การออกแบบสถานีวัดอากาศขนาดเล็กราคาประหยัดโดยใช้โปรแกรม LabVIEW
Design of the Low Cost Micro-Climate Station Based on LabVIEW

นภัทร วัจนเทพินทร์[1]* และ ไชยยันต์ บุญมี[2]

[1]รองศาสตราจารย์ [2]อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดนนทบุรี 11000

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสถานีวัดอากาศขนาดเล็กราคาประหยัด เป็นระบบไร้สายมีการรับส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ มีความเที่ยงตรงและมีราคาประหยัด โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 45mW เป็นตัวตรวจวัดความเข้มแสงอาทิตย์ทดแทนเซ็นเซอร์ที่มีราคาแพง และใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ PIC18F97J60 เป็นตัวควบคุมการรับส่งข้อมูล และได้พัฒนาโปรแกรมสถานีวัดอากาศขนาดเล็กด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW ผลการวิจัยพบว่า ค่าผิดพลาดเฉลี่ยของ การวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความเร็วลม ทิศทางลม และการวัดค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ ที่วัดจากสถานี วัดอากาศขนาดเล็กราคาประหยัด เท่ากับร้อยละ 3.108, 0.685, 4.527, 5.236 และ 0.501 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิง โปรแกรมสถานีวัดอากาศขนาดเล็กใช้งานได้ดีทั้งการแสดงผล การสร้างรายงาน และระยะทางไกลที่สุด คือ 145 เมตรในที่โล่ง ทำงานได้ คือ 145 เมตร

Abstract

The objective of this research is to develop a small and low-cost weather station. The station will be wireless, transmit and receive data via radio signals. The 45mW solar cell will be used as a solar irradiance sensor which is very expensive for the weather station, and the PIC18F97J60 controller will control the transmitter and receiver system. Moreover, the author has developed the weather monitoring software by using LabVIEW. After testing the measurement percentage errors with the reference weather station, the results showed that the relative humidity measurement error is equal to 3.106%, the temperature measurement error is equal to 0.685%, the wind speed is about 4.527%, the wind direction measurement error is equal to 5.236%, and the solar irradiance measurement error is equal to 0.501%. The longest working distance between the weather sensor and receiver unit is equal to 145 meters.

คำสำคัญ : สถานีวัดอากาศขนาดเล็ก โปรแกรมสถานีวัดอากาศขนาดเล็ก อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มของแสงอาทิตย์ LabVIEW

Keywords : Micro-climate Station, Climate Monitor Software, Temperature, Relative Humidity, Solar Irradiance, LabVIEW

* *ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ watjanatepin@rmutsb.ac.th โทร. 0 2969 1521*

1. บทนำ

ปัจจุบันทุกประเทศทั่วโลกมีการติดตั้งสถานีวัดอากาศเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับอากาศ และนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ในการพยากรณ์อากาศเพื่อให้ประชาชนได้รู้ข้อมูลล่วงหน้าเกี่ยวกับสภาวะอากาศ ฝน หิมะ อุณหภูมิ และแรงลม ฯลฯ เพื่อเตรียมความพร้อมในการดำเนินชีวิตประจำวัน หรือเพื่อแจ้งเตือนภัยพิบัติทางธรรมชาติ เช่น ภัยน้ำท่วม ภัยแผ่นดินไหว หรือ ภัยจากพายุฝน และพายุหิมะ เป็นต้น นอกจากนี้แล้วยังมีการใช้สถานีวัดอากาศเพื่อการเก็บข้อมูลของสภาวะอากาศในแต่ละพื้นที่ที่มีการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ข้อมูลของความเข้มแสงอาทิตย์ ความเร็วลมและทิศทางลม อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และความชื้นสัมพัทธ์ จะใช้ในการประเมินค่ากำลังผลิตไฟฟ้าและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าดังกล่าว [1] นอกจากนี้แล้วยังมีการนำสถานีวัดอากาศไปใช้ในด้านการเกษตร เช่น งานฟาร์มและเกษตรกรรมอย่างกว้างขวาง เช่น ไร่องุ่นเพื่อผลิตไวน์คุณภาพสูง ไร่มะนาว ไร่มันสำปะหลัง ไร่มันฝรั่ง ไร่ข้าวโพด และแปลงเกษตรชนิดอื่น ๆ รวมทั้งในสถานีวิจัยทางการเกษตร [2] [3] [4] ซึ่งจะต้องมีเซ็นเซอร์ที่วัดค่าอื่น ๆ ได้มากกว่า เช่น วัดความชื้นในดิน วัดปริมาณน้ำฝน ความดันอากาศ และอาจมีระบบกล้องเพื่อตรวจดูสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ได้อีกด้วย สถานีวัดอากาศโดยทั่วไป มี 2 ลักษณะ คือ แบบมีสาย และแบบไร้สาย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสถานที่ติดตั้ง ในโครงการนี้จะกล่าวเฉพาะระบบการวัดสภาวะอากาศแบบที่ส่งข้อมูลไร้สาย ที่วัดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการประเมินสมรรถนะของระบบ ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เท่านั้น สถานีวัดสภาวะอากาศนั้นจะใช้เซ็นเซอร์หลายชนิดในการวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ และนำค่าที่วัดได้จะเก็บไว้ใน ดาต้าล็อกเกอร์ หรือส่งไปที่คอมพิวเตอร์เก็บข้อมูลโดยระบบการสื่อสารข้อมูลแบบใดแบบหนึ่ง [5],[6],[7] สถานีวัดอากาศที่กล่าวมานั้นประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์ ตัวแปลงสัญญาณ ตัวส่งสัญญาณไร้สายผ่านคลื่นวิทยุ แหล่งจ่ายไฟฟ้าและแบตเตอรี่ อุปกรณ์ดังกล่าวล้วนแต่เป็นเครื่องมือวัดที่มีราคาค่อนข้างสูง โดยเฉพาะราคาของเซ็นเซอร์วัดความเข้มของแสงอาทิตย์ เช่น ผลิตภัณฑ์ของ Kipp & Zonen, Novalynx หรือ DAVIS Instruments ที่มีคุณภาพดีจะมีราคาสูงมาก และต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ผู้วิจัยจึงมีแรงจูงใจที่จะพัฒนาระบบที่มีราคาถูกลง โดยใช้โซล่าเซลล์ขนาดเล็กเป็นเซ็นเซอร์วัดแสงอาทิตย์ทดแทนเซ็นเซอร์วัดความเข้มของแสงอาทิตย์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ และพัฒนาวงจรอินเตอร์เฟซให้มีค่าผิดพลาดจากการวัดต่ำเป็นค่าที่ยอมรับได้ในการใช้งาน โดยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กเป็นเซ็นเซอร์และต่อร่วมกับวงจรขยายแบบที่มีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง เช่น อินสตรูเมนต์แอมปลิไฟร์ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ M. Benghanem [8], และการทดลองของ M.A. Muñoz-García [9] และผู้วิจัยเลือกใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีในประเทศราคาไม่สูง และเลือกเซ็นเซอร์วัดความเร็วและทิศทางลมที่เหมาะสมมาใช้ร่วมกัน และพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวทำหน้าที่เป็นดาต้าล็อกเกอร์ และรับส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุในย่านความถี่ 433 MHz และทดลองการทำงานของระบบ เพื่อหาค่าผิดพลาดจากการวัด โดยนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับผลการวัดจากเครื่องมือวัดอ้างอิง ตามวัตถุประสงค์

ของการวิจัย และเพื่อให้การแสดงผลสามารถดูได้แบบระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาซอฟต์แวร์ระบบ Climate Monitor ขึ้นโดยใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อประโยชน์ในการเก็บข้อมูลและการประยุกต์ใช้งานอื่น ๆ ต่อไป

1.1 อุปกรณ์และวิธีการ

1.1.1 เซ็นเซอร์วัดแสงอาทิตย์

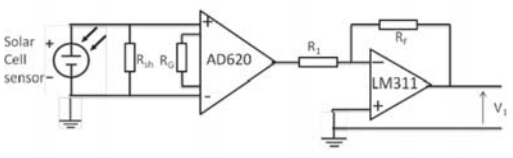
พัฒนาขึ้นโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดผลึกเดี่ยว ขนาด 5x5 cm 0.5V 90mA และใช้ R_{sh} ค่า 0.01Ω ต่อขนานกับเซลล์แสงอาทิตย์ และนำไปทดลองวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2) เพื่อลดค่าใช้จ่ายของระบบลง หลักการ คือ ค่ากระแส I_{SC} จะแปรผันตรงกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (Irradiances, W/m^2) และค่าแรงดันที่ตกคร่อม R_{sh} โดยใช้หลักการวัดค่ากระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ตามสมการ (1) อย่างไรก็ตาม แรงดันที่ได้ออกมาจะมีค่าน้อยมากจึงใช้ Instrumentation amplifier AD620 ที่มีอิมพีแดนซ์อินพุตสูงมากเพื่อขยายสัญญาณ ดังรูปที่ 1

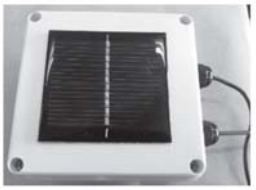
$$I_{SC} = K \cdot H_i \quad (1)$$

เมื่อ K คือ Calibration factor (–)

H_i คือ Solar irradiation (W/m^2)

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาใช้นี้มีค่า Calibration Factor เท่ากับ $67mA\ /\frac{kW}{m^2}$ ค่านี้ได้มาจากการทดลอง





รูปที่ 1 วงจรเซ็นเซอร์วัดแสงอาทิตย์

1.2 เซ็นเซอร์วัดลม

ผู้วิจัยเลือกใช้เซ็นเซอร์วัดความเร็วลมและทิศทางลม (Anemometer) Model 7911, ผลิตภัณฑ์ของ DAVIS Instruments มีค่า Output คือ Wind Speed = 1600 rev/hour = 1 mph และ Wind Direction เป็น Variable Resistance 0 - 20KΩ; 10KΩ = south, 180°

1.3 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

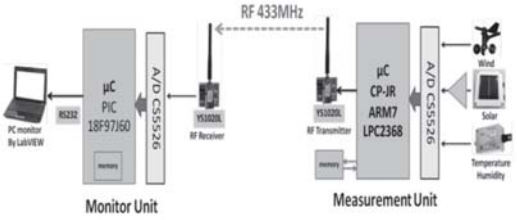
ผู้วิจัยเลือกเซ็นเซอร์แบบติดตั้งภายนอก ทนต่อสภาพแวดล้อม น้ำ และฝุ่นละออง รุ่น PM HM-005-01 ของ PRIMUS เซ็นเซอร์ตัวนี้สามารถวัดความชื้นและอุณหภูมิได้ในตัวเดียวกัน เพื่อแปลงความชื้นสัมพัทธ์ 0-100%RH และอุณหภูมิ 0-100 องศาเซลเซียส เป็นสัญญาณ 4-20mA/0-10V/RS-485

1.4 การออกแบบระบบ

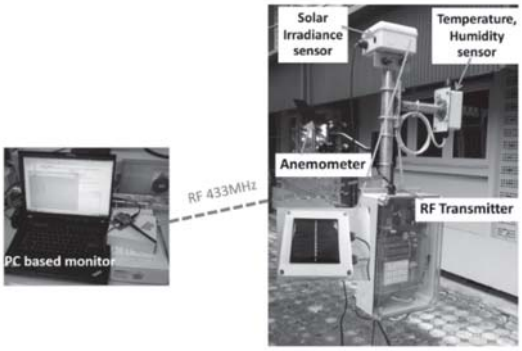
1.4.1 Measurement Unit จะนำสัญญาณจากเซ็นเซอร์ชนิดต่าง ๆ คือ Solar Sensor, Anemometer, Temperature and Humidity Sensors ผ่านตัวแปลงสัญญาณ A/D เบอร์

C55526 ของบริษัท CIRRUS LOGIC เป็น A/D Converter, 16-bit รองรับอินพุต 4-20mA 4 ช่อง, 0-10vDC 2 ช่อง, Instrument Amp 2 ช่อง (ระดับ mV) ใช้ MCU ตระกูล ARM7 TDMI-S เบอร์ LPC2368 ของบริษัท PHILIPS บนบอร์ดของ ETT ควบคุมการรับส่งสัญญาณ A/D Converter ตั้งค่าผ่าน Keypad ขนาด 8x4 ได้ แสดงผลผ่านจอ LCD 2 บรรทัด 16 ตัวอักษร Logger ค่าที่วัดได้ลงใน SD CARD ตามเวลาที่กำหนด (อย่างน้อย 5 วินาที) รับส่งข้อมูลผ่าน Serial Port โดยใช้ตัวแปลงสัญญาณโมดูลสื่อสารรุ่น YS1020L เป็น RF Module

1.4.2 Monitor Unit ใช้โมดูลสื่อสารที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลเบอร์เดียวกัน นำสัญญาณที่รับได้ผ่าน A/D และส่งเข้า MCU ตระกูล PIC เบอร์ 18F97J60 ของบริษัท MICROCHIP และมี SD card สำหรับบันทึกค่าข้อมูลและสามารถแสดงผลได้บนจอ LCD ที่เครื่องรับ และสามารถต่อ Serial Port เข้าสู่ คอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผล และควบคุมด้วยโปรแกรม Climate Monitor ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น โดยใช้โปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของระบบสถานีวัด อากาศขนาดเล็กราคาประหยัด

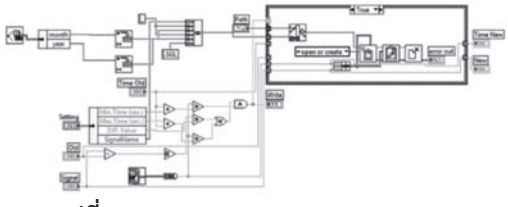


รูปที่ 3 ระบบสถานีวัดอากาศขนาดเล็กราคาประหยัด

1.5 การพัฒนาโปรแกรมสถานีวัดอากาศขนาดเล็ก (Micro-Climate Monitor Program)

โปรแกรมสถานีวัดอากาศขนาดเล็กประกอบไปด้วยโปรแกรมย่อย 3 โปรแกรม คือ

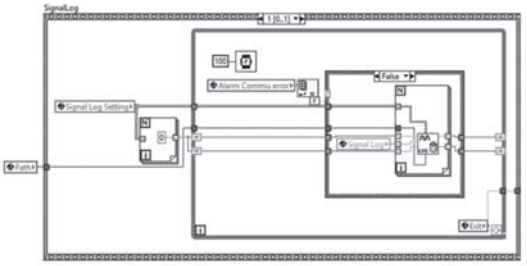
1.5.1 LinkAram.vi คือ โปรแกรมย่อยที่ทำหน้าที่กำหนดพอร์ต การเชื่อมต่อ กับอุปกรณ์ภายนอก ในโครงการนี้ใช้ port USB com1 ต่อผ่านตัวแปลงเป็น Serial Port เพื่อติดต่อกับชุด RF Module เพื่อรับข้อมูลสภาวะอากาศ 5 ชุด คือ Temperature, Humidity, Wind Speed, Wind Direction and Solar Irradiance แล้วนำชุดของข้อมูลทั้งหมดแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลแล้วนำมาจัดเก็บไว้ใน Array ที่เหมาะสม เพื่อส่งไปยังโปรแกรมมิเตอร์แสดงผล (Main.vi) และโปรแกรมแสดงกราฟแบบเรียลไทม์ (Main Trend.vi) และเก็บลงในฐานข้อมูลที่ PC โดยผ่านโปรแกรม Main Log.vi รายละเอียดของโปรแกรม แสดงในรูปแบบ Block Diagram ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 Block Diagram of LinkAram.vi

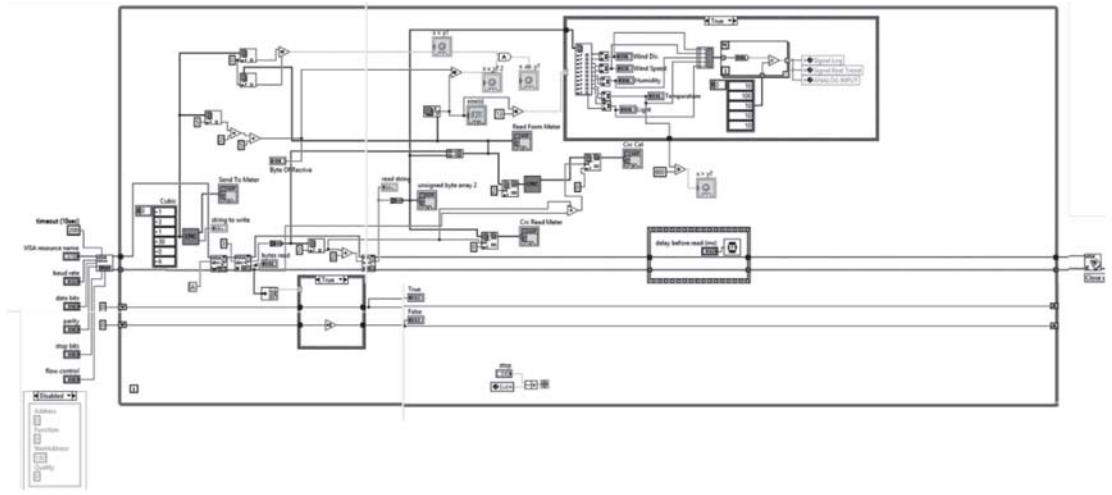
1.5.2 Main Log แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

Main Signal Log (sub.vi).vi คือ ส่วนของโปรแกรมย่อยที่เก็บและบันทึก (Logging) ข้อมูลดิจิทัลทั้งหมดที่ได้มาจากโปรแกรม LinkAram.vi ลงในคอมพิวเตอร์แสดงในรูปแบบ Block Diagram ดังรูปที่ 5



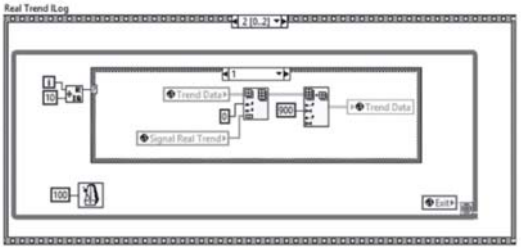
รูปที่ 5 Block diagram of Main Signal Log (sub.vi).vi

Signal Log (sub.vi).vi คือ โปรแกรมย่อยที่เก็บและบันทึก (Logging) ข้อมูลตามเงื่อนไขที่กำหนด รายละเอียดของโปรแกรม แสดงในรูปแบบ Block Diagram ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 Block Diagram of Signal Log(sub.vi).vi

1.5.3 Main Trend คือ โปรแกรมย่อยชื่อ Main Trend Log (sub.vi).vi ทำหน้าที่นำค่าสัญญาณสภาวะอากาศทั้งหมดที่เก็บค่าไว้ไปแสดงผลด้วยการแสดงกราฟ แบบเวลาจริง (Real Time Graph) โดยผู้ใช้งานสามารถเลือก ขนาดและสีของเส้นกราฟได้รายละเอียดของโปรแกรม แสดงใน Block Diagram ดังรูปที่ 7



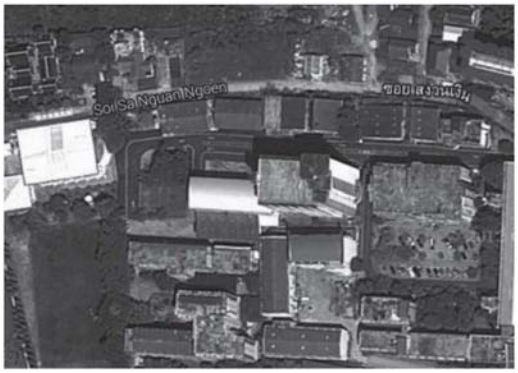
รูปที่ 7 Block Diagram of Main Trend Log (sub.vi).vi

2. วิธีการทดลอง

2.1 ติดตั้งเซ็นเซอร์และชุดสถานีวัดอากาศขนาดเล็กที่นักวิจัยพัฒนาขึ้นบริเวณเดียวกัน ชุดสถานีวัดสภาวะอากาศที่เป็นเครื่องวัดอ้างอิง คือ Weather station รุ่น Vantage Pro II ผลิตภัณฑ์ของ DAVIS INSTRUMENT ซึ่งจากคู่มือผลิตภัณฑ์ พบว่า มีค่าความแม่นยำของการวัด ดังนี้ (1) Pyranometer $\pm$5% Full Scale (1800W/m^2) (2) Humidity Sensor $\pm$3% RH (3) Temperature Sensor $\pm$0.5 Celsius (4) Wind Speed Sensor $>\pm$1ms (or 5%) (5) Wind Direction Sensor $\pm$3 Degree ลักษณะของเครื่องวัดอ้างอิงแสดงดังรูปที่ 8 ดำเนินการทดลองวัดและเก็บข้อมูลสภาวะอากาศ ในวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ระหว่างเวลา 08.40-17.00 น. โดยตั้งค่า Sampling Time ของเครื่องวัดทั้งสองเท่ากับ 300 วินาที โดยเครื่องวัดที่พัฒนาขึ้นใช้วิธีตรวจจับค่าที่ต้องการวัดทุก 10 วินาที และนำมาเฉลี่ยทุก ๆ 300 วินาที และนำค่าที่วัดได้สถานีวัดอากาศทั้ง 2 ชุด มาเปรียบเทียบกันและหาค่าผิดพลาดจากการวัด คือ ค่า Relative Errors (%) โดยระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 70 เมตร ดังรูปที่ 8

รูปที่ 8 สถานีวัดอากาศอ้างอิง และสถานีวัดอากาศที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

2.2 ทำการทดลองหาระยะทางที่ไกลที่สุดโดยติดตั้งชุดสถานีวัดอากาศขนาดเล็กภายนอกอาคาร และติดตั้งชุดรับสัญญาณและแสดงผลผ่านโปรแกรม LabVIEW ในแนวตรงที่สามารถมองเห็นกันได้ ไม่มีอาคารมาบัง การรับ-ส่งสัญญาณโดยใช้บริเวณถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี เขตใต้ บริเวณข้างอาคาร 16 และอาคารราชมงคล 36 ผังพื้นที่ทำการทดลองดังแสดงในรูปที่ 9



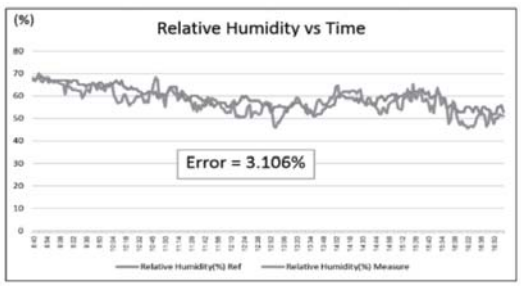
รูปที่ 9 แผนที่แสดงบริเวณที่ใช้ในการทดสอบระยะทางการรับ-ส่งสัญญาณ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

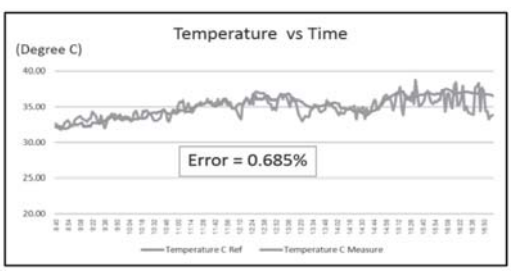
3.1 ผลการทดสอบค่าผิดพลาด

ผลการวัดค่าสภาวะอากาศทั้ง 5 ค่า คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ทิศทางลม และความเข้มของแสงอาทิตย์ เปรียบเทียบกันระหว่าง ชุดสถานีวัดอากาศขนาดเล็กที่นักวิจัยพัฒนาขึ้น (Measurement) และชุดสถานีวัดสภาวะอากาศอ้างอิง (Reference) และผลการคำนวณค่าผิดพลาดจากการวัดผลการวิจัย พบว่า ค่าผิดพลาดเฉลี่ยของการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 3.106 ค่าผิดพลาดจากการวัด

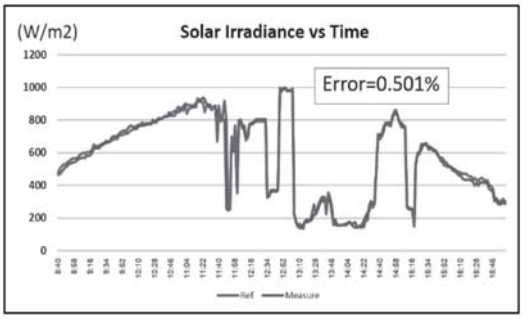
อุณหภูมิ เท่ากับร้อยละ 0.685 ค่าผิดพลาดเฉลี่ยจากการวัดค่าทิศทางลมเท่ากับร้อยละ 5.236 ค่าผิดพลาดเฉลี่ยจากการวัดค่าความเร็วลมเท่ากับร้อยละ 4.527 และค่าเฉลี่ยจากการวัดค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ เท่ากับร้อยละ 0.501 รายละเอียดของกราฟค่าสภาวะอากาศเปรียบเทียบ และค่าผิดพลาดที่ได้จากการวัด แสดงในกราฟรูปที่ 10 ถึง 14



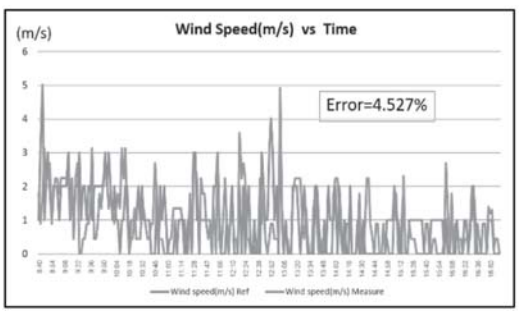
รูปที่ 10 ค่าผิดพลาดจากการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างสถานีวัดอากาศขนาดเล็กและสถานีวัดสภาวะอากาศอ้างอิง



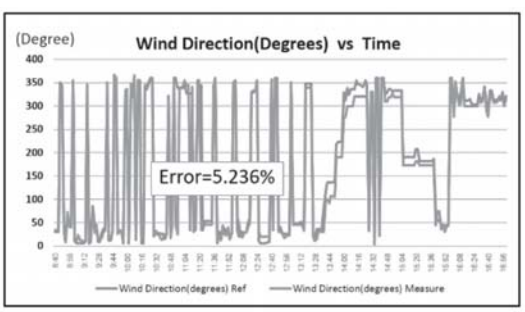
รูปที่ 11 ค่าผิดพลาดจากการวัดค่าอุณหภูมิระหว่างสถานีวัดอากาศขนาดเล็กและสถานีวัดสภาวะอากาศอ้างอิง



รูปที่ 12 ค่าผิดพลาดจากการวัดความเข้มแสงอาทิตย์ระหว่างสถานีวัดอากาศขนาดเล็กและสถานีวัดสภาวะอากาศอ้างอิง



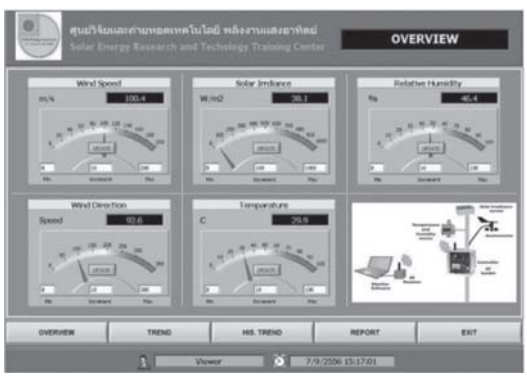
รูปที่ 13 ค่าผิดพลาดจากการวัดค่าความเร็วลมระหว่างสถานีวัดอากาศขนาดเล็กและสถานีวัดสภาวะอากาศอ้างอิง



รูปที่ 14 ค่าผิดพลาดจากการวัดค่าทิศทางลมระหว่างสถานีวัดอากาศขนาดเล็กและสถานีวัดสภาวะอากาศอ้างอิง

3.2 ผลการทำงานของ Micro-Climate Monitor Program

โปรแกรมสถานีวัดอากาศขนาดเล็กทำงานจะแสดงหน้าจอมอนิเตอร์ที่แสดงผลการวัดค่าสภาวะอากาศ 5 ตัวแปร ในโหมดแสดงผลการวัดดังรูปที่ 15 และมีปุ่มควบคุมเพื่อเลือกเข้าสู่การทำงานในโมดต่าง ๆ เช่น TREND, HIS.TREND, REPORT และ EXIT เป็นต้น และยังสามารถทำงานในโหมดแสดงผลการวัดด้วยกราฟแบบเวลาจริง ฟังก์ชันการเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ทำงานได้ตามปกติ ซึ่งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นทำงานได้ในทุกฟังก์ชันตรงตามวัตถุประสงค์ที่นักวิจัยกำหนดไว้



รูปที่ 15 Font Page of Micro-Climate Monitor Program Shown Overview Mode

3.3 ผลการวัดระยะทางการรับ–ส่งสัญญาณที่ไกลที่สุด

ผลการทดลอง พบว่า ระยะไกลที่สุดที่มีการรับ-ส่งสัญญาณด้วยคลื่นวิทยุที่ความถี่ 433 MHz เมื่อใช้เสาอากาศ 4 นิ้วของสถานีวัดอากาศขนาดเล็กราคาประหยัดนี้ มีระยะทาง 145 เมตร เมื่อทดสอบในที่โล่ง ดังตารางที่ 1 และเมื่อทดสอบในที่ที่มีอุปสรรคกีดขวางโดยการติดตั้งตัวรับไว้ในอาคาร และตัวส่งไว้นอกอาคาร พบว่า ระยะทางที่รับ-ส่งสัญญาณได้ไกลที่สุดคือ 70 เมตร

ตารางที่ 1 ผลการทดลองของระยะการรับ-ส่งข้อมูลไกลที่สุดในที่โล่ง

ระยะทาง (เมตร)	การทดลองรับ – ส่ง ข้อมูลครั้งที่				
	1	2	3	4	5
80	Y	Y	Y	Y	Y
100	Y	Y	Y	Y	Y
120	Y	Y	Y	Y	Y
145	Y	Y	Y	Y	Y
150	N	N	N	N	N

หมายเหตุ: Y คือ รับ-ส่งข้อมูลได้
N คือ รับ-ส่งข้อมูลไม่ได้

4. สรุป

จากผลการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้ทุกค่ากับค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดอ้างอิง พบว่า แนวโน้มของการวัดค่าจริงกับค่าอ้างอิง เป็นไปในแนวทางที่สอดคล้องกันทุกค่า ค่าผิดพลาดจากการวัดค่าทิศทางลม และค่าความเร็วลมมีค่าผิดพลาดมากที่สุดระหว่าง 4.527-5.236% สาเหตุที่เกิดค่าผิดพลาดอาจมาจากค่าความแม่นยำของ anemometer ที่นำมาใช้ในการทดลอง มีค่า wind direction=$\pm$7degree และค่า wind speed =$\pm$1.5m/s (or$\pm$5% greater) ซึ่งมีค่ามากกว่า anemometer ของเครื่องวัดอ้างอิงเท่ากับ $\pm$2 degree/ =$\pm$0.5m/s สำหรับค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ สำหรับอุณหภูมิมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดและเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัย ซึ่งจะต้องหาวิธีการพัฒนาต่อไป เพื่อให้ได้ค่าความแม่นยำของการวัดที่ดีขึ้น เช่น ควรพัฒนาหรือจัดหา Radiation shield มาติดตั้งเพื่อป้องกันชุดเซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ อาจช่วยให้ค่าผิดพลาดการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ลดลง ส่งผลให้ค่าความแม่นยำของการวัดดีขึ้น

สำหรับระยะทางไกลที่สุดโดยไม่มีสิ่งกีดขวางที่สถานีวัดอากาศขนาดเล็กราคาประหยัดนี้ทำงานได้ดีเท่ากับ 145 เมตร อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ทำให้เห็นว่าเครื่องมือวัดสภาวะอากาศที่ใช้เซ็นเซอร์ความเข้มแสงอาทิตย์ ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเองนี้ ส่งผลให้ราคาของสถานีวัดอากาศขนาดเล็กมีราคาลดลงได้มากเพราะไม่ต้องนำเข้าเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีราคาสูงมาก โปรแกรม Micro-Climate Monitor แม้จะใช้งานได้ดีในเบื้องต้นแต่ควรพัฒนาให้สามารถสร้างรายงานข้อมูลสารสนเทศได้จากโปรแกรมโดยตรงโดยไม่ต้องโหลดไฟล์ออกไปเพื่อนำไปสร้างกราฟจากโปรแกรม Microsoft Excel ในอนาคตควรวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทั้งด้านระยะของการส่งสัญญาณที่ไกลขึ้นและความผิดพลาดจากการวัดให้มีค่าลดลง และเพื่อจะได้ประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไปในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่สนับสนุนงบประมาณการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

ศิวาพร เหมียดไธสง และคณะ **ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับพื้นที่เพาะปลูกมะนาว** 5th ECTI-CARD 2013, 8-10 May 2013, Suranaree University of Technology, Thailand.

Campbell Scientific, Data Loggers, Sensors and Weather Station, http://www.campbellsci.cu.uk/ (Online)

http://www.smartfarmthailand.com/granmonte/Micro_Climate_Station.htm online access on 30 December 2013

M. Benghanem, **Measurement of meteorological data based on wireless data** M **acquisition system monitoring**, Applied Energy, Volume 86, Issue 12, December 2009, Pages 2651-2660, ISSN 0306-2619,

M.A. Muñoz-García, A. Melado-Herreros, J.L. Balenzategui, and P. Barrerio **Low-cost Irradiance sensors for Irradiation Assessments Inside Tree Canopies**, Solar Energy Volume 103, May 2014, Pages 143-153.

N. Watjanatepin and C. Boonmee **"Development of LabVIEW Monitoring System for the Hybrid PV–Wind Energy System"**, Tech Connect World Conference and Expo 2010. June 21-25, 2010, Anaheim, California, USA.

Nattapong Tongrod, Krisanadej Jaroensutasinee, Adisorn Tuantranont and Teerakiat Kerdcharoen **Information Technology for Smart Vineyard** World conference on agricultural information and IT, IAALD AFITA WCCA 2008, Tokyo University of Agriculture, Tokyo, Japan, 24-27 August, 2008.

Online, http://www.ku.ac.th/kunews/kut-one.html.access on 22 February 2014.

Prodata, Affordable automatic Weather Station, http://www.weatherstation.cu.uk/ (Online).