฝ่าย เช่น

การได้รับทุนสนับสนุนโครงการจากสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและโครงการวิจัยในหัวข้อ “Intelligent Mobile Disaster Monitoring and Early Warning Unit with Information System for Administrative Management” จาก Asia-Pacific Telecom munity

ดร.ณัฐกานต์ พุทธิรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และผศ.ดร.ตุลยา ลิ้มปิติ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม สำหรับคำปรึกษา คำแนะนำและแนวทางการแก้ไขเมื่อเกิดปัญหาในการจัดทำโครงการ รวมทั้งสนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในระหว่างการจัดทำโครงการ

คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวที่คอยห่วงใย และมอบกำลังใจให้ในยามที่เกิดปัญหารวมทั้งคำแนะนำเพิ่มเติมที่มีประโยชน์ต่อการจัดทำโครงการ

พี่ๆ ปรียญาโทและทุกๆ คนในห้อง T219 ที่ได้คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษาและให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการจัดทำโครงการ

เพื่อนๆ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำปรึกษา ช่วยเหลือและกำลังใจในทุกด้านๆ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้ ที่ได้ช่วยให้การจัดทำโครงการในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวทิตยา ดาวังปา

นายณัฐพงศ์ วงศ์แสงนาค

นายธนภูมิ พรหมแก้ว

ผู้จัดทำ

ระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่ม

FLOOD AND LANDSLIDE MONITORING SYSTEM

|     |                       |          |
|-----|-----------------------|----------|
| โดย | นางสาวจิตยา ดาวังปา   | 53010414 |
|     | นายณัฐพงศ์ วงศ์แสงนาค | 53010472 |
|     | นายธนภูมิ พรหมแก้ว    | 53010648 |

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ณัฐกานต์ พุทธรักษ์  
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ตุลยา ลิ้มปิติ

#### บทคัดย่อ

เหตุการณ์อุทกภัยและดินถล่ม นับเป็นภัยที่ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างยิ่งต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้คนส่วนใหญ่ หากไม่ได้รับทราบข้อมูลข่าวสารที่ทันต่อเหตุการณ์ และไม่มีการแจ้งเตือนล่วงหน้าเกี่ยวกับเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้น อันทำให้ไม่สามารถเตรียมตัวรับมือกับปัญหาได้ทันท่วงที ปรินญานินพนธ์นี้จึงต้องการหาวิธีแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการพัฒนาาระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่มโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารเพื่อความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูล โดยระบบที่พัฒนาขึ้น จะประกอบไปด้วยการแจ้งเตือน 2 ส่วน คือ ส่วนของอุทกภัยและดินถล่ม ในส่วนของการเตือนอุทกภัยนั้นจะพัฒนาชุดวัดระดับน้ำและเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ โดยชุดเซนเซอร์จะถูกติดตั้งบริเวณคลองหรือประตูน้ำที่เป็นจุดเฝ้าระวัง และมีการส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบส่งสัญญาณไร้สายเพื่อส่งข้อมูลที่ไปยังเซิร์ฟเวอร์ ในส่วนของการเตือนภัยดินถล่มนั้นได้ทำการพัฒนาเซนเซอร์วัดความชื้นในดินและเซนเซอร์วัดการยึดเกาะของดิน โดยที่ชุดเซนเซอร์จะถูกติดตั้งบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดเอียงเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม โดยมีการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลและส่งข้อมูลแบบไร้สายไปยังเซิร์ฟเวอร์เช่นเดียวกัน จากนั้นข้อมูลทางอุทกภัยและดินถล่มจะถูกประมวลผลและมีการแจ้งเตือนภัยพิบัติดังกล่าว ผ่านทางจีพีอาร์เอสโมดูลไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

## ABSTRACT

Flood and landslide may cause severe damage to lives and properties of many people without up-to-date weather information and proper warnings, as there is not sufficient time to prepare for such incidents. Thus, this project proposes a solution to the problem by developing a flood and landslide monitoring system using wireless communications technology. For the flood warning system, water level gauges and flow sensors are installed at rivers, canals or water gates. The real-time sensor data received by the microcontroller is sent to a computer server using a wireless module. As for the landslide system, the soil movement detector built from strain gauges, and soil moisture sensors are installed at the locations with high risk of landslide. Similarly, the data received by the microcontroller is sent to a computer server using a wireless module. Finally, the information from both flooding system and landslide detection sensors are analyzed. If there is a possibility of either flooding or landslide, a warning is sent via a GPRS module to responsible authorities.

## สารบัญ

|  | หน้า      |
|--|-----------|
| กิตติกรรมประกาศ                              | I         |
| บทคัดย่อ                                     | II        |
| สารบัญ                                       | IV        |
| สารบัญรูป                                    | VI        |
| สารบัญตาราง                                  | XI        |
| <b>บทที่ 1</b>                               |           |
| <b>บทนำ</b>                                  | <b>1</b>  |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา           | 1         |
| 1.2 วัตถุประสงค์                             | 1         |
| 1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์                   | 1         |
| <b>บทที่ 2</b>                               |           |
| <b>ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>          | <b>2</b>  |
| 2.1 อุทกภัย                                  | 2         |
| 2.2 การวัดระดับน้ำ                           | 3         |
| 2.3 การวัดความเร็วน้ำ                        | 6         |
| 2.4 ดินถล่ม                                  | 7         |
| 2.5 อุปกรณ์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง         | 10        |
| <b>บทที่ 3</b>                               |           |
| <b>การออกแบบและการจัดทำปริญญาานิพนธ์</b>     | <b>28</b> |
| 3.1 การออกแบบ                                | 28        |
| 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง               | 48        |
| 3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง                     | 51        |
| <b>บทที่ 4</b>                               |           |
| <b>ผลการทดลอง</b>                            | <b>53</b> |
| 4.1 การทดสอบการทำงานในส่วนของเซนเซอร์ตรวจวัด | 53        |

## สารบัญ (ต่อ)

|  | หน้า       |
|--|------------|
| 4.2 การทดสอบส่วนการสื่อสารไร้สาย เซิร์ฟเวอร์ ฐานข้อมูล และจีพีอาร์เอสโมดูล | 85         |
| 4.3 การทดสอบการทำงานของระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่ม                          | 95         |
| <b>บทที่ 5</b> <b>สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>                                  | <b>100</b> |
| 5.1 สรุปผล   | 100        |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ   | 100        |
| <b>บรรณานุกรม</b>  | <b>101</b> |

---

## สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า   |    |
|--------|--|----|
| 2.1    | แผ่นวัดระดับน้ำ  | 3  |
| 2.2    | เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบใช้เส้นลวดและลูกตุ้มน้ำหนัก                      | 4  |
| 2.3    | เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบลูกลอย   | 4  |
| 2.4    | เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบใช้ฟองอากาศ                                      | 5  |
| 2.5    | เครื่องมือวัดระดับน้ำสูงสุด  | 5  |
| 2.6    | เครื่องมือวัดความเร็วน้ำแบบกรวยหมุน                                      | 6  |
| 2.7    | เครื่องมือวัดความเร็วน้ำแบบใบพัด   | 7  |
| 2.8    | เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน Grove-Moisture Sensor                           | 10 |
| 2.9    | ลักษณะของเกจวัดความเครียด  | 11 |
| 2.10   | ลักษณะการติดตั้งเกจวัดความเครียด   | 12 |
| 2.11   | ขาพอร์ต AVR Atmega168  | 14 |
| 2.12   | ลักษณะคอนเนคเตอร์แบบ DB9 และ DB25  | 16 |
| 2.13   | แรงดันของสัญญาณที่ทีแอลและสัญญาณ RS-232                                  | 18 |
| 2.14   | ลักษณะการใช้งานไอซี MAX 232  | 18 |
| 2.15   | ลักษณะการเชื่อมต่อการใช้งานของชิคปี                                      | 19 |
| 2.16   | เอ็กซ์บี รุ่น XBee Pro 50mW Wire Antenna - Series 2 (ZB)                 | 20 |
| 2.17   | โครงสร้างของบอร์ด ET-GSM SIM900B   | 21 |
| 2.18   | ลักษณะของโปรแกรมไมโครซอฟท์ วิวอลสตูดิโอ ซีชาร์ป                          | 25 |
| 3.1    | บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่ม                       | 28 |
| 3.2    | วงจรการเชื่อมต่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR Atmega168                       | 29 |
| 3.3    | ลักษณะบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR Atmega168 ที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้งานในระบบ | 30 |
| 3.4    | วงจรปรับระดับสัญญาณแรงดันสำหรับการสื่อสารแบบอนุกรม                       | 30 |
| 3.5    | วงจรปรับระดับสัญญาณแรงดันสำหรับการสื่อสารแบบอนุกรมที่จัดทำขึ้น           | 31 |
| 3.6    | แผนผังการเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์วัดระดับน้ำกับไมโครคอนโทรลเลอร์         | 32 |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า  |    |
|--------|---|----|
| 3.7    | ลักษณะเซนเซอร์วัดระดับน้ำที่จัดทำเพื่อใช้งานในระบบ                        | 32 |
| 3.8    | แผนผังการเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำกับไมโครคอนโทรลเลอร์ | 33 |
| 3.9    | การออกแบบโครงสร้างการใช้งานเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ                   | 34 |
| 3.10   | การออกแบบการติดตั้งระบบเตือนอุทกภัย                                       | 34 |
| 3.11   | อุปกรณ์ในการจำลองสถานการณ์ระบบเตือนอุทกภัย                                | 35 |
| 3.12   | ลักษณะเซนเซอร์วัดความชื้นในดินต้นแบบ Grove-Moisture Sensor                | 36 |
| 3.13   | การเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์วัดความชื้นกับไมโครคอนโทรลเลอร์                | 36 |
| 3.14   | ลักษณะเซนเซอร์วัดความชื้นในดินที่จัดทำเพื่อใช้งานในระบบ                   | 37 |
| 3.15   | ผังการเชื่อมต่อการทำงานของเกจวัดความเครียด                                | 38 |
| 3.16   | การออกแบบการติดตั้งเกจวัดความเครียด                                       | 39 |
| 3.17   | การติดตั้งเกจวัดความเครียดสำหรับใช้ในระบบ                                 | 39 |
| 3.18   | การออกแบบการติดตั้งระบบเตือนดินถล่ม                                       | 40 |
| 3.19   | การออกแบบการตรวจสอบดินถล่ม  | 40 |
| 3.20   | อุปกรณ์ในการจำลองสถานการณ์ดินถล่ม   | 41 |
| 3.21   | การเชื่อมต่อระหว่างชิปปีตัวส่งกับไมโครคอนโทรลเลอร์                        | 42 |
| 3.22   | โปรแกรมการจัดการข้อมูลฝั่งเซิร์ฟเวอร์                                     | 43 |
| 3.23   | ฐานข้อมูลของระบบเตือนอุทกภัย  | 44 |
| 3.24   | ฐานข้อมูลของระบบเตือนดินถล่ม  | 44 |
| 3.25   | โพลีชาร์ทสำหรับการส่งข้อความแจ้งเตือนอุทกภัย                              | 46 |
| 3.26   | โพลีชาร์ทสำหรับการส่งข้อความแจ้งเตือนดินถล่ม                              | 47 |
| 3.27   | ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR Atmega168                                     | 48 |
| 3.28   | ลักษณะของไอซี CD4066  | 48 |
| 3.29   | เซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำที่ผลิตโดยบริษัท Seeed รุ่น SEN02141B         | 49 |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า   |    |
|--------|--|----|
| 3.30   | ทรานซิสเตอร์ 2N2222A   | 49 |
| 3.31   | เกจวัดความเครียดที่ผลิตโดยบริษัท Kyowa รุ่น<br>KFG-5-120-C1-11       | 50 |
| 3.32   | ลักษณะของไอซี AD620 และวงจรภายใน                                     | 50 |
| 3.33   | เอ็กซ์บี รุ่น XBee Pro 50mW Wire Antenna - Series 2 (ZB)             | 51 |
| 3.34   | จีพีอาร์เอสโมดูล ET-GSM SIM900B                                      | 51 |
| 4.1    | การวัดระดับแรงดันที่พอร์ตเอาต์พุตเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าระดับที่กำหนด   | 53 |
| 4.2    | การวัดระดับแรงดันที่พอร์ตเอาต์พุตเมื่อระดับน้ำอยู่ระดับที่ 1         | 54 |
| 4.3    | การวัดระดับแรงดันที่พอร์ตเอาต์พุตเมื่อระดับน้ำอยู่ระดับที่ 2         | 55 |
| 4.4    | การวัดระดับแรงดันที่พอร์ตเอาต์พุตเมื่อระดับน้ำอยู่ระดับที่ 3         | 55 |
| 4.5    | การวัดระดับแรงดันที่พอร์ตเอาต์พุตเมื่อระดับน้ำอยู่ระดับที่ 4         | 56 |
| 4.6    | ระดับน้ำที่ได้จากการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์                     | 58 |
| 4.7    | สัญญาณที่ได้เมื่อความเร็วน้ำระดับที่ 1 ไหลผ่านเซนเซอร์วัดอัตราการไหล | 59 |
| 4.8    | สัญญาณที่ได้เมื่อความเร็วน้ำระดับที่ 2 ไหลผ่านเซนเซอร์วัดอัตราการไหล | 59 |
| 4.9    | สัญญาณที่ได้เมื่อความเร็วน้ำระดับที่ 3 ไหลผ่านเซนเซอร์วัดอัตราการไหล | 60 |
| 4.10   | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคาบเวลาและอัตราการไหลของน้ำ           | 61 |
| 4.11   | ระดับน้ำที่วัดได้เมื่อหมุนวาล์วน้ำไปที่ 30 องศา                      | 62 |
| 4.12   | ระดับน้ำที่วัดได้เมื่อหมุนวาล์วน้ำไปที่ 45 องศา                      | 63 |
| 4.13   | ระดับน้ำที่วัดได้เมื่อหมุนวาล์วน้ำไปที่ 60 องศา                      | 63 |
| 4.14   | สถานีพักน้ำที่ใช้ในการทดลอง  | 65 |
| 4.15   | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำกับระดับน้ำ                  | 66 |
| 4.16   | การชั่งน้ำหนักดินตัวอย่างและตวงปริมาตรน้ำสำหรับการทดลอง              | 67 |
| 4.17   | ค่าความชื้นในดินตัวอย่างเมื่อดินแห้ง                                 | 67 |
| 4.18   | ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 10 มิลลิลิตร                     | 68 |
| 4.19   | ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 20 มิลลิลิตร                     | 69 |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 4.20 ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 30 มิลลิลิตร                                 | 69   |
| 4.21 ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 40 มิลลิลิตร                                 | 70   |
| 4.22 ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร                                 | 71   |
| 4.23 ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 60 มิลลิลิตร                                 | 71   |
| 4.24 ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 70 มิลลิลิตร                                 | 72   |
| 4.25 ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 80 มิลลิลิตร                                 | 73   |
| 4.26 ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 90 มิลลิลิตร                                 | 73   |
| 4.27 ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร                                | 74   |
| 4.28 ค่าความชื้นในน้ำสะอาด  | 75   |
| 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันเซนเซอร์วัดความชื้นในดินกับ<br>ปริมาตรน้ำในดิน | 76   |
| 4.30 ค่าของगेजวัดความเครียดเมื่อไม่มีแรงกระทำ   | 77   |
| 4.31 ค่าของगेजวัดความเครียดเมื่อมีแรงบีบกระทำ   | 78   |
| 4.32 ค่าของगेजวัดความเครียดเมื่อมีแรงดึงกระทำ   | 79   |
| 4.33 ค่าของगेजวัดความเครียดผ่านวงจรถายเมื่อไม่มีแรงกระทำ                              | 80   |
| 4.34 ค่าของगेजวัดความเครียดผ่านวงจรถายเมื่อมีแรงบีบกระทำ                              | 81   |
| 4.35 ค่าของगेजวัดความเครียดผ่านวงจรถายเมื่อมีแรงดึงกระทำ                              | 81   |
| 4.36 การประมวลผลค่าความเครียดโดยไมโครคอนโทรลเลอร์                                     | 83   |
| 4.37 ลักษณะการติดตั้งगेजวัดความเครียดในอุปกรณ์  | 84   |
| 4.38 ระนาบทิศทางการติดตั้งगेजวัดความเครียด  | 84   |
| 4.39 แถบแสดงค่าอาร์เอสเอสไอในหน่วยมิลลิเดซิเบล  | 86   |
| 4.40 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและค่าอาร์เอสเอสไอที่วัดได้                      | 87   |
| 4.41 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างภายในอาคารและค่าอาร์เอสเอสไอที่<br>วัดได้         | 89   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ |   | หน้า |
|--------|---|------|
| 4.42   | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างบริเวณทางคู่ขนานทางด่วนและค่าอาร์เอสเอสไอที่วัดได้ | 90   |
| 4.43   | การจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลผ่านส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้                       | 91   |
| 4.44   | ผลการทำงานโต้ตอบระหว่างจีพีอาร์เอสโมดูลและคอมพิวเตอร์                             | 92   |
| 4.45   | ข้อความที่จีพีอาร์เอสโมดูลส่งมายังโทรศัพท์มือถือหมายเลขที่กำหนด                   | 92   |
| 4.46   | ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้รับข้อมูลสำหรับสั่งการจีพีอาร์เอสโมดูล                | 93   |
| 4.47   | ข้อความสั้นที่จีพีอาร์เอสโมดูลทำการแจ้งเตือนภัย                                   | 93   |
| 4.48   | ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้สำหรับใช้งานในระบบ                                    | 94   |
| 4.49   | การสั่งการส่งข้อความจีพีอาร์เอสโมดูลด้วยส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้              | 94   |
| 4.50   | ระบบเตือนอุทกภัยรวม   | 95   |
| 4.51   | การจำลองการทำงานของระบบเตือนอุทกภัย   | 96   |
| 4.52   | ลักษณะข้อความแจ้งเตือนอุทกภัย   | 96   |
| 4.53   | ระบบเตือนดินถล่มรวม   | 97   |
| 4.54   | การจำลองการทำงานของระบบเตือนดินถล่ม   | 98   |
| 4.55   | ลักษณะข้อความแจ้งเตือนดินถล่ม   | 98   |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า   |    |
|----------|--|----|
| 2.1      | ช่วงค่าระดับความชื้นในดิน  | 11 |
| 2.2      | สัญญาณพื้นฐานของ RS-232 ที่กำหนดให้แต่ละขาคอนเนคเตอร์                      | 16 |
| 2.3      | ตัวอย่างคำสั่งพื้นฐานเอทีคอมมานด์  | 22 |
| 4.1      | ระดับแรงดันที่วัดได้จากการทำงานของเซนเซอร์เมื่อระดับน้ำถึงระดับที่ 1       | 54 |
| 4.2      | ระดับแรงดันที่วัดได้จากการทำงานของเซนเซอร์เมื่อระดับน้ำถึงระดับที่ 2       | 55 |
| 4.3      | ระดับแรงดันที่วัดได้จากการทำงานของเซนเซอร์เมื่อระดับน้ำถึงระดับที่ 3       | 56 |
| 4.4      | ระดับแรงดันที่วัดได้จากการทำงานของเซนเซอร์เมื่อระดับน้ำถึงระดับที่ 4       | 57 |
| 4.5      | ระดับสัญญาณแรงดันขาออกสำหรับระดับน้ำแต่ละระดับ                             | 57 |
| 4.6      | ค่าความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคาบเวลา ความถี่และอัตราการไหลของน้ำ              | 60 |
| 4.7      | ค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับองศาในการหมุนวาล์วน้ำกับอัตราการไหลของน้ำ       | 64 |
| 4.8      | ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและระดับน้ำ                            | 65 |
| 4.9      | ค่าที่เซนเซอร์วัดความชื้นในดินสามารถทำการวัดได้ในแต่ละเงื่อนไข             | 75 |
| 4.10     | สรุปค่าการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันของเกจวัดความเครียด                        | 79 |
| 4.11     | สรุปค่าการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันของเกจวัดความเครียดเมื่อมีการขยายสัญญาณ    | 82 |
| 4.12     | ค่าการทำงานของเกจวัดความเครียดในทิศทางต่างๆ                                | 85 |
| 4.13     | ค่าอาร์เอสเอสไอที่วัดได้ในแต่ละชั้นภายในอาคารเรียนรวม 12 ชั้น              | 87 |
| 4.14     | ค่าอาร์เอสเอสไอที่วัดได้ในแต่ละระยะห่างตามแนวยาวภายในอาคารเรียนรวม 12 ชั้น | 88 |
| 4.15     | ค่าอาร์เอสเอสไอที่วัดได้ในแต่ละระยะห่างตามทางคู่ขนานทางด่วน                | 90 |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาอุทกภัยและดินถล่มเป็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นในประเทศไทยอย่างต่อเนื่องเป็นประจำทุกปี เช่น ปัญหาอุทกภัยในฤดูน้ำหลากในพื้นที่ภาคกลาง หรือปัญหาดินถล่มในจังหวัดภาคใต้ และภาคเหนือ โดยมีเหตุการณ์ที่สำคัญคือ เหตุการณ์มหาอุทกภัยในปีพ.ศ. 2554 ที่ผ่านมา ซึ่งส่งผลกระทบต่อผู้คนที่ไม่ทราบข้อมูลข่าวสารที่ทันเหตุการณ์เพียงพอ เนื่องจากไม่มีการแจ้งเตือนเกี่ยวกับเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้า ทำให้ไม่สามารถเตรียมพร้อมรับมือกับปัญหาได้อย่างทันท่วงที จึงก่อให้เกิดความเสียหายเป็นอย่างมากต่อชีวิตและทรัพย์สิน

ด้วยเหตุนี้ ปริญญาานิพนธ์นี้จึงต้องการหาวิธีแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการพัฒนาาระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่ม และประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารไร้สายในการส่งข้อมูลเพื่อความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสำหรับการแจ้งเตือนเหตุการณ์ได้อย่างทันท่วงที

### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาหลักการทำงานของระบบเตือนอุทกภัย และพัฒนาระบบต้นแบบที่สามารถสร้างเองได้อย่างง่าย
- 2) เพื่อศึกษาหลักการทำงานของระบบเตือนดินถล่ม และพัฒนาระบบต้นแบบที่สามารถสร้างเองได้อย่างง่าย
- 3) เพื่อเขียนคำสั่งการทำงานให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับควบคุมการทำงานของระบบ
- 4) เพื่อศึกษาโมดูลส่งสัญญาณไร้สาย และชุดคำสั่งที่เกี่ยวข้อง
- 5) เพื่อพัฒนาระบบจัดเก็บข้อมูลบนเซิร์ฟเวอร์
- 6) เพื่อโปรแกรมชุดคำสั่งจีพีอาร์เอสโมดูล สำหรับการแจ้งเตือน

### 1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์

ออกแบบและจำลองระบบแจ้งเตือนอุทกภัยและดินถล่ม โดยในปริญญาานิพนธ์นี้จะประกอบไปด้วยสามส่วนหลักด้วยกัน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนของระบบเซนเซอร์ตรวจวัดสำหรับเตือนอุทกภัยและดินถล่ม โดยทำการพัฒนาอุปกรณ์เซนเซอร์ต้นแบบเพื่อตรวจวัดระดับน้ำและความเร็วน้ำ และเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นในดินและการยึดเกาะผิวดิน ส่วนที่สองเป็นส่วนของการรับ-ส่งข้อมูลแบบไร้สาย โดยเขียนโปรแกรมคำสั่งบนไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อรับข้อมูลจากเซนเซอร์ และประมวลผลการทำงานแล้วส่งข้อมูลผ่านโมดูลไร้สายไปยังเซิร์ฟเวอร์ และส่วนที่สามเป็นส่วนของการจัดเก็บข้อมูลและแสดงผลแจ้งเตือน โดยการรับข้อมูลจากโมดูลไร้สายมาเก็บไว้ยังเซิร์ฟเวอร์และประมวลผลแสดงข้อมูลแจ้งเตือนผ่านจีพีอาร์เอสโมดูล

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

สำหรับปฏิญญาฉบับ “ระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่ม” ได้ทำการพัฒนาส่วนของระบบเซนเซอร์ตรวจวัดต้นแบบ และใช้เทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกโปรแกรมด้วยภาษาซี (C) เนื่องจากเป็นภาษาที่ใช้งานได้ง่ายและนิยมกันอย่างกว้างขวาง โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นส่วนกลางการทำงานของระบบที่เชื่อมต่อกับส่วนของเซนเซอร์สำหรับแจ้งเตือนการเกิดอุทกภัย และส่วนของเซนเซอร์สำหรับแจ้งเตือนการเกิดดินถล่ม เพื่อทำการส่งข้อมูลแบบไร้สายไปยังคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์แล้วแสดงผลข้อมูลแจ้งเตือนผ่านจีพีอาร์เอสโมดูล เพื่อความรวดเร็วในการแจ้งเตือนภัยที่กำลังจะเกิด ดังนั้น ปฏิญญาฉบับนี้จึงมีหลักการที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

#### 2.1 อุทกภัย

อุทกภัย คือ ภัยอันตรายอันเกิดจากสภาวะที่น้ำไหลเอ่อล้นฝั่งแม่น้ำ ลำธาร หรือทางน้ำ เข้าท่วมพื้นที่ซึ่งโดยปกติแล้วไม่ได้อยู่ใต้ระดับน้ำ หรือเกิดการสะสมน้ำบนพื้นที่ระบายออกไม่ทัน ทำให้พื้นที่นั้นปกคลุมไปด้วยน้ำ โดยทั่วไปแล้วอุทกภัยมี 2 ลักษณะใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

##### 2.1.1 น้ำท่วมขัง/น้ำล้นตลิ่ง

เป็นสภาวะน้ำท่วมที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบระบายน้ำไม่ทัน มักเกิดขึ้นในบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำและบริเวณชุมชนเมืองใหญ่ๆ มักเกิดจากการที่ฝนตกหนัก ณ บริเวณนั้นๆ ติดต่อกันเป็นเวลานาน สำหรับความเสียหายนั้นจะไม่มากนัก เพราะสามารถเคลื่อนย้ายสิ่งของไปยังสถานที่ปลอดภัยได้ เนื่องจากน้ำท่วมขังจะมีลักษณะแบบค่อยเป็นค่อยไป

##### 2.1.2 น้ำท่วมฉับพลัน

เป็นสภาวะน้ำท่วมที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลันในพื้นที่ เนื่องจากฝนตกหนักในบริเวณพื้นที่ที่มีความชันมากและมีคุณสมบัติในการกักเก็บหรือการตื้นน้ำน้อย โดยน้ำท่วมฉับพลันมักเกิดขึ้นหลังจากฝนตกหนักไม่เกิน 6 ชั่วโมง และมักเกิดขึ้นในบริเวณที่ราบระหว่างหุบเขา ซึ่งอาจจะไม่มีฝนตกหนักในบริเวณนั้นมาก่อนเลย แต่มีฝนตกหนักมากบริเวณต้นน้ำที่อยู่ห่างออกไป เนื่องจากน้ำท่วมฉับพลันมีความรุนแรงและเคลื่อนที่ด้วยความรวดเร็วมาก โอกาสที่จะป้องกันและหลบหนีจึงมีน้อย ดังนั้น ความเสียหายจากน้ำท่วมฉับพลันจึงมีมากทั้งแก่ชีวิตและทรัพย์สิน

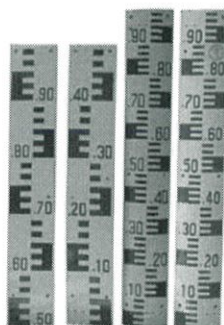
## 2.2 การวัดระดับน้ำ

การวัดระดับน้ำ ถือเป็นปัจจัยสำคัญในการที่จะทำการเฝ้าระวังการเกิดอุทกภัย เพราะระดับน้ำที่สูงผิดปกตินั้น ควรได้รับการเฝ้าระวังเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาน้ำเอ่อล้นและไหลป่าในที่สุด ซึ่งการวัดระดับน้ำนั้นสามารถวัดได้โดยการเทียบกับระดับอ้างอิงที่ใดที่หนึ่ง เช่น เทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean sea level) หรือเทียบกับระดับท้องน้ำ เป็นต้น ซึ่งการวัดระดับน้ำที่มักใช้ในงานอุทกวิทยามี 3 วิธี คือ การวัดระดับน้ำแบบไม่บันทึกข้อมูลต่อเนื่อง การวัดระดับน้ำแบบบันทึกข้อมูลต่อเนื่อง และการวัดระดับน้ำสูงสุด ซึ่งมีรายละเอียดของเครื่องมือวัดระดับน้ำแต่ละชนิดดังนี้

### 2.2.1 เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบไม่บันทึกข้อมูลต่อเนื่อง

เครื่องมืออย่างง่ายสำหรับวัดระดับน้ำแบบไม่บันทึกข้อมูลต่อเนื่องมี 2 ลักษณะ คือ

2.2.1.1 แผ่นวัดระดับน้ำ (Staff gauge) เป็นแผ่นวัดระดับน้ำที่มีขีดบอกระดับน้ำ มักจะใช้อ่านระดับน้ำวันละ 1 ถึง 2 ครั้ง ด้วยสายตามนุษย์ ซึ่งลักษณะของแผ่นวัดระดับน้ำนั้น แสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผ่นวัดระดับน้ำ [1]

2.2.1.2 เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบใช้เส้นลวดและลูกตุ้มน้ำหนัก (Wire-weight gauge) มีลักษณะประกอบด้วยเส้นลวดที่มีขีดบอกระยะพันอยู่รอบเพลาหมุน โดยที่ปลายเส้นลวดจะมีตุ้มน้ำหนัก วิธีวัดระดับน้ำ จะทำการปล่อยตุ้มน้ำหนักลงมาจากระดับอ้างอิง แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบใช้เส้นลวดและลูกตุ้มน้ำหนัก [1]

### 2.2.2 เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบบันทึกข้อมูลต่อเนื่อง

เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบบันทึกข้อมูลต่อเนื่องเป็นเครื่องมือที่สามารถบันทึกข้อมูลระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาลงบนกระดาษกราฟได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเครื่องมือวัดระดับน้ำแบบบันทึกข้อมูลต่อเนื่องที่นิยมใช้มี 2 แบบ คือ เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบลูกลอย (Floating-gauge recorder) และเครื่องมือวัดระดับน้ำแบบใช้ฟองอากาศ (Bubble gauge) ดังนี้คือ

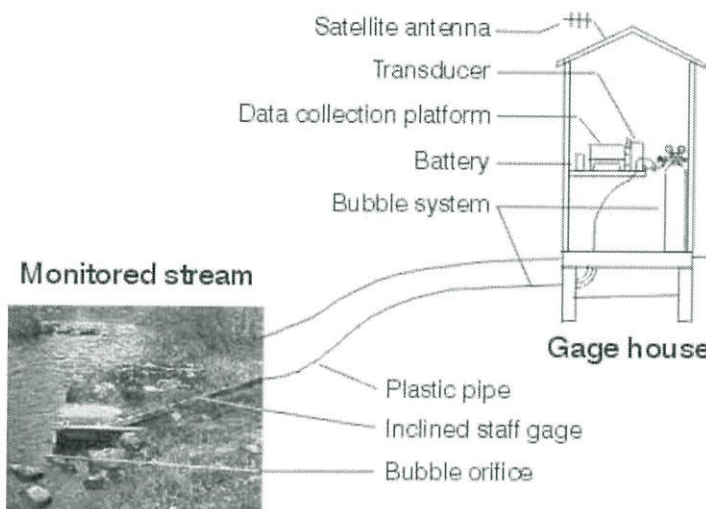
2.2.2.1 เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบลูกลอย มักจะติดตั้งอยู่ในสถานีวัดระดับน้ำ ซึ่งมีท่อนำน้ำจากแม่น้ำเข้ามายังบ่อน้ำนิ่งที่มีลูกลอยของเครื่องบันทึกระดับน้ำ ลอยตามการขึ้นลงของระดับน้ำที่ทำการตรวจวัด ลักษณะดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบลูกลอย [1]

2.2.2.2 เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบใช้ฟองอากาศ เป็นเครื่องมือวัดระดับน้ำที่ใช้ถังบรรจุก๊าซไนโตรเจนแห้งปล่อยแรงดันผ่านท่อที่ปลายอยู่ใต้ผิวน้ำ ซึ่งความดันที่ปลายท่อจะ

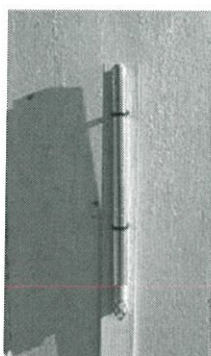
ก่อให้เกิดฟองอากาศออกมาและสามารถแปลงเป็นความสูงน้ำ ดังนั้นจึงทำให้ทราบระดับน้ำในเครื่องบันทึกได้ ลักษณะดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เครื่องมือวัดระดับน้ำแบบใช้ฟองอากาศ [1]

### 2.2.3 เครื่องมือวัดระดับน้ำสูงสุด

การติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำสูงสุดจะเริ่มจากนำท่อเหล็กอบสังกะสีไปติดตั้งในลำน้ำ โดยด้านล่างอยู่ที่ระดับอ้างอิง หรือระดับที่เทียบกับระดับอ้างอิงของลำน้ำ จากนั้นก็นำไม้วัดระดับน้ำใส่ลงไปในห้อง แล้วจึงนำเศษไม้ก๊อกหรือผงไม้ใส่เข้าไปในห้อง เมื่อมีเหตุการณ์น้ำหลาก น้ำในลำน้ำจะไหลเข้ามาตามรูเล็กๆ ทำให้เศษไม้ก๊อกหรือผงไม้ลอยขึ้นแล้วไปเกาะที่ไม้วัดระดับน้ำ ทำให้สามารถอ่านระดับน้ำสูงสุดได้ตามต้องการ เมื่อต้องการตรวจวัดในครั้งต่อไป ก็ทำได้โดยล้างไม้วัดระดับน้ำให้สะอาด แล้วนำไม้วัดระดับน้ำและเศษไม้ก๊อกหรือผงไม้ใส่ลงไปในห้องเหล็กอบสังกะสีเพื่อวัดระดับน้ำสูงสุดต่อไปได้ ลักษณะดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เครื่องมือวัดระดับน้ำสูงสุด [1]

## 2.3 การวัดความเร็วน้ำ

การวัดความเร็วน้ำ เป็นข้อมูลที่สำคัญในหลายลักษณะงานไม่ว่าจะเป็นการวัดเพื่อหาค่าอัตราการไหลของน้ำ เพื่อวิเคราะห์การกัดเซาะและการตกตะกอนเพื่อการป้องกันตลิ่งแม่น้ำ เป็นต้น ซึ่งการวัดความเร็วน้ำที่ใช้กันทั่วไปมี 2 แบบ คือ การวัดความเร็วน้ำโดยใช้ทุ่นลอยน้ำ (Floats method) และการวัดความเร็วน้ำด้วยเครื่องมือวัดความเร็วน้ำ (Current meter method) นอกจากนี้ ยังมีเครื่องมือวัดความเร็วของกระแสน้ำด้วยคลื่นเสียง (Acoustic Doppler) ซึ่งมีรายละเอียดการวัดความเร็วน้ำแต่ละแบบดังนี้

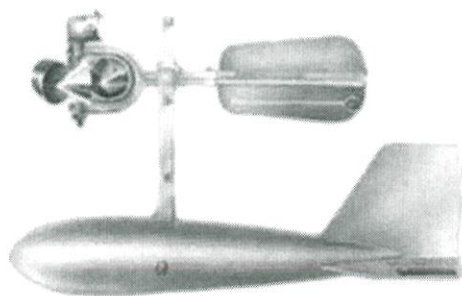
### 2.3.1 การวัดความเร็วน้ำโดยใช้ทุ่นลอยน้ำ

การวัดความเร็วของกระแสน้ำโดยใช้ทุ่นลอยน้ำ เป็นวิธีการวัดความเร็วน้ำโดยการประมาณ ซึ่งเหมาะสำหรับในกรณีที่ทางน้ำอยู่ในแนวตรงมีหน้าตัดสม่ำเสมอ ผิวน้ำมีแนวการไหลที่ไม่มีคลื่นกระแสน้ำตัดผ่านไปมา ไม่มีพืชน้ำหรือโขดหินขวางทาง และไม่มีอิทธิพลของกระแสน้ำต่อการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย

### 2.3.2 การวัดความเร็วน้ำด้วยเครื่องมือวัดความเร็วน้ำ

เครื่องมือวัดความเร็วน้ำมี 2 ชนิด คือ เครื่องมือวัดความเร็วน้ำแบบกรวยหมุน (Cup-type current meter) และเครื่องมือวัดความเร็วแบบใบพัด (Propeller type current meter) โดยมีลักษณะการใช้งานดังต่อไปนี้

2.3.2.1 เครื่องมือวัดความเร็วน้ำแบบกรวยหมุน มีทั้งแบบสำหรับใช้งานในห้องปฏิบัติการ ในร่องน้ำขนาดเล็ก โดยจะมีเครื่องมือวัดความเร็วน้ำติดอยู่กับเสากลมที่สามารถวัดค่าระดับน้ำที่ความลึกต่างๆ และแบบที่ใช้ในแม่น้ำหรือคลองขนาดใหญ่ จะมีทุ่นน้ำหนักถ่วงและตัวเครื่องจะผูกยึดโยงด้วยลวดสลิงที่สามารถวัดได้ที่ความลึกน้ำต่างๆ เช่นกัน โดยลักษณะดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เครื่องมือวัดความเร็วน้ำแบบกรวยหมุน [2]

2.3.2.2 เครื่องมือวัดความเร็วน้ำแบบใบพัด มีทั้งแบบที่ใช้วัดความเร็วน้ำไม่มาก จะมีใบพัดขนาดเล็ก และแบบที่ใช้วัดความเร็วน้ำมาก มีหลักการวัดความเร็วน้ำเหมือนกับเครื่องมือวัดความเร็วน้ำแบบกรวยหมุน แต่ใบพัดจะหมุนรอบแกนเพลลาที่วางอยู่ในแนวนอน ดังรูปที่ 2.7 และลักษณะเครื่องมือมีความทนทานกว่าเครื่องมือวัดความเร็วน้ำแบบกรวยหมุน



รูปที่ 2.7 เครื่องมือวัดความเร็วน้ำแบบใบพัด [2]

### 2.3.3 การวัดความเร็วน้ำด้วยคลื่นเสียง

เป็นเครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำ โดยใช้เทคนิคความแตกต่างของความถี่คลื่นเสียง โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อคลื่นเดินทางผ่านน้ำที่ไหลด้วยความเร็ว ความถี่จะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นกับความเร็วของน้ำ หากมีตัวกำเนิดความถี่คลื่นเสียงและตรวจจับเสียงที่สะท้อนกลับผ่านกระแสน้ำก็สามารถหาความเร็วของกระแสน้ำได้ ข้อดีของเครื่องมือวัดความเร็วด้วยคลื่นเสียง คือสามารถวัดความเร็วกระแสน้ำได้หลายระดับในเวลาเดียวกันและทำงานได้ดีในอุณหภูมิต่างๆ และสามารถตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำระหว่าง 0-5 เมตรต่อวินาที

## 2.4 ดินถล่ม

ดินถล่มเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดจากการสีกกร่อนบริเวณพื้นที่เนินสูงหรือภูเขาที่มีความลาดชัน ทำให้เกิดการเสียมดุลในการทรงตัวของบริเวณดังกล่าว จนเกิดการปรับตัวของพื้นดินต่อแรงดึงดูดของโลก และเกิดการเคลื่อนตัวขององค์ประกอบธรณีวิทยาบริเวณนั้นจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ โดยแผ่นดินถล่มมักเกิดหลังจากที่มีฝนตกหนักมาก ซึ่งดินบริเวณนั้นจะอุ้มน้ำไว้จนเกิดการอิ่มตัวและเป็นสาเหตุทำให้เกิดการพังทลาย

### 2.4.1 การจำแนกชนิดของดินถล่ม

เกณฑ์ในการจำแนกชนิดของดินถล่มและการพังทลายของลาดเขามีหลายอย่าง โดยส่วนมากที่ใช้แล้วจะนิยมใช้การแบ่งตามลักษณะการเคลื่อนตัวและแบ่งตามลักษณะของวัสดุที่ร่วงหล่นลงมา ทั้งนี้สามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

#### 2.4.1.1 การจำแนกตามลักษณะการเคลื่อนตัว

- 1) แผ่นดินถล่มที่เคลื่อนตัวอย่างช้าๆ (Creep)
- 2) แผ่นดินถล่มที่เคลื่อนตัวอย่างรวดเร็ว (Slide or Flow)
- 3) แผ่นดินถล่มที่เคลื่อนตัวอย่างฉับพลัน (Fall Rock Fall)

#### 2.4.1.2 การจำแนกตามลักษณะของวัสดุที่ร่วงหล่นลงมา

- 1) แผ่นดินถล่มที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของผิวหน้าดินของภูเขา
- 2) แผ่นดินถล่มที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ยังไม่แข็งตัว
- 3) แผ่นดินถล่มที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของชั้นหิน

### 2.4.2 แผ่นดินถล่มในประเทศไทย

ส่วนใหญ่แผ่นดินถล่มในประเทศไทยมักเกิดภายหลังฝนตกหนักบริเวณภูเขาซึ่งเป็นต้นน้ำลำธารและมีความลาดชัน โดยเฉพาะในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเนื่องมาจากพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนผ่านในระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม ในขณะที่ภาคใต้จะเกิดในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม ทั้งนี้ ความรุนแรงของแผ่นดินถล่ม มีองค์ประกอบคือ ปริมาณฝนที่ตกบนภูเขา ความลาดชันของภูเขา ความสมบูรณ์ของป่าไม้และลักษณะทางธรณีวิทยาของภูเขา

### 2.4.3 ปัจจัยการเกิดดินถล่มในประเทศไทย

ดินถล่มที่เกิดขึ้นในประเทศไทยมักเกิดจากปัจจัยหลัก 4 ประการ ดังนี้

#### 2.4.3.1 สภาพธรณีวิทยา

โดยปกติชั้นดินที่เกิดการถล่มลงมาจากภูเขา เป็นชั้นดินที่เกิดจากการผุกร่อนของหินให้เกิดเป็นดิน โดยหินแต่ละชนิดเวลาผุจะทำให้ดินต่างชนิดกันและความหนาต่างกัน คุณสมบัติของดินในการยึดเกาะระหว่างเม็ดดินและค่าแรงต้านทานการไหลของดินก็จะแตกต่างกันตามชนิดของดินนั้นๆ ด้วย ซึ่งทำให้ไหล่เขาที่มีความลาดชันไม่เท่ากันและต้นไม้ที่ขึ้นตามธรรมชาติจะต่างชนิดกันตามชนิดของชั้นดินและความสูงของภูเขา

นอกจากชนิดของหินแล้ว ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา เช่น รอยเลื่อน รอยแตก และทิศทางการวางตัวของชั้นหินจะมีผลต่อการผุพัง โดยเฉพาะบริเวณรอยเลื่อนมีพลังจะมีการผุพังสูง เนื่องจากมวลหินที่รอยแตกนั้นจะมีช่องว่างให้น้ำและอากาศผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยาทาง

เคมีให้หินผุพังได้ง่าย ชั้นหินในบางบริเวณหากมีการแทรกดันของหินอัคนีแทรกซอน หรือบริเวณที่มีน้ำพุร้อน หรือมีสายแร่จากสายน้ำแร่ร้อน จะทำให้หินมีอัตราการผุพังยิ่งขึ้นไปอีกเพราะความร้อนและสารละลายน้ำแร่ร้อนที่มาจากหินอัคนีแทรกซอนจะไปทำปฏิกิริยา ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในเนื้อหิน

#### 2.4.3.2 สภาพภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศเป็นผลที่เกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก การผุพังที่แตกต่างกันของชั้นหินและลักษณะการวางตัวของโครงสร้างชั้นหิน เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของดินบนภูเขา ค่าความลาดชันจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับเสถียรภาพของดินที่อยู่บนภูเขา กล่าวคือยิ่งบริเวณใดที่มีความลาดชันสูง ยิ่งมีโอกาสดินจะเกิดการสูญเสียดินเสถียรภาพและเคลื่อนที่ลงมาตามความลาดชันของภูเขาได้มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งชั้นดินทรายร่วนที่ไม่มีแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดดินจะมีโอกาสถล่มลงมาได้ นอกจากนี้ ลักษณะภูมิประเทศที่เป็นร่องเขาหน้ารับน้ำฝนเป็นบริเวณที่น้ำฝนไหลมารวมกันจะทำให้ปริมาณน้ำในมวลดินสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และทำให้บริเวณพื้นดินมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดดินลดลง มีโอกาสเกิดการเคลื่อนตัวและถล่มลงมาได้มากกว่าพื้นที่ที่ไม่ใช่ร่องเขาหน้ารับน้ำฝน

#### 2.4.3.3 ปริมาณน้ำฝน

ดินถล่มที่เคยเกิดขึ้นในประเทศไทย มักเกิดขึ้นเมื่อฝนตกหนักเป็นเวลานาน โดยน้ำฝนจะไหลซึมลงไปในพื้นที่ดินจนกระทั่งชั้นดินชุ่มน้ำ ไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ โดยน้ำได้เข้าไปแทนที่ช่องว่างระหว่างเม็ดดินทำให้แรงยึดเกาะระหว่างเม็ดดินลดน้อยลง ส่งผลให้ดินมีกำลังรับแรงต้านทานการไหลและความดันของน้ำในดิน ดันให้ดินมีการเคลื่อนที่ลงมาตามลาดเขาได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้แล้ว หากระดับน้ำในชั้นดินสูงขึ้นมาที่ระดับผิวดินจะเกิดการไหลบนผิวดินและกัดเซาะหน้าดินแล้วความปลอดภัยของลาดดินจะลดลงและเริ่มมีการเคลื่อนตัวตามระนาบของการเคลื่อนตัวของดิน และหากฝนตกต่อเนื่องเป็นระยะเวลาออกไป น้ำจะไหลลงไปบนระนาบของรอยการเคลื่อนตัวและชะล้างเม็ดดินที่เป็นดินเหนียวออกไปตามแนวระนาบทำให้ค่าแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดดินบริเวณระนาบการเคลื่อนตัวลดลงไปอย่างมาก ก่อให้เกิดดินถล่มลงมาตามความลาดชันของไหล่เขา

#### 2.4.3.4 สภาพสิ่งแวดลอม

นอกจากพื้นที่เกิดดินถล่มส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภูเขาสูงชันแล้วยังพบว่าหลายพื้นที่ มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการบุกรุกทำลายป่าไม้เพื่อทำไร่และทำการเกษตรบนที่สูง จากการศึกษาพบว่าอิทธิพลของรากพืชช่วยเพิ่มค่ากำลังรับแรงต้านทานการไหลของมวลดินเฉพาะในส่วนที่รากไม้ยังลึกลงไปถึงเท่านั้น และมีความหนาแน่นของดินมาก หากเกิดการเฉือนของระนาบอยู่ลึกลงไปมากกว่าชั้นดินที่รากไม้จะหยั่งถึง รากไม้นั้นก็ไม่มีส่วนช่วยใดๆ ในกำลังรับแรงต้านทาน

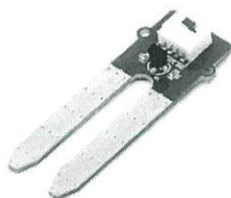
การไหลของดิน กำลังรับแรงต้านทานการไหลของดินทั้งหมดก็จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน และแรงเสียดทานระหว่างเม็ดดินของชนิดดินนั้นๆ ดังที่เราจะเห็นได้ว่าเมื่อมีเหตุการณ์ดินถล่มบางพื้นที่ที่เป็นป่าสมบูรณ์ ดินโคลนจะถล่มลงมาพร้อมต้นไม้ โดยการเลื่อนไถลของต้นไม้ซึ่งเคลื่อนที่ลงไปในขณะที่ลำต้นยังคงตั้งตรงอยู่ในแนวตั้ง นอกจากคุณสมบัติในการเพิ่มกำลังรับแรงต้านทานการไหลของดินแล้ว รากพืชยังมีส่วนในการดูดซึมเอาน้ำที่ไหลลงไปดินให้มีปริมาณลดลงหรือชะลอการอิมตัวของดินอีกทางหนึ่ง

## 2.5 อุปกรณ์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

สำหรับอุปกรณ์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องนั้น จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบแจ้งเตือนอุทกภัยและดินถล่ม โดยมีการนำเอาหลักการอุปกรณ์และเทคโนโลยีเข้ามาใช้ ดังต่อไปนี้

### 2.5.1 เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

เนื่องจากความชื้นในดินเป็นส่วนระหว่างมวลของน้ำในดินกับมวลของดินแห้ง ทำให้การวัดค่าความชื้นในดินสามารถบอกปริมาณของน้ำในดินได้ ซึ่งหากดินมีความชื้นมากจะทำให้มีปริมาณน้ำในดินมาก และส่งผลต่อความสามารถในการยึดเกาะตัวของดิน ดังนั้น ปริญญาณิพนธ์นี้จึงใช้ความชื้นในดินเป็นปัจจัยหนึ่งในการตรวจสอบสถานการณ์เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม โดยใช้เซนเซอร์วัดความชื้นในดินเป็นเครื่องมือในการวัดค่า ทั้งนี้เซนเซอร์วัดความชื้นในดินที่ใช้ในการศึกษาแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน Grove-Moisture Sensor [4]

จากรูปที่ 2.8 เป็นเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน Grove-Moisture Sensor ต้นแบบสำหรับการศึกษา ซึ่งเซนเซอร์ดังกล่าว เป็นเซนเซอร์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายและหาซื้อได้ง่าย สามารถทำงานได้ที่ระดับแรงดันตั้งแต่ช่วง 3-5 โวลต์ ทั้งนี้ระดับช่วงค่าความชื้นในดินที่วัดได้ จะมีค่าเป็นระดับแรงดันที่มีการควอนไทซ์ (Quantized) จากระดับแรงดัน 0-5 โวลต์ มาเป็นความละเอียดที่ 10 บิต โดยแบ่งได้เป็น 3 ช่วงค่า สำหรับบอกลักษณะดิน ทั้งนี้แสดงช่วงค่าดังกล่าวดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ช่วงค่าระดับความชื้นในดิน

| ลักษณะดิน | ค่าสัญญาณขาออก<br>(ระดับแรงดันที่ผ่านการควอนไทซ์ด้วยความละเอียด 10 บิต) |
|-----------|---|
| ดินแห้ง   | 0-300   |
| ดินชื้น   | 300-700   |
| น้ำ       | 700-950   |

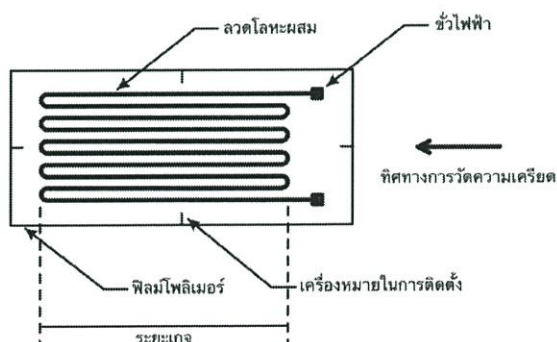
จากตารางที่ 2.1 แสดงช่วงค่าปริมาณน้ำในดินที่เซนเซอร์วัดได้ ซึ่งนำมาใช้ในการแบ่งลักษณะของดิน

### 2.5.2 เกจวัดความเครียด

เกจวัดความเครียด (strain gauge) เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดความเครียดที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุเมื่อถูกแรงกระทำ ซึ่งคุณสมบัติและการใช้งานเกจวัดความเครียดนั้น มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 2.5.2.1 ลักษณะของเกจวัดความเครียด

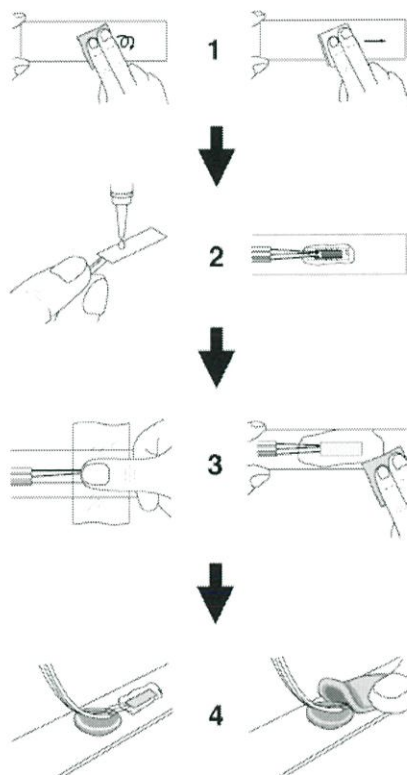
ลักษณะของเกจวัดความเครียดนั้นประกอบไปด้วยขดลวดที่ทำจากโลหะผสมซึ่งมักมีความไวของการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าต่อความเครียด โดยที่ความเครียดนั้นจะแปรผันตามค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไป และมีฟิล์มโพลิเมอร์เป็นตัวสำหรับยึดติดบนผิวของชิ้นส่วนวัสดุที่ต้องการวัดความเครียด ทั้งนี้ลักษณะของเกจวัดความเครียดแสดงได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะของเกจวัดความเครียด [5]

### 2.5.2.2 การติดตั้งเกจวัดความเครียด

การติดตั้งเกจวัดความเครียดที่ดีประกอบด้วย 3 หลักการ คือ ขนาดและทิศทางของความเครียดของวัสดุต้องสามารถถ่ายทอดไปยังเกจวัดความเครียดได้อย่างสมบูรณ์ ไม่เกิดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน และ รักษาความสามารถในการวัดความเครียดได้ในช่วงเวลาที่ต้องการ โดยขั้นตอนการติดตั้งเกจวัดความเครียดแสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะการติดตั้งเกจวัดความเครียด [5]

จากรูปที่ 2.10 การติดตั้งเกจวัดความเครียดมีขั้นตอนการติดตั้งดังต่อไปนี้

1) ทำความสะอาดพื้นผิววัสดุที่ต้องการติดตั้งเกจวัดความเครียด แล้วใช้กระดาษทรายขัดเป็นวงในแนวเดียวกันเพื่อเพิ่มความหยาบให้พื้นผิววัสดุสำหรับการติดกาว

2) ใช้กาวสำหรับติดตั้งเกจวัดความเครียดที่มีความแข็งแรงสูง ทนทาน และสามารถเปลี่ยนแปลงขนาดตามการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุได้ทันที โดยหยดกาวลงบนส่วนล่างของฟิล์มโพลิเมอร์ในปริมาณที่เหมาะสม

3) ใช้แผ่นวัสดุที่มีลักษณะไม่ติดกาว กดทับลงไปบนเกจวัด ความเครียดกับวัสดุที่ต้องการติดตั้ง รอจนกาวแห้งจึงทำการปล่อย

4) ภายหลังจากการติดกาวอาจมีการเคลือบเกจวัดความเครียด ด้วยซีฟิ่ง เพื่อป้องกันความชื้นและการเสื่อมสภาพ

### 2.5.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ATmega168

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เป็นหนึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ผลิตโดยบริษัท ATMEL AVR ทำงานใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูก นับเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพและความสามารถสูง แบ่งออกเป็นหลายอนุกรม ในแต่ละอนุกรมยังแบ่งออกเป็นหลายเบอร์ เพื่อรองรับความต้องการที่แตกต่างของผู้ใช้งาน ในขณะที่ยังคงประสิทธิภาพที่เท่ากัน สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ที่จะใช้ในปริญาณิพจน์นี้จะ เป็นเบอร์ ATmega168 โดยที่รายละเอียดและคุณสมบัติภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega168 มีดังต่อไปนี้

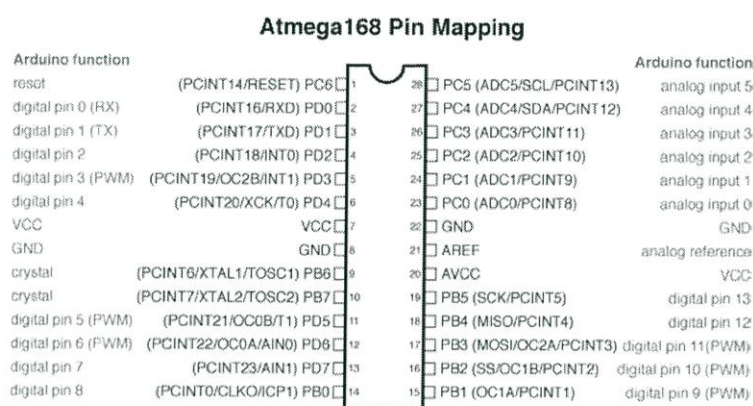
#### 2.5.3.1 คุณสมบัติที่สำคัญ

- บรรจุอยู่ในตัวถังแบบ 28 พิน
- ทำงานได้ด้วยความถี่สูงสุด 20 เมกะเฮิร์ตซ์
- ทำงานใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูก
- มีรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปขนาด 8 บิต จำนวน 32 ตัว
- หน่วยความจำรวม (ROM: Read Only Memory) แบบแฟลช (Flash) (มีโหมดป้องกันหน่วยความจำ) ขนาด 16 กิโลไบต์ (เขียน/ลบได้ 10,000 ครั้ง)
- หน่วยความจำข้อมูลแบบอีพีรอม (EPROM: Erasable Programmable Read Only Memory) (มีโหมดป้องกันหน่วยความจำ) ขนาด 512 กิโลไบต์ (เขียน/ลบได้ 100,000 ครั้ง)
- หน่วยความจำข้อมูลแบบ เอสแรม (SRAM: Static Random-Access Memory) 1 กิโลไบต์ พร้อมพรีสเกล (Pre-Scale) ที่มีระบบตรวจสอบความผิดพลาดในการทำงานของซอฟต์แวร์ (Software)
- มีโมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล (ADC: Analog-to-Digital Converter) ขนาด 10 บิต มากถึง 8 ช่อง โมดูลเปรียบเทียบแรงดันแอนะล็อก (Analog)

- การสื่อสารข้อมูลอนุกรมมีทั้งแบบยูเออาร์ที (UART: Universal Asynchronous Receiver Transmitters) หรือแบบมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS232

2.5.3.2 การพัฒนาโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วย Arduino ซึ่งเป็นเฟิร์มแวร์สำหรับใช้พัฒนาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ในตระกูล AVR โดยภาษาที่ใช้กับบอร์ดนี้จะเป็นลักษณะของภาษาซีและซีพลัสพลัส (C/C++) และมีแหล่งข้อมูลต่างๆ พร้อมให้เรียกใช้งานได้ทันทีมากมาย ครอบคลุมการติดต่อกับอินพุต/เอาต์พุต (Input/Output) ต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง

2.5.3.3 ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตกับ Arduino มีการใช้งานขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตกับ Arduino แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ขาพอร์ต AVR Atmega168 [7]

โดยที่มีรายละเอียดในแต่ละขาพอร์ตดังนี้

Port D (PD0-PD7) : เป็นขาสัญญาณของดิจิตอล [0-7]

Port B (PB0-PB5) : เป็นขาสัญญาณของดิจิตอล [8-13]

Port C (PC0-PC5) : เป็นขาสัญญาณของแอนะล็อก [0-5]

VCC : เป็นขาแรงดันไฟตรง

GND : เป็นขากาวด์ (Ground)

PC6 /RESET : เป็นขารีเซตวงจร

AVCC : เป็นขาแรงดันสำหรับพอร์ต A

AREF : เป็นขาแรงดันแอนะล็อกอ้างอิงสำหรับโมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล

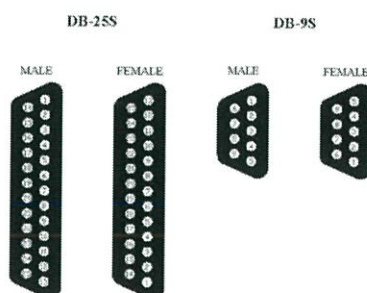
## 2.5.4 การสื่อสารข้อมูล

การสื่อสารข้อมูลเป็นการส่งสัญญาณออกจากอุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณเข้าไปยังอุปกรณ์รับ การถ่ายโอนข้อมูลสามารถจัดจำแนกได้ 2 แบบ คือการถ่ายโอนข้อมูลแบบขนานและการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม

2.5.4.1 ช่องทางสื่อสารแบบขนาน (Parallel Port) คือการถ่ายโอนข้อมูลแบบขนาน เป็นการส่งข้อมูลที่ละ 1 ไบต์ หรือ 8 บิต จากอุปกรณ์ส่งไปยังอุปกรณ์รับ ตัวกลางในการส่งข้อมูลจึงต้องมีช่องทางในการส่งข้อมูลอย่างน้อย 8 ช่องทาง โดยมากจะเป็นสายสัญญาณแบบขนาน ระยะทางของสายสัญญาณแบบขนานระหว่างสองเครื่องไม่ควรยาวเกิน 100 ฟุต เพราะอาจทำให้เกิดปัญหาสัญญาณสูญหายไปกับความต้านทานของสาย นอกจากการส่งข้อมูลหลักแล้ว อาจจะมีทางเดินของสัญญาณควบคุมอื่นๆ อีก

2.5.4.2 ช่องทางสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Port) นั้นจะมีความเร็วในการสื่อสารช้ากว่าแบบขนานเนื่องจากการเคลื่อนย้ายข้อมูลแบบอนุกรมนั้นเป็นการส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต แต่พอร์ตขนานนั้นสามารถส่งข้อมูลที่ละหลายๆ บิตพร้อมๆ กันได้ ข้อดีของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมคือ สามารถส่งข้อมูลได้ในระยะทางที่ไกลกว่าแบบขนาน ซึ่งพอร์ตสื่อสารอนุกรมสามารถสื่อสารแบบเข้าจังหวะ (Synchronous) ซึ่งใช้สัญญาณนาฬิกาในการควบคุมจังหวะของการรับส่งสัญญาณ โดยต้องกำหนดให้สัญญาณนาฬิกาตรงกันทั้งภาคส่งและภาครับ หรือแบบไม่เข้าจังหวะ (Asynchronous) จะใช้รูปแบบของการส่งข้อมูล (Bit Pattern) เป็นตัวกำหนดว่าส่วนไหนเป็นส่วนเริ่มต้นข้อมูล ส่วนไหนเป็นตัวข้อมูล ส่วนไหนจะเป็นตัวตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล และส่วนไหนเป็นส่วนปิดท้ายของข้อมูล ซึ่งถ้าเป็นการสื่อสารแบบไม่เข้าจังหวะจะสามารถทำการส่งข้อมูลและรับข้อมูลไปพร้อมๆ กันได้ ซึ่งการสื่อสารแบบนี้เรียกว่าฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) ซึ่งในการสื่อสารแบบนี้จะใช้สายสัญญาณอินพุต/เอาต์พุตทั้งหมด 2 เส้น ประกอบด้วย สายในการส่งข้อมูล (Tx: Transmitter) และสายในการรับข้อมูล (Rx: Receiver)

2.5.4.3 มาตรฐาน RS232, DB9 และ DB25 คือ โดยปกติไมโครคอมพิวเตอร์จะมีพอร์ตอนุกรมที่เรียกว่า RS232 อยู่ในตัว โดยพอร์ต (Port) นี้ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลในแบบอนุกรม หรือเป็นชนิดของคอนเนคเตอร์ (Connector) คือ DB9 เป็นคอนเนคเตอร์แบบ 9 ขา และ DB25 เป็นคอนเนคเตอร์แบบ 25 ขา ทั้งนี้ลักษณะของคอนเนคเตอร์แบบ DB9 และ DB25 แสดงได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ลักษณะคอนเนคเตอร์แบบ DB9 และ DB25 [8]

โดยแต่ละขาจะมีสัญญาณพื้นฐานของ RS-232 ที่กำหนดให้แต่ละขาคอนเนคเตอร์ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สัญญาณพื้นฐานของ RS-232 ที่กำหนดให้แต่ละขาคอนเนคเตอร์

| Common name | Description         | Pin numbers 25-pin connector | Pin numbers 9-pin connector |
|-------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|
| TxD         | Transmit data       | 2                            | 3                           |
| RxD         | Receive data        | 3                            | 2                           |
| RTS         | Request to send     | 4                            | 7                           |
| CTS         | Clear to send       | 5                            | 8                           |
| DSR         | Data set ready      | 6                            | 6                           |
| SG          | Signal ground       | 7                            | 5                           |
| CD          | Carrier detect      | 8                            | 1                           |
| DTR         | Data terminal ready | 20                           | 4                           |
| RI          | Ring indicator      | 22                           | 9                           |

สามารถอธิบายการทำงานของแต่ละขาที่ใช้งานได้ดังนี้

Transmit Data (TxD) เป็นสัญญาณที่ส่งออกจากอุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทางไปยังโมเด็มหรือต่อกับอุปกรณ์ตัวอื่น เมื่อไม่มีสัญญาณส่งออกสถานะภาพของลอจิกที่ขานี้มีค่าเท่ากับ “1” หรือเทียบเท่ากับบิตหยุด (Stop Bit)

Received Data (RxD) เป็นทางสัญญาณเข้าไปยังอุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทาง หรือไมโครคอมพิวเตอร์ เมื่อไม่มีสัญญาณรับเข้ามาขาขานี้จะมีสถานะภาพลอจิกเป็น “1”

Request to Send (RTS) ใช้สำหรับส่งสัญญาณไปยังโมเด็มหรือเครื่องพิมพ์เป็นการเรียกร้องที่จะส่งสัญญาณมาทาง TD สัญญาณนี้จะใช้คู่กับ CTS ที่อุปกรณ์รับ หากได้รับ สัญญาณ RTS จะตรวจตัวเองว่าพร้อมจะรับสัญญาณได้หรือยัง หากพร้อมก็จะส่งสัญญาณออกไปที่สาย CTS

Clear to Send (CTS) เมื่อสายสัญญาณนี้อยู่ในสภาวะปิด สัญญาณแรงดันติดลบหรือลอจิก (Logic) เป็น “1” หมายความว่า อุปกรณ์รับกำลังบอกว่า พร้อมจะรับข้อมูลแล้ว

Data Set Ready (DSR) เมื่อสายสัญญาณนี้อยู่ในสภาวะเปิด (ลอจิก “0”) จะเป็นการบอกไมโครคอมพิวเตอร์ว่า พร้อมที่จะส่งได้แล้ว

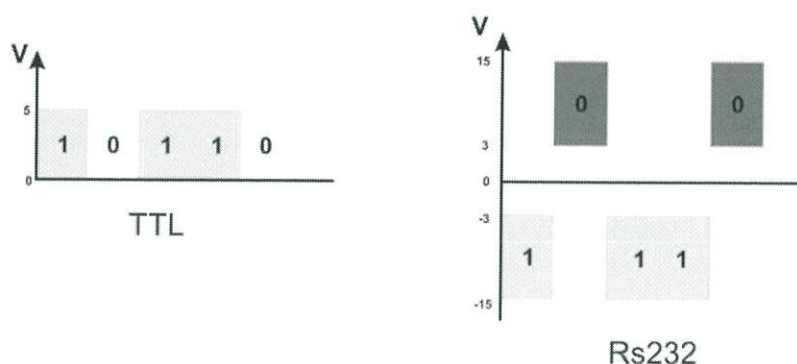
Signal Ground (SG) ทำหน้าที่เป็นระดับแรงดันอ้างอิง สำหรับทุกๆ สายสัญญาณจะมีแรงดันเป็น “0” เมื่อเทียบกับสายสัญญาณอื่นๆ

Data Terminal Ready (DTR) คอมพิวเตอร์เปิดสัญญาณนี้ให้เปิด (ลอจิก “0”) เมื่อพร้อมที่จะติดต่อรับส่งข้อมูล

Carrier Detect (CD) โมเด็มจะทำการส่งสัญญาณนี้ให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ เมื่อได้รับสัญญาณคลื่นพาห์จากโมเด็มปลายทางอีกฝ่ายหนึ่ง

Ring Indicator (RI) จะทำงานเมื่อโมเด็มได้รับสัญญาณรบกวน จากโครงข่ายสัญญาณทั้งหมดนี้

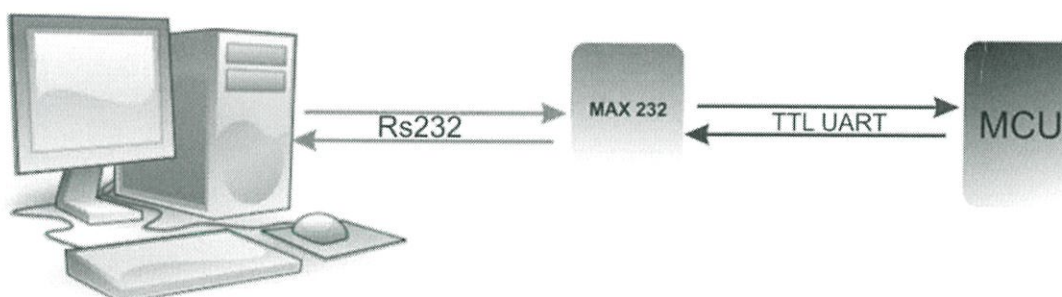
2.5.4.4 ลักษณะของสัญญาณ RS-232 มักเป็นแบบทีทีแอล (TTL: Transistor-Transistor Logic) ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้ระหว่างทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่งกับทรานซิสเตอร์อีกตัวภายในวงจรรวมของไอซี (IC: Integrated circuit) ดังนั้น ทีทีแอลจะใช้ระดับแรงดัน อยู่ที่ 0 – 5 โวลต์ แต่ในปัจจุบันมีอุปกรณ์หลายชนิดที่ทำงานในช่วง 0 – 3.3 โวลต์ ซึ่งเรียกแรงดันระดับนี้ว่าแอลวีทีทีแอล (LVTTTL: Low Voltage Transistor-Transistor Logic) ซึ่งผู้ใช้ควรตรวจสอบจากคู่มือการใช้งานของอุปกรณ์ที่ใช้เสียก่อนว่าเป็นระดับแรงดันแบบใด เพราะหากใช้ผิดประเภทจะทำให้อุปกรณ์เสียหาย ซึ่งในการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นต้องใช้แรงดันแบบทีทีแอล ส่วนคอมพิวเตอร์นั้น จะเป็นแรงดันแบบ RS-232 ทั้งนี้ เพื่อเป็นหลักประกันว่าข้อมูลถูกส่งออกไปอย่างถูกต้อง และอุปกรณ์ถูกควบคุมอย่างถูกต้อง จำเป็นจะต้องมีข้อตกลงกันในเรื่องของสัญญาณที่ใช้ คือมาตรฐาน RS-232 กำหนดย่านของแรงดันไฟฟ้าไว้ที่ลอจิก 0 ของ RS232 จะอยู่ในช่วง 3 ถึง 15 โวลต์ และลอจิก 1 ของ RS232 จะอยู่ในช่วง -3 ถึง -15 โวลต์ ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แรงดันของสัญญาณทีทีแอลและสัญญาณ RS-232 [9]

จากรูปที่ 2.13 จะเห็นว่าสัญญาณทั้ง 2 อย่าง ส่งข้อมูลเหมือนกัน แต่ระดับแรงดันที่ใช้ต่างกัน ดังนั้นหากอุปกรณ์เป็นทีทีแอลแล้วนำไปต่อกับ RS232 ก็จะทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ได้ ดังนั้นจึงต้องมีตัวแปลงไฟ นั่นก็คือ MAX-232 เพื่อทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันให้มีระดับแรงดันที่เหมือนกันจึงจะทำให้สามารถเชื่อมต่อและทำการสื่อสารรับส่งข้อมูลได้

2.5.4.5 ไอซี MAX-232 เป็นไอซีที่ใช้เปลี่ยนสัญญาณทีทีแอลเป็นสัญญาณ RS232 ในฝั่งส่ง และเปลี่ยน RS232 เป็นทีทีแอลโดยไอซีดังกล่าวจะแปลงแรงดันให้เหมือนกัน เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อและทำการสื่อสารรับส่งข้อมูลได้ โดยมีลักษณะการใช้งานดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะการใช้งานไอซี MAX 232 [9]

## 2.5.5 เทคโนโลยีซิกบี

เทคโนโลยีซิกบี (ZigBee) เป็นเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายที่ร่วมกันสื่อสารข้อมูลผ่านเซ็นเซอร์ขนาดเล็ก โดยซิกบีได้มาจากพฤติกรรมของผึ้ง ที่จะบินซิกแซ็กและจะให้ข้อมูลข่าวสารระหว่างผึ้งด้วยกันที่เกี่ยวกับตำแหน่ง ระยะทาง และทิศทางของอาหารที่พวกมันกำลังหาอยู่ ซิกบี

ถูกสร้างขึ้นภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้สำหรับการสื่อสารความเร็วต่ำ และมีการใช้พลังงานน้อย โดยซิกบีได้นำฟิสิกอลเลเยอร์ (Physical Layer) และแมคเลเยอร์ (MAC Layer) ของ IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานการกำหนดการสื่อสารไร้สายแบบดับเบิลยูพีเอเอ็น (WPAN: Wireless Personal Area Network) มาทำงานในชั้นสื่อสารที่ต่ำกว่า เช่น เรื่องของระดับกำลังสัญญาณ คุณภาพการเชื่อมต่อ และความปลอดภัยในการสื่อสาร

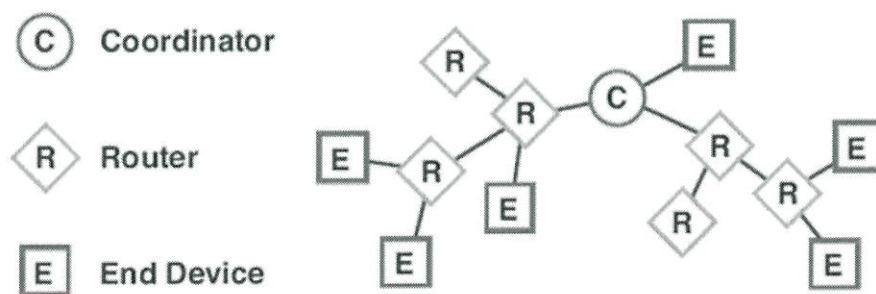
#### 2.5.5.1 ชนิดของซิกบี

ชนิดของซิกบีสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือแบบเอฟเอฟดี (FFD: Full Function Device ) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ทุกอย่างในเครือข่าย และแบบอาร์เอฟดี (RFD :Reduce Function Device) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ถูกลดความสามารถการทำงานในเครือข่าย

#### 2.5.5.2 หลักการทำงานของซิกบี

ซิกบีแบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 3 แบบ คือ

- 1) โคออดิเนเตอร์ (Coordinator) ทำหน้าที่สร้างโครงข่ายจัดการโหนดในโครงข่าย และเก็บข่าวสารของโหนดในโครงข่าย
- 2) เราเตอร์ (Router) ทำหน้าที่จัดการเส้นทางของข้อมูลที่ส่งผ่านภายในโครงข่ายระหว่างโหนด
- 3) เอ็นด์ดีไวซ์ (End Device) เป็นจุดปลายของโครงข่ายเครือข่าย อยู่ในส่วนของผู้ใช้งาน โดยสามารถเป็นได้ทั้งแบบอาร์เอฟดีและเอฟเอฟดี ซึ่งลักษณะการเชื่อมต่อการใช้งานของซิกบีได้แสดงดังรูป 2.15



รูปที่ 2.15 ลักษณะการเชื่อมต่อการใช้งานของซิกบี [10]

### 2.5.5.3 โครงสร้างของโปรโตคอลซิกบี

โปรโตคอล (Protocol) ซิกบี ถูกออกแบบมาเฉพาะในส่วนของ แอปพลิเคชันเลเยอร์ (Application layer) แอปพลิเคชันซัพพอร์ตเลเยอร์ (Application support Layer) และเน็ตเวิร์คเลเยอร์ (Network layer) แต่ใช้แมคเลเยอร์และฟิสิคอลลเยอร์ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4.2.3.2.1 โดยที่

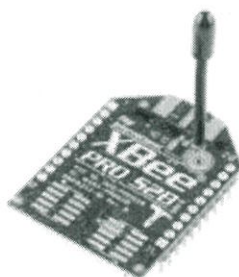
1) ฟิสิคอลลเยอร์ ถูกออกแบบให้เหมาะสมกับราคาที่ย่อมเยา มีการใช้วงจรแอนะล็อกที่ไม่ซับซ้อนและมีความคงทน

2) แมคเลเยอร์ ถูกออกแบบให้สามารถใช้งานได้กับโทโปโลยี (Topology) หลากหลาย แบบ ที่ไม่ซับซ้อนและใช้พลังงานต่ำ สามารถลดหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ และรองรับจำนวนอุปกรณ์มากๆ โดยไม่เกิดการหลุดชะงัก

3) เน็ตเวิร์คเลเยอร์ ได้รับการออกแบบเพื่อยอมให้ช่วงของ เครือข่ายแผ่กว้างโดยที่ต้องไม่ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้พลังงานสูง และสามารถรองรับโหนด จำนวนมากได้โดยใช้เวลาแฝงต่ำ

### 2.5.5.4 เอ็กซ์บี

เอ็กซ์บี (Xbee) เป็นชื่อของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายซิกบีที่นำมาใช้ในปริญญานิพนธ์นี้ โดยใช้เอ็กซ์บี รุ่น XBee Pro 50mW Wire Antenna - Series 2 (ZB) ผลิตจากบริษัท Digi โดย XBee Pro Series 2 (ZB) เป็นโมดูล ไร้สาย ย่านความถี่ 2.4 จิกะเฮิรตซ์ ตามมาตรฐานโปรโตคอล ซิกบี IEEE 802.15 โดยใช้พลังงานต่ำเพียง 3.3 โวลต์ รับส่งข้อมูลอัตราความเร็ว 250 กิโลบิตต่อวินาที และมีสายอากาศแบบเสา ทั้งนี้แสดงลักษณะดังรูปที่ 2.16



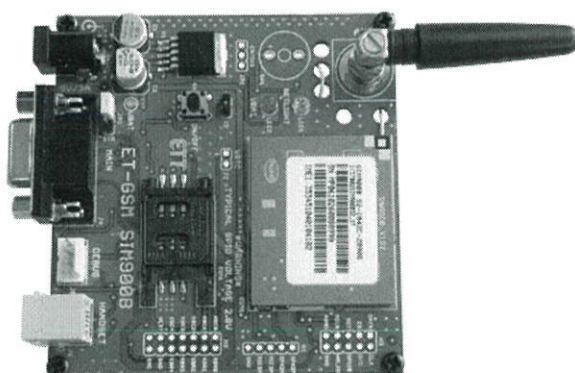
รูปที่ 2.16 เอ็กซ์บี รุ่น XBee Pro 50mW Wire Antenna - Series 2 (ZB) [11]

## 2.5.6 จีพีอาร์เอสโมดูล

จีพีอาร์เอส (GPRS) เป็นบริการของโทรศัพท์มือถือที่มีความสามารถในการส่งข้อมูลผ่านทางโทรศัพท์มือถือได้ด้วยความเร็วในระดับ 172 กิโลไบต์ ซึ่งความเร็วที่สูงสามารถรองรับกับการใช้งานอินเทอร์เน็ตได้ไม่ว่าจะเป็นการแชท (Chat) ท่องเว็บ หรืออีเมล (E-mail) จีพีอาร์เอสเป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นบนเครือข่ายเดิมเพื่อให้การส่งข้อมูลเป็นไปอย่างรวดเร็วและสะดวกยิ่งขึ้น เป็นเทคโนโลยีที่สร้างขึ้นมาเพื่อการใช้งานอินเทอร์เน็ต (Internet) ผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปจนถึงการส่งข้อมูลแบบใหม่ในรูปแบบของมัลติมีเดียซึ่งจะประกอบไปด้วยรูปภาพที่เป็นกราฟิก เสียงและวิดีโอ

### 2.5.6.1 จีพีอาร์เอสโมดูล ET-GSM SIM900B

สำหรับปฏิญานินพจน์นี้เลือกใช้จีพีอาร์เอสโมดูล ET-GSM SIM900B โดย SIM900B เป็นโมดูลสื่อสารระบบ จีเอสเอ็ม/จีพีอาร์เอส ขนาดเล็ก รองรับระบบสื่อสารจีเอสเอ็ม ความถี่ 850/900/1800/1900 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยส่งงานผ่านทางพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 ด้วยชุดคำสั่งเอทีคอมมานด์ (AT command) สามารถประยุกต์ใช้งานได้มากมายหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการรับส่งสัญญาณแบบ เสียง เอสเอ็มเอส (SMS) แฟกซ์ (Fax) และยังรวมถึงการสื่อสารด้วยโปรโตคอล TCP/IP ด้วย โดยลักษณะของจีพีอาร์เอสโมดูล ET-GSM SIM900B แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของบอร์ด ET-GSM SIM900B [12]

### 2.5.6.2 การสั่งการจีพีอาร์เอสโมดูลด้วยเอทีคอมมานด์

เอทีคอมมานด์ เป็นชุดคำสั่งมาตรฐานที่ใช้ติดต่อสื่อสารกับโทรศัพท์มือถือ โดยส่วนมากมักใช้ในการสื่อสารกับอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ โดยในที่นี้จะใช้ในการควบคุมและสั่งการทำงานไปยังจีพีอาร์เอสโมดูล โดยแสดงลักษณะชุดคำสั่งพื้นฐานของเอทีคอมมานด์ ดังตารางที่ 2.3

### ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างคำสั่งพื้นฐานเอทีคอมมานด์

| คำสั่ง           | ความหมาย  |
|------------------|---|
| AT               | ตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ ถ้าสามารถติดต่อกันได้ อุปกรณ์จะตอบกลับมาว่า OK |
| ATD phone number | โทรออกไปยังเลขหมายปลายทาง (หมายเลขโทรศัพท์)                               |
| ATH              | วางสาย  |
| ATA              | รับสาย  |

สำหรับปริญาณิพจน์นี้จะใช้จีอาร์เอสโมดูลในการส่งข้อความแจ้งเตือน โดยที่จีอาร์เอสโมดูลจะมีรูปแบบในการส่งข้อมูลเอสเอ็มเอส ผ่านเอทีคอมมานด์ 2 รูปแบบ คือ เท็กซ์โหมด (Text Mode) และพีดียูโหมด (PDU Mode) โดยที่เท็กซ์โหมด เป็นการส่งข้อมูลในรูปแบบของตัวอักษรได้โดยตรง ซึ่งโทรศัพท์ส่วนใหญ่ไม่รองรับการส่งข้อมูลรูปแบบนี้ผ่านทางเอทีคอมมานด์ จึงไม่สามารถใช้งานได้สมบูรณ์ เนื่องจากการส่งข้อความในเท็กซ์โหมดนั้น จะเป็นการนำข้อความที่ต้องการส่งมาเข้ารหัสก่อนแล้วจึงส่งข้อมูลในรูปแบบพีดียูโหมดอีกครั้งหนึ่ง ส่วนพีดียูโหมด คือโหมดการทำงานประเภทหนึ่งซึ่งจะทำการแปลงรหัสแอสกี (ASCII) ของตัวอักขระแต่ละตัวให้เป็นรหัสพีดียู ซึ่งรหัสนี้สามารถนำมาใช้งานได้กับชุดคำสั่งเอทีคอมมานด์ในการส่งเอสเอ็มเอส และสามารถใช้ได้กับโทรศัพท์มือถือทุกเครื่องที่รับคำสั่งเอทีคอมมานด์ได้ ดังนั้นการส่งข้อความสั้นไปยังโทรศัพท์มือถือจึงเป็นลักษณะการส่งแบบพีดียูโหมด

#### 2.5.7 เซิร์ฟเวอร์และการจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล

ในการจัดเก็บข้อมูลจำเป็นจะต้องมีการวางแผนการจัดเก็บที่ดีและเป็นระบบ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในระบบงานที่ต้องการ และเพื่อจัดการไม่ให้เกิดความซ้ำซ้อนหรือขัดแย้งกันของข้อมูล ซึ่งส่วนมากแล้วเรามักจะจัดการกับข้อมูลด้วยระบบฐานข้อมูล ซึ่งหากเราต้องการแสดงข้อมูลหรือเอกสารของเรามาบนเครือข่ายแล้ว การใช้บริการเซิร์ฟเวอร์นับเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้เซิร์ฟเวอร์สามารถเป็นได้ทั้งเครื่องคอมพิวเตอร์ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่ให้บริการแก่คอมพิวเตอร์ที่เป็นลูกข่าย ในระบบเครือข่าย ซึ่งประเภทการบริการของเซิร์ฟเวอร์นั้นแบ่งออกเป็นหลายบริการ โดยปกติจะแบ่งได้เป็น 4 ประเภทดังนี้

##### 2.5.7.1 ไฟล์เซิร์ฟเวอร์

ไฟล์เซิร์ฟเวอร์ (File Server) มีหน้าที่จัดเก็บไฟล์ โดยการจัดเก็บไฟล์จะทำเสมือนเป็นศูนย์รวมฮาร์ดดิสก์ (Centerized disk storage) เสมือนว่าผู้ใช้งานทุกคนมีที่เก็บข้อมูล

อยู่ที่เดียว ทำให้การจัดการควบคุมข้อมูลได้ง่ายขึ้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าว สามารถแบ่งปันให้กับลูกข่ายได้ โดยส่วนมากแล้วข้อมูลที่อยู่ในไฟล์เซิร์ฟเวอร์มักเป็นโปรแกรมและข้อมูล

#### 2.5.7.2 ปริ้นท์เซิร์ฟเวอร์

เหตุผลที่ต้องมีปริ้นท์เซิร์ฟเวอร์ (Print Server) เพื่อแบ่งให้ปริ้นท์เตอร์ราคาแพงบางรุ่นที่ออกแบบมาสำหรับการทำงานให้กับผู้ใช้ทุกๆ คนในโครงข่ายได้ใช้ โดยหน้าที่ในการทำงานจะประกอบด้วย การจัดคิวคำสั่ง, การจัดการเรื่องไฟล์ต่างๆ เป็นต้น ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วสำหรับองค์กร น้อยองค์กรที่จะซื้อเซิร์ฟเวอร์มาเพื่อใช้สำหรับเป็นปริ้นท์เซิร์ฟเวอร์โดยเฉพาะ จึงมักจะใช้วิธีเอาเซิร์ฟเวอร์ที่ซื้อมาแล้วใช้คุณลักษณะของไฟล์เซิร์ฟเวอร์แทน

#### 2.5.7.3 เซิร์ฟเวอร์ฐานข้อมูล

เซิร์ฟเวอร์ฐานข้อมูล (Database Server) คือเซิร์ฟเวอร์ที่มีไว้เพื่อทำการจัดการกับระบบที่เป็นฐานข้อมูล DBMS (Database Management System) ซึ่งภายในเซิร์ฟเวอร์จะมีทั้งฐานข้อมูลและตัวจัดการฐานข้อมูล โดยการจัดการฐานข้อมูลในที่นี้ หมายถึงการแบ่งปันและการประมวลผลผ่านทางเครือข่าย

#### 2.5.7.4 แอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์

แอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ (Application Server) คือเซิร์ฟเวอร์ที่สามารถทำงานร่วมกับโปรแกรมประยุกต์ได้ โดยการทำงานจะสอดคล้องกันกับทาง Client เช่น เมล์เซิร์ฟเวอร์ (Mail Server) ทำหน้าที่บริการรับส่งอีเมล พรอกซีเซิร์ฟเวอร์ (Proxy Server) หรือเว็บเซิร์ฟเวอร์ ที่บริการทางหน้าเว็บ เป็นต้น

### 2.5.8 แอปเซิร์ฟ

แอปเซิร์ฟ (Appserv) คือชุดโปรแกรมสำหรับจำลองเซิร์ฟเวอร์บนระบบปฏิบัติการ ซึ่งปริณูญานิพนธ์นี้ได้ติดตั้งแอปเซิร์ฟเพื่อจำลองเซิร์ฟเวอร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับจัดตั้งเซิร์ฟเวอร์ โดยแอปเซิร์ฟจะรวบรวมชุดโปรแกรมที่เกี่ยวข้องในการสร้างเว็บเซิร์ฟเวอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยโปรแกรมทั้งหมดมีจำนวน 4 โปรแกรม ได้แก่ อาปาเช่ (Apache) HTTP Server พีเอชพี (PHP) มายเอสคิวแอล (MySQL) และ พีเอชพีมายแอดมิน (phpMyAdmin) โดยรายละเอียดของแต่ละโปรแกรมมีดังต่อไปนี้

#### 2.5.8.1 Apache HTTP Server

อาปาเช่ คือซอฟต์แวร์สำหรับเปิดให้บริการเซิร์ฟเวอร์บนโพรโทคอล HTTP ที่สามารถทำงานได้บนหลายระบบปฏิบัติการ โดยจะทำหน้าที่ในการจัดเก็บหน้าเว็บเพจ และส่ง

หน้าเว็บเพจไปยังบราวเซอร์ที่มีการเรียกเข้า จากเว็บเซิร์ฟเวอร์ที่เก็บหน้าเว็บเพจนั้นอยู่ ซึ่งปัจจุบัน อาปาเช่ จัดได้ว่าเป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ที่มีความน่าเชื่อถือมากและเป็นที่ยอมรับใช้กันทั่วโลก

#### 2.5.8.2 พีเอชพี

พีเอชพี คือภาษาคอมพิวเตอร์ในลักษณะเซิร์ฟเวอร์-ไซด์สคริปต์ที่มีรากฐาน โครงสร้างคำสั่งมาจากภาษาซี ภาษาจาวา และภาษาเพิร์ล โดยคำสั่งของพีเอชพี สามารถเขียน ร่วมกับภาษา HTML ในการสร้างเว็บเพจได้และสามารถแสดงผลบนเว็บเพจเช่นเดียวกับการเขียน ด้วยภาษา HTML นอกจากนี้ภาษาพีเอชพียังสามารถทำงานร่วมกับฐานข้อมูลได้หลายชนิด และ รองรับการสื่อสารกับการบริการในโพรโทคอลได้หลายโพรโทคอล

#### 2.5.8.3 มายเอสคิวแอล

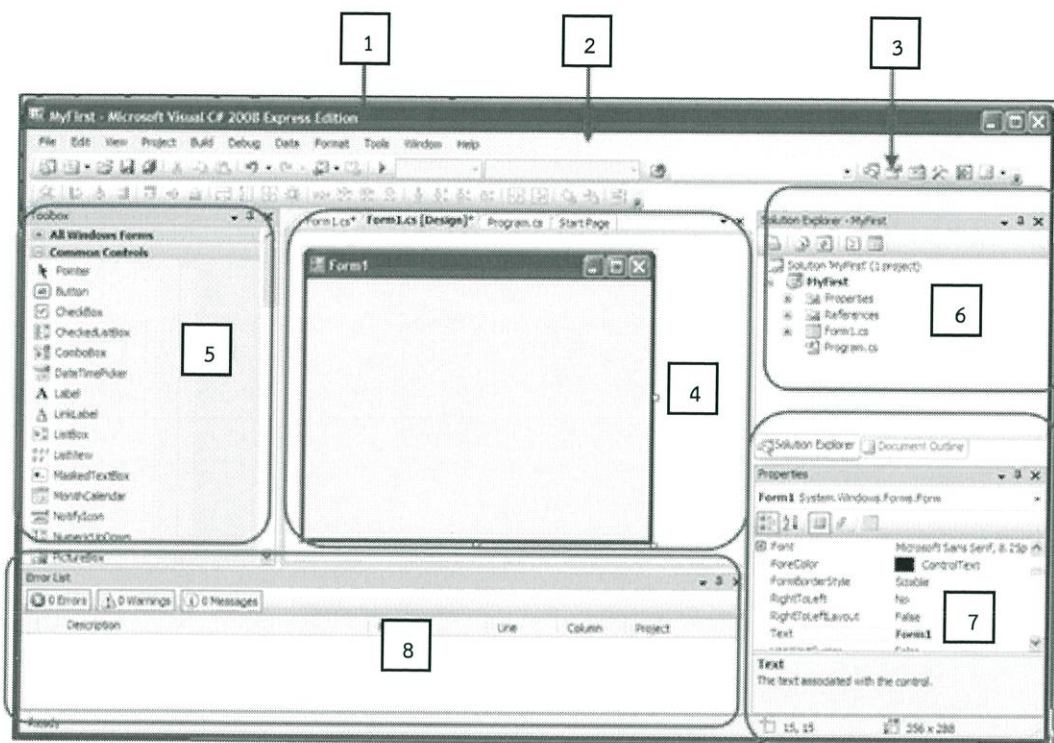
มายเอสคิวแอลเป็นระบบการจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database Management System) โดยใช้ภาษาเอสคิวแอล

#### 2.5.8.4 พีเอชพีมายแอตมิน

เมื่อเราเลือกใช้ระบบฐานข้อมูลที่เป็นมายเอสคิวแอล ในบางครั้งจะมีความ ลำบากและยุ่งยากในการใช้งาน จึงได้มีการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้จัดการข้อมูลในฐานข้อมูล ให้ง่าย และสะดวกยิ่งขึ้น นั่นก็คือพีเอชพีมายแอตมิน ซึ่งเป็นส่วนต่อประสานที่สร้างโดยภาษาพีเอชพี ซึ่งใช้ จัดการฐานข้อมูลมายเอสคิวแอลผ่านเว็บบราวเซอร์

### 2.5.9 โปรแกรมไมโครซอฟท์ วิวอลสตูดิโอ

ไมโครซอฟท์ วิวอลสตูดิโอ (Microsoft Visual Studio) เป็นชุดโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยไมโครซอฟท์ เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยให้นักพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถใช้ภาษา โปรแกรมที่เป็นภาษาดอตเน็ต (.NET) ในโปรแกรมเดียวกันได้ เช่น วิวอลเบสิก (Visual Basic) ซีพลัสพลัส (C++) ซีชาร์ป (C#) หรือจาวา (Java) เป็นต้น โดยในปริญญานิพนธ์นี้ ได้ใช้โปรแกรม ดังกล่าวในการพัฒนาภาษา ซีชาร์ปในการสร้างส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ (GUI: Graphical User Interface) สำหรับการรับข้อมูลจากชิปปีตัวรับผ่านทางพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS-232 เพื่อนำ ข้อมูลไปจัดเก็บลงในฐานข้อมูลและนำข้อมูลจากฐานข้อมูลไปใช้วิเคราะห์เงื่อนไขสำหรับสั่งการให้ จีพีอาร์เอสโมดูลทำการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังโทรศัพท์มือถือผู้ใช้ โดยแสดงลักษณะและ ส่วนประกอบของโปรแกรมไมโครซอฟท์ วิวอลสตูดิโอ ซีชาร์ป ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ลักษณะของโปรแกรมไมโครซอฟท์ วิวอลสตูดิโอ ซีชาร์ป

จากรูปที่ 2.18 สามารถอธิบายส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรมได้ดังต่อไปนี้

- หมายเลข 1: Title Bar เป็นแถบแสดงชื่อโปรแกรม ภาษา เวอร์ชัน (Version) ที่ใช้ และชื่อโปรเจกต์ (Project) ที่กำลังใช้งานอยู่
- หมายเลข 2: Menu bar เป็นแถบแสดงรายการคำสั่งต่างๆ ของโปรแกรม
- หมายเลข 3: Standard Toolbar เป็นไอคอน (Icon) ที่ใช้สำหรับเรียกใช้แทนคำสั่ง Menu bar
- หมายเลข 4: Editor เป็นพื้นที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมและการออกแบบ
- หมายเลข 5: Toolbox เป็นกล่องเครื่องมือ มีไว้สำหรับเลือกลักษณะต่างๆ ใช้สำหรับการออกแบบ ลงบนส่วนของการออกแบบฟอร์มในพื้นที่ Editor
- หมายเลข 6: Solution Explorer เป็นส่วนสำหรับควบคุมการเปิด-ปิด หน้าจอการทำงานของ Editor
- หมายเลข 7: Properties Window เป็นส่วนสำหรับการกำหนดคุณสมบัติของวัตถุในส่วนการออกแบบ

หมายเลข 8: Error List เป็นส่วนสำหรับการคอมไพล์ (Compile) โปรแกรม เพื่อตรวจสอบว่ามีข้อผิดพลาดจากการเขียนโปรแกรมหรือไม่ และแสดงบรรทัดที่มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น

### 2.5.10 หลักการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นมีอยู่ด้วยกันหลายลักษณะ แต่ที่นิยมใช้งานกันอย่างกว้างขวางมีด้วยกัน 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ 1) หากโปรแกรมนั้นมีขนาดเล็กหรือไม่ซับซ้อนมากนัก มักใช้หลักการแบบ Structure Programming คือการมองขั้นตอนการทำงานให้ครอบคลุมแล้วเขียนโปรแกรมการทำงานให้ครอบคลุมตั้งแต่ต้นจนจบการทำงาน 2) หากโปรแกรมนั้น มีขนาดใหญ่ ซับซ้อน หรือกลายเป็นระบบงานที่มีความหลากหลาย มักนิยมใช้หลักการแบบ Event Driven Programming คือ การเขียนคำสั่งกำหนดให้โปรแกรมทำงานในเหตุการณ์ที่สนใจหรือตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น โดยการเขียนโปรแกรมนั้น จะต้องจัดให้เป็นลำดับขั้นตอน เพื่อให้ง่ายต่อการปรับปรุงแก้ไขในส่วนต่างๆ หากมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น โดยลักษณะการเขียนโปรแกรมในรูปแบบ Event Driven Programming นั้น ไม่โครซอฟท์ได้ทำการพัฒนาขึ้นมาสำหรับการเขียนโปรแกรมที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ อินเทอร์เน็ต และโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น โดยตัวอย่างภาษาที่นิยมนำมาใช้ในการเขียนโปรแกรมลักษณะนี้ คือ ภาษาซีชาร์ป

#### 2.5.10.1 การพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาซีชาร์ป

ซีชาร์ป คือ ภาษาคอมพิวเตอร์ประเภท Object-Oriented Programming (OOP) หรือคือโปรแกรมเชิงวัตถุที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยไมโครซอฟท์ เพื่อรวมความสามารถการคำนวณของซีพลัสพลัสและการจัดการโปรแกรมที่ง่ายของวิซวลเบสิก โดยซีชาร์ปนั้น ได้รับการออกแบบให้ทำงานกับ .NET platform ของไมโครซอฟท์ เพื่ออำนวยความสะดวกในการแลกเปลี่ยนสารสนเทศและการบริการผ่านเว็บ และเพื่อให้ผู้พัฒนาสามารถพัฒนาโปรแกรมได้ง่ายขึ้นผ่านการใช้ Extensible Markup Language (XML) และ Simple Object Access Protocol (SOAP) ซึ่งยอมให้เข้าถึงออบเจกต์ (Object) ของโปรแกรม หรือเมธอด (Method) โดยปราศจากความต้องการให้ผู้เขียนโปรแกรมเขียนคำสั่งเพิ่มในแต่ละขั้นตอน เนื่องจากผู้เขียนโปรแกรมสามารถสร้างบนคำสั่งที่มีอยู่แล้วได้

การพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาซีชาร์ป นิยมใช้งานแบบ Event Driven Programming ซึ่งจะเห็นว่าการทำงานแบบ Event Driven สอดคล้องกับการทำงานของวินโดวส์ เช่น ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่เป็นปุ่ม เป็นตัวเลือก เป็นเมนู หรือออบเจกต์ชนิดต่างๆ โดยเหตุการณ์ (Event) จะเกิดได้หลายทาง เช่น เมื่อมีการเลือก เมื่อกดปุ่ม หรือการได้รับสัญญาณจากภายนอกเข้ามา ก็ทำให้เหตุการณ์เกิดขึ้นมาได้ โดยซีชาร์ปนั้นมีความพิเศษ คือความสามารถในการ

เขียนโค้ดกำหนดการทำงานของโปรแกรมเฉพาะเหตุการณ์ที่เราต้องการให้ทำงานเท่านั้น ทั้งนี้ ลักษณะโครงสร้างในการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาซีชาร์ป มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 1) ออบเจ็กต์

ออบเจ็กต์ คือส่วนสำคัญสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชัน (Application) ไม่ว่าจะเป็นส่วนของการออกแบบ การจัดวางลักษณะของวัตถุต่างๆ ที่เป็น ส่วนประกอบของแอปพลิเคชัน เช่น ปุ่มกด ลำดับรายการ หน้าต่างโต้ตอบ เป็นต้น

### 2) พร็อพเพอร์ตี้

พร็อพเพอร์ตี้ (Properties) คือส่วนของคุณสมบัติในแต่ละ ออบเจ็กต์ เช่น ฟอर्म (Form) รูปแบบ ลักษณะ เช่น ความกว้าง ความสูง สีสีน เป็นต้น ซึ่งแต่ละ คุณสมบัติจะสามารถกำหนดค่าได้โดยการเรียกใช้พร็อพเพอร์ตี้ของออบเจ็กต์

### 3) เมธอด

เมธอด คือความสามารถที่จะทำให้ออบเจ็กต์สามารถทำงานได้ เช่น การแสดงฟอर्मของออบเจ็กต์ (Show) การซ่อนฟอर्मของออบเจ็กต์ (Hide) หรือการ ตอบสนองต่อการทำงานของออบเจ็กต์ เป็นต้น

### 4) อีเวนต์

การทำงานของแอปพลิเคชันนั้น เป็นการทำงานแบบส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้ จึงทำให้มีเหตุการณ์มากมายที่เกิดขึ้นจากการใช้งานของผู้ใช้ ไม่ว่าจะเป็นการคลิก การป้อนข้อมูล การเลือกข้อมูล เป็นต้น ทั้งหมดล้วนก่อให้เกิดเหตุการณ์ ซึ่งเราเรียกเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับออบเจ็กต์นั้นว่า อีเวนต์

## บทที่ 3

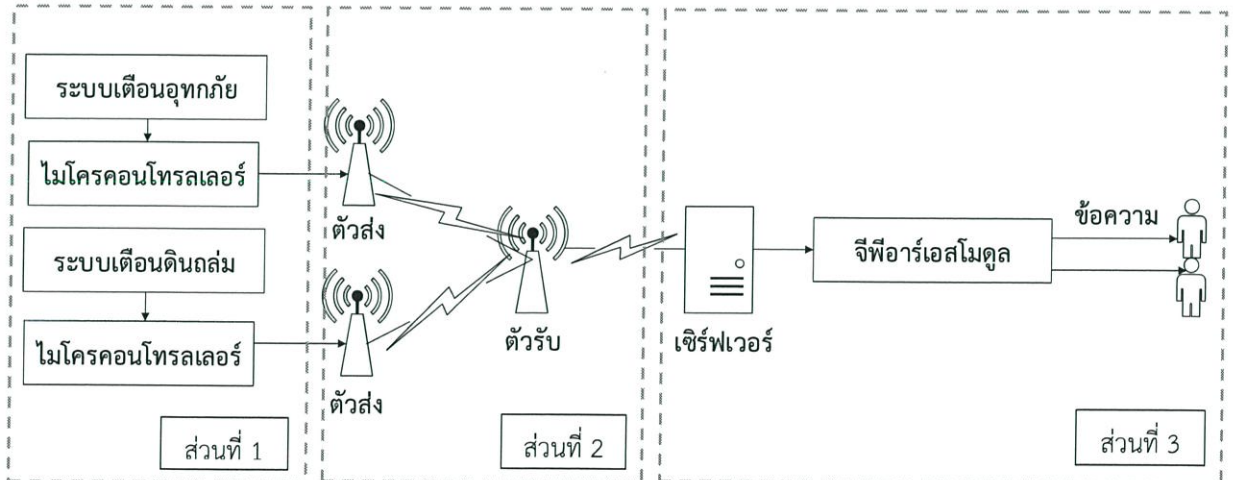
### การออกแบบและการจัดทำปฏิญญาพันธ

ระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่มมีจุดประสงค์ คือ เพื่อทำการติดตามค่าความเปลี่ยนแปลง ณ จุดเฝ้าระวังสำหรับการแจ้งเตือนของอุทกภัยและดินถล่ม โดยการส่งข้อมูลแบบไร้สายไปยังเซิร์ฟเวอร์และแจ้งเตือนผ่านจีพีอาร์เอสโมดูลอย่างรวดเร็วในรูปแบบของข้อความสั้น เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเตรียมพร้อมรับสถานการณ์ได้อย่างทันที่ โดยการจัดทำปฏิญญาพันธและการออกแบบการทำงานของระบบมีดังต่อไปนี้

#### 3.1 การออกแบบ

##### 3.1.1 การทำงานของระบบ

การทำงานของระบบจะเริ่มจากการติดตั้งเซนเซอร์สำหรับเตือนอุทกภัยและเซนเซอร์สำหรับเตือนดินถล่มไว้ยังจุดเฝ้าระวัง โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานและประมวลผล จากนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำสัญญาณที่ได้ส่งผ่านโมดูลสื่อสารไร้สายตัวส่ง ซึ่งทำหน้าที่ส่งสัญญาณแบบไร้สายไปยังโมดูลสื่อสารไร้สายตัวรับ จากนั้นโมดูลสื่อสารไร้สายตัวรับ จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ให้ทำการจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของระบบ เพื่อให้จีพีอาร์เอสโมดูลนำข้อมูลส่งไปยังผู้ใช้งานต่อไป ทั้งนี้แสดงแผนผังการทำงานได้ดังรูปที่ 3.1



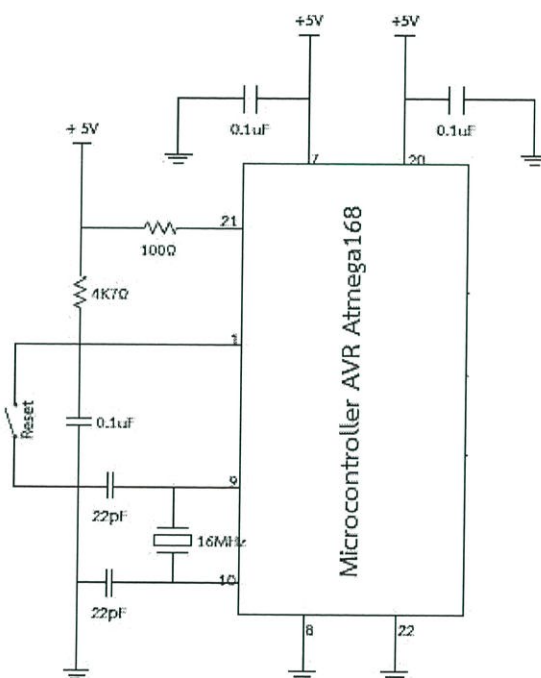
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่ม

รูปที่ 3.1 คือบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนที่หนึ่ง เป็นส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์กับระบบเซนเซอร์ตรวจวัดสำหรับเตือนอุทกภัย

และดินถล่ม ส่วนที่สองคือ ส่วนของการรับ-ส่งข้อมูลแบบไร้สาย และส่วนที่สาม คือส่วนของ เซิร์ฟเวอร์ การจัดเก็บข้อมูลและการส่งข้อความแจ้งเตือนด้วยจีพีอาร์เอสโมดูล

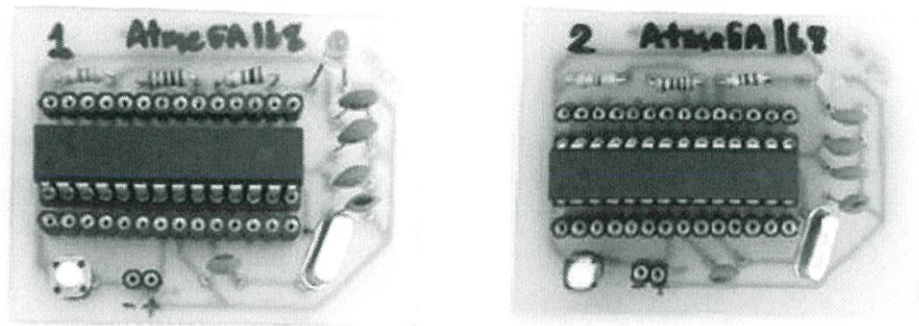
### 3.1.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์นับเป็นศูนย์กลางการควบคุมและประมวลผลการทำงานของระบบ ซึ่งปริญญาวิพนธ์นี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR Atmega168 และใช้ชุดคำสั่งการควบคุมของ Arduino โดยได้มีการออกแบบและจัดทำไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับใช้ในปริญญาวิพนธ์ตามแผนผังวงจรการเชื่อมต่อดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรการเชื่อมต่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR Atmega168

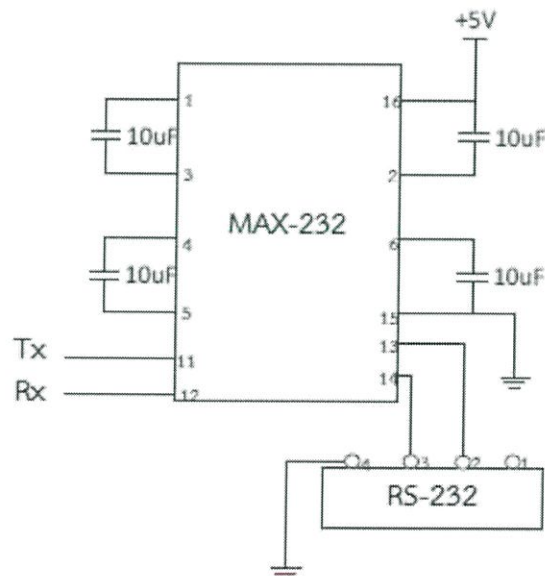
โดยการพัฒนาระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่มนั้น ได้มีการจัดทำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับใช้งานในระบบเตือนอุทกภัยจำนวน 1 บอร์ด และบอร์ดสำหรับใช้งานในระบบเตือนดินถล่มอีกจำนวน 1 บอร์ด รวมทั้งสิ้น จำนวน 2 บอร์ด ซึ่งแสดงลักษณะบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้จัดทำขึ้นมา ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ลักษณะบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR Atmega168 ที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้งานในระบบ

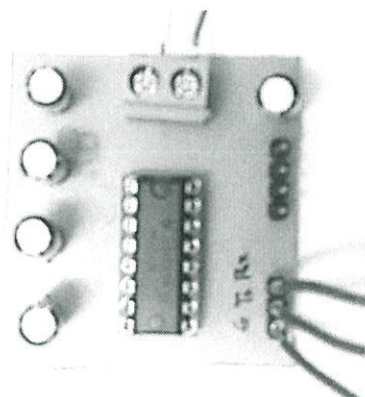
### 3.1.3 วงจรปรับระดับสัญญาณแรงดันสำหรับการสื่อสารแบบอนุกรม

สำหรับการพัฒนาระบบโดยใช้เทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น จำเป็นต้องมีการใช้ช่องทางการสื่อสารแบบอนุกรม เพื่อเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ ซึ่งพบว่าพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรมของคอมพิวเตอร์นั้นเป็นแบบมาตรฐาน RS-232 ในขณะที่พอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นเป็นแบบทีทีแอล จึงจำเป็นต้องมีการปรับระดับแรงดันของสัญญาณให้อยู่ในระดับเดียวกัน โดยใช้ไอซี MAX232 เป็นอุปกรณ์ในการปรับระดับแรงดันดังกล่าว ทั้งนี้แสดงลักษณะวงจรเชื่อมต่อการใช้งานได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรปรับระดับสัญญาณแรงดันสำหรับการสื่อสารแบบอนุกรม

โดยได้มีการจัดทำวงจรดังกล่าวสำหรับใช้ในการพัฒนาระบบดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรปรับระดับสัญญาณแรงดันสำหรับการสื่อสารแบบอนุกรมที่จัดทำขึ้น

### 3.1.4 ระบบเตือนอุทกภัย

สำหรับระบบเตือนอุทกภัยนั้น จะประกอบไปด้วยการตรวจวัดเซนเซอร์สำหรับวัดระดับน้ำและเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งสามารถแสดงการออกแบบการทำงานของระบบได้ดังต่อไปนี้

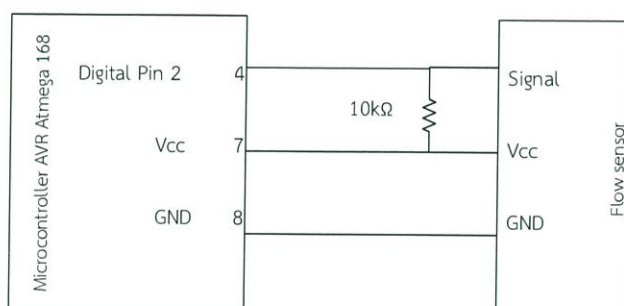
#### 3.1.4.1 เซนเซอร์วัดระดับน้ำ

ในส่วนของเซนเซอร์วัดระดับน้ำนั้น ได้มีการออกแบบการทำงานให้วัดค่าระดับน้ำได้หลายระดับ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมและประมวลสัญญาณที่ได้ ซึ่งแสดงภาพวงจรดังรูปที่ 3.6



### 3.1.4.2 เซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ

ในส่วนของเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำนั้น ในปริญญาานิพนธ์นี้ได้ใช้เซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำชนิดวาล์วพลาสติกขนาดหน้าตัดต่อ 0.75 นิ้ว โดยเซนเซอร์จะวัดค่าสัญญาณจากรอบการหมุนของน้ำที่ไหลผ่านใบพัด ทั้งนี้แสดงแผนภาพการเชื่อมต่อของเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ดังรูปที่ 3.8



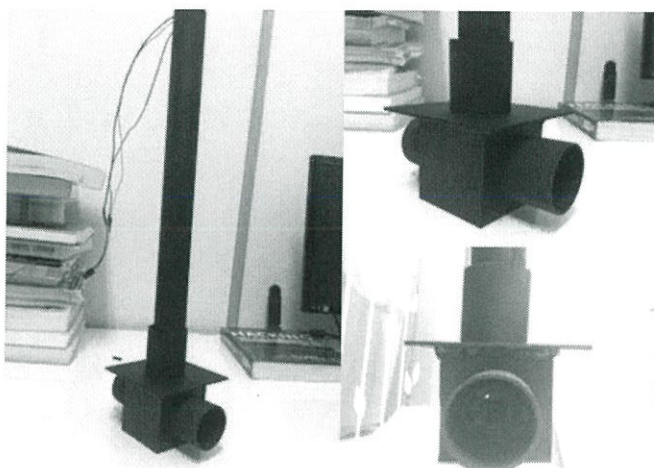
รูปที่ 3.8 แผนผังการเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำกับไมโครคอนโทรลเลอร์

จากรูปที่ 3.8 เป็นแผนผังวงจรการเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีหลักการทำงาน คือ เซนเซอร์จะวัดค่าสัญญาณจากรอบการหมุนของใบพัดเมื่อมีน้ำไหลผ่านแล้วทำการส่งสัญญาณขาออกรูปพัลส์ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำค่าสัญญาณดังกล่าวไปคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำตามสมการ

$$Q = \frac{F(\text{Hz})}{5.5} \quad \text{ลิตรต่อนาที} \quad (3.1)$$

จากสมการสามารถอธิบายได้ว่า  $Q$  คือค่าอัตราการไหลของน้ำ และ  $F$  คือความถี่ของสัญญาณที่ได้ ทั้งนี้ความถี่ดังกล่าวคำนวณได้จากสัญญาณขาออกรูปพัลส์ของเซนเซอร์

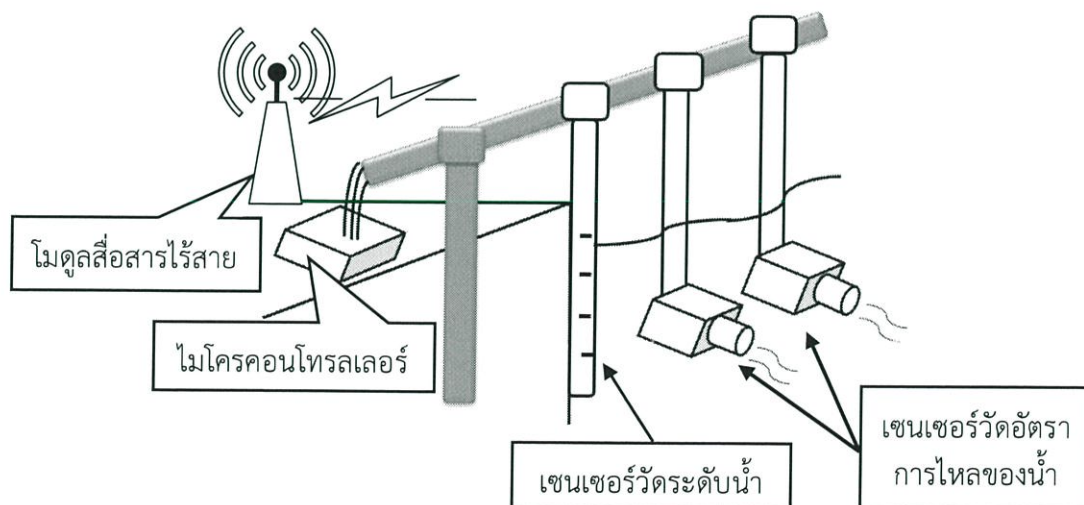
โดยในส่วนนี้ ได้มีการพัฒนาส่วนการใช้งานของอุปกรณ์ให้มีความสะดวกและเหมาะสมแก่การใช้งานในระบบ โดยการสร้างกล่องป้องกันวงจรภายในของเซนเซอร์และออกแบบโครงสร้างสำหรับนำไปติดตั้งใช้งานยังสถานที่เฝ้าระวังดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การออกแบบโครงสร้างการใช้งานเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ

#### 3.1.4.3 การออกแบบการติดตั้งระบบเตือนอุทกภัย

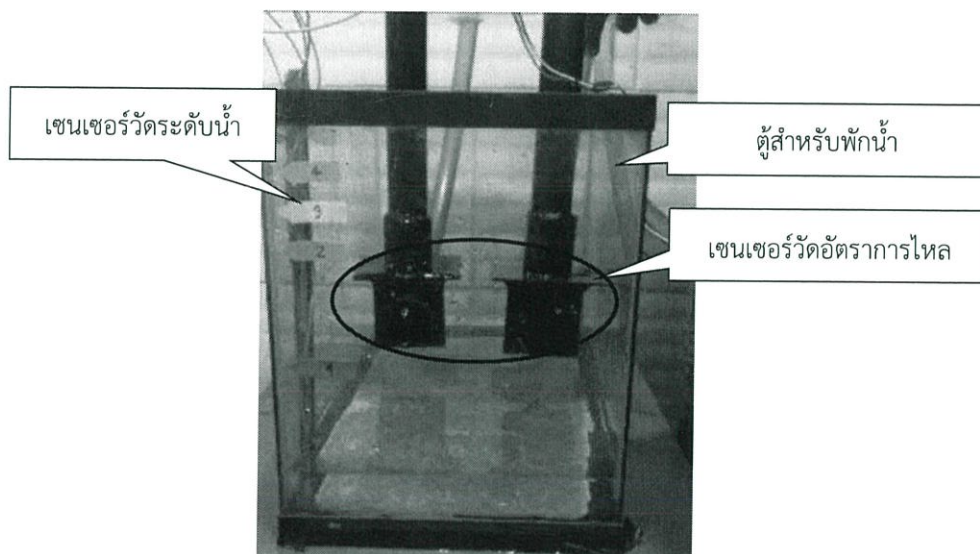
ในปฏิญานิพนธ์นี้ ได้มีการออกแบบระบบเตือนอุทกภัยโดยใช้เซนเซอร์วัดระดับน้ำที่สามารถแจ้งเตือนระดับน้ำได้ 4 ระดับ และทำการวัดอัตราการไหลของน้ำด้วยกัน 2 ช่วง คือบริเวณใกล้ริมตลิ่งและบริเวณกลางกระแสน้ำ ทั้งนี้เพื่อจะทำการเฝ้าระวังหากเกิดกรณีกระแสน้ำมีการเปลี่ยนทิศทางการไหลจากกลางกระแสน้ำมายังตลิ่ง โดยลักษณะของระบบเตือนอุทกภัยที่ได้ทำการออกแบบไว้นั้น แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การออกแบบการติดตั้งระบบเตือนอุทกภัย

รูปที่ 3.10 เป็นการออกแบบระบบเตือนอุทกภัย โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานและประมวลผลของระบบ มีเซนเซอร์วัดระดับน้ำติดตั้งไว้บริเวณริม

ขอบแม่น้ำหรือสถานที่สำหรับฝักระวัง และมีเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำที่จะทำการวัดอัตราการไหลด้วยกัน 2 ช่วง อย่างไรก็ตาม ในการทดสอบนั้นจะเป็นการจำลองสถานการณ์ โดยการติดตั้งเซนเซอร์วัดระดับน้ำไว้ที่ตู้สำหรับพักน้ำ จากนั้นทำการปล่อยให้น้ำไหลผ่านเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำทั้ง 2 ตัว เข้าไปในตู้ ซึ่งระดับน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้เซนเซอร์วัดระดับมีการแจ้งเตือนสถานะระดับน้ำ และเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำมีการแสดงค่าอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งค่าที่ได้จะถูกส่งผ่านโมดูลสื่อสารไร้สายตัวส่งไปยังโมดูลสื่อสารไร้สายตัวรับที่เชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ให้ทำการรับข้อมูลและจัดเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลต่อไป โดยแสดงลักษณะการติดตั้งระบบจำลองในการทดสอบได้ดังรูปที่ 3.11



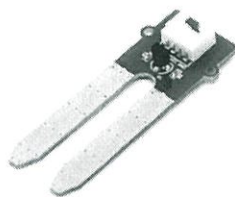
รูปที่ 3.11 อุปกรณ์ในการจำลองสถานการณ์ระบบเตือนอุทกภัย

### 3.1.5 ระบบเตือนดินถล่ม

สำหรับระบบเตือนดินถล่มนั้น จะประกอบไปด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นในดินและเซนเซอร์วัดการยึดเกาะของดิน ซึ่งสามารถแสดงการออกแบบการทำงานของระบบได้ดังต่อไปนี้

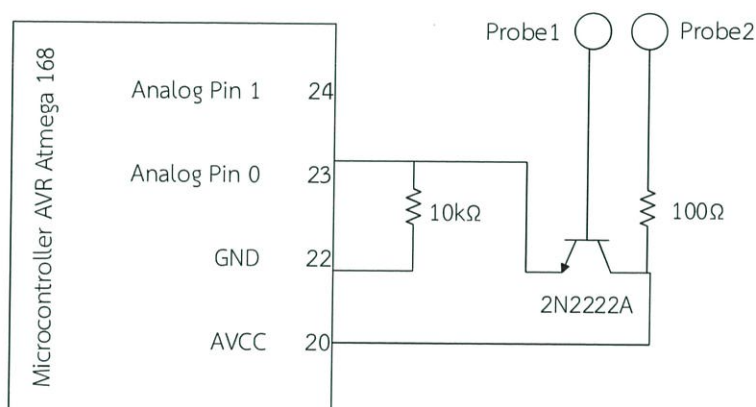
#### 3.1.5.1 เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

ในส่วนของการวัดความชื้นในดินนั้น ได้มีการศึกษาและทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดความชื้นในดินต้นแบบคือ Grove-Moisture Sensor เพื่อนำเอาหลักการทำงานของเซนเซอร์ดังกล่าว ไปพัฒนาจัดทำเซนเซอร์วัดความชื้นในดินสำหรับใช้ในปริญญาโท โดยลักษณะของ Grove-Moisture Sensor ที่ได้ทำการศึกษา แสดงดังรูปที่ 3.12



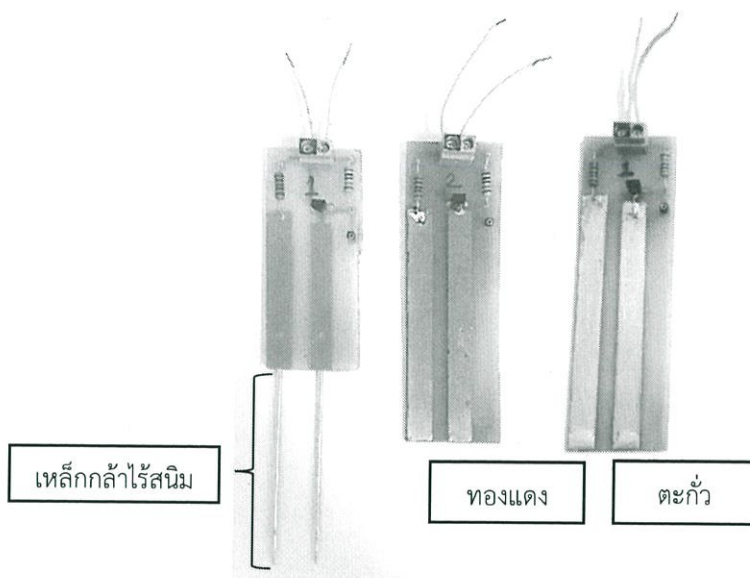
รูปที่ 3.12 ลักษณะเซนเซอร์วัดความชื้นในดินต้นแบบ Grove-Moisture Sensor [4]

สำหรับการทำงานของเซนเซอร์นั้น จะอาศัยหลักการนำไฟฟ้าในดินและการเหนี่ยวนำกระแสระหว่างโพรบ (Probe) โลหะสำหรับวัดทั้ง 2 ข้าง โดยมีแผนผังการเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์วัดความชื้นในดินและไมโครคอนโทรลเลอร์ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์วัดความชื้นกับไมโครคอนโทรลเลอร์

โดยในปฏิญญาฉบับนี้ ได้มีการออกแบบและจัดทำเซนเซอร์วัดความชื้นในดินด้วยกันทั้งสิ้น 3 ชนิด จำแนกตามลักษณะของโพรบวัดได้เป็น โพรบวัดแบบเหล็กกล้าไร้สนิม โพรบวัดแบบทองแดงและโพรบวัดแบบตะกั่ว ทั้งนี้ลักษณะของโพรบวัดชนิดต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 3.14

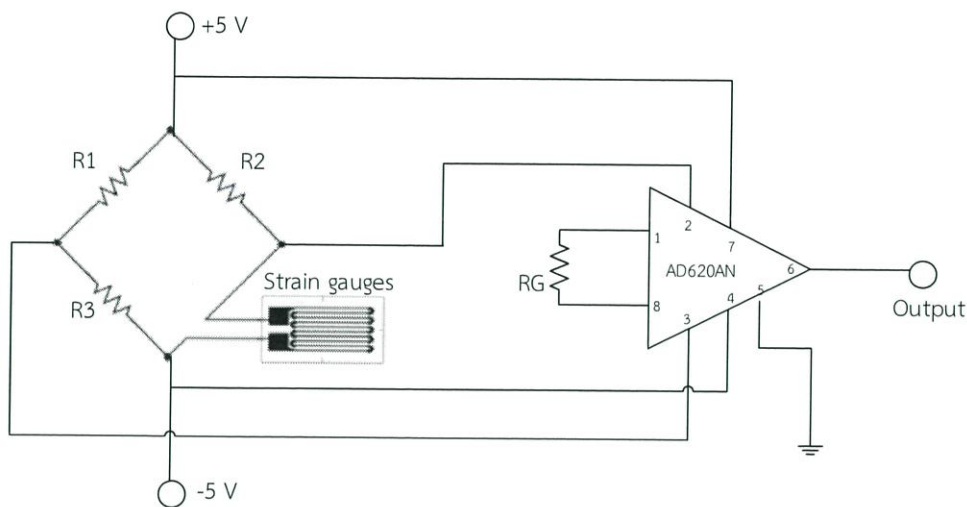


รูปที่ 3.14 ลักษณะเซนเซอร์วัดความชื้นในดินที่จัดทำเพื่อใช้งานในระบบ

จากการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิด พบว่า เซนเซอร์วัดความชื้นในดินที่มีโพรบวัดเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมและโพรบวัดที่เป็นทองแดงนั้น มีช่วงค่าการทำงานที่ใกล้เคียงกับช่วงค่าของเซนเซอร์ต้นแบบ Grove-Moisture Sensor ที่ใช้ในการศึกษา แต่การใช้งานโพรบวัดแบบทองแดงนั้น พบปัญหาเรื่องการกัดกร่อนของสนิมเมื่อมีระยะเวลาการใช้งานนานไป ซึ่งอาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าได้ และในส่วนของโพรบวัดแบบตะกั่ว นั้น พบว่าช่วงค่าการทำงานมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วและใกล้เคียงกันมาก ทำให้ไม่สามารถจำแนกลักษณะของดินจากการแบ่งช่วงค่าได้ ดังนั้น โพรบวัดที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานมากที่สุดจึงเป็นโพรบวัดชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม ในการพัฒนาระบบต้นแบบเตือนดินถล่ม จึงได้เลือกใช้เซนเซอร์วัดความชื้นในดินชนิดโพรบวัดแบบเหล็กกล้าไร้สนิมในการพัฒนาต่อไป

#### 3.1.5.2 เซนเซอร์วัดการยึดเกาะของดิน

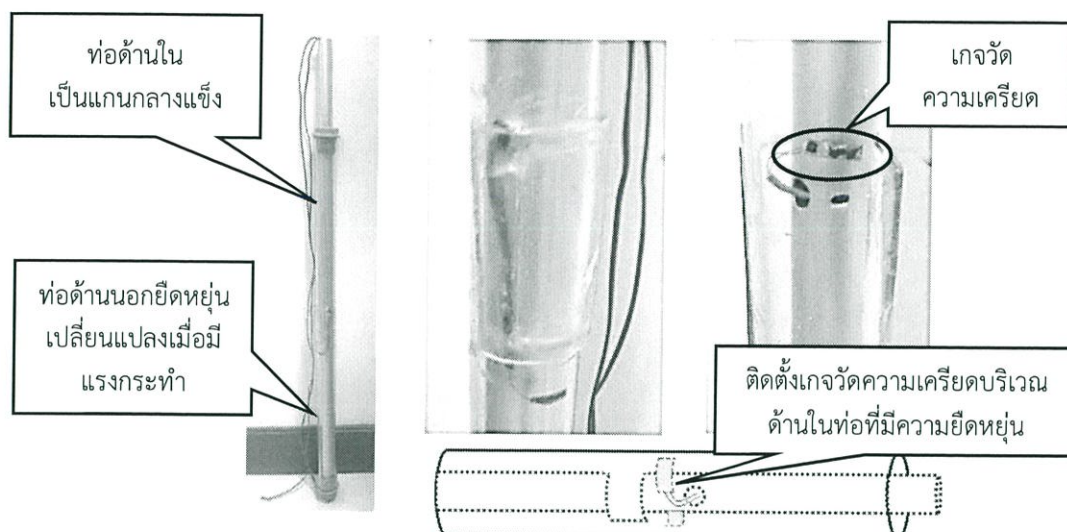
ในส่วนของเซนเซอร์วัดการยึดเกาะของดินนั้น ได้มีการประยุกต์ใช้เกจวัดความเครียด มาใช้ในการวัดการยึดเกาะของดิน โดยเกจวัดความเครียดจะให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าเป็นสัญญาณขาออก โดยที่ค่าความเครียดจะแปรผันตามค่าความต้านทานไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความต้านทานดังกล่าวมักเป็นค่าที่น้อยมาก จึงต้องมีการต่อร่วมกับวงจรบริดจ์ (Bridge Circuit) เพื่อให้ได้สัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณขาออก ทั้งนี้ผังการเชื่อมต่อสำหรับใช้งานของเกจวัดความเครียด แสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ผังการเชื่อมต่อการทำงานของเกจวัดความเครียด

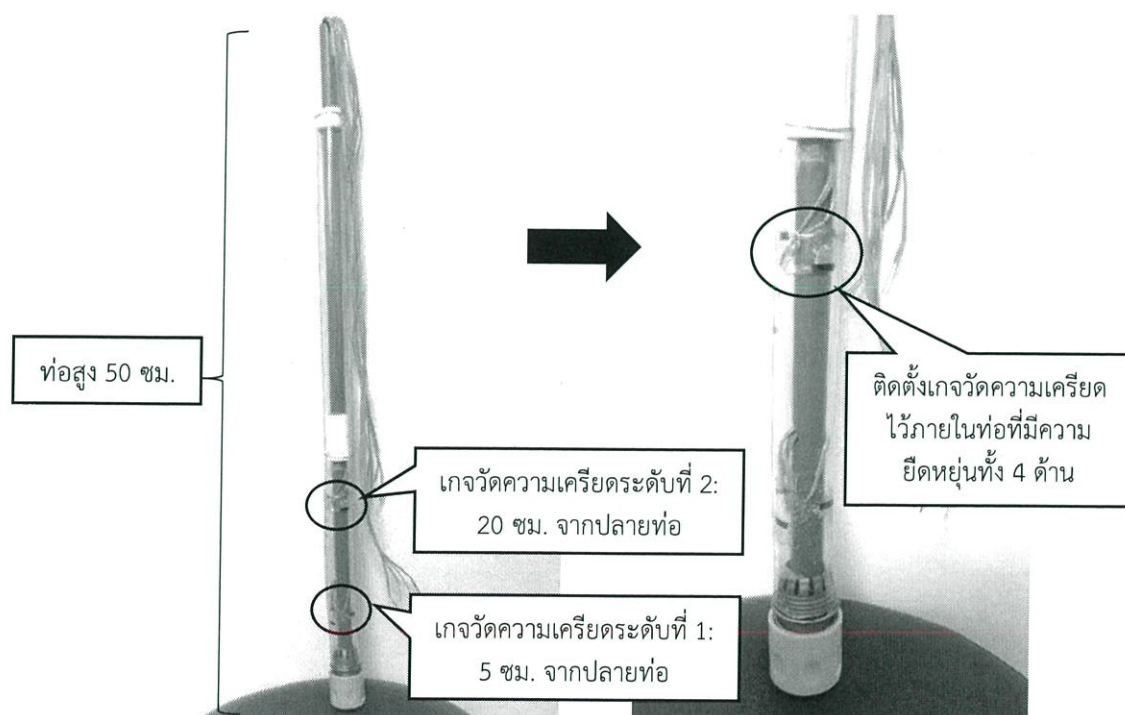
รูปที่ 3.15 แสดงการเชื่อมต่อการใช้งานของเกจวัดความเครียด โดยได้ทำการต่อวงจรบริดจ์เพื่อใช้ในการวัดค่าสัญญาณจากเกจวัดความเครียด แต่พบว่าค่าที่ได้นั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก ซึ่งต่ำกว่าค่าสัญญาณที่ไม่โคโรคอนโทรลเลอร์จะสามารถประมวลผลได้ จึงได้มีการเพิ่มวงจรขยายให้กับสัญญาณขาออกเพื่อให้ขยายสัญญาณก่อนส่งค่าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ทำการประมวลผลต่อไป

ในส่วนของการนำเกจวัดความเครียดมาประยุกต์ใช้งานนั้น ได้ออกแบบโดยการติดตั้งเกจวัดความเครียดไว้ภายในท่ออย่างที่มีความยืดหยุ่นที่สามารถทำให้เกจวัดความเครียดเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีแรงมากระทำได้ และใช้ท่อที่มีความแข็งแรงเป็นแกนกลางเพื่อเสริมความมั่นคง โดยมีลักษณะการติดตั้งเกจวัดความเครียดที่ได้ออกแบบไว้ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การออกแบบการติดตั้งเกจวัดความเครียด

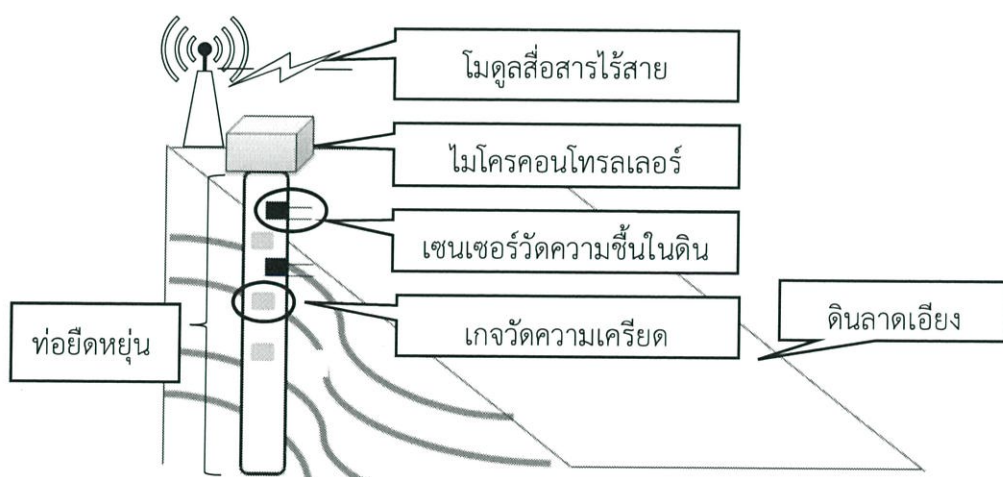
โดยการติดตั้งเกจวัดความเครียดสำหรับใช้งานในระบบนั้น จะทำการติดตั้งเกจวัดความเครียดไว้ทั้ง 4 ด้านภายในท่อที่มีความยืดหยุ่นความยาว 50 เซนติเมตรและติดตั้งด้วยกันทั้งหมด 2 ตำแหน่ง คือ 5 เซนติเมตรและ 20 เซนติเมตรจากปลายท่อ ดังรูปที่ 3.17



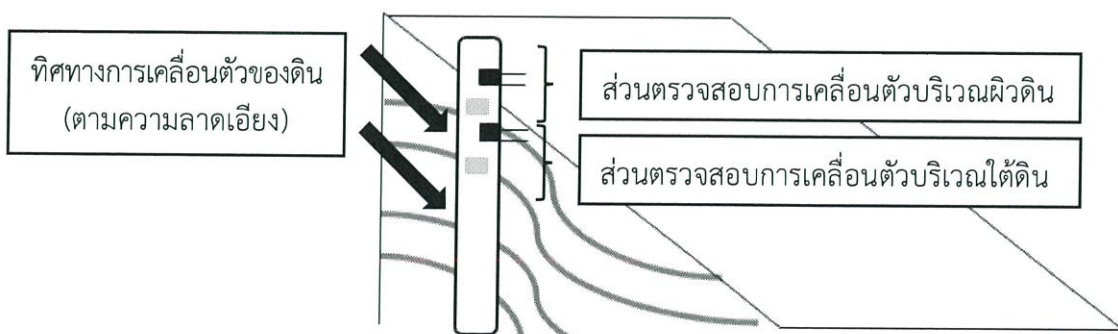
รูปที่ 3.17 การติดตั้งเกจวัดความเครียดสำหรับใช้ในระบบ

### 3.1.5.3 การออกแบบการติดตั้งระบบเตือนดินถล่ม

ในปฏิญานิพนธ์นี้ ได้มีการออกแบบระบบเตือนดินถล่มโดยการวัดค่าความชื้นในดินและการวัดการยัดเกาะของดิน โดยจะทำการวัดค่าความชื้นในดินด้วยกัน 2 ตำแหน่ง คือ บริเวณที่ตำแหน่งผิวหน้าดินและบริเวณที่ตำแหน่งลึกลงไปใต้ดินใกล้เคียงกับเงาวัตความเครียด โดยค่าความชื้นในดินนั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณน้ำในดินที่มีผลต่อการยัดเกาะตัวของดิน ซึ่งหากปริมาณน้ำในดินมีค่ามากจะทำให้การยัดเกาะของดินมีค่าน้อยส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อการเคลื่อนตัวของดิน และในส่วนเซนเซอร์วัดการยัดเกาะของดินนั้น จะใช้เงาวัตความเครียดติดตั้งภายในท่อที่มีความยืดหยุ่นและฝังลงไปใต้ดินที่มีความลาดเอียงเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม และหากมีการเคลื่อนตัวของดินกดทับมายังท่อจะส่งผลให้เงาวัตความเครียดทำงานและส่งค่าที่ได้ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลต่อไป ทั้งนี้แสดงการออกแบบระบบและติดตั้งระบบเตือนดินถล่มได้ดังรูปที่ 3.18 และรูปที่ 3.19 ตามลำดับ

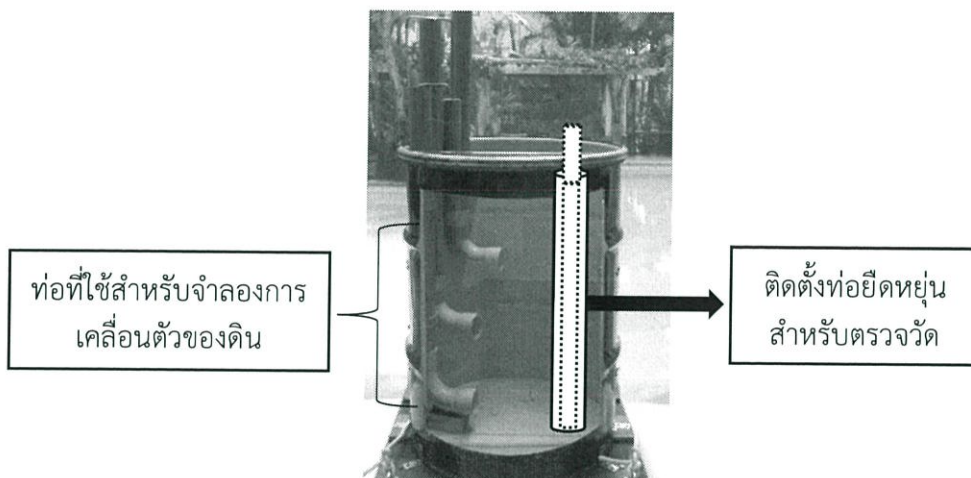


รูปที่ 3.18 การออกแบบการติดตั้งระบบเตือนดินถล่ม



รูปที่ 3.19 การออกแบบการตรวจสอบดินถล่ม

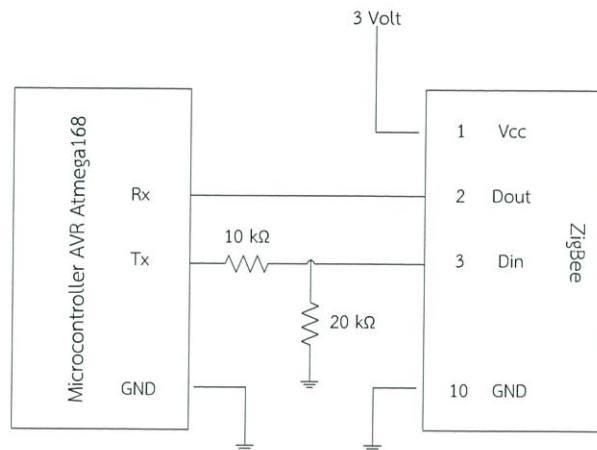
อย่างไรก็ตาม ในการทดสอบการทำงานของระบบนั้นจะเป็นการจำลองสถานการณ์ โดยการใส่ดินเข้าไปในถังที่มีการติดตั้งกลไกสำหรับกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและเคลื่อนตัวได้ โดยจะทำการฝังชุดระบบเตือนดินถล่มลงไปจนถึงดังกล่าว จากนั้นทดลองเติมน้ำลงไปจนถึงสังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของดิน และกระตุ้นให้ดินมีการเคลื่อนตัวไปกระทำต่อเกจวัดความเครียดที่ติดอยู่ภายในท่อ แล้วให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลและส่งค่าที่ได้ผ่านโมดูลสื่อสารไร้สายตัวส่งไปยังโมดูลสื่อสารไร้สายตัวรับที่เชื่อมต่ออยู่กับเซิร์ฟเวอร์ให้ทำการรับข้อมูลและจัดเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล โดยแสดงลักษณะการติดตั้งระบบจำลองในการทดสอบได้ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 อุปกรณ์ในการจำลองสถานการณ์ดินถล่ม

### 3.1.6 การสื่อสารไร้สาย

ในส่วนของการสื่อสารไร้สายนั้น ได้เลือกใช้โมดูลชิคปีในการรับ-ส่งข้อมูลแบบไร้สาย โดยแบ่งเป็นชิคปีตัวส่งที่เชื่อมต่ออยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำหน้าที่รับข้อมูลจากส่วนของเซนเซอร์ตรวจวัด และชิคปีตัวรับที่เชื่อมต่ออยู่กับเซิร์ฟเวอร์เพื่อทำหน้าที่รับข้อมูลมายังเซิร์ฟเวอร์ ทั้งนี้แสดงลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างชิคปีตัวส่งกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 การเชื่อมต่อระหว่างชิปตัวส่งกับไมโครคอนโทรลเลอร์

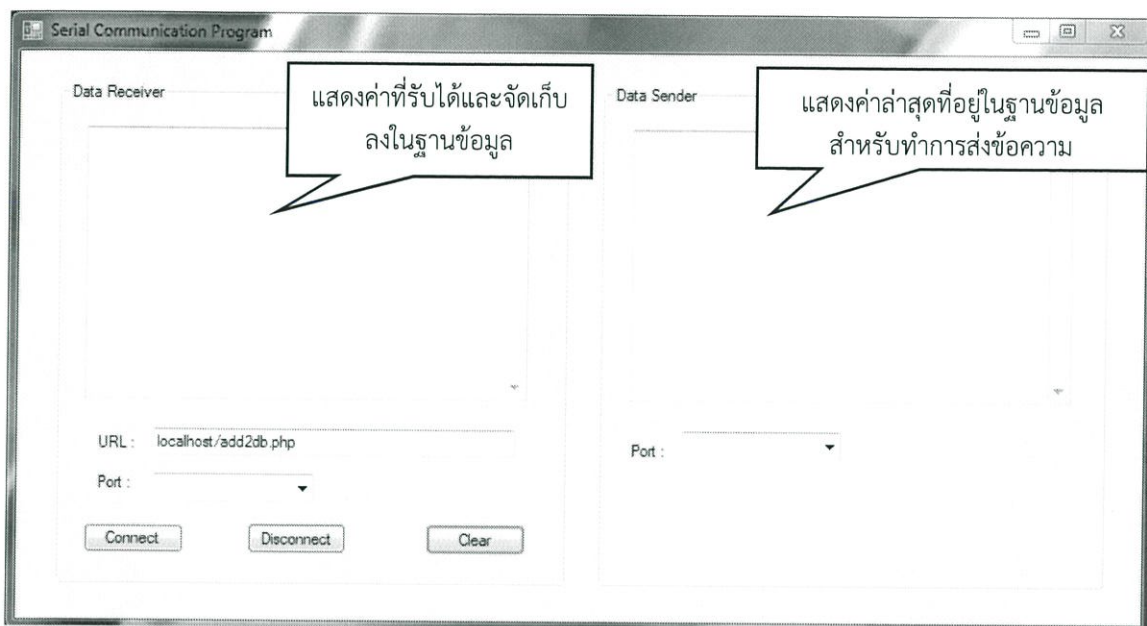
จากรูปที่ 3.21 เป็นการเชื่อมต่อระหว่างชิปตัวส่งกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลข้อมูลจากส่วนของเซนเซอร์และทำการส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่านชิปตัวส่งไปยังชิปตัวรับ โดยที่ชิปตัวรับจะเชื่อมต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ เพื่อรับข้อมูลและจัดเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล

### 3.1.7 เซิร์ฟเวอร์และการจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล

ในส่วนของเซิร์ฟเวอร์นั้น ได้ใช้คอมพิวเตอร์เป็นเซิร์ฟเวอร์ในการจัดการข้อมูล โดยได้ทำการออกแบบโปรแกรมในลักษณะของส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI: Graphic User Interface) เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน สำหรับการจัดเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลและการส่งการจีพีอาร์เอสเอ็มดูลในการส่งข้อความแจ้งเตือน โดยการออกแบบการทำงานในส่วนดังกล่าว มีลักษณะดังต่อไปนี้

#### 3.1.7.1 โปรแกรมการจัดการข้อมูลฝั่งเซิร์ฟเวอร์

โปรแกรมหังกล่าวมีส่วนหลักด้วยกัน 2 ส่วน คือ ส่วนการรับข้อมูลไปจัดเก็บในฐานข้อมูล และส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลในฐานข้อมูลเพื่อสั่งการทำงานของจีพีอาร์เอสเอ็มดูลในการส่งข้อความแจ้งเตือน โดยลักษณะของโปรแกรมหังกล่าวแสดงดังรูปที่ 3.22

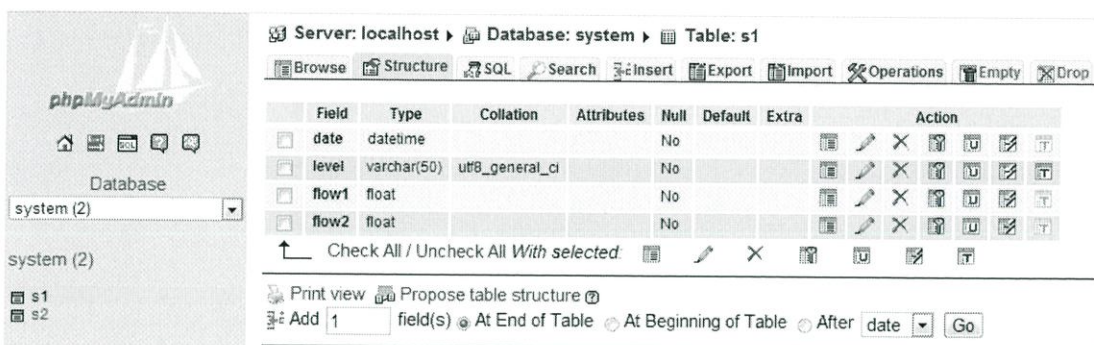


รูปที่ 3.22 โปรแกรมการจัดการข้อมูลฝั่งเซิร์ฟเวอร์

รูปที่ 3.22 แสดงโปรแกรมการจัดการข้อมูลฝั่งเซิร์ฟเวอร์ โดยฝั่งซ้ายจะเป็น Data Receiver และฝั่งขวาจะเป็น Data Sender โดยที่ฝั่ง Data Receiver นั้น จะมี URL สำหรับกรอกข้อมูลที่อยู่ของเซิร์ฟเวอร์ และมีการเลือกพอร์ตการเชื่อมต่อระหว่างซิกปีตัวรับกับคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ ส่วนพอร์ตการเชื่อมต่อที่หน้าต่าง Data Sender นั้น เป็นพอร์ตการเชื่อมต่อของจีพียอร์เอสโมดูลกับคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ โดยที่ปุ่ม Connect นั้น หมายถึงการเริ่มการเชื่อมต่อสำหรับการทำงานและหากมีความต้องการที่จะหยุดการทำงานในกรณีต้องการเปลี่ยนแปลงที่อยู่เซิร์ฟเวอร์หรือเปลี่ยนพอร์ตการเชื่อมต่อก็สามารถทำการ Disconnect ได้ และหากต้องการล้างค่าทั้งหมดบนหน้าจอแสดงผลก็สามารถทำการ Clear ได้ ทั้งนี้การทำงานของโปรแกรมนั้น จะเป็นการทำงานตลอดเวลาแบบเวลาจริงหรือเรียลไทม์ (Real-Time)

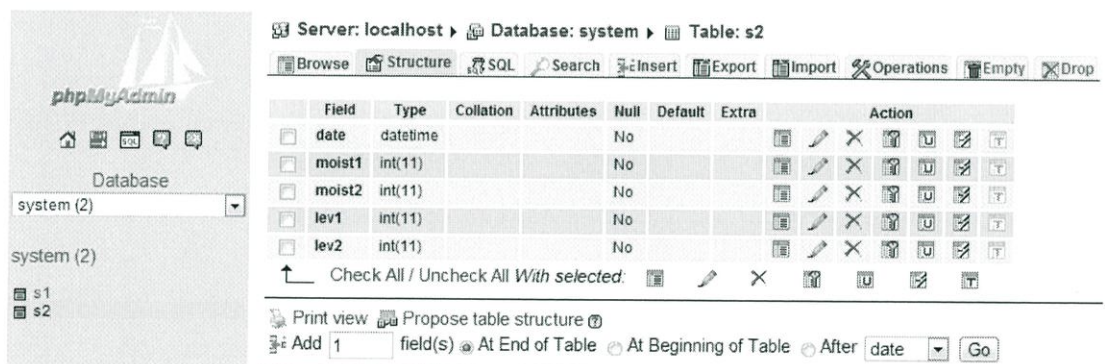
#### 3.1.7.2 การจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล

สำหรับการจัดการฐานข้อมูล ผู้จัดทำได้เลือกใช้พีเอชพีมายแอตมินเป็นตัวจัดการในการสร้างฐานข้อมูล โดยปริญญาณิพนธ์นี้จะทำการจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลด้วยกันทั้งหมด 2 ชุด คือ ชุดข้อมูลของระบบเตือนอุทกภัยและชุดข้อมูลของระบบเตือนดินถล่ม ทั้งนี้ลักษณะของฐานข้อมูลที่ได้ออกแบบไว้แสดงดังรูปที่ 3.23 และรูปที่ 3.24 ตามลำดับ



รูปที่ 3.23 ฐานข้อมูลของระบบเตือนอุทกภัย

รูปที่ 3.23 คือฐานข้อมูลของระบบเตือนอุทกภัย โดยมีเซิร์ฟเวอร์คือ localhost ฐานข้อมูลคือ system และมีตาราง (Table) คือ s1 โดยฐานข้อมูลนี้ จะทำการจัดเก็บข้อมูลตามฟิลด์ (Field) คือ ฟิลด์ date เป็นข้อมูลของวันเวลาที่ได้รับข้อมูล ฟิลด์ level คือข้อมูลของระดับน้ำ ฟิลด์ flow1 คือข้อมูลอัตราการไหลของน้ำบริเวณใกล้แนวตลิ่งและฟิลด์ flow2 คือข้อมูลอัตราการไหลของน้ำบริเวณแนวกระแสน้ำ



รูปที่ 3.24 ฐานข้อมูลของระบบเตือนดินถล่ม

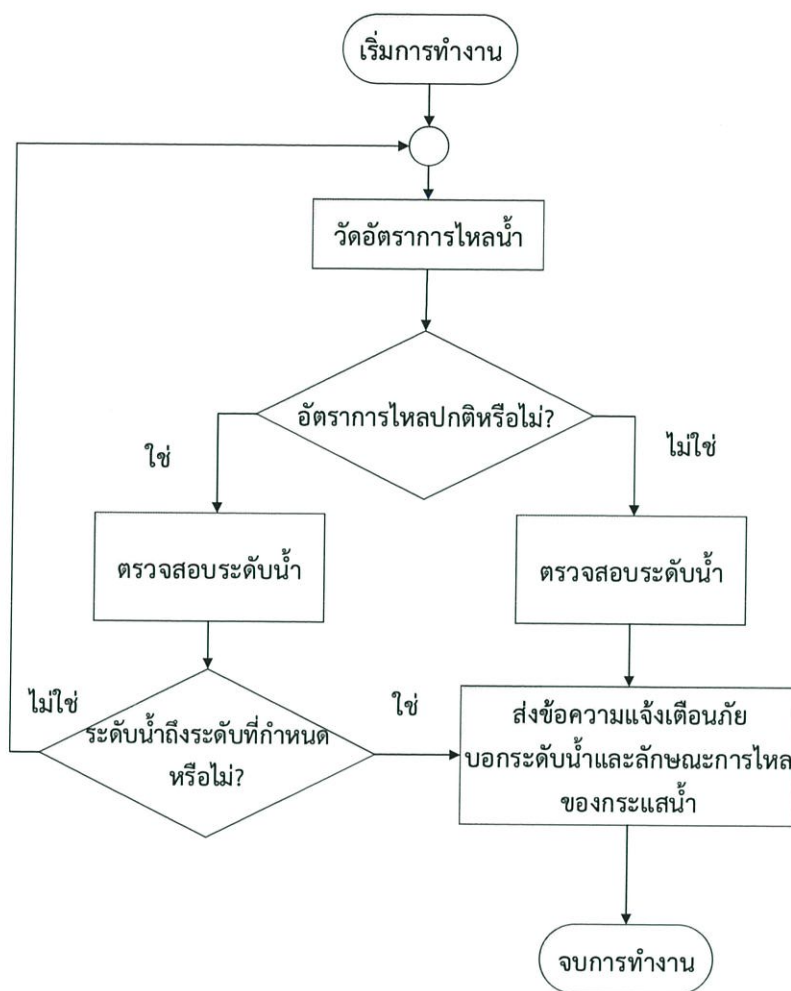
รูปที่ 3.24 คือฐานข้อมูลของระบบเตือนดินถล่ม โดยมีเซิร์ฟเวอร์คือ localhost ฐานข้อมูลคือ system และมีตาราง s2 โดยฐานข้อมูลนี้ จะทำการจัดเก็บข้อมูลตามฟิลด์ คือ ฟิลด์ date เป็นข้อมูลของวันเวลาที่ได้รับข้อมูล ฟิลด์ moist1 คือข้อมูลความชื้นในดินที่ผิวดิน ฟิลด์ moist2 คือข้อมูลความชื้นในดินบริเวณลึกลงไปใต้ดินที่ระดับเดียวกับเกจวัดความเครียดระดับที่ 1 ฟิลด์ lev1 คือข้อมูลการเคลื่อนตัวของดินที่ระดับที่ 1 และฟิลด์ lev2 คือข้อมูลการเคลื่อนตัวของดินที่ระดับที่ 2 ซึ่งอยู่ลึกลงไปใต้ดินมากกว่าระดับที่ 1

### 3.1.8 การส่งข้อความแจ้งเตือนด้วยจีพีอาร์เอสโมดูล

การส่งข้อความแจ้งเตือนด้วยจีพีอาร์เอสโมดูล แบ่งออกเป็นการแจ้งเตือนอุทกภัยและการแจ้งเตือนดินถล่ม โดยมีลักษณะของการแจ้งเตือนภัยที่ได้ออกแบบไว้ ดังต่อไปนี้

#### 3.1.8.1 การส่งข้อความแจ้งเตือนอุทกภัย

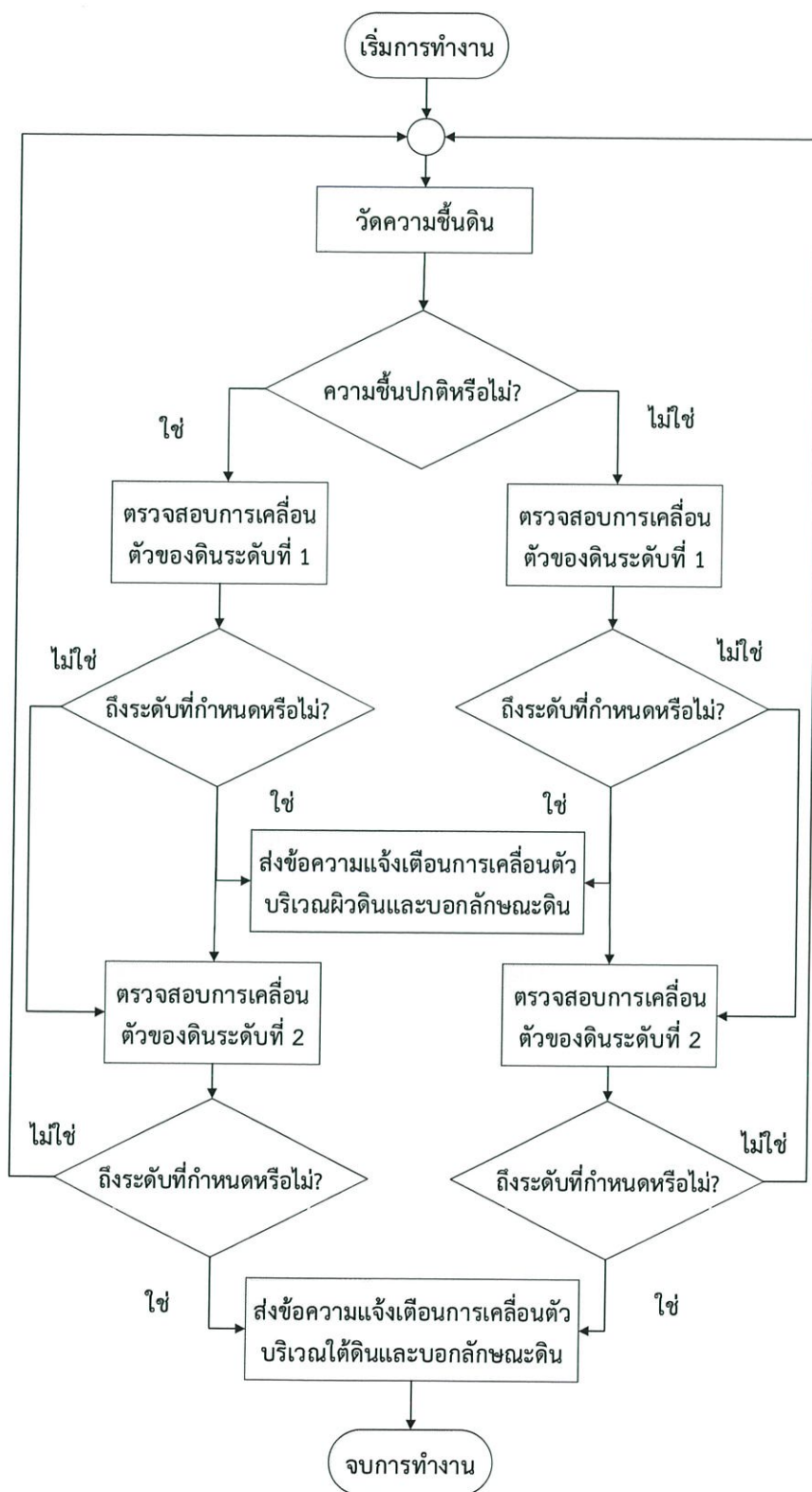
ในส่วนของการส่งข้อความแจ้งเตือนอุทกภัยไปยังโทรศัพท์มือถือของผู้ที่เกี่ยวข้องนั้น ได้ทำการออกแบบให้มีการแจ้งเตือนภัยด้วยกัน 2 กรณี คือ กรณีกระแสน้ำไหลเป็นปกติและกระแสน้ำไหลผิดปกติ โดยจะทำการตรวจสอบกระแสน้ำจากอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งหากพบว่าอัตราการไหลของน้ำในบริเวณแนวกระแสน้ำมีค่ามากกว่าอัตราการไหลของน้ำบริเวณริมตลิ่งแล้ว จะถือว่ากระแสน้ำไหลผิดปกติ ซึ่งหากระดับน้ำมีค่าสูงถึงระดับที่กำหนดแล้ว จะทำการส่งข้อความแจ้งเตือนระดับน้ำพร้อมทั้งแจ้งลักษณะการไหลของกระแสน้ำว่าเป็นปกติ แต่หากตรวจพบว่าอัตราการไหลของน้ำที่บริเวณริมตลิ่งมีค่ามากกว่าบริเวณแนวกระแสน้ำแล้วนั้น ถือว่ากระแสน้ำไหลผิดปกติซึ่งอาจเกิดเหตุการณ์น้ำไหลเซาะตลิ่งและเอ่อล้นออกไป จะมีการแจ้งเตือนถึงเหตุการณ์กระแสน้ำไหลผิดปกติพร้อมกับแจ้งค่าระดับน้ำ ณ ขณะนั้น ทั้งนี้สามารถแสดงโพลีชาร์ทการทำงานของระบบได้ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 โฟลว์ชาร์ทสำหรับการส่งข้อความแจ้งเตือนอุทกภัย

### 3.1.8.2 การส่งข้อความแจ้งเตือนดินถล่ม

ในส่วนของการส่งข้อความแจ้งเตือนดินถล่มไปยังโทรศัพท์มือถือของผู้ที่เกี่ยวข้องนั้น ได้ทำการออกแบบให้มีการตรวจสอบความชื้นในดินและตรวจสอบการยึดเกาะของดินด้วยกัน 2 ระดับ โดยระดับที่หนึ่ง คือระดับผิวดิน และระดับที่สอง คือระดับลึกลงไปใต้ดิน สำหรับการส่งข้อความแจ้งเตือนนั้น จะทำการตรวจสอบความชื้นในดินและตรวจสอบค่าการยึดเกาะของดินในแต่ละระดับ ซึ่งหากพบว่าค่าที่ระดับที่หนึ่งมีค่าถึงค่าที่กำหนดแล้ว จะทำการส่งข้อความแจ้งเตือนการเคลื่อนตัวของดินบริเวณผิวดินพร้อมบอกลักษณะของดิน ณ ขณะนั้น จากนั้นจะทำการตรวจสอบการยึดเกาะของดินที่ระดับสองต่อไป และหากตรงตามเงื่อนไขก็จะทำการส่งข้อความแจ้งเตือนอีกครั้งหนึ่ง ทั้งนี้ ค่าความชื้นในดินนั้น เป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงลักษณะของดินที่อาจเกิดการไหลหรือเคลื่อนตัวของดินอย่างฉับพลัน เนื่องมาจากน้ำในดินมีปริมาณมาก โดยแสดงโฟลว์ชาร์ทการทำงานของระบบได้ดังรูปที่ 3.26

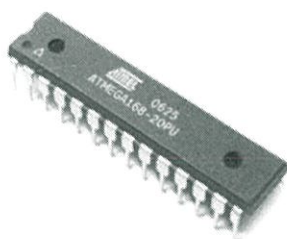


รูปที่ 3.26 โฟลว์ชาร์ทสำหรับการส่งข้อความแจ้งเตือนดินถล่ม

## 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล AVR Atmega168

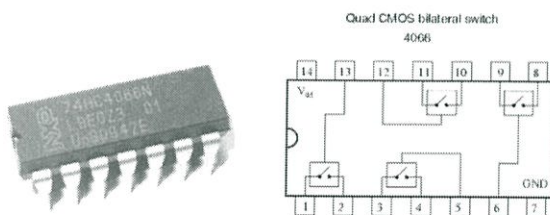
บรรจุในตัวถังขนาด 28 พิน มีหน่วยป้องกันความจำ สามารถเขียนและลบได้ 100,000 ครั้ง มีพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตขนาด 20 บิต จำนวน 3 พอร์ตคือพอร์ต B จำนวน 6 บิต เป็นพอร์ตดิจิตอล 8-13 พอร์ต C จำนวน 6 บิต เป็นพอร์ตแอนะล็อก 0-5 พอร์ต D จำนวน 8 บิต เป็นพอร์ตดิจิตอล 0-7 ใช้การโปรแกรมคำสั่งผ่านชุดคำสั่งของ Arduino โดยแสดงลักษณะของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR Atmega168 [7]

### 3.2.2 ไอซี CD4066

ไอซี CD4066 มีลักษณะเป็นซอฟต์แวร์สวิตช์ (Soft Switch) แบบ Quad Bilateral Switch ซึ่งสามารถป้อนอินพุต/เอาต์พุตสลับขากันได้โดยใช้ไฟเลี้ยงได้ถึง +18 โวลต์ เพราะเป็น CMOS (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor) และสามารถควบคุมขาด้วยแรงดันที่ที่แอลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ โดยไอซีตัวนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในวงจรของเซนเซอร์วัดระดับน้ำ เนื่องจากพบว่าการทำงานของไอซีเป็นเหมือนสวิตช์ โดยลักษณะของไอซี แสดงดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 ลักษณะของไอซี CD4066 [13]

จากรูปที่ 3.28 จะพบว่าส่วนประกอบภายในไอซีนั้น ประกอบไปด้วยสวิตช์รีเลย์หลายๆ ตัว ดังนั้นการทำงานของไอซี จึงเป็นการรวมการทำงานของสวิตช์รีเลย์หลายๆ ตัวไว้ในไอซีเพียงตัวเดียว

### 3.2.3 เซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ

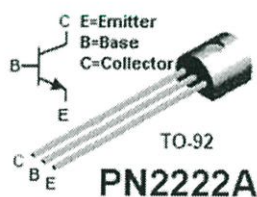
สำหรับเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำนั้น ในปริญญาานิพนธ์นี้เลือกใช้เซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำที่ผลิตโดยบริษัท Seeed รุ่น SEN02141B ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหน้าตัดท่อสำหรับให้น้ำไหลผ่านขนาด 0.75 นิ้ว โดยเซนเซอร์ดังกล่าวเป็นเซนเซอร์ที่ใช้งานในระบบจำลองเพื่อการศึกษา ซึ่งตัวเซนเซอร์นั้นสามารถวัดอัตราการไหลของน้ำได้ตั้งแต่ 1-60 ลิตรต่อนาที โดยจะวัดอัตราการไหลของน้ำจากการนับรอบการหมุนของใบพัด ทั้งนี้ลักษณะของเซนเซอร์แสดงดังรูปที่ 3.29 ซึ่งจะพบว่า ตัวเซนเซอร์นั้นจะมีท่อสำหรับให้น้ำไหลผ่าน โดยเซนเซอร์จะวัดสัญญาณจากน้ำที่ไหลผ่านท่อเข้าไปยังใบพัดที่อยู่ภายในตัวเซนเซอร์



รูปที่ 3.29 เซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำที่ผลิตโดยบริษัท Seeed รุ่น SEN02141B [14]

### 3.2.4 ทรานซิสเตอร์ 2N2222A

ทรานซิสเตอร์ 2N2222A เป็นทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการจัดทำเซนเซอร์วัดความชื้นในดินโดย 2N2222A มีลักษณะเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN สามารถให้กำลังสูงสุดได้ 500 มิลลิวัตต์ และอัตราการขยายของทรานซิสเตอร์มีขนาด 100 เท่า ทั้งนี้แสดงลักษณะของทรานซิสเตอร์ดังรูปที่ 3.30

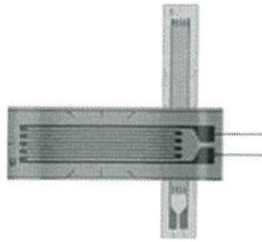


รูปที่ 3.30 ทรานซิสเตอร์ 2N2222A [15]

### 3.2.5 เกจวัดความเครียด

สำหรับปริญญาานิพนธ์นี้ ได้มีการประยุกต์ใช้เกจวัดความเครียด ที่ผลิตโดยบริษัท Kyowa รุ่น KFG-5-120-C1-11 มีความยาวประมาณ 5 มิลลิเมตร ผลิตจากฟิล์มโลหะขนาดบาง มี

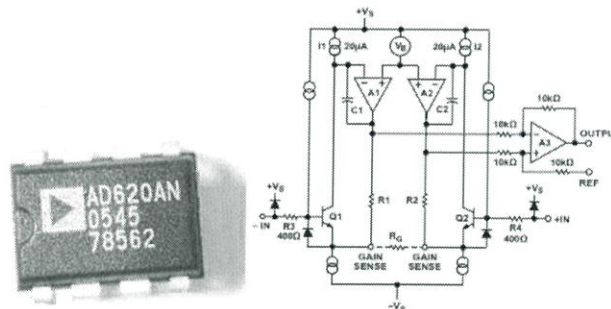
ความต้านทานภายในประมาณ 120 โอห์ม มาใช้ในการวัดการยืดเกาะของดิน โดยใช้ในการวัดแรงดึงเครียดของวัตถุที่ฝังอยู่ในดิน ดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 เกจวัดความเครียดที่ผลิตโดยบริษัท Kyowa รุ่น KFG-5-120-C1-11 [6]

### 3.2.6 ไอซี AD620

ไอซี AD620 ทำหน้าที่เป็นวงจรรขยาย ที่สามารถขยายได้ถึง 1000 เท่า และมีความแม่นยำสูง โดยใช้ไฟเลี้ยงได้ตั้งแต่ +2.3 ถึง +18 โวลต์ จากรูปที่ 3.32 จะพบว่าส่วนประกอบหลักภายในไอซีจะประกอบด้วยออปแอมป์ (Op-Amp) จำนวน 3 ตัว



รูปที่ 3.32 ลักษณะของไอซี AD620 และวงจรรภายใน [16]

### 3.2.7 เอ็กซ์บี

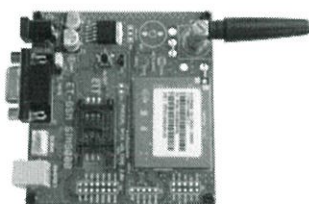
เอ็กซ์บีเป็นชื่อของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายชิปที่นำมาใช้ในปริญญาโทนี้ โดยใช้เอ็กซ์บี รุ่น XBee Pro 50mW Wire Antenna - Series 2 (ZB) โดยใช้พลังงานต่ำเพียง 3.3 โวลต์ รับส่งข้อมูลอัตราความเร็ว 250 กิโลบิตต่อวินาที และมีสายอากาศแบบเส้ ทั้งนี้แสดงลักษณะดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 เอ็กซ์บี รุ่น XBee Pro 50mW Wire Antenna - Series 2 (ZB) [11]

### 3.2.8 จีพีอาร์เอสโมดูล ET-GSM SIM900B

สำหรับปริญญาโทเลือกใช้จีพีอาร์เอสโมดูล ET-GSM SIM900B ที่รองรับระบบสื่อสารจีเอสเอ็มความถี่ 850/900/1800/1900 เมกะเฮิรตซ์ สามารถส่งงานผ่านทางพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 ด้วยชุดคำสั่งเอทีคอมมานด์ ในการส่งการส่งข้อความสั้นแจ้งเตือน โดยลักษณะของจีพีอาร์เอสโมดูล ET-GSM SIM900B แสดงดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 จีพีอาร์เอสโมดูล ET-GSM SIM900B [12]

## 3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

สำหรับปริญญาโทนี้ได้ทำการพัฒนาระบบเฝ้าระวังการเกิดอุทกภัยและดินถล่ม ดังนั้นในการติดตั้งจึงมีการใช้ชุดอุปกรณ์ที่ประกอบไปด้วยเซนเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยกัน 2 ชุด โดยแบ่งเป็นชุดสำหรับระบบเตือนอุทกภัย 1 ชุด และชุดสำหรับระบบเตือนดินถล่มอีก 1 ชุด ทั้งนี้การออกแบบการจัดเก็บผลการทดลองของระบบดังกล่าวมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.3.1 ส่วนเซนเซอร์ตรวจวัดระบบเตือนอุทกภัย

#### 3.3.1.1 ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดระดับน้ำ

3.3.1.2 ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ และทดสอบวัดอัตราการไหลของน้ำที่บริเวณแนวขอบตลิ่งเทียบกับบริเวณแนวกระแสน้ำ

3.3.1.3 ทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างเซนเซอร์วัดระดับน้ำกับเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ

### 3.3.2 ส่วนเซนเซอร์ตรวจวัดระบบเตือนดินถล่ม

3.3.2.1 ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าจากเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัว ที่จะใช้ในการติดตั้งบริเวณตำแหน่งผิวดิน และบริเวณตำแหน่งลึกลงไปใต้ดิน

3.3.2.2 ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดการยึดเกาะของดิน

### 3.3.3 ระบบส่งข้อมูลไร้สายและการแจ้งเตือน

3.3.3.1 ทดสอบการรับส่งข้อมูลแบบไร้สายด้วยโมดูลสื่อสารไร้สายชิกบี

3.3.3.2 ทดสอบการทำงานของจีพีอาร์เอสโมดูล

### 3.3.4 ระบบเตือนอุทกภัยรวมและระบบเตือนดินถล่มรวม

3.3.4.1 ทดสอบระบบเตือนอุทกภัยรวม โดยการเชื่อมต่อเซนเซอร์ทั้ง 2 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วโปรแกรมคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าที่ได้รับจากเซนเซอร์ทั้ง 2 จากนั้นทำการส่งข้อมูลแบบไร้สายไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อทำการจัดเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลในฐานข้อมูลสำหรับสั่งการทำงานของจีพีอาร์เอสโมดูลในการส่งข้อความแจ้งเตือนภัย

3.3.4.2 ทดสอบระบบเตือนดินถล่มรวม โดยการทดสอบการทำงานร่วมกันระหว่างเซนเซอร์วัดความชื้นในดินและเกจวัดความเครียด ซึ่งมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นศูนย์กลางการควบคุมและประมวลผล จากนั้นทำการส่งข้อมูลแบบไร้สายไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อทำการจัดเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลในฐานข้อมูลสำหรับสั่งการทำงานของจีพีอาร์เอสโมดูลในการส่งข้อความแจ้งเตือนภัย

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

สำหรับการทดสอบระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่มนั้น ได้ทำการจัดเก็บผลการทำงานของระบบ โดยแบ่งการทดลองและจัดเก็บผลการทดลองออกเป็นส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

#### 4.1 การทดสอบการทำงานในส่วนของเซนเซอร์ตรวจวัด

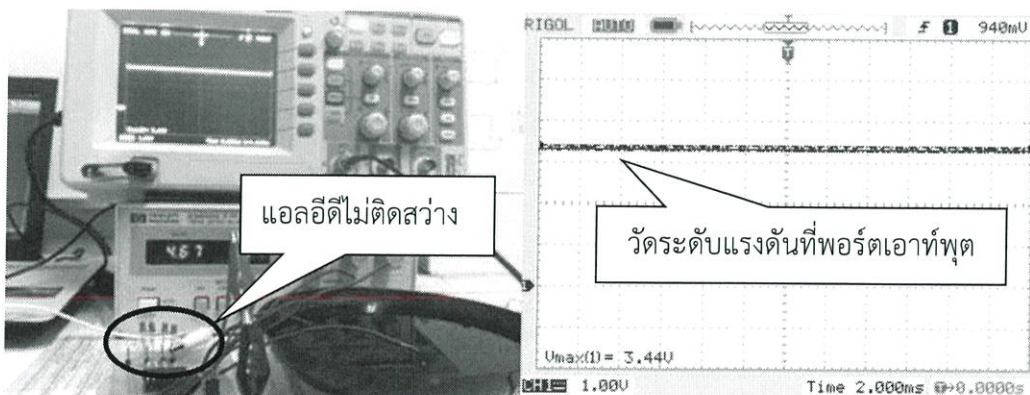
ในส่วนของเซนเซอร์ตรวจวัด แบ่งออกเป็น ชุดเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดอุทกภัยและชุดเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดดินถล่ม โดยที่ชุดเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดอุทกภัยนั้น ประกอบไปด้วยเซนเซอร์วัดระดับน้ำและเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ และในส่วนของชุดเซนเซอร์ตรวจวัดดินถล่มนั้น ประกอบไปด้วย เซนเซอร์วัดความชื้นในดินและเซนเซอร์วัดการยึดเกาะของดิน ซึ่งในที่นี้ประยุกต์ใช้เกจวัดความเครียดในการตรวจวัด โดยมีรายละเอียดของการทดลองดังต่อไปนี้

##### 4.1.1 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดระดับน้ำ

ทำการเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์วัดระดับน้ำกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์กับน้ำที่ระดับต่างๆ โดยตรวจสอบการทำงานและการแจ้งเตือนระดับน้ำของเซนเซอร์จากการติดสว่างของแอลอีดี ซึ่งผลการทดลองมีดังต่อไปนี้

###### 4.1.1.1 การทำงานของเซนเซอร์เมื่อระดับน้ำต่ำกว่าระดับที่กำหนด

ทำการวัดค่าระดับแรงดันที่แต่ละพอร์ตเอาต์พุตของเซนเซอร์ โดยใช้ฮอสซิลโลสโคป เมื่อระดับน้ำมีค่าต่ำกว่าระดับที่กำหนด (ในที่นี้คือระดับ L0) ซึ่งแสดงลักษณะการทดลองได้ดังรูปที่ 4.1 (ซ้าย)

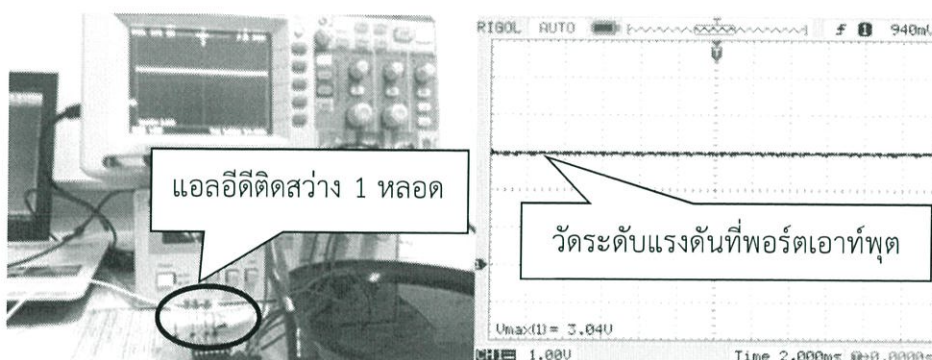


รูปที่ 4.1 การวัดระดับแรงดันที่พอร์ตเอาต์พุตเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าระดับที่กำหนด

ผลการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ เมื่อระดับน้ำต่ำกว่าระดับที่กำหนดพบว่า สามารถวัดระดับแรงดันที่แต่ละพอร์ตเอาต์พุต ได้ระดับแรงดันมีค่าเดียวกันที่ค่า 3.44 โวลต์ ดังรูปที่ 4.1 (ขวา) และพบว่าถ้าระดับน้ำต่ำกว่ากำหนดแล้วแอลอีดีจะไม่ติดสว่างเลยแม้แต่หลอดเดียว

#### 4.1.1.2 การทำงานของเซนเซอร์เมื่อระดับน้ำสูงถึงระดับที่ 1

ทำการวัดค่าระดับแรงดันที่แต่ละพอร์ตเอาต์พุตของเซนเซอร์ เมื่อระดับน้ำมีค่าถึงระดับที่ 1 โดยในที่นี้คือระดับ L1 ซึ่งแสดงลักษณะการทดลองได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การวัดระดับแรงดันที่พอร์ตเอาต์พุตเมื่อระดับน้ำอยู่ระดับที่ 1

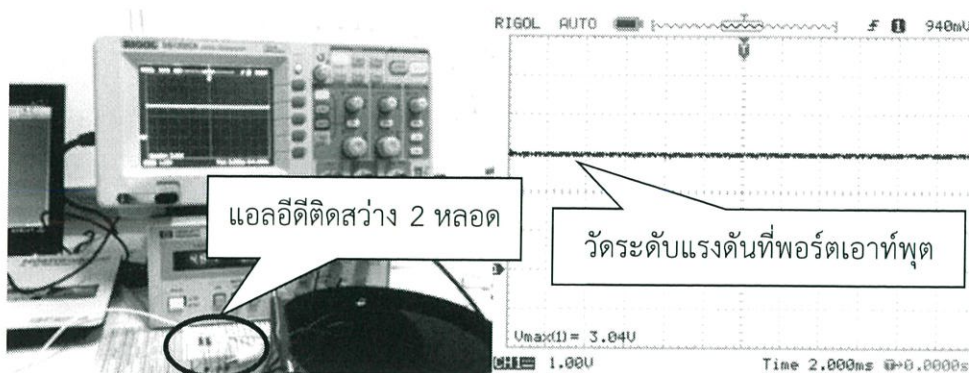
จากผลการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดระดับน้ำพบว่า เมื่อระดับน้ำถึงระดับที่ 1 จะมีแอลอีดีติดสว่างจำนวน 1 หลอด และมีค่าระดับแรงดันที่แต่ละพอร์ตเอาต์พุตดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ระดับแรงดันที่วัดได้จากการทำงานของเซนเซอร์เมื่อระดับน้ำถึงระดับที่ 1

| พอร์ตเอาต์พุต | แรงดันที่วัดได้ (โวลต์) |
|---------------|-------------------------|
| พอร์ตที่ 1    | 3.04                    |
| พอร์ตที่ 2    | 3.44                    |
| พอร์ตที่ 3    | 3.40                    |
| พอร์ตที่ 4    | 3.40                    |

#### 4.1.1.3 การทำงานของเซนเซอร์เมื่อระดับน้ำสูงถึงระดับที่ 2

ทำการวัดค่าระดับแรงดันที่แต่ละพอร์ตเอาต์พุตของเซนเซอร์ เมื่อระดับน้ำมีค่าถึงระดับที่ 2 โดยในที่นี้คือระดับ L2 ซึ่งแสดงลักษณะการทดลองได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การวัดระดับแรงดันที่พอร์ตเอาต์พุตเมื่อระดับน้ำอยู่ระดับที่ 2

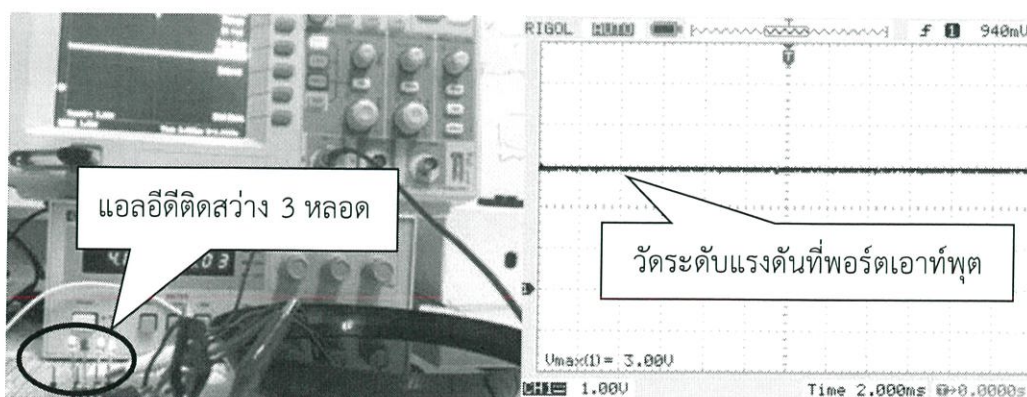
จากผลการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดระดับน้ำพบว่า เมื่อระดับน้ำถึงระดับที่ 2 จะมีแอลอีดีติดสว่างจำนวน 2 หลอด และมีค่าระดับแรงดันที่แต่ละพอร์ตเอาต์พุตดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ระดับแรงดันที่วัดได้จากการทำงานของเซนเซอร์เมื่อระดับน้ำถึงระดับที่ 2

| พอร์ตเอาต์พุต | แรงดันที่วัดได้ (โวลต์) |
|---------------|-------------------------|
| พอร์ตที่ 1    | 3.04                    |
| พอร์ตที่ 2    | 3.04                    |
| พอร์ตที่ 3    | 3.40                    |
| พอร์ตที่ 4    | 3.40                    |

#### 4.1.1.4 การทำงานของเซนเซอร์เมื่อระดับน้ำสูงถึงระดับที่ 3

ทำการวัดค่าระดับแรงดันที่แต่ละพอร์ตเอาต์พุตของเซนเซอร์ เมื่อระดับน้ำมีค่าถึงระดับที่ 3 โดยในที่นี้คือระดับ L3 ซึ่งแสดงลักษณะการทดลองได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การวัดระดับแรงดันที่พอร์ตเอาต์พุตเมื่อระดับน้ำอยู่ระดับที่ 3

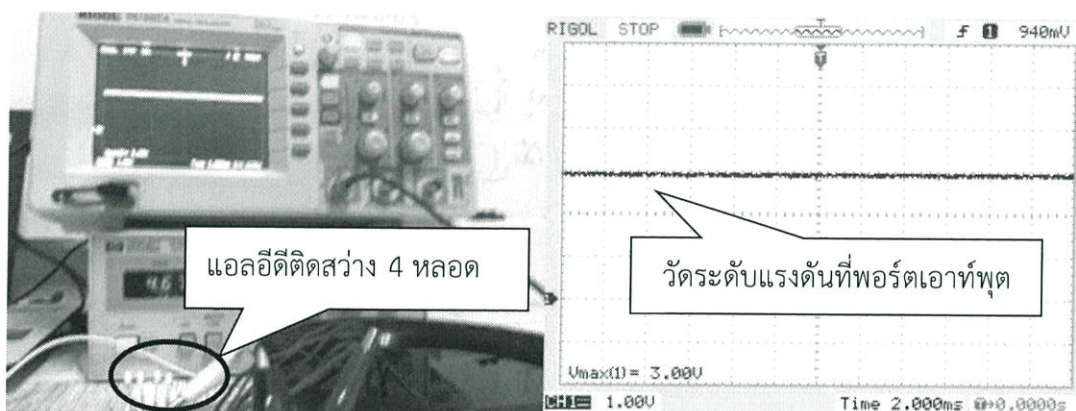
จากผลการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดระดับน้ำพบว่า เมื่อระดับน้ำถึงระดับที่ 3 จะมีแอลอีดีติดสว่างจำนวน 3 หลอด และมีค่าระดับแรงดันที่แต่ละพอร์ตเอาต์พุตดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ระดับแรงดันที่วัดได้จากการทำงานของเซนเซอร์เมื่อระดับน้ำถึงระดับที่ 3

| พอร์ตเอาต์พุต | แรงดันที่วัดได้ (โวลต์) |
|---------------|-------------------------|
| พอร์ตที่ 1    | 3.00                    |
| พอร์ตที่ 2    | 3.04                    |
| พอร์ตที่ 3    | 3.40                    |
| พอร์ตที่ 4    | 3.40                    |

#### 4.1.1.5 การทำงานของเซนเซอร์เมื่อระดับน้ำสูงถึงระดับที่ 4

ทำการวัดค่าระดับแรงดันที่แต่ละพอร์ตเอาต์พุตของเซนเซอร์ เมื่อระดับน้ำมีค่าถึงระดับที่ 4 โดยในที่นี้คือระดับ L4 ซึ่งแสดงลักษณะการทดลองได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การวัดระดับแรงดันที่พอร์ตเอาต์พุตเมื่อระดับน้ำอยู่ระดับที่ 4

จากผลการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดระดับน้ำพบว่า เมื่อระดับน้ำถึงระดับที่ 4 จะมีแอลอีดีติดสว่างจำนวน 4 หลอด และมีค่าระดับแรงดันที่แต่ละพอร์ตเอาต์พุตดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ระดับแรงดันที่วัดได้จากการทำงานของเซนเซอร์เมื่อระดับน้ำถึงระดับที่ 4

| พอร์ตเอาต์พุต | แรงดันที่วัดได้ (โวลต์) |
|---------------|-------------------------|
| พอร์ตที่ 1    | 3.00                    |
| พอร์ตที่ 2    | 3.00                    |
| พอร์ตที่ 3    | 3.00                    |
| พอร์ตที่ 4    | 3.04                    |

จากการทดสอบวัดค่าระดับสัญญาณแรงดันในแต่ละพอร์ตของเซนเซอร์นั้น สามารถสรุปผลค่าระดับแรงดันการทำงานของเซนเซอร์และการติดสว่างของแอลอีดีที่ระดับน้ำต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.5

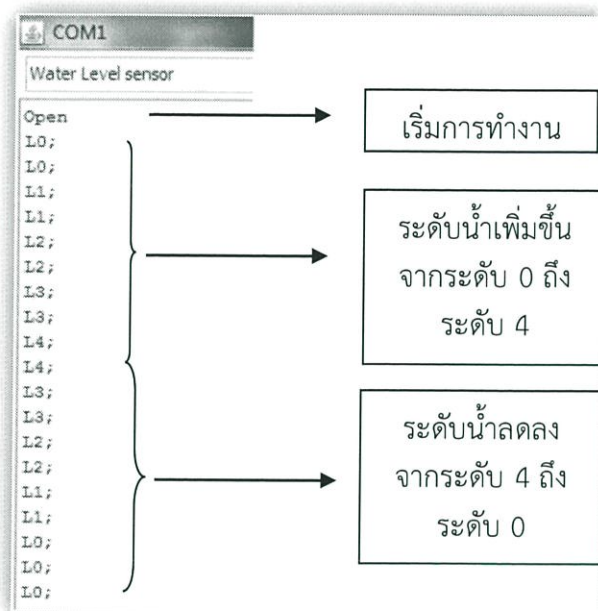
ตารางที่ 4.5 ระดับสัญญาณแรงดันขาออกสำหรับระดับน้ำแต่ละระดับ

| ระดับน้ำ | ระดับแรงดันเอาต์พุต |            |            |            | จำนวนแอลอีดีที่ติด (หลอด) |
|----------|---------------------|------------|------------|------------|---------------------------|
|          | พอร์ตที่ 1          | พอร์ตที่ 2 | พอร์ตที่ 3 | พอร์ตที่ 4 |                           |
| 0        | 3.44                | 3.44       | 3.44       | 3.44       | 0                         |
| 1        | 3.04                | 3.44       | 3.40       | 3.40       | 1                         |
| 2        | 3.04                | 3.04       | 3.40       | 3.40       | 2                         |
| 3        | 3.00                | 3.04       | 3.40       | 3.40       | 3                         |
| 4        | 3.00                | 3.00       | 3.00       | 3.04       | 4                         |

จากตารางที่ 4.5 อธิบายได้ว่าระดับน้ำมีผลต่อการติดสว่างของแอลอีดี โดยหากระดับน้ำไม่ถึงค่าที่กำหนดแล้ว จะไม่มีการติดสว่างของแอลอีดี เมื่อระดับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้จำนวนแอลอีดีติดสว่างมีจำนวนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่อทดลองวัดค่าระดับแรงดันเอาต์พุตที่หลอดแอลอีดีแต่ละหลอดแล้วนั้น จะพบว่ามีการแบ่งแรงดันเพื่อให้หลอดแอลอีดีทำงานในการบอกสถานะของแต่ละระดับน้ำ

#### 4.1.1.6 การทำงานของเซนเซอร์วัดระดับน้ำกับไมโครคอนโทรลเลอร์

ทำการโปรแกรมคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงผลระดับน้ำที่ประมวลผลได้ผ่านหน้าจอแสดงผล ซึ่งจะแสดงค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงด้วย L0 ถึง L4 โดยที่ L0 หมายถึงระดับน้ำที่ต่ำกว่าระดับที่กำหนด และ L4 หมายถึงระดับน้ำสูงสุดในการเฝ้าระวัง ทั้งนี้ ผลการทดลองที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ระดับน้ำที่ได้จากการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์

จากรูปที่ 4.6 เป็นการแสดงผลการทำงานของเซนเซอร์วัดระดับน้ำที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้ เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจากระดับ 0 ถึงระดับ 4 และผลการทดสอบเมื่อระดับน้ำลดลงจากระดับ 4 ถึงระดับ 0

#### 4.1.2 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ

ทำการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ โดยให้น้ำไหลผ่านส่วนใบพัดของเซนเซอร์ด้วยความเร็วของน้ำที่แตกต่างกัน แล้วนำค่าสัญญาณที่ได้ไปคำนวณหาค่าอัตราการไหลของน้ำ ทั้งนี้รายละเอียดการทดลองมีดังต่อไปนี้

##### 4.1.2.1 ทดสอบการทำงานโดยการวัดระดับสัญญาณแรงดัน

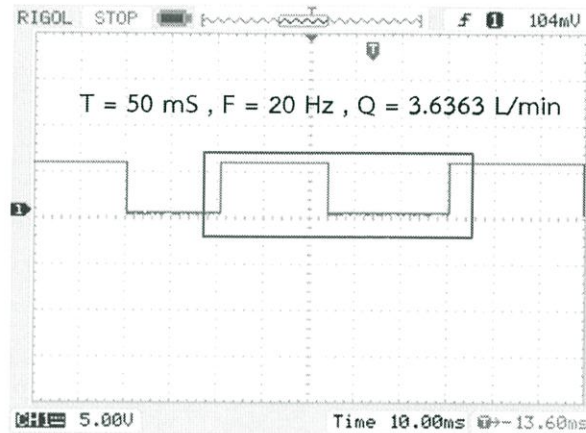
ทำการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ โดยใช้การเทน้ำให้ไหลผ่านส่วนใบพัดของเซนเซอร์ด้วยความเร็วของน้ำที่แตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้ได้ค่าสัญญาณรูปพัลส์ออกมา และสามารถนำค่าสัญญาณรูปพัลส์ที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาค่าอัตราการไหลของน้ำได้ดังสมการ

$$Q = \frac{F(\text{Hz})}{5.5} \quad \text{ลิตรต่อนาที} \quad (4.1)$$

จากสมการสามารถอธิบายได้ว่า  $Q$  คือค่าอัตราการไหลของน้ำ และ  $F$  คือความถี่ของสัญญาณที่ได้ ทั้งนี้ความถี่ดังกล่าวคำนวณได้จากสัญญาณขาออกรูปพัลส์ของเซนเซอร์

โดยมีรายละเอียดในการทดลองดังต่อไปนี้

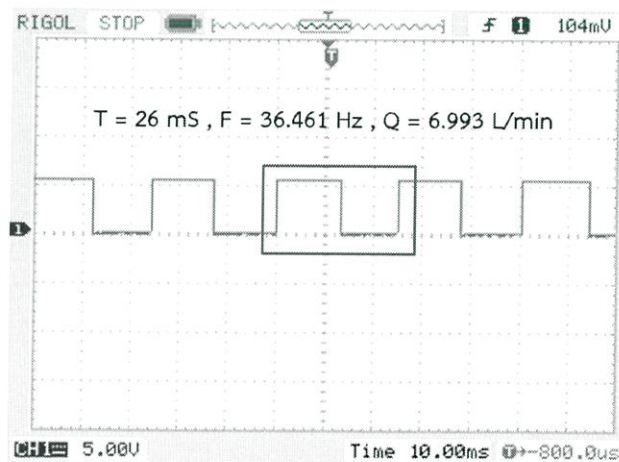
### 1) ความเร็วน้ำระดับที่ 1



รูปที่ 4.7 สัญญาณที่ได้เมื่อความเร็วน้ำระดับที่ 1 ไหลผ่านเซนเซอร์วัดอัตราการไหล

จากรูปที่ 4.7 พบว่า ค่าสัญญาณที่อ่านได้มีช่วงคาบเวลาเป็น 50 มิลลิวินาที และสามารถหาค่าความถี่ได้เป็น 20 เฮิรตซ์ ดังนั้น เมื่อแทนค่าหาอัตราการไหลจากสมการที่ (4.1) จะได้ค่าอัตราการไหลเป็น 3.6363 ลิตรต่อนาที

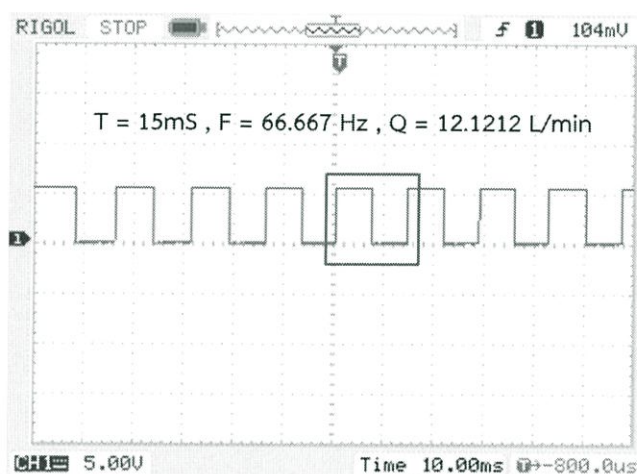
### 2) ความเร็วน้ำระดับที่ 2



รูปที่ 4.8 สัญญาณที่ได้เมื่อความเร็วน้ำระดับที่ 2 ไหลผ่านเซนเซอร์วัดอัตราการไหล

จากรูปที่ 4.8 จะพบว่าค่าสัญญาณที่อ่านได้มีช่วงคาบเวลาเป็น 26 มิลลิวินาที และสามารถหาค่าความถี่ได้เป็น 36.461 เฮิร์ตซ์ ดังนั้น เมื่อแทนค่าหาอัตราการไหลจากสมการที่ (4.1) จะได้ค่าอัตราการไหลเป็น 6.993 ลิตรต่อนาที

### 3) ความเร็วน้ำระดับที่ 3



รูปที่ 4.9 สัญญาณที่ได้เมื่อความเร็วน้ำระดับที่ 3 ไหลผ่านเซนเซอร์วัดอัตราการไหล

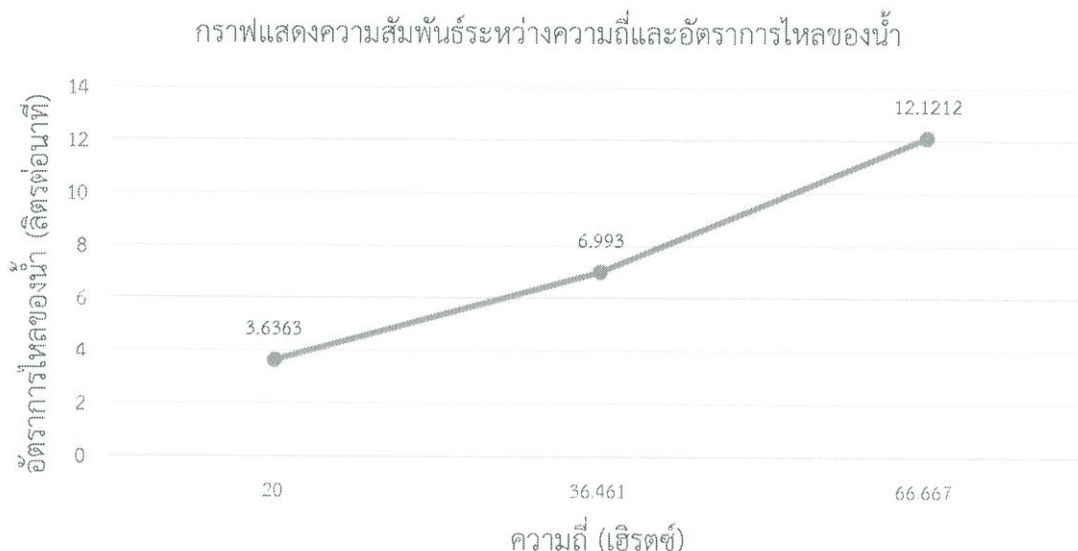
จากรูปที่ 4.9 จะพบว่าค่าสัญญาณที่อ่านได้มีช่วงคาบเวลาเป็น 15 มิลลิวินาที และสามารถหาค่าความถี่ได้เป็น 66.667 เฮิร์ตซ์ ดังนั้น เมื่อแทนค่าหาอัตราการไหลจากสมการที่ (4.1) จะได้ค่าอัตราการไหลเป็น 12.1212 ลิตรต่อนาที

จากการทดลองสามารถแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคาบเวลาและอัตราการไหลที่คำนวณได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคาบเวลา ความถี่และอัตราการไหลของน้ำ

| การทดลอง              | ช่วงคาบเวลา<br>(มิลลิวินาที) | ความถี่<br>(เฮิร์ตซ์) | อัตราการไหล<br>(ลิตรต่อนาที) |
|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| ความเร็วน้ำระดับที่ 1 | 50                           | 20                    | 3.6363                       |
| ความเร็วน้ำระดับที่ 2 | 26                           | 36.461                | 6.993                        |
| ความเร็วน้ำระดับที่ 3 | 15                           | 66.667                | 12.1212                      |

จากตารางที่ 4.6 สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และอัตราการไหลของน้ำได้ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคาบเวลาและอัตราการไหลของน้ำ

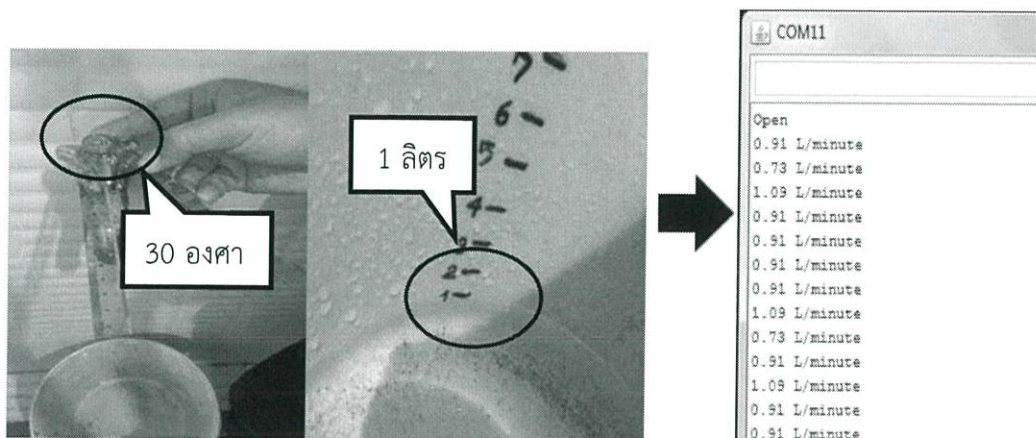
จากผลการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำจะพบว่า อัตราการไหลของน้ำขึ้นอยู่กับความถี่ของน้ำที่ไหลผ่านเซนเซอร์ โดยที่ความถี่สูงอัตราการไหลยิ่งมาก โดยที่ความถี่ของน้ำนั้น สามารถคำนวณได้จากช่วงคาบเวลาสัญญาณรูปพัลส์ของเซนเซอร์

#### 4.1.2.2 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำกับไมโครคอนโทรลเลอร์

ทำการเขียนโปรแกรมคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าและคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำในหน่วยลิตรต่อวินาที โดยทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำด้วยการหมุนวาล์ว (Valve) น้ำไปยังมุมที่องศาต่างๆ แล้วปล่อยให้ น้ำไหลลงไปยังภาชนะตวงเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นทำการวัดค่าระดับน้ำที่ได้เพื่อกำหนดระดับน้ำอ้างอิง และเมื่อได้ระดับน้ำอ้างอิงแล้วจึงทำการทดสอบแบบเดิมอีกครั้งโดยการให้น้ำไหลผ่านเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ จากนั้นเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์กับระดับน้ำอ้างอิง ทั้งนี้รายละเอียดของการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

### 1) หมุนวาล์วน้ำไปที่ระดับ 30 องศา

ทำการหมุนวาล์วน้ำไป 30 องศา แล้วปล่อยให้ น้ำไหลลงถึงตวง เป็นระยะเวลา 1 นาที จากนั้นทำการเปรียบเทียบระดับน้ำที่วัดได้กับที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ประมวลผลได้ ทั้งนี้แสดงผลที่ได้ดังรูปที่ 4.11

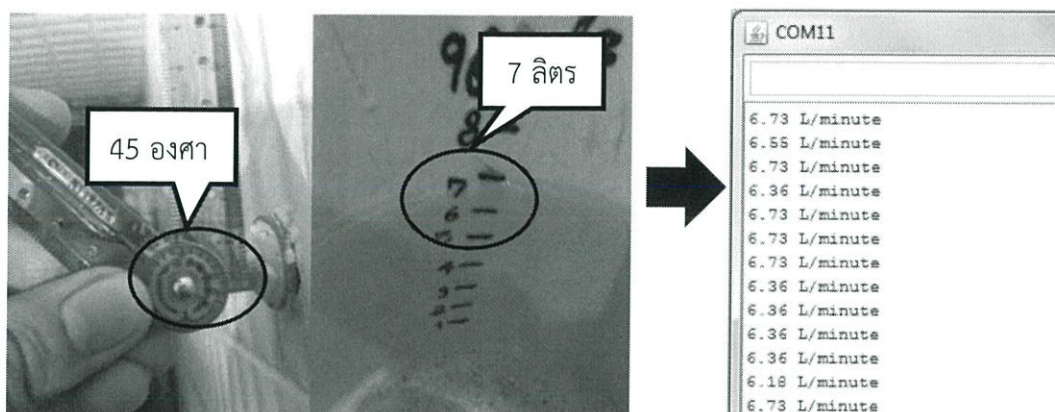


รูปที่ 4.11 ระดับน้ำที่วัดได้เมื่อหมุนวาล์วน้ำไปที่ 30 องศา

จากรูปที่ 4.11 เมื่อทำการหมุนวาล์วน้ำไปที่ 30 องศา สามารถวัดอัตราการไหลของ น้ำใน 1 นาที ได้เป็นปริมาตรประมาณ 1 ลิตร และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ตวงวัดได้ในถังกับ ค่าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้นั้น พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

### 2) หมุนวาล์วน้ำไปที่ระดับ 45 องศา

ทำการหมุนวาล์วน้ำไป 45 องศา แล้วปล่อยให้ น้ำไหลลงถึงตวง เป็นระยะเวลา 1 นาที จากนั้นทำการเปรียบเทียบระดับน้ำที่วัดได้กับที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ประมวลผลได้ ทั้งนี้แสดงผลที่ได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ระดับน้ำที่วัดได้เมื่อหมุนวาล์วน้ำไปที่ 45 องศา

จากรูปที่ 4.12 เมื่อทำการหมุนวาล์วน้ำไปที่ 45 องศา สามารถวัดอัตราการไหลของน้ำใน 1 นาที ได้เป็นปริมาณประมาณ 7 ลิตร และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ตรวจวัดได้ในถังกับค่าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้นั้น พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

### 3) หมุนวาล์วน้ำไปที่ระดับ 60 องศา

ทำการหมุนวาล์วน้ำไป 60 องศา แล้วปล่อยให้ น้ำไหลลงถึงตวง เป็นระยะเวลา 1 นาที จากนั้นทำการเปรียบเทียบระดับน้ำที่วัดได้กับที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้ ทั้งนี้แสดงผลที่ได้ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ระดับน้ำที่วัดได้เมื่อหมุนวาล์วน้ำไปที่ 60 องศา

จากรูปที่ 4.13 เมื่อทำการหมุนวาล์วน้ำไปที่ 60 องศา สามารถวัดอัตราการไหลของน้ำใน 1 นาที ได้เป็นปริมาตรราว 25 ลิตร เนื่องจากน้ำไหลแรงและเร็วมากทำให้น้ำเอ่อล้นถึงที่

สามารถจุน้ำได้ปริมาณ 22 ลิตร ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ดวงวัดได้ในถังกับค่าที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้นั้น พบว่ามีช่วงค่าประมาณมากกว่า 20 ลิตรต่อนาที

จากการทดลองสามารถแสดงค่าเปรียบเทียบปริมาตรน้ำใน 1 นาที ของการปรับองศา วาล์วในแต่ละครั้ง ระหว่างน้ำในถังและที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้ ดังตารางที่ 4.7

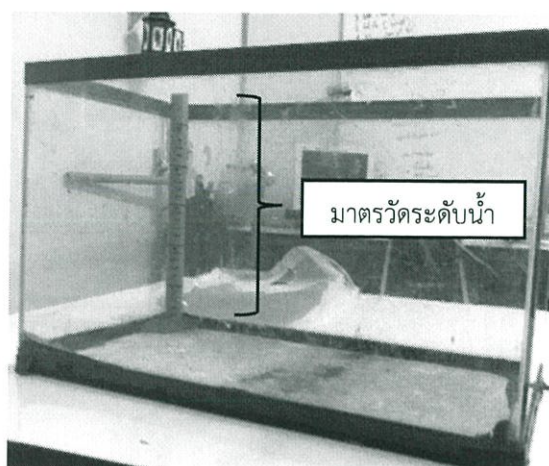
ตารางที่ 4.7 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับองศาในการหมุนวาล์วน้ำกับอัตราการไหลของน้ำ

| ระดับการหมุนวาล์ว<br>(องศา) | น้ำในถัง<br>(ลิตรต่อนาที) | ช่วงค่าที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์แสดง<br>(ลิตรต่อนาที) |
|-----------------------------|---------------------------|---|
| 30                          | 1                         | 0.9   |
| 45                          | 7                         | 6.7   |
| 60                          | 25                        | 23  |

จากผลการทดลองพบว่า หากระดับองศาในการหมุนวาล์วน้ำเพิ่มขึ้น น้ำจะยิ่งไหลเร็วขึ้น ส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำมีค่ามากขึ้น ทั้งนี้ในการทดลองพบข้อจำกัดคือ เมื่อน้ำไหลเร็วและแรงเกินไปจะทำให้รอบการหมุนของใบพัดมากเกินไป ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าของเซนเซอร์และทำให้ไม่โครคอนโทรลเลอร์แสดงค่าคลาดเคลื่อนไปด้วย

#### 4.1.3 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างเซนเซอร์วัดระดับน้ำกับเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ

ทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและระดับน้ำโดยการจำลองสถานีพักน้ำด้วยตู้ขนาดความกว้าง 22.5 เซนติเมตร ยาว 45 เซนติเมตรและสูง 25 เซนติเมตร สามารถจุน้ำได้ 23.5 ลิตร โดยประมาณ จากนั้นทดสอบโดยการคำนวณหาค่าอัตราการไหลของน้ำในหน่วยลิตรต่อนาที แล้วทำการปล่อยน้ำให้ไหลในอัตราการไหลตามที่ได้คำนวณไว้ไปยังสถานีพักน้ำ สังเกตการเพิ่มของน้ำแต่ละระดับพร้อมทั้งสังเกตระยะเวลาที่ใช้ในการเพิ่มแต่ละระดับ ทั้งนี้แสดงลักษณะสถานีพักน้ำดังรูปที่ 4.14



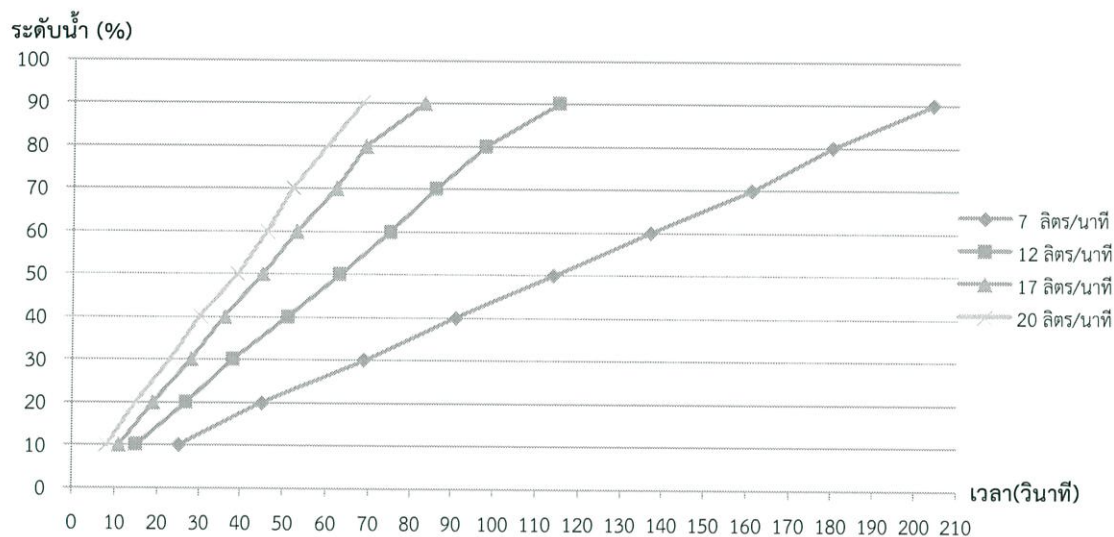
รูปที่ 4.14 สถานีพักน้ำที่ใช้ในการทดลอง

โดยการทดลองได้ทำการทดลองด้วยอัตราการไหลของน้ำที่ 7 ลิตรต่อนาที 12 ลิตรต่อนาที 17 ลิตรต่อนาทีและ 20 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและระดับน้ำ

| อัตราการไหลของน้ำ<br>(ลิตร/นาที) | เวลาที่ใช้ (วินาที) |     |    |    |
|----------------------------------|---------------------|-----|----|----|
|                                  | 7                   | 12  | 17 | 20 |
| ระดับน้ำ (%)                     |                     |     |    |    |
| 10                               | 25                  | 15  | 11 | 8  |
| 20                               | 45                  | 27  | 19 | 15 |
| 30                               | 69                  | 38  | 28 | 23 |
| 40                               | 91                  | 51  | 36 | 30 |
| 50                               | 114                 | 63  | 45 | 39 |
| 60                               | 137                 | 75  | 53 | 46 |
| 70                               | 161                 | 86  | 62 | 52 |
| 80                               | 180                 | 98  | 69 | 60 |
| 90                               | 204                 | 115 | 83 | 68 |

จากตารางที่ 4.8 พบว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้เวลาที่ใช้ในการเพิ่มระดับของน้ำลดลงหรือคือเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้ระดับน้ำเพิ่มเร็วขึ้นโดยใช้เวลา น้อยลงนั่นเอง ทั้งนี้แสดงกราฟความสัมพันธ์จากตารางดังกล่าวได้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำกับระดับน้ำ

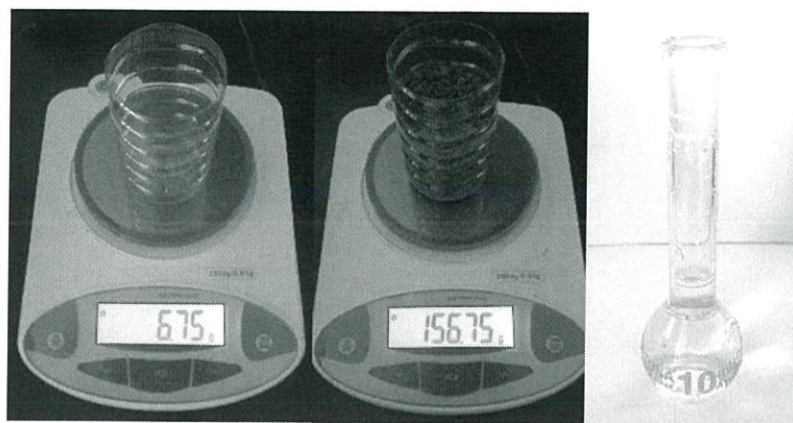
จากกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ยิ่งอัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นยิ่งทำให้ใช้เวลาในการเพิ่มระดับน้ำน้อยลง

#### 4.1.4 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

สำหรับปริภูมิตดสอบนี้ได้ออกแบบและติดตั้งเซนเซอร์วัดความชื้นในดินด้วยกัน 2 ตำแหน่ง คือ บริเวณผิวดินและบริเวณดินที่ระดับลึกลงไปใต้ดิน ดังนั้นในการทดลองจึงเป็นการพิจารณาว่าที่เซนเซอร์ทั้ง 2 ตัว สามารถวัดได้ ซึ่งในการทดสอบนั้น ได้ทำการทดสอบกับดินตัวอย่างขนาด 150 กรัม และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นในดินจากการเติมน้ำลงไปใต้ดินตัวอย่างครั้งละ 10 มิลลิลิตร จนดินตัวอย่างกลายเป็นโคลนเหลวที่เต็มไปด้วยน้ำ โดยมีรายละเอียดของการทดลองดังต่อไปนี้

##### 4.1.4.1 ชั่งน้ำหนักดินตัวอย่างและตวงปริมาตรน้ำ

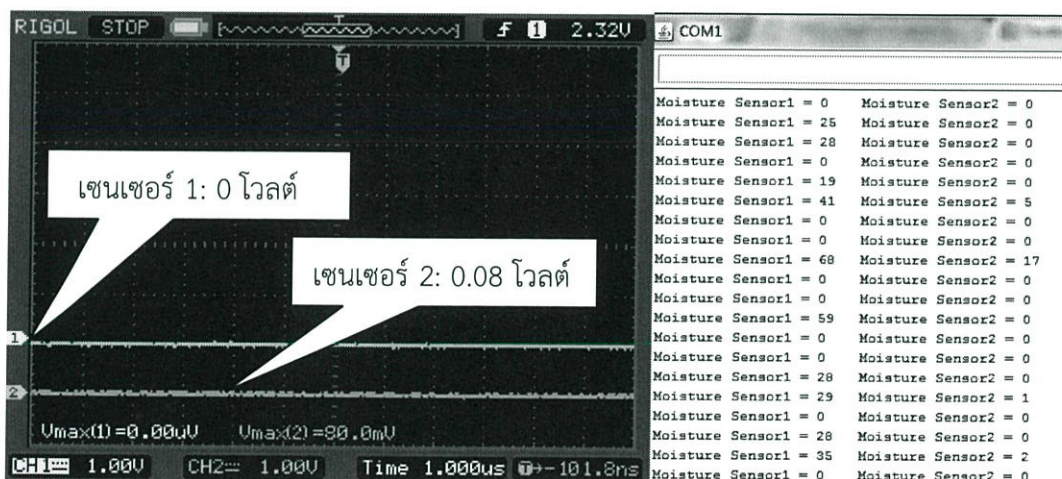
ทำการชั่งน้ำหนักดินตัวอย่างน้ำหนัก 150 กรัม และตวงปริมาตรน้ำ 10 มิลลิลิตร ทั้งนี้แสดงการชั่งน้ำหนักดินและตวงวัดปริมาตรน้ำได้ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 การชั่งน้ำหนักดินตัวอย่างและตวงปริมาตรน้ำสำหรับการทดลอง

### 1) วัดค่าความชื้นเมื่อดินแห้ง

ทำการวัดค่าจากเซนเซอร์วัดความชื้นในดินทั้ง 2 ตัว เมื่อดินตัวอย่างมีลักษณะเป็นดินแห้ง โดยแสดงผลการทดลองการวัดระดับแรงดันและค่าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้ ดังรูปที่ 4.17

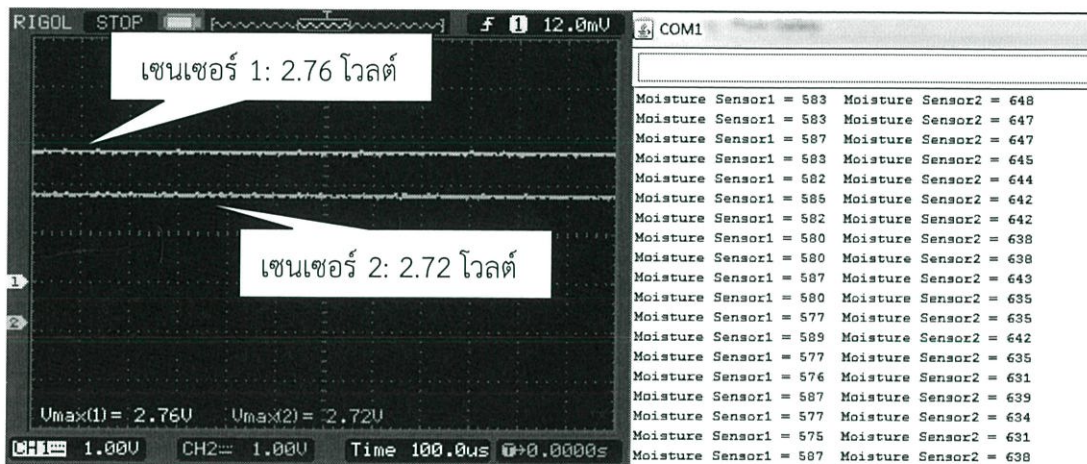


รูปที่ 4.17 ค่าความชื้นในดินตัวอย่างเมื่อดินแห้ง

จากรูปที่ 4.17 พบว่าระดับแรงดันของเซนเซอร์ตัวที่ 1 มีค่า 0 โวลต์ และเซนเซอร์ตัวที่ 2 มีค่า 0.08 โวลต์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าที่ได้จากเซนเซอร์ทั้ง 2 อยู่ในช่วงค่า 0

## 2) วัดค่าความชื้นเมื่อเติมน้ำ 10 มิลลิลิตร

ทำการวัดค่าจากเซนเซอร์วัดความชื้นในดินทั้ง 2 ตัว เมื่อเติมน้ำ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงไปในดิน โดยแสดงผลการวัดระดับแรงดันและค่าที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ ประมวลผลได้ ดังรูปที่ 4.18

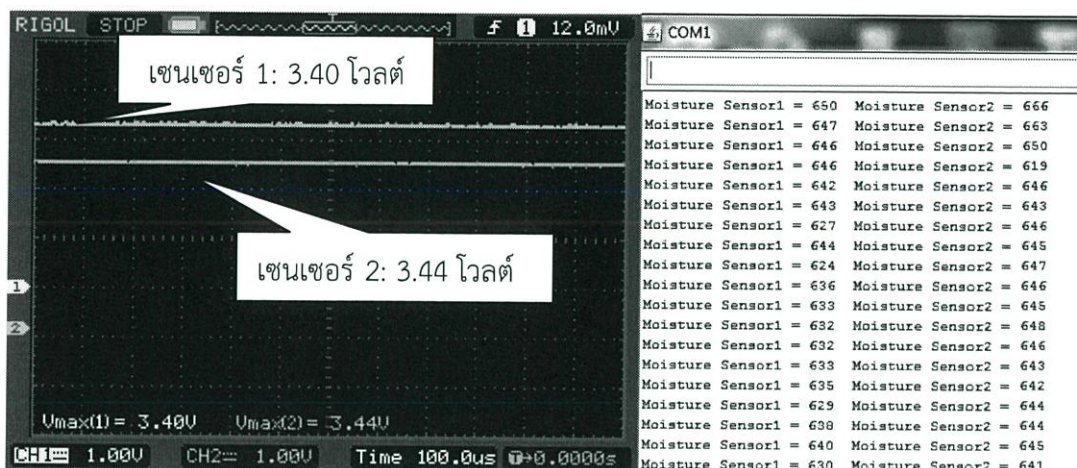


รูปที่ 4.18 ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 10 มิลลิลิตร

จากรูปที่ 4.18 พบว่าระดับแรงดันของเซนเซอร์ตัวที่ 1 มีค่า 2.76 โวลต์ และเซนเซอร์ ตัวที่ 2 มีค่า 2.72 โวลต์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าที่ได้จากเซนเซอร์ตัวที่ 1 อยู่ในช่วง ค่า 570 - 590 และประมวลผลค่าที่ได้จากเซนเซอร์ตัวที่ 2 อยู่ในช่วงค่า 630 - 650 โดยประมาณ

## 3) วัดค่าความชื้นเมื่อเติมน้ำ 20 มิลลิลิตร

ทำการวัดค่าจากเซนเซอร์วัดความชื้นในดินทั้ง 2 ตัว เมื่อเติมน้ำ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงไปในดิน โดยแสดงผลการวัดระดับแรงดันและค่าที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ ประมวลผลได้ ดังรูปที่ 4.19

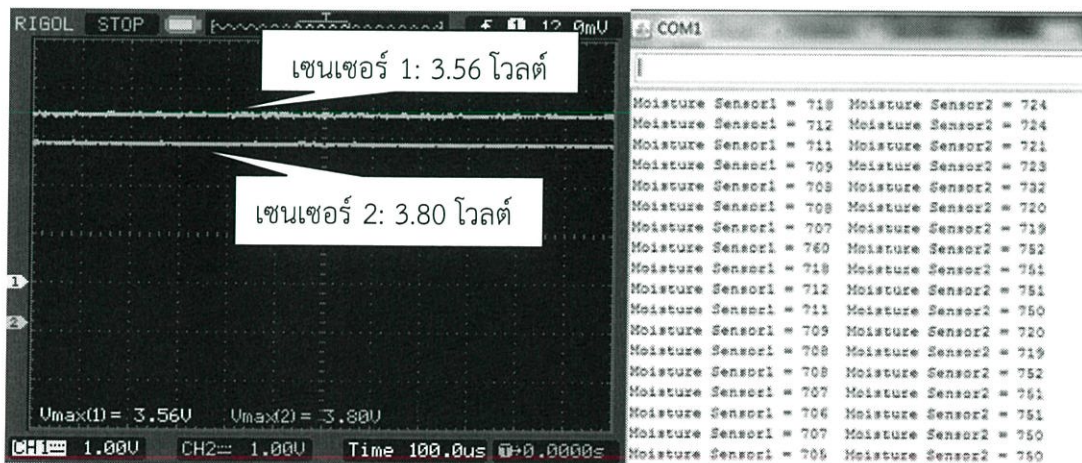


รูปที่ 4.19 ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 20 มิลลิลิตร

จากรูปที่ 4.19 พบว่าระดับแรงดันของเซนเซอร์ตัวที่ 1 มีค่า 3.40 โวลต์ และเซนเซอร์ตัวที่ 2 มีค่า 3.44 โวลต์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าที่ได้จากเซนเซอร์ทั้ง 2 อยู่ในช่วงค่า 640 - 650 โดยประมาณ

#### 4) วัดค่าความชื้นเมื่อเติมน้ำ 30 มิลลิลิตร

ทำการวัดค่าจากเซนเซอร์วัดความชื้นในดินทั้ง 2 ตัว เมื่อเติมน้ำปริมาตร 30 มิลลิลิตร ลงไปในดิน โดยแสดงผลการวัดระดับแรงดันและค่าที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้ ดังรูปที่ 4.20

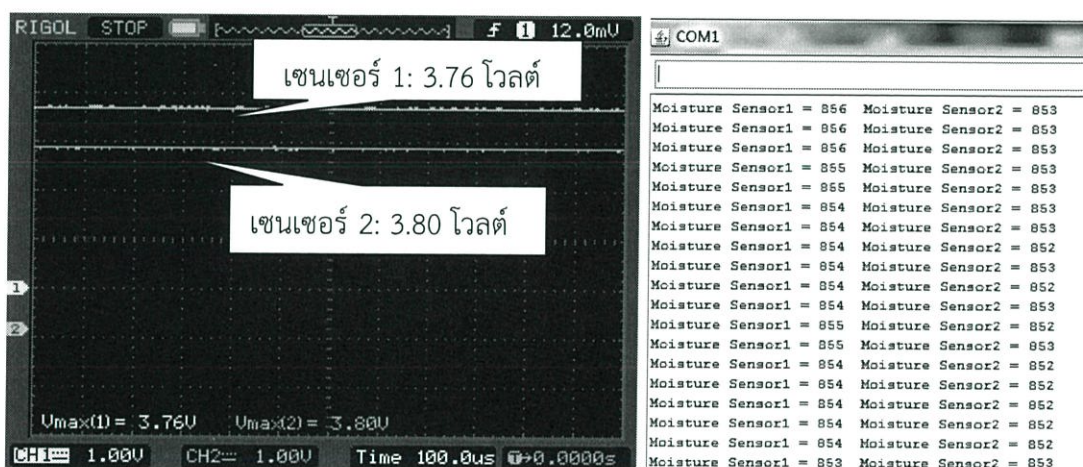


รูปที่ 4.20 ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 30 มิลลิลิตร

จากรูปที่ 4.20 พบว่าระดับแรงดันของเซนเซอร์ตัวที่ 1 มีค่า 3.56 โวลต์ และเซนเซอร์ตัวที่ 2 มีค่า 3.80 โวลต์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าที่ได้จากเซนเซอร์ตัวที่ 1 อยู่ในช่วงค่า 700 - 720 และประมวลผลค่าที่ได้จากเซนเซอร์ตัวที่ 2 อยู่ในช่วงค่า 720 - 750 โดยประมาณ

#### 5) วัดค่าความชื้นเมื่อเติมน้ำ 40 มิลลิลิตร

ทำการวัดค่าจากเซนเซอร์วัดความชื้นในดินทั้ง 2 ตัว เมื่อเติมน้ำปริมาตร 40 มิลลิลิตร ลงไปในดิน โดยแสดงผลการทดลองโดยการวัดระดับแรงดันและค่าที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้ ดังรูปที่ 4.21

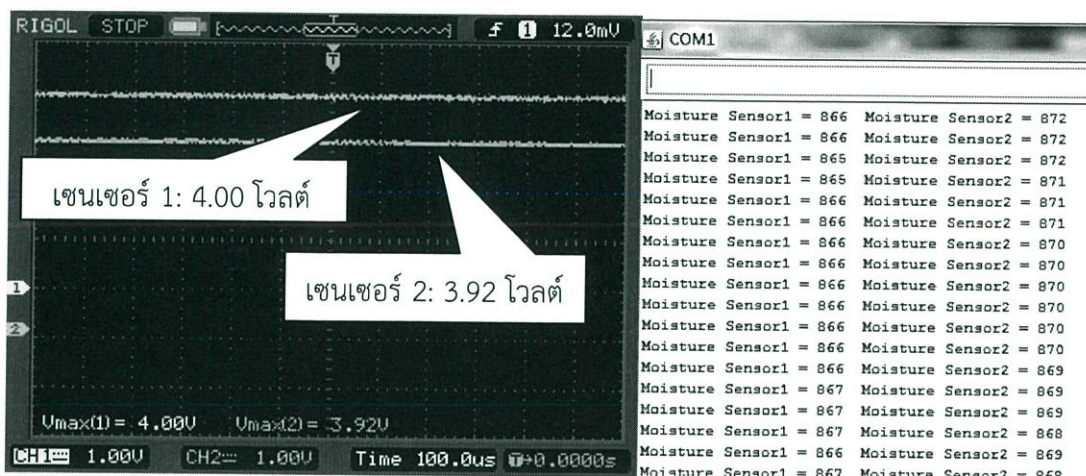


รูปที่ 4.21 ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 40 มิลลิลิตร

จากรูปที่ 4.21 พบว่าระดับแรงดันของเซนเซอร์ตัวที่ 1 มีค่า 3.76 โวลต์ และเซนเซอร์ตัวที่ 2 มีค่า 3.80 โวลต์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าที่ได้จากเซนเซอร์ทั้ง 2 อยู่ในช่วงค่า 850 - 860 โดยประมาณ

#### 6) วัดค่าความชื้นเมื่อเติมน้ำ 50 มิลลิลิตร

ทำการวัดค่าจากเซนเซอร์วัดความชื้นในดินทั้ง 2 ตัว เมื่อเติมน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงไปในดิน โดยแสดงผลการวัดระดับแรงดันและค่าที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้ ดังรูปที่ 4.22

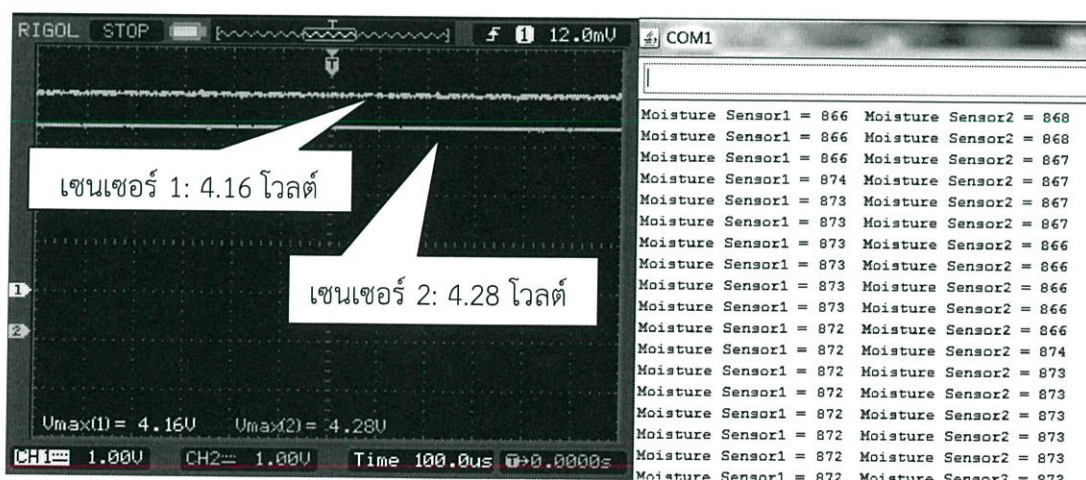


รูปที่ 4.22 ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร

จากรูปที่ 4.22 พบว่าระดับแรงดันของเซนเซอร์ตัวที่ 1 มีค่า 4 โวลต์ และเซนเซอร์ตัวที่ 2 มีค่า 3.92 โวลต์ และไม่คอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าที่ได้จากเซนเซอร์ทั้ง 2 อยู่ในช่วงค่า 860 - 870 โดยประมาณ

#### 7) วัดค่าความชื้นเมื่อเติมน้ำ 60 มิลลิลิตร

ทำการวัดค่าจากเซนเซอร์วัดความชื้นในดินทั้ง 2 ตัว เมื่อเติมน้ำปริมาตร 60 มิลลิลิตร ลงไปในดิน โดยแสดงผลการวัดระดับแรงดันและค่าที่ไม่คอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้ ดังรูปที่ 4.23

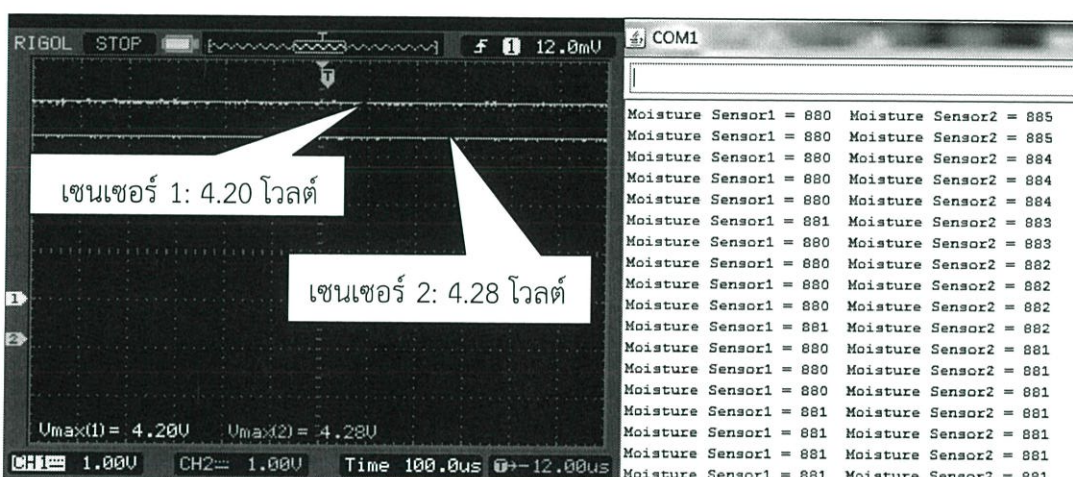


รูปที่ 4.23 ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 60 มิลลิลิตร

จากรูปที่ 4.23 พบว่าระดับแรงดันของเซนเซอร์ตัวที่ 1 มีค่า 4.16 โวลต์ และเซนเซอร์ตัวที่ 2 มีค่า 4.28 โวลต์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าที่ได้จากเซนเซอร์ทั้ง 2 อยู่ในช่วงค่า 870 - 880 โดยประมาณ

8) วัดค่าความชื้นเมื่อเติมน้ำ 70 มิลลิลิตร

ทำการวัดค่าจากเซนเซอร์วัดความชื้นในดินทั้ง 2 ตัว เมื่อเติมน้ำปริมาตร 70 มิลลิลิตร ลงไปในดิน โดยแสดงผลการวัดระดับแรงดันและค่าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้ ดังรูปที่ 4.24

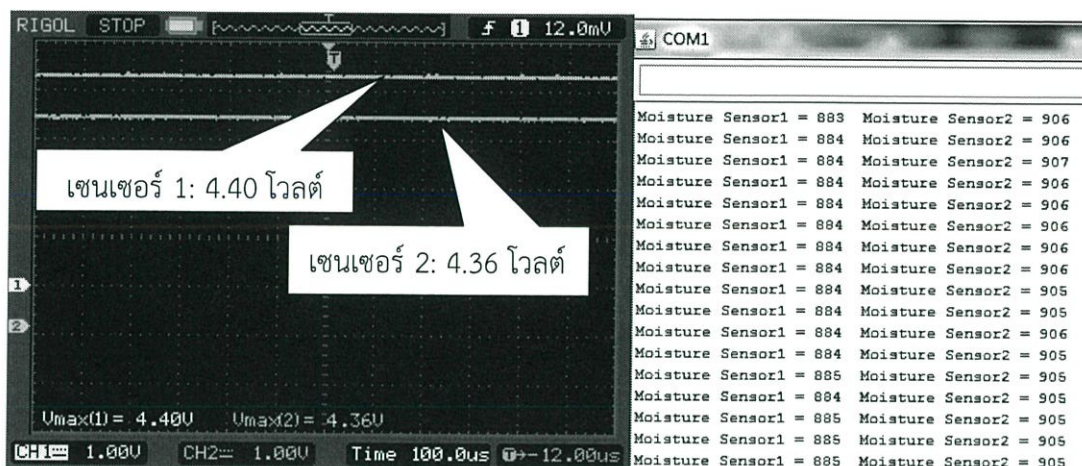


รูปที่ 4.24 ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 70 มิลลิลิตร

จากรูปที่ 4.24 พบว่าระดับแรงดันของเซนเซอร์ตัวที่ 1 มีค่า 4.20 โวลต์ และเซนเซอร์ตัวที่ 2 มีค่า 4.28 โวลต์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าที่ได้จากเซนเซอร์ทั้ง 2 อยู่ในช่วงค่า 880 - 885 โดยประมาณ

9) วัดค่าความชื้นเมื่อเติมน้ำ 80 มิลลิลิตร

ทำการวัดค่าจากเซนเซอร์วัดความชื้นในดินทั้ง 2 ตัว เมื่อเติมน้ำปริมาตร 80 มิลลิลิตร ลงไปในดิน โดยแสดงผลการวัดระดับแรงดันและค่าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้ ดังรูปที่ 4.25

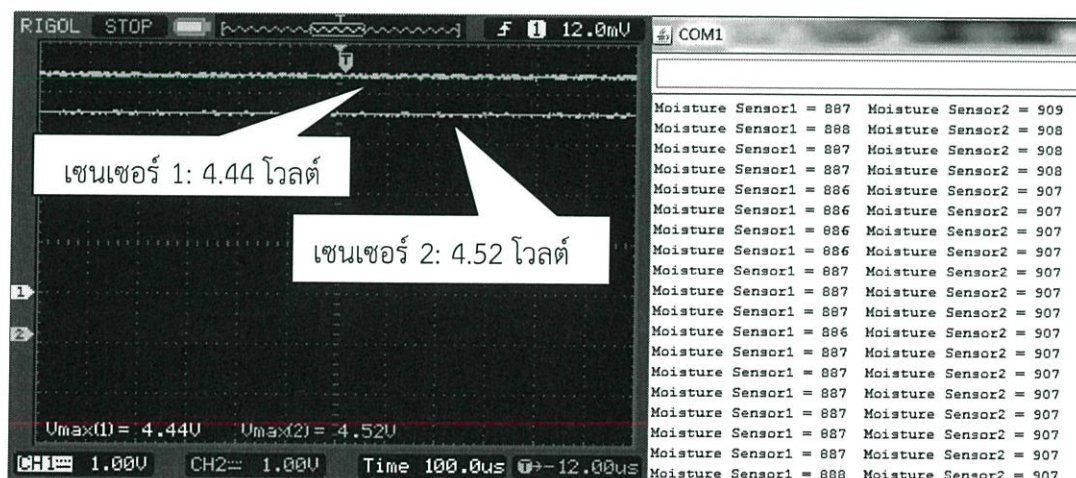


รูปที่ 4.25 ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 80 มิลลิลิตร

จากรูปที่ 4.25 พบว่าระดับแรงดันของเซนเซอร์ตัวที่ 1 มีค่า 4.40 โวลต์ และเซนเซอร์ตัวที่ 2 มีค่า 4.36 โวลต์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าที่ได้จากเซนเซอร์ตัวที่ 1 อยู่ในช่วงค่าคงที่ 885 โดยประมาณ และประมวลผลค่าที่ได้จากเซนเซอร์ตัวที่ 2 อยู่ในช่วงค่าคงที่ 905 โดยประมาณ

10) วัดค่าความชื้นเมื่อเติมน้ำ 90 มิลลิลิตร

ทำการวัดค่าจากเซนเซอร์วัดความชื้นในดินทั้ง 2 ตัว เมื่อเติมน้ำปริมาตร 90 มิลลิลิตร ลงไปในดิน โดยแสดงผลการวัดระดับแรงดันและค่าที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้ ดังรูปที่ 4.26

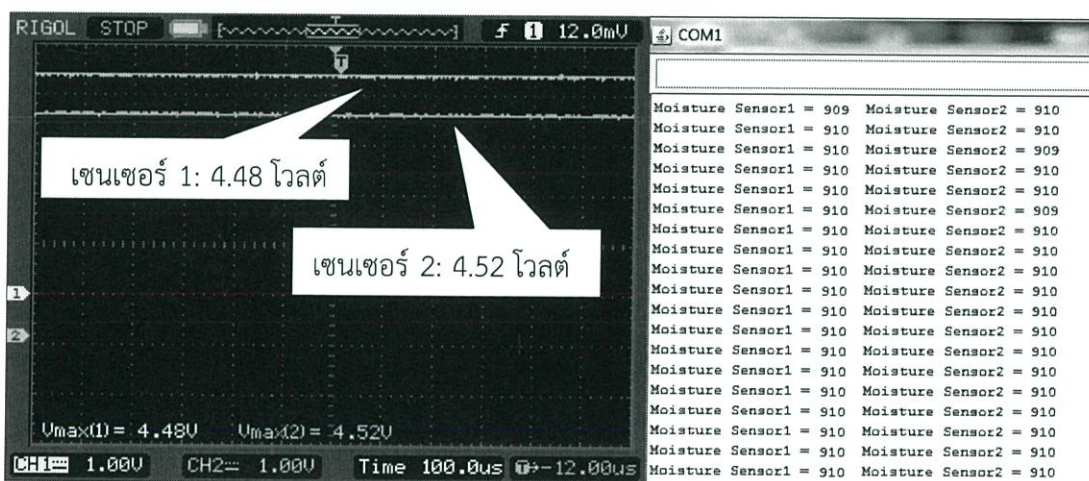


รูปที่ 4.26 ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 90 มิลลิลิตร

จากรูปที่ 4.26 พบว่าระดับแรงดันของเซนเซอร์ตัวที่ 1 มีค่า 4.44 โวลต์ และเซนเซอร์ตัวที่ 2 มีค่า 4.52 โวลต์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าที่ได้จากเซนเซอร์ตัวที่ 1 อยู่ในช่วงค่าคงที่ 888 โดยประมาณและประมวลผลค่าที่ได้จากเซนเซอร์ตัวที่ 2 อยู่ในช่วงค่าคงที่ 907 โดยประมาณ

#### 11) วัดค่าความชื้นเมื่อเติมน้ำ 100 มิลลิลิตร

ทำการวัดค่าจากเซนเซอร์วัดความชื้นในดินทั้ง 2 ตัว เมื่อเติมน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงไปในดิน โดยแสดงผลการวัดระดับแรงดันและค่าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้ ดังรูปที่ 4.27

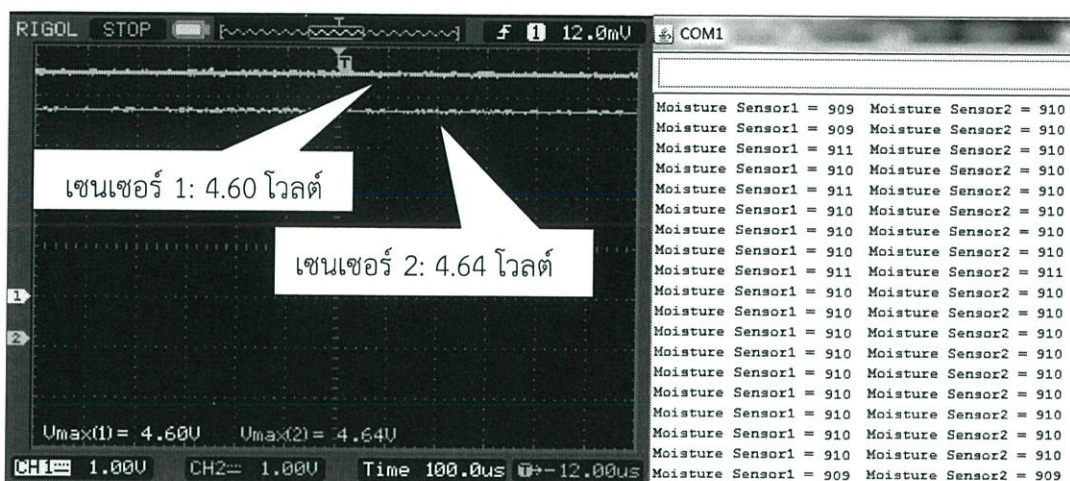


รูปที่ 4.27 ค่าความชื้นในดินเมื่อเติมน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร

จากรูปที่ 4.27 พบว่าระดับแรงดันของเซนเซอร์ตัวที่ 1 มีค่า 4.48 โวลต์ และเซนเซอร์ตัวที่ 2 มีค่า 4.52 โวลต์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าที่ได้จากเซนเซอร์ทั้ง 2 อยู่ในช่วงค่าคงที่ 910 โดยประมาณ

#### 12) วัดค่าในน้ำสะอาด

ทำการวัดค่าจากเซนเซอร์วัดความชื้นทั้ง 2 ตัว ในน้ำสะอาด โดยแสดงผลการทดลองโดยการวัดระดับแรงดันและค่าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้ ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 ค่าความชื้นในน้ำสะอาด

จากรูปที่ 4.28 พบว่าระดับแรงดันของเซนเซอร์ตัวที่ 1 มีค่า 4.60 โวลต์ และเซนเซอร์ตัวที่ 2 มีค่า 4.64 โวลต์ และไม่โครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าที่ได้จากเซนเซอร์ทั้ง 2 อยู่ในช่วงค่าคงที่ 910 โดยประมาณ

จากผลการทดลองข้างต้น สามารถสรุปค่าที่เซนเซอร์วัดความชื้นในดินสามารถทำการวัดได้ในแต่ละเงื่อนไขของการทดลอง ดังตารางที่ 4.9

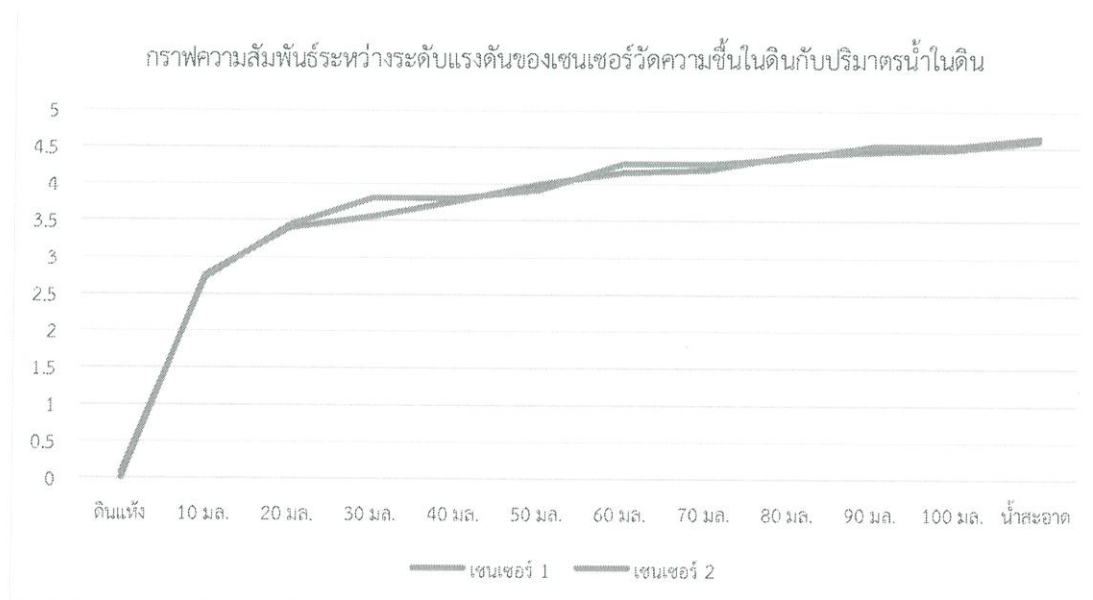
ตารางที่ 4.9 ค่าที่เซนเซอร์วัดความชื้นในดินสามารถทำการวัดได้ในแต่ละเงื่อนไข

| เงื่อนไข       | ระดับแรงดันที่วัดได้ (โวลต์) |                  | ช่วงค่าที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์แสดง |                  |
|----------------|------------------------------|------------------|----------------------------------|------------------|
|                | เซนเซอร์ตัวที่ 1             | เซนเซอร์ตัวที่ 2 | เซนเซอร์ตัวที่ 1                 | เซนเซอร์ตัวที่ 2 |
| ดินแห้ง        | 0                            | 0.08             | 0                                | 0                |
| เติมน้ำ 10 มล. | 2.76                         | 2.72             | 580                              | 640              |
| เติมน้ำ 20 มล. | 3.40                         | 3.44             | 650                              | 650              |
| เติมน้ำ 30 มล. | 3.56                         | 3.80             | 710                              | 720              |
| เติมน้ำ 40 มล. | 3.76                         | 3.80             | 850                              | 850              |
| เติมน้ำ 50 มล. | 4.00                         | 3.92             | 870                              | 870              |

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) ค่าที่เซนเซอร์วัดความชื้นในดินสามารถทำการวัดได้ในแต่ละเงื่อนไข

| เงื่อนไข        | ระดับแรงดันที่วัดได้ (โวลต์) |                  | ช่วงค่าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์แสดง |                  |
|-----------------|------------------------------|------------------|---------------------------------|------------------|
|                 | เซนเซอร์ตัวที่ 1             | เซนเซอร์ตัวที่ 2 | เซนเซอร์ตัวที่ 1                | เซนเซอร์ตัวที่ 2 |
| เติมน้ำ 60 มล.  | 4.16                         | 4.28             | 870                             | 870              |
| เติมน้ำ 70 มล.  | 4.20                         | 4.28             | 880                             | 880              |
| เติมน้ำ 80 มล.  | 4.40                         | 4.36             | 885                             | 905              |
| เติมน้ำ 90 มล.  | 4.40                         | 4.52             | 888                             | 907              |
| เติมน้ำ 100 มล. | 4.52                         | 4.48             | 910                             | 910              |
| น้ำสะอาด        | 4.60                         | 4.64             | 910                             | 910              |

จากตารางที่ 4.9 จะพบว่า เมื่อระดับน้ำในดินมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความชื้นในดินมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้ สามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในดินและค่าความชื้นในดินที่เซนเซอร์วัดความชื้นในดินวัดค่าได้ ดังกราฟรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันเซนเซอร์วัดความชื้นในดินกับปริมาณน้ำในดิน

จากรูปที่ 4.29 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันของเซนเซอร์วัดความชื้นในดินกับปริมาณน้ำในดิน พบว่าเมื่อระดับน้ำในดินมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ระดับแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือค่าความชื้นในดินมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันและความชื้นในดิน มีความแตกต่างมากพอที่จะนำไปใช้วิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการเกิดดินถล่มได้

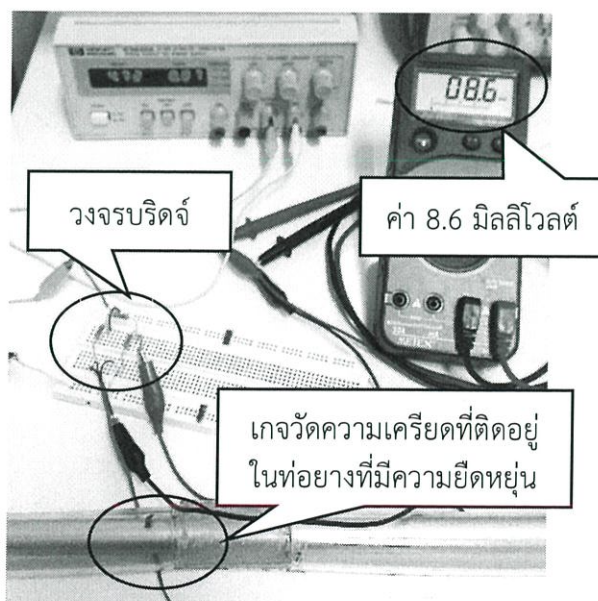
#### 4.1.5 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดการยึดเกาะของดิน

สำหรับเซนเซอร์วัดการยึดเกาะของดินในปริภูมยานุพันธ์นี้ ได้มีการประยุกต์ใช้เกจวัดความเครียดซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดแรงดึงเครียดของวัตถุ โดยจะได้ค่าความต้านทานออกมาเมื่อเกจมีการเปลี่ยนแปลง และความเครียดนั้นจะแปรผันตามค่าความต้านทานที่ได้ ทั้งนี้การใช้งานเกจวัดความเครียดต้องทำการต่อร่วมกับวงจรบริดจ์ เพื่อให้สามารถวัดค่าแรงดันได้ ดังนั้นสำหรับการทดลองจึงมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 4.1.5.1 ทดสอบการทำงานของเกจวัดความเครียดกับวงจรบริดจ์

ทำการเชื่อมต่อเกจวัดความเครียดที่ได้ออกแบบไว้ในเบื้องต้นร่วมกับวงจรบริดจ์เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันเมื่อมีแรงกระทำต่อเกจวัดความเครียด โดยมีรายละเอียดการทดลองดังต่อไปนี้

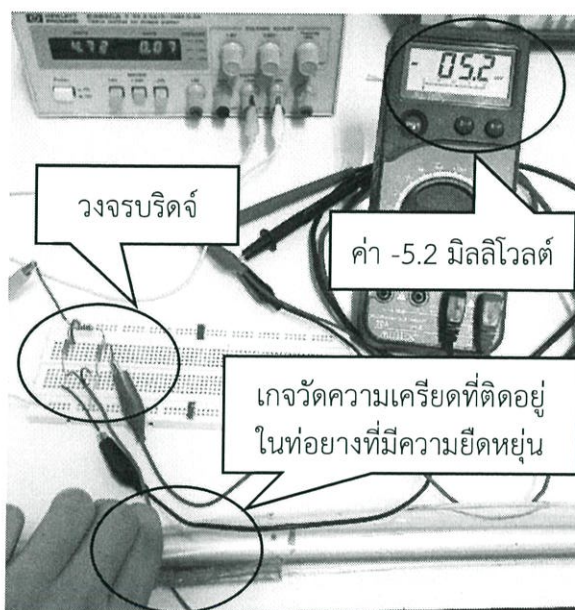
##### 1) วัดระดับแรงดันเมื่อไม่มีแรงกระทำต่อเกจวัดความเครียด



รูปที่ 4.30 ค่าของเกจวัดความเครียดเมื่อไม่มีแรงกระทำ

จากรูปที่ 4.30 เป็นการวัดค่าระดับแรงดันเมื่อเกจวัดความเครียดไม่มีแรงกระทำ ทั้งนี้เนื่องจากค่าที่ได้อยู่ในช่วงมิลลิโวลต์ ทำให้ออสซิลโลสโคป ไม่สามารถแสดงค่าดังกล่าวได้อย่างชัดเจน ดังนั้นในการทดลองจึงใช้โวลต์มิเตอร์ในการวัดค่า ซึ่งพบว่าเกจวัดความเครียดเมื่อไม่มีแรงกระทำนั้น มีระดับแรงดันที่ 8.6 มิลลิโวลต์

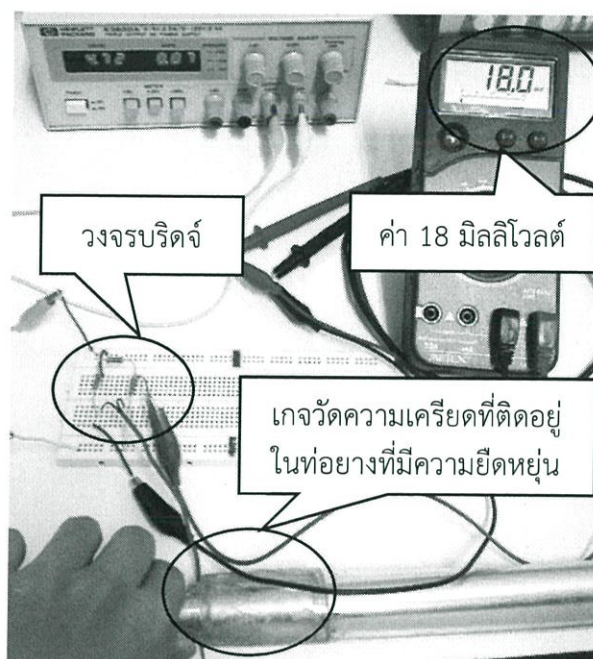
## 2) วัดระดับแรงดันเมื่อมีแรงบีบกระทำต่อเกจวัดความเครียด



รูปที่ 4.31 ค่าของเกจวัดความเครียดเมื่อมีแรงบีบกระทำ

จากรูปที่ 4.31 เป็นการวัดค่าระดับแรงดันเมื่อเกจวัดความเครียดมีแรงบีบกระทำ ซึ่งพบว่าเกจวัดความเครียดเมื่อมีแรงบีบกระทำนั้น มีระดับแรงดันที่ -5.2 มิลลิโวลต์ โดยสาเหตุการลดลงของค่าดังกล่าวเป็นผลมาจากการที่เกจวัดความเครียดถูกบีบอัดให้มีความต้านทานลดน้อยลง ส่งผลให้ระดับแรงดันที่ได้น้อยลงตามไปด้วย

### 3) วัดระดับแรงดันเมื่อมีแรงดึงกระทำต่อเกจวัดความเครียด



รูปที่ 4.32 ค่าของเกจวัดความเครียดเมื่อมีแรงดึงกระทำ

จากรูปที่ 4.32 เป็นการวัดค่าระดับแรงดันเมื่อเกจวัดความเครียดมีแรงดึงกระทำ ซึ่งพบว่าเกจวัดความเครียดที่มีแรงดึงกระทำนั้น มีระดับแรงดันที่ 18.0 มิลลิโวลต์ โดยสาเหตุการเพิ่มขึ้นของค่าดังกล่าวเป็นผลมาจากการที่เกจวัดความเครียดถูกดึงขยาย ทำให้มีความต้านทานเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ระดับแรงดันที่ได้มากขึ้นตามไปด้วย

จากการทดลองสามารถสรุปค่าการเปลี่ยนแปลง ระดับแรงดันของเกจวัดความเครียด ได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 สรุปค่าการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันของเกจวัดความเครียด

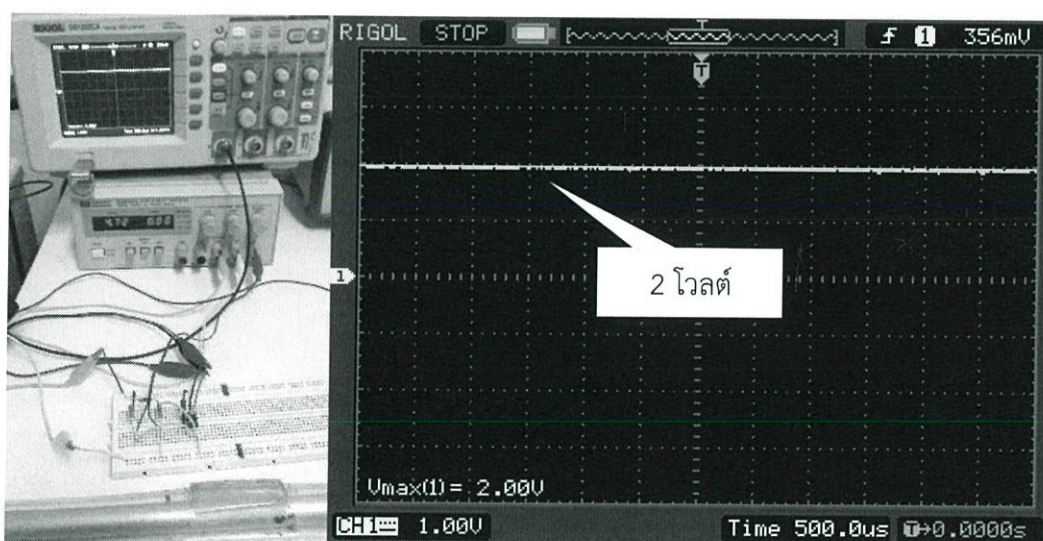
| ลักษณะแรงที่กระทำต่อเกจ | ระดับแรงดันที่วัดได้ (มิลลิโวลต์) | ระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลง (มิลลิโวลต์) |
|-------------------------|-----------------------------------|--|
| ไม่มีแรงกระทำ           | 8.6                               | -                                      |
| แรงบีบ                  | -5.2                              | 13.8                                   |
| แรงดึง                  | 18.0                              | 9.4                                    |

จากตารางที่ 4.10 อธิบายได้ว่า เมื่อมีแรงบีบกระทำต่อเกจวัดความเครียดแล้ว จะส่งผลให้ระดับแรงดันที่ได้มีค่าน้อยลง และเมื่อมีแรงดึงกระทำต่อเกจวัดความเครียดแล้ว จะทำให้ระดับแรงดันที่ได้มีค่าเพิ่มมากขึ้น

#### 4.1.5.2 ทดสอบการทำงานของเกจวัดความเครียดกับวงจรบริดจ์และ วงจรขยายสัญญาณ

จากการทดสอบการทำงานของเกจวัดความเครียดที่ผ่านมาพบว่า ค่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเกจวัดความเครียดนั้น อยู่ในหน่วยมิลลิโวลต์ ซึ่งถือเป็นค่าที่ต่ำมากจน ไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถประมวลผลการทำงานได้ ดังนั้น จึงได้ทำการเชื่อมต่อเกจวัดความเครียดที่ได้ออกแบบไว้เบื้องต้นร่วมกับวงจรบริดจ์ และเพิ่มวงจรขยายสัญญาณเพื่อให้สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันเมื่อมีแรงกระทำต่อเกจวัดความเครียดได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ รายละเอียดการทดลองมีดังต่อไปนี้

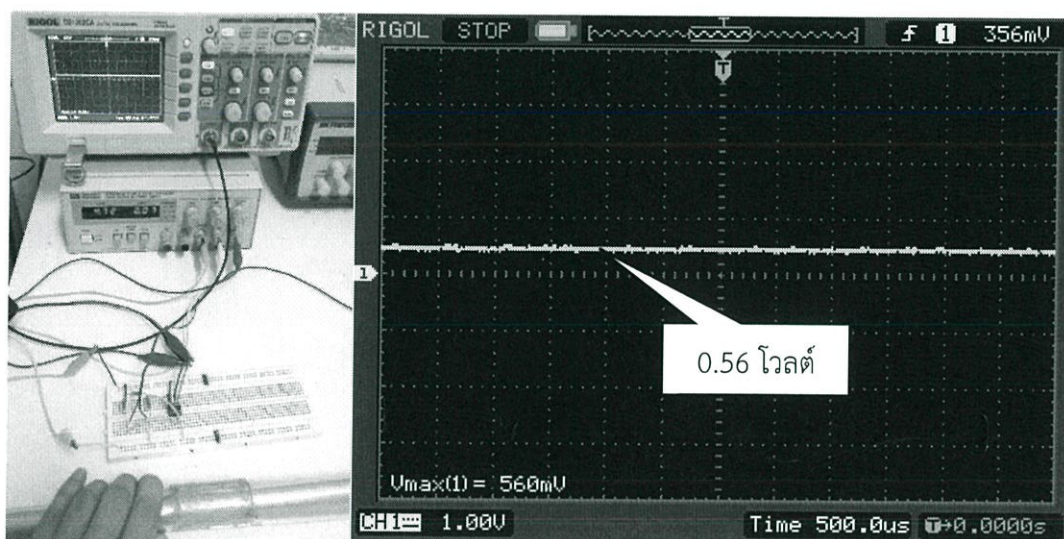
##### 1) วัดระดับแรงดันเมื่อไม่มีแรงกระทำต่อเกจวัดความเครียด



รูปที่ 4.33 ค่าของเกจวัดความเครียดผ่านวงจรขยายเมื่อไม่มีแรงกระทำ

จากรูปที่ 4.33 เป็นการวัดค่าระดับแรงดันเมื่อเกจวัดความเครียดไม่มีแรงกระทำ ซึ่งสามารถวัดค่าได้ที่ระดับแรงดัน 2.0 โวลต์

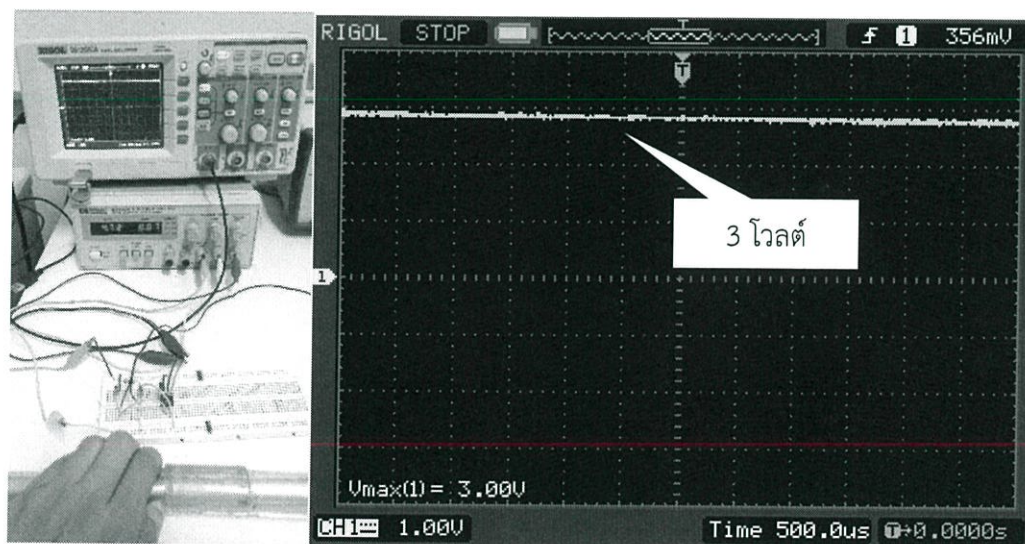
2) วัดระดับแรงดันเมื่อมีแรงบีบกระทำต่อเกจวัดความเครียด



รูปที่ 4.34 ค่าของเกจวัดความเครียดผ่านวงจรขยายเมื่อมีแรงบีบกระทำ

จากรูปที่ 4.34 เป็นการวัดค่าระดับแรงดันเมื่อเกจวัดความเครียดมีแรงบีบกระทำ ซึ่งสามารถวัดค่าได้ที่ระดับแรงดัน 0.56 โวลต์ โดยจะพบว่าระดับแรงดันมีค่าลดลงจากระดับแรงดันเมื่อไม่มีแรงกระทำ ทั้งนี้เป็นผลมาจากแรงบีบอัดทำให้ค่าความต้านทานลดน้อยลง ส่งผลให้ระดับแรงดันที่ได้ลดน้อยลงไปด้วย

3) วัดระดับแรงดันเมื่อมีแรงบีบกระทำต่อเกจวัดความเครียด



รูปที่ 4.35 ค่าของเกจวัดความเครียดผ่านวงจรขยายเมื่อมีแรงดึงกระทำ

จากรูปที่ 4.35 เป็นการวัดค่าระดับแรงดันเมื่อเกิดวัดความเครียดมีแรงดึงกระทำ ซึ่งสามารถวัดค่าได้ที่ระดับแรงดัน 3 โวลต์ โดยจะพบว่าระดับแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้นจากระดับแรงดันเมื่อไม่มีแรงกระทำ ทั้งนี้เป็นผลมาจากแรงดึง ทำให้ค่าความต้านทานเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ระดับแรงดันที่ได้มีค่ามากขึ้นตามไปด้วย

จากการทดลองสามารถสรุปค่าการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันของเกจวัดความเครียดเมื่อมีการขยายสัญญาณแรงดันได้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 สรุปค่าการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันของเกจวัดความเครียดเมื่อมีการขยายสัญญาณ

| ลักษณะแรงที่กระทำต่อเกจ | ระดับแรงดันที่วัดได้ (โวลต์) | ระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลง (โวลต์) |
|-------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| ไม่มีแรงกระทำ           | 2                            | -                                 |
| แรงบีบ                  | 0.56                         | 1.44                              |
| แรงดึง                  | 3                            | 1                                 |

จากตารางที่ 4.11 อธิบายได้ว่า เมื่อมีแรงบีบกระทำต่อเกจวัดความเครียดแล้ว จะส่งผลให้ระดับแรงดันที่ได้มีค่าน้อยลง และเมื่อมีแรงดึงกระทำต่อเกจวัดความเครียดแล้ว จะทำให้ระดับแรงดันที่ได้มีค่าเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ได้มีการขยายระดับแรงดันให้ในหน่วยโวลต์ ด้วยวงจขยายเพื่อให้ระดับแรงดันอยู่ในช่วงค่าที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์สามารถประมวลผลได้

#### 4.1.5.3 ทดสอบการทำงานของเกจวัดความเครียดกับไมโครคอนโทรลเลอร์

ทำการโปรแกรมคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันที่ได้จากเกจวัดความเครียดและแสดงค่าผ่านหน้าจอแสดงผล ดังรูปที่ 4.36

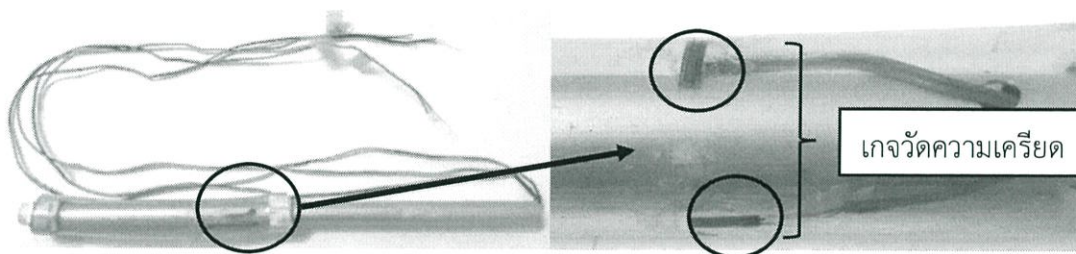


รูปที่ 4.36 การประมวลค่าความเครียดโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

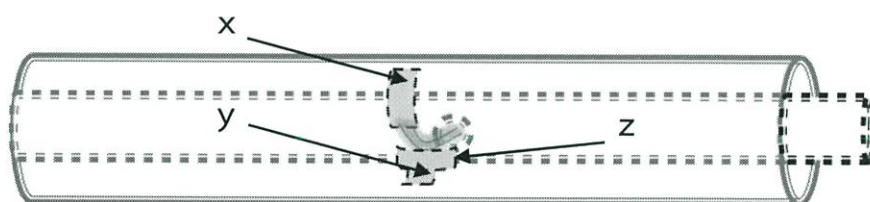
จากรูปที่ 4.36 เป็นการแสดงค่าจากการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อมีแรงลักษณะต่างๆ กระทำต่อเกจวัดความเครียด ซึ่งจะพบว่า เมื่อมีแรงบีบกระทำต่อเกจวัดความเครียดแล้ว จะส่งผลให้ค่าที่ได้ลดน้อยลงจากค่าเมื่อไม่มีแรงกระทำ และเมื่อมีแรงดึงกระทำต่อเกจวัดความเครียดแล้ว จะทำให้ค่าที่ได้มากขึ้นจากค่าเมื่อไม่มีแรงกระทำ

4.1.5.4 การทดสอบเพื่อหาทิศทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการติดตั้งเกจวัดความเครียดในอุปกรณ์ตรวจวัดการยึดเกาะของดิน

ทำการทดสอบหาทิศทางที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งเกจวัดความเครียดเพื่อใช้เป็นต้นแบบสำหรับวัดค่าการยึดเกาะของดินในการเตือนภัยดินถล่ม โดยการติดตั้งเกจวัดความเครียดไว้ในระดับเดียวกันแต่มีทิศทางการติดตั้งหลายทิศทาง ทั้งนี้ได้แสดงลักษณะการทดสอบดังรูปที่ 4.37 และลักษณะการติดตั้งเกจวัดความเครียดในระนาบต่างๆ ดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.37 ลักษณะการติดตั้งเกจวัดความเครียดในอุปกรณ์



รูปที่ 4.38 ระนาบทิศทางการติดตั้งเกจวัดความเครียด

จากนั้นทำการทดสอบการทำงานของเกจวัดความเครียดเพื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้เพื่อหาทิศทางที่เหมาะสมในการติดตั้งเกจวัดความเครียด โดยค่าการทำงานของเกจวัดความเครียดในทิศทางต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าการทำงานของเกจวัดความเครียดในทิศทางต่างๆ

| ด้านที่<br>ปะทะกับ<br>ดิน (ที่<br>กำลัง<br>เคลื่อนตัว) | ระนาบทิศทางการติดเกจวัดความเครียด |                              |                               |                            |                              |                               |                            |                              |                               |
|--|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|  | x                                 |                              |                               | y                          |                              |                               | z                          |                              |                               |
|  | ค่า<br>เริ่มต้น<br>(โวลต์)        | ค่าที่<br>เปลี่ยน<br>(โวลต์) | ค่าความ<br>แตกต่าง<br>(โวลต์) | ค่า<br>เริ่มต้น<br>(โวลต์) | ค่าที่<br>เปลี่ยน<br>(โวลต์) | ค่าความ<br>แตกต่าง<br>(โวลต์) | ค่า<br>เริ่มต้น<br>(โวลต์) | ค่าที่<br>เปลี่ยน<br>(โวลต์) | ค่าความ<br>แตกต่าง<br>(โวลต์) |
| x  | 2                                 | 3.2                          | 1.2                           | 2                          | 0.66                         | 1.34                          | 1.67                       | 1.41                         | 0.26                          |
| y  | 1.94                              | 0.59                         | 1.35                          | 1.98                       | 2.82                         | 0.84                          | 1.52                       | 1.76                         | 0.24                          |
| z  | 1.72                              | 1.99                         | 0.27                          | 1.61                       | 1.36                         | 0.25                          | 1.66                       | 2.48                         | 0.82                          |

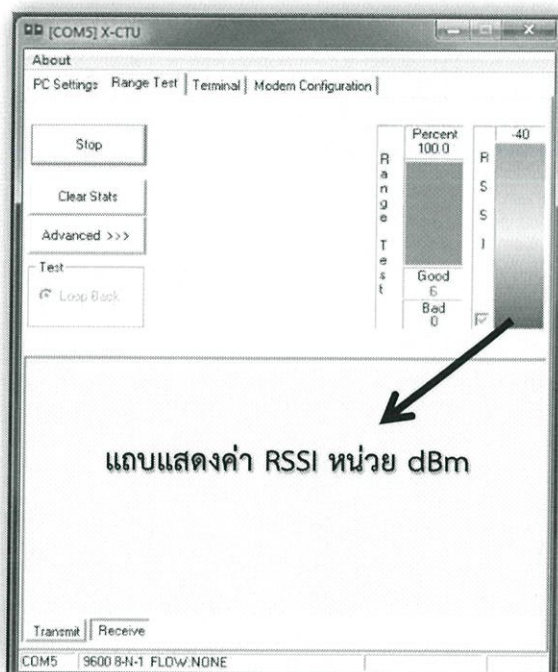
จากการทดสอบพบว่า การติดตั้งเกจวัดความเครียดในระนาบทิศ x และ y มีความเหมาะสมที่สุด เพราะเมื่อมีการเลือกให้ด้านที่ติดเกจวัดความเครียดในระนาบดังกล่าวหันหน้าเข้าสู่การปะทะของดิน จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่ามากที่สุด ดังนั้น การติดตั้งเกจวัดความเครียดที่เหมาะสมจึงควรเป็นลักษณะการติดตั้งในแนวระนาบ x หรือ y หรือติดในแนวตั้งฉากกับตัวท่อนั้นเอง

## 4.2 การทดสอบส่วนการสื่อสารไร้สาย เซิร์ฟเวอร์ ฐานข้อมูล และจีพีอาร์เอสโมดูล

ในส่วนของการทดสอบการสื่อสารแบบไร้สายนั้น ประกอบไปด้วยการทดสอบการทำงานของโมดูลสื่อสารไร้สายซิกบี การทำงานของเซิร์ฟเวอร์ การจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล และการทดสอบการทำงานของจีพีอาร์เอสโมดูล โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 4.2.1 การทดสอบการทำงานของโมดูลสื่อสารไร้สายซิกบี

ในส่วนนี้ ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณของซิกบี โดยสามารถบอกได้ด้วยค่าอาร์เอสเอสไอ (RSSI: Received Signal Strength Indication) ซึ่งค่าอาร์เอสเอสไอ เป็นค่าที่ใช้บอกความแรงหรือความเข้มของสัญญาณที่ได้รับในรูปของพลังงานหน่วยมิลลิเดซิเบล (dBm) โดยแถบแสดงค่าอาร์เอสเอสไอในโปรแกรม X-CTU แสดงดังรูปที่ 4.39 และในการทดสอบการส่งสัญญาณของซิกบีนั้น มีลักษณะการทดสอบดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.39 แถบแสดงค่าอาร์เอสเอสไอในหน่วยมิลลิเดซิเบล

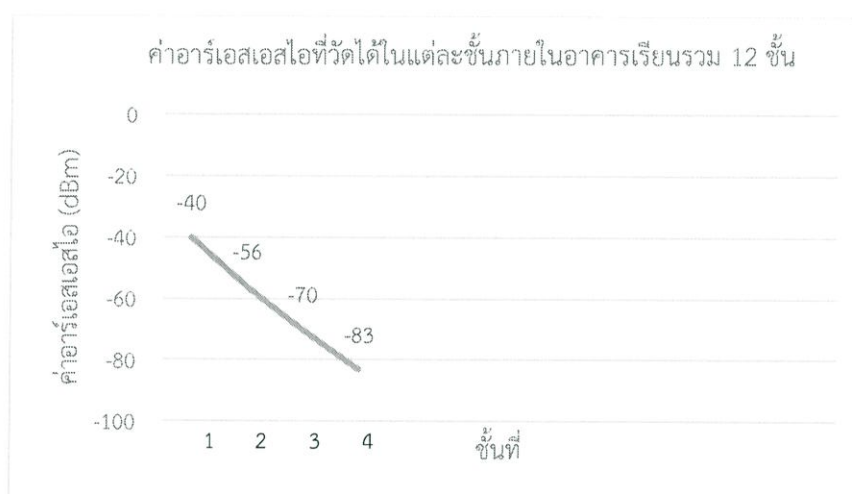
สำหรับการทดสอบระยะเวลาการส่งสัญญาณของชิปปีสามารถแบ่งการทดสอบได้ดังนี้

#### 4.2.1.1 ทดสอบความสามารถในการรับ-ส่งในระยะทางตามแนวตั้งหรือแนวสูง

สำหรับการทดสอบนี้จะเป็นการวัดค่า RSSI เทียบตามความสูงของแต่ละชั้น อาคารเรียนรวม 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งทำการทดสอบโดยการให้ชิปปีฝั่งรับทำการรับข้อมูลอยู่ที่ชั้น 1 ในขณะที่ชิปปีฝั่งส่งจะทำการส่งข้อมูลที่ชั้นที่ 1 ไปจนถึงชั้นที่ 12 โดยแต่ละชั้นมีระยะห่างกันประมาณ 5 เมตร ทั้งนี้ผลการทดสอบความสามารถในการรับ-ส่งข้อมูลในระยะทางตามแนวสูงนั้นแสดงได้ดังตารางที่ 4.13 และสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและค่าอาร์เอสเอสไอที่วัดได้ดังรูปที่ 4.40

ตารางที่ 4.13 ค่าอาร์เอสเอสไอที่วัดได้ในแต่ละชั้นภายในอาคารเรียนรวม 12 ชั้น

| ชั้น     | ค่า RSSI ที่วัดได้ (dBm) |
|----------|--------------------------|
| 1        | -40                      |
| 2        | -56                      |
| 3        | -70                      |
| 4        | -83                      |
| 5 ชั้นไป | ไม่สามารถรับสัญญาณได้    |



รูปที่ 4.40 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นและค่าอาร์เอสเอสไอที่วัดได้

จากการทดสอบพบว่า เมื่อระยะห่างระหว่างชั้นของซิกปีฝั่งส่งและซิกปีฝั่งรับเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่าอาร์เอสเอสไอหรือค่าความแรงของสัญญาณลดลง ไปจนถึงระยะที่ไม่สามารถรับ-ส่งสัญญาณได้

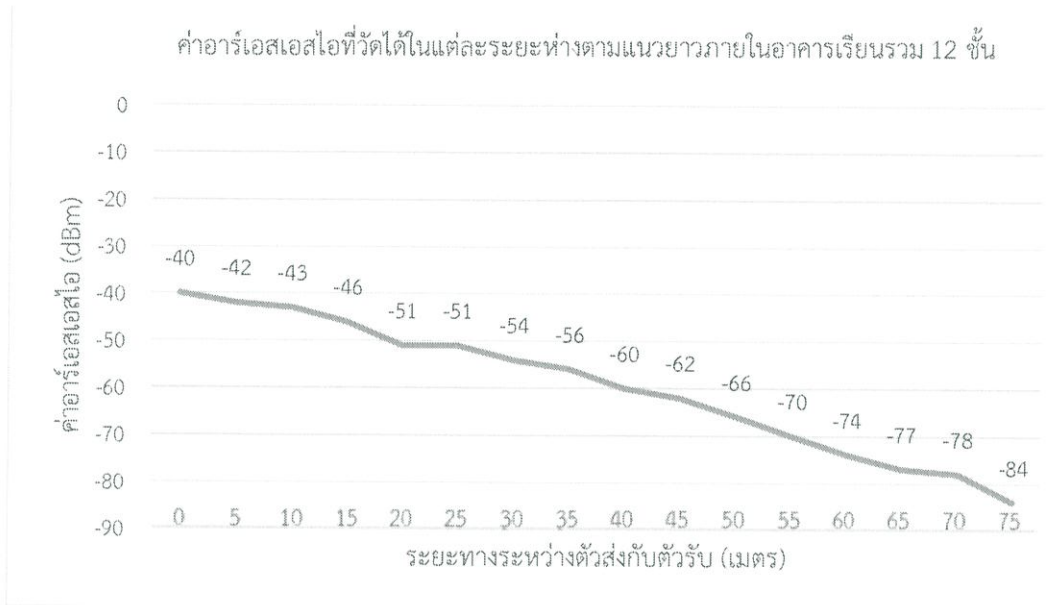
#### 4.2.1.2 ทดสอบความสามารถในการรับ-ส่งในระยะทางตามแนวนอนหรือแนวยาว

สำหรับการทดสอบนี้จะเป็นการวัดค่าอาร์เอสเอสไอเทียบตามระยะทางภายในอาคารเรียนรวม 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งทำการทดสอบโดยการให้ซิกปีฝั่งรับทำการรับข้อมูลอยู่บริเวณต้นทางเดินภายในอาคารในขณะที่ซิกปีฝั่งส่งจะทำการส่งข้อมูลในระยะห่างเริ่มต้นที่ 5 เมตรและทำการวัดระยะทุกๆ 5 เมตร ไปจนถึงสุดปลายทางเดินภายในอาคารนับเป็นระยะทางรวมทั้งหมด 75 เมตร ในลักษณะ line-of-sight ทั้งนี้ผลการทดสอบความสามารถในการ

รับ-ส่งข้อมูลในระยะทางตามแนวยาวนั้นแสดงได้ดังตารางที่ 4.14 และสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและค่าอาร์เอสเอสไอที่วัดได้ดังรูปที่ 4.41

ตารางที่ 4.14 ค่าอาร์เอสเอสไอที่วัดได้ในแต่ละระยะห่างตามแนวยาวภายในอาคารเรียนรวม 12 ชั้น

| ระยะห่างระหว่างฝั่งส่งกับฝั่งรับ (เมตร) | ค่าอาร์เอสเอสไอที่วัดได้ (dBm) |
|---|--------------------------------|
| 0                                       | -40                            |
| 5                                       | -42                            |
| 10                                      | -43                            |
| 15                                      | -46                            |
| 20                                      | -51                            |
| 25                                      | -51                            |
| 30                                      | -54                            |
| 35                                      | -56                            |
| 40                                      | -60                            |
| 45                                      | -62                            |
| 50                                      | -66                            |
| 55                                      | -70                            |
| 60                                      | -74                            |
| 65                                      | -77                            |
| 70                                      | -78                            |
| 75                                      | -84                            |



รูปที่ 4.41 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างภายในอาคารและค่าอาร์เอสเอสไอที่วัดได้

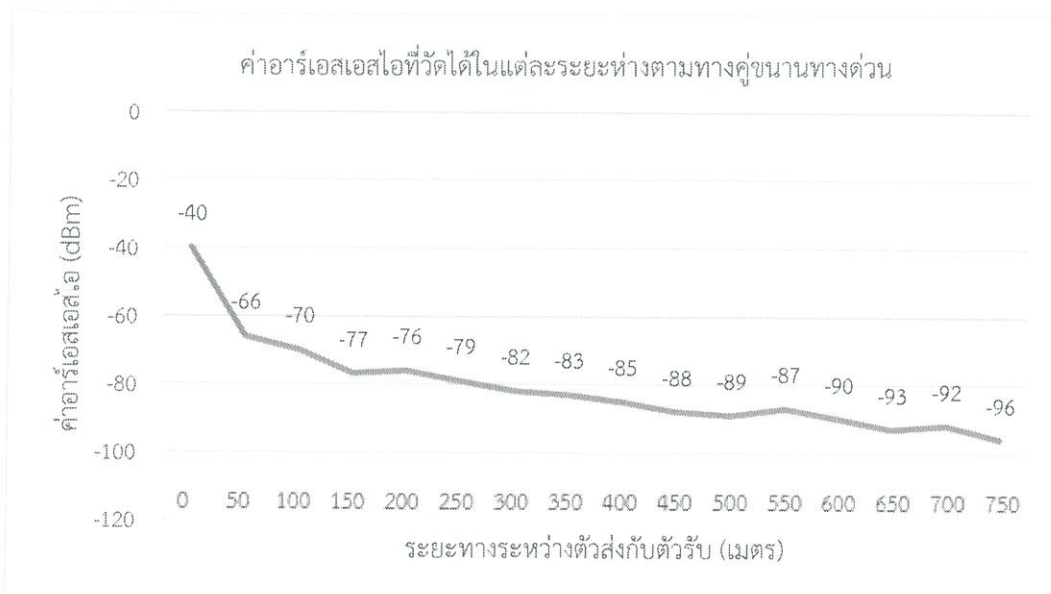
จากการทดสอบพบว่า ยิ่งระยะห่างระหว่างซิกบีฝั่งส่งและซิกบีฝั่งรับเพิ่มมากขึ้นยิ่งส่งผลให้ค่า RSSI หรือค่าความแรงของสัญญาณลดลง

#### 4.2.1.3 วัดค่าอาร์เอสเอสไอที่ระยะห่างต่างๆ

สำหรับการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบความสามารถในการรับ-ส่งสัญญาณในระยะห่างต่างๆ โดยทำการทดสอบที่บริเวณรอบนอกสถาบันคือบริเวณทางคูขนานทางด่วนซึ่งจะมีการถูกรบกวนหรือการถูกกีดขวางจากสิ่งก่อสร้างและยานพาหนะต่างๆ โดยได้ทำการทดสอบคือให้ซิกบีฝั่งรับทำการรับข้อมูลอยู่บริเวณใต้สะพานทางคูขนานทางด่วนในขณะที่ซิกบีฝั่งส่งจะทำการส่งข้อมูลในระยะห่างเริ่มต้นที่ 50 เมตร และทำการวัดระยะทุกๆ 50 เมตร ไปจนถึงระยะที่ไม่สามารถรับได้ ซึ่งในที่นี้นับเป็นระยะทางรวมทั้งหมด 750 เมตร ทั้งนี้ผลการทดสอบความสามารถในการรับ-ส่งข้อมูลในระยะทางต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.15 และสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและค่าอาร์เอสเอสไอที่วัดได้ดังรูปที่ 4.42

ตารางที่ 4.15 ค่าอาร์เอสเอสไอที่วัดได้ในแต่ละระยะห่างตามทางคู่ขนานทางด่วน

| ระยะห่างระหว่างฝั่งส่งกับฝั่งรับ (เมตร) | ค่าอาร์เอสเอสไอที่วัดได้ (dBm) |
|---|--------------------------------|
| 0                                       | -40                            |
| 50                                      | -66                            |
| 100                                     | -70                            |
| 150                                     | -77                            |
| 200                                     | -76                            |
| 250                                     | -79                            |
| 300                                     | -82                            |
| 350                                     | -83                            |
| 400                                     | -85                            |
| 450                                     | -88                            |
| 500                                     | -89                            |
| 550                                     | -87                            |
| 600                                     | -90                            |
| 650                                     | -93                            |
| 700                                     | -92                            |
| 750                                     | -96                            |



รูปที่ 4.42 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างบริเวณทางคู่ขนานทางด่วนและค่าอาร์เอสเอสไอที่วัดได้

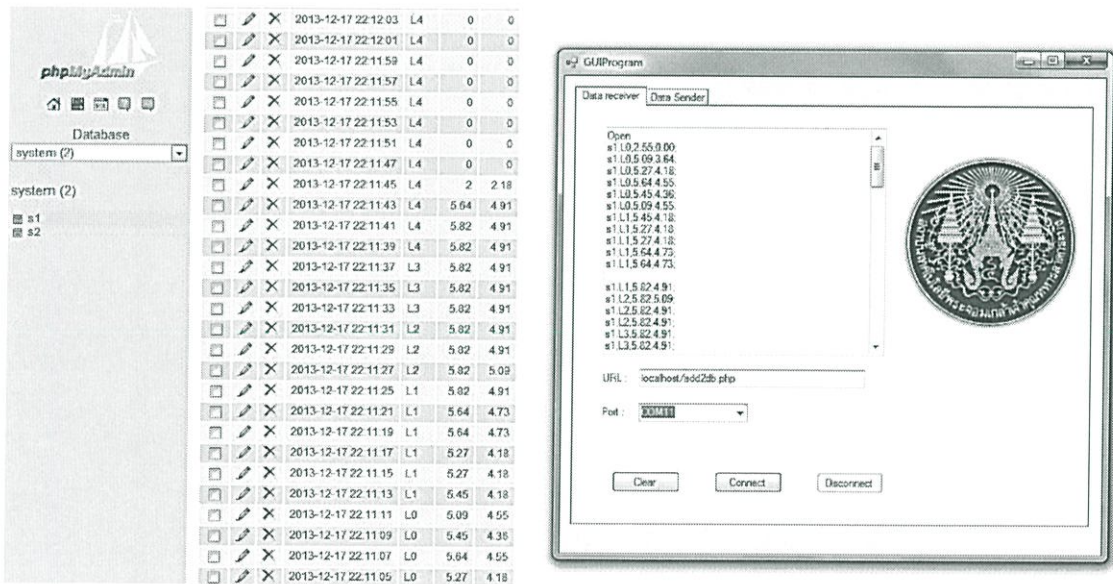
จากการทดสอบพบว่า ยิ่งระยะห่างระหว่างชิคปีฝั่งส่งและชิคปีฝั่งรับเพิ่มมากขึ้นยิ่งส่งผลให้ค่าอาร์เอสเอสไอหรือค่าความแรงของสัญญาณลดลง ทั้งนี้ในการทดสอบอาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมรอบข้าง

#### 4.2.2 การทดสอบการทำงานของเซิร์ฟเวอร์และการจัดการข้อมูล

ทำการทดสอบการทำงานของโปรแกรมรับข้อมูลที่ฝั่งคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ โดยทดลองส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรม RS-232 เพื่อทดสอบการทำงานของโปรแกรมฝั่งรับว่าสามารถรับข้อมูลได้หรือไม่ และสามารถทำการจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลได้ถูกต้องตามที่กำหนดหรือไม่ โดยแสดงรายละเอียดของการทดสอบดังต่อไปนี้

##### 4.2.2.1 ส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้แสดงข้อมูลที่ได้รับจากพอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรม RS-232

ทำการออกแบบส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้สำหรับรับค่าข้อมูลจากพอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรม RS-232 เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปจัดเก็บในฐานข้อมูลแบบอ้างอิงเวลาจริง ทั้งนี้แสดงลักษณะการทดสอบ ดังรูปที่ 4.43



รูปที่ 4.43 การจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลผ่านส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้

จากรูปที่ 4.43 เป็นการทดสอบการทำงานของส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้สำหรับรับข้อมูลไปจัดเก็บในฐานข้อมูล โดยจากการทดสอบพบว่า ข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในฐานข้อมูลนั้น มีค่าตรงกับข้อมูลที่ได้รับ

#### 4.2.2.2 การทดสอบการทำงานของจีพีอาร์เอสโมดูล

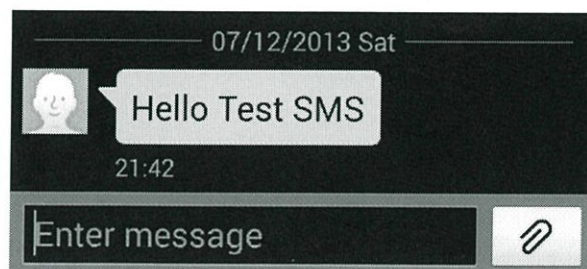
ทดสอบการเชื่อมต่อระหว่างจีพีอาร์เอสโมดูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรม RS-232 เพื่อโปรแกรมชุดคำสั่งเอทีคอมมานด์ สำหรับสั่งการทำงานของจีพีอาร์เอสโมดูล ให้ทำการส่งข้อความว่า Hello Test SMS ไปยังหมายเลขโทรศัพท์ 0838150333 ซึ่งแสดงหน้าต่างการทำงานโต้ตอบระหว่างจีพีอาร์เอสโมดูลกับคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 4.44 และแสดงข้อความที่จีพีอาร์เอสโมดูลส่งไปยังโทรศัพท์มือถือ ดังรูปที่ 4.45

```

joill - HyperTerminal
File Edit View Call Transfer Help
RDY
+CFUN: 1
+CPIN: READY
at
OK
Call Ready
AT+COPS?
+COPS: 0,0,"dTac"
OK
ATD0838150333;
OK
AT+CMGS="+66898150333"
> Hello Test SMS
+CMGS: 135
OK
-
Connected 0:05:32 Auto detect 19200 8-N-1

```

รูปที่ 4.44 ผลการทำงานโต้ตอบระหว่างจีพีอาร์เอสโมดูลและคอมพิวเตอร์

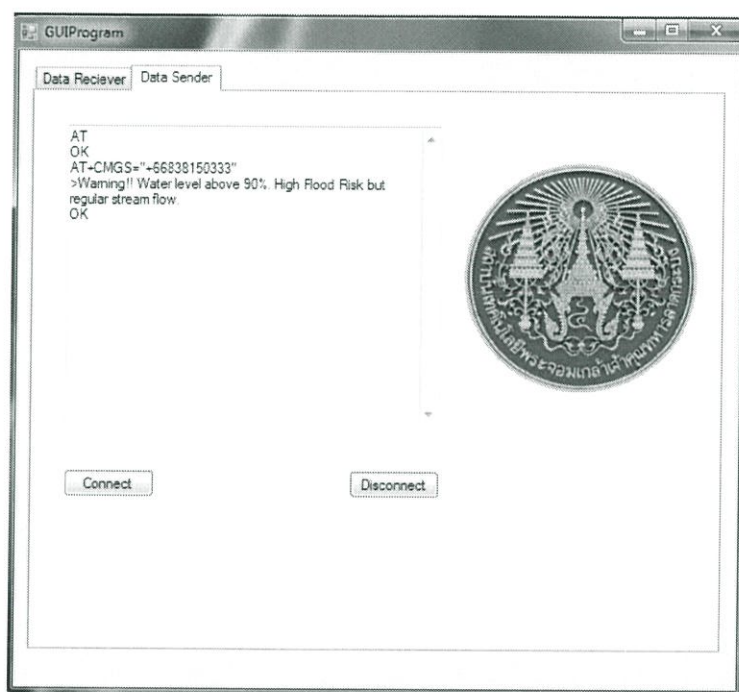


รูปที่ 4.45 ข้อความที่จีพีอาร์เอสโมดูลส่งมายังโทรศัพท์มือถือหมายเลขที่กำหนด

จากการทดสอบพบว่าจีพีอาร์เอสโมดูลสามารถส่งข้อความตามที่กำหนดไปยังหมายเลขโทรศัพท์ที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง

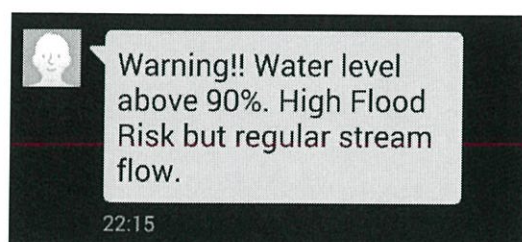
4.2.2.3 ส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้สำหรับวิเคราะห์ค่าข้อมูลจากฐานข้อมูลเพื่อสั่งการทำงานของจีพีอาร์เอสโมดูล

ทำการออกแบบส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้สำหรับนำค่าข้อมูลจากฐานข้อมูลไปทำการวิเคราะห์หาเงื่อนไขสำหรับสั่งการทำงานไปยังจีพีอาร์เอสโมดูลให้ทำการส่งข้อความแจ้งเตือน โดยลักษณะของส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้และผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.46



รูปที่ 4.46 ส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้รับข้อมูลสำหรับสั่งการจีพีอาร์เอสโมดูล

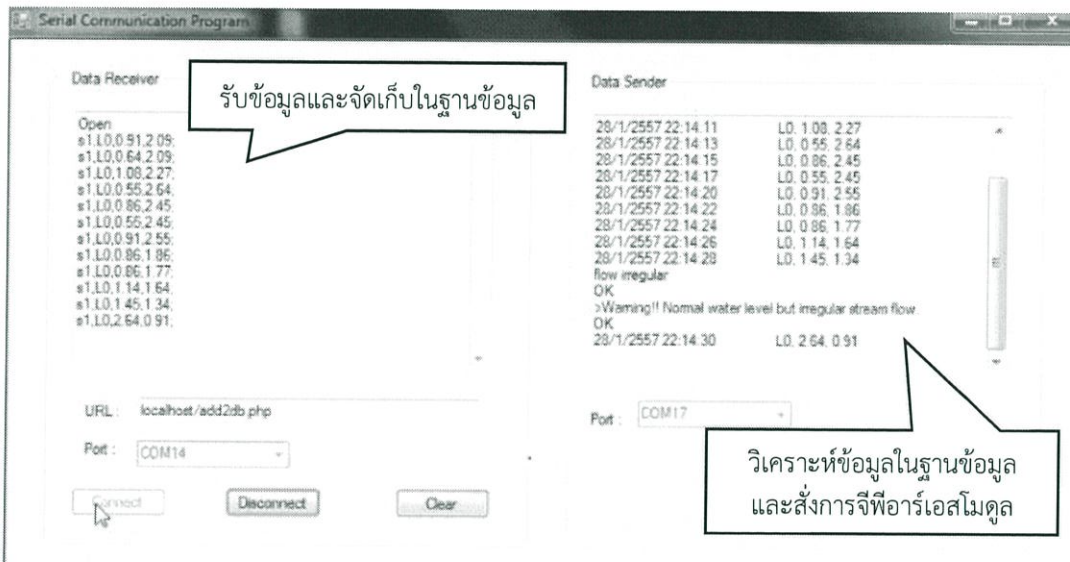
จากรูปที่ 4.46 เป็นการทดสอบการทำงานของส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้สำหรับสั่งการทำงานของจีพีอาร์เอสโมดูล โดยส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้ดังกล่าวจะทำการอ่านค่าจากฐานข้อมูล ซึ่งหากตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดแล้ว จะมีการสั่งการส่งข้อความไปยังจีพีอาร์เอสโมดูล ทั้งนี้ แสดงผลการทดสอบส่งข้อความได้ดังรูปที่ 4.47



รูปที่ 4.47 ข้อความสั้นที่จีพีอาร์เอสโมดูลทำการแจ้งเตือนภัย

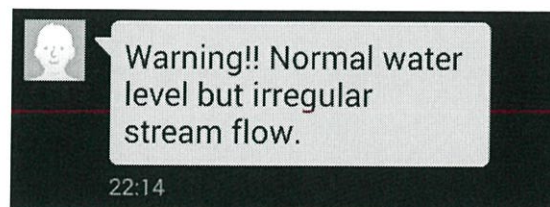
#### 4.2.2.4 ส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้สำหรับใช้งานในระบบ

ทำการออกแบบส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้สำหรับใช้งานในระบบ โดยส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้จะรับข้อมูล แล้วนำไปจัดเก็บในฐานข้อมูล จากนั้นจะมีการนำค่าจากฐานข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อสั่งการทำงานไปยังจีพีอาร์เอสโมดูลในการส่งข้อความแจ้งเตือน โดยลักษณะของส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้และผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.48



รูปที่ 4.48 ส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้สำหรับใช้งานในระบบ

จากรูปที่ 4.48 เป็นส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้สำหรับใช้งานในระบบ โดยแบ่งเป็นหน้าต่าง Data Receiver ที่ทำหน้าที่รับข้อมูลและจัดเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล และหน้าต่าง Data Sender ทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลในฐานข้อมูลเพื่อทำการสั่งการทำงานของจีพีอาร์เอสโมดูล โดยได้ทำการทดสอบให้มีการรับข้อมูลจากสถานีเฝ้าระวังอุทกภัย เพื่อทำการแจ้งเตือนอุทกภัย จากรูปที่ 4.48 พบว่า เมื่อ Data Sender วิเคราะห์ได้ว่าข้อมูลในฐานข้อมูลตรงตามเงื่อนไขการแจ้งเตือนภัย ก็จะมีการสั่งการส่งข้อความไปยังจีพีอาร์เอสโมดูล ทั้งนี้ แสดงข้อความที่ทำการส่งได้ดังรูปที่ 4.49



รูปที่ 4.49 การสั่งการส่งข้อความจีพีอาร์เอสโมดูลด้วยส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้

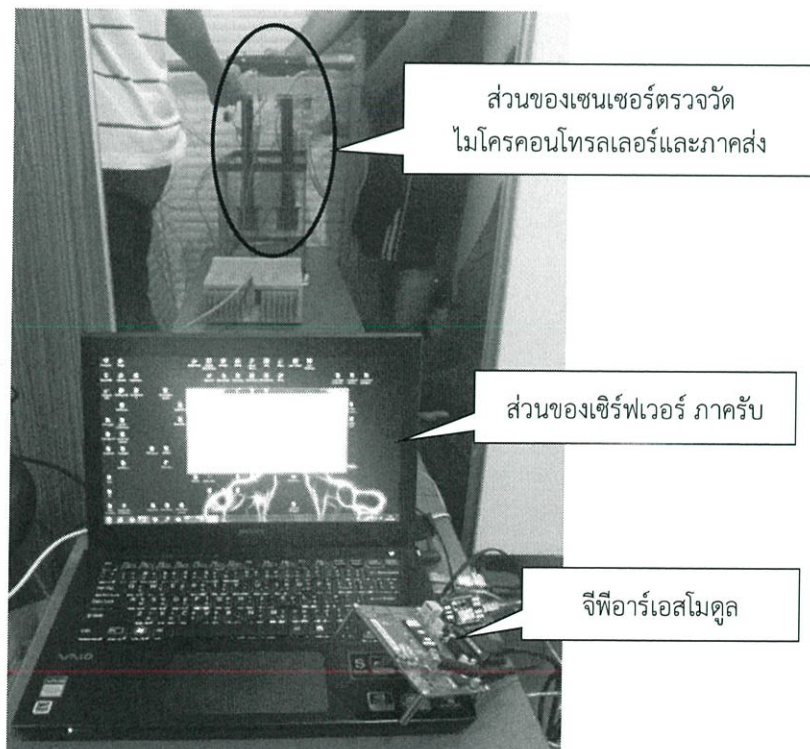
จากรูปที่ 4.49 เป็นการทดสอบการส่งการส่งข้อความของจีพีอาร์เอสโมดูลด้วยส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้ โดยพบว่า ข้อความที่จีพีอาร์เอสโมดูลส่งมานั้น ตรงกับข้อความที่แสดงในหน้าต่าง Data Sender

### 4.3 การทดสอบการทำงานของระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่ม

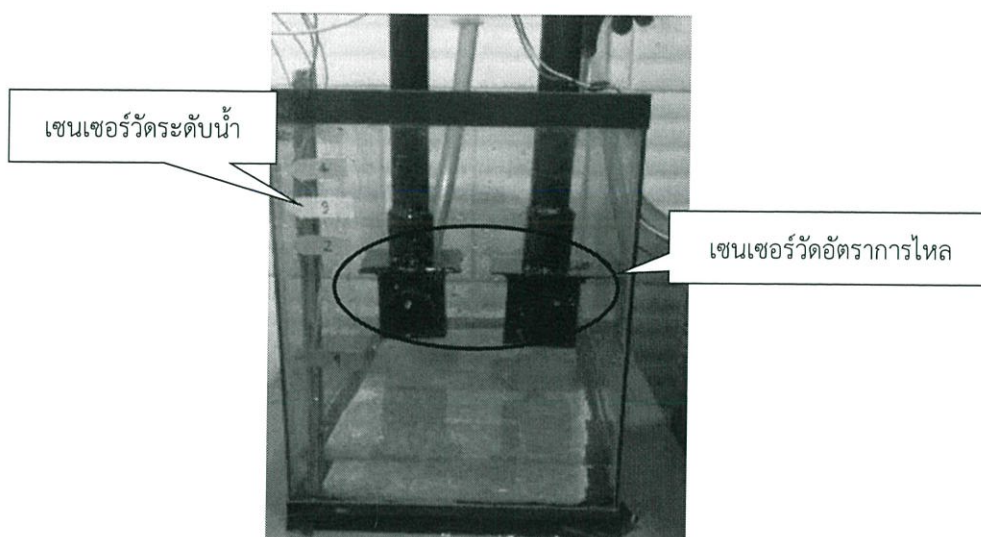
การทดสอบการทำงานของระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่ม แบ่งออกเป็น การทดสอบการทำงานของระบบรวมคือ ส่วนของเซนเซอร์ตรวจวัด ส่วนการส่งสัญญาณไร้สาย ส่วนของเซิร์ฟเวอร์และการส่งข้อความแจ้งเตือนด้วยจีพีอาร์เอสโมดูล โดยมีรายละเอียดของการทดลองในแต่ละระบบดังต่อไปนี้

#### 4.3.1 การทดสอบการทำงานของระบบเตือนอุทกภัย

ทำการทดสอบโดยการเชื่อมต่อส่วนต่างๆ ของระบบเข้าด้วยกัน คือ ส่วนของเซนเซอร์ตรวจวัด ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดระดับน้ำและเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ ส่วนของการส่งสัญญาณไร้สายด้วยชิปปี ส่วนการจัดการข้อมูลด้วยเซิร์ฟเวอร์ และส่วนการส่งข้อความแจ้งเตือนด้วยจีพีอาร์เอสโมดูล โดยแสดงลักษณะเชื่อมต่อดังรูปที่ 4.50

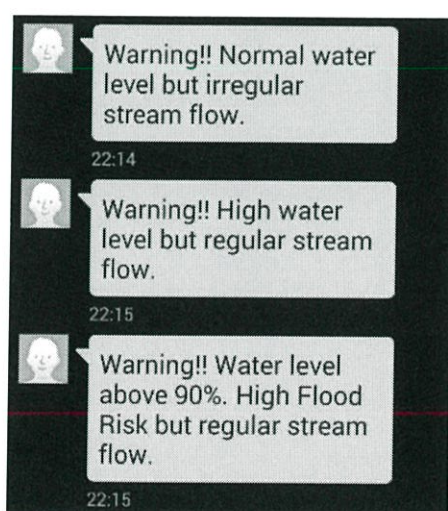


รูปที่ 4.50 ระบบเตือนอุทกภัยรวม



รูปที่ 4.51 การจำลองการทำงานของระบบเตือนอุทกภัย

รูปที่ 4.51 เป็นการจำลองการทดสอบการทำงานของระบบเตือนอุทกภัยรวม ซึ่งทำการทดสอบโดยการปล่อยให้น้ำไหลผ่านเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำไปยังถังตวงที่มีการติดตั้งเซนเซอร์วัดระดับน้ำเอาไว้ จากนั้นให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลและส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่านชิปไปยังโปรแกรมฝั่งรับที่เซิร์ฟเวอร์ เพื่อทำการจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการส่งการจีพีอาร์เอสโมดูล ทั้งนี้ได้ทำการทดสอบให้ส่งข้อความแจ้งเตือนเมื่อ 1) ระดับน้ำเป็นปกติแต่กระแสน้ำมีการไหลผิดปกติ (อาจเกิดเหตุการณ์น้ำไหลทะลักตลิ่ง) 2) ระดับน้ำเพิ่มสูงในขณะที่กระแสน้ำเป็นปกติ และ 3) ระดับน้ำถึงจุดเสี่ยงที่ควรรับทำการอพยพโดยลักษณะของข้อความที่ส่ง แสดงดังรูปที่ 4.52

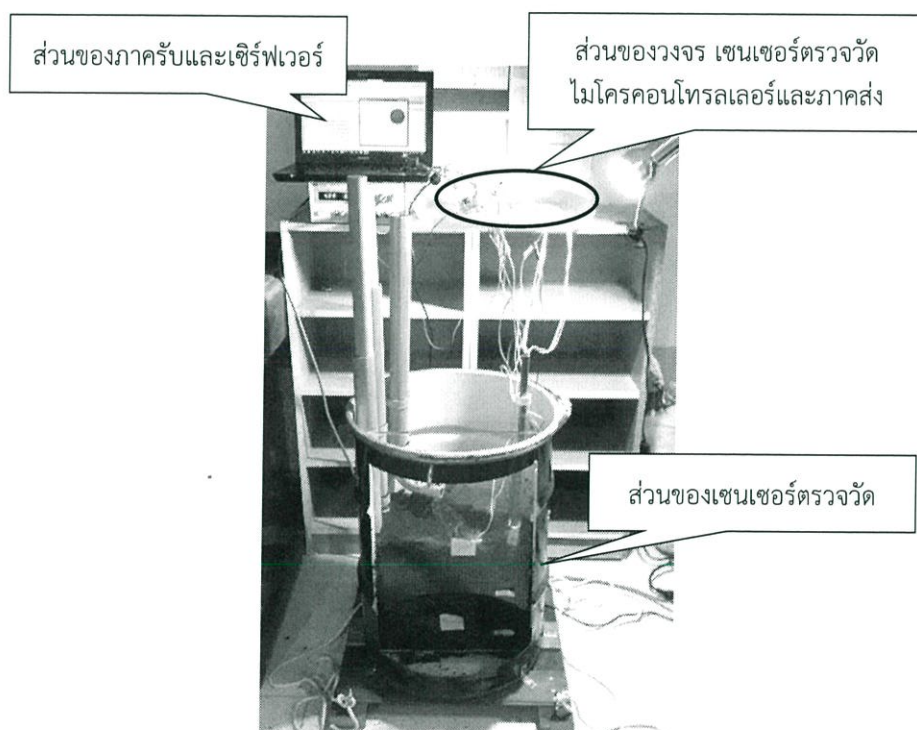


รูปที่ 4.52 ลักษณะข้อความแจ้งเตือนอุทกภัย

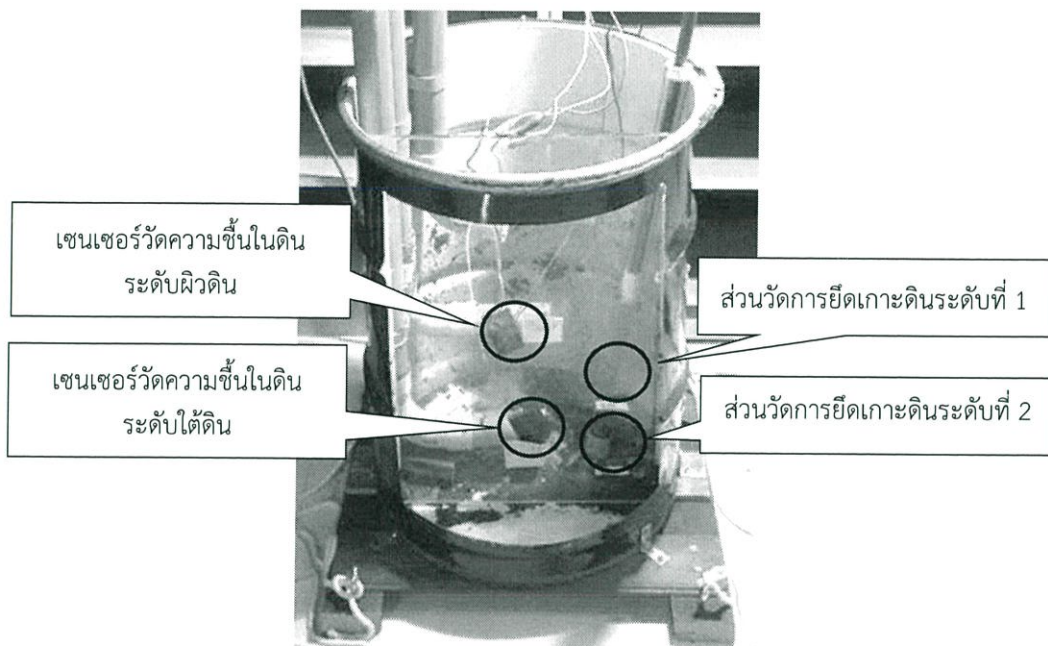
จากรูปที่ 4.52 ข้อความแรกเป็นการแจ้งเตือนเมื่อระดับน้ำเป็นปกติแต่อัตราการไหลผิดปกติ ซึ่งอาจก่อให้เกิดภาวะน้ำไหลทะลักตลิ่ง ลำดับถัดมาเป็นข้อความแจ้งเตือนระดับน้ำที่สูง เสี่ยงต่อการเกิดเหตุการณ์น้ำล้นตลิ่ง และข้อความสุดท้ายเป็นการแจ้งเตือนให้ทราบระดับน้ำที่ถึงจุดเสี่ยงที่สุด ควรทำการรีบอพยพไปยังที่ปลอดภัยในทันที

#### 4.3.2 การทดสอบการทำงานรวมของระบบเตือนดินถล่ม

ทำการทดสอบโดยการเชื่อมต่อส่วนต่างๆ ของระบบเข้าด้วยกัน คือ ส่วนของเซนเซอร์วัดความชื้นในดินและอุปกรณ์ตรวจวัดการยัดเกาะของดินที่จัดทำขึ้น ส่วนของการส่งสัญญาณไร้สายด้วยชิปปี ส่วนการจัดการข้อมูลด้วยเซิร์ฟเวอร์ และส่วนการส่งข้อความแจ้งเตือนด้วยจีพีอาร์เอสโมดุล โดยแสดงลักษณะการเชื่อมต่อดังรูปที่ 4.53

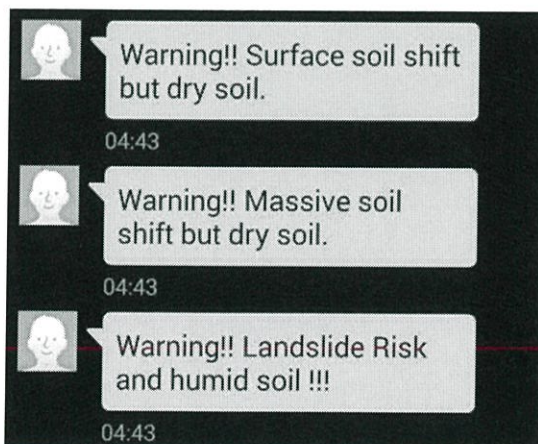


รูปที่ 4.53 ระบบเตือนดินถล่มรวม



รูปที่ 4.54 การจำลองการทำงานของระบบเตือนดินถล่ม

รูปที่ 4.54 เป็นการจำลองการทดสอบการทำงานของระบบเตือนดินถล่มรวม โดยทำการจำลองสถานการณ์ภายในถังที่มีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดการเคลื่อนตัวของดินและเซนเซอร์วัดความชื้นในดินและมีส่วนของท่อที่จะช่วยในการจำลองให้เกิดการเคลื่อนตัวของดิน จากนั้นทำการจำลองสถานการณ์ให้มีการเคลื่อนตัวของดินที่ระดับที่หนึ่ง คือระดับใต้ผิวดิน และระดับที่สองคือระดับลึกลงไปใต้ดิน ตามลำดับ โดยที่ดินยังคงเป็นดินแห้ง จากนั้นทำการทดลองอีกครั้งในลักษณะที่ดินมีค่าความชื้นที่สูง ซึ่งแสดงถึงระดับน้ำในดินที่มากขึ้นและอาจเกิดการเคลื่อนตัวของดินที่เร็วขึ้น โดยลักษณะของข้อความแจ้งเตือนที่ส่งแสดงดังรูปที่ 4.55



รูปที่ 4.55 ลักษณะข้อความแจ้งเตือนดินถล่ม

จากรูปที่ 4.55 ข้อความแรกและข้อความที่สองเป็นการแจ้งเตือนเมื่อส่วนตรวจวัดการยึดเกาะของดินระดับที่หนึ่งและระดับที่สองตรวจวัดการเคลื่อนตัวของดินได้ โดยที่ความชื้นในดินเป็นปกติ และข้อความสุดท้ายเป็นการแจ้งเตือนให้ทราบถึงจุดเสี่ยงสูงสุด ควรทำการรีบอพยพไปยังที่ปลอดภัยในทันที เมื่อตรวจพบการเคลื่อนตัวของดินและค่าความชื้นในดินมีค่าสูงซึ่งหมายถึงระดับน้ำในดินมีค่าสูงนั่นเอง

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

ปฏิญานิพนธ์นี้ได้ประสบความสำเร็จในการจัดทำต้นแบบของระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่ม โดยสำหรับระบบเตือนอุทกภัยได้จัดทำเซนเซอร์วัดระดับน้ำและเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ สำหรับระบบเตือนดินถล่มได้ทำการพัฒนาเซนเซอร์วัดความชื้นในดินและอุปกรณ์ตรวจวัดการยืดยาวของดิน ที่ได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความเครียดที่จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าเมื่อมีแรงกระทำ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นศูนย์กลางการควบคุมและประมวลผลในการรับค่าข้อมูลจากส่วนของเซนเซอร์ และทำการส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่านโมดูลสื่อสารไร้สายชิปไปยังคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ฝั่งรับ จากนั้นจะมีการจัดการข้อมูลผ่านส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ เพื่อทำการจัดเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลและนำข้อมูลจากฐานข้อมูลไปใช้วิเคราะห์เงื่อนไขและสั่งการทำงานจีพีอาร์เอสโมดูลด้วยชุดคำสั่งเอทีคอมมานด์ ในการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังโทรศัพท์มือถือผู้ใช้หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ระบบเตือนอุทกภัยและดินถล่มที่ได้ออกแบบและจัดทำขึ้นมาในปฏิญานิพนธ์นี้ นับเป็นระบบต้นแบบที่มีการประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์อย่างง่ายที่สามารถสร้างและจำลองขึ้นมาเองได้ ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบอาจมีข้อด้อยในเรื่องของวัสดุอุปกรณ์ เช่น ความคงทนของอุปกรณ์ ความเสถียรของอุปกรณ์ ซึ่งข้อด้อยดังกล่าวอาจทำให้อายุการใช้งานมีจำกัด นอกจากนี้ในการออกแบบระบบเตือนดินถล่มนั้น เป็นการออกแบบระบบที่ค่อนข้างจำกัดสาเหตุการเกิด โดยในระบบนี้จะมุ่งเน้นไปที่การเกิดดินถล่มอันเนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของดินเนื่องจากน้ำ ดังนั้นระบบดังกล่าวจึงเหมาะสมกับการเตือนภัยในบริเวณที่มักเกิดดินถล่มเนื่องจากฝน หรือน้ำท่วมขังน้ำป่า เป็นต้น

## บรรณานุกรม

- [1] รศ. กิรติ ลีวัจนกุล. “อุทกวิทยา.” <http://202.129.59.73/wm/Water/water8/water8.pdf>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ.2556]
- [2] ภาณุ บัวทอง. “เครื่องมือวัดระดับน้ำ.” <http://irre.ku.ac.th/project/pdf/255519.pdf>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ.2556]
- [3] กรมอุตุวิทยามหาวิทยาลัย. “แผ่นดินถล่ม.” <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=76lamdslide>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ.2556]
- [4] SeeedStudio Bazaar. “Grove - Moisture Sensor.” Datasheet. <http://www.electronshtk.ru/pdf/pdf/s/sen92355p.pdf>.
- [5] รศ.ดร. ชวสวน กาญจน์มัย. “เกจวัดความเครียด.” <http://charnnarong.me.engr.tu.ac.th/charnnarong/My%20classes/ME321/Lab3.pdf>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ.2556]
- [6] KYOWA. “Strain gages.” Datasheet. [http://www.kyowa-ei.co.jp/eng/product/strain\\_gages/gages](http://www.kyowa-ei.co.jp/eng/product/strain_gages/gages).
- [7] Achu Srinivasan. “Arduino IDE for programming Atmega Microcontrollers” <http://achuwilson.wordpress.com/2011/12/15/arduino-ide-for-programming-atmega-microcontrollers/>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ.2556]
- [8] โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์. *เครือข่ายคอมพิวเตอร์และการสื่อสาร (COMPUTER NETWORKS AND COMMUNICATIONS)*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2555.
- [9] Jan Axelson. *Serial Port Complete*. 2nd ed. United States, Oregon. : Lakeview Research, 2007.
- [10] Shahin Farahani PhD. *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*. : Newnes, 2008.
- [11] Sparkfun. “XBee 2mW Wire Antenna - Series 2.” Datasheet. [http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976\\_G.pdf](http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976_G.pdf).

[12] ETT Team. "GPRS Module." Datasheet.

<http://ett.co.th/prod2012/SIM900b/man-th-ET-GSM%20SIM900B.pdf>.

[13] Texas Instruments. "CD4066BE." Datasheet.

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4066b.pdf>.

[14] SeeedStudio Bazaar. "G3/4 Water Flow sensor." Datasheet.

[http://www.seeedstudio.com/wiki/G3/4\\_Water\\_Flow\\_sensor](http://www.seeedstudio.com/wiki/G3/4_Water_Flow_sensor).

[15] HamRadioExpress. "2N2222A." Datasheet.

[http://www.hamradioexpress.com/catalog/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=999](http://www.hamradioexpress.com/catalog/index.php?main_page=product_info&products_id=999).

[16] Analog Device. "AD620AN." Datasheet.

[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD620.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD620.pdf)