รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาและพัฒนาเซนเซอร์วัด pH ของดิน

The study and development of soil pH sensor

นายณัฐรัฐ แย้มโพธิ์ใช้

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การศึกษาและพัฒนาเซนเซอร์วัด pH ของดิน

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายณัฐรัฐ แย้มโพธิ์ใช้

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมเกษตร

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.รวิภัทร ลาภเจริญสุข

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายณัฐชนน ชัยสิทธิ์วรกุล

สถานประกอบการ บริษัท อะกรินโน เทค แอนด์ เซอร์วิสเซส จำกัด

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาเซ็นเซอร์วัดค่า pH ของดินให้เป็นผลิตภัณฑ์ต้นทุนต่ำและแก้ปัญหาของเกษตรกรตามความต้องการของบริษัท เซ็นเซอร์อิเล็กโทรดแก้วถูกเลือกใช้เพื่อวัดค่า pH ของดิน ในโครงงานนี้ การสร้าง Calibration model เริ่มดำเนินจากการตัวอย่างดิน 30 ตัวอย่างของดินร่วนและดินทรายแป้ง (จำนวนตัวอย่างคือ 15 ตัวอย่างต่อดินแต่ละชนิด) ตัวอย่างดินแต่ละชนิดแบ่งเป็น 3 กลุ่มซึ่งประกอบด้วย 5 ตัวอย่างต่อกลุ่ม จากนั้นปรับค่า pH ของตัวอย่างดินด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และกรดไนตริก ค่า pH หลังจากถูกปรับของดินร่วนและดินทรายแป้งอยู่ระหว่าง 4.0 - 10.0 และ 1.0 - 10.5 ตามลำดับ วัดค่า pH ของตัวอย่างดินโดยใช้เซ็นเซอร์วัดค่า pH เพื่อบันทึก Digital number จากไมโครคอนโทรลเลอร์ เครื่องวัดค่า pH มาตรฐานถูกใช้เป็นเครื่องมือสอบเทียบ Calibration model ถูกสร้างขึ้นจากอัลกอรึทึม Machine Learning เช่น Simple Linear Regression, Multiple Linear Regression, Artificial Neural Network, Support Vector Machine และ k- Nearest Neighbour ผลการวิจัยพบว่าเซ็นเซอร์วัด pH ของดินมีค่า Root Mean Square Error ระหว่าง 0.0455 - 1.3310 และ 0.0241 - 1.6700 สำหรับดินร่วนปนและดินปนทรายแป้งตามลำดับ Simple Linear Regression มีประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งมีค่า Root Mean Square Error เท่ากับ 0.0455 และ 0.0241 สำหรับดินร่วนปนและดินปนทรายแป้งตามลำดับ

คำสำคัญ : เซนเซอร์วัด pH ของดิน, เซนเซอร์อิเล็กโทรดแก้ว, Machine Learning, IoT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title: The study and development of soil pH sensor

Student intern name: Nattarat Yaemphochai

Faculty: Engineering **Department:** Agricultural Engineering

Advisor name: Asst.Prof.Ravipat Lapcharoensuk

Mentor name: Natchanon Chaiyasitworakul

Company: Agrinno Tech and Services Co., Ltd.

Abstract

This project focused on the study and development of soil pH sensor which is low cost product and solving of the farmer according to the requirement of company. Glass electrode sensor was selected to measure pH of soil in this project. The development of calibration model was performed with the 30 soil samples of loam soil and silty soil (number of samples were 15 samples per each soil type). Each soil type, samples were separated into 3 groups which consist of 5 samples per group. The pH value of soil samples was adjusted with potassium hydroxide and nitric acid. Final pH value of loam and silty soil were between 4.0 – 10.0 and 1.0 – 10.5, respectively. The pH value of soil samples was measured using pH sensor for recording digital number from the microcontroller. The standard pH meter was used to be the calibration instrument. The calibration models were created from machine learning algorithms such as Simple Linear Regression, Multiple Linear Regression, Artificial Neural Network, Support Vector Machine and k-Nearest Neighbour. The results showed performance of pH sensor with Root Mean Square Error about 0.0455 – 1.3310 and 0.0241 – 1.6700 for loam and silty soil, respectively. The simple linear regression presented highest performance with 0.0455 and 0.0241 for loam and silty soil, respectively.

Keyword : pH sensor, glass electrode, machine learning, IoT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การสหกิจศึกษาในครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยการรับความอนุเคราะห์จากบริษัท อะกรินโน่ เทค แอนด์ เซอร์วิสเซส จำกัด ที่ได้มอบโอกาสให้เข้ามาทำสหกิจศึกษา ขอขอบคุณภานุพล นฤสิงห์สำราญ ผู้บริหาร นายสุพัฒน์พงศ์ ศรีทอง นายณัฐชนน ชัยสิทธิ์วรกุล วิศวกรที่ปรึกษาสำหรับสหกิจในครั้งนี้ และพนักงานบริษัท อะกรินโน่ เทค แอนด์ เซอร์วิสเซส จำกัด ทุกคนที่ให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือ คำปรึกษา ความรู้ ประสบการณ์การทำงาน จนทำให้การสหกิจศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.รวิภัทร ลาภเจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ทุก ๆ ท่าน สำหรับการสหกิจศึกษาในครั้งนี้ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการช่วยเหลือ ความรู้ คำปรึกษา จนทำให้การสหกิจศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ตลอดจนผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการสหกิจศึกษาในครั้งนี้ทั้งหมดที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ความช่วยเหลือ กำลังใจจนทำให้การสหกิจศึกษาครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายณัฐรัฐ แย้มโพธิ์ใช้

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

ชื่อเรื่อง **หน้า**

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....XIII

สารบัญรูป.....X

สารบัญกราฟ.....XII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ที่มาและความสำคัญ.....1

1.2 วัตถุประสงค์.....2

1.3 ขอบเขตการวิจัย.....2

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย.....2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 ค่าพีเอช(pH).....4

2.2 ค่าพีเอชในดิน(pH in soil).....4

2.3 ผลกระทบของพีเอชต่อพืช.....4

2.4 หลักการทำงานของเซนเซอร์วัด pH แบบขั้วแก้วอิเลกโทรด.....5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

ชื่อเรื่อง **หน้า**

2.5 IoT หรือ Internet of Things....6

2.6 บอร์ด Arduino Mega 2560 Pro....6

2.7 โมดูลสื่อสาร 3G Module UC-15T....8

28 DS3231 Real Time Clock Module....9

2.9 Nexpie....10

2.10 Machine Learning....10

2.11 โมเดล Multiple Linear Regression หรือ โมเดลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ....11

2.12 โมเดล Artificial Neural Network....11

2.13 โมเดลซัพพอร์ตเวคเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine : SVM)....11

2.14 โมเดล เค เนียเรสเนเบอร์(k-NN)....11

2.15 Root Mean Square Error....11

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน....13

3.1 ศึกษาออกแบบการทำงานของอุปกรณ์....14

3.2 การออกแบบการทำงานและการต่ออุปกรณ์....14

3.2.1 pH sensor และ pH module....15

3.2.2 วงจร DS3231 Real Time Clock Module....15

3.2.3 3G Module UC15-T....16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

ชื่อเรื่อง **หน้า**

3.2.4 ออกแบบวงจรไฟเลี้ยงอุปกรณ์....16

3.2.5 ออกแบบซอฟต์แวร์การทำงานของระบบ....17

3.2.6 ออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ IoT ตรวจสอบคุณภาพดิน....17

3.3 ทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล....19

3.3.1 การทดลองเพื่อสร้าง Calibration Model....19

3.3.2 การทดลองหาค่าความแม่นยำ....23

3.2.3 วิเคราะห์ข้อมูลด้วย Machine Learning....23

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน....24

4.1 การเตรียมสารละลายเพื่อปรับสภาพค่า pH ของดินแต่ละชนิดในสัดส่วนต่าง ๆ....24

4.2 การวัดค่า Digital Number ซึ่งได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อ calibrate กับค่า pH จริงของดิน...27

4.3 ความชื้นของดินตัวอย่างหลังจากปรับสภาพค่า pH ด้วยสารละลายในปริมาณต่าง ๆ....30

4.4 การทดสอบเสถียรภาพของเซนเซอร์ในการวัดค่า....31

4.5 การทำนายค่า pH ของดินด้วยเซนเซอร์เพื่อหาความแม่นยำของวัด....32

4.6 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย Machine Learning....35

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน....37

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน....37

5.2 ข้อเสนอแนะ....37

เอกสารอ้างอิง....38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

ชื่อเรื่อง **หน้า**

ภาคผนวก ก ผลการทดสอบ.....40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ตารางแสดงข้อมูลจำเพาะ Arduino Mega 2560 Pro....7

2.2 ตารางแสดงข้อมูลจำเพาะของ DS3231 Real Time Clock Module....9

4.1 ผลการทดลองปรับสภาพค่า pH ของดินร่วนที่สภาวะเริ่มต้นด้วยสารละลายปรับสภาพดิน ปริมาณ 30 กรัมและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการผสมดิน....24

4.2 ผลการทดลองปรับสภาพค่า pH ของดินร่วนที่สภาวะเริ่มต้นด้วยสารละลายปรับสภาพดิน ปริมาณ 50 กรัมและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการผสมดิน....25

4.3 ผลการทดลองปรับสภาพค่า pH ของดินร่วนที่สภาวะเริ่มต้นด้วยสารละลายปรับสภาพดิน ปริมาณ 70 กรัมและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการผสมดิน....25

4.4 ผลการทดลองปรับสภาพค่า pH ของดินทรายแป้งที่สภาวะเริ่มต้นด้วยสารละลายปรับสภาพดิน ปริมาณ 30 กรัมและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการผสมดิน....26

4.5 ผลการทดลองปรับสภาพค่า pH ของดินทรายแป้งที่สภาวะเริ่มต้นด้วยสารละลายปรับสภาพดิน ปริมาณ 50 กรัมและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการผสมดิน....26

4.6 ผลการทดลองปรับสภาพค่า pH ของดินทรายแป้งที่สภาวะเริ่มต้นด้วยสารละลายปรับสภาพดิน ปริมาณ 70 กรัมและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการผสมดิน....27

4.7 ตารางแสดงความชื้นของดินหลังจากปรับสภาพค่า pH ด้วยปริมาณต่าง ๆ(% ฐานแห้ง)....30

4.8 ตารางแสดงผลการทดสอบความเสถียรภาพของการวัดค่าของเซนเซอร์วัด pH ของดิน ที่ความชื้นต่าง ๆในดินร่วน....31

4.9 ตารางแสดงผลการทดสอบความเสถียรภาพของการวัดค่าของเซนเซอร์วัด pH ของดิน ที่ความชื้นต่าง ๆในดินทรายแป้ง....31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.10 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนและความแม่นยำจากการทำนายค่า pH ของดินร่วน
ที่มีความชื้นประมาณ 60 % ฐานแห้งด้วย Calibration Model.....32

4.11 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนและความแม่นยำจากการทำนายค่า pH ของดินร่วน
ที่มีความชื้นประมาณ 100 % ฐานแห้งด้วย Calibration Model.....33

4.12 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนและความแม่นยำจากการทำนายค่า pH ของดินทรายแป้ง
ที่มีความชื้นประมาณ 15 % ฐานแห้งด้วย Calibration Model.....34

4.13 ตารางแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายค่า pH ของดินร่วนในของโมเดลต่าง ๆ.....36

4.14 ตารางแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายค่า pH ของดินทรายแป้งในของโมเดลต่าง ๆ..36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 pH scale....4

2.2 แสดงหลักการทำงานของเซนเซอร์วัด pH แบบขั้วแก้ว....5

2.3 Arduino Mega 2560 Pro....7

2.4 บอร์ดโมดูลสื่อสาร 3G Module UC15-T....9

2.5 DS3231 Real Time Clock Module....10

2.6 แสดงข่ายงานประสาทเทียมมีการเชื่อมต่อกันผ่านกลุ่ม Nodes....11

3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน....13

3.2 แผนผังแสดงอุปกรณ์หลัก ๆ และการทำงานของระบบ....14

3.3 แสดงวงจรสำหรับเซนเซอร์วัด pH ของดิน....15

3.4 แสดงรูปโมดูล Real Time Clock ต่อกับ Microcontroller....15

3.5 แสดงรูป 3G Module UC-15T ต่อกับ Microcontroller....16

3.6 แผนผังแสดงการต่อวงจรไฟฟ้าเลี้ยงและชาร์จแบตเตอรี่....16

3.7 แสดงการออกแบบชุดอุปกรณ์ IoT ตรวจสอบคุณภาพดิน version 1.1....17

3.8 แสดงการออกแบบชุดอุปกรณ์ IoT ตรวจสอบคุณภาพดิน version 1.2....17

3.9 แสดงการออกแบบชุดอุปกรณ์ IoT ตรวจสอบคุณภาพดิน version 1.3....18

3.10 แสดงวงจรต้นแบบที่ทำจากบอร์ดไข่ปลา....18

3.11 แสดงวงจรบนแผ่น PCB ที่ถูกพัฒนาขึ้น....18

3.12 รูปแสดงการเตรียมตัวอย่างดินร่วน....19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.13 รูปแสดงภาชนะบรรจุตัวอย่างดินร่วน.....19

3.14 รูปแสดงการเตรียมตัวอย่างดินร่วนใส่บีกเกอร์ปริมาณ 100 กรัมโดยประมาณ.....20

3.15 รูปแสดงสารละลายสำหรับปรับสภาพ pH ของดินและน้ำกลั่นบริสุทธิ์.....20

3.16 รูปแสดงขวดสเปรย์สำหรับการสเปรย์สารละลายเข้ากับดินตัวอย่าง.....21

3.17 รูปแสดงการนำเซนเซอร์มาวัดดินในบีกเกอร์.....21

3.18 รูปแสดงเครื่อง pH meter มาตรฐาน และการตรวจสอบค่า pH ของดินที่แท้จริง.....22

3.19 รูปแสดงน้ำยาทดสอบค่า pH ของดิน.....22

3.20 รูปแสดงตู้อบและการอบดินที่บรรจุใน Moisture Can.....22

3.21 รูปแสดงตัวอย่างดินทรายแป้งในภาชนะบรรจุ.....23

4.1 แสดงผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยโมเดล Neural Network ของดินร่วน.....35

4.2 แสดงผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยโมเดล Neural Network ของดินทรายแป้ง.....35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญกราฟ

กราฟที่ **หน้า**

4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Digital Number ที่อ่านค่าได้กับค่า pHจริง ของดินร่วนที่มีความชื้นเฉลี่ย 95 % ฐานแห้ง.....27

4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Digital Number ที่อ่านค่าได้กับค่า pH จริง ของดินร่วนที่มีความชื้นเฉลี่ย 121 % ฐานแห้ง.....28

4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Digital Number ที่อ่านค่าได้กับค่า pH จริง ของดินร่วนที่มีความชื้นเฉลี่ย 124 % ฐานแห้ง.....28

4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Digital Number ที่อ่านค่าได้กับค่า pH จริง ของดินทรายแป้งที่มีความชื้นเฉลี่ย 30 % ฐานแห้ง.....29

4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Digital Number ที่อ่านค่าได้กับค่า pH จริง ของดินทรายแป้งที่มีความชื้นเฉลี่ย 55 % ฐานแห้ง.....29

4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Digital Number ที่อ่านค่าได้กับค่า pH จริง ของดินทรายแป้งที่มีความชื้นเฉลี่ย 70 % ฐานแห้ง.....30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบัน IoT(Internet of Things) มีบทบาทกับชีวิตประจำวันมากขึ้น และเป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในด้านต่าง ๆ อาทิเช่น ด้านสุขภาพ ด้านการศึกษา ไม่เว้นแม้กระทั่งด้านที่มีความสำคัญต่อประเทศไทยอย่างด้านการเกษตรที่จะใช้ในการรายงานสภาพแวดล้อมหรือคุณสมบัติของพื้นที่ทำการเกษตร ซึ่งเมื่อกล่าวถึงการวัดคุณสมบัติต่าง ๆของแปลง นอกจากความชื้น อุณหภูมิ ธาตุอาหารในดินแล้ว ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)ก็เป็นตัวแปรสำคัญในการเจริญเติบโตของพืชด้วย การทราบถึงค่า pH ของดินในแปลง ณ ขณะนั้นเพื่อให้เกษตรกรหรือผู้ปลูกพืชนั้นได้มีการปรับปรุงคุณภาพดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

ในปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่ไม่สามารถเข้าถึงเทคโนโลยีการวัดคุณสมบัติทางเคมีของดินที่มีแม่นยำมากเนื่องจากมีราคาที่สูง ส่วนเทคโนโลยีที่มีราคาถูกและเกษตรกรมีความสามารถที่จะเข้าถึงนั้นมีความแม่นยำที่ต่ำ เกษตรกรส่วนใหญ่จึงเลือกใช้วิธีเก็บตัวอย่างในแปลงเพื่อส่งให้กรมพัฒนาที่ดินตรวจซึ่งการเก็บตัวอย่างดินในแปลงทำให้ใช้เวลาการทำงานและกำลังคนที่มาก ซึ่งส่งผลต่ออัตราของผลผลิตที่ได้ในแต่ละช่วงการเก็บเกี่ยวให้มีผลผลิตที่ไม่แน่นอนและคุณภาพของผลผลิตไม่สม่ำเสมอดังนั้นการศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์วัดคุณสมบัติทางเคมีของดินให้มีราคาที่เกษตรกรจะสามารถเข้าถึงได้และมีความแม่นยำ รวมไปถึงการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์วัดเข้าสู่แพลตฟอร์มด้วยระบบการสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์ 3G เพื่อให้เกษตรกรสามารถทราบผลและคุณภาพของดิน เพื่อให้เกษตรกรสามารถวางแผนบริหารและจัดการการเกษตรกรรมได้โดยที่ลดค่าใช้จ่ายด้านกำลังคน ลดระยะเวลารวมไปถึงลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนกับอุปกรณ์วัดที่มีราคาสูงในการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของดิน

ซึ่งทางผู้ศึกษาได้เลือกใช้เซนเซอร์ที่มีหลักการถ่ายเทประจุไฮโดรเจนไอออนผ่านเมมเบรนแก้ว ซึ่งทำให้ความต่างศักย์ทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นของประจุที่อยู่รอบ ๆ ซึ่งมีราคาไม่สูงมากมาใช้ในชุดอุปกรณ์ IoT ตรวจสอบคุณภาพดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาและพัฒนาเซนเซอร์วัดค่า pH ของดินให้สามารถวัดค่าได้อย่างแม่นยำ รวมไปถึงสามารถแสดงค่า pH บนแพลตฟอร์มการใช้งานของเกษตรกร

- เพื่อลดต้นทุนการผลิตอุปกรณ์วัดของบริษัทและเกษตรกรยังสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีได้อย่างทั่วถึง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- การศึกษาและพัฒนาครั้งนี้เป็นการพัฒนาเครื่องมือวัดค่า pH ของดินที่มีลักษณะเป็นดินร่วนและดินทรายแป้ง

- เป็นการศึกษาและพัฒนาเซนเซอร์วัดค่า pH ของดินด้วยหลักการถ่ายเทประจุเข้าผ่านเมมเบรนแก้ว

- เป็นการศึกษาและพัฒนาเซนเซอร์วัด pH ที่อยู่ในชุดอุปกรณ์ IoT ตรวจสอบคุณภาพดิน ให้สามารถใช้งานได้จริง และสามารถเป็นผลิตภัณฑ์จัดจำหน่ายได้

- โมเดลที่จะนำมาวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้โมเดล Linear Regression, Multiple Linear Regression, Neural Network, Kernel(SVM) และ เค เนียเรสเนเบอร์(k-NN)

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.ออกแบบชุดอุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพดินและศึกษาอุปกรณ์ที่จำเป็นในการสร้างชุดอุปกรณ์IoT ตรวจสอบคุณภาพดิน รวมไปถึงศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.ศึกษาหลักการและการทำงานของเซนเซอร์

3.เตรียมตัวอย่างดินร่วนและดินทรายแป้งชนิดละ 75 ตัวอย่างใส่บีกเกอร์ละ 100 กรัม นำไปปรับค่า pH ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์-สารละลายไนตริกในปริมาณ 30,50 และ 70 กรัม ปริมาณละ 25 ตัวอย่างในสัดส่วนของสารละลายที่แตกต่างกันออกไป

4.นำเซนเซอร์วัด pH มาวัดพร้อมบันทึกค่า Digital number ที่อ่านได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์และใช้ pH meter(Hanna instrument,HI 8215,USA) และน้ำยาทดสอบดินเป็นอุปกรณ์สอบเทียบมาตรฐาน

5.สุ่มตัวอย่างดินในบีกเกอร์ 5 ตัวอย่างไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อหาความชื้นเฉลี่ยของตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.นำข้อมูลบันทึกไว้ไปสร้าง Calibration Model และวิเคราะห์ด้วย Machine Learning โมเดล Linear Regression, Multiple Linear Regression, Neural Network, Kernel(SVM) และ k-NN เพื่อหาค่าความแม่นยำแต่ละโมเดล

6.ประกอบชุดอุปกรณ์ IoT ตรวจสอบคุณภาพดิน

7.ทดสอบความเสถียรของการวัดและการส่งค่า

8.สรุปผลการดำเนินงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

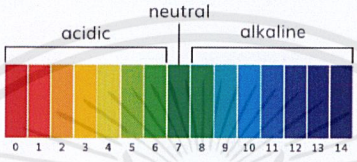
ได้อุปกรณ์ IoT ตรวจสอบคุณภาพดินที่ใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ เกษตรกรมีกำลังที่จะเข้าถึงเทคโนโลยี สามารถวัดค่าได้อย่างแม่นยำ เพื่อให้เกษตรกรได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น รวมไปถึงการลดกำลังและเวลาการทำงานของเกษตรกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1ค่าพีเอช(pH) เป็นค่าที่แสดงความเป็นกรด-เบส(ด่าง)ของสารเคมีจากปฏิกิริยาของไฮโดรเจนไอออน(H^+) โดยค่า pH จะอยู่ในช่วง 1-14 ถ้าค่า pH น้อยกว่า 7 สารชนิดนั้นก็จะมีฤทธิ์เป็นกรด และถ้าค่า pH มากกว่า 7 สารชนิดนั้นก็จะมีฤทธิ์เป็นเบสหรือด่าง แต่ถ้าค่า pH นั้นมีค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าสารชนิดนั้นเป็นกลาง (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.), 2012)



รูปที่ 2.1 pH scale

ที่มา : (www.vectorstock.com/royalty-free-vector/chart-ph)

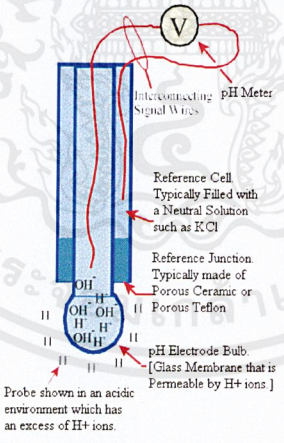
2.2 ค่าพีเอชในดิน(pH in Soil) ความเป็นกรด-ด่างของสสารวัดกันด้วยหน่วย pH ซึ่งโดยปกติจะมีค่าอยู่ที่ 0-14 ดังนั้นหากในดินมีค่า pH เท่ากับ 7 ก็แสดงว่ามีความเป็นกรด-ด่างเป็นก ลาง แต่ถ้ามีค่า pH ต่ำกว่า 7 ก็แสดงว่าดินมีความเป็นกรดมาก กลับกันหากดินมีค่า pH สูงกว่า 7 ก็แสดงว่ามีความเป็นด่างสูง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วดินมักจะมีค่าความเป็นกรดอยู่ที่ 3 และมีค่าความเป็นด่างอยู่ที่ 10 โดยมีปัจจัยแวดล้อมอย่างสารอาหารที่ดินได้รับ เช่น ซากพืช ซากสัตว์ ที่ทับถม และปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยต่อปีเป็นส่วนประกอบ ซึ่งดินที่มีค่า pH ประมาณ 6.5 จะเป็นดินที่ปลูกพืชได้ดีที่สุด เพราะมีค่าค่อนข้างเป็นกลาง แต่จะมีพืชบางชนิด เช่น บลูเบอร์รี่, ชวนชม, ดอกพุด ที่จะเจริญเติบโตได้ดีในค่าความเป็นกรด จึงต้องใช้ดินที่มีค่า pH อยู่ที่ 4.5-5.5 เป็นต้น ก่อนการปลูกพืชควรมีการศึกษาเรื่องค่า pH ในดินไว้ตั้งแต่แรก พืชก็จะเจริญเติบโตได้ดีขึ้น (thailand smart garden, 2017)

2.3 ผลกระทบของพีเอชต่อพืช ค่าพีเอช(pH) ในดินไม่ได้มีผลโดยตรงกับการเจริญเติบโตของพืช แต่มีส่วนช่วยให้พืชสามารถดูดซับสารอาหารจากดินได้ดีขึ้นเท่านั้น ซึ่งถ้าหากพืชเจริญเติบโตในดินที่มีค่าความเป็นกรดต่ำเกินไป ใบก็จะเหลือง เนื่องจากไม่สามารถดูดธาตุเหล็กเข้าไปบำรุงต้นได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นดินที่จะเหมาะกับการปลูกพืช จึงต้องมีค่าความเป็นกรดอยู่พอสมควร เพื่อที่ความเป็นกรดจะได้แปลงธาตุอาหารให้พืชดูดกินได้สะดวก แต่ถึงอย่างนั้นค่า pH ก็มีผลเสียต่อพืชอยู่เช่นกัน โดยหากดินมีค่า pH ต่ำ ธาตุแมงกานีสในดินก็จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลายเป็นพิษต่อพืช เป็นสาเหตุให้พืชมีใบเหลือง ใบแห้ง และตายได้ในที่สุด และถ้าหากค่า pH ในดินต่ำมาก จนเกินไป ดินก็จะดูดซับสารอะลูมิเนียมแทนธาตุอาหารจำเป็น ต้นไม้จึงเติบโตช้า เพราะไม่ได้กินอาหารที่มีประโยชน์ แต่ถ้าดินมีค่า pH อยู่ในระดับที่เหมาะสม ก็จะช่วยให้สารอาหาร และสิ่งมีชีวิตในดินเจริญเติบโตได้ดี อีกทั้งยังช่วยแปลงธาตุไนโตรเจนให้พืชสามารถดูดซับได้ ซึ่งส่งผลให้พืชงอกงามและสุขภาพดี (thailand smart garden, 2017)

2.4 หลักการทำงานของเซนเซอร์วัด pH แบบขั้วแก้วอิเลกโทรด วัดค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างอิเลกโทรดสองขั้วและแสดงผลลัพธ์ที่แปลงเป็นค่าพีเอชที่สอดคล้องกัน ซึ่งมักจะมีขั้วแก้วสำหรับวัดค่าและขั้วแก้วอ้างอิงหรืออิเลกโทรด 2 ชนิดรวมกันในขั้วแก้วเดียวกัน อิเลกโทรดแก้วถูกแทรกเข้าไปในสารละลายที่จะทดสอบ ในการแช่สารละลายที่จะทดสอบไอออนไฮโดรเจนในสารละลายทดสอบจะแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีประจุบวกอื่น ๆ บนหลอดแก้วซึ่งจะสร้างศักย์เคมีไฟฟ้าข้ามขั้ว แอมพลิฟายเออร์จะตรวจจับความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองที่สร้างขึ้นในการวัดและแปลงความต่างศักย์เป็นหน่วย pH แรงดันไฟฟ้าจะแตกต่างกันไปตามสารละลายทดสอบเพื่อทดสอบสารละลายขึ้นอยู่กับความแตกต่างที่อาจเกิดขึ้นจากความแตกต่างของความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในแต่ละด้านของเยื่อหุ้มแก้วในสารละลายทดสอบและสารละลายภายในเยื่อหุ้มแก้ว อิเลกโทรดจะถูกแช่ลงในสารละลายทดสอบนานพอสมควรเพื่อปรับสมดุลกับไอออนบนพื้นผิวของขั้วแก้ว การปรับสมดุลนี้ทำให้การวัดค่า pH ที่เสถียร (data analysis corporation, 2019)



รูปที่ 2.2 แสดงหลักการทำงานของเซนเซอร์วัด pH แบบขั้วแก้ว

ที่มา : (http://www.phadjustment.com/TArticles/pH_Probe.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 IoT หรือ Internet of Things

การที่อุปกรณ์ต่าง ๆ สิ่งต่าง ๆ ได้ถูกเชื่อมโยงทุกสิ่งทุกอย่างสู่โลกอินเตอร์เน็ต ทำให้มนุษย์สามารถสั่งการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เช่น การเปิด-ปิด อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (การสั่งการเปิดไฟฟ้าภายในบ้านด้วยการเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุม เช่น มือถือ ผ่านทางอินเตอร์เน็ต) รถยนต์ โทรศัพท์มือถือ เครื่องมือสื่อสาร เครื่องมือทางการเกษตร อาคาร บ้านเรือน เครื่องใช้ในชีวิตประจำวันต่าง ๆ ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เป็นต้น (leotech, 2019)

2.6 บอร์ด Arduino Mega 2560 Pro

ข้อมูลทั่วไป

1. บอร์ด Mega Pro Embed CH340G/ATmega2560 อิงกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega2560 และอแดปเตอร์ยูเอสบี-UARTCH340คณะกรรมการสามารถทำงานร่วมกับArduinoMega2560

2. บอร์ดมีขนาดกะทัดรัด 38X55mm และเป็นทางออกที่ดีสำหรับการพัฒนาโครงการตามมาตรฐาน ATmega2560

3. ฟังก์ชัน Mega Pro ฝังอยู่เหมือนกันกับ Arduino Mega 2560 ถึงแม้จะเป็น Embed board แต่ก็มีความมั่นคงเหมือนของ Mega Board ใช้ชิพต้นฉบับและเครื่องเรอร์เซอร์ควอทซ์คุณภาพสูง 16 เมกะเฮิรตซ์อยู่บนบอร์ด

4. บอร์ดมีช่องเสียบ Micro ยูเอสบี ที่ช่วยให้สามารถเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ผ่านอแดปเตอร์ ยูเอสบี-UART CH340 (อาจจำเป็นต้องติดตั้งไดรฟ์เวอร์) ดาวน์โหลดไดรฟ์เวอร์ :Windows,Linux,Mac,Android

5. บอร์ดสามารถขับเคลื่อนผ่านช่องเสียบ Micro ยูเอสบี หรือผ่านทางช่องเสียบที่ตรงกันบนกระดาน (Vin)ตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ทำงานอยู่ในช่วงของ6ถึง9VDC

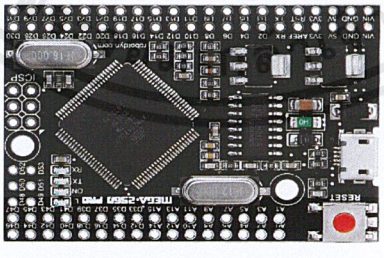
6. กระแสไฟขาออกสูงสุด 5V อยู่ที่ประมาณ 800mA ขณะอยู่ที่ 3.3V ประมาณ 800mA

7. ตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าช่วยให้สามารถใช้งานได้ถึง 18V เป็นค่าอินพุทอย่างไรก็ตามไม่แนะนำให้ใช้เกินค่าที่แนะนำดังกล่าวเนื่องจากอาจทำให้เกิดความร้อนและความเสียหายกับอุปกรณ์ได้มากเกินไป (arduinoall, 2018)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงข้อมูลจำเพาะ Arduino Mega 2560 Pro

ไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega2560
ตัวแปลง ยูเอสบี-TTL	CH340
Power Out	5V-800mA
Power IN	5V
Power IN VIN / แจ็ค DC	5V
การใช้พลังงาน	5V 220mA
ระดับลอจิก	5V
ยูเอสบี	Micro USB
ความถี่นาฬิกา	16MHz
การจ่ายแรงดันที่ใช้งาน	5V
I / O ดิจิทัล	54
I / O อนาล็อก	16
ขนาดหน่วยความจำ	256kb
ข้อมูล RAM ชนิด / ขนาด	8Kb
ข้อมูลรอม ชนิด / ขนาด	4Kb
อินเทอร์เฟส ชนิด	ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต
อุณหภูมิในการทำงาน	-40 °C / + 85 °C
ความยาว x กว้าง	38 x 54mm



รูปที่ 2.3 Arduino Mega 2560 Pro

ที่มา : (www.arduinoall.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 โมดูลสื่อสาร 3G Module UC15-T เป็นบอร์ดสื่อสารเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ 3G ใช้โมดูลสื่อสารยี่ห้อ Quectel รุ่น UC15-T รองรับความถี่ 850/2100 MHz ในระบบ UMTS (3G) และรองรับความถี่ 850/900/1800/1900 MHz ในระบบ GSM (2G) มีความเร็วในการสื่อสารข้อมูลสูงสุดระหว่างโมดูลกับเครือข่ายที่ 3.6 Mbps Downlink และ 384 Kbps Uplink เมื่อเชื่อมต่อกับเครือข่าย 3G เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการทำให้ระบบเชื่อมต่อกับเครือข่าย 3G หรือผู้ที่ต้องการอัพเกรดระบบจาก 2G เป็น 3G ที่มีฟังก์ชันการใช้งานครอบคลุมทั้งการสื่อสารและระบุพิกัด สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ เช่น ระบบขนส่งและติดตามตำแหน่งรถบรรทุกสินค้า มิเตอร์อัจฉริยะ จุดขายสินค้าไร้สาย การรักษาความปลอดภัย งานด้านสาธารณะสุข การติดตามบุคคลหรือสิ่งของ การควบคุมและบำรุงรักษาทางไกล เป็นต้น รองรับความถี่ UMTS (3G) คลื่น 800, 850, 900, 1900 และ 2100 MHz สามารถใช้ 3G บนความถี่ 2100MHz ได้ทุกเครือข่ายผู้ให้บริการในเมืองไทย เช่น AIS 3G, DTAC Trinet และ True 3G+ เป็นต้น และสามารถใช้ 3G บนความถี่ 850 MHz ของผู้ให้บริการ My by CAT

คุณสมบัติของบอร์ด 3G Module

- ใช้โมดูลสื่อสาร UC15-T จาก Quectel Wireless Solutions Co., Ltd.
- รองรับความถี่ 850/2100 MHz ในระบบ UMTS 3G
- รองรับความถี่ 850/900/1800/1900 MHz ในระบบ GSM 2G
- รองรับความเร็วในการสื่อสาร HSPDA สูงสุดที่ 3.6 Mbps Downlink และ 384 Kbps Uplink
- รองรับ HSPA Release 5 (Category 6)
- รองรับ EDGE Downlink only
- รองรับ GPRS Multi-slot class 12
- รองรับ UMTS Release 99/5
- รองรับ GSM Release 99/4
- รองรับคำสั่ง AT Command 3GPP TS27.007 กับ 3GPP TS27.005 และ enhanced AT command ของ Quectel
- รองรับโปรโตคอลต่างๆ ได้แก่ PPP / TCP / UDP / FTP / HTTP / FILE / MMS / SMTP / SSL
- ออกแบบเป็น Module บอร์ดขนาดเล็ก
- เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทาง Serial UART
- มีพอร์ต Micro USB สำหรับเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต USB ได้
- มีจัมพ์เปอร์สำหรับเริ่มต้นการทำงานทันทีเมื่อจ่ายไฟ (Auto start)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• มีพินเฮดเดอร์สำหรับเริ่มต้นและปิดการทำงานด้วย Software โดยการทริกขา I/O

• มีสวิตช์สำหรับเริ่มต้นและปิดการทำงานด้วยการกดปุ่ม (Power switch)

• มีไฟแสดงสถานะเปิดการทำงาน (Status LED)

• มีไฟแสดงสถานะเชื่อมต่อเครือข่าย (Network LED)

• คอนเน็คเตอร์สำหรับเสาอากาศสื่อสารหลัก (Main Antenna) แบบ RP-SMA

• มีช่องเสียบ SIM Card แบบ Push-Pull พร้อมวงจรป้องกัน ESD (thaieasyelec, 2015)

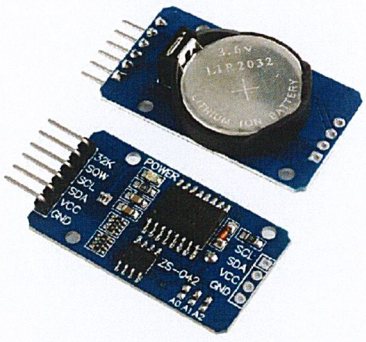
รูปที่ 2.4 บอร์ดโมดูลสื่อสาร 3G Module UC15-T

ที่มา : (www.thaieasyelec.com)

2.1.8 DS3231 Real Time Clock Module โมดูล DS3231 เป็นโมดูลแบบ RTC (Real Time Clock) ที่มีความแม่นยำสูง โมดูลนี้สามารถตั้งค่า วัน เวลา ได้อย่างง่าย และยังมาพร้อมกับวงจรวัดอุณหภูมิ ที่สามารถแสดงอุณหภูมิที่ภายนอกได้ (arduinoall, 2018)

ประโยชน์และคุณสมบัติ
- มีความแม่นยำสูงในฟังก์ชันจับเวลา
- เป็นนาฬิกาตามเวลาจริงนับวินาที, นาที, ชั่วโมง,วันที่ของเดือน, เดือน, วันในสัปดาห์และปีพร้อมการชดเชยแบบปีอธิกสุรทิน ใช้ได้สูงสุดถึงปี 2100
- ความแม่นยำ± 2ppm จาก 0 ° C ถึง + 40 ° c / ความแม่นยำ± 3.5ppm จาก -40 ° C ถึง + 85 ° c
- เอาต์พุตเซ็นเซอร์อุณหภูมิดิจิตอล: ความแม่นยำ± 3 ° C
- อินเทอร์เฟซ I2C รวดเร็ว (400kHz)
- อินพุตแบตเตอรี่สำรองสำหรับการจับเวลาอย่างต่อเนื่อง
- ใช้ไฟเลี้ยง 3.3V
- ช่วงอุณหภูมิในการทำงาน: เชิงพาณิชย์ (0°C ถึง + 70°C) และอุตสาหกรรม(-40°C ถึง + 85°C)
- ได้รับการยอมรับ Underwriters Laboratories® (UL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 DS3231 Real Time Clock Module

ที่มา : (www.arduinoall.com)

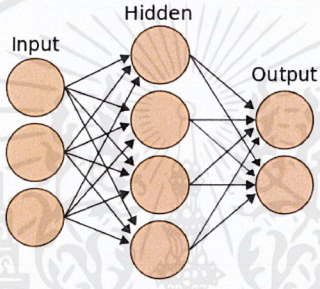
2.1.9 NEXPIE เป็น Cloud Platform ทำหน้าที่เป็นสื่อกลางที่ทำให้สิ่งต่าง ๆเชื่อมโยงกันได้ผ่านอินเตอร์เน็ต โดยสิ่งเหล่านั้นก็คือ IoT หรือ Internet of Things ซึ่งหมายถึงการที่สิ่งต่าง ๆถูกเชื่อมโยงเข้าสู่โลกเครือข่ายอินเตอร์เน็ตทำให้มนุษย์สามารถสั่งการ ควบคุม การใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆได้ เช่น การสั่งเปิด – ปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า รถยนต์ โทรศัพท์มือถือ เครื่องใช้สำนักงาน เครื่องใช้ในชีวิตประจำวันผ่านทางอินเตอร์เน็ตได้ หรือรวมถึงการแสดงผลข้อมูลของเซนเซอร์ (nexpie, 2018)

2.1.10 Machine Learning ระบบที่สามารถเรียนรู้ได้จากตัวอย่างด้วยตนเองโดยปราศจากการป้อนคำสั่งของโปรแกรมเมอร์ ความก้าวหน้าในครั้งนี้มาพร้อมกับความคิดที่ว่าเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้เพียงแค่จากข้อมูลอย่างเดียวเพื่อที่จะผลิตผลลัพธ์ที่แม่นยำออกมาได้ Machine Learning ประกอบได้ด้วยข้อมูลและเครื่องมือทางสถิติเพื่อทำนายผลลัพธ์ออกมา ผลลัพธ์ในที่นี้ถูกใช้เพื่อทำประโยชน์กับภายในองค์กร เชิงลึกต่อไป Machine Learning เกี่ยวข้องอย่างมากกับ การทำเหมืองข้อมูล (Data mining) และ โมเดลการทำนายของ Bayes (Bayesian predictive models) เครื่องคอมพิวเตอร์จะรับข้อมูลเข้ามาและใช้อัลกอริทึมเพื่อหาคำตอบขึ้น งานของ Machine Learning โดยทั่วไปจะเป็นการคอยสนับสนุนด้านการแนะนำ (provide a recommendation) สำหรับคนที่เป็นสมาชิกของ Netflix ,ทุกคำแนะนำหนังหรือซีรี่ต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับข้อมูลในการเข้าชมของผู้ใช้ที่ผ่านมา บริษัทเทคโนโลยีกำลังใช้วิธี การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) เพื่อปรับปรุงตามประสบการณ์ของผู้ใช้และการแนะนำส่วนบุคคล Machine Learning ยังถูกใช้กับงานหลากหลายด้าน เช่น การตรวจจับการฉ้อโกง (Fraud detection) , การพยากรณ์เพื่อปรับปรุงแก้ไข (Predictive Maintenance) , การเพิ่มประสิทธิภาพในการถือหุ้น (Portfolio optimization) , การทำงานอัตโนมัติ และอื่น ๆ (thaiprogrammer, 2018)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.11 โมเดล Multiple Linear Regression หรือ โมเดลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ คือ เป็นโมเดล การวิเคราะห์ถดถอยใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร Y กับตัวแปร X1, X2, ... เมื่อตัวแปรมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ดังสมการ Y = b0 + b1 X1+ b2 X2+ .... + e (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2553)

2.1.12 โมเดล Artificial Neural Network โมเดลทางคณิตศาสตร์หรือโมเดลทางคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนคชันนิสต์ (connectionist) แนวคิดเริ่มต้นของเทคนิคนี้ได้มาจากการศึกษาโครงข่ายไฟฟ้าชีวภาพ (bioelectric network) ในสมอง ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ประสาท (neurons) และ จุดประสานประสาท (synapses) ตามโมเดลนี้ ข่ายงานประสาทเกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาท จนเป็นเครือข่ายที่ทำงานร่วมกัน(G.W. Irwin & K. J. Hunt, 2538)



รูปที่ 2.6 แสดงข่ายงานประสาทเทียมมีการเชื่อมต่อกันผ่านกลุ่ม Nodes
ที่มา : (www.wikipedia.org/wiki/โครงข่ายประสาทเทียม)

2.1.13 โมเดลซัพพอร์ตเวคเตอร์แมชชีน (Support Vector Machaine : SVM) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับความ นิยมอย่างแพร่หลายในงานที่เกี่ยวข้องกับการจดจำรูปแบบตลอดจนการแก้ปัญหาการจัดกลุ่ม (classification problem) (Wang & Chen, 2009) โดยอาศัยหลักการของการหา สัมประสิทธิ์ของสมการเพื่อสร้างเส้นแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการสอนให้ระบบเรียนรู้ โดยเน้นไปยังเส้นแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลได้ดีที่สุด (optimal separating hyperplane) (Wang et al. & Chen et al. , 2552)

2.1.14 โมเดล เค เนียเรสเนเบอร์(k-NN) การจำแนกประเภทข้อมูล โดยขึ้นกับข้อมูลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงที่สุด k ตัว จากข้อมูลลงบนชุดข้อมูลตัวอย่าง ซึ่งเป็นวิธีการจัด กลุ่มให้กับค่าสังเกตค่าใหม่ที่ใกล้กับชุดข้อมูลเรียนรู้ (Duda et al, 2544)

2.1.15 Root Mean Square Error คือ รากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง หาได้ดังสมการ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Root Mean Square Error} = \sqrt{\sum_{i=0}^{n} \frac{Error^2}{n}} \quad (2.1)$$

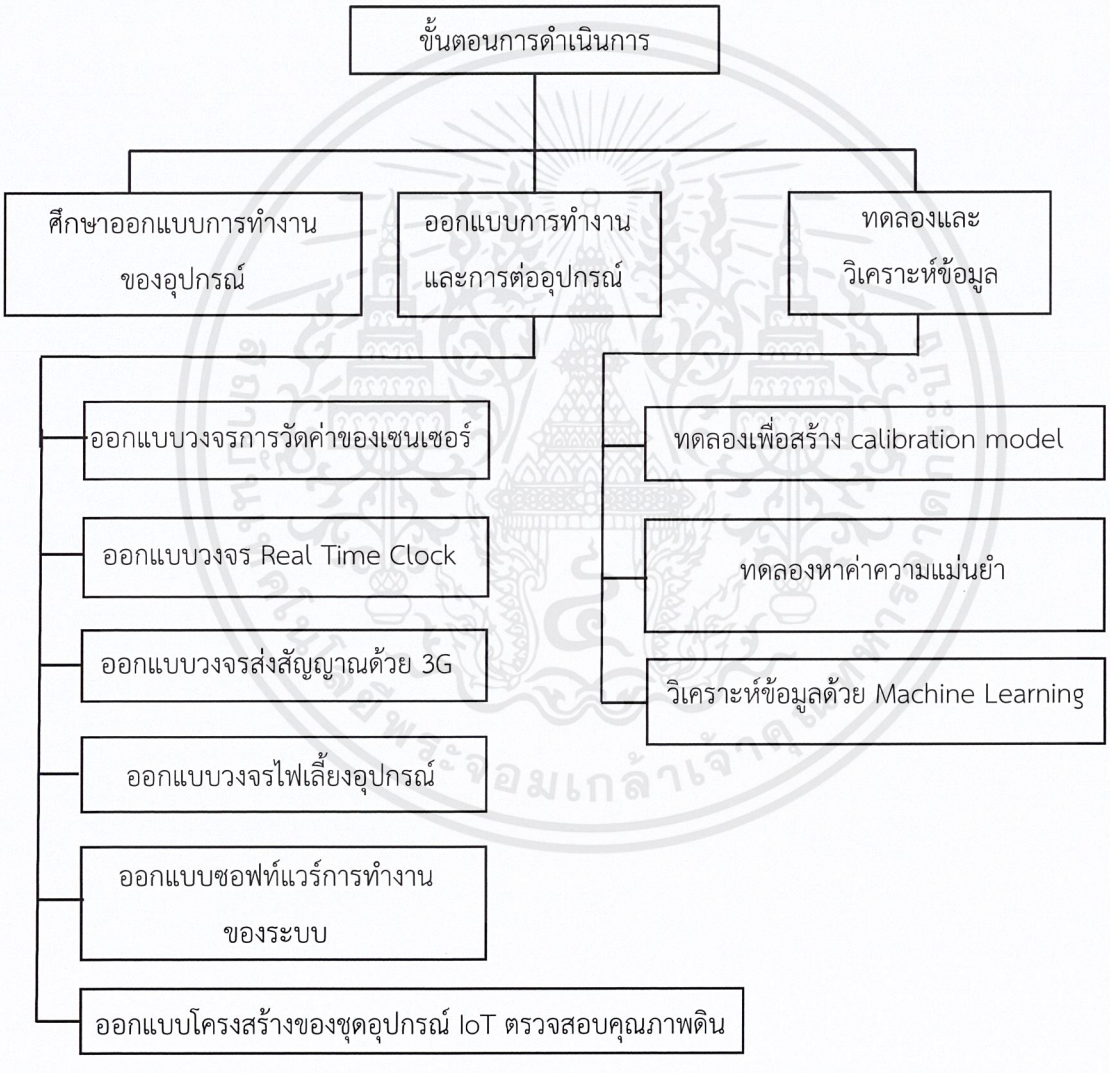
โดยที่ n คือ จำนวนตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์และตามเป้าหมายจึงเริ่มศึกษาจากเลือกใช้หลักการของเซนเซอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ การออกแบบโครงสร้างเพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานจริง รวมไปถึงการออกแบบแผนการดำเนินการการทดลองเพื่อสร้าง Calibration Model ของเซนเซอร์วัดค่า pH ของดิน โดยมีขั้นตอนดำเนินงานตามไดอะแกรม

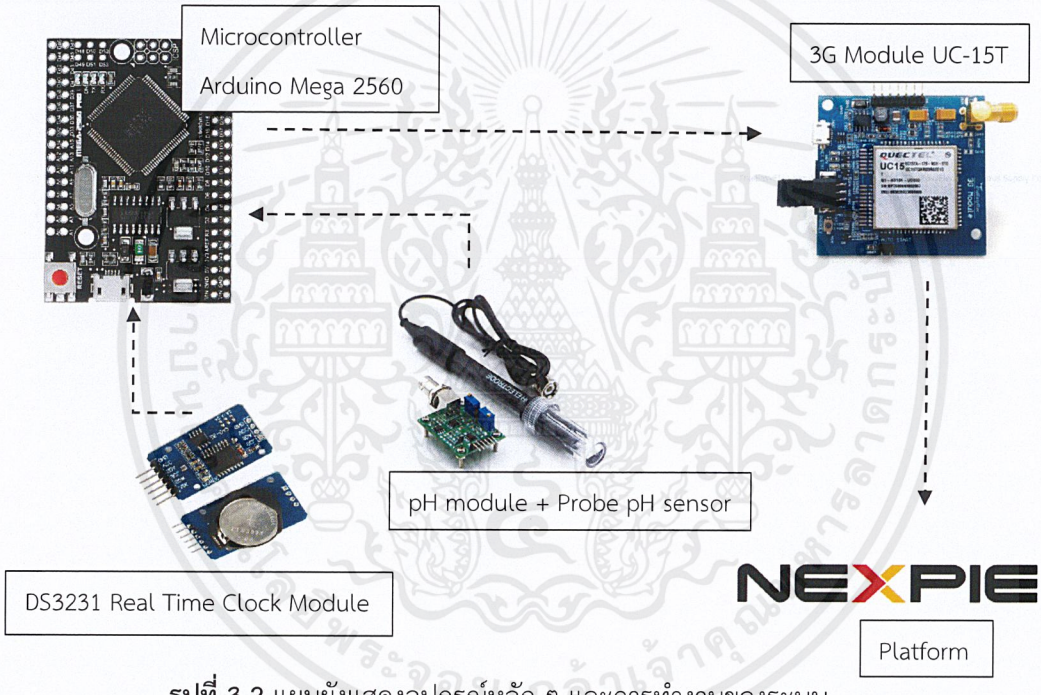


รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ศึกษาออกแบบการทำงานของอุปกรณ์

การศึกษาหลักการของเซนเซอร์วัด pH ของดิน เริ่มจากการเลือกศึกษาเซนเซอร์ที่มีหลักการและการใช้งานที่เหมาะสมกับการทำงานจริง โดยสิ่งสำคัญที่เป็นปัจจัยคือเซนเซอร์ที่จะเลือกใช้ต้องสามารถทำงานได้ดี สามารถทนการกัดกร่อน ราคาถูก และมีความแข็งแรง จากนั้นศึกษาและเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการอ่านค่าที่ได้จากการวัดของเซนเซอร์ รวมไปถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการทำงานส่วนอื่น ๆ เช่น การส่งข้อมูลไปยังแพลทฟอร์ม และการกำหนดเวลาในการเปิดการทำงานของระบบเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน ทั้งนี้ยังศึกษาซอฟต์แวร์ที่จำเป็นเพื่อสั่งการทำงาน โดยแผนผังแสดงอุปกรณ์และการทำงานหลัก ๆ ของระบบดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงอุปกรณ์หลัก ๆ และการทำงานของระบบ

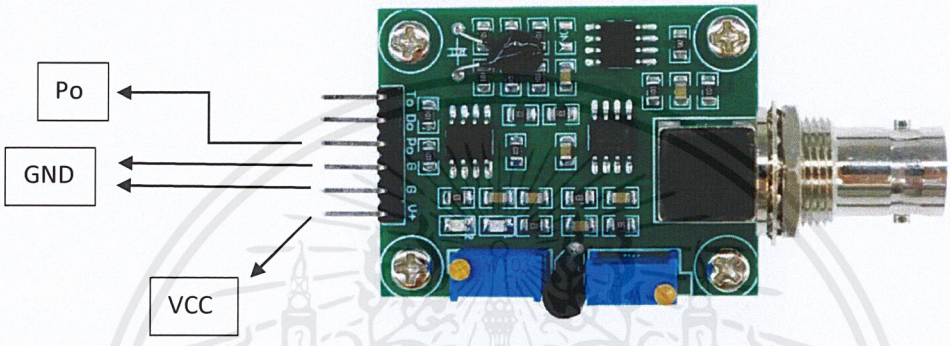
3.2 การออกแบบการทำงานและการต่ออุปกรณ์

ในการออกแบบการทำงานของชุดอุปกรณ์ IoT ตรวจสอบคุณภาพดินนั้นนอกจากการวัดค่าได้อย่างแม่นยำแล้ว จำเป็นที่จะต้องมีการประหยัดพลังงาน สะดวกต่อการใช้งาน และมีความเสถียร ซึ่งอุปกรณ์แต่ละชนิด การทำงานของแต่ละอุปกรณ์และการต่อวงจร มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 pH module และ pH sensor

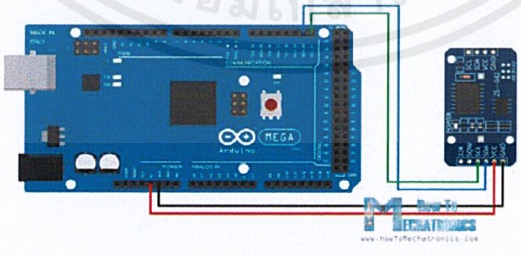
โมดูลเซนเซอร์วัดค่า pH ของดินจะมีทั้งหมด 6 pin แต่ในการใช้งานจริงสำหรับวัดค่าจะใช้เพียง 4 pin เนื่องจาก Pin Do และ Pin To ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิและวัดค่า Do ในสารละลาย ซึ่ง Pin ที่ใช้งานคือ Pin VCC , Pin Ground 2 pin และ Pin Po ที่ใช้ในการอ่านค่าด้วย microcontroller โดยค่าที่อ่านได้คือ Digital Number ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรสำหรับเซนเซอร์วัด pH ของดิน

3.2.2 วงจร DS3231 Real Time Clock Module

Real Time Clock Module เป็นโมดูลนาฬิกาที่ช่วยในการบอกเวลาของข้อมูลที่แสดงใน ณ ขณะนั้น รวมไปถึงการนำเวลาที่บอกจากโมดูลเพื่อตั้งเปิด-ปิด Sleep Mode ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงานให้แก่อุปกรณ์ให้สามารถใช้งานได้นานขึ้นเมื่อปราศจากการชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งจะใช้ 4 pin ต่อกับ Microcontroller ประกอบด้วย Pin VCC ต่อกับ 5 Volt , Pin GND ต่อกับ Ground,Pin SDA ต่อกับ SDA,Pin SCL ต่อกับ SCL แสดงดังรูปที่ 3.4



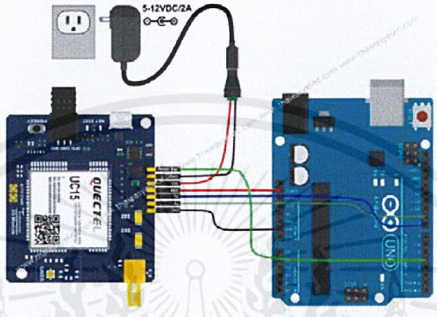
รูปที่ 3.4 แสดงรูปโมดูล Real Time Clock ต่อกับ Microcontroller

ที่มา : (www.howtomechatronics.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 3G Module UC-15T

โมดูล 3G เป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเพื่อส่งค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ เพื่อนำขึ้นแสดงบนแพลทฟอร์ม และการสื่อสารด้วย 3G นั้นมีความครอบคลุมหลายพื้นที่เหมาะสำหรับติดตั้งกับอุปกรณ์ IoT ที่จำเป็นต้องใช้ได้ทุกพื้นที่ในประเทศ โมดูล 3G ใช้7 pin ประกอบด้วย 3 pin สัญญาณ pin power key, pin Tx, pin Rx และ 4 pin สำหรับไฟเลี้ยง pin VCC 5 volt, pin Vref, pin Ground ดังรูปที่ 3.5

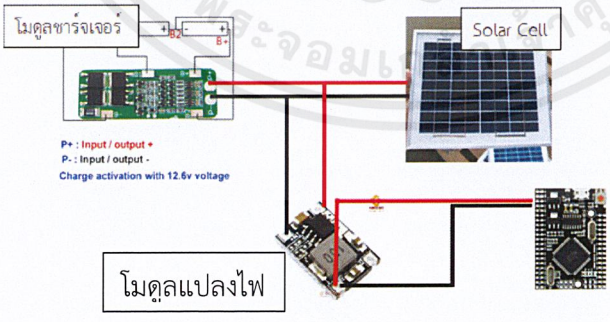


รูปที่ 3.5 แสดงรูป 3G Module UC-15T ต่อกับ Microcontroller

ที่มา : (www.thaieasyelec.com)

3.2.4 ออกแบบวงจรไฟเลี้ยงอุปกรณ์

การจ่ายไฟให้กับระบบเพื่อทำงานเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่สุด เนื่องจากในการใช้งานอุปกรณ์ IoT นอกจากการประหยัดพลังงานด้วย Sleep Mode แล้วยังต้องสามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้ด้วย Solar Cell เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน ระบบจึงจะสามารถทำงานได้อย่างยาวนานและมีความต่อเนื่องในการส่งข้อมูล ซึ่งแผนผังการต่อวงจรไฟฟ้าเลี้ยงระบบและชาร์จแบตเตอรี่ แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนผังแสดงการต่อวงจรไฟฟ้าเลี้ยงและชาร์จแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

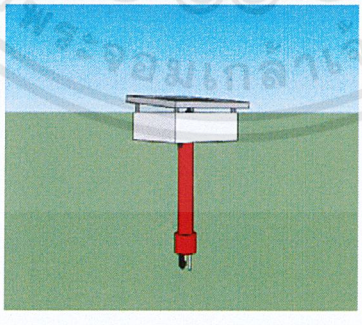
3.2.5 ออกแบบซอฟต์แวร์การทำงานของระบบ

การทำงานของระบบหลักๆ ประกอบด้วยการอ่านค่าที่เซนเซอร์วัดได้ด้วย Microcontroller ซึ่งค่าที่อ่านได้คือค่า Digital Number จากนั้นส่งข้อมูลขึ้น Gateway ไปยังแพลทฟอร์ม Nexpie เพื่อประมวลค่าด้วย Calibration Model และแสดงค่า นำค่าที่ได้จากการประมวลผลส่งเข้าสู่แพลทฟอร์มที่ลูกค้าใช้งาน(เพิ่มผลแพลทฟอร์ม) และสุดท้ายคือการที่ระบบเข้าสู่ Sleep Mode และเปิดใช้งานอีกครั้งตามเวลาที่ทำการตั้งจาก Real Time Clock Module

3.2.6 ออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ IoT ตรวจสอบคุณภาพดิน

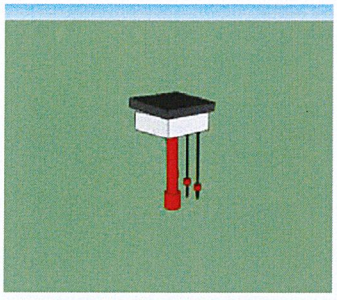
การออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์นั้นมีหลายปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง อาทิเช่น ความเหมาะสมต่อการติดตั้งได้ง่าย ความทนทานต่อการใช้งาน ความสวยงาม ราคาที่ถูกควบคุม ระยะเวลาในการผลิตอุปกรณ์ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญที่สุด ซึ่งได้มีการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์มาอย่างต่อเนื่องเพื่อแก้ไขปัญหาต่าง ๆที่เกิดขึ้นเพื่อให้ได้อุปกรณ์ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการใช้งาน อุปกรณ์แต่ละ version แสดงดังรูปที่ 3.7, 3.8 และ 3.9

รูปที่ 3.7 แสดงการออกแบบชุดอุปกรณ์ IoT ตรวจสอบคุณภาพดิน version 1.1



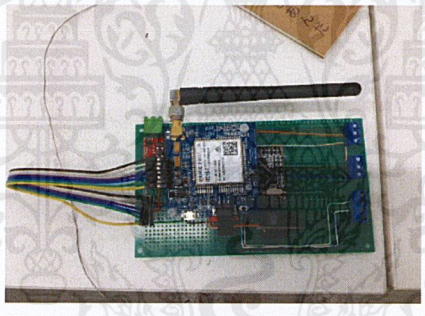
รูปที่ 3.8 แสดงการออกแบบชุดอุปกรณ์ IoT ตรวจสอบคุณภาพดิน version 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

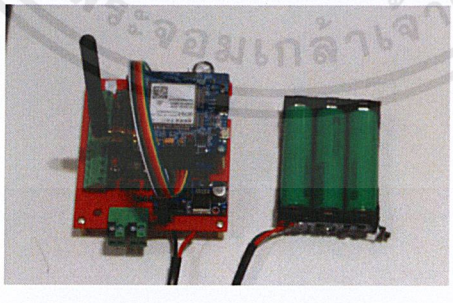


รูปที่ 3.9 แสดงการออกแบบชุดอุปกรณ์ IoT ตรวจสอบคุณภาพดิน version 1.3

การออกแบบแผงวงจรการทำงานของระบบและการเลือกใช้ฮาร์ดแวร์เหมาะสมต่อการทำงาน โดยจะทำงานการอุปกรณ์ทั้งหมดที่จำเป็นเพื่อทดสอบว่าแผงวงจรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีเสถียรภาพและหาปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้ เช่น อุปกรณ์บางชนิดใช้พลังงานมาก สัญญาณของเซนเซอร์แต่ละตัวรบกวนกัน การแปลงไฟไม่มีประสิทธิภาพ เป็นต้น เมื่อได้วงจรต้นแบบที่สามารถทำงานได้ดีที่สุดแล้วนำไปพัฒนาเป็นวงจรบนแผ่น PCB ดังรูปที่ 3.10 และ 3.11



รูปที่ 3.10 แสดงวงจรต้นแบบที่ทำจากบอร์ดไข่ปลา



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรบนแผ่น PCB ที่ถูกพัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

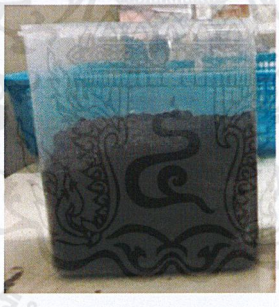
3.3 ทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 การทดลองเพื่อสร้าง Calibration Model

ในการทดลองเพื่อสร้าง Calibration Model ของความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ของดินกับค่า Digital Number ที่ได้จากการอ่านโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ การทดลองเพื่อสอบเทียบค่าดังกล่าวมีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมตัวอย่างดินร่วนไปร่อนเพื่อกรองเศษหิน,เศษแกลบและเศษอื่น ๆให้เหลือเพียงเนื้อดินร่วนและนำใส่ภาชนะบรรจุ

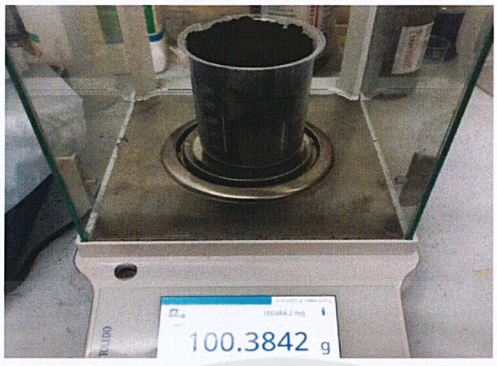
รูปที่ 3.12 รูปแสดงการเตรียมตัวอย่างดินร่วน



รูปที่ 3.13 รูปแสดงภาชนะบรรจุตัวอย่างดินร่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชั่งน้ำหนักดินตัวอย่างใส่บีกเกอร์ปริมาณ 100 กรัมโดยประมาณ



รูปที่ 3.14 รูปแสดงการเตรียมตัวอย่างดินร่วนใส่บีกเกอร์ปริมาณ 100 กรัมโดยประมาณ

3. เตรียมสารละลายสำหรับการปรับค่า pH ของดิน ได้แก่ สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และสารละลายกรดไนตริกปริมาณ 30 กรัม,50 กรัม และ 70 กรัม ซึ่งการเตรียมสารละลายในปริมาณ 50 กรัมและ 70 กรัมได้การผสมสารละลายที่เตรียมไว้ปริมาณ 30 กรัมกับน้ำกลั่นบริสุทธิ์ 20 กรัมและ 40 กรัม ตามลำดับ

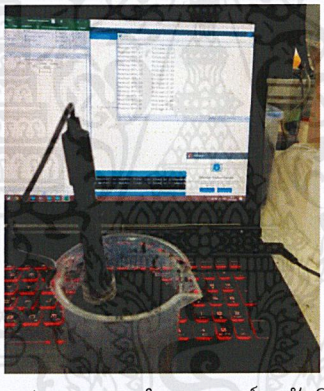
รูปที่ 3.15 รูปแสดงสารละลายสำหรับปรับสภาพ pH ของดินและน้ำกลั่นบริสุทธิ์

4. นำสารละลายปรับสภาพ pH ของดินที่ได้เตรียมไว้ใส่ขวดสเปรย์และทำการสเปรย์ใส่ตัวอย่างดินร่วนที่เตรียมไว้ในบีกเกอร์จากนั้นคลุกเคล้าด้วยแท่งแก้วคนสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.16 รูปแสดงขวดสเปรย์สำหรับการสเปรย์สารละลายเข้ากับดินตัวอย่าง

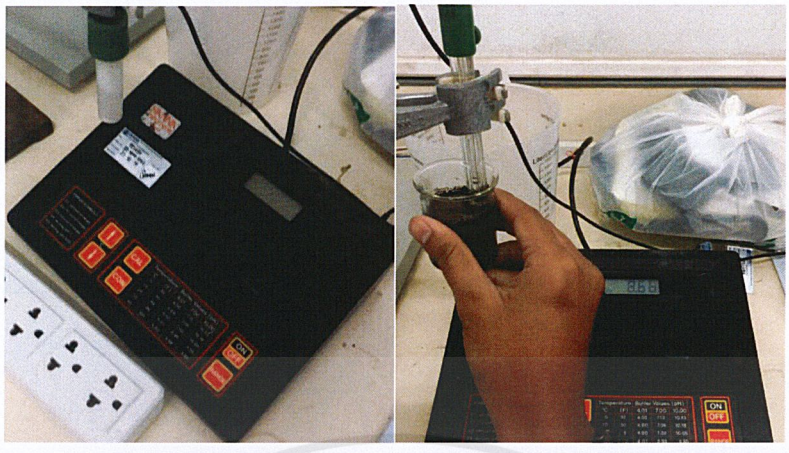
5. นำเซนเซอร์วัด pH วัดดินที่อยู่ในบีกเกอร์ และบันทึกค่า Digital Number ที่ Microcontroller อ่านค่าได้ โดยทำการวัดเป็นจำนวน 5 ซ้ำ



รูปที่ 3.17 รูปแสดงการนำเซนเซอร์มาวัดดินในบีกเกอร์

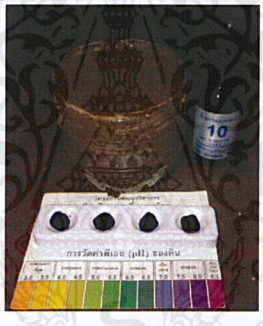
6. ในแต่ละซ้ำของการวัดดินในบีกเกอร์ เมื่อวัดเสร็จแล้วจะเก็บตัวอย่างดินที่บริเวณหัววัดของเซนเซอร์ไปวัดหาค่า pH ของดินที่แท้จริงด้วยเครื่อง pH meter มาตรฐาน(Hanna instrument, HI 8125, USA) โดยการตรวจสอบค่า pH ของดินด้วยเครื่องมือมาตรฐานนั้นจะนำดินที่ได้จากการเก็บมาใส่บีกเกอร์ผสมกับน้ำกลั่นด้วยอัตรา 1 ต่อ 5 ส่วนโดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 รูปแสดงเครื่อง pH meter มาตรฐาน และการตรวจสอบค่า pH ของดินที่แท้จริง

นอกจากการใช้ pH Meter(Hanna instrument, HI 8215, USA) ที่เป็นเครื่องมือมาตรฐานแล้วการสอบเทียบอุปกรณ์ยังใช้น้ำยาทดสอบดินเป็นอุปกรณ์วัดควบคู่ไปด้วย



รูปที่ 3.19 รูปแสดงน้ำยาทดสอบค่า pH ของดิน

7. สุ่มตัวอย่างดินในบีกเกอร์จำนวน 5 ตัวอย่างบรรจุลง Moisture Can แล้วนำไปอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 105°C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงหาปริมาณน้ำที่หายไปเพื่อที่จะทราบความชื้นของดินก่อนอบ

รูปที่ 3.20 รูปแสดงตู้อบและการอบดินที่บรรจุใน Moisture Can

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำการทดลองแบบเดียวกันด้วยตัวอย่างดินทรายแป้ง

รูปที่ 3.21 รูปแสดงตัวอย่างดินทรายแป้งในภาชนะบรรจุ

3.3.2 การทดลองหาค่าความแม่นยำ

เมื่อบันทึกข้อมูลที่เป็นค่า pH ของดินที่แท้จริงและค่า Digital Number นำข้อมูลทั้งสองไปพลอตกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อสร้าง Linear Regression Model ของดินต่างชนิดและความชื้นต่างกัน จากนั้นนำสมการที่ได้ Upload ลงในโปรแกรม Arduino IDE เพื่อทำนายค่า pH ของดินที่ไม่ทราบค่า pH และไม่ทราบค่าความชื้น พร้อมทั้งบันทึกค่าความคลาดเคลื่อนและค่า Root Mean Square Error จากการทำนาย

3.3.3 วิเคราะห์ข้อมูลด้วย Machine Learning

นำข้อมูลค่า Digital number, Moisture Content และ pH ที่ได้จากการทำการทดลองและจากขั้นตอนการทำนายค่า pH ด้วย Linear Regression Model มาวิเคราะห์ด้วย Machine Learning เพื่อหาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละโมเดล โดยผู้ศึกษาได้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ชื่อว่า RapidMiner ทางผู้ศึกษาเลือกโมเดลที่จะนำมาวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ Multiple Linear Regression (MLR), Artificial Neural Network, Support Vector Machine(SVM) และ เค เนียเรสเนเบอร์(k-NN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

การศึกษาและพัฒนาเซนเซอร์วัดค่า pH ของดินและการสร้าง Calibration Model แบ่งการศึกษาออกเป็นส่วนหลัก ๆคือ การเตรียมสารละลายเพื่อปรับสภาพค่า pH ของดิน ความชื้นของดินตัวอย่างหลังจากปรับสภาพค่า pH การสอบเทียบค่า Digital Number กับค่า pH ของดิน การทำนายค่า pH ของดิน การทดสอบหาค่าความชื้นเริ่มที่เซนเซอร์เริ่มอ่านค่าได้อย่างมีเสถียรภาพ ดังนั้นจึงแบ่งผลการศึกษา ดังนี้

4.1 การเตรียมสารละลายเพื่อปรับสภาพค่า pH ของดินแต่ละชนิดในสัดส่วนต่าง ๆ

การทดลองนี้ได้ทำการผสมสารละลาย 2 ชนิดที่ใช้ปรับปรุงสภาพค่า pH ของดินแต่ละชนิดคือ สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และสารละลายกรดไนตริกในอัตราส่วนที่แตกต่างกันโดยน้ำหนัก เพื่อเป็นการศึกษาวิธีการปรับปรุงสภาพดินและประสิทธิภาพของการผสมดินด้วยวิธีดังที่กล่าวไว้ในวิธีการดำเนินงาน ซึ่งจากการศึกษาและทดลองได้ข้อมูล ดังตาราง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองปรับสภาพค่า pH ของดินร่วนที่สภาวะเริ่มต้นด้วยสารละลายปรับสภาพดินปริมาณ 30 กรัมและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการผสมดิน

ค่า pH ของดินเมื่อผสมสารละลายปรับสภาพดินปริมาณ 30 กรัมกับตัวอย่างดินร่วนที่สภาวะเริ่มต้น					
ตัวอย่างที่	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม + น้ำ 20 กรัม	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัม + น้ำ 25 กรัม	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม + น้ำ 29กรัม	น้ำกลั่น 30 กรัม	กรดไนตริก 10 กรัม + น้ำ 20 กรัม
1	9.30	8.65	7.50	5.60	4.99
2	9.25	8.61	8.15	5.65	5.01
3	9.26	8.40	7.85	5.60	4.91
4	8.67	8.46	7.77	6.00	5.10
5	9.24	8.58	7.52	5.45	5.22
ค่าเฉลี่ย	9.14	8.54	7.76	5.66	5.05
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.2379	0.0944	0.2389	0.1827	0.1059

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองปรับสภาพค่า pH ของดินร่วนที่สภาวะเริ่มต้นด้วยสารละลายปรับสภาพดินปริมาณ 50 กรัมและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการผสมดิน

ค่า pH ของดินเมื่อผสมสารละลายปรับสภาพดินปริมาณ 50 กรัมกับตัวอย่างดินร่วนที่สภาวะเริ่มต้น					
ตัวอย่างที่	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม + น้ำ 20 กรัม + น้ำกลั่น 20 กรัม	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัม + น้ำ 25 กรัม + น้ำกลั่น 20 กรัม	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม + น้ำ 29กรัม + น้ำกลั่น 20 กรัม	น้ำกลั่น 50 กรัม	กรดไนตริก 10 กรัม + น้ำ 20 กรัม + น้ำกลั่น 20 กรัม
1	9.12	8.58	5.35	5.50	4.55
2	9.11	8.60	6.02	5.47	4.60
3	9.22	8.42	6.20	5.37	4.61
4	8.90	8.50	6.25	5.70	4.56
5	9.04	8.10	6.39	5.65	4.54
ค่าเฉลี่ย	9.08	8.44	6.04	5.54	4.57
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.1059	0.1815	0.3657	0.1209	0.0278

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองปรับสภาพค่า pH ของดินร่วนที่สภาวะเริ่มต้นด้วยสารละลายปรับสภาพดินปริมาณ 70 กรัมและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการผสมดิน

ค่า pH ของดินเมื่อผสมสารละลายปรับสภาพดินปริมาณ 70 กรัมกับตัวอย่างดินร่วนที่สภาวะเริ่มต้น					
ตัวอย่างที่	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม + น้ำ 20 กรัม + น้ำกลั่น 40 กรัม	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัม + น้ำ 25 กรัม + น้ำกลั่น 40 กรัม	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม + น้ำ 29กรัม + น้ำกลั่น 40 กรัม	น้ำกลั่น 70 กรัม	กรดไนตริก 10 กรัม + น้ำ 20 กรัม + น้ำกลั่น 40 กรัม
1	9.15	9.45	7.50	5.72	5.09
2	9.25	8.84	7.55	5.92	5.10
3	9.55	9.06	7.44	5.93	5.15
4	9.19	8.86	7.87	5.95	5.16
5	9.50	8.71	7.60	6.15	5.20
ค่าเฉลี่ย	9.33	8.98	7.59	5.93	5.14
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.1647	0.2585	0.1488	0.1363	0.0405

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองปรับสภาพค่า pH ของดินทรายแป้งที่สภาวะเริ่มต้นด้วยสารละลายปรับสภาพดินปริมาณ 30 กรัมและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการผสมดิน

ค่า pH ของดินเมื่อผสมสารละลายปรับสภาพดินปริมาณ 30 กรัมกับตัวอย่างดินทรายแป้งที่สภาวะเริ่มต้น					
ตัวอย่างที่	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม + น้ำ 20 กรัม	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัม + น้ำ 25 กรัม	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม + น้ำ 29กรัม	น้ำกลั่น 30 กรัม	กรดไนตริก 10 กรัม + น้ำ 20 กรัม
1	9.72	8.61	5.76	4.91	2.89
2	9.71	8.49	5.80	4.87	2.46
3	9.79	8.35	5.72	4.99	2.58
4	9.81	8.52	5.75	5.01	2.49
5	9.82	8.50	4.98	4.98	2.78
ค่าเฉลี่ย	9.77	8.49	5.60	4.95	2.64
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0460	0.0836	0.3120	0.0531	0.1677

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองปรับสภาพค่า pH ของดินทรายแป้งที่สภาวะเริ่มต้นด้วยสารละลายปรับสภาพดินปริมาณ 50 กรัมและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการผสมดิน

ค่า pH ของดินเมื่อผสมสารละลายปรับสภาพดินปริมาณ 50 กรัมกับตัวอย่างดินทรายแป้งที่สภาวะเริ่มต้น					
ตัวอย่างที่	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม + น้ำ 20 กรัม + น้ำกลั่น 20 กรัม	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัม + น้ำ 25 กรัม + น้ำกลั่น 20 กรัม	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม + น้ำ 29กรัม + น้ำกลั่น 20 กรัม	น้ำกลั่น 50 กรัม	กรดไนตริก 10 กรัม + น้ำ 20 กรัม + น้ำกลั่น 20 กรัม
1	9.81	8.15	5.28	4.20	1.54
2	9.82	8.12	5.15	4.25	1.56
3	9.79	8.20	5.21	4.17	1.54
4	9.77	8.21	5.19	4.18	1.56
5	9.78	8.14	5.35	4.14	1.55
ค่าเฉลี่ย	9.79	8.16	5.24	4.19	1.55
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0185	0.0350	0.0709	0.0365	0.0089

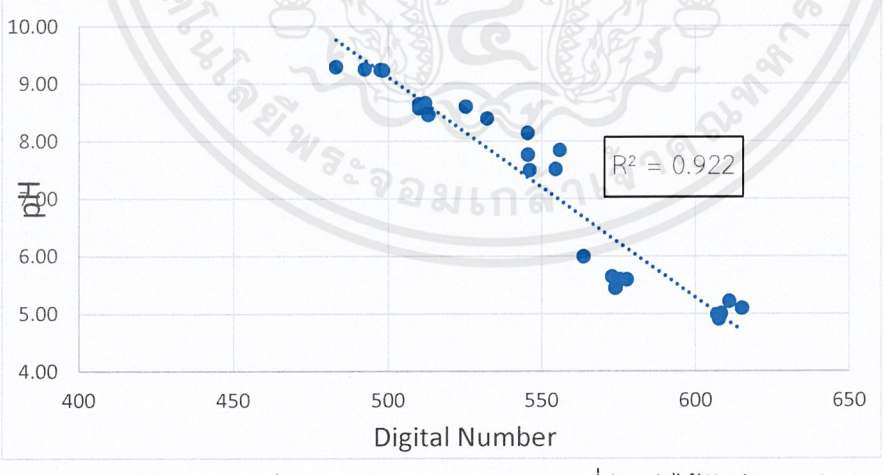
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองปรับสภาพค่า pH ของดินทรายแป้งที่สภาวะเริ่มต้นด้วยสารละลายปรับสภาพดินปริมาณ 70 กรัมและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการผสมดิน

ค่า pH ของดินเมื่อผสมสารละลายปรับสภาพดินปริมาณ 70 กรัมกับตัวอย่างดินทรายแป้งที่สภาวะเริ่มต้น					
ตัวอย่างที่	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม + น้ำ 20 กรัม + น้ำกลั่น 40 กรัม	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัม + น้ำ 25 กรัม + น้ำกลั่น 40 กรัม	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม + น้ำ 29กรัม + น้ำกลั่น 40 กรัม	น้ำกลั่น 70 กรัม	กรดไนตริก 10 กรัม + น้ำ 20 กรัม + น้ำกลั่น 40 กรัม
1	10.28	7.91	5.45	4.21	1.66
2	10.25	7.87	5.47	4.18	1.64
3	10.27	7.75	5.44	4.23	1.58
4	10.30	7.82	5.45	4.32	1.66
5	10.22	7.85	5.44	4.15	1.70
ค่าเฉลี่ย	10.26	7.84	5.45	4.22	1.65
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0273	0.0537	0.0109	0.0577	0.0392

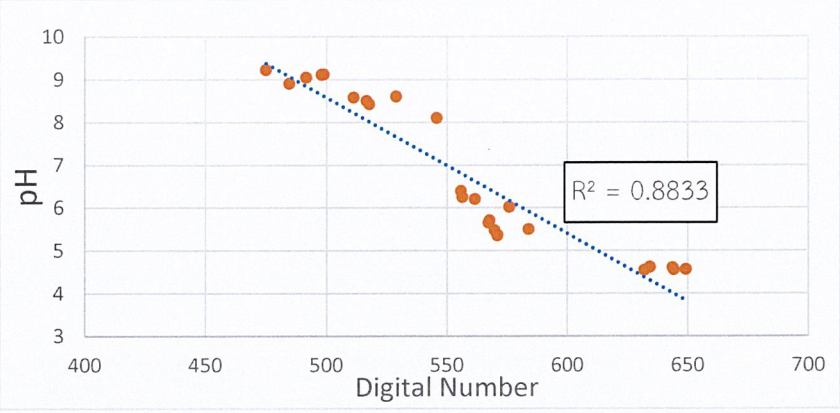
4.2 การวัดค่า Digital Number ซึ่งได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อ calibrate กับค่า pH จริงของดิน

จากการทดลอง Calibrate ของค่า Digital Number กับค่า pH ที่แท้จริงของดินแต่ละชนิดที่ความชื้นต่าง ๆได้ผลลัพธ์ดังกราฟต่อไปนี้

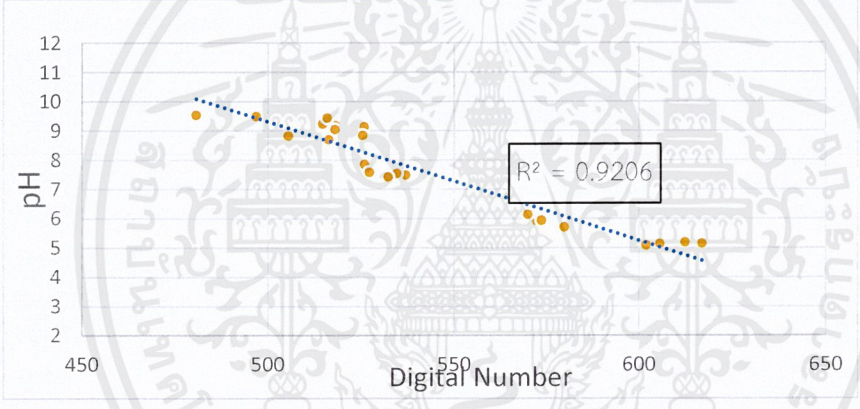


กราฟที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Digital Number ที่อ่านค่าได้กับค่า pHจริงของดินร่วนที่มีความชื้นเฉลี่ย 95 % ฐานแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

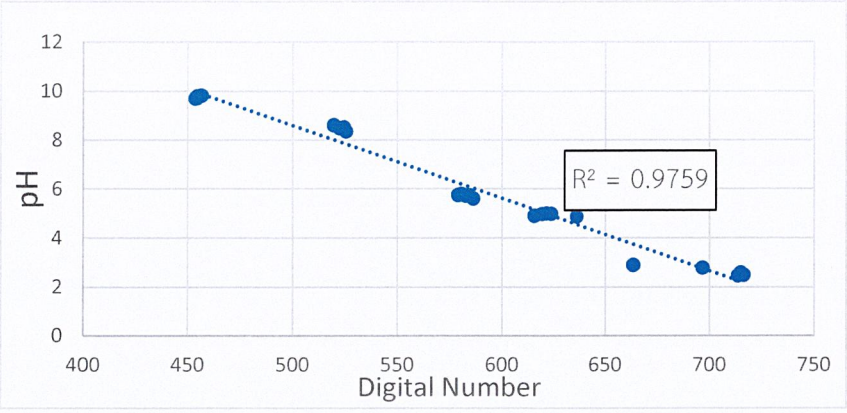


กราฟที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Digital Number ที่อ่านค่าได้กับค่า pH จริงของดินร่วนที่มีความชื้นเฉลี่ย 121 % ฐานแห้ง

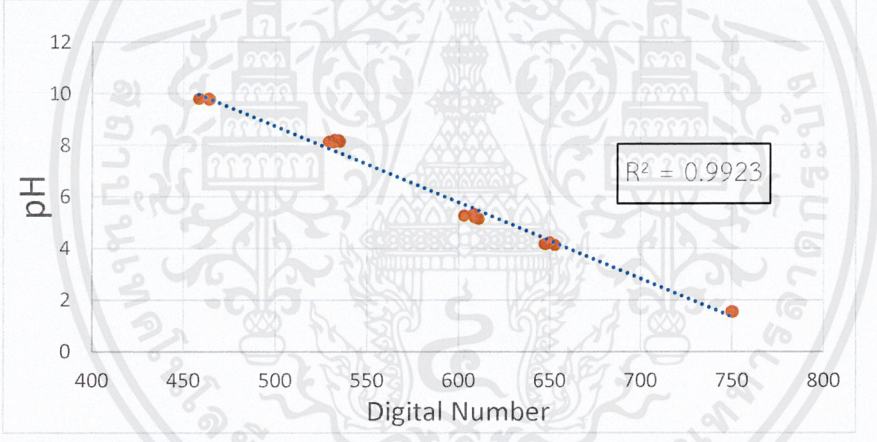


กราฟที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Digital Number ที่อ่านค่าได้กับค่า pH จริงของดินร่วนที่มีความชื้นเฉลี่ย 124 % ฐานแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

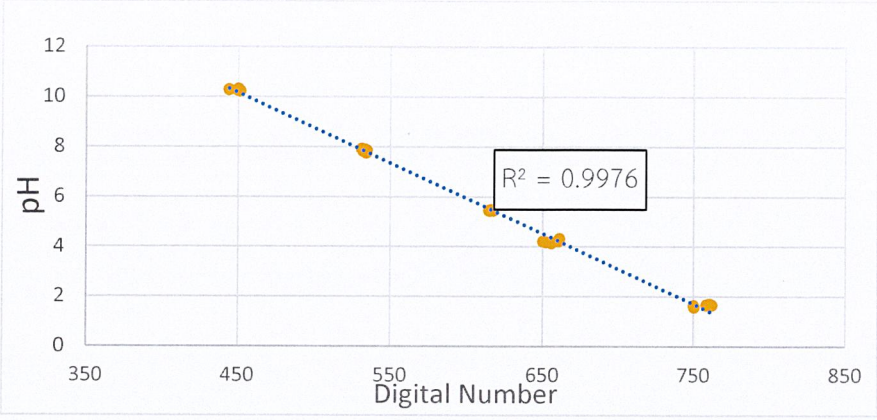


กราฟที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Digital Number ที่อ่านค่าได้กับค่า pH จริงของดินทรายแป้งที่มีความชื้นเฉลี่ย 30 % ฐานแห้ง



กราฟที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Digital Number ที่อ่านค่าได้กับค่า pH จริงของดินทรายแป้งที่มีความชื้นเฉลี่ย 55 % ฐานแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Digital Number ที่อ่านค่าได้กับค่า pH จริงของดินทรายแป้งที่มีความชื้นเฉลี่ย 70 % ฐานแห้ง

4.3 ความชื้นของดินตัวอย่างหลังจากปรับสภาพค่า pH ด้วยสารละลายในปริมาณต่าง ๆ

เนื่องจากความชื้นนั้นเป็นปัจจัยต่อการอ่านค่า Digital Number ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เหตุเพราะว่าเซนเซอร์วัดค่า pH ของดินชนิดนี้อาศัยหลักการแลกเปลี่ยนประจุโดยมีของเหลวเป็นตัวกลาง การตรวจสอบหาความชื้นของดินสภาวะนั้น ๆจึงเป็นสิ่งจำเป็น ผลการทดลองการหาค่าความชื้นของดินแต่ละตัวอย่างได้ผลลัพธ์ ดังตาราง

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงความชื้นของดินหลังจากปรับสภาพค่า pH ด้วยปริมาณต่าง ๆ(% ฐานแห้ง)

	ตารางแสดงความชื้นของดินหลังจากปรับสภาพค่า pH ด้วยปริมาณต่าง ๆ(% ฐานแห้ง)						
	ตัวอย่างที่	1	2	3	4	5	ความชื้นเฉลี่ย (% ฐานแห้ง)
ดินร่วน	ปริมาณ 30 กรัม	94.97	97.85	99.50	97.71	85.34	95.07
	ปริมาณ 50 กรัม	126.85	112.59	124.32	126.63	115.27	121.12
	ปริมาณ 70 กรัม	92.83	149.06	142.79	143.02	92.75	124.09
ดินทรายแป้ง	ปริมาณ 30 กรัม	28.48	30.43	31.17	32.87	30.99	30.79
	ปริมาณ 50 กรัม	50.04	47.95	52.23	76.11	51.65	55.60
	ปริมาณ 70 กรัม	70.18	70.56	71.88	70.97	69.45	70.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบเสถียรภาพของเซนเซอร์ในการวัดค่า

เนื่องจากเซนเซอร์ที่มีหลักการแลกเปลี่ยนประจุโดยมีของเหลวเป็นตัวกลาง เซนเซอร์ชนิดนี้จำเป็นต้องมีของเหลวที่เพียงพอต่อการแลกเปลี่ยนประจุ การทดสอบหาค่าความชื้นเริ่มต้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้สามารถใช้งานเซนเซอร์ได้อย่างเหมาะสมและทราบถึงปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงผลการทดสอบความเสถียรภาพของการวัดค่าของเซนเซอร์วัด pH ของดินที่ความชื้นต่าง ๆในดินร่วน

ผลการทดสอบความเสถียรภาพของการวัดค่าของเซนเซอร์วัด pH ของดินที่ความชื้นต่าง ๆในดินร่วน	
ความชื้น(% ฐานแห้ง)	ผลการทดสอบ
10	ค่าที่อ่านได้ไม่มีความเสถียร
20	ค่าที่อ่านได้ไม่มีความเสถียร
30	ค่าที่อ่านได้ไม่มีความเสถียร
40	ค่าที่อ่านได้ไม่มีความเสถียร
50	ค่าที่อ่านได้ไม่มีความเสถียร
60	ค่าที่อ่านได้มีความเสถียร

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงผลการทดสอบความเสถียรภาพของการวัดค่าของเซนเซอร์วัด pH ของดินที่ความชื้นต่าง ๆในดินทรายแป้ง

ผลการทดสอบความเสถียรภาพของการวัดค่าของเซนเซอร์วัด pH ของดินที่ความชื้นต่าง ๆในดินทรายแป้ง	
ความชื้น(% ฐานแห้ง)	ผลการทดสอบ
0	ค่าที่อ่านได้มีค่าเท่ากับ 0
5	ค่าที่อ่านได้ไม่มีความเสถียร
10	ค่าที่อ่านได้ไม่มีความเสถียร
15	ค่าที่อ่านได้มีความเสถียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทำนายค่า pH ของดินด้วยเซนเซอร์เพื่อหาความแม่นยำของวัด

การทดสอบเพื่อหาค่าความแม่นยำของการวัดค่าด้วยเซนเซอร์วัด pH เป็นการทำนายค่าด้วยการนำ Calibration Model ของดินแต่ละชนิดและความชื้นมาประมวลค่า Digital Number ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าได้ในดินที่ไม่ทราบค่า pH ที่แท้จริง ผลการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่า pH ของดินด้วยเซนเซอร์แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนและความแม่นยำจากการทำนายค่า pH ของดินร่วนที่มีความชื้นประมาณ 60 % ฐานแห้งด้วย Calibration Model

ทำนายค่า pH ของดินร่วนที่มีความชื้นประมาณ 60 % ฐานแห้ง ด้วย Calibration Model									
Sample	ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด			square.error			Root Mean Square Error		
	95% ฐานแห้ง	121% ฐานแห้ง	124% ฐานแห้ง	95% ฐานแห้ง	121%ฐานแห้ง	124%ฐานแห้ง	95% ฐานแห้ง	121%ฐานแห้ง	124%ฐานแห้ง
1	0.12	0.54	0.05	0.0144	0.2916	0.0025	0.0457	0.0835	0.0401
2	0.02	0.41	0.19	0.0004	0.1681	0.0361			
3	0.16	0.59	0.02	0.0256	0.3481	0.0004			
4	0.22	0.65	0.05	0.0484	0.4225	0.0025			
5	0.23	0.67	0.06	0.0529	0.4489	0.0036			
6	0.42	0.22	0.45	0.1764	0.0484	0.2025			
7	0.34	0.12	0.38	0.1156	0.0144	0.1444			
8	0.05	0.26	0.02	0.0025	0.0676	0.0004			
9	0.06	0.26	0.03	0.0036	0.0676	0.0009			
10	0.03	0.23	0.01	0.0009	0.0529	0.0001			
11	0.19	0.51	0.11	0.0361	0.2601	0.0121			
12	0.10	0.43	0.02	0.0100	0.1849	0.0004			
13	0.07	0.39	0.01	0.0049	0.1521	0.0001			
14	0.12	0.44	0.04	0.0144	0.1936	0.0016			
15	0.22	0.15	0.31	0.0484	0.0225	0.0961			
16	0.37	0.36	0.34	0.1369	0.1296	0.1156			
17	0.30	0.29	0.27	0.0900	0.0841	0.0729			
18	0.41	0.40	0.39	0.1681	0.1600	0.1521			
19	0.24	0.23	0.21	0.0576	0.0529	0.0441			
20	0.20	0.19	0.17	0.0400	0.0361	0.0289			
21	0.12	0.35	0.04	0.0144	0.1225	0.0016			
22	0.12	0.32	0.09	0.0144	0.1024	0.0081			
23	0.10	0.32	0.06	0.0100	0.1024	0.0036			
24	0.28	0.62	0.18	0.0784	0.3844	0.0324			
25	0.38	0.67	0.20	0.1444	0.4489	0.0400			
average	0.19	0.38	0.15						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนและความแม่นยำจากการทำนายค่า pH ของดินร่วนที่มีความชื้นประมาณ 100 % ฐานแห้งด้วย Calibration Model

ทำนายค่า pH ของดินร่วนที่มีความชื้นประมาณ 100 % ฐานแห้ง ด้วย Calibration Model									
Sample	ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด			square.error			Root Mean Square Error		
	95% ฐานแห้ง	121% ฐานแห้ง	124% ฐานแห้ง	95% ฐานแห้ง	121%ฐานแห้ง	124%ฐานแห้ง	95% ฐานแห้ง	121%ฐานแห้ง	124%ฐานแห้ง
1	0.12	0.54	0.05	0.0144	0.2916	0.0025	0.0455	0.0651	0.0570
2	0	0.43	0.17	0.0000	0.1849	0.0289			
3	0.01	0.42	0.19	0.0001	0.1764	0.0361			
4	0.23	0.66	0.06	0.0529	0.4356	0.0036			
5	0.26	0.69	0.09	0.0676	0.4761	0.0081			
6	0.4	0.21	0.43	0.1600	0.0441	0.1849			
7	0.26	0.06	0.13	0.0676	0.0036	0.0169			
8	0.16	0.35	0.13	0.0256	0.1225	0.0169			
9	0.01	0.21	0.03	0.0001	0.0441	0.0009			
10	0.08	0.14	0.12	0.0064	0.0196	0.0144			
11	0.46	0.26	0.81	0.2116	0.0676	0.6561			
12	0.04	0.47	0.09	0.0016	0.2209	0.0081			
13	0.54	0.11	0.65	0.2916	0.0121	0.4225			
14	0.13	0.26	0.18	0.0169	0.0676	0.0324			
15	0.02	0.18	0.18	0.0004	0.0324	0.0324			
16	0.18	0.15	0.24	0.0324	0.0225	0.0576			
17	0.08	0.02	0.13	0.0064	0.0004	0.0169			
18	0.20	0.17	0.28	0.0400	0.0289	0.0784			
19	0.31	0.27	0.38	0.0961	0.0729	0.1444			
20	0.29	0.26	0.35	0.0841	0.0676	0.1225			
21	0.03	0.13	0.04	0.0009	0.0169	0.0016			
22	0.18	0.30	0.05	0.0324	0.0900	0.0025			
23	0.02	0.10	0.19	0.0004	0.0100	0.0361			
24	0.27	0.38	0.12	0.0729	0.1444	0.0144			
25	0.11	0.01	0.30	0.0121	0.0001	0.0900			
average	0.18	0.27	0.22						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

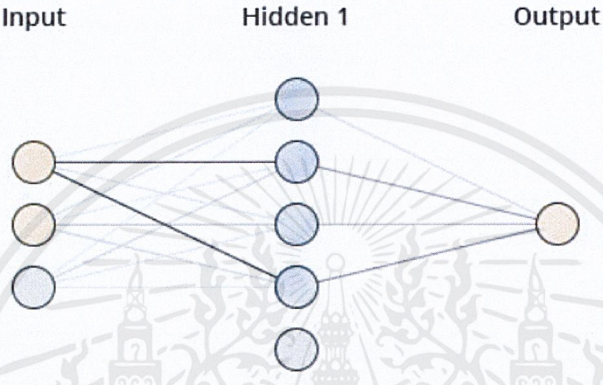
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนและความแม่นยำจากการทำนายค่า pH ของดินทรายแป้งที่มีความชื้นประมาณ 15 % ฐานแห้งด้วย Calibration Model

ทำนายค่า pH ของดินทรายแป้งที่มีความชื้นประมาณ 15 % ฐานแห้ง ด้วย Calibration Model									
Sample	ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด			square.error			Root Mean Square Error		
	30% ฐานแห้ง	55% ฐานแห้ง	70% ฐานแห้ง	30% ฐานแห้ง	55% ฐานแห้ง	70% ฐานแห้ง	30% ฐานแห้ง	55% ฐานแห้ง	70% ฐานแห้ง
1	0.28	0.13	0.03	0.0784	0.0169	0.0009	0.0803	0.0448	0.0242
2	0.28	0.16	0.04	0.0784	0.0256	0.0016			
3	0.32	0.20	0.09	0.1024	0.0400	0.0081			
4	0.27	0.11	0.00	0.0729	0.0121	0.0000			
5	0.21	0.05	0.05	0.0441	0.0025	0.0025			
6	0.44	0.20	0.00	0.1936	0.0400	0.0000			
7	0.36	0.25	0.04	0.1296	0.0625	0.0016			
8	0.43	0.07	0.03	0.1849	0.0049	0.0009			
9	0.38	0.24	0.03	0.1444	0.0576	0.0009			
10	0.41	0.19	0.03	0.1681	0.0361	0.0009			
11	0.43	0.24	0.19	0.1849	0.0576	0.0361			
12	0.38	0.18	0.14	0.1444	0.0324	0.0196			
13	0.40	0.22	0.18	0.1600	0.0484	0.0324			
14	0.53	0.33	0.29	0.2809	0.1089	0.0841			
15	0.52	0.32	0.28	0.2704	0.1024	0.0784			
16	0.28	0.09	0.07	0.0784	0.0081	0.0049			
17	0.28	0.09	0.07	0.0784	0.0081	0.0049			
18	0.14	0.04	0.04	0.0196	0.0016	0.0016			
19	0.13	0.05	0.06	0.0169	0.0025	0.0036			
20	0.10	0.09	0.09	0.0100	0.0081	0.0081			
21	0.47	0.23	0.03	0.2209	0.0529	0.0009			
22	0.45	0.21	0.04	0.2025	0.0441	0.0016			
23	0.63	0.39	0.14	0.3969	0.1521	0.0196			
24	0.70	0.46	0.21	0.4900	0.2116	0.0441			
25	0.53	0.34	0.09	0.2809	0.1156	0.0081			
average	0.37	0.20	0.09						

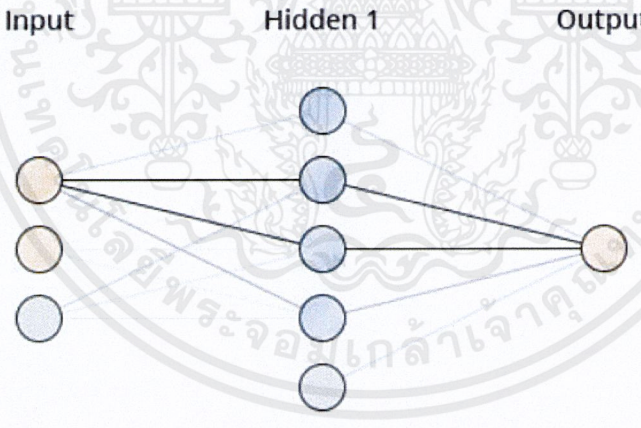
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย Machine Learning

จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโมเดลต่าง ๆ คือ โมเดล Multiple Linear Regression(MLR), Artificial Neural Network,Support Vector Machine(SVM) และ เค-เนียเรสเนเบอร์(k-NN) ได้ค่า Root Mean Square Error ของโมเดลเมื่อใช้ทำนายดินร่วนเท่ากับ 0.5090, 0.3690 ,1.3310 และ 0.2990 ตามลำดับ และดินทรายแป้งเท่ากับ 0.2610,0.3530,1.6700 และ 0.0860 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 แสดงผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยโมเดล Neural Network ของดินร่วน



รูปที่ 4.2 แสดงผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยโมเดล Neural Network ของดินทรายแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายค่า pH ของดินร่วนในของโมเดลต่าง ๆ

Model	Root Mean Square Error
Linear Regression	0.0455
Multiple Linear Regression	0.5090
Artificial Neural Network	0.3690
Support Vector Machine	1.3310
K-Nearest Neighbour	0.2990

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายค่า pH ของดินทรายแป้งในของโมเดลต่าง ๆ

Model	Root Mean Square Error
Linear Regression	0.0241
Multiple Linear Regression	0.2610
Artificial Neural Network	0.3530
Support Vector Machine	1.6700
K-Nearest Neighbour	0.0860

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากผลการดำเนินงานสามารถสรุปผลได้ดังนี้ ความชื้นเริ่มต้นที่เซนเซอร์สามารถวัดค่าได้อย่างมีเสถียรภาพในดินร่วนและดินทรายแป้งมีค่าประมาณ 60 และ 15 % ฐานแห้ง ตามลำดับ การใช้ Machine Learning มาวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า โมเดล Linear Regression มีประสิทธิภาพที่สุดในการทำนายค่า pH ของดิน โดยเมื่อใช้ทำนายค่า pH ของดินร่วนและดินทรายแป้งมีค่า Root Mean Square Error เท่ากับ 0.0835 และ 0.0803 ตามลำดับ โมเดลดังกล่าวจึงเหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้งานจริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การตั้งค่าเริ่มต้นของโมดูลเซนเซอร์วัด pH นั้นต้องทำการจุ่มหัววัดของเซนเซอร์ลงในน้ำเปล่า จากนั้นรอให้การอ่านค่า Digital Number เสถียรก่อนแล้วจึงปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ให้อ่านค่า Digital Number ให้มีค่า 540

2. เนื่องจากหัววัดของเซนเซอร์มีลักษณะเป็น Glass Membrane ซึ่งมีโอกาสเสี่ยงที่จะแตกได้หากสัมผัสกับเศษหิวในดินในขั้นตอนการติดตั้ง การติดตั้งหัววัดเซนเซอร์จึงจำเป็นจะต้องขุดหลุมก่อนแล้วฝังหัววัดลงไป

3. หากไม่มีการติดตั้งหัววัดเซนเซอร์ลงในดิน หัววัดเซนเซอร์ต้องแช่ในสารละลาย KCL เพื่อป้องกันไม่ให้หัววัดสัมผัสกับบรรยากาศนานเกินไป ซึ่งจะทำให้หัววัดเกิดความเสียหายและวัดค่าได้ไม่แม่นยำ

4. ถ้าหากผู้ใช้งานต้องการจะย้ายจุดติดตั้ง ต้องทำการล้างหัววัดเซนเซอร์ด้วยน้ำกลั่นให้สะอาดแล้วเช็ดให้แห้งสนิทก่อน จึงจะสามารถติดตั้ง ณ จุดใหม่ได้ เพื่อให้หัวเซนเซอร์วัดค่าได้ถูกต้อง

5. Calibration Model สามารถทำนายได้เฉพาะดินร่วนและดินทรายแป้ง ไม่สามารถทำนายดินชนิดอื่นได้ หากต้องการให้สมการครอบคลุมทุกชนิดดินต้องเก็บข้อมูลเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Ann McCauley, Soil Scientist; Clain Jones, Extension Soil Fertility Specialist; and Jeff Jacobsen, College of Agriculture Dean. 2009. Soil pH and Organic Matter. **Soil pH**

[2] Thailand Smart Garden. **pH ส่งผลต่อพืชอย่างไร.** สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2562. จากเว็บไซต์ : https://www.thailandsmartgarden.com/ค่า-ph-มีผลต่อพืชอย่างไร/

[3] Digital Analysis Corporation. **pH Probe.** สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2562. จากเว็บไซต์ : http://www.phadjustment.com/TArticles/pH_Probe.html

[4] electronicshub. **Basics of pH Sensor and pH Value Measurement.** สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2562. จากเว็บไซต์ : https://www.electronicshub.org/basics-of-ph-sensor-and-ph-value-measurement/

[5] Sensorland. **Understanding pH measurement**. สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2562. จากเว็บไซต์ https://www.sensorland.com/HowPage037.html

[6] ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. Internet of Things. สืบค้นเมื่อ 12 ธันวาคม 2562. จากเว็บไซต์ https://www.nectec.or.th/innovation/innovation-software/netpie.html

[7] คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่8).** กรุงเทพมหานคร : เรืองธรรมการพิมพ์,2541

[8] NEXPIE Co. Ltd. **NEXPIE**. สืบค้นเมื่อ 12 ธันวาคม 2562. จากเว็บไซต์ : https://nexpie.com

[9] ArduinoAll.**บอร์ด Arduino Mega2560 Pro**. สืบค้นเมื่อ 25 พฤศจิกายน 2562. จากเว็บไซต์ : https://www.arduinoall.com/product/2422/arduino-mega2560-pro

[10] ArduinoAll. **Module Stepdown 6-30V to 5V 3A fix 5v**. สืบค้นเมื่อ 25 พฤศจิกายน 2562. จากเว็บไซต์ : https://www.arduinoall.com/product/2102/module-stepdown-6-30v-to-5v-3a-fix-5v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] ArduinoAll. **DS3231 Module โมดูลนาฬิกา.** สืบค้นเมื่อ 25 พฤศจิกายน 2562. จากเว็บไซต์ :

https://www.arduinoall.com/product/410/ds3231-module

[12] ThaiEasyElec. **3G Module (UC15-T).** สืบค้นเมื่อ 25 พฤศจิกายน 2562. จากเว็บไซต์ :

https://www.thaieasyelec.com/3g-module-uc15-t.html

[13] Thai Programmer. **Machine Learning.** สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2563. จากเว็บไซต์ :

https://www.thaiprogrammer.org/การเรียนรู้ของ-machinelearning

[14] นงลักษณ์ วิรัชชัย. 2553. การวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการวิเคราะห์การถดถอย. **โมเดลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (multiple regression analysis model)**

[15] PSRU.**การวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มและการจัดเข้ากลุ่ม.** สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2563. จากเว็บไซต์ :

https://research.psru.ac.th/files/res_che2553/resche_files/983_CUnit2.pdf

[16] MUT. **เทคนิคการเรียนรู้พื้นฐานโครงข่ายประสาทเทียม.** สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2563. จากเว็บไซต์ :

http://www.mut.ac.th/research-detail-92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก ผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการทำนายค่า pH ของดินร่วนด้วยโมเดล Multiple Linear Regression

pH	prediction(pH)	Moisture Content
8.6	8.2	95
7.5	7.1	95
5.6	6.3	95
5.5	6.4	95
8.7	8.5	124
8.6	8.6	60
8.9	8.7	100
5.5	5.2	100
4.2	4.4	100
6.5	6.8	100
5.0	5.1	95
9.0	9.4	121
9.5	9.2	124
9.5	8.5	124
8.8	8.9	124
7.5	7.7	124
8.9	8.7	60
8.3	8.0	60
5.3	5.1	100
6.3	6.7	100
8.2	7.4	95
9.1	9.2	121
6.3	7.0	121
4.6	4.1	121
6.0	6.4	124
5.2	4.7	124
8.9	8.6	60
4.2	4.4	60
6.5	6.2	60
8.1	8.1	100
6.0	6.3	121
6.4	7.1	121
5.5	6.0	121
4.5	4.2	121
9.2	8.4	124
7.9	8.2	124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.9	6.4	124
5.0	5.2	60
8.8	8.7	100
5.0	5.2	100
9.3	9.8	95
9.3	9.2	95
9.3	9.4	95
7.8	7.4	95
5.1	4.8	95
8.1	7.4	121
5.7	6.6	121
9.6	9.9	124
5.0	5.1	60
6.4	6.2	60
8.7	8.7	95
6.2	6.8	121
4.6	3.7	121
9.1	8.4	124
5.1	5.1	124
5.2	4.9	124
6.5	6.2	60
8.0	7.7	60
8.6	8.7	100
8.2	8.2	100
5.6	6.2	95
5.7	6.4	95
4.6	3.7	121
4.6	3.5	121
7.4	7.9	124
7.6	8.1	124
4.9	5.1	60
6.3	6.2	60
5.0	5.1	100
6.4	6.6	100
7.5	7.4	95
7.9	7.0	95
5.2	5.0	95
5.5	6.5	121
6.2	6.5	124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1	5.3	124
8.7	8.6	60
5.5	5.2	60
4.2	4.4	60
6.3	6.2	60
8.5	8.6	95
8.4	8.4	121
9.2	8.1	124
9.3	8.5	124
7.6	7.8	124
5.9	6.4	124
5.3	5.1	60
8.2	8.1	60
8.7	8.6	100
4.2	4.5	100
8.7	8.7	95
8.6	8.7	95
5.0	5.1	95
8.6	8.0	121
8.5	8.5	121
8.8	8.7	60
4.1	4.5	60
4.3	4.2	60
4.2	4.5	100
6.5	6.7	100

ตารางแสดงการทำนายค่า pH ของดินร่วนด้วยโมเดล Artificial Neural Network

pH	prediction(pH)	Moisture Content
8.6	8.1	95
7.5	6.8	95
5.6	5.9	95
5.5	6.0	95
8.7	8.4	124
8.6	8.7	60
8.9	8.7	100
5.5	4.9	100
4.2	4.3	100
6.5	6.5	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.0	5.1	95
9.0	9.5	121
9.5	9.4	124
9.5	8.7	124
8.8	9.1	124
7.5	7.8	124
8.9	8.9	60
8.3	8.3	60
5.3	5.1	100
6.3	6.6	100
8.2	7.3	95
9.1	9.2	121
6.3	6.8	121
4.6	4.4	121
6.0	6.0	124
5.2	4.7	124
8.9	8.8	60
4.2	4.5	60
6.5	6.0	60
8.1	8.2	100
6.0	6.2	121
6.4	7.1	121
5.5	5.9	121
4.5	4.7	121
9.2	8.7	124
7.9	8.4	124
5.9	6.4	124
5.0	5.3	60
8.8	9.0	100
5.0	5.2	100
9.3	9.7	95
9.3	9.3	95
9.3	9.4	95
7.8	7.5	95
5.1	4.8	95
8.1	7.3	121
5.7	6.3	121
9.6	9.8	124
5.0	5.2	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4	6.4	60
8.7	8.8	95
6.2	6.5	121
4.6	4.1	121
9.1	8.5	124
5.1	4.9	124
5.2	4.7	124
6.5	6.1	60
8.0	7.9	60
8.6	8.8	100
8.2	8.3	100
5.6	6.0	95
5.7	6.2	95
4.6	4.4	121
4.6	4.3	121
7.4	7.9	124
7.6	8.1	124
4.9	5.0	60
6.3	6.4	60
5.0	4.9	100
6.4	6.4	100
7.5	7.4	95
7.9	7.0	95
5.2	4.8	95
5.5	6.2	121
6.2	6.2	124
5.1	5.1	124
8.7	8.7	60
5.5	5.0	60
4.2	4.4	60
6.3	6.2	60
8.5	8.9	95
8.4	8.7	121
9.2	8.3	124
9.3	8.8	124
7.6	7.9	124
5.9	6.2	124
5.3	5.1	60
8.2	8.4	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.7	8.9	100
4.2	4.7	100
8.7	8.8	95
8.6	8.8	95
5.0	4.9	95
8.6	8.0	121
8.5	8.5	121
8.8	8.8	60
4.1	4.5	60
4.3	4.3	60
4.2	4.5	100
6.5	6.6	100

ตารางแสดงการทำนายค่า pH ของดินร่วนด้วยโมเดล Support Vector Machine

pH	prediction(pH)	Moisture Content
8.6	7.0	95
7.5	6.7	95
5.6	6.4	95
5.5	6.5	95
8.7	7.1	124
8.6	7.1	60
8.9	7.1	100
5.5	6.1	100
4.2	5.9	100
6.5	6.6	100
5.0	6.0	95
9.0	7.2	121
9.5	7.1	124
9.5	7.0	124
8.8	7.1	124
7.5	6.7	124
8.9	7.0	60
8.3	6.8	60
5.3	6.0	100
6.3	6.5	100
8.2	6.8	95
9.1	7.3	121
6.3	6.7	121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6	5.8	121
6.0	6.5	124
5.2	6.0	124
8.9	7.1	60
4.2	5.9	60
6.5	6.4	60
8.1	7.0	100
6.0	6.6	121
6.4	6.8	121
5.5	6.5	121
4.5	6.0	121
9.2	7.2	124
7.9	7.1	124
5.9	6.6	124
5.0	6.2	60
8.8	7.3	100
5.0	6.3	100
9.3	7.3	95
9.3	7.2	95
9.3	7.2	95
7.8	6.7	95
5.1	6.0	95
8.1	6.7	121
5.7	6.5	121
9.6	7.4	124
5.0	6.1	60
6.4	6.4	60
8.7	7.1	95
6.2	6.6	121
4.6	5.7	121
9.1	7.1	124
5.1	6.1	124
5.2	6.1	124
6.5	6.4	60
8.0	6.8	60
8.6	7.1	100
8.2	7.0	100
5.6	6.8	95
5.7	6.8	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6	6.1	121
4.6	6.0	121
7.4	7.3	124
7.6	7.3	124
4.9	6.4	60
6.3	6.8	60
5.0	6.5	100
6.4	6.9	100
7.5	6.9	95
7.9	6.8	95
5.2	6.2	95
5.5	6.7	121
6.2	6.7	124
5.1	6.3	124
8.7	7.3	60
5.5	6.2	60
4.2	6.0	60
6.3	6.5	60
8.5	7.0	95
8.4	6.9	121
9.2	6.9	124
9.3	7.0	124
7.6	6.8	124
5.9	6.4	124
5.3	6.0	60
8.2	6.9	60
8.7	7.0	100
4.2	5.9	100
8.7	7.1	95
8.6	7.1	95
5.0	6.1	95
8.6	6.9	121
8.5	7.0	121
8.8	7.1	60
4.1	5.9	60
4.3	5.9	60
4.2	5.9	100
6.5	6.6	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการทำนายค่า pH ของดินร่วนด้วยโมเดล k-nearestneighbour(k-NN)

pH	prediction(pH)	Moisture Content
8.6	8.4	95
7.5	7.6	95
5.6	6.0	95
5.5	6.0	95
8.7	9.1	124
8.6	8.8	60
8.9	8.7	100
5.5	5.0	100
4.2	4.7	100
6.5	6.5	100
5.0	5.1	95
9.0	9.0	121
9.5	9.0	124
9.5	9.0	124
8.8	8.9	124
7.5	7.8	124
8.9	8.7	60
8.3	8.4	60
5.3	5.1	100
6.3	6.2	100
8.2	7.5	95
9.1	9.2	121
6.3	6.4	121
4.6	4.7	121
6.0	5.9	124
5.2	5.0	124
8.9	8.7	60
4.2	4.4	60
6.5	6.4	60
8.1	8.5	100
6.0	5.8	121
6.4	6.4	121
5.5	5.8	121
4.5	4.7	121
9.2	8.9	124
7.9	8.4	124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.9	5.9	124
5.0	5.1	60
8.8	8.7	100
5.0	5.2	100
9.3	8.8	95
9.3	8.7	95
9.3	8.7	95
7.8	7.6	95
5.1	5.1	95
8.1	7.0	121
5.7	5.9	121
9.6	9.1	124
5.0	5.1	60
6.4	6.4	60
8.7	8.7	95
6.2	6.0	121
4.6	4.5	121
9.1	9.0	124
5.1	5.2	124
5.2	4.9	124
6.5	6.4	60
8.0	8.5	60
8.6	8.7	100
8.2	8.5	100
5.6	6.0	95
5.7	6.0	95
4.6	4.6	121
4.6	4.4	121
7.4	8.1	124
7.6	8.5	124
4.9	5.1	60
6.3	6.4	60
5.0	5.2	100
6.4	6.1	100
7.5	7.4	95
7.9	7.3	95
5.2	5.1	95
5.5	5.9	121
6.2	5.9	124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1	5.2	124
8.7	8.8	60
5.5	5.0	60
4.2	4.5	60
6.3	6.4	60
8.5	8.7	95
8.4	9.0	121
9.2	8.1	124
9.3	9.0	124
7.6	7.8	124
5.9	5.9	124
5.3	5.0	60
8.2	8.5	60
8.7	8.7	100
4.2	4.7	100
8.7	8.7	95
8.6	8.7	95
5.0	5.2	95
8.6	7.9	121
8.5	8.9	121
8.8	8.7	60
4.1	4.6	60
4.3	4.7	60
4.2	4.7	100
6.5	6.5	100

ตารางแสดงการทำนายค่า pH ของดินทรายแป้งด้วยโมเดล Multiple Linear Regression

pH	prediction(pH)	Moisture Content
5.0	5.2	30
2.9	3.9	30
4.2	4.5	55
10.2	10.2	70
5.5	5.4	70
4.2	4.4	70
8.5	7.9	30
5.6	6.1	30
4.3	4.4	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.3	10.5	70
7.9	7.8	70
1.7	1.3	70
9.8	9.9	30
2.5	2.3	30
1.5	1.4	55
10.3	10.3	70
1.6	1.5	70
1.7	1.2	70
9.8	9.8	30
5.0	5.0	30
9.8	9.7	55
8.2	7.9	55
8.1	7.8	55
4.3	4.1	70
8.6	7.9	30
8.5	7.9	30
5.8	6.2	30
4.9	4.6	30
5.2	5.5	55
5.5	5.5	70
8.5	7.8	30
2.8	2.9	30
9.8	9.8	55
4.2	4.4	55
1.6	1.5	55
5.5	5.5	70
8.4	7.8	30
9.8	9.9	55
5.3	5.8	55
5.4	5.6	55
7.9	7.9	70
4.2	4.2	70
8.1	7.7	55
1.5	1.4	55
7.9	7.9	70
7.8	7.8	70
7.8	7.9	70
1.7	1.2	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8	6.3	30
2.5	2.4	30
10.3	10.3	70
5.4	5.5	70
4.2	4.3	70
1.6	1.6	70
9.7	10.0	30
5.8	6.2	30
4.9	5.2	30
2.6	2.4	30
9.8	9.8	55
4.2	4.5	70

ตารางแสดงการทำนายค่า pH ของดินทรายแป้งด้วยโมเดล Artificial Neural Network

pH	prediction(pH)	Moisture Content
5.0	4.9	30
2.9	3.6	30
4.2	4.2	55
10.2	10.0	70
5.5	5.2	70
4.2	4.1	70
8.5	8.0	30
5.6	6.0	30
4.3	4.1	55
10.3	10.3	70
7.9	7.9	70
1.7	1.4	70
9.8	9.9	30
2.5	2.3	30
1.5	1.7	55
10.3	10.3	70
1.6	1.7	70
1.7	1.5	70
9.8	9.9	30
5.0	4.9	30
9.8	9.8	55
8.2	8.0	55
8.1	7.9	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3	3.9	70
8.6	8.2	30
8.5	8.1	30
5.8	6.2	30
4.9	4.4	30
5.2	5.5	55
5.5	5.3	70
8.5	7.9	30
2.8	2.7	30
9.8	9.8	55
4.2	4.2	55
1.6	1.7	55
5.5	5.4	70
8.4	8.0	30
9.8	10.0	55
5.3	5.8	55
5.4	5.6	55
7.9	8.1	70
4.2	4.0	70
8.1	7.9	55
1.5	1.7	55
7.9	8.2	70
7.8	8.1	70
7.8	8.1	70
1.7	1.6	70
5.8	6.3	30
2.5	2.4	30
10.3	10.3	70
5.4	5.3	70
4.2	4.1	70
1.6	1.7	70
9.7	9.9	30
5.8	6.0	30
4.9	5.0	30
2.6	2.2	30
9.8	9.7	55
4.2	4.1	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการทำนายค่า pH ของดินทรายแป้งด้วยโมเดล Support Vector Machine(SVM)

pH	prediction(pH)	Moisture Content
5.0	5.3	30
2.9	4.8	30
4.2	5.0	55
10.2	7.3	70
5.5	5.3	70
4.2	4.9	70
8.5	6.4	30
5.6	5.7	30
4.3	4.9	55
10.3	7.3	70
7.9	6.2	70
1.7	3.7	70
9.8	7.1	30
2.5	4.3	30
1.5	3.9	55
10.3	7.2	70
1.6	3.9	70
1.7	3.8	70
9.8	7.1	30
5.0	5.2	30
9.8	7.0	55
8.2	6.3	55
8.1	6.3	55
4.3	4.8	70
8.6	6.5	30
8.5	6.4	30
5.8	5.7	30
4.9	5.0	30
5.2	5.4	55
5.5	5.3	70
8.5	6.4	30
2.8	4.4	30
9.8	7.1	55
4.2	5.0	55
1.6	3.8	55
5.5	5.4	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4	6.4	30
9.8	7.2	55
5.3	5.5	55
5.4	5.4	55
7.9	6.3	70
4.2	4.8	70
8.1	6.2	55
1.5	3.8	55
7.9	6.3	70
7.8	6.2	70
7.8	6.2	70
1.7	3.7	70
5.8	5.8	30
2.5	4.2	30
10.3	7.3	70
5.4	5.4	70
4.2	4.9	70
1.6	3.8	70
9.7	7.2	30
5.8	5.7	30
4.9	5.4	30
2.6	4.2	30
9.8	7.1	55
4.2	4.9	70

ตารางแสดงการทำนายค่า pH ของดินทรายแป้งด้วยโมเดล k-nearestneighbour(k-NN)

pH	prediction(pH)	Moisture Content
5.0	5.0	30
2.9	4.1	30
4.2	4.2	55
10.2	10.1	70
5.5	5.4	70
4.2	4.2	70
8.5	8.5	30
5.6	5.6	30
4.3	4.2	55
10.3	10.1	70
7.9	7.9	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7	1.6	70
9.8	9.8	30
2.5	2.3	30
1.5	1.6	55
10.3	10.1	70
1.6	1.6	70
1.7	1.6	70
9.8	9.8	30
5.0	5.0	30
9.8	9.9	55
8.2	7.9	55
8.1	7.9	55
4.3	4.2	70
8.6	8.4	30
8.5	8.4	30
5.8	5.5	30
4.9	4.4	30
5.2	5.4	55
5.5	5.4	70
8.5	8.5	30
2.8	2.9	30
9.8	9.9	55
4.2	4.2	55
1.6	1.6	55
5.5	5.4	70
8.4	8.5	30
9.8	9.9	55
5.3	5.4	55
5.4	5.4	55
7.9	7.9	70
4.2	4.2	70
8.1	8.1	55
1.5	1.6	55
7.9	8.0	70
7.8	8.0	70
7.8	8.0	70
1.7	1.6	70
5.8	5.5	30
2.5	2.3	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.3	10.1	70
5.4	5.4	70
4.2	4.2	70
1.6	1.6	70
9.7	9.8	30
5.8	5.6	30
4.9	5.1	30
2.6	2.3	30
9.8	9.9	55
4.2	4.2	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้