



ระบบการวัดและบันทึกค่า pH ของดินโดยใช้ Internet of Things (IoT) Soil pH Measurement System Using Internet of Things (IoT)

ชนิดา ยูลไสย์¹, วิสวะ กุลนะ² และ คมกฤษณ์ ชูเรือง^{3*}
Chanida Yubolsai¹, Wissava Kulna² and Komkrit Chooruang^{3*}

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการวัดและบันทึกค่า pH ของดินโดยอัตโนมัติเพื่อเพิ่มความสะดวกในการดูแลดินในด้านการเกษตร เป็นการนำ Internet of Things (IoT) เป็นสื่อกลางในการบันทึกค่าของ pH ที่วัดได้ส่งฐานข้อมูลเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ต่อไป โดยระบบพัฒนาขึ้นจะแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าของ pH เซ็นเซอร์โดยใช้ ADC ขนาด 16 บิต ร่วมกับตัวประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 แล้วส่งค่า pH ที่วัดได้ผ่านทางอินเทอร์เน็ตโดยใช้ MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) และใช้ร่วมกับตัวแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น โดยจะสามารถระบุพิกัดตำแหน่ง GPS ที่ทำการวัด และค่า pH ที่วัดได้บันทึกลงฐานข้อมูล โดยพบว่าแรงดันไฟฟ้าจาก pH เซ็นเซอร์ที่วัดได้จะอยู่ในช่วง -7mV ถึง 45mV สำหรับค่าช่วงค่า pH 3 ถึง 8 และมีค่า R-Squared เท่ากับ 0.9941

คำสำคัญ : pH ของดิน, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, ระบบการวัดและบันทึกค่าอัตโนมัติ

ABSTRACT

The objective of this work is to develop an automatic soil pH measurement system using Internet of things (IoT). The developed system allows ease of monitoring for soil pH in agriculture. IoT was used as medium for data communication. The analog soil pH data reading from sensor was converted to digital by ADC-16 bits and processing by ESP32. The measured data will then be sent via the Internet using MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). The developed companion mobile application also be used to store GPS location and pH data into the cloud database. It is found that the ADC voltage from pH sensor was from -7 mV to 45mV for pH values 3 to 8 and the obtained R-Squared was 0.9941

Keywords : Soil pH, Internet of Things (IoT), Automatic data logging system

Received : 18 พฤศจิกายน 2564

Revised: 27 ธันวาคม 2564

Accepted : 17 มกราคม 2565

¹ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยนครพนม, Research and Development Institute Nakhon Phanom University

² ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร กรมการข้าว, Sakhon Nakhon Rice Research Center, Rice Department

³ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม, Faculty of Engineering Nakhon Phanom University

*Corresponding author: komkrit@hotmail.com



บทนำ

การปลูกพืชหรือการทำเกษตรกรรมให้ได้ผลผลิตออกมาดี มีความจำเป็นที่จะต้องทราบค่าคุณสมบัติของดิน เช่นค่าความนำไฟฟ้า ค่าความชื้น ค่า pH ของดิน เป็นต้น ค่าคุณสมบัติเหล่านี้ของดิน จำเป็นต้องมีการตรวจค่าอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะค่า pH โดยคำว่า pH ย่อมาจาก Positive potential of the Hydrogen ions ค่านี้จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยที่ค่า pH ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วงค่าระหว่าง 5.5-7.2 (Scheberl, Scharenbroch et al. 2019) การวัดค่า pH จะสามารถวัดได้วิธีการวัดโดยการเทียบสีหรืออินดิเคเตอร์ (colorimetric method) วิธีนี้เป็น การวัด pH โดยประมาณ (มีความถูกต้อง 0.5 pH) อีกวิธีคือ วิธีวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า (electrical potential) วิธีนี้วัดค่า pH ได้อย่างค่อนข้างละเอียด โดยการใช้เครื่องมือที่เรียกว่า pH Meter ซึ่งวัดค่า pH ได้โดยการวัดความต่าง ศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่เกิดขึ้นระหว่าง Indicator electrode และ Reference electrode แล้วเปลี่ยนค่า ความต่างศักย์ไฟฟ้าให้เป็นค่า pH (Morris 2003)

เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) มีการพัฒนา อย่างรวดเร็วและไม่หยุดยั้ง IoT คือสิ่งสำคัญที่เข้ามามี บทบาททั้งในด้านการใช้งานในชีวิตประจำวันหรือในชีวิต การทำงาน IoT นั้นเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญและได้นำมา ประยุกต์ใช้กับงานด้านต่างๆ รวมถึงด้านการเกษตรกรรม ด้วย เช่นการทำ smart farm เพื่อควบคุมและมอนิเตอร์ สภาพแวดล้อมในโรงเรือน หรือ การวัดค่าควบคุม pH ใน น้ำสำหรับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบที่เรียกว่า Hydroponics ได้มีการนำเอา IoT มาใช้แล้ว (Pawar, Tembe et al. 2020) และการวัดค่าความชื้นของดิน (Puengsungwan 2020) สำหรับการวัดค่า pH ของดินยัง ไม่พบว่ามีมีการนำเอา IoT มาประยุกต์ในการวัดค่า pH ของ ดิน อันเนื่องมาจากตัวเซ็นเซอร์ที่มีขายยังเป็นแบบอนาล็อก ยังไม่สามารถเชื่อมต่อกับพวกไมโครคอนโทรลเลอร์หรือ คอมพิวเตอร์ได้ จะแตกต่างจาก pH ของน้ำซึ่งมีตัวเซ็นเซอร์ ที่ให้ค่าออกมาเป็นแบบดิจิตอลเลยทำให้การนำไปใช้งานกับ IoT สามารถทำได้ทันที โดยไม่ต้องแปลงค่าจากอนาล็อกเป็น ดิจิตอลก่อน

ในการสร้างแผนที่ pH ของดิน (pH Soil Map) ปัจจุบันใช้แรงงานคน ทำการวัดและบันทึกค่าที่ได้ลงในสมุด พร้อมกับสร้างตำแหน่งของการวัดด้วยการแบ่งแปลง ที่ดิน ออกเป็นตารางย่อยๆ ไม่ได้ใช้ระบบ GPS มาช่วย ทำ ให้ตำแหน่งของการวัดมีความคลาดเคลื่อนสูง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบ IoT สำหรับการ วัดค่า pH ของดินพร้อมระบุตำแหน่งการวัดจาก GPS ซึ่งจะ ช่วยให้สามารถบันทึกค่า pH และตำแหน่งที่วัดได้อย่าง แม่นยำและยังสามารถดูค่าย้อนหลังและนำไปสร้างแผนที่ได้

วิธีดำเนินการวิจัย

ในส่วนของการแก้ปัญหาข้างต้น งานวิจัยนี้ได้การ ออกแบบระบบการจัดเก็บการแปลงค่าอนาล็อกจาก pH เซ็นเซอร์ซึ่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าขนาดแรงดันต่ำให้มาเป็น ดิจิตอลแล้วส่งค่ามายังอุปกรณ์เคลื่อนที่ เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต ที่ใช้ Android OS เพื่อบันทึกค่าที่วัดได้ลงบน cloud storage โดยสามารถอธิบายส่วนต่างๆของการ ออกแบบระบบได้ดังนี้

การออกแบบระบบและอิเล็กทรอนิกส์

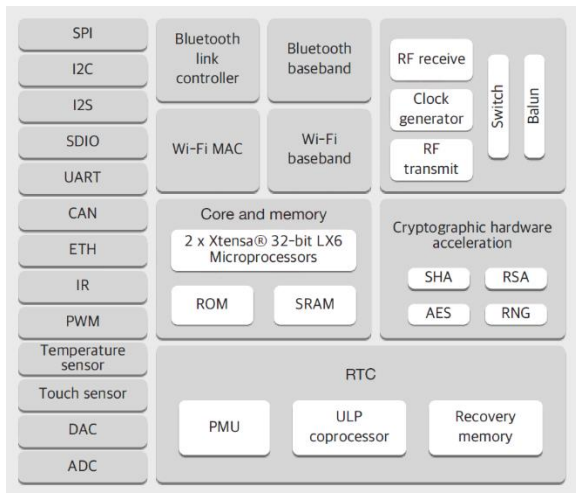


ภาพที่ 1 โครงสร้างการทำงานเครื่องวัด pH ด้วย IoT

ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างการทำงานของเครื่องวัด pH ของดิน ตัวเซ็นเซอร์วัดค่า pH จะให้แรงดันไฟฟ้าขนาด ที่ไม่สูงมาก (mV) จำเป็นต้องมีตัวแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็น ข้อมูลดิจิตอล ตัวแปลงสัญญาณ analog to digital converter หรือ ADC 12 บิต เบอร์ ADS1015 ได้นำมาใช้ ในการออกแบบนี้ ค่าที่ผ่านการแปลงเป็นดิจิตอลจะส่งต่อไป



ยังตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ซึ่งจะเปิดการเชื่อมตัวกับแอปพลิเคชันที่ผ่านทาง Bluetooth BLE



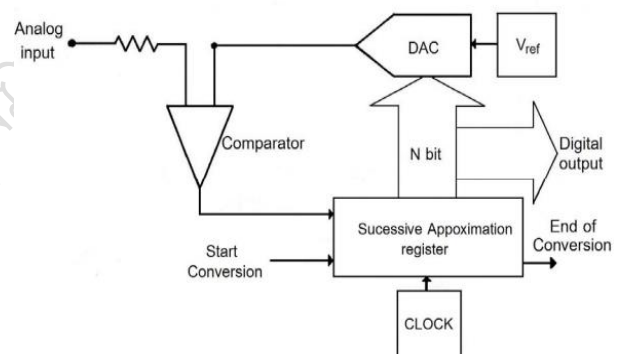
ภาพที่ 2 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของ ESP32

ESP32 เป็นชื่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่อ WiFi และ Bluetooth ซิฟิยูใช้สถาปัตยกรรม Tensilica LX6 แบบ 2 แกนสมอง สัญญาณนาฬิกา 240MHz มีแรมในตัว 512KB รองรับการเชื่อมต่อบัสต่าง เช่น มี GPIO จำนวน 32 ช่อง รองรับ UART จำนวน 3 ช่อง รองรับ ADC จำนวน 12 ช่อง รองรับ I2S จำนวน 2 ช่อง ในด้านประสิทธิภาพการใช้งาน ตัว ESP32 สามารถทำงานได้ดี โดย รับ - ส่ง ข้อมูลได้ความเร็วสูงสุดที่ 150Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11n HT40 ได้ความเร็วสูงสุด 72Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11n HT20 ได้ความเร็วสูงสุดที่ 54Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11g และได้ความเร็วสูงสุดที่ 11Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11b ในโหมด Sleep ใช้กระแสไฟฟ้าเพียง 2.5uA จะเห็นได้ว่า ESP32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เหมาะสมจะนำมาใช้ในงาน IoT เป็นอย่างมาก

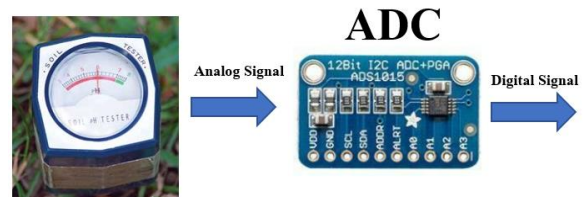
การแปลงค่าสัญญาณทางไฟฟ้าของ pH เซ็นเซอร์

เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จาก pH เซ็นเซอร์มีขนาดที่ต่ำมากจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณให้สูงขึ้นและแปลงค่าเป็นดิจิตอล โดยใช้ Analog to Digital Converter (ADC) ของบริษัท Taxus Instruments เบอร์ ADS1015 โดยมีคุณสมบัติเช่น มีความละเอียดขนาด 12 Bit sample

rate ที่ 3.3 kSPS หลักการทำงานของ ADC ใช้วิธีการของ Successive Approximation (SAR) ADC แสดงบล็อกไดอะแกรมในภาพที่ 3 ซึ่งจะมีคอมพารเตอร์จะคอยเปรียบเทียบแรงดันที่ได้จาก DAC กับแรงดันของสัญญาณอนาล็อกอินพุต แล้วเอาที่พุทจะไปควบคุม Successive Approximation Register ของ SAR ซึ่งเป็นไอซี medium scale integrated circuit โดยใช้หลักการการค้นหาแบบไบนารี ในการหาคำตอบ โดยนำค่าผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับค่ากึ่งกลางของช่วง เพื่อให้ทราบว่า คำนั้นๆ มากกว่า หรือน้อยกว่า โดยจะปรับช่วงให้แคบลงมาเรื่อยๆ แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์กับค่ากึ่งกลางของช่วงไปเรื่อยๆ จนได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ ข้อเสียของวิธีการนี้ คือถ้าสัญญาณอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงที่เร็ว ค่าที่ได้จะผิดพลาดเนื่องจากการค้นแบบไบนารีทำงานไม่ทัน



ภาพที่ 3 บล็อกไดอะแกรม SAR ADC การวัดสัญญาณจากเซ็นเซอร์จะใช้การวัดแบบ differential ADC mode เป็นการวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่เกิดขึ้นระหว่าง Indicator electrode และ Reference electrode ของตัว pH เซ็นเซอร์



ภาพที่ 4 สัญญาณไฟฟ้าแบบอนาล็อกจากเซ็นเซอร์จะถูกทำการแปลงเป็นดิจิตอลโดย ADC ขนาด 12 Bit



MQTT Protocol

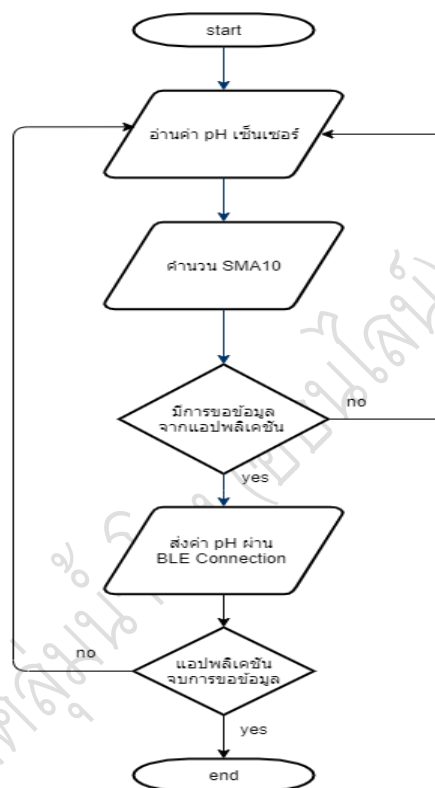
MQTT (Message Queue Telemetry Transport) คือโปรโตคอลในการส่งข้อมูลที่พัฒนามาเพื่อใช้ในระบบ IoT ทำงานแบบ Broker and Clients Network ถูกออกแบบให้สามารถส่งข้อมูลแบบ Real-Time ในปริมาณข้อมูลที่น้อย ทำให้ใช้พลังงานต่ำ หลักการทำงานของ MQTT คือการรับส่งข้อมูลระหว่าง Server (Broker) และ Clients (Publisher/Subscriber) โดยการประกาศหัวข้อการรับส่งข้อมูลเรียกว่า Topic ไว้ใน Broker จากนั้น Publisher จะส่งข้อมูลไปยัง Topic นั้นๆ และ Subscriber ก็จะได้รับข้อมูลทั้งหมดใน Topic นั้นๆ

แอปพลิเคชัน IoT pH Meter

ตัวโปรแกรมแอปพลิเคชัน IoT pH Meter ที่พัฒนาขึ้นได้รับจาก pH ของดินจาก ESP32 แบบไร้สายจึงทำให้สามารถควบคุมและสื่อสารระยะไกลได้ประมาณ 10 เมตร การส่งข้อมูลไปเก็บยังฐานข้อมูลบน Cloud จะประกอบไปด้วยข้อมูล วันเวลา ค่า pH ตำแหน่งพิกัดของตัวเซ็นเซอร์ การส่งข้อมูลจะส่งไปในรูปแบบ JavaScript Object Notation (JSON) ดังภาพที่ 5 เพื่อให้ง่ายและสะดวกในการนำข้อมูลไปประมวลผลต่อไป

```
{
  "ID": "pH-Meter",
  "DateTime": "2021-03-10 07:04:59",
  "Lat": "17.385646",
  "Lon": "102.830095",
  "pH": "7.08"
}
```

ภาพที่ 5 ข้อมูลที่จัดส่งจะเก็บรูปแบบในแบบ JSON



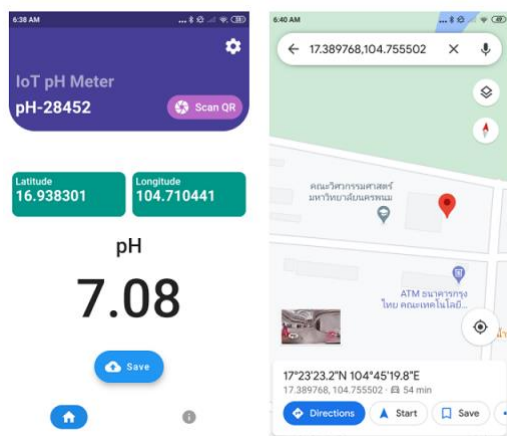
ภาพที่ 6 flowchart การทำงานของส่วน ESP32

จากภาพที่ 6 ค่า pH ที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์จะทำการประมวลผลด้วยการใช้เทคนิคของการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธี Simple Moving Average (SMA) (Chen and Chen 2003) โดยใช้ค่า pH จำนวน 10 ค่ามาคำนวณด้วยวิธีการ SMA10 เมื่อได้ค่าที่ลดสัญญาณรบกวนออกแล้วระบบของชุดวัดก็จะรอการติดต่อจากแอปพลิเคชันที่จะทำการร้องขอข้อมูลค่า pH โดยการสื่อสารข้อมูลจะใช้ Bluetooth Low Energy ของโทรศัพท์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เชื่อมต่อกัน เมื่อจบการร้องขอข้อมูลจากแอปพลิเคชันแล้วตัว ESP32 ก็จะวนไปอ่านค่า pH เพื่อรอการร้องขอครั้งต่อไป

โปรแกรมมีหน้าที่หลักในการดึงค่า pH จากเครื่องมือวัดและทำการบันทึกค่าพิกัดตำแหน่งของการวัดค่าค่าพิกัดตำแหน่งจะถูกดึงค่าจาก GPS ของโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยใช้ location API ของ Android OS ตำแหน่งที่ได้จะประกอบไปด้วยค่า latitude กับ longitude ภาพที่ 7 แสดงลักษณะ GUI ของโปรแกรม โปรแกรมแอปพลิเคชัน



พัฒนาขึ้นด้วย Flutter ซึ่งเป็น Cross-Platform Framework โดยใช้ภาษา Dart ในการพัฒนา โปรแกรม ผู้ใช้งานสามารถติดตั้งผ่าน Play Store การบันทึกข้อมูลจะเป็นการบันทึกผ่านอินเทอร์เน็ตไปยัง Google Sheet เมื่อทำการวัดค่าเสร็จ ขบวนการวิเคราะห์ข้อมูล (offline-processing) ก็สามารถนำเอาข้อมูลที่บันทึกไว้ใน Google Sheet มาทำการวิเคราะห์ในขั้นสูงต่อไปได้ เช่น การสร้างแผนที่ pH ของแปลงที่ดิน หรือการนำไปวิเคราะห์เพื่อปรับสภาพของดินให้เหมาะสมก่อนการเพาะปลูกพืช



ภาพที่ 7 แอปพลิเคชัน IoT pH Meter

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

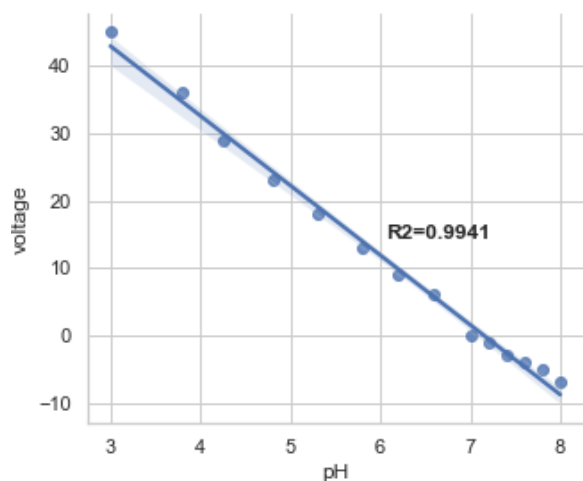
ในการทดลองนี้ได้นำตัวอย่างดินที่มีค่า pH ในช่วงต่างๆตั้งแต่ค่าระหว่าง 1 ถึง 12 มาทำการวัดด้วยเครื่องวัด pH ของดินที่เป็นมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยจะทำการวัดจำนวน 3 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่างเพื่อทดสอบความน่าเชื่อถือของการวัดและเปรียบเทียบค่ากับตัวเซ็นเซอร์ที่ใช้ในระบบที่ออกแบบนี้เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน (error) ผลการวัดแสดงดังตาราง จะพบว่าเครื่องมือมีผลการวัดในแต่ละครั้งไม่แตกต่างกันมากนักมี reliability ที่ดี แต่พบว่าเซ็นเซอร์ที่ได้นั้นจะให้ค่าที่ถูกต้องใกล้เคียงกับเครื่องมือในห้องปฏิบัติการเมื่อว่าของ pH อยู่ในช่วง 3 ถึง 8 เท่านั้น อัน

เนื่องมาจากตัวเซ็นเซอร์ที่ใช้ราคาไม่สูงมากจึงเป็นข้อจำกัดในช่วงของการวัด

เครื่องมือมาตรฐาน			
วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1.7	1.8	1.8	1.8
2.2	2.3	2.3	2.3
3.0	3.0	3.0	3.0
4.4	4.5	4.5	4.5
6.4	6.4	6.5	6.4
7.1	7.1	7.1	7.1
8.2	8.2	8.2	8.2
9.5	9.5	9.6	9.5
10.9	11.0	11.0	11.0
11.2	11.2	11.2	11.2
12.3	12.3	12.4	12.3

ระบบที่พัฒนาขึ้น			
วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
2.8	2.8	2.8	2.8
3.0	3.0	3.0	3.0
3.0	3.1	3.1	3.1
4.5	4.5	4.5	4.5
6.5	6.5	6.5	6.5
7.1	7.1	7.2	7.1
8.2	8.3	8.2	8.2
8.8	8.8	8.7	8.8
9.7	9.6	9.6	9.6
11.1	10.9	11.0	11.0
11.3	11.1	11.1	11.2

ค่าความคลาดเคลื่อน ของผลการวัดในช่วงค่า pH ในย่าน 3 ถึง 8 มีค่าต่ำกว่า 2% แต่ในช่วงที่น้อยกว่า 3 ค่าความคลาดเคลื่อนมีกว่า 30% และในช่วงค่า pH มากกว่า 8 ค่าความคลาดเคลื่อนก็มากกว่า 10% จึงสรุปได้ว่าค่า pH ที่ใช้ได้จะอยู่ในช่วงค่า 3 ถึง 8 เท่านั้น



ภาพที่ 8 แสดงการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเดียว

จากภาพที่ 8 แสดงการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเดียวของค่า pH กับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการแปลงค่าโดย ADC โดยพบว่าแรงดันไฟฟ้าจาก pH เซ็นเซอร์ที่วัดได้จะอยู่ในช่วง -7mV ถึง 45mV สำหรับค่าช่วงค่า pH 3 ถึง 8 และมีค่า R-Squared เท่ากับ 0.9941 แสดงให้เห็นว่า ค่าการแปลงเป็นดิจิทัลมีความแม่นยำสอดคล้องกับสัญญาณทางอนาล็อกที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี

การสร้างแผนที่ pH บนแปลงที่ดิน

การที่สามารถวัดค่า pH พร้อมด้วยพิกัดตำแหน่งของตำแหน่งที่วัดค่า ทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างเป็นแผนที่ได้อย่างสะดวกและรวดเร็วเนื่องจากการบันทึกข้อมูลการวัดจะเป็นอัตโนมัติและการเก็บบน Google Sheet โดยในภาพที่ 9 แสดงเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นขณะทดลองวัดในแปลงนาข้าว โดยทำการทดลองนี้เป็นสร้างแผนที่โดยการวัดค่า pH ในตำแหน่งบนแปลงนาข้าว ระยะของการวัดค่าห่างกันแต่ละจุดประมาณ 10 เมตร เมื่อนำค่าที่วัดได้ไปสร้างแผนที่ pH ก็จะได้ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 9 เครื่องมือที่พัฒนาขึ้น ขณะทำการวัดค่า pH



ภาพที่ 10 แผนที่แสดงค่า pH ตามค่าพิกัด GPS

ในการสร้างแผนที่ pH ทางผู้วิจัยสร้างแผนที่โดยใช้โปรแกรม ArcMap ซึ่งเป็นโปรแกรมด้านระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ Geographic information system (GIS) เป็นระบบที่ออกแบบมาเพื่อบันทึกจัดเก็บจัดการวิเคราะห์จัดการและนำเสนอข้อมูลเชิงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้นำมาประยุกต์เพื่อสร้างแผนที่ pH จากชุดข้อมูลที่ได้จากชุดเครื่องวัด pH ที่พัฒนาขึ้น จากรูปแผนที่บริเวณขอบแปลงนามีค่าความเป็นกรดสูง ค่า pH ต่ำกว่า 5 แสดงเป็นช่วงเหลือง pH 5.0 ถึง 5.5 ในบริเวณช่วงสีแดงยังมีค่า pH ต่ำมาก คือช่วง 4.1 ถึง 4.6 มีความจำเป็นต้องปรับปรุง



สภาพดินให้มีค่า pH ให้อยู่ในช่วง 6 ถึง 7 จึงจะเหมาะแก่การเพาะปลูกพืชหรือทำเกษตรกรรมได้ ดังนั้นจากแผนที่ pH ที่ได้ทำให้สามารถนำไปเป็นข้อมูลในการตัดสินใจในการปรับปรุงสภาพดินให้เหมาะสม เป็นแนวทางของการทำเกษตรแม่นยำ (Precision Agriculture)

ช่วงดินที่มีความเป็นกรดสูง คือค่า pH ที่ต่ำกว่า 3 เซ็นเซอร์จะไม่สามารถวัดค่าได้ ซึ่งดินที่มีกรดสูงไม่เหมาะแก่การเกษตรต้องปรับสภาพของดินก่อน หากต้องการวัดค่าที่ต่ำกว่านี้จำเป็นต้องเปลี่ยนตัวเซ็นเซอร์วัด pH

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัย

ข้อจำกัดที่พบจากตัวเซ็นเซอร์วัด pH ของดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือย่านของการวัดค่า pH จะอยู่ในช่วง 3 ถึง 8

เอกสารอ้างอิง

- Chen, H. C. and S. W. Chen (2003). A moving average based filtering system with its application to real-time QRS detection. Computers in Cardiology, 2003.
- Morris, B. (2003). "The components of the Wired Spanning Forest are recurrent." Probability Theory and Related Fields 125(2): 259-265.
- Pawar, S., S. Tembe and S. Khan (2020). Design of an Affordable pH module for IoT Based pH Level Control in Hydroponics Applications. 2020 International Conference on Convergence to Digital World - Quo Vadis (ICCDW).
- Puengsungwan, S. (2020). IoT based Soil Moisture Sensor for Smart Farming. 2020 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI).
- Scheberl, L., B. C. Scharenbroch, L. P. Werner, J. R. Prater and K. L. Fite (2019). "Evaluation of soil pH and soil moisture with different field sensors: Case study urban soil." Urban Forestry & Urban Greening 38: 267-279.