วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
Journal of Engineering and Innovation

บทความวิชาการ

การศึกษาเปรียบเทียบเซ็นเซอร์สำหรับใช้ในการเกษตร

Comparative study of sensors for agricultural applications

บงกช สุขอนันต์ มนตรี ธรรมวิเศษ ศิวกร คงวัน สหภาพ เสรีคำ มงคล ปุษยตานนท์ *

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

Bongkoj Sookananta Montree Thumwiset Siwakorn Kongwan Sahaphap Sareekham
Mongkol Pusayatanont*

Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University Ubon Ratchathani 34190

* Corresponding author.

E-mail: mongkol.p@ubu.ac.th; Telephone: 0 4535 3319

วันที่รับบทความ 30 มีนาคม 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 19 พฤษภาคม 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 9 สิงหาคม 2565
วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 3 31 พฤษภาคม 2566 ; วันที่ตอบรับบทความ 9 มิถุนายน 2566

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาเปรียบเทียบเซ็นเซอร์ที่ใช้ในฟาร์มปลูกพืช สำหรับใช้บอกข้อมูลกับเกษตรกรที่ต้องการพัฒนาไปสู่การทำเกษตรแบบแม่นยำ เซ็นเซอร์สี่ชนิดประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้นในดิน ความชื้นในอากาศและแสงสว่าง ถูกเลือกใช้วัดค่าที่เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับพืช โดยพิจารณาเทคโนโลยีการวัดค่าที่แตกต่างกัน เซ็นเซอร์ที่ใช้ทดสอบถูกติดตั้งไว้ในพื้นที่แปลงเกษตรของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และเก็บรวบรวมข้อมูลผ่านระบบอินเตอร์เนตทุกสรรพสิ่ง เพื่อเปรียบเทียบเซ็นเซอร์แต่ละตัว ในแง่ของราคา ประเด็นทางด้านเทคนิค ผลการวัด และความทนทาน ผลที่ได้นำไปสู่ข้อมูลแนวทางสำหรับการใช้งานจริง

คำสำคัญ

เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน เซ็นเซอร์วัดความชื้นในอากาศ เซ็นเซอร์วัดแสง การประยุกต์ใช้ในงานเกษตร

Abstract

This paper presents a comparative study of various sensors utilized in plant farming, with the objective of supplying farmers with valuable information for advancing precision agriculture practices. Four types of sensors including temperature, soil moisture, humidity and light sensors, are selected to measure the important factors for planting. Different sensing technologies are considered. They are installed in practical field within Ubon Ratchathani University campus. Data collected using IoT is used to compare in four aspects including cost, technical aspect, measurement result and durability. The results lead to a guidance of these sensors application in practical.

Keywords

temperature sensor, soil moisture sensor, humidity sensor, light sensor, agricultural applications

1. คำนำ

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโลก ทั้งการเพิ่มจำนวนประชากรในภาพรวมทำให้มีความต้องการอาหารเพิ่มมากขึ้น ขณะเดียวกันประเทศที่มีพื้นฐานหลักมาจากการเกษตรอย่างประเทศไทย ก็มีจำนวนประชากรที่เข้าสู่วัยผู้สูงอายุเพิ่มมากขึ้น ประชากรวัยทำงานเปลี่ยนงานในภาคเกษตรไปทำงานใน

ภาคอุตสาหกรรม สังคมเมืองขยายใหญ่และผู้คนสนใจคุณภาพอาหารที่กินเพื่อรักษาสุขภาพและลดความเสี่ยงต่อโรคที่จะเกิดขึ้น ความนิยมและแนวโน้มในการทำเกษตรเปลี่ยนเข้าสู่การทำเกษตรแบบแม่นยำ [1]

เทคโนโลยีหลายอย่างถูกนำเข้ามาใช้ในฟาร์มเกษตร อย่างเช่น เซ็นเซอร์ อินเตอร์เนตทุกสรรพสิ่ง อุปกรณ์เคลื่อนที่พาหนะไร้คนขับ ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก หรือจีพีเอส เป็นต้น [2] ทำให้คุณภาพของผลผลิต และการทำงานในแปลงเกษตรมีประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วย ในส่วนของเทคโนโลยีหลายอย่าง เซ็นเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่เป็นพื้นฐานอย่างหนึ่ง และเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ ในที่นี้เน้นศึกษาเซ็นเซอร์ที่วัดค่าสภาพแวดล้อมของการปลูกพืช เพื่อนำไปสู่การเฝ้าดู และพัฒนาใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ในการทำการควบคุมและระบบอัตโนมัติได้

การวัดค่าอย่างหนึ่ง อย่างเช่น ค่าอุณหภูมิ มีเซ็นเซอร์หลายชนิดที่สามารถให้ค่าออกมาได้ [3] และในตลาดมีเซ็นเซอร์ที่หลากหลายที่แตกต่างกันทั้งทางด้านเทคโนโลยีที่ใช้ คุณสมบัติ และราคา หากไม่มีความรู้พื้นฐานในการเลือกใช้แล้วอาจทำให้การลงทุนไม่คุ้มค่าได้ บทความนี้ศึกษาเรื่องเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดค่าสภาพแวดล้อมของพืช โดยเน้นที่อุปกรณ์ที่สามารถหาซื้อได้ และผลการนำมาใช้งานจริงในสภาพพื้นที่เปิดเพื่อทดสอบความทนทานด้วย

โดยทั่วไประบบเฝ้าดู สามารถเป็นระบบที่วัดและรายงานค่าในพื้นที่ใช้งานได้ แต่ปัจจุบันการเก็บข้อมูลและรายงานผ่านระบบอินเตอร์เนตทุกสรรพสิ่งเป็นระบบที่ได้รับการยอมรับ เนื่องจากสามารถเก็บข้อมูลได้มาก และเข้าถึงข้อมูลได้จากในทุกพื้นที่ที่ผู้ใช้งานอยู่ เพราะระบบอินเตอร์เนตได้ครอบคลุมทั่วถึงทุกพื้นที่ ในบทความนี้จึงใช้การเก็บและรายงานข้อมูลผ่านระบบอินเตอร์เนตทุกสรรพสิ่ง โดยใช้พลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการเก็บกักพลังงานไว้ในแบตเตอรี เลือกใช้อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่ำ อย่างบอร์ด NB IoT ร่วมกับอาดูโนไมโครคอนโทรลเลอร์

2. เซ็นเซอร์

ในหัวข้อนี้ ให้ความรู้พื้นฐานเรื่องหลักการทำงานของเซ็นเซอร์ คุณสมบัติ และราคาของเซ็นเซอร์ที่เลือกมาใช้ศึกษา ซึ่งการวัดค่าชนิดหนึ่งสามารถทำได้ด้วยหลักการหลายอย่างแตกต่างกัน และเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้คุณสมบัติของเซ็นเซอร์แต่ละตัวต่างกันด้วย ทั้งนี้เซ็นเซอร์ที่เลือกมาศึกษาใช้งาน เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้ให้กับเกษตรกร เป็นเซ็นเซอร์ที่มีอยู่ในท้องตลาด สามารถหาซื้อและเข้าถึงได้ ใช้พลังงานต่ำ แรงดันในการใช้งานไม่เกิน 5V สามารถใช้งานร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ จึงมีพื้นฐานที่เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

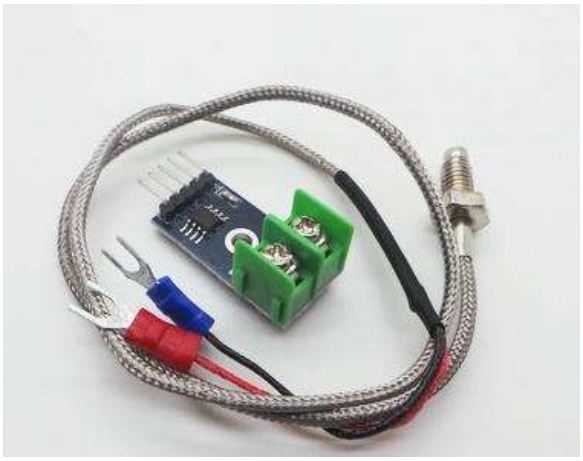
2.1 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature sensor or thermometer) มีหลักการในการใช้วัดค่าของอุณหภูมิหลายอย่างด้วยกัน เช่น เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) ตัวตรวจวัดค่าความต้านทานแบบอาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector หรือ RTD) และเทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) ซึ่งอาศัยหลักการเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าของโลหะ เป็นต้น ในบทความนี้อธิบายถึงหลักการที่ใช้ในเซ็นเซอร์ที่เลือกมาใช้ดังหัวข้อย่อยต่อไปนี้ โดยราคาและข้อมูลทางด้านเทคนิคของเซ็นเซอร์แสดงไว้ในตารางที่ 1

2.1.1 เทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิล ประกอบไปด้วยโลหะสองชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่างกัน เชื่อมต่อกันที่ปลายด้านหนึ่งที่ใช้เป็นจุดวัดค่าอุณหภูมิ ปลายอีกด้านแยกออกจากกันใช้เป็นจุดอ้างอิง หลักการทำงานใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า และสามารถแปลงค่าอุณหภูมิเป็นค่าทางไฟฟ้าในรูปความต่างศักย์ได้

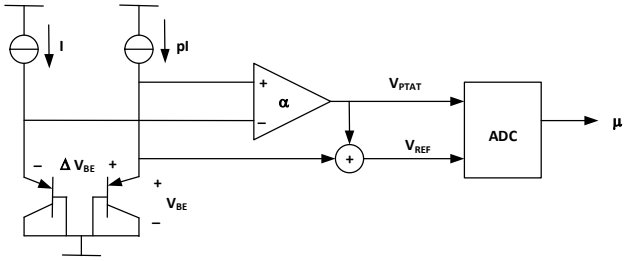
เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิชนิดเทอร์โมคัปเปิล ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็น เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ดังรูปที่ 1 มีช่วงวัดอุณหภูมิจาก -50 °C ถึง 500 °C โดยใช้การเชื่อมต่อรับค่าแรงดันจากสายสองเส้นของเทอร์โมคัปเปิล ผ่านโมดูล MAX6675 ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้รับค่าเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบ Serial peripheral interface (SPI) ความละเอียด 12 บิต ใช้แรงดัน 3 – 5V



รูปที่ 1 อุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

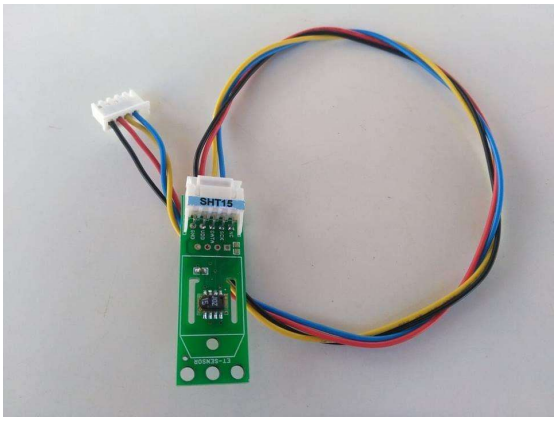
2.1.2 การวัดอุณหภูมิด้วยซิลิกอนแบนด์แกพ

การวัดอุณหภูมิด้วยซิลิกอนแบนด์แกพ (Silicon bandgap temperature sensor) เป็นหลักการที่ใช้ทั่วไปในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังวงจรที่แสดงในรูปที่ 2 [4] โดยใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิ ทำให้กระแสคอลเล็กเตอร์ (*I* และ *pI*) ที่ส่งผ่านไปยัง base-emitter ทำให้เกิดความต่างศักย์ (V_{BE}) เมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง (V_{REF}) จะได้ค่าอุณหภูมิออกมาและผ่านวงจรเพื่อแปลงเป็นค่าดิจิตอล



รูปที่ 2 วงจรแสดงหลักการทำงานของการวัดอุณหภูมิแบบซิลิกอนแบนด์แกพ

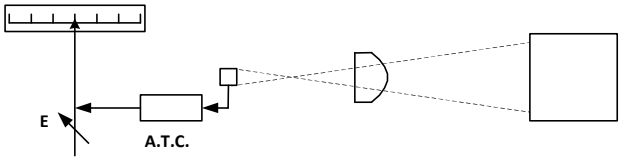
เซ็นเซอร์ที่ใช้หลักการทำงานนี้ ในการศึกษานี้เลือก SHT15 [5] ดังรูปที่ 3 ตัวเซ็นเซอร์ใช้แรงดันไฟเลี้ยงได้ในช่วง +2.4V ถึง +5.5V ใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่า 1mA ความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิ ±0.4°C (14-bit) ในช่วง 10 ถึง 40°C ใช้สัญญาณสองเส้นในการสื่อสารข้อมูล DATA (SDA) และ CLOCK (SCL)



รูปที่ 3 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ SHT15

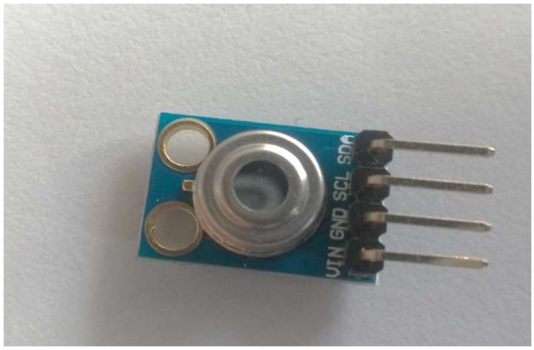
2.1.3 การวัดด้วยแสงอินฟราเรด

การวัดอุณหภูมิด้วยอินฟราเรด (Infrared thermometer) เป็นการวัดที่ไม่ต้องสัมผัสโดยตรง จากหลักการพื้นฐานที่แสงอินฟราเรดไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและโลหะจะปลดปล่อยแสงอินฟราเรดออกมาเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าศูนย์เคลวิน เซ็นเซอร์ที่ใช้หลักการนี้ประกอบด้วยเลนส์ที่รวบรวมพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากเป้าหมายที่ต้องการวัดอุณหภูมิ และส่งไปยังตัวรับซึ่งทำหน้าที่แปลงพลังงานนั้นเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 4 [6]



รูปที่ 4 หลักการทำงานการวัดอุณหภูมิด้วยอินฟราเรด

เซ็นเซอร์อินฟราเรดที่เลือกใช้ศึกษาในบทความนี้ คือ GY-906 ดังรูปที่ 5 สามารถวางอยู่ในอุณหภูมิที่มีช่วงกว้าง -40 ถึง +125 °C และวัดอุณหภูมิของวัตถุเป้าหมายในช่วง -70 ถึง +380 °C มีความแม่นยำสูง 0.5 °C ในช่วงอุณหภูมิ 0 ถึง +50 °C ที่ความละเอียดการวัด 0.02 °C



รูปที่ 5 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ GY-906

ตารางที่ 1 ราคาเซ็นเซอร์อุณหภูมิที่เลือกใช้ในการศึกษา

เซ็นเซอร์	เทอร์โมคัปเปิล	SHT15	GY-906
ราคา (บาท/ชิ้น)	182	803	321
ย่านวัด (°C)	-50 - +500	-40 - +123.8	-40 - +125
ความละเอียด (°C)	0.25	0.4	0.02
ความแม่นยำ (°C)	± 2.5	± 0.4	± 0.5
การเชื่อมต่อ	SPI (MAX6675)	I^2C	I^2C

2.2 เซ็นเซอร์วัดความชื้นในอากาศ

เซ็นเซอร์วัดความชื้นในอากาศ (Humidity sensor or hygrometer) เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดปริมาณไอน้ำในอากาศ การวัดค่าบอกเป็นความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ซึ่งแปรผันตามความดันของไอน้ำและอุณหภูมิของบรรยากาศโดยรอบ ใช้หลักการวัดดังมีรายละเอียดหัวข้อย่อยต่อไปนี้ และราคา รวมถึงข้อมูลทางด้านเทคนิคของเซ็นเซอร์ที่เลือกมาศึกษา แสดงในตารางที่ 2

2.2.1 เซ็นเซอร์วัดความชื้นแบบความจุไฟฟ้า

เซ็นเซอร์วัดความชื้นแบบความจุไฟฟ้า (Capacitive humidity sensor) ใช้หลักการเปลี่ยนความจุไฟฟ้าเมื่อคุณสมบัติ dielectric ของตัวกลางระหว่างแผ่นโลหะสองแผ่นเปลี่ยนแปลง โดยค่าความจุไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จาก

$$c = \frac{\varepsilon A}{d} \qquad (1)$$

เมื่อ C เป็นค่าความจุไฟฟ้า

ε เป็นค่า dielectric constant

d เป็นระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะสองแผ่น

A เป็นพื้นที่หน้าตัดของแผ่นโลหะ

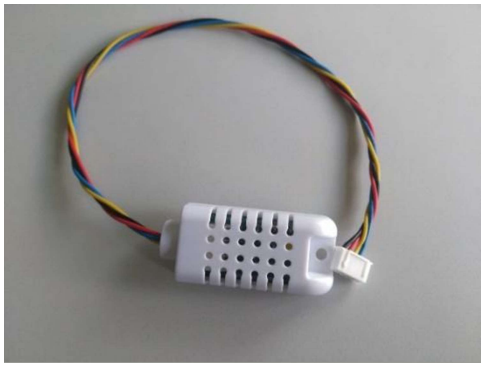
โดยทั่วไปเซ็นเซอร์ที่ใช้หลักการนี้ ใช้พลาสติกหรือโพลิเมอร์เป็นตัวกลางที่มีค่าคงที่ dielectric อยู่ระหว่าง 2 ถึง 15 และที่อุณหภูมิห้องค่าคงที่ dielectric ของไอน้ำมีค่า 80 ซึ่งสูงกว่าค่าของพลาสติกหรือโพลิเมอร์มาก ดังนั้นเมื่อมีความชื้นจะทำให้ค่าความจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

เซ็นเซอร์ SHT15 ดังรูปที่ 3 ที่ใช้วัดอุณหภูมิ สามารถวัดความชื้นได้ด้วยตามหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้า โดยสามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 0 ถึง 100%RH และอุณหภูมิ -40 ถึง +123.8 °C และให้ค่าแบบดิจิทัล มีความละเอียด 12 บิต และความแม่นยำ ±3.0 %RH ในช่วง 20 ถึง 80 %RH

2.2.2 เซ็นเซอร์วัดความชื้นแบบความต้านทาน

เซ็นเซอร์วัดความชื้นแบบความต้านทาน (Resistive humidity sensor) เป็นเซ็นเซอร์อิมพิแดนซ์แบบหนึ่งที่ใช้วัสดุซึ่งมีความต้านทานแปรผันตามความชื้น เช่น เกลือหรือตัวนำที่เป็นโพลิเมอร์ เมื่อความต้านทานเปลี่ยนแปลงทำให้สัญญาณแรงดันเปลี่ยนค่า

เซ็นเซอร์ที่ใช้ศึกษาในบทความนี้ คือ BME280 ดังรูปที่ 6 ซึ่งมีเพียโซรีซิสทีฟเซ็นเซอร์สี่ตัว ต่อร่วมกันเป็นส่วนหนึ่งของวงจรบริดจ์ ให้ค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงตามค่าความชื้น โดยส่งข้อมูลแบบดิจิตอล และเชื่อมต่อแบบ I2C วัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วง 0-100% ความแม่นยำ ±3 %RH เวลาการตอบสนอง 1 วินาที ใช้ไฟเลี้ยง 1.8-3.6 Vdc



รูปที่ 5 เซ็นเซอร์วัดความชื้นในอากาศ BME280

ตารางที่ 2 ราคาเซ็นเซอร์ความชื้นในอากาศที่เลือกใช้ในการศึกษา

เซ็นเซอร์	BE280	SHT15
ราคา (บาท/ชิ้น)	410	803
ย่านวัด (%RH)	0 – 100	0 – 100
ความละเอียด (%RH)	0.8	0.05
ความแม่นยำ (%RH)	±3.0	±3.0
การเชื่อมต่อ	I^2C	I^2C

2.3 เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน

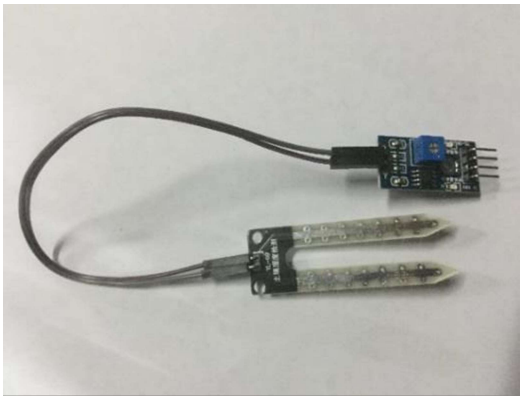
เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน (Soil moisture sensor) เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดปริมาณความชื้นในดิน โดยมีคำจำกัดความปริมาณความชื้นในดินสองรูปแบบ คือ ปริมาณน้ำในดิน (soil water content) กับพลังงานศักย์ของน้ำในดิน (soil water potential)

โดยปริมาณน้ำในดิน คือปริมาณน้ำทั้งหมดที่ระเหยออกจากดินเมื่อให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 100 – 110 องศาเซลเซียส แต่ส่วนใหญ่มักใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ส่วนพลังงานศักย์ของน้ำในดิน เป็นตัวอธิบายสภาวะของดิน ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์การแพร่กระจายของน้ำและความสัมพันธ์ของน้ำ พืชและดิน [8] การใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน จึงมีเป้าหมายการวัดพลังงานศักย์ของน้ำในดินและสามารถวัดได้ด้วยเทคนิคแตกต่างกันหลายอย่าง เช่น เทคนิคความต้านทาน (resistive) แรงโน้มถ่วง (gravimetric) นิวตรอน (neutron) การกระจาย (scattering) ความจุไฟฟ้า (capacitive) และพิจารณาการสะท้อนในเชิงเวลา (time domain reflectometry) เป็นต้น ในที่นี้กล่าวถึงหลักการทำงานของเซ็นเซอร์ที่มีขายทั่วไป ดังอธิบายในหัวข้อย่อยต่อไปนี้ และราคารวมถึงข้อมูลทางด้านเทคนิคของเซ็นเซอร์ที่เลือกมาศึกษา แสดงในตารางที่ 3

2.3.1 เซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นชนิดความต้านทาน

เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินชนิดความต้านทาน (Resistive soil moisture sensor) มีตัววัดสองขา ซึ่งวัดระดับความชื้นในดินโดยตรวจจับกระแสที่สามารถไหลได้ โดยหากระดับความชื้นในดินสูง จะทำให้มีความนำระหว่างสองขาของเซ็นเซอร์สูงขึ้น และทำให้กระแสสามารถไหลผ่านได้มากขึ้นด้วย แต่เมื่อใช้ไปนานๆ ความชื้นจะทำให้ตัวนำที่เซ็นเซอร์เกิดการกัดกร่อน และค่าความเป็นกรดด่างในดินมีผลต่อค่าที่วัดได้ [9]

เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินชนิดความต้านทานที่เลือกใช้ศึกษา แสดงดังรูปที่ 7

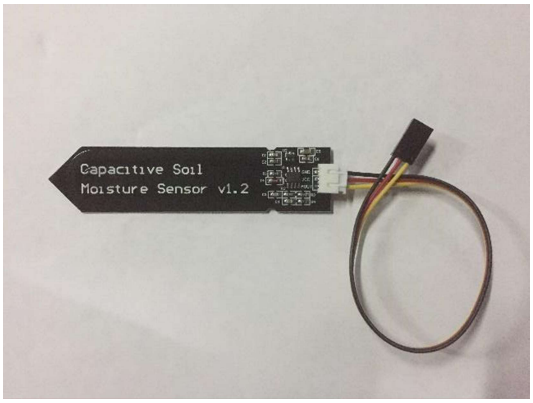


รูปที่ 7 เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน

2.3.2 เซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นชนิดความจุไฟฟ้า

เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินชนิดความจุไฟฟ้า (Capacitive soil moisture sensor) วัดระดับความชื้นในดินจากการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณใกล้กับพื้นผิวของเซ็นเซอร์ ทำงานที่ความถี่ต่ำ และไม่ต้องการคุณสมบัติการนำกระแส ทำให้ใช้วัสดุที่ไม่กัดกร่อนได้ ทำให้การทำงานของเซ็นเซอร์มีทนทานและเชื่อถือได้มากกว่าชนิดความต้านทาน [10]

เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินชนิดความจุไฟฟ้าที่เลือกใช้ศึกษา แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน

เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน SHT10 [5] ดังรูปที่ 9 เป็นเซ็นเซอร์อีกตัวหนึ่งที่ถูกเลือกมาศึกษา เซ็นเซอร์ชนิดนี้ถูกออกแบบมาให้กันน้ำ โดยมีปลอกโลหะหุ้มเซ็นเซอร์ชนิดความจุไฟฟ้าไว้ด้านในกันไม่ให้น้ำรั่วซึมเข้าไป แต่อากาศสามารถเข้าไปได้ ทำให้ SHT10 สามารถใช้งานได้แม้ว่าจะจุ่มอยู่ในน้ำไม่เกิน 1 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการวัดความชื้นในดิน ±4.5 %RH

รูปที่ 9 เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน SHT10

ตารางที่ 3 ราคาเซ็นเซอร์ความชื้นในดินที่เลือกใช้ในการศึกษา

เซ็นเซอร์	Resistive	Capacitive	SHT10
ราคา (บาท/ชิ้น)	85	50	1006
ย่านวัด (%RH)	0-100%	0-100%	0-100%
ความแม่นยำ (% RH)	-	-	±4.5
การเชื่อมต่อ	Analog 0 - 2.3V_{DC}	Analog 0 - 3V_{DC}	I^2C

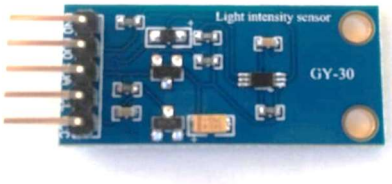
2.4 เซ็นเซอร์วัดแสง

การวัดความสว่าง (illuminance) มีหน่วยเป็นลักซ์ หรือลูเมนต่อตารางเมตร เซ็นเซอร์มีอย่าง เช่น โฟโตไดโอด (photodiodes) โฟโตทรานซิสเตอร์ (phototransistor) โฟโตดาลิงตัน (photodarlington) หลอดโฟโตมัลติไพลเออร์ (photomultiplier tube) โฟโตรีซิสเตอร์ (photoresistor) ไอซี (integrated circuit) และ เทอร์โมไพล์ (thermopile) เป็นต้น [11] โดยราคาของเซ็นเซอร์ที่เลือกศึกษาแสดงในตารางที่ 4

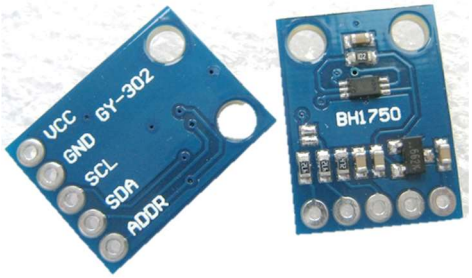
2.4.1 เซ็นเซอร์วัดแสงแบบโฟโตรีซิสเตอร์

โฟโตรีซิสเตอร์เป็นตัวต้านทานชนิดหนึ่ง ซึ่งความต้านทานจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มของแสงที่ตกกระทบมีค่าสูงขึ้น มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า ตัวต้านทานแปรตามแสง (light dependent resistor or LDR) โดยพลังงานจากแสงกระตุ้นให้อิเล็กตรอนของโฟโตรีซิสเตอร์เคลื่อนที่ได้

เซ็นเซอร์ที่เลือกใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่ GY-30(BH1750) และ GY-302 [12] ดังรูปที่ 10 และ 11 วงจรภายในเซ็นเซอร์ประกอบไปด้วย โฟโตรีซิสเตอร์ต่อกับตัวต้านทาน ทำให้ได้ค่าแรงดันที่แปรตามค่าแสงตามหลักการแบ่งแรงดัน (voltage division) ใช้แรงดันไฟเลี้ยงในช่วง 2.4V - 3.6V มีความละเอียด 16 บิต ได้ค่า 1-65536 หน่วยเป็นลักซ์ ระยะเวลาในการวัดแต่ละครั้ง ประมาณ 120 มิลลิวินาที



รูปที่ 10 อุปกรณ์สำหรับวัดความเข้มแสงสว่าง GY-30

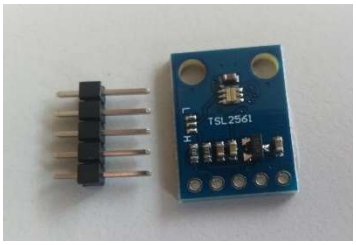


รูปที่ 11 อุปกรณ์สำหรับวัดความเข้มแสงสว่าง BH1750 และ GY-302

2.4.2 เซ็นเซอร์วัดแสงแบบโฟโตไดโอด

โฟโตไดโอด เป็นไดโอดที่มีความไวต่อแสง โดยกระแสสามารถไหลผ่านได้มากขึ้น เมื่อความสว่างของแสงเพิ่มขึ้น และกระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้ในทิศทางเดียว

เซ็นเซอร์ที่เลือกใช้ในการศึกษานี้คือ TSL2561 ดังรูปที่ 12 การใช้งานเชื่อมต่อแบบ I2C (มีขา SCL และ SDA) และมีย่านการวัด 0.1 ถึง 40,000 Lux



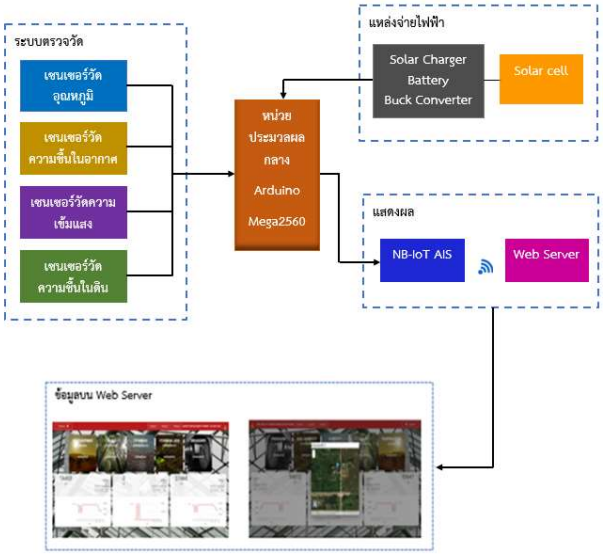
รูปที่ 12 อุปกรณ์สำหรับวัดความเข้มแสง TSL2561

ตารางที่ 4 ราคาเซ็นเซอร์แสงที่เลือกใช้ในการศึกษา

เซ็นเซอร์	TSL2561	GY-302	GY-30
ราคา (บาท/ชิ้น)	118	60	90
ย่านวัด (ลักซ์)	0.1 - 40000	0 - 65535	0 - 65535
การเชื่อมต่อ	I^2C	I^2C	I^2C

3. การใช้งานและเก็บข้อมูล

การใช้งานเซ็นเซอร์ ทำโดยการต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณทางไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์และแปลผลเป็นค่าวัด จากนั้นส่งข้อมูลไปเก็บไว้บนเซิร์ฟเวอร์ผ่านระบบอินเตอร์เนตทุกสรรพสิ่ง อย่างไรก็ตาม ระบบการเก็บข้อมูลที่สร้างขึ้นในการศึกษานี้ ใช้การสำรองข้อมูลด้วยการบันทึกลงเอสดีการ์ด และบันทึกค่าตามเวลาจริง ระบบใช้แหล่งจ่ายจากแบตเตอรีที่ชาร์จจากแผงโซลาเซลล์ เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถทำงานในพื้นที่ ที่ไม่มีระบบไฟฟ้า หรือไม่มีจุดต่อกับสายไฟฟ้า ดังแผนภาพรูปที่ 13

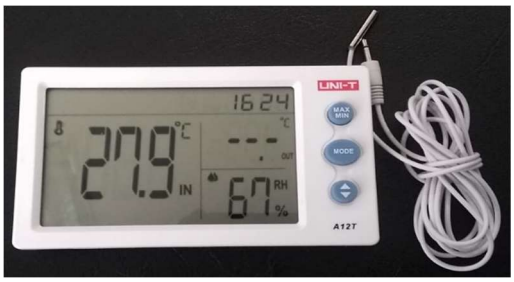


รูปที่ 13 แผนภาพระบบการเก็บข้อมูลที่วัดได้จากเซ็นเซอร์

ข้อมูลที่วัดได้ถูกนำมาวิเคราะห์โดยการพิจารณาจำนวนค่าผิดพลาด เปรียบเทียบค่าที่ได้ระหว่างเซ็นเซอร์ชนิดเดียวกัน และเปรียบเทียบค่ากับอุปกรณ์เครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการ สองชนิด ได้แก่ เครื่องวัดอุณหภูมิ UNI-T A12T Widescreen Digital Temperature Humidity Meter ดังรูปที่ 14 และเครื่องวัดแสง Lurton LX-1128SD ดังรูปที่ 15 และเครื่องมือวัดมีคุณสมบัติดังตารางที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของเครื่องวัดอุณหภูมิ UNI-T A12T Widescreen Digital Temperature Humidity Meter

การวัด	ย่าน	ความละเอียด	ความถูกต้อง
อุณหภูมิ	-10 ~ 50 °C (14 ~ 122 °F)	0.1 °C (0.1 °F)	± 1 °C (± 1.8 °F)
ความชื้น	10 ~ 99% RH	1% RH	± 5% RH



รูปที่ 14 UNI- T A12T Widescreen Digital Temperature Humidity Meter

ตารางที่ 6 คุณสมบัติของเครื่องวัดแสง Lurton LX-1128SD

หน่วยการวัด	ย่าน	ความละเอียด	ความถูกต้อง
Lux	2,000	1	± (4% + 2 dgt)
	20,000	10	
	100,000	100	
Feet-candle	200	0.1	± (4% + 2 dgt)
	2,000	1	± (4% + 2 Ft-cd)
	10,000	10	± (4% + 20 Ft-cd)

รูปที่ 15 เครื่องวัดแสง Lurton LX-1128SD

4. ข้อมูลการทำงานของเซ็นเซอร์

เซ็นเซอร์ถูกติดตั้ง 3 ชุด อยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน ภายในพื้นที่ฟาร์ม เพื่อทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ในพื้นที่จริง ตำแหน่งที่ 1 ติดตั้งภายในโรงเรือนหลังคาโค้ง ดังรายละเอียดใน [13] ในโรงเรือนมีการปลูกพืช และมีการให้น้ำระบบน้ำหยดในช่วงเช้า ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3 ติดตั้งภายนอกโรงเรือน โดยตำแหน่งที่ 2 ติดตั้งด้านหน้าห่างจากทางเข้าสองเมตร และตำแหน่งที่ 3 ห่างจากตำแหน่งที่ 2 ไป 20 เมตร ระยะเวลาในการทดสอบการทำงานในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ รวมทั้งสิ้น 4 เดือน มีการวัดค่าข้อมูลทุกๆ 15 นาที ได้จำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 3,254 จุด วิเคราะห์ผลข้อมูลที่เซ็นเซอร์ส่งค่าจากการวัดได้ (Availability) การเปรียบเทียบค่าที่ได้ระหว่างเซ็นเซอร์ชนิดเดียวกัน การเปรียบเทียบค่ากับอุปกรณ์เครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการ

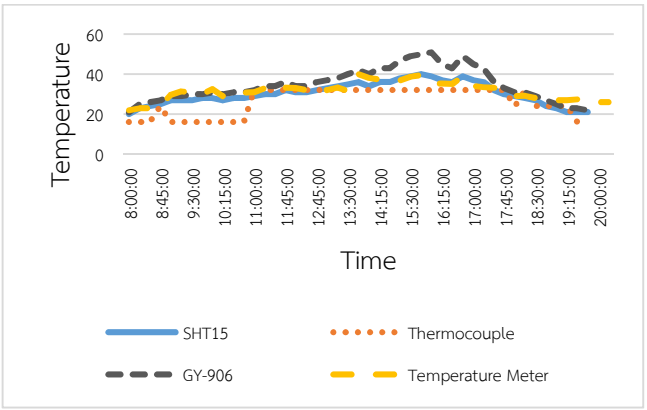
4.1 การทำงานของเซ็นเซอร์อุณหภูมิ

ร้อยละของจำนวนข้อมูลที่เซ็นเซอร์สามารถส่งค่าการวัดได้ ในแต่ละตำแหน่ง แสดงดังตารางที่ 7 โดยในตำแหน่งที่ 1 เซ็นเซอร์ SHT15 ส่งค่าไม่ได้เพียงครั้งเดียว และเซ็นเซอร์ตัวอื่นๆ ส่งค่าได้ทุกครั้ง ในตำแหน่งที่ 2 SHT15 มีปัญหาในการส่งค่า โดยส่งได้ร้อยละ 96 เนื่องจากในระหว่างการทำงานเซ็นเซอร์เกิดมีการสัมผัสกับน้ำโดยตรง ส่วนในตำแหน่งที่ 3 เซ็นเซอร์ทุกตัวทำงานได้สม่ำเสมอ

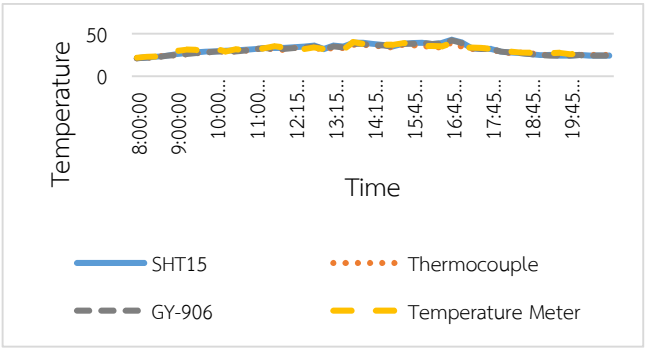
ตารางที่ 7 ร้อยละของจำนวนข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์อุณหภูมิ

ตำแหน่ง	เทอร์โมคัปเปิล	SHT15	GY-906
1	100	100	100
2	100	96	100
3	100	100	100

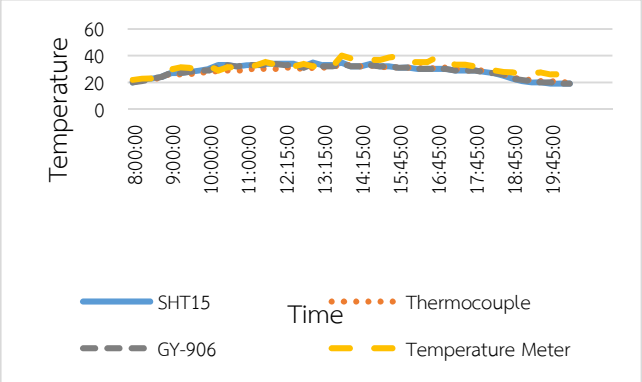
ค่าข้อมูลอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียสในช่วงเวลาระหว่าง 8.00 – 20.00 น. ที่วัดได้จากเซ็นเซอร์อุณหภูมิ และอุปกรณ์เครื่องมือวัด UNI-T A12T temperature meter ในตำแหน่งที่ 1 – 3 แสดงดังรูปที่ 16 – 18



รูปที่ 16 ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และ UNI-T A12T temperature meter ที่ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 17 ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และ UNI-T A12T temperature meter ที่ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 18 ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และ UNI-T A12T temperature meter ที่ตำแหน่งที่ 3

จากการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ และค่าจาก UNI-T A12T temperature meter พบว่าค่าข้อมูลจาก SHT15 มีความใกล้เคียงกับค่าจากมิเตอร์มากที่สุด โดยมีความต่างของข้อมูลเฉลี่ยร้อยละ 2.3 ค่าที่ได้จาก GY-906 และเทอร์โมคัปเปิล มีความต่างของข้อมูลเฉลี่ย เมื่อเทียบกับค่าจากมิเตอร์คิดเป็นร้อยละ 9.6 และ 11.1 ตามลำดับ

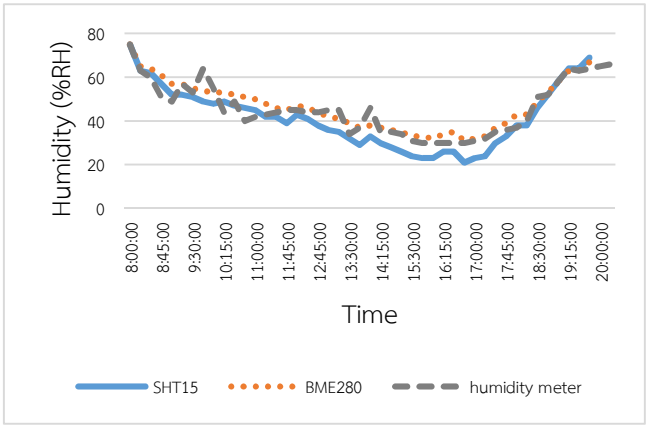
4.2 การทำงานของเซ็นเซอร์วัดความชื้นในอากาศ

ร้อยละของจำนวนข้อมูลที่เซ็นเซอร์สามารถส่งค่าการวัดได้ ในแต่ละตำแหน่ง แสดงดังตารางที่ 8 โดยในตำแหน่งที่ 2 เซ็นเซอร์ SHT15 ส่งค่าไม่ได้ร้อยละ 4 และเซ็นเซอร์ตัวอื่นๆ ส่งค่าได้ทุกครั้ง

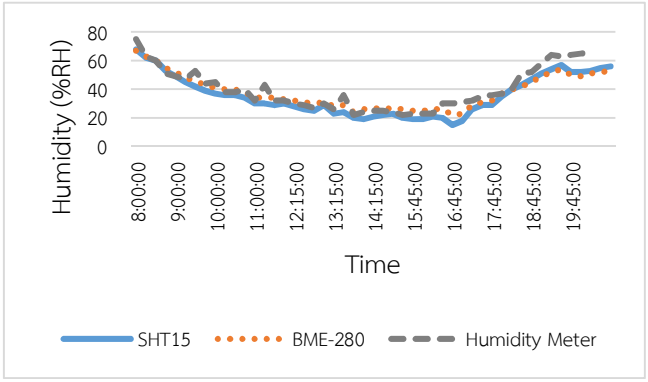
ตารางที่ 8 ร้อยละของจำนวนข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์วัดความชื้นในอากาศ

ตำแหน่ง	BME280	SHT15
1	100	100
2	100	96
3	100	100

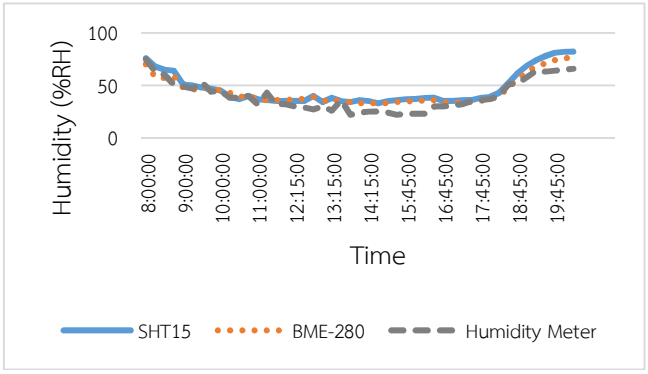
ตัวอย่างค่าความชื้นในอากาศในช่วงเวลา 8.00 – 20.00น. ที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ความชื้นในอากาศ และอุปกรณ์เครื่องมือวัด UNI-T A12T humidity meter ในตำแหน่งที่ 1 – 3 แสดงดังรูปที่ 19 – 21



รูปที่ 19 ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความชื้นในอากาศ และ UNI-T A12T humidity meter ที่ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 20 ข้อมูลเซ็นเซอร์วัดความชื้นในอากาศ และ UNI-T A12T humidity meter ที่ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 21 ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความชื้นในอากาศ และ UNI-T A12T humidity meter ที่ตำแหน่งที่ 3

จากการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ และค่าจาก UNI-T A12T humidity meter พบว่าค่าข้อมูลจาก BME280 มีความใกล้เคียงกับค่าจากมิเตอร์มากกว่า SHT15 โดยมีความต่างของข้อมูลเฉลี่ยร้อยละ 7.8 และ 12.1 ตามลำดับ

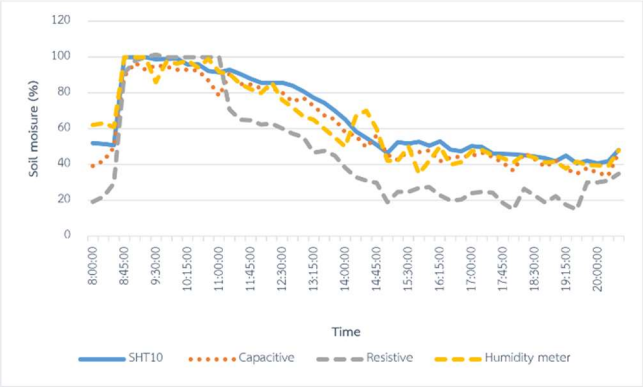
4.3 การทำงานของเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน

ร้อยละของจำนวนข้อมูลที่เซ็นเซอร์สามารถส่งค่าการวัดได้ ในแต่ละตำแหน่ง แสดงดังตารางที่ 9 โดย เซ็นเซอร์ชนิดความต้านทาน เริ่มเสียหลังจากใช้งานไปประมาณหนึ่งเดือนในทุกตำแหน่งที่ติดตั้ง ดังนั้นจึงมีจำนวนข้อมูลที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ชนิดความต้านทานเพียงร้อยละ 17 – 35.8 ในขณะที่ข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์อีกสองชนิด มีจำนวนมากกว่าร้อยละ 90 ในทุกตำแหน่ง โดยมีจำนวนข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ชนิดความจุไฟฟ้ามากที่สุด ในช่วงร้อยละ 98.6 – 100

ตารางที่ 9 ร้อยละของจำนวนข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ความชื้นในดิน

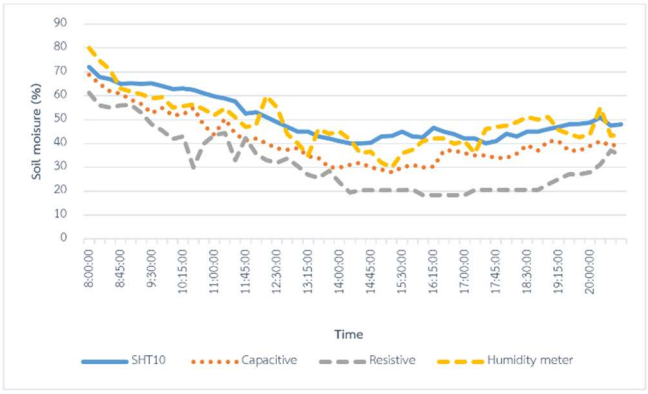
ตำแหน่ง	Resistive	Capacitive	SHT10
1	22.8	100	93
2	17	99.4	97.7
3	35.8	98.6	100

ตัวอย่างค่าความชื้นในดิน ในช่วงเวลา 8.00 – 20.00น. ที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ความชื้นในดิน และอุปกรณ์เครื่องมือวัด UNI-T A12T humidity meter ในตำแหน่งที่ 1 – 3 แสดงดังรูปที่ 22 – 24



รูปที่ 22 ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินและ UNI-T A12T humidity meter ที่ตำแหน่งที่ 1

รูปที่ 23 ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินและ UNI-T A12T humidity meter ที่ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 24 ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินและ UNI-T A12T humidity meter ที่ตำแหน่งที่ 3

ค่าความชื้นในดินที่ตำแหน่งที่ 1 ซึ่งอยู่ในโรงเรือน มีการให้น้ำในช่วงเวลาประมาณ 8.30น. ทำให้ความชื้นเพิ่มค่าไปถึงร้อยละ 100 และความชื้นค่อยๆ ลดค่าลง เนื่องจากในเวลากลางวันอุณหภูมิสูง ทำให้น้ำระเหยออกไป และค่าความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงค่ำ

จากค่าข้อมูลที่เก็บได้ เห็นว่า ค่าความชื้นในดินทั้งหมด มีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน และค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์ SHT10 เซ็นเซอร์ชนิดความจุไฟฟ้าและชนิดความต้านทาน มีค่าต่างจากที่วัดได้จากมิเตอร์ร้อยละ 9, 11 และ 29 ตามลำดับ

4.4 การทำงานของเซ็นเซอร์วัดแสง

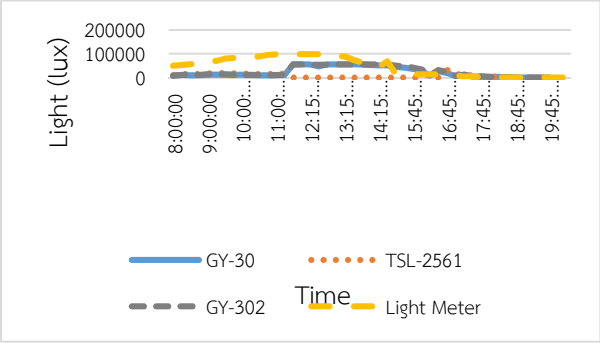
ร้อยละของจำนวนข้อมูลที่เซ็นเซอร์สามารถส่งค่าการวัดได้ ในแต่ละตำแหน่ง แสดงดังตารางที่ 10 โดยในตำแหน่งที่ 1 เซ็นเซอร์ GY-30 ส่งค่าไม่ได้เพียงครั้งเดียว และ GY-302 เสียหลังจากใช้งานไปประมาณ 3 เดือน เซ็นเซอร์ GY-30 และ GY-

302 ที่วางไว้ในตำแหน่งที่ 2 และ 3 มีการทำงานสม่ำเสมอร้อยละ 99 แต่ TSL2561 มีการทำงานร้อยละ 87.3 และ 71 ตามลำดับ โดยพบว่าที่แสงสว่างจ้า เซ็นเซอร์มักไม่ส่งค่าที่วัดได้ MCU แปลค่าได้ 0 ลักซ์ อย่างไรก็ตามค่าสูงสุดที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ตัวนี้ในตำแหน่งที่ 3 มีค่า 58311 ลักซ์

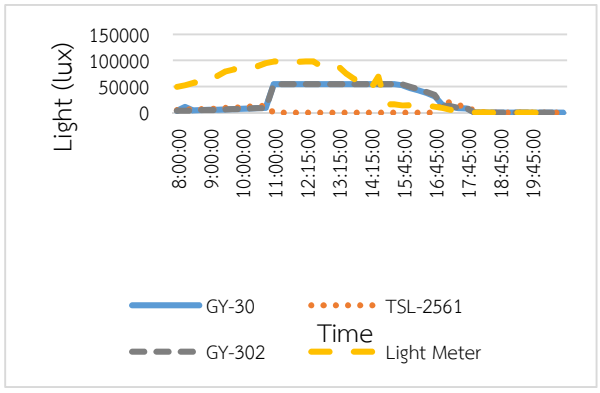
ตารางที่ 10 ร้อยละของจำนวนข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์วัดแสง

ตำแหน่ง	GY-30	TSL2561	GY-302
1	100	100	89
2	99.4	87.3	99.4
3	99	71	99

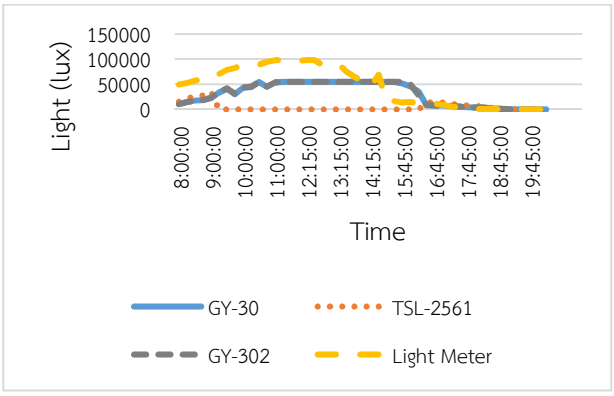
ตัวอย่างค่าข้อมูลแสงในช่วงระหว่าง 8.00 – 20.00 น. ที่วัดได้จากเซ็นเซอร์แสง และเครื่องมือวัดแสง Lurton LX-1128SD light meter ในตำแหน่งที่ 1 - 3 แสดงดังรูปที่ 25 – 27



รูปที่ 25 ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดแสง และ Lurton LX-1128SD light meter ที่ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 26 ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดแสง และ Lurton LX-1128SD light meter ที่ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 27 ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดแสง และ Lurton LX-1128SD light meter ที่ตำแหน่งที่ 3

จากการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ และค่าจาก Lurton LX-1128SD light meter พบว่าหากพิจารณาค่าข้อมูลในทุกจุด ข้อมูลจาก GY-30 และ GY-302 มีความต่างของข้อมูลเฉลี่ยร้อยละ 43.4 และ 43.9 ตามลำดับ ส่วนค่าที่ได้จาก TSL-2561 มีความต่างของข้อมูลเฉลี่ย เมื่อเทียบกับค่าจากมิเตอร์คิดเป็นร้อยละ 72.3 แต่หากพิจารณาข้อมูลในช่วงที่มีแสงน้อย วัดในเวลา 17.00 – 20.00 น. พบว่าค่าข้อมูลจาก GY-30 และ GY-302 มีความต่างของข้อมูลเฉลี่ยร้อยละ 5.2 เท่ากัน และค่าจาก TSL-2561 มีความต่างของข้อมูลเฉลี่ย เมื่อเทียบกับค่าจากมิเตอร์คิดเป็นร้อยละ 9.4

5. การอภิปรายผล

จากการเปรียบเทียบเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิทั้งสามชนิด เซ็นเซอร์เทอร์โมคัปเปิลมีราคาถูกที่สุด และ SHT15 มีราคาแพงที่สุด โดยมีราคาประมาณ 4 เท่าของเทอร์โมคัปเปิล และ 2.5 เท่าของ GY-906 โดยเซ็นเซอร์ทั้งสามชนิดมีความสม่ำเสมอในการวัดค่าเท่าๆ กัน โดยสามารถส่งค่าที่มีการวัดได้ร้อยละ 100 ตลอดเวลาของการเก็บข้อมูล 4 เดือน โดยให้ค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการ แต่ GY-906 มีแนวโน้มความไว และให้ค่าอุณหภูมิที่วัดได้สูงกว่าเซ็นเซอร์ตัวอื่น ดังนั้นหากคิดถึงความคุ้มค่า เกษตรกรสามารถเลือกใช้เซ็นเซอร์เทอร์โมคัปเปิลได้ แต่อย่างไรก็ตาม SHT15 สามารถใช้วัดความชื้นได้ด้วย ดังนั้นหากต้องการใช้วัดค่าความชื้นในอากาศด้วย เช่นในฟาร์มที่ปลูกเมล่อน ซึ่งค่าความชื้นในอากาศมีผลต่อการเกิดโรค เซ็นเซอร์ SHT15 ก็เป็นตัวที่ควรพิจารณาเลือกใช้

เมื่อเปรียบเทียบเซ็นเซอร์วัดความชื้นในอากาศสองชนิด BME280 มีราคาถูกกว่า SHT15 ครึ่งหนึ่ง และให้ผลการวัดสม่ำเสมอ ให้ค่าการวัดใกล้เคียงกับ SHT15 และค่าจากเครื่องมือวัด ดังนั้นการใช้ BME280 ก็เป็นตัวเลือกที่ให้ความคุ้มค่า

เซ็นเซอร์ที่มีความสำคัญมากในงานเกษตรอีกอย่างคือเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน ซึ่งจากการเปรียบเทียบราคาของเซ็นเซอร์สามชนิด เซ็นเซอร์แบบความจุไฟฟ้าและแบบความต้านทานมีราคาย่อมเยาว์ ในการศึกษานี้ เซ็นเซอร์แบบความจุไฟฟ้ามีราคาถูกที่สุด และเซ็นเซอร์ SHT10 มีราคาแพงที่สุด โดยมีราคาประมาณ 16 เท่าของราคาเซ็นเซอร์แบบความจุไฟฟ้า และประมาณ 9 เท่าของราคาเซ็นเซอร์แบบความต้านทาน โดยระยะเวลาการใช้งานเซ็นเซอร์แบบความต้านทานสั้นมากที่สุด สามารถส่งข้อมูลที่วัดได้ในช่วงเดือนแรกซึ่งคิดเป็นจำนวนข้อมูลร้อยละ 20-30 ซึ่งหากเปรียบเทียบค่าที่วัดได้เซ็นเซอร์ทุกตัววัดค่าได้แตกต่างกัน โดย SHT10 มีแนวโน้มวัดได้ค่าความชื้นสูงที่สุด และรองลงมาคือเซ็นเซอร์แบบความจุไฟฟ้า ซึ่งทั้งสองชนิดนี้มีแนวโน้มของการเปลี่ยนค่าขึ้นลงในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นหากคิดถึงความคุ้มค่า สามารถเลือกใช้เซ็นเซอร์แบบความจุไฟฟ้าได้ และสามารถปรับค่า (calibration) เพื่อให้แม่นยำขึ้นด้วยการเทียบเคียงกับเครื่องมือวัดที่เชื่อถือได้อย่างง่ายด้วยการใช้การบวกเพิ่มหรือลดค่า (offset)

สำหรับเซ็นเซอร์วัดแสง เมื่อพิจารณาราคา พบว่า GY-302 ถูกที่สุด ส่วน GY-30 มีราคาสูงกว่าประมาณ 1.5 เท่า และ TSL2561 มีราคาสูงที่สุด ประมาณ 2 เท่าของ GY-302 ค่าการวัดของเซ็นเซอร์ GY-30 และ GY-302 มีค่าใกล้เคียงกัน ลักษณะการทำงาน ความสม่ำเสมอในการส่งข้อมูลวัดที่เป็นไปได้เท่ากัน ทั้งนี้เซ็นเซอร์ทั้งสองตัวมีพื้นฐานจากการทำงานของ IC ชนิดเดียวกัน ดังนั้นการเลือกใช้ GY-302 จะทำให้คุ้มค่าที่สุดในทางเศรษฐศาสตร์ ส่วน TSL2561 มีความสม่ำเสมอของการวัดค่าต่ำ เซ็นเซอร์ไม่สามารถให้ค่าแสงในช่วงเวลากลางวันที่มีแสงสว่างจ้า แต่สามารถให้ค่าแสงในช่วงที่มีแสงสว่างน้อยเช่น ในช่วงเวลา 17.00 – 18.00 น. อย่างไรก็ตาม เซ็นเซอร์ทั้งหมดมีช่วงการวัดไม่ครอบคลุมแสงสว่างในที่โล่งขณะช่วงเวลากลางวัน ดังนั้นสำหรับพืชที่ปลูกกลางแจ้งต้องการแสงเต็มที่ร้อยละร้อย ไม่จำเป็นต้องวัดแสง และควรใช้สำหรับพืชที่ไม่ชอบแสงสว่าง เช่น เห็ด เป็นต้น

6. สรุปผลการศึกษา

ในการเลือกใช้เซ็นเซอร์วัดค่าสภาพแวดล้อมสำหรับพืช มีเงื่อนไขพิจารณาขึ้นอยู่กับความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมของพืชแต่ละชนิด และมูลค่าของผลผลิต หากพืชมูลค่าสูง ควรเลือกให้เซ็นเซอร์ที่ให้ความถูกต้องและความสม่ำเสมอในการวัดสูง เช่นในการวัดอุณหภูมิ ความชื้น ควรเลือกใช้ SHT15 หรือ BME280 และในการวัดค่าความชื้นในดิน ควรเลือกใช้งาน SHT10 แต่หากคำนึงถึงความคุ้มค่าเป็นหลัก ควรเลือกใช้งานเซ็นเซอร์ที่มีราคาย่อมเยาลงมา ได้แก่ เทอร์โมคัปเปิล และเซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นในดินแบบความจุไฟฟ้า ส่วนการใช้เซ็นเซอร์วัดแสง GY-302 มีความคุ้มค่ามากที่สุด อย่างไรก็ตามเซ็นเซอร์เหล่านี้มีความไวต่อการสัมผัสน้ำหรือละอองน้ำ ดังนั้นในการติดตั้งใช้งาน ต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษในเรื่องนี้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาเปรียบเทียบการทำงานของเซ็นเซอร์ที่ใช้ในงานด้านการเกษตรนี้ ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจาก กองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน แผนเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ในโครงการสนับสนุนทุนวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษา สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

เอกสารอ้างอิง

[1] Ullah A, Ahmad J, Muhammad K, Lee MY, Kang B, Soo OB, et al. A survey on precision agriculture: technologies and challenges. *The 3rd International Conference on Next Generation Computing (ICNGC2017b)*, 2017.

[2] Lee WS, Alchanatis V, Yang C, Hirafuji M, Moshou D, Li C, Sensing technologies for precision specialty crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2010;74:2–33.

[3] Mohammed A, Babani S, Sanka AL, Abdullahi NA, A comparative study between different types of

temperature sensor. *International Journal of Industrial Electronics and Electrical Engineering*.2015;3(2):11-13.

[4] Makinwa KAA, Smart temperature sensors in standard CMOS. *In The Proceeding of Eurosensors XXIV, Linz, Austria, September 5-8*, 2010.

[5] Sensirion the sensor company, Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15), Humidity and temperature IC. Available from: https://cdn.sparkfun.com/ data sheets/ Sensors/ Pressure/ Sensirion_Humidity_SHT1x_Datasheet_V5.pdf]

[6] Merchant J, Infrared temperature measurement theory and application. *Omega Engineering*. Available from: https:// www.omega.com/en-us/ resources /infrared-temperature-measurement-theory-application. [Accessed October 2, 2018]

[7] Waber T, Sax M, Pahl W, Stufler S, Leidl A, Günther M, Feiertag G. Fabrication and characterization of a piezoresistive humidity sensor with a stress-free package. *Journal of Sensors and Sensor Systems*. 2014;3: 167–175.

[8] Aniley AA, Kumar N, Kumar A, Soil moisture sensors in agriculture and the possible application of nanomaterials in soil moisture sensors fabrication. *International Journal of Advanced Engineering Research and Technology*.2018;6(1):134-142.

[9] Patil PR, Nagarajan K, Kottiswaran SV, Arulmozhiselvan K. Performance evaluation of soil moisture sensor in red soil for effective water management. *International Journal of Agriculture Sciences*. 2017;9(39): 4608-4611.

[10] Barapatre P, Patel JN, Determination of soil moisture using various sensors for irrigation water management. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*.2019;8(7): 2278 -3075.

[11] Godfrey L. Choosing the detector for your unique light sensing application. Available from: https: //johnloomis.org/ece445/topics/egginc/tp4.html

[12] Elechouse, Datasheet bh1750fvi. Available from: http://www.elechouse.com/elechouse/images/ product/Digital light Sensor/bh1750fvi-e.pdf]

[13] บงกช สุขอนันต์, มงคล ปุษยตานนท์, ฐิติมา คำหาร, ณัฏฐชา พิสุราช, อภิสิทธิ์ ชาวไทย. การพัฒนาโรงเรือนปลูกพืชและระบบตรวจวัดสำหรับโรงเรือนปลูกพืชด้วย IoT. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ*. 2564;14(3):132-142.