อุปกรณ์ตรวจวัดมุมของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ IoT

IoT Angle Monitoring Device for Solar Tracking Photovoltaic System

ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล* กัญญาภัทร์ มงคลพรสุข และ อารยา เลิศสกุลภัทร
สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Abstract

This research developed and installed the angle monitoring device using Internet of Things (IoT) technology for inspection and display the operation of the double axis photovoltaic tracking system, online via the Blynk application and alert malfunctions of the photovoltaic tracking system through Line application. In this study, the 600-watts PV stand-alone is used in order to test the developed online monitoring system. The prototype device consists of a microcontroller (NodeMCU V.2) and an angle sensor (3-axis Accelerometer/ Gyro module), which installed under the solar panel structure.

The performance testing of the online angle monitoring system comparing with the standard angle measuring device (Clinometer application) found that the prototype device had a north-south and east-west angle error of ± 3 and ± 7 degrees, respectively. In addition, the system sends a warning message through the Line application when the solar tracking system malfunctions. This can help to maintain better usability or prevention of damage to the system.

Keywords: IoT, Blynk, Solar tracking

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ ทำการพัฒนาและติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดมุมโดยใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) เพื่อตรวจสอบและแสดงผลการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน ที่ติดตั้งแบบอิสระ (PV Stand-Alone System) ขนาด 600 วัตต์ แบบออนไลน์ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และแจ้งเตือนเมื่อระบบติดตามดวงอาทิตย์ทำงานผิดปกติผ่านแอปพลิเคชัน Line ซึ่งอุปกรณ์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นนี้ ประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ (NodeMCU V.2) และ เซนเซอร์ตรวจวัดมุม (3-axis Accelerometer/Gyro module) ที่ติดตั้งใต้โครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบการทำงานของระบบตรวจวัดมุมเพื่อติดตามการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน เปรียบเทียบกับอุปกรณ์วัดมุมมาตรฐาน (แอปพลิเคชัน Clinometer) พบว่า อุปกรณ์ต้นแบบมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศเหนือ-ทิศใต้ และ ทิศตะวันออก-ตะวันตก เท่ากับ ±3 และ ±7 องศา ตามลำดับ และระบบมีการส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Line เมื่อระบบติดตามดวงอาทิตย์ทำงานผิดปกติ สามารถช่วยให้การดูแลการใช้งานหรือการป้องกันความเสียหายของระบบดีขึ้นได้

คำสำคัญ: IoT Blynk ระบบติดตามดวงอาทิตย์

*Corresponding author: Tel.: 084 752 8947. E-mail address: tutanit@hotmail.com

บทนำ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) เป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพและได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นทั้งในและต่างประเทศ มีทั้งระบบขนาดเล็กอย่างเช่นการใช้งานในครัวเรือน (Solar home) จนถึงระบบขนาดใหญ่อย่างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar farm) ซึ่งการใช้งานทุกระบบต้องมีความรู้ ความเข้าใจ เพื่อดูแลรักษาระบบได้ โดยในปัจจุบันมีเพียงโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิคดูแลระบบอย่างมีประสิทธิภาพ แต่การใช้งานในระดับครัวเรือน ผู้ใช้งานบางส่วนยังขาดความรู้ ความเข้าใจที่ถูกต้องในการดูแลรักษาระบบ เมื่อระบบเกิดความชำรุดโดยไม่มีการแจ้งเตือน อาจทำให้ระบบเกิดความเสียหายได้ อีกทั้งในปัจจุบันมีการนำระบบติดตามดวงอาทิตย์มาใช้งานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า ทำให้มีกลไกการทำงานเพิ่มขึ้น จึงมีความจำเป็นต้องมีการติดตามการทำงานเพื่อให้ระบบมีการทำงานได้เต็มประสิทธิภาพและหากมีปัญหาก็สามารถแก้ไขข้อบกพร่องได้ทันเวลา

ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบ “ระบบตรวจวัดมุมของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ IoT” ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ประโยชน์จากระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน สามารถแสดงผลข้อมูล ณ ปัจจุบันได้ตลอดเวลา โดยเก็บบันทึกข้อมูลลงใน Cloud ซึ่งการดำเนินการเพื่อใช้งานในระบบนี้เสียค่าใช้จ่ายไม่สูงมาก (Open source) และสามารถแจ้งเตือนผ่านอุปกรณ์สื่อสาร (สมาร์ทโฟนและคอมพิวเตอร์) เพื่อให้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถดูแลรักษา แก้ไขข้อบกพร่องได้ทันท่วงที

วิธีการวิจัย

ระบบตรวจวัดมุมของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ IoT แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ช่วง ดังต่อไปนี้

1) การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน

ระบบตรวจวัดมุมของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ IoT ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์ที่สามารถเขียนคำสั่ง (Code) ในโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ไม่เสียค่าใช้จ่าย (Open source) ใช้ภาษาซีประยุกต์ที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย ในส่วนของการแสดงผลและการแจ้งเตือน จะสามารถแสดงผลผ่าน 2 ช่องทาง คือ แอปพลิเคชัน Blynk (แสดงผลข้อมูลแบบ Real time) และ แอปพลิเคชัน Line ผ่าน Line notify (แสดงผลการทำงาน และ แจ้งเตือนเมื่อระบบผิดปกติ)

เมื่อออกแบบและจัดทำอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดมุมจนเสร็จสมบูรณ์แล้ว จึงนำอุปกรณ์มาติดตั้งกับระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน โครงสร้างแบบเสาเดี่ยว กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่แปลงเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต (ภาพที่ 1) เพื่อทดสอบและบันทึกข้อมูลต่อไป

ภาพที่ 1 ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน ขนาด 600 วัตต์

2) การทดสอบและบันทึกข้อมูลมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน

หลังจากติดตั้งระบบ จะนำค่ามุมที่วัดได้จากเซนเซอร์ของอุปกรณ์ตรวจวัดมุมของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน มาเปรียบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานสำหรับการวัดมุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 600 วัตต์ ณ เวลาเดียวกัน โดยใช้แอปพลิเคชัน Clinometer (ภาพที่ 2) และทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนในการส่งสัญญาณแบบไร้สายมายังเครื่องมือสื่อสาร

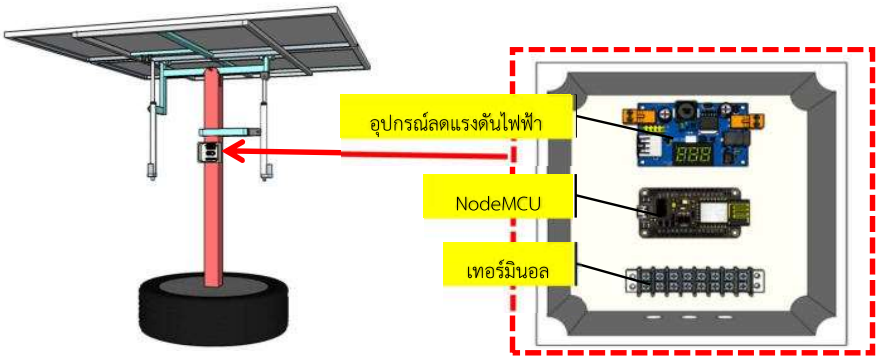
ภาพที่ 2 แอปพลิเคชัน Clinometer

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

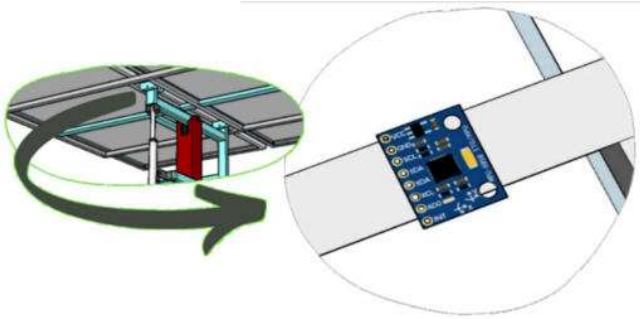
ผลการศึกษาครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) การติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน 2) การทดสอบและบันทึกข้อมูลมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน และ 3) ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน

หลังจากการออกแบบ ผู้วิจัยได้ติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบในกล่องพลาสติกกันน้ำขนาด 6 x 6 นิ้ว ประกอบด้วยอุปกรณ์ลดแรงดันไฟฟ้า (Step down converter) ที่มีแรงดันไฟฟ้าขาออก 5 โวลต์ เชื่อมต่อเข้ากับ NodeMCU V.2 หรือ ESP8266 (ไมโครคอนโทรลเลอร์) ใช้สำหรับรับ-ส่งคำสั่ง และเชื่อมต่อข้อมูลแบบไร้สายได้ โดยนำไปติดตั้งบริเวณเสาของโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 3 จากนั้นเชื่อมต่อสายไฟมายัง 3-axis Accelerometer/Gyro Module (เซนเซอร์วัดมุม) ที่ติดตั้งอยู่ใต้โครงสร้างรองรับเซลล์แสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 การติดตั้งกล่องอุปกรณ์



ภาพที่ 4 การติดตั้งเซนเซอร์วัดมุม

จากนั้นเขียนคำสั่ง (code) ด้วยโปรแกรม Arduino IDE เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณ Analog ของอุปกรณ์ตรวจวัดมุม เพื่อให้ค่ามุมสามารถแสดงผลในแอปพลิเคชัน Blynk บนอุปกรณ์สื่อสาร ดังภาพที่ 5 ซึ่งแสดงให้เห็นมุม x และ y โดยที่ มุม x คือ มุมในแนวทิศเหนือ – ทิศใต้ (เริ่มมุม 0 องศา เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับทิศเหนือ มุม 90 องศา เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนานกับท้องฟ้า มุม 180 องศา เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับทิศใต้) ในส่วนของ มุม y คือ มุมในแนวทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก (เริ่มมุม 0 องศา เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับทิศตะวันออก มุม 90 องศา เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนานกับท้องฟ้า มุม 180 องศา เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับทิศตะวันตก)

ภาพที่ 5 การแสดงผลบนแอปพลิเคชัน Blynk

การแสดงผลการทำงานและการแจ้งเตือนจัดทำขึ้นโดยเขียนคำสั่งเพื่อให้แสดงผลและแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Line ผ่าน Line notify ซึ่งเมื่อระบบติดตามดวงอาทิตย์ทำงานเป็นปกติ ระบบแจ้งเตือนจะแจ้งค่ามุมของแผงขณะนั้น (ทั้งมุมแกน x และ y) ดังภาพที่ 6-ก ซึ่งเป็นเวลาในช่วงเช้า (08:02) มุมแกน y (ay) มีค่า 46 องศา แสดงให้เห็นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันมาทางทิศตะวันออก (มุมแกน y ที่ได้รับจากเซนเซอร์ มีค่าน้อยกว่า 90 องศา) แสดงว่าระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ติดตามดวงอาทิตย์ตามปกติ หากระบบทำงานผิดปกติ จะมีข้อความแจ้งเตือนมายังแอปพลิเคชัน Line ว่า “แจ้งเตือนการทำงานผิดปกติ PV หันไปทางทิศ...” ดังตัวอย่างในภาพที่ 6-ข ซึ่งเป็นช่วงเวลาในตอนบ่าย (14:10) แต่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงหันไปทางทิศตะวันออก แสดงว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์ทำงานผิดปกติ จะมีข้อความแจ้งเตือนมายังแอปพลิเคชัน Line ว่า “แจ้งเตือนการทำงานผิดปกติ PV หันไปทางทิศ ตะวันออก” ทำให้ผู้ดูแลระบบรับรู้และแก้ไขข้อบกพร่องของระบบได้อย่างรวดเร็ว

(ก) ระบบทำงานปกติ (ข) ระบบทำงานผิดปกติ

ภาพที่ 6 การแสดงผลและแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชัน Line

2) การทดสอบและบันทึกข้อมูลมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน

2.1) การเปรียบเทียบค่ามุมที่วัดได้จากอุปกรณ์ต้นแบบกับอุปกรณ์มาตรฐาน

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกนเป็นระบบที่เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์มากขึ้นกว่าระบบที่ติดตั้งอยู่กับที่ร้อยละ 20 – 30 [1-2] เนื่องจากกลไกของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกนจะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลา โดยแกนแรก (แกน x) จะหมุนปรับตามแนวทิศเหนือ - ทิศใต้ แกนที่สอง จะปรับในแนวทิศตะวันออก - ทิศตะวันตก ซึ่งแต่ละช่วงเวลามุมของดวงอาทิตย์จะมีองศาที่ต่างกัน จึงมีการติดตั้งเซนเซอร์วัดมุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อติดตามการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ทำงาน ค่ามุมก็จะไม่ถูกต้อง ณ เวลานั้น ๆ ทำให้สามารถแก้ไขระบบได้อย่างรวดเร็ว

การเปรียบเทียบค่ามุมที่วัดได้จากอุปกรณ์ต้นแบบเมื่อเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน พบว่า ค่ามุมจากอุปกรณ์ต้นแบบในทิศเหนือ - ทิศใต้ มีความคลาดเคลื่อน ±3 องศา และค่ามุมในทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก มีความคลาดเคลื่อน ±7 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่ามุมระหว่างอุปกรณ์ต้นแบบกับอุปกรณ์มาตรฐาน (Clinometer)

วันที่	เวลา (น.)	อุปกรณ์	มุม (องศา)		ความคลาดเคลื่อน (องศา)	
			แกน x (N - S)	แกน y (E - W)	แกน x	แกน y
15 มกราคม 2563	9.27	เซนเซอร์	144	117	+2	+11
		Clinometer	142	106		
	15.19	เซนเซอร์	143	121	-4	-2
		Clinometer	147	123		
16 มกราคม 2563	16.13	เซนเซอร์	144	121	-2	-3
		Clinometer	146	124		
17 มกราคม 2563	10.43	เซนเซอร์	146	77	+5	+10
		Clinometer	141	67		
		เฉลี่ย			±3	±7

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่า ค่ามุมที่วัดได้จากอุปกรณ์ต้นแบบคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่วัดได้จาก Clinometer เพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถใช้ตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ในเบื้องต้นได้ว่าระบบฯ ยังสามารถทำงานได้ถูกต้องหรือมีความผิดปกติเกิดขึ้นหรือไม่ ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานทราบข้อมูลการทำงานของระบบฯ ได้เมื่อเปิดดูข้อมูลผ่านแอปพลิเคชัน Blynk บนอุปกรณ์สื่อสาร ที่พัฒนาขึ้นจากการศึกษานี้

2.2) การทดสอบการส่งสัญญาณไร้สายมายังเครื่องมือสื่อสาร

การแสดงผลและแจ้งเตือนการทำงานผ่านแอปพลิเคชัน Line ต้องอาศัยการเชื่อมต่อแบบไร้สาย ซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องด้วยเวลา จากการทดสอบการส่งสัญญาณไร้สายมายังเครื่องมือสื่อสาร พบว่า การส่งสัญญาณไร้สายมีความล่าช้า ประมาณ 10 นาที ดังตารางที่ 2 ซึ่งสาเหตุของความล่าช้าเกิดจากผู้วิจัยไม่ได้ใช้เซนเซอร์นาฬิกา หากจะพัฒนาชุดอุปกรณ์ต้นแบบดังกล่าวให้ค่าเวลาเป็นไปตามจริงหรือมีความแม่นยำเพิ่มขึ้น ควรติดตั้งเซนเซอร์นาฬิกา เช่น Real time clock DS3231 เพิ่มเติม

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าการส่งสัญญาณไร้สายฯ จะล่าช้าไปกว่าความเป็นจริงที่เกิดขึ้น แต่ก็สามารถเตือนผู้ใช้งานถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งระยะเวลาการแจ้งเตือนที่ล่าช้านี้ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับระบบฯ ในทันทีทันใด เมื่อผู้ใช้งานได้รับข้อความการแจ้งเตือน จะมีเวลาเพียงพอเพื่อเข้าตรวจสอบและแก้ไขระบบฯ ให้สามารถทำงานได้ตามปกติก่อนที่จะทำให้ระบบเกิดความเสียหายต่อไปได้

ตารางที่ 2 ความคลาดเคลื่อนของเวลาในการส่งสัญญาณมายังแอปพลิเคชัน Line

ครั้งที่	เวลาเกิดเหตุ	เวลาแจ้งเตือน	ความล่าช้า (นาที)
1	11:45	11:55	10
2	13:59	14:10	11
3	15:10	15:20	10

3) ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน

อุปกรณ์ต้นแบบระบบตรวจวัดมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน มีค่าใช้จ่ายรวมประมาณ 1,740 บาท (ไม่รวมค่าซิมการ์ดอินเทอร์เน็ตรายปี) โดยมีค่าใช้จ่ายในการจัดทำชุดอุปกรณ์ ประมาณ 790 บาท ซึ่งได้แก่ ค่ากล่องพลาสติกกันน้ำ NodeMCU เซนเซอร์วัดมุม สายไฟ เทอร์มินอล และ ค่า Wifi Router ประมาณ 950 บาท ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ต้นแบบระบบตรวจวัดมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน

ลำดับที่	รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน	ราคารวม (บาท)
1	กล่องพลาสติกกันน้ำ 6 x 6 นิ้ว	150	1	150
2	Node MCU V.2 ESP8266 + บอร์ดขับมอเตอร์	210+100	1	310
3	อุปกรณ์ลดแรงดันไฟฟ้า	90	1	90
4	เซนเซอร์วัดมุม	60	1	60
5	สายไฟจัมเปอร์	1.5	20	30
6	เทอร์มินอล	30	1	30
7	สายไฟ	15	8	120
8	Wifi Router	950	1	950
	รวม			**1,740**

***หมายเหตุ** ราคานี้ไม่รวมค่าซิมการ์ดอินเทอร์เน็ตรายปี ปีละ 1,300 บาท

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ได้จัดทำระบบตรวจวัดมุมของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ IoT เพื่อตรวจวัดมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน แล้วนำมาแสดงผล และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และ Line เป็นการออกแบบโดยใช้เซนเซอร์ 3-axis Accelerometer/Gyro module เพื่อวัดมุม และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU V.2 ที่สามารถรับ – ส่งข้อมูลแบบไร้สาย ซึ่งสามารถเขียนคำสั่งผ่านโปรแกรม Open source ได้ โดยนำอุปกรณ์ต้นแบบนี้ไปติดตั้งกับโครงสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกนแบบเสาเดี่ยว ขนาด 600 วัตต์ เพื่อทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบ

จากผลการทดสอบพบว่า ระบบตรวจวัดมุมเพื่อติดตามการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกนสามารถทำงานได้ คือ สามารถแสดงผลค่ามุมมายังแอปพลิเคชัน Blynk และ Line ได้ รวมทั้งแจ้งเตือนการทำงานเมื่อระบบทำงานผิดปกติ ทำให้ผู้ดูแลระบบสามารถซ่อมแซมระบบได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งค่ามุมของอุปกรณ์ต้นแบบนี้มีความคลาดเคลื่อนในทิศเหนือ-ทิศใต้ และ ทิศตะวันออก-ตะวันตก เท่ากับ ±3 และ ±7 องศา ตามลำดับ เมื่อทดสอบการส่งสัญญาณไร้สาย พบว่าอุปกรณ์ต้นแบบมีการส่งสัญญาณล่าช้าจากเวลาจริง ประมาณ 10 นาที เนื่องจาก ไม่ได้ติดตั้งเซนเซอร์นาฬิกา โดยอุปกรณ์ต้นแบบฯ นี้มีต้นทุนรวม ประมาณ 1,740 บาท

เอกสารอ้างอิง

[1] ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล และวัชระวิชญ์ เจียรวรรณ์. (2558). “ระบบติดตามดวงอทิตย์แบบสองแกนราคาถูกสำหรับบ้านพลังงานแสงอาทิตย์”, ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8**. วันที่ 4-6 พฤศจิกายน 2558 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[2] กฤชนนท์ สวนจันทร์, สุเพชร จิรขจรกุล และธนิท เรืองรุ่งชัยกุล. (2560). “การออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์สงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับโซลาร์ฟาร์ม”, ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10**. วันที่ 29 พฤศจิกายน – 1 ธันวาคม 2560 ณ หอประชุมเฉลิมพระเกียรติ. พัทลุง : มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง