ชุดตรวจอากาศอัตโนมัติภาคสนามและระบบสมาร์ทอุตุนิยมวิทยาเพื่อการเกษตร
Automatic in-field weather stations and smart Met4Agriculture system

พัชรา เพชรวิโรจน์ชัย[1*], ธัชนันท์ แดงกนิษฐ์ สิทธิวรนันท์[2], เกษรินตร์ ห่านประเสริฐ[3], วัชรพล ทรัพย์วัฒน์[4], โกสินทร์ นวลจุ้ย[5], ปราโมทย์ สีฆ้อง[5], เขมิกา พงษ์เมธี[5] และ สมปราชญ์ ศรีถกล[6]
Patchara Petvirojchai[1], Touchanun Dangkanit Sitthiworanun[2], Kesrin Hanprasert[3,]
Watcharapol Subwat[4], Kosin Nualjuice[5], Pramote Seekhong[5], Khemika Pongmethee[5]
and Somprat Srithagon[6]

Received: 15 August 2023 ; **Revised**: 7 November 2023 ; **Accepted**: 29 November 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดตรวจอากาศอัตโนมัติภาคสนามสำหรับติดตั้งในแปลงเกษตรที่มีสภาพอากาศและชนิดพืชแตกต่างกันและแสดงผลการตรวจวัดในระบบสมาร์ทอุตุนิยมวิทยาเพื่อการเกษตร (Met4Agriculture) โดยออกแบบชุดตรวจอากาศอัตโนมัติให้การทำงานของอุปกรณ์ภายในใช้พลังงานแสงอาทิตย์และประกอบด้วยเซนเซอร์ 5 ชนิด คือ เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณฝน ความเข้มแสง ความชื้นในดินที่ระดับความลึกจากผิวดิน 10 เซนติเมตร โดยเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณฝน ความชื้นในดินผ่านการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือจากกรมอุตุนิยมวิทยาและความเข้มแสงผ่านการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือจากมหาวิทยาลัยศิลปากร ผลการสอบเทียบพบว่าเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 1 องศาเซลเซียส และ 1-3 %RH ตามลำดับ เซนเซอร์วัดปริมาณน้ำฝนมีความคลาดเคลื่อน + 3 มิลลิเมตร เซนเซอร์วัดความเข้มแสงวัดค่าความสว่างน้อยกว่าค่าตรวจวัดจริง 1.17 เท่า เซนเซอร์วัดความชื้นในดินมีค่าความชื้นที่วัดได้กับปริมาณความชื้นในดินที่คำนวณมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสองเข้าใกล้ 1 นอกจากนี้ได้ออกแบบโปรแกรมทำงานบนลิลี่โก (LILYGO) และพัฒนาโปรแกรม Met4Agriculture โดยระบบจะเชื่อมต่อข้อมูลจากระบบไอโอที เน็ตพาย (IoT NETPIE) เพื่อนำข้อมูลตรวจวัดจากสถานีมาแสดงผล โปรแกรมจะอ้างอิงจุดสถานีตรวจวัดจาก id และ token จากระบบ NETPIE และพัฒนาต่อยอดเป็น Met4Agriculture Application รองรับทุกแพลตฟอร์ม สามารถแสดงค่าข้อมูลที่บันทึกไว้ในอดีตเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในฤดูกาลต่าง ๆ และกำหนดค่าเทรชโฮลด์ (threshold) ในแต่ละพารามิเตอร์ที่จะมีผลกระทบต่อพืชผลทางการเกษตรในแต่ละช่วงฤดูได้

ผลการวิจัยนี้สามารถพัฒนาชุดตรวจอากาศอัตโนมัติต้นแบบต้นทุนต่ำที่มีความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดไม่แตกต่างจากเครื่องมือมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อนำชุดตรวจอากาศอัตโนมัติที่พัฒนาแล้วไปติดตั้งในพื้นที่ทั้ง 5 ภาคของประเทศไทย สามารถรับ-ส่งและแสดงผลข้อมูลการตรวจวัดออนไลน์ผ่านเว็บแอปพลิเคชันและระบบสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการไอโอเอสและแอนดรอยด์แบบเรียลไทม์ได้อย่างต่อเนื่อง

คำสำคัญ: ชุดตรวจอากาศอัตโนมัติ, โปรแกรม Met4Agriculture, ระบบ IoT NETPIE, เซนเซอร์

---

[1] ผู้อำนวยการศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน, ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ถนนมะลิวัลย์ ตำบลบ้านเป็ด อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000
[2] นักอุตุนิยมวิทยา ชำนาญการพิเศษ, ส่วนอากาศการบินสุราษฎร์ธานี ตำบลหัวเตย อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84130
[3] นักอุตุนิยมวิทยา ชำนาญการพิเศษ, กรมอุตุนิยมวิทยา 4353 ถนนสุขุมวิท แขวงบางนาใต้ เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260
[4] วิศวกร, กองเครื่องมืออุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา 4353 ถนนสุขุมวิท แขวงบางนาใต้ เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260
[5] นายช่างไฟฟ้า, กองเครื่องมืออุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา 4353 ถนนสุขุมวิท แขวงบางนาใต้ เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260
[6] นักอุตุนิยมวิทยา, กรมอุตุนิยมวิทยา 4353 ถนนสุขุมวิท แขวงบางนาใต้ เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260
[1] Director of the Upper Northeastern Meteorological Center, Tel 043 468 224, e-mail: patchara@hotmail.com, patchara@tmd.go.th
[2] Senior Meteorologist, e-mail: tochanun@gmail.com
[3] Senior Meteorologist, Tel 02 3991423, e-mail: kesrin_han@hotmail.com,
[4] Professional Engineer, Tel 0-2399-4568-74 e-mail: watcharapo2003@gmail.com
[5] Experienced Electrician, Tel 0-2399-4568-74, e-mail: wanasin9800@gmail.com, e-mail: admote.ps@gmail.com, e-mail: tae_taladplu028@hotmail.com
[6] Meteorologist, e-mail: srithagon.somprat@gmail.com
[*] Corresponding author e-mail: patchara@hotmail.com, patchara@tmd.go.th

Abstract

The purpose of the research was to develop an automatic in-field weather station specifically for use in agricultural environments. The station was set up for use in a variety of weather conditions and research plant species. To present the data collected, a smart system named Met4Agriculture was developed. Five sensors were included in the solar powered in-field weather station design: light intensity, temperature, relative humidity, rainfall, and soil moisture measured at a depth of 10 centimeters. The Thai Meteorological Department calibrated sensors for temperature, relative humidity, rainfall, and soil moisture; Silpakorn University was responsible for the calibration of the light intensity sensor. The calibration results showed that temperature and relative humidity sensors had an accuracy deviation of approximately 1 °C and 1-3 %RH, respectively. The variance of the rainfall sensor was $\pm$ 3 mm. The variance of the rainfall sensor was $\pm$ 3 mm. The light intensity sensor had a deviation 1.17 times less than the actual measured value. The soil moisture sensor's measured moisture level trended in the same direction as the calculated soil moisture level, with a coefficient of correlation between the two values close to 1. Additionally, a program was designed to run on the LILYGO system and develop the Met4Agriculture program. The system could connect data from the IoT NETPIE system to display the measurement data from the station. The program referenced the station's measurement points using the ID and token from the NETPIE system and further developed it into the Met4Agriculture Application, which is compatible with all platforms. It can display historical data for analysis of seasonal changes and set thresholds for each parameter that impacts agricultural crop performance during different seasons.

This research outcome enables the development of a low-cost prototype for an automatic in-field weather station monitoring system for agricultural field. The prototype system shows statistically significant measurement accuracy comparable to that of standard instruments. The developed stations were installed in all five regions in Thailand, this system can continuously collect, transmit, and display real-time monitoring data through a web application and real-time mobile applications, compatible with both iOS and Android operating systems.

Keywords: Automatic weather station system, Met4Agriculture program, IoT NETPIE system, sensor

บทนำ

กรมอุตุนิยมวิทยา ได้ติดตั้งสถานีตรวจอากาศผิวพื้นในเกือบทุกจังหวัด จำนวน 127 สถานี เพื่อตรวจวัดข้อมูลสารประกอบอุตุนิยมวิทยา โดยแต่ละสถานีมีระยะทางห่างไกลกันมาก ทำให้ค่าการตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยาบางชนิดข้อมูลไม่ใช่ข้อมูลที่เป็นตัวแทนของพื้นที่แต่ละแห่ง (WMO-No.8) ทำให้นักวิจัยด้านเทคโนโลยีการผลิตพืชและเกษตรกรแปลงใหญ่บางพื้นที่ไม่มีข้อมูลที่ต้องการเพื่อบริหารจัดการให้เหมาะสมกับพื้นที่และชนิดพืช โดยเฉพาะภาคการเกษตรจำเป็นที่ต้องใช้ประโยชน์จากข้อมูลพยากรณ์อากาศและข้อมูลการตรวจอากาศที่มีความถูกต้องแม่นยำ และมีข้อมูลการตรวจวัดสภาพอากาศแบบเรียลไทม์ในพื้นที่เพาะปลูกของตน ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการบริหารจัดการผลิตผลให้หมาะสมตามสภาพภูมิอากาศและเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น (Sonam Tenzin, 2017) แม้ว่าปัจจุบันจะมีชุดตรวจวัดอากาศจำหน่ายยราคาตั้งแต่ราคาหลักร้อยจนถึงหลักหมื่นบาท แต่หากจะให้ข้อมูลตรวจวัดเป็นที่เชื่อถือจะต้องใช้เครื่องมือตรวจวัดที่มีความถูกต้องและแม่นยำเหมาะสมกับการปฏิบัติงาน (คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)

จากปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดในการพัฒนาต้นแบบชุดตรวจอากาศอัตโนมัติภาคสนามต้นทุนต่ำประกอบด้วยเซนเซอร์ที่ผ่านการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือ จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณฝน ความชื้นในดินและความเข้มแสง รวมทั้งพัฒนาระบบสมาร์ทอุตุนิยมวิทยาเพื่อการเกษตร (Met4Agriculture) เพื่อแสดงผลข้อมูลการตรวจวัดออนไลน์ผ่านเว็บแอปพลิเคชันและระบบสมาร์ทโฟนที่ใช้ไอโอเอส (iOS) และแอนดรอยด์ (Android) แบบเรียลไทม์ เพื่อให้นักวิจัยและเกษตรกรมีข้อมูลสำหรับการวางแผนการเพาะปลูกในแปลงเกษตรของตนเอง เกิดการปรับเปลี่ยนรูปแบบเกษตรกรรมจากเดิมที่ผลผลิตไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศเป็นการทำเกษตรกรรมแบบนำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อลดค่าใช้จ่าย ช่วยยกระดับผลผลิตให้มีคุณภาพสูง ก้าวสู่การเป็นเกษตรกรยุคสมัยใหม่ที่ทำน้อยได้มาก

แนวคิด ทฤษฎีและกรอบแนวคิด

การพัฒนาชุดตรวจอากาศอัตโนมัติภาคสนามมีแนวคิด ทฤษฎีและกรอบแนวคิดงานวิจัย ดังนี้

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อการเกิดคลื่นความร้อน ภัยแล้ง รูปแบบของฝนในแต่ละฤดูกาล ฝนตกหนักและน้ำท่วม เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรอย่างมาก ดังนั้น หากสามารถพัฒนาชุดตรวจอากาศอัตโนมัติที่มีต้นทุนต่ำและมีผลการตรวจวัดที่ถูกต้องแม่นยำ สามารถแสดงผลการตรวจวัดผ่านทางเว็บไซต์หรือ Smart Device จะเป็นการผลิตนวัตกรรมต้นแบบที่ยกระดับเทคโนโลยีไทย ลดการนำเข้าจากต่างประเทศ เกษตรกรสามารถติดตั้งได้ด้วยตนเอง ราคาไม่แพง ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องตามมาตรฐานของข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ทำให้มีผลผลิตเพิ่มขึ้น ลดการสูญเสียในระบบการผลิตแบบเดิม เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น คุณภาพชีวิตดีขึ้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาชุดตรวจอากาศอัตโนมัติเพื่อนำมาประยุกต์เป็นแนวคิดในการออกแบบงานวิจัย อาทิ ธิษณิน พจน์พัฒนพล และคณะ (2558) ได้พัฒนาเครื่องวัดสภาพอากาศพื้นฐานอัตโนมัติที่ใช้เครื่องวัดปริมาณฝนแบบกึ่งทรงกระบอก หัววัดความกดอากาศและอุณหภูมิรุ่น BMP085 และหัววัดความชื้นสัมพัทธ์รุ่น DHT11 ใช้ในการเก็บค่าปริมาณฝน ความกดอากาศอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และประมวลผลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ATMEGA1280 งานวิจัยของ Nisakorn Kaewmai และคณะ (2565) ก็ได้พัฒนาชุดตรวจอากาศที่ประกอบด้วยเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแบบ DHT22 เซนเซอร์ตรวจวัดค่าความชื้นในดิน และเซนเซอร์ตรวจวัดค่าระดับน้ำในแปลงนา เชื่อมต่อกับหน่วยประมวลผลขนาดเล็กไมโครคอลโทรลเลอร์ NodeMCU โดยอุปกรณ์เซนเซอร์ทั้งสามทำงานร่วมกันผ่านหน่วยประมวลผล NodeMCU บนโปรแกรม Arduino IDE และข้อมูลตรวจวัดจะถูกส่งไปแสดงผลยังระบบ Cloud สาธารณะของเว็บไซต์ ThingSpeak และแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่น Blynk งานวิจัยของอุทัยและคณะ (2557) ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นในดินกับผลผลิตพืชปาล์มน้ำมัน และแสดงผลข้อมูลออนไลน์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตและระบบสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ IOS และ Android แบบเรียลไทม์ นอกจากนี้พันกร มนทอง (2560) ทำการศึกษาพลังงานแสงอาทิตย์โดยการออกแบบวงจรและสร้างโปรแกรมควบคุมการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ได้ โดยใช้บอร์ด ESP - 8266 ในการอ่านค่าจากไพรานอมิเตอร์ผ่านตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้ว ส่งค่าข้อมูลไปยังบอร์ด Raspberry pi ที่ทำหน้าที่ในการส่งค่าข้อมูลไปที่ NETPIE จากนั้น NETPIE ส่งข้อมูลไปที่ Raspberry pi ตัวที่ทำหน้าที่เป็นผู้ใช้ (User) ที่ทำหน้าที่จัดเก็บเป็นฐานข้อมูลแบบตามเวลาจริง (Real time) พบว่าพลังงานแสงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นและสูงสุดในช่วงเวลา 12.00 น. - 13.00 น. และจะลดลงหลังจากเวลาประมาณ 13.00 น. เป็นต้นไป

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1) การวัดค่าความชื้นในดิน (measuring soil water content) สมบูรณ์ และคณะ (2551) กล่าวว่าการวัดความชื้นของดิน สามารถทำการวัดได้ทั้งทางตรงและโดยอ้อม ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 4 วิธี ใหญ่ ๆ คือ

- วิธีวัดโดยน้ำหนัก (Gravimetric method) โดยการเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาน้ำหนักดินเปียก จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 -110 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักแห้งของดินคงที่ แล้วนำไปคำนวณโดยใช้สูตร

$$\theta_m = \frac{m_w}{m_s}$$

ในที่นี้ θ_m คือ ระดับความชื้นโดยมวล, m_w คือ มวลของน้ำในดิน และ m_s คือ มวลของดินแห้งสนิท หมายถึง ดินที่ผ่านการอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 - 110°C จนมีมวลคงที่ หรือคำนวณเป็นร้อยละของความชื้นด้วยสูตรการคำนวณ คือ

$$\text{ความชื้นโดยน้ำหนัก (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักดินเปียก - น้ำหนักดินอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักดินอบแห้ง}} \times 100$$

- การใช้แท่งวัดความต้านทานไฟฟ้า (electrical resistance block)

- การใช้เทนซิโอมิเตอร์ (Tensiometer)

- เครื่องวัดความชื้นด้วยนิวตรอน (neutron moisture gauge)

2) ความชื้นสัมพันธ์ของอากาศ (Relative Humidity) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเป็นอัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศต่อปริมาณไอน้ำที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน หรือ อัตราส่วนของความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงต่อความดันไอน้ำอิ่มตัว ซึ่งค่าความชื้นสัมพันธ์จะแสดงในรูปของร้อยละ (%) มีหน่วยเป็น %RH (กรมอุตุนิยมวิทยา)

3) NETPIE (Network Platform for Internet of Everything) เป็นคลาวด์แพลตฟอร์มสำหรับให้บริการเชื่อมต่อการสื่อสาร IoT ที่พัฒนาโดยศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) มีโครงสร้างสถาปัตยกรรมเป็นคลาวด์ในทุกองค์ประกอบ สามารถขยายตัวได้อย่างอัตโนมัติ ดูแลและซ่อมแซมตัวเองได้อัตโนมัติเมื่อส่วนหนึ่งส่วนใดในระบบมีปัญหา โดยไม่ต้องพึ่งผู้ดูแลระบบ การบริหารจัดการระบบเป็นแบบ Plug-and-Play ไม่ต้อง Configure หรือปรับแต่ง

ในส่วนของอุปกรณ์ NETPIE มี Client Library หรือที่เรียกว่า Microgear ทำหน้าที่สร้างและดูแลช่องทางสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กับ NETPIE รวมไปถึงรักษาความปลอดภัยในการส่งข้อมูล Microgear เป็น Open Source และสามารถดาวน์โหลดได้จาก https://github.com/netpieio(https://netpie.io/tutorials)

กรอบแนวคิดงานวิจัย

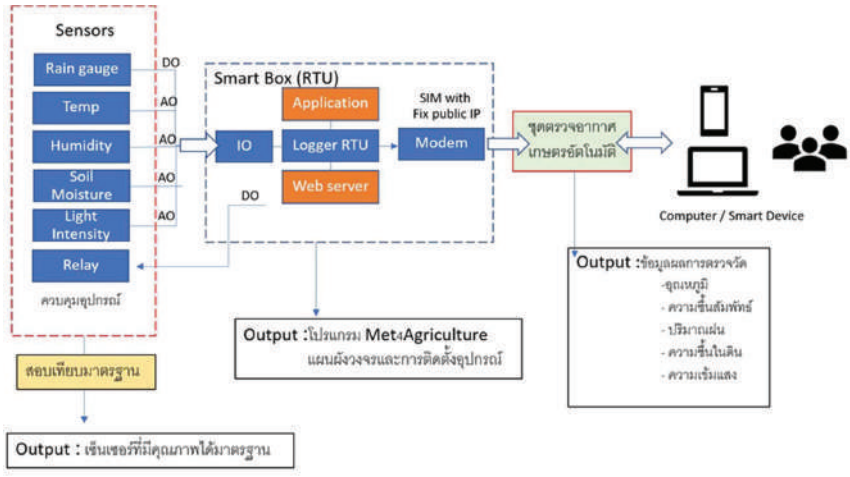

Figure 1 Conceptual Framework

กรอบแนวคิดงานวิจัย (Figure 1) จะพัฒนาชุดตรวจอากาศอัตโนมัติภาคสนามต้นทุนต่ำชุดเล็กสำหรับติดตั้งในแปลงเกษตร ประกอบด้วยเซนเซอร์ 5 ชนิด สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณฝน ความชื้นในดินที่ระดับความลึกจากผิวดิน 10 เซนติเมตรและความเข้มแสง โดยเซนเซอร์ 5 ชนิดนี้ผ่านการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือจากกรมอุตุนิยมวิทยาและมหาวิทยาลัยศิลปากร รวมทั้งออกแบบตู้ควบคุมชุดตรวจอากาศอัตโนมัติภาคสนาม ระบบการทำงานของอุปกรณ์ภายในใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และพัฒนาระบบสมาร์ทอุตุนิยมวิทยาเพื่อการเกษตร (Met4Agriculture) ที่มีหลักการทำงานเริ่มจากเซนเซอร์ตรวจวัดต่าง ๆ ส่งข้อมูลผ่านสายสัญญาณ โดยถังฝนจะส่งข้อมูลแบบดิจิทัลเอาต์พุต (Digital output (DO)) มีค่า 0/1 ซึ่งจะมีค่า 1 เมื่อมีการกระดก (tip) ของตัวตรวจวัดค่าที่ได้จะรับด้วยดิจิทัลอินพุต (Digital Input (DI)) ของตัว IO (Input/Output module) ส่วนเครื่องมือตรวจวัดอื่นๆ จะส่งข้อมูลการตรวจวัดเป็นข้อมูลออกแบบแอนะล็อก (Analog Output (AO)) ที่อาจจะมีสัญญาณค่าโวลต์ V หรือแอมป์ A ขึ้นกับชนิดอุปกรณ์ตรวจวัด ค่าที่ได้จะรับด้วยแอนะล็อกอินพุต (Analog Input) ของตัว IO (Input/Output module) และมีโปรแกรมประมวลผลการทำงานบนระบบควบคุมและหน่วยทำงานระยะไกล (Remote terminal unit (RTU)) โดยการทำงานแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

- โปรแกรม Logger ที่รับส่งข้อมูลจาก IO Module เพื่อนำมาบันทึกลงฐานข้อมูล และสั่งงาน IO เพื่อควบคุมการทำงานอุปกรณ์ดีเลย์ (Relay) ภายนอก เพื่อปิด-เปิดการทำงานอุปกรณ์บางอย่าง เช่น มอเตอร์รดน้ำ เป็นต้น

- โปรแกรม Web service ที่ให้บริการข้อมูลไปยังโปรแกรมประยุกต์สำหรับอุปกรณ์เคลื่อนที่ (Mobile application) เพื่อนำข้อมูลไปแสดงผล

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วน คือ การพัฒนาชุดตรวจอากาศอัตโนมัติและการพัฒนาระบบสมาร์ทอุตุนิยมวิทยา มีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานแต่ละส่วนแสดงใน Figure 2 ดังนี้

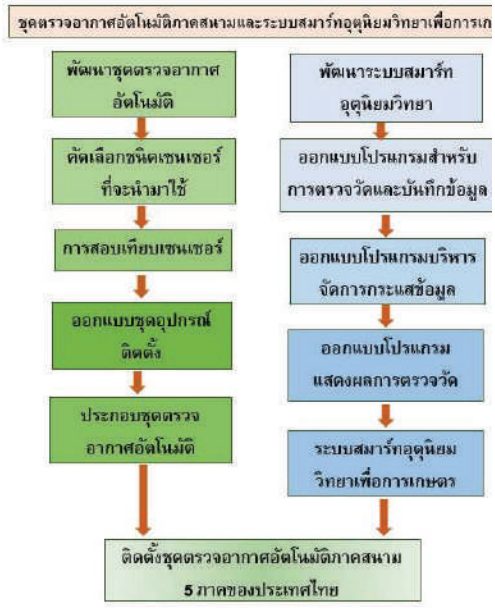

Figure 2 Research flow chart

1. พัฒนาชุดตรวจอากาศอัตโนมัติ

1.1 คัดเลือกเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณฝน ความชื้นในดินและความเข้มแสงอย่างละ 2 - 3 ชนิด โดยพิจารณาจากคุณสมบัติเฉพาะ ราคา

- เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ จำนวน 3 ชนิด คือ AM2315 รุ่น ASAIR, เซนเซอร์แบบกันน้ำ SHT31 และ RS485- AHT15

- เครื่องวัดปริมาณฝนแบบถ้วยกระดก เส้นผ่าศูนย์กลางของปากถังกว้าง 8 นิ้ว จำนวน 2 ชนิด คือ OEM ความละเอียด 0.2 มิลลิเมตร/ความจุของการเทกระดก 1 ครั้ง (0.2 mm/tip) และ ABS-RS485 ความละเอียด 0.5 มิลลิเมตร /ความจุของการเทกระดก 1 ครั้ง (0.5 mm/tip)

- เซนเซอร์วัดความเข้มแสง จำนวน 3 ชนิด คือ ช่วงการวัดแสงโดยรอบ 0-120000 lux, 0-200000 lux และ 0-65535 lux

- เซนเซอร์วัดความชื้นดิน จำนวน 3 ชนิด ที่ส่งสัญญาณออกแบบคือ RS485 TDR Soil Moisture Sensor และชนิดส่งสัญญาณออกแบบแอนะล็อก คือ Lon Soil Moisture Sensor และ Soil humidity sensor

1.2 สอบเทียบเซนเซอร์ที่คัดเลือกไว้ในข้อ 1 เพื่อเลือกเซนเซอร์ที่มีคลาดเคลื่อนในการสอบเทียบน้อยที่สุดมาใช้ประกอบชุดตรวจอากาศอัตโนมัติ กำหนดความความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณฝนไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส, 3 %RH และ3 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยมีขั้นตอนการสอบเทียบและผลการทดสอบแต่ละเซนเซอร์ ดังนี้

1.2.1 การสอบเทียบเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ณ ห้องสอบเทียบส่วนมาตรฐานเครื่องมือ กรมอุตุนิยมวิทยา

- เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้สอบเทียบ คือ เครื่องควบคุมและกำเนิดอุณหภูมิและความชื้นแบบตู้ CVMS CLIMATIC รุ่น C-THL150-40/1-SP และเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นของ Michell hygrometer รุ่น Optidew 401 S/N 161430 เป็นเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบอุณหภูมิและความชื้นของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ได้รับใบรับรองมาตราฐานการสอบเทียบจากสถาบันมาตรฐานมาตรวิทยา

ติดตั้งเครื่องมือสอบเทียบโดยให้หัววัดความชื้นมาตรฐานและ Electronic Thermo-Hygrometer ที่ถูกสอบเทียบอยู่ใกล้กันมากที่สุด เพื่อให้หัววัดทั้งสองตัวอยู่ภายใต้สภาวะเดียวกันภายในตู้สอบเทียบ จากนั้นต่อสายสัญญาณจากเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล

- เปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นและตั้งค่าของตู้สอบเทียบไว้ที่อุณหภูมิและความชื้นที่ต้องการสอบเทียบเป็นจุดแรกและทิ้งระยะเวลาให้อุณหภูมิและความชื้นในตู้สอบเทียบอยู่ในสภาวะเสถียรไม่น้อยกว่า 30 นาที โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิและความชื้นจากหัววัดมาตรฐานให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือตามข้อกำหนดของผู้ผลิตเครื่องมือ

- บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ในแต่ละค่าสอบเทียบที่อ่านได้จากหัววัดมาตรฐาน ไม่น้อยกว่า 5 ครั้ง โดยทิ้งช่วงเวลาในการบันทึกผลแต่ละครั้งไม่น้อยกว่า 1 นาที บันทึกผลของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบกับค่ามาตรฐาน

- กำหนดจุดสอบเทียบอุณหภูมิ 3 จุดสอบเทียบ คือ 5, 25, 50 ºC และ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 30, 60, 90 %

ตัวอย่างชุดข้อมูลการสอบเทียบเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่คัดเลือก (AM2315C รุ่น ASAIR, SHT31 และ RS485- AHT15) กับเซนเซอร์มาตรฐาน (Michell hygrometer) แสดงใน Table 1

Table 1 Calibration results of temperature and relative humidity sensors and Michell hygrometer

MICHELL		AM2315		correction		SHT31		correction		AHT15		correction	
T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H
9.40	90.40	9.50	90.61	-0.10	-0.21	9.85	88.30	-0.45	2.10	9.50	90.00	-0.10	0.40
9.40	90.40	9.52	90.51	-0.12	-0.11	9.88	88.74	-0.48	1.66	9.53	90.10	-0.13	0.30
9.40	90.50	9.53	90.59	-0.13	-0.09	9.80	89.00	-0.40	1.50	9.53	90.95	-0.13	-0.45
9.40	90.40	9.60	90.48	-0.20	-0.08	9.80	89.20	-0.40	1.20	9.58	90.00	-0.18	0.40
9.40	90.30	9.59	90.40	-0.19	-0.10	9.78	88.80	-0.38	1.50	9.51	90.00	-0.11	0.30

Table 1 Calibration results of temperature and relative humidity sensors and Michell hygrometer (cont.)

MICHELL		AM2315		correction		SHT31		correction		AHT15		correction	
T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H
9.30	79.50	9.49	78.60	-0.19	0.90	9.65	78.00	-0.35	1.50	9.55	79.62	-0.25	-0.12
9.30	79.50	9.52	78.68	-0.22	0.82	9.65	77.80	-0.35	1.70	9.52	79.62	-0.22	-0.12
9.30	79.30	9.53	78.40	-0.23	0.90	9.73	77.60	-0.43	1.70	9.40	79.41	-0.10	-0.11
9.30	79.40	9.48	78.49	-0.18	0.91	9.66	77.65	-0.36	1.75	9.44	79.41	-0.14	-0.01
9.30	79.50	9.49	78.60	-0.19	0.90	9.66	78.00	-0.36	1.50	9.46	79.55	-0.16	-0.05
19.00	58.50	19.18	58.24	-0.18	0.26	19.21	56.30	-0.21	2.20	19.21	58.92	-0.21	-0.42
19.00	58.50	19.19	58.59	-0.19	-0.09	19.50	56.10	-0.50	2.40	19.20	58.55	-0.20	-0.65
19.10	58.40	19.20	58.00	-0.10	0.40	19.40	56.00	-0.30	2.40	19.23	59.05	-0.13	-0.65
19.00	58.50	19.18	58.72	-0.18	-0.22	19.33	56.00	-0.33	2.50	19.20	58.50	-0.20	0.00
19.10	58.40	19.21	57.95	-0.11	0.45	19.52	56.30	-0.42	2.10	19.20	58.90	-0.10	-0.50
29.10	47.50	29.17	47.88	-0.07	-0.38	29.50	45.57	-0.40	1.93	29.30	48.85	-0.20	-1.35
29.10	47.50	29.17	47.69	-0.07	-0.19	29.50	45.30	-0.40	2.20	29.30	48.82	-0.20	-1.32
29.10	47.60	29.19	47.74	-0.09	-0.14	29.60	45.68	-0.50	1.92	29.20	48.68	-0.10	-1.08
29.20	47.60	29.30	47.77	-0.10	-0.17	29.70	45.56	-0.50	2.04	29.30	48.68	-0.10	-1.08
29.10	47.30	29.18	47.65	-0.08	-0.35	29.60	45.33	-0.50	1.97	29.28	48.62	-0.18	-1.32
39.10	37.20	39.15	38.53	-0.05	-1.33	39.44	35.50	-0.34	1.70	39.27	40.05	-0.17	-2.85
39.20	36.70	39.20	38.28	0.00	-1.58	39.69	34.90	-0.49	1.80	39.40	40.02	-0.20	--3.32
39.20	37.70	39.22	38.95	-0.02	-2.25	39.58	35.10	-0.38	1.60	39.40	39.90	-0.20	-3.20
39.20	37.70	39.33	38.19	-0.13	-1.49	39.70	35.00	-0.50	1.70	39.38	39.90	-0.18	-3.20
39.20	36.50	39.25	38.01	-0.05	-1.51	39.69	35.00	-0.49	1.50	39.40	39.60	-0.20	-3.10
49.10	17.30	49.21	18.61	-0.11	-1.31	49.55	17.52	-0.45	-0.22	49.23	21.52	-0.13	-4.22
49.10	17.40	49.22	18.59	-0.12	-1.19	49.53	17.65	-0.43	-0.25	49.20	21.53	-0.10	-4.13
49.10	17.20	49.23	18.36	-0.13	-1.16	49.55	17.44	-0.45	-0.24	49.24	21.66	-0.14	-4.46
49.10	17.20	49.24	18.38	-0.14	-1.18	49.52	17.40	-0.42	-0.20	49.26	21.48	-0.16	-4.28
49.10	17.30	49.22	18.30	-0.12	-1.00	49.52	17.35	-0.42	-0.05	49.26	21.36	-0.16	-4.06

Figure 3 Tripping budget rain gauge (0.2 mm/tip) and calibration kit

จากผลการสอบเทียบใน Table 1 พบว่าเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ AM2315 รุ่น ASAIR มีความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดเมื่อเทียบกับเซนเซอร์มาตรฐาน (Michell hygrometer) น้อยที่สุด คือ ประมาณ 1 องศาเซลเซียส และ 1-3 %RH ตามลำดับ

1.2.2 สอบเทียบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน ณ ห้องสอบเทียบส่วนมาตรฐานเครื่องมือ กรมอุตุนิยมวิทยา ตามหลักการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO/IEC 17025:2017 ด้วยชุดสอบเทียบปริมาณน้ำฝน Rain Gauge Calibrator รุ่น 260-2595 ของบริษัท NovaLynx และติดตั้งกับเครื่องวัดปริมาณฝนแบบถ้วยกระดก (Tripping budget rain gauge) ที่ใช้ทดสอบชนิด 0.2 mm/tip และ 0.5 mm/tip ดัง Figure 3 จากนั้นบรรจุน้ำตามปริมาตรที่กำหนดไว้ คือ 250 ml, 500 ml, 946 ml และบันทึกค่าที่ได้จากเครื่องวัดปริมาณฝนแบบถ้วยกระดกทั้งสองชนิด ตัวอย่างชุดผลการสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนกับชุดสอบเทียบมาตรฐาน แสดงใน Table 2

Table 2 Result of rain gauge calibration

volume of water (ml)	Counter Ø 8 inches	Counter Test1	correction	Counter Ø 8 inches	Counter Test2	correction
250	38.5	39	-0.5	15.4	14	1.4
	38.5	38	0.5	15.4	13	2.4
	38.5	38	0.5	15.4	14	1.4
500	77.0	76	1	30.8	29	1.8
	77.0	77	0	30.8	29	1.8
	77.0	77	0	30.8	30	0.8
946	145.8	146	-0.2	58.3	56	2.3
	145.8	145	0.8	58.3	55	3.3
	145.8	146	-.02	58.3	58	0.3

หมายเหตุ test 1 และ test 2 คือ เครื่องวัดปริมาณฝนแบบถ้วยกระดกที่ใช้ทดสอบชนิด 0.2 mm/tip และ 0.5 mm/tip ตามลำดับ

ปริมาตรทรงกระบอก = $\pi r^2 h$ (1)

โดยที่

r คือ รัศมีปากถังวัดน้ำฝน (1 นิ้ว = 25.4 มิลลิเมตร)

1 ลูกบาศก์มิลลิเมตร (mm^3) = 0.001 มิลลิลิตร (ml)

ผลการสอบเทียบพบว่า เครื่องวัดปริมาณฝนแบบถ้วยกระดกชนิด 0.2 mm/tip มีความคลาดเคลื่อนในการสอบเทียบกับเครื่องวัดน้ำฝนมาตราฐาน $\pm$3 มิลลิเมตร

1.2.3 สอบเทียบเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

งานวิจัยนี้ทำการสอบเทียบค่าความชื้นในดินด้วยวิธีวัดโดยน้ำหนัก (Gravimetric method) ตามหลักการคำนวณหาความชื้นในดินของงานวิจัยสมบูรณ์ และคณะ (2551) มีขั้นตอนดังนี้

- นำตัวอย่างดินใส่ในภาชนะจำนวน 5 ใบ โดยเติมน้ำ 0, 25, 50, 75 และ 100 กรัม

- วัดความชื้นในดินในภาชนะทั้ง 5 ใบ ด้วยเซนเซอร์ชนิดที่ 1-3 คือ TDR Soil Moisture Sensor, Lon Soil Moisture Sensor และ Soil humidity sensor ตามลำดับ แล้วบันทึกค่าไว้

- ชั่งน้ำหนักดินในภาชนะทั้ง 5 ใบ ก่อนนำไปอบอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสอบครั้งละ 1 ชั่วโมง จนค่าน้ำหนักดินไม่เปลี่ยนแปลง

- นำค่าน้ำหนักดินก่อนอบ และหลังอบมาคำนวณหาค่าความชื้นในดินโดยใช้สูตรในสมการ (2)

$$\text{ความชื้นโดยน้ำหนัก (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักดินเปียก - น้ำหนักดินอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักดินอบแห้ง}} \times 100 \quad (2)$$

- หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในดินที่คำนวณได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการกับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือเซนเซอร์วัดความชื้นในดินโดยวิธีการสหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple correlation)

- หาค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนของความชื้นในดินที่ได้จากเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิด กับค่าความชื้นที่ได้จากการคำนวณจากน้ำหนัก (ค่าความชื้นจริง) จากสูตรในสมการที่ (3)

$$\text{ความคาดเคลื่อน (\%)} = \left| \frac{\text{ค่าความชื้นจากน้ำหนัก - ค่าความชื้นจากเซนเซอร์}}{\text{ค่าความชื้นจากน้ำหนัก}} \right| \times 100 \quad (3)$$

ผลการสอบเทียบเซนเซอร์วัดความชื้นในดินที่มีผลการทดสอบดีที่สุด คือ ชนิด TDR Soil Moisture Sensor พบว่าเซนเซอร์วัดความชื้นในดินชนิดนี้มีค่าความชื้นที่วัดได้กับปริมาณความชื้นในดินที่คำนวณได้ตามสมการที่ 1 มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสองเข้าใกล้ 1 ดังตัวอย่างผลการสอบเทียบใน Table 3

Table 3 TDR Soil Moisture Sensor calibration results

น้ำหนักดิน (g)	น้ำหนักน้ำ (g)	น้ำหนักดินเปียก (g)	น้ำหนักดินแห้ง (g)	ความชื้นจากน้ำหนัก (%)	ค่าความชื้นจากเซนเซอร์ (%)									
					A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
580.0	0	580.0	543.7	7	8	88	10	6	9	7	8	10	12	9
580.0	50	630.0	542.3	16	20	27	25	24	25	17	19	20	21	19
580.0	100	680.0	542.5	25	31	35	35	29	36	32	25	26	28	27
580.0	150	730.0	730.0	34	38	42	53	39	47	44	37	36	42	33
580.0	200	780.0	780.0	44	53	48	61	46	54	58	53	47	53	44
	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์				1.00	0.97	0.99	0.98	0.99	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00

หมายเหตุ: A1-A10 คือ เซนเซอร์ชนิด TDR Soil Moisture Sensor จำนวน 10 เซนเซอร์

1.2.4 สอบเทียบเซนเซอร์วัดความเข้มแสง

สอบเทียบหัววัดความเข้มแสงแบบพกพา Digital Lux Meter ของบริษัท PEAKMETER รุ่น PM 6612 กับหัววัดมาตรฐาน Lux meter ของบริษัท EKO รุ่น ML-020SO S/N S14057.15 มีค่า sensitivity เท่ากับ 0.2055 μV/lx ของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร เป็นเครื่องมือมาตราฐานในการสอบเทียบ และติดตั้งหัววัดความเข้มแสงแบบพกพาที่ต้องการสอบเทียบใกล้กับหัววัดมาตรฐาน และอ่านค่าข้อมูลของทั้งสองหัววัด โดยสอบเทียบเป็นเวลา 2 วัน ระหว่างวันที่ 11-12 มิถุนายน 2565 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. - 16.00 น. ณ ดาดฟ้าชั้น 11 อาคารวิทยาศาสตร์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ดัง Figure 4 ทำการบันทึกค่าศักย์ไฟฟ้าจากเครื่องวัด

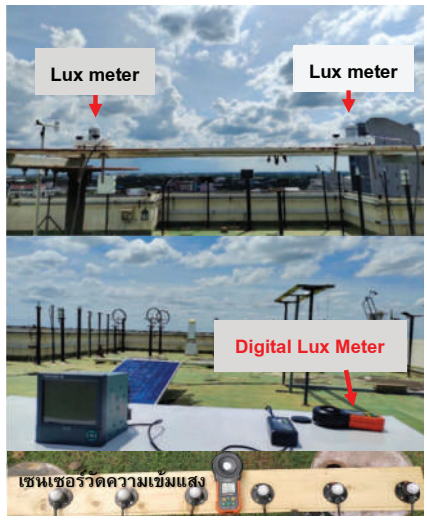

Figure 4 The calibration of a digital lux meter at Silpakorn University

มาตรฐานและค่าความสว่างจากเครื่องวัดที่นำมาทดสอบทุกๆ 10 นาที ในแต่ละครั้งจะอ่านค่าทุก 10 วินาที จำนวน 13 ครั้ง จากนั้นพักเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมงแล้วดำเนินการแบบเดิม นำค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัดความสว่างมาตรฐานในหน่วย mV มาแปลงเป็นค่าความสว่างในหน่วย lux แล้วมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่างจากเครื่องวัดความสว่างมาตรฐานและค่าความสว่างที่ได้จากเครื่องวัดความสว่างที่นำมาทดสอบ ผลที่ได้แสดงดัง Figure 5

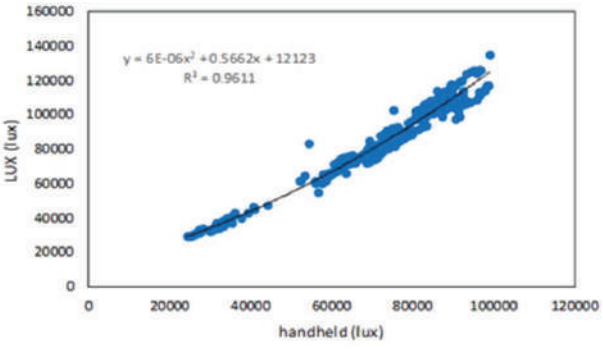

Figure 5 A graph showing the relationship of lux between Digital lux meter and Lux meter

จาก Figure 5 พบว่า ความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้น โดยมีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการพหุนามกำลังสอง ดังนี้

$$L_{real} = 6\times10^{-6}L^2 + 0.566L + 12123 \quad (3)$$

$$(R^2 = 0.96)$$

นำค่าความสว่างจากหัววัดมาตรฐานหารด้วยค่าความสว่างจากหัววัดที่นำมาสอบเทียบแล้วหาค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงจะได้ผลแสดงใน Figure 6

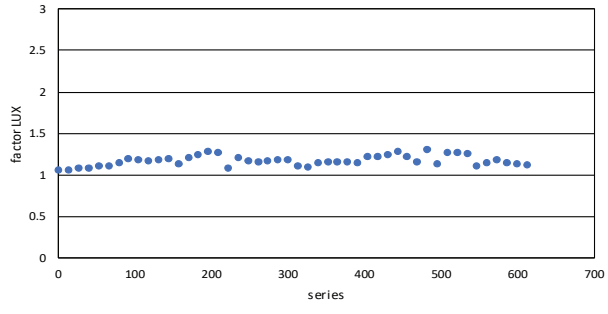

Figure 6 The graph shows average light intensity in each range

จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดจะได้แฟคเตอร์ (factor) ปรับค่าที่อ่านได้จากหัววัดที่นำมาสอบเทียบ ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 1.17 หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

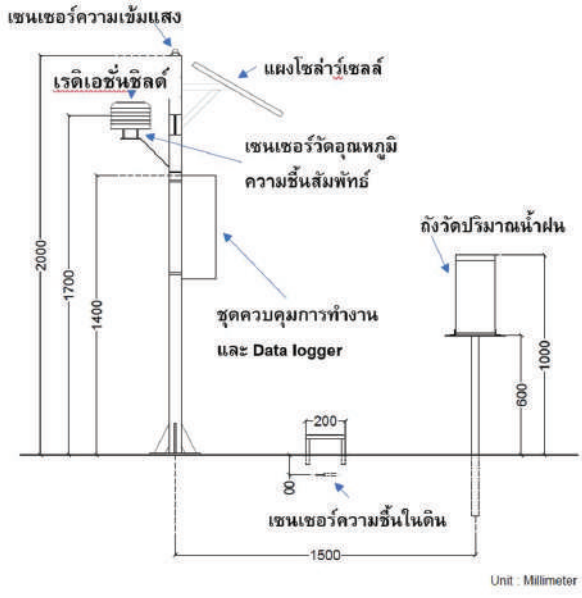

Figure 7 (**a**) structural drawing for installation of the Automatic in-field weather station

$$L_{real} = 1.17L \quad (4)$$

เมื่อ

L_{real} คือ ความสว่างที่แท้จริง (lux)

L คือ ความสว่างที่อ่านได้จากเครื่องที่นำมาสอบเทียบ (lux)

1.3 การออกแบบชุดอุปกรณ์ติดตั้ง

1.3.1 ออกแบบตู้/ชั้นวางสำหรับอุปกรณ์ตรวจอากาศและระบบการทำงานของอุปกรณ์ภายในโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

1.3.2 ออกแบบชุดอุปกรณ์การติดตั้งชุดตรวจอากาศอัตโนมัติต้นแบบ ดังแสดงรูปที่ 7(a) โดยชุดตรวจอากาศอัตโนมัติต้นแบบที่ประกอบสำเร็จแล้วแสดงในรูปที่ 7(b) ชุดอุปกรณ์การติดตั้งประกอบด้วย

1) เสาติดตั้งเซนเซอร์วัดปริมาณฝน ความสูง 60 เซนติเมตร

2) เสาความสูง 200 เซนติเมตร มีระยะห่างจากเสาติดตั้งเซนเซอร์วัดปริมาณฝน 150 เซนติเมตร โดยเสามีความสูง 200 เซนติเมตร ออกแบบสำหรับติดตั้งแผงโซล่าร์เซลล์ อุปกรณ์ตรวจวัด บันทึกรับ-ส่งข้อมูล และเซนเซอร์ 4

ชนิด โดยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ติดตั้งภายในเรดิเอชั่นชิลด์ ที่ความสูง 170 เซนติเมตร และเซนเซอร์วัดความเข้มแสงจะติดตั้งที่ยอดเสา ส่วนเซนเซอร์วัดความชื้นในดินความลึกจากผิวดิน 10 เซนติเมตร

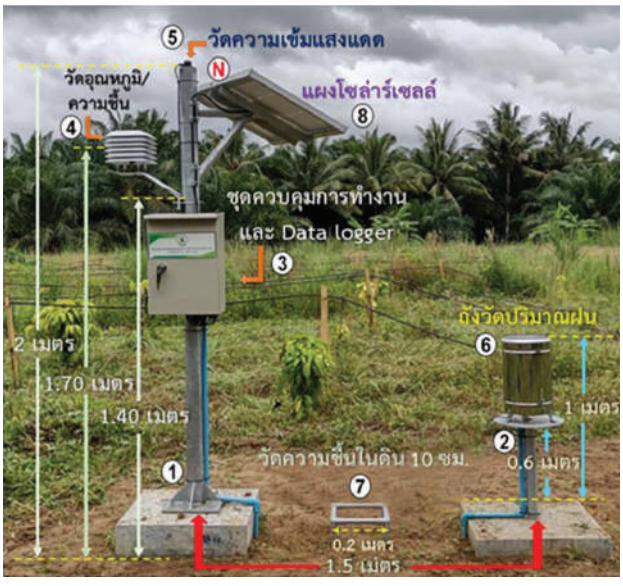

Figure 7 (**a**) structural drawing for installation of the Automatic in-field weather station

1.3.3 ออกแบบเรดิเอชั่นชิลด์ (Radiation shield) สำหรับป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบกับเซนเซอร์ทั้งสองและให้เป็นการวัดค่าจากสิ่งแวดล้อมจริง โดยนำจานพลาสติกขึ้นรูปมาเจาะรูปตรงกลางแล้วประกอบเป็นแผ่นซ้อนกัน 6 ชั้น ดัง Figure 8

Figure 8 Radiation shield

1.3.4 แบบแผงวงจรชุดควบคุมการทำงาน

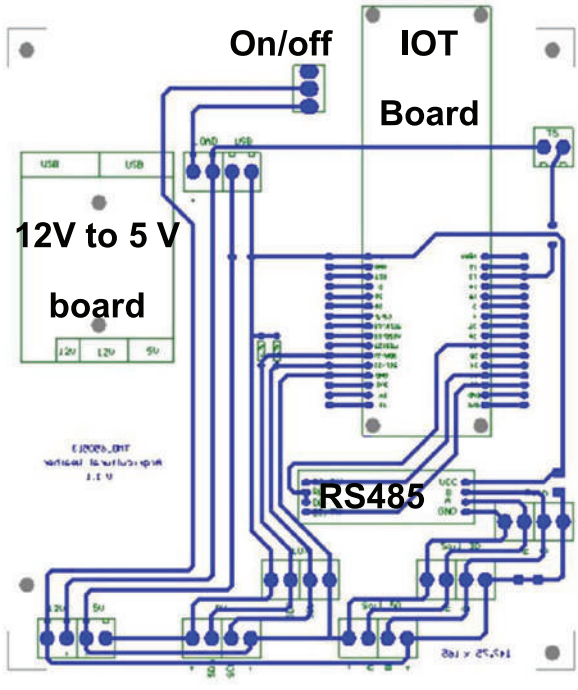

Figure 9 Operation control circuit board

จาก Figure 9 เป็นแบบแผงวงจรชุดควบคุมการทำงานที่ออกแบบไว้ใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมระบบตรวจวัด บันทึก และรับ-ส่งข้อมูลของตรวจอากาศอัตโนมัติ

2. การพัฒนาระบบสมาร์ทอุตุนิยมวิทยา

แนวคิดการพัฒนาระบบสมาร์ทอุตุนิยมวิทยาแสดงใน Figure 10 มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

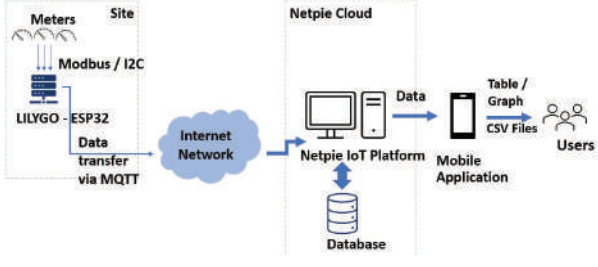

Figure 10 System overview

2.1 การออกแบบโปรแกรมสำหรับการตรวจวัด บันทึก และการรับ-ส่งข้อมูล

ออกแบบโปรแกรมทำงานบนลิลี่โก (LILYGO) โปรแกรมจะควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ เซนเซอร์ อุปกรณ์สื่อสารและไฟฟ้า และ sdcard เป็นต้น ซึ่งโปรแกรมมีชุดคำสั่งให้เซนเซอร์แต่ละชนิดทำการตรวจวัดและบันทึกค่าลงใน sdcard และส่งค่าข้อมูลจากการตรวจวัดเข้าสู่ระบบคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ (Cloud server)

ในทุกๆ 15 นาที นอกจากนี้เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานชุดตรวจอากาศอัตโนมัตินี้ จึงออกแบบให้โปรแกรมสามารถรองรับการทำงานในกรณีที่ผู้ใช้งานไม่มี sdcard สำหรับการบันทึกค่าที่ได้จากการตรวจวัด โดยข้อมูลตรวจวัดจะถูกส่งเข้าระบบคลาวด์เซิร์ฟเวอร์เพื่อเก็บบันทึกค่าโดยตรงได้

2.2 โปรแกรมบริหารจัดการกระแสข้อมูลตรวจวัดหรือการรับ-ส่งข้อมูล ทำหน้าที่ควบคุมการส่งข้อมูลจากสถานีวัดภาคสนามมายังหน่วยจัดเก็บและบันทึกข้อมูลตรวจวัดโดยใช้บริการระบบจัดการกระแสข้อมูลและบันทึกข้อมูล (Data storage) ในรูปแบบ Cloud

2.3 ออกแบบโปรแกรมแสดงผลการตรวจวัดและระบบสมาร์ทอุตุนิยมวิทยาเกษตรให้ทำงานบนระบบแอนดรอยด์ ต่อยอดให้ทำงานบนระบบ iOS วินโดว์และลินุกส์ ตัวอย่างการแสดงผลของโปรแกรมดัง Figure 11

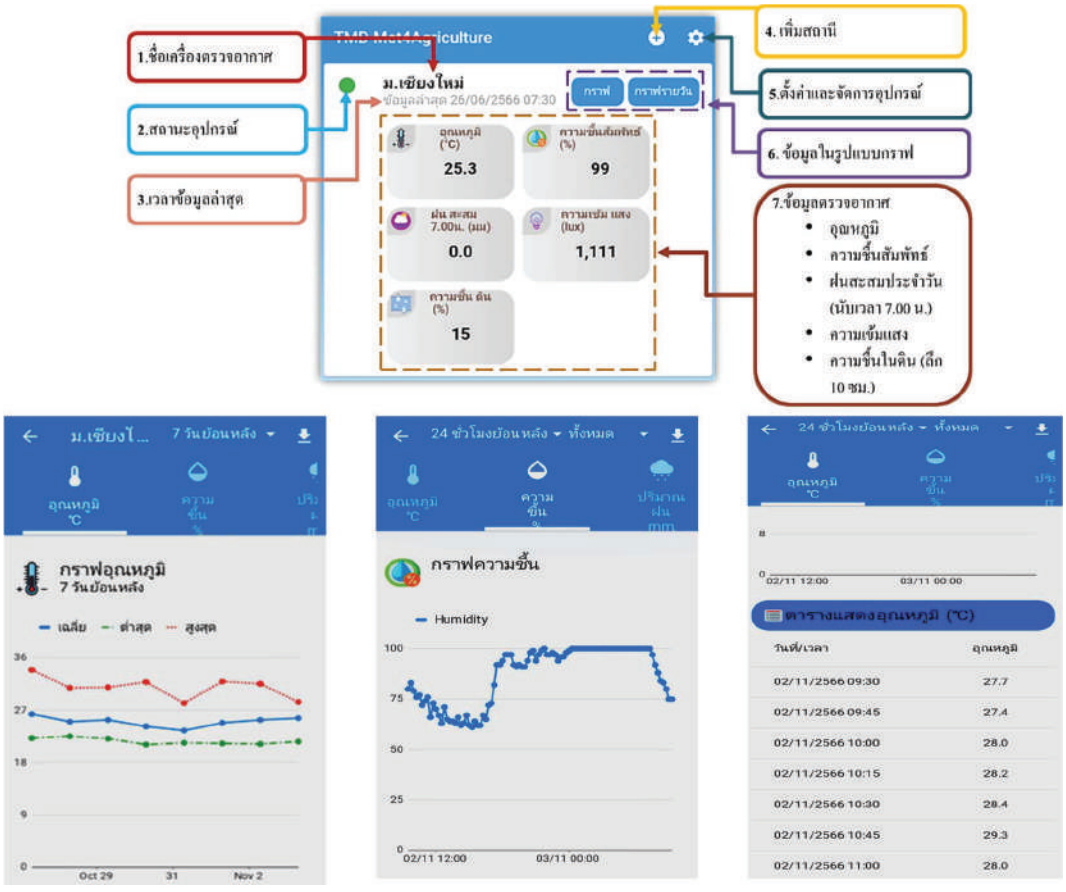

Figure 11 Met4Agriculture application display output data from automatic in-field weather stations

โปรแกรม Met4Agriculture จะมีเมนูหน้าหลักแสดงผลข้อมูลการตรวจวัดจากเซนเซอร์ต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณฝน ความเข้มแสง ความชื้นในดินและปุ่มเมนูการเพิ่ม-ลบ สถานี การตั้งค่าโปรแกรม และดูข้อมูลย้อนหลัง โปรแกรมจะแสดงผลการตรวจวัดจากภาคสนามผ่านอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ทุก 15 นาที โดยเชื่อมต่อระบบ NETPIE นำข้อมูลสถานะและข้อมูลตรวจวัดล่าสุดมาแสดง แสดงค่าข้อมูลตรวจวัดปัจจุบันทุกจุดตรวจวัดในรูปแบบ Dashboard เมื่อกดจุดตรวจวัดจะแสดงข้อมูลแบบละเอียดและแสดงสถานีและสถานะสถานี จัดการและวิเคราะห์ข้อมูลการตรวจวัดแบบเวลาจริงหรือใกล้เคียงเวลาจริงได้อย่างอัตโนมัติ เช่น สถานะข้อมูลของแต่ละสถานี (ปกติ/ไม่ปกติ) มีปุ่มสำหรับกดส่งออกข้อมูลที่แสดงเป็นไฟล์ csv รวมทั้งโปรแกรมมีรอบการเรียกข้อมูลมาแสดงผล สามารถแสดงข้อมูลย้อนหลังในรูปแบบกราฟรายชั่วโมง รายวัน รายเดือน ระยะเวลาในการจัดเก็บและเรียกดูข้อมูล 180 วัน และมี notification bar เตือน ถ้าผู้ใช้งานตั้งค่าเกณฑ์แจ้งเตือน การใช้งานโปรแกรม Met4Agriculture สามารถใช้งานผ่าน Web Browser โดยไม่ต้องติดตั้งโปรแกรมได้ทุก Platform ไม่ว่าจะเป็น คอมพิวเตอร์ Windows, Mac, Linux, โทรศัพท์มือถือ Android, IOSโดยผู้ใช้งานสแกน QR code ใน Figure 12 เพื่อดาวน์โหลดโปรแกรม Met4Agriculture

Figure 12 Met4Agriculture application QR code

3. การติดตั้งชุดตรวจอากาศอัตโนมัติภาคสนาม

ติดตั้งชุดตรวจอากาศอัตโนมัติภาคสนามในพื้นที่

1) กรมอุตุนิยมวิทยา บางนา กรุงเทพฯ

2) แปลงทดลองพืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

3) แปลงทดลองปลูกพืชหมุนเวียนระยะสั้น (พืชไร่ พืชสวน) สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

4) ศูนย์เรียนรู้การผลิตพืชตามแนวพระราชดำริทฤษฎีใหม่จันทบุรี ตั้งอยู่ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรจันทบุรี กรมวิชาการเกษตร จังหวัดจันทบุรี

5) สวนผสมปาล์มน้ำมันและโกโก้ของเกษตรกรบ้านควนสูง ตำบลคันธุลี อำเภอท่าชนะ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

6) กลุ่มวิสาหกิจชุมชนมะม่วงบ้านแฮดเพื่อการส่งออก ตำบลหนองแซง อำเภอบ้านแฮด จังหวัดขอนแก่น

7) กลุ่มเกษตรกรบ้านตะโหมด ตำบลตะโหมด อำเภอตะโหมด จังหวัดพัทลุง

8) กองจัดการสวนยาง 3 การยางแห่งประเทศไทย การยางแห่งประเทศไทย ตำบลกรุงหยัน อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช

9) ศูนย์วิจัยยางสุราษฎร์ธานี การยางแห่งประเทศไทย ตำบลขุนทะเล อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี

สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาชุดตรวจอากาศอัตโนมัติภาคสนามมีต้นทุนการผลิตต่ำประกอบด้วยเซนเซอร์ที่ผ่านการสอบเทียบจำนวน 5 ชนิด สามารถตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณฝน ความเข้มแสง ความชื้นในดิน และส่งข้อมูลไปแสดงผลบนโปรแกรม Met4Agricuture จากการสอบเทียบเซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ ที่นำมาประกอบชุดตรวจอากาศอัตโนมัติ พบว่า เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ASAIR-AM2315 มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 1 องศาเซลเซียส และ 1-3 %RHตามลำดับ ถังวัดน้ำฝนแบบถ้วยกระดกวัดปริมาณน้ำฝนได้ตั้งแต่ 0.2 มิลลิเมตรขึ้นไป มีความคลาดเคลื่อน $\pm$ 3 มิลลิเมตร เซนเซอร์วัดความชื้นในดินชนิด TDR Soil Moisture Sensor มีค่าความชื้นที่วัดได้กับปริมาณความชื้นในดินที่คำนวณมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสองเข้าใกล้ 1 และเซนเซอร์วัดความเข้มแสงช่วงการวัดแสงโดยรอบ 0-120000 lux ใช้แฟกเตอร์ปรับค่าความเข้มแสงที่อ่านได้จากเครื่อง คือ 1.17 และเมื่อติดตั้งชุดตรวจอากาศอัตโนมัติภาคสนามจำนวน 9 แห่งใน 5 ภาคของประเทศ พบว่ามีการตรวจวัด รับ-ส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ระบบสมาร์ทอุตุนิยมวิทยาเพื่อการเกษตร (Met4Agriculture Application) สามารถแสดงผลการตรวจวัดจากภาคสนามผ่านอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ทุก 15 นาที และเกษตรกรบ้านควนสูงได้ต่อยอดงานวิจัยด้วยการติดตั้งระบบรดน้ำอัตโนมัติโดยใช้ข้อมูลตรวจวัดจากชุดตรวจอากาศอัตโนมัติที่แสดงผลในมือถือด้วยโปรแกรม Met4Agriculture โดยตั้งค่าสำหรับแจ้งเตือนการควบคุมการรดน้ำด้วยระบบรดน้ำอัตโนมัติโดยไม่จำเป็นต้องอยู่ในพื้นที่สวนผสมปาล์มน้ำมันและโกโก้ของตนเอง

ข้อเสนอแนะ

การเลือกสถานที่ติดตั้งเครื่องมือชุดตรวจอากาศอัตโนมัติภาคสนามควรเป็นที่โล่งตามหลักการติดตั้งเครื่องมือตรวจอากาศของอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO-No.8) ทิศทางติดตั้งแผงโซล่าร์ต้องสามารถรับแสงอาทิตย์ได้ โดยเฉพาะช่วง 12.00 น. - 13.00 น. ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นและสูงสุดในช่วงเวลานี้จากงานวิจัยของพันกร มนทอง (2560) และพื้นที่ติดตั้งต้องมีสัญญาณอินเทอร์เน็ตในการรับ-ส่งข้อมูล

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ที่สนับสนุนงบประมาณดำเนินงานโครงการวิจัย เรื่อง “ชุดตรวจอากาศอัตโนมัติภาคสนามและระบบสมาร์ทอุตุนิยมวิทยาเพื่อการเกษตร” และขอบคุณ ดร.ชมภารี ชมภูรัตน์ อธิบดีกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัย ขอบคุณ การยางแห่งประเทศไทย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี กรมวิชาการเกษตร เกษตรกรบ้านควนสูง กลุ่มวิสาหกิจชุมชนมะม่วงบ้านแฮด และกลุ่มเกษตรกรบ้านตะโหมด ที่อนุเคราะห์พื้นที่ในการติดตั้งชุดตรวจอากาศอัตโนมัติ

เอกสารอ้างอิง

ธิษณิน พจน์พัฒนพล, ศุภกร กตาธิการกุล, มารีนา มะหนิ. (2558). การพัฒนาเครื่องวัดสภาพอากาศพื้นฐานแบบ อัตโนมัติ. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, *18*(3).

พันกร มนทอง. (2560). *การสร้างเครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเก็บข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ในจังหวัดอุบลราชธานีและจังหวัดศรีสะเกษ*. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

ภาสกร เดชโค้น. (2558). *การพัฒนาระบบสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐานขององค์การมาตรฐานสากล*. ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สมบูรณ์ มั่นความดี ผจงจิตต์ ศรีสุข และสุภัทตรา นุชนารถ. (2551). *การพัฒนาเครื่องวัดความชื้นในดินทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศเพื่อจัดการดินและน้ำชลประทานในดินทรายอย่างมีประสิทธิภาพ*. กรมชลประทาน.

อุทัยและคณะ. (2557). *เน็ตเวิร์คเซนเซอร์แบบเรียลไทม์เพื่อตรวจสอบความชื้นพืชปาล์มน้ำมันกับผลผลิต*. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

Rajinder Kumar M. Math, Nagaraj V. Dharwadkar. (2018). IoT Based Low-cost Weather Station and Monitoring System for Precision Agriculture in India. *2nd International Conference on I-SMAC*, DOI: 10.1109/I-SMAC43168.

Nisakorn Kaewmai และ Anurak Udomvech. (2565). The Mini Weather System for Using in a Specific Small Agricultural Area, *การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 29 ประจำปี 2565 วิจัยและนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน*

WMO-No.8Seventh edition. (2008). Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation.

ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. (https://www.iasonline.org/wp-content/uploads/2021/02/ISO-IEC-17025-2017-IAS.pdf).

Rain Gauge Calibrator (https://novalynx.com/manuals/260-2595-manual.pdf).

https://cmitest.com/wp-content/uploads/2021/03/CMI-Michell-Instruments-Optidew-401- 501-97552-V3-EN.pdf.

https://netpie.io/tutorials.