



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การพัฒนาระบบสารสนเทศกาลอากาศและการบำรุงรักษาสถานีตรวจวัดอากาศ
แบบไร้สาย และเว็บเซิร์ฟเวอร์เพื่อการเกษตรแบบแม่นยำ

Development of Weather Information System and Maintenance of Wireless
Weather Station and Web Server for Precision Agriculture

โดย

เกริก ปั่นหนึ่งเพชร และ เทวินทร์ แก้วเมืองมูล

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

	หน้า
Executive Summary	iii
Abstract	iv
บทคัดย่อ	iv
รายละเอียดผลการศึกษา	1
บทนำ	1
วัตถุประสงค์หลักของโครงการ	1
การดำเนินงาน	2
การบำรุงรักษาสถานีตรวจสภาพอากาศ	2
การพัฒนาระบบสารสนเทศกาลอากาศ	3
กรอบแนวคิดในการออกแบบเว็บไซต์ <i>iWeatherStation</i>	3
ขั้นตอนการพัฒนาเว็บไซต์	4
การเข้าสู่ข้อมูลในเว็บไซต์ <i>iWeatherStation</i>	6
การคำนวณค่าอัตราการคายระเหยของน้ำ	11
การคำนวณค่าปริมาณฝนใช้การ (effective rainfall) และการใช้ประโยชน์	15
สรุปผลการดำเนินการ	17
เอกสารอ้างอิง	17
ภาคผนวกที่ 1 การเผยแพร่	18
ภาคผนวกที่ 2 กิจกรรมที่เกี่ยวกับการนำผลจากโครงการไปใช้	28
ภาคผนวกที่ 3 ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับ	29

Executive Summary

Precision agriculture requires high resolution real time weather information, and TRF has funded the development of automatic weather station (RDG53O0009 and RDG 5650128). Twenty stations have been built and installed countrywide, and web server has been developed to provide public access to the collected environmental information. Users of this information include the owner of orange groves, vineyards, coconut farms, longan gardens, and oil palm plantations. In order to continue providing such a crucial information, this project is conducted to maintain the system functionality and expand the content of information service.

The project has achieved both of its objectives. Twenty stations have been operated continually since their installations in the field in March 2017. Web server had been developed further into modular structure, together with expanding service to include information on reference evapotranspiration and effective rainfall, displaying data in both numeric and graphic form, and provide means for users to download data.

Abstract

Precision agriculture requires high resolution real time weather information, and TRF has funded the development of automatic weather station (RDG5300009 and RDG 5650128). Twenty stations have been built and installed countrywide to provide weather information service to users. In order to continue and expand services to users and community, this project are conducted to maintain the system functionality and expand the capability of information service provided by the web server.

The project has achieved both of its objectives. The followings have been carryout during the period of its operation:

1. Fixed 2 malfunction temperature-humidity sensors, presumably caused by electrostatic discharge from nearby lightings during storms
2. Develop web server into modular structure, together with expanding service to include information on reference evapotranspiration and effective rainfall, displaying data in both numeric and graphic form, and provide means for users to download data.

บทคัดย่อ

ระบบการเกษตรแบบแม่นยำต้องการข้อมูลสภาพอากาศใกล้เคียงสูงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา สกว.ได้สนับสนุนให้มีการพัฒนาสถานีตรวจวัดอากาศดังกล่าวขึ้นและได้นำไปใช้งานในพื้นที่ต่างๆของประเทศ รวมทั้งหมด 20 สถานี เพื่อให้ระบบสามารถให้บริการข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ โครงการนี้จึงได้ดำเนินการพัฒนาระบบสารสนเทศสภาพอากาศและบำรุงรักษาสถานีตรวจวัดอากาศเพื่อขยายขอบเขตการให้บริการข้อมูลแก่ผู้ใช้งานหรือเกษตรกรที่ร่วมโครงการและประชาชนทั่วไปที่สนใจ

ผลการดำเนินการตลอดทั้งโครงการ เป็นไปตามวัตถุประสงค์

1. ได้แก้ไขการทำงานที่ผิดปกติของเซ็นเซอร์วัดความชื้นอากาศ ซึ่งเกิดจากตัวไอซีวัดความชื้นอากาศ จำนวน 2 ชุด
2. ได้พัฒนาเว็บไซต์ให้โครงสร้างมีลักษณะเป็นโมดูลมากขึ้น พร้อมกับได้เพิ่มฟังก์ชันการคำนวณอัตราการคายน้ำอ้างอิง และปริมาณฝนใช้การ (effective rainfall) และแสดงผลสภาพอากาศ อัตราการคายระเหย และปริมาณฝนที่เป็นประโยชน์ ทั้งในรูปของกราฟและตัวเลข พร้อมกับให้ผู้ใช้งานสามารถโอนย้ายข้อมูลดังกล่าวจากเว็บไซต์ไปใช้งานได้สะดวก

รายละเอียดผลการศึกษา

บทนำ

ระบบการเกษตรแบบแม่นยำต้องการข้อมูลสภาพกาลอากาศใกล้เคียงสูงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการส่งข้อมูลแบบไร้สายมาประยุกต์ใช้ในการส่งข้อมูลสภาพแวดล้อมที่มีการตรวจวัดในแปลงปลูกไปยังเว็บไซต์ฟเวอร์เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์ข้อมูลแบบใกล้เคียงปัจจุบัน (near real time) ในการจัดการพืชให้มีการใช้ทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด สกว. ได้สนับสนุนให้มีการพัฒนาสถานีตรวจวัดอากาศดังกล่าวขึ้นสำหรับรองรับการขยายตัวของระบบการเกษตรแบบแม่นยำของประเทศ (เกริก 2560) สถานีตรวจวัดสภาพอากาศที่พัฒนาขึ้นได้ถูกนำไปทดสอบและใช้งานในพื้นที่ภาคเหนือ จำนวน 9 เครื่อง พื้นที่ภาคกลาง จำนวน 4 เครื่อง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 4 เครื่องและภาคใต้อีกจำนวน 3 เครื่อง ดังแสดงในรูป 6 เพื่อให้ระบบสามารถให้บริการข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นที่จะต้องพัฒนาปรับปรุงระบบเว็บไซต์ฟเวอร์และบำรุงรักษาสถานีตรวจวัดอากาศอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นโครงการนี้จึงได้ดำเนินการพัฒนาระบบสารสนเทศกาลอากาศบำรุงรักษาสถานีตรวจวัดอากาศและเว็บไซต์ฟเวอร์ พร้อมกับขยายขอบเขตข้อมูลที่เว็บไซต์ฟเวอร์ให้บริการ เพื่อให้เกษตรกรที่ร่วมโครงการและประชาชนทั่วไป สามารถนำข้อมูลไปใช้สนับสนุนการตัดสินใจในการผลิตพืชแบบแม่นยำ หรือด้านอื่นๆ ได้สะดวก

วัตถุประสงค์ของการโครงการ

1. เพื่อบำรุงรักษาสถานีตรวจวัดอากาศแบบไร้สายจำนวน 20 ชุด และเว็บไซต์ฟเวอร์ ต่อเนื่องจากโครงการรหัส SRI5920205
2. เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศกาลอากาศแสดงผลข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศแบบไร้สายบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และขยายขอบเขตข้อมูลที่เว็บไซต์ฟเวอร์ให้บริการเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการผลิตพืช เช่นอัตราการคายระเหยของน้ำจากพื้นผิวและความสะดวกในการแสดงผลข้อมูล

การดำเนินงาน

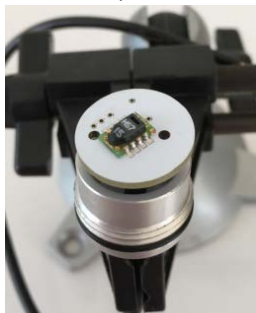
1. การบำรุงรักษาสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ

1.1 การบำรุงรักษาตามสภาพ / ป้องกัน

ได้ทำการตรวจสภาพสถานีตรวจวัดสภาพอากาศเพื่อป้องกันผลกระทบจากปัจจัยภายนอกต่อความแม่นยำ/ถูกต้องของการตรวจวัด (เช่น จากการสร้างรังของมดและแมลงอื่นๆในเซ็นเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิ การรบกวนจากหอยทาก การอุดตันของเซ็นเซอร์วัดปริมาณฝนจากฝุ่นผงในแปลง ฯลฯ) พร้อมเก็บข้อมูลสภาพอุปกรณ์เพื่อใช้วางแผนป้องกันและบำรุงรักษาในอนาคต

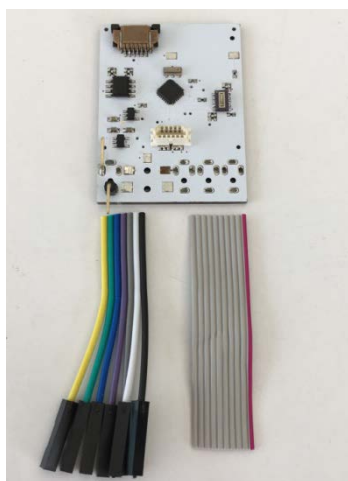
1.2 การบำรุงรักษาแบบแก้ไขซึ่งเกิดจากภัยธรรมชาติหรือเกิดจากส่วนประกอบของเครื่องเอง

ได้ทำการเปลี่ยนไอซีของเซ็นเซอร์วัดความชื้นอากาศ (รูป 1) ของเครื่องที่ได้ติดตั้งไว้ที่สวนส้มปู่หมื่น cm08 และในไร่องุ่น cm18 ที่ทำงานคลาดเคลื่อน



รูป 1 ไอซีเซ็นเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิอากาศ

ได้เปลี่ยนสายสัญญาณของเครื่องหมายเลข cm06 จากสาย AWG24 เป็นสายแพ (ribbon cable) (รูป 2) ที่ได้ติดตั้งไว้ที่ไร่ส้มปู่หมื่น เนื่องจากสายดังกล่าวซึ่งเกิดการสะสมของอ็อกไซด์หรือเกลือเกิดขึ้น ทำให้ความต้านทานไฟฟ้าสูงและไม่สามารถนำสัญญาณไฟฟ้าได้ จากเครื่องทั้งหมด 20 เครื่องมีเพียงเครื่องหมายเลข cm06 เท่านั้นที่ได้ใช้สายสัญญาณ AWG 24

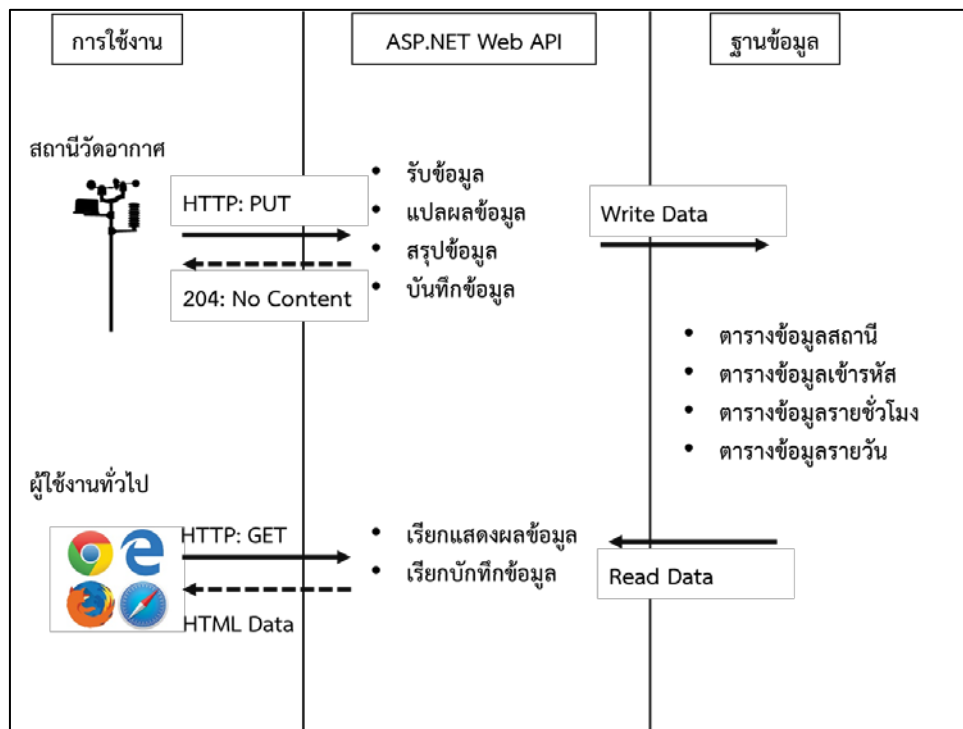


รูป 2 ภาพแสดงสายสัญญาณ AWG24 และสายแพของเครื่องบันทึกข้อมูลของสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ

2. การพัฒนาระบบสารสนเทศกาลอากาศ

2.1. กรอบแนวคิดในการออกแบบเว็บไซต์ *iWeatherStation*

โครงสร้างของเว็บไซต์ (รูป 3) ประกอบด้วยส่วนหลัก 3 ส่วนคือ 1. ส่วนการใช้งาน 2. ส่วน ASP.NET Web API และ 3. ส่วนฐานข้อมูล แต่ละส่วนจะแยกกันทำงานและมีหน้าเฉพาะเพื่อให้การทำงานของเว็บไซต์มีประสิทธิภาพและสามารถปรับปรุงแก้ไขในแต่ละส่วนได้อย่างค่อนข้างเป็นอิสระจากส่วนอื่นๆ



รูป 3 กรอบแนวคิดการออกแบบเว็บไซต์

2.1.1 ส่วนการใช้งาน

เป็นการสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเว็บไซต์ โดยเครื่องลูกข่ายจะแบ่งออกเป็น

- สถานีวัดอากาศ ซึ่งจะส่งข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมง ผ่านเครือข่ายโทรศัพท์ประเภท 3G เพื่อเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและเว็บไซต์ ในรูปแบบ HTTP (Hypertext Transfer Protocol) โดยวิธี PUT และรอรับการตอบกลับด้วยข้อมูลรหัส 204: No content จากเว็บไซต์ ในกรณีที่มีการส่งข้อมูลสำเร็จ
- web browser เช่น Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge หรือ Internet Explorer ซึ่งผู้ใช้งานสามารถใช้ดูข้อมูลของสถานีวัดอากาศจากเว็บไซต์ *iWeatherStation* ได้ ทั้งในรูปแบบของกราฟและข้อมูลตาราง ซึ่งประกอบด้วย สภาพอากาศเวลาล่าสุด ข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงย้อนหลัง 24 ชั่วโมง และข้อมูลสภาพอากาศรายวันย้อนหลัง 7 วัน นอกจากนี้ยังสามารถเลือกช่วงเวลาที่ต้องการข้อมูลสภาพอากาศเพื่อแสดงผลแบบตารางได้

2.1.2 ส่วน ASP.NET Web API

เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทำงานและให้บริการของเว็บไซต์ *iWeatherStation* บนคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows Server 2008 พร้อมด้วย Internet Information Services (IIS) 7.5 และ Microsoft .Net Framework 4.0 ในส่วนนี้ได้ใช้ภาษาโปรแกรม ASP.NET ในการพัฒนา Web API เพื่อจัดการข้อมูลสภาพอากาศสำหรับส่วนการใช้งานและสำหรับฐานข้อมูล

2.1.3 ส่วนฐานข้อมูล

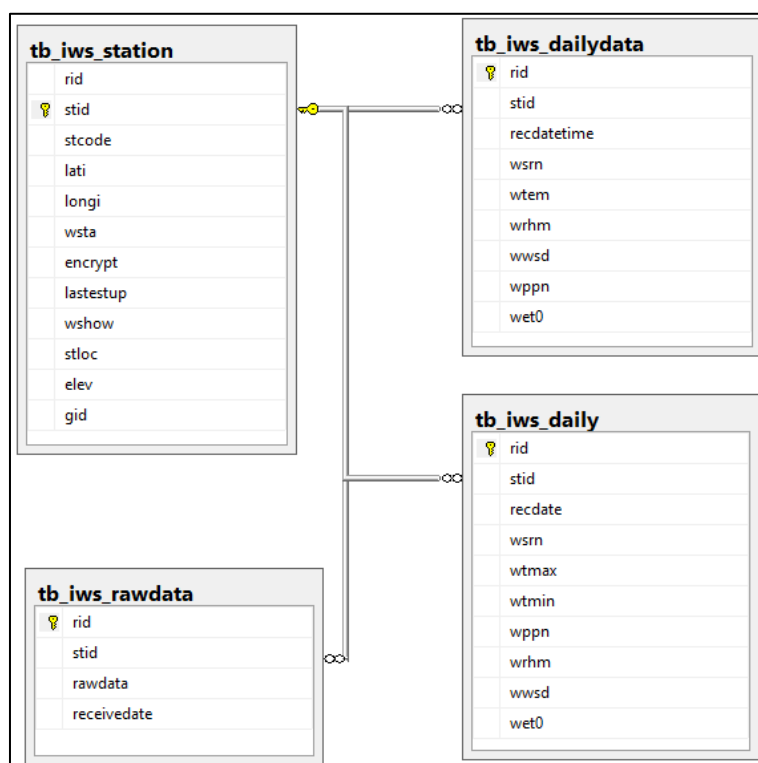
ใช้โปรแกรม Microsoft SQL Server 2008 สำหรับการบันทึกและประมวลผลข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงและรายวัน ในรูปแบบข้อมูลตารางความสัมพันธ์

2.2 ขั้นตอนการพัฒนาเว็บไซต์

2.2.1 สร้างฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์

สร้างตารางข้อมูลเชิงสัมพันธ์เพื่อจัดเก็บข้อมูลของสถานีวัดอากาศ ข้อมูลเข้ารหัส สภาพอากาศรายชั่วโมง และสภาพอากาศรายวัน เพื่อบันทึกข้อมูลและเรียกแสดงผลข้อมูลสภาพอากาศผ่านเว็บไซต์ได้

จัดเก็บข้อมูลสภาพอากาศจากสถานีวัดอากาศ และข้อมูลเพื่อการเรียกแสดงผลสภาพอากาศรายชั่วโมงและรายวัน ประกอบด้วย ตารางข้อมูลสถานีวัดอากาศ (tb_iws_station) (ตาราง 1) ตารางข้อมูลเข้ารหัส (tb_iws_rawdata) (ตาราง 2) ตารางข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมง (tb_iws_dailydata) (ตาราง 3) ตารางข้อมูลสภาพอากาศรายวัน (tb_iws_daily) (ตาราง 4) โดยทุกตารางจะเชื่อมโยงความสัมพันธ์โดยใช้เขตข้อมูลรหัสสถานีวัดอากาศ (stid) (รูป 4)



รูป 4 ตารางฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์

ตาราง 1 ข้อมูลสถานีวัดอากาศ

ชื่อเขตข้อมูล	ชนิดและขนาดของเขตข้อมูล	คำอธิบาย
Rid	int, not null	รหัสลำดับ
Stid	primary key, int , not null	รหัสลำดับสถานี
Stcode	varchar(4), not null	รหัสชื่อสถานี
Lati	decimal(10,6), not null	พิกัดละติจูด
Longi	decimal(10,6), not null	พิกัดลองจิจูด
Wsta	varchar(4), not null	รหัสสถานีแบบจำลองอากาศ
Encrypt	varchar(200), not null	ข้อมูลสถานีเข้ารหัส
Lastestup	datetime, not null	เวลาข้อมูลสภาพอากาศล่าสุด
Wshow	bit, not null	การแสดงผลข้อมูลสถานีวัดอากาศ
Stloc	varchar(200), not null	สถานที่ติดตั้งสถานีวัดอากาศ
Elev	decimal(6,2), not null	ระดับความสูง ณ ตำแหน่งติดตั้งสถานีวัดอากาศ
Gid	int, null	รหัสกลุ่มสถานี

ตาราง 2 ข้อมูลสภาพอากาศเข้ารหัส

ชื่อเขตข้อมูล	ชนิดและขนาดของเขตข้อมูล	คำอธิบาย
Rid	int, not null	รหัสลำดับ
Stid	primary key, int , not null	รหัสลำดับสถานี
Rawdata	varchar(675), not null	ข้อมูลเข้ารหัส
receivedate	datetime, not null	วันเวลาที่รับข้อมูลจากสถานีวัดอากาศ

ตาราง 3 ข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมง

ชื่อเขตข้อมูล	ชนิดและขนาดของเขตข้อมูล	คำอธิบาย
Rid	int, not null	รหัสลำดับ
Stid	primary key, int , not null	รหัสลำดับสถานี
Recdate	date, not null	วันเวลาที่วัดอากาศ
Wsrn	decimal(6,2), not null	ค่ารังสีดวงอาทิตย์ (w/m2)
Wtem	decimal(6,2), not null	ค่าอุณหภูมิ (C°)
Wrhm	decimal(6,2), not null	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%)
Wwsd	decimal(6,2), not null	ค่าความเร็วลม (m/s)
Wppn	decimal(6,2), not null	ค่าปริมาณน้ำฝน (mm/hr)
wet0	decimal(6,2), not null	ค่าการคายระเหยอ้างอิง (mm/hr)
werf	decimal(6,2),not null	ค่าปริมาณน้ำใช้การ (mm/hr)

ตาราง 4 ข้อมูลสภาพอากาศรายวัน

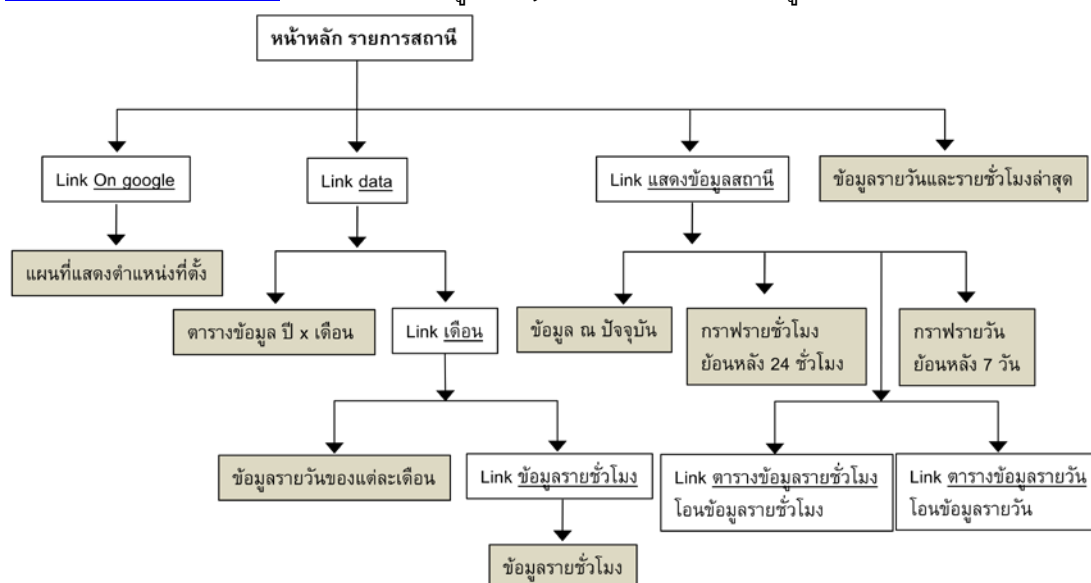
ชื่อเขตข้อมูล	ชนิดและขนาดของเขตข้อมูล	คำอธิบาย
Rid	int, not null	รหัสลำดับ
Stid	primary key, int , not null	รหัสลำดับสถานี
recdatetime	datetime, not null	วันที่วัดอากาศ
Wsrn	decimal(6,2), not null	ค่ารังสีดวงอาทิตย์ (MJ/m ² /day)
Wtem	decimal(6,2), not null	ค่าอุณหภูมิ (C ^o)
Wrhm	decimal(6,2), not null	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%)
Wwsd	decimal(6,2), not null	ค่าความเร็วลม (m/s)
Wppn	decimal(6,2), not null	ค่าปริมาณน้ำฝน (mm/day)
wet0	decimal(6,2), not null	ค่าการคายระเหยอ้างอิง (mm/day)
werf	Decimal(6,2), not null	ค่าปริมาณน้ำใช้การ (mm/day)

2.2.2 สร้างเว็บไซต์ ASP.NET Web API เรียกว่า iWeatherStation

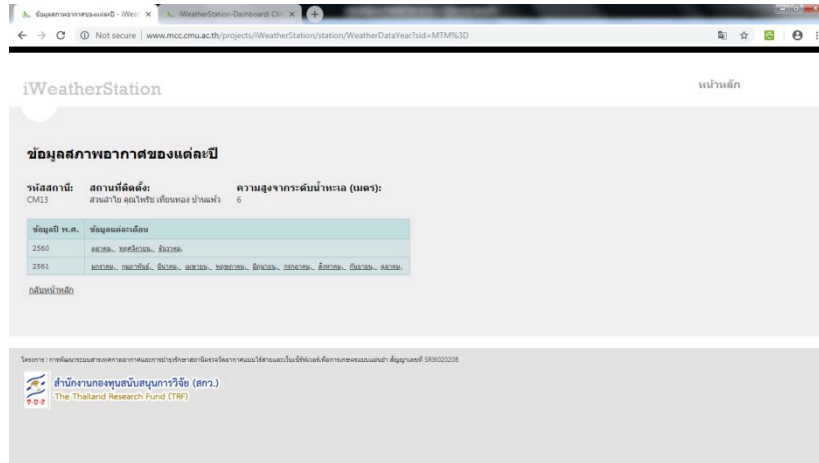
ได้จัดทำเว็บไซต์เพื่อรับข้อมูลจากสถานีวัดอากาศและการเรียกแสดงผลข้อมูลจากผู้ใช้งานทั่วไป โดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2012 ร่วมกับ Microsoft .NET Framework 4.0 เพื่อให้บริการเว็บไซต์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต จากนั้นได้ติดตั้งเว็บไซต์ *iWeatherStation* ไว้ที่เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายของ ศูนย์วิจัยระบบทรัพยากรเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

2.3 การเข้าสู่ข้อมูลในเว็บไซต์ iWeatherStation

การเข้าสู่ข้อมูลในเว็บไซต์ *iWeatherStation* สามารถใช้โปรแกรม web browser ทั่วไป เช่น Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge หรืออื่น ๆ ได้ ที่ URL <http://www.mcc.cmu.ac.th/projects/iWeatherStation> การเชื่อมโยงข้อมูลต่างๆในเว็บไซด์นี้แสดงได้ดัง รูป 5

รูป 5 แผนผังการเชื่อมโยงของข้อมูลในเว็บไซต์ *iWeatherStation*

2. data เป็น link ที่นำไปสู่หน้าแสดงข้อมูลย้อนหลังทั้งหมดของแต่ละสถานี ดังรูป 8 ข้อมูลจะจัดเรียงตามปี พ.ศ. และแยกเป็นข้อมูลแต่ละเดือน ผู้ใช้สามารถคลิกเลือกดูข้อมูลรายวันของแต่ละเดือนได้ ดังรูป 9 และในหน้าดังกล่าวหาความต้องการดูข้อมูลรายชั่วโมงของแต่ละวัน รูป 10 ก็สามารถดูได้โดยคลิกที่ ข้อมูลรายชั่วโมง ในสตรม์สุดท้าย



ข้อมูลสภาพอากาศของแต่ละปี

รหัสสถานี: CM13 สถานีวัดอากาศ: สถานีวิทยุ กรุงเทพมหานคร ความสูงจากระดับทะเล (เมตร): 6

ข้อมูลปี พ.ศ.	ข้อมูลแต่ละเดือน
2560	มกราคม, กุมภาพันธ์, มีนาคม, เมษายน, พฤษภาคม, มิถุนายน, กรกฎาคม, สิงหาคม, กันยายน, ตุลาคม, พฤศจิกายน, ธันวาคม
2561	มกราคม, กุมภาพันธ์, มีนาคม, เมษายน, พฤษภาคม, มิถุนายน, กรกฎาคม, สิงหาคม, กันยายน, ตุลาคม, พฤศจิกายน, ธันวาคม

[ดูข้อมูลรายชั่วโมง](#)

โครงการ: การพัฒนาระบบสารสนเทศทางอุตุนิยมวิทยาสำหรับสถานีวัดอากาศในประเทศไทย
 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
 The Thailand Research Fund (TRF)

รูป 8 ข้อมูลตารางสภาพอากาศของสถานีวัดอากาศจัดเรียงตามปี พ.ศ. และแยกเป็นข้อมูลแต่ละเดือน



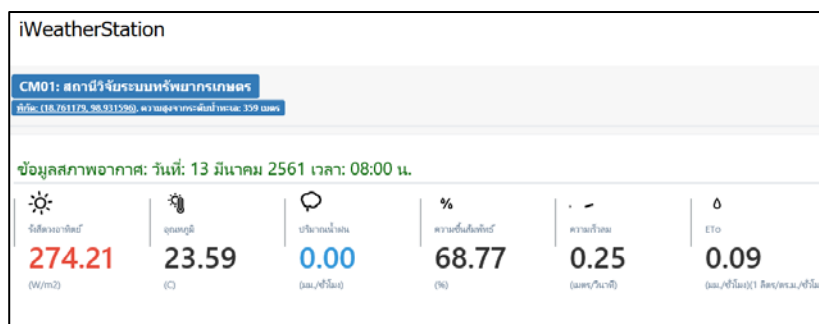
ข้อมูลสภาพอากาศของรายวัน

รหัสสถานี: CM13 สถานีวัดอากาศ: สถานีวิทยุ กรุงเทพมหานคร ความสูงจากระดับทะเล (เมตร): 6 ปี พ.ศ.: 2560 เดือน: มกราคม

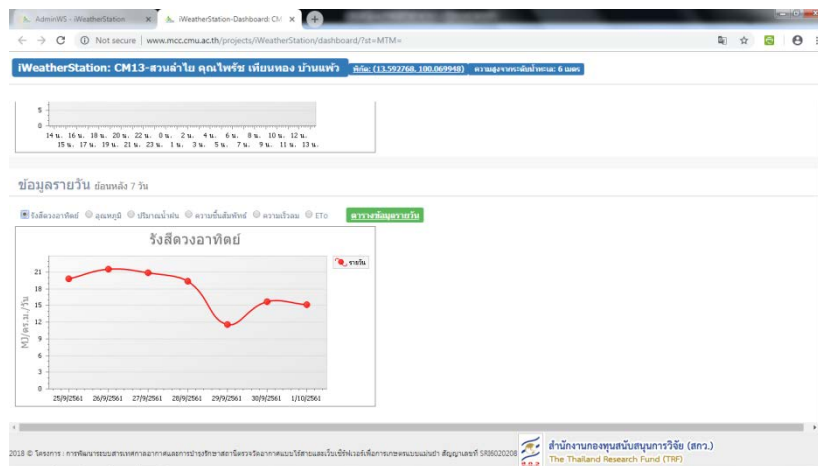
วันที่	ปริมาณน้ำฝน (mm/day)	อุณหภูมิสูงสุด (C)	อุณหภูมิต่ำสุด (C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (m/s)	FTD (mm/day)*	ปริมาณน้ำฝนที่คาดการณ์ (mm/day)*	ข้อมูลอากาศทั่วไป
01 มกราคม 2561	14.97	34.76	24.29	0.46	71.87	0.16	0.00	ข้อมูลอากาศทั่วไป
02 มกราคม 2561	11.19	32.30	23.96	0.00	74.13	0.14	0.00	ข้อมูลอากาศทั่วไป
03 มกราคม 2561	13.24	33.82	24.67	0.00	71.87	0.13	0.00	ข้อมูลอากาศทั่วไป
04 มกราคม 2561	13.31	34.33	24.29	0.00	72.17	0.08	0.00	ข้อมูลอากาศทั่วไป
05 มกราคม 2561	13.63	35.41	24.78	0.00	77.43	0.08	0.00	ข้อมูลอากาศทั่วไป
06 มกราคม 2561	9.35	31.52	24.56	0.23	80.95	0.04	0.00	ข้อมูลอากาศทั่วไป
07 มกราคม 2561	15.36	35.12	24.72	1.19	73.67	0.08	0.00	ข้อมูลอากาศทั่วไป
08 มกราคม 2561	11.40	34.82	24.48	0.00	79.42	0.11	0.00	ข้อมูลอากาศทั่วไป
09 มกราคม 2561	11.79	35.05	23.59	0.00	68.20	0.13	0.00	ข้อมูลอากาศทั่วไป
10 มกราคม 2561	12.62	34.63	23.66	0.00	71.14	0.08	0.00	ข้อมูลอากาศทั่วไป
11 มกราคม 2561	13.18	32.96	23.24	0.00	73.89	0.10	0.00	ข้อมูลอากาศทั่วไป

รูป 9 ข้อมูลตารางสภาพอากาศรายวันในแต่ละเดือนของสถานีวัดอากาศ

3. แสดงข้อมูลสถานี เป็น link นำไปสู่หน้าแสดงข้อมูล ณ เวลาปัจจุบัน ดังตัวอย่างแสดงข้อมูล ณ สถานีวิจัยระบบทรัพยากรเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รูป 11 พร้อมกับกราฟแสดงข้อมูลย้อนหลังรายชั่วโมง 24 ชั่วโมง (รูป 12) และย้อนหลังข้อมูลย้อนหลังรายวัน 7 วัน (รูป 13)

[illegible]

รูป 12 กราฟแสดงข้อมูลรายชั่วโมงย้อนหลัง 24 ชั่วโมง และ link [ตารางข้อมูลรายชั่วโมง](#) เพื่อโอนย้ายข้อมูลรายชั่วโมง



รูป 13 กราฟแสดงข้อมูลรายวันย้อนหลัง 7 วัน และ link ตารางข้อมูลรายวัน เพื่อโอนย้ายข้อมูลรายวัน

ในรูปที่ 12 และ 13 มีปุ่มให้ผู้ใช้เลือกดูข้อมูลอุณหภูมิ พลังแสงอาทิตย์ หรือ อื่นๆ ได้ นอกจากนี้ ผู้ใช้สามารถใช้ link ตารางข้อมูลรายชั่วโมง เพื่อโอนย้ายข้อมูลรายชั่วโมง และ link ตารางข้อมูลรายวัน เพื่อโอนย้ายข้อมูลรายวันไปใช้งานได้

ผู้ใช้งานสามารถโอนย้ายข้อมูลรายชั่วโมงหรือรายวันในช่วงเวลาที่ต้องการไปใช้งานได้โดย 1. กำหนดช่วงระยะเวลา และจากนั้น 2. ดูข้อมูลก่อนโอนย้ายโดยเลือก แสดงข้อมูล และ/หรือ 3. เลือก บันทึกข้อมูลเป็น excel ไฟล์ เพื่อโอนย้ายข้อมูลจากเว็บไซต์ iWeatherStation ไปยังเครื่องของคอมพิวเตอร์ผู้ใช้ ดังแสดงในรูป 14 สำหรับการโอนย้ายข้อมูลรายชั่วโมง และรูป 15 สำหรับการโอนย้ายข้อมูลรายวัน

เนื่องจากการใช้โปรแกรม spreadsheet Excel อย่างกว้างขวางจนเป็น de facto standard การใช้รูปแบบของ excel ไฟล์ จะทำให้ผู้ใช้สามารถนำข้อมูลไปดัดแปลงใช้งานได้หลากหลายรูปแบบตามต้องการได้สะดวก

The screenshot displays the iWeatherStation web application with a data table for hourly weather data. The table has columns for Date, Time, Temperature (°C), Humidity (%), Wind Speed (km/h), Wind Direction, and Rainfall (mm). The data is organized by date and time intervals.

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (กม/ชม.)	ทิศทางลม	ปริมาณน้ำฝน (มม.)
2018-10-01	13:00	13.78	25.37	68.08	0.02	0.00
2018-10-01	14:00	15.48	31.90	59.05	0.24	0.00
2018-10-01	15:00	17.18	31.85	60.52	0.26	0.00
2018-10-01	16:00	18.12	31.81	61.01	0.21	0.00
2018-10-01	17:00	18.48	31.13	62.40	0.29	0.00
2018-10-01	18:00	18.81	30.92	72.09	0.18	0.00
2018-10-01	19:00	17.08	27.67	87.03	0.05	0.00
2018-10-01	20:00	25.10	24.99	94.25	0.00	0.00
2018-10-01	21:00	0.00	24.81	64.08	0.00	0.00
2018-10-01	22:00	0.00	24.87	62.87	0.00	0.00
2018-10-01	23:00	0.00	25.13	61.04	0.00	0.00
2018-10-02	00:00	0.00	25.31	61.50	0.00	0.00
2018-10-02	01:00	0.00	25.52	60.82	0.00	0.00
2018-10-02	02:00	0.00	25.48	61.41	0.00	0.00
2018-10-02	03:00	0.00	25.46	60.78	0.00	0.01
2018-10-02	04:00	0.00	24.87	61.84	0.00	0.01

รูป 13 การโอนย้ายข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมง

ตารางข้อมูล

เลือกช่วงเวลาแสดงข้อมูล: วันที่ 01/09/2562 ถึง 15/09/2562 แสดงข้อมูล: ปรากฏการณ์ฝนตก

วันที่	อุณหภูมิอากาศ (°C)	อุณหภูมิดิน (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (ม.ต่อวินาที)	ทิศทางลม (องศา)	ET0 (mm/วัน)	ปริมาณน้ำฝน (mm/วัน)
01/09/2562	35.19	35.66	24.87	77.62	8.13	0.00	1.35
02/09/2562	35.75	35.58	23.54	79.22	0.04	0.00	1.40
03/09/2562	35.77	35.90	83.13	0.05	0.00	0.00	2.87
04/09/2562	35.34	35.58	24.00	77.23	0.08	0.00	4.36
05/09/2562	35.88	35.29	24.11	71.36	0.08	0.00	4.48
06/09/2562	35.57	35.61	23.42	73.39	0.10	0.00	4.52
07/09/2562	35.79	37.26	23.48	75.51	0.08	0.00	4.26
08/09/2562	35.55	35.25	24.49	84.58	0.02	0.00	2.34
09/09/2562	35.40	31.63	24.85	83.18	0.02	1.38	2.15
10/09/2562	35.88	34.84	23.50	86.82	0.05	0.00	2.24
11/09/2562	34.35	35.25	24.11	78.06	0.10	1.38	3.20
12/09/2562	35.53	35.40	24.29	77.62	0.05	0.00	1.40
13/09/2562	35.75	37.94	24.81	76.37	0.05	0.00	2.60
14/09/2562	35.34	35.58	24.08	73.24	0.21	0.00	3.91
15/09/2562	34.45	34.59	24.17	71.27	0.06	0.00	1.14
16/09/2562	35.51	35.29	23.39	79.20	0.05	0.00	1.56

2018 © โครงการ : การพัฒนาอาชีพเกษตรกรภาคกลางและการจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนเพื่อเพิ่มขีดความสามารถของเกษตรกร ผู้พัฒนาโดย : 5/10/2562
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
The Thailand Research Fund (TRF)

รูป 14 การโอนย้ายข้อมูลสภาพอากาศรายวัน

2.4. การคำนวณค่าอัตราการคายระเหยของน้ำ

การคายระเหยเป็นกระบวนการที่ทำให้พืชสามารถรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชได้ หากพืชได้รับน้ำไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ในการคายระเหยน้ำ ปากใบจะปิดเพื่อรักษาแรงตึงของเซลล์ นอกจากนี้จะทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตลดลงเนื่องจากไม่สามารถตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้เต็มศักยภาพ อุณหภูมิใบที่สูงขึ้นอาจก่อให้เกิดความเสียหายอย่างถาวรกับพืชได้

ความต้องการน้ำสูงสุดของพืชในแต่ละเวลาจะขึ้นกับสภาพอากาศในขณะนั้นๆ ในปี ค.ศ. 1948 Penman ได้สร้างสมการคณิตศาสตร์เพื่อใช้คำนวณค่าอัตราการคายระเหยน้ำรายวันจาก พลังงานแสงอาทิตย์ ความชื้นอากาศ อุณหภูมิอากาศ และความเร็วลม (Penman, 1948) สมการดังกล่าวได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบชลประทานและการให้น้ำพืช เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง ในวันที่มีค่าอัตราการคายระเหยน้ำต่ำก็ให้น้ำน้อย ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องให้น้ำมากกว่านั้น หลังจากนั้นได้มีการปรับปรุงและดัดแปลงสมการของ Penman เพื่อใช้งานในสถานการณ์ต่างๆ ทั่วโลกอย่างต่อเนื่อง

สมการ Penman-Monteith ได้รับการยอมรับว่ามีความแม่นยำสูง และ FAO (Food and Agriculture Organization) ได้นำสมการดังกล่าวมาใช้เป็นมาตรฐานในการคำนวณค่าอัตราการคายระเหย สมการ FAO Penman-Monteith ที่ใช้สำหรับคำนวณอัตราการคายระเหยอ้างอิงรายวัน มีรูปแบบดังนี้ (Allen et al 1998)

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

ที่ซึ่ง

ET_0	reference evapotranspiration (mm day ⁻¹)
R_n	net radiation at the crop surface (MJ m ² day ⁻¹)
G	soil heat flux density (MJ m ² day ⁻¹)
T	mean daily air temperature at 2 m height (°C)
u_2	wind speed at 2 m height (m s ⁻¹)
e_s	saturation vapour press (kPa)
e_a	actual vapour pressure (kPa)

$e_s - e_a$ saturation vapour pressure deficit (kPa)

Δ slope vapour pressure curve (kPa °C⁻¹)

γ psychrometric constant (kPa °C⁻¹)

สำหรับอัตราการคายระเหยอ้างอิงรายชั่วโมงก็มีรูปแบบของสมการเช่นเดียวกันกับสมการการคายระเหยอ้างอิงรายวัน เพียงแต่เปลี่ยนค่าต่างๆจากรายวันไปเป็นค่ารายชั่วโมงเท่านั้น

เพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำข้อมูลไปใช้วางแผนบริหารจัดการน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เว็บไซต์ *iWeatherStation* ได้คำนวณค่าการคายระเหยอ้างอิงทั้งรายวันและรายชั่วโมง ตามสมการ FAO Penman-Monteith

การคำนวณของโปรแกรมดังกล่าวมีรายละเอียดและขั้นตอนดังเช่นที่กำหนดไว้ใน Allen et al (1998) พร้อมกับได้ตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณของโปรแกรมโดยใช้ตัวเลขจากตัวอย่างที่ได้แสดงไว้ใน Allen et al (1998) เช่นกัน รหัสคอมพิวเตอร์ (source code) ของโปรแกรมซึ่งเขียนในภาษา C# ได้แสดงไว้ในรายการที่ 1 สำหรับการคำนวณค่าอัตราการคายระเหยอ้างอิงของน้ำรายชั่วโมง และในรายการที่ 2 สำหรับการคำนวณค่ารายวัน โดยใช้ข้อมูลนำเข้า (input) คือ พลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นอากาศ และความเร็วลม จากฐานข้อมูลในเว็บไซต์ *iWeatherStation*

รายการที่ 1 พังชันคำนวณอัตราการคายระเหยอ้างอิงของน้ำรายชั่วโมง (มม./ชม.) ตามวิธีการของ FAO Penman-Monteith (Allen et al 1998)

ชื่อตัวแปร	ความหมาย
j	day of year
t	time of day
z	elevation from sea level (m)
lat	latitude (decimal degree)
lz	longitude of the center of the local time zone (decimal degree)
lm	longitude (decimal degree)
tm	mean hourly air temperature (°C)
rh	mean hourly relative humidity (%)
u2	mean hourly wind speed at 2 m (m s ⁻¹)
rs	total solar radiation (MJ m ⁻² hour ⁻¹)
et0	reference evapotranspiration rate (mm hour ⁻¹)
delta	slope vapour pressure curve (kPa °C ⁻¹) at temperature tm
gamma	psychrometric constant (kPa °C ⁻¹) at air temperature tm
psi	angle in radians (rad)
t1	length of calculation period (1 hour)
es	saturation vapour pressure at air temperature tm
ea	actual vapour pressure (kPa)
eta	adiabatic or convective component of et0 (mm hour ⁻¹)
dr	inverse relative distance earth-sun
d	solar declination (rad)
b	conversion of day of year to solar angle (rad)
sc	seasonal correction for solar time (hour)
w	solar time at midhour (rad)
w1	solar time angle at the beginning of the calculation period (rad)
w2	solar time angle at the end of the calculation period (rad)
ra	extraterrestrial radiation in the hour period (MJ m ⁻² hour ⁻¹)
rs0	clear sky solar radiation in the hour period (MJ m ⁻² hour ⁻¹)
rns	net solar radiation in the hour period (MJ m ⁻² hour ⁻¹)
ratio	ratio of rs/rs0
rn1	net outgoing long wave radiation (MJ m ⁻² hour ⁻¹)

```

rn          net radiation (MJ m-2 hour-1)
etr         radiative component of et0 (mm hour-1)

g           soil heat flux (MJ m-2 hour-1)

private static double et0(double j, double t, double z, double lat, double lz,
                           double lm, double tm, double rh, double u2, double rs)
{
    double delta = 4098.0*(0.6108*Math.Exp(17.27*tm/(tm+237.3)))/Math.Pow((tm +
        237.3),2.0);
    double gamma = 0.665/1000.0 *101.3*Math.Pow((293.0-0.0065*z)/293.0,5.26);
    double es = 0.6108 * Math.Exp((17.27 * tm) / (tm + 237.3));
    double ea = es * rh/100.0;

    double psi = Math.PI/180.0*lat;
    double dr = 1.0+0.033*Math.Cos(2.0*Math.PI*j/365.0);
    double d = 0.409 * Math.Sin(2.0*Math.PI*j/365.0-1.39);
    double b = 2.0 * Math.PI * (j - 81.0) / 364.0;
    double sc = 0.1645*Math.Sin(2.0 * b)-0.1255*Math.Cos(b)-.025*Math.Sin(b);
    double w = Math.PI/12.0 * ((t+0.06667*(lz-lm)+sc)-12.0);
    double t1 = 1.0;
    double w1 = w - Math.PI*t1/24.0;
    double w2 = w + Math.PI*t1/24.0;
    double ra = 12.0*60.0/Math.PI*0.082*dr*((w2-w1)*Math.Sin(psi)*Math.Sin(d)
        +Math.Cos(psi)*Math.Cos(d)*(Math.Sin(w2)-Math.Sin(w1)));
    if (ra <= 0) ra = 0.0;
    double rs0 = (0.75+2.0/100000.0*z)*ra;
    double rns = (1.0 - 0.23) * rs;
    double ratio;
    if (rs0 <= 0.0)
    {
        ratio = 0.8;
    }
    else
    {
        ratio = rs / rs0;
        if (ratio > 1.0) ratio = 1.0;
    }
    double rnl = 4.903/24.0 *1e-9*Math.Pow(tm+273.16, 4)*
        (0.34- 0.14*Math.Sqrt(ea)) * (1.35*ratio-0.35);
    double rn = rns - rnl;
    double g;
    if (ra > 0.0)
    {
        g = 0.1*rn;
    }
    else
    {
        g = 0.5*rn;
    }

    double etr = 0.408*(rn-g)*delta/(delta+gamma*(1.0+0.34*u2));
    double eta = 37.0/(tm+273)*u2*(es-ea)*gamma/(delta+gamma*(1.0+0.34*u2));
    double et0 = etr + eta;
    return et0;
}

```

รายการที่ 2 ฟังก์ชันคำนวณอัตราการคายระเหยอ้างอิงของน้ำรายวัน (มม./วัน) ตามวิธีการของ FAO

Penman-Monteith (Allen et al 1998)

ชื่อตัวแปร	ความหมาย
j	day of year
z	elevation from sea level (m)
lat	latitude (decimal degree)
tmx	maximum air temperature (°C)
tmn	minimum air temperature(°C)
rh	relaive humidity (%)
u2	wind speed at 2 m (m s^{-1})
rs	total solar radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
et0	reference evapotraspiration rate (mm d^{-1})
delta	slope vapour pressure curve ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$) at temperature tm
gamma	psychrometric constant ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$) at air temperature tm
psi	angle in radians (rad)
estmx	saturation vapour pressure at temperature tmx (kPa)
estmn	saturation vapour pressure at temperature tmn (kPa)
es	saturation vapour pressure daily average(kPa)
ea	actual vapour pressure (kPa)
eta	adiabatic or convective component of et0 (mm d^{-1})
dr	inverse relative distance earth-sun
d	solar declination (rad)
ws	sunset hour angle (rad)
ra	extraterrestrial radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
rs0	clear sky solar radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
rns	net solar radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
rnl	net outgoing long wave radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
efftm	temperature component of rnl
effrh	vapour pressure component of rnl
effcld	cloundiness component of rnl
rn	net radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
etr	radiative component of et0 (mm d^{-1})
g	soil heat flux ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
private static	double et0(double j, double z, double lat, double tmx, double tmn, double rh, double u2, double rs)
{	
double tm	= (tmx+tmn)/2.0;
double delta	= 4098.0*(0.6108*Math.Exp(17.27*tm/(tm+237.3))) /Math.Pow((tm + 237.3),2.0);
double gamma	= 0.665/1000.0*101.3*Math.Pow((293.0-0.0065*z)/293.0,5.26);
double estmx	= 0.6108 * Math.Exp((17.27 * tmx) / (tmx + 237.3));
double estmn	= 0.6108 * Math.Exp((17.27 * tmn) / (tmn + 237.3));
double es	= (estmx + estmn) / 2.0;
double ea	= es * rh/100.0;
double psi	= Math.PI/180.0*lat;
double dr	= 1.0+0.033*Math.Cos(2.0*Math.PI*j/365.0);
double d	= 0.409 * Math.Sin(2.0*Math.PI*j/365.0-1.39);
double ws	= Math.Acos(-Math.Tan(psi) * Math.Tan(d));
double ra	= 24.0*60.0/Math.PI * 0.082*dr*(ws*Math.Sin(psi)*Math.Sin(d) + Math.Cos(psi)*Math.Cos(d)*Math.Sin(ws));
double rs0	= (0.75+2.0/100000.0*z)*ra;
double rns	= (1.0 - 0.23) * rs;
double efftm	= (4.903*1e-9*((Math.Pow(tmx+273.16, 4)+

```

        Math.Pow(tmn+273.16, 4))/2.0));
double effrh = (0.34 - 0.14 * Math.Sqrt(ea));
double effcld= (1.35 * rs / rs0 - 0.35);
double rnl   = efftm * effrh * effcld;
double rn    = rns - rnl;
double g     = 0;

double etr   = 0.408*(rn-g)*delta/(delta+gamma*(1.0+0.34*u2));
double eta   = 900.0/(tm+273)*u2*(es-ea)*gamma/(delta+gamma*(1.0+0.34*u2));
double et0   = etr + eta;
return et0;
}

```

2.5. การคำนวณค่าปริมาณฝนใช้การ (effective rainfall) และการใช้ประโยชน์

ข้อมูลที่เกษตรกรต้องการใช้ในการวางแผนปลูกพืชที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ ปริมาณฝนที่ตกในช่วงฤดูปลูกเพียงพอกับความต้องการของพืชหรือไม่ ข้อมูลดังกล่าวสามารถประเมินได้โดยใช้ค่าของ ปริมาณฝนใช้การ (effective rainfall, er) Brouwer และ Heibloem (1986) ได้กำหนด er ไว้ดังนี้

$$er = r - e - ro - sp \quad \text{eq.1}$$

ที่ซึ่ง

- r ปริมาณฝน (มม/วัน)
- e ปริมาณการระเหยจากพื้นผิวก่อนซึมเข้าสู่ดิน (มม/วัน)
- ro ปริมาณน้ำท่า (มม/วัน)
- sp ปริมาณไหลซึมผ่านดินออกจากบริเวณราก (มม/วัน)

จากคำจำกัดความโดยสมการดังกล่าว er ก็คือปริมาณฝนที่จะถูกเก็บไว้ในดินระดับรากพืชเพื่อใช้ในเวลาต่อไป หลังจากที่ได้เสียไปกับการระเหยจากผิวดิน การไหลบ่าบนผิวดิน และซึมออกจากดินบริเวณรากพืชสู่ดินด้านล่างลึก

การคำนวณค่าของ er ซับซ้อนเนื่องจากค่าของ ro และ sp แปรเปลี่ยนตามความหนาแน่นฝน ระยะเวลาที่ฝนตก ความลาดชันของพื้นที่ ความขรุขระของพื้นผิว คุณสมบัติทางกายภาพของดิน ความชื้นดินเป็นต้น

ข้อมูลจาก Critchley และ Siegert (1991) แสดงให้เห็นว่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (runoff coefficient, $ro:r$) จะเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นของฝน แต่เมื่อความหนาแน่นฝนต่ำกว่า 10 มม หรือกำหนดได้ว่าต่ำกว่าค่าศักยภาพการระเหยจากผิวน้ำ e_{pan} ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าจะต่ำมากจนอนุมานได้ว่า $ro:r = 0$ นอกจากนี้เมื่อ $r \leq e_{pan}$ จะอนุมานได้เช่นกันว่า $sp \approx 0$ และค่าของ sp จะแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณฝนเช่นกัน ดังนั้นจึงเขียนได้ว่า

$$ro + sp = \begin{cases} 0 & \text{if } r - e_{pan} \leq 0 \\ b(r - e_{pan}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

เมื่อ b คือค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียจากการไหลบ่าบนพื้นผิวยรวมกับการไหลซึมผ่านดิน เมื่อแทนที่ $ro + sp$ ใน eq. 1 และเขียนสมการใหม่จะได้

$$er = \begin{cases} r - e_{pan} & \text{if } r - e_{pan} \leq 0 \\ (1 - b)(r - e_{pan}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

นอกจากนี้เมื่อ $r - e_{pan} \leq 0$ ค่าของ $er = 0$ เช่นกัน และเมื่อกำหนดให้ $k = (1-b)$ ซึ่ง k เป็นสัมประสิทธิ์แสดงถึงคุณสมบัติของพื้นที่ปลูกพืชที่สามารถเก็บน้ำจากฝนที่เหลือจากการระเหยไว้ใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเท่าไร จะเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$er = \begin{cases} 0 & \text{if } r - e_{pan} \leq 0 \\ k(r - e_{pan}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{eq.2}$$

Brouwer และ Heibloem (1986) ได้ลดความซับซ้อนของการประเมินค่า er อันสืบเนื่องมาจาก k ซึ่งขึ้นกับคุณสมบัติของพื้นที่ และความจำเป็นที่จะต้องใช้ค่า e_{pan} โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์คงที่ในการประเมิน er รายเดือน ดังนี้

$$er = \begin{cases} 0.6(r - 16.67) & \text{if } r \leq 75 \\ 0.8(r - 31.25) & \text{otherwise} \end{cases}$$

การคำนวณค่า er รายวันในเว็บไซต์ *iWeatherStation* ได้ใช้สมการ eq.2 โดยใช้ค่า $k = 0.75$ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากแหล่งข้อมูลต่อไปนี้ $k = 0.7$ (Brouwer และ Heibloem, 1986), $k = 0.8$ (Cropwat, 2018) ซึ่งเป็นค่าแนะนำในกรณีที่ไม่มีข้อมูลอื่นๆ ในรายละเอียด, $k = 0.76$ (Stroosnijder, 1982) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยในระยะยาว และ $k = 0.75$ (Farmwest, 2018) นอกจากนี้ในสภาพอากาศที่ความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูงกว่า 40% และความเร็วมลต่ำกว่า 2 เมตรต่อวินาที $ET0 = e_{pan}$ (Pan coefficient = 1, Allen *et al*, 1998) จึงแทนที่ e_{pan} ด้วย $ET0$ ดังนั้น

$$er = \begin{cases} 0.75(r - ET0) & \text{if } r - ET0 > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

สมมุติฐานที่ใช้ทำให้สมการนี้เหมาะกับการประเมินศักยภาพเบื้องต้นของพื้นที่เพาะปลูกในระยะยาว เกษตรกรสามารถใช้ค่า er ร่วมกับ $ET0$ ในการตอบโจทยสำหรับวางแผนปลูกและจัดการพืชเบื้องต้นได้ เช่น

- สภาพภูมิอากาศและคุณสมบัติทางกายภาพของพื้นที่จะทำให้มีน้ำเพียงพอกับความต้องการของพืชตลอดช่วงฤดูปลูกหรือไม่
- การเลือกปลูกในช่วงไหนจึงจะขาดน้ำน้อยที่สุด และหากต้องให้น้ำชลประทานเสริม (supplement irrigation) จะต้องใช้ปริมาณเท่าไร

การประเมินดังกล่าวทำได้โดย

$$i = \sum_{d=1}^n ET0 - \sum_{d=1}^n er$$

เมื่อ i คือปริมาณน้ำชลประทานเสริมทั้งหมดที่ต้องให้ตลอดช่วงฤดูปลูกซึ่งมีระยะเวลา n วัน หาก $i \leq 0$ ก็ถือว่าโดยเฉลี่ยในระยะยาวปริมาณฝนอาจพอเพียงต่อการปลูกพืชในพื้นที่และช่วงเวลาดังกล่าว หากประเมินค่า i ย้อนหลังหลายๆปีก็ทำให้สามารถประเมินโอกาสของการเกิดการขาดน้ำและความเสี่ยงของการลงทุนได้

สรุปผลการดำเนินการ

การดำเนินการบรรลุผลสำเร็จตามแผน

ได้ตรวจสอบสภาพการทำงานของสถานีวัดสภาพอากาศที่ได้ติดตั้งไว้ในพื้นที่ต่าง ๆ ทั้ง 4 ภาคของประเทศให้ทำงานอย่างถูกต้องทั้ง 20 ชุด พร้อมกับได้แก้ไขการทำงานที่ผิดปกติของ 2 สถานีซึ่งเกิดจากความบกพร่องของไอซีวัดความชื้นอากาศ และ 1 สถานีจากความบกพร่องของสายนำสัญญาณ

ได้พัฒนาเว็บไซต์ให้โครงสร้างมีลักษณะเป็นโมดูลมากขึ้น พร้อมกับได้เพิ่มข้อมูลค่าคำนวณอัตราการคายน้ำอ้างอิงและปริมาณฝนใช้การ พร้อมกับแสดงผลสภาพอากาศและอัตราการคายระเหยทั้งในรูปแบบของตัวเลขและกราฟ เพื่อให้สะดวกต่อผู้ใช้งานมากขึ้น นอกจากนี้ได้เพิ่มความสามารถให้ผู้ใช้งานสามารถโอนข้อมูลไปใช้งานด้านต่างๆ เช่นการวางแผนการปลูกพืช หรือวิเคราะห์ความเสี่ยงจากสภาพอากาศเบื้องต้น

เอกสารอ้างอิง

เกริก บัณฑิตเพ็ชร 2560. โครงการการพัฒนาสถานีตรวจวัดอากาศแบบไร้สายและระบบสารสนเทศเพื่อ

การเกษตรแบบแม่นยำ (Development of wireless weather station for precision agriculture).

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สัญญาเลขที่ RDG53O0009

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirement.s. FAO irrigation and drainage paper No. 56, Rome, Italy.

Brouwer, C. and M. Heibloem. 1986. Irrigation Water Management. Training Manual No3:: Irrigation Water Needs. Land and Water Development Division, FAO, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy.

Critchley, W. and K. Siegert. 1991. Water Harvesting: A Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, Rome, Italy.

Cropwat. 2018. Cropwat 8 for Windows. <http://www.thematrix.it/irrigationit/lessons/lesson%206/0601%20CropWat%20printable%20version.pdf>

Penman H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. Proc. Roy. Soc. London A(194) S. 120-145.

Stroosnijder, L. 1982. Simulation of the soil water balance. In F.W.T. Penning de Vries and H.H. van Laar (Eds.): Simulation of plant growth and crop production. Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen, The Netherlands

Farmwest. 2018. Effective rainfall. <http://www.farmwest.com/node/934>. developed by Pacific Field Corn Association, a non-profit society. Pacific Field Corn Association, 514 Kosikar Road, Lindell Beach, B.C. V2R 4X7, Canada.

ภาคผนวกที่ 1 การเผยแพร่

1. วีดีโอ รายการคิดได้คิดดี ตอนสถานีตรวจวัดอากาศแบบไร้สาย การเกษตรแบบแม่นยำ จัดทำโดยมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่หน้าหลักของ www.kku.ac.th หรือ

<https://www.youtube.com/watch?v=GKqZGYeHBjE&feature=youtu.be>

2. ข้อมูลสภาพอากาศ <http://www.mcc.cmu.ac.th/projects/iweatherstation/>

3. ต้นฉบับ บทความสำหรับการเผยแพร่ (ฉบับปรับปรุง)

Development of Wireless Weather Station for Precision Agriculture

Krirk Pannangpetch^a, Thewin Kaeomuangmoon^b, Attachai Jintrawet^b

^a Department of Plant Science and Agricultural Resource Management, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

^b Multiple Cropping Center, Faculty of Agriculture, Chiangmai University, Chiangmai 50200, Thailand.

Abstract

Needs to maximize input efficiency and yield while minimize impact on environment have driven food production system toward information based precision agriculture, in which near real time weather information is one of the fundamental components. Therefore, wireless automatic weather station was developed to enable the construction of dense weather network and transmission of near real time weather data from the field via 3G-internet network to a web server.

Twenty wireless weather stations developed in this work was tested under field conditions at various part of Thailand for 18 months. They accurately and reliably measured solar radiation, air temperature, air relative humidity, wind speed, and rainfall. Transmission of hourly weather data to web application through 3G-Internet is reliable, provided that the 3G signal strength is better than -90 dBm.

Key words: wireless weather station, precision agriculture, food security.

Introduction

Needs to maximize input efficiency and yield while minimize impact on environment have driven food production system toward information based agriculture, in which near real time weather information from dense weather station network is one of the fundamental components (Lowenberg-DeBoer, 2015; Mello and Treinish, 2015; Herring, 2001). Long distant transmission of weather data can be made via cellular-Internet network (Liqiang et al 2011; Shining et al 2011; Kassim et al. 2014; Chaudhary et al, 2011; Sakthipriya. 2014; and Baggio, 2015) while protocol such as Zigbee, WiFi or Bluetooth can be used for short distant transmission (Rehman et al, 2014; Camilli et al, 2007; Keshtgary and Deljoo, 2012; Wang et al, 2006; and Garcia-Sanchez et al. 2011). High density installation of weather station is essential but can be costly.

In order to meet such a requirement, a cost effective wireless automatic weather station was developed to allow transmission of near real time weather data from the field via 3G-internet network to a web server, where the data can be freely accessed.

Hardware Design

Data Processing Unit

Low-power RISC 8 bit microcontroller with Flash program memory, EEPROM, and internal SRAM. Built-in peripherals include Timer/Counters, internal and external interrupts, serial communication USART, TWI, SPI, and 10-bit ADC.

RF module

Single band HSDPA 2.1 GHz System on Chip (SoC) transceiver designed for M2M wireless application which also includes UART interface and embedded TCP/IP protocol.

External flash memory

2 MB with minimum of 100000 Program/Erase cycles and data retention of 20 years

Real Time Clock

Factory calibrated temperature compensation with accuracy of ± 6 ppm from -40°C to +85°C and ± 8 ppm from -40°C to +125°C.

Power Supply

Monocrystalline high efficiency solar cell, rechargeable lithium ion battery, and Li-ion linear charger.

Sensors

Solarimeter is based on photovoltaic IC with built-in OpAmp, Temperature and humidity based on single chip module providing a calibrated digital output, anemometer and rain gauge based on CMOS hall ICs.

Design and integration of the system hardware is illustrated as schematic in Figure 1.

Embedded system software

Operation system of the data logger was written in C. The algorithm is as follow. The microcontroller is initialized into sleeping state to conserved energy, and would only be woken up by real time clock at the pre-set time interval to collect data from sensors, and then write the data to the external flash memory. When it is time to send data to remote server, it would activate RF module to send data using TCP/IC protocol, and then go back to sleep. Flow of the operation system is depicted as flow chart in Figure 2.

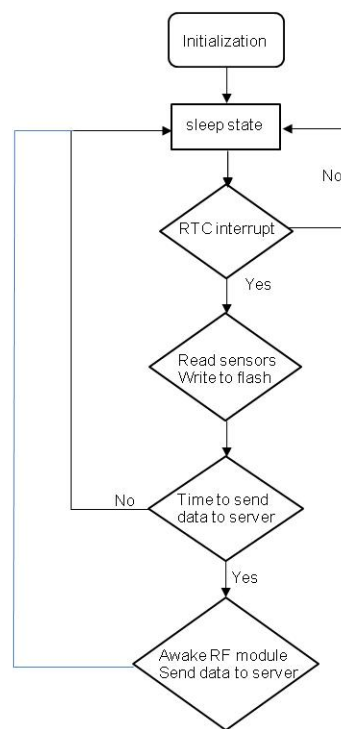


Figure 2 Algorithm of the embedded operation system.

Experimental results

Accuracy

Data collected by the developed weather station (uMet) were compared with those collected by Campbell Scientific Inc weather station which comprised Campbell CR10X data logger, Licor Li200 pyranometer, Vaisala HMP45 temperature and Humidity sensor, R.M. Young 03101 anemometer, and Sierra-Misco Model 2502 rain gauge. The results showed that they were effectively identical (Figure 3 to 7).

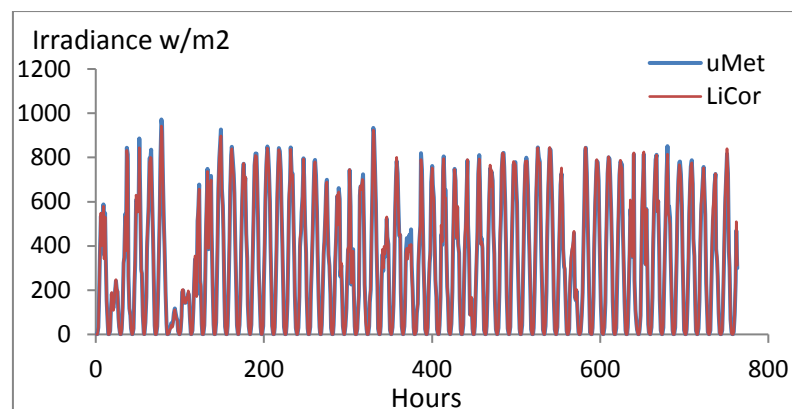


Figure 3 Comparison of irradiance as measured by the developed weather station (uMet) and that by Campbell weather station (LiCor)

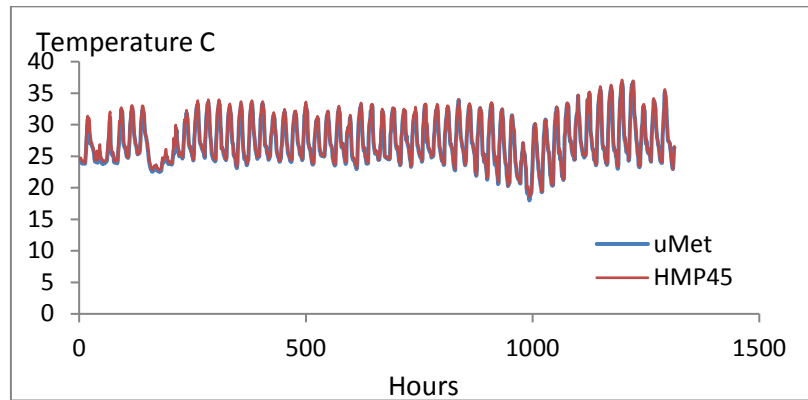


Figure 4 Comparison of air temperature as measured by the developed weather station (uMet) and that by Campbell weather station (HMP45)

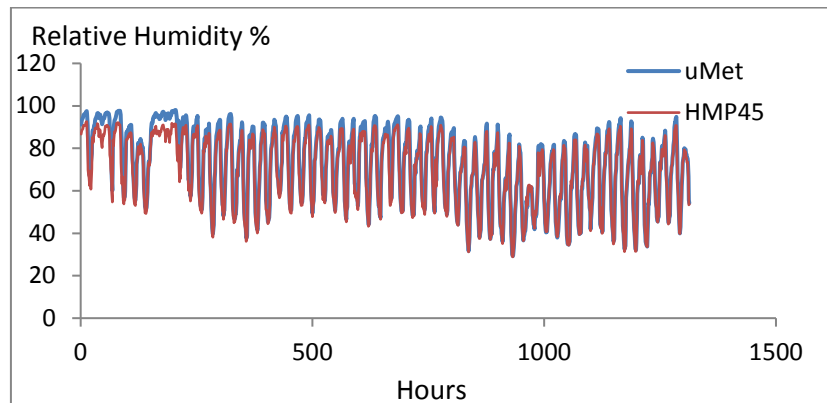


Figure 5 Comparison of air relative humidity as measured by the developed weather station (uMet) and that by Campbell weather station (HMP45)

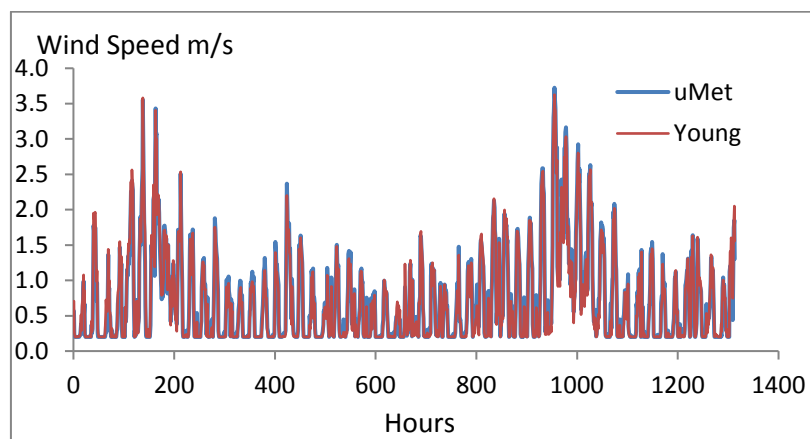


Figure 6 Comparison of wind speed as measured by the developed weather station (uMet) and that by Campbell weather station (Young)

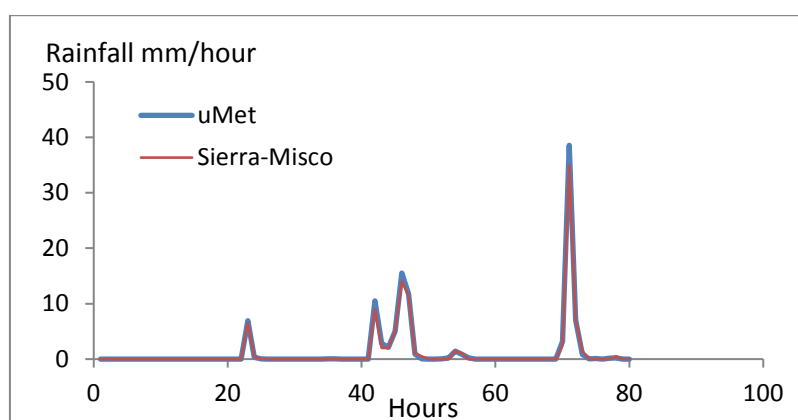


Figure 7 Comparison of rainfall as measured by the developed weather station (uMet) and that by Campbell weather station (Sierra-Misco)

Similarity between the data from the developed weather station and those from Campbell Scientific Inc was further quantified by means of simple linear regression parameters: slope, intercept, and deviation from linearity. From Figure 8, it can be seen that measured values obtained from the developed weather station are linearly related to those values measured by Campbell Scientific Inc weather station. The slope of the relationship is very close to 1 with the intercept close to 0. Deviation from linear line is very low and in all cases it was less than 0.1 (r^2 is greater than 0.9). The only exception is that of wind speed which revealed none linearity at low wind speed. This is contributed to the design and property of R.M. Young anemometer 03101 that has the offset value of 0.2 m s^{-1} —wind speed less than 0.2 m s^{-1} will be recorded as 0.2 m s^{-1} .

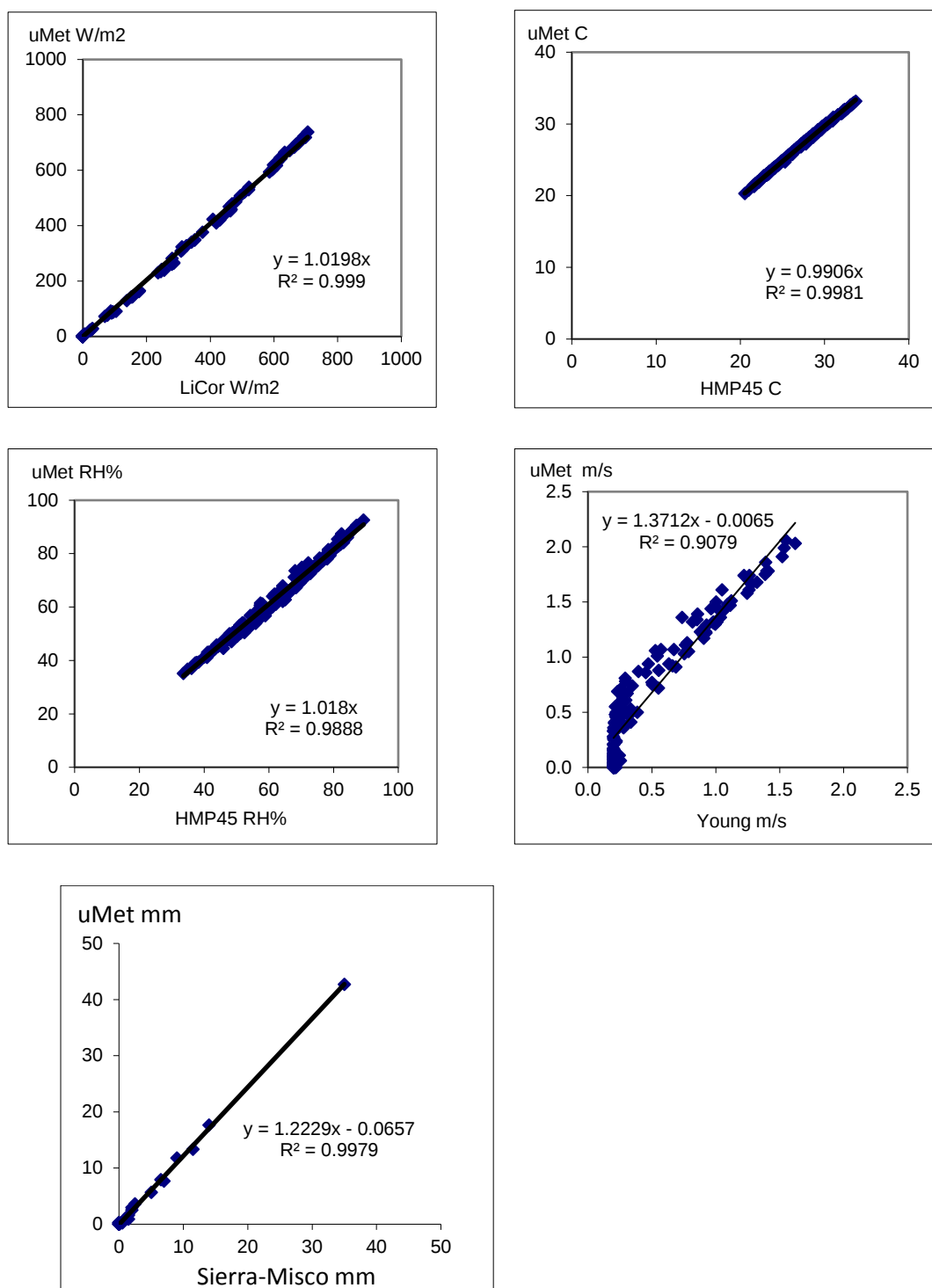


Figure 8 Similarity of weather variables recorded by the developed weather station (uMet) and those by Campbell weather station as quantified by means of simple linear regression.

Stability and reliability

Twenty stations were installed in the field: nine in the north of Thailand, four in the central, four in the northeast, and three in the south (Figure 9). 3G signal strength in these locations ranged from -75 dBm to less than -95 dBm. Testing was conducted from March 2017 to August 2018.

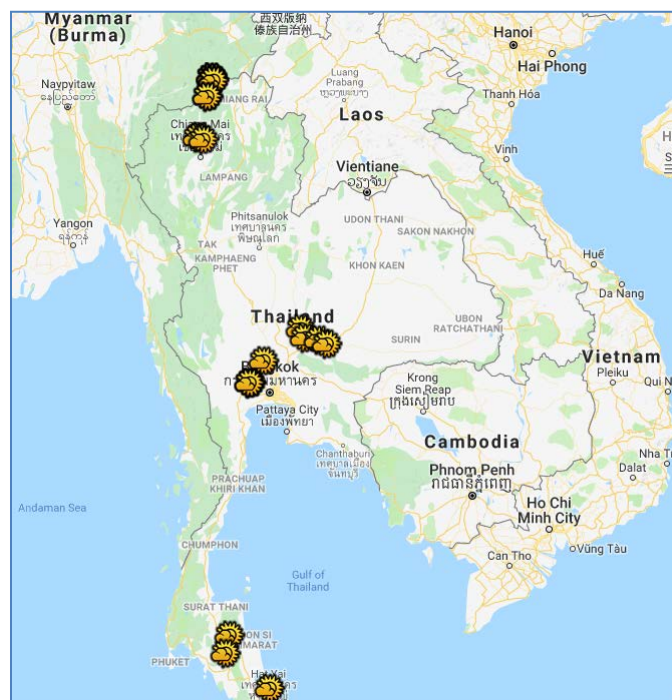


Figure 9 Locations in Thailand where twenty weather stations were installed and tested under field conditions from March 2017 to August 2018.

Results showed that weather stations installed in area where 3G signal strength was better than -95 dBm consistently and correctly sent hourly weather data from the field to web server, while two of them which were installed in area where signal strength lower than -95dBm intermittently fail to transmit data. Therefore to ensure reliable and stability of data transmission, especially during heavy rain, the station should be installed in area where 3G signal strength is better than -90 dBm.

Conclusion

The wireless weather station developed in this work is accurately and reliably measured solar radiation, air temperature, air relative humidity, wind speed, and rainfall. Data Transmission to web application through 3G-Internet is stable and reliable, provided that the 3G signal strength is better than -90 dBm. Thus it can be used to construct dense weather station network and provide near real time weather information.

Acknowledgement

This work was supported by Thailand Research Fund **TRF** (RDG53O0009, RDG 5650128, and SRI5920205)

References

- Baggio, A. 2015. Wireless sensor networks in precision agriculture. Delft University of Technology, The Netherlands.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.120.46&rep=rep1&type=pdf>.
- Camilli, A., C. E. Cugnasca, A. M. Saraiva, A. R. Hirakawa, P.L.P. Correa. 2007. From wireless sensors to field mapping: Anatomy of an application for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 58, 25–36.
- Chaudhary, D.D, S.P.Nayse, L.M.Waghmare. 2011. Application of wireless sensor network for greenhouse parameter control in precision agriculture. *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)*.3(1), 140-149.
- Garcia-Sanchez, A, F. Garcia-Sanchez, J. Garcia-Haro. 2011. Wireless sensor network deployment for integrating video-surveillance and data-monitoring in precision agriculture over distributed crops. *Computers and Electronics in Agriculture*. 75, 288–303.
- Herring, D. 2001. Precision farming.<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/PrecisionFarming/>.
- Kassim, M.R.M., I. Mat, and A.N. Harun. 2014. Wireless Sensor Network in Precision Agriculture Application. 1-5. In *International conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS)*, IEEE Publication, ISBN 978-1-4799-4384-5.
- Keshtgary, M. and A Deljoo. 2012. An efficient wireless sensor network for precision agriculture. *Canadian Journal on Multimedia and Wireless Networks*. 3(1), 1-5.
- Liqiang, Z., Y. Shouyi, L. Leibo, Z. Zhen, W. Shaojun. 2011. A Crop Monitoring System Based on Wireless Sensor Network. *Procedia Environmental Sciences*.11, 558–565.
- Lowenberg-DeBoer, J. 2015. The Precision Agriculture Revolution: Making the Modern Farmer. *Forreignaffairs*, ESSAY May/June 2015 Issue, United States Economic Development. <https://www.foreignaffairs.com/articles/united-states/2015-04-20/precision-agriculture-revolution>.
- Mello, U and L.Treinish. 2015. Precision agriculture using predictive weather analytics to feed future generations.
http://www.research.ibm.com/articles/precision_agriculture.shtml.
- Rehman, A.,A. Z. Abbasi, N. Islam, Z. Shaikh. 2014. A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. *Computer Standards & Interfaces*. 36, 263–270.
- Sakthipriya, N. 2014. An Effective Method for Crop Monitoring Using Wireless Sensor Network. *Middle-East Journal of Scientific Research*. 20(9), 1127-1132.
- Shining, L., C. Jin, and L. Zhigang. 2011. Wireless Sensor Network for Precise Agriculture Monitoring, 307-310. In *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)*. Vol. 1, IEEE Publication, ISBN 978-1-61284-289-9.

Wang, N., N. Zhang, and M. Wang. 2006. Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*.50, 1–14.

ภาคผนวกที่ 2 กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำผลจากโครงการไปใช้ประโยชน์

1. การผลิตเครื่องวัดสภาพอากาศอัตโนมัติเชิงพาณิชย์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น อนุญาตให้บริษัท ออล อินฟอร์เมชั่น เทคโนโลยี จำกัด ได้ใช้สิทธิผลิตและจำหน่าย ผลงานวิจัยเรื่อง “สถานีตรวจวัดอากาศอัตโนมัติ” ตามสัญญาถ่ายทอดเทคโนโลยี สัญญาเลขที่ R-61-01 ทำขึ้นเมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

2. การใช้เครื่องวัดสภาพอากาศอัตโนมัติในการผลิตพืชเชิงพาณิชย์และวิจัย

2.1 สวนส้ม:

สวนส้มธรรมชาติปางเสี้ยว อ. ไชยปราการ จ. เชียงใหม่

สวนส้มสิทริวงศ์ อ. ผาง จ. เชียงใหม่

สวนส้มปู่หมื่น อ. แม่สาย จ. เชียงใหม่

2.2 สวนเมล่อน: โรงเรือนเมล่อน อ.สารภี จ.เชียงใหม่

2.3 สวนลำไย

สวนลำไย คุณไพรัช เทียนทอง อ. บ้านแพ้ว จ. สมุทรสาคร

สวนลำไย คุณสันติพงษ์ เอี่ยมสมบุญ อ. บ้านแพ้ว จ. สมุทรสาคร

สวนลำไย ศรีสุวรรณ บ้านแพ้ว อ. บ้านแพ้ว จ. สมุทรสาคร

2.4 สวนมะพร้าวน้ำหอม

สวนเคหการเกษตร อ. ลาดหลุมแก้ว จ. ประทุมธานี

2.5 ไร่องุ่น

ไร่องุ่น อ. มวกเหล็ก จ. สระบุรี

J&J Vineyard อ. มวกเหล็ก จ. สระบุรี

Village Farm Khao Kaew อ. มวกเหล็ก จ. สระบุรี

Gran Monte อ. มวกเหล็ก จ. สระบุรี

2.6 สวนปาล์มน้ำมัน

ซีพีไอ ไฮบริด – นครพันธุ์ปาล์ม อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช

ซีพีไอ ไฮบริด - ฟิทุเค 2 อ.ห้วยยอด จ.ตรัง

ภาคผนวกที่ 3 ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และผลที่ได้รับในการดำเนินการ

วัตถุประสงค์	กิจกรรมตามแผน	ผลที่คาดว่าจะได้รับตามแผน	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
1. การบำรุงรักษา	1. การบำรุงรักษาสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ	1. สถานีตรวจวัดสภาพอากาศที่ทำงานได้สมบูรณ์และข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงในพื้นที่ๆได้ติดตั้งสถานีตรวจวัด	เป็นไปตามแผน	
2. พัฒนาเว็บไซต์ระบบสารสนเทศกาลอากาศ	2. พัฒนาเว็บไซต์ที่แสดงผลทั้งในรูปแบบตัวเลขและกราฟของสภาพอากาศ ผลการคำนวณอัตราการคายระเหย ปริมาณฝนใช้การ (effective rainfall) และผู้ใช้สามารถการโอนย้ายข้อมูลไปใช้งาน	2. ระบบสารสนเทศกาลอากาศที่แสดงผลสภาพอากาศ อัตราการคายระเหย ปริมาณฝนใช้การ ผ่านเว็บแอปพลิเคชันบนอินเทอร์เน็ตทั้งในรูปแบบของตัวเลขและกราฟ และผู้ใช้สามารถโอนย้ายข้อมูลไปใช้งานได้สะดวก	เป็นไปตามแผน	