โครงงานวิศวกรรมชลประทาน

(02207499)

ที่ 4 /2562

เรื่อง

กำหนดการให้น้ำพืชโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินชนิดคาปาซิทีฟร่วมกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Irrigation scheduling using capacitive soil moisture sensor and Internet of Things (IoT).

โดย

นางสาวสุรภา สีสอาด

นางสาวปภัสรา สาระวรณ์

นางสาวสุภาพร พัฒนแก้ว

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน)

พุทธศักราช 2562

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เรื่อง กำหนดการให้น้ำพืชโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินชนิดคาปาซิทีฟ
ร่วมกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง
Irrigation scheduling using capacitive soil moisture sensor and Internet of Things (IoT).

นามผู้ทำโครงการ นางสาวสุรภา สีสอาด
นางสาวปภัสรา สาระวรณ์
นางสาวสุภาพร พัฒนแก้ว

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธารกรรมการ .....
(อ.ดร.ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์)
...../...../.....

กรรมการ .....
(ผศ.ดร.วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ)
...../...../.....

.....
(อ.ดร.เกศวรา สิทธิโชค)
...../...../.....

หัวหน้าภาควิชา .....
(ผศ.นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์)
...../...../.....

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : กำหนดการให้น้ำพืชโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินชนิดคาปาซิทีฟ
ร่วมกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

โดย : นางสาวสุรภา สีสอาด 5920500549
นางสาวปภัสรา สาระวรณ์ 5920503165
นางสาวสุภาพร พัฒนแก้ว 5920503327

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

.....
(อ.ดร.ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์)
...../...../.....

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำกำหนดการให้น้ำพืชโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินชนิดคาปาซิทีฟร่วมกับบอร์ด NodeMCU ESP8266 V2 ในการทดลองนี้ได้เลือกดินตัวอย่างสามชนิด ได้แก่ ดินทรายปนร่วน ดินร่วนเหนียว และดินเหนียว คำนวณหาเนื้อดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์และทำการประมาณค่าความชื้นชลประทาน ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรและความชื้นที่จุดวิกฤติโดยวิธี Saxton จากนั้นทำการปรับเทียบเซ็นเซอร์กับค่าความชื้นในดินโดยใช้สมการโพลีโนเมียลกำลังสาม และใช้โปรแกรม Arduino IDE เขียนชุดคำสั่งให้อ่านค่าความชื้นในดินจากเซ็นเซอร์เพื่อจัดเก็บข้อมูลไว้ในระบบคลาวด์ Google Sheet รวมทั้งสามารถแจ้งเตือนกำหนดการให้น้ำในแอพพลิเคชั่น Line เมื่อความชื้นในดินถึงจุดวิกฤติ อย่างไรตาม เนื่องจากเซ็นเซอร์มีราคาค่อนข้างถูก เซ็นเซอร์แต่ละตัวอาจตรวจวัดความชื้นดินได้คลาดเคลื่อนและมีความน่าเชื่อถือต่ำ ทางผู้วิจัยเสนอแนะให้ทำการทดสอบปรับเทียบเซ็นเซอร์กับเทนซิโอมิเตอร์ (Tensiometer) หรือเครื่องมือวัดความชื้นในดินที่มีความแม่นยำสูง

Abstract

Title : Irrigation scheduling using capacitive soil moisture sensor and Internet of Things (IoT)

By : Miss. Surapa Seesa-ad 5920500549
Miss. Papatsara Saraworn 5920503165
Miss. Supaporm Pattanakaew 5920503327

Project Advisor

.....
(Dr. Chuphan Chompuchan)
...../...../.....

This research aimed to introduce irrigation scheduling using the capacitive soil moisture sensor with NodeMCU ESP8266 V2. In this experiment, three types of sample soil were chosen: loamy sand, clay loam, and loam soil. Hydrometer test was applied for soil texture analysis and Saxton's method was used to estimate soil moisture at field capacity, permanent wilting point, and critical point. Next, the capacitive soil moisture sensor was calibrated with soil moisture using a third-degree polynomial equation for each soil type. Then, Arduino IDE has programmed the code to detect soil moisture value from the sensor and store it to Google Sheet, a cloud-based spreadsheet. Also, Line application could notify for irrigation schedule when soil moisture reaches a critical level. Due to the low-cost soil moisture sensor, soil moisture measured from each sensor may be inaccurate, resulting in low reliability. The researchers have a suggestion to calibrate the capacitive soil moisture sensor with Tensiometer or a high precision soil moisture measurement.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้นผู้จัดทำขอขอบคุณอาจารย์ ดร. ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์ ประธานกรรมการและที่ปรึกษาโครงงาน รวมถึง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ และอาจารย์ ดร. เกศวรา สิทธิโชค กรรมการ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตรวจสอบ แก้ไข และให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ จนกระทั่งโครงงานวิศวกรรมเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ประโยชน์และคุณงามความดีทั้งหลายอันพึงจะได้รับจากโครงงานวิศวกรรมเล่มนี้ผู้จัดทำขอมอบให้แด่ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณทุกท่าน และท่านอาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ความสามารถต่างๆ ให้แก่ผู้จัดทำ

คณะผู้จัดทำ

เมษายน 2563

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 คำนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	
2.1 ดินกับการกำหนดการให้น้ำพืช (Irrigation Scheduling)	2
2.2 เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน	4
2.3 อินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things)	4
2.4 ข้อมูล NodeMCU ESP8266	7
2.5 ข้อมูลและโครงสร้างภาษาที่ใช้เกี่ยวกับ ARDUINO	8
2.6 Line Notify	9
2.7 Google Sheet	10
บทที่ 3 เครื่องมือ อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการ	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการ	11
3.2 วิธีการดำเนินการ	14
บทที่ 4 ผลการทดลอง	19
บทที่ 5 สรุป วิจารณ์ ปัญหาและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	28
5.2 วิจารณ์ ผลการทดลอง	28
5.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	29
เอกสารอ้างอิง	30

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก	การทดสอบค่าความต่างทางสถิติของ Capacitive Soil Moisture Sensor โดยใช้ ANOVA	32
ภาคผนวก ข	การแยกประเภทดินโดยวิธีวิเคราะห์เชิงกลโดยไฮโดรมิเตอร์	35
ภาคผนวก ค	การคำนวณการแยกประเภทดินโดยไฮโดรมิเตอร์ และการคำนวณโดยวิธี Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture ของ Dr. K. E. Saxton	40
ภาคผนวก ง	การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดิน ชุดที่ 1 (ดินทรายปนร่วน) กับ Capacitive Soil Moisture Sensor	48
ภาคผนวก จ	การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดิน ชุดที่ 2 (ดินร่วนเหนียว) กับ Capacitive Soil Moisture Sensor	65
ภาคผนวก ฉ	การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดิน ชุดที่ 3 (ดินเหนียว) กับ Capacitive Soil Moisture Sensor	81
ภาคผนวก ช	การใช้งาน Line Notify เพื่อแจ้งเตือนร่วมกับ Code Arduino	85
ภาคผนวก ซ	การใช้งาน Google sheet เพื่อจัดเก็บข้อมูล และแจ้งเตือนไลน์	95
ภาคผนวก ฌ	ตารางค่าความชื้นกับเวลาของดินทั้งสามชนิด	109
ประวัติผู้จัดทำ		115

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่

2-1 กราฟแสดงการแบ่งแยกประเภทเนื้อดิน 2
2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับการกำหนดการให้น้ำกับพืช 3
2-3 เซ็นเซอร์วัดความชื้นดินแบบคาปาซิทีฟ (Capacitive soil moisture sensor)
และเซ็นเซอร์วัดความชื้นดินแบบรีซิสทีฟ (Resistive soil moisture sensor) 4
2-4 สถาปัตยกรรมเทคโนโลยี IoT 6
2-5 บอร์ด ESP8266 NodeMCU V2 8
3-1 ขวดแก้วสำหรับใส่ดิน 11
3-2 กระบอกตวงขนาด 1000 ml 11
3-3 Soil Dispersion Mechanical Mixer with Dispersion Cup 12
3-4 ไฮโดรมิเตอร์ (Soil Hydrometers) 12
3-5 เครื่องชั่ง 12
3-6 Capacitive Soil Moisture Sensor 12
3-7 บอร์ด ESP8266 NodeMCU V2 12
3-8 โปรแกรม Arduino 13
3-9 แอพลิเคชั่น Line Notify 13
3-10 Google Sheet 13
3-11 การทดสอบเซ็นเซอร์ทั้ง 23 ตัว ตัวละ 15 ครั้ง 14
3-12 การทดสอบความแตกต่างของ Capacitive Soil Moisture Sensor 14
โดยวิเคราะห์แบบ Anova: Single Factor
3-13 ชั่งดินปริมาณ 1,000 กรัม 15
3-14 ขั้นตอนการทดลองโดย a) ชั่งแก้ว b) เติมน้ำ c) บรรจุดินลงขวดแก้วจำนวน 5 ใบ 16
3-15 การนำเซ็นเซอร์มาปักลงในดิน จนถึงระดับคอของเซ็นเซอร์ 16
3-16 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 18
4-1 กราฟแสดงผลการปรับเทียบค่าตรวจวัดจากเซ็นเซอร์กับดินชนิดที่ 1 (ดินทรายปนร่วน) 22
4-2 กราฟแสดงผลการปรับเทียบค่าตรวจวัดจากเซ็นเซอร์กับดินชนิดที่ 2 (ดินร่วนเหนียว) 22
4-3 กราฟแสดงผลการปรับเทียบค่าตรวจวัดจากเซ็นเซอร์กับดินชนิดที่ 3 (ดินเหนียว) 23

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินของดินชนิดที่ 1 (ดินทรายปนร่วน)	25
4-5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินของดินชนิดที่ 2 (ดินร่วนเหนียว)	25
4-6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินของดินชนิดที่ 3 (ดินเหนียว)	26
4-7 ตัวอย่างผลการทดสอบเก็บข้อมูลความชื้นแบบต่อเนื่อง โดยการแสดงผลบน Google sheet ดินชนิดที่ 1 (ดินทรายร่วน)	26
4-8 ตัวอย่างการแจ้งเตือนทาง LINE Application ของดินชนิดที่ 1 (ดินทรายร่วน)	27

ภาพผนวกที่

ข-1 กำจัดอินทรียวัตถุ โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide : H2O2 3% w/v)	36
ข-2 เติมสารละลายแคลกอน 5% 100 ml	37
ข-3 เติมน้ำกลั่นลงใน dispersion cup	37
ข-4 ปั่นด้วยเครื่องปั่น 2-5 นาที	37
ข-5 ถ่ายสิ่งที่ปั่นลงในกระบอกแก้ว ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างดินที่ ลงในกระบอกแก้วให้หมด	37
ข-6 เขย่ากระบอกตวงเพื่อทำให้เกิดสารแขวนลอยดินที่สมบูรณ์สักระยะหนึ่ง	38
ข-7 หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงไปอ่านค่าบนก้านไฮโดรมิเตอร์ทันทีเมื่อครบ 40 วินาที วัดอุณหภูมิของสารแขวนลอยดินขณะนั้นได้ t°40 อ่านค่าอีกครั้งเมื่อครบ 2 ชั่วโมง วัดอุณหภูมิของสารแขวนลอยดินขณะนั้นได้ t°2	38
ช-1 การใช้งาน Line Notify เพื่อแจ้งเตือน (1)	85
ช-2 การใช้งาน Line Notify เพื่อแจ้งเตือน (2)	85
ช-3 การใช้งาน Line Notify เพื่อแจ้งเตือน (3)	86
ช-4 การใช้งาน Line Notify เพื่อแจ้งเตือน (4)	86
ช-5 การใช้งาน Line Notify เพื่อแจ้งเตือน (5)	87
ช-6 การใช้งาน Line Notify เพื่อแจ้งเตือน (6)	87
ช-7 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (1)	88
ช-8 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (2)	88
ช-9 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (3)	88
ช-10 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (4)	89

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ช-11 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (5)	89
ช-12 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (6)	90
ช-13 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (7)	90
ช-14 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (8)	91
ช-15 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (9)	91
ช-16 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (10)	92
ช-17 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (11)	92
ช-18 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (12)	92
ช-19 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (13)	93
ช-20 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (14)	93
ช-21 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (15)	93
ช-22 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (16)	94
ช-23 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (17)	94
ซ-1 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (1)	96
ซ-2 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (2)	96
ซ-3 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (3)	97
ซ-4 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (4)	97
ซ-5 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (5)	97
ซ-6 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (6)	99
ซ-7 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (7)	99
ซ-8 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (8)	100
ซ-9 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (9)	100
ซ-10 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (10)	101
ซ-11 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (11)	101
ซ-12 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (12)	102
ซ-13 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (13)	102
ซ-14 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (14)	102
ซ-15 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (15)	102
ซ-16 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (16)	105
ซ-17 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (17)	105

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ซ-18 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (18)	106
ซ-19 การส่งข้อมูลขึ้น google sheet พร้อมกับแจ้งเตือนไลน์	108
ฌ-1 ตัวอย่างการแจ้งเตือนบน Line Notify ของดินทรายร่วน	114

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

4-1 ค่าความแตกต่างทางสถิติของ Capacitive Soil Moisture Sensor 19
4-2 เปอร์เซ็นต์ความชื้นดินที่จุดต่างๆของดินสามชนิดที่แตกต่างกัน 20
4-3 ตารางปรับเทียบ (Calibration) Capacitive Soil Moisture Sensor กับค่าความชื้นในดินของดินทั้งสามชนิด 21
4-4 ตารางเปรียบเทียบผลงานวิจัยอื่นๆ 24

ตารางผนวกที่

ก-1 ข้อมูลการทดสอบความต่างทางสถิติของตัว capacitive soil moisture sensor ทั้งหมด 23 ตัว 33
ก-2 ค่าความแตกต่างทางสถิติของ Capacitive Soil Moisture Sensor 34
ค-1 ร้อยละของอนุภาคขนาดต่างๆ ของดินตัวอย่างชุดที่ 1 ปริมาณ 50 กรัม ซึ่งได้ทำให้เป็นสารแขวนลอย 1 ลิตรและแยกออกมาเป็นกลุ่มขนาด ทราย ซิลท์ ดินเหนียว 42
ค-2 ร้อยละของอนุภาคขนาดต่างๆ ของดินตัวอย่างชุดที่ 2 ปริมาณ 50 กรัม ซึ่งได้ทำให้เป็นสารแขวนลอย 1 ลิตรและแยกออกมาเป็นกลุ่ม ขนาดทราย ซิลท์ ดินเหนียว 43
ค-3 ร้อยละของอนุภาคขนาดต่างๆ ของดินตัวอย่างชุดที่ 3 ปริมาณ 50 กรัม ซึ่งได้ทำให้เป็นสารแขวนลอย 1 ลิตรและแยกออกมาเป็นกลุ่มขนาด ทราย ซิลท์ ดินเหนียว 44
ค-4 กำหนดการให้น้ำพืช (Irrigation Scheduling) ของดินชุดที่ 1 45
ค-5 กำหนดการให้น้ำพืช (Irrigation Scheduling) ของดินชุดที่ 2 46
ค-6 กำหนดการให้น้ำพืช (Irrigation Scheduling) ของดินชุดที่ 3 47
ง-1 กำหนดการให้น้ำพืช (Irrigation Scheduling) ของดินชุดที่ 1 เป็นเปอร์เซ็นต์ 49
ง-2 กำหนดความชื้นต่างๆที่จะทำการทดสอบ 49
ง-3 ปริมาณน้ำที่เติมให้ดินชุดที่ 1 (ดินทรายปนร่วน) เมื่อกำหนดความชื้นเป็นไปตามตาราง ง-2 50
ง-4 น้ำหนักแก้วที่ใช้สำหรับการทดลอง ดินชุดที่ 1 (ดินทรายปนร่วน) 50
ง-5 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 8% 53

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ง-6 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 9%	54
ง-7 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 10%	55
ง-8 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 11%	56
ง-9 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 12%	57
ง-10 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 13%	58
ง-11 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 14%	59
ง-12 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 16%	60
ง-13 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 17%	61
ง-14 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 20%	62
ง-15 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 30%	63
ง-16 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 40%	64
จ-1 กำหนดการให้น้ำพืช (Irrigation Scheduling) ของดินชุดที่ 2 เป็นเปอร์เซ็นต์	66
จ-2 กำหนดความชื้นต่างๆที่จะทำการทดสอบ	66
จ-3 ปริมาณน้ำที่เติมให้ดินชุดที่ 2 (ดินร่วนเหนียว) เมื่อกำหนดความชื้นเป็นไปตามตาราง จ-2	67
จ-4 น้ำหนักแก้วที่ใช้สำหรับการทดลอง ดินชุดที่ 2 (ดินร่วนเหนียว)	67
จ-5 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 17%	70
จ-6 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 19%	71

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางผนวกที่

จ-7 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 21% 72
จ-8 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 23% 73
จ-9 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 25% 74
จ-10 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 29% 75
จ-11 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 31% 76
จ-12 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 35% 77
จ-13 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 40% 78
จ-14 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 45% 79
จ-15 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 50% 80
ฉ-1 กำหนดการให้น้ำพืช (Irrigation Scheduling) ของดินชุดที่ 3 เป็นเปอร์เซ็นต์ 82
ฉ-2 น้ำหนักแก้วที่ใช้สำหรับการทดลอง ดินชุดที่ 3 (ดินเหนียว) 82
ฉ-3 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor 83
ฌ-1 ความชื้นกับเวลา ดินชนิดที่ 1 (ดินทรายปนร่วน) 110
ฌ-2 ความชื้นกับเวลา ดินชนิดที่ 2 (ดินร่วนเหนียว) 111
ฌ-3 ความชื้นกับเวลา ดินชนิดที่ 3 (ดินเหนียว) 113

บทที่ 1
คำนำ

1.1 คำนำ

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีพื้นที่เกษตรกรรมเป็นจำนวนมาก ซึ่งการเกษตรได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ โดยผลผลิตที่ได้จากการเกษตรมีน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของพืช โดยถ้าพืชได้รับน้ำมากเกินความต้องการน้ำของพืชอาจทำให้พืชตาย แต่หากพืชได้รับน้ำน้อยกว่าความต้องการน้ำของพืชอาจส่งผลให้พืชไม่เจริญเติบโต รวมถึงผลผลิตที่ไม่เป็นไปตามเป้าหมาย ดังนั้นความชื้นในดินจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ควรพิจารณาในการให้น้ำแก่พืชจึงมีความจำเป็นต้องมีการควบคุมดูแลรักษาระดับความชื้นในดินให้สม่ำเสมอตลอดเวลา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญในงานด้านการเกษตรหรือ Smart Farm เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายในการทำงานและสร้างผลผลิตทางการเกษตรได้มากยิ่งขึ้น รวมถึงช่วยลดการใช้ทรัพยากรน้ำ (กาญบัญชา และชาญยุทธ, 2557) ปัจจุบันมีการใช้งานเทคโนโลยีเซ็นเซอร์ที่สามารถตรวจวัดความชื้นในดินและสามารถกำหนดการให้น้ำแก่พืชได้ในช่วงเวลาที่เหมาะสมโดยผ่านทางระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง หรือ Internet of things (IoT) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีเพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สิ่งของต่าง ๆ ได้เองโดยใช้การเชื่อมต่อกับระบบการสื่อสารไร้สาย ซึ่งสามารถพัฒนาไปสู่การทำระบบรดน้ำอัตโนมัติต่อไป (กอบเกียรติ, 2561) ทั้งนี้แม้ว่าในปัจจุบันจะมีเครื่องวัดความชื้นที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดอยู่แล้ว แต่อาจมีราคาค่อนข้างสูง ในขณะที่เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินที่มีราคาถูกจำเป็นต้องปรับเทียบ (Calibrate) กับความชื้นในดินก่อนการใช้งาน โครงงานนี้ได้เลือกใช้งานเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินชนิดคาปาซิทีฟ (Capacitive Soil Moisture Sensor) ร่วมกับบอร์ด NodeMCU ESP8266 เพื่อทดสอบการปรับเทียบความชื้นดิน ตรวจวัดและจัดเก็บข้อมูลความชื้นดินไว้ในระบบคลาวด์ (cloud) และจัดทำการแจ้งเตือนกำหนดการให้น้ำพืชแบบอัตโนมัติ ผลจากการศึกษานี้คาดว่าจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรหรือผู้ที่สนใจ โดยเน้นไปที่การใช้งานอุปกรณ์ที่มีราคาถูกและแพลตฟอร์มในการทำงานต่าง ๆ อาทิ Google Sheet, LINE ซึ่งเป็นที่นิยมใช้งานทั่วไปในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วย Capacitive Soil Moisture Sensor

2) เพื่อปรับเทียบค่าจากการตรวจวัดด้วย Capacitive Soil Moisture Sensor กับค่าความชื้นในดิน

3) เพื่อทดสอบการจัดเก็บข้อมูลความชื้นดินในระบบคลาวด์ด้วย Google Sheet และจัดทำกำหนดการให้น้ำพืชผ่านทางแอพพลิเคชั่น Line

1.3ขอบเขตการวิจัย

1) ชนิดของดินสามชนิด ได้แก่ ดินร่วน ดินเหนียว และดินทราย

2) เครื่องมือ Capacitive Soil Moisture Sensor ร่วมกับบอร์ด ESP8266 NodeMCU V2

3) โปรแกรม Arduino ร่วมกับ Line Notify และ Google Sheet

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 ดินกับการกำหนดการให้น้ำพืช (Irrigation Scheduling)

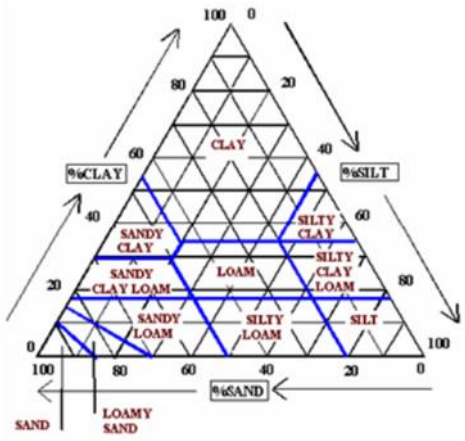
เนื้อดิน (soil texture) หมายถึงคุณสมบัติของดินซึ่งเกี่ยวกับเม็ดดินซึ่งดินในการเกษตรประกอบไปด้วยเม็ดดิน 3 ชนิด คือ (วราวุธ และคณะ, 2558)

1) เม็ดทราย (Sand) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.05-2.00 ม.ม.

2) เม็ดตะกอนทราย (Silt) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.002-0.05 ม.ม.

3) เม็ดดินเหนียว (Clay) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กกว่า 0.002 ม.ม.

การแยกเม็ดดินทั้ง 3 ชนิด ออกจากกันทำได้โดยใช้วิธีที่เรียกว่า Hydrometer Method และสามารถแบ่งประเภทเนื้อดินตามสัดส่วนของเม็ดทราย เม็ดตะกอนทราย และเม็ดดินเหนียว ตามมาตรฐานของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา ดังแสดงในภาพที่ 2-2



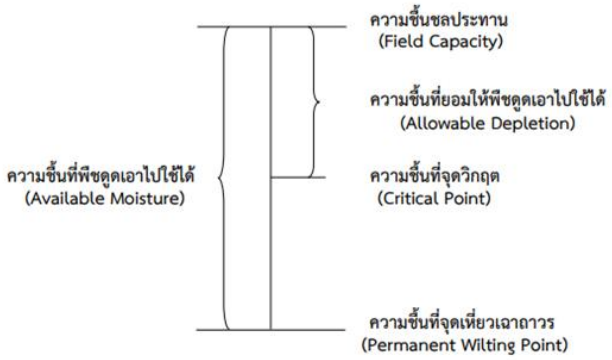
ภาพที่ 2-2 กราฟแสดงการแบ่งแยกประเภทเนื้อดิน
ที่มา: วราวุธ และคณะ (2558)

ดินแต่ละชนิดมีความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (water holding capacity of soil) ที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปในทางการเกษตรจะกำหนดความสามารถในการอุ้มน้ำของดินจากระดับความชื้นในดินในช่วงต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 2-1

1) ความชื้นชลประทาน (Field capacity) หมายถึง ความชื้นที่เหลืออยู่ในดินเมื่อแรงดึงความชื้นภายในดินมีค่าอยู่ระหว่าง 1/10 ถึง 1/3 บรรยากาศ (1/10 บรรยากาศสำหรับดินทราย และ 1/3บรรยากาศสำหรับดินเหนียว)

2) ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent wilting point) หมายถึง ความชื้นที่เหลืออยู่ในดิน เมื่อดินมีแรงดึงความชื้นเท่ากับ 15 บรรยากาศ จากนิยามดังกล่าวจะสามารถหาความชื้นชลประทานและความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาได้ โดยใช้เครื่องแยกความชื้นออกจากดิน (soil moisture Extractor)

3) ความชื้นที่จุดวิกฤต (Critical Point) หมายถึง จำนวนความชื้นที่พืชนำเอาไปใช้ได้ที่ยังเหลืออยู่ในดินในระดับที่เริ่มเกิดการขาดแคลนน้ำ และอาจทำให้ปริมาณผลผลิตลดลงหรือทำให้คุณภาพการผลิตลดลงหรือทั้งปริมาณและคุณภาพของผลผลิตลดลงได้



ภาพที่ 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับการกำหนดการให้น้ำกับพืช
ที่มา: วราวุธ และคณะ (2558)

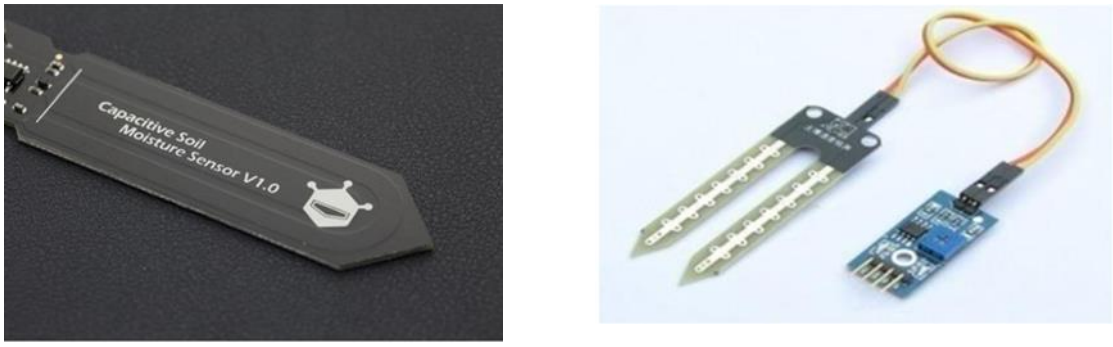
การกำหนดการให้น้ำอาจพิจารณาได้จากหลายปัจจัย วิธีการตรวจวัดความชื้นในดินเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยกำหนดให้ความชื้นในดินมีปริมาณที่เหมาะสมกับพืชได้ การตรวจวัดความชื้นในดินโดยวิธีการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Sampling) เป็นวิธีที่ให้ค่าถูกต้อง สามารถตรวจวัดโดยการเก็บตัวอย่างดินในบริเวณเขตรากพืช แล้วนำดินไปเข้าตู้อบ ที่อุณหภูมิ 105° ซ. เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 24 ชม. จากนั้นหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นได้ดังนี้ (วราวุธ และคณะ**, 2558**)

$$P_w = 100x \frac{W_W}{W_s} \quad \text{..... สมการที่ 1}$$

เมื่อ P_w = ความชื้นเป็นเปอร์เซ็นโดยน้ำหนักของดินแห้ง
W_w = น้ำหนักของน้ำในดิน
W_s = น้ำหนักของดินแห้ง

2.2 เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน

เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินจะทำการวัดปริมาณน้ำในดิน โดยการใช้คุณสมบัติความต้านทานทางไฟฟ้าของดิน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติที่วัดได้กับดินมีการปรับเทียบความชื้นและอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ประเภทของดิน หรือการนำไฟฟ้า โดยสิ่งนี้ได้นำมาใช้เพื่อตรวจวัดความชื้นดินในสนามและถ่ายโอนไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ตามลำดับ (Gondchawar and Kawitkar, 2016) โดยชนิดของเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินแบบสัมผัส มี 2 แบบ ดังภาพที่ 2-3



(a) (b)

ภาพที่ 2-3 (a) เซ็นเซอร์วัดความชื้นดินแบบคาปาซิทีฟ (Capacitive soil moisture sensor) และ (b) เซ็นเซอร์วัดความชื้นดินแบบรีซิสทีฟ (Resistive soil moisture sensor)
ที่มา: Nath *et al.* (2016)

Nath *et al.* (2016) ได้ศึกษา IoT สำหรับการตรวจวัดและการตรวจสอบอุณหภูมิ ความชื้นในดินและความชื้นสัมพัทธ์ พบว่า เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินแบบสัมผัสทั้งสองแบบนั้นเซ็นเซอร์วัดความชื้นดินแบบคาปาซิทีฟมีความเสถียรมากกว่าเซ็นเซอร์แบบรีซิสทีฟและมีความน่าเชื่อถือมากกว่าเพราะไม่เป็นสนิมตามกาลเวลา ซึ่งเซ็นเซอร์วัดความชื้นดินแบบคาปาซิทีฟใช้แรงดันไฟฟ้าได้ 3.3-5.5 V แรงดันเอาต์พุต 0-3 V ขนาด 98x23 ม.ม. น้ำหนัก 15 กรัม

2.3 อินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things)

Ashton (2011) ให้คำนิยามเทคโนโลยี IoT ว่า “internet-like” หรือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกที่สามารถสื่อสารและมีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน ในบางแห่งอาจจะเรียกเทคโนโลยีชนิดนี้ว่า Machine to Machine (M2M) ซึ่งก็คือ การที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกสื่อสารกันเองผ่านระบบเครือข่าย ประเด็นที่สำคัญคือ การที่อุปกรณ์สามารถถูกระบุตัวตนและสามารถสื่อสารกันเองโดยที่ผู้ใช้งานไม่ต้องเข้าไปสั่งการอุปกรณ์เหล่านั้น ผู้ใช้งานเพียงแต่สั่งการและควบคุมอุปกรณ์ผ่านทางระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เช่น การบริหารจัดการสินค้าคงคลังอัจฉริยะ การเปิด-ปิดไฟภายในบ้าน การรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ การส่งสัญญาณช่วยเหลือแบบเร่งด่วนของผู้สูงอายุ/ผู้พิการไปยังสถานที่สำคัญ เช่น โรงพยาบาล โรงพัก หรือแม้แต่กระทั่งการควบคุมสัญญาณจราจรอัจฉริยะที่สามารถ

ประมวลผลข้อมูลจากจำนวนรถที่อยู่บนท้องถนนกับการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจร ทั้งหมดนี้เกิดจากการบูรณาการเทคโนโลยี IoT ระหว่าง คน สิ่งของ และองค์กร เพื่อช่วยเหลือในการตัดสินใจในกิจกรรมที่มีอยู่ในชีวิตประจำวันและภาคธุรกิจ

Gondchawar and Kawitkar (2016) ได้ศึกษา Internet of Things (IoT) จากการเกษตรอัจฉริยะร่วมกับฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ พบว่า IoT มุ่งเน้นการใช้ประโยชน์จากการเกษตรอัจฉริยะ และการทำงานที่สามารถช่วยในการจัดเก็บข้อมูลโดยใช้การควบคุมระยะไกล เช่น กำจัดวัชพืช, การให้น้ำ และการตรวจจับความชื้น ทำให้ผลผลิตทางการเกษตรให้ดีขึ้น

สรวิศ (2561) ได้ศึกษาความมั่นคงปลอดภัยของ IoT ได้สรุปความสำคัญของ Internet of Things เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากอำนวยความสะดวกและมีประโยชน์อย่างกว้างขวาง หากผู้ใช้ไม่คำนึงถึงความมั่นคงและความปลอดภัย จะทำให้เกิดช่องโหว่ของ IoT เช่น เว็บที่มีระบบลงทะเบียนผู้ใช้ไม่รัดกุม ส่งผลให้ข้อมูลอาจถูกขโมย

วิวัฒน์ (2559) ได้ทำการศึกษา เรื่องอินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง (Internet of Things) กับการศึกษา และสรุปได้ว่า Internet of Things เป็นแนวคิดที่สร้างมูลค่าเพิ่มทางด้านการใช้เทคโนโลยี โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตให้สามารถเชื่อมต่อกับสิ่งต่าง ๆ ด้วยการควบคุม ตรวจสอบ วิเคราะห์ และประมวลผลข้อมูลสารสนเทศต่างๆ ที่มีอยู่จำนวนมากมาย ให้มนุษย์ได้สามารถใช้ประโยชน์จากสิ่งต่างๆ และปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตของมนุษย์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวก และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้มากขึ้น และเพื่อให้ผู้ใช้งานจะต้องสามารถตรวจสอบ สังเกตการณ์ รายงานนำเสนอ ข้อมูลต่างๆอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาได้และข้อมูลนั้นเป็นข้อมูลทันสมัยในเวลาจริง (Real time) เช่น ผู้ใช้สามารถดูข้อมูลอุณหภูมิความชื้นของห้องนอนผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้ตลอดเวลา

Channe *et al.* (2015) ได้ศึกษาแบบจำลองการเกษตรแบบอัจฉริยะ โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและอธิบายว่า อินเตอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง (Internet of Thing) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถเชื่อมต่อทุกสิ่งทุกอย่างในโลกเข้าด้วยกัน ซึ่งเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่ใช้ในการระบุสิ่งต่าง ๆ โดยอาศัยคลื่นวิทยุ (RFID), เครือข่ายไร้สาย (wireless) และเซ็นเซอร์อื่น ๆ ที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน และเมื่อนำไปใช้กับการเกษตรอัจฉริยะจะทำให้มีผลผลิตที่ดีขึ้น อีกทั้งเป็นการลดต้นทุนของการใช้ปุ๋ย IoT ที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกันนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกในการประมาณการผลิตทั้งหมดของการเพาะปลูก

2.3.1 สถาปัตยกรรมเทคโนโลยี IoT

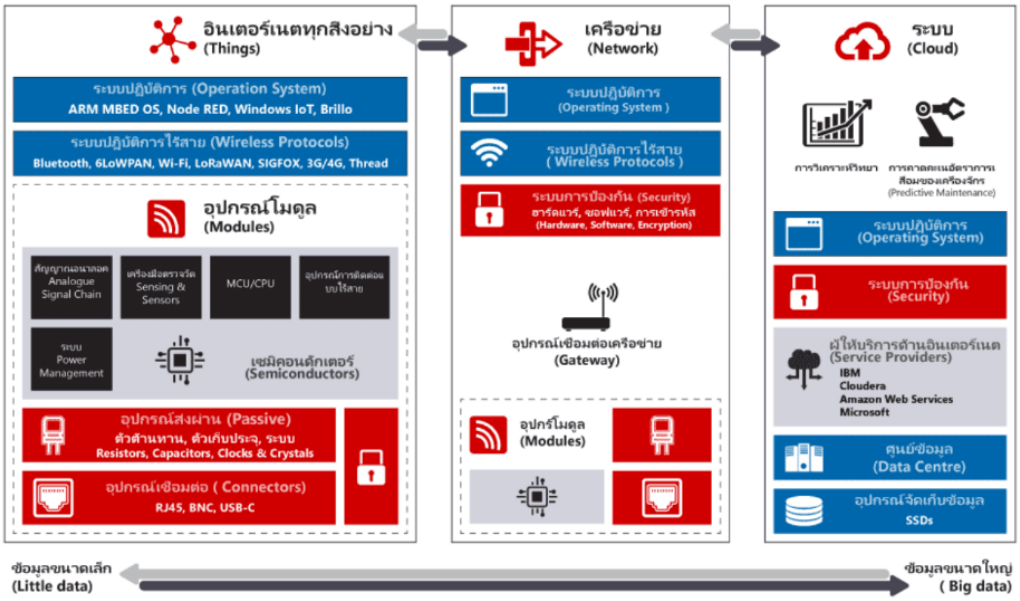
โดยทั่วไปแล้วเทคโนโลยี IoT ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญสามส่วน คือ

1) สิ่งต่าง ๆ (Things) หมายถึง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกต่าง ๆ

2) เครือข่าย (Networks) หมายถึง เส้นทางที่ทำให้อุปกรณ์ส่งข้อมูลสื่อสารกันได้ เช่น เกตเวย์

3) ระบบคลาวด์ (Cloud) หมายถึง การทำงานของเซิร์ฟเวอร์จำนวนมากโดยให้บริการในการประมวลผลจัดเก็บข้อมูล และให้บริการแก่ผู้ใช้งานไม่ต้องติดตั้งซอฟต์แวร์ เพียงแค่มีอินเตอร์เน็ตก็สามารถใช้งานหรือได้รับบริการผ่านระบบคลาวด์ได้

ในการทำงานของ IoT นั้นจะมีการตรวจจับข้อมูลผ่านระบบเซ็นเซอร์ โดยข้อมูลเหล่านั้นจะมีขนาดเล็ก เช่น ข้อมูลทั่วไปขนาดเล็ก เช่น อุณหภูมิ ความเข้มของแสง ระดับความชื้นตำแหน่ง เมื่อถูกส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายขึ้นไประบบคลาวด์ ข้อมูลจะถูกประมวลผลเพื่อช่วยอำนวยการในการตัดสินใจในการทำกิจกรรมต่างๆ ยกตัวอย่าง เช่น ระบบรดน้ำอัตโนมัติสำหรับแปลงผัก จะมีอุปกรณ์เซ็นเซอร์ฝังไว้ในดินเพื่อวัดระดับความชื้น อุณหภูมิ แสง และส่งผ่านข้อมูลเหล่านั้นทางอินเตอร์เน็ตเพื่อไปประมวลผลกับข้อมูลที่มาจากการพยากรณ์อากาศประจำวัน เมื่อได้ผลลัพธ์จากการประมวลผลแล้ว ระบบจะส่งข้อมูลย้อนกลับไปที่แปลงผักเพื่อสั่งให้เปิดปิดวาล์วน้ำ บนพื้นฐานข้อมูลปัจจุบันกับปริมาณน้ำที่เหมาะสม ทำให้ผู้ใช้ประหยัดเวลาและเงินในการรดน้ำต้นไม้ในแต่ละวัน



ภาพที่ 2-4 สถาปัตยกรรมเทคโนโลยี IoT

ที่มา: รัตนาวลี (2560)

2.3.2 โปรโตคอลสำหรับ IoT

ปัจจุบันนี้ยังไม่มีมาตรฐานกลางสำหรับโปรโตคอล IoT โดยให้นักพัฒนาเลือกใช้ตามความเหมาะสม มีภาษาหรือโปรโตคอลที่เกิดขึ้นใหม่จำนวนมาก ที่เหมาะกับ IoT เริ่มตั้งแต่ Wi - Fi หรือ Bluetooth ไปจนถึง LoraWAN™ และ Sigfox ที่เพิ่งได้รับการกำหนดขึ้นใหม่ซึ่งแต่ละอย่างก็จะเหมาะสำหรับการใช้งานที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1) อัตราข้อมูล (Data Rate) – มีปริมาณข้อมูลมากน้อยเพียงใดที่ทำการส่ง

2) การบริโภคพลังงาน (Power Consumption) – ยกตัวอย่างเช่น อุปกรณ์แบบสวมใส่ได้มีอายุการใช้งานแบตเตอรี่น้อย

3) ช่วง (Range)–จำเป็นต้องได้รับการส่งสัญญาณในระยะกี่เมตรหรือกี่กิโลเมตร

4) ความถี่ (Frequency)– มีความถี่ย่านใดบ้างที่พร้อมใช้งานภายในภูมิภาค

รัตนาวลี (2560) กล่าวว่า เทคโนโลยี IoT มีความจำเป็นต้องทำงานร่วมกับอุปกรณ์ประเภท RFID และ Sensors ซึ่งเปรียบเสมือนการเติมสมองให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ขาดไม่ได้คือการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต เพื่อให้อุปกรณ์สามารถรับส่งข้อมูลถึงกันและกันได้ เทคโนโลยี IoT มีประโยชน์หลายด้าน แต่ก็มาพร้อมกับความเสี่ยง เพราะหากระบบรักษาความปลอดภัยของอุปกรณ์และเครือข่ายอินเตอร์เน็ตไม่ดีพอ อาจทำให้มีผู้ไม่ประสงค์ดีเข้ามาขโมยข้อมูลหรือละเมิดความเป็นส่วนตัวได้ ดังนั้นการพัฒนา IoT จึงจำเป็นต้องพัฒนามาตรการและระบบรักษาความปลอดภัยไอทีควบคู่กันไปด้วย นอกจากนี้ในการสร้างอุปกรณ์เพื่อรองรับเทคโนโลยี IoT มีความก้าวหน้าและเพิ่มความสะดวกสบายแก่ผู้ใช้อย่างมาก เช่น Arduino และ Raspberry pi ที่สร้างฟังก์ชั่นในการติดต่อกับอุปกรณ์แบบง่ายสำหรับนักพัฒนาที่ยังมีประสบการณ์น้อยในการพัฒนาแอพพลิเคชั่น

2.4 ข้อมูล NodeMCU ESP8266

2.4.1 ความหมายของ ESP8266

ESP8266 เป็นชื่อเรียกของชิปของโมดูล ESP8266 สำหรับติดต่อสื่อสารบนมาตรฐาน Wi-Fi ทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3.0-3.6 V ทำงานใช้กระแสโดยเฉลี่ย 80 mA รองรับคำสั่ง deep sleep ในการประหยัดพลังงานใช้กระแสน้อยกว่า 10 ไมโครแอมป์ สามารถกลับมาส่งข้อมูลใช้เวลาน้อยกกว่า 2 มิลลิวินาที ภายในมี Low power MCU 32 bit ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมสั่งงานได้ มีวงจร analog digital converter ทำให้สามารถอ่านค่าจาก analog ได้ความละเอียด 10 bit ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40 ถึง 125 องศาเซลเซียส

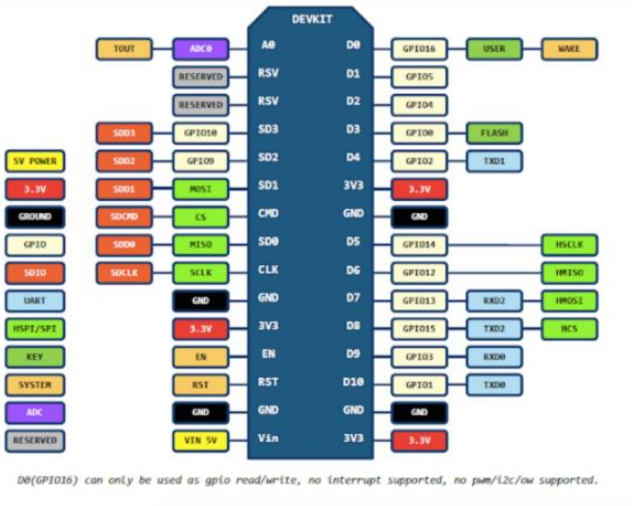
เมื่อนำชิป ESP8266 มาผลิตเป็นโมดูล จะขึ้นต้นด้วย ESP866 แล้วตามด้วยรุ่น เช่น ESP-01, ESP-03, ESP-07, ESP-12E ESP8266 ติดต่อกับ Wi-Fi แบบ Serial สามารถเขียนโปรแกรมลงไปในชิปโดยใช้ Arduino IDE ได้ สามารถติดต่ออุปกรณ์และเซนเซอร์ต่าง ๆ ได้ โมดูล ESP8266 มีหลายรุ่น โครงสร้างและขาที่ใช้งานจะมีลักษณะคล้ายกัน คือ

- GPIO0 เป็นขาสำหรับเลือกโหมด โดยเมื่อต่อกับ GND จะเข้าโหมดโปรแกรม เมื่อต้องการให้ทำงานปกติก็ไม่ต้องต่อ
- GPIO15 เป็นขาที่ต้องต่อลง GND เพื่อให้โมดูลทำงาน
- CH_PD หรือ EN เป็นขาที่ต้องต่อไฟ VCC เพื่อ pull up สัญญาณ ให้โมดูลทำงาน โมดูลบางรุ่นไม่มีขา Reset มาให้ เมื่อต้องการรีเซต ให้ต่อขา CH_PD กับ GND
- Reset ต่อกับไฟ VCC เพื่อ pull up สัญญาณ โดยเมื่อต้องการรีเซต ให้ต่อกับไฟ GND
- VCC เป็นขาสำหรับจ่ายไฟเลี้ยง ใช้ไฟเลี้ยง 3.0-3.6 V
- GND ต่อกับไฟ 0V
- GPIO เป็นขาดิจิตอล INPUT/OUTPUT ทำงานที่ไฟ 3.3 V
- ADC เป็นขา Analog INPUT รับแรงดันสูงสุด 1 V ความละเอียด 10bit หรือ 1024 ค่า

ในการเขียนโปรแกรมให้สังเกตโครงสร้างและขาต่าง ๆ นี้ แล้วต่อให้ครบเท่าที่มีขาให้ต่อจึงจะสามารถโปรแกรม ESP8266 ได้ทุกรุ่น โมดูล ESP8266 รุ่นที่นิยมเช่น ESP-01, ESP-03, ESP-07, ESP-12E นอกจากนี้ยังมีบอร์ด ESP8266 ที่รวมวงจร USB TTL เข้าไปทำให้โปรแกรมกับ Arduino ได้ง่ายขึ้น เช่น NodeMCU, Wemos D1 และ Wemos mini

2.4.2 บอร์ด ESP8266 NodeMCU V2

NodeMCU V2 เป็น ESP8266-12E รวมกับ USB TTL ที่ใช้ชิป CP2102 และขยายขาให้สามารถต่อทดลองได้ง่ายขึ้น มีปุ่ม reset และ flash สำหรับใช้โปรแกรม โดยใช้ Arduino IDE หรือโปรแกรมอื่น ๆ ได้อย่างสะดวก



ภาพที่ 2-5 บอร์ด ESP8266 NodeMCU V2
ที่มา: ทวีป และคณะ (2559)

2.5 ข้อมูลและโครงสร้างภาษาที่ใช้เกี่ยวกับ ARDUINO

2.5.1 ข้อมูลเกี่ยวกับ Arduino

เนื่องจาก Arduino เป็นภาษาอิตาลีซึ่งมีสำเนียงการอ่านออกเสียงเป็นรูปแบบเฉพาะและยังไม่มีการกำหนดคำภาษาไทยขึ้นมาอย่างเป็นทางการ ถึงแม้ว่า Arduino จะเป็นที่รู้จักของคนไทยมาระยะเวลาหนึ่งแล้วก็ตามที แต่ก็ยังไม่มีคำอ่านที่เป็นภาษาไทยอย่างเป็นทางการ ดังนั้นจึงใช้การทับศัพท์ตามชื่อเรียกที่เขียนเป็นภาษาอังกฤษเป็น Arduino (อวิรุธ และ นครภักดีชาติ, 2537)

Arduino มีจุดเด่นในเรื่องของความง่ายในการเรียนรู้และการใช้งาน เนื่องจากมีการออกแบบคำสั่งต่าง ๆ ขึ้นมาสนับสนุนการใช้งานด้วยรูปแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อนถึงแม้ว่า Arduino เองจะมีรูปแบบการใช้งานคล้าย ๆ กันกับไมโครคอนโทรลเลอร์อย่าง Basic Stamp ของ Parallax, BX-24 ของ Netmedias และ

Handy Board ของ MIT แต่ก็มีจุดเด่นกว่าของรายการอื่น ๆ หลายอย่าง อีกทั้งมีราคาไม่แพง เนื่องจาก Code คำสั่งมีแจกฟรี สามารถต่อวงจรขึ้นมาใช้งานได้เอง โปรแกรมที่พัฒนาของ Arduino รองรับการทำงานทั้ง Windows, Linux และ Macintosh OSX มีรูปแบบคำสั่งที่ง่ายต่อการใช้งานแต่สามารถนำไปใช้งานจริงที่มีความซับซ้อนมาก ๆ ได้ และยังสามารถสร้างคำสั่ง Library ใหม่ๆขึ้นมาใช้งานเองได้เมื่อมีความชำนาญมากขึ้นแล้ว มีการเปิดเผยวงจรและ Code คำสั่งทั้งหมดทำให้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพิ่มเติมได้

2.5.2 Hardware และ Software ของ Arduino

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ AVR ขนาดเล็กเป็นตัวประมวลผลและสั่งงานเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการศึกษาเรียนรู้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์และนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมอุปกรณ์ Input/ Output ต่าง ๆ ได้มากมายทั้งในแบบที่เป็นการทำงานตัวเดียวอิสระหรือเชื่อมต่อสั่งงานร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น คอมพิวเตอร์ PC ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากว่า Arduino สนับสนุนการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Input / Output ต่าง ๆ ได้ มากมายทั้งแบบ Digital และ Analog เช่นการรับค่าจากสวิตช์หรืออุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) แบบต่าง ๆ รวมไป ถึงการควบคุมอุปกรณ์ Output ต่าง ๆ ตั้งแต่ LED, หลอดไฟ, มอเตอร์, รีเลย์ ฯลฯ โดยระบบฮาร์ดแวร์ของ Arduino สามารถสร้างและประกอบขึ้นใช้งานได้เองในกรณีที่ผู้ใช้พอมีความรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์อยู่บ้างหรือ สามารถซื้อแผงวงจรสำเร็จรูปที่มีการผลิตออกจำหน่ายกันในราคาที่ไม่แพงสำหรับเรื่องของโปรแกรมที่จะใช้เป็น เครื่องมือในการพัฒนานั้นสามารถ Download มาใช้งานกันได้ฟรีโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใด ๆ โดย Arduino มีจุดเด่น ในเรื่องของความง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรมและมีเอกสารข้อมูลรวมทั้งตัวอย่างต่าง ๆ ให้ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาเรียนรู้เป็นจำนวนมาก (โอภาส, 2537)

2.5.3 ภาษาที่ใช้กับ Arduino

โปรแกรมภาษาของ Arduino จะใช้ภาษา C++ ซึ่งเป็นรูปแบบของโปรแกรมภาษาซีประยุกต์แบบหนึ่งที่มี โครงสร้างของตัวภาษาโดยรวมใกล้เคียงกันกับภาษาซีมาตรฐาน (ANSI-C) อื่น ๆ เพียงแต่ได้มีการปรับปรุงรูปแบบในการเขียนโปรแกรมบางส่วนที่ผิดเพี้ยนไปจาก ANSI-C เล็กน้อยเพื่อช่วยลดความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรม และให้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถเขียนโปรแกรมได้ง่ายและสะดวกมากขึ้นกว่าการเขียนภาษาซีตามแบบมาตรฐาน ของ ANSI-C โดยตรง (รัตนาวลี, 2560)

2.6 Line Notify

Line Notify เป็นบริการและช่องทางที่ถูกต้อง สามารถส่งข้อความ การแจ้งเตือนต่าง ๆ ไปยัง Account ของผู้ใช้เองได้ ผ่านการใช้ API ซึ่งเรียกผ่าน HTTP POST แบบง่ายๆ ข้อจำกัดของ LINE Notify คือ สามารถส่งแจ้งเตือนได้เฉพาะผู้ที่ขอใช้ หรือกลุ่มที่ผู้ขอใช้เป็นสมาชิกเท่านั้น ไม่สามารถส่งข้อความเข้าห้องสนทนาของเพื่อนๆ ได้ หากต้องการให้สามารถส่งข้อความหาใครก็ได้ ผู้ใช้ต้องใช้ LINE Bot API แทน (รัตนาวลี, 2560)

2.7 Google Sheet

Google Sheets เป็นหนึ่งใน Google Apps โดยมีลักษณะการทำงานคล้ายๆ กับสเปรตชีตในโปรแกรม Microsoft Excel มีการสร้างคอลัมน์และแถว สามารถใส่ข้อมูลลงไปในเซลล์เพื่อคำนวณสูตรต่าง ๆ ได้ และถูกใช้งานบนเว็บไซต์ได้จากทุกที่แบบออนไลน์ผู้ใช้งานไม่ต้องติดตั้งที่เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยไฟล์ที่สร้างขึ้นจะถูกบังคันทึกเก็บไว้ที่เซิร์ฟเวอร์ของ Google ทำให้สามารถเปิดใช้งานได้จากทุกที่ไม่ว่าจะอยู่ที่ใด แต่เครื่องมือสำคัญคือเว็บเบราว์เซอร์ (Web browser) และการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (มีทางเลือกสำรองเป็นรูปแบบออฟไลน์ ซึ่งใช้ได้บางฟังก์ชัน) นอกจากนี้ยังสามารถดาวน์โหลดหรือนำออก (export) มาใช้งานกับโปรแกรม Microsoft Excel ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้งานได้อีกด้วย ช่วยให้การทำงานสะดวกสบายยิ่งขึ้น และที่สำคัญสามารถใช้งานได้โดยไม่เสียค่าธรรมเนียม เพียงล็อกอินเข้าใช้งานในเว็บไซต์ Google และหากบุคลากรใช้บัญชี Google เวอร์ชั่นเพื่อการศึกษา (หรือที่รู้จักกันในนาม Google Apps for Education) ที่มหาวิทยาลัยได้ทำความร่วมมือกับ Google ยังสามารถจัดเก็บไฟล์ได้ไม่จำกัดปริมาณขนาดพื้นที่อีกด้วย (อาพร และ ทัดทอง, 2563)

บทที่ 3
เครื่องมือ อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการศึกษาวิจัย ประกอบด้วย

1) ดินตัวอย่าง 3 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 ดินทราย, ชุดที่ 2 ดินร่วน และชุดที่ 3 ดินเหนียว
2) อุปกรณ์สำหรับทำการทดลอง
   2.1) ขวดแก้วพร้อมฝาปิดสนิท (ภาพที่ 3-1)
   2.2) บีกเกอร์ขนาด 500 ml
   2.3) กระบอกตวงขนาด 1000 ml (ภาพที่3-2)

ภาพที่ 3-1 ขวดแก้วสำหรับใส่ดิน

ภาพที่ 3-2 กระบอกตวงขนาด 1000 ml

   2.4) แท่งแก้วคนสาร
   2.5) เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ
   2.6) Soil Dispersion Mechanical Mixer with Dispersion Cup (ภาพที่ 3-3)
   2.7) ไฮโดรมิเตอร์ (Soil Hydrometers) (ภาพที่ 3-4)
   2.8) เครื่องชั่ง (ภาพที่ 3-5)
   2.9) ตะแกรงเบอร์ 10 (2.00 ม.ม.)
   2.10) ถาดใส่ดิน
   2.11) น้ำกลั่น
3) สารส่งเสริมการกระจายของของอนุภาคดิน (Dispersing agent) Calgon solution 5%
4) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide : H_2O_2 3% w/v)
5) เซนเซอร์วัดความชื้นในดินแบบ Capacitive (Capacitive Soil Moisture Sensor) (ภาพที่ 3.6)

ภาพที่ 3-3 Soil Dispersion Mechanical Mixer with Dispersion Cup

ภาพที่ 3-4 ไฮโดรมิเตอร์ (Soil Hydrometers)

ภาพที่ 3-5 เครื่องชั่ง

ภาพที่ 3-6 Capacitive Soil Moisture Sensor

6) บอร์ด ESP8266 NodeMCU V2 (ภาพที่3-7)

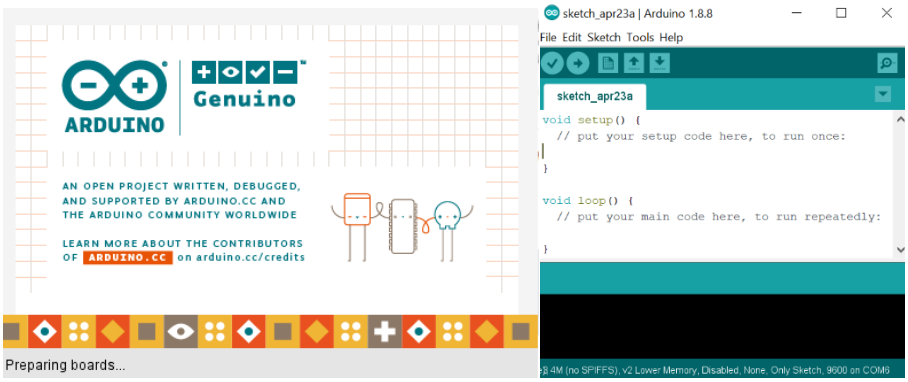
a) รูปด้านบน

b) รูปด้านล่าง

c) รูปด้านข้าง

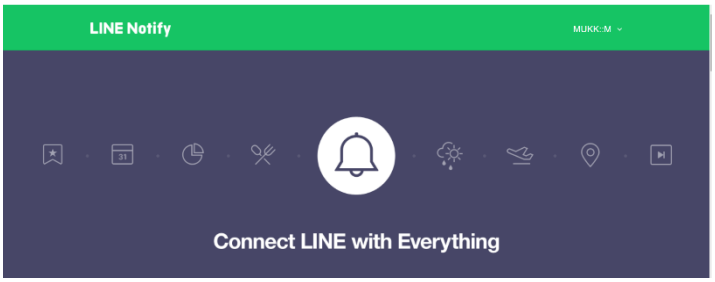
ภาพที่ 3-7 บอร์ด ESP8266 NodeMCU V2

7) โปรแกรม Arduino (ภาพที่ 3-8)



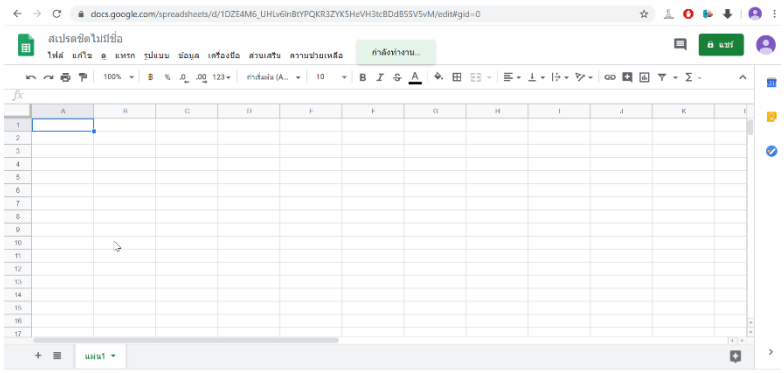
ภาพที่ 3-8 โปรแกรม Arduino-1.8.8-windows

8) แอพลิเคชั่น Line Notify (ภาพที่ 3-9)



ภาพที่ 3-9 แอพลิเคชั่น Line Notify

9) Google Sheet (ภาพที่ 3-10)



ภาพที่ 3-10 Google Sheet

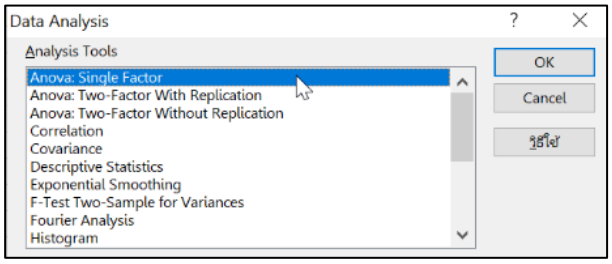
3.2 วิธีการดำเนินการ

3.2.1 ทดสอบความแตกต่างของ Capacitive Soil Moisture Sensor

1) ต่อเซ็นเซอร์กับตัวบอร์ด ESP8266 NodeMCU V2 จากนั้นดาวน์โหลด Code ความชื้นในดินจากเว็บไซต์ https://gist.github.com/penpencool/88190bc4540e334eeef6e2e9b43ea8fc แล้วจึงสามารถนำเซ็นเซอร์มาทำการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่3-11 โดยนำดินทรายแห้งใส่ภาชนะจากนั้นนำเซ็นเซอร์แต่ละตัวมาทำการตรวจวัดค่าโดยปักลงในดินทรายแห้งจนถึงคอของเซ็นเซอร์ ซึ่งค่าที่อ่านได้จะเป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้า ทำการทดสอบเซ็นเซอร์ทั้ง 23 ตัว ตัวละ 10 ครั้ง และบันทึกผล

ภาพที่ 3-11 ทำการทดสอบเซ็นเซอร์ทั้ง 23 ตัว ตัวละ 15 ครั้ง

2) ทดสอบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยสัญญาณทางไฟฟ้าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์แต่ละตัว โดยนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 โดยใช้เครื่องมือ Data Analysis ใน Microsoft Excel และเลือกการทดสอบเป็นแบบ ANOVA: Single Factor ดังแสดงในภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-12 การทดสอบความแตกต่างของ Capacitive Soil Moisture Sensor โดยวิเคราะห์แบบ ANOVA: Single Factor

3.2.2 การปรับเทียบค่าความชื้นในดินกับ Capacitive Soil Moisture Sensor

1) ทำการแยกประเภทอนุภาคเม็ดดินของดินแต่ละชุดโดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงกลโดยไฮโดรมิเตอร์ รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวกที่ ข

2) ทำการประมาณค่าความชื้นที่จุดอิ่มตัว (Saturate Point: SAT) ค่าความชื้นชลประทาน (Field Capacity: FC) และค่าความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point: PWP) และกำหนดค่าความชื้นที่จุดวิกฤติ (Critical Point: CP) ของดินแต่ละชุด โดยวิธี Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture (Saxton *et al*., 1986)

3) การปรับเทียบ (Calibrate) แบ่งการทดสอบเป็น 3 ชุด โดย

ชุดที่ 1 : ทำการทดสอบที่ความชื้นทั้งหมด 13 ค่า ค่าละ 5 แก้วการทดลอง

ชุดที่ 2 : ทำการทดสอบที่ความชื้นทั้งหมด 12 ค่า ค่าละ 5 แก้วการทดลอง

ชุดที่ 3 : ทำการทดสอบที่ความชื้นทั้งหมด 10 ค่า ค่าละ 1 แก้วการทดลอง

3.1) เริ่มต้นการทดสอบกับดินตัวอย่างทั้งสามชนิดโดยการนำดินไปเข้าตู้อบ ที่อุณหภูมิ 105 ° ซ. เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 24 ชม. เพื่อให้ดินแห้ง โดยสมมติว่าดินมีความชื้นที่ 0%

3.2) จากขั้นตอนการแยกประเภทดินจะทำให้ทราบค่าความชื้นที่จุด FC, PWP, CP และ SAT จากนั้นจึงแบ่งช่วงชั้นความชื้นในดินเป็นช่วง ๆ อาทิ กรณีดินชุดที่ 1 (ดินทราย) มี PWP เท่ากับ 8.56% และ SAT เท่ากับ 39.64% จึงเริ่มการทดลองโดยกำหนดความเริ่มต้นไว้ที่ 8% และแบ่งช่วงชั้นความชื้นในดินเป็นช่วง ๆ เพื่อทำการเติมน้ำลงไปในดินแล้วจึงอ่านค่าสัญญาณทางไฟฟ้าจากเซนเซอร์ทีละช่วง จนกระทั่งความชื้นในดินถึงจุด SAT ที่ 40%

3.3) จากขั้นตอนที่ 2) เมื่อกำหนดช่วงความชื้นในดินแต่ละช่วงที่จะทำการทดสอบแล้ว จึงทำการชั่งดินที่อบจากขั้นตอนที่ 3.1) ปริมาณ 1,000 กรัม (ดังแสดงในภาพที่ 3-13) จากนั้นเติมน้ำให้มีความชื้นเริ่มต้นตามที่กำหนด อาทิ ดินชุดที่ 1 กำหนดความชื้นเริ่มต้น 8% จึงเติมน้ำปริมาตร 80 ml จากนั้นผสมคลุกเคล้าน้ำกับดินให้ทั่วถึงกันแล้วจึงตักแบ่งลงขวดแก้วที่เตรียมไว้จำนวน 5 ใบ (ดังแสดงในภาพที่ 3-14)

ภาพที่ 3-13 ชั่งดินปริมาณ 1,000 กรัม

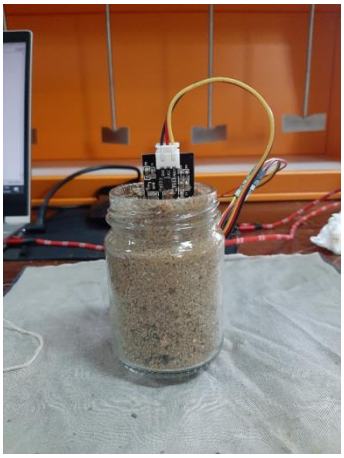
a) ชั่งแก้ว

b) เติมน้ำ

c) บรรจุดินลงขวดแก้วจำนวน 5 ใบ

ภาพที่ 3-14 ขั้นตอนการทดลองโดย a) ชั่งแก้ว b) เติมน้ำ c) บรรจุดินลงขวดแก้วจำนวน 5 ใบ

3.4) ใช้เซ็นเซอร์ปักลงในดินจนถึงระดับคอของเซ็นเซอร์ บันทึกค่าทางไฟฟ้าที่อ่านได้ 5 ครั้ง ในแต่ละแก้ว จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักบันทึกผลโดยชั่งแก้วจำนวน 5 ใบ ใบละ 3 ครั้ง แล้วใช้ค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นน้ำหนักดินที่มีความชื้น (ดังแสดงในภาพที่ 3-15)



ภาพที่ 3-15 การนำเซ็นเซอร์มาปักลงในดิน จนถึงระดับคอของเซ็นเซอร์

3.5) หลังจากบันทึกผลเสร็จแล้วจึงนำแก้วที่บรรจุดินที่มีความชื้นไปเข้าตู้อบ อุณหภูมิ 105° ซ. เป็นเวลา 24 ชม. แล้วนำมาชั่งน้ำหนักแก้วจำนวน 5 ใบ ใบละ 3 ครั้ง แล้วใช้ค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นน้ำหนักดินแห้ง โดยค่าความชื้นในดินเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้งคำนวณได้จากสมการที่ 1

3.6) ทำเช่นเดิมกับขั้นตอนที่ 3.3) – 3.5) กับดินที่ความชื้นจุดอื่น ๆ จนไปถึงจุด SAT และทำซ้ำอีกครั้งกับดินชุดที่ 2 (ดินร่วน)

3.7) ในกรณีของดินชุดที่ 3 ซึ่งเป็นดินเหนียว ใช้วิธีในทางกลับกันคือ กำหนดจุด SAT ที่ได้มาจากขั้นตอนข้างต้น แล้วนำไปเข้าตู้อบครั้งละ 2-3 ชม. แล้วนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าความชื้นในดิน จากนั้นวัดค่าสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยเซ็นเซอร์ ทำซ้ำจนกว่าจะถึงจุด PWP จากนั้นจึงนำไปอบอุณหภูมิ 105° ซ. เป็นเวลา 24 ชม. แล้วนำมาชั่งน้ำหนักดินแห้งจากแก้วจำนวน 5 ใบ ใบละ 3 ครั้ง แล้วใช้ค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นน้ำหนักดินแห้ง

3.8) พล็อตกราฟหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณทางไฟฟ้าของเซ็นเซอร์วัดความชื้นกับค่าความชื้นในดิน

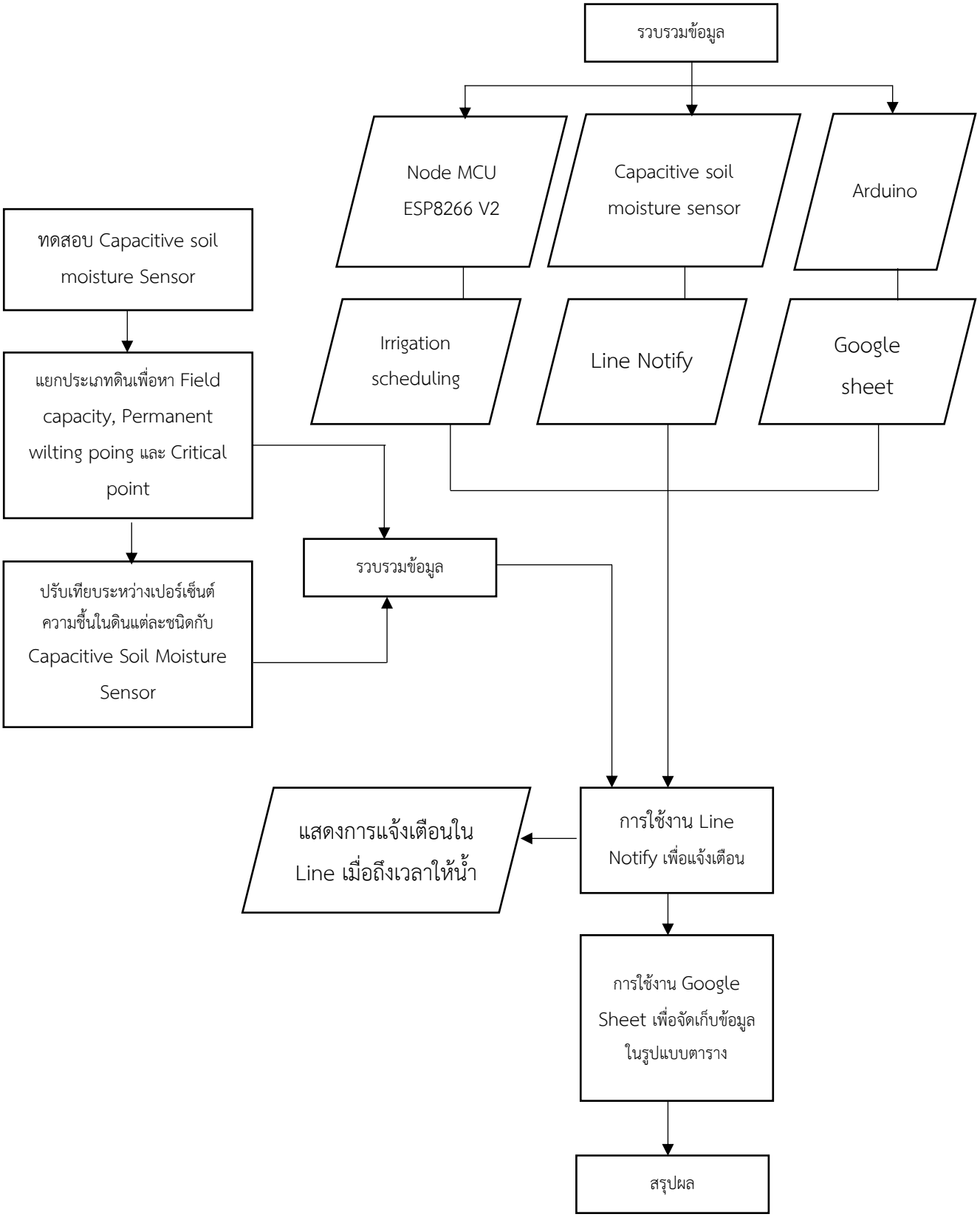
3.2.3 การใช้งาน Google Sheet และ Line Notify

Google Sheets ใช้ในการแสดงค่าความชื้นในดินในรูปแบบของตารางเป็นโปรแกรม คล้ายกับ Microsoft Excel ซึ่ง Google Sheets นี้จะถูกใช้งานบนเว็บไซต์ได้จากทุกที่ ทำให้เปิดใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา จึงเหมาะเป็นแหล่งในการเก็บความชื้นในดินแบบเรียลไทม์ ทั้งนี้จะทำงานร่วมกับ โปรแกรม Arduino IDE และตัวเซ็นเซอร์วัดความชื้นไปยัง ตัวแสดงค่า Google Sheets

Line Notify จะเป็นตัวคอยแจ้งเตือนสถานะของความชื้นในดินเมื่อความชื้นในดินต่ำกว่าจุดความชื้นวิกฤติ (CP) โดยจะทำงานร่วมกับ Google sheets โปรแกรม Arduino IDE และเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน

หมายเหตุ: วิธีการดำเนินการขั้นตอน 3.2.3 อย่างละเอียด สามารถดูได้จากภาคผนวกที่ ช และ ซ

สำหรับขั้นตอนการดำเนินการทั้งหมด สามารถเขียนเป็นแผนผังการดำเนินงานได้ ดังนี้



ภาพที่ 3-16 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 1) ผลการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของ Capacitive Soil Moisture Sensor, 2) ผลการทดสอบเนื้อดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นดินที่ควรให้น้ำ, 3) ผลการทดสอบปรับเทียบ Capacitive Soil Moisture Sensor กับค่าความชื้นในดิน และ 4) ผลการทดสอบเก็บข้อมูลความชื้นในดินและการแจ้งเตือนผ่าน LINE Application ดังรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของ Capacitive Soil Moisture Sensor

ทดสอบ Capacitive Soil Moisture Sensor โดยการวัดค่าทางไฟฟ้าของดินทรายแห้ง (สมมติให้เป็นดินที่ไม่มีความชื้น) โดยใช้เซ็นเซอร์จำนวน 23 ตัว ตรวจวัดตัวละ 15 ครั้ง พบว่ามีเซ็นเซอร์จำนวน 2 ตัวที่อ่านค่าผิดปกติ จึงถือว่านำมาใช้งานไม่ได้ จากนั้นนำค่าทางไฟฟ้าของเซ็นเซอร์จำนวน 21 ตัวนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยมีสมมติฐานดังนี้

H_0 = ค่าเฉลี่ยของค่าทางไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จาก Capacitive Soil Moisture Sensor ทั้ง 21 ตัว มีค่าไม่แตกต่างกัน (μ_1=μ_2=μ_3=...=μ_{21})

H_1 = ค่าเฉลี่ยของค่าทางไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จาก Capacitive Soil Moisture Sensor ทั้ง 21 ตัว มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ ($\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq ... \neq \mu_{21}$)

ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4-1 พบว่า ค่า F ที่คำนวณได้ มีค่าเท่ากับ 396.89 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ F (F Critical) ซึ่งมีค่า 1.61 จึงปฏิเสธ H_0 หมายถึง ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าทางไฟฟ้าของ Capacitive Soil Moisture Sensor มีอย่างน้อย1 คู่ ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 4-1 ผลการทดสอบ One-Way ANOVA ของ Capacitive Soil Moisture Sensor

สาเหตุความแปรปรวน	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*F crit*
ระหว่างกลุ่ม	20598.67	20.00	1029.93	396.89	1.61
ในกลุ่ม	762.93	294.00	2.60		
รวมทั้งหมด	21361.60	314.00			

4.2 ผลการทดสอบไฮโดรมิเตอร์ เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นดินที่ควรให้น้ำ

จากผลทดการทดสอบเนื้อดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์เพื่อหาสัดส่วนอนุภาค Sand, Silt และ Clay ของดินสามชนิดที่แตกต่างกัน ได้ผลการทดสอบดังนี้

ดินชนิดที่ 1 พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์อนุภาค Sand, Silt และ Clay เท่ากับ 87.84% , 2.08% และ 10.08% ตามลำดับ นำไปเทียบตารางสามเหลี่ยมดินพบว่าดินชนิดที่ 1 เป็นดินทรายปนร่วน (Loamy Sand)

ดินชนิดที่ 2 พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์อนุภาค Sand, Silt และ Clay เท่ากับ 30.64%, 35.44% และ 33.92% ตามลำดับ นำไปเทียบตารางสามเหลี่ยมดินพบว่าดินชนิดที่ 2 เป็นดินร่วนเหนียว (Clay Loam)

ดินชนิดที่ 3 พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์อนุภาค Sand, Silt และ Clay เท่ากับ 10.84%, 23.80% และ 65.36% ตามลำดับ นำไปเทียบตารางสามเหลี่ยมดินพบว่าดินชนิดที่ 3 เป็นดินเหนียว (Loam)

จากนั้น นำค่าเปอร์เซ็นต์อนุภาค Sand, Silt และ Clay ของดินแต่ละชนิดไปประมาณค่าความชื้นที่จุด Field Capacity จุด Permanent Wilting Point และ จุด Saturated ด้วยวิธีของ Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture (Saxton *et al.,* 1986) ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 เปอร์เซ็นต์ความชื้นดินที่จุดต่าง ๆ ของดินตัวอย่างทั้งสามชนิด

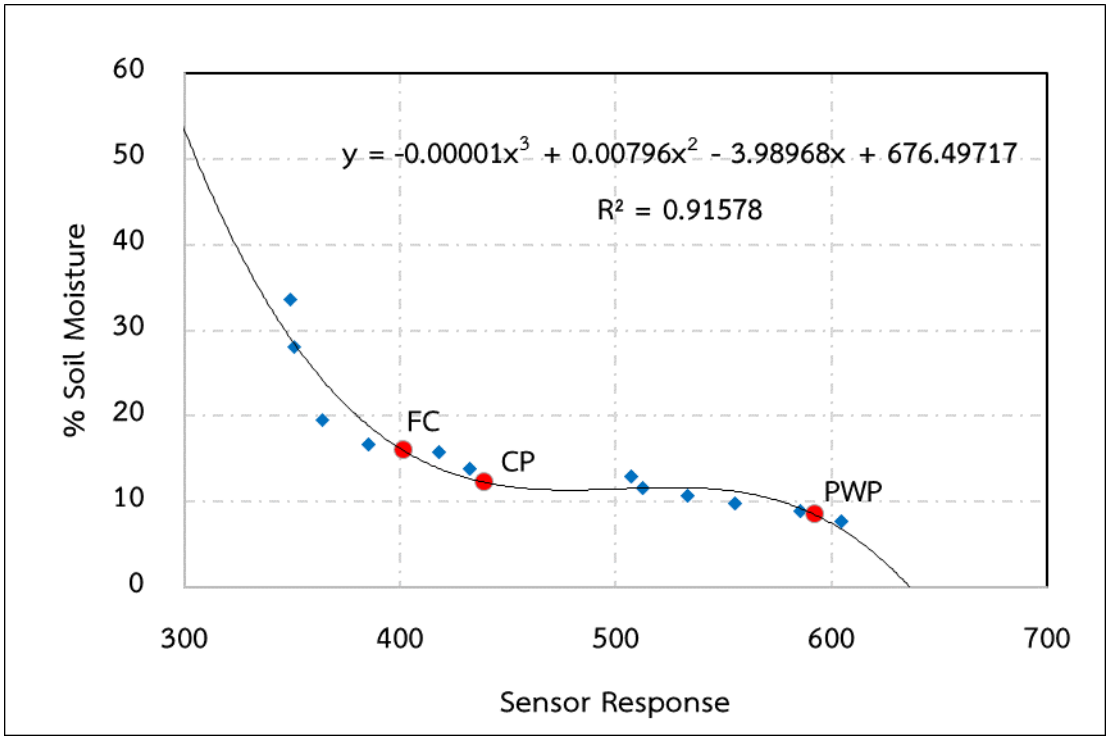
ความชื้นในดิน	**เปอร์เซ็นต์ความชื้นดิน**		
	ดินชนิดที่ 1 (ดินทรายปนร่วน)	**ดินชนิดที่ 2 (ดินร่วนเหนียว)**	**ดินชนิดที่ 3 (ดินเหนียว)**
Permanent wilting point	8.58	18.85	38.92
Critical Point	12.31	25.92	45.61
Field capacity	16.04	32.99	52.29
Saturated	39.64	50.50	55.58

4.3 ผลการปรับเทียบ Capacitive Soil Moisture Sensor กับค่าความชื้นในดิน

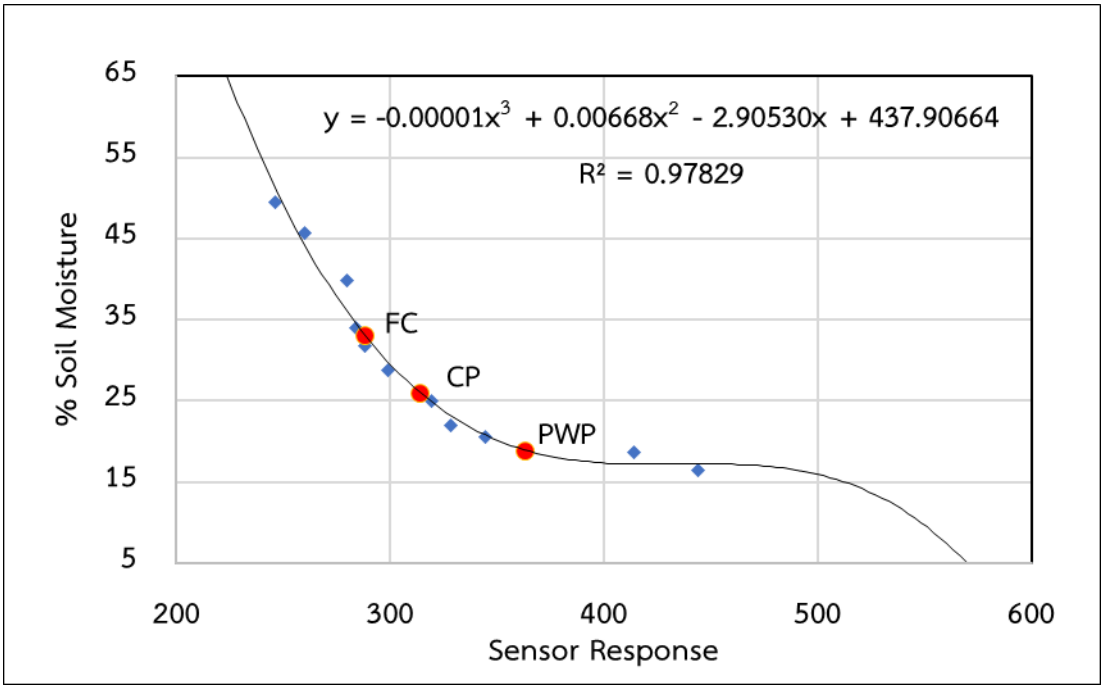
ผลการทดสอบการปรับเทียบ Capacitive Soil Moisture Sensor กับค่าความชื้นในดิน โดยอ่านค่าทางไฟฟ้าจาก Capacitive Soil Moisture Sensor เทียบกับค่าความชื้นดินที่คำนวณด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Sampling) ทำการทดสอบที่ระดับความชื้นเดียวกันจำนวน 5 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยทดสอบที่ระดับความชื้นที่แตกต่างกันประมาณ 10-12 ค่า ดังตารางที่ 4.3 จากนั้นนำมาวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Analysis) หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าจาก Capacitive Soil Moisture Sensor กับความชื้นในดิน ซึ่งอยู่ในรูปสมการโพลีโนเมียลกำลังสาม โดยสมการที่ได้จะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในระดับที่สูง (R^2 มากกว่า 0.9) ดังแสดงในภาพที่ 4-1 ภาพที่ 4-2 และภาพที่ 4-3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-3 ค่าปรับเทียบ Capacitive Soil Moisture Sensor กับความชื้นในดินของดินตัวอย่างทั้งสามชนิด

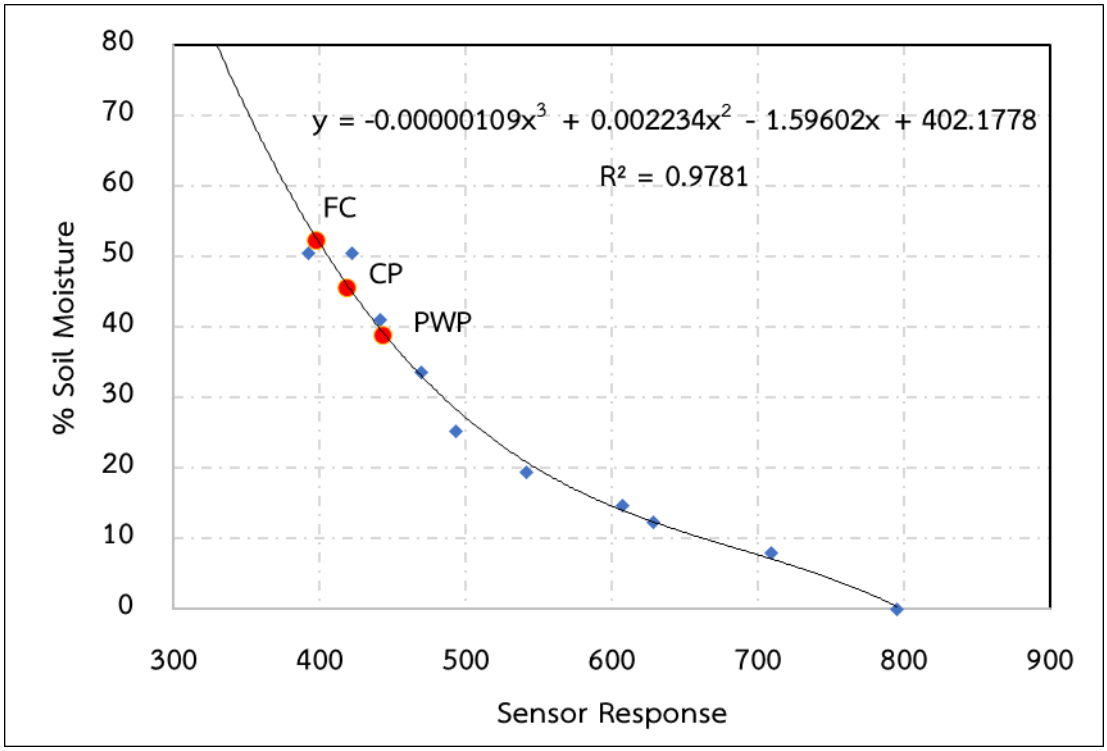
ครั้งที่	ดินชนิดที่1 (ดินทรายปนร่วน)		ดินชนิดที่ 2 (ดินร่วนเหนียว)		ดินชนิดที่ 3 (ดินเหนียว)	
	เปอร์เซ็นต์ความชื้น	ค่าจากเซ็นเซอร์	เปอร์เซ็นต์ความชื้น	ค่าจากเซ็นเซอร์	เปอร์เซ็นต์ความชื้น	ค่าจากเซ็นเซอร์
0	0	636.715	0	585.051	0	794.8
1	7.801	604.56	16.433	444.32	8.05	709.2
2	8.912	585.48	18.65	414.16	12.39	628.5
3	9.807	555.6	20.55	344.4	14.63	607.4
4	10.728	533.28	21.98	328.28	19.52	541.6
5	11.636	512.24	24.922	319.12	25.22	493
6	12.95	507.48	28.712	299.04	33.52	469.8
7	13.862	432.52	31.825	288.32	41.03	441.8
8	15.741	417.96	33.981	284.32	50.55	422.2
9	16.741	385.6	39.749	279.92	50.53	392.2
10	19.549	364	45.609	260.16		
11	28.005	351.04	49.417	246.24		
12	33.644	349.12				



ภาพที่ 4-1 กราฟแสดงผลการปรับเทียบค่าตรวจวัดจากเซ็นเซอร์กับดินชนิดที่ 1 (ดินทรายปนร่วน)



ภาพที่ 4-2 กราฟแสดงผลการปรับเทียบค่าตรวจวัดจากเซ็นเซอร์กับดินชนิดที่ 2 (ดินร่วนเหนียว)



ภาพที่ 4-3 กราฟแสดงผลการปรับเทียบค่าตรวจวัดจากเซ็นเซอร์กับดินชนิดที่ 3 (ดินเหนียว)

จากผลการปรับเทียบ Capacitive Soil Moisture Sensor กับความชื้นในดิน จะอยู่ในรูปสมการโพลีโนเมียลกำลังสาม ดังนี้

- ดินชนิดที่ 1 (ดินทรายปนร่วน) $y = -0.00001x^3+0.00796x^2-3.98968x+676.49717$ ($R^2 = 0.91578$)
- ดินชนิดที่ 2 (ดินร่วนเหนียว) $y = -0.00001x^3+0.00668x^2-2.90530x+437.90664$ ($R^2 = 0.97829$)
- ดินชนิดที่ 3 (ดินเหนียว) $y = -0.00000109x^3+0.00224x^2-1.59602x+402.17782$ ($R^2 = 0.97814$)

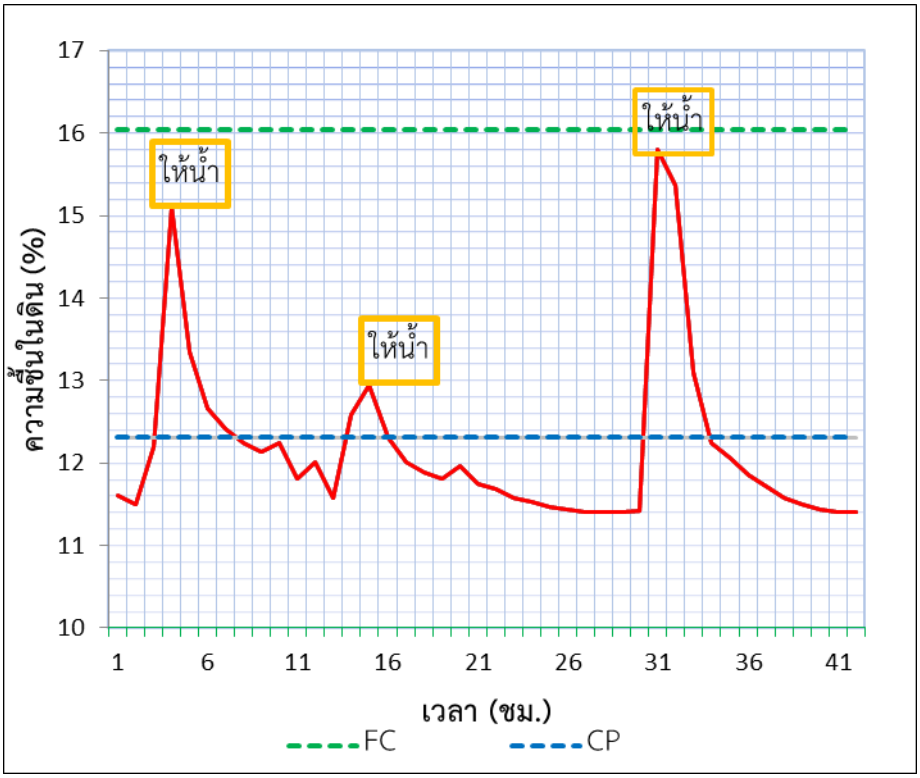
จากผลการปรับเทียบดังกล่าว เปรียบเทียบรูปแบบสมการงานวิจัยอื่น ๆ ดังแสดงใรตารางที่ 4.4 ผู้ทดลองเลือกทำการเปรียบเทียบสมการความสัมพันธ์การตอบสนองของตัวเซ็นเซอร์ (x) กับความชื้นดิน (y) ในพื้นที่ร่ม (26 ° C) สำหรับภาชนะขนาดใหญ่ เมื่อลองแทนค่าการตอบสนองของตัวเซ็นเซอร์ของดินชนิดที่ 1 (ดินทรายปนร่วน) และ ชนิดที่ 2 (ดินร่วนเหนียว) พบว่าค่าความชื้นดินที่ได้ออกมาจากทั้งสองสมการมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นดินชนิดที่3 (ดินเหนียว)

ตารางที่ 4-4 ตารางเปรียบเทียบผลงานวิจัยอื่นๆ

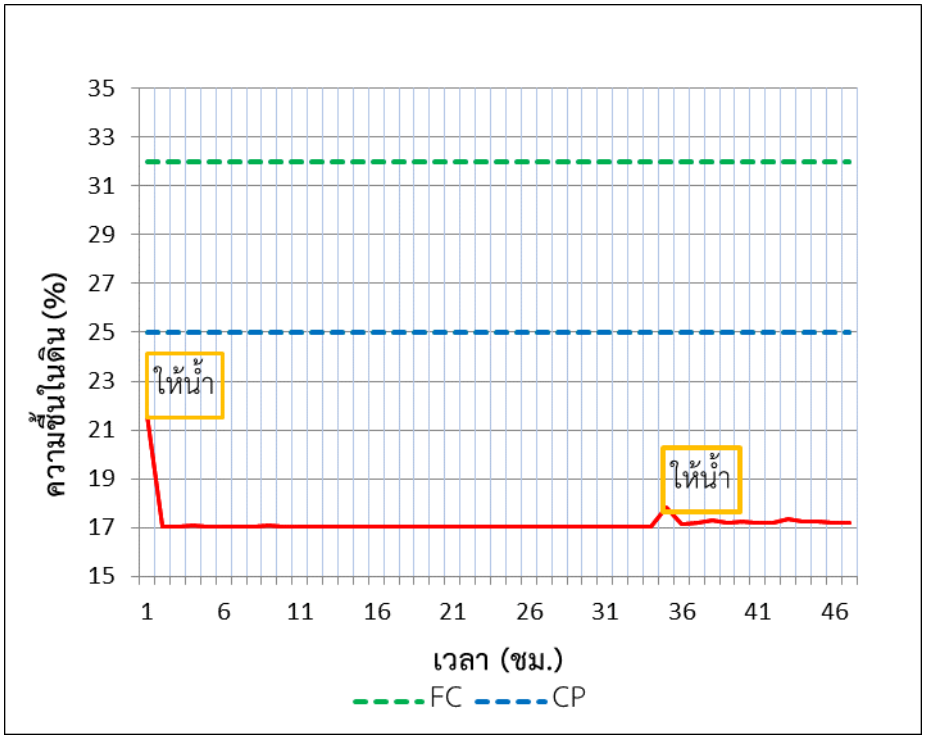
ชื่อผู้วิจัย	ชื่องานวิจัย	ผลที่ได้ศึกษา
Radi *et al.* (2018)	Calibration of Capacitive Soil Moisture Sensor (SKU:SEN0193)	สมการความสัมพันธ์การตอบสนองของตัวเซ็นเซอร์ (x) กับความชื้นดิน (y) *สำหรับในพื้นที่ร่ม (26 ° C)* - สำหรับภาชนะขนาดเล็กคือ $y = 52206x^{-2.107}$ $R^2 = 0.9348$ - สำหรับภาชนะขนาดใหญ่คือ $y = (2x10^6)x^{-1.961}$ $R^2 = 0.9716$ *สำหรับกลางแจ้ง (30 ° C)* - สำหรับภาชนะขนาดเล็กคือ $y = 669288x^{-2.612}$ $R^2 = 0.9336$ - สำหรับภาชนะขนาดใหญ่คือ $y = (5x10^6)x^{-2.153}$ $R^2 = 0.9779$

4.4 ผลการทดสอบเก็บข้อมูลความชื้นในดินบน Google Sheet และการแจ้งเตือนกำหนดการให้น้ำพืชผ่าน LINE Application

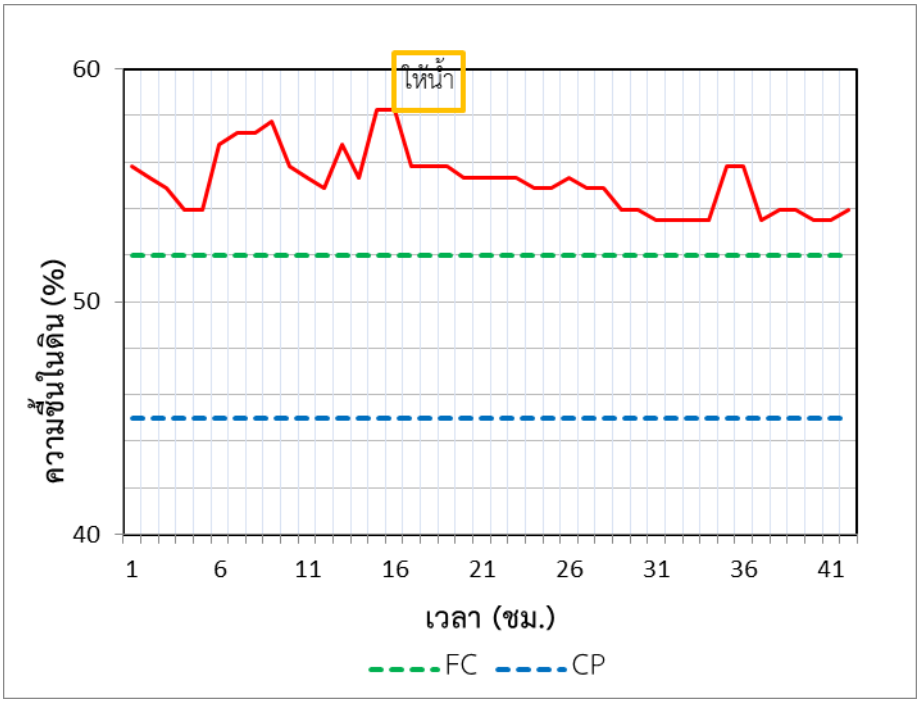
ผลการทดสอบเก็บข้อมูลความชื้นแบบต่อเนื่องโดยการแสดงผลบน Google Sheet ร่วมกับโปรแกรม Arduino IDE (ดังแสดงในภาพที่ 4-7) โดยกำหนดการเก็บค่าความชื้นดินทุก ๆ 1 ชั่วโมงเป็นระยะเวลา 1-2 วัน โดยเริ่มจากกำหนดให้ดินมีความชื้นมาก ๆ (Saturated) แล้วปล่อยดินทิ้งไว้ให้เกิดการระเหยน้ำออกไป จากนั้นทำการแจ้งเตือนผ่าน LINE Application เมื่อค่าความชื้นดินต่ำกว่าจุดวิกฤติ (Critical Point) (ดังแสดงในภาพที่ 4-8) จากนั้นจึงทำการให้น้ำ ผลการจัดเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินสามชนิดดังแสดงในภาพที่ 4-4 ภาพที่ 4-5 และภาพที่ 4-6 ตามลำดับ



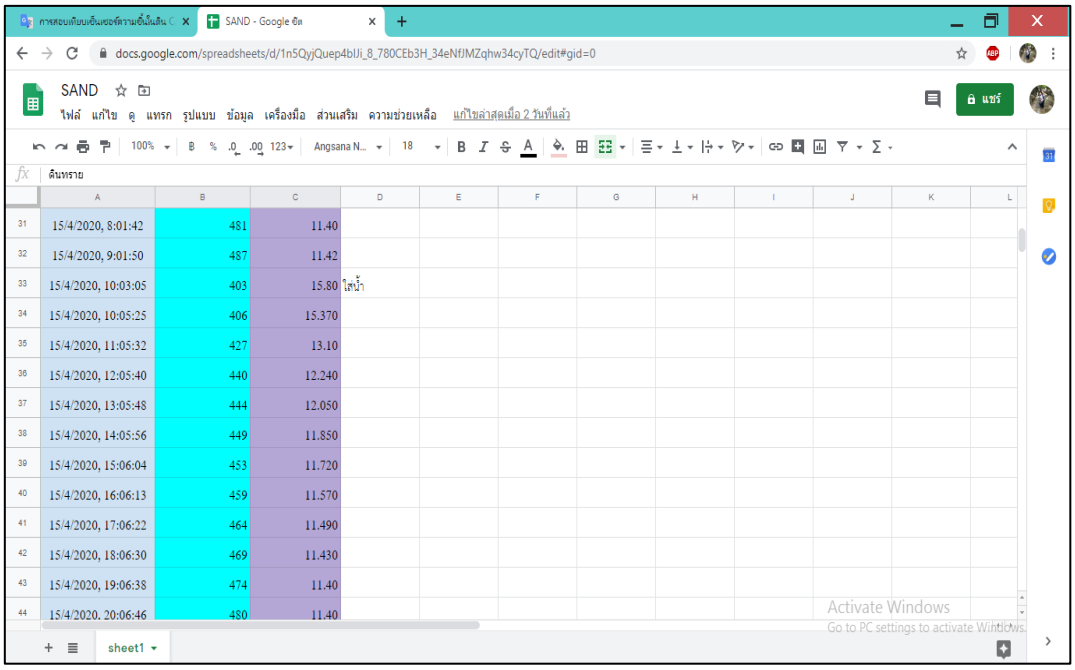
ภาพที่ 4-4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินของดินชนิดที่ 1 (ดินทรายปนร่วน)



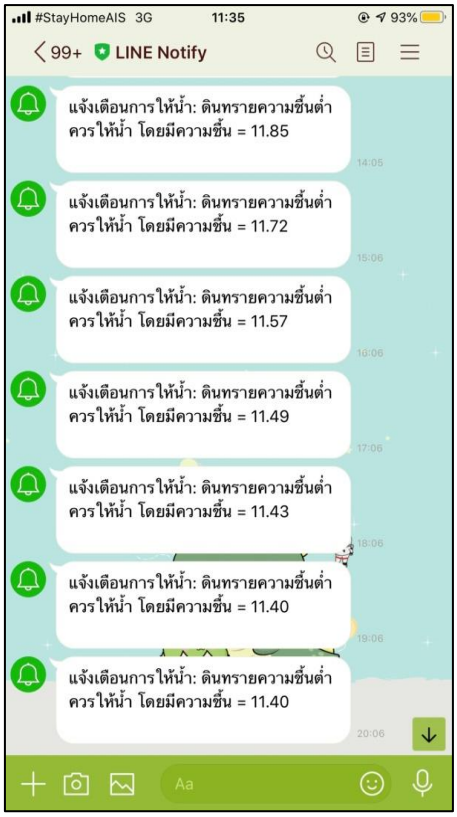
ภาพที่ 4-5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินของดินชนิดที่ 2 (ดินร่วนเหนียว)



ภาพที่ 4-6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินของดินชนิดที่ 3 (ดินเหนียว)



ภาพที่ 4-7 ตัวอย่างผลการทดสอบเก็บข้อมูลความชื้นแบบต่อเนื่อง
โดยการแสดงผลบน Google sheet ดินชนิดที่ 1 (ดินทรายร่วน)



ภาพที่ 4-8 ตัวอย่างการแจ้งเตือนทาง LINE Application ของดินชนิดที่ 1 (ดินทรายร่วน)

บทที่ 5
สรุป วิจารณ์ ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงงานนี้ได้ทำการปรับเทียบ Capacitive Soil Moisture Sensor กับความชื้นในดิน จากนั้นนำไปทดสอบการส่งข้อมูลแจ้งเตือนผ่าน LINE Application และจัดเก็บข้อมูลไว้ใน Google Sheet ร่วมกับโปรแกรม Arduino IDE และบอร์ด ESP8266

จากการทดสอบความแตกต่างของการตรวจวัดค่าจากเซ็นเซอร์ พบว่า ค่าเฉลี่ยของการวัดค่าทางไฟฟ้าของ Capacitive Soil Moisture Sensor จำนวน 21 ตัว มีอย่างน้อย1 คู่ที่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05

โครงงานนี้ใช้ดินตัวอย่างจำนวน 3 ชุด นำมาทดสอบหาเปอร์เซ็นต์อนุภาค Sand, Silt และ Clay และพบว่าดินทั้งสามชนิดมีเนื้อดิน คือ ดินทรายปนร่วน, ดินร่วนเหนียว และดินเหนียวตามลำดับ จากนั้นทำการปรับเทียบ Capacitive Soil Moisture Sensor กับความชื้นในดินตัวอย่างทั้งสามชนิด โดยใช้สมการโพลิโนเมียลกำลังสาม จากนั้นนำสมการที่ได้ใช้ในการเขียนโปรแกรมด้วย Arduino IDE เพื่อแปลงค่าสัญญาณทางไฟฟ้าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์เป็นค่าความชื้นในดิน จากนั้นทำการทดสอบการส่งข้อมูลความชื้นในดินไปจัดเก็บไว้ใน Google Sheet และทดสอบการส่งข้อมูลแจ้งเตือนผ่าน LINE Application เมื่อความชื้นในดินถึงจุดวิกฤติ (Critical Point)

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

1. ในขั้นตอนการปรับเทียบ Capacitive Soil Moisture Sensor กับความชื้นในดิน เนื่องจากดินเหนียวมีอนุภาคเนื้อดินที่เล็กกว่าดินทรายและดินร่วน ทำให้การทดลองในวิธีแบบเดียวกันได้ผลการทดลองที่ไม่เหมาะสม ผู้ทดลองจึงได้เปลี่ยนวิธีการทดลองที่ทำให้ค่าเหมาะสมยิ่งขึ้นจึงทำให้วิธีการทดลองของดินเหนียวแตกต่างจากการทดลองในดินอีก 2 ชนิด และเมื่อดูจากกราฟการปรับเทียบของดินทั้งสามชนิด พบว่าดินทั้งชนิดที่ 1 (ดินทรายปนร่วน) และชนิดที่ 2 (ดินร่วนเหนียว) มีความสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Radi *et al*. (2018) แต่ดินชนิดที่ 3 (ดินเหนียว) ไม่สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Radi *et al*. (2018) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะดินชนิดที่ 3 (ดินเหนียว) เป็นดินที่มีอนุภาคเล็กมาก ประกอบกับเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการทดลองเป็นเซ็นเซอร์ที่มีราคาค่อนข้างถูก จึงอาจจะส่งผลให้ค่าที่ตรวจวัดได้จากการทดลองมีความคลาดเคลื่อนและไม่แม่นยำ หรืออาจมีปัจจัยอื่นมาเกี่ยวข้องเช่น อุณหภูมิ จึงควรมีการทดสอบปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจเกี่ยวข้องเพิ่มเติมในอนาคต

2. สำหรับการทดสอบในขั้นตอนการส่งข้อมูลความชื้นในดินแบบต่อเนื่อง ไม่ควรให้ตัวเซ็นเซอร์ขยับตำแหน่งไปจากเดิมซึ่งอาจทำให้ผลการตรวจวัดมีความคลาดเคลื่อน สำหรับการตอบสนองของ Capacitive Soil Moisture Sensor ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี กล่าวคือเมื่อทำการให้ความชื้นแก่ดิน ค่าตัวเลขทางไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว (หมายถึงมีค่าความชื้นเพิ่มขึ้น) ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างดินสามชนิด พบว่าดินชนิดที่ 1 ซึ่งมีอนุภาค Sand ค่อนข้างมาก ความชื้นในดินจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วที่สุด

5.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. สำหรับการทดสอบความแตกต่างทางสถิติ ควรทดสอบกับดินที่ระดับความชื้นเดียวกัน หากทดสอบดินที่ระดับความชื้นต่างกันจะทำให้การตอบสนองของตัวเซ็นเซอร์ผิดเพี้ยนไปและจะทำให้ผลการทดสอบคลาดเคลื่อน
2. เนื่องจาก Capacitive Soil Moisture Sensor มีราคาค่อนข้างถูก จึงทำให้ผลการตรวจวัดค่าความชื้นจากเซ็นเซอร์แต่ละตัวมีความแตกต่างกัน ในอนาคตจึงควรพิจารณาเลือกใช้เซ็นเซอร์ที่มีคุณภาพที่ดีที่ให้ผลการตรวจวัดคลาดเคลื่อนน้อย
3. ในขั้นตอนการหาเปอร์เซ็นต์ขนาดอนุภาค Sand, Silt และ Clay ในที่นี้จะใช้แนวทางของวิชาปฐพีวิทยา กล่าวคือจะต้องนำเนื้อดินร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ซึ่งจะแตกต่างกับวิธีไฮโดรมิเตอร์ในการหาขนาดเม็ดดินในวิชาปฐพีกลศาสตร์ และจะต้องย่อยสลายสารอินทรีย์ในเนื้อดินที่ทดสอบให้หมดสิ้น
4. การทดสอบการปรับเทียบ Capacitive Soil Moisture Sensor กับความชื้นในดิน โดยในการทดลองจะต้องทำการอบดินก่อน และหลังจากเอาดินออกจากเตาอบจะต้องรอให้เนื้อดินเย็นลงก่อนถึงจะนำมาทดสอบได้ ระหว่างการทดสอบจะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิห้องที่ทำการทดลองให้มีความใกล้เคียงกันในทุกครั้งที่ทดลอง ควรจะทำการทดสอบการปรับเทียบหลาย ๆ ครั้ง และต้องใช้เซ็นเซอร์ตัวเดียวกันในการทดสอบ
5. เนื่องด้วยการตรวจวัดค่าความชื้นดินแบบต่อเนื่องจำเป็นต้องมีการใช้ Power bank สำหรับการจ่ายไฟแก่บอร์ด ESP8266 หากกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าบอร์ดไม่เสถียรหรือมีไม่เพียงพอจะทำให้การเก็บค่าไม่ต่อเนื่อง จึงต้องมีการปรับใช้ Power bank ที่มีความจุไฟฟ้ามากขึ้นหรือเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการเก็บค่าที่ยาวนานต่อเนื่อง
6. ควรทำการทดสอบปรับเทียบกับเทนซิโอมิเตอร์ (Tensiometer) หรือเครื่องมือวัดความชื้นในดินที่มีความน่าเชื่อถือ เพื่อให้การหาความชื้นในดินมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

Ashton, K. 2011. That ‘internet of thing’ thing. **RFiD Jornal**, 22(7)

Channe, H., Kothari, S. and Kadam, D., 2015. Multidisciplinary Model for Smart Agriculture using Internet-of-Things (IoT), Sensors, Cloud-Computing, Mobile-Computing & Big-Data Analysis. **Int.J.Computer Technology & Applications** 6 (3): 374-382.

Gondchawar, N. and Kawitkar, R.S. 2016. IoT based Smart Agriculture. **International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering** 5(6): 840-842.

Nath, S., Nath, J. and Sarma, K.C. 2018. IoT based system for continuous measurement and monitoring of temperature, soil moisture and relative humidity **International Journal of Electrical Engineering & Technology (IJEET)** 9 (3): 106-113.

Radi, Muzdrukah, F.S., Murtiningrum, M.Shohibun Nuha, Ngadisih and Rizqi, F.A. 2018. Calibration of Capacitive Soil Moisture Sensor (SKU:SEN0193) *In* **Proceedings of the 4th International Conference on Science and Technology (ICST)**. Yogyakarta, Indonesia.

Saxton, K.E., W.J. Rawls, J.S. Romberger and R.I. Papendick. 1986. Estimating Generalized Soil Water Characteristics from Soil Texture. **Soil Sci. Am. J.** 50 : 1031-1036.

กาญบัญชา พานิชเจริญ และ ชาญยุทธ อุปายโกศล. 2557. เครื่องวัดความชื้นในดินไร้สายเพื่อทดลองกับดินที่ใช้ในการปลูกต้นยางพารา, น.450-456. *ใน* **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7.** คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

กอบเกียรติ สระอุบล. 2561. **พัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino และ Raspberry Pi**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์อินเตอร์มีเดีย, กรุงเทพฯ.

ทวีป ตรีหะจินดารัตน์, ทศพร ปั้นจาด และ ปวรัชฎ์ คชรินทร์. 2559. **อินเตอร์เน็ตกับทุกสิ่งของสวนอัจฉริยะ SMART GARDEN SYSTEM OF IoT**. โครงงานวิศวกรรม หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ,มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

รัตนาวลี ไม้สัก. 2560. **การส่งเสริมการเรียนรู้เทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตในทุกสิ่งผ่านสะเต็มศึกษาเพื่อการก้าวสู่มหาวิทยาลัยดิจิตอล**. คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

วราวุธ วุฒิวณิชย์, นิมิตร เฉิดฉันพิพัฒน์ และ พงศธร โสภาพันธ์. 2558. **วิศวกรรมชลประทานเบื้องต้น**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน.

วิวัฒน์ มีสุวรรณ์. 2559. อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง (Internet of Things) กับการศึกษา. **วารสารวิชาการนวัตกรรมสื่อสารสังคม** 4 (2): 83-92.

สรวิศ บุญมี. 2561. ความมั่นคงปลอดภัยของ IoT. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 12 (1): 56-67.

อวิรุธ วิชาเร็ว และ นครภักดีชาติ. 2537. **เรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ง่ายๆ ด้วยโปรแกรมแบบกราฟฟิก.** บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

อาพร สุนทรวัฒน์ และ ทัดทอง พราหมณี. 2563. การประยุกต์ใช้ Google Sheet ในการบริหารงบประมาณ Applying Google Sheet in Budget Administration. **PULINET Journal** 4(3): 24-33.

ภาคผนวก ก
การทดสอบค่าความต่างทางสถิติของ Capacitive Soil Moisture Sensor โดยใช้ ANOVA

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลการทดสอบความต่างทางสถิติของตัว capacitive soil moisture sensor ทั้งหมด 23 ตัว มีข้อมูลดังนี้

ครั้ง	ตัว capacitive soil moisture sensor																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	812	834	836	822	822	832	270	824	818	822	816	811	711	813	810	832	821	823	804	826	812	824	826
2	804	830	832	820	820	830	270	823	814	821	814	810	711	813	811	822	819	823	801	825	811	822	826
3	804	830	833	820	822	830	270	822	814	821	814	812	711	814	810	822	819	822	801	824	810	821	829
4	802	830	832	820	821	830	269	823	813	820	816	810	714	814	811	822	818	821	801	824	809	821	826
5	804	831	832	821	821	830	269	822	814	820	813	810	714	812	810	820	818	820	799	824	809	820	826
6	801	829	832	820	820	830	268	821	813	822	814	808	714	813	810	820	818	820	799	824	809	820	826
7	802	830	832	820	820	830	270	822	814	821	814	811	716	814	811	822	819	821	800	824	811	820	826
8	801	829	831	820	820	829	268	821	816	822	813	811	713	814	811	821	818	820	799	823	809	820	825
9	802	830	832	820	820	829	269	822	816	822	816	811	717	814	810	823	819	820	800	824	809	820	825
10	802	829	832	819	819	829	268	821	816	823	814	813	715	816	809	822	818	820	799	824	808	820	825
11	801	829	831	819	819	829	268	821	814	822	816	816	715	814	811	821	818	820	799	824	809	820	825
12	800	829	830	818	818	826	267	819	814	822	816	811	717	816	811	821	817	820	798	823	808	819	825
13	800	828	831	819	819	829	268	821	814	822	814	812	715	816	810	820	817	820	800	824	809	820	824
14	799	826	829	818	818	825	267	819	813	822	816	813	714	816	811	820	817	819	798	823	808	819	824
15	800	826	830	817	818	826	268	820	816	822	816	813	714	816	811	819	817	819	798	823	808	819	823
SUM	12034	12440	12475	12293	12297	12434	4029	12321	12219	12324	12222	12172	10711	12215	12157	12327	12273	12308	11996	12359	12139	12305	12381
Average	802.27	829.33	831.67	819.53	819.80	828.93	268.60	821.40	814.60	821.60	814.80	811.47	714.07	814.33	810.47	821.80	818.20	820.53	799.73	823.93	809.27	820.33	825.40

***หมายเหตุ** ทำการตัดตัว capacitive soil moisture sensor ตัวที่ 7 ละตัวที่ 13 ออกแล้วนำไปทดสอบทางสถิติ เนื่องจากคาดว่าสองตัวนี้สงสัยว่าไม่สามารถใช้งานได้ ทำให้เหลือตัวทดสอบเพียง 21 ตัว

ให้ H_0 = ค่าเฉลี่ยของประชากร 21 กลุ่มไม่แตกต่างกัน

H_1 = ค่าเฉลี่ยของประชากร 21 กลุ่มแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

ขั้นที่ 1 กำหนดสมมติฐาน (H_0,H_1)

$H_0 = \mu_1=\mu_2=\mu_3=\ldots=\mu_{21}$

$H_1 = \mu_1\neq\mu_2\neq\mu_3\neq\ldots\neq\mu_{21}$

ขั้นที่ 2 กำหนดที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 %

ขั้นที่ 3 เลือกตัวสถิติที่เหมาะสม และคำนวณค่าสถิติ ตัวสถิติที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลและสมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$CM = \frac{(\sum\sum x_{ij})^2}{n}$$

$$= \frac{(12034+12440+\cdots+12381)^2}{315}$$

$$= 210808417$$

SST = $\sum\sum x_{ij}{}^2$ – CM

= (812^2+804^2+804^2+...+823^2) – 210808417

= 210829779 -210808417

= 21361.6

SSB = $\sum(\frac{(\sum xi^2)}{ni})$- CM

= $(\frac{\mathbf{12034^2}}{\mathbf{15}} + \frac{\mathbf{12440^2}}{\mathbf{15}} + \cdots + \frac{\mathbf{12381^2}}{\mathbf{15}})$ – 210808417

= 210829016 − 210808417

= 20598.67

SSE = SST- SSB

= 21361.6 - 20598.67

= 762.93

F = $\frac{\frac{\boldsymbol{SSB}}{\boldsymbol{k-1}}}{\frac{\boldsymbol{SSE}}{\boldsymbol{n-k}}}$

= $\frac{\mathbf{1029.9335}}{\mathbf{2.595}}$

= 396.89

ตารางที่ ก-2 ค่าความแตกต่างทางสถิติของ Capacitive Soil Moisture Sensor

สาเหตุความแปรปรวน	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*F crit*
ระหว่างกลุ่ม	20598.67	20.00	1029.93	396.89	1.61
ในกลุ่ม	762.93	294.00	2.60		
รวมทั้งหมด	21361.60	314.00			

ขั้นที่ 4 ค่าวิกฤติ $f_{1-\alpha,k-1,n-k}$ = 1.61

เนื่องจาก F มีค่ามากกว่า 1.61 จึงปฏิเสธ H_0 หมายความว่าตัว capacitive soil moisture sensor มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ตัว

ภาคผนวก ข

การแยกประเภทดินโดยวิธีวิเคราะห์เชิงกลโดยไฮโดรมิเตอร์

ภาคผนวก ข

การแยกประเภทดินโดยวิธีวิเคราะห์เชิงกลโดยไฮโดรมิเตอร์

1.) การเตรียมตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์เชิงกลโดยไฮโดรมิเตอร์ ซึ่งก่อนทำการวิเคราะห์จะต้องมีการเตรียมตัวอย่างดินก่อน ทั้งนี้เนื่องจากแต่ละอนุภาคของดินส่วนใหญ่ตามธรรมชาติแล้วมักจะเกาะติดกันมากน้อยบ้างเป็นเม็ดดินขนาดต่างๆ การเกาะติดกันของเม็ดดินจะมีสารพวกอินทรียวัตถุและพวกออกไซด์ของเหล็กเป็นตัวเชื่อม ดังนั้น การที่จะให้อนุภาคของเม็ดดินเหล่านั้นแตกออกและปลดปล่อยอนุภาคดินให้หลุดออกมาเป็นอิสระ จึงต้องมีการกำจัดสารพวกที่เป็นตัวเชื่อมเหล่านี้ให้หมดไปเสียก่อน เช่น กำจัดอินทรียวัตถุด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide : H_2O_2 3% w/v)

2.) ขั้นตอนการเตรียมดินโดยการนำดินมาร่อนให้ผ่านตะแกรง เบอร์ 10 (2.00 มิลลิเมตร) ปริมาณ 50 กรัม ขั้นตอนต่อไปคือนำดินไปทำการจำกัดอินทรียวัตถุด้วยการใส่สารไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide : H_2O_2 3% w/v) และใช้แท่งคนคนสารจนกว่าจะไม่มีฟอง

ภาพที่ ข-1 กำจัดอินทรียวัตถุ โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
(Hydrogen Peroxide : H_2O_2 3% w/v)

3.) หลังจากเตรียมดินโดยการกำจัดอินทรียวัตถุด้วย H_2O_2 แล้ว เติมสารละลายแคลกอน 5% (Sodium hexametaphosphate 50 g และ Sodium carbonate 8.3 g ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรหนึ่งลิตร สารละลายแคลกอนนี้ให้โซเดียมไอออน ซึ่งเป็นตัวช่วยส่งเสริมการกระจายของอนุภาคดินเหนียวของดิน) จำนวน 100 มล. และน้ำกลั่นลงใน dispersion cup แล้วทิ้งไว้ 10 นาที

ภาพที่ ข-2เติมสารละลายแคลกอน 5% 100 ml

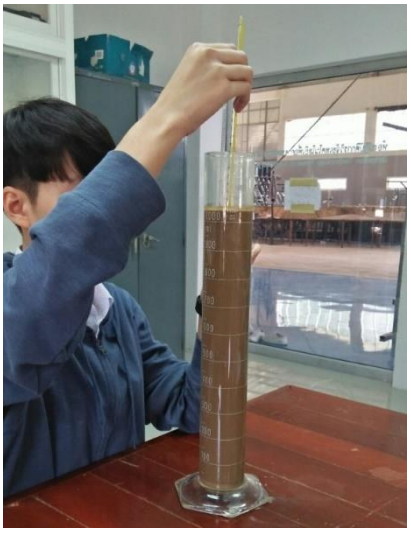
ภาพที่ ข-3 เติมน้ำกลั่นลงใน dispersion cup

4.) หลังจากตั้งทิ้งไว้ 10 นาที จึงปั่นด้วยเครื่องปั่น 2-5 นาที จากนั้นถ่ายสิ่งที่ปั่นลงในกระบอกแก้ว ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างดินที่เหลือ ใน dispersion cup ลงในกระบอกแก้วให้หมดแล้วเติมน้ำกลั่นลงไปอีกขณะที่มีไฮโดรมิเตอร์อยู่ในกระบอกแก้วจนถึงขีดระดับที่ปากแก้ว จากนั้นดึงเอาไฮโดรมิเตอร์ออก ทำการเขย่าเพื่อทำให้เกิดสารแขวนลอยดินที่สมบูรณ์สักระยะหนึ่ง เสร็จแล้วก็เริ่มจับเวลาทันทีโดยค่อยๆ ปล่อยไฮโดรมิเตอร์ลงไปอ่านค่าบนก้านไฮโดรมิเตอร์ทันทีเมื่อครบ 40 วินาที สมมติอ่านได้ a กรัมต่อลิตร (ค่าที่อ่านได้เป็นค่ารวมของปริมาณกลุ่มขนาดซิลท์ ดินเหนียวและ แคลกอน) วัดอุณหภูมิของสารแขวนลอยดินขณะนั้นได้ $t°_{40}$ อ่านค่าอีกครั้งเมื่อครบ 2ชั่วโมง สมมติอ่านได้ b กรัมต่อลิตร (ค่าที่อ่านได้เป็นค่ารวมของปริมาณของกลุ่มขนาดดินเหนียวและแคลกอน) ที่อุณหภูมิ $t°_2$ ซ.

ภาพที่ ข-4 ปั่นด้วยเครื่องปั่น 2-5 นาที

ภาพที่ ข-5 ถ่ายสิ่งที่ปั่นลงในกระบอกแก้ว ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างดินที่ ลงในกระบอกแก้วให้หมด

ภาพที่ ข-6 เขย่ากระบอกตวงเพื่อทำให้เกิดสารแขวนลอยดินที่สมบูรณ์สักระยะหนึ่ง



ภาพที่ ข-7 หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงไปอ่านค่าบนก้านไฮโดรมิเตอร์ทันทีเมื่อครบ 40 วินาที วัดอุณหภูมิของสารแขวนลอยดินขณะนั้นได้ $t°_{40}$ อ่านค่าอีกครั้งเมื่อครบ 2 ชั่วโมง วัดอุณหภูมิของสารแขวนลอยดินขณะนั้นได้ $t°_{2}$

เนื่องจากไฮโดรมิเตอร์ที่ใช้วัดอ่านค่าได้ถูกต้องเฉพาะที่อุณหภูมิที่กำกับอยู่บนก้านของมันคือ L° (ชนิดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการนี้เท่ากับ 20 ° ซ.) ดังนั้น การอ่านค่าในสารแขวนลอยดินเมื่อ 40 วินาทีและ 2 ชั่วโมง และของสารละลายแคลกอน ถ้าหากไม่อ่านที่อุณหภูมิ L° ก็ต้องปรับให้เป็นค่าที่ถูกต้องด้วยสูตร

$$Rs = Rt + 0.36(t-L) \qquad \text{(สำหรับสารแขวนลอยดิน)}$$

$$Cs = Cr + 0.50(tc-L) \qquad \text{(สำหรับสารละลายแคลกอน)}$$

Rs = ค่าที่ควรอ่านได้ของสารแขวนลอยดินที่อุณหภูมิ L° หรือเมื่อไฮโดรมิเตอร์อ่านถูกต้อง, กรัม/ลิตร

Rt = ค่าที่อ่านได้ของสารแขวนลอยดินที่อุณหภูมิ t°40 หรือ t°2 เท่ากับ a หรือ b (เมื่อ 40 วินาทีหรือ 2 ชั่วโมง), กรัม/ลิตร

Cs = ค่าที่อ่านได้ของสารละลายแคลกอนที่อุณหภูมิ L° หรือเมื่อไฮโดรมิเตอร์อ่านถูกต้อง, กรัม/ลิตร

Cr =ค่าที่อ่านได้จาก สารละลายแคลกอนที่อุณหภูมิ t °c ซึ่งเท่ากับ c, กรัม/ลิตร (เท่ากับ 1.2 กรัม/ลิตร)

t = อุณหภูมิของสารแขวนลอยดินเป็น 40 วินาทีหรือ 2 ชั่วโมงเท่ากับ t°40 หรือ t°2ซ.

tc = อุณหภูมิของสารละลายแคลกอน (เท่ากับ 24 °ซ)

L = อุณหภูมิที่ไฮโดรมิเตอร์ที่อ่านได้ถูกต้องระบุไว้บนก้านไฮโดรมิเตอร์, °ซ. (เท่ากับ 20 °ซ)

แทนค่าลงในสูตร จะได้ค่าที่ถูกต้องของสารแขวนลอยดินเมื่อ 40 วินาที (ประกอบด้วยกลุ่มขนาดดินเหนียว ซิลท์ และแคลกอน)

Rs, 40 sec. = Rt + 0.36(t-L)

= a + 0.36(t40-L) มีหน่วยเป็นกรัม/ลิตร

ค่าที่ถูกต้องของสารแขวนลอยดินเมื่อ 2 ชั่วโมง (ประกอบด้วยกลุ่มดินขนาดดินเหนียวและแคลกอน)

Rs, 2hr. = Rt + 0.36(t-L)

= b + 0.36(t2-L) มีหน่วยเป็นกรัม/ลิตร

ค่าที่ถูกต้องของสารละลายแคลกอนซึ่งมีแต่แคลกอนเท่านั้น

Cs = Cr +0.50(r-L)

= c + 0.50(tc-L) มีหน่วยเป็นกรัม/ลิตร

และเมื่อเอาค่าของแคลกอนหักออกไป จะได้ปริมาณกลุ่มขนาดซิลท์และดินเหนียว(ค่าที่ 40 วินาที)

= Rs 40 sec. – Cs

= A กรัม/ลิตร

ปริมาณกลุ่มขนาดดินเหนียว

= Rs 2hr – Cs

= B กรัม/ลิตร

ปริมาณกลุ่มขนาดทราย = X - A กรัม/ลิตร

ปริมาณกลุ่มขนาดซิลท์ = A – B กรัม/ลิตร

คำนวณร้อยละของอนุภาคขนาดต่างๆ ของดินลงในตัวอย่าง x กรัม ซึ่งได้ทำให้เป็นสารแขวนลอย 1 ลิตรและแยกออกมาเป็นกลุ่มขนาดทราย ซิลท์ ดินเหนียว คำนวณเป็นร้อยละได้ดังนี้

กลุ่มขนาดทราย, % = 100/X(X-A)

กลุ่มขนาดซิลท์, % = 100/X(A-B)

กลุ่มขนาดดินเหนียว, % = 100B/X

ภาคผนวก ค
การคำนวณการแยกประเภทดินโดยไฮโดรมิเตอร์
และ
การคำนวณโดยวิธี Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture ของ Dr. K. E. Saxton

ภาคผนวก ค

1.การคำนวณการแยกประเภทดินโดยไฮโดรมิเตอร์

เนื่องจากไฮโดรมิเตอร์ที่ใช้วัดอ่านค่าได้ถูกต้องเฉพาะที่อุณหภูมิที่กำกับอยู่บนก้านของมันคือ L° (ชนิดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการนี้เท่ากับ 20 ° ซ.) ดังนั้น การอ่านค่าในสารแขวนลอยดินเมื่อ 40 วินาทีและ 2 ชั่วโมง และของสารละลายแคลกอน ถ้าหากไม่อ่านที่อุณหภูมิ L° ก็ต้องปรับให้เป็นค่าที่ถูกต้องด้วยสูตร

Rs = Rt + 0.36(t-L) (สำหรับสารแขวนลอยดิน) .....สมการ ค-1

Cs = Cr + 0.50(tc-L) (สำหรับสารละลายแคลกอน) .....สมการ ค-2

Rs = ค่าที่ควรอ่านได้ของสารแขวนลอยดินที่อุณหภูมิ L° หรือเมื่อไฮโดรมิเตอร์อ่านถูกต้อง, กรัม/ลิตร

Rt = ค่าที่อ่านได้ของสารแขวนลอยดินที่อุณหภูมิ t°40 หรือ t°2 เท่ากับ a หรือ b (เมื่อ 40 วินาทีหรือ 2 ชั่วโมง), กรัม/ลิตร

Cs = ค่าที่อ่านได้ของสารละลายแคลกอนที่อุณหภูมิ L° หรือเมื่อไฮโดรมิเตอร์อ่านถูกต้อง, กรัม/ลิตร

Cr =ค่าที่อ่านได้จาก สารละลายแคลกอนที่อุณหภูมิ t °c ซึ่งเท่ากับ c, กรัม/ลิตร (เท่ากับ 1.2 กรัม/ลิตร)

t = อุณหภูมิของสารแขวนลอยดินเป็น 40 วินาทีหรือ 2 ชั่วโมงเท่ากับ t°40 หรือ t°2ซ.

tc = อุณหภูมิของสารละลายแคลกอน (เท่ากับ 24 °ซ)

L = อุณหภูมิที่ไฮโดรมิเตอร์ที่อ่านได้ถูกต้องระบุไว้บนก้านไฮโดรมิเตอร์, °ซ. (เท่ากับ 20 °ซ)

แทนค่าลงในสูตร จะได้ค่าที่ถูกต้องของสารแขวนลอยดินเมื่อ 40 วินาที (ประกอบด้วยกลุ่มขนาดดินเหนียว ซิลท์ และแคลกอน)

Rs, 40 sec. = Rt + 0.36(t-L)

= a + 0.36(t40-L) มีหน่วยเป็นกรัม/ลิตร .....สมการ ค-3

ค่าที่ถูกต้องของสารแขวนลอยดินเมื่อ 2 ชั่วโมง (ประกอบด้วยกลุ่มดินขนาดดินเหนียวและแคลกอน)

Rs, 2hr. = Rt + 0.36(t-L) .....สมการ ค-4

= b + 0.36(t2-L) มีหน่วยเป็นกรัม/ลิตร

ค่าที่ถูกต้องของสารละลายแคลกอนซึ่งมีแต่แคลกอนเท่านั้น

Cs = Cr +0.50(r-L)

= c + 0.50(tc-L) มีหน่วยเป็นกรัม/ลิตร .....สมการ ค-5

และเมื่อเอาค่าของแคลกอนหักออกไป จะได้ปริมาณกลุ่มขนาดซิลท์และดินเหนียว (ค่าที่ 40 วินาที)

= Rs 40 sec. – Cs .....สมการ ค-6

= A กรัม/ลิตร

ปริมาณกลุ่มขนาดดินเหนียว

= Rs 2hr – Cs .....สมการ ค-7

= B กรัม/ลิตร

ปริมาณกลุ่มขนาดทราย = X - A กรัม/ลิตร .....สมการ ค-8

ปริมาณกลุ่มขนาดซิลท์ = A – B กรัม/ลิตร .....สมการ ค-9

คำนวณร้อยละของอนุภาคขนาดต่างๆ ของดินลงในตัวอย่าง x กรัม ซึ่งได้ทำให้เป็นสารแขวนลอย 1 ลิตรและแยกออกมาเป็นกลุ่มขนาดทราย ซิลท์ ดินเหนียว คำนวณเป็นร้อยละได้ดังนี้

กลุ่มขนาดทราย, % = 100/X(X-A) .....สมการ ค-10

กลุ่มขนาดซิลท์, % = 100/X(A-B) .....สมการ ค-11

กลุ่มขนาดดินเหนียว, % = 100B/X .....สมการ ค-12

ผลการดำเนินการทดสอบดินชุดที่ 1 ได้ผลดังนี้

ดินชุดที่ 1 x= 50 g

Rt_{40sec}= 5.5 g/L t_{40sec} = 30.5 °C

Rt_{2hr} = 5 g/L t_{2hr} = 29 °C

Given

t_c = 24 °C

C_r = 1.2 g/L

L = 20 °C

จากสมการ ค-2 จะได้ C_s = 3.2 g/L

จากสมการ ค-3 จะได้ Rs 40 sec =9.28 g/L

จากสมการ ค-4 จะได้ Rs 2 hr =8.24 g/L

จากสมการ ค-6 จะได้ ปริมาณกลุ่มขนาดซิลท์และดินเหนียว, A = 6.08 g/L

จากสมการ ค-7 จะได้ ปริมาณกลุ่มขนาดดินเหนียว, B = 5.04 g/L

จากสมการ ค-8 จะได้ ปริมาณขนาดทราย = 43.92 g/L

จากสมการ ค-9 จะได้ ปริมาณกลุ่มขนาดซิลท์ = 1.04 g/L

ตารางที่ ค-1 ร้อยละของอนุภาคขนาดต่างๆ ของดินตัวอย่างชุดที่ 1 ปริมาณ 50 กรัม ซึ่งได้ทำให้เป็นสารแขวนลอย 1 ลิตรและแยกออกมาเป็นกลุ่มขนาดทราย ซิลท์ ดินเหนียว

กลุ่มขนาดทราย, %	กลุ่มขนาดซิลท์, %	กลุ่มขนาดดินเหนียว,%
87.84	2.08	10.08
	รวม	100.00

ผลการดำเนินการทดสอบดินชุดที่ 2 ได้ผลดังนี้

ดินชุดที่ 2 x= 50 g

Rt_{40sec}= 35 g/L t_{40sec} = 28 °C

Rt_{2hr} = 18 g/L t_{2hr} = 26 °C

Given

t_c = 24 °C

C_r = 1.2 g/L

L = 20 °C

จากสมการ ค-2 จะได้ C_s = 3.2 g/L

จากสมการ ค-3 จะได้ Rs 40 sec =37.88 g/L

จากสมการ ค-4 จะได้ Rs 2 hr =20.16 g/L

จากสมการ ค-6 จะได้ ปริมาณกลุ่มขนาดซิลท์และดินเหนียว, A = 34.68 g/L

จากสมการ ค-7 จะได้ ปริมาณกลุ่มขนาดดินเหนียว, B = 16.96 g/L

จากสมการ ค-8 จะได้ ปริมาณขนาดทราย = 15.32 g/L

จากสมการ ค-9 จะได้ ปริมาณกลุ่มขนาดซิลท์ = 17.72 g/L

ตารางที่ ค-2 ร้อยละของอนุภาคขนาดต่างๆ ของดินตัวอย่างชุดที่ 2 ปริมาณ 50 กรัม ซึ่งได้ทำให้เป็นสารแขวนลอย 1 ลิตรและแยกออกมาเป็นกลุ่มขนาดทราย ซิลท์ ดินเหนียว

กลุ่มขนาดทราย, %	กลุ่มขนาดซิลท์, %	กลุ่มขนาดดินเหนียว, %
30.640	35.440	33.920
	รวม	100.00

ผลการดำเนินการทดสอบดินชุดที่ 3 ได้ผลดังนี้

ดินชุดที่ 3 x= 50 g

Rt_{40sec}= 44 g/L t_{40sec} = 30.5 °C

Rt_{2hr} = 33 g/L t_{2hr} = 28 °C

Given

t_c = 24 °C

C_r = 1.2 g/L

L = 20 °C

จากสมการ ค-2 จะได้ C_s = 3.2 g/L

จากสมการ ค-3 จะได้ Rs 40 sec =47.78 g/L

จากสมการ ค-4 จะได้ Rs 2 hr =35.88 g/L

จากสมการ ค-6 จะได้ ปริมาณกลุ่มขนาดซิลท์และดินเหนียว, A = 44.58 g/L

จากสมการ ค-7 จะได้ ปริมาณกลุ่มขนาดดินเหนียว, B = 32.68 g/L
จากสมการ ค-8 จะได้ ปริมาณขนาดทราย = 5.42 g/L
จากสมการ ค-9 จะได้ ปริมาณกลุ่มขนาดซิลท์ = 11.9 g/L

ตารางที่ ค-3 ร้อยละของอนุภาคขนาดต่างๆ ของดินตัวอย่างชุดที่ 3 ปริมาณ 50 กรัม ซึ่งได้ทำให้เป็นสารแขวนลอย 1 ลิตรและแยกออกมาเป็นกลุ่มขนาดทราย ซิลท์ ดินเหนียว

กลุ่มขนาดทราย, %	กลุ่มขนาดซิลท์, %	กลุ่มขนาดดินเหนียว, %
10.84	23.80	65.36
	รวม	100.00

2. การคำนวณโดยวิธี Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture ของ Dr. K. E. Saxton

จากการศึกษาของ Dr. K. E. Saxton และคณะ ได้ทำการศึกษาเรื่อง การประมาณคุณสมบัติพลังงานศักย์ของน้ำในดินทั่วไปจากลักษณะเนื้อดิน (Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture) ซึ่งจากการศึกษาของ Dr. K. E. Saxton และคณะ ได้พัฒนาความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างลักษณะเนื้อดินและพลังงานศักย์ของดินที่เลือก โดยใช้ฐานข้อมูลขนาดใหญ่ รวมไปถึงความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและความนำชลศาสตร์ โดยการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำสมการทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วย ใช้การวิเคราะห์หลายตัวแปรเพื่อนำมาจัดทำการประมาณที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งจะมีประสิทธิภาพสำหรับการใช้งานแบบจำลอง และลักษณะเนื้อดินสามารถใช้เป็นพารามิเตอร์การปรับเทียบในภาคสนามและห้องทดลองได้ ซึ่งจากการทดสอบดินทั้ง 3 ชุดได้ผลดังตาราง ค-4, ค-5 และ ค-6 ดังนี้

ตารางที่ ค-4 กำหนดการให้น้ำพืช (Irrigation Scheduling) ของดินชุดที่ 1

Example		
	Sand	**Clay**
Value	87.84	10.08
Square	7715.8656	101.6064
	a	4.95675E-06
	b	-6.07527944
Porosity	SAT%	0.39634878
	PWP	0.085750205
	FC	0.160456424
	Ks	3.028054577
	AW	0.07470622
	BD	1.599675733

source: http://staffweb.wilkes.edu/brian.oram/soilwatr.htm

Dr. K. E. Saxton
USDA/ARS
Pullman, WA 99164-6120
Phone: (509)335-2724
FAX: (509)335-7786
E-mail: ksaxton@wsu.edu
Homepage: http://www.bsyse.wsu.edu/faculty/saxton.html

ตารางที่ ค-5 กำหนดการให้น้ำพืช (Irrigation Scheduling) ของดินชุดที่ 2

Example		
	Sand	**Clay**
Value	30.64	33.92
Square	938.8096	1150.5664
	a	0.000176189
	b	-6.80371706
Porosity	SAT%	0.505069102
	PWP	0.188529625
	FC	0.329888295
	Ks	0.301361101
	AW	0.14135867
	BD	1.311566881

source: http://staffweb.wilkes.edu/brian.oram/soilwatr.htm

Dr. K. E. Saxton
USDA/ARS
Pullman, WA 99164-6120
Phone: (509)335-2724
FAX: (509)335-7786
E-mail: ksaxton@wsu.edu
Homepage: http://www.bsyse.wsu.edu/faculty/saxton.html

ตารางที่ ค-6 กำหนดการให้น้ำพืช (Irrigation Scheduling) ของดินชุดที่ 3

Example			
	Sand	**Clay**	
Value	10.84	65.36	
Square	117.5056	4271.9296	
	a	7.8244E-05	
	b	-12.8912607	
Porosity	SAT%	0.555773733	
	PWP	0.38923816	
	FC	0.522948157	
	Ks	0.261594404	
	AW	0.133709997	
	BD	1.177199608	

source: http://staffweb.wilkes.edu/brian.oram/soilwatr.htm

Dr. K. E. Saxton
USDA/ARS
Pullman, WA 99164-6120
Phone: (509)335-2724
FAX: (509)335-7786
E-mail: ksaxton@wsu.edu
Homepage: http://www.bsyse.wsu.edu/faculty/saxton.html

ภาคผนวก ง
การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินชุดที่ 1 (ดินทรายปนร่วน) กับ Capacitive Soil Moisture Sensor

ภาคผนวก ง

ชุดที่ 1 (ดินทรายปนร่วน)

จากขั้นตอนการแยกประเภทดิน ที่ทำได้โดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงกลโดยไฮโดรมิเตอร์ร่วมกับวิธี Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture ของ Dr. K. E. Saxton ทำให้ทราบ FC, PWP, CR และ SAT ดังตารางที่ ง-1 จึงสามารถกำหนดความชื้นเริ่มต้นตั้งแต่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point: PWP) ไปถึงจุดที่มีความชื้นอิ่มตัว (Saturate Point: SAT) ได้ กำหนดความชื้นต่างๆที่จะทำการทดสอบดังตาราง ง-2

ตารางที่ ง-1 กำหนดการให้น้ำพืช (Irrigation Scheduling) ของดินชุดที่ 1 เป็นเปอร์เซ็นต์

ความชื้นในดิน	ดินชนิดที่ 1
	เปอร์เซ็นต์ความชื้นดิน
Permanent wilting point	8.58
Field capacity	16.04
Critical Point	12.31
Saturated	39.64

ตารางที่ ง-2 กำหนดความชื้นต่างๆที่จะทำการทดสอบ

ครั้งที่	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
0	0.000
1	8.000
2	9.000
3	10.000
4	11.000
5	12.000
6	13.000
7	14.000
8	16.000
9	17.000
10	20.000
11	30.000
12	40.000

ตารางที่ ง-3 ปริมาณน้ำที่เติมให้ดินชุดที่ 1 (ดินทรายปนร่วน) เมื่อกำหนดความชื้นเป็นไปตามตาราง ง-2

ครั้งที่	ความชื้นที่กำหนด (%)	น้ำหนัก				ปริมาณน้ำที่เติม (ความชื้นที่กำหนด/100)* น้ำหนักดินเฉลี่ย (ml.)
		ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)	
0	0	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	0
1	8	1000.49	1000.42	1000.45	1000.45	80
2	9	1000.79	1000.72	1000.81	1000.77	90
3	10	1000.26	1000.30	1000.27	1000.28	100
4	11	1000.79	1000.72	1000.81	1000.77	110
5	12	1000.18	1000.19	1000.17	1000.18	120
6	13	1000.80	1000.87	1000.80	1000.82	130
7	14	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	140
8	16	1000.25	1000.22	1000.23	1000.23	160
9	17	1000.57	1000.55	1000.63	1000.58	170
10	20	1000.08	1000.1	1000.11	1000.10	200
11	30	1000.72	1000.67	1000.55	1000.65	300
12	40	1000.72	1000.64	1000.65	1000.67	400

ตารางที่ ง-4 น้ำหนักแก้วที่ใช้สำหรับการทดลอง ดินชุดที่ 1 (ดินทรายปนร่วน)

ดินทรายปนร่วน ความชื้นที่ (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)			
		ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)
8	1	114.74	114.74	114.74	114.7400
	2	114.64	114.64	114.63	114.6367
	3	114.63	114.62	114.63	114.6267
	4	114.5	114.49	114.48	114.4900
	5	114.58	114.59	114.6	114.5900
					114.6167
9	1	114.75	114.74	114.72	114.7367
	2	114.44	114.44	114.44	114.4400
	3	114.52	114.51	114.47	114.5000
	4	114.56	114.54	115.6	114.9000
	5	114.84	114.82	114.83	114.8300
					114.6813
10	1	114.74	114.74	114.74	114.7400
	2	114.64	114.64	114.63	114.6367
	3	114.63	114.62	114.63	114.6267
	4	114.5	114.49	114.48	114.4900
	5	114.58	114.59	114.6	114.5900
					114.6167

ตารางที่ ง-4 (ต่อ)

ดินทรายปนร่วน ความชื้นที่ (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)			
		ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)
11	1	114.49	114.49	114.47	114.4833
	2	114.6	114.61	114.6	114.6033
	3	114.63	114.62	114.63	114.6267
	4	114.68	114.69	114.69	114.6867
	5	114.46	114.45	114.47	114.4600
					114.5720
12	1	114.51	114.51	114.51	114.5100
	2	114.49	114.48	114.48	114.4833
	3	114.66	114.66	114.66	114.6600
	4	114.38	114.38	114.38	114.3800
	5	114.69	114.7	114.69	114.6933
					114.5453
13	1	114.7	114.69	114.69	114.6933
	2	114.52	114.52	114.52	114.5200
	3	114.43	114.43	114.43	114.4300
	4	114.61	114.61	114.62	114.6133
	5	114.51	114.51	114.51	114.5100
					114.5533
14	1	114.75	114.74	114.72	114.7367
	2	114.44	114.44	114.44	114.4400
	3	114.52	114.51	114.47	114.5000
	4	114.56	114.54	115.6	114.9000
	5	114.84	114.82	114.83	114.8300
					114.6813
16	1	114.7	114.69	114.69	114.6933
	2	114.52	114.52	114.52	114.5200
	3	114.43	114.43	114.43	114.4300
	4	114.61	114.61	114.62	114.6133
	5	114.51	114.51	114.51	114.5100
					114.5533
17	1	114.74	114.74	114.74	114.7400
	2	114.64	114.64	114.63	114.6367
	3	114.63	114.62	114.63	114.6267
	4	114.5	114.49	114.48	114.4900
	5	114.58	114.59	114.6	114.5900
					114.6167

ตารางที่ ง-4 (ต่อ)

ดินทรายปนร่วน ความชื้นที่ (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)			
		ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)
20	1	114.51	114.51	114.51	114.5100
	2	114.49	114.48	114.48	114.4833
	3	114.66	114.66	114.66	114.6600
	4	114.38	114.38	114.38	114.3800
	5	114.69	114.7	114.69	114.6933
					114.5453
30	1	114.49	114.49	114.47	114.4833
	2	114.6	114.61	114.6	114.6033
	3	114.63	114.62	114.63	114.6267
	4	114.68	114.69	114.69	114.6867
	5	114.46	114.45	114.47	114.4600
					114.5720
40	1	114.74	114.74	114.74	114.7400
	2	114.64	114.64	114.63	114.6367
	3	114.63	114.62	114.63	114.6267
	4	114.5	114.49	114.48	114.4900
	5	114.58	114.59	114.6	114.5900
					114.6167

ตารางที่ ง-5 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 8%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)* 100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
8	1	114.617	329.45	329.44	329.45	329.447	196.919	600	601	602	601	592	599.2	314.14	314.14	314.15	314.1433	182.669	7.80
	2		308.75	308.77	308.78	308.767		600	598	600	600	607	601	294.42	294.41	294.39	294.4067		
	3		310.32	310.33	310.34	310.330		601	614	600	607	609	606.2	295.75	295.75	295.76	295.7533		
	4		307.07	307.05	307.07	307.063		617	608	609	608	607	609.8	293.73	293.72	293.74	293.7300		
	5		302.07	302.08	302.06	302.070		608	607	606	606	606	606.6	288.41	288.38	288.39	288.3933		
						311.535							604.56				297.2853		

ตารางที่ ง-6 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 9%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (ก.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (ก.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (ก.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (ก.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (ก.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (ก.)	ครั้งที่ 2 (ก.)	ครั้งที่ 3 (ก.)	เฉลี่ย (ก.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (ก.)	ครั้งที่ 2 (ก.)	ครั้งที่ 3 (ก.)	เฉลี่ย (ก.)		
9	1	114.6813	297.13	297.11	297.12	297.1200	187.6787	590	585	595	585	572	585.4	281.73	281.74	281.72	281.7300	172.3220	8.91
	2		303.37	303.36	303.39	303.3733		595	591	598	600	601	597	288.29	288.28	288.28	288.2833		
	3		298.85	298.84	298.86	298.8500		585	589	585	582	589	586	283.94	283.92	283.93	283.9300		
	4		313.02	313.01	313.03	313.0200		577	577	576	567	568	573	296.26	296.25	296.23	296.2467		
	5		299.43	299.44	299.44	299.4367		591	591	573	580	595	586	284.82	284.83	284.83	284.8267		
						302.3600							585.48				287.0033		

ตารางที่ ง-7 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 10%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
10	1	114.6167	304.44	304.44	304.45	304.4433	191.2273	561	557	556	556	555	557	287.4	287.35	287.4	287.3833	174.1487	9.81
	2		304.83	304.84	304.84	304.8367		552	557	568	567	533	555.4	288.1	288.1	288.1	288.1000		
	3		311.62	311.63	311.6	311.6167		541	547	564	564	565	556.2	293.87	293.86	293.85	293.8600		
	4		302.89	302.89	302.91	302.8967		552	556	556	556	559	555.8	286.09	286.07	286.05	286.0700		
	5		305.42	305.43	305.43	305.4267		545	546	542	573	562	553.6	288.41	288.42	288.41	288.4133		
						305.8440							555.6				288.7653		

ตารางที่ ง-8 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 11%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
11	1	114.5720	307.79	307.82	307.83	307.8133	194.2467	556	556	536	554	554	551.2	289.36	289.36	289.35	289.3567	175.4273	10.73
	2		297.24	297.25	297.24	297.2433		516	525	526	528	529	524.8	279.99	280	279.99	279.9933		
	3		319.17	319.21	319.19	319.1900		512	519	516	522	508	515.4	298.51	298.51	298.52	298.5133		
	4		307.66	307.67	307.68	307.6700		533	532	538	534	533	534	288.63	288.64	288.62	288.6300		
	5		312.17	312.17	312.19	312.1767		546	516	547	548	548	541	293.51	293.5	293.5	293.5033		
						308.8187							533.28				289.9993		

ตารางที่ ง-9 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 12%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
12	1	114.5453	301.94	301.92	301.91	301.9233	194.4267	508	506	507	508	506	507	282.14	282.14	282.15	282.1433	174.1613	11.64
	2		312.1	312.11	312.09	312.1000		504	505	510	513	513	509	291.82	291.84	291.83	291.8300		
	3		315.92	315.93	315.92	315.9233		514	518	514	511	514	514.2	295.11	295.09	295.12	295.1067		
	4		306.46	306.46	306.45	306.4567		508	518	518	518	517	515.8	286.2	286.21	286.2	286.2033		
	5		308.46	308.45	308.46	308.4567		519	521	507	511	518	515.2	288.24	288.26	288.25	288.2500		
						308.9720							512.24				288.7067		

ตารางที่ ง-10 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 13%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
13	1	114.5533	307.36	307.39	307.4	307.3833	195.9427	518	517	517	516	516	516.8	284.96	284.96	284.97	284.9633	173.4773	12.95
	2		323.75	323.76	323.78	323.7633		506	506	506	505	505	505.6	301.35	301.34	301.34	301.3433		
	3		298.11	298.1	298.1	298.1033		495	501	504	502	512	502.8	277.02	277.03	277.03	277.0267		
	4		309.92	309.95	309.96	309.9433		517	513	488	486	490	498.8	287.27	287.27	287.25	287.2633		
	5		313.29	313.29	313.28	313.2867		511	514	514	514	514	513.4	289.57	289.53	289.57	289.5567		
						310.4960							507.48				288.0307		

ตารางที่ ง-11 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 14%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
14	1	114.6813	344.53	344.52	344.56	344.5367	221.9633	416	416	422	423	423	420	316.5	316.51	316.52	316.5100	194.9400	13.86
	2		344.49	344.48	344.48	344.4833		441	441	447	448	447	444.8	317.16	317.17	317.16	317.1633		
	3		327.34	327.34	327.33	327.3367		422	428	430	430	432	428.4	300.52	300.52	300.53	300.5233		
	4		332.62	332.6	332.61	332.6100		429	436	436	434	434	433.8	305.99	306	306.01	306.0000		
	5		334.92	332.92	334.93	334.2567		435	433	434	438	438	435.6	307.91	307.92	307.9	307.9100		
						336.6447							432.52				309.6213		

ตารางที่ ง-12 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 16%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
16	1	114.5533	329.85	329.85	329.85	329.8500	227.0687	417	420	423	423	426	421.8	302.02	302.02	302.02	302.0200	196.1871	15.74
	2		341.69	341.7	341.7	341.6967		414	416	417	420	422	417.8	311.47	311.48	311.49	311.4800		
	3		346	346.02	346.01	346.0100		404	410	412	413	413	410.4	314.65	314.65	314.63	314.6433		
	4		345.5	354.51	345.52	348.5100		424	426	424	424	423	424.2	313.98	314	313.99	313.9900		
	5		342.05	342.04	342.04	342.0433		417	417	416	412	416	415.6	311.57	311.557	311.58	311.5690		
						341.6220							417.96				310.7405		

ตารางที่ ง-13 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 17%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
17	1	114.6167	349.19	349.18	349.18	349.1833	227.5260	373	373	373	373	373	373	314.76	314.77	314.78	314.7700	194.8980	16.74
	2		353.59	353.59	353.59	353.5900		377	377	376	376	376	376.4	318.77	318.77	318.77	318.7700		
	3		324.97	324.98	324.97	324.9733		382	392	401	399	400	394.8	295.02	295.02	295.03	295.0233		
	4		330.66	330.66	330.65	330.6567		403	405	375	376	376	387	300.16	300.14	300.12	300.1400		
	5		352.31	352.31	352.31	352.3100		397	397	397	397	396	396.8	318.87	318.87	318.87	318.8700		
						342.1427							385.6				309.5147		

ตารางที่ ง-14 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 20%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)* 100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
20	1	114.5453	348.07	348.06	348.07	348.0667	229.9973	366	373	374	363	364	368	309.75	309.76	309.76	309.7567	192.3880	19.55
	2		342.89	342.89	342.89	342.8900		369	354	361	357	357	359.6	311.77	311.78	311.81	311.7867		
	3		350.26	350.26	350.27	350.2633		356	363	364	365	366	362.8	306.04	306.05	306.04	306.0433		
	4		344.04	344.04	344.05	344.0433		360	362	363	364	365	362.8	305.87	305.9	305.89	305.8867		
	5		337.45	337.45	337.45	337.4500		350	366	369	374	375	366.8	301.18	301.2	301.2	301.1933		
						344.5427							364				306.9333		

ตารางที่ ง-15 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 30%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
30	1	114.5720	359.68	359.68	359.68	359.6800	252.4087	334	336	337	339	340	337.2	307.71	307.72	307.71	307.7133	197.1860	28.01
	2		363.7	363.69	363.69	363.6933		350	344	348	355	360	351.4	312.78	312.81	312.82	312.8033		
	3		370.27	370.27	370.27	370.2700		357	357	357	358	361	358	316.08	316.09	316.1	316.0900		
	4		374.63	374.63	374.62	374.6267		344	351	354	356	360	353	315.52	315.51	315.52	315.5167		
	5		366.64	366.63	366.63	366.6333		340	350	358	363	367	355.6	306.67	306.67	306.66	306.6667		
						366.9807							351.04				311.7580		

ตารางที่ ง-16 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินทรายปนร่วนกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 40%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
40	1	114.6167	387.74	387.73	387.73	387.7333	263.8067	344	356	360	364	366	358	327.32	327.34	327.29	327.3167	197.3953	33.64
	2		371.07	371.08	371.07	371.0733		360	361	342	349	343	351	296.62	296.61	296.6	296.6100		
	3		372.13	372.14	372.14	372.1367		337	344	346	350	356	346.6	301.89	301.9	301.89	301.8933		
	4		386.57	386.57	386.57	386.5700		330	337	339	346	349	340.2	324.39	324.38	324.4	324.3900		
	5		374.6	374.6	374.61	374.6033		341	349	350	354	355	349.8	309.86	309.85	309.84	309.8500		
						378.4233							349.12				312.0120		

ภาคผนวก จ
การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินชุดที่ 2 (ดินร่วนเหนียว) กับ Capacitive Soil Moisture Sensor

ภาคผนวก จ

ชุดที่ 2 (ดินร่วนเหนียว)

จากขั้นตอนการแยกประเภทดิน ที่ทำได้โดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงกลโดยไฮโดรมิเตอร์ร่วมกับวิธี Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture ของ Dr. K. E. Saxton ทำให้ทราบ FC, PWP, CR และ SAT ดังตารางที่ จ-1 จึงสามารถกำหนดความชื้นเริ่มต้นตั้งแต่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point: PWP) ไปถึงจุดที่มีความชื้นอิ่มตัว (Saturate Point: SAT) ได้ กำหนดความชื้นต่างๆที่จะทำการทดสอบดังตาราง จ-2

ตารางที่ จ-1 กำหนดการให้น้ำพืช (Irrigation Scheduling) ของดินชุดที่ 2 เป็นเปอร์เซ็นต์

ความชื้นในดิน	ดินชนิดที่ 2
	เปอร์เซ็นต์ความชื้นดิน
Permanent wilting point	18.85
Field capacity	32.99
Critical Point	25.92
Saturated	50.50

ตารางที่ จ-2 กำหนดความชื้นต่างๆที่จะทำการทดสอบ

ครั้งที่	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
0	0.000
1	17.000
2	19.000
3	21.000
4	23.000
5	25.000
6	29.000
7	31.000
8	35.000
9	40.000
10	45.000
11	50.000

ตารางที่ จ-3 ปริมาณน้ำที่เติมให้ดินชุดที่ 2 (ดินร่วนเหนียว) เมื่อกำหนดความชื้นเป็นไปตามตาราง จ-2

ครั้งที่	ความชื้นที่กำหนด (%)	น้ำหนัก				ปริมาณน้ำที่เติม (ความชื้นที่กำหนด/100)*น้ำหนักดินเฉลี่ย (ml.)
		ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)	
0	0	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	0
1	17	1000.63	1000.62	1000.63	1000.63	170
2	19	1000.16	1000.14	1000.15	1000.15	190
3	21	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	210
4	23	1000.89	1000.88	1000.87	1000.88	230
5	25	1000.62	1000.58	1000.58	1000.59	250
6	29	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	290
7	31	1000.44	1000.45	1000.39	1000.43	310
8	35	1000.18	1000.26	1000.27	1000.24	350
9	40	1000.69	1000.53	1000.69	1000.64	400
10	45	1000.19	1000.20	1000.21	1000.20	450
11	50	1000.22	1000.22	1000.21	1000.22	500

ตารางที่ จ-4 น้ำหนักแก้วที่ใช้สำหรับการทดลอง ดินชุดที่ 2 (ดินร่วนเหนียว)

ดินร่วนเหนียว ความชื้นที่ (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)			
		ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)
17	1	114.49	114.49	114.47	114.4833
	2	114.6	114.61	114.6	114.6033
	3	114.63	114.62	114.63	114.6267
	4	114.68	114.69	114.69	114.6867
	5	114.46	114.45	114.47	114.4600
					114.5720
19	1	114.51	114.51	114.51	114.5100
	2	114.49	114.48	114.48	114.4833
	3	114.66	114.66	114.66	114.6600
	4	114.38	114.38	114.38	114.3800
	5	114.69	114.7	114.69	114.6933
					114.5453
21	1	114.74	114.74	114.74	114.7400
	2	114.64	114.64	114.63	114.6367
	3	114.63	114.62	114.63	114.6267
	4	114.5	114.49	114.48	114.4900
	5	114.58	114.59	114.6	114.5900
					114.6167

ตารางที่ จ-4 (ต่อ)

ดินร่วนเหนียว ความชื้นที่ (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)			
		ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)
23	1	114.47	114.47	114.47	114.4700
	2	114.87	114.86	114.87	114.8667
	3	114.65	114.65	114.65	114.6500
	4	114.57	114.58	114.58	114.5767
	5	114.6	114.6	114.59	114.5967
					114.6320
25	1	114.75	114.74	114.72	114.7367
	2	114.44	114.44	114.44	114.4400
	3	114.52	114.51	114.47	114.5000
	4	114.56	114.54	115.6	114.9000
	5	114.84	114.82	114.83	114.8300
					114.6813
29	1	114.7	114.69	114.69	114.6933
	2	114.52	114.52	114.52	114.5200
	3	114.43	114.43	114.43	114.4300
	4	114.61	114.61	114.62	114.6133
	5	114.51	114.51	114.51	114.5100
					114.5533
31	1	114.74	114.74	114.74	114.7400
	2	114.64	114.64	114.63	114.6367
	3	114.63	114.62	114.63	114.6267
	4	114.5	114.49	114.48	114.4900
	5	114.58	114.59	114.6	114.5900
					114.6167
35	1	114.51	114.51	114.51	114.5100
	2	114.49	114.48	114.48	114.4833
	3	114.66	114.66	114.66	114.6600
	4	114.38	114.38	114.38	114.3800
	5	114.69	114.7	114.69	114.6933
					114.5453
40	1	114.7	114.69	114.69	114.6933
	2	114.52	114.52	114.52	114.5200
	3	114.43	114.43	114.43	114.4300
	4	114.61	114.61	114.62	114.6133
	5	114.51	114.51	114.51	114.5100
					114.5533
45	1	114.49	114.49	114.47	114.4833
	2	114.6	114.61	114.6	114.6033
	3	114.63	114.62	114.63	114.6267
	4	114.68	114.69	114.69	114.6867
	5	114.46	114.45	114.47	114.4600
					114.5720

ตารางที่ จ-4 (ต่อ)

ดินร่วนเหนียวความชื้นที่ (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)			
		ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)
50	1	114.74	114.74	114.74	114.7400
	2	114.64	114.64	114.63	114.6367
	3	114.63	114.62	114.63	114.6267
	4	114.5	114.49	114.48	114.4900
	5	114.58	114.59	114.6	114.5900
					114.6167

ตารางที่ จ-5 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 17%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
17	1	114.5720	285.93	285.94	285.93	285.9333	191.5953	495	462	462	469	466	470.8	261.95	261.94	261.95	261.9467	164.5547	16.43
	2		325.03	325.02	325.02	325.0233		423	422	447	447	446	437	295.32	295.33	295.33	295.3267		
	3		330.86	330.87	330.88	330.8700		397	397	397	397	397	397	300.46	300.48	300.48	300.4733		
	4		283.32	283.33	283.33	283.3267		493	492	490	489	489	490.6	259.84	259.83	259.78	259.8167		
	5		305.68	305.68	305.69	305.6833		427	426	426	427	425	426.2	278.07	278.07	278.07	278.0700		
						306.1673							444.32				279.1267		

ตารางที่ จ-6 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 19%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
19	1	114.5453	314.47	314.47	314.48	314.4733	184.6220	366	368	368	368	344	362.8	283.02	283.01	283	283.0100	155.6027	18.65
	2		305.36	305.35	305.35	305.3533		428	427	427	427	459	433.6	275.54	275.56	275.56	275.5533		
	3		318.81	318.82	318.83	318.8200		408	405	394	428	429	412.8	286.03	286.04	286.94	286.3367		
	4		285.25	285.24	285.23	285.2400		408	409	410	411	412	410	258.58	258.56	258.55	258.5633		
	5		271.94	271.95	271.96	271.9500		450	452	452	452	452	451.6	247.24	247.25	247.34	247.2767		
						299.1673							414.16				270.1480		

ตารางที่ จ-7 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 21%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
21	1	114.6167	320.02	320.02	320.01	320.0167	227.6173	363	364	364	364	364	363.8	284.69	284.69	284.72	284.7000	188.8160	20.55
	2		339.98	339.97	339.96	339.9700		330	333	326	327	329	329	300.81	300.83	300.84	300.8267		
	3		343.25	343.25	343.26	343.2533		357	357	357	357	357	357	304.24	304.23	304.22	304.2300		
	4		351.09	351.08	351.09	351.0867		315	338	339	344	344	336	310.82	310.81	310.84	310.8233		
	5		358.51	358.51	353.51	356.8433		336	336	336	336	337	336.2	316.57	316.57	316.61	316.5833		
						342.2340							344.4				303.4327		

ตารางที่ จ-8 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 23%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
23	1	114.6320	342.28	342.26	324.26	336.2667	231.3087	322	325	324	317	320	321.6	300.05	300.06	300.02	300.0433	189.6287	21.98
	2		357.96	357.96	357.94	357.9533		325	327	329	330	334	329	313.1	313.13	313.13	313.1200		
	3		346.22	346.21	346.22	346.2167		338	339	338	337	339	338.2	302.53	302.54	302.54	302.5367		
	4		369.04	369.05	369.05	369.0467		334	339	334	337	340	336.8	322.25	322.25	322.28	322.2600		
	5		320.23	320.21	320.22	320.2200		309	315	316	319	320	315.8	283.33	283.35	283.35	283.3433		
						345.9407							328.28				304.2607		

ตารางที่ จ-9 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 25%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
25	1	114.6813	354.36	354.35	354.35	354.3533	235.0127	301	307	314	339	316	315.4	306.23	306.22	306.23	306.2267	188.1273	24.92
	2		354.32	354.3	354.3	354.3067		337	340	315	307	319	323.6	306.96	306.97	306.97	306.9667		
	3		356.46	356.47	356.46	356.4633		302	321	328	310	326	317.4	308.24	308.26	308.23	308.2433		
	4		346.28	346.28	346.28	346.2800		315	312	302	309	316	310.8	300	300.02	300.01	300.0100		
	5		337.07	337.07	337.06	337.0667		343	310	322	331	336	328.4	292.59	292.59	292.61	292.5967		
						349.6940							319.12				302.8087		

ตารางที่ จ-10 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 29%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
29	1	114.5533	365.2	365.2	365.2	365.2000	240.7033	306	296	295	291	293	296.2	309.35	309.33	309.36	309.3467	187.0087	28.71
	2		350.5	350.51	350.5	350.5033		290	290	297	306	297	296	298.14	298.15	298.11	298.1333		
	3		353.99	353.99	353.98	353.9867		290	312	310	294	303	301.8	300.57	300.59	300.6	300.5867		
	4		345.27	345.28	345.25	345.2667		291	306	301	308	308	302.8	293.52	293.54	293.53	293.5300		
	5		361.32	361.33	361.33	361.3267		282	296	308	297	309	298.4	306.22	306.22	306.2	306.2133		
						355.2567							299.04				301.5620		

ตารางที่ จ-11 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 31%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
31	1	114.6167	362.67	362.67	362.68	362.6733	252.5060	281	293	294	306	290	292.8	302.49	302.47	302.51	302.4900	191.5467	31.82
	2		368.2	368.2	368.2	368.2000		291	289	297	288	281	289.2	307.19	307.18	307.22	307.1967		
	3		360.63	360.63	360.64	360.6333		294	297	302	265	268	285.2	301.68	301.69	301.69	301.6867		
	4		371.55	371.56	371.56	371.5567		286	267	283	282	280	279.6	309.41	309.4	309.4	309.4033		
	5		372.55	372.55	372.55	372.5500		301	291	293	291	298	294.8	310.05	310.05	310.02	310.0400		
						367.1227							288.32				306.1633		

ตารางที่ จ-12 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 35%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)* 100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
35	1	114.5453	371.92	371.92	371.92	371.9200	258.6953	284	291	284	293	302	290.8	303.06	303.07	303.05	303.0600	193.0840	33.98
	2		373.74	373.74	373.74	373.7400		256	288	284	276	281	277	308.88	308.88	308.88	308.8800		
	3		377.87	377.86	377.86	377.8633		254	282	283	302	282	280.6	317.59	317.59	317.59	317.5900		
	4		372.3	372.3	372.3	372.3000		280	303	249	308	307	289.4	306.59	306.58	306.59	306.5867		
	5		370.37	370.39	370.38	370.3800		266	283	284	280	306	283.8	302.04	302.03	302.02	302.0300		
						373.2407							284.32				307.6293		

ตารางที่ จ-13 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 40%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
40	1	114.5533	359.33	359.32	359.33	359.3267	248.2587	266	302	277	272	267	276.8	288.47	288.48	288.5	288.4833	177.6467	39.75
	2		366.38	366.38	366.38	366.3800		272	276	264	267	291	274	294.46	294.46	294.45	294.4567		
	3		361.19	361.19	361.19	361.1900		306	283	298	293	266	289.2	289.72	289.72	289.73	289.7233		
	4		360.4	360.4	360.38	360.3933		276	298	284	276	291	285	292.8	292.81	292.81	292.8067		
	5		366.78	366.77	366.76	366.7700		290	276	282	264	261	274.6	295.53	295.53	295.53	295.5300		
						362.8120							279.92				292.2000		

ตารางที่ จ-14 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 45%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
45	1	114.5720	363.51	363.51	363.5	363.5067	246.0287	249	289	269	254	283	268.8	285.48	285.48	285.49	285.4833	168.9653	45.61
	2		361.91	361.92	361.92	361.9167		264	268	262	254	266	262.8	283.87	283.87	283.86	283.8667		
	3		356.26	356.26	356.25	356.2567		247	268	237	255	264	254.2	280.19	280.19	280.19	280.1900		
	4		356.27	356.27	356.26	356.2667		242	249	260	266	261	255.6	279.3	279.3	279.29	279.2967		
	5		365.05	365.07	365.05	365.0567		243	256	256	290	252	259.4	288.85	288.85	288.85	288.8500		
						360.6007							260.16				283.5373		

ตารางที่ จ-15 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินร่วนเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor ความชื้นที่ กำหนด 50%

ความชื้นที่กำหนด (%)	แก้วใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (g.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (g.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (g.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (g.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)* 100
			ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)		
50	1	114.6167	363.87	363.88	363.88	363.8767	247.7800	241	259	248	252	261	252.2	281.4	281.41	281.41	281.4067	165.8307	49.42
	2		355.92	355.93	355.93	355.9267		233	254	274	247	257	253	274.46	274.46	274.45	274.4567		
	3		366.79	366.79	366.79	366.7900		259	244	253	264	241	252.2	283.84	283.84	283.84	283.8400		
	4		362.15	362.15	362.16	362.1533		252	234	230	236	243	239	280.05	280.05	280.06	280.0533		
	5		363.24	363.24	363.23	363.2367		225	235	234	236	244	234.8	282.81	281.81	282.82	282.4800		
						362.3967							246.24				280.4473		

ภาคผนวก ฉ
การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินชุดที่ 3 (ดินเหนียว) กับ Capacitive Soil Moisture Sensor

ภาคผนวก ฉ

ชุดที่ 3 (ดินเหนียว)

จากขั้นตอนการแยกประเภทดิน ที่ทำได้โดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงกลโดยไฮโดรมิเตอร์ร่วมกับวิธี Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture ของ Dr. K. E. Saxton ทำให้ทราบ FC, PWP, CR และ SAT ดังตารางที่ ฉ-1 ซึ่งในกรณีของดินเหนียว ทำกลับกันคือ กำหนดจุด SAT ที่ได้มาจากขั้นตอนข้างต้น แล้วนำไปเข้าตู้อบครั้งละ 2-3 ชม แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก วัดด้วยเซ็นเซอร์ บันทึกผลเป็นดินมีความชื้น แล้วจึงนำไปอบอุณหภูมิ 105 ° ซ. เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 24 ชม. เมื่อครบ 24 ชม. แล้วนำมาชั่งน้ำหนักบันทึกเป็นน้ำหนักดินแห้ง

ตารางที่ ฉ-1 กำหนดการให้น้ำพืช (Irrigation Scheduling) ของดินชุดที่ 3 เป็นเปอร์เซ็นต์

ความชื้นในดิน	ดินชนิดที่ 3
	เปอร์เซ็นต์ความชื้นดิน
Permanent wilting point	38.92
Field capacity	52.29
Critical Point	45.61
Saturated	55.58

ตารางที่ ฉ-2 น้ำหนักแก้วที่ใช้สำหรับการทดลอง ดินชุดที่ 3 (ดินเหนียว)

ใบที่	น้ำหนักแก้ว (g.)			
	ครั้งที่ 1 (g.)	ครั้งที่ 2 (g.)	ครั้งที่ 3 (g.)	เฉลี่ย (g.)
1	114.6	114.61	114.6	114.6033
2	114.51	114.51	114.51	114.5100
3	114.66	114.66	114.66	114.6600
4	114.38	114.38	114.38	114.3800
5	114.38	114.38	114.38	114.3800
6	114.47	114.47	114.47	114.4700
7	114.87	114.86	114.87	114.8667
8	114.65	114.65	114.65	114.6500
9	114.65	114.65	114.65	114.6500
10	114.6	114.6	114.59	114.5967

ตารางที่ ฉ-3 การปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินเหนียวกับ Capacitive Soil Moisture Sensor

ใบที่	น้ำหนักแก้ว (ก.)	น้ำหนักแก้วและดินมีความชื้น (ก.)				น้ำหนักดินมีความชื้น (ก.)	ค่าที่ Sensor อ่านได้						น้ำหนักแก้วและดินแห้งหลังอบ (ก.)				น้ำหนักดินแห้งหลังอบ (ก.)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น ((ดินมีความชื้น-ดินแห้งหลังอบ)/ดินแห้งหลังอบ)*100
		ครั้งที่ 1 (ก.)	ครั้งที่ 2 (ก.)	ครั้งที่ 3 (ก.)	เฉลี่ย (ก.)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1 (ก.)	ครั้งที่ 2 (ก.)	ครั้งที่ 3 (ก.)	เฉลี่ย (ก.)		
1	114.6033	318.42	318.44	318.46	318.4400	203.8367	422	422	422	423	422	422.2	250.01	250	249.99	250.0000	135.3967	50.55
2	114.5100	322.79	322.79	322.79	322.7900	208.2800	349	354	350	354	554	392.2	252.85	252.89	252.88	252.8733	138.3633	50.53
3	114.6600	305.66	305.65	305.65	305.6533	190.9933	442	442	442	442	441	441.8	250.09	250.07	250.11	250.0900	135.4300	41.03
4	114.3800	294.78	294.77	294.77	294.7733	180.3933	477	470	468	472	462	469.8	249.48	249.48	249.5	249.4867	135.1067	33.52
5	114.3800	284.24	283.24	283.22	283.5667	169.1867	493	492	493	493	494	493	249.48	249.48	249.5	249.4867	135.1067	25.22
6	114.4700	276.92	276.91	276.91	276.9133	162.4433	541	541	541	542	543	541.6	250.38	250.39	250.39	250.3867	135.9167	19.52
7	114.8667	269.77	269.78	269.77	269.7733	154.9067	607	608	607	608	607	607.4	250	250	250.01	250.0033	135.1367	14.63
8	114.6500	267.84	267.83	267.83	267.8333	153.1833	629	628	628	629	628	628.4	250.61	250.62	251.61	250.9467	136.2967	12.39
9	114.6500	261.92	261.93	261.92	261.9233	147.2733	710	708	708	712	708	709.2	250.61	250.62	251.61	250.9467	136.2967	8.05
10	114.5967						795	795	795	794	795	794.8						0.00

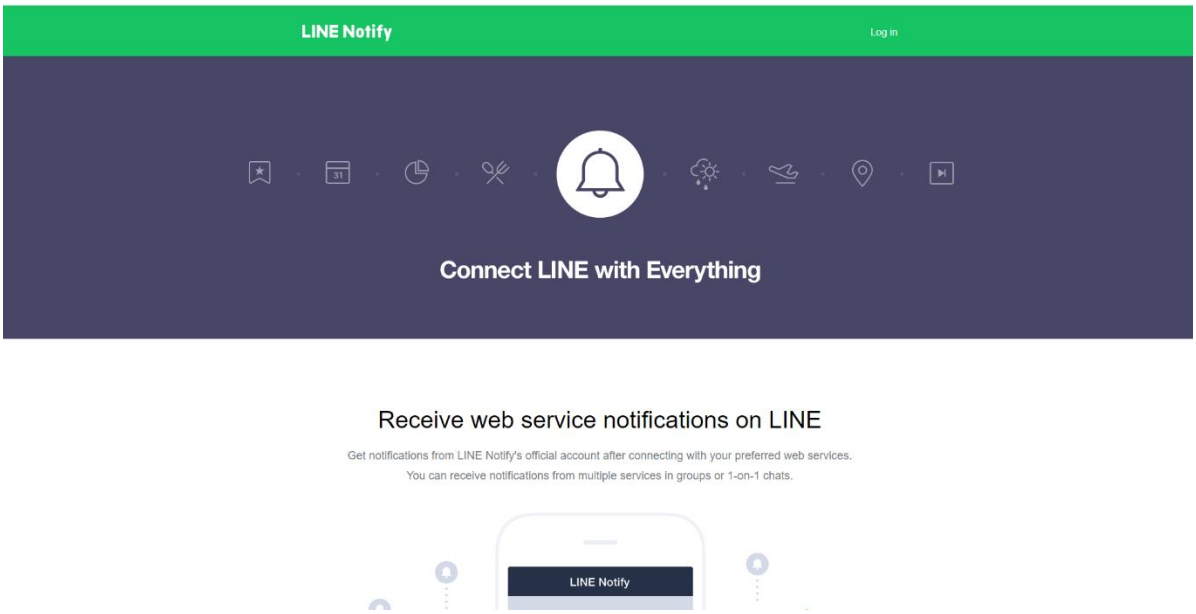
ภาคผนวก ช
การใช้งาน Line Notify เพื่อแจ้งเตือนร่วมกับ Code Arduino

ภาคผนวก ช

การใช้งาน Line Notify เพื่อแจ้งเตือน

ขั้นตอนแรกเริ่มจากการสร้าง Token ในการใช้ Line Notify ก่อน

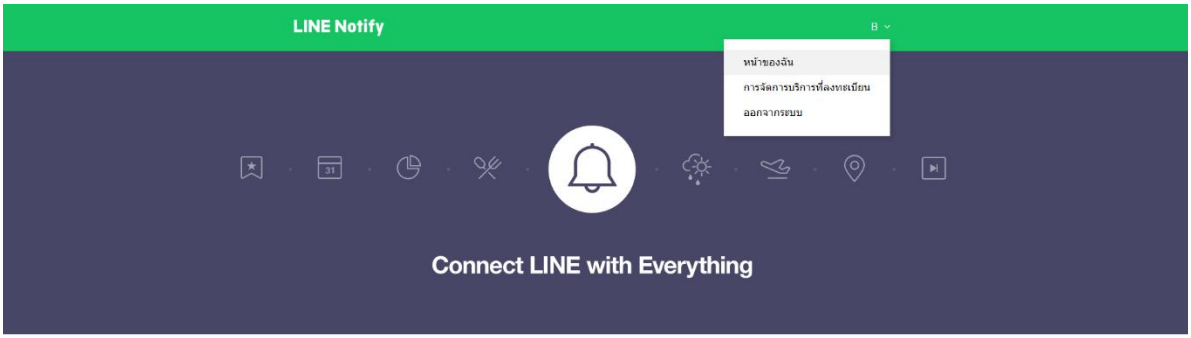
เริ่มต้นจาก ไปที่ https://notify-bot.line.me/th แล้วกด Login



ภาพที่ ช-1 การใช้งาน Line Notify เพื่อแจ้งเตือน (1)

ภาพที่ ช-2 การใช้งาน Line Notify เพื่อแจ้งเตือน (2)

หลังจาก Login สำเร็จ ให้กดที่ลูกศรชี้ลงด้านข้างชื่อบัญชีแล้วเลือก “หน้าของฉัน”



ภาพที่ ช-3 การใช้งาน Line Notify เพื่อแจ้งเตือน (3)

จากนั้นให้เลื่อนลงมากดปุ่ม “ออก Token

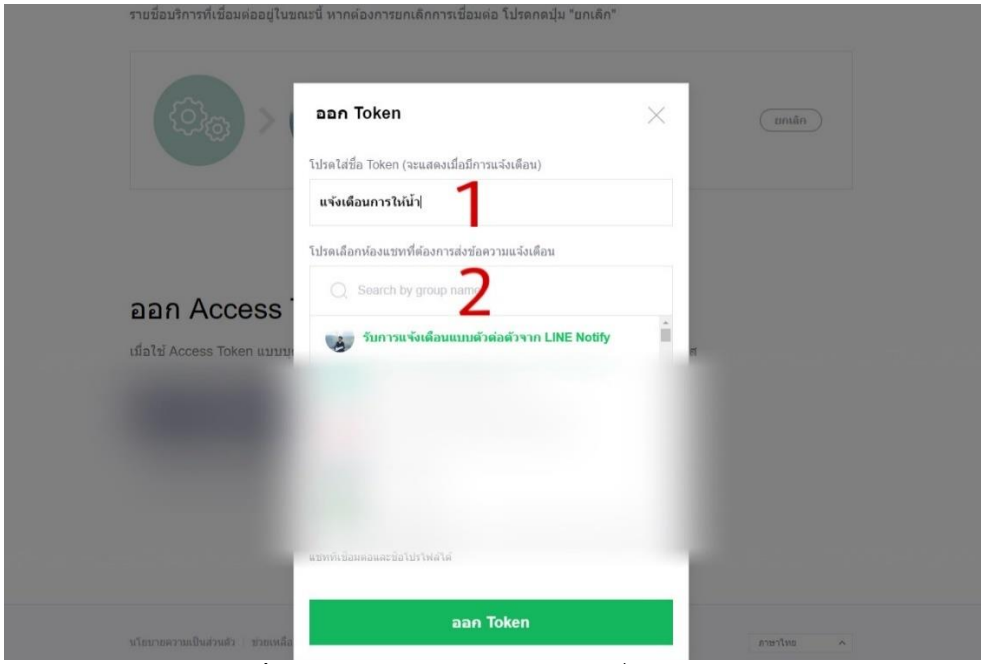
ภาพที่ ช-4 การใช้งาน Line Notify เพื่อแจ้งเตือน (4)

จากนั้นให้ใส่

หมายเลข 1 ให้ใส่ชื่อของ Token (ชื่อของ LINE Notify)

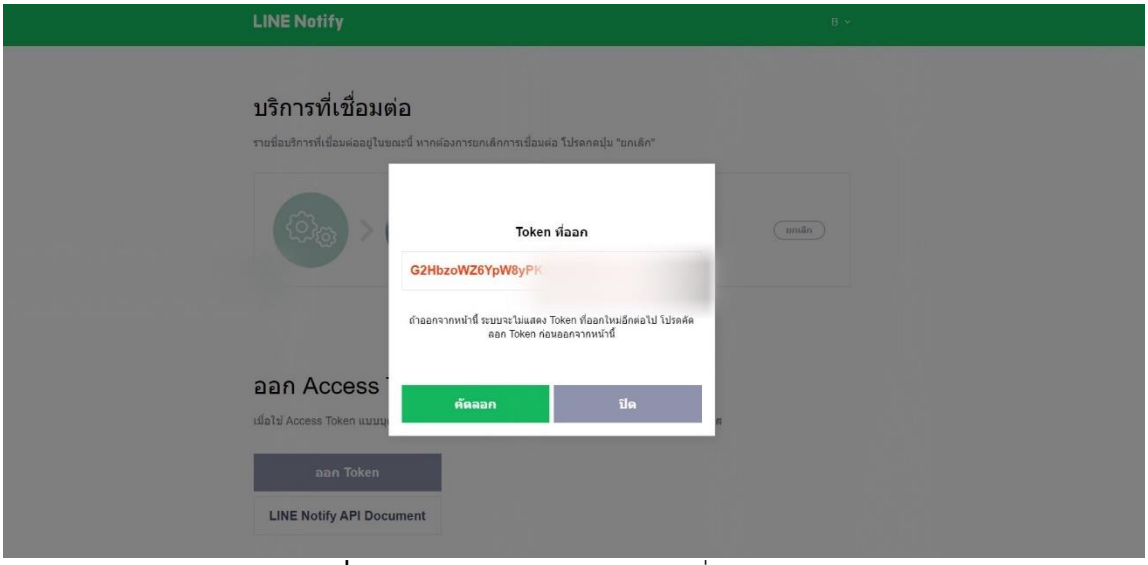
หมายเลข 2 ให้เลือกห้องแชทที่ต้องการส่งข้อความแจ้งเตือน

จากนั้นกดปุ่มออก Token เพื่อรับ Token key



ภาพที่ ช-5 การใช้งาน Line Notify เพื่อแจ้งเตือน (5)

จะได้ Token ที่ออก

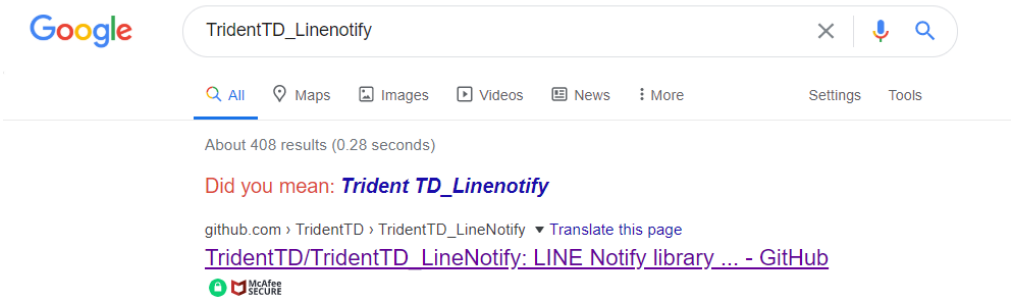


ภาพที่ ช-6 การใช้งาน Line Notify เพื่อแจ้งเตือน (6)

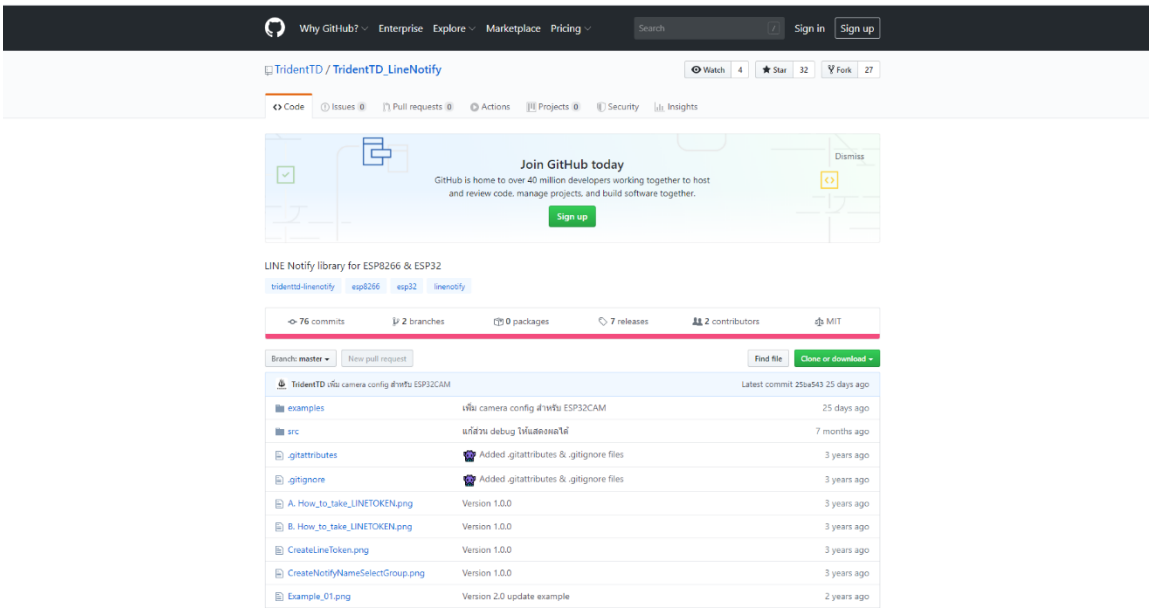
การนำไปใช้กับ Code Arduino

ขั้นตอนต่อไปคือการนำโค้ดไปใช้กับArduino

เริ่มจากการหาโค้ดของ Line Notify ก่อน โดยหาจาก Google พิมพ์ “TridentTD_Linenotify”

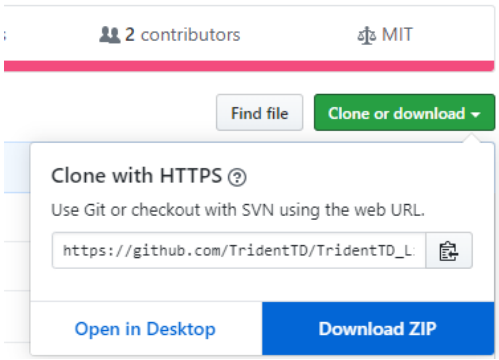


ภาพที่ ช-7 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (1)



ภาพที่ ช-8 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (2)

กด Clone or download เลือก Download ZIP

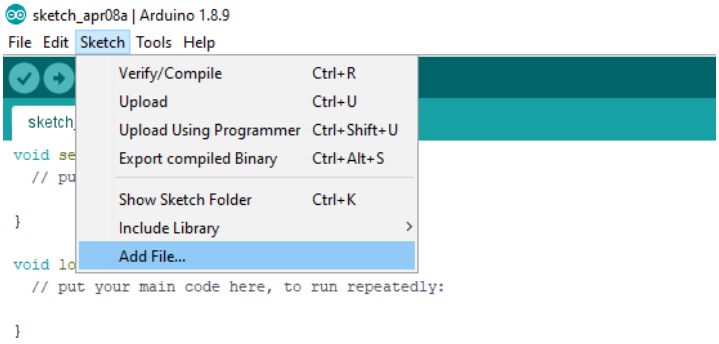


ภาพที่ ช-9 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (3)

จากนั้นเข้าโปรแกรม Arduino

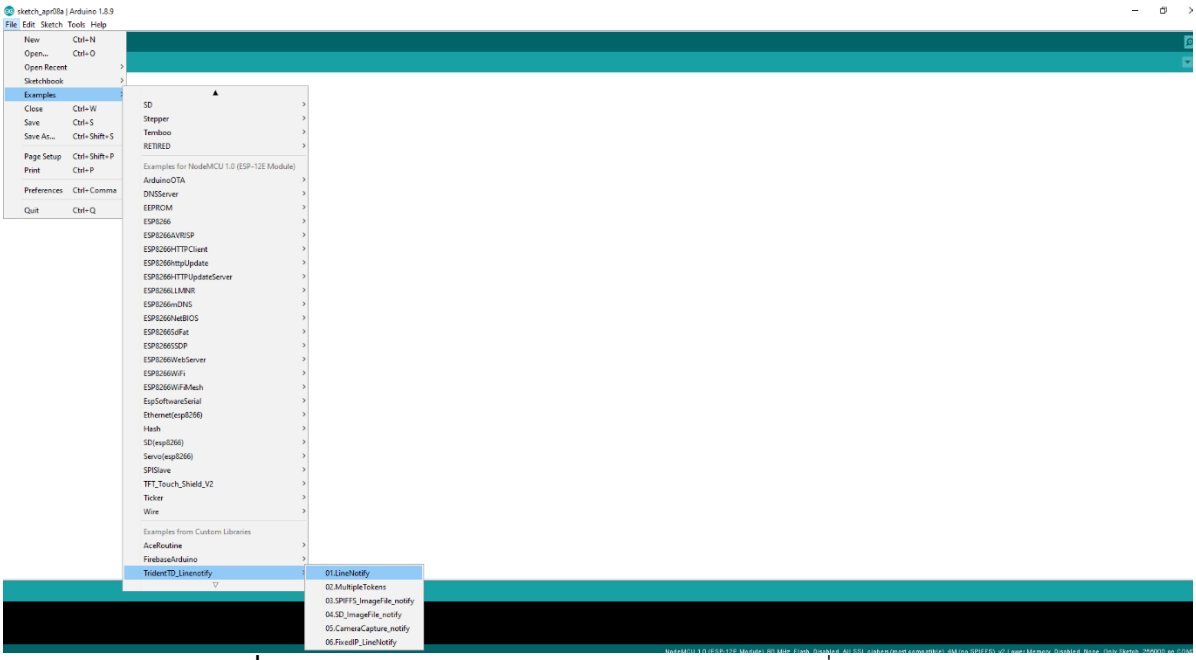
ภาพที่ ช-10 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (4)

เลือกที่ Sketch -> Add File... -> เลือกไฟล์ TridentTD_Linenotify ที่ได้ทำการ Download ไว้แล้ว



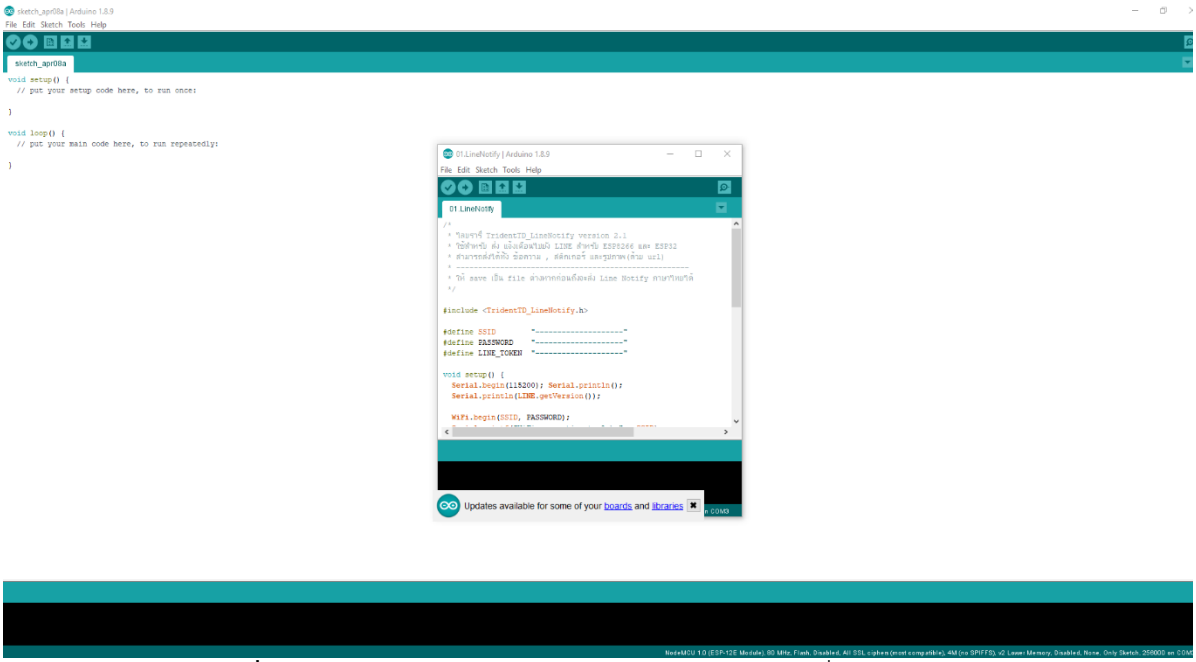
ภาพที่ ช-11 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (5)

จากนั้นเลือกที่ File -> Example -> TridentTD_Linenotify -> 01.LineNotify



ภาพที่ ช-12 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (6)

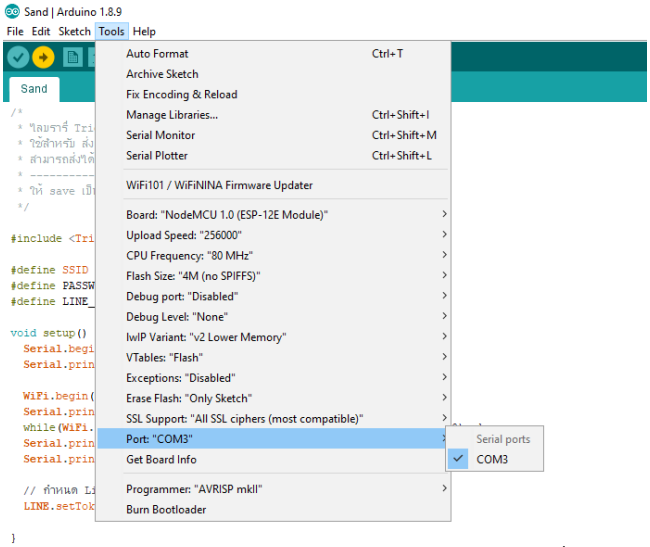
จะมีหน้าต่างอีกอันเด้งขึ้นมา ให้ใช้หน้าต่างนั้นในการแก้ไขโค้ด



ภาพที่ ช-13 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (7)

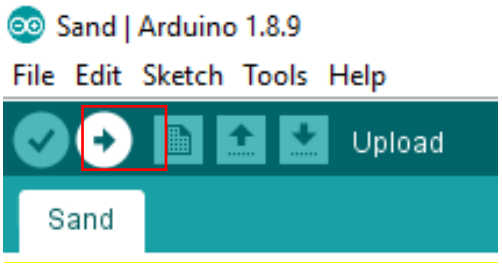
เมื่อทำการแก้ไขโค้ดเสร็จ ก่อน Uplad ให้ทำการ Check Port ก่อน

โดยการเลือก Tools -> Port COM3 -> COM3



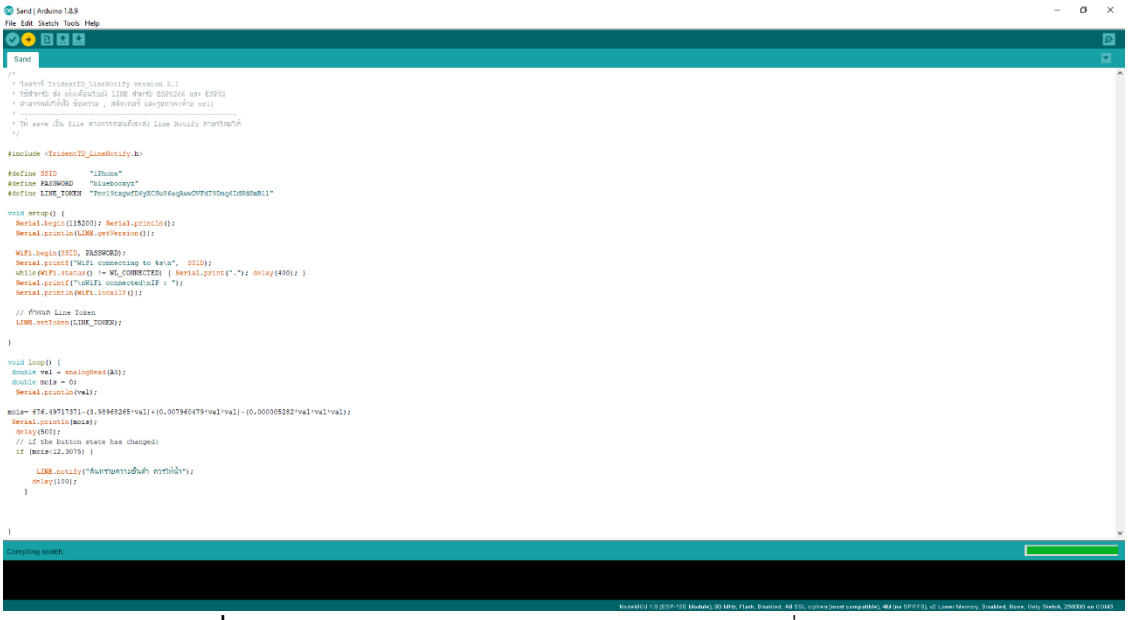
ภาพที่ ช-14 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (8)

จากนั้นกด Upload



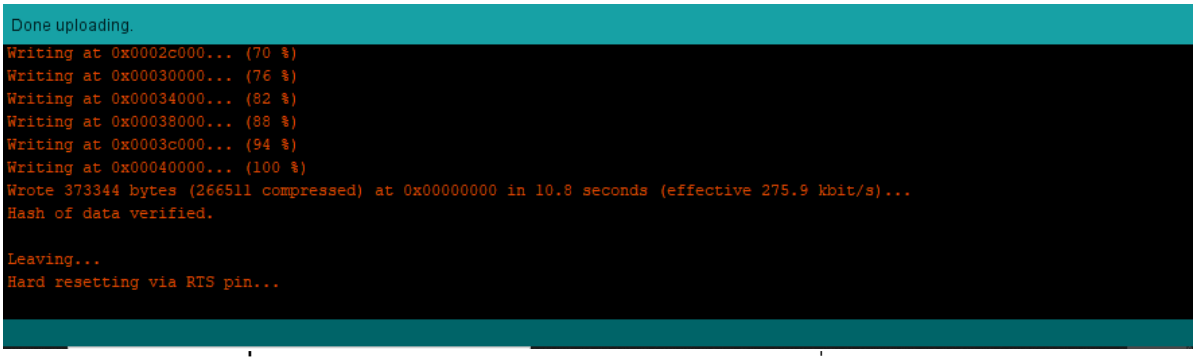
ภาพที่ ช-15 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (9)

เมื่อทำการ Upload แล้วให้รอจนกว่าจะ Run เสร็จ 100 % (ดูจากแถบด้านล่าง)



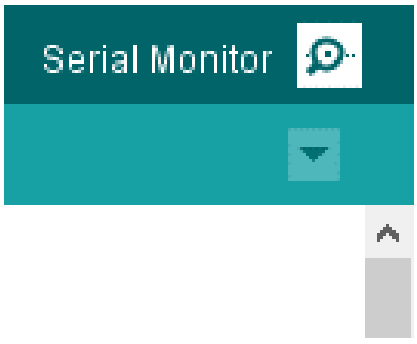
ภาพที่ ช-16 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (10)

เมื่อโปรแกรม Run จะเป็นดังภาพ



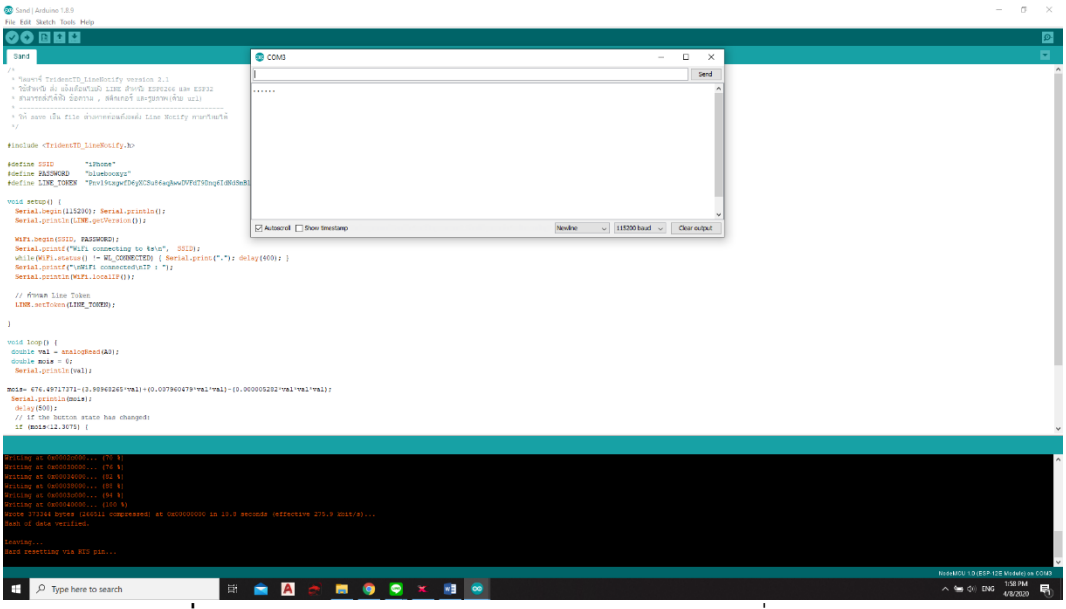
ภาพที่ ช-17 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (11)

จากนั้นให้กด Serial Monitor (ด้านมุมขวาบน)



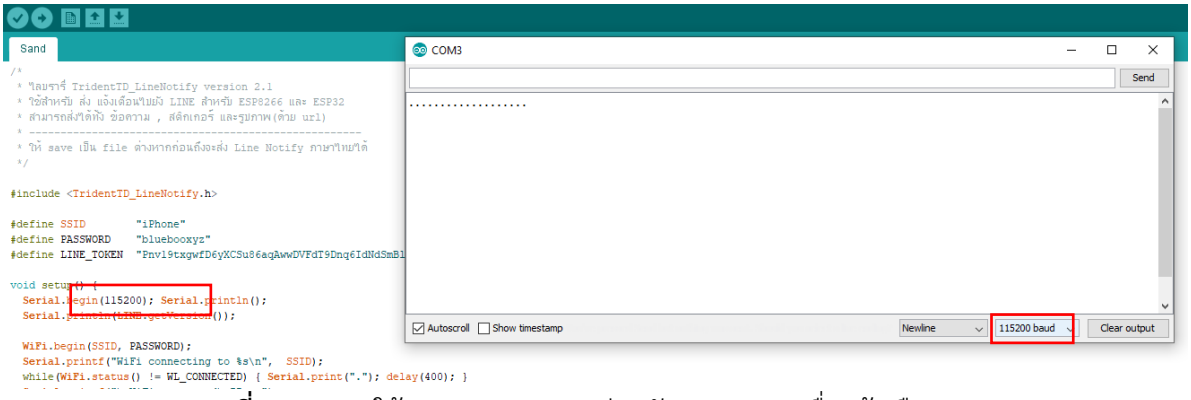
ภาพที่ ช-18 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (12)

จากนั้นจะมีหน้าต่างขึ้นมา



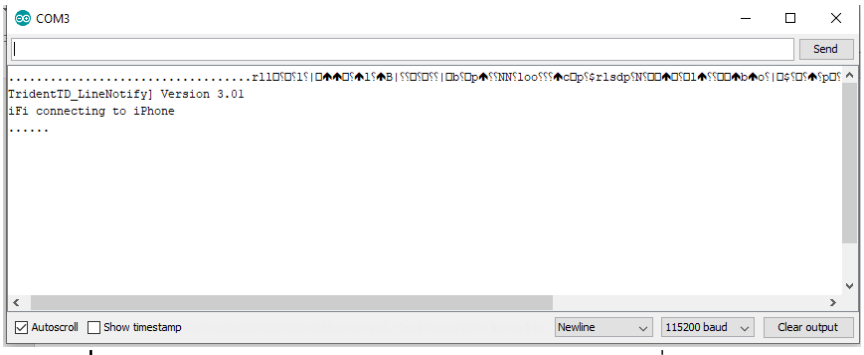
ภาพที่ ช-19 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (13)

ให้ทำการ Check เลขสองตัวนี้ตรงกันก่อน



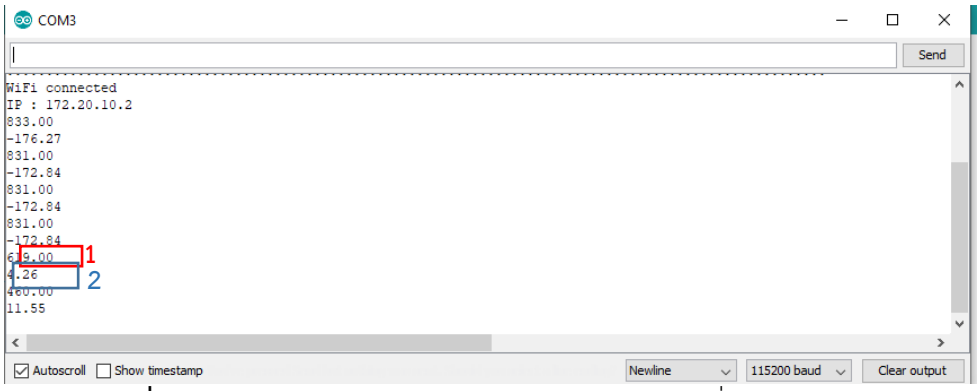
ภาพที่ ช-20 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (14)

กดปุ่มที่ตัวบอร์ดเพื่อให้เชื่อมกับ Internet



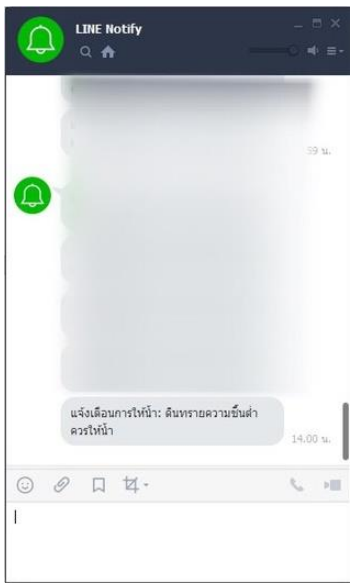
ภาพที่ ช-21 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (15)

เมื่อเชื่อมต่อกับ Internet แล้ว หมายเลข 1 คือค่าที่อ่านจาก sensor และหมายเลข 2 คือค่าที่แปลงเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นแล้ว



ภาพที่ ช-22 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (16)

และเมื่อความชื้นต่ำว่า Critical Point ก็จะมีการแจ้งเตือนขึ้นบน Line Notify



ภาพที่ ช-23 การใช้งาน Line Notify ร่วมกับ Arduino เพื่อแจ้งเตือน (17)

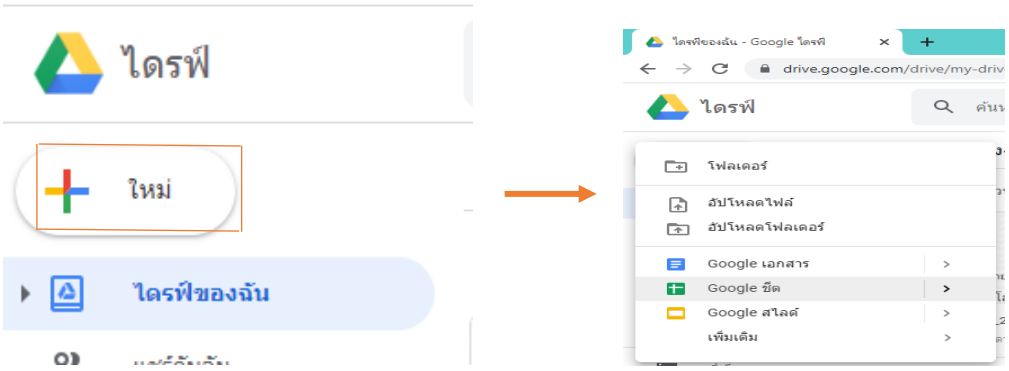
ภาคผนวก ซ
การใช้งาน Google sheet เพื่อจัดเก็บข้อมูล และ แจ้งเตือนไลน์

ภาคผนวก ซ

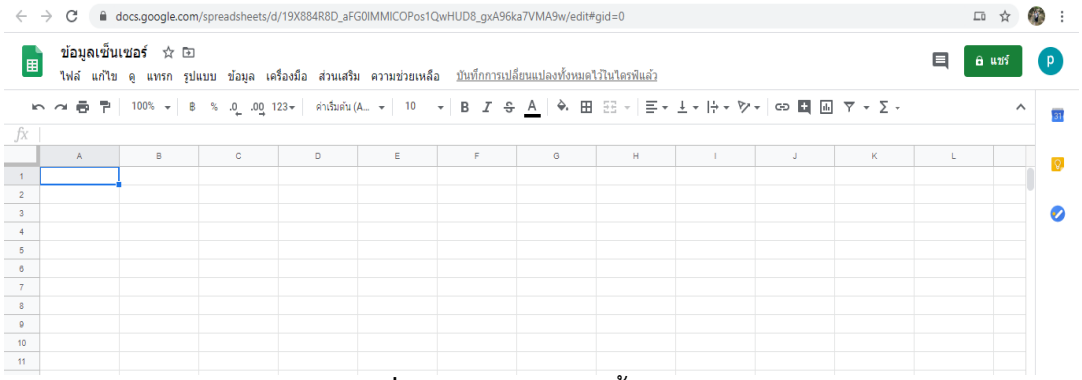
1.การสร้าง Google sheet ใน Google drive

การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet

1. สร้าง google sheet ในแอปพลิเคชั่น google drive
2.

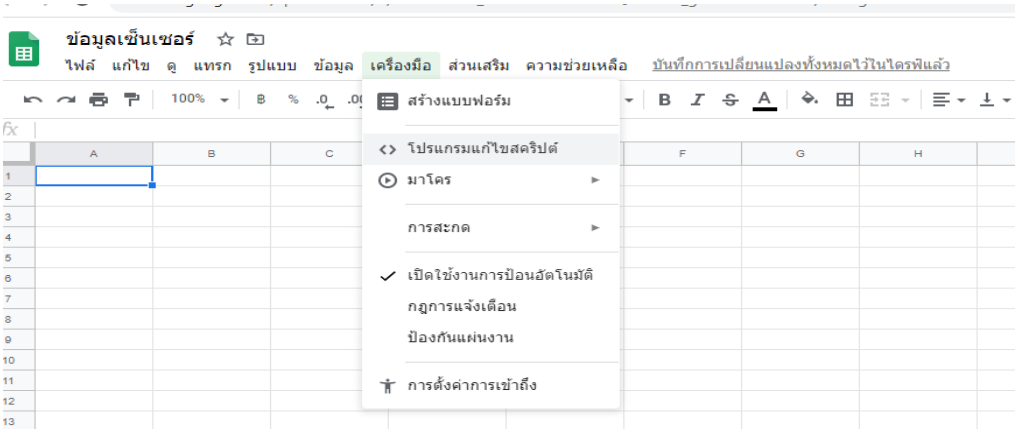


ภาพที่ ซ-1 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (1)

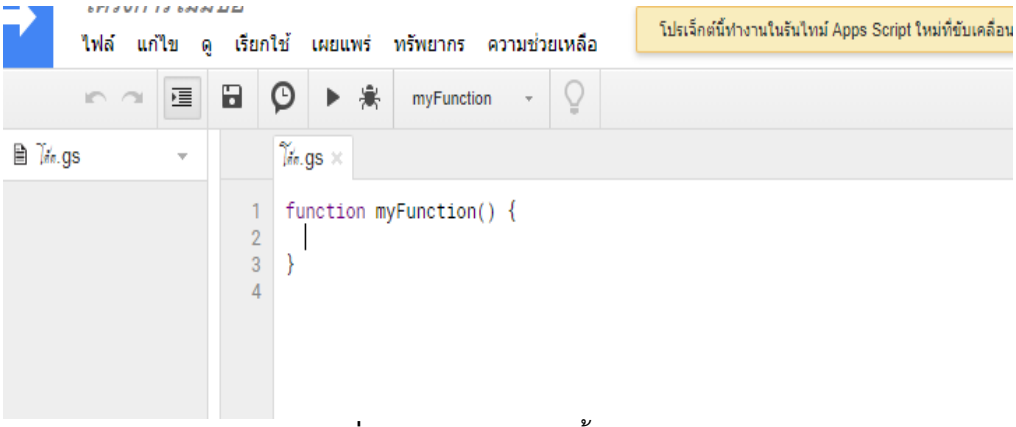


ภาพที่ ซ-2 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (2)

3. ไปที่เครื่องมือ → เลือก โปรแกรมแก้ไขสคริปต์

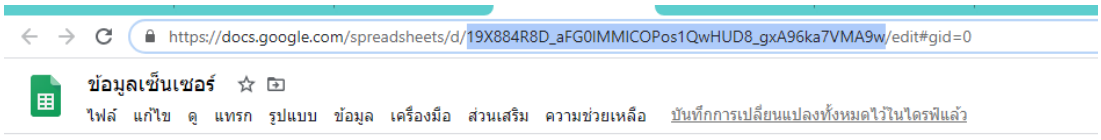


ภาพที่ ซ-3 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (3)



ภาพที่ ซ-4 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (4)

4. Copy ตรงส่วนนี้ในหน้า google sheet ที่เราสร้างไว้



ภาพที่ ซ-5 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (5)

5. จากนั้น copy โค้ดด้านล่างไปใส่ในหน้าขั้นตอนที่2

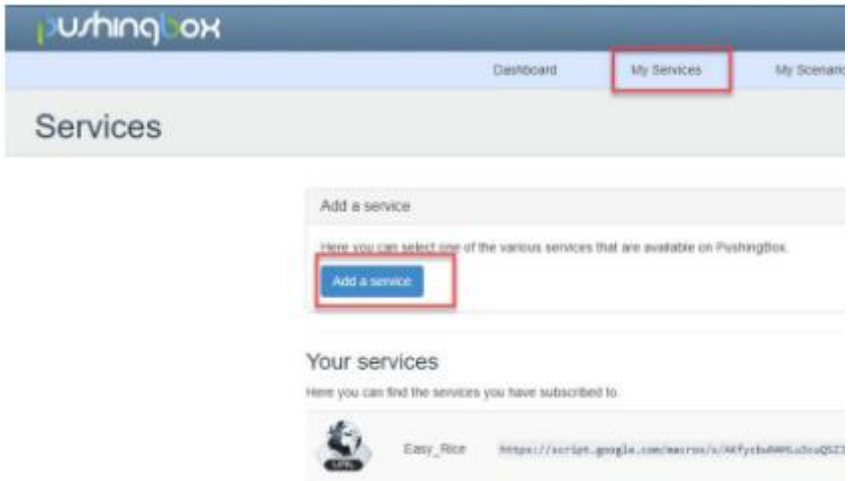
```
/* Using
spreadsheet
API */
            function doGet(e) {
              Logger.log( JSON.stringify(e) );  // view parameters
            var result = 'Ok'; // assume success
            if (e.parameter == undefined) {
                result = 'No Parameters';
              }
              else {
                var id = '';
                var sheet = SpreadsheetApp.openById(id).getActiveSheet();
                var newRow = sheet.getLastRow() + 1;
                var rowData = [];
                //var waktu = new Date();
                rowData[0] = new Date(); // Timestamp in column A

                for (var param in e.parameter) {
                  Logger.log('In for loop, param='+param);
                  var value = stripQuotes(e.parameter[param]);
                  //Logger.log(param + ':' + e.parameter[param]);
                  switch (param) {
                    case 'value1': //Parameter
                      rowData[1] = value; //Value in column B
                      break;
                    case 'value2':
                      rowData[2] = value;
                      break;
                    case 'value3':
                      rowData[3] = value;
                      break;
                    case 'value4':
                      rowData[4] = value;
                      break;
                    case 'value5':
                      rowData[5] = value;
                      break;
                    default:
                      result = "unsupported parameter";
                  }
                }
```

```
    Logger.log(JSON.stringify(rowData));
// Write new row below
    var newRange = sheet.getRange(newRow, 1, 1, rowData.length);
    newRange.setValues([rowData]);
  }
// Return result of operation
  return ContentService.createTextOutput(result);
}
/**
* Remove leading and trailing single or double quotes
*/
function stripQuotes( value ) {
  return value.replace(/^["']|['"]$/g, "");
}
```

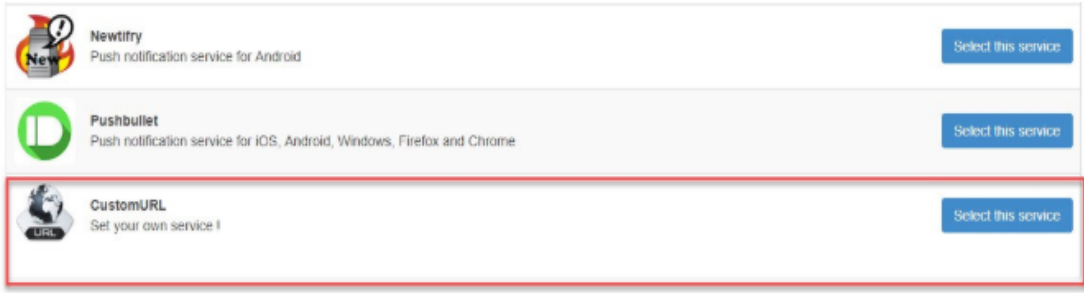
view rawpushingbox-excel.js hosted with ❤ by GitHub

***และใน code id = ให้เรานำส่วนที่เรา copy ไว้ในขั้นตอนที่ 3 มาใส่

6. จากนั้นเข้าเว็บไซต์ https://www.pushingbox.com/
7. ลงชื่อเข้าใช้ให้เรียบร้อย แล้วคลิกที่กรอบสีแดง ดังรูป

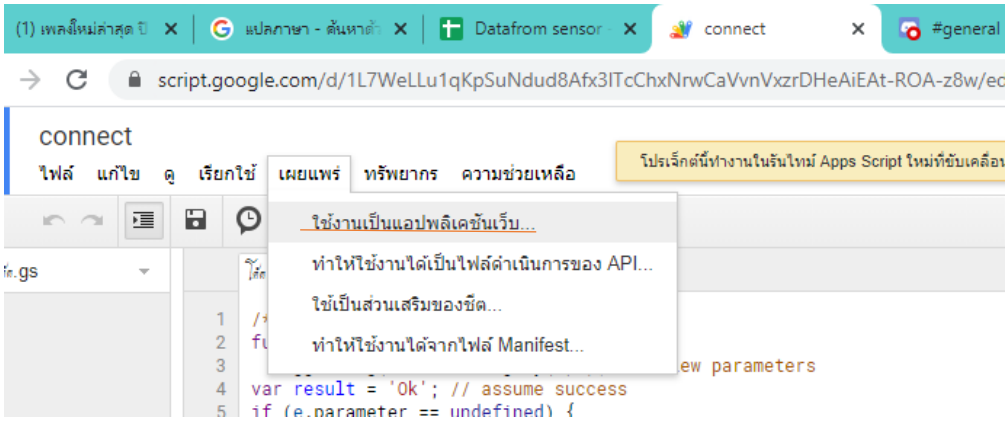


ภาพที่ ซ-6 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (6)



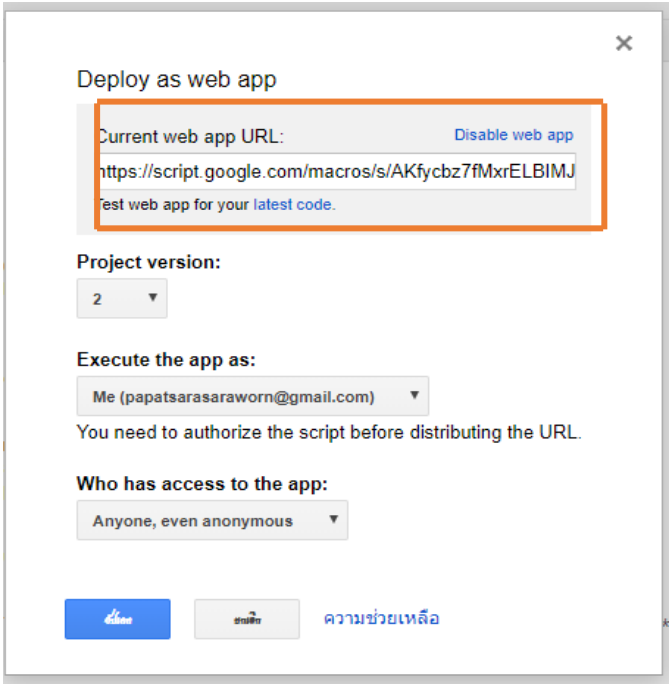
ภาพที่ ซ-7 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (7)

8. กลับไปที่หน้าในขั้นตอนที่ 2 แล้วเลือกดังรูป



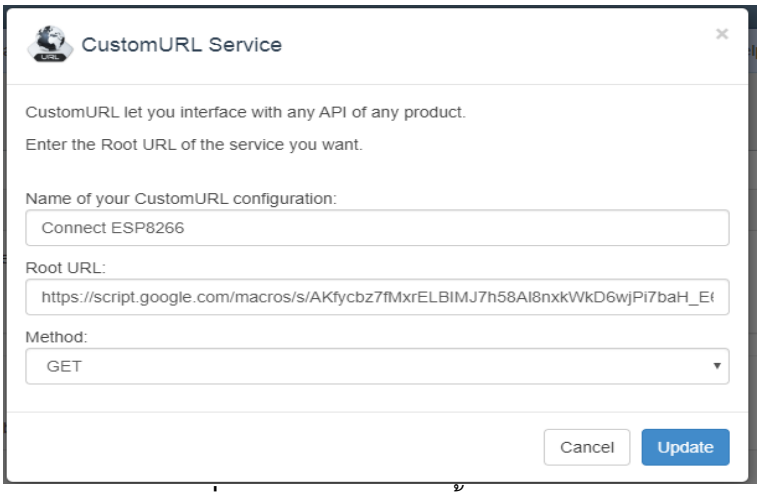
ภาพที่ ซ-8 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (8)

9. Copy URL ในกรอบแดง



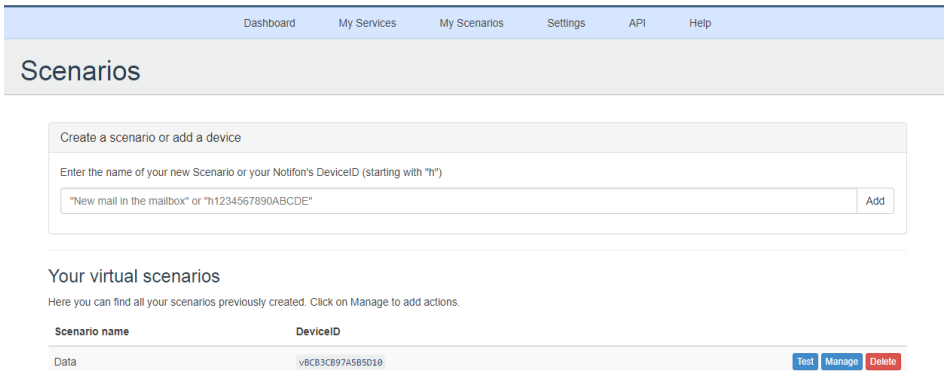
ภาพที่ ซ-9 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (9)

10. กรอกให้ครบทุกช่อง แล้วนำURL ที่copyมาในขั้นตอนที่8ไปใส่ ช่อง Root URL

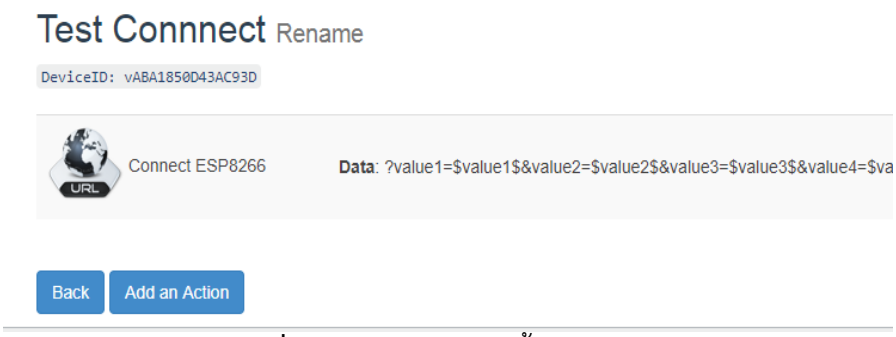


ภาพที่ ซ-10 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (10)

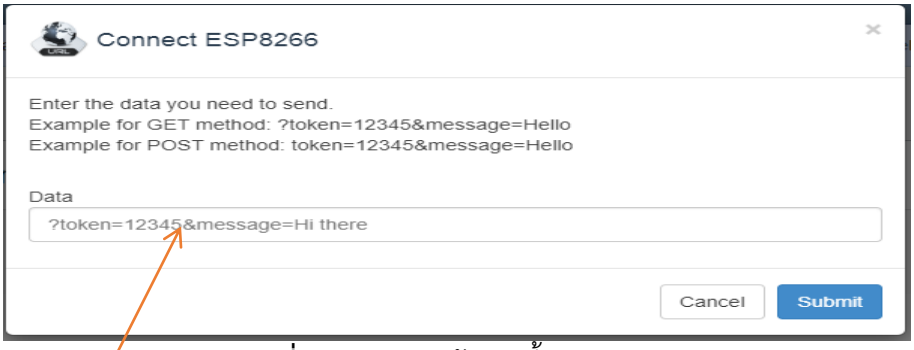
11. เลือก my scenario → แล้วพิมพ์ชื่อ ในช่อง Enter the name →เลือก add action →แล้วกรอกค่าดังภาพ



ภาพที่ ซ-11 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (11)

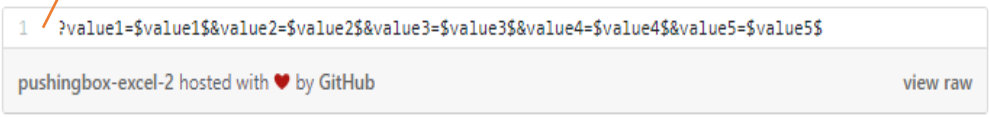


ภาพที่ ซ-12 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (12)



ภาพที่ ซ-13 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (13)

****ค่าที่กรอกลงใน data ในรูปด้านบน→



ภาพที่ ซ-14 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (14)

12. หลังจากนั้นลองกดทดลองสถานการณ์ (test scenario) หากมีค่าขึ้น ใน google sheet ที่เราสร้างไว้ แสดงว่าใช้ได้

ภาพที่ ซ-15 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (15)

13. หลังจากนั้นเปิดโปรแกรม Arduino IDE แล้วเขียน code ดังนี้

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
const char* WIFISSID     = "OPPO A37f";
const char* PASSWORD = "12345678";
WiFiClient client;
void setup() {
Serial.begin(115200);
  Serial.setTimeout(2000);
  Serial.println("Device Started");
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(WIFISSID);
WiFi.begin(WIFISSID, PASSWORD);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
} void loop() {
 int value1 = analogRead(A0);
  float value2 = ((1)*0.000005282*value1*value1*value1)+(0.007960479*value1*value1)-
(3.989682650*value1)+676.49717371;
  float value3 = ((-1)*0.00000512*value1*value1*value1)+(0.00668199*value1*value1)-
(2.90530022*value1)+437.90663942;
  float value4 = ((-1)*0.00000109*value1*value1*value1)+(0.00223468*value1*value1)-
(1.59602458*value1)+402.17782732;
   if (value1 >= 636){
    value2 = 0;
    }
  if (value1 >= 585){
    value3 = 0;
```

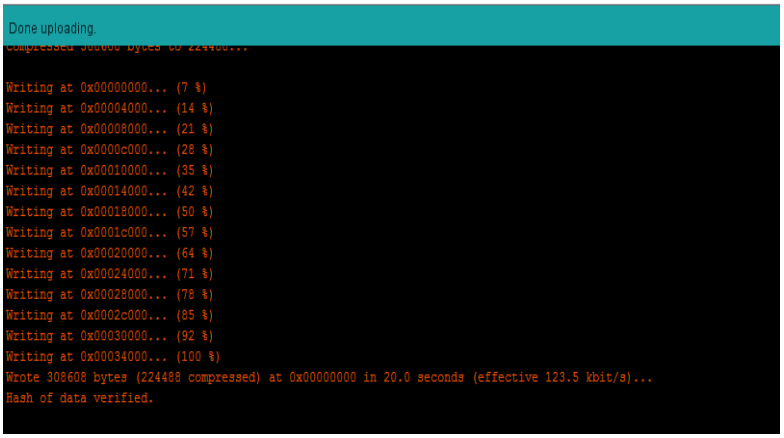
สามารถเปลี่ยน WIFI และ Password ตามแต่สัญญาณ WIFI ที่ เราจะใช้ในการเชื่อมต่อ

```
    }
  if (value1 >= 794){
    value4 = 0;
    }
  report(value1, value2 , value3, value4);
  delay(60000);
}
void report(float value1, float value2, float value3, float value4) {
  String Host = "api.pushingbox.com";
  String Deviceid = "vABA1850D43AC93D";
Serial.print("connecting to " + String(Host));
  if (!client.connect(Host, 80)) {
    Serial.println("connection failed");
    return;
  }
  String url = "/pushingbox?devid=" + Deviceid + "&value1=" + value1 + "&value2=" +
value2 + "&value3=" + value3 + "&value4=" + value4;
  Serial.print("Requesting URL: " + url);
  client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" + "Host: " + Host + "\r\n" + "Connection:
close\r\n\r\n");
  unsigned long timeout = millis();
  while (client.available() == 0) {
    if (millis() - timeout > 5000) {
      Serial.println(">>> Client Timeout !");
      client.stop();
      return;
    }
  }
  while (client.available()) {
    String line = client.readStringUntil('\r');
    Serial.print(line);
  }
}
```

*ตัวอย่างการเขียนโค้ดนี้เป็นตัวอย่างเขียนโค้ดสำหรับแสดงค่าข้อมูลความชื้นดินพร้อมกันสามชนิด หากต้องการเพียงชนิดเดียวก็สามารถเขียนใหม่ เพียงแค่ตัดสมการดินอีกสองชนิดออกก็เป็นอันสมบูรณ์

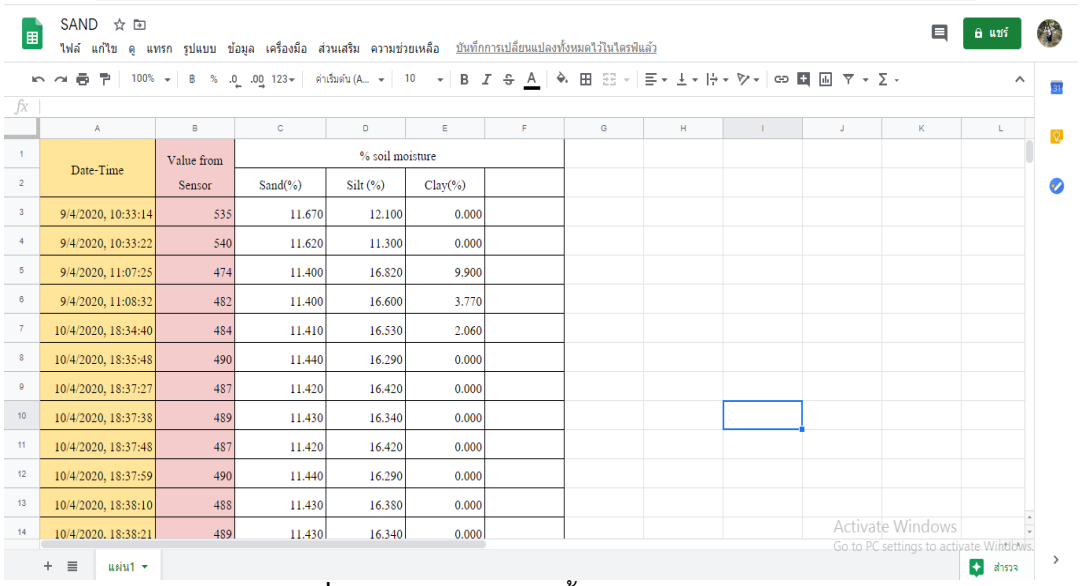
ภาพที่ ซ-16 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (16)

14. คลิกเลือก Upload รอจนกระทั่งดาวน์โหลด จนครบ100%



ภาพที่ ซ-17 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (17)

15. ไปดูหน้า google sheet ใน google Drive ที่เราสร้างไว้ ในตอนแรก จะเห็นว่ามีค่าขึ้นมาดังรูป



SAND

Date-Time	Value from Sensor	% soil moisture		
		Sand(%)	Silt (%)	Clay(%)
9/4/2020, 10:33:14	535	11.670	12.100	0.000
9/4/2020, 10:33:22	540	11.620	11.300	0.000
9/4/2020, 11:07:25	474	11.400	16.820	9.900
9/4/2020, 11:08:32	482	11.400	16.600	3.770
10/4/2020, 18:34:40	484	11.410	16.530	2.060
10/4/2020, 18:35:48	490	11.440	16.290	0.000
10/4/2020, 18:37:27	487	11.420	16.420	0.000
10/4/2020, 18:37:38	489	11.430	16.340	0.000
10/4/2020, 18:37:48	487	11.420	16.420	0.000
10/4/2020, 18:37:59	490	11.440	16.290	0.000
10/4/2020, 18:38:10	488	11.430	16.380	0.000
10/4/2020, 18:38:21	489	11.430	16.340	0.000

ภาพที่ ซ-18 การส่งข้อมูล ขึ้น google sheet (18)

2.การส่งข้อมูลขึ้น google sheet พร้อมกับแจ้งเตือนไลน์

1. เมื่อทำการสร้าง google sheet ในขั้นตอนของการส่งข้อมูลขึ้น google sheet แล้วนั้น ให้ทำการเปลี่ยน Code ในโปรแกรม Arduino IDE เป็นcode ดังนี้

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include <TridentTD_LineNotify.h>
const char* WIFISSID = "OPPO A37f";
const char* PASSWORD = "12345678";
#define LINE_TOKEN  "Pnv19txgwfD6yXCSu86aqAwwDVFdT9Dnq6IdNdSmBll"
WiFiClient client;
void setup() {
Serial.begin(115200);
  Serial.println();
  Serial.println(LINE.getVersion());
  Serial.setTimeout(2000);
  Serial.println("Device Started");
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(WIFISSID);
WiFi.begin(WIFISSID, PASSWORD);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
```

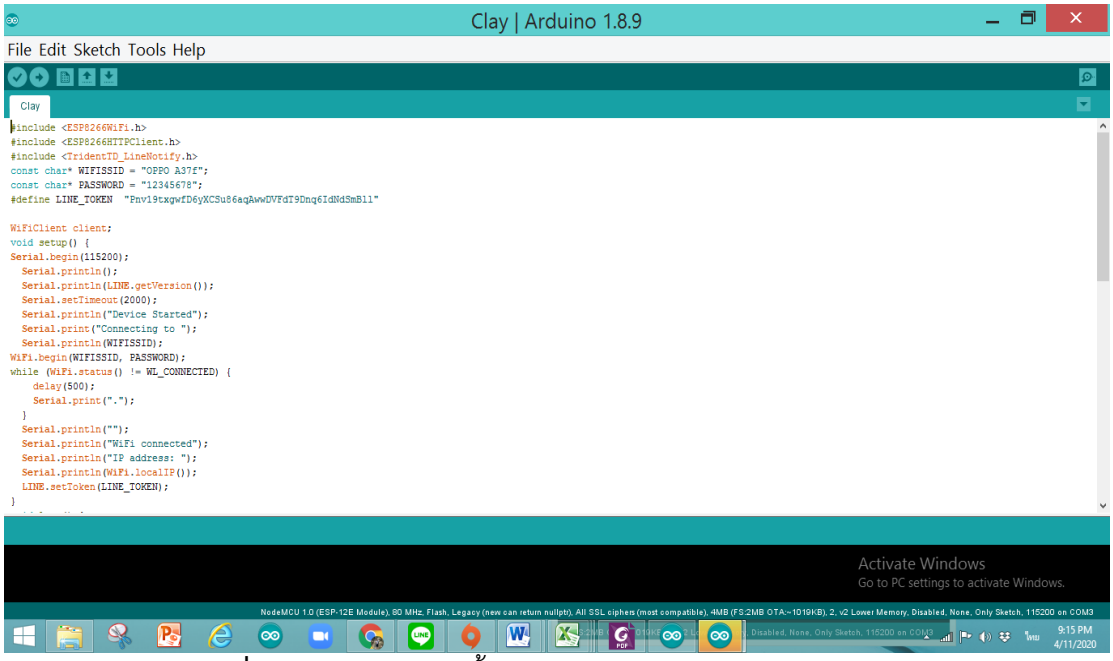
เปลี่ยนตามที่เราเชื่อมต่อ

```
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  LINE.setToken(LINE_TOKEN);
}
void loop() {
  int value1 = analogRead(A0);
```

สมการดินชนิดนั้นๆ

```
  float value2 = ((-1)*0.00000109*value1*value1*value1)+(0.00223468*value1*value1)-
(1.59602458*value1)+402.17782732;

  if (value1 >= 794){
    value2 = 0;
    }
  if(value2 < 45){
    LINE.notify("ดินเหนียวความชื้นต่ำ ควรให้น้ำ โดยมีความชื้น = " +String (value2));
    }
  report(value1, value2 );
  delay(10000);
}
void report(float value1, float value2) {
  String Host = "api.pushingbox.com";
  String Deviceid = "vF6B9C58636C86B5";
Serial.print("connecting to " + String(Host));
  if (!client.connect(Host, 80)) {
    Serial.println("connection failed");
    return;
  }
```

```
  String url = "/pushingbox?devid=" + Deviceid + "&value1=" + value1 + "&value2=" +
value2 ;
  Serial.print("Requesting URL: " + url);
  client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" + "Host: " + Host + "\r\n" +
"Connection: close\r\n\r\n");
  unsigned long timeout = millis();
  while (client.available() == 0) {
    if (millis() - timeout > 5000) {
      Serial.println(">>> Client Timeout !");
      client.stop();
      return;
    }
  }
  while (client.available()) {
    String line = client.readStringUntil('\r');
    Serial.print(line);
  }
}
```



ภาพที่ ซ-19 การส่งข้อมูลขึ้น google sheet พร้อมกับแจ้งเตือนไลน์

หลังจากนั้นทำการอัพโหลดก็ถือว่าเป็นอันเสร็จสมบูรณ์

ภาคผนวก ฌ
ตารางค่าความชื้นกับเวลาของดินทั้งสามชนิด

ภาคผนวก ฌ

ตารางที่ ฌ-1 ความชื้นกับเวลา ดินชนิดที่ 1 (ดินทรายร่วน)

DATE-TIME	Sensor Response	%Soil moisture
14/4/2020, 8:28:18	509	11.610
14/4/2020, 8:32:43	464	11.490
14/4/2020, 8:33:37	441	12.190
14/4/2020, 8:37:25	408	*15.10
14/4/2020, 9:37:32	424	13.350
14/4/2020, 10:37:39	433	12.660
14/4/2020, 11:37:46	437	12.410
14/4/2020, 12:37:54	440	12.240
14/4/2020, 13:38:02	442	12.140
14/4/2020, 14:38:10	440	12.240
14/4/2020, 15:38:18	450	11.810
14/4/2020, 16:38:30	445	12.010
14/4/2020, 16:58:10	459	11.570
14/4/2020, 17:58:17	434	*12.590
14/4/2020, 18:58:24	429	12.940
14/4/2020, 19:58:33	439	12.300
14/4/2020, 20:58:41	445	12.010
14/4/2020, 21:58:49	448	11.890
14/4/2020, 22:58:58	450	11.810
14/4/2020, 23:00:21	446	11.960
15/4/2020, 0:00:30	452	11.750
15/4/2020, 1:00:40	454	11.690
15/4/2020, 2:00:50	459	11.570
15/4/2020, 3:00:58	461	11.530
15/4/2020, 4:01:07	465	11.470
15/4/2020, 5:01:16	469	11.430
15/4/2020, 6:01:24	474	11.40
15/4/2020, 7:01:33	477	11.40
15/4/2020, 8:01:42	481	11.40
15/4/2020, 9:01:50	487	11.42
15/4/2020, 10:03:05	403	*15.80

ตารางที่ ฌ-1 (ต่อ)

DATE-TIME	Sensor Response	%Soil moisture
15/4/2020, 10:05:25	406	15.370
15/4/2020, 11:05:32	427	13.10
15/4/2020, 12:05:40	440	12.240
15/4/2020, 13:05:48	444	12.050
15/4/2020, 14:05:56	449	11.850
15/4/2020, 15:06:04	453	11.720
15/4/2020, 16:06:13	459	11.570
15/4/2020, 17:06:22	464	11.490
15/4/2020, 18:06:30	469	11.430
15/4/2020, 19:06:38	474	11.40
15/4/2020, 20:06:46	480	11.40

ตารางที่ ฌ-2 ความชื้นกับเวลา ดินชนิดที่ 2 (ดินร่วนเหนียว)

DATE-TIME	Sensor Response	%Soil moisture
19/4/2020, 8:38:51	338	*21.59
19/4/2020, 9:38:59	416	17.06
19/4/2020, 10:39:07	417	17.06
19/4/2020, 12:00:07	414	17.07
19/4/2020, 13:00:16	423	17.05
19/4/2020, 14:00:24	416	17.06
19/4/2020, 15:00:32	424	17.05
19/4/2020, 16:00:41	417	17.06
19/4/2020, 17:01:50	415	17.07
19/4/2020, 18:01:58	423	17.05
19/4/2020, 19:02:07	423	17.05
19/4/2020, 20:02:15	422	17.05
19/4/2020, 21:02:24	423	17.05
19/4/2020, 22:02:35	423	17.05
19/4/2020, 23:02:43	424	17.05
20/4/2020, 0:02:52	423	17.05
20/4/2020, 1:03:00	424	17.05
20/4/2020, 2:03:09	424	17.05

ตารางที่ ฌ-2 (ต่อ)

DATE-TIME	Sensor Response	%Soil moisture
20/4/2020, 3:03:17	424	17.05
20/4/2020, 4:03:25	425	17.05
20/4/2020, 5:03:33	424	17.05
20/4/2020, 6:03:42	424	17.05
20/4/2020, 7:03:50	424	17.05
20/4/2020, 8:03:59	424	17.05
20/4/2020, 9:04:05	425	17.05
20/4/2020, 10:04:14	425	17.05
20/4/2020, 11:04:25	425	17.05
20/4/2020, 12:04:34	426	17.05
20/4/2020, 13:04:42	426	17.05
20/4/2020, 14:04:51	427	17.05
20/4/2020, 15:05:00	427	17.05
20/4/2020, 16:05:08	427	17.05
20/4/2020, 17:05:17	427	17.05
20/4/2020, 18:05:26	426	17.05
20/4/2020, 19:19:05	380	*17.83
20/4/2020, 20:19:13	405	17.15
20/4/2020, 21:19:21	401	17.21
20/4/2020, 22:19:29	396	17.3
20/4/2020, 23:19:38	400	17.22
21/4/2020, 0:19:47	399	17.24
21/4/2020, 1:19:56	400	17.22
21/4/2020, 2:20:05	400	17.22
21/4/2020, 3:20:15	394	17.35
21/4/2020, 4:20:23	398	17.26
21/4/2020, 5:20:32	399	17.24
21/4/2020, 6:20:41	400	17.22
21/4/2020, 7:20:49	401	17.21

ตารางที่ ฌ-3 ความชื้นกับเวลา ดินชนิดที่ 3 (ดินเหนียว)

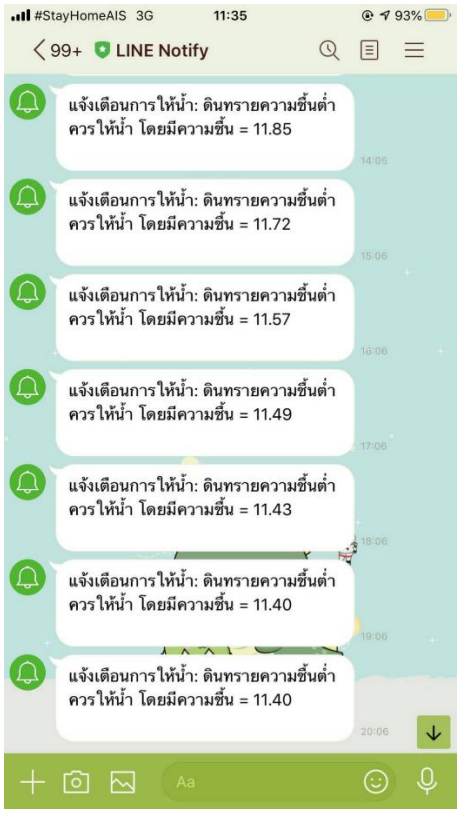
DATE-TIME	Sensor Response	%Soil moisture
17/4/2020, 9:02:46	408	55.82
17/4/2020, 10:02:53	409	55.35
17/4/2020, 11:03:00	410	54.88
17/4/2020, 12:03:08	412	53.94
17/4/2020, 13:03:14	412	53.94
17/4/2020, 14:41:45	406	56.78
17/4/2020, 14:42:14	405	57.27
17/4/2020, 14:42:34	405	57.27
17/4/2020, 14:43:02	404	57.75
17/4/2020, 15:43:08	408	55.82
17/4/2020, 16:43:15	409	55.35
17/4/2020, 17:43:23	410	54.88
17/4/2020, 18:43:29	406	56.78
17/4/2020, 19:43:36	409	55.35
17/4/2020, 20:43:19	403	*58.25
17/4/2020, 21:43:32	403	58.25
17/4/2020, 22:43:19	408	55.82
17/4/2020, 23:43:27	408	55.82
18/4/2020, 0:43:34	408	55.82
18/4/2020, 1:43:42	409	55.35
18/4/2020, 2:43:50	409	55.35
18/4/2020, 3:43:57	409	55.35
18/4/2020, 4:44:04	409	55.35
18/4/2020, 5:44:12	410	54.88
18/4/2020, 6:44:19	410	54.88
18/4/2020, 7:44:25	409	55.35
18/4/2020, 8:44:35	410	54.88
18/4/2020, 9:44:45	410	54.88
18/4/2020, 10:44:53	412	53.94
18/4/2020, 11:45:00	412	53.94
18/4/2020, 12:45:07	413	53.48
18/4/2020, 13:45:14	413	53.48

ตารางที่ ฌ-3 (ต่อ)

DATE-TIME	Sensor Response	%Soil moisture
18/4/2020, 14:45:21	413	53.48
18/4/2020, 15:45:28	413	53.48
18/4/2020, 16:45:35	408	55.82
18/4/2020, 17:50:01	408	55.82
18/4/2020, 18:50:08	413	53.48
18/4/2020, 19:50:14	412	53.94
18/4/2020, 20:50:21	412	53.94
18/4/2020, 21:50:30	413	53.48
18/4/2020, 22:50:39	413	53.48
18/4/2020, 23:50:46	412	53.94

หมายเหตุ *มีการเพิ่มความชื้นในดิน (เติมน้ำ)

ซึ่งการแจ้งเตือนบน Line Notify จะแสดงค่าออกมาดังตัวอย่าง ดังภาพที่ ช-1



ภาพที่ ฌ-1 ตัวอย่างการแจ้งเตือนบน Line Notify ของดินทรายร่วน

ประวัติผู้จัดทำ

1. นางสาวสุรภา สีสอาด รหัสนิสิต 5920500549

วัน เดือน ปีเกิด 21 มีนาคม 2541 อายุ 22 ปี

ที่อยู่ 111 หมู่ 1 อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี 71120

การศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนธีรศาสตร์ อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนธีรศาสตร์ อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนท่ามะกาวิทยาคม อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี
ปริญญาตรี	ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ติดต่อ

โทรศัพท์	0912212422
E-mail	surapa.s@ku.th

2. นางสาวปภัสรา สาระวรณ์ รหัสนิสิต 5920503165

วัน เดือน ปีเกิด 29 มกราคม 2541 อายุ 22 ปี

ที่อยู่ 55 หมู่ 2 ตำบลดอนโพธิ์ทอง อำเภอเมืองฯ จังหวัดสุพรรณบุรี 72000

การศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนสุพรรณภูมิ อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสงวนหญิง อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนสงวนหญิง อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี
ปริญญาตรี	ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ติดต่อ

โทรศัพท์	0970211881
E-mail	papatsara_sarawon@hotmail.com

3. นางสาวสุภาพร พัฒนแก้ว รหัสนิสิต 5920503327

วัน เดือน ปีเกิด 5 กันยายน 2540 อายุ 22 ปี

ที่อยู่ 48/32 หมู่ 10 ตำบล จปร. อำเภอกระบุรี จังหวัดระนอง 85110

การศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดพิชัยยาราม อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนศรียาภัย อำเภอเมืองชุมพร จังหวัดชุมพร
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนศรียาภัย อำเภอเมืองชุมพร จังหวัดชุมพร
ปริญญาตรี	ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ติดต่อ

โทรศัพท์	0922974266
E-mail	muk_39665@hotmail.com