

Received: 2 พ.ค. 2567

Revised: 10 มิ.ย. 2567

Accepted: 14 มิ.ย. 2567

การหาจำนวนที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งตัวตรวจวัดความชื้นในดิน
ด้วยแบบจำลองเชิงพื้นที่ที่ใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

Finding the Right Amount to Install A Moisture Soil Sensor
with The Spatial Modeling using Wireless Sensor Networks

มงคล รอดจันทร^{1*}, ภรณ์ยา ปาลวิสุทธิ์², อภินันท์ จุ่นกรณ² และศัลยพงศ์ วิชัยดิษฐ์³
¹สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์, ²สาขาวิชาวิทยาการข้อมูล, ³สาขาวิชาเทคโนโลยีมีเดีย
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000

Mongkol Rodjan^{1*}, Paranya Palwisut², Apinan Junkorn², and Salyapong Wichaidit³

¹Department of Computer Technology, ²Department of Data Science,

³Department of Multimedia Technology,

Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University

* Corresponding author: mongkol@webmail.npru.ac.th

Abstract

The objective of this research is to find the appropriate number for installing soil moisture measurement devices, using the minimum number of sensors while ensuring coverage of the entire cultivation area. This is achieved by applying a spatial modeling approach in conjunction with a wireless sensor network. To make soil moisture measurement efficient and reduce the cost of installing excessive amounts of soil moisture measurement equipment. Experimental results from collecting soil moisture values. In the experimental area of 4 square meters, where soil moisture sensors were installed at all 81 points, it was found that the overall soil moisture value had the lowest soil moisture value of 56.26% and the highest soil moisture value of 59.96%, which from the values It was found that the soil moisture values in the experimental area were slightly different. You can choose to install only 1 soil moisture detector in any position in an area of 4

square meters, which is sufficient for use. This is because the measured soil moisture values are not much different and are within a single moisture level range.

Keyword: Soil Moisture; Wireless Sensor Network; Spatial Model

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาจำนวนที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งตัวตรวจวัดความชื้นในดิน ด้วยแบบจำลองเชิงพื้นที่โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยใช้จำนวนตัวตรวจวัดความชื้นในดินให้น้อยที่สุดแต่ครอบคลุมบริเวณพื้นที่เพาะปลูก ด้วยวิธีการประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงพื้นที่ร่วมกับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย สำหรับติดตั้งตัวตรวจวัดความชื้นในดินในบริเวณพื้นที่เพาะปลูก เพื่อให้การวัดค่าความชื้นในดินมีประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความชื้นในดินในจำนวนที่มากเกินไป ผลการทดลองจากการเก็บค่าความชื้นในดิน ในพื้นที่ทดลองขนาด 4 ตารางเมตร ที่ติดตั้งตัวตรวจวัดความชื้นในดินทั้งหมด 81 จุด พบว่าค่าความชื้นในดินในภาพรวมมีค่าความชื้นในดินต่ำสุดคือ 56.26% มีค่าความชื้นในดินสูงสุดคือ 59.96% ซึ่งจากค่าที่วัดได้พบว่าค่าความชื้นในดินในพื้นที่ทดลองมีความแตกต่างกันเล็กน้อย สามารถเลือกติดตั้งตัวตรวจวัดความชื้นในดินเพียง 1 จุด ในตำแหน่งใดก็ได้ในพื้นที่ 4 ตารางเมตร ก็เพียงพอต่อการใช้งาน เนื่องจากค่าความชื้นในดินที่วัดได้มีความแตกต่างกันไม่มากและอยู่ในช่วงเดียวระดับความชื้นเพียงช่วงเดียว

คำสำคัญ: ความชื้นในดิน; เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย; แบบจำลองเชิงพื้นที่

1. บทนำ

การควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติสำหรับพืชผลทางการเกษตร ปัจจุบันนิยมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความชื้นในดิน ซึ่งในการใช้งานมักพบปัญหาด้านจำนวนอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความชื้นในดินที่ควรใช้ในการติดตั้งสำหรับวัดค่าความชื้นในดินให้มีประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความชื้นในดินที่มากหลายจุดเกินความจำเป็น

ในการเก็บข้อมูลของพื้นที่สำหรับเพาะปลูกทางการเกษตร ภาครัฐพล จันทรแก้ว และอาภากร ทองวงสา (2559) ได้มีการนำแบบจำลองเชิงพื้นที่มาใช้งาน โดยสร้างแบบจำลองทางสถิติเชิงพื้นที่สำหรับการคาดคะเนสมบัติพื้นฐานของดินบ้านโป่งลึกบางกลอย อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี เพื่อเก็บ

คุณสมบัติพื้นฐานของดิน น้ำพวงษ์ พวงแก้ว และคณะ (2559) ได้ศึกษาปริมาณความชื้นในดินโดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในเขตจังหวัดภูเก็ต ข้อมูลที่ใช้ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนรายสัปดาห์ ปริมาณการระเหยรายสัปดาห์ การใช้ประโยชน์ที่ดิน และชุดดิน โดยประยุกต์ใช้สมการสมมูลน้ำร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ SPsmartplants (2563) ได้อธิบายถึงระดับความชื้นในดินที่พืชสามารถรับได้ดังนี้

- 1.ความชื้น 80% - 100% : สภาวะอันตรายต่อพืช ถ้ามีความชื้นสูงในระดับนี้เป็นเวลานาน มีโอกาสสูงมากที่จะทำให้รากเน่า หรือเกิดเชื้อราขึ้นได้
- 2.ความชื้น 70% - 79% : สภาวะดินแฉะ หากไม่ควบคุมให้ดี หรือปล่อยเป็นเวลานานก็อาจเข้าสู่สภาวะอันตรายได้
- 3.ความชื้น 50% -69% : สภาวะที่พืชชอบ เนื่องจากพืชจะมีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในสภาวะนี้
- 4.ความชื้น 40% - 49% : สภาวะแห้ง ควรเพิ่มความชื้นให้แก่ดิน เพื่อให้พืชเจริญเติบโตได้
- 5.ความชื้น 0% - 39% : สภาวะวิกฤติ สามารถทำให้พืชแห้งและเหี่ยวเฉาตายได้

ซึ่งการเก็บข้อมูลของพื้นที่สำหรับเพาะปลูกเป็นการเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ Srivastava, et al. (2004) ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมาประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูล เนื่องจากเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสามารถตรวจวัดสิ่งแวดล้อมรอบตัวได้อย่างทั่วถึงและมีประสิทธิภาพ สราวุฒิ บุญเกิดรัมย์ (2560) ได้พัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบไร้สายโดยใช้ชิป โดยการรับส่งข้อมูลด้วยคลื่นความถี่วิทยุตามมาตรฐานโปรโตคอล IEEE 802.15.4 ย่านความถี่ 2.4 GHz โดยใช้บอร์ดอาดูโน้ ควบคุมการทำงานของระบบ สุภณีย์ กระจายศรี และคณะ (2557) ทำระบบตรวจวัดอุณหภูมิอัตโนมัติโดยผ่านเครือข่าย Xbee โดยมี แหล่งจ่ายพลังงานเป็นโซล่าเซลล์ ใช้เครื่องมือ Ardunio ในการควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของอุปกรณ์ตรวจวัด เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิโดยรอบและแสดงผลผ่านทางหน้าจอ LCD บนอุปกรณ์ คิวาพร เหมียตโรสง และคณะ (2558) ได้วิจัยและพัฒนาระบบการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในพื้นที่เพาะปลูกมะนาว ด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ระดับหมู่บ้านเพื่อลดการใช้สารเคมีและสารพิษตกค้างกลุ่มแม่น้ำเพชรบุรี เพื่อเสนอวิธีการในการลดการใช้สารเคมีและสารพิษตกค้างกลุ่มแม่น้ำเพชรบุรี ด้วยระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

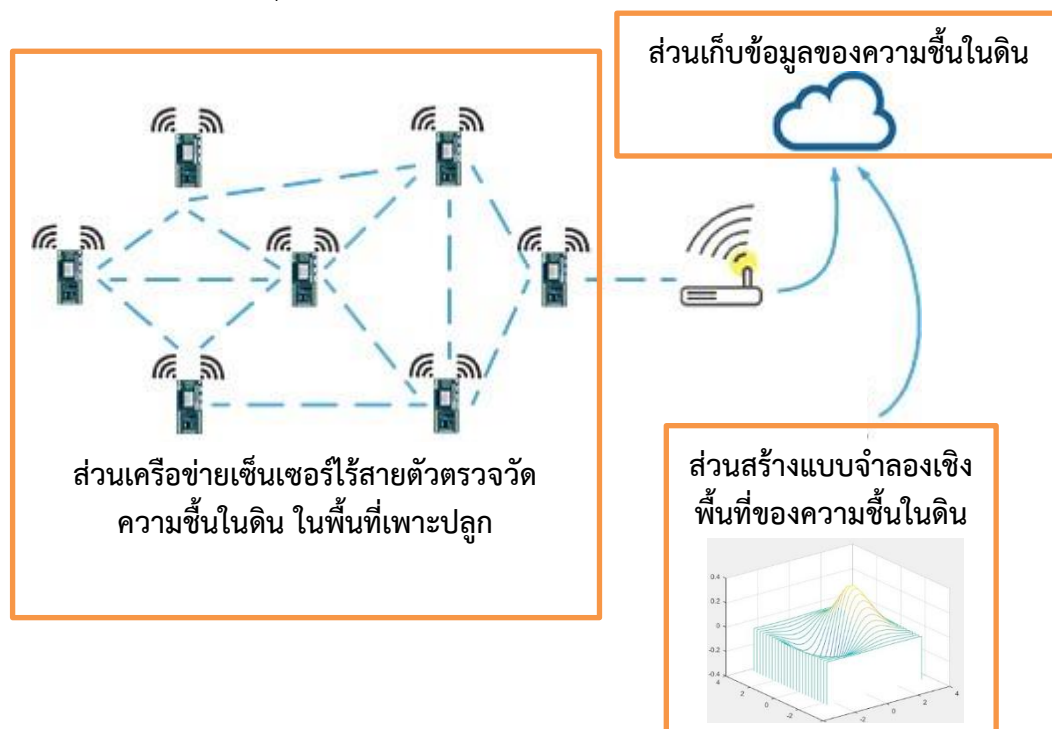
ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงพื้นที่ ร่วมกับความสามารถของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อหาจำนวนที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความชื้นในดิน สำหรับติดตั้งตัวตรวจวัดความชื้นในดิน เพื่อให้การวัดค่าความชื้นในดินมีประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความชื้นในดินในจำนวนที่มากเกินไป

2. วัตถุประสงค์

เพื่อหาจำนวนที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความชื้นในดิน ด้วยวิธีการหาแบบจำลองเชิงพื้นที่โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การหาจำนวนที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งตัวตรวจวัดความชื้นในดิน ด้วยแบบจำลองเชิงพื้นที่โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย สรุปเป็นกรอบแนวคิดได้ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงกรอบแนวคิดงานวิจัย

จากกรอบแนวคิดงานวิจัย การหาจำนวนที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งตัวตรวจวัดความชื้นในดิน ด้วยแบบจำลองเชิงพื้นที่โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

ส่วนที่หนึ่ง เป็นส่วนตรวจวัดค่าความชื้นในดิน โดยติดตั้งตัวตรวจวัดความชื้นในดินบนพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 4 ตารางเมตร แบ่งเป็น 9 แถว และ 9 คอลัมน์ ซึ่งมีจุดตัดทุก 25 เซนติเมตร สำหรับติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าความชื้นในดิน

ส่วนที่สอง เป็นการเก็บข้อมูลค่าความชื้นในดินในช่วงเวลาต่าง ๆ ลงฐานข้อมูล

ส่วนที่สาม คือส่วนนำข้อมูลความชื้นในดินในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่เก็บได้มาสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ โดยแบบจำลองที่ได้จะแสดงข้อมูลความชื้นในดิน บนตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดค่าความชื้นในดิน เพื่อวิเคราะห์หาจำนวนที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งตัวตรวจวัดความชื้นในดิน โดยแบ่งระดับค่าความชื้นในดินที่เป็น 5 ช่วง ได้แก่

1. ความชื้น 80% - 100%
2. ความชื้น 70% - 79%
3. ความชื้น 50% - 69%
4. ความชื้น 40% - 49%
5. ความชื้น 0% - 39%

หากพบว่าค่าความชื้นในดิน ตำแหน่งใดในพื้นที่ทดลองที่ไม่อยู่ในช่วงเดียวกัน แสดงว่าควรเพิ่มเซนเซอร์ตรวจวัดค่าความชื้นในดินในตำแหน่งนั้น เนื่องจากค่าความชื้นในดินมีความแตกต่างกันมาก

3.1 การสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

การสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับติดตั้งตัวตรวจวัดความชื้นในดิน ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

1. ส่วนตรวจวัดค่าความชื้นในดิน ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 จะประมวลผลข้อมูล โดยใช้เซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน (moisture) แบบ high quality soil (moisture) sensor module โดยในการวัดค่าความชื้นในดินจะต้องนำแท่งอิเล็กโทรดปักลงไปในพื้นที่ที่ต้องการวัด ซึ่งจะสามารถอ่านค่าความชื้นของดินได้โดยใช้หลักการ คือ การวัดค่าความต้านทานระหว่างอิเล็กโทรด 2 ขั้ว

ในกรณีที่อ่านค่าความต้านทานได้น้อย หมายความว่ามีความชื้นในดินมาก หรือดินชุ่ม

ในกรณีที่อ่านค่าความต้านทานได้มาก หมายความว่ามีความชื้นในดินน้อย หรือดินแห้ง

ค่าที่อ่านได้จะป้อนให้กับวงจรเปรียบเทียบแรงดัน IC เบอร์ LM393 (dual differential comparators) โดยตั้งค่าได้จาก variable resistor ซึ่งเป็นการปรับค่าแรงดันที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

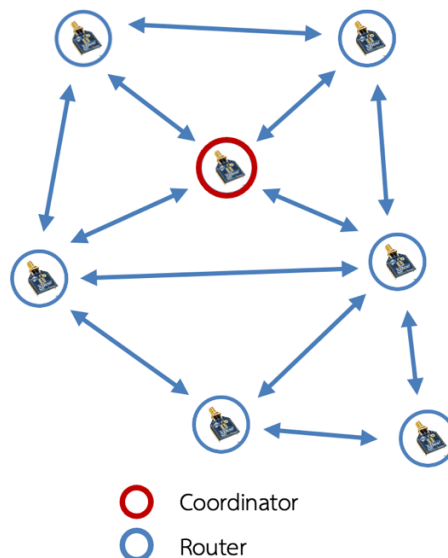
จากนั้นจะส่งค่าที่อ่านได้ในตำแหน่งต่าง ๆ ผ่านเครือข่าย ZigBee ไปยัง gateway โดยใช้ XBee ZigBee TH (RPSMA Antenna) Series 2 (S2C) เป็นโมดูลสื่อสารไร้สายย่าน ISM band ความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐาน ZigBee ใช้ชิพเซ็ต Silicon Labs EM357 SoC ความเร็วสูงสุดในภาคการสื่อสาร

คลื่นวิทยุ 250 Kbps แรงดันไฟเลี้ยงช่วง 2.1 ถึง 3.6 โวลต์ มีคอนเนคเตอร์สายอากาศแบบ RPSMA Antenna สำหรับต่อสายอากาศภายนอกเพิ่มได้ Digi International Inc. (2022) ดังภาพที่ 2



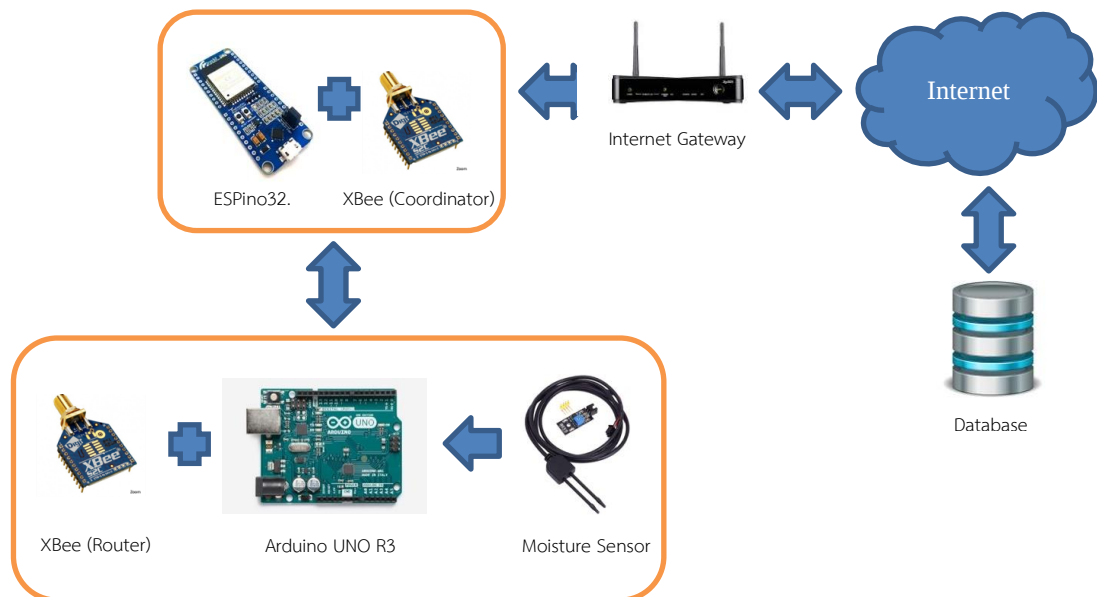
ภาพที่ 2 XBee ZigBee TH (RPSMA Antenna) Series 2 (S2C)

โดยการเชื่อมต่อเครือข่ายจะเชื่อมต่อแบบเครือข่ายแบบ mesh ซึ่งเป็นโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพสูง Digi International Inc. (2009) โดยมี XBee ที่ตั้งค่าให้ทำหน้าที่เป็น coordinator ทำการรับการเชื่อมต่อกับ XBee ที่ตั้งค่าให้ทำหน้าที่เป็น router ข้อดีคือข้อมูลสามารถส่งไปถึงเป้าหมายได้หลายทางทำให้ระบบนี้สามารถรับส่งข้อมูลไปยังจุดหมายปลายทางได้ แม้จะเกิดความเสียหายของระบบในบางส่วนก็ตาม ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบ mesh

ในการส่งข้อมูลไปยังเครื่องแม่ข่ายที่อยู่บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านทางอินเทอร์เน็ตเกตเวย์ จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Espino32 เป็นตัวควบคุม ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การส่งข้อมูลไปยังเครื่องแม่ข่ายที่อยู่บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านทางอินเทอร์เน็ตเกตเวย์

3.2 การเก็บข้อมูลความชื้นในดิน

เป็นการเก็บข้อมูลค่าความชื้นในดินในช่วงเวลาต่าง ๆ ลงฐานข้อมูล โดยติดตั้งตัวตรวจวัดความชื้นในดินบนพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 4 ตารางเมตร แบ่งเป็น 9 แถว และ 9 คอลัมน์ ซึ่งมีจุดตัดทุก 25 เซนติเมตร และติดตั้งตัวตรวจวัดความชื้นในดินบนจุดตัดตำแหน่งต่าง ๆ ดังตัวอย่างในภาพที่ 5

		คอลัมน์ที่								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
แถวที่	1	← 25 cm →	← 25 cm →	← 25 cm →	← 25 cm →	← 25 cm →	← 25 cm →	← 25 cm →	← 25 cm →	← 25 cm →
	2	← 25 cm →								
	3	← 25 cm →								
	4	← 25 cm →								
	5	← 25 cm →								
	6	← 25 cm →								
	7	← 25 cm →								
	8	← 25 cm →								
	9	← 25 cm →								

ภาพที่ 5 ตัวอย่างตำแหน่งติดตั้งตัวตรวจวัดความชื้นในดิน ที่ระยะห่าง 25 เซนติเมตร

ซึ่งนำมาสร้างตารางในระบบฐานข้อมูลเพื่อใช้จัดเก็บข้อมูล โดยมีรายละเอียดของตาราง ดังนี้

ตารางที่ 1 ตารางเก็บข้อมูลความชื้นในดิน

ลำดับ	Field	Data Type	ขนาด	Key	Description
1	sensor_id	varchar	3	PK	รหัสตำแหน่งเซ็นเซอร์ที่เก็บข้อมูล
2	distance	float		PK	ระยะห่างตำแหน่งเซ็นเซอร์
3	timestamp	datetime		PK	วันเวลาที่รับข้อมูล
4	row	varchar	2		ตำแหน่งเซ็นเซอร์ที่เก็บข้อมูลแนวแถว
5	col	varchar	2		ตำแหน่งเซ็นเซอร์ที่เก็บข้อมูลแนวคอลัมน์
6	humidity	float			ค่าความชื้นในดิน

3.3 การสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ของข้อมูลความชื้นในดิน

ขั้นตอนนี้จะนำข้อมูลความชื้นในดินที่ได้จากการติดตั้งตัวตรวจวัดความชื้นในดินบนตำแหน่งของจุดตัด ในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่เก็บได้มาสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ โดยแบบจำลองที่ได้จะแสดงข้อมูลความชื้นในดินบนตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าความชื้นในดิน เพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งใดในพื้นที่ทดลองที่มีค่าความชื้นในดินไม่อยู่ในช่วงเดียวกัน มีขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

1. เก็บค่าความชื้นในดินในแต่ละจุดในช่วงเวลาต่าง ๆ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยสำหรับข้อมูลค่าความชื้นในดินของแต่ละจุด
2. นำข้อมูลค่าความชื้นในดินของแต่ละจุดมาหาค่าเฉลี่ย ในแนวแถวและแนวคอลัมน์
3. นำข้อมูลค่าความชื้นในดินของแต่ละจุดในแถวเดียวกัน มาเปรียบเทียบหาค่าความแตกต่างกับค่าเฉลี่ยที่ได้ในแนวแถวของข้อมูล
4. นำข้อมูลค่าความชื้นในดินของแต่ละจุดในคอลัมน์เดียวกัน มาเปรียบเทียบหาค่าความแตกต่างกับค่าเฉลี่ยที่ได้ในแนวคอลัมน์ของข้อมูล

ซึ่งสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในครั้งนี้ใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) ในการวัดค่ากลางของข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (arithmetic mean) หรือค่าเฉลี่ย (mean) และวัดการกระจายของข้อมูลโดยใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต หรือค่าเฉลี่ย

จากสูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

เมื่อ

$\bar{X}$

แทนเฉลี่ยเลขคณิตหรือค่าเฉลี่ย

$\sum X$

แทนผลรวมทั้งหมดของข้อมูล

n

แทนจำนวนข้อมูลทั้งหมด

ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากสูตร

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

เมื่อ

S.D.

แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\bar{X}$

แทนเฉลี่ยเลขคณิตหรือค่าเฉลี่ย

$\sum X$

แทนผลรวมทั้งหมดของข้อมูล

n

แทนจำนวนข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด

4. ผลการพัฒนาตัวตรวจวัดความชื้นในดิน โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

4.1 การพัฒนาตัวตรวจวัดความชื้นในดิน โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

การพัฒนาตัวตรวจวัดความชื้นในดิน โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

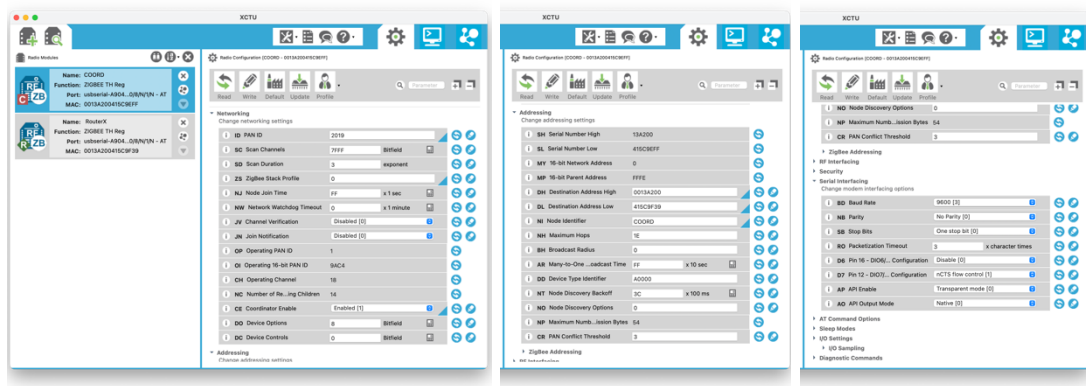
4.1.1 ส่วนของ Coordinator

การพัฒนา Coordinator จะต้องตั้งค่า XBee โดยใช้โปรแกรม XCTU ติดตั้งเฟิร์มแวร์ ZIGBEE REG TH จากนั้นกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ตารางการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ coordinator

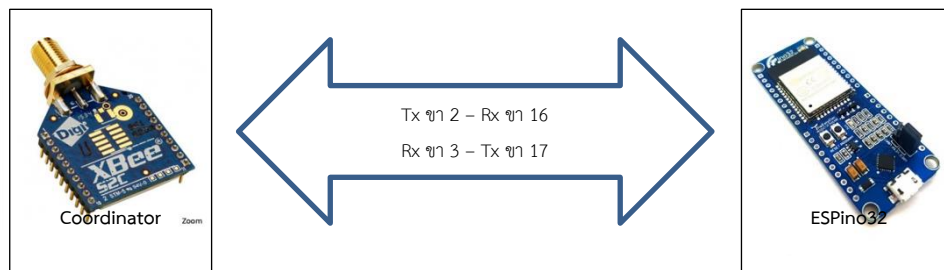
พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด	คำอธิบาย
ID	2019	หมายเลข ID ของ network ที่ XBee ใช้งาน
CE	Enabled [1]	กำหนดให้ XBee เป็น coordinator โดยกำหนดเป็น Enabled [1]
DH	0013A200	กำหนด serial number DH ของ XBee ปลายทางที่ต้องการติดต่อ
DL	415C9F39	กำหนด serial number DL ของ XBee ปลายทางที่ต้องการติดต่อ
NI	COORD	กำหนดชื่อโหนด
AP	Transparent mode [0]	AP API Enable กำหนดให้เป็น Transparent mode [0] (AT Command)

การตั้งค่า XBee โดยใช้โปรแกรม XCTU เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของ coordinator ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การตั้งค่า XBee เป็น coordinator โดยใช้โปรแกรม XCTU

การติดต่อระหว่าง coordinator กับ ESPino32 จะติดต่อผ่าน serial ซึ่งมีขาที่ใช้ส่งข้อมูล ดังภาพที่ 7 เพื่อส่งค่าจากแต่ละโหนดไปเก็บไว้บนฐานข้อมูล โดยจะส่งผ่านโปรโตคอล http



ภาพที่ 7 การกำหนดค่าเพื่อสื่อสารผ่านทาง serial ระหว่าง coordinator กับ ESPino32

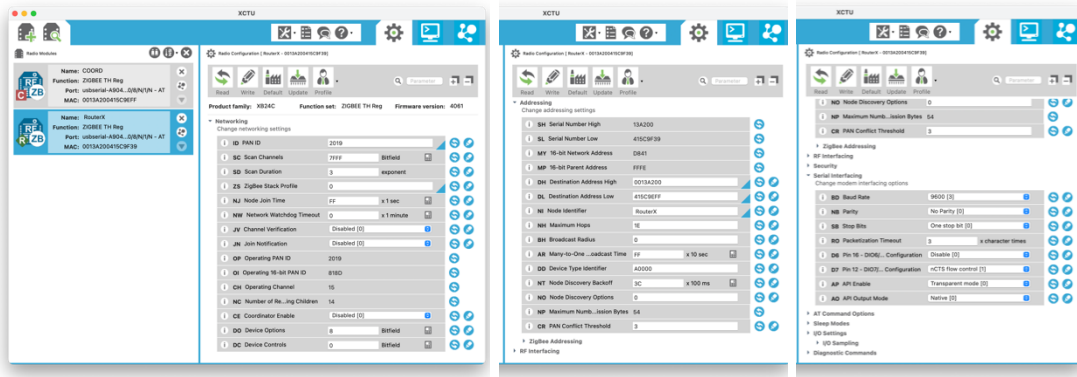
4.1.2 ส่วนของ Router

การพัฒนา router จะต้องตั้งค่า XBee โดยใช้โปรแกรม XCTU ติดตั้งเฟิร์มแวร์ ZIGBEE REG TH จากนั้นกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 ตารางการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ router

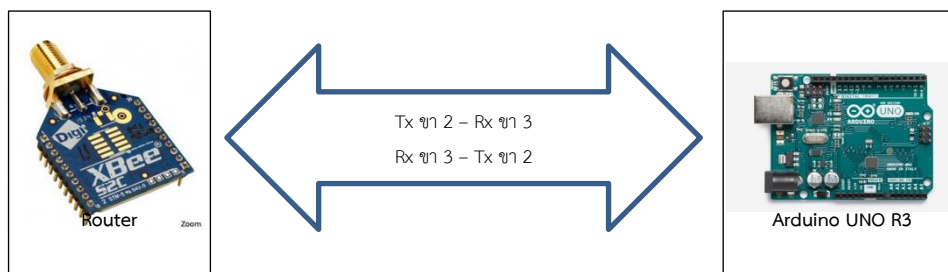
พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด	คำอธิบาย
ID	2019	หมายเลข ID ของ network ที่ XBee ใช้งาน
CE	Disabled [0]	กำหนดให้ XBee ไม่เป็น coordinator โดยกำหนดเป็น Disabled [0]
DH	0013A200	กำหนด serial number DH ของ XBee ปลายทางที่ต้องการติดต่อ
DL	415C9EFF	กำหนด serial number DL ของ XBee ปลายทางที่ต้องการติดต่อ
NI	RouterX	กำหนดชื่อโหนด
AP	Transparent mode [0]	AP API Enable กำหนดให้เป็น Transparent mode [0] (AT Command)

การตั้งค่า XBee โดยใช้โปรแกรม XCTU เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ router ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การตั้งค่า XBee เป็น router โดยใช้โปรแกรม XCTU

การติดต่อระหว่าง router กับ Arduino UNO R3 จะติดต่อผ่าน serial ซึ่งมีขาที่ใช้ส่งข้อมูล ดังภาพที่ 9 เพื่อส่งค่าไปยัง coordinator ดังนี้



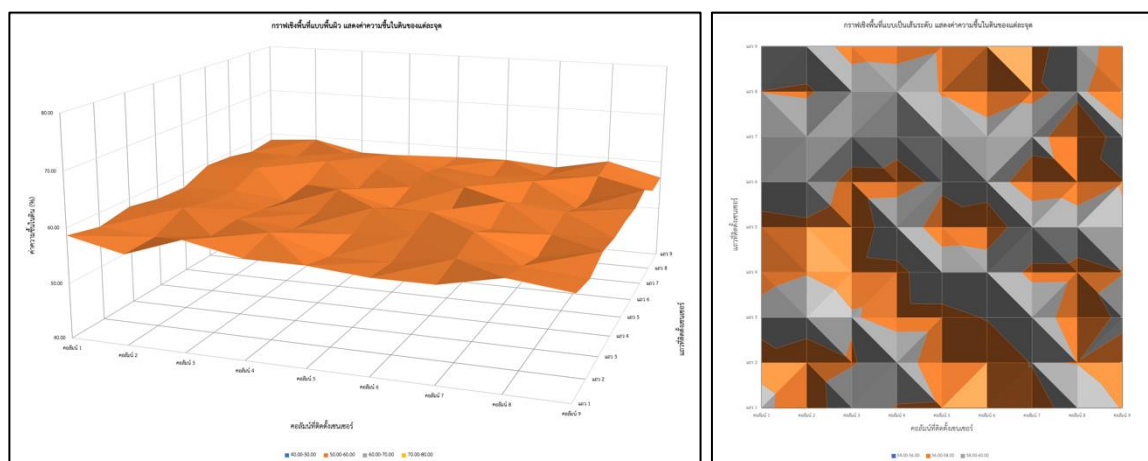
ภาพที่ 9 การกำหนดขาเพื่อสื่อสารผ่านทาง serial ระหว่าง router กับ Arduino UNO R3

4.2 ผลการตรวจวัดความชื้นในดินด้วยแบบจำลองเชิงพื้นที่

จากการติดตั้งตัวตรวจวัดความชื้นในดิน โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อเก็บข้อมูลค่าความชื้นในดินในแต่ละจุดในช่วงเวลาต่าง ๆ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยสำหรับข้อมูลค่าความชื้นในดินของแต่ละจุด ได้ผลดังตารางที่ 4 และแสดงเป็นกราฟเชิงพื้นที่แบบพื้นผิวและแบบเป็นเส้นระดับ ดังภาพที่ 10

ตารางที่ 4 ตารางค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นในดินของแต่ละจุด

	คอลัมน์ 1	คอลัมน์ 2	คอลัมน์ 3	คอลัมน์ 4	คอลัมน์ 5	คอลัมน์ 6	คอลัมน์ 7	คอลัมน์ 8	คอลัมน์ 9	$\bar{X}$ ใน แนว แถว	SD. ใน แนว แถว
แถว 1	58.65	56.37	59.96	57.87	57.78	56.88	56.89	59.17	57.92	57.94	1.16
แถว 2	57.42	56.56	57.80	59.43	56.30	56.36	58.11	57.96	56.98	57.44	1.02
แถว 3	58.54	59.27	58.17	57.35	57.36	58.11	59.80	56.36	58.54	58.17	1.05
แถว 4	57.44	57.92	57.25	57.45	59.49	59.70	57.50	57.53	57.97	58.03	0.92
แถว 5	57.19	57.53	56.40	59.54	56.88	56.32	59.96	58.96	58.18	57.88	1.35
แถว 6	59.48	59.77	57.13	57.23	58.45	59.38	56.59	56.96	57.92	58.10	1.21
แถว 7	59.10	59.71	59.74	58.78	59.10	59.10	58.99	56.26	58.98	58.86	1.03
แถว 8	57.97	57.71	59.29	59.68	57.87	56.57	57.65	58.51	56.32	57.95	1.11
แถว 9	58.57	59.37	57.17	56.93	57.76	57.97	57.16	59.30	56.64	57.87	1.01
$\bar{X}$ ในแนว คอลัมน์	58.26	58.25	58.10	58.25	57.89	57.82	58.07	57.89	57.72		
SD. ในแนว คอลัมน์	0.80	1.33	1.28	1.10	1.01	1.35	1.24	1.18	0.89		



ภาพที่ 10 กราฟเชิงพื้นที่แบบพื้นผิวและแบบเป็นเส้นระดับ ค่าความชื้นในดินของแต่ละจุด

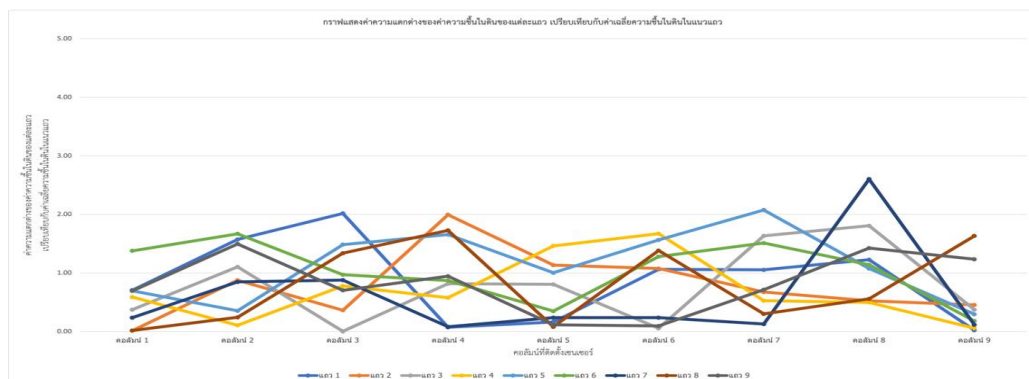
จากตารางที่ 4 พบว่าค่าความชื้นในดินในพื้นที่ 4 ตารางเมตรที่ทดลอง ในภาพรวมมีค่าความชื้นในดินต่ำสุดคือ 56.26% ในตำแหน่งแถวที่ 7 คอลัมน์ที่ 8 มีค่าความชื้นในดินสูงสุดคือ 59.96% ใน

ตำแหน่งแถวที่ 1 คอลัมน์ที่ 3 และ แถวที่ 5 คอลัมน์ที่ 7 ค่าความชื้นในดินในพื้นที่ 4 ตารางเมตรที่ทดลองพบว่าอยู่ในช่วง ความชื้น 50% -69% และไม่พบตำแหน่งที่ค่าความชื้นในดินไม่อยู่ในช่วงเดียวกัน

เมื่อนำค่าความชื้นในดินของแต่ละจุดที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าความแตกต่างกับค่าเฉลี่ยความชื้นในดินในแนวแถว ได้ผลดังตารางที่ 5 และแสดงเป็นกราฟเส้นเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าความชื้นในดินของแต่ละแถว ดังภาพที่ 11

ตารางที่ 5 ตารางค่าความแตกต่างของค่าความชื้นในดินของแต่ละแถว เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยความชื้นในดินในแนวแถว ($\bar{X}$ ในแนว แถว ของตารางที่ 4)

	$\bar{X}$ ความชื้นใน ดินในแนว แถว	คอลัมน์ 1	คอลัมน์ 2	คอลัมน์ 3	คอลัมน์ 4	คอลัมน์ 5	คอลัมน์ 6	คอลัมน์ 7	คอลัมน์ 8	คอลัมน์ 9
แถว 1	57.94	0.71	1.57	2.02	0.07	0.16	1.06	1.05	1.23	0.02
แถว 2	57.44	0.02	0.88	0.36	1.99	1.14	1.08	0.67	0.52	0.46
แถว 3	58.17	0.37	1.10	0.00	0.82	0.81	0.06	1.63	1.81	0.37
แถว 4	58.03	0.59	0.11	0.78	0.58	1.46	1.67	0.53	0.50	0.06
แถว 5	57.88	0.69	0.35	1.48	1.66	1.00	1.56	2.08	1.08	0.30
แถว 6	58.10	1.38	1.67	0.97	0.87	0.35	1.28	1.51	1.14	0.18
แถว 7	58.86	0.24	0.85	0.88	0.08	0.24	0.24	0.13	2.60	0.12
แถว 8	57.95	0.02	0.24	1.34	1.73	0.08	1.38	0.30	0.56	1.63
แถว 9	57.87	0.70	1.50	0.70	0.94	0.11	0.10	0.71	1.43	1.23



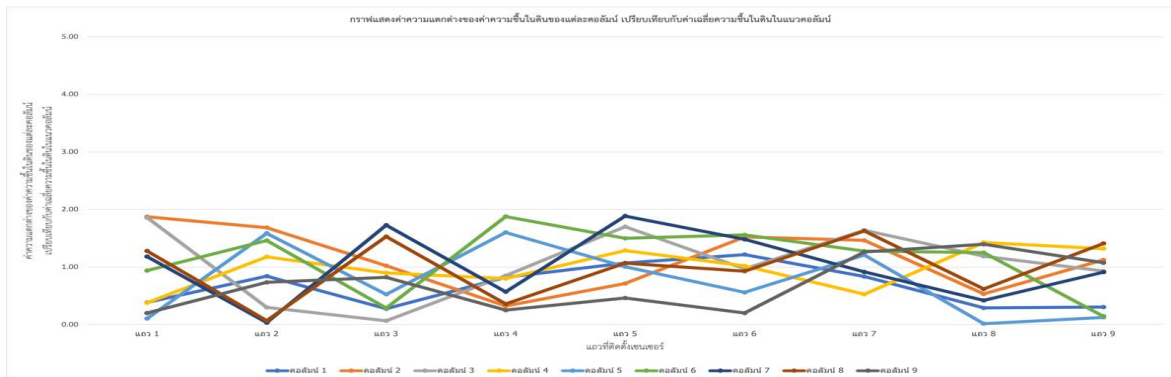
ภาพที่ 11 กราฟเส้นเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าความชื้นในดินของแต่ละแถว

จากตารางที่ 5 พบว่าค่าความแตกต่างของค่าความชื้นในดินของแต่ละแถว เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยความชื้นในดินในแนวแถวมีค่าต่างกั้นน้อยสุดคือ 0.00 อยู่ในแถวที่ 3 และ มีค่าต่างกั้นมากที่สุดคือ 2.60 อยู่ในแถวที่ 7 เมื่อพิจารณาความแตกต่างของค่าความชื้นในดินในแนวแถวของแต่ละแถว พบว่าในแต่ละแถวมีค่าต่างกั้นเล็กน้อย

เมื่อนำค่าความชื้นในดินของแต่ละจุดที่ได้มาเปรียบเทียบหาค่าความแตกต่างกับค่าเฉลี่ยความชื้นในดินในแนวคอลัมน์ ได้ผลดังตารางที่ 6 และแสดงเป็นกราฟเส้นเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าความชื้นในดินของแต่ละคอลัมน์ ดังภาพที่ 12

ตารางที่ 6 ตารางค่าความแตกต่างของค่าความชื้นในดินของแต่ละคอลัมน์ เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยความชื้นในดินในแนวคอลัมน์ ($\bar{X}$ ในแนวคอลัมน์ ของตารางที่ 4)

	คอลัมน์ 1	คอลัมน์ 2	คอลัมน์ 3	คอลัมน์ 4	คอลัมน์ 5	คอลัมน์ 6	คอลัมน์ 7	คอลัมน์ 8	คอลัมน์ 9
$\bar{X}$ ความชื้นในดินในแนว คอลัมน์	58.26	58.25	58.10	58.25	57.89	57.82	58.07	57.89	57.72
แถว 1	0.39	1.88	1.86	0.38	0.11	0.94	1.18	1.28	0.20
แถว 2	0.84	1.69	0.30	1.18	1.59	1.46	0.04	0.07	0.74
แถว 3	0.28	1.02	0.07	0.90	0.53	0.29	1.73	1.53	0.82
แถว 4	0.82	0.33	0.85	0.80	1.60	1.88	0.57	0.36	0.25
แถว 5	1.07	0.72	1.70	1.29	1.01	1.50	1.89	1.07	0.46
แถว 6	1.22	1.52	0.97	1.02	0.56	1.56	1.48	0.93	0.20
แถว 7	0.84	1.46	1.64	0.53	1.21	1.28	0.92	1.63	1.26
แถว 8	0.29	0.54	1.19	1.43	0.02	1.25	0.42	0.62	1.40
แถว 9	0.31	1.12	0.93	1.32	0.13	0.15	0.91	1.41	1.08



ภาพที่ 12 กราฟเส้นเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าความชื้นในดินของแต่ละคอลัมน์

จากตารางที่ 6 พบว่าค่าความแตกต่างของค่าความชื้นในดินของแต่ละคอลัมน์ เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยความชื้นในดินในแนวคอลัมน์มีค่าต่างกันน้อยสุดคือ 0.02 อยู่ในคอลัมน์ที่ 5 และ มีค่าต่างกันมากที่สุดคือ 1.89 อยู่ในคอลัมน์ที่ 7 เมื่อพิจารณาความแตกต่างของค่าความชื้นในดินในแนวคอลัมน์ของแต่ละคอลัมน์ พบว่าในแต่ละคอลัมน์มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย

5. สรุปผล

การหาจำนวนที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความชื้นในดิน ด้วยวิธีการหาแบบจำลองเชิงพื้นที่โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยมี XBee ที่ทำหน้าที่เป็น coordinator ทำงานร่วมกับ XBee ที่ทำหน้าที่เป็น router โดย coordinator จะทำการส่งข้อมูลไปเก็บยังระบบฐานข้อมูลผ่านทางโปรโตคอล http พบว่าค่าความชื้นในดินในพื้นที่ 4 ตารางเมตรที่ทดลอง ในภาพรวมมีค่าความชื้นในดินต่ำสุดคือ 56.26% ในตำแหน่งแถวที่ 7 คอลัมน์ที่ 8 และมีค่าความชื้นในดินสูงสุดคือ 59.96% ในตำแหน่งแถวที่ 1 คอลัมน์ที่ 3 และ แถวที่ 5 คอลัมน์ที่ 7 ซึ่งค่าความชื้นในดิน ในพื้นที่ 4 ตารางเมตรที่ทดลองพบว่าอยู่ในช่วง ความชื้น 50% - 69% จากการแบ่งระดับความชื้นในดินที่พืชสามารถรับได้ จัดอยู่ในช่วงความชื้นเดียวกันคือสภาวะที่พืชชอบ และไม่พบตำแหน่งที่ค่าความชื้นในดินไม่อยู่ในช่วงเดียวกัน ในกรณีนี้สามารถเลือกติดตั้งตัวตรวจวัดความชื้นในดินเพียง 1 จุด ในตำแหน่งใดก็ได้ในพื้นที่ 4 ตารางเมตร ก็เพียงพอต่อการใช้งาน เนื่องจากค่าความชื้นในดินที่วัดได้มีความแตกต่างกันไม่มากและอยู่ในช่วงระดับความชื้นเพียงช่วงเดียว

การหาจำนวนที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความชื้นในดิน ในบริเวณพื้นที่เพาะปลูก ด้วยวิธีการหาแบบจำลองเชิงพื้นที่โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย สามารถนำไปประยุกต์ใช้วัดค่าความชื้นในดินที่เป็นพื้นที่บริเวณกว้างมาก ๆ ได้ ช่วยให้เกษตรกรที่ต้องการนำเซนเซอร์วัดค่าความชื้น

ในดินมาใช้งาน สามารถเห็นความแตกต่างของค่าความชื้นในดินในจุดต่าง ๆ ของพื้นที่เพาะปลูกได้ เพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกตำแหน่งที่จะติดตั้งเซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน บนตำแหน่งที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความชื้นในดินของแต่ละจุดที่ได้เก็บค่า จากนั้นเลือกติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความชื้นในดินเพิ่มเติมในบริเวณที่มีค่าเฉลี่ยความชื้นในดินที่อยู่คนละช่วง ระดับความชื้นในดินที่พืชสามารถรับได้ เพื่อให้การวัดค่าความชื้นในดินมีประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความชื้นในดินในบริเวณต่าง ๆ หลายจุดมากขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- ณัฐพล จันทรแก้ว และอาภากร ทองวงสา. (2559). แบบจำลองทางสถิติเชิงพื้นที่สำหรับการคาดคะเนสมบัติพื้นฐานของดิน ณ บ้านโป่งลึกบางกลอย อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** ปีที่ 24(3): 382-399.
- นัฐพงษ์ พวงแก้ว และคณะ. (2559). การศึกษาปริมาณความชื้นในดินโดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในเขตจังหวัดภูเก็ต. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา** ปีที่ 21(2): 61-71.
- ศิวาพร เหมียดโรสง และคณะ. (2558). การวิจัยและพัฒนาระบบการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในพื้นที่เพาะปลูกมะนาว ด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ระดับหมู่บ้านเพื่อลดการใช้สารเคมีและสารพิษตกค้างลุ่มแม่น้ำเพชรบุรี. **การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 7** 210-213.
- สรวิชัย บุญเกิดรัมย์. (2560). การพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบไร้สายโดยใช้ซิกบี. **วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต**. ปีที่ 7(1): 92-104.
- สุภณัย กระจายศรี และคณะ. (2557). ระบบตรวจวัดอุณหภูมิอัตโนมัติโดยผ่านเครือข่าย xbee โดยมีแหล่งจ่ายเป็นโซล่าเซลล์. (ปริญญาณิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Digi International Inc. (2022). **Demystifying 802.15.4 and ZigBee White Paper**. Retrieved from https://www.mouser.com/pdfdocs/digi-wp_zigbee.pdf.
- Digi International Inc. (2022). **XBee®/XBee-PRO S2C Zigbee® RF Module User Guide**. Retrieved from <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90002002.pdf>.

M. Srivastava, D. Culler and D. Estrin. (2004). Guest Editors' Introduction: Overview of Sensor Networks. In **Computer** (Vol. 37, pp. 41-49).

SPsmartplants (2563). รู้หรือไม่ ความชื้นในดินมีความสำคัญกับพืชมาก. ค้นเมื่อ 13 สิงหาคม 2566.

ค้นจาก : <https://www.spsmartplants.com/blog?page=3>