

ระบบแจ้งเตือนการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Alert System of Solar Panels Operation

พนิต นิลรักษ์ วรยญูญาดิตดอน และ นันทิยา ชัยบุตร*

Panit Nilrak, Warunyue Yatdon and Nuntiya Chaiyabut*

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

9/1 หมู่ 5 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

*School of Engineering, 9/1 Moo 5, Bangkok University, 12120, Thailand

*E-mail: nuntiya.c@bu.ac.th, Tel. 02-9020299 ext.2620, Fax. 02-5168554

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระบบการแจ้งเตือนการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยระบบนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดและส่งสัญญาณและอุปกรณ์รับสัญญาณ ภายในอุปกรณ์ตรวจวัดและส่งสัญญาณมีวงจรรีเลย์ทรานซิสเตอร์และอุปกรณ์ตรวจวัดสำหรับวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มแสง แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ข้อมูลทุกค่าที่วัดได้จะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งในบทความนี้เลือกใช้อาร์ดูโนเมกะเพื่อปรับค่าข้อมูลต่าง ๆ ให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งขึ้นไปยังแหล่งเก็บข้อมูลบนก้อนเมฆโดยใช้ซิดด์ไวไฟ สำหรับอุปกรณ์รับสัญญาณได้พัฒนาแอปพลิเคชันในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์สำหรับอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ แอปพลิเคชันนี้ถูกออกแบบให้แจ้งเตือนเมื่อข้อมูลต่าง ๆ อยู่ในเงื่อนไขที่กำหนด การแสดงข้อมูลตามเวลาจริงผ่านกราฟ การสำรองข้อมูลในแต่ละวันโดยการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัติ และการเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ตรวจวัดและส่งสัญญาณได้หลายอุปกรณ์ภายใต้แอปพลิเคชันเดียวกัน ผลการทดสอบของระบบแจ้งเตือนนี้สามารถสรุปได้ว่า ระบบสามารถแจ้งเตือนการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างถูกต้องและใช้เวลาในการแจ้งเตือนไม่เกิน 2 นาทีนับจากเวลาที่เกิดเหตุ สามารถแสดงผลของค่าอุณหภูมิ ความชื้น รังสีอัลตราไวโอเล็ต แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแบบทันทีทันใดตามเวลาจริง สามารถส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้งานผ่านจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ทุกวัน และสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตรวจวัดและส่งสัญญาณได้มากถึง 5 เครื่องโดยที่ไม่ทำให้แอปพลิเคชันสูญเสียการทำงาน

ABSTRACT

This paper presents the alarm system of solar panels operation. The system consists of sensors and transmitter device and receiver device. In the first device, the data as temperature, humidity, intensity, voltage and current are measured by sensors and electronic circuits. All data are sent to a microcontroller, in this paper use Arduino MEGA, for adjust the data to be more accurate. Then all data are transmitted to the cloud storage by wifi shield. For the receiver device, we develop the application for the android operating system on mobile devices. This application is designed to alert when all data are in the condition, show the data in real time by the graph, back up the data per day by email automatic sending and connect to more sensors and transmitter devices. The test results of the alert system are the system can alert by the application on mobile devices within 2 minutes after the event is not normal, show the data of temperature, humidity, ultraviolet, voltage and current in real time, send all data to the user by email every day and connect to sensors and transmitter devices up to 5 devices without making an application lose functionally.

1. บทนำ

กว่า 30 ปีที่ผ่านมาทั่วโลกให้ความสำคัญกับปรากฏการณ์เรือนกระจกที่นำไปสู่ภาวะโลกร้อนเป็นอย่างมาก จึงมีแนวทางการศึกษาต่าง ๆ เพื่อลดอัตราที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนลง หนึ่งในแนวทางที่ได้คือการผลิตกำลังไฟฟ้าโดยอาศัยพลังงานทดแทน ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดและไม่ก่อให้เกิดมลพิษให้กับสภาพแวดล้อม

ประเทศไทยมีอัตราการเติบโตของการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง จึงมีการจัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยขึ้นเพื่อสร้างความมั่นคงทางพลังงาน คำนึงถึงการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชน โดยหนึ่งในแนวทางการกระจายเชื้อเพลิง เพื่อลดการพึ่งพิงเชื้อเพลิงชนิดใดชนิดหนึ่ง คือ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ซึ่งในช่วงปี 2558–2579 ต้องการการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากสิ้นปี 2557 จำนวน 57,459 เมกะวัตต์ โดยเป็นสัดส่วนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนภายในประเทศถึง 21,648 เมกะวัตต์ คิดเป็นร้อยละ 37.68 ของกำลังการผลิตที่ต้องการเพิ่มในช่วงเวลาดังกล่าว [1]

การเพิ่มขึ้นของปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานทดแทนตั้งแต่ปี 2550 มีค่าเพิ่มสูงขึ้นทุกปี และได้มีการวางเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทไว้ให้สอดคล้องกับแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย จะพบว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนที่ถูกส่งเสริมให้มีการใช้ผลิตไฟฟ้ามากที่สุด โดยในปี 2579 คาดการณ์ไว้ให้มีการผลิตอยู่ที่ 6,000 เมกะวัตต์ คิดเป็นร้อยละ 30.48 ของพลังงานทดแทนที่ต้องการผลิตในปี 2579 [2]

นอกจากแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าและแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกของประเทศไทยที่กล่าวมาแล้วนั้น ปัจจุบันรัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมให้ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้งานตามครัวเรือนซึ่งอยู่ในโครงการเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ดังนั้นจะพบว่าพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้รับการสนับสนุนในการติดตั้งเพื่อผลิตไฟฟ้าในหลายรูปแบบ ทั้งกรณีที่เป็นโรงไฟฟ้า

พลังงานแสงอาทิตย์และการติดตั้งบนหลังคาตามบ้านที่อยู่อาศัย โรงงาน หรืออาคารพาณิชย์ต่าง ๆ

บทความฉบับนี้นำเสนอระบบแจ้งเตือนการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อช่วยให้การดูแลรักษาการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไปอย่างต่อเนื่องและลดการใช้แรงงานคนเพื่อเข้าทำความสะอาดโดยไม่จำเป็น โดยเฉพาะเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกติดตั้งไว้บนหลังคา (solar rooftop) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เข้าถึงได้ค่อนข้างยากและอาจมีราคาค่าบำรุงรักษาสูงเนื่องจากเข้าถึงพื้นที่ได้ค่อนข้างยาก โดยได้พัฒนาอุปกรณ์ในการตรวจวัดสัญญาณและส่งผ่านสัญญาณที่วัดได้ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อคำนวณและปรับตั้งค่าให้แม่นยำยิ่งขึ้นพร้อมทั้งส่งข้อมูลที่ไปยังอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ที่พัฒนาแอปพลิเคชันขึ้นเพื่อรองรับการทำงานในการแจ้งเตือนเมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เกิดความผิดปกติขึ้น

2. ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

การใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตกำลังไฟฟ้านั้นนับว่าเป็นการนำพลังงานทดแทนมาใช้ในอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งประเทศไทยนิยมนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าเนื่องจากผลการศึกษาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย [3] จะพบว่า พื้นที่ 50.2% ของประเทศไทยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปีอยู่ในช่วง 5-5.3 kWh/m² ซึ่งถือว่ามีความอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างสูง

นอกจากที่ประเทศไทยตั้งอยู่ในตำแหน่งที่มีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยที่ค่อนข้างสูงแล้ว ยังพบว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตกำลังไฟฟ้ายังมีค่าขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เลือกใช้ การติดตั้ง การดูแลรักษา และสภาพแวดล้อมขณะนั้น โดยถ้าพิจารณาเฉพาะสภาพแวดล้อม ณ ตำแหน่งที่เซลล์แสงอาทิตย์ถูกติดตั้งแล้ว จะพบว่าอุณหภูมิและความเข้มแสงมีผลต่อกำลังการผลิต

ปกติแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกทดสอบภายใต้สภาวะมาตรฐานการทดสอบที่อุณหภูมิเซลล์ 25 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิขณะใช้งานจริงอาจมีค่าสูงถึง 42

องศาเซลเซียส จึงเป็นสาเหตุให้กำลังการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง โดยส่งผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้ามากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้แฉงจากเซลล์แสงอาทิตย์ [4, 5, 6]

ในส่วนของความเข้มแสงนั้นจะส่งผลกระทบต่อกระแสไฟฟ้ามากกว่าแรงดันไฟฟ้า โดยเมื่อความเข้มแสงเพิ่มมากขึ้นทำให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ส่งผลให้มีกำลังในการผลิตเพิ่มขึ้น [5, 6] แต่เมื่อมีการติดตั้งและใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ไประยะหนึ่งอาจมีความผิดปกติเกิดขึ้นนอกเหนือจากการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ คือกรณีที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกบดบังและเป็นสาเหตุให้ความเข้มแสงลดลง เช่น ใบไม้ มูลนก และฝุ่น เป็นต้น ดังนั้นเมื่อเกิดกรณีดังกล่าวแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงต้องการการดูแลและบำรุงรักษาเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากกรณีของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความเข้มแสงที่ส่งผลกระทบต่อกำลังการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์นั้น สามารถกล่าวได้ว่า กำลังการผลิตที่ลดลงของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นสามารถเกิดขึ้นได้จากสภาพแวดล้อมที่ทำให้อุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นหรือความเข้มแสงลดลง ในขณะที่เดียวกันกำลังการผลิตที่ลดลงนั้นสามารถเกิดขึ้นได้จากการขาดการบำรุงรักษาที่ดีเช่นกัน

3. อินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง

แนวคิดของระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) นี้ เริ่มต้นจากความคิดที่ว่า อุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตได้ย่อมสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โดยอาศัยอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ (sensor) เพื่อสื่อสารกัน จากแนวคิดดังกล่าวได้มีการนำระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่งมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่าง ๆ เช่น การนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อให้เกิดการใช้งานพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพผ่านการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร [7] และมีการเพิ่มการแสดงผลสถานะในการทำงานแบบทันทีทันใดตามเวลาจริง (real time) [8]

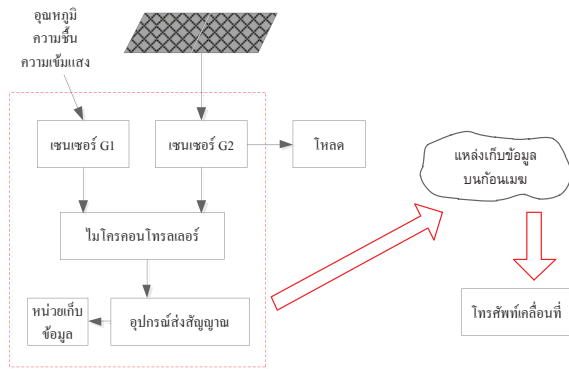
โดยทั่วไปโครงสร้างของระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่งจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับการส่งสัญญาณ ระดับเครือข่าย และระดับการประยุกต์ใช้ โดยระดับการส่งสัญญาณต้องมีการทำงานอย่างถูกต้องและสามารถทำงานครอบคลุมสิ่งที่ต้องการได้ สำหรับระดับเครือข่ายโดยมากมักจะใช้ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซึ่งต้องสร้างระบบให้คำนึงถึงเครือข่ายที่ใช้งานร่วมด้วย สุดท้ายคือระดับการประยุกต์ใช้งานที่มีการเตรียมแอปพลิเคชันเพื่อตอบสนองการใช้งานหรือการใช้งานระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่งร่วมกับความต้องการทางธุรกิจหรือภาคอุตสาหกรรม [9, 10]

4. ระบบแจ้งเตือนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การแจ้งเตือนความผิดปกติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในบทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยให้การดูแลรักษาการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไปอย่างต่อเนื่องและลดการใช้แรงงานคนเพื่อเข้าทำความสะอาดโดยไม่จำเป็น โดยเฉพาะเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกติดตั้งไว้บนหลังคา (solar rooftop) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เข้าถึงได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นระบบการแจ้งเตือนนี้จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ดังกล่าว โดยในหัวข้อนี้ได้นำเสนอหัวข้อหลัก 2 หัวข้อประกอบด้วย การทำงานและการออกแบบของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบแจ้งเตือนของเซลล์แสงอาทิตย์นี้

4.1 การทำงานของระบบแจ้งเตือน

ระบบแจ้งเตือนของเซลล์แสงอาทิตย์ถูกออกแบบให้มีการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนของอุปกรณ์ตรวจวัดและส่งสัญญาณ และ ส่วนรับสัญญาณผ่านอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่เพื่อแสดงผลอย่างทันทีทันใดตามเวลาจริง รวมถึงการส่งสัญญาณเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ และการส่งข้อมูลผ่านทางจดหมายอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัติทุกวัน แผนภาพการทำงานของระบบแจ้งเตือนของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบแจ้งเตือนของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อพิจารณาเฉพาะส่วนของอุปกรณ์ตรวจวัดและส่งสัญญาณประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ (sensors) ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 และ 2 (G1 และ G2) โดยอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ G1 ทำหน้าที่ในการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มแสงของสภาวะแวดล้อมในบริเวณที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในขณะที่อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ G2 ทำหน้าที่ที่ตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จ่ายไปยังโหนดของระบบ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับรับค่าต่าง ๆ ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ และคำนวณเพื่อปรับตั้งค่าให้แม่นยำยิ่งขึ้น และส่วนสุดท้าย คือ อุปกรณ์สำหรับส่งค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณขึ้นสู่แหล่งเก็บข้อมูลบนก้อนเมฆ (cloud storage) และสำรองข้อมูล

สำหรับส่วนรับสัญญาณซึ่งสัญญาณในที่นี้ คือ ข้อมูลที่ได้จากแหล่งเก็บข้อมูลบนก้อนเมฆ โดยพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่เพื่อรับข้อมูลซึ่งแอปพลิเคชันนี้สามารถบันทึกข้อมูลของผู้ใช้งาน แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ อย่างทันทีทันใดตามเวลาจริงผ่านกราฟแสดงข้อมูลและแจ้งเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้

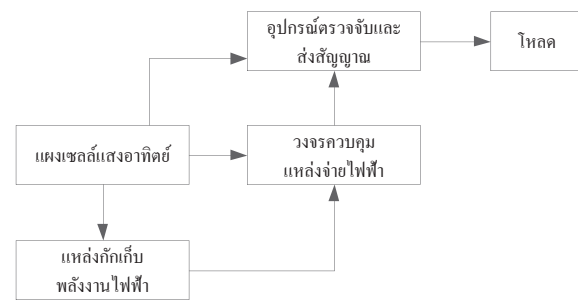
4.2 การออกแบบของอุปกรณ์ในระบบแจ้งเตือน

การออกแบบของอุปกรณ์ในระบบแจ้งเตือนเพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานของระบบแจ้งเตือนที่ได้อธิบาย

ในหัวข้อก่อนหน้าสามารถแบ่งการอธิบายออกเป็น 2 หัวข้อหลัก คือ อุปกรณ์ตรวจวัดและส่งสัญญาณ และ ส่วนรับสัญญาณ

อุปกรณ์ตรวจวัดและส่งสัญญาณ

การทำงานภายในส่วนของอุปกรณ์ตรวจวัดและส่งสัญญาณนอกเหนือจากการทำงานที่ได้กล่าวไปแล้วในรูปแบบที่ 1 นั้นยังประกอบด้วยวงจรต่าง ๆ เพื่อช่วยให้การทำงานของส่วนนี้ทำงานได้อย่างสมบูรณ์ โดยมีวัตถุประสงค์ให้อุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นนี้สามารถทำงานได้ด้วยตนเอง ดังนั้นจึงมีการออกแบบเพิ่มเติมในส่วนแหล่งเก็บพลังงานไฟฟ้าและวงจรควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้า และมีแผนผังการทำงานดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 อุปกรณ์ตรวจวัดและส่งสัญญาณ

สำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณได้มีการเลือกใช้ อุปกรณ์ ประกอบด้วย ชิลด์ DHT22 ซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ และส่งสัญญาณเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยชิลด์นี้สามารถวัดความชื้นได้ใน ช่วง 0 – 100 %RH และ อุณหภูมิ ในช่วง -40 - 80 องศาเซลเซียส และมีความคลาดเคลื่อนในการวัดความชื้นและอุณหภูมิอยู่ที่ $\pm 2\%RH$ และ ± 0.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มแสงในบทความนี้นำเสนอการใช้ชิลด์ UVM-30A อุปกรณ์นี้ใช้วัดค่าความเข้มของแสงอัลตราไวโอเล็ต โดยย่านความถี่ของอัลตราไวโอเล็ตมีความถี่สูงกว่ารังสีที่สามารถมองเห็นได้และเป็นส่วนหนึ่งของแสงที่สามารถผ่านมายังผิวโลกได้ ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานตามหลักการของโฟโตอิเล็กทริกที่อาศัยแสงที่มีความถี่สูงหรือความยาวคลื่นต่ำในการทำให้เกิด

กระแสไฟฟ้ากระแสตรง [11] ซึ่งอุปกรณ์นี้มีค่าความแม่นยำในการวัดของอุปกรณ์อยู่ที่ ± 1 ดัชนียูวี โดยให้สัญญาณออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้าและส่งค่าที่ได้นี้เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าให้เป็นค่าดัชนียูวีเพื่อใช้ในการแสดงผลต่อไปดังสมการที่ (1)

$$UV_{Index} = \begin{cases} 0 & , V_{UV} \leq 50 \\ 1 + \frac{V_{UV} - V_{UV,min}}{V_{UV,max} - V_{UV,min}} & , V_{UV,min} \leq V_{UV} \leq V_{UV,max} \end{cases} \quad (1)$$

เมื่อ UV_{Index} คือ ค่าดัชนียูวี

V_{UV} คือ แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากซิลด์ (mV)

$V_{UV,min}$ คือ แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (mV)

$V_{UV,max}$ คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (mV)

โดยที่ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดและสูงสุดนี้คือค่าช่วงของแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าต่ำกว่าและสูงกว่าค่าที่วัด เช่น ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีขนาด 300 mV มีค่าอยู่ระหว่างแรงดันไฟฟ้า 227 และ 318 mV ในตารางที่ 1 [12] ซึ่งแสดงการเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกกับค่าดัชนียูวี ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดคือค่า 227 mV และแรงดันไฟฟ้าสูงสุดคือค่า 318 mV

ตารางที่ 1 การเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกกับค่าดัชนียูวี

แรงดันไฟฟ้า (mV)	ดัชนียูวี (UV Index)
< 50	0
227	1
318	2
408	3
503	4
606	5
696	6
795	7
881	8
976	9
1079	10
≥ 1170	11

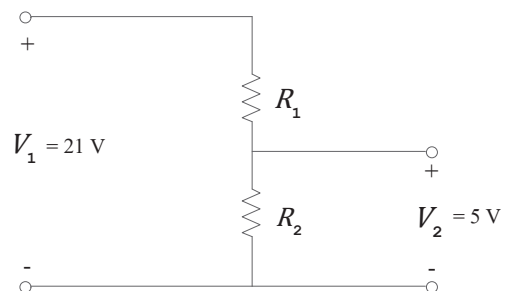
อุปกรณ์จับสัญญาณกระแสไฟฟ้าในบทความนี้ใช้ซิลด์ ACS712 โดยอุปกรณ์ชนิดนี้ตรวจวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลไปยังโหลดที่เชื่อมต่ออยู่กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถวัดกระแสไฟฟ้าอยู่ในช่วง -30 – 40

A โดยสัญญาณที่ส่งเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่ในรูปแบบดิจิตอลและถูกนำมาแปลงเพื่อแสดงค่าดังสมการที่ (2)

$$I = \frac{(I_{V1} - 512) \cdot (5/2014)}{C_{adj}} \quad (2)$$

เมื่อ I_{V1} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากซิลด์ และ C_{adj} คือ ค่าคงที่ที่ได้จากการปรับตั้งค่าเพื่อให้สามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ถูกต้อง ซึ่งค่านี้ในเอกสารข้อมูลของอุปกรณ์ (data sheet) ได้ระบุให้ใช้ค่า 0.185 แต่ในบทความนี้ได้ปรับตั้งค่าใหม่เพื่อการวัดกระแสไฟฟ้าที่ได้ถูกต้องโดยใช้ค่าที่ 0.166

อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณอุปกรณ์สุดท้ายคืออุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า ในบทความนี้ใช้หลักการแบ่งแรงดันไฟฟ้าง่ายรูปที่ 3 ซึ่งจากการคำนวณตามสมการการแบ่งแรงดันไฟฟ้าดังสมการที่ (3) โดยต้องการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าจากพิกัดแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 21 V เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ส่งเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ 5 V จะได้ค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 เท่ากับ 200 k Ω และ 62.5 k Ω ตามลำดับ



รูปที่ 3 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า

$$V_2 = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} V_1 \quad (3)$$

ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรแบ่งแรงดันเป็นค่าทางดิจิตอล ดังนั้นจึงมีการแปลงค่ากลับเพื่อแสดงผลในรูปแบบของค่าแรงดันไฟฟ้าในหน่วยโวลต์ ดังสมการที่ (4)

$$V = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) \left(\frac{V_2}{1024} \right) V_{vt} \quad (4)$$

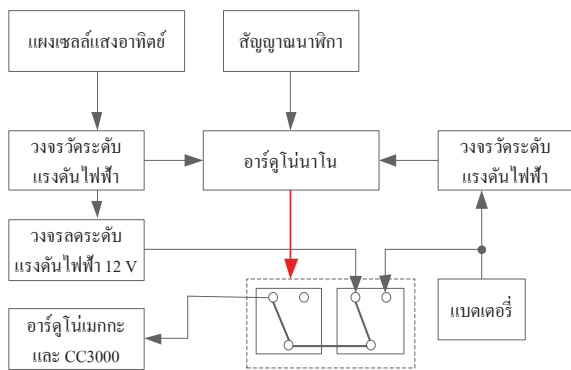
เมื่อ V_1 และ V_2 คือ แรงดันไฟฟ้าพิกัดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และไมโครคอนโทรลเลอร์ ตามลำดับ และ V_{bt} คือ แรงดันไฟฟ้าขาเข้าของไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนของการตรวจวัดและส่งสัญญาณนี้ยังประกอบด้วยวงจรต่าง ๆ เพื่อช่วยให้การทำงานของส่วนนี้ทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ประกอบด้วยแหล่งกักเก็บพลังงานไฟฟ้าและวงจรควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้า

แหล่งกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในที่นี้เลือกใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบแห้งทำหน้าที่รับพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านวงจรประจุแบตเตอรี่ โดยการออกแบบแบตเตอรี่ต้องมีขนาดที่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อเนื่องให้กับอุปกรณ์ตรวจวัดและส่งสัญญาณอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ดังนั้นสามารถคำนวณขนาดของแบตเตอรี่ [13] ได้จากสมการที่ (5)

$$Ah = \frac{T \cdot I_{cct}}{0.8} \quad (5)$$

เมื่อ Ah คือ ขนาดของแบตเตอรี่ที่ได้จากการคำนวณ T คือ ระยะเวลาการทำงานของแบตเตอรี่ (hr) และ I_{cct} คือ กระแสไฟฟ้าทั้งหมดที่วงจรต้องการ (A) โดยกระแสไฟฟ้าที่วงจรทั้งหมดใช้ไปมีค่าเท่ากับ 320 mA เมื่อแทนค่าตามสมการที่ (5) จะได้ค่า $Ah = 4.80 Ah$ ดังนั้นจึงเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 5 Ah แบตเตอรี่ที่คำนวณได้นี้จะถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้า ดังรูปที่ 4

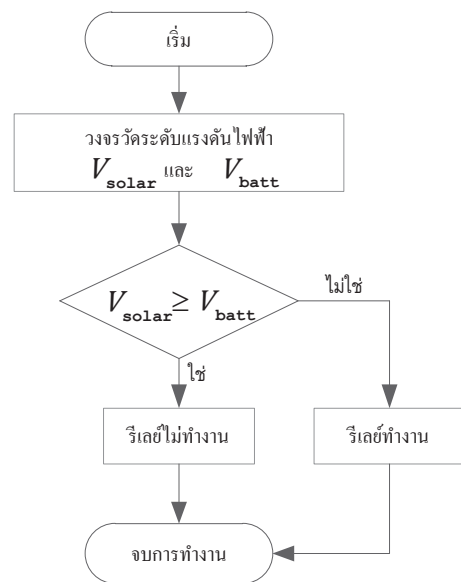


รูปที่ 4 ระบบควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้า

ระบบควบคุมการจ่ายไฟฟ้า คือ ระบบที่ทำหน้าที่ในการเลือกแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรหลักของอุปกรณ์

ตรวจวัดและส่งสัญญาณ โดยมีเงื่อนไขการเลือกแหล่งจ่ายไฟฟ้าตามระดับแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ โดยถ้าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าไม่น้อยกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่แล้ว วงจรหลักจะได้รับกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ในทางตรงกันข้ามถ้าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่มากกว่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แล้ววงจรหลักจะได้รับกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ซึ่งถูกควบคุมการเลือกแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยอาร์ดูโนนาโนและรีเลย์ ดังแผนภาพการทำงานในรูปที่ 5

นอกเหนือจากการทำงานข้างต้นของระบบควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้าแล้ว ระบบนี้ยังถูกออกแบบให้จ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรหลักเฉพาะตอนกลางวันในช่วงเวลา 6.00–18.00 น. เท่านั้น เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของระบบ ดังนั้นในระบบการทำงานจึงมีวงจรสัญญาณนาฬิกาเพื่อควบคุมการทำงานของระบบในตรวจวัดและส่งสัญญาณเฉพาะช่วงเวลาที่กำหนดและหยุดการทำงานในช่วงเวลานอกเหนือจากเวลาที่ได้กำหนดไว้



รูปที่ 5 แผนผังการทำงานระบบควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้า

เมื่ออุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณรับค่าได้จะส่งค่าเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในบทความนี้เลือกใช้อาร์ดูโนเมกกะ (Arduino MEGA) ซึ่งภายในมีการพัฒนา

โปรแกรมเพื่อใช้ในการแปลงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังที่กล่าวไปข้างต้น จากนั้นพารามิเตอร์ทั้งหมดจะถูกส่งขึ้นแหล่งเก็บข้อมูลบนก้อนเมฆผ่านซิมการ์ดไวไฟ CC3000 ในทุก ๆ 5 นาที และเนื่องจากการออกแบบอุปกรณ์แจ้งเตือนนี้เน้นเรื่องการเก็บข้อมูลที่ได้ควบคุมไปกับการส่งข้อมูลที่ตรวจวัดได้ ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลของการเลือกใช้ CC3000 เนื่องจากเป็นซิมการ์ดที่สามารถส่งข้อมูลผ่านไวไฟและบันทึกข้อมูลลงในหน่วยจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของเอสดีการ์ด (SD Card) ได้

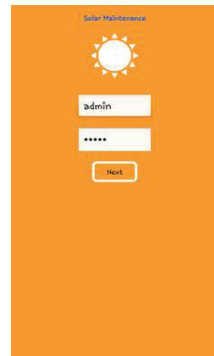
สำหรับแหล่งข้อมูลบนก้อนเมฆในที่นี้เลือกใช้รูปแบบการเก็บข้อมูลผ่านเว็บไซต์ทิงค์สปีก (Think speak) ซึ่งเป็นเว็บไซต์สำหรับฝากข้อมูลและสามารถเก็บข้อมูลและแสดงผลผ่านกราฟของข้อมูลต่างๆ จากอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ โดยในเบื้องต้นสามารถเรียกดูลักษณะกราฟและข้อมูลแต่ละค่าขณะแสดงผลได้จากเว็บไซต์โดยตรงผ่านคอมพิวเตอร์หรือแอปพลิเคชันของเว็บไซต์ทิงค์สปีก

ส่วนรับสัญญาณ (ข้อมูล)

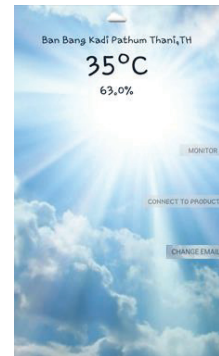
ส่วนการรับข้อมูลจากแหล่งข้อมูลบนก้อนเมฆในที่นี้ได้พัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่และมีการออกแบบการให้ทำงานในกรณีต่าง ๆ ประกอบด้วย การแจ้งเตือนเมื่อตัวแปรต่าง ๆ อยู่ในเงื่อนไขที่กำหนด การเก็บข้อมูลผู้ใช้งานอุปกรณ์ส่งสัญญาณ การแสดงผลตามเวลาจริงผ่านกราฟ การส่งข้อมูลที่บันทึกไว้ในแต่ละวันเข้าสู่อีเมลของผู้ใช้งาน รวมถึงการออกแบบให้สามารถเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ส่งสัญญาณได้หลายอุปกรณ์ภายใต้แอปพลิเคชันเดียวกัน ซึ่งฟังก์ชันการทำงานของแอปพลิเคชันได้ถูกออกแบบและพัฒนาให้ทำงานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android Operating System) โดยใช้โปรแกรมแอนดรอยด์สตูดิโอ (Android Studio)

แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นนี้มีระบบรักษาความปลอดภัยก่อนเข้าใช้งานด้วยการยืนยันตัวตนโดยชื่อผู้ใช้และรหัสผ่าน ดังรูปที่ 6 (ก) ในกรณีลืมรหัสผ่านสามารถ

เข้าสู่แอปพลิเคชันได้โดยชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านของผู้ดูแลระบบเพื่อแก้ไขข้อมูลให้สามารถใช้งานต่อได้



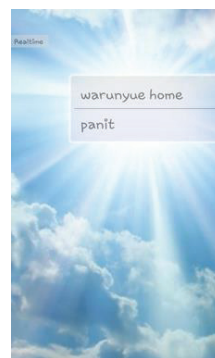
(ก) หน้าต่างเริ่มใช้งาน



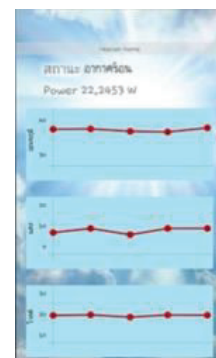
(ข) หน้าต่างเมนู

รูปที่ 6 การเข้าสู่แอปพลิเคชัน

เมื่อผ่านหน้าเริ่มต้นแล้วจะเข้าสู่หน้าต่างเมนู ดังรูปที่ 6 (ข) ซึ่งมีเมนูให้เลือก 3 เมนู ประกอบด้วย มอนิเตอร์ (monitor) เชื่อมต่อผลิตภัณฑ์ (connect to product) และเปลี่ยนอีเมล (Change Email) นอกจากนี้ยังแสดงตำแหน่งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ณ ตำแหน่งของอุปกรณ์สื่อสาร ณ ขณะนั้น



(ก) หน้าต่างผู้ใช้งาน



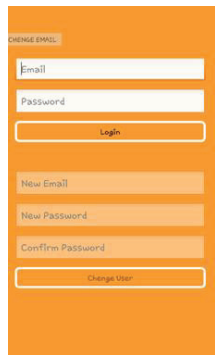
(ข) หน้าต่างกราฟ

รูปที่ 7 เมนูมอนิเตอร์

เมนูมอนิเตอร์ใช้สำหรับเข้าดูลักษณะของกราฟจากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดของผู้ใช้แต่ละผู้ใช้งาน ดังรูปที่ 7 โดยรูปที่ 7 (ก) แสดงผู้ใช้งานที่ถูกเพิ่มเข้าสู่แอปพลิเคชัน และรูปที่ 7 (ข) แสดงกำลังไฟฟ้าที่จ่ายโหลด ณ ขณะนั้น และกราฟตามเวลาจริงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งภายในหน้าตางานนี้มีปุ่มสำหรับเรียกดู

ที่อยู่ของผู้ใช้อุปกรณ์เพื่อให้ผู้ทำหน้าที่ตรวจสอบติดต่อผู้ใช้อุปกรณ์กรณีพบความผิดปกตินอกเหนือจากที่กำหนดไว้ในโปรแกรม

เมนูเชื่อมต่อผลิตภัณฑ์ใช้สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจวัดในกรณีมีอุปกรณ์หลายชุด ซึ่งอุปกรณ์แต่ละชุดสามารถบันทึกตำแหน่งการติดตั้งที่แตกต่างกันเข้าสู่ฐานข้อมูลได้ ดังรูปที่ 8 (ก)



(ก) หน้าต่างตำแหน่งติดตั้ง (ข) หน้าเปลี่ยนอีเมล
รูปที่ 8 การเข้าสู่แอปพลิเคชัน

เมนูเปลี่ยนอีเมลแสดงดังรูป 8 (ข) ใช้สำหรับเปลี่ยนแปลงชื่อผู้ใช้ (อีเมล) และรหัสผ่านในการเข้าใช้แอปพลิเคชันและเพื่อจัดส่งข้อมูลที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดในแต่ละวัน โดยได้โปรแกรมให้ส่งข้อมูลเข้าสู่อีเมลที่ระบุไว้ของผู้ใช้แต่ละรายในเวลา 18.00 น. ของทุกวัน

ข้อมูลของผู้ใช้อุปกรณ์ที่ประกอบด้วย ชื่อ อีเมล รหัสผ่าน ตำแหน่งที่ตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดและเบอร์ติดต่อ รวมถึงค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้ในแต่ละวันจะถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลเอสคิวแอล (SQL database)

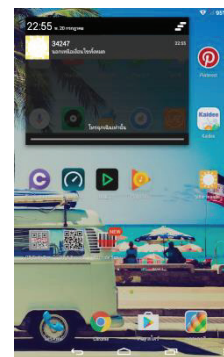
สำหรับการแจ้งเตือนความผิดปกติได้ถูกกำหนดขึ้นในโปรแกรมโดยมีเงื่อนไขดังตารางที่ 2 ซึ่งเป็นการกำหนดเงื่อนไขขึ้นมาเพื่อทดสอบการทำงานของแอปพลิเคชันโดยกรณีที่ 1 เป็นการทดสอบในสภาวะการทำงานปกติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในขณะที่กรณีที่ 2-4 เป็นการทดสอบในสภาวะผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วย กรณีขาดการบำรุงรักษาในด้านของการทำความสะอาด กรณีแผงเกิดการชำรุดเสียหายแล้ว

ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้า และกรณีที่ส่งผลต่อทั้งระดับการลดลงของแรงดันและกระแสไฟฟ้า สำหรับกรณีที่ 5 เป็นการทดสอบการทำงานในสภาวะฝนตก

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการแจ้งเตือนของแอปพลิเคชัน

แสดงผล	V_d	I_d	T_d	RH_d	UV_d
กรณีที่ 1 ปกติ	/	×	/	-	×
กรณีที่ 2 ผิดปกติ 1	/	×	/	/	/
กรณีที่ 3 ผิดปกติ 2	×	//	×	-	/
กรณีที่ 4 ผิดปกติ 3	×	×	/	-	/
กรณีที่ 5 ฝนตก	/	×	×	/	×

เมื่อ V_d , I_d , T_d , RH_d , และ UV_d คือ ค่ากำหนดของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ ความชื้น และดัชนียูวีตามลำดับ และเครื่องหมาย /, //, × และ - หมายถึง ค่าที่วัดได้มีค่าเท่ากับหรืออยู่ในช่วงค่าที่กำหนด ค่าที่ได้สูงกว่าค่าหรือช่วงที่กำหนด ค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนด และค่าที่ได้ไม่มีผลต่อการแสดงผล ตามลำดับ



รูปที่ 9 หน้าต่างการแจ้งเตือน

เมื่อค่าที่วัดได้ทุกค่าสอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนดขึ้น แอปพลิเคชันจะแจ้งเตือนที่อุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ที่ลงทะเบียนในแอปพลิเคชันนั้น ดังรูปที่ 9 ซึ่งเป็นการลองทดสอบในเงื่อนไขที่นอกเหนือจากเงื่อนไขการแจ้งเตือนของแอปพลิเคชันข้างต้น

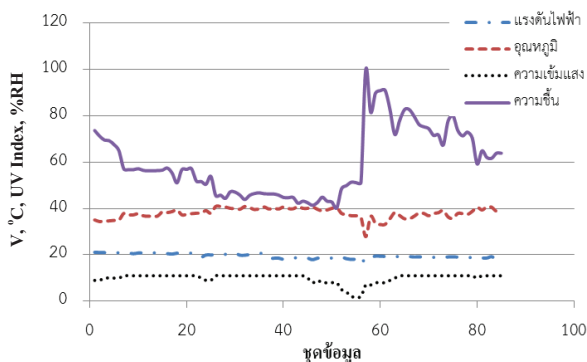
5. ผลการทดลอง

อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ แสดงได้ดังรูปที่ 10 ซึ่งได้ถูกจัดวงจรต่างๆ เข้าไว้ในกล่องที่สามารถทนต่อแดดและฝนได้ ซึ่งกล่องนี้จะถูกติดตั้งได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีใช้งานตั้งแผงหรือติดตั้งไว้ได้หลังคาบ้านเรือนกรณีใช้วัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา



รูปที่ 10 อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ

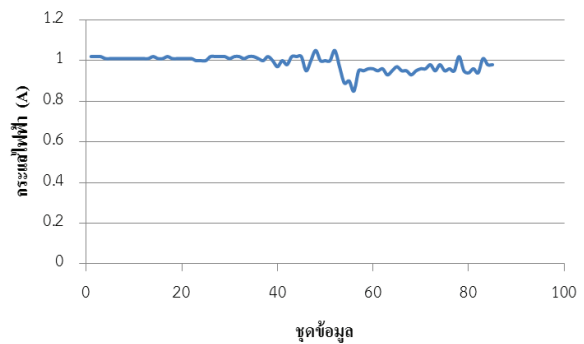
การทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของระบบแจ้งเตือนเซลล์แสงอาทิตย์นี้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 100 W, 21 V จำนวน 2 แผงต่อขนานกัน โดยเชื่อมต่อกับโหลดความต้านทานเพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าในระบบ 1 A



รูปที่ 11 แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ ความชื้น ความชื้น

ผลการทดสอบระบบแจ้งเตือนของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 กรณี โดยการทดลองแรก คือ การทดลองเพื่อแสดงผลการวัดปริมาณต่างๆ ผ่าน

แอปพลิเคชันและนำข้อมูลที่ได้นำมาสร้างเป็นกราฟดังรูปที่ 11 และ 12 โดยรูปที่ 11 แสดงข้อมูลที่ตรวจวัดได้ซึ่งประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ ความชื้นแสง และความชื้น ส่วนรูปที่ 12 แสดงข้อมูลของกระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้ซึ่งต้องแยกกราฟไว้ต่างหากเนื่องจากสเกลของกระแสไฟฟ้ามืดแตกต่างจากข้อมูลอื่นมาก ทั้งนี้ ชุดข้อมูลที่แสดงในกราฟแต่ละชุดจะถูกบันทึกทุก 5 นาที



รูปที่ 12 กระแสไฟฟ้า

จากข้อมูลในการแสดงผลข้างต้น จะพบว่า ช่วงเวลาที่ความชื้นเพิ่มขึ้น อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้า ความชื้นแสง และกระแสไฟฟ้า มีค่าลดลง

การทดลองกรณีที่ 2 คือ การทดลองเพื่อทดสอบการแจ้งเตือนตามเงื่อนไขการทำงานของแอปพลิเคชันตามตารางที่ 2 โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลอง คือ ค่ากำหนดของแรงดันไฟฟ้า 17 V กระแสไฟฟ้า 0.8 A อุณหภูมิ 35°C ความชื้น 60%RH และดัชนียูวี เท่ากับ 5 ซึ่งในแต่ละกรณีทำการทดสอบ 5 ครั้งและได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 3

สำหรับการทดลองเพื่อทดสอบการตอบสนองของการแจ้งเตือนสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4 ซึ่งผลการทดสอบการแจ้งเตือนจะพบว่า เมื่อเกิดความผิดปกติตามเงื่อนไขที่สร้างขึ้น ระบบที่พัฒนาขึ้นมีสามารถในการตรวจวัด ส่ง รับสัญญาณและแจ้งเตือนผู้ใช้งานได้ในเวลาไม่เกิน 2 นาที

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบตามเงื่อนไขการแจ้งเตือนของ แอปพลิเคชัน (สอดคล้องกับเงื่อนไขตารางที่ 2)

กรณีที่	การแสดงผล	การแจ้งเตือน
1	ปกติ	สำเร็จ
2	ผิดปกติ 1	สำเร็จ
3	ผิดปกติ 2	สำเร็จ
4	ผิดปกติ 3	สำเร็จ
5	ฝนตก	สำเร็จ

ตารางที่ 4 เวลาในการตอบสนองของการแจ้งเตือน

ครั้งที่	เวลาเกิด	เวลาแจ้ง	ความคลาดเคลื่อน (นาท)
1	11.07	11.08	1
2	11.53	11.53	0
3	12.20	12.22	2
4	13.50	13.51	1
5	14.06	14.07	1

ผลการทดสอบการแจ้งเตือนจะพบว่า เมื่อเกิดความผิดปกติตามเงื่อนไขที่สร้างขึ้น ระบบที่พัฒนาขึ้นมีสามารถในการตรวจวัด ส่ง รับสัญญาณและแจ้งเตือนผู้ใช้งานได้ในเวลาไม่เกิน 2 นาที

สำหรับการทดลองกรณีสุดท้าย คือ การทดลองเพื่อทดสอบระบบแจ้งเตือนของเซลล์แสงอาทิตย์ คือ การทดลองเพื่อทดสอบความสามารถของแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นในด้านการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตรวจวัดและส่งสัญญาณ โดยพิจารณาจำนวนอุปกรณ์ตรวจวัดและส่งสัญญาณที่เชื่อมต่อแล้วแอปพลิเคชันยังคงทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งทดสอบกับอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ 4 เครื่อง ผลการทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ 5 ซึ่งจากการทดสอบจะพบว่า แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นบนอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ที่สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตรวจวัดและส่งสัญญาณพร้อมกันได้สูงสุด 5 เครื่อง โดยไม่ทำให้แอปพลิเคชันสูญเสียประสิทธิภาพในการทำงาน

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการเชื่อมต่ออุปกรณ์

จำนวนอุปกรณ์	การทำงานของอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่			
	1	2	3	4
1	ทำงาน	ทำงาน	ทำงาน	ทำงาน
2	ทำงาน	ทำงาน	ทำงาน	ทำงาน
3	ทำงาน	ทำงาน	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	ทำงาน	ทำงาน	ทำงาน
5	ทำงาน	ทำงาน	ทำงาน	ทำงาน
6	ทำงาน	ทำงาน	หยุดทำงาน	ทำงาน
7	หยุดทำงาน	หยุดทำงาน	หยุดทำงาน	หยุดทำงาน

6. สรุป

ระบบแจ้งเตือนการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ อุปกรณ์ตรวจวัดและส่งสัญญาณ และแอปพลิเคชันสำหรับรับสัญญาณ โดยอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณทำหน้าที่รับข้อมูลผ่านอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณและวงจรวัดที่พัฒนาขึ้นเพื่อส่งข้อมูลทั้งหมดที่ได้ไปเก็บไว้ที่แหล่งเก็บข้อมูลบนก้อนเมฆ จากนั้นส่วนรับสัญญาณจะนำข้อมูลบนแหล่งเก็บข้อมูลบนก้อนเมฆมาประมวลผลความผิดปกติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อแจ้งให้กับผู้ใช้งานได้ทราบผ่านแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นสำหรับอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เท่านั้น

ผลการทดสอบระบบแจ้งเตือนฯ ที่ได้นี้ทำให้ทราบว่าระบบแจ้งเตือนฯ สามารถแจ้งเตือนการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างถูกต้องและใช้เวลาในการแจ้งเตือนไม่เกิน 2 นาทีนับจากเวลาที่เกิดเหตุ นอกจากนี้แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นสำหรับอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตรวจวัดและส่งสัญญาณได้มากถึง 5 เครื่องโดยที่ไม่ทำให้แอปพลิเคชันสูญเสียการทำงาน สามารถแสดงผลของข้อมูลในรูปแบบกราฟแบบทันทีทันใดตามเวลาจริง และสำรองข้อมูลให้กับผู้ใช้งานแอปพลิเคชันในแต่ละวันผ่านระบบการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารอ้างอิง

- [1] แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 (PDP2015). สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน, 2558.
- [2] แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (AEDP2015). กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน, 2558.
- [3] เสริม จันทร์ฉาย. แผนที่ศึกษาภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย. โครงการจัดทำแผนที่ศึกษาภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย มหาวิทยาลัยศิลปกร, 2542.
- [4] Muhammad, H. Rashid. Power Electronics Handbook: Drive. Circuit and Applications, 3rd edition, ISBN: 978-0-12-382036-5, Butterworth - Heinemann, USA, 2011.
- [5] Lasnier, F. and Ang, T.G. Photovoltaic Engineering Handbook. ISBN: 0-85274-311-4, Adam Hilger, New York, USA, 1990.
- [6] Hamrouni, N., Jraid, M. and Chérif, A. Solar radiation and ambient temperature effects on the performances of a PV pumping system. *Revue des Energies Renouvelables*, 2008; 1: 95–106.
- [7] Zhang, G., Wu, X., Li, C., Tao, L., Ji, X. Zhao, H. and Cui, Y. Building electrical equipment Internet of Things with applications to energy saving. International Conference in Mechatronics and Control (ICMC), Jinzhou, China, 2017.
- [8] Casini, M. Internet of things for Energy efficiency of buildings. *International Scientific Journal Architecture and Engineering*, 2014; 29: 1–5.
- [9] Mattern, F. and Floerkemeier, Ch. From Internet of Computers to the Internet of Things. ISBN: 3-642-17225-3 978-3-642-17225-0, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 2010.
- [10] Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P. and Georgakopoulos, D. Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2014; 6(1): 414–454.
- [11] ไกรสร อัญชลีวรพันธุ์. มาตรฐานเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ประกอบ. ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.), 2012; 59–61.
- [12] Arduinoall. UVM-30A เซนเซอร์แสง UV Ultra Violet UVM-30A sensor module. 2016, แหล่งที่มา <http://www.arduinoall.com>
- [13] PowerStream Technology Inc. How to calculate battery run – time. 2016, แหล่งที่มา <http://www.powerstream.com/battery-capacity-calculations.htm>