

Article

หลักการและการประยุกต์ใช้ เซนเซอร์วัดความชื้นดินจากค่าความจุไฟฟ้า Principles and Applications of Capacitive Soil Moisture Sensor

ภารุณีย์ สามพิมพ์¹ และ ชิตณรงค์ ศิริสathyกุล^{2,*}Pharunee Sarmphim¹ and Chitnarong Sirisathikul^{2,*}¹สาขาวิชาศึกษาทั่วไป-วิทยาศาสตร์ (ฟิสิกส์) คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
วิทยาเขตสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000²สาขาวิชาฟิสิกส์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160¹Program of General Education-Science (Physics), Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University
of Technology Srivijaya, Songkhla Campus, Muang, Songkhla 90000, Thailand²Division of Physics, School of Science, Walailak University, Thasala,
Nakhon Si Thammarat 80160, Thailand

*Corresponding author E-mail: schitnar@wu.ac.th

วันที่รับบทความ: 7 สิงหาคม 2566, วันที่แก้ไขบทความ: 3 มีนาคม 2567, วันที่ตอบรับบทความ: 4 มีนาคม 2567

Received: 7th August 2023, Revised: 3rd March 2024, Accepted: 4th March 2024

บทคัดย่อ

การวัดปริมาณน้ำในดินอย่างแม่นยำเป็นสิ่งสำคัญในการปรับปรุงการผลิตพืช ที่ใช้ทรัพยากรน้ำอย่างเหมาะสม วิธีการตรวจวัดความชื้นของดินสามารถทำได้หลายวิธี รวมทั้งการใช้หลักการวัดความจุไฟฟ้า บทความนี้ได้สรุปทฤษฎีที่อธิบายค่าความจุไฟฟ้าของดินและปัจจัยที่เกี่ยวข้องรวมถึงน้ำในดิน จากนั้นได้นำเสนอเซนเซอร์วัดความชื้นของดินจากค่าความจุไฟฟ้า SKU: SEN0193 ที่มีราคาถูกและได้รับการศึกษาวิจัยคุณลักษณะจำเพาะอย่างกว้างขวางในบทความวิจัย ทำให้ทราบศักยภาพและข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และเชื่อมโยงกับระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ระบบที่พัฒนาขึ้นในปัจจุบันสามารถรายงานความชื้นในเวลาจริงได้ เพื่อการให้น้ำอย่างเหมาะสมกับพืชผ่านคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ตโฟน

คำสำคัญ: ปริมาณน้ำในดิน, ความชื้น, เซนเซอร์ความจุไฟฟ้า, การรดน้ำ, ระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Abstract

Accurate measurement of soil water content is crucial for optimizing crop production and efficient water resource management. There are various methods to measure soil moisture, including using the principle of electrical capacitance measurement. This article summarizes the theory that explains the electrical capacitance of soil and the factors involved, including

soil water content. The article then presents a capacitive soil moisture sensor, SKU: SEN0193, which is a low-cost sensor with well-studied characteristics in the literature. The potential and limitations of applying this sensor in conjunction with microcontrollers and internet connectivity are discussed. Internet of things systems currently developed provide real-time soil moisture data and enable appropriate irrigation control for plants through a computer or smartphone.

Keywords: Soil water content, Moisture, Capacitive sensor, Irrigation, Internet of things

บทนำ

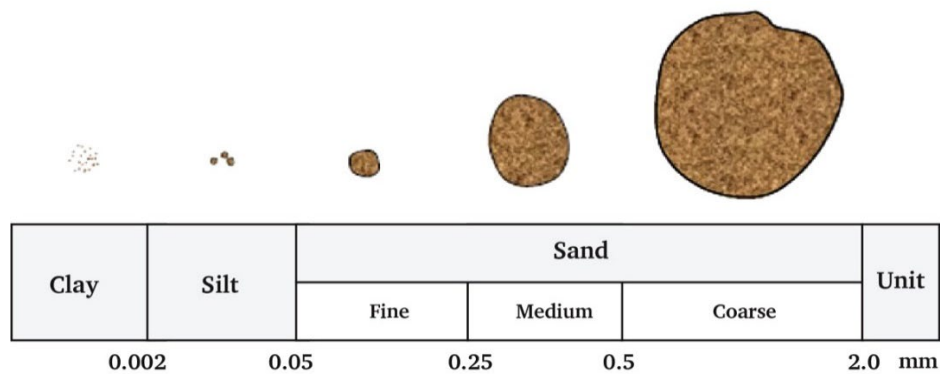
เกษตรกรรมในยุคปัจจุบัน มุ่งเน้นเพิ่มผลผลิต ลดการใช้ทรัพยากร และพัฒนาการทำงานอัตโนมัติเพื่อลดการใช้แรงงานคน จึงมีการผสมผสานใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์ (Sensor) ร่วมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of things) หรือ IoT ให้เซนเซอร์ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมเพื่อติดตามข้อมูลสิ่งแวดล้อมแบบเรียลไทม์ (Real time) และตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเกษตร สามารถรายงานผลและควบคุมอัตโนมัติผ่านระบบ IoT การวิจัยอย่างต่อเนื่องพัฒนาให้ระบบทำงานอย่างชาญฉลาด มีประสิทธิภาพ ใช้งานได้สะดวก และมีราคาถูก ส่งผลถึงแนวโน้มการใช้เซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว [1]

การให้น้ำพืชแม่นยำ (Precision irrigation) เป็นการให้น้ำอย่างเหมาะสมในจังหวะเวลาและปริมาณที่จะทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี ไม่เกิดอันตรายต่อพืช จากสาเหตุการขาดน้ำหรือการให้น้ำมากเกินไป และการสิ้นเปลืองโดยไม่มีประโยชน์ ความชื้นดิน (Soil moisture) จึงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการกำหนดความแม่นยำในการให้น้ำพืชทางการเกษตร การวัดความชื้นดินทำได้หลายวิธี วิธีมาตรฐานซึ่งเป็นการวัดโดยตรง คือ วิธีวัดน้ำหนัก (Gravimetric method) โดยการนำดินมาชั่งแล้วอบให้แห้ง และวิธีวัดความชื้นทางอ้อม จากปริมาณทางกายภาพอื่น ๆ เช่น Gravimetric nuclear electromagnetic method, Tensionmetric method, Hygrometric method และ Electromagnetic method ซึ่งได้รับความสนใจกว้างขวาง เพราะสามารถนำมาต่อยอดพัฒนาร่วมกับเทคโนโลยี IoT ลดการใช้แรงงานคน และสามารถพัฒนาระบบได้โดยไม่ต้องใช้ต้นทุนสูง Electromagnetic method แบ่งย่อยตามหลักการที่ใช้เป็น 2 แบบ คือ หลักการวัดความนำไฟฟ้า (Electrical conductance) และหลักการวัดความจุไฟฟ้า (Electrical capacitance) ผลวิจัยส่วนใหญ่เปรียบเทียบว่า หลักการวัดความจุไฟฟ้าให้ผลที่แม่นยำกว่าหลักการวัดความนำไฟฟ้า [2-5]

บทความนี้อธิบายหลักการพื้นฐานของการวัดความชื้นของดินจากค่าความจุไฟฟ้า โดยเชื่อมโยงกับการจำแนกเนื้อดินและเงื่อนไขตัวแปรอื่น ๆ จากนั้นได้แนะนำการใช้เซนเซอร์วัดความชื้นของดินจากค่าความจุไฟฟ้า (Capacitive soil moisture sensor) เป็นส่วนหนึ่งของระบบ IoT จากงานวิจัยที่เผยแพร่ในระดับนานาชาติ

การจำแนกเนื้อดิน (Soil texture classification)

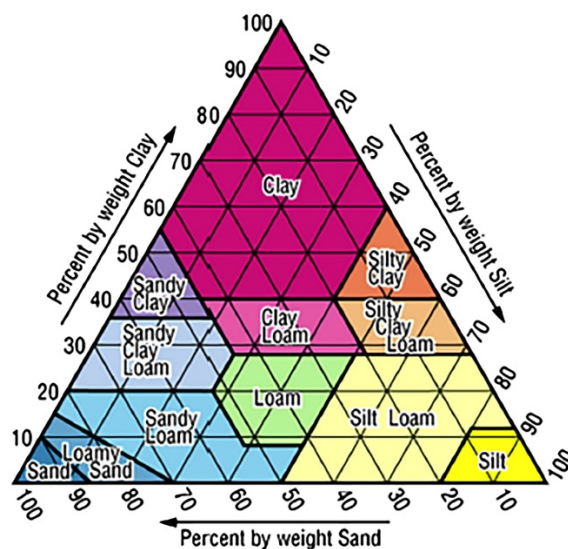
เนื้อดินเป็นสมบัติทางกายภาพอย่างหนึ่ง ที่เกี่ยวข้องกับความหนาแน่นของดินและความจุไฟฟ้า โดยการจำแนกเนื้อดินที่สัมพันธ์กับความจุไฟฟ้า นิยมใช้ระบบ United States Department of Agriculture (USDA) [6,7] ซึ่งเป็นการจำแนกตามปริมาณของอนุภาคดินหลักสามกลุ่ม แสดงดังรูปที่ 1 คือ 1) ทราย (Sand) มีขนาดในช่วง 0.05-2.00 มิลลิเมตร 2) ทรายแป้ง (Silt) มีขนาดในช่วง 0.002-0.05 มิลลิเมตร และ 3) ดินเหนียว (Clay) มีขนาดเล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร



รูปที่ 1 อนุภาคดินหลัก จำแนกตามขนาดเป็น Sand, Silt และ Clay [7]

ตารางสามเหลี่ยมมาตรฐาน ในรูปที่ 2 แสดงการจำแนกประเภทเนื้อดินจากส่วนผสมที่หยาบกับละเอียดตามสัดส่วนของอนุภาคดินหลักเป็น 12 กลุ่ม ดังนี้

1. ทราย (Sand)
2. ทรายปนดินร่วน (Loamy sand)
3. ดินร่วนปนทราย (Sandy loam)
4. ดินร่วน (Loam)
5. ดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt loam)
6. ทรายแป้ง (Silt)
7. ดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy clay loam)
8. ดินร่วนเหนียว (Clay loam)
9. ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (Silty clay loam)
10. ดินเหนียวปนทราย (Sandy clay)
11. ดินเหนียวปนทรายแป้ง (Silty clay)
12. ดินเหนียว (Clay) เนื้อดินมีสัดส่วนของอนุภาคละเอียดเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2 สามเหลี่ยมมาตรฐานการจำแนกประเภทเนื้อดิน ตามระบบ USDA [7]

ความชื้นของดิน

การวิเคราะห์ทำได้โดยแยกดินที่มีความชื้นออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของดินแห้ง และส่วนของน้ำหรือปริมาณน้ำในดิน แล้วคำนวณค่าปริมาณน้ำในดิน จากอัตราส่วนของดินแห้งกับปริมาณน้ำในดิน ซึ่งเป็นปริมาณน้ำในดินโดยน้ำหนัก (Gravimetric water content) ตามสมการ

$$\theta_g = \frac{m_w}{m_d} \quad (1)$$

เมื่อ θ_g คือ ปริมาณน้ำในดินโดยน้ำหนัก

m_d คือ มวลของดินแห้ง

m_w คือ มวลของน้ำ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $m_s - m_d$ โดยที่ m_s เป็นมวลของดินที่มีความชื้น

ความชื้นของดินสามารถวัดได้จากอีกวิธีหนึ่ง โดยการพิจารณาปริมาณน้ำในดินโดยปริมาตร (Volume water content) โดยเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของน้ำกับปริมาตรของดินแห้งตามสมการ

$$\theta_v = \frac{V_w}{V_d} \quad (2)$$

เมื่อ θ_v คือ ปริมาณน้ำในดินโดยปริมาตร

V_w คือ ปริมาตรของน้ำ

V_d คือ ปริมาตรของดินแห้ง

เมื่อแทนค่าปริมาตรด้วยมวลต่อความหนาแน่น จะได้ความสัมพันธ์

$$\theta_v = \frac{\rho_b}{\rho_w} \theta_g \quad (3)$$

เมื่อ ρ_b คือ ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของดินแห้ง

ρ_w คือ ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของน้ำ

หลักการวัดความชื้นในดินจากค่าความจุไฟฟ้า

ความจุไฟฟ้า คือ ประจุไฟฟ้าที่เก็บสะสมอยู่ในโครงสร้างต่อศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อม ตามความสัมพันธ์

$$C = \frac{Q}{V} \quad (4)$$

เมื่อ C คือ ความจุไฟฟ้า

Q คือ ประจุไฟฟ้า

V คือ ศักย์ไฟฟ้า

เมื่อใช้กฎของเกาส์ และความสัมพันธ์ของศักย์ไฟฟ้า สมการ (4) สามารถเขียนได้เป็น การอินทิเกรตผิวปิดหารด้วยการอินทิเกรตเชิงเส้น

$$C = \frac{\oint_s \epsilon \vec{E} \cdot d\vec{s}}{\int \vec{E} \cdot d\vec{l}} \quad (5)$$

เมื่อ ϵ คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric constant)
 $\vec{E}$ คือ สนามไฟฟ้า

กรณีตัวเก็บประจุอย่างง่ายประกอบด้วยแผ่นตัวนำ (Electrode) คู่ขนาน 2 แผ่นวางขนานกัน ที่ถูกคั่นกลางด้วยฉนวนที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ϵ หากแผ่นขนานมีพื้นที่ A และมีระยะห่างระหว่างแผ่น d สมการ (5) สามารถลดรูปเป็น

$$C = \frac{\epsilon EA}{Ed} = \frac{\epsilon A}{d} \quad (6)$$

สมการ (6) แสดงถึงค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ ที่ขึ้นอยู่กับค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของตัวกลาง ซึ่งเป็นพื้นฐานสำหรับการนำมาใช้วัดความชื้นของดิน เนื่องจากตัวกลางที่เป็นน้ำจะมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงกว่าดินมาก

โครงสร้างตัวเก็บประจุในเซนเซอร์วัดความชื้นของดินมีความซับซ้อนมากกว่าตัวเก็บประจุพื้นฐานมาก ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและค่าไดอิเล็กทริก จะมีความซับซ้อนในรูปแบบ อาศัยทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในพื้นฐานเดียวกัน จะได้ว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริกขึ้นอยู่กับความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant frequency) ในวงจร ตามสมการ [8,9]

$$\epsilon = f(F) \quad (7)$$

โดยที่

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_t}} \quad (8)$$

เมื่อ F คือ ความถี่เรโซแนนซ์
 L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance)
 C_t คือ ค่าความจุไฟฟ้ารวม

ดินและวัตถุต่าง ๆ ที่แห้ง มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกระหว่าง 2-6 ในขณะที่อากาศหรือสุญญากาศ มีค่าเป็น 1 และน้ำมีค่าประมาณ 80 ที่ความดันและอุณหภูมิมาตรฐาน เมื่อค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงขึ้น ทำให้ความจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความถี่เรโซแนนซ์ต่ำลง ดังนั้น เมื่อดินมีการเปลี่ยนแปลงความชื้น ค่าความชื้นจะแปรผันโดยตรงกับค่าไดอิเล็กทริกและค่าความถี่เรโซแนนซ์ ดังนั้น ความชื้นดินจะแปรผันกับความถี่เรโซแนนซ์

$$\theta = f(F) \quad (9)$$

สัญญาณวัดความชื้นในดินจากค่าความจุไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของตัวกลาง ตามสมการ (7) ตัวกลางในการวัดสัญญาณที่เป็นความชื้นในดิน เป็นตัวกลางดิน น้ำและอากาศภายในดิน พบว่าค่าไดอิเล็กทริกในการวัดความชื้นดินจะมีความสัมพันธ์กับความชื้นโดยปริมาตร ตามสมการ

$$\epsilon = (1 - \theta_v)\epsilon_s + \theta_v \epsilon_w \quad (10)$$

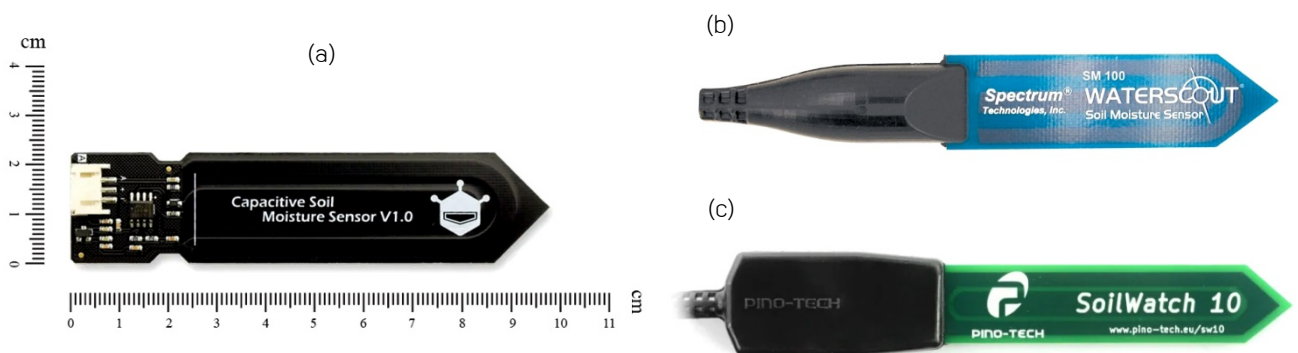
เมื่อ ϵ_s และ ϵ_w เป็น ค่าไดอิเล็กทริกของดินและน้ำ

สัญญาณที่เซนเซอร์วัดความชื้นดินในพื้นที่ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่าความชื้นดินโดยปริมาตร ซึ่งแปรผันกับค่าความหนาแน่นของดินและน้ำด้วย โดยทั่วไปความหนาแน่นของน้ำจะมีค่าใกล้เคียงกันคือ มีค่าเท่ากับ 1 g/cm^3 ดังนั้น สัญญาณของเซนเซอร์ในการวัดความชื้นดินในพื้นที่ที่แตกต่างกันจึงสัมพันธ์กับชนิดของเนื้อดิน และปริมาณน้ำ โดยชนิดของเนื้อดินที่แตกต่างกัน จะทำให้ความหนาแน่นของดินแตกต่างกัน มีผลต่อค่าไดอิเล็กทริกของตัวกลาง

เซนเซอร์วัดความชื้นของดินจากค่าความจุไฟฟ้าและการประยุกต์ใช้ในระบบ IoT

ความแม่นยำของระบบวัดความชื้นในดิน ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะเฉพาะของเซนเซอร์ที่เลือกใช้ จากการทดสอบเซนเซอร์วัดความชื้นของดินจากค่าความจุไฟฟ้า พบว่ามีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบได้ง่าย [2,10,11] เซนเซอร์ทำงานกับวงจรรวม (Integrated circuit) เพื่อแปลงความถี่เรโซแนนซ์เป็นสัญญาณอนาล็อก (Analog signal) ซึ่งจะสามารถอ่านได้ด้วยอุปกรณ์ควบคุมหรือบอร์ดคอนโทรลเลอร์ สัญญาณการตอบสนองของเซนเซอร์ที่มีต่อน้ำและดินมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้ความชื้นดินที่วัดจากเซนเซอร์โดยตรงมีค่าความชื้นไม่เท่ากับค่าความชื้นมาตรฐานตามหลักการให้น้ำพืช ดังนั้นในการพัฒนาระบบรดน้ำอัจฉริยะจึงจำเป็นต้องมีการสอบเทียบ (Calibration) ค่าวัดจากเซนเซอร์ให้ตรงกับค่าความชื้นดินมาตรฐาน ซึ่งเป็นค่าความชื้นโดยน้ำหนัก ที่จะทำให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญต่อการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรโดยใช้น้ำอย่างเหมาะสม

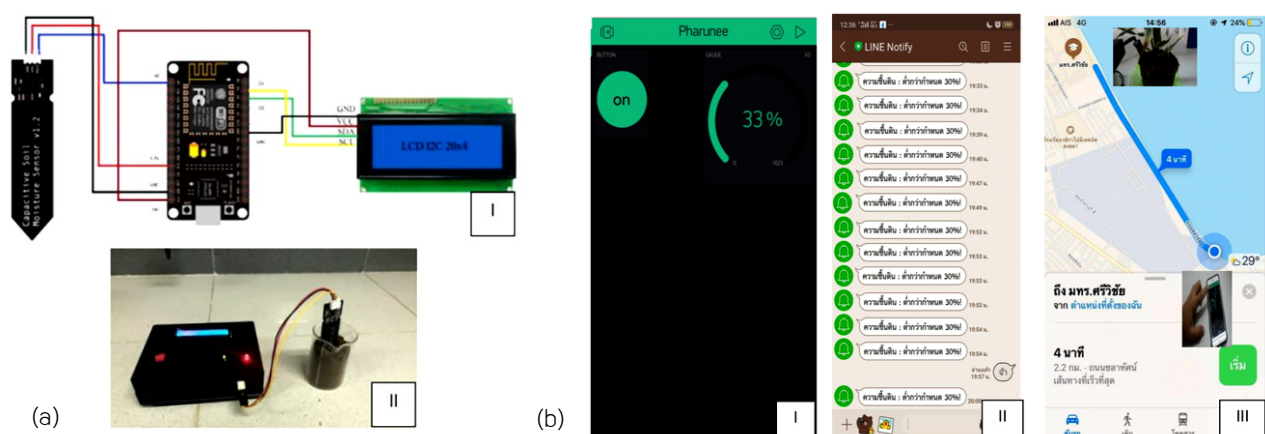
ในปัจจุบันมีการผลิต เซนเซอร์วัดความชื้นดินแบบความจุไฟฟ้าออกมาจำหน่าย โดยผู้ผลิตในต่างประเทศ ทั้งแบบที่มีและไม่มีการสอบเทียบ โดยราคาของเซนเซอร์ที่มีการสอบเทียบแล้วมีราคาสูงกว่าประมาณ 3 เท่า ตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3 ได้แก่ เซนเซอร์ SKU: SEN0193 ของ บริษัท DFRobot เชียงไฮ้ ประเทศจีน เป็นเซนเซอร์ที่ยังไม่ได้สอบเทียบ เซนเซอร์ WaterScout SM100 ของบริษัท Spectrum Technologies ประเทศสหรัฐอเมริกา เซนเซอร์ SoilWatch 10 ของบริษัท Pino-Tech ประเทศโปแลนด์ ซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่มีการสอบเทียบ โดยเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดดินหลายชนิด



รูปที่ 3 ตัวอย่างเซนเซอร์วัดความชื้นดินแบบความจุไฟฟ้าของบริษัท (a) DFRobot, (b) Spectrum Technologies และ (c) Pino-Tech

เซนเซอร์รุ่น SKU: SEN0193 ของ บริษัท DFRobot เชียงไฮ้ ประเทศจีน ได้รับความสนใจนำมาใช้ในงานวิจัยที่เผยแพร่ในช่วงปี ค.ศ. 2018-2023 [5,12-19] โดยพบว่าเซนเซอร์ราคาถูกนี้ใช้งานได้ดีทั้งในร่มและกลางแจ้ง อ่านค่าความชื้นได้จากการตรวจวัดความจุไฟฟ้าที่ความถี่เรโซแนนซ์ของดินซึ่งอัดกันอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าขนาน เป็นวัสดุไดอิเล็กทริกที่มีความจุไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำในดิน จุดเด่นคือการตอบสนองของเซนเซอร์เป็นเชิงเส้นกับปริมาตรของน้ำที่เติมลงในดิน Nagahage และคณะ ได้แนะนำว่าผลลัพธ์จากเซนเซอร์ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของดิน และสถิติการตรวจวัดความชื้นของดินที่มีความจำเพาะ [12] ในขณะที่ Radi และคณะ ทดสอบเซนเซอร์รุ่น SKU: SEN0193 กับดินร่วนปนทรายในประเทศอินโดนีเซีย พบว่าการอ่านค่าความชื้นในดิน ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย จึงหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของเซนเซอร์ กับ ความชื้นของตัวอย่างดินทราย ในภาชนะขนาดต่างกัน สำหรับในพื้นที่ร่ม และกลางแจ้งได้ [5]

การเชื่อมโยงเซนเซอร์กับหน่วยควบคุมสามารถทำได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 4 คณะวิจัยของ Placidi [15] และคณะวิจัยของ Kulmány [16] ได้ทดสอบสมบัติของ SKU: SEN0193 และสาธิตระบบ IoT ควบคุมความชื้นในดินที่ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและความหนาแน่นในห้องปฏิบัติการ งานวิจัยของ Souza และคณะ พบว่า บอร์ด Raspberry สามารถสนับสนุนให้ระบบมีความแม่นยำในการวัดโดยมีความผิดพลาดเกิดขึ้นน้อยกว่า 2% ในช่วงการวัด 2 สัปดาห์ [17] Schwambach และคณะ ทำการทดสอบเซนเซอร์ SKU: SEN0193 กับบอร์ดควบคุมแบบ Arduino และ Raspberry ในห้องปฏิบัติการและภาคสนามที่ความหนาแน่นดินคงที่ พบว่า มีความแม่นยำในการตรวจวัดความชื้นอยู่ในระดับปานกลางและเหมาะสมกับการวัดในช่วงระยะสั้น [18] ส่วนการพัฒนาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย [19] เป็นทางเลือกในการจัดการควบคุมความชื้นในดินทั้งในพื้นที่เกษตรกรรมและการเพาะปลูกในพื้นที่ในเมืองได้โดยใช้ต้นทุนไม่สูง จากการควบคุม SKU: SEN0193 ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 Wi-Fi โมดูล บนบอร์ดพัฒนา NodeMCU ข้อมูลร้อยละของความชื้นที่วัดด้วยเซนเซอร์ถูกส่งผ่านระบบ IoT ให้ผู้ใช้สมาร์ตโฟนตรวจสอบได้ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และเมื่อความชื้นลดลงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ยังได้รับการแจ้งเตือนเพิ่มเติมผ่านแอปพลิเคชัน Line เพื่อให้ผู้ใช้ที่ไม่ต้องผ่านการฝึกฝนสามารถการสั่งป้อนเติมน้ำลงในดินผ่านสมาร์ตโฟนที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 (a) การเชื่อมต่อ เซนเซอร์ SKU: SEN0193 กับบอร์ดพัฒนา และ (b) การสั่งงานผ่านระบบ IoT [19]

บริษัทดูอินไทย จำกัด ผลิตและจำหน่ายเซนเซอร์วัดความชื้นดินแบบความจุไฟฟ้าแบบที่ไม่มีการสอบเทียบ Soil Stick ในประเทศไทย ราคาประมาณ 350 บาท งานวิจัยของ ณัฐกุล เลาว์พัฒนารัตน์ และคณะ [20] เปรียบเทียบเซนเซอร์ Soil Stick กับ WaterScout SM100 แสดงดังรูปที่ 5 พบว่า สมการเทียบมาตรฐาน

จากการประเมินสมรรถนะในระดับห้องปฏิบัติการ ยังมีความคลาดเคลื่อนในการวัดความชื้นค่อนข้างสูง เนื่องจากมาตรฐานเนื้อดินต่างชนิดและปัจจัยอื่น ๆ



รูปที่ 5 เซนเซอร์วัดความชื้นดินแบบความจุไฟฟ้า Soil Stick และ WaterScout SM100 [20]

บทสรุป

ความจุไฟฟ้าของดินที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำในดิน สามารถประยุกต์ใช้วัดความชื้นในดิน เพื่อการเกษตรกรรม ปัจจุบันมีเซนเซอร์ให้เลือก เช่น SKU: SEN0193 ที่ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เชื่อมโยงระบบอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งได้รับการพัฒนาขึ้นโดยมีต้นทุนไม่สูง เพื่อติดตามค่าความชื้นในดิน ระบบสามารถแสดงข้อมูลความชื้นของดินที่วัดได้ในเวลาจริง บนคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟนตามเวลาจริง รวมทั้งแจ้งเตือนผู้ใช้ระบบเมื่อความชื้นลดลงต่ำกว่าค่าขีดเริ่มที่ตั้งไว้ เพื่อให้สามารถสั่งปั๊มให้ทำการรดน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา และทุนสนับสนุนงบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๕

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Terence and G. Purushothaman, "Systematic review of Internet of Things in smart farming", Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 31, 1-34 (2020).
- [2] X. Chavanne, A. Bruère and J. P. Frangi, "Comments to: A novel low-cost instrumentation system for measuring the water content and apparent electrical conductivity of soils", Sensors, 18, 1730 (2018).
- [3] A. Goap, D. Sharma, A. K. Shukla and R. C. Krishna, "An IoT based smart irrigation management system using machine learning and open-source technologies", Computers and Electronics in Agriculture, 155, 41-49 (2018).
- [4] J. M. Domínguez-Niño, H. R. Bogen, J. A. Huisman, B. Schilling and J. Casadesús, "On the accuracy of factory-calibrated low-cost soil water content sensors", Sensors, 19, 3101 (2019).
- [5] S. Adla, N. K. Rai, S. H. Karumanchi, S. Tripathi, M. Disse and S. Pande, "Laboratory calibration and performance evaluation of low-cost capacitive and very low-cost resistive soil moisture sensors", Sensors, 20, 363 (2020).
- [6] Radi, Murtiningrum, Ngadisih, F. S. Muzdrikah, M. S. Nuha and F. A. Rizqi, "Calibration of capacitive soil moisture sensor (SKU: SEN0193)", Proceedings of the 4th International Conference on Science and Technology, Yogyakarta, Indonesia, 1-6 (2018).

- [7] S. D. Kalev and G. S. Toor, "The composition of soils and sediments", In B. Török and T. Dransfield (Eds.), *Green chemistry: An inclusive approach*, Netherlands: Elsevier (2018).
- [8] T. J. Kelleners, R. W. O. Soppe, D. A. Robinson, M. G. Schaap, J. E. Ayars and T. H. Skaggs, "Calibration of capacitance probe sensors using electric circuit theory", *Soil Science Society of America Journal*, 68, 430-439 (2004).
- [9] Z. Huan, H. Wang, C. Li and C. Wan, "The soil moisture sensor based on soil dielectric property", *Personal and Ubiquitous Computing*, 21, 67-74 (2017).
- [10] A. K. R. Segundo, J. H. Martins, P. M. B. Monteiro, R. A. de Oliveira and G. M. Freitas, "A novel low-cost instrumentation system for measuring the water content and apparent electrical conductivity of soils", *Sensors*, 15, 25546-25563 (2015).
- [11] S. S. Kumar, G. Aithal and V. P. Bhat, "Design, calibration, and experimental study of low-cost resistivity-based soil moisture sensor for detecting moisture at different depths of a soil", In N. Chiplunkar and T. Fukao (Eds.), *Advances in artificial intelligence and data engineering*, Singapore: Springer (2021).
- [12] E. A. A. D. Nagahage, I. S. P. Nagahage and T. Fujino, "Calibration and validation of a low-cost capacitive moisture sensor to integrate the automated soil moisture monitoring system", *Agriculture*, 9, 141 (2019).
- [13] S. Borah, R. Kumar and S. Mukherjee, "Low-cost IoT framework for irrigation monitoring and control", *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*, 9, 63-79 (2020).
- [14] S. Borah, R. Kumar, W. Pakhira and S. Mukherjee, "Design and analysis of power efficient IoT based capacitive sensor system to measure soil moisture", *Proceedings of 2020 International Conference on Computational Performance Evaluation*, Shillong, India, 771-776 (2020).
- [15] P. Placidi, L. Gasperini, A. Grassi, M. Cecconi and A. Scorzoni, "Characterization of low-cost capacitive soil moisture sensors for IoT networks", *Sensors*, 20, 3585 (2020).
- [16] I. M. Kulmány, Á. Bede-Fazekas, A. Beslin, Z. Giczi, G. Milics, B. Kovács, M. Kovács, B. Ambrus, L. Bede and V. Vona, "Calibration of an Arduino-based low-cost capacitive soil moisture sensor for smart agriculture", *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 70, 330-340 (2022).
- [17] G. Souza, B. T. de Faria, R. Gomes Alves, F. Lima, P. T. Aquino and J.-P. Soininen, "Calibration equation and field test of a capacitive soil moisture sensor," *2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor)*, Trento, Italy, 180-184 (2020).
- [18] D. Schwambach, M. Persson, R. Berndtsson, L. E. Bertotto, A. N. A. Kobayashi and E. C. Wendland, "Automated low-cost soil moisture sensors: Trade-off between cost and accuracy", *Sensors*, 23, 2451 (2023).
- [19] P. Sarmphim, N. Sutthiphon, P. Jaroensong, C. Sirisathitkul and Y. Sirisathitkul, "IoT based soil moisture management using capacitive sensor and user-friendly smartphone application", *INMATEH - Agricultural Engineering*, 66, 159-166 (2022).
- [20] ณัฐพล เลาว์วัฒนารัตน์, พงศกร ทิพย์แก้ว, วัชรชัย ใจน้ำ, นกัศกร ชูลี และ ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์, "การประเมินสมรรถนะในระดับห้องปฏิบัติการของเซนเซอร์วัดความชื้นดินชนิดคาปาซิทีฟต้นทุนต่ำสำหรับดินเนื้อละเอียดและดินเนื้อปานกลาง", *วารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ*, 11, 254-264 (2566).