

การพัฒนาระบบการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยการใช้ IoT
DEVELOPING WATER TRANSPORT MEASUREMENT SYSTEM
FOR TREES USING IoT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาระบบการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยการใช้ IoT
DEVELOPING WATER TRANSPORT MEASUREMENT SYSTEM
FOR TREES USING IoT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPING WATER TRANSPORT MEASUREMENT SYSTEM
FOR TREES USING IoT



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S OF TECHNOLOGY LARDKRABANG

ACSDemic YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การพัฒนาระบบการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยใช้ IoT DEVELOPING WATER TRANSPORT MEASUREMENT SYSTEM FOR TREES USING IoT	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายณัฐกิตติ์ บุญยาพัชรจกุล	รหัสนักศึกษา 63015047
	นายรุ่งโรจน์ โสฬสรัตนพร	รหัสนักศึกษา 63015151
	นางสาวอภิญา นภาโชติ	รหัสนักศึกษา 63015203
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภศุล วงษ์วานิช	
สาขา	วิศวกรรมการวัดคุม (ต่อเนื่อง)	
ปีการศึกษา	2565	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดอุณหภูมิของต้นไม้ และบันทึกข้อมูลที่ได้ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ว่าต้นไม้มีพฤติกรรมการลำเลียงน้ำและแร่ธาตุที่เกิดขึ้นในลำต้นอย่างไร ส่งผลให้เราสามารถดูแลต้นไม้ที่ปลูกได้อย่างถูกวิธีและมีประสิทธิภาพมากที่สุด และเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร

การพัฒนาระบบการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยใช้ IoT ใช้ ESP32 devkit V1 เป็นตัวเชื่อมต่อ Wi-Fi เพื่อส่งค่าอุณหภูมิที่วัดได้ไปเก็บไว้บน ThingSpeak ที่เป็น Cloud Platform เพื่อเก็บและแสดงผลข้อมูล โดยจะใช้แหล่งจ่ายไฟ 9 โวลต์ เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับบอร์ด Arduino และ ESP32 devkit V1

ผู้จัดทำได้ใช้เทอร์มิสเตอร์, DS18B20 และ DHT 22 ในการวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในต้นไม้ เพื่อทำการเปรียบเทียบแนวโน้มของอุณหภูมิที่วัดได้ในเซนเซอร์ทั้งสองชนิด โดยใช้ต้นไม้หลังภาควิศวกรรมการวัดคุมในการทดลอง ซึ่งผลการทดลองพบว่าสามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการลำเลียงน้ำและแร่ธาตุของต้นไม้ได้จากอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

Thesis Title	DEVELOPING WATER TRANSPORT MEASUREMENT SYSTEM FOR TREES USING IoT	
Authors	NATTAGIT	BOONYAPATTARAJONGKUL
	RUNGROTE	SOROSRATTANAPORN
	APINYA	NAPACHOT
Thesis Advisor	ASST.PROF.DR. NAPASOOL WONGVANICH	
Year	2022	

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to develop a water transport measurement system for trees using the Internet of Things (IoT) to measure the temperature of the trees and save the information. This information is then analyzed to understand how trees transport water and minerals through their trunks, allowing for proper and efficient care of the trees and improving agricultural productivity. The ESP32 devkit V1 is used as a Wi-Fi connector to transmit temperature measurements to the ThinkSpeaks Cloud Platform for storage and display in the development of this system. The Arduino and ESP32 devkit V1 boards are powered by a 9-volt power supply.

The authors used thermistors, DS18B20s, and DHT 22s to measure changes in temperature within the trees. They conducted experiments using a tree behind the measurement engineering department to compare the temperature trends measured by these different types of sensors. The results showed that the water and mineral transport behavior of trees can be analyzed at different temperatures.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2565
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การพัฒนาระบบการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยใช้ IoT
DEVELOPING WATER TRANSPORT MEASUREMENT SYSTEM
FOR TREES USING IoT

นักศึกษาผู้จัดทำ นายณัฐกิตติ์ บุญยาพัชรจกุล รหัสนักศึกษา 63015047
นายรุ่งโรจน์ โสฬสรัตน์พร รหัสนักศึกษา 63015151
นางสาวอภิญา นภาโชติ รหัสนักศึกษา 63015203

ปริญญา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขา วิศวกรรมการวัดคุม (ต่อเนื่อง)
ปีการศึกษา 2565

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภศูล วงษ์วานิช	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี โดยผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ ผศ.ดร.นภศุล วงษ์วานิชย์ และ ผศ.สุธรรม สัทธรรมสกุล ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ ให้คำปรึกษาแนวทางในการจัดทำโครงการการพัฒนาระบบการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยการใช้ IoT

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่านอย่างสูงที่ให้การสนับสนุน เอื้อเฟื้อ และให้ความช่วยเหลือ จนกระทั่งการพัฒนาระบบการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยการใช้ IoT สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปริญญาโท.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาโท.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และ งานวิจัยเกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การลำเลียงน้ำของต้นไม้.....	3
2.1.1 ความสำคัญของน้ำต่อพืช.....	3
2.1.2 การลำเลียงน้ำของพืช.....	4
2.1.3 การดูดน้ำของราก.....	4
2.1.4 โครงสร้างที่ทำหน้าที่ในการลำเลียงน้ำ.....	5
2.1.5 ขั้นตอนการลำเลียงน้ำและแร่ธาตุผ่านทางด้านข้างของราก.....	6
2.1.6 ปัจจัยการควบคุมการลำเลียงน้ำ.....	6
2.2 ESP32.....	7
2.3 เทอร์มิสเตอร์.....	9
2.3.1 ประเภทของเทอร์มิสเตอร์.....	10
2.4 DHT22.....	10
2.4.1 แผนภาพบล็อก.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 วงจรรวม.....	11
2.4.3 ฟินต่อใช้งาน.....	11
2.5 IoT.....	12
2.5.1 หลักการทำงานของ IoT.....	13
2.5.2 ประเภทของ IoT.....	13
2.5.3 ข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์ IoT.....	15
2.6 ThingSpeak.....	16
2.7 Sap flux density.....	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ.....	17
3.1 การออกแบบการทำงานของระบบ.....	17
3.1.1 การทำงานของระบบ.....	19
3.2 วิธีการดำเนินงาน.....	20
3.2.1 ศึกษาหลักการทำงาน.....	20
3.2.2 ออกแบบระบบการทำงาน.....	21
3.2.3 จัดซื้ออุปกรณ์.....	21
3.2.4 สอบเทียบเทอร์มิสเตอร์.....	21
3.2.5 ทำ Linearization.....	24
3.2.6 เขียนโปรแกรม.....	32
3.2.7 สร้าง Chanel บน ThingSpeak.....	34
3.2.8 ประกอบอุปกรณ์.....	37
3.2.9 ทดลองระบบการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยการใช้ IoT.....	37
บทที่ 4 การนำเสนอผลของข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	40
4.1 กล่าวนำ.....	40
4.2 ผลการทดลอง.....	40
4.2.1 การเก็บข้อมูล.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 วิเคราะห์ RC Model.....	41
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอเชิงทฤษฎีจากการวิจัย.....	45
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	45
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข.....	45
5.2.1 ปัญหาที่พบ.....	45
5.2.1 แนวทางการแก้ไข.....	45
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	46
บรรณานุกรม.....	47
ภาคผนวก ก.....	51
ภาคผนวก ข.....	53
ภาคผนวก ค.....	58

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตารางบันทึกค่า Sap flow ในแต่ละช่วงเวลา	40
4.2 ตารางบันทึกค่า R C ของต้นไม้ในแต่ละช่วงเวลา	43
ค.1 ตารางแสดงผลการวัดอุณหภูมิบน ThingSpeak	58



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การคายน้ำของพืช	4
2.2 การดูดน้ำของราก.....	5
2.3 โครงสร้างที่ทำหน้าที่ในการลำเลียงน้ำ.....	6
2.4 ESP32 devkit V1.....	8
2.5 ขาใช้งานต่างๆ ของ ESP32 devkit V1	8
2.6 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้า.....	9
2.7 เทอร์มิสเตอร์	10
2.8 DHT22.....	11
2.9 แสดง핀ต่อใช้งานของเซนเซอร์ DHT22	12
2.10 Internet of Things (IoT)	12
2.11 ตัวอย่างอุปกรณ์ Consumer IoT.....	14
2.12 ตัวอย่างการใช้ Commercial และ Industrial IoT.....	15
2.13 ThingSpeak.....	16
3.1 แสดงภาพรวมการทำงาน.....	18
3.2 ผังแสดงการต่อวงจร.....	19
3.3 ผังแสดงการทำงานของวงจร.....	20
3.4 วัตถุประสงค์ของต้นไม้.....	21
3.5 Fluke 754.....	22
3.6 Ametex jofra temperature calibrator.....	22
3.7 สอบเทียบเทอร์มิสเตอร์ตามช่วงที่กำหนด.....	23
3.8 ผลการสอบเทียบเทอร์มิสเตอร์	23
3.9 สอบเทียบเทอร์มิสเตอร์เพื่อหาค่าความต้านทาน	24
3.10 ตารางบันทึกผลสอบเทียบ	25
3.11 ตารางเอาต์พุตเทอร์มิสเตอร์.....	25
3.12 กราฟและสมการเชิงเส้นจากตารางสอบเทียบ	26
3.13 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิก่อนแก้ค่าสัมประสิทธิ์ A, B และ C	26
3.14 ค่าสัมประสิทธิ์ A, B และ C ของ NTC10K #3.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 ค่าสัมประสิทธิ์ A, B และ C ของ NTC10K #4.....	27
3.16 ค่าที่แก้ไขโปรแกรม Arduino IDE	28
3.17 สมการที่ใช้แปลงค่าความต้านทานเป็นอุณหภูมิ.....	29
3.18 ตารางบันทึกอุณหภูมิหลังแก้ค่า A, B และ C	29
3.19 กราฟเชิงเส้นเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์ NTC #3	29
3.20 กราฟเชิงเส้นเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์ NTC #4	30
3.21 กราฟจากตารางสอบเทียบ	30
3.22 สมการที่ใช้ในการ Linearization	31
3.23 ตารางบันทึกผลสอบเทียบโดยใช้สมการเชิงเส้น	31
3.24 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ.....	32
3.25 ประกาศตัวแปรที่เกี่ยวข้องและเรียกใช้งานไลบรารีต่างๆ	32
3.26 เขียนโปรแกรมสำหรับเชื่อมต่อสัญญาณ Wi-Fi	33
3.27 กำหนดตัวแปรในการเก็บค่าและเข้าสู่ตรรกศาสตร์.....	33
3.28 ให้ DS18B20 และ DHT 22 วัดค่าอุณหภูมิ.....	34
3.29 หน้าต่างสมัครเข้าใช้งานของ Thingspeak	34
3.30 หน้าต่าง My Channel	35
3.31 หน้าต่าง Channel Setting	35
3.32 หน้าต่างโปรแกรม.....	36
3.33 หน้าต่าง API Key	36
3.34 Channel ID และ API key ที่นำมาใช้งานบนโค้ด	37
3.35 หน้าต่าง Data Import / Export	37
3.36 แสดงการเชื่อมต่อสัญญาณ Wi-Fi ได้สำเร็จ	38
3.37 ทดลองส่งค่าอุณหภูมิที่ขึ้น ThingSpeak	38
3.38 แสดงสถานะการส่งข้อมูลขึ้น ThingSpeak	39
3.39 นำค่าอุณหภูมิที่วัดได้มาวิเคราะห์ด้วย RC Model.....	39
4.1 แสดงพฤติกรรมการลำเลียงน้ำของต้นไม้	41
4.2 วงจร R C	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 หาค่า R และ C โดยใช้ Linear least square.....	42
4.4 อุนภูมิสภาพแวดล้อม, ต้นไม้, ใต้ดิน และอากาศ	44
ก.1 แสดงส่วนประกอบ	49
ก.2 เปิดสวิตช์.....	50
ก.3 เชื่อมต่อสัญญาณ Wi-Fi.....	50
ก.4 ESP32 เชื่อมต่อ Wi-Fi สำเร็จ.....	51
ก.5 ใช้เทอร์มิสเตอร์วัดอุณหภูมิต้นไม้.....	51
ก.6 วัดอุณหภูมิในดิน	52
ก.7 ดูค่าอุณหภูมิที่วัดได้บน ThingSpeak.....	52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันการทำการเกษตรในประเทศไทยมีความพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างมาก และมีการประยุกต์ใช้หลักการและเทคโนโลยีต่างๆ ที่หลากหลายเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งการจะเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรนั้น เกษตรกรจะต้องทราบปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการเจริญเติบโตของต้นไม้ เพื่อให้สามารถดูแลต้นไม้ที่ปลูกได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งพฤติกรรมภายในลำต้นของต้นไม้ที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาในหนึ่งวันหรือตามฤดูกาล ได้แก่ พฤติกรรมการลำเลียงน้ำ และแร่ธาตุที่เกิดขึ้นในลำต้น

การศึกษากิจการกรมการลำเลียงน้ำและแร่ธาตุต่างๆ ในต้นไม้ เพื่อนำไปพัฒนาคุณภาพของการเจริญเติบโตและความสมบูรณ์ของต้นไม้ มีการศึกษาจากทั้งในห้องแล็บของสถาบันการศึกษา และศึกษาจากอุปกรณ์เครื่องมือที่มีผลิตขายตามท้องตลาด เช่น Sap Flow Sensor แต่เนื่องจากเครื่องมือดังกล่าวนี้มีราคาที่สูงสำหรับเกษตรกรในประเทศไทย

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้จัดทำจึงได้จัดทำการพัฒนาระบบการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยใช้ IoT ขึ้นมา เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในต้นไม้ ซึ่งอุณหภูมิที่แตกต่างกันสามารถนำมาวิเคราะห์พฤติกรรมการลำเลียงน้ำและแร่ธาตุของต้นไม้ได้ ส่งผลให้ช่วยลดต้นทุนจากการใช้ Sap Flow Sensor ในการศึกษากิจการกรมการลำเลียงน้ำและแร่ธาตุต่างๆ ของต้นไม้ได้ในระดับหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการลำเลียงน้ำในลำต้นของต้นไม้และพืช
2. เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการเติบโตของต้นไม้และพืช
3. เพื่อให้เกษตรกรสามารถวางแผนการจัดการดูแลต้นไม้และพืชได้

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

1. สร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิเพื่อใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการลำเลียงน้ำในต้นไม้
2. ใช้เทอร์มิสเตอร์ และ DS18B20 ในการวัดอุณหภูมิ
3. ใช้เซนเซอร์ DHT22 ในการวัดความชื้นสัมพัทธ์
4. ใช้ ESP32 devkit V1 ในการเชื่อมต่อ WiFi
5. ใช้ ThinkSpeak เป็น Cloud Platform เพื่อเก็บและแสดงผลข้อมูล

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาหลักการและปัจจัยที่มีผลต่อการลำเลียงน้ำของต้นไม้
2. ศึกษาหลักการทำงานของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ
3. ศึกษาการเขียนโปรแกรมเชื่อมต่อ Wi-Fi และ ThingSpeak
4. ศึกษาหลักการทำงานของระบบ IoT
5. ศึกษาทฤษฎีการนำอุณหภูมิมาวิเคราะห์พฤติกรรมการลำเลียงน้ำของต้นไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และ งานวิจัยเกี่ยวข้อง

2.1 การลำเลียงน้ำของต้นไม้

น้ำเป็นสารที่มีความสำคัญต่อการลำเลียงในพืช การลำเลียงน้ำเป็นการลำเลียงหลักในพืชบก สารต่างๆ ที่จะลำเลียงไปยังเซลล์ของพืชต้องละลายน้ำ ดังนั้นน้ำจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดการแพร่ของสาร (Diffusion) พืชแต่ละชนิดจะมีท่อลำเลียงต่างกันไป เช่น พืชบกขนาดเล็กที่ไม่มีท่อลำเลียง จะเจริญได้เฉพาะบริเวณที่มีความชื้นสูงและมีร่มเงา พืชที่มีขนาดใหญ่มีท่อลำเลียงเจริญได้ดีในที่ที่มีความชื้นน้อยกว่า เนื่องจากพืชเหล่านี้มีรากที่สามารถไซซอนลงไปหาน้ำในดินในระดับที่ลึกลงไป ทำให้มีขนาดใหญ่และสูงมาก บางต้นอาจสูงนับร้อยเมตรหากเทียบกับตึกสูงในระดับเดียวกัน คนที่อยู่บนตึกต้องใช้เครื่องสูบน้ำจึงสามารถส่งน้ำไปใช้ได้ แต่สำหรับพืชแล้วไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องสูบน้ำ แต่พืชมีความสามารถส่งน้ำจากรากขึ้นไปจนถึงใบที่อยู่บนยอดต้นนั้นได้ การลำเลียงน้ำของพืชมีปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ประการ คือ การดูดน้ำ และการคายน้ำ

2.1.1 ความสำคัญของน้ำต่อพืช

1. น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในเซลล์พืช ใบพืชล้มลุกจะมีน้ำประกอบอยู่มากกว่าพืชยืนต้น นอกจากนี้ปริมาณน้ำในพืชขึ้นอยู่กับชนิดของพืช อายุ ชนิดของเนื้อเยื่อ และอวัยวะของพืช (เนื้อเยื่ออ่อนจะมีน้ำมากกว่าเนื้อเยื่อแก่)
2. น้ำช่วยให้เซลล์พืชเต่ง ทำให้เซลล์มีรูปร่างคงตัว เมื่อพืชขาดน้ำทำให้เหี่ยวเฉา น้ำยังช่วยให้เกิดการเปิดปิดของปากใบและการเคลื่อนไหวของพืชด้วย
3. น้ำเป็นตัวทำละลาย เช่น ละลายแร่ธาตุต่างๆ เกิดการลำเลียงแร่ธาตุของพืชน้ำ ช่วยละลายสารอาหาร เช่น กลูโคส ซูโครส ทำให้เกิดการลำเลียงสารอาหารในพืช
4. น้ำเป็นตัวร่วมในปฏิกิริยาเคมีในเซลล์ ซึ่งมีความสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึม เช่น การย่อยแป้งเป็นน้ำตาล การสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งต้องใช้น้ำเป็นวัตถุดิบ ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
5. น้ำทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของเซลล์และลำต้นพืช โดยทั่วไปพืชอยู่กลางแจ้งตลอดเวลา ดังนั้นจึงได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์จำนวนมาก

2.1.2 การคายน้ำของพืช

การคายน้ำช่วยในการระบายความร้อนให้พืช เนื่องจากน้ำมีความร้อนจำเพาะสูง การระเหยของน้ำออกจากพืชต้องมีการเปลี่ยนสถานะจากน้ำในรูปของเหลวให้เป็นไอน้ำ ซึ่งต้องใช้ปริมาณความร้อนถึง 540 แคลอรีต่อกรัม จึงทำให้อุณหภูมิภายในต้นพืชไม่เปลี่ยนแปลงมากนักไม่ว่าอุณหภูมิภายนอกจะร้อนหรือเย็น



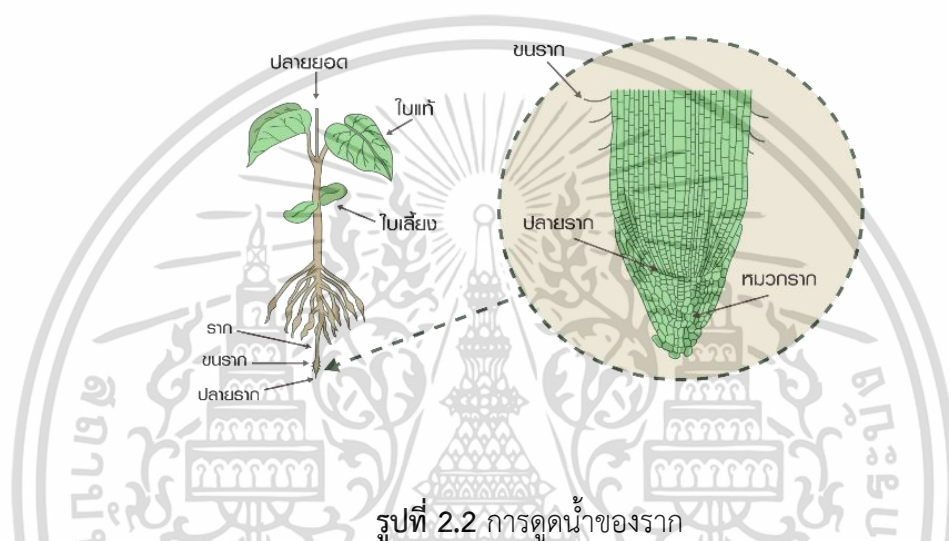
รูปที่ 2.1 การคายน้ำของพืช

2.1.3 การดูดน้ำของราก

สำหรับพืชต่างๆ ไปที่เจริญเติบโตอยู่บนบกนั้นได้น้ำจากดิน โดยใช้รากดูดน้ำและแร่ธาตุจากดิน รากมีการแตกแขนงออกไปในอนุภาคของดินได้มาก การที่น้ำและแร่ธาตุที่รากดูดซึมจากดินที่บริเวณส่วนปลายของรากที่เรียกว่า บริเวณขนราก (Root Hair Zone) จะมีขนรากจำนวนมาก ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับน้ำซึ่งแทรกตัวอยู่ในช่องว่างภายในดินได้เป็นจำนวนมาก ขนรากดูดน้ำโดยกระบวนการออสโมซิส (Osmosis) ขนรากเป็นส่วนหนึ่งของเซลล์เอพิเดอร์มิสที่ยื่นออกมา และเป็นส่วนของเซลล์ที่ติดต่อกันตลอดเพราะเป็นเซลล์เดียวกัน เซลล์เอพิเดอร์มิสที่มีขนรากอ่อน จะมีแวคิวโอขนาดเล็กๆ หลายอัน แต่เมื่อเซลล์มีอายุมากขึ้นแวคิวโอขนาดเล็กหลายๆ อัน จะรวมกันเป็นแวคิวโอขนาดใหญ่เกือบเต็ม เซลล์เอพิเดอร์มิสภายในมีสารละลายบรรจุอยู่ สารละลายนี้มีความเข้มข้นค่อนข้างสูงเพราะมีแร่ธาตุต่างๆ ละลายอยู่เป็นจำนวนมาก ในสภาวะปกติสารละลายที่อยู่รอบๆ รากที่แทรกอยู่ในช่องว่างของดิน จะมีความเข้มข้นน้อยกว่าสารละลายภายในราก น้ำจากดินจึงแพร่เข้าสู่ขนรากของเซลล์เอพิเดอร์มิสได้ตลอดเวลา ความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายภายในรากและภายในดินจะเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดน้ำของพืช ถ้าหากความเข้มข้นของสารละลายในดินสูงพืชจะดูดน้ำได้ยาก และยิ่งสารละลายมีความเข้มข้นสูงมากๆ พืชยิ่งดูดน้ำไม่ได้และเป็นอันตรายต่อพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ให้แก่ดินในปริมาณที่มากจะมีผลต่อความเข้มข้นของสารละลายในดินไม่มากนัก เนื่องจากสารอินทรีย์มีการสลายตัวที่ละน้อยๆ และพืชก็นำไปใช้ได้เรื่อยๆ ความเข้มข้นของสารละลายภายในดินจึงไม่เปลี่ยนแปลง แต่ถ้าหากใส่ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์ในปริมาณที่มาก จะทำให้สารละลายรอบๆ ราก มีความเข้มข้นมาก เพราะปุ๋ยวิทยาศาสตร์ละลายน้ำได้ดีจึงจะไหลซึมไปบริเวณอื่นๆ ทำให้สูญเสียปุ๋ยและค่าใช้จ่ายไปมากแต่ได้ประโยชน์น้อย และยังเป็นโทษอีกด้วย



2.1.4 โครงสร้างที่ทำหน้าที่ในการลำเลียงน้ำ

การที่น้ำและแร่ธาตุที่รากดูดซึมจากดินจะผ่านเซลล์ชั้นนอก คือ เอพิเดอร์มิสเข้าสู่เซลล์ชั้นใน คือ คอร์เทกซ์ เอนโดเดอริส และไซเลมของราก โดยอาศัยการลำเลียงทางด้านข้าง (Lateral Transport) ซึ่งอยู่ในแนวรัศมีของต้นพืช และเป็นระยะทางสั้นๆ น้ำและแร่ธาตุจากดินจะถูกดูดซึมโดยขนรากผ่านชั้นคอร์เทกซ์จนถึงเอนโดเดอริสโดย มี 2 วิธี คือ

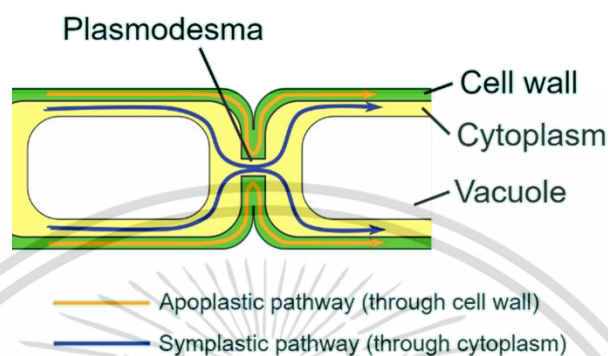
1. อะโพลลาสต์ (Apoplast) คือ การที่น้ำและแร่ธาตุผ่านจากเซลล์หนึ่งไปยังเซลล์หนึ่ง โดยผ่านช่องว่างระหว่างผนังเซลล์ในชั้น คอร์เทกซ์และผ่านเซลล์ที่ไม่มีชีวิต (ยกเว้นเอนโดเดอริส) คือเทรคิดและเวสเซล

2. ซิมพลาสต์ (Simplast) คือ การที่น้ำและแร่ธาตุผ่านจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง โดยผ่านทางไซโทพลาซึมที่เชื่อมต่อกันและทะลุไปอีกเซลล์หนึ่ง โดยผ่านทางพลาสโมเดสมาตา (Plasmodesmata) ดังนั้นการที่น้ำและแร่ธาตุสามารถผ่านไปจึงเป็นการผ่านชั้นเยื่อหุ้มเซลล์เท่านั้น เมื่อน้ำและแร่ธาตุเคลื่อนมาถึง เอนโดเดอริสซึ่งมีแคสพาร์ียนสตริบ (Casparian Strip) กั้นอยู่ที่ผนังเซลล์ น้ำและแร่ธาตุจะผ่านไปตามผนังเซลล์ไม่ได้ ดังนั้นน้ำและแร่ธาตุจึงต้องผ่านไปทางไซโทพลาซึม

ของเซลล์เอนโดเดอริส นั่นคือวิธีอะโพลลาสต์ น้ำและแร่ธาตุจะผ่านชั้นเอนโดเดอริสไปไม่ได้ จึงต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้วิธีซิมพลาสต์ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของเอนโดเดอริส เข้าสู่ไซโทพลาสซึมของเอนโดเดอริส แล้วจึงเข้าสู่สตีล จนถึงไซเลม แร่ธาตุที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์จึงถูกคัดเลือก (Select) โดยเยื่อหุ้มเซลล์



รูปที่ 2.3 โครงสร้างที่ทำหน้าที่ในการลำเลียงน้ำ

2.1.5 ขั้นตอนการลำเลียงน้ำและแร่ธาตุผ่านทางด้านข้างของราก

1. เมื่อน้ำและแร่ธาตุผ่านขนรากของชั้นเอพิเดอริสของราก ซึ่งเข้าได้ทั้ง 2 วิธี คือ วิธีอะโพพลาสต์ผ่านผนังเซลล์ของแต่ละเซลล์ และวิธีซิมพลาสต์ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่ไซโทพลาสซึม
2. ถ้าการลำเลียงนั้นเข้าทางอะโพพลาสต์ น้ำและแร่ธาตุบางส่วนจะลำเลียงเข้าเซลล์ของเอพิเดอริส และคอร์เทกซ์โดยวิธีซิมพลาสต์
3. น้ำและแร่ธาตุที่เข้าสู่เอนโดเดอริสทางผนังเซลล์ (วิธีอะโพพลาสต์) จะไม่สามารถผ่านแคสพาเรียนสตริป ของเอนโดเดอริสไปได้โดยวิธีอะโพพลาสต์ จึงใช้วิธีซิมพลาสต์เพื่อผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของเอนโดเดอริส
4. เซลล์ของเอนโดเดอริส และเซลล์ในชั้นสตีล ส่งน้ำและแร่ธาตุเข้าสู่ไซเลมไซเลม ประกอบด้วย เทรคีดและเวสเซลซึ่งเป็นเซลล์ที่ตายแล้ว ไม่มีโพรโทพลาสซึมเหลือแต่ผนังเซลล์และช่องว่างลูเมน (Lumen) เมื่อน้ำและแร่ธาตุเข้าสู่ไซเลมจึงเปลี่ยนจากวิธีซิมพลาสต์เป็นอะโพพลาสต์ หลังจากนั้นจะลำเลียงขึ้นสู่ลำต้นเข้าสู่ท่อลำเลียง คือ ไซเลม แล้วพืชจะลำเลียงน้ำต่อไปยังส่วนต่างๆ ทั้งยอด ลำต้น กิ่ง และใบ เพื่อส่งน้ำไปให้ทุกๆ เซลล์ของต้นพืช

2.1.6 ปัจจัยควบคุมการลำเลียงน้ำ

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดและลำเลียงน้ำ มีอยู่หลายประการ ได้แก่

1. ปริมาณน้ำในดิน เมื่อน้ำในดินมีปริมาณมากพอ อัตราการดูดน้ำของรากจะมีมากตามไปด้วย แต่ถ้ามีปริมาณน้ำในดินมากเกินไปจนเกิดการท่วมขังอยู่ที่โคนต้นพืชมากเกินไป อัตราการดูดน้ำก็จะลดน้อยลงและช้าลงกว่าปกติ เนื่องจากสภาพน้ำท่วมขังรากทำให้ปริมาณแก๊สออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เซลล์ของรากได้รับจะลดน้อยลง เพราะปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำย่อมน้อยกว่าที่มีอยู่ในอากาศ จึงเกิดผลกระทบทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ที่รากเกิดขึ้นน้อยกว่าอัตราปกติ มีผลทำให้รากขาดน้ำได้ทั้งๆ ที่รากแช่อยู่ในน้ำ

2. อุณหภูมิในดิน อุณหภูมิในดินมีส่วนเกี่ยวข้องกับการลำเลียงน้ำด้วย อุณหภูมิในดินต้องไม่สูงหรือต่ำเกินไปรากจึงจะดูดน้ำได้ดีและรวดเร็ว ในกรณีที่อุณหภูมิสูงเกินไปหรือต่ำมากๆ จนน้ำกลายเป็นน้ำแข็งแล้วรากพืชจะไม่สามารถดูดน้ำได้ ทำให้รากขาดน้ำ

3. สารละลายในดิน การที่สารละลายในดินมีความเข้มข้นสูงมากไปทำให้พืชต้องสูญเสียน้ำให้กับดิน น้ำจากใบและรากจึงแพร่ออกสู่ดินทำให้พืชสูญเสียน้ำไปมาก จนอาจทำให้พืชถึงตายได้

4. อากาศในดิน อากาศในดินและการถ่ายเทอากาศในดินมีความสำคัญต่อการดูดน้ำ เช่นเดียวกัน เพราะรากต้องการออกซิเจนไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมถ้าดินอัดตัวกันแน่นเกินไปจนไม่มีช่องว่างของอากาศ หรือมีน้ำขังอยู่อากาศในดินจะน้อยลงทำให้รากขาดแก๊สออกซิเจน ส่งผลให้การดูดน้ำของพืชก็น้อยลงด้วย

2.2 ESP32

ESP32 คือ ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่สามารถเชื่อมต่อ Wi-Fi และ Bluetooth ได้ในตัว ซึ่งตัว ESP32 มีรายละเอียด ดังนี้

1. CPU ใช้โครงสร้าง Ten Silica LX6
2. RAM 512KB ในตัว
3. สามารถเชื่อมต่อหน่วยความจำภายนอกสูงสุดได้ 16 MB
4. มีบลูทูธในตัว
5. ใช้แรงดัน 2.6V ถึง 3V
6. ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40°C ถึง 125°C

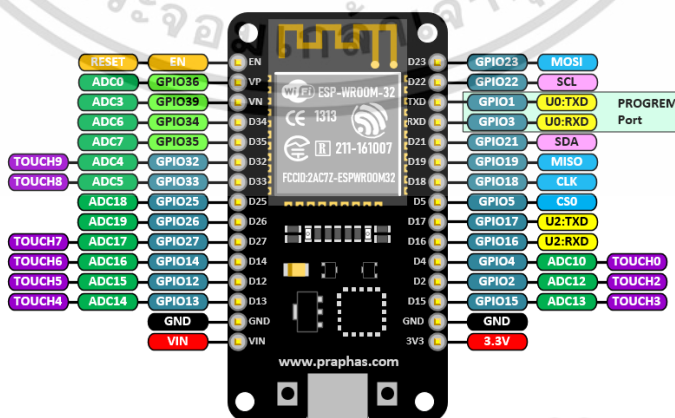
นอกจากนี้ ESP32 ยังมีเซ็นเซอร์ต่างๆ มาในตัวด้วย คือ วงจรกรองสัญญาณรบกวนในวงจรขยายสัญญาณ, เซ็นเซอร์แม่เหล็ก, เซ็นเซอร์สัมผัส รองรับ 10 ช่อง, รองรับการเชื่อมต่อคิสตอล 32.768kHz สำหรับใช้กับส่วนวงจรนับเวลาโดยเฉพาะ



รูปที่ 2.4 ESP32 devkit V1

การใช้งานต่างๆ ของ ESP32 รองรับการเชื่อมต่อบัสดังนี้

1. มี GPIO จำนวน 32 ช่อง
2. รองรับ UART จำนวน 3 ช่อง
3. รองรับ SPI จำนวน 3 ช่อง
4. รองรับ I2C จำนวน 2 ช่อง
5. รองรับ ADC จำนวน 12 ช่อง
6. รองรับ DAC จำนวน 2 ช่อง
7. รองรับ I2S จำนวน 2 ช่อง
8. รองรับ PWM / Timer ทุกช่อง
9. รองรับการเชื่อมต่อกับ SD-Card



รูปที่ 2.5 ขาใช้งานต่างๆ ของ ESP32 devkit V1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

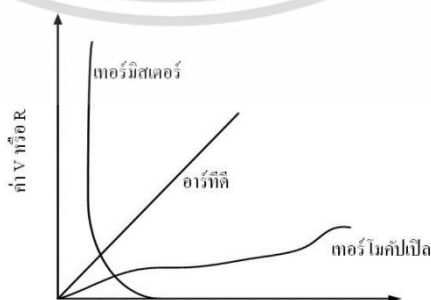
นอกจากนี้ ESP32 ยังรองรับฟังก์ชันเกี่ยวกับความปลอดภัยต่างๆ เช่น รองรับการเข้ารหัส Wi-Fi แบบ WEP และ WPA/WPA2 PSK/Enterprise เป็นต้น

ในด้านประสิทธิภาพการใช้งานตัว ESP32 สามารถทำงานได้ดี โดยรับ - ส่ง ข้อมูลได้ ความเร็วสูงสุดที่ 150Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11n HT40 ได้ความเร็วสูงสุด 72 Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11n HT20 ได้ความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11G และได้ความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11B เมื่อใช้การเชื่อมต่อผ่านโปรโตคอล UDP จะสามารถรับ - ส่งข้อมูลได้ที่ความเร็ว 135 Mbps ในโหมด Sleep ใช้กระแสไฟฟ้าเพียง 2.5uA

2.3 เทอร์มิสเตอร์

เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) เป็นเซ็นเซอร์อุณหภูมิชนิดหนึ่งซึ่งเป็นตัวต้านทานทางไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ไวต่อความร้อนโดยมีค่าความต้านทานขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยเทอร์มิสเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานที่แม่นยำและคำนวณได้ตามสัดส่วนกับการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของอุณหภูมิ ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในฐานะตัวจำกัดกระแสไฟเข้าเซ็นเซอร์อุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์

ตัวอย่างวัสดุที่ใช้ทำเทอร์มิสเตอร์ ได้แก่ คาร์บอน และสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ออกไซด์ของโลหะ (นิกเกิล เจอร์เมเนียมแมงกานีส ทองแดง) เป็นต้น วัสดุบางชนิดมีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานต่ออุณหภูมิสูง ทำให้เทอร์มิสเตอร์เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่มีค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ตีมาก โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพียง 1 องศาเซลเซียส สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในได้มากถึง 156 ทำให้เทอร์มิสเตอร์มีย่านการวัดอุณหภูมิค่อนข้างแคบเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมคัปเปิล และอาร์ทีดี โดยมีย่านการใช้งานที่เหมาะสมอยู่ในช่วงอุณหภูมิต่ำ (<100 องศาเซลเซียส) อย่างไรก็ตาม เทอร์มิสเตอร์บางประเภทสามารถวัดอุณหภูมิได้สูงถึง 300 องศาเซลเซียส และนอกจากการใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยตรงแล้วยังสามารถใช้เป็นตัวชดเชยการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ได้อีกด้วย



รูปที่ 2.6 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าระหว่างเทอร์โมคัปเปิล อาร์ทีดี และเทอร์มิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ประเภทของเทอร์มิสเตอร์

เทอร์มิสเตอร์เป็นอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ที่มีความต้านทานขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของความต้านทานอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อได้รับความร้อนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทขององค์ประกอบ เทอร์มิสเตอร์มีสองประเภท ดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเชิงลบ (NTC) คือ เมื่ออุณหภูมิลดลง จะมีค่าความต้านทานลดลง ใช้ตรวจสอบความร้อนเพื่อควบคุมระดับการทำงาน เช่น ในวงจรขยายเสียงที่ดีใช้ตรวจจับความร้อนที่เกิดจากการทำงาน แล้วป้อนกลับไปลด การทำงานของวงจรให้น้อยลง เพื่ออุปกรณ์หลักจะไม่เกิดความร้อนมากเกินไป มักจะสร้างจาก แบเรียม ตะกั่ว และ สตรอนเทียมไททาเนต

2. ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเชิงบวก (PTC) คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะมีค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น ใช้ตรวจสอบระดับความร้อน หรือทำให้เกิดความร้อนขึ้นเพื่อควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวด เช่น วงจรล้างสนามแม่เหล็กอัตโนมัติของเครื่องรับโทรทัศน์ มักจะสร้างจาก แมงกานีส นิกเกิล โคบอลต์ เหล็ก และ ไททาเนียม



รูปที่ 2.7 เทอร์มิสเตอร์

2.4 DHT 22

DHT22 เป็นเซนเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิที่มีความแม่นยำสูง เซ็นเซอร์นี้จะวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ใช้อุปกรณ์ประกอบเช่น เซอร์ Capacitive เพื่อวัดความชื้น สำหรับการวัดอุณหภูมิจะใช้เทอร์มิสเตอร์ NTC เซ็นเซอร์นี้สามารถใช้ในสภาวะที่รุนแรงได้เช่นกัน มีให้เลือกทั้งแบบเซนเซอร์และโมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 DHT22

2.4.1 แผนภาพบล็อก

เซ็นเซอร์ DHT22 มีให้เลือกทั้งแบบเซ็นเซอร์และโมดูล การทำงานของเซ็นเซอร์และโมดูลของ DHT22 มีความคล้ายคลึงกัน ความแตกต่างอยู่ที่วงจรภายใน โมดูลนี้มีการกรองในตัว ตัวเก็บประจุและตัวต้านทานแบบตั้งขึ้น ในขณะที่เซ็นเซอร์เหล่านี้จะต้องเชื่อมต่อภายนอก เซ็นเซอร์และโมดูล DHT22 มี 8 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์ เชื่อมต่อกับมันเพื่อทำการคำนวณ โมดูล DHT22 มาพร้อมกับแพ็คเกจ 3 พิน ในขณะที่เซ็นเซอร์มาเป็นแพ็คเกจ 4 พิน โมดูลนี้มีช่วงการวัดสูงความแม่นยำที่ดีกว่าและราคาแพงกว่าเซ็นเซอร์เล็กน้อย

2.4.2 วงจรรวม

DHT22 ใช้อินเทอร์เฟซแบบอนุกรมสายเดี่ยวเพื่อถ่ายโอนข้อมูลไปยังหน่วยไมโครโปรเซสเซอร์ พิน DATA ที่มีอยู่บนเซ็นเซอร์ใช้ในการถ่ายโอนข้อมูลและเชื่อมต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ เมื่อมีการใช้พลังงานเซ็นเซอร์จะอยู่ในสถานะไม่เสถียรเป็นเวลาหนึ่งวินาทีในช่วงเวลานี้ไม่ควรส่งคำแนะนำไปยังเซ็นเซอร์ สำหรับการสื่อสารครั้งเดียวระหว่าง MCU และเซ็นเซอร์ จะใช้เวลา 5 msec เริ่มส่งข้อมูลหลังจากได้รับสัญญาณเริ่มต้นจาก MCU เท่านั้น

เมื่อใช้เซ็นเซอร์นี้สำหรับช่วง RH สูงกว่าที่แนะนำอาจทำให้อายุของอุปกรณ์เพิ่มขึ้นได้ ความไวของเซ็นเซอร์ DHT22 สามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อสัมผัสกับไอสารเคมี

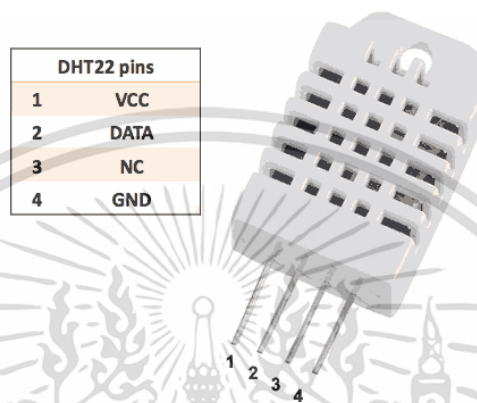
2.4.3 พินต่อใช้งาน

DHT22 มีให้ในรูปแบบ 4 - Pin Single Rowed Package โมดูลเซ็นเซอร์นี้คำนวณค่าอุณหภูมิเป็นเซลเซียส จากนั้นค่าเหล่านี้จะถูกแปลงเป็นฟาเรนไฮต์และเคลวินโดยใช้สูตรการแปลงการกำหนดค่าพินของ DHT22 มีรายละเอียดดังนี้

1. Pin 1 - VDD คือ แหล่งจ่ายไฟ (แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

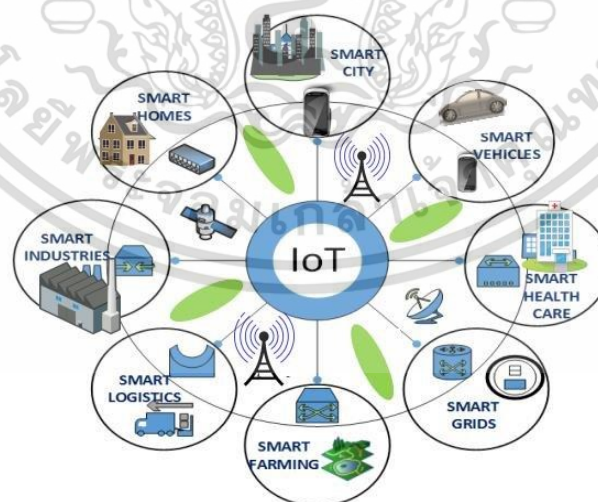
2. Pin 2 - DATA / SDA คือ พินข้อมูลอนุกรม พินนี้เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อถ่ายโอนข้อมูลจากเซ็นเซอร์ไปยังคอนโทรลเลอร์
3. Pin 3 – NC คือ ไม่ได้เชื่อมต่อ
4. Pin 4 – GND คือ พินกราวด์



รูปที่ 2.9 แสดงพินต่อใช้งานของเซ็นเซอร์ DHT22

2.5 IoT

Internet of Things (IoT) คือ เครือข่ายรวมของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อถึงกันและเทคโนโลยีที่อำนวยความสะดวกในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กับระบบคลาวด์



รูปที่ 2.10 Internet of Things (IoT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวได้ว่า Internet of Things นี้ ได้แก่การเชื่อมโยงของอุปกรณ์อัจฉริยะทั้งหลายผ่านอินเทอร์เน็ตที่เรา निकออก เช่น แอปพลิเคชัน แวนตากูเกิลกลาส รองเท้าวิ่งที่สามารถเชื่อมต่อข้อมูลการวิ่ง ทั้งความเร็ว ระยะทาง สถานที่ และสถิติได้

นอกจากนั้น Cloud Storage หรือบริการรับฝากไฟล์และประมวลผลข้อมูลผ่านทางออนไลน์ หรือเราเรียกอีกอย่างว่าแหล่งเก็บข้อมูลบนก้อนเมฆ เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่เราใช้งานบ่อยๆ แต่ไม่รู้ว่าเป็นหนึ่งในรูปแบบของ Internet of Things สมัยนี้ผู้ใช้นิยมเก็บข้อมูลไว้ใน Cloud มากขึ้น เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ คือ ไม่ต้องกลัวข้อมูลสูญหายหรือถูกโจรกรรม ทั้งยังสามารถกำหนดให้เป็นแบบส่วนตัวหรือสาธารณะก็ได้ เข้าถึงข้อมูลได้ทุกที่ทุกเวลาด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใดๆผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต แลยังมีพื้นที่ใช้สอยมาก มีให้เลือกหลากหลาย ช่วยเราประหยัดค่าใช้จ่ายได้อีกด้วย เนื่องจากเราไม่ต้องเสียเงินซื้ออุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล เช่น ฮาร์ดไดรฟ์ หรือ แฟลชไดรฟ์ต่างๆ

2.5.1 หลักการทำงานของ IoT

IoT มีการทำงานแบบ M2M (Machine to Machine) หรือ M2H (Machine to Human) ก็ได้ และอุปกรณ์ IoT บางอย่างก็รองรับการสั่งงานจากระยะไกล (Remote) ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตหรือแอปพลิเคชันที่เชื่อมต่ออุปกรณ์เข้าไว้ด้วยกันได้ด้วยเช่นกัน โดยอุปกรณ์ IoT แต่ละตัวจะมีเซนเซอร์เพื่อตรวจจับ รับ และปล่อยสัญญาณของข้อมูลไปยังระบบ Cloud ผ่านทางบลูทูธ, Wi-Fi, สัญญาณดาวเทียม, สัญญาณมือถือ หรือ LPWAN (Low Power Wide Area Networks) หรือเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยตรง และเมื่อได้รับ “ข้อมูล” เป็นที่เรียบร้อย ซอฟต์แวร์ภายในก็จะทำการประมวลผลสิ่งที่ได้รับและแสดงผลต่างๆ ออกมาตามที่ระบบได้ประมวลผลไว้ เช่น การสแกนรหัสคิวอาร์ เพื่อชำระเงินผ่านตู้สินค้า หากไปซื้อของและเลือกชำระเงินแบบ Self-Checkout ที่ตู้คิดเงิน เมื่อยิงบาร์โค้ดสินค้าทั้งหมดแล้วกดชำระเงินโดยการจ่ายด้วยรหัสคิวอาร์ ระบบก็จะประมวลผลและแสดงผลรหัสคิวอาร์ ที่สามารถยกมือถือขึ้นมาสแกนเพื่อชำระเงินได้ เป็นต้น

2.5.2 ประเภทของ IoT

อุปกรณ์ IoT ยังมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Smart Devices หรือ Connected Devices ดังนั้นแล้ว อุปกรณ์ต่างๆ ที่มีชื่อคำว่า “สมาร์ท” รวมอยู่ในชื่ออุปกรณ์ก็นับได้ว่าเป็นอุปกรณ์ IoT ทั้งสิ้น ซึ่งเราจะสามารถแบ่งประเภทของอุปกรณ์ IoT ได้เป็น 3 ประเภทหลัก ดังนี้

1. อุปกรณ์ IoT ที่นิยมใช้งานในหมู่ผู้ใช้ทั่วไป (Consumer Internet of Things) หรืออุปกรณ์ IoT สำหรับการใช้งานส่วนตัวหรือการใช้สอยภายในบ้าน เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่เข้ามาช่วยให้การใช้ชีวิตของเราเป็นไปด้วยความราบรื่นและสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น โดยส่วนมากแล้วอุปกรณ์ IoT ชนิดนี้มักมีอายุการใช้งานที่สั้นและมีรุ่นใหม่ๆ ออกมาอยู่เสมอ

ตัวอย่างอุปกรณ์ Consumer IoT เช่น คอมพิวเตอร์, แท็บเล็ต, สมาร์ทโฟน, สมาร์ทวอช รวมไปถึงอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ ในตระกูลสมาร์ทโฮม เช่น หลอดไฟ, ตู้เย็น, แอร์ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านชนิดอื่นๆ ที่สามารถสั่งการผ่านแอปพลิเคชันบนมือถือเองก็นับเป็นอุปกรณ์ IoT ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างอุปกรณ์ Consumer IoT

2. อุปกรณ์ IoT เชิงพาณิชย์ (Commercial Internet of Things) เป็นอีกหนึ่งประเภทของอุปกรณ์ IoT ที่พบได้บ่อย โดยมันจะต่างจาก Consumer IoT ตรงที่มันจะเป็นอุปกรณ์ที่เราพบเห็นได้ภายนอกบ้าน เช่น ภายในห้างร้าน, โรงแรม, โรงพยาบาล, หรือสถานที่สาธารณะต่างๆ มักเป็นสิ่งที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้ชีวิตภายนอกบ้าน

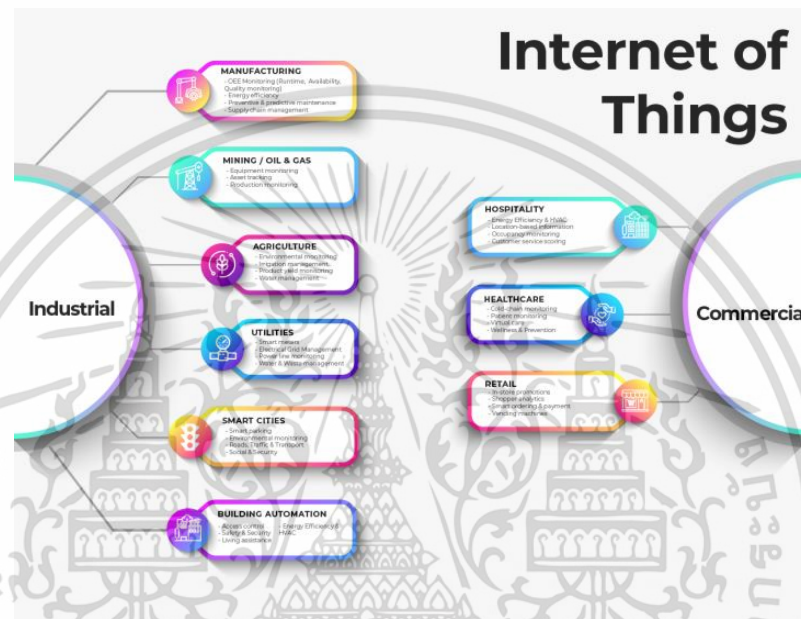
ตัวอย่างอุปกรณ์ Commercial IoT ได้แก่ บ้ายไฟ, จอทีวีโฆษณา, ไฟจราจร, ระบบการจ่ายเงินผ่านแอปพลิเคชัน, ระบบขนส่งสาธารณะที่รองรับการใช้งาน Smart Card, อุปกรณ์ทางการแพทย์และอุปกรณ์เสริมความงามที่นำเอาเทคโนโลยีมาเป็นส่วนหนึ่งของการตรวจวินิจฉัยและรักษาคนไข้ รวมไปถึงกล้องตรวจจับความเร็วและกล้องวงจรปิดเองก็เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ IoT ด้วย

3. อุปกรณ์ IoT ที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม (Industrial Internet of Things) สำหรับ IoT หรืออุปกรณ์ IoT ที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม นั้นเป็นอุปกรณ์ IoT ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อช่วยเชื่อมต่อและควบคุมเครื่องจักรต่างๆ ในแวดวงอุตสาหกรรมต่าง เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำงานและลดปัญหาจุกจิกที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้แรงงานมนุษย์ในการผลิตหรือประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน ช่วยทุ่นแรงมนุษย์และควบคุมคุณภาพสินค้า ทำให้กระบวนการผลิตเป็นไปด้วยความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ และนอกจากนี้ยังมีการใช้งาน ระบบคลาวด์ (Cloud

Computing) เข้ามาช่วยในการจัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ ให้เป็นระบบและสามารถเรียกใช้งานได้สะดวก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากยิ่งขึ้นอีกด้วย อุปกรณ์ IoT ประเภทนี้มักมีขนาดใหญ่และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าอุปกรณ์ IoT รูปแบบอื่นๆ

ตัวอย่างอุปกรณ์ IoT เช่น แขนกลที่ใช้ในโรงงานผลิต, สายพาน, เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิ, ระบบ Cloud, และระบบจัดการเครื่องจักรต่างๆ ภายในโรงงาน เป็นต้น



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการใช้ Commercial และ Industrial IoT

2.5.3 ข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์ IoT

2.5.3.1 ข้อดีของอุปกรณ์ IoT

1. ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้ชีวิต เพิ่มทางเลือกในการใช้จ่ายให้กับผู้บริโภคมากขึ้น
2. อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถเชื่อมต่อกันได้แบบอัตโนมัติ ไม่เสียเวลาในการโอนย้ายข้อมูลระหว่างอุปกรณ์
3. การทำงานมีความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น ลดความผิดพลาดที่อาจเกินจากการทำงานของมนุษย์เพราะใช้งานเครื่องจักรเป็นส่วนใหญ่ และประหยัดค่าใช้จ่ายในระยะยาวเพราะเครื่องจักรสามารถทำงานได้แบบไม่หยุดพัก

2.5.3.2 ข้อเสียของอุปกรณ์ IoT

1. สามารถใช้งานได้เฉพาะบนพื้นที่ที่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ตครอบคลุมทั่วถึงเท่านั้น
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความปลอดภัยของข้อมูลต่ำ เนื่องจากข้อมูลทุกอย่างถูกจัดเก็บเอาไว้บนระบบ Cloud ทำให้เสี่ยงต่อการถูกแฮคข้อมูลหากไม่ได้มีการเข้ารหัสข้อมูลที่ซับซ้อน

2.6 ThingSpeak

ThingSpeak คือ ผู้ให้บริการ Cloud ชนิดหนึ่ง ที่อนุญาตให้เราสามารถส่งค่าต่างๆ ขึ้นเพื่อไปเก็บบนพื้นที่ ที่เปิดให้เราใช้บริการ และยังเปิดให้เราสามารถเข้าถึงข้อมูลเหล่านี้ได้จากเว็บเบราว์เซอร์ต่างๆ ไปจากที่ไหนก็ได้ที่มีอินเทอร์เน็ตจึงนับเป็นการเข้าถึงข้อมูลในรูปแบบ IoT (Internet of Things)



รูปที่ 2.13 ThingSpeak

ปกติแล้ว ThingSpeak จะมีไลบรารีให้เราดาวน์โหลด เพื่อใช้งานกับอุปกรณ์พวกไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น อาร์ดูโน เป็นต้น

2.7 Sap flux density

ในเซนเซอร์ชนิด 2 หัว หรือ Granier method คำนวณค่าอัตราการความหนาแน่นของน้ำที่ไหลผ่านเนื้อไม้ หรือพื้นที่หน้าตัดท่อน้ำ (Sap flux density) ได้ดังนี้ “[Genier 1985, McCulloh et al, 2007]”

$$u = 119k^{1.231} \quad (2.1)$$

เมื่อ u คือ อัตราความหนาแน่นของน้ำที่ไหลผ่านเนื้อไม้ (Sap flux density)

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$k = \frac{\Delta T_m - \Delta T}{\Delta T} \quad (2.2)$$

เมื่อ k คือ ค่าสัมประสิทธิ์

ΔT_m คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิสูงสุดระหว่างเซนเซอร์ตัวบน (T_{up}) และตัวล่าง (T_{low}) ที่อัตราไหลเป็นศูนย์

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิจากเซนเซอร์ตัวบน (T_{up}) และตัวล่าง (T_{low}) ที่อัตราไหลใดๆ



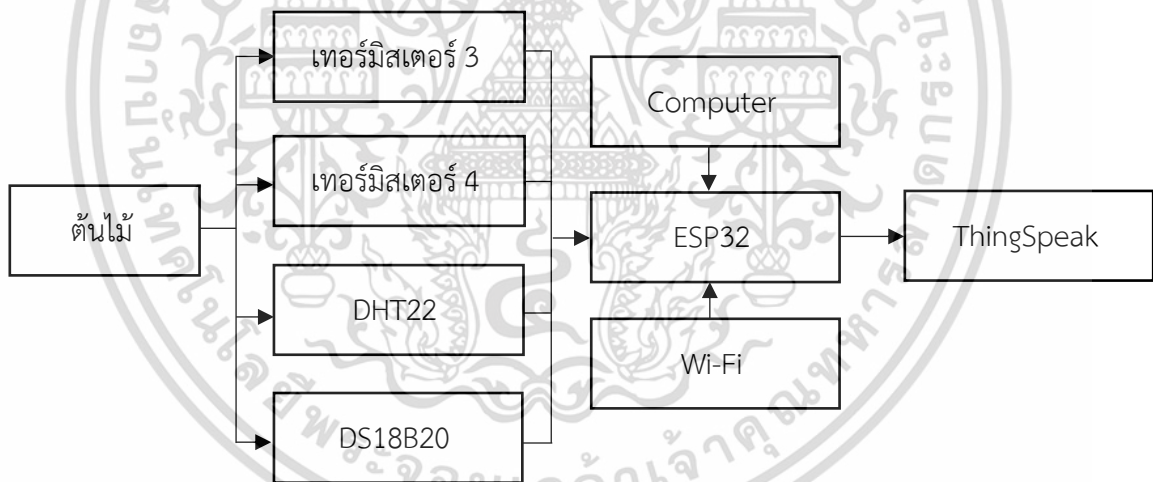
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

3.1 การออกแบบการทำงานของระบบ

ในการออกแบบระบบการวัดอุณหภูมิเพื่อการศึกษาพฤติกรรมการลำเลียงน้ำภายในต้นไม้ ผู้จัดทำได้วางแผนขั้นตอนการศึกษาโดยการสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ประกอบไปด้วยเซนเซอร์ 3 ชนิด ได้แก่ เทอร์มิสเตอร์ 2 ตัว สำหรับวัดอุณหภูมิที่แตกต่างต่างกันระหว่างด้าน Upstream และ ด้าน Downstream ของต้นไม้, DHT22 สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นของสภาพแวดล้อมบริเวณรอบๆต้นไม้ และ DS18B20 สำหรับวัดอุณหภูมิในพื้นที่ดิน ซึ่งมีภาพรวมการทำงานของระบบดังนี้

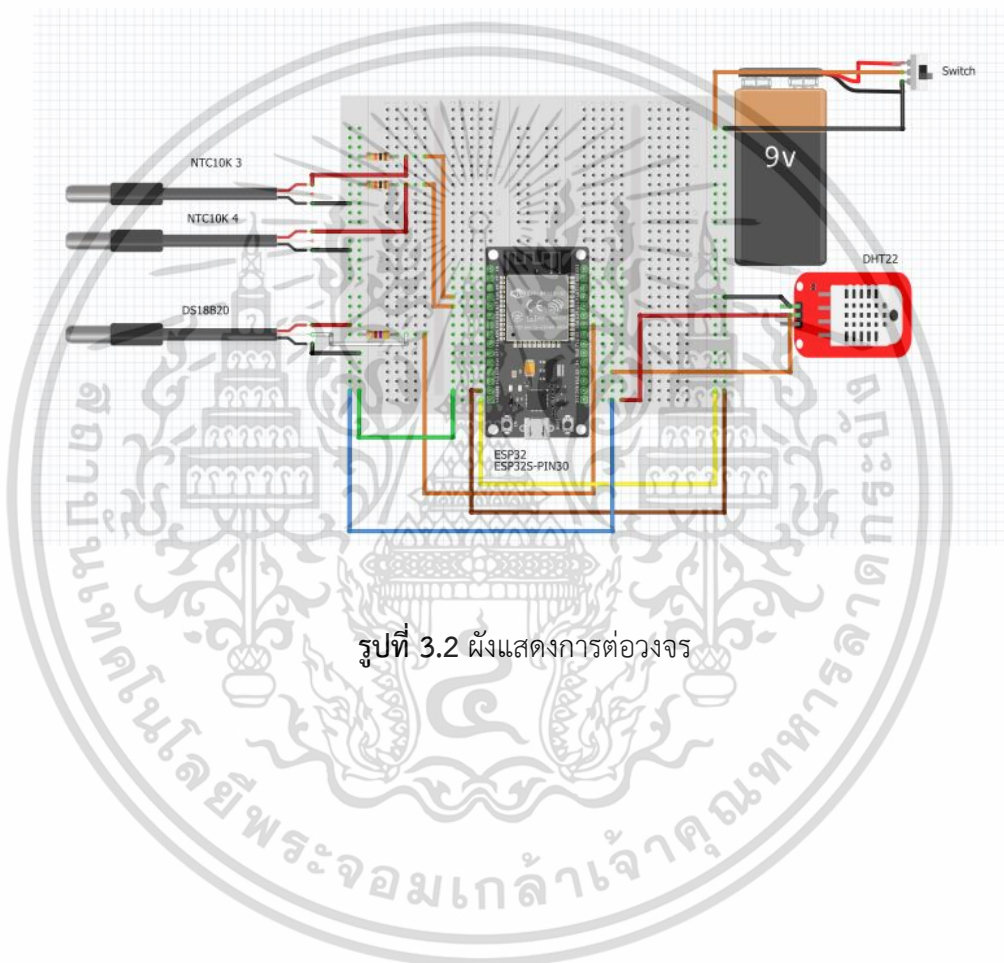


รูปที่ 3.1 แสดงภาพรวมการทำงานของระบบการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยการใช้ IoT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

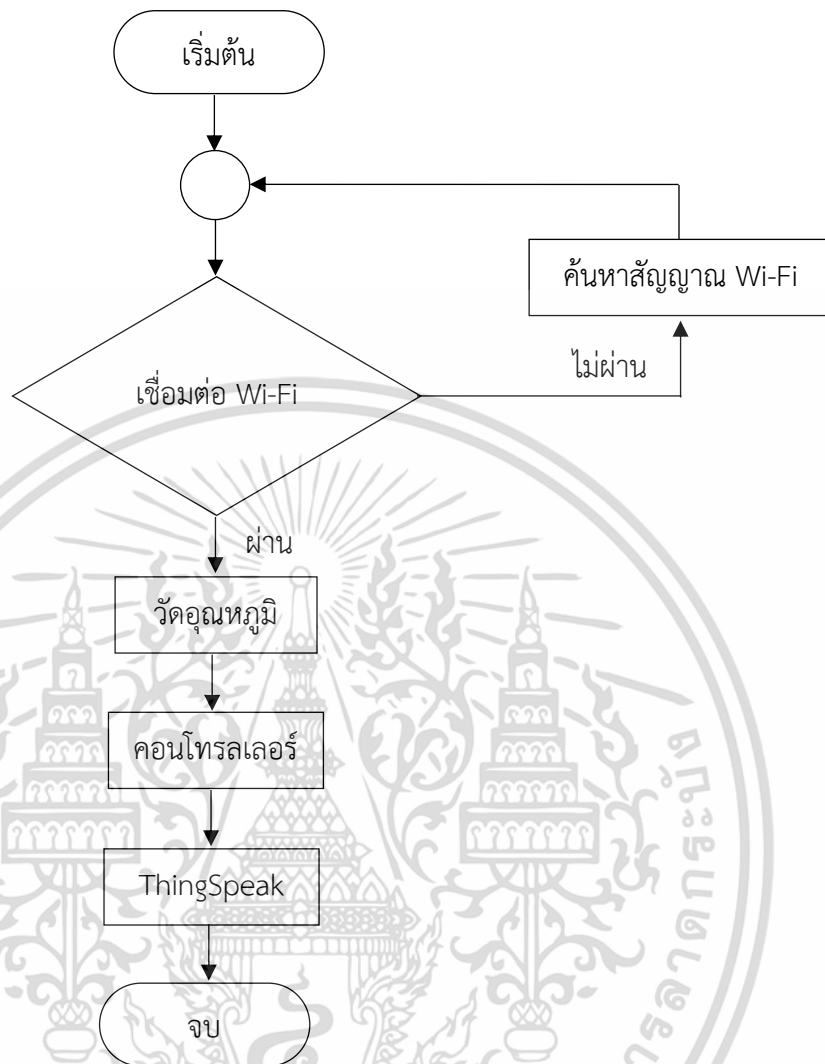
3.1.1 การทำงานของระบบ

หลักการทำงานของระบบการพัฒนาการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยการใช้ IoT จะใช้เซนเซอร์ทั้งหมด 4 ตัวในการวัดอุณหภูมิเพื่อเก็บข้อมูล โดยมี ESP32 เป็นคอนโทรลเลอร์ รับสัญญาณ Wi-Fi เพื่อทำการส่งข้อมูลไปยัง ThingSpeak และขณะเก็บข้อมูลสามารถมอนิเตอร์ดูสถานะการเชื่อมต่อและดูค่าอุณหภูมิผ่านทางโน้ตบุ๊กได้ โดยมีผังแสดงการต่อวงจรดังนี้



รูปที่ 3.2 ผังแสดงการต่อวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ผังแสดงการทำงานของวงจร

3.2 วิธีการดำเนินงาน

3.2.1 ศึกษาหลักการทำงาน

ศึกษาพฤติกรรมการลำเลียงน้ำของต้นไม้ การทำงานของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ระบบ IoT การเก็บข้อมูลบน ThingSpeak การหา Sap flux density และ RC circuit model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ออกแบบระบบการทำงาน

ออกแบบระบบการทำงานของระบบการวัดอุณหภูมิเพื่อศึกษาพฤติกรรมการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยการใช้ IoT ได้แก่ ระบบเชื่อมต่อ ThingSpeak ผ่าน ESP32 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยใช้เซนเซอร์ที่หาได้จากท้องตลาด

3.2.3 จัดซื้ออุปกรณ์

จัดซื้ออุปกรณ์ โดยผ่านช่องทางออนไลน์ เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (Covid-19) ซึ่งได้แก่ เทอร์มิสเตอร์, DHT22, DS18B20, ESP32 devkit V1, โฟโต้บอร์ด และสวิตช์ไฟ

3.2.4 สอบเทียบเทอร์มิสเตอร์

สอบเทียบเทอร์มิสเตอร์ เพื่อหาเทอร์มิสเตอร์คู่ที่อ่านค่าได้ใกล้เคียงกัน และมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดจากทั้งหมด 5 ตัว ซึ่งได้ทำการกำหนดช่วงในการสอบเทียบเป็น 25°C, 30°C, 35°C และ 40°C โดยช่วงในการสอบเทียบอ้างอิงจากอุณหภูมิของต้นไม้ที่ได้ทำการทดลองวัดด้วย Fluke 725 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ยืมจากห้องทดลองของภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม และทำการวัดค่าในช่วงเวลา 16:00 – 17:00 นาฬิกา โดยค่าอุณหภูมิที่วัดได้ประมาณ 28°C - 30°C



รูปที่ 3.4 วัดอุณหภูมิของต้นไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอบเทียบเทอร์มิสเตอร์โดยใช้ Fluke 754 และ Ametex jofra temperature calibrator ในการสอบเทียบ ซึ่งทำการสอบเทียบขึ้นและลงทั้งหมด 4 รอบ



รูปที่ 3.5 Fluke 754



รูปที่ 3.6 Ametex jofra temperature calibrator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 สอบเทียบเทอร์มิสเตอร์ตามช่วงที่กำหนด

หลังจากสอบเทียบเทอร์มิสเตอร์ครบทั้ง 5 ตัวแล้ว พบว่าเทอร์มิสเตอร์ตัวที่ 3 และตัวที่ 4 อ่านค่าได้ใกล้เคียงกันและมีความผิดพลาดน้อยที่สุด จึงเลือกเทอร์มิสเตอร์คู่นี้ในการทำระบบการวัดอุณหภูมิเพื่อศึกษาพฤติกรรมการล้าเลียงน้ำสำหรับต้นไม้อาศัยการใช้ IoT

Sheet1 NTC 10K

ตัวที่	Standard (°C)	Standard (Kiloohm)	Read (Kiloohm)				ค่าเฉลี่ย (X)	Absolute Error	% Error	Correction	S.D
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4					
1	25	10	10.175	10.174	10.178	10.161	10.172	0.161	1.61	0.172	0.007527265
	30	8.081	8.199	8.196	8.200	8.196	8.19775	0.115	1.423091202	0.11675	0.0020615528
	35	6.530	6.641	6.642	6.651	6.642	6.644	0.112	1.715160796	0.114	0.0046904158
	40	5.340	5.409	5.410	5.411	5.409	5.40975	0.069	1.292134831	0.06975	0.0009574271
2	25	10	10.080	10.077	10.074	10.072	10.07575	0.072	0.72	0.07575	0.0035
	30	8.081	8.116	8.114	8.116	8.116	8.1155	0.035	0.43314714	0.0345	0.001
	35	6.530	6.571	6.572	6.576	6.572	6.57275	0.042	0.643185299	0.04275	0.0022173558
	40	5.340	5.350	5.351	5.352	5.350	5.35075	0.01	0.187265918	0.01075	0.0009574271
3	25	10	10.094	10.091	10.090	10.089	10.091	0.089	0.89	0.091	0.0021602469
	30	8.081	8.127	8.124	8.127	8.127	8.12625	0.046	0.569236481	0.04525	0.0015
	35	6.530	6.581	6.581	6.583	6.581	6.5815	0.051	0.78101072	0.0515	0.001
	40	5.340	5.357	5.358	5.359	5.357	5.35775	0.017	0.31835206	0.01775	0.0009574271
4	25	10	10.093	10.090	10.090	10.089	10.0905	0.089	0.89	0.0905	0.0017320508
	30	8.081	8.127	8.122	8.127	8.127	8.12575	0.046	0.569236481	0.04475	0.0025
	35	6.530	6.580	6.581	6.582	6.580	6.58075	0.05	0.765696784	0.05075	0.0009574271
	40	5.340	5.357	5.358	5.359	5.357	5.35775	0.017	0.31835206	0.01775	0.0009574271
5	25	10	10.088	10.084	10.083	10.086	10.08525	0.086	0.86	0.08525	0.0022173558
	30	8.081	8.124	8.116	8.123	8.123	8.1215	0.042	0.519737656	0.0405	0.0036968455
	35	6.530	6.578	6.578	6.579	6.576	6.57775	0.046	0.704441041	0.04775	0.0012583057
	40	5.340	5.355	5.356	5.356	5.356	5.35575	0.016	0.299625468	0.01575	0.0005

รูปที่ 3.8 ผลการสอบเทียบเทอร์มิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 ทำ Linearization

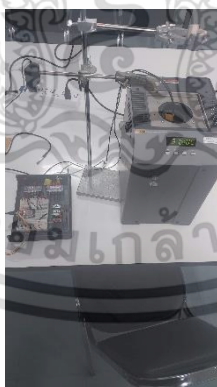
1. Steinhart-hart Equation

เนื่องจาก NTC ให้ผลเอาต์พุต แบบไม่เป็นเชิงเส้นจึงต้องใช้ Steinhart-Hart Equation เนื่องจากสมการนี้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ NTC กับอุณหภูมิ ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$\frac{1}{T} = A + B \ln R + C (\ln R)^3$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน
R คือ ความต้านทาน ณ อุณหภูมิ T
A, B, C คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับประเภทของเทอร์มิสเตอร์และย่านอุณหภูมิที่สนใจ

เพื่อให้ผลเอาต์พุตของ NTC เป็นเชิงเส้นมากขึ้นจะต้องทำการวัดความความต้านในย่านอุณหภูมิที่เราใช้งาน ซึ่งในโครงการนี้คือ 25°C -35°C เมื่อได้ค่าความต้านทานในจุดที่เราทราบค่าแล้วก็สามารถนำมาใช้หาค่าสัมประสิทธิ์ A, B และ C ได้



รูปที่ 3.9 สอบเทียบเทอร์มิสเตอร์เพื่อหาค่าความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Standard (°C)	Standard (Kiloohm)	Read (Kiloohm)				ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	Absolute Error (\bar{X} - STD)	% Error (Relative error x 100)	Correction (True value - Read value)	S.D
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4					
NTC10K #3	25	10000	8264.94	8248.66	8379.71	8289.42	8295.6825	-1704.3175	-17.043175	1704.3175	58.4695262
	27	9126.36	7537.470	7514.97	7620.48	7742.63	7603.8875	-1522.4725	-16.68214381	1522.4725	103.024914
	29	8377.32	6865.73	7470.14	7418.12	6949.5	7175.8725	-1201.4475	-14.34166893	1201.4475	312.362019
	30	8059.47	6432.58	6935.48	7062.5	6308.42	6684.745	-1374.725	-17.05726307	1374.725	370.03359
	31	7708.24	6977.61	6353.83	6412.83	6518.76	6565.7575	-1142.4825	-14.82157406	1142.4825	282.92009
	33	7133.62	5896.74	5798.61	5689.66	5470.34	5685.58	-1448.04	-20.29881042	1448.04	213.229278
	35	6530	5529.01	5077.32	5677.64	5240.04	5381.0025	-1148.9975	-17.59567381	1148.9975	272.025436
NTC10K #4	25	10000	8429.34	8396.23	8167.7	8775.79	8442.265	-1557.735	-15.57735	1557.735	250.938998
	27	9126.36	7529.97	7590.21	7119.57	7643.26	7470.7525	-1655.6075	-18.14094009	1655.6075	238.652322
	29	8377.32	7544.99	8404.49	7492.52	7083.86	7631.465	-745.855	-8.903265006	745.855	555.0443
	30	8059.47	6949.5	6399.68	6977.61	6077.74	6601.1325	-1458.3375	-18.09470722	1458.3375	438.793057
	31	7708.24	7410.71	6419.41	7048.29	7773.44	7162.9625	-545.2775	-7.073955922	545.2775	577.373855
	33	7133.62	5558.51	5707.71	5909.09	5411.18	5646.6225	-1486.9975	-20.84492165	1486.9975	212.773631
	35	6530	5482.24	5435.36	5683.65	5517.24	5529.6225	-1000.3775	-15.31971669	1000.3775	108.025178

รูปที่ 3.10 ตารางบันทึกผลสอบเทียบ

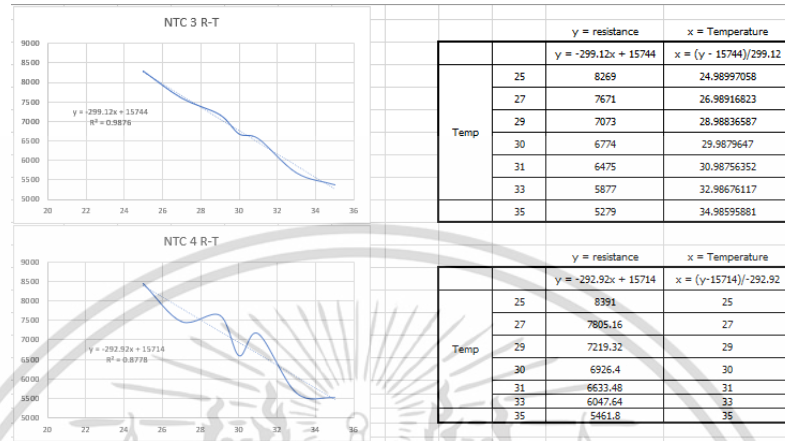
เนื่องจากไม่ทราบความต้านทานในแต่ละจุดอุณหภูมิที่ใช้งาน จึงต้องอ้างอิงอุณหภูมิมาตรฐานจากตารางเอาต์พุตของเทอร์มิสเตอร์ 10 K มาเป็นมาตรฐานในการสอบเทียบ

°F	°C	Ohms	°F	°C	Ohms	°F	°C	Ohms
-39	-39.44	323839	37	2.78	28385	113	45.00	4367
-37	-38.33	309974	39	3.89	26834	115	46.11	4182
-35	-37.22	278650	41	5.00	25395	117	47.22	4006
-33	-36.11	260410	43	6.11	24042	119	48.33	3838
-31	-35.00	242427	45	7.22	22770	121	49.44	3679
-29	-33.89	225809	47	8.33	21573	123	50.56	3525
-27	-32.78	210443	49	9.44	20446	125	51.67	3380
-25	-31.67	196227	51	10.56	19376	127	52.78	3242
-23	-30.56	183068	53	11.67	18378	129	53.89	3111
-21	-29.44	170776	55	12.78	17437	131	55.00	2985
-19	-28.33	159488	57	13.89	16550	133	56.11	2865
-17	-27.22	149024	59	15.00	15714	135	57.22	2751
-15	-26.11	139316	61	16.11	14925	137	58.33	2642
-13	-25.00	130306	63	17.22	14180	139	59.44	2538
-11	-23.89	121939	65	18.33	13478	141	60.56	2438
-9	-22.78	114185	67	19.44	12814	143	61.67	2343
-7	-21.67	106939	69	20.56	12182	145	62.78	2252
-5	-20.56	100218	71	21.67	11589	147	63.89	2165
-3	-19.44	93905	73	22.78	11030	149	65.00	2082
-1	-18.33	88090	75	23.89	10501	151	66.11	2003
1	-17.22	82670	77	25.00	10000	153	67.22	1927
3	-16.11	77620	79	26.11	9526	155	68.33	1855
5	-15.00	72911	81	27.22	9078	157	69.44	1785
7	-13.89	68518	83	28.33	8653	159	70.56	1718
9	-12.78	64419	85	29.44	8251	161	71.67	1655
11	-11.67	60592	87	30.56	7866	163	72.78	1594
13	-10.56	57017	89	31.67	7505	165	73.89	1536
15	-9.44	53647	91	32.78	7163	167	75.00	1480
17	-8.33	50528	93	33.89	6838	169	76.11	1427
19	-7.22	47595	95	35.00	6530	171	77.22	1375
21	-6.11	44874	97	36.11	6238	173	78.33	1326
23	-5.00	42317	99	37.22	5960	175	79.44	1279
25	-3.89	39921	101	38.33	5697	177	80.56	1234
27	-2.78	37676	103	39.44	5447	179	81.67	1190
29	-1.67	35573	105	40.56	5207	181	82.78	1149
31	-0.56	33599	107	41.67	4981	183	83.89	1109
33	0.56	31732	109	42.78	4766	185	85.00	1070
35	1.67	29996	111	43.89	4561	187	86.11	1034

รูปที่ 3.11 ตารางเอาต์พุตเทอร์มิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พล็อตกราฟจากตารางสอบเทียบและใช้สมการเชิงเส้นหาค่าความต้านทานที่แท้จริงในแต่ละจุดอุณหภูมิ



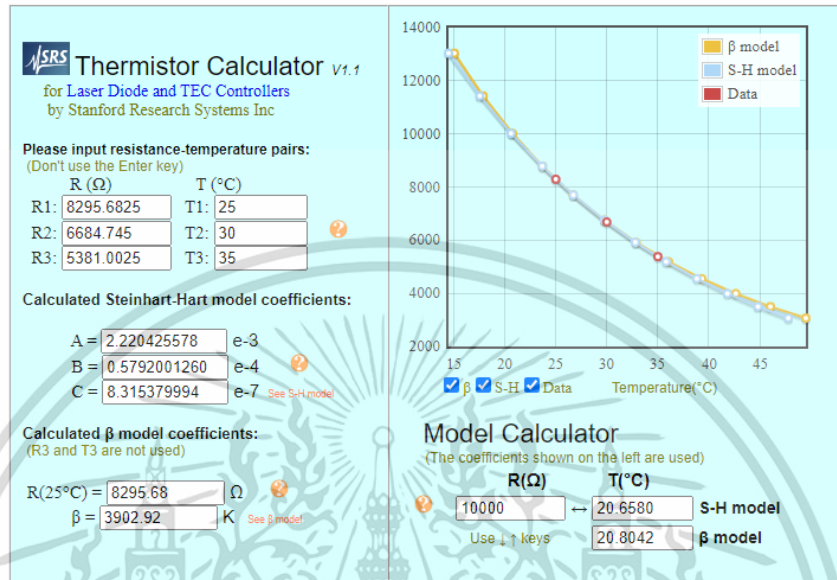
รูปที่ 3.12 กราฟและสมการเชิงเส้นจากตารางสอบเทียบ

	Standard (°C)	Resistance (ohm)	Read (°C)				ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	Absolute Error (X - STD)	% Error (Relative error x 100)	Correction (True value - Read value)	S.D
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4					
NTC10K #3	25	8269	29.4	29.45	29.08	29.33	29.315	4.315	17.26	-4.315	0.16421531
	27	7671	31.570	31.64	31.31	30.93	31.3625	4.3625	16.15740741	-4.3625	0.32139021
	29	7073	33.79	31.78	31.95	33.5	32.755	3.755	12.94827586	-3.755	1.03680599
	30	6774	35.36	33.55	33.12	35.84	34.4675	4.4675	14.89166667	-4.4675	1.33390092
	31	6475	33.41	35.66	35.44	35.04	34.8875	3.8875	12.54032258	-3.8875	1.01788588
	33	5877	37.48	37.89	38.36	39.33	38.265	5.265	15.95454545	-5.265	0.79584337
	35	5279	39.07	41.19	38.41	40.4	39.7675	4.7675	13.62142857	-4.7675	1.25866648
NTC10K #4	25	8391	28.94	29.03	29.68	28	28.9125	3.9125	15.65	-3.9125	0.69192365
	27	7805.16	31.59	31.4	32.92	31.24	31.7875	4.7875	17.73148148	-4.7875	0.76843456
	29	7219.32	31.54	29.01	31.71	33.04	31.325	2.325	8.017241379	-2.325	1.68274577
	30	6926.4	33.5	35.49	33.41	36.74	34.785	4.785	15.95	-4.785	1.61873407
	31	6633.48	31.97	35.41	33.17	30.84	32.8475	1.8475	5.959677419	-1.8475	1.95537507
	33	6047.64	38.94	38.28	37.43	39.46	38.5275	5.5275	16.75	-5.5275	0.87663656
	35	5461.8	39.28	39.49	38.39	39.12	39.07	4.07	11.62857143	-4.07	0.47798187

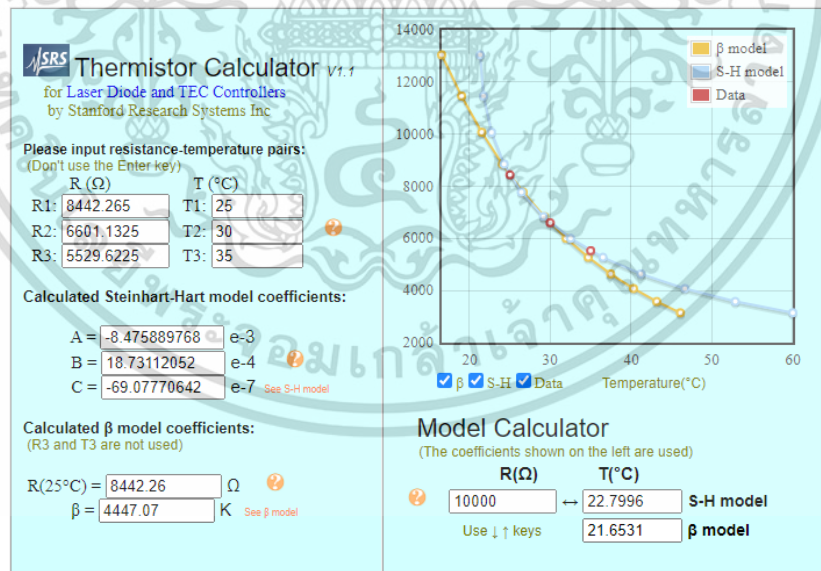
รูปที่ 3.13 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิก่อนแก้ค่าสัมประสิทธิ์ A, B และ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าความต้านทานเฉลี่ยที่ได้จากการสอบเทียบไปใส่ในโปรแกรมคำนวณ SRS Thermistor Calculator เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ A, B และ C



รูปที่ 3.14 ค่าสัมประสิทธิ์ A, B และ C ของ NTC10K #3



รูปที่ 3.15 ค่าสัมประสิทธิ์ A, B และ C ของ NTC10K #4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 Steinhart-Hart coefficients

ในกรณีที่ผู้ใช้โปรแกรม SRS Thermistor Calculator คำนวณสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ A, B และ C ได้โดยแก้สมการนี้

$$\begin{bmatrix} 1 & \ln R_1 & \ln^3 R_1 \\ 1 & \ln R_2 & \ln^3 R_2 \\ 1 & \ln R_3 & \ln^3 R_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{T_1} \\ \frac{1}{T_2} \\ \frac{1}{T_3} \end{bmatrix}$$

เมื่อ R_1, R_2 และ R_3 คือ ค่าความต้านทาน ณ อุณหภูมิ T_1, T_2 และ T_3

$$\gamma_2 = \frac{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}}{\ln R_2 - \ln R_1} \quad \gamma_3 = \frac{\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_1}}{\ln R_3 - \ln R_1}$$

$$C = \left(\frac{\gamma_3 - \gamma_2}{\ln R_3 - \ln R_2} \right) (\ln R_1 + \ln R_2 + \ln R_3)^{-1}$$

$$B = \gamma_2 - C(\ln R_1^2 + \ln R_1 \ln R_2 + \ln R_2^2)$$

$$A = \gamma_1 - (B + \ln R_1^2 C) \ln R_1$$

เมื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ A, B และ C ได้แล้ว นำไปแก้ค่าในโปรแกรม Arduino IDE และทำการสอบเทียบอีกครั้ง เพื่อดูผลของอุณหภูมิหลังจากทำการแก้ไขแล้ว

```
// coefficients for the Steinhart-Hart equation
#define A 2.220425578e-3
#define B 0.5792001260e-4
#define C 8.315379994e-7
// coefficients for the Steinhart-Hart equation
#define a -8.475889768e-3
#define b 18.73112052e-4
#define c -69.07770642e-7
```

รูปที่ 3.16 ค่าที่แก้ในโปรแกรม Arduino IDE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// use the Steinhart-Hart equation to calculate the temperature
float temperature1 = 1 / (A + B * log(resistance1) + C * pow(log(resistance1), 3));
float Tc1,Tc2;

// convert the temperature from Kelvin to Celsius
Tc1 = temperature1 -273.15 ;

// use the Steinhart-Hart equation to calculate the temperature
float temperature2 = 1 / (a + b * log(resistance2) + c * pow(log(resistance2), 3));

// convert the temperature from Kelvin to Celsius
Tc2 = temperature2 -273.15 ;
```

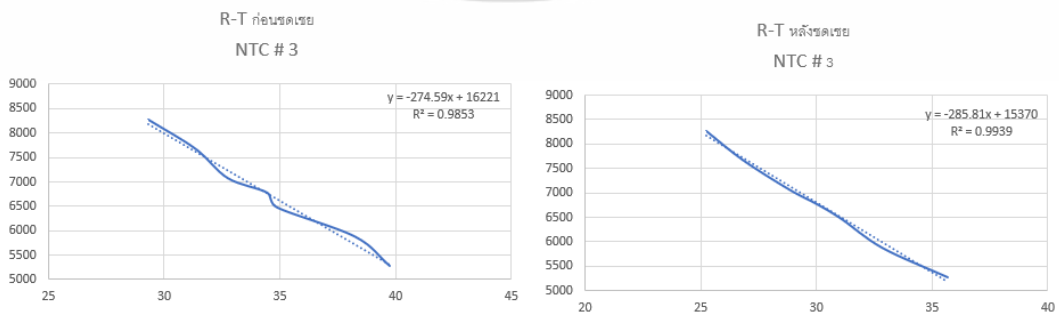
รูปที่ 3.17 สมการที่ใช้แปลงค่าความต้านทานเป็นอุณหภูมิ

ทำการสอบเทียบที่ย่านอุณหภูมิ 25 °C - 35 °C เพื่อดูผลเอาต์พุตหลังจากที่ทำการแก้ค่าสัมประสิทธิ์ในโปรแกรมแล้ว

	Standard (°C)	Resistance (ohm)	Read (°C)				ค่าเฉลี่ย (X̄)	Absolute Error (X̄ - STD)	% Error (Relative error x100)	Correction (True value - Read value)	S.D
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4					
Steinhart-hart A = 2.220425378e-3 B = 0.5792001260e-4 C = 8.315379994e-7	25	8269	25.27	24.61	25.61	25.02	25.1275	0.1275	0.51	-0.1275	0.4212976
	27	7671	27.890	27.18	27.43	26.85	27.3375	0.3375	1.25	-0.3375	0.43828263
	29	7073	28.99	27.89	28.5	28.87	28.5625	-0.4375	-1.50862069	0.4375	0.49446099
	30	6774	29.34	28.59	29.31	29.59	29.4575	-0.5425	-1.808333333	0.5425	0.15348724
	31	6475	30.63	30.44	30.25	30.96	30.57	-0.43	-1.387096774	0.43	0.30276504
Steinhart-hart A = -8.268512885e-3 B = 18.37378917e-4 C = -67.50642456e-7	25	8391	25.07	25.36	25.72	25.15	25.325	0.325	1.3	-0.325	0.29034462
	27	7805.16	27.08	26.7	27.28	26.62	26.92	-0.08	-0.296296296	0.08	0.31283649
	29	7219.32	29.98	29.66	29	28.42	29.265	0.265	0.91379303	-0.265	0.69558129
	30	6926.4	30.24	29.56	29.39	29.03	29.555	-0.445	-1.483333333	0.445	0.50731318
	31	6633.48	31.06	30.87	29.39	30.55	30.4675	-0.5325	-1.71741935	0.5325	0.74852633
	33	6047.64	32.01	33.95	32.8	33.51	33.0675	0.0675	0.204545455	-0.0675	0.84940666
	35	5461.8	36.58	35.58	35.97	36.8	36.2325	1.2325	3.521428571	-1.2325	0.55900954

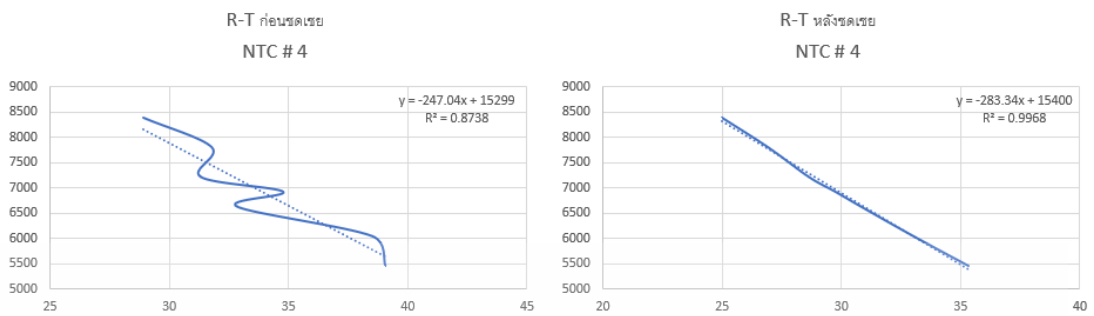
รูปที่ 3.18 ตารางบันทึกอุณหภูมิหลังแก้ค่า A, B และ C

ทำการพล็อตกราฟเชิงเส้นเพื่อดูผลเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าอุณหภูมิที่วัดได้ก่อนและหลังปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์ A, B และ C



รูปที่ 3.19 กราฟเชิงเส้นเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์ NTC #3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



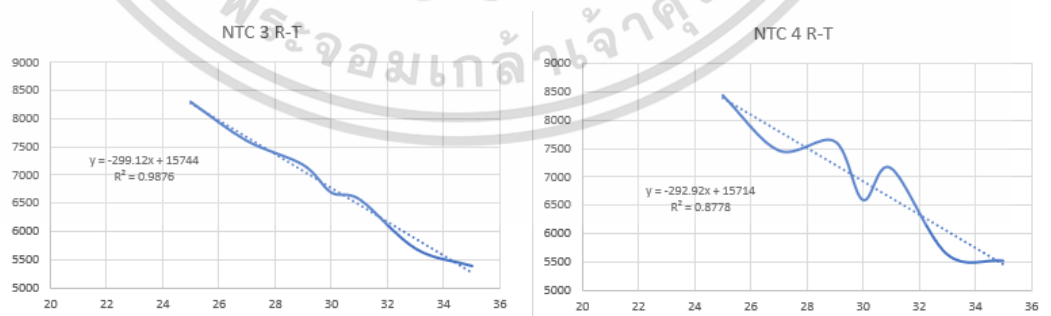
รูปที่ 3.20 กราฟเชิงเส้นเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์ NTC #4

2. สมการเชิงเส้น

$$y = mx + b$$

- เมื่อ
- y = ค่าความต้านทาน (R)
 - m = Slope
 - x = ค่าอุณหภูมิ ที่ได้จากการวัด (T)
 - b = ค่าของ y Intercept

เปรียบเทียบเอาต์พุตกับวิธีการใช้ Steinhart-hart Equation เพื่อดูว่าวิธีไหนกราฟเอาต์พุตจะมีความเป็นเชิงเส้นมากกว่ากัน



รูปที่ 3.21 กราฟจากตารางสอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางผลสอบเทียบเมื่อทำการพล็อตกราฟ จะได้สมการเชิงเส้นมาทำการ Linearization โดยการย้ายข้างสมการหาอุณหภูมิ $x = \frac{(y-b)}{m}$ และนำสมการไปแก้ในโปรแกรม

```
// use the Linear equation to calculate the temperature
float temperature1 = (resistance1 - 15744) / -299.12 ;
float Tc1,Tc2;

Tc1 = temperature1 ;

// use the Steinhart-Hart equation to calculate the temperature
float temperature2 = (resistance2 - 15714) / -292.92 ;

Tc2 = temperature2 ;
```

รูปที่ 3.22 สมการที่ใช้ในการ Linearization

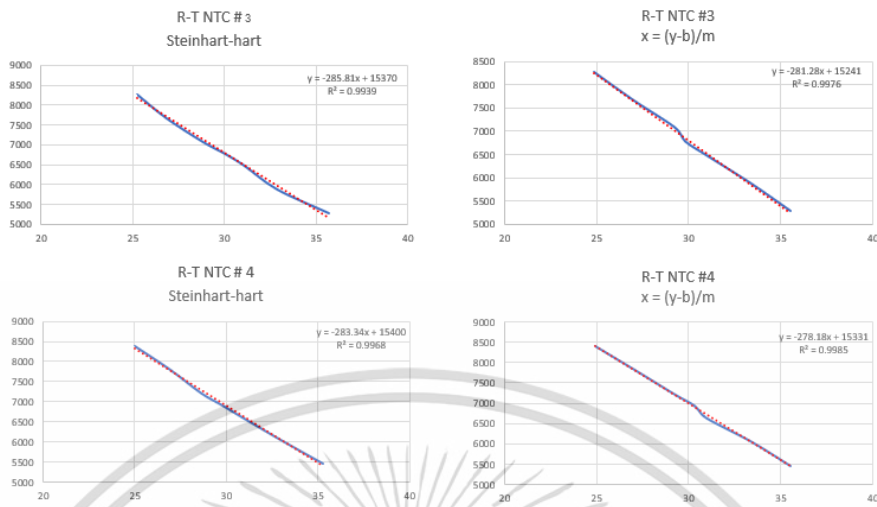
ทำการสอบเทียบอีกครั้งเพื่อดูผลเอาต์พุตหลังจากทำการ Linearization แล้วบันทึกค่าอุณหภูมิลงตารางและพล็อตกราฟเชิงเส้น

	Standard (°C)	Resistance (ohm)	Read (°C)				ค่าเฉลี่ย (X̄)	Absolute Error (X̄ - STD)	% Error (Relative error x 100)	Correction (True value - Read value)	S.D
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4					
x = (y-15744)/-299.12	25	6269	24.92	24.76	24.59	25.14	24.8525	-0.1475	-0.59	0.1475	0.2342897
	27	7671	27.260	26.67	26.15	27.76	26.96	-0.04	-0.148148148	0.04	0.7000476
	29	7073	28.01	29.35	31.09	28.54	29.2475	0.2475	0.853448276	-0.2475	1.3462633
	30	6774	29.89	28.88	30.71	29.76	29.81	-0.19	-0.633333333	0.19	0.7491773
	31	6475	29.84	31.2	32.13	30.68	30.9625	-0.0375	-0.120967742	0.0375	0.9590403
x = (y-15714)/-292.92	33	5877	33.09	32.67	33.89	33.76	33.3525	0.3525	1.068181818	-0.3525	0.574362
	35	5279	36.82	34.57	34.39	36.3	35.52	0.52	1.485714286	-0.52	1.2217201
	25	8391	24.93	25.43	24.24	25.15	24.9375	-0.0625	-0.25	0.0625	0.5080272
	27	7805.16	27.73	26.5	26.58	27.58	27.0975	0.0975	0.361111111	-0.0975	0.6474759
	29	7219.32	28.75	29.14	28.85	30.11	29.2125	0.2125	0.732758621	-0.2125	0.6207724
x = (y-15714)/-292.92	30	6926.4	30.06	30.84	31.6	28.85	30.3375	0.3375	1.125	-0.3375	1.174177
	31	6633.48	29.99	31.78	30.11	31.95	30.9575	-0.0425	-0.137096774	0.0425	1.0513285
	33	6047.64	33.55	33.39	32.94	33.81	33.4225	0.4225	1.28030303	-0.4225	0.3652739
	35	5461.8	36.1	35.44	35.48	35.03	35.5125	0.5125	1.464285714	-0.5125	0.4413143

รูปที่ 3.23 ตารางบันทึกผลสอบเทียบโดยใช้สมการเชิงเส้น

ทำการพล็อตกราฟและเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ ระหว่างการใช้ Steinhart-hart Equation และสมการเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิระหว่างการใช้ Steinhart-hart Equation และสมการเชิงเส้น

จากการเปรียบเทียบทั้งสองวิธีแล้ว จึงเลือกใช้วิธีสมการเชิงเส้นมาทำ Linearization เพราะค่า R² ของสมการเชิงเส้นมีค่ามากกว่า Steinhart-hart Equation

3.2.6 เขียนโปรแกรม

เขียนโปรแกรมคำสั่ง ได้แก่ โปรแกรมการส่งค่าอุณหภูมิของต้นไม้วัดได้ไปเก็บไว้บน ThingSpeak

```

Project_Final_Code | Arduino 1.8.9
File Edit Sketch Tools Help

Project_Final_Code
#include <WiFi.h>
#include <ThingSpeak.h>

unsigned long CHANNEL_ID = 1943016;
const char* CHANNEL_API_KEY = "46VAR09I4E58RVQL";

long prevMillisThingSpeak = 0;
int intervalThingSpeak = 30000; // Minimum ThingSpeak write interval is 15 seconds

WiFiClient client;

const char* ssid = "X";
const char* password = "xenon6ch";

//temperature
bool esp32 = true;

int ThermistorPin1;
int ThermistorPin2;

float adcMax, Vs;

String TempReal;
float R1 = 10000.0; // resistor 10k
float Beta = 3950.0; // Beta value
float To = 298.15; // temperature kelvin Kelvin
float Ro = 10000.0; // resistor 10k em C

#include <driver/adc.h>
#include <esp_adc_cal.h>
#include <freertos/FreeRTOS.h>
#include <freertos/task.h>
#include <esp_err.h>
#include <esp_log.h>

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// GPIO where the DS18B20 is connected to
const int oneWireBus = 4;
// Setup a oneWire instance to communicate with any OneWire devices
OneWire oneWire(oneWireBus);

// Pass our oneWire reference to Dallas Temperature sensor
DallasTemperature sensors(&oneWire);

#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302), AM2321
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
    
```

รูปที่ 3.25 ประกาศตัวแปรที่เกี่ยวข้องและเรียกใช้งานไลบรารีต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void setup()
{
  Serial.begin(115200);

  WiFi.begin(ssid, password);
  // Wait for connection
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }

  Serial.println("");
  Serial.println("Wi-Fi connected");
  Thingspeak.begin(client);

  adc1_config_width(ADC_WIDTH_BIT_12);
  adc1_config_channel_atten(ADC1_CHANNEL_6, ADC_ATTEN_DB_0); //pin 34 esp32 devkit v1
  adc1_config_channel_atten(ADC1_CHANNEL_7, ADC_ATTEN_DB_0); //pin 35 esp32 devkit v1

  esp_adc_cal_value_t adc_type = esp_adc_cal_characterize(ADC_UNIT_1, ADC_ATTEN_DB_0, ADC_WIDTH_BIT_12, 1100, &adc_cal);
  adc1_config_width(ADC_WIDTH_BIT_12);

  sensors.begin(); // Start the DS18B20 sensor
  dht.begin(); // Start DHT22

  //////////// temperatura

  ThermistorPin1 = 34;
  ThermistorPin2 = 35;

  adcMax = 4095.0; // ADC 12-bit (0-4095)
  Vs = 3.3; // voltagem

  void loop() {
    uint32_t AD1 = 0;
    for (int i = 0; i < 100; i++)
    {
      AD1 += adc1_get_raw(ADC1_CHANNEL_6); //Obtem o valor RAW do ADC
      ets_delay_us(30);
    }
    AD1 /= 100;

    uint32_t AD2 = 0;
    for (int i = 0; i < 100; i++)
    {
      AD2 += adc1_get_raw(ADC1_CHANNEL_7); //Obtem o valor RAW do ADC
      ets_delay_us(30);
    }
    AD2 /= 100;

    float Vout1, Vout2, Rt1, Rt2 = 0;
    float T1, T2, Tc1, Tc2 = 0;

    float adc1 = 0;
    float adc2 = 0;

    adc1 = analogRead(ThermistorPin1);
    adc1 = AD1;

    adc2 = analogRead(ThermistorPin2);
    adc2 = AD2;

    Vout1 = adc1 * Vs / adcMax;
    Vout2 = adc2 * Vs / adcMax;

    Rt1 = R1 * Vout1 / (Vs - Vout1);
    Rt2 = R1 * Vout2 / (Vs - Vout2);

    T1 = 1 / (1 / To + log(Rt1 / Ro) / Beta); // Kelvin
    Tc1 = T1 - 273.15; // Celsius
    T2 = 1 / (1 / To + log(Rt2 / Ro) / Beta); // Kelvin
    Tc2 = T2 - 273.15; // Celsius

    if (Tc1 > 0)
      Serial.print("NTC3 Tc1 ");
      Serial.print(Tc1);
      Serial.println(" °C");

    if (Tc2 > 0)
      Serial.print(" NTC4 Tc2 ");
      Serial.print(Tc2);
      Serial.println(" °C");
  }
}

```

รูปที่ 3.26 เขียนโปรแกรมสำหรับเชื่อมต่อสัญญาณ Wi-Fi

รูปที่ 3.27 กำหนดตัวแปรในการเก็บค่าและเข้าสู่สูตรทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// DS18B20
sensors.requestTemperatures();
float temperatureC = sensors.getTempCByIndex(0);

Serial.print(" DS18B20 ");
Serial.print(" Temperature is: ");
Serial.print(temperatureC);
Serial.println(" °C");

//DHT22
float h = dht.readHumidity();
float t = dht.readTemperature();
float f = dht.readTemperature(true);

if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) {
  Serial.println(F("Failed to read from DHT sensor!"));
  return;
}

float hif = dht.computeHeatIndex(f, h);
float hic = dht.computeHeatIndex(t, h, false);
Serial.print(" DHT22 ");
Serial.print(F("Humidity: "));
Serial.print(h);
Serial.print(F("% Temperature: "));
Serial.print(t);
Serial.print(F(" °C"));
delay(5000);

if (millis() - prevMillisThingSpeak > intervalThingSpeak)
{
  ThingSpeak.setField( 1, Tc1 );
  ThingSpeak.setField( 2, Tc2 );
  ThingSpeak.setField( 3, t );
  ThingSpeak.setField( 4, h );
  ThingSpeak.setField( 5, temperatureC );

  // Write to the ThingSpeak channel
  int x = ThingSpeak.writeFields(CHANNEL_ID, CHANNEL_API_KEY);
  if (x == 200) {
    Serial.println("\n Channel update successful.");
  }
  else {
    Serial.println("\n Problem updating channel. HTTP error code " + String(x));
  }

  prevMillisThingSpeak = millis();
}

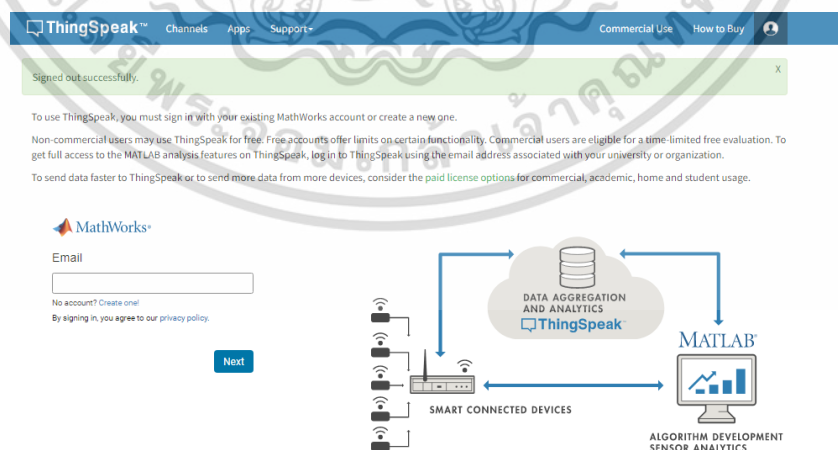
if(WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    WiFi.begin(ssid, password);
    Serial.print("\n Disconnect");
    Serial.print("\n.");
    delay(5000);
  }
}

```

รูปที่ 3.28 ให้ DS18B20 และ DHT 22 วัดค่าอุณหภูมิและให้ส่งค่าข้อมูลไปที่ Field1-5 บน Thingspeak

3.2.7 สร้าง Chanel บน ThingSpeak

1. ไปที่ ThingSpeak.com ทำการสมัครและ Log In เข้าใช้งาน

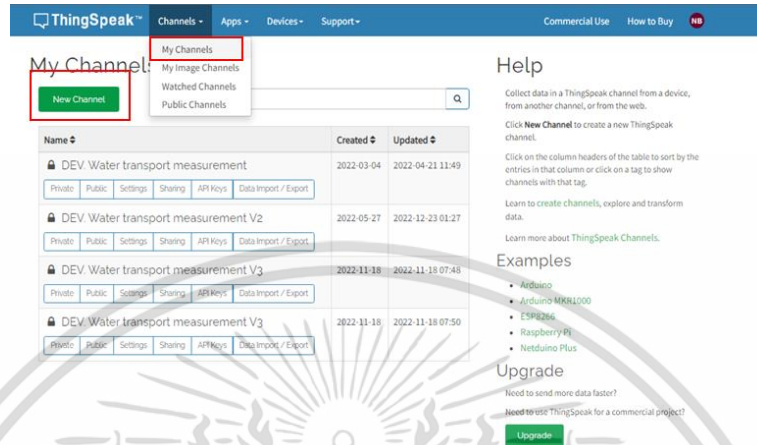


รูปที่ 3.29 หน้าต่างสมัครเข้าใช้งานของ Thingspeak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เข้าไปที่ My Channel แล้ว กด New Channel เพื่อสร้าง Channel สำหรับใช้

งาน



รูปที่ 3.30 หน้าต่าง My Channel

3. เมื่อสร้าง New Channel แล้ว ตั้งชื่อโปรเจกต์และสร้าง Field ขึ้นมาตามจำนวนที่จะใช้

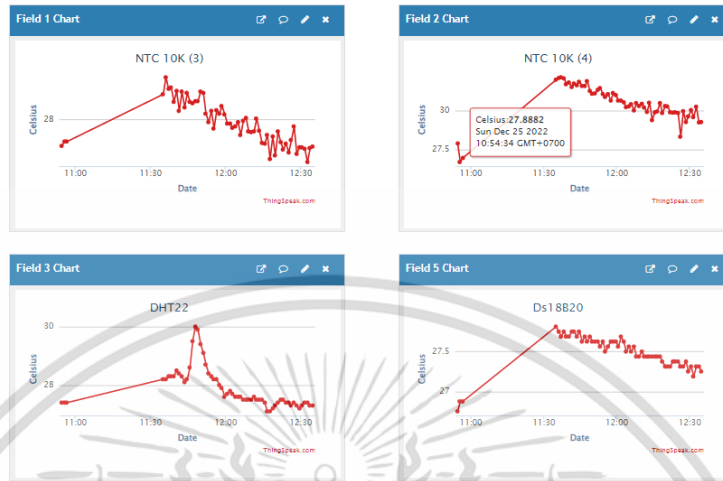
งาน



รูปที่ 3.31 หน้าต่าง Channel Setting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ไปที่ API Key แล้วนำ Channel ID และ API Key ไปใช้งาน



รูปที่ 3.32 หน้าต่างโปรแกรม

DEV: Water transport measurement V3

Channel ID: 1943017
Author: mw8000021438462
Access: Private

Private View Public View Channel Settings Sharing API Keys Data Import/Export

Write API Key

Key: STC1YXU6J3LLTQU4

Generate New Write API Key

Read API Keys

Key: BBX0BVXC2UWVXT8H

Note

Save Note Delete API Key

Help

API keys enable you to write data to a channel or read data from a private channel. API keys are auto-generated when you create a new channel.

API keys Settings

- **Write API Key:** Use this key to write data to a channel. If you feel your key has been compromised, click **Generate New Write API Key**.
- **Read API Keys:** Use this key to allow other people to view your private channel feeds and charts. Click **Generate New Read API Key** to generate an additional read key for the channel.
- **Note:** Use this field to enter information about channel read keys. For example, add notes to alert each of users with access to your channel.

API Requests

Write a Channel Feed

GET: `https://api.thingspeak.com/update?api_key=STC1YXU6J3LLTQU4&field=`

Read a Channel Feed

รูปที่ 3.33 หน้าต่าง API Key

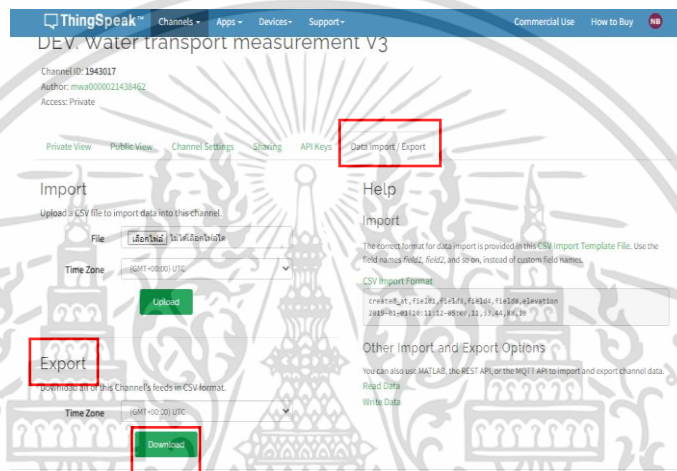
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <WiFi.h>
#include <ThingSpeak.h>

unsigned long CHANNEL_ID = 1943017;
const char* CHANNEL_API_KEY = "STC1YXU6J3LLTQU4";
```

รูปที่ 3.34 Channel ID และ API key ที่นำมาใช้งานบนโค้ด

5. ไปที่ Data Import/Export และไปที่ Export ทำการดาวน์โหลดไฟล์ข้อมูลออกมาใช้งาน



รูปที่ 3.35 หน้าต่าง Data Import / Export

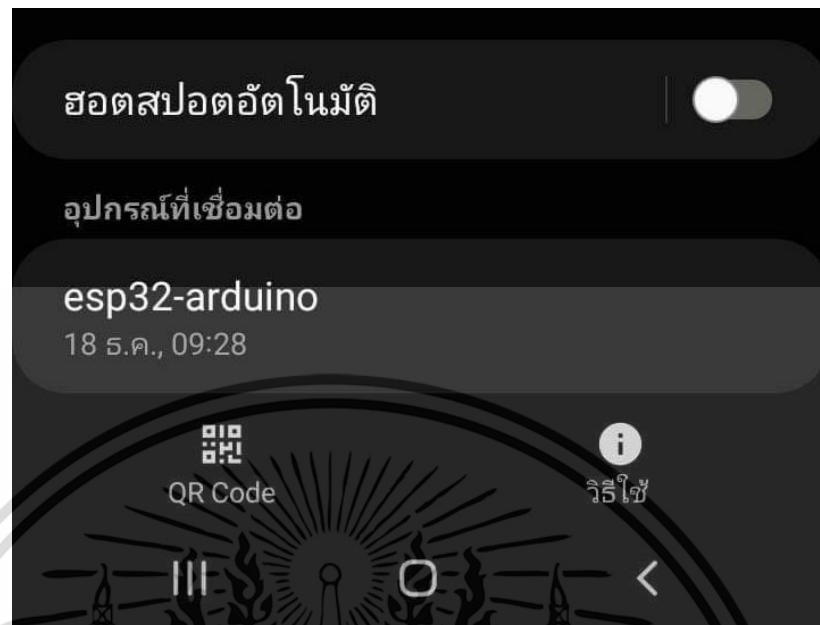
3.2.8 ประกอบอุปกรณ์

ประกอบอุปกรณ์ ได้แก่ เทอร์มิสเตอร์, DHT22, DS18B20, ESP32 devkit V1, สวิตช์เปิด-ปิด, แหล่งจ่ายไฟ 9 โวลท์ และเชื่อมต่อวงจรกับบอร์ด ESP32 ให้สมบูรณ์

3.2.9 ทดลองระบบการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยการใช้ IoT

ทดลองวัดอุณหภูมิของต้นไม้ โดยใช้ฮาร์ดแวร์ที่ทำการประกอบขึ้นมา ซึ่งเชื่อมต่อ Wi-Fi ผ่านโทรศัพท์มือถือ กรณีที่ Wi-Fi ไม่เชื่อมต่อ ฮาร์ดแวร์จะไม่สามารถวัดอุณหภูมิได้จนกว่าจะเชื่อมต่อสัญญาณ Wi-Fi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.36 แสดงการเชื่อมต่อสัญญาณ Wi-Fi ได้สำเร็จ

ทดลองส่งค่าอุณหภูมิที่วัดได้ขึ้น ThingSpeak เมื่อฮาร์ดแวร์เชื่อมต่อ Wi-Fi แล้วสามารถเข้าไปตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อผ่าน Serial Monitor บนโปรแกรม Arduino IDE หรือที่หน้าแพลตฟอร์ม ThingSpeak ที่เราสร้างขึ้นมา จะถ้าข้อมูลส่งเข้ามา จะมีกราฟขึ้นบน Field ที่เราสร้างไว้ และสามารถตรวจสอบการอัปเดตข้อมูลได้ที่ Chanel Status



รูปที่ 3.37 ทดลองส่งค่าอุณหภูมิที่ขึ้น ThingSpeak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Channel Stats

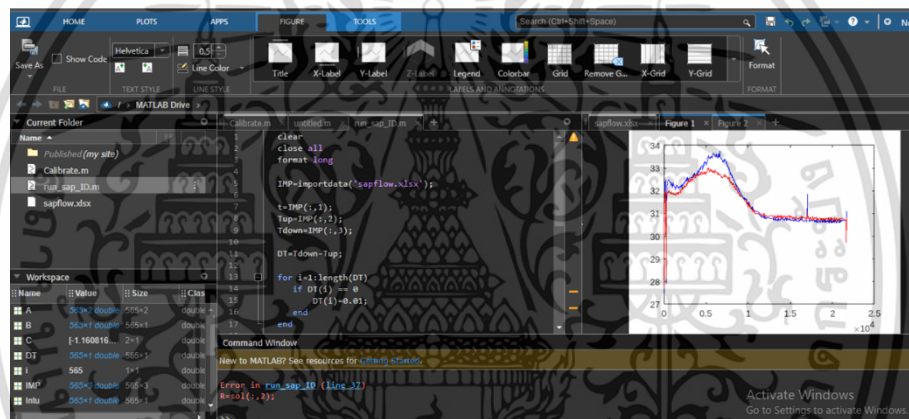
Created: [29 days ago](#)

Last entry: [less than a minute ago](#)

Entries: 688

รูปที่ 3.38 แสดงสถานะการส่งข้อมูลขึ้น ThingSpeak

ทดลองนำค่าอุณหภูมิที่วัดได้มาวิเคราะห์ด้วย RC Model บน MATLAB



รูปที่ 3.39 นำค่าอุณหภูมิที่วัดได้มาวิเคราะห์ด้วย RC Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การนำเสนอผลของข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 กล่าวนำ

การทดลองการพัฒนาระบบการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยใช้ IoT โดยการทดสอบด้วยการวัดอุณหภูมิ ซึ่งจะทดสอบว่าการพัฒนาระบบการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยใช้ IoT สามารถวัดอุณหภูมิ และส่งผลที่วัดได้ไปเก็บไปบน ThingSpeak เพื่อนำไปวิเคราะห์พฤติกรรมของการลำเลียงน้ำของต้นไม้ได้หรือไม่

4.2 ผลการทดลอง

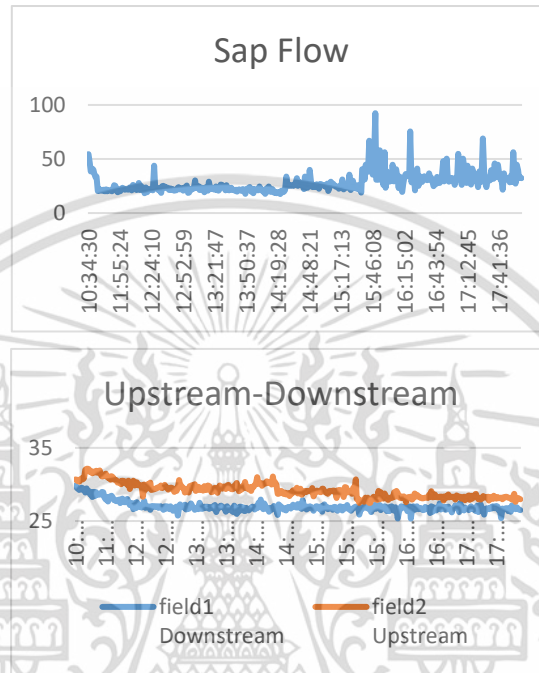
4.2.1 การเก็บข้อมูล

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกค่า Sap flow ในแต่ละช่วงเวลา

เวลา	ความชื้น	อุณหภูมิโดยรอบ	Sap Flow
12:00	55.3%	27.7 °C	21.798
12:30	56.5%	27.3 °C	20.939
13:00	56.5%	27.1 °C	21.692
13:30	56.1%	26.9 °C	23.946
14:00	56%	27.3 °C	21.357
14:30	55.4%	27.4 °C	25.115
15:00	55.7%	27.4 °C	25.751
15:30	55.6%	27.2 °C	23.231
16:00	55.9%	27.3 °C	36.050
16:30	54.6%	27 °C	31.994
17:00	55.1%	26.8 °C	29.818
17:30	55.2%	26.6 °C	31.152
18:00	56.9%	26.3 °C	33.110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

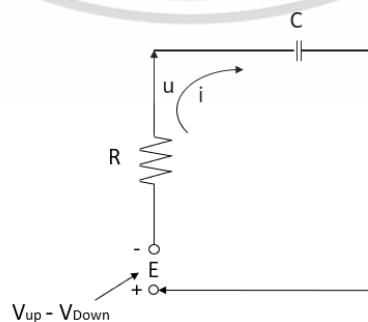
จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าความชื้นและอุณหภูมิโดยรอบต้นไม้ เป็นหนึ่งในหลายๆ ปัจจัยที่สามารถส่งผลกระทบต่ออัตราการลำเลียงน้ำในต้นไม้ ถ้าความชื้นสูงจะส่งผลให้ปากใบพืชปิดและไม่มีการคายน้ำ ทำให้อัตราการลำเลียงน้ำลดลง



รูปที่ 4.1 แสดงพฤติกรรมการลำเลียงน้ำของต้นไม้

4.2.2 วิเคราะห์ RC Model

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการนำวงจร RC มาเป็น โมเดลในการวิเคราะห์ผล โดยเรามองว่า อุณหภูมิสองจุดที่ทำการวัดระหว่าง Downstream และ Upstream คือ แรงดันไฟฟ้า $V(t)$ และ Sap Flow (u) คือ กระแส $I(t)$



รูปที่ 4.2 วงจร RC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

run_sap_ID.m
21 sap_dens=abs(119*K.*1.231);
22 sap_flow=0.0877342*sap_dens;
23
24 figure;plot(t,Tup,'b',t,Tdown,'r')
25 figure;plot(t,sap_flow)
26
27 %Identification
28 Intu=cumtrapz(t,sap_flow);
29 uw=sap_flow;
30
31 A=[Intu u];
32 B=Tup-Tdown;
33
34 sol=A\B;
35
36 C=sol(1);
37 R=sol(2);
38 disp(['R = ' num2str(R)])
39 disp(['C = ' num2str(C)])
    
```

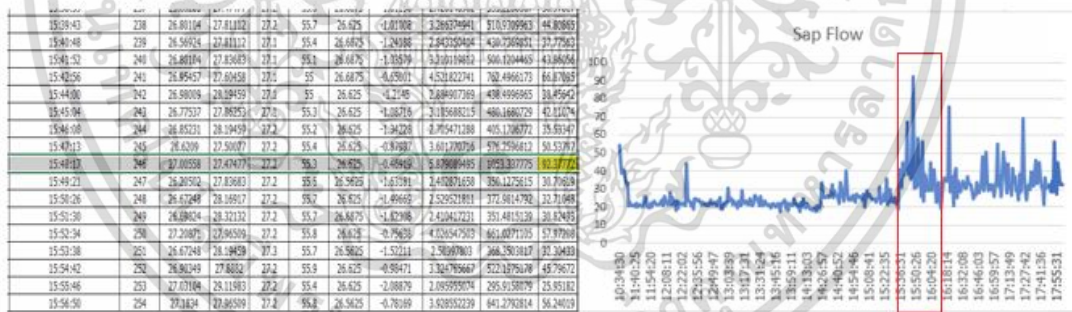
Command Window

```

>> run_sap_ID
R = 0.042555
C = -3.6895e-05
f1 >> |
    
```

รูปที่ 4.3 หาค่า R และ C โดยใช้ Linear least square

เมื่อทำการรันโดยโปรแกรม MATLAB จะเห็นได้ว่า ค่า C มีค่าติดลบ ซึ่งสามารถตีความได้ว่า ต้นไม้ไม่มีพฤติกรรมเหมือนตัวเก็บประจุที่กำลังคายประจุออก หมายความว่าต้นไม้มีการคายน้ำออกในเวลาระหว่างวัน ซึ่งสามารถอ้างอิงกับทฤษฎีการคายน้ำของพืชที่ว่า ปากใบจะเปิดออกในช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิสูงและอากาศมีความชื้นน้อย โดยการคายน้ำของพืชจะส่งผลทำให้พืชลำเลียงน้ำจากรากขึ้นสู่ใบมากขึ้นทำให้มีอัตราการลำเลียงสูงขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองนี้พบว่าพืชคายน้ำออกมากที่สุดในช่วง 15:48 นาฬิกา



รูปที่ 4.4 Sap flow ณ ช่วงเวลา 15:48 นาฬิกา

โดยทั้งนี้ผลที่ได้ อาจมีความแตกต่างและความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎี เนื่องจากปัจจัยภายนอกที่ควบคุมไม่ได้ เช่น สภาพอากาศ เนื่องจากการวัดอุณหภูมิต้นไม้ในช่วงที่เป็นฤดูหนาว ซึ่งมีอากาศเย็นจึงส่งผลให้ต้นไม้คายน้ำน้อยลง อัตราการลำเลียงน้ำจึงลดลง และแสงแดด ซึ่งมีผลกับอัตราการคายน้ำของพืชอย่างมาก ยิ่งแสงสว่างมากจะทำให้ปากใบเปิดกว้างขึ้น ซึ่งในช่วงฤดูหนาวเป็นช่วงที่พระอาทิตย์ขึ้นช้าและตกเร็ว จึงส่งผลต่อพฤติกรรมกรลำเลียงน้ำพืชอย่างมาก และทั้งนี้เป็นการเก็บค่าทดลองระหว่างวันตั้งแต่ 10 นาฬิกา จนถึง 18 นาฬิกา ซึ่งอาจมีบางช่วงที่อินเทอร์เน็ตไม่

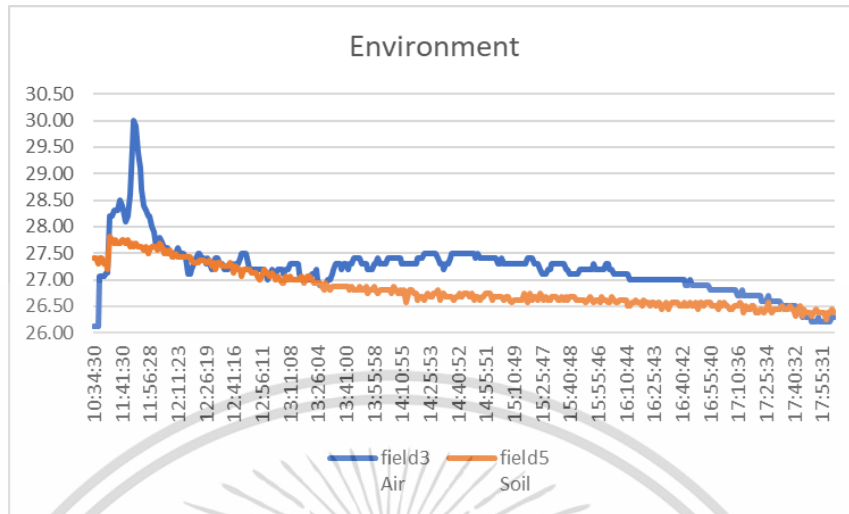
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสถียรและอาจทำให้ข้อมูลบางส่วนสูญหาย อีกทั้งไม่ได้มีการเก็บค่าอุณหภูมิในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากปัญหาความไม่เสถียรของอินเทอร์เน็ท

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกค่า R C ของต้นไม้ในแต่ละช่วงเวลา

Time	R	C
12:00 – 12:30	-0.081389	-1.4017e-03
12:30 – 13:00	-0.99863	-1.2028e-03
13:00 – 13:30	-0.87817	-1.2527e-03
13:30 – 14:00	-1.1433	-0.63611e-03
14:00 – 14:30	-0.90255	-0.33094e-03
14:30 – 15:00	-0.080979	-1.0337e-03
15:00 – 15:30	-0.091906	-1.7411e-03
15:30 – 16:00	-0.0021047	-0.095477e-03
16:00 – 16:30	-0.0025344	-0.20599e-03
16:30 – 17:00	-0.045283	-0.24305e-03
17:00 – 17:30	0.00043826	-0.17336e-03
17:30 – 18:00	-0.027968	-0.16855e-03
12:00 – 12:30	-0.081389	-1.4017e-03
12:30 – 13:00	-0.99863	-1.2028e-03
13:00 – 13:30	-0.87817	-1.2527e-03

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไป ค่า C จะค่อยๆ น้อยลง ซึ่งหมายความว่ายิ่งเวลาใกล้มีดต้นไม้มักจะคายน้ำน้อยลง



รูปที่ 4.4 อุณหภูมิสภาพแวดล้อม, ต้นไม้, ใต้ดิน และอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอเชิงทฤษฎีจากการวิจัย

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

การพัฒนากระบวนการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยการใช้ IoT ประกอบไปด้วย เทอร์มิสเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิต้นไม้ DS18B20 สำหรับวัดอุณหภูมิในดิน DHT22 สำหรับวัดความชื้นและสภาพอากาศโดยรอบต้นไม้ และคอนโทรลเลอร์ สิ่งสำคัญในคอนโทรลเลอร์คือ ESP32 ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อ Wi-Fi เพื่อส่งค่าอุณหภูมิของต้นไม้ที่วัดได้ไปเก็บไว้บน ThingSpeak เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์พฤติกรรมการลำเลียงน้ำของต้นไม้ โดยเมื่อ ESP32 ไม่ได้เชื่อมต่อกับสัญญาณ Wi-Fi จะไม่สามารถวัดค่าอุณหภูมิได้

การทดลองการพัฒนากระบวนการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยการใช้ IoT ประกอบไปด้วย ทดลองการส่งค่าอุณหภูมิที่วัดได้ไปเก็บไว้บน ThingSpeak ซึ่งสามารถส่งค่า ได้แก่ ค่าอุณหภูมิต้นไม้ ค่าอุณหภูมิในดิน และค่าความชื้นและอากาศรอบๆ ต้นไม้ ขึ้น ThingSpeak ได้

จากการทดลองเก็บค่าอุณหภูมิและวิเคราะห์ผลพบว่าพฤติกรรมการลำเลียงน้ำของต้นไม้ ที่ตรวจวัดได้ มีความเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม สภาพอากาศ และความชื้น โดยสามารถดูได้จากกราฟ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าต้นไม้มีการลำเลียงน้ำมากขึ้นเมื่อได้รับแสงแดด สำหรับความชื้น ถ้าความชื้นต่ำ อัตราการลำเลียงน้ำจะเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าความชื้นสูงอัตราการลำเลียงน้ำจะต่ำลง

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข

5.2.1 ปัญหาที่พบ

1. เทอร์มิสเตอร์ให้ผลการวัดแบบไม่เป็นเชิงเส้น
2. วิธีการเจาะต้นไม้เพื่อวัดอุณหภูมิอาจจะทำให้มีช่องว่างระหว่างเซนเซอร์กับเนื้อไม้
3. สภาพอากาศในแต่ละฤดูมีผลต่อการวัดอุณหภูมิ

5.2.2 แนวทางการแก้ไข

1. สอบเทียบเทอร์มิสเตอร์ จากนั้นแก้ไขให้เป็นเชิงเส้น โดยใช้ Steinhart Equation และ Linear Equation มาเปรียบเทียบ และเลือกใช้สมการที่ให้ผลเป็นเชิงเส้นมากที่สุด
 2. ใช้ดอกสว่านที่ขนาดพอดีกับเส้นผ่านศูนย์กลางของเซนเซอร์ที่จะนำไปวัดอุณหภูมิ
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วัดอุณหภูมิตันไม้ที่ทั้งอยู่ในร่ม และโดนแดด

5.3 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการพัฒนาโครงการการพัฒนากระบวนการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยใช้ IoT ในอนาคตไปพัฒนาให้มีการทำงานได้มากขึ้น เช่น แก้ไขการเชื่อมต่อ Wi-Fi ให้มีความเสถียรมากขึ้น ทดลองวัดต้นไม้ที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบว่าปัจจัยอะไรมีผลต่อพฤติกรรมการลำเลียงน้ำของต้นไม้บ้าง และเพิ่มความถูกต้อง ความแม่นยำในการวัดให้มากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Konkao Kittypew Kittima. 2556. การลำเลียงน้ำของพืช. [https, \[Online\].](https://sites.google.com/site/chiwwithyakhngphuchphuchdxk/home/reuxng-thi-7-kar-laleiyng-na-khxng-phuch) เข้าถึงได้จาก : <https://sites.google.com/site/chiwwithyakhngphuchphuchdxk/home/reuxng-thi-7-kar-laleiyng-na-khxng-phuch>. (มีนาคม 2565)

2561. การลำเลียงน้ำของพืชจากรากไปสู่ยอดที่อยู่สูงกว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://ngthai.com/science/7321/plant-absorb-water>. (มีนาคม 2565)

บทที่ 1 แนะนำ ESP32. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.artronshop.co.th/article/51/>. (มีนาคม 2565)

เทอร์มิสเตอร์. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://sites.google.com/site/circuitthermistor/>. (ธันวาคม 2565)

Katherine A. McCulloh, Klaus Winter, Frederick C. Meinzer, Milton Garcia, Jorge Aranda, Barbara Lachenbruch, A Comparison of daily water use estimates derived from constant-heat sap-flow probe values and gravimetric measurements in pot-grown sapling, *Tree Physiology*, Volume 27, Issue 9, September 2007, Page 1355-1360, เข้าถึงได้จาก : <https://doi.org/10.1093/treephys/297.1355> (ธันวาคม 2565)

2563. DHT22 คืออะไร. [Online]. เข้าถึงได้จาก : [https://th.jf-parede.pt/dht22-pin-diagram-circuit#:~:text="](https://th.jf-parede.pt/dht22-pin-diagram-circuit#:~:text=) (มีนาคม 2565)

Genier, A. 1985 Une nouvelle method pour la mesure du flux de save brute dans le tronc des arbres. *Ann. Sci. For.* 42:193-200 (ธันวาคม 2565)

IoT คืออะไร. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://tips.thaiware.com/1809.html#what-is-iot-and-how-does-it-work>. (มีนาคม 2565)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thingspeak. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://automation360blog.wordpress.com>
(มีนาคม 2565)



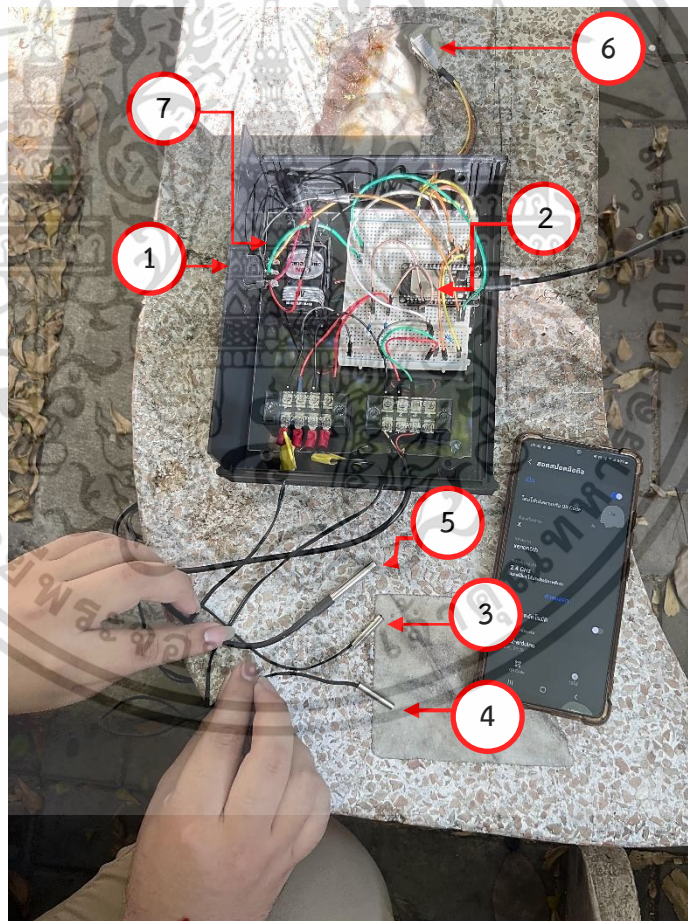
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการใช้งานการพัฒนาระบบการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้ โดยการใช้ IoT

ก.1 อธิบายฟังก์ชัน

ส่วนประกอบของการพัฒนาระบบการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยการใช้ IoT



รูปที่ ก.1 แสดงส่วนประกอบของการพัฒนาระบบการวัดการลำเลียงน้ำสำหรับต้นไม้โดยการใช้ IoT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 1 สวิตช์เปิด - ปิด

หมายเลข 2 ESP32

หมายเลข 3 เทอร์มิสเตอร์ 10K #3

หมายเลข 4 เทอร์มิสเตอร์ 10K #4

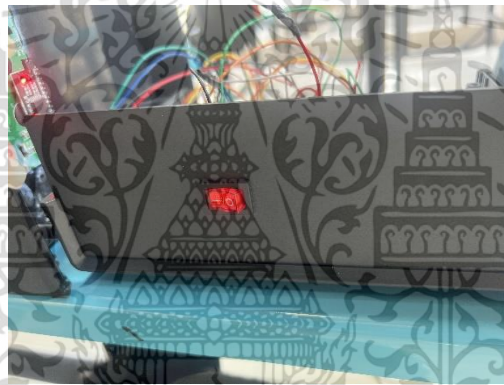
หมายเลข 5 DS18B20

หมายเลข 6 DHT22

หมายเลข 7 แบตเตอรี่ 9 โวลท์

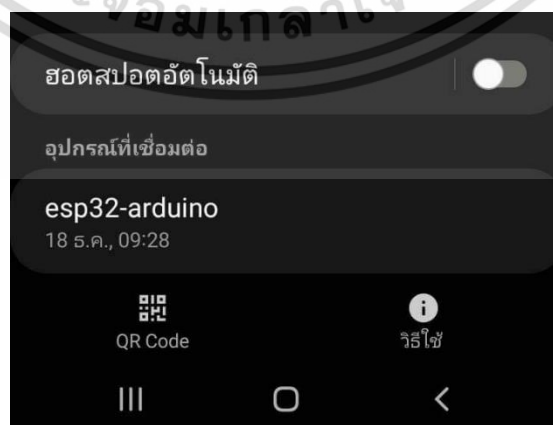
ก.2 วิธีการใช้งาน

1. เปิดสวิตช์



รูปที่ ก.2 เปิดสวิตช์

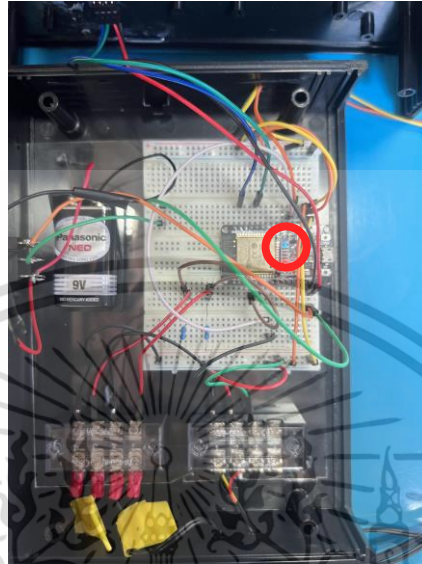
2. เชื่อมต่อสัญญาณ Wi-Fi



รูปที่ ก.3 เชื่อมต่อสัญญาณ Wi-Fi

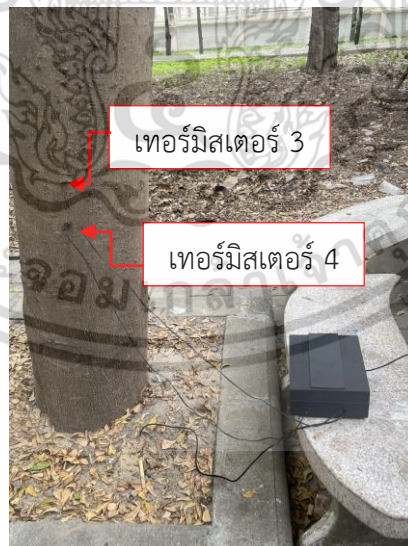
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ถ้าตัวเครื่องเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนสำเร็จ ESP32 จะโชว์ไฟกระพริบสีน้ำเงิน



รูปที่ ก.4 ESP32 เชื่อมต่อ Wi-Fi สำเร็จ

4. ใช้เทอร์มิสเตอร์ 10K #3 และเทอร์มิสเตอร์ 10K #4 สำหรับวัดอุณหภูมิต้นไม้



รูปที่ ก.5 ใช้เทอร์มิสเตอร์วัดอุณหภูมิต้นไม้

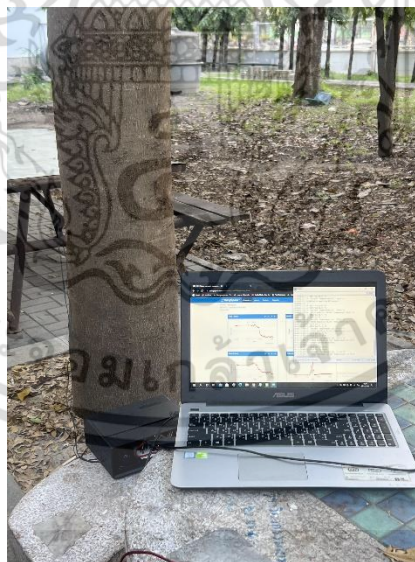
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ใช้ DS182B วัดอุณหภูมิในดิน



รูปที่ ก.6 วัดอุณหภูมิในดิน

6. ตรวจสอบค่าอุณหภูมิที่วัดได้บน ThingSpeak



รูปที่ ก.7 ดูค่าอุณหภูมิที่วัดได้บน ThingSpeak

ก.3 ข้อควรระวัง

1. เชื่อมต่อ Wi-Fi ได้เฉพาะ Wi-Fi ที่เขียนโปรแกรมไว้เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

คำสั่งการทำงาน

```
#include <WiFi.h>
#include <ThingSpeak.h>

unsigned long CHANNEL_ID = 1943017;
const char* CHANNEL_API_KEY = "STC1YXU6J3LLTQU4";

long prevMillisThingSpeak = 0;
int intervalThingSpeak = 20000; // Minimum ThingSpeak write interval is 15 seconds

const char* ssid = "X";
const char* password = "xenon6th";
WiFiClient client;

#define THERMISTOR1_PIN 34 // pin to which the first thermistor is connected
#define THERMISTOR2_PIN 35 // pin to which the second thermistor is connected
#define REFERENCE_RESISTOR 10000 // resistance of the fixed resistor in the voltage divider

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// GPIO where the DS18B20 is connected to
const int oneWireBus = 4;

// Setup a oneWire instance to communicate with any OneWire devices
OneWire oneWire(oneWireBus);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// Pass our oneWire reference to Dallas Temperature sensor
DallasTemperature sensors(&oneWire);

#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302), AM2321
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

void setup() {
  Serial.begin(115200); // start serial communication for debugging
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  ThingSpeak.begin(client);
  sensors.begin(); // Start the DS18B20 sensor
  dht.begin(); // Start DHT22
}

void loop() {
  // Check if WiFi is connected
  if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.println("WiFi disconnected, attempting to reconnect...");
    // Try to reconnect to WiFi until connection is successful
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
      WiFi.begin(ssid, password);
      delay(500);
    }
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}
// NTC10K
// measure temperature of first thermistor
int adcValue1 = analogRead(THERMISTOR1_PIN); // read the voltage from the
thermistor
float voltage1 = (adcValue1 / 4095.0) * 3.3; // convert the ADC value to voltage

// calculate the resistance of the thermistor
float resistance1 = REFERENCE_RESISTOR / (3.3 / voltage1 - 1.0);

// use the Linear equation to calculate the temperature
float temperature1 = (resistance1 - 15744) / -299.12 ;
float Tc1,Tc2;

Tc1 = temperature1 ;

// measure temperature of second thermistor
int adcValue2 = analogRead(THERMISTOR2_PIN); // read the voltage from the
thermistor
float voltage2 = (adcValue2 / 4095.0) * 3.3; // convert the ADC value to voltage

// calculate the resistance of the thermistor
float resistance2 = REFERENCE_RESISTOR / (3.3 / voltage2 - 1.0);

// use the Steinhart-Hart equation to calculate the temperature
float temperature2 = (resistance2 - 15714) / -292.92 ;

Tc2 = temperature2 ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print(".....\n");
Serial.print("NTC 3 : "); // print the temperature of the first thermistor
Serial.println(Tc1);
Serial.print("NTC 4 : "); // print the temperature of the second thermistor
Serial.println(Tc2);
Serial.print("RT 1 : "); // print the Resistance of the first thermistor
Serial.println(resistance1);
Serial.print("RT 2 : "); // print the Resistance of the second thermistor
Serial.println(resistance2);

// DS18B20
sensors.requestTemperatures();
float temperatureC = sensors.getTempCByIndex(0);

Serial.print(" DS18B20 ");
Serial.print(" Temperature is: ");
Serial.print(temperatureC);
Serial.println(" °C");

//DHT22
float h = dht.readHumidity();
float t = dht.readTemperature();
float f = dht.readTemperature(true);

if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) {
  Serial.println(F("Failed to read from DHT sensor!"));
  return;
}

float hif = dht.computeHeatIndex(f, h);
float hic = dht.computeHeatIndex(t, h, false);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print(" DHT22 ");
Serial.print(F("Humidity: "));
Serial.print(h);
Serial.print(F("% Temperature: "));
Serial.print(t);
Serial.print(F(" °C\n"));

delay(5000);

if (millis() - prevMillisThingSpeak > intervalThingSpeak) {
  // Check if WiFi is connected before writing to ThingSpeak
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    ThingSpeak.setField(1, Tc1);
    ThingSpeak.setField(2, Tc2);
    ThingSpeak.setField(3, t);
    ThingSpeak.setField(4, h);
    ThingSpeak.setField(5, temperatureC);
    int x = ThingSpeak.writeFields(CHANNEL_ID, CHANNEL_API_KEY);
    if (x == 200) {
      Serial.println("\nChannel update successful.");
    } else {
      Serial.println("\nProblem updating channel. HTTP error code " + String(x));
    }
    prevMillisThingSpeak = millis();
  } else {
    Serial.println("WiFi not connected");
  }
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางแสดงผลการวัดค่าอุณหภูมิบน ThingSpeak

ตารางที่ ค.1 ตารางแสดงผลการวัดอุณหภูมิบน ThingSpeak

Create at	Down Stream (°C)	Up Stream (°C)	Air (°C)	ความชื้น (%)	Soil (°C)	ΔT	K	u	U * A
10:34:30	29.86541	30.67439	26.12	55.80	27.40	-0.80898	3.8298	621.4859	54.5043
10:35:34	29.52537	30.50349	26.12	55.80	27.40	-0.97812	3.3404	525.2275	46.0625
10:36:38	29.42409	30.63464	26.12	55.60	27.30	-1.21055	2.8911	439.6508	38.5574
10:37:42	29.25704	30.37788	27.06	55.60	27.40	-1.12084	3.0424	468.1541	41.0571
10:38:46	29.49524	30.63886	27.06	55.70	27.40	-1.14362	3.0017	460.4597	40.3823
10:39:51	29.56707	30.87154	27.06	55.70	27.30	-1.30447	2.7549	414.3030	36.3344
10:40:55	29.23124	30.69249	27.12	55.50	27.30	-1.46125	2.5666	379.7262	33.3020
10:41:58	29.40376	30.84300	27.12	55.50	27.20	-1.43924	2.5906	384.0942	33.6851
11:35:05	28.8805	31.99924	28.2	53.9	27.8125	-3.11874	1.7340	234.3273	20.5505
11:36:09	29.47151	32.11032	28.2	53.3	27.75	-2.63881	1.8675	256.7287	22.5151
11:37:13	29.07096	32.15463	28.3	53.2	27.6875	-3.08367	1.7424	235.7167	20.6724
11:38:17	29.11838	32.08814	28.3	53.5	27.75	-2.96976	1.7708	240.4677	21.0890
11:39:21	28.61654	31.70834	28.3	53.9	27.6875	-3.0918	1.7404	235.3917	20.6438
11:40:25	28.99969	31.82059	28.5	57.8	27.6875	-2.8209	1.8115	247.2854	21.6869
11:41:30	28.30142	31.52781	28.4	53.7	27.75	-3.22639	1.7095	230.2598	20.1938
11:42:34	28.97589	31.75329	28.3	54.2	27.75	-2.7774	1.8242	249.4229	21.8744
11:43:38	28.42302	31.64078	28.1	54.5	27.6875	-3.21776	1.7114	230.5754	20.2215
11:44:42	28.92824	31.86536	28.2	54.6	27.75	-2.93712	1.7794	241.9005	21.2147
11:45:46	28.61654	31.59564	28.6	54.3	27.625	-2.9791	1.7684	240.0638	21.0536
11:46:51	28.56828	31.59564	29.5	53.5	27.6875	-3.02736	1.7562	238.0184	20.8742
11:47:55	28.64063	31.91006	30	52.5	27.625	-3.26943	1.7002	228.7121	20.0581

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ท่านไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1(ต่อ) ตารางแสดงผลการวัดอุณหภูมิบน ThingSpeak

Create at	Down Stream (°C)	Up Stream (°C)	Air (°C)	ความชื้น (%)	Soil (°C)	ΔT	K	u	U * A
11:48:58	28.64063	31.27768	29.9	52.4	27.6875	-2.63705	1.8681	256.8267	22.5237
11:50:03	28.97589	31.09436	29.4	52.3	27.625	-2.11847	2.0806	293.2495	25.7180
11:51:07	28.92824	31.11734	29.1	53	27.625	-2.1891	2.0457	287.2121	25.1885
11:52:11	28.20376	31.34612	28.7	53.6	27.625	-3.14236	1.7285	233.4098	20.4700
11:53:15	27.90879	31.45981	28.4	54.1	27.5625	-3.55102	1.6447	219.5525	19.2548
11:54:20	28.30142	31.07136	28.3	54.6	27.625	-2.76994	1.8265	249.7966	21.9072
11:55:24	27.68559	30.8867	28.2	54.5	27.5	-3.20111	1.7151	231.1892	20.2753
11:56:28	28.32578	31.07136	28.2	54.8	27.5625	-2.74558	1.8338	251.0317	22.0155
11:57:32	28.20376	30.65418	28	54.6	27.625	-2.45042	1.9342	268.0615	23.5090
11:58:35	28.47153	31.1403	27.9	54.7	27.625	-2.66877	1.8578	255.0816	22.3707
11:59:40	28.17929	31.00226	27.6	55.1	27.625	-2.82297	1.8109	247.1854	21.6782
12:00:44	27.85934	30.65418	27.7	55.3	27.5625	-2.79484	1.8191	248.5575	21.7985
12:01:48	27.85934	30.65418	27.8	55.9	27.6875	-2.79484	1.8191	248.5575	21.7985
12:02:52	27.71048	30.53721	27.7	55.4	27.625	-2.82673	1.8098	247.0041	21.6623
12:03:56	27.76018	30.23082	27.6	55.8	27.5	-2.47064	1.9266	266.7577	23.3946
12:05:00	27.90879	30.27817	27.6	56.4	27.5625	-2.36938	1.9662	273.5231	23.9880
12:06:04	27.46066	30.41975	27.6	56.3	27.5	-2.95909	1.7736	240.9324	21.1298
12:07:07	27.95816	30.01677	27.5	55.6	27.5625	-2.05861	2.1120	298.7107	26.1969
12:08:11	28.05665	30.49028	27.5	55.9	27.4375	-2.43363	1.9407	269.1615	23.6055
12:09:15	27.58584	30.30181	27.5	55.8	27.4375	-2.71597	1.8429	252.5643	22.1499
12:10:19	27.56084	30.44328	27.5	56	27.5	-2.88244	1.7942	244.3771	21.4319
12:11:23	27.58584	30.20711	27.6	56.2	27.4375	-2.62127	1.8733	257.7114	22.6013
12:12:27	28.03206	29.92113	27.5	56	27.4375	-1.88907	2.2118	316.1803	27.7290
12:13:31	27.61081	30.51375	27.5	56	27.4375	-2.90294	1.7886	243.4371	21.3494
12:14:35	27.1834	29.38938	27.5	55.9	27.4375	-2.20598	2.0377	285.8298	25.0673

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1(ต่อ) ตารางแสดงผลการวัดอุณหภูมิบน ThingSpeak

Create at	Down Stream (°C)	Up Stream (°C)	Air (°C)	ความชื้น (%)	Soil (°C)	ΔT	K	u	U * A
12:15:39	27.15806	29.89717	27.4	55.7	27.4375	-2.73911	1.8358	251.3636	22.0446
12:16:43	27.46066	29.94507	27.1	56.1	27.4375	-2.48441	1.9214	265.8826	23.3179
12:17:47	26.6209	30.49028	27.1	56.4	27.4375	-3.86938	1.5916	210.8690	18.4932
12:18:50	27.41045	29.84919	27.2	56.6	27.375	-2.43874	1.9387	268.8250	23.5760
12:19:54	26.74969	30.30181	27.3	56.7	27.3125	-3.55212	1.6445	219.5197	19.2519
12:20:58	27.58584	30.27817	27.4	56.7	27.3125	-2.69233	1.8503	253.8135	22.2594
12:22:02	27.20871	29.89717	27.5	56.8	27.3125	-2.68846	1.8515	254.0202	22.2776
12:23:06	26.95457	29.87318	27.5	56.8	27.375	-2.91861	1.7844	242.7279	21.2872
12:24:10	27.15806	29.89717	27.4	56	27.375	-2.73911	1.8358	251.3636	22.0446
12:25:15	26.85231	29.84919	27.4	56.5	27.375	-2.99688	1.7639	239.3022	20.9868
12:26:19	27.28452	28.32132	27.3	56.6	27.3125	-1.0368	3.2080	499.7076	43.8244
12:27:24	27.76018	29.96899	27.4	56.6	27.3125	-2.20881	2.0364	285.6002	25.0471
12:28:28	26.80104	29.26716	27.3	56.2	27.375	-2.46612	1.9283	267.0472	23.4200
12:29:32	27.03104	29.63229	27.2	56.3	27.25	-2.60125	1.8800	258.8501	22.7012
12:30:36	27.03104	30.04063	27.3	56.5	27.3125	-3.00959	1.7606	238.7635	20.9396
12:31:40	26.98009	29.58387	27.4	56.7	27.1875	-2.60378	1.8792	258.7052	22.6884
12:32:44	26.51748	30.2545	27.4	56.6	27.3125	-3.73702	1.6126	214.2917	18.7934
12:33:48	27.00558	29.24266	27.3	56	27.3125	-2.23708	2.0233	283.3408	24.8490
12:34:52	27.05649	29.26716	27.3	56.2	27.25	-2.21067	2.0355	285.4497	25.0339
12:35:56	27.00558	29.34055	27.2	56	27.25	-2.33497	1.9804	275.9635	24.2020
12:37:00	26.92904	29.41376	27.2	56.4	27.25	-2.48472	1.9213	265.8630	23.3162
12:38:04	27.03104	29.43812	27.2	56.7	27.25	-2.40708	1.9510	270.9340	23.7609
12:39:08	27.03104	29.55963	27.3	57	27.3125	-2.52859	1.9053	263.1428	23.0776
12:40:12	26.77537	29.65647	27.3	56.4	27.25	-2.8811	1.7946	244.4391	21.4373
12:41:16	27.00558	29.58387	27.2	56.7	27.125	-2.57829	1.8879	260.1790	22.8177

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1(ต่อ) ตารางแสดงผลการวัดอุณหภูมิบน ThingSpeak

Create at	Down Stream (°C)	Up Stream (°C)	Air (°C)	ความชื้น (%)	Soil (°C)	ΔT	K	u	U * A
12:42:20	27.03104	29.87318	27.3	56.8	27.25	-2.84214	1.8055	246.2666	21.5976
12:43:24	26.77537	29.48679	27.3	56.9	27.1875	-2.71142	1.8443	252.8030	22.1708
12:44:28	26.54337	29.60809	27.4	57.4	27.1875	-3.06472	1.7470	236.4814	20.7394
12:45:32	27.03104	29.94507	27.5	56.7	27.0625	-2.91403	1.7856	242.9344	21.3053
12:46:35	26.67248	29.65647	27.5	57.4	27.1875	-2.98399	1.7672	239.8534	21.0351
12:47:39	27.03104	29.58387	27.5	56.8	27.1875	-2.55283	1.8967	261.6821	22.9495
12:48:43	26.90349	29.29165	27.3	56.6	27.1875	-2.38816	1.9586	272.2226	23.8739
12:49:47	26.6209	29.41376	27.2	56.5	27.1875	-2.79286	1.8197	248.6552	21.8071
12:50:51	27.00558	29.53537	27.2	56.7	27.125	-2.52979	1.9049	263.0698	23.0712
12:51:55	26.74969	29.53537	27.2	56.8	27.125	-2.78568	1.8218	249.0106	21.8382
12:52:59	26.38769	29.43812	27.2	56.7	27.125	-3.05043	1.7505	237.0646	20.7906
12:54:03	26.56924	28.99647	27.2	56.6	27.0625	-2.42723	1.9431	269.5850	23.6426
12:55:07	26.87791	29.43812	27.2	56.5	27	-2.56021	1.8942	261.2432	22.9110
12:56:11	26.95457	29.09519	27.2	56.5	27.0625	-2.14062	2.0694	291.3107	25.5479
12:57:15	25.75673	29.51109	27.2	56.1	27.1875	-3.75436	1.6097	213.8290	18.7528
12:58:19	26.85231	30.58405	27.1	55.8	27.125	-3.73174	1.6134	214.4335	18.8058
12:59:23	27.25927	29.94507	27	56.3	27.125	-2.6858	1.8523	254.1626	22.2901
13:00:27	27.00558	29.82517	27.1	56.5	27.0625	-2.81959	1.8119	247.3487	21.6925
13:01:31	26.90349	29.53537	27.2	56.4	27.125	-2.63188	1.8698	257.1153	22.5490
13:02:35	26.85231	29.46246	27.1	56.4	27.0625	-2.61015	1.8770	258.3416	22.6566
13:03:39	27.20871	28.8726	27.1	56.8	27	-1.66389	2.3758	345.2823	30.2813
13:04:43	26.59508	29.07054	27.2	56.4	27.0625	-2.47546	1.9248	266.4502	23.3677
13:05:47	27.08192	29.34055	27.2	56.2	27	-2.25863	2.0135	281.6586	24.7015
13:06:51	26.67248	28.89742	27.2	56.2	26.9375	-2.22494	2.0289	284.3036	24.9334
13:07:55	26.87791	29.77707	27.1	55.8	26.9375	-2.89916	1.7896	243.6094	21.3645

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1(ต่อ) ตารางแสดงผลการวัดอุณหภูมิบน ThingSpeak

Create at	Down Stream (°C)	Up Stream (°C)	Air (°C)	ความชื้น (%)	Soil (°C)	ΔT	K	u	U * A
13:08:59	27.41045	29.82517	27.2	56.4	27.0625	-2.41472	1.9480	270.4197	23.7158
13:10:04	27.05649	29.89717	27.2	56.2	27	-2.84068	1.8059	246.3361	21.6037
13:11:08	26.85231	29.51109	27.3	56.2	27.0625	-2.65878	1.8610	255.6265	22.4184
13:12:12	26.51748	30.04063	27.3	56.2	27	-3.52315	1.6498	220.3909	19.3283
13:13:16	26.69824	29.11983	27.3	56.4	27	-2.42159	1.9453	269.9602	23.6755
13:14:20	26.85231	29.48679	27.3	56.7	27	-2.63448	1.8689	256.9700	22.5363
13:15:24	26.6209	29.68063	27.3	56.4	27	-3.05973	1.7482	236.6844	20.7572
13:16:28	27.48574	29.24266	27.1	55.6	27	-1.75692	2.3030	332.2956	29.1423
13:17:31	27.03104	29.53537	27	55.5	27.0625	-2.50433	1.9141	264.6347	23.2085
13:18:35	26.67248	29.34055	27	55.7	26.9375	-2.66807	1.8580	255.1197	22.3740
13:19:39	26.69824	29.16902	27	55.8	27	-2.47078	1.9265	266.7487	23.3939
13:20:43	26.95457	29.75299	27	55.8	27.0625	-2.79842	1.8180	248.3813	21.7830
13:21:47	26.77537	29.63229	27	56.4	27.0625	-2.85692	1.8013	245.5672	21.5362
13:22:52	26.95457	29.24266	27.1	56.1	27	-2.28809	2.0005	279.4132	24.5045
13:23:56	26.92904	29.87318	27.1	56	26.9375	-2.94414	1.7776	241.5895	21.1874
13:25:00	26.67248	29.75299	27.2	55.9	26.9375	-3.08051	1.7431	235.8435	20.6835
13:26:04	26.85231	29.63229	27	56	26.9375	-2.77998	1.8235	249.2942	21.8631
13:27:08	26.90349	28.94699	26.9	55.9	26.9375	-2.0435	2.1202	300.1429	26.3225
13:28:12	26.95457	29.04588	26.9	56.1	26.875	-2.09131	2.0946	295.6863	25.9317
13:29:16	26.67248	29.04588	26.9	55.9	26.8125	-2.3734	1.9645	273.2429	23.9634
13:30:20	27.1834	29.55963	26.9	56.1	26.9375	-2.37623	1.9634	273.0462	23.9462
13:31:24	26.23119	29.19358	27	56.4	26.875	-2.96239	1.7728	240.7883	21.1171
13:32:28	26.74969	28.84777	27	56.1	26.8125	-2.09808	2.0911	295.0726	25.8779
13:33:32	26.95457	29.51109	27.1	56.3	26.875	-2.55652	1.8954	261.4623	22.9302
13:34:36	26.85231	29.87318	27.2	56.5	26.875	-3.02087	1.7578	238.2895	20.8980

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1(ต่อ) ตารางแสดงผลการวัดอุณหภูมิบน ThingSpeak

Create at	Down Stream (°C)	Up Stream (°C)	Air (°C)	ความชื้น (%)	Soil (°C)	ΔT	K	u	U * A
13:35:40	27.08192	29.68063	27.3	56.3	26.875	-2.59871	1.8809	258.9959	22.7139
13:36:44	26.95457	29.41376	27.3	55.9	26.875	-2.45919	1.9309	267.4932	23.4592
13:37:48	26.85231	29.72889	27.3	55.9	26.875	-2.87658	1.7958	244.6484	21.4557
13:38:52	26.69824	29.55963	27.2	56.1	26.875	-2.86139	1.8000	245.3571	21.5178
13:39:56	26.25733	29.36497	27.3	56.4	26.875	-3.10764	1.7366	234.7635	20.5888
13:41:00	27.03104	29.84919	27.3	56	26.875	-2.81815	1.8123	247.4184	21.6986
13:42:04	26.56924	29.92113	27.2	56.1	26.875	-3.35189	1.6830	225.8630	19.8082
13:43:08	26.69824	29.53537	27.3	56.3	26.8125	-2.83713	1.8069	246.5055	21.6185
13:44:12	26.69824	29.43812	27.3	56.2	26.875	-2.73988	1.8355	251.3240	22.0411
13:45:16	26.36166	29.34055	27.4	56.5	26.8125	-2.97889	1.7685	240.0728	21.0544
13:46:20	26.20502	29.36497	27.4	57.5	26.8125	-3.15995	1.7244	232.7359	20.4109
13:47:25	27.08192	29.80113	27.4	56.5	26.8125	-2.71921	1.8419	252.3949	22.1350
13:48:29	26.87791	29.89717	27.4	56.2	26.875	-3.01926	1.7582	238.3569	20.9039
13:49:33	25.96852	30.18339	27.3	56.4	26.8125	-4.21487	1.5431	202.9880	17.8020
13:50:37	26.85231	29.58387	27.3	56.8	26.8125	-2.73156	1.8381	251.7530	22.0787
13:51:41	26.30954	29.04588	27.3	56	26.875	-2.73634	1.8366	251.5062	22.0571
13:52:45	26.95457	29.38938	27.2	55.5	26.75	-2.43481	1.9402	269.0837	23.5986
13:53:50	26.90349	29.29165	27.2	55.7	26.8125	-2.38816	1.9586	272.2226	23.8739
13:54:54	26.43967	29.77707	27.2	55.7	26.8125	-3.3374	1.6859	226.3530	19.8512
13:55:58	26.85231	29.58387	27.3	56.2	26.875	-2.73156	1.8381	251.7530	22.0787
13:57:02	26.33561	30.32544	27.3	56	26.8125	-3.98983	1.5738	207.9599	18.2381
13:58:06	26.80104	29.48679	27.4	56	26.75	-2.68575	1.8524	254.1653	22.2903
13:59:11	26.59508	29.48679	27.3	55.8	26.8125	-2.89171	1.7916	243.9503	21.3944
14:00:15	26.43967	29.34055	27.3	56	26.8125	-2.90088	1.7891	243.5309	21.3577
14:01:19	26.6209	29.63229	27.3	56.3	26.8125	-3.01139	1.7602	238.6876	20.9329

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1(ต่อ) ตารางแสดงผลการวัดอุณหภูมิบน ThingSpeak

Create at	Down Stream (°C)	Up Stream (°C)	Air (°C)	ความชื้น (%)	Soil (°C)	ΔT	K	u	U * A
14:02:23	26.85231	29.11983	27.3	56.2	26.8125	-2.26752	2.0096	280.9745	24.6415
14:03:27	26.98009	29.68063	27.4	56.2	26.8125	-2.70054	1.8477	253.3771	22.2212
14:04:31	26.87791	29.63229	27.4	56.4	26.8125	-2.75438	1.8311	250.5828	21.9761
14:05:35	26.59508	29.89717	27.4	56.6	26.75	-3.30209	1.6933	227.5658	19.9575
14:06:39	27.03104	30.1121	27.4	56.3	26.875	-3.08106	1.7430	235.8214	20.6815
14:07:43	26.74969	30.97919	27.4	56.2	26.8125	-4.2295	1.5413	202.6838	17.7754
14:08:48	27.5108	30.06448	27.4	55.9	26.75	-2.55368	1.8964	261.6314	22.9451
14:09:51	26.90349	30.20711	27.4	55.3	26.8125	-3.30362	1.6929	227.5127	19.9529
14:10:55	27.90879	30.20711	27.3	55.4	26.75	-2.29832	1.9960	278.6477	24.4374
14:11:59	26.95457	29.80113	27.3	55.3	26.8125	-2.84656	1.8042	246.0567	21.5792
14:13:03	26.6209	30.1121	27.3	55.4	26.5625	-3.4912	1.6557	221.3691	19.4141
14:14:07	27.41045	30.1121	27.3	55.2	26.75	-2.70165	1.8473	253.3183	22.2160
14:15:12	27.05649	30.13588	27.3	55.2	26.8125	-3.07939	1.7434	235.8886	20.6874
14:16:16	26.64671	30.44328	27.3	55.3	26.8125	-3.79657	1.6030	212.7210	18.6556
14:17:20	26.69824	30.27817	27.3	55	26.75	-3.57993	1.6395	218.6973	19.1798
14:18:24	26.25733	30.20711	27.3	55	26.75	-3.94978	1.5796	208.9066	18.3211
14:19:28	26.80104	30.34904	27.4	55.3	26.625	-3.548	1.6452	219.6427	19.2627
14:20:32	26.54337	29.96899	27.4	55.4	26.6875	-3.42562	1.6683	223.4370	19.5954
14:21:37	26.72397	31.07136	27.4	55.8	26.6875	-4.34739	1.5266	200.3104	17.5672
14:22:41	27.05649	30.15965	27.5	55.4	26.625	-3.10316	1.7377	234.9405	20.6043
14:23:45	26.77537	30.30181	27.5	55.3	26.6875	-3.52644	1.6492	220.2912	19.3195
14:24:49	26.49156	29.94507	27.5	55.4	26.75	-3.45351	1.6629	222.5475	19.5174
14:25:53	25.83632	28.72327	27.5	55.5	26.6875	-2.88695	1.7930	244.1691	21.4136
14:26:57	27.25927	28.69831	27.5	56	26.6875	-1.43904	2.5908	384.1346	33.6886
14:28:01	27.10732	28.97174	27.5	55.7	26.75	-1.86442	2.2278	319.0021	27.9765

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1(ต่อ) ตารางแสดงผลการวัดอุณหภูมิบน ThingSpeak

Create at	Down Stream (°C)	Up Stream (°C)	Air (°C)	ความชื้น (%)	Soil (°C)	ΔT	K	u	U * A
14:29:05	26.95457	29.09519	27.5	56	26.75	-2.14062	2.0694	291.3107	25.5479
14:30:09	26.69824	28.89742	27.4	55.4	26.8125	-2.19918	2.0409	286.3839	25.1159
14:31:14	26.59508	28.69831	27.3	55.6	26.625	-2.10323	2.0884	294.6086	25.8372
14:32:18	26.74969	28.8726	27.3	56	26.75	-2.12291	2.0783	292.8574	25.6836
14:33:22	26.43967	28.64832	27.2	56.1	26.75	-2.20865	2.0365	285.6132	25.0483
14:34:27	26.77537	28.79803	27.3	56.4	26.6875	-2.02266	2.1318	302.1555	26.4990
14:35:31	26.90349	28.77313	27.3	56.4	26.6875	-1.86964	2.2244	318.3979	27.9235
14:36:35	26.87791	28.3971	27.4	56.6	26.6875	-1.51919	2.5069	368.8739	32.3502
14:37:40	26.69824	28.89742	27.5	56.6	26.6875	-2.19918	2.0409	286.3839	25.1159
14:38:44	27.00558	28.77313	27.5	56.2	26.625	-1.76755	2.2951	330.9043	29.0203
14:39:48	27.20871	29.21813	27.5	56	26.6875	-2.00942	2.1392	303.4572	26.6132
14:40:52	27.03104	29.02118	27.5	56.2	26.6875	-1.99014	2.1503	305.3856	26.7823
14:41:56	26.87791	29.07054	27.5	55.9	26.75	-2.19263	2.0441	286.9212	25.1630
14:43:00	26.85231	29.55963	27.5	55.4	26.6875	-2.70732	1.8456	253.0188	22.1897
14:44:05	27.30975	28.74821	27.5	55.7	26.75	-1.43846	2.5914	384.2516	33.6989
14:45:09	26.85231	28.8726	27.5	55	26.75	-2.02029	2.1331	302.3872	26.5194
14:46:13	26.98009	29.43812	27.5	55.4	26.75	-2.45803	1.9313	267.5681	23.4657
14:47:17	26.64671	28.59825	27.5	55.4	26.6875	-1.95154	2.1730	309.3681	27.1316
14:48:21	27.83458	28.99647	27.5	55.1	26.75	-1.16189	2.9703	454.5233	39.8617
14:49:25	27.10732	28.8726	27.5	54.8	26.625	-1.76528	2.2968	331.1999	29.0462
14:50:29	26.80104	29.11983	27.4	55	26.6875	-2.31879	1.9872	277.1374	24.3050
14:51:34	26.59508	28.97174	27.5	55.3	26.6875	-2.37666	1.9632	273.0164	23.9435
14:52:38	26.95457	29.11983	27.4	55.4	26.625	-2.16526	2.0572	289.2033	25.3631
14:53:42	26.74969	29.11983	27.4	55.8	26.6875	-2.37014	1.9659	273.4701	23.9833
14:54:46	27.03104	29.04588	27.4	56.1	26.6875	-2.01484	2.1362	302.9222	26.5663

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1(ต่อ) ตารางแสดงผลการวัดอุณหภูมิบน ThingSpeak

Create at	Down Stream (°C)	Up Stream (°C)	Air (°C)	ความชื้น (%)	Soil (°C)	ΔT	K	u	U * A
14:55:51	26.85231	29.04588	27.4	56	26.75	-2.19357	2.0436	286.8438	25.1562
14:56:55	26.85231	29.48679	27.4	56.1	26.75	-2.63448	1.8689	256.9700	22.5363
14:57:59	26.38769	28.3466	27.4	55.7	26.75	-1.95891	2.1686	308.5948	27.0638
14:59:03	26.77537	28.77313	27.4	55.5	26.625	-1.99776	2.1459	304.6187	26.7151
15:00:07	27.00558	29.11983	27.4	55.7	26.6875	-2.11425	2.0828	293.6238	25.7508
15:01:11	27.03104	29.16902	27.4	55.5	26.6875	-2.13798	2.0707	291.5395	25.5680
15:02:16	26.92904	29.04588	27.3	55.3	26.6875	-2.11684	2.0814	293.3939	25.7306
15:03:20	26.6209	28.99647	27.3	55.3	26.6875	-2.37557	1.9637	273.0921	23.9502
15:04:24	27.00558	28.94699	27.4	55.1	26.6875	-1.94141	2.1792	310.4411	27.2257
15:05:28	26.28344	29.41376	27.3	54.7	26.625	-3.13032	1.7313	233.8756	20.5109
15:06:32	27.03104	29.43812	27.3	54.9	26.6875	-2.40708	1.9510	270.9340	23.7609
15:07:37	27.28452	29.04588	27.3	55.1	26.6875	-1.76136	2.2997	331.7123	29.0912
15:08:41	26.80104	28.8726	27.3	55.4	26.625	-2.07156	2.1051	297.5009	26.0908
15:09:45	26.90349	28.84777	27.3	55.6	26.5625	-1.94428	2.1774	310.1359	27.1989
15:10:49	26.6209	28.72327	27.3	55.8	26.625	-2.10237	2.0889	294.6859	25.8440
15:11:53	26.80104	29.09519	27.3	55.8	26.625	-2.29415	1.9979	278.9589	24.4647
15:12:57	26.80104	29.11983	27.3	55.8	26.625	-2.31879	1.9872	277.1374	24.3050
15:14:01	26.77537	29.04588	27.3	56	26.625	-2.27051	2.0082	280.7457	24.6214
15:15:05	26.51748	29.14443	27.3	55.8	26.625	-2.62695	1.8714	257.3917	22.5732
15:16:09	26.92904	29.16902	27.3	55.8	26.75	-2.23998	2.0220	283.1124	24.8290
15:17:13	26.90349	29.07054	27.3	55.7	26.6875	-2.16705	2.0564	289.0522	25.3499
15:18:18	26.54337	28.14374	27.4	55.2	26.5625	-1.60037	2.4304	355.0776	31.1403
15:19:22	26.41369	29.19358	27.4	55.3	26.75	-2.77989	1.8235	249.2986	21.8635
15:20:26	26.64671	29.14443	27.4	55	26.625	-2.49772	1.9165	265.0464	23.2446
15:21:31	27.03104	29.24266	27.3	55.1	26.6875	-2.21162	2.0351	285.3729	25.0272

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1(ต่อ) ตารางแสดงผลการวัดอุณหภูมิบน ThingSpeak

Create at	Down Stream (°C)	Up Stream (°C)	Air (°C)	ความชื้น (%)	Soil (°C)	ΔT	K	u	U * A
15:22:35	26.90349	28.8726	27.3	54.7	26.6875	-1.96911	2.1626	307.5348	26.9708
15:23:39	26.43967	28.89742	27.3	54.6	26.625	-2.45775	1.9314	267.5862	23.4673
15:24:43	26.92904	28.27069	27.2	54.6	26.75	-1.34165	2.7063	405.3183	35.5464
15:25:47	26.69824	29.63229	27.1	54.8	26.6875	-2.93405	1.7802	242.0369	21.2266
15:26:51	26.98009	29.60809	27.1	54.9	26.625	-2.628	1.8711	257.3327	22.5681
15:27:55	27.1834	28.8726	27.1	55	26.6875	-1.6892	2.3552	341.5980	29.9581
15:29:00	26.67248	29.09519	27.2	55.3	26.625	-2.42271	1.9449	269.8856	23.6690
15:30:04	26.59508	29.09519	27.2	55.6	26.625	-2.50011	1.9156	264.8973	23.2315
15:31:08	26.38769	28.94699	27.3	55.4	26.6875	-2.5593	1.8945	261.2972	22.9158
15:32:12	26.59508	28.72327	27.3	55	26.6875	-2.12819	2.0757	292.3934	25.6429
15:33:17	26.74969	29.53537	27.3	55.6	26.6875	-2.78568	1.8218	249.0106	21.8382
15:34:21	26.87791	29.29165	27.3	55.3	26.625	-2.41374	1.9484	270.4855	23.7216
15:35:25	26.95457	30.67752	27.3	55.3	26.625	-3.72295	1.6149	214.6705	18.8266
15:36:31	26.87791	28.01624	27.3	55.6	26.6875	-1.13833	3.0110	462.2170	40.5364
15:37:35	26.87791	28.06731	27.3	55.6	26.625	-1.1894	2.9247	445.9542	39.1102
15:38:39	25.86281	27.47477	27.2	55.6	26.6875	-1.61196	2.4201	353.2288	30.9782
15:39:43	26.80104	27.81112	27.2	55.7	26.625	-1.01008	3.2664	510.9310	44.8086
15:40:48	26.56924	27.81112	27.1	55.4	26.6875	-1.24188	2.8434	430.7370	37.7756
15:41:52	26.80104	27.83683	27.1	55.1	26.6875	-1.03579	3.2101	500.1204	43.8606
15:42:56	26.95457	27.60458	27.1	55	26.6875	-0.65001	4.5218	762.4966	66.8710
15:44:00	26.98009	28.19459	27.1	55	26.625	-1.2145	2.8849	438.4997	38.4564
15:45:04	26.77537	27.86253	27.1	55.3	26.625	-1.08716	3.1057	480.1681	42.1107
15:46:08	26.85231	28.19459	27.2	55.2	26.625	-1.34228	2.7055	405.1707	35.5335
15:47:13	26.6209	27.50077	27.2	55.4	26.625	-0.87987	3.6018	576.2597	50.5380
15:48:17	27.00558	27.47477	27.2	55.3	26.625	-0.46919	5.8791	1053.3378	92.3777

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1(ต่อ) ตารางแสดงผลการวัดอุณหภูมิบน ThingSpeak

Create at	Down Stream (°C)	Up Stream (°C)	Air (°C)	ความชื้น (%)	Soil (°C)	ΔT	K	u	U * A
15:49:21	26.20502	27.83683	27.2	55.6	26.5625	-1.63181	2.4029	350.1276	30.7062
15:50:26	26.67248	28.16917	27.2	55.7	26.625	-1.49669	2.5295	372.9815	32.7105
15:51:30	26.69824	28.32132	27.2	55.7	26.6875	-1.62308	2.4104	351.4815	30.8249
15:52:34	27.20871	27.96509	27.2	55.8	26.625	-0.75638	4.0265	661.0271	57.9721
15:53:38	26.67248	28.19459	27.3	55.7	26.5625	-1.52211	2.5040	368.3504	32.3043
15:54:42	26.90349	27.8882	27.2	55.9	26.625	-0.98471	3.3248	522.1975	45.7967
15:55:46	27.03104	29.11983	27.2	55.4	26.625	-2.08879	2.0960	295.9158	25.9518
15:56:50	27.1834	27.96509	27.2	55.8	26.5625	-0.78169	3.9286	641.2793	56.2402
15:57:54	26.46563	28.94699	27.2	56.6	26.6875	-2.48136	1.9226	266.0756	23.3348
15:58:59	26.95457	28.16917	27.2	55.9	26.625	-1.2146	2.8848	438.4707	38.4539
16:00:03	26.74969	28.06731	27.3	55.9	26.625	-1.31762	2.7374	411.0630	36.0502
16:01:07	27.00558	28.77313	27.3	55.2	26.5625	-1.76755	2.2951	330.9043	29.0203
16:02:11	26.67248	28.3971	27.2	55	26.5625	-1.72462	2.3274	336.6354	29.5229
16:03:16	26.36166	28.06731	27.2	55.2	26.6875	-1.70565	2.3421	339.2659	29.7536
16:04:20	26.87791	27.8882	27.1	54.9	26.625	-1.01029	3.2659	510.8403	44.8007
16:05:24	26.36166	28.09281	27.1	55.3	26.5625	-1.73115	2.3224	335.7441	29.4448
16:06:28	26.85231	28.19459	27.1	55.5	26.5625	-1.34228	2.7055	405.1707	35.5335
16:07:33	27.00558	28.14374	27.1	55.3	26.625	-1.13816	3.0113	462.2737	40.5414
16:08:36	26.74969	28.24534	27.1	55.6	26.625	-1.49565	2.5306	373.1745	32.7274
16:09:41	26.41369	28.94699	27.1	55.7	26.625	-2.5333	1.9037	262.8567	23.0525
16:10:44	26.87791	28.32132	27.1	55.7	26.625	-1.44341	2.5860	383.2557	33.6115
16:11:49	26.67248	29.11983	27.1	55.4	26.5	-2.44735	1.9354	268.2614	23.5265
16:12:53	25.35556	28.79803	27	55.4	26.5	-3.44247	1.6650	222.8978	19.5481
16:13:57	26.25733	28.27069	27	55.7	26.5625	-2.01336	2.1370	303.0680	26.5791
16:15:02	26.69824	28.14374	27	55.6	26.5625	-1.4455	2.5837	382.8374	33.5748

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1(ต่อ) ตารางแสดงผลการวัดอุณหภูมิบน ThingSpeak

Create at	Down Stream (°C)	Up Stream (°C)	Air (°C)	ความชื้น (%)	Soil (°C)	ΔT	K	u	U * A
16:16:06	27.03104	28.3466	27	55.3	26.625	-1.31556	2.7401	411.5660	36.0943
16:17:10	26.85231	28.19459	27	55.2	26.5625	-1.34228	2.7055	405.1707	35.5335
16:18:14	26.92904	28.3466	27	55	26.5625	-1.41756	2.6149	388.5389	34.0749
16:19:18	26.80104	28.14374	27	54.8	26.5	-1.3427	2.7049	405.0723	35.5248
16:20:23	27.00558	27.57866	27	54.6	26.625	-0.57308	4.9946	861.7878	75.5788
16:21:27	26.36166	28.19459	27	54.9	26.5625	-1.83293	2.2489	322.7244	28.3029
16:22:31	26.95457	28.27069	27	54.9	26.5625	-1.31612	2.7394	411.4291	36.0823
16:23:35	26.98009	28.27069	27	55	26.5	-1.2906	2.7738	417.7972	36.6408
16:24:39	25.32862	28.32132	27	55.1	26.5625	-2.9927	1.7649	239.4804	21.0024
16:25:43	26.74969	27.93948	27	55.3	26.5625	-1.18979	2.9241	445.8358	39.0998
16:26:47	27.03104	28.14374	27	55.8	26.5	-1.1127	3.0574	470.9859	41.3055
16:27:51	26.54337	28.74821	27	54.9	26.5625	-2.20484	2.0383	285.9224	25.0754
16:28:56	26.90349	28.32132	27	54.7	26.5625	-1.41783	2.6146	388.4827	34.0699
16:30:00	27.03104	28.57318	27	54.6	26.4375	-1.54214	2.4844	364.8162	31.9944
16:31:04	26.6209	28.42232	27	54.6	26.5	-1.80142	2.2708	326.5878	28.6418
16:32:08	26.69824	28.24534	27	54.4	26.5625	-1.5471	2.4797	363.9561	31.9189
16:33:13	26.80104	28.21997	27	54.4	26.4375	-1.41893	2.6133	388.2537	34.0499
16:34:17	26.6209	28.09281	27	54.6	26.5	-1.47191	2.5553	377.6609	33.1209
16:35:21	26.46563	28.11829	27	54.8	26.5625	-1.65266	2.3852	346.9556	30.4280
16:36:25	26.51748	28.16917	27	54.7	26.5625	-1.65169	2.3860	347.1013	30.4408
16:37:30	26.90349	28.19459	27	54.2	26.5625	-1.2911	2.7731	417.6699	36.6296
16:38:34	26.72397	28.19459	27	54.1	26.5625	-1.47062	2.5566	377.9091	33.1426
16:39:38	26.64671	28.14374	27	54.3	26.5	-1.49703	2.5292	372.9184	32.7049
16:40:42	26.74969	28.57318	27	54.2	26.5	-1.82349	2.2554	323.8669	28.4031
16:41:46	26.10015	28.3466	27	54.3	26.5625	-2.24645	2.0190	282.6052	24.7845

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ตารางแสดงผลการวัดอุณหภูมิบน ThingSpeak

Create at	Down Stream (°C)	Up Stream (°C)	Air (°C)	ความชื้น (%)	Soil (°C)	ΔT	K	u	U * A
16:42:50	27.03104	29.04588	26.9	54.5	26.5	-2.01484	2.1362	302.9222	26.5663
16:43:54	26.25733	28.24534	26.9	54.9	26.5	-1.98801	2.1515	305.6011	26.8012
16:44:58	26.85231	28.29601	27	54.5	26.5625	-1.4437	2.5857	383.1976	33.6064
16:46:03	26.85231	28.64832	26.9	54.3	26.5	-1.79601	2.2746	327.2656	28.7012
16:47:07	26.43967	28.32132	26.9	54.9	26.5	-1.88165	2.2166	317.0215	27.8028
16:48:11	26.64671	28.24534	26.9	54.2	26.5625	-1.59863	2.4320	355.3576	31.1649
16:49:15	26.85231	28.24534	26.9	54.3	26.4375	-1.39303	2.6433	393.7468	34.5316
16:50:19	27.3853	28.32132	26.9	54.4	26.5625	-0.93602	3.4457	545.6760	47.8558
16:51:23	26.56924	28.32132	26.9	54.4	26.5625	-1.75208	2.3066	332.9351	29.1984
16:52:27	26.87791	28.32132	26.9	54.2	26.5	-1.44341	2.5860	383.2557	33.6115
16:53:31	26.90349	27.78538	26.9	54.4	26.5625	-0.88189	3.5958	575.0862	50.4351
16:54:36	26.95457	28.37186	26.9	54.3	26.5625	-1.41729	2.6152	388.5952	34.0798
16:55:40	26.54337	28.32132	26.8	54.2	26.5625	-1.77795	2.2876	329.5603	28.9024
16:56:44	26.69824	28.19459	26.8	54.3	26.5	-1.49635	2.5299	373.0446	32.7160
16:57:48	26.95457	28.64832	26.8	54.5	26.5	-1.69375	2.3516	340.9481	29.9012
16:58:52	26.69824	28.21997	26.8	55.1	26.5	-1.52173	2.5044	368.4184	32.3103
16:59:57	26.6209	28.32132	26.8	55.1	26.4375	-1.70042	2.3463	340.0022	29.8182
17:01:01	26.17884	28.27069	26.8	54.9	26.5625	-2.09185	2.0944	295.6372	25.9274
17:02:05	26.74969	28.32132	26.8	55	26.5	-1.57163	2.4566	359.7878	31.5534
17:03:08	26.77537	28.14374	26.8	55	26.5625	-1.36837	2.6730	399.1843	35.0085
17:04:13	27.1327	27.93948	26.8	55.2	26.5	-0.80678	3.8375	623.0277	54.6395
17:05:17	26.92904	28.49784	26.8	55	26.5	-1.5688	2.4592	360.2616	31.5949
17:06:21	27.08192	28.37186	26.8	55	26.4375	-1.28994	2.7747	417.9655	36.6556
17:07:25	26.20502	28.27069	26.8	55.7	26.4375	-2.06567	2.1082	298.0491	26.1389
17:08:29	27.43557	28.32132	26.8	55.1	26.5	-0.88575	3.5845	572.8599	50.2398

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ตารางแสดงผลการวัดอุณหภูมิบน ThingSpeak

Create at	Down Stream (°C)	Up Stream (°C)	Air (°C)	ความชื้น (%)	Soil (°C)	ΔT	K	u	U * A
17:09:32	27.03104	28.06731	26.8	55	26.5	-1.03627	3.2091	499.9241	43.8433
17:10:36	26.77537	28.04179	26.7	55	26.5	-1.26642	2.8076	424.0856	37.1923
17:11:41	26.43967	28.32132	26.7	55	26.5625	-1.88165	2.2166	317.0215	27.8028
17:12:45	26.82668	27.86253	26.8	55	26.5	-1.03585	3.2100	500.0959	43.8584
17:13:49	26.67248	28.32132	26.7	55	26.375	-1.64884	2.3884	347.5304	30.4784
17:14:53	26.64671	28.16917	26.7	55.1	26.5	-1.52246	2.5036	368.2878	32.2988
17:15:57	26.47153	28.49784	26.7	55.2	26.4375	-2.02631	2.1297	301.7999	26.4678
17:17:01	26.77537	27.8882	26.7	55.2	26.4375	-1.11283	3.0571	470.9403	41.3015
17:18:06	27.00558	28.44751	26.7	55.7	26.5	-1.44193	2.5876	383.5527	33.6376
17:19:10	26.77537	28.06731	26.7	55.2	26.5	-1.29194	2.7719	417.4561	36.6109
17:20:14	26.56924	28.32132	26.7	55.2	26.375	-1.75208	2.3066	332.9351	29.1984
17:21:18	26.77537	28.54809	26.7	55.1	26.375	-1.77272	2.2914	330.2341	28.9615
17:22:22	26.33561	28.72327	26.7	55.3	26.4375	-2.38766	1.9588	272.2569	23.8769
17:23:26	27.08192	28.29601	26.6	55.3	26.4375	-1.21409	2.8855	438.6188	38.4669
17:24:30	26.20502	27.99068	26.6	55.2	26.375	-1.78566	2.2820	328.5746	28.8160
17:25:34	26.74969	28.16917	26.6	55	26.4375	-1.41948	2.6127	388.1394	34.0398
17:26:38	27.28452	27.91385	26.7	55.2	26.5625	-0.62933	4.6376	786.5899	68.9839
17:27:42	26.80104	28.04179	26.6	55.1	26.4375	-1.24075	2.8450	431.0501	37.8031
17:28:46	26.59508	28.3971	26.6	55.3	26.375	-1.80202	2.2704	326.5129	28.6352
17:29:50	25.88927	28.27069	26.6	55.3	26.4375	-2.38142	1.9613	272.6868	23.9146
17:30:54	26.59508	28.19459	26.6	55.2	26.4375	-1.59951	2.4312	355.2159	31.1524
17:31:59	26.74969	28.24534	26.6	55.2	26.4375	-1.49565	2.5306	373.1745	32.7274
17:33:03	26.64671	28.32132	26.6	55.5	26.4375	-1.67461	2.3670	343.7073	30.1431
17:34:07	26.6209	27.78538	26.5	55.3	26.5	-1.16448	2.9659	453.6979	39.7893
17:35:11	26.85231	28.24534	26.5	55.4	26.4375	-1.39303	2.6433	393.7468	34.5316

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ตารางแสดงผลการวัดอุณหภูมิบน ThingSpeak

Create at	Down Stream (°C)	Up Stream (°C)	Air (°C)	ความชื้น (%)	Soil (°C)	ΔT	K	u	U * A
17:36:15	26.69824	28.27069	26.5	55.6	26.4375	-1.57245	2.4558	359.6508	31.5414
17:37:19	27.03104	28.01624	26.5	55.6	26.4375	-0.9852	3.3236	521.9740	45.7771
17:38:24	26.98009	28.44751	26.5	55.4	26.5	-1.46742	2.5600	378.5269	33.1968
17:39:28	26.74969	28.14374	26.5	55.3	26.4375	-1.39405	2.6421	393.5264	34.5123
17:40:32	27.05649	28.06731	26.5	55.4	26.4375	-1.01082	3.2647	510.6115	44.7806
17:41:36	26.95457	28.27069	26.5	55.7	26.3125	-1.31612	2.7394	411.4291	36.0823
17:42:40	26.49156	28.09281	26.4	55.9	26.4375	-1.60125	2.4296	354.9362	31.1279
17:43:44	26.56924	28.16917	26.4	55.8	26.5	-1.59993	2.4308	355.1483	31.1465
17:44:48	25.38247	28.19459	26.3	56	26.3125	-2.81212	1.8141	247.7112	21.7243
17:45:53	26.69824	27.99068	26.4	56.1	26.4375	-1.29244	2.7712	417.3290	36.5998
17:46:57	26.6209	28.24534	26.3	56	26.375	-1.62444	2.4092	351.2696	30.8063
17:48:01	26.64671	28.19459	26.3	56.4	26.375	-1.54788	2.4789	363.8214	31.9071
17:49:05	26.74969	28.32132	26.3	56.4	26.375	-1.57163	2.4566	359.7878	31.5534
17:50:10	26.74969	28.27069	26.2	56.5	26.3125	-1.521	2.5051	368.5491	32.3218
17:51:14	26.36166	28.19459	26.2	56.4	26.375	-1.83293	2.2489	322.7244	28.3029
17:52:19	26.74969	28.14374	26.2	56.5	26.4375	-1.39405	2.6421	393.5264	34.5123
17:53:23	26.28344	28.06731	26.3	56.7	26.375	-1.78387	2.2833	328.8027	28.8360
17:54:27	27.15806	27.93948	26.2	56.4	26.375	-0.78142	3.9296	641.4826	56.2580
17:55:31	27.03104	28.3971	26.2	56.7	26.375	-1.36606	2.6758	399.7045	35.0541
17:56:36	26.74969	28.69831	26.2	57.1	26.375	-1.94862	2.1748	309.6762	27.1586
17:57:40	26.6209	27.63047	26.2	57	26.25	-1.00957	3.2675	511.1515	44.8280
17:58:43	26.87791	28.04179	26.2	56.7	26.375	-1.16388	2.9669	453.8888	39.8060
17:59:47	26.64671	28.16917	26.2	56.6	26.375	-1.52246	2.5036	368.2878	32.2988
18:00:51	26.56924	28.04179	26.3	56.9	26.4375	-1.47255	2.5546	377.5379	33.1101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้