

ระบบติดตามแสงอาทิตย์แบบสองแกนด้วยการปรับสมดุลระดับน้ำ

สิทธิชัย จินะวงษ์* นำนันทิ กัลยา และ เสาวลักษณ์ ชัยยีน

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเทคนิคใหม่ของระบบติดตามแสงอาทิตย์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำมาก แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับลูกลอยจะเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ด้วยการปรับสมดุลระดับน้ำ ซึ่งใช้ปั้มน้ำชนิดกระจุยขนาด 12 โวลต์ สำหรับการปรับระดับน้ำ ควบคุมการทำงานทั้งหมดด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยรับค่าการตรวจนับแสงผ่านตัวต้านทานเปลี่ยนค่าตามแสง (LDR) และเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง ดังนั้นระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงจะสัมพันธ์กับการตั้งฉากกับทิศทางแสงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้ลูกลอยผลักดันแผงให้เคลื่อนที่ตามทิศทางของแสงอาทิตย์ได้อย่างถูกต้อง ระบบที่นำเสนอนี้ สามารถควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ได้ 2 แกน คือ แกนทิศเหนือกับทิศใต้ และแกนทิศตะวันออกกับทิศตะวันตก ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ที่ติดตั้งระบบติดตามแสงอาทิตย์ที่นำเสนอและแบบติดตั้งอยู่กับที่ พบว่า แผงที่มีระบบติดตามแสงอาทิตย์ ให้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยมากกว่าแผงที่ติดตั้งอยู่กับที่ 7.91 วัตต์ หรือสูงกว่าร้อยละ 37.63 และผลการทดสอบการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ระบบติดตามแสงอาทิตย์ที่นำเสนอ เป็นระยะเวลา 5 วัน ๆ ละ 12 ชั่วโมง พบว่า เมื่อใช้เซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ได้รับพลังงานไฟฟ้า 347.16 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน ใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบควบคุม 0.66 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน ส่วนการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง ได้รับพลังงานไฟฟ้า 1,212.84 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน และใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบควบคุม 1.76 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน ผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบควบคุมการติดตามแสงอาทิตย์ เมื่อใช้เซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ระหว่างระบบควบคุมที่นำเสนอและระบบที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง พบว่า ระบบติดตามแสงอาทิตย์ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ใช้พลังงานไฟฟ้า 10.8 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็นพลังงานสูญเสียร้อยละ 1.147 ส่วนระบบควบคุมที่นำเสนอใช้พลังงานไฟฟ้า 0.66 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็นพลังงานที่สูญเสียร้อยละ 0.19 ซึ่งต่ำกว่าระบบที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงร้อยละ 0.958 ดังนั้นระบบควบคุมการติดตามแสงอาทิตย์ที่นำเสนอนี้สามารถลดพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียได้จริง

คำสำคัญ : การติดตามแสงอาทิตย์, สมดุลระดับน้ำ, ปั้มน้ำชนิดกระจุย

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

* ผู้ติดต่อ, อีเมล: sithichai19@gmail.com รับเมื่อ 8 มีนาคม 2556 ตอบรับเมื่อ 7 ตุลาคม 2556

A Water-Balance-Based Dual-Axis Sun Tracking System

Sithichai Jeenawong^{*} Nannatee Kullaya and Saowalag chayuen

Abstract

This paper presents a new technique for solar tracking system with very low power consumption. In order to track the sunlight, the solar panels connecting to the floated-balls are moved by water level balance adjusting. The proposed system is controlled by micro-controller. The signals from light-dependent resistor (LDR) sensor and reference voltage are compared and used to control the 12 V DC windshield washer pump for adjusting the water level which corresponds to the sunlight perpendicular. As a result, the accuracy of solar tracking depending on water level varying is achieved. The proposed system has ability to control with 2 axes; north-south and east-west. A comparison result between the proposed system and conventional method with one solar panel shows that the improvement of the sun power harvest of 7.91 W or higher than 37.63 % is given by the proposed system. It is also found that by using one solar panel for five days operating with twelve hours per day, the proposed solar tracking system has ability to harvest the energy of 347.16 Wh/day with power consumption of 0.66 Wh/day. When three solar panels are employed, the energy harvest of 1212.84 Wh/day with power consumption of 1.76 Wh/day is obtained. Additionally, the power consumptions between the proposed system and the DC motor controller of solar tracking systems using for one solar panel are compared. The results show that the DC motor controller shows power consumption of 10.8 Wh/day or 1.147 % whereas the energy of 0.66 Wh/day or 0.19 % is consumed by the proposed system. It is reveal that the lower power consumption of 0.958 % is given by the proposed system. Therefore, the proposed system has ability to reduce the power consumption of the solar tracking system.

Keywords : Solar tracking, Water balance, Windshield washer pump

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna.

^{*} Corresponding author, E-mail: sithichai19@gmail.com Received 8 March 2013, Accepted 7 October 2013

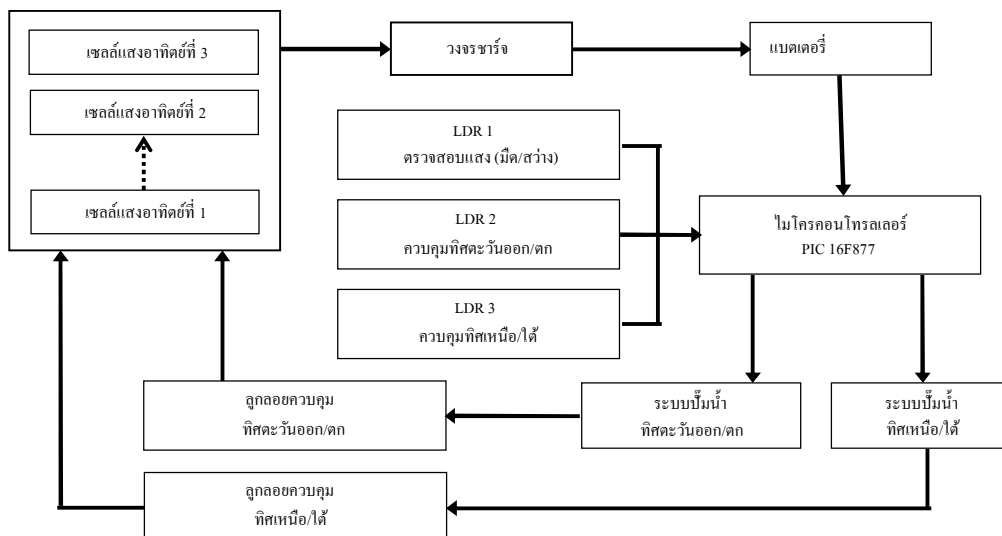
1. บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่ง เช่นเดียวกับพลังงานลมและพลังงานน้ำ ที่ได้รับความสนใจ ในการพัฒนาด้านพลังงานทดแทน เพราะเป็นพลังงานสะอาด ที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และพลังงานแสงอาทิตย์ยังเป็นพลังงานที่ไม่มีทางหมดไป ได้ ครอบคลุมพื้นที่ที่มีดวงอาทิตย์ สกยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์แต่ละพื้นที่บนผิวโลกจะแตกต่างกันตามลักษณะทางกายภาพของโลก ซึ่งบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรจะมีค่าพลังงานแสงอาทิตย์ต่อตารางเมตรสูงที่สุด ประมาณ 2,300 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี สำหรับประเทศไทยนั้นค่าศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดประมาณ 1,350-1,400 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี [1] รูปแบบหนึ่งของการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งาน ได้แก่ การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จากงานวิจัย [2] พบว่าในประเทศไทยนั้น การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบยึดอยู่กับที่จะต้องใช้ค่ามุมเอียงที่ดีที่สุด 15 องศา โดยหันหน้าไปทางทิศใต้ การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบยึดติดอยู่กับที่นั้น จะได้รับค่าพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ดีเพียงบางช่วงเวลาเท่านั้น เนื่องจากการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงจากทิศตะวันออกไปสู่ทิศตะวันตก และเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล จึงมีการออกแบบให้เซลล์แสงอาทิตย์ปรับมุมหันตามดวงอาทิตย์ได้โดยอัตโนมัติ [3-5] ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้น แต่ระบบดังกล่าวใช้มอเตอร์ร่วมกับฟันเฟืองหรือโซ่เป็นตัวขับเคลื่อน ซึ่งมีต้นทุนสูงและใช้พลังงานในการขับเคลื่อนฟันเฟืองมาก โดยเฉพาะหากใช้เซลล์แสงอาทิตย์หลายๆแผง จะต้องใช้มอเตอร์ที่มีกำลังขับเคลื่อนมากขึ้นซึ่งต้อง

สิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้นเช่นกัน ส่วนการประยุกต์ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนมาเป็นตัวขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [6-7] ถึงแม้จะใช้พลังงานต่ำกว่ามอเตอร์กระแสตรง แต่การออกแบบใช้เซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากๆ จะต้องใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนตามจำนวนแผง จะเป็นการเพิ่มต้นทุนและสิ้นเปลืองพลังงานอย่างมาก นอกจากนี้แล้วการออกแบบระบบติดตามแสงอาทิตย์แบบถ่วงน้ำหนัก [8] ซึ่งเป็นระบบเชิงกล มีการปรับมุม 3 ตำแหน่ง คือ มุมทิศตะวันออก มุมตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ และมุมทิศตะวันตก อย่างไรก็ตามยังมีปัญหาการแกว่งของแผงที่เกิดจากลมพัด จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่างานวิจัย [3-8] สามารถควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ติดตามแสงอาทิตย์ได้ แต่เป็นการออกแบบที่ใช้ต้นทุนสูงและสิ้นเปลืองพลังงานในการควบคุมมาก

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอระบบติดตามแสงอาทิตย์ที่ใช้พลังงานต่ำแบบสองแกนด้วยการปรับสมดุลระดับน้ำ ที่สามารถเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์ได้ทั้งแนวแกนทิศเหนือทิศใต้ และแนวแกนทิศตะวันออกทิศตะวันตก ซึ่งจะทำให้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดตลอดเวลา ในงานวิจัยนี้ใช้เซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 3 แผง โดยออกแบบระบบควบคุมการเคลื่อนที่ติดตามแสงอาทิตย์ที่แผงแรก ส่วนแผงที่ 2 และ 3 จะเคลื่อนที่ตามแผงแรกด้วยหลักการระดับน้ำสมดุลที่ผ่านทางท่อ น้ำที่ต่อเชื่อมถึงกันทั้ง 3 แผง วิธีการดังกล่าวนี้ ใช้พลังงานไฟฟ้าในการควบคุมการเคลื่อนที่ติดตามแสงอาทิตย์เพียงเล็กน้อย ทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น

2. ระบบติดตามแสงอาทิตย์



รูปที่ 1 ระบบติดตามแสงอาทิตย์ที่นำเสนอ

งานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนโครงสร้างของระบบติดตามแสงอาทิตย์ ส่วนระบบควบคุม และส่วนของโปรแกรมคำสั่งควบคุม โดยการทำงานของระบบทั้งหมดแสดงได้ดังรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แผง ได้รับแสงอาทิตย์ก็จะเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าและส่งไปวงจรชาร์จเพื่อทำการประจุแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่จะเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับระบบปั้มน้ำ และวงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ระบบจะเริ่มทำงานเมื่อตัวต้านทานเปลี่ยนค่าตามแสง LDR1 ตรวจสอบว่ามีแสงหรือไม่ ถ้าพบว่ามีแสง ก็จะมาตรวจสอบ LDR2 ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ระหว่างทิศตะวันออกและทิศตะวันตก โดยตรวจสอบการตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ ถ้าไม่ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมให้ระบบปั้มน้ำทางทิศตะวันตกปั้มาเดิมทาง

ทิศตะวันออก ซึ่งทำให้ลูกลอมทางทิศตะวันออกลอยตัวขึ้น เป็นผลทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับลูกลอมเคลื่อนที่ติดตามแสงอาทิตย์ จน LDR2 ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ ก็จะมาตรวจสอบ LDR3 ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ระหว่างทิศเหนือและทิศใต้ ถ้า LDR3 ไม่ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมให้ระบบปั้มน้ำทางทิศใต้ปั้มาเดิมทางทิศเหนือ เป็นผลทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ติดตามแสงอาทิตย์ จน LDR3 ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ การทำงานจะเป็นเช่นนี้ตลอดทั้งวัน จนถึงเวลา 20.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่ทุกฤดูมีคสนิทจริงๆ ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะควบคุมให้ปั้มน้ำทางทิศตะวันออกปั้มาเดิมทางทิศตะวันตก และปั้มน้ำทางทิศใต้มาเดิมทางทิศเหนือ จนทั้งสองทิศทางอยู่ที่มุมเริ่มต้น ก็พร้อมที่จะรับค่าวันใหม่อีกครั้ง

2.1 โครงสร้างของระบบติดตามแสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 53 วัตต์ ให้แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 17.2 โวลต์ และกระแสสูงสุด 3.08 แอมแปร์ แผงมีความกว้าง 50 เซนติเมตร และยาว 95 เซนติเมตร น้ำหนัก 6.5 กิโลกรัม จำนวน 3 แผง แผงจะถูกติดตั้งบนโครงสร้างที่สามารถหมุนเคลื่อนที่แผงไปมาระหว่างมุม 45 องศาทางทิศตะวันออกกับมุม 135 องศาทางทิศตะวันตก โดยมีลิมิตสวิตช์ LS1 เป็นตัวกำหนดมุมเริ่มต้น และลิมิตสวิตช์ LS2 เป็นตัวกำหนดมุมสุดท้าย และสามารถเคลื่อนที่ระหว่างทิศเหนือกับทิศใต้ โดยมีลิมิตสวิตช์ LS3 เป็นตัวกำหนดมุมเริ่มต้นทางทิศเหนือ ปลายแผงจะเชื่อมต่อกับลูกลอยที่อยู่ในท่อน้ำทั้งด้านตะวันออก ด้านตะวันตก ด้านเหนือ และด้านใต้ โดยลูกลอยจะเป็นตัวรับน้ำหนักที่ปลายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแกน ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3

จากการทดลองวัดน้ำหนักที่ปลายแผงในตำแหน่งมุมเอียงที่มุม 45 องศา ซึ่งเป็นมุมเริ่มต้นและที่มุม 135 องศา ซึ่งเป็นมุมสุดท้ายของการเคลื่อนที่ได้ 300 กรัม ทั้งสองข้าง และจากการคำนวณแรงลอยตัวของลูกลอย ตามสมการที่ 1 ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ขวดน้ำอัดลมเปล่าขนาด 3.1 ลิตร พบว่าลูกลอยสามารถรับน้ำหนักได้ 1.6 กิโลกรัม แสดงว่าลูกลอยสามารถรับน้ำหนักแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้

$$F_B = \rho Vg \quad (1)$$

F_B แทน แรงลอยตัว มีหน่วยเป็น N

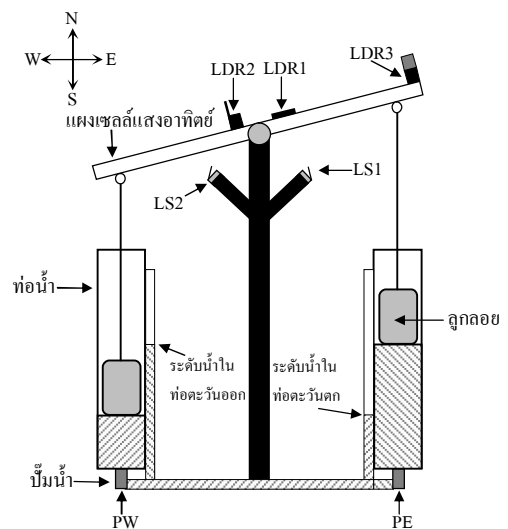
ρ แทน ความหนาแน่นของของไหล มีหน่วยเป็น kg/m^3

V แทน ปริมาตรของวัตถุส่วนที่จมน้ำในของเหลว

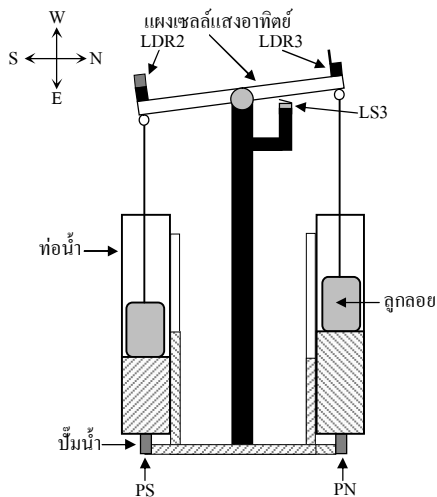
มีหน่วยเป็น m^3

g แทน แรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าประมาณ 9.8 m/s^2

จากรูปที่ 2 และ 3 การปรับสมดุลระดับน้ำในท่อน้ำทั้งสองข้าง จะใช้ปั้มน้ำกระแสตรงขนาดแรงดัน 12 โวลต์ จำนวน 2 ตัว ได้แก่ปั้มน้ำ PE ในทิศตะวันออกกับปั้มน้ำ PW ในทิศตะวันตก และอีก 2 ตัว ได้แก่ปั้มน้ำ PN ในทิศเหนือ กับปั้มน้ำ PS ในทิศใต้ ซึ่งปั้มน้ำในงานวิจัยนี้จะใช้ปั้มน้ำชนิดกระแสตรง โดยติดตั้งในตำแหน่งใต้ท่อน้ำข้างละตัว และต่อท่อน้ำขนาดเล็กสลับกันระหว่างท่อน้ำทางทิศตะวันออกและท่อน้ำทางทิศตะวันตก เพื่อปั้มน้ำจากท่อน้ำทางทิศตะวันตกมาเติมให้ทางทิศตะวันออก ซึ่งจะทำให้ลูกลอยยกตัวขึ้นเป็นผลทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับลูกลอยทางทิศตะวันออกยกตัวเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ และในทิศเหนือกับทิศใต้ก็มีลักษณะการทำงานที่เหมือนกับการทำงานทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตก



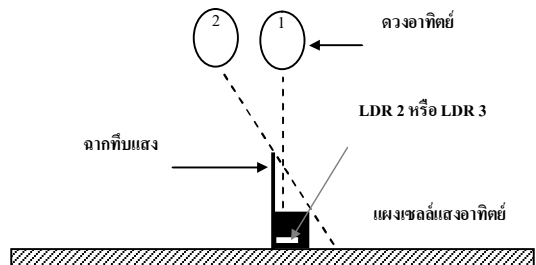
รูปที่ 2 โครงสร้างระบบติดตามแสงอาทิตย์ ทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตก



รูปที่ 3 โครงสร้างระบบติดตามแสงอาทิตย์ ทางทิศเหนือและทิศใต้

การตรวจจับแสงอาทิตย์ จะใช้ตัวต้านทานเปลี่ยนค่าตามแสง จำนวน 3 ตัว ได้แก่ LDR1 ซึ่งทำหน้าที่ตรวจสอบว่ามีแสงสว่างหรือว่ามีครีเม่ ซึ่งถ้า LDR1 ตรวจสอบพบว่าไม่มีแสงสว่าง ระบบติดตามแสงอาทิตย์ก็จะทำงานตามตัวต้านทานเปลี่ยนค่าตามแสง LDR2 และ LDR3 แต่ถ้า LDR1 ตรวจสอบพบว่าไม่มีครีเม่ ระบบติดตามแสงอาทิตย์ก็จะทำงานตามการคำนวณเวลาซึ่งจะกล่าวในหัวข้อ 2.3 ต่อไป การติดตั้ง LDR1 จะติดตั้งไว้ที่ขอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตรงจุดกึ่งกลางทางทิศเหนือ โดยไม่มีการบังเงา ส่วน LDR2 จะถูกติดตั้งไว้ที่ขอบแผง ตรงจุดกึ่งกลางทางทิศใต้ โดย LDR2 จะอยู่ภายในกล่องสีดำที่มีความสูง 5 เซนติเมตร และมีฉากบังเงาทางทิศตะวันตก มีความสูง 10 เซนติเมตร ส่วน LDR3 จะถูกติดตั้งไว้ที่ขอบแผง ทางด้านตะวันออก โดย LDR3 จะอยู่ภายในกล่องสีดำที่มีความสูง 5 เซนติเมตร และมีฉากบังเงาทางทิศใต้ มีความสูง 10 เซนติเมตร เช่นเดียวกัน

การใช้วิธีการบังให้เกิดเงา เพื่อตรวจสอบการตั้งฉากของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับดวงอาทิตย์ สามารถแสดงและอธิบายได้ดังรูปที่ 4

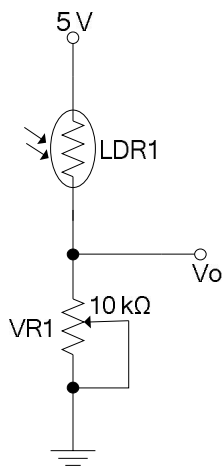


รูปที่ 4 การตรวจสอบการตั้งฉาก โดยวิธีการบังให้เกิดเงา

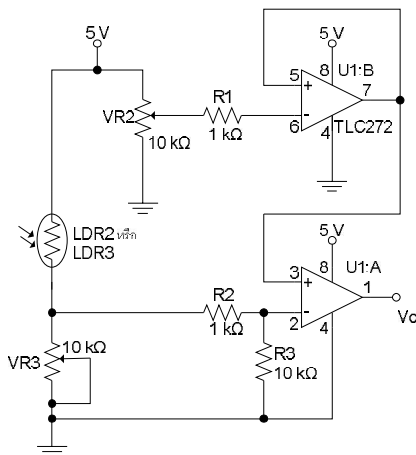
จากรูปที่ 4 ถ้าดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งที่ 1 แสดงว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ แต่ถ้าดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2 จะเห็นว่า LDR2 หรือ LDR3 นั้นถูกบังเงาทำให้ได้รับค่าความเข้มแสงอาทิตย์น้อยลง ซึ่งแสดงว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ ในลักษณะเช่นนี้จะทำให้ทราบว่าดวงอาทิตย์เอียงไปทางทิศใด ระบบปั้มน้ำก็ปั้มน้ำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ในตำแหน่งที่ 2 เป็นการติดตามดวงอาทิตย์เพื่อให้ได้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดนั่นเอง

2.2 ระบบควบคุมการติดตามแสงอาทิตย์

ระบบควบคุมการติดตามแสงอาทิตย์ จะประกอบไปด้วยภาคตรวจจับความเข้มของแสงอาทิตย์ ภาคตรวจจับการตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ระหว่างทิศตะวันออกกับทิศตะวันตก ภาคตรวจจับการตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ระหว่างทิศเหนือกับทิศใต้ และภาคควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 5 วงจรตรวจจับความเข้มของแสงอาทิตย์



รูปที่ 6 วงจรตรวจจับการตั้งฉากกับดวงอาทิตย์

ในรูปที่ 5 จะเป็นวงจรตรวจจับความเข้มแสงอาทิตย์ โดยจะใช้ตัวต้านทานเปลี่ยนค่าตามแสง LDR1 ต่อวงจร ในลักษณะแบ่งแรงดันไฟฟ้า เมื่อแสงอาทิตย์มีความเข้ม มากค่าความต้านทานของ LDR1 จะลดลงทำให้มี แรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตของวงจรมาก แต่เมื่อแสงอาทิตย์

มีความเข้มลดลงค่าความต้านทานของ LDR1 จะเพิ่มขึ้น ทำให้มีแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตของวงจรมีน้อยลง จากการ ทดลองวัดค่าแรงดันที่เอาต์พุตในช่วงเวลาต่างๆ พบว่าที่ เวลาประมาณ 6.30 น. และ 18.30 น. ซึ่งมีความเข้มของ แสงน้อย จะได้ค่าแรงดัน 1.8 โวลต์ และช่วงเวลา 11.00 น. ถึง 13.00 น. ซึ่งมีความเข้มของแสงสูงสุด จะได้ค่าแรงดัน 4.3 โวลต์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ ค่าแรงดัน 1.8 โวลต์ เป็นแรงดันอ้างอิง สำหรับ ตรวจสอบว่ามีแสงสว่างหรือว่ามีมืดครึ้ม เพื่อให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัดสินใจ เลือกที่จะทำงานตาม การตรวจจับการตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ หรือจะทำงาน ตามเวลา ซึ่งจะอธิบายวิธีการตัดสินใจในขั้นตอนการ ทำงานของโปรแกรมในข้อ 2.3 ต่อไป

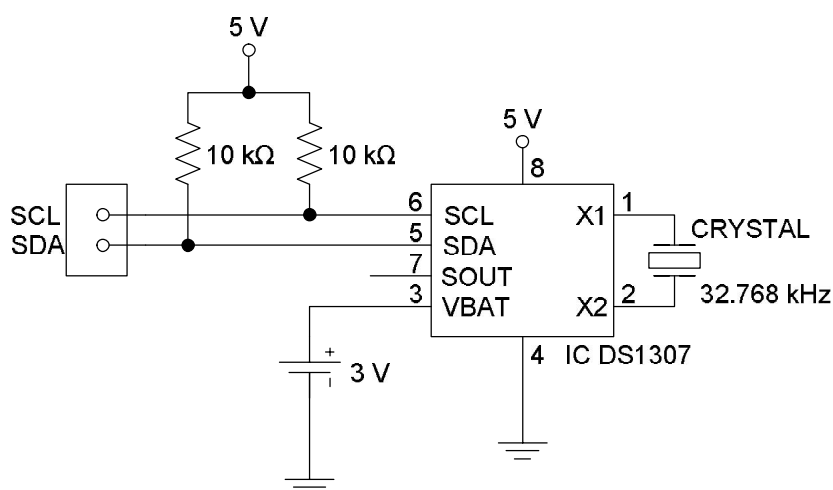
ในรูปที่ 6 เป็นวงจรตรวจจับการตั้งฉากกับดวง อาทิตย์ ซึ่งจะใช้วงจรนี้ ทั้งการตรวจจับการตั้งฉากกับ ดวงอาทิตย์ระหว่างทิศตะวันออกกับทิศตะวันตก โดยมี LDR2 เป็นตัวตรวจจับ และระหว่างทิศเหนือกับทิศใต้ โดยมี LDR3 เป็นตัวตรวจจับ วงจรจะทำงานในลักษณะ เปรียบเทียบแรงดัน โดยใช้ไอซีโอปแอมป์ เบอร์ TLC272 เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดัน เอาต์พุตของ U1:B จะป้อนเข้าที่ขา 3 ของ U1:A มีแรงดัน 1.8 โวลต์ ซึ่งจะ ใช้เป็นแรงดันอ้างอิง ส่วนขา 2 ของ U1:A จะต่อเข้ากับ วงจรแบ่งแรงดันของ LDR2 หรือ LDR3 เมื่อ LDR2 หรือ LDR3 ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ ค่าแรงดันที่ขา 2 จะมี ค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิงที่ขา 3 เอาต์พุตของ U1:A จะมี ค่าประมาณ 0 โวลต์ เมื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลจะมี ค่า ลอจิก “0” ส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล ก็จะทราบว่าตอนนี้ LDR2 หรือ LDR3 ตั้งฉากกับดวง อาทิตย์ก็ไม่ต้องบิ๊มน้ำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ แต่ถ้า LDR2 หรือ LDR3 ไม่ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์

ค่าแรงดันที่ขา 2 จะมีค่าน้อยกว่าแรงดันอ้างอิงที่ขา 3 เอาต์พุตของ U1:A จะมีค่าประมาณ 4.4 โวลต์ เมื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลจะมีค่าลอจิก “1” ส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล ก็จะทราบว่าตอนนี้ LDR2 หรือ LDR3 ไม่ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ก็ต้องสั่งปั๊มน้ำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปตั้งฉากกับดวงอาทิตย์

จากรูปที่ 7 เป็นวงจรระบบฐานเวลาในการควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ทำงานในเวลาต่างๆของวัน โดยใช้ IC DS1307 ซึ่งจะทำหน้าที่เป็น RTC (Real Time Clock) เพื่อใช้ในการจับเวลา และใช้เป็นฐานเวลาจริง โดยจะรับส่งข้อมูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ I²C ซึ่งเป็นแบบ 2 wire สามารถสื่อสารได้ 2 ทิศทาง (bi-direction bus) ฐานเวลาของ IC DS1307 นั้นสามารถเก็บข้อมูลเป็น วินาที, นาที, ชั่วโมง, วัน, วันที่, เดือน

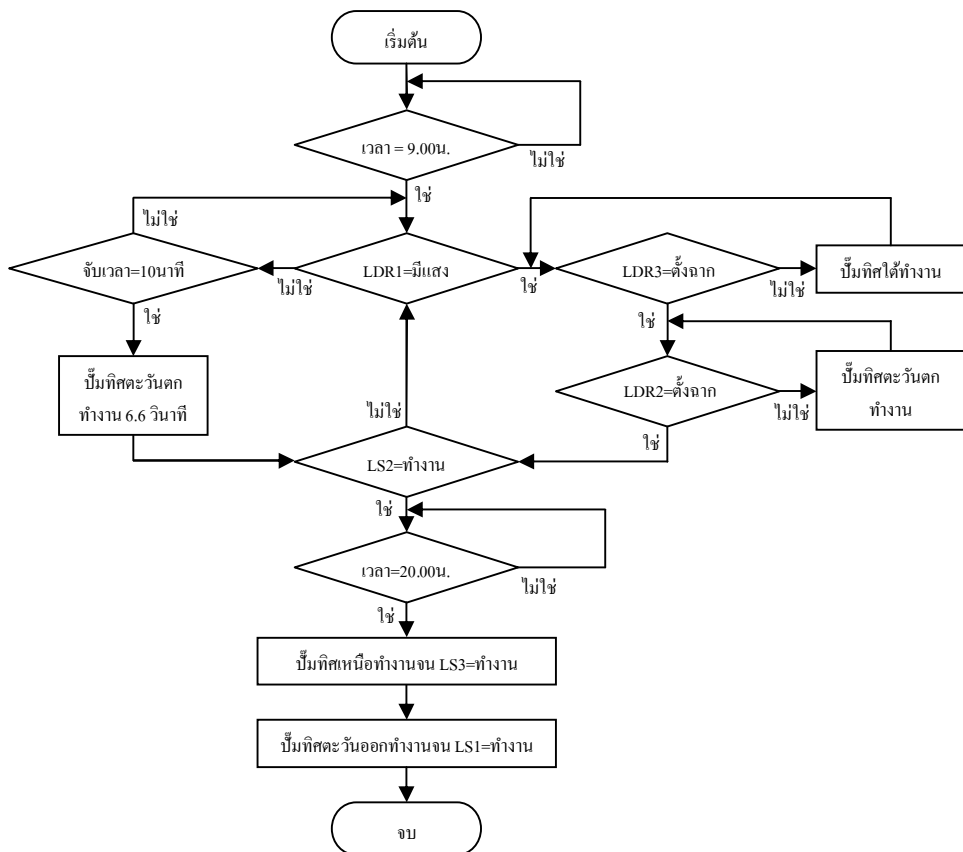
และปี ได้ ภายในมีระบบตรวจจับแหล่งจ่ายไฟ โดยถ้าแหล่งจ่ายไฟหลักถูกตัดไป IC DS1307 สามารถสวิตช์ไปใช้ไฟจากแบตเตอรี่ และทำงานต่อไป โดยที่ยังสามารถรักษาข้อมูลไว้ได้

ส่วนการทำงานของวงจรควบคุมทั้งระบบ จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 โดยจะรับอินพุตของตัวตรวจจับต่างๆ ได้แก่ LDR1, LDR2, LDR3, LS1, LS2 และ LS3 เพื่อใช้ในการประมวลผลตัดสินใจในการควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ ยังมีการประมวลผลในเรื่องของเวลา โดยใช้ IC DS1307 เป็นระบบฐานเวลาในการควบคุมแผงให้ทำงานในเวลาต่างๆของวัน ผลการตัดสินใจของไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำไปควบคุมปั๊มน้ำที่ติดตั้งอยู่ได้ทั้งน้ำทั้ง 4 ทิศทาง ให้ทำงานตามเงื่อนไขที่โปรแกรมควบคุมได้กำหนด



รูปที่ 7 วงจรระบบฐานเวลา

2.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุม



รูปที่ 8 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมในหนึ่งรอบวัน

ในรูปที่ 8 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุม จะเริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบเวลาว่าเป็นเวลา 9.00 น. หรือไม่ ถ้าเวลา 9.00 น. แล้ว ก็จะตรวจสอบ LDR1 ว่ามีแสงสว่างหรือมืดครึ้ม เพื่อตัดสินใจเลือกที่จะทำงานตามการตรวจจับการตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ หรือจะทำงานตามเวลา

ถ้า LDR1 ตรวจพบว่ามีแสงก็จะทำงานตามการตรวจจับการตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ ถ้า LDR3 ตรวจสอบพบว่าไม่ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็

จะควบคุมให้ปั้มน้ำ PS ทางทิศใต้ปั้มน้ำมาเติมในท่อน้ำทางทิศเหนือ เป็นผลทำให้ลูกลอยทางทิศเหนือลอยตัวขึ้น ซึ่งจะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับลูกลอยเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ จน LDR3 ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ ก็จะควบคุมให้ปั้มน้ำ PS ทางทิศใต้หยุดทำงาน

จากนั้นก็จะตรวจสอบ LDR2 ถ้า LDR2 ไม่ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะควบคุมให้ปั้มน้ำ PW ทางทิศตะวันตกปั้มน้ำมาเติมในท่อน้ำทางทิศตะวันออก เป็นผลทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับ

กับลูกลอยเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ จน LDR2 ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ ก็จะควบคุมให้ปั้มน้ำ PW ทางทิศตะวันตกหยุดทำงาน

จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะไปตรวจสอบว่าลิมิตสวิตช์ LS2 ทำงานหรือไม่ ซึ่ง LS2 เป็นตัวตรวจสอบมุมสุดท้ายของการเคลื่อนที่ โดยมีค่ามุม 135 องศา ทางทิศตะวันตก ถ้า LS2 ยังไม่ทำงาน หรือแสงยังไม่กดทับลิมิตสวิตช์ LS2 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมให้กลับไปตรวจสอบที่ LDR1 อีกครั้ง ถ้า LDR1 ตรวจพบว่ามีแสงก็จะมาตรวจสอบ LDR3 และ LDR2 เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ซึ่งจะเป็นผลทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ไปได้ตลอดทั้งวัน จนกว่า LS2 จะถูกแสงกดทับ ก็แสดงว่าแผงได้เคลื่อนที่มายังมุมสุดท้ายคือมุม 135 องศา ทางทิศตะวันตกแล้ว ซึ่งจะเป็นเวลาประมาณ 15.00 น. ในแต่ละวัน

แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะอยู่ที่ตำแหน่งมุม 135 องศา ทางทิศตะวันตก ไปจนดวงอาทิตย์ลับขอบฟ้า และรอจนกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบว่าเป็นเวลา 20.00 น. ก็จะควบคุมให้ปั้มน้ำ PN ทางทิศเหนือ ปั้มน้ำมาเติมในท่อน้ำทางทิศใต้ เป็นผลทำให้แผงเคลื่อนที่กลับไปทางทิศเหนือ จนลิมิตสวิตช์ LS3 ทำงาน ก็แสดงว่าแผงได้เคลื่อนที่มายังมุมเริ่มต้นของการติดตามแสงอาทิตย์ระหว่างทิศเหนือและทิศใต้ โดยมีมุมเริ่มต้น 0 องศา หรือระนาบกับพื้นโลก

จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็จะควบคุมให้ปั้มน้ำ PE ทางทิศตะวันออก ปั้มน้ำมาเติมในท่อน้ำทางทิศตะวันตก เป็นผลทำให้แผงเคลื่อนที่กลับไปทางทิศตะวันออก จนลิมิตสวิตช์ LS1 ทำงาน ก็แสดงว่าแผงได้เคลื่อนที่มายังมุมเริ่มต้นของการติดตามแสงอาทิตย์ระหว่างทิศตะวันออกกับทิศตะวันตก โดยมีค่ามุม

45 องศา ทางทิศตะวันออก เป็นอันสิ้นสุดการทำงานในวันนั้น ระบบติดตามแสงอาทิตย์ก็พร้อมที่จะทำงานในวันใหม่

ส่วนการทำงานตามเวลานั้น จะเป็นผลมาจากเมื่อ LDR1 ตรวจพบว่ามีครีမ် แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่สามารถเคลื่อนที่ตามตัวตรวจจับการตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็จะใช้วิธีจับเวลา 10 นาที โดยระหว่างที่จับเวลา หาก LDR1 ตรวจพบว่ามีแสง ก็จะกลับไปทำงานตามตัวตรวจจับการตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ แต่ถ้ามีครีမ်ติดต่อกันเป็นเวลา 10 นาที ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้ปั้มน้ำทางทิศตะวันตกปั้มน้ำมาเติมในท่อน้ำทางทิศตะวันออกเป็นเวลา 6.6 วินาที เป็นผลทำให้แผงเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกเป็นมุมเพิ่มขึ้นประมาณ 2.5 องศา ค่าเวลาของการปั้มน้ำ 6.6 วินาที มาได้จากการคำนวณการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ [9] โดยเวลา 1 ชั่วโมง ดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่เป็นมุม 15 องศา ดังนั้นหากเวลาเพิ่มขึ้น 10 นาที ดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่เป็นมุม 2.5 องศา และจากการทดสอบปั้มน้ำเป็นเวลา 40 วินาที จะทำให้แผงเคลื่อนที่เป็นมุม 15 องศา เช่นเดียวกัน ดังนั้นถ้าต้องการให้แผงเคลื่อนที่เป็นมุม 2.5 องศา จะต้องสั่งปั้มน้ำเป็นเวลา 6.6 วินาที จึงเป็นที่มาของการตั้งเวลาในการปั้มน้ำนั่นเอง เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมปั้มน้ำตามเวลาที่กำหนดแล้ว ก็จะมาตรวจสอบ LS2 ถ้า LS2 ไม่ทำงาน ก็จะกลับไปตรวจสอบ LDR1 อีกครั้ง ถ้า LDR1 ตรวจพบว่ามีครีမ်ติดต่อกันเป็นเวลา 10 นาที ก็จะทำงานตามเงื่อนไขเวลาอีกครั้ง แต่ถ้า LDR1 ตรวจพบว่ามีแสงก็จะทำงานตามการตรวจจับการตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ และจะเป็นเช่นนี้ไปตลอดทั้งวัน

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

การทดลองประกอบไปด้วยสองการทดลอง ได้แก่ การทดลองเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่กับที่กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตามแสงอาทิตย์ที่นำเสนอ และการทดลองเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ได้กับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตามแสงอาทิตย์แบบสองแกนด้วยการปรับสมดุลระดับน้ำ จำนวน 1 แผง กับ จำนวน 3 แผง

3.1 การทดลองเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่กับที่กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตามแสงอาทิตย์ที่นำเสนอ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดตามแสงอาทิตย์ที่นำเสนอ จะติดตั้งให้แผงหันหน้าทางทิศตะวันออก มีมุมเริ่มต้น 45 องศา และมุมสิ้นสุด 135 องศา ทางทิศตะวันตก ดังในรูปที่ 9 (ก) และเปรียบเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ โดยให้แผงมีมุมเอียง 15 องศา หันหน้าไปทางทิศใต้ ดังในรูปที่ 9 (ข) การทดลองจะทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแบบ โดยทำการวัดค่าแรงดันและค่ากระแสลัดวงจรที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกๆ ครึ่งชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 6.00 น. ถึง 18.00 น. หรือ 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วัน

จากการทดลองพบว่าแผงที่มีการติดตามแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน (6.00 น. – 18.00 น.) จำนวนทั้งหมด 5 วัน จะมีค่าแรงดันเฉลี่ย 17.64 โวลต์ และค่าเฉลี่ยกระแสลัดวงจร 1.64 แอมแปร์ ดังนั้นได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 28.93 วัตต์ ส่วนแผงที่ติดตั้งอยู่กับที่จะมีค่าแรงดันเฉลี่ยตลอดทั้งวันของทั้งหมด 5 วัน 17.23 โวลต์ และค่าเฉลี่ย

กระแสลัดวงจร 1.22 แอมแปร์ ได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 21.02 วัตต์ จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยแรงดันและกระแสลัดวงจรของแผงที่มีการติดตามแสงอาทิตย์จะมีค่ามากกว่าของแผงที่ติดตั้งอยู่กับที่ ดังรูปที่ 10 และรูปที่ 11



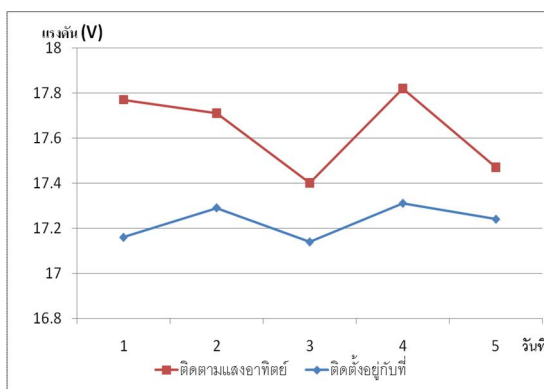
(ก)



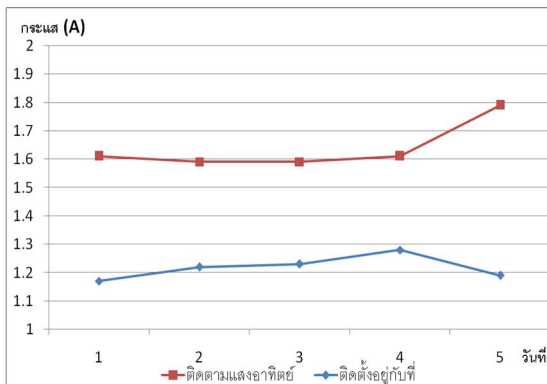
(ข)

รูปที่ 9 (ก) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดตามแสงอาทิตย์ (ข) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่กับที่

จากค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่คำนวณได้ พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงที่มีการติดตามแสงอาทิตย์ มีค่ามากกว่าของแผงที่ติดตั้งอยู่กับที่ 7.91 วัตต์ หรือคิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้นต่อวัน ร้อยละ 37.63



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.2 การทดลองเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ได้กับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตามแสงอาทิตย์ จำนวน 1 แผง และ 3 แผง



(ก)



(ข)

รูปที่ 12 (ก) แผงที่มีการติดตามแสงอาทิตย์ 1 แผง (ข) แผงที่มีการติดตามแสงอาทิตย์ 3 แผง

รูปที่ 12 (ก) แสดงการติดตั้งแผงที่มีการติดตามแสงอาทิตย์แบบสองแกนด้วยการปรับสมดุลระดับน้ำจำนวน 1 แผง และเปรียบเทียบกับแผงที่มีการติดตามแสงอาทิตย์แบบสองแกนด้วยการปรับสมดุลระดับน้ำจำนวน 3 แผง ดังรูปที่ 12 (ข) โดยแผงทั้งหมดติดตั้งให้หันหน้าแผงทางทิศตะวันออก มีมุมเริ่มต้น 45 องศา และมีมุมสิ้นสุด 135 องศาทางทิศตะวันตก แผงทั้ง 3

แผง จะต่อขนานกัน โดยมีการควบคุมการเคลื่อนที่ ที่แผงที่ 1 แล้วเชื่อมต่อท่อน้ำไปยังแผงที่ 2 และ 3 เพื่อให้แผงเคลื่อนที่ติดตามแสงอาทิตย์ไปพร้อมกัน การทดลองจะทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแบบ โดยทำการวัดค่าแรงดันและค่ากระแสตัววงจรที่ได้จากแผงทุกๆ ครึ่งชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 6.00 น. ถึง 18.00 น. เป็นเวลา 5 วัน เพื่อนำไปหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้ของทั้งสองแบบและเปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนน้ำเข้าไป

จากการทดลองพบว่าค่าแรงดันที่ได้จากแผงที่มีการติดตามแสงอาทิตย์ จำนวน 1 แผง จะมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวัน (6.00 น. – 18.00 น.) ของทั้งหมด 5 วัน 17.64 โวลต์ และค่าเฉลี่ยกระแสตัววงจร 1.64 แอมแปร์ ได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 28.93 วัตต์ ส่วนค่าแรงดันที่ได้จากแผงที่มีการติดตามแสงอาทิตย์ จำนวน 3 แผง จะมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวัน (6.00 น. – 18.00 น.) ของทั้งหมด 5 วัน 17.67 โวลต์ และค่าเฉลี่ยกระแสตัววงจร 5.72 แอมแปร์ ได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 101.07 วัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มจำนวนแผง ก็จะทำให้ได้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก คิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจากจำนวน 3 แผง เท่ากับ 3.5 เท่า ของกำลังไฟฟ้าจากจำนวน 1 แผง ผลการทดลองดังกล่าวแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

วัน	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวัน (วัตต์)	
	1 แผง	3 แผง
1	28.61	95.03
2	28.16	104.37
3	27.67	101.26
4	28.69	100.12
5	31.27	104.60
เฉลี่ย	28.93	101.07

เมื่อได้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 1 แผง และจำนวน 3 แผง ก็จะนำมาหาค่าพลังงานไฟฟ้า ตามสมการที่ 2

พลังงานไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) × เวลา (ชั่วโมง) (2)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งตามแสงอาทิตย์ จำนวน 1 แผง ได้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 28.93 วัตต์ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในระยะเวลา 12 ชั่วโมง 347.16 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน และแผงที่ติดตั้งตามแสงอาทิตย์ จำนวน 3 แผง ได้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 101.07 วัตต์ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในระยะเวลา 12 ชั่วโมง 1,212.84 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน



รูปที่ 13 ปั๊มน้ำที่ใช้ในระบบติดตามแสงอาทิตย์

ปั๊มน้ำที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นปั๊มน้ำชนิดกระจกรถยนต์ ดังรูปที่ 13 และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปั๊มน้ำเพื่อควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง และ 3 แผง ดังตารางที่ 2 คำนวณได้โดยวัดค่าแรงดันและกระแสของปั๊มน้ำขณะทำงานแล้วนำค่าที่ได้คำนวณตาม (2) โดยเริ่มจากการปั๊มน้ำให้ถูกลอยยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผงเคลื่อนที่จากมุมเริ่มต้น 45 องศาทางทิศตะวันออก

ไปจนถึงมุมสุดท้ายที่ 135 องศาทางทิศตะวันตก พบว่าใช้เวลาในการเคลื่อนที่ 90 วินาที วัดค่าแรงดันได้ 12 โวลต์ และค่ากระแส 1.1 แอมแปร์ ดังนั้นการควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง จะใช้พลังงานไฟฟ้า 0.33 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน รวมพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลื่อนที่กลับมายังมุมเริ่มต้นอีก 0.33 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นจะใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 0.66 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน หรือคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าสูญเสียร้อยละ 0.19 ส่วนการควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง ใช้เวลาในการเคลื่อนที่พร้อมกัน 240 วินาที วัดค่าแรงดันได้ 12 โวลต์ และค่ากระแส 1.1 แอมแปร์ ดังนั้นการควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แผง จะใช้พลังงานไฟฟ้า 0.88 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน รวมพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลื่อนที่กลับมายังมุมเริ่มต้นอีก 0.88 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นจะใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 1.76 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน หรือคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าสูญเสียร้อยละ 0.145

ตารางที่ 2 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และที่ใช้ในระบบ

จำนวน	พลังงานไฟฟ้า (วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน)		ร้อยละของ การสูญเสีย
	ผลิตได้	ใช้ในระบบ	
1 แผง	347.16	0.66	0.19 %
3 แผง	1,212.84	1.76	0.145 %

ผลจากการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และสูญเสียไปในการควบคุมระบบติดตามแสงอาทิตย์ในงานวิจัยนี้ เปรียบเทียบผลกับงานวิจัย [3] ซึ่งใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง พบว่า งานวิจัยดังกล่าวใช้มอเตอร์กระแสตรงควบคุมการเคลื่อนที่ติดตั้งตามแสงอาทิตย์ ได้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากระยะเวลา 10 ชั่วโมง 94.08 วัตต์ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 940.8 วัตต์-

ชั่วโมงต่อวัน และค่าพลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ในระบบ 10.8 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าสูญเสียร้อยละ 1.148 ส่วนระบบการติดตามแสงอาทิตย์ที่นำเสนอนี้ เมื่อใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 347.16 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน และใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบ 0.66 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าสูญเสียร้อยละ 0.19 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียจากงานวิจัยนี้ มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 0.958 แสดงให้เห็นว่าระบบการติดตามแสงอาทิตย์ที่นำเสนอนี้ สามารถลดพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียได้จริง ซึ่งส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สำหรับการประจุให้กับแบตเตอรี่สูงขึ้นอย่างชัดเจน

4. สรุปและอภิปรายผล

จากการออกแบบระบบติดตามแสงอาทิตย์แบบสองแกนด้วยการปรับสมดุลระดับน้ำ พบว่าโครงสร้างของระบบทั้งหมดจะใช้ต้นทุน 2,000 บาท ต่อแผง ดังนั้นเมื่อใช้แผง จำนวน 3 แผง ก็จะใช้ต้นทุน 6,000 บาท และระบบยังง่ายต่อการปรับปรุงและบำรุงรักษา การทดลองการติดตามแสงอาทิตย์พบว่าสามารถติดตามแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวัน ทำให้ได้พลังงานแสงอาทิตย์มากกว่าระบบที่ติดตั้งอยู่กับที่ แม้ในขณะที่ท้องฟ้ามีเมฆครึ้ม ซึ่งตัวตรวจจับแสงอาทิตย์ไม่สามารถทำงานได้ แต่ระบบก็ยังทำงานได้ด้วยการคำนวณทางเวลา และที่สำคัญระบบติดตามแสงอาทิตย์ที่นำเสนอนี้ จะใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำมากเมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ได้ เพราะใช้ปั๊มน้ำขนาดเล็ก 4 ตัว ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของแผงระหว่างทิศเหนือกับทิศใต้ และระหว่างทิศตะวันออกกับทิศตะวันตก หากนำเทคนิคการปรับสมดุลระดับน้ำนี้ไปใช้กับระบบที่ใหญ่ขึ้นที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ แผง ก็ยังใช้ปั๊มน้ำขนาดเล็ก 4 ตัว เช่นเดิม โดย

ทำการเชื่อมต่อท่อน้ำที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของแผงทุกแผง ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมการลอยตัวของลูกลอยในท่อน้ำทุกท่อได้พร้อมกัน นั่นก็หมายความว่า จะทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก แต่ระบบจะสูญเสียพลังงานไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และระบบที่นำเสนอนี้ยังสูญเสียพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าระบบที่ใช้มอเตอร์ [3] ร้อยละ 0.958 เป็นการยืนยันว่าระบบที่นำเสนอสามารถลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียได้จริง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Watjanatepin, “Independent Solar power system installation”, Skybook Company, PathumThani. 2010. (in Thai)
- [2] S. Veerasathain and P. Chaiyanin, “Connection to Grid with adjusting the tilted angle of The solar cell for the seasonal”, Energy World Journal 5, 2002, pp. 17-24. (in Thai)
- [3] P. Mahamai, N. Panyoyai and P. Watcharadumrongsak, “Battery charging by an automatic dual-axis solar tracking system”, The Journal of Industrial Technology 8, pp. 19-28. (in Thai)
- [4] G. Bakos, “Design and construction of two-axis Sun tracking system for parabolic trough collector (PTC) efficiency improvement”, Renewable Energy 31, 2006, pp. 2411-2421.
- [5] R. Tejwani, and C.S. Solanki, (2010). “360° sun tracking with automated cleaning system for solar PV modules”, IEEE proceedings, 2010, pp. 2895-2898.

- [6] T. Pantui, “Solar lighting system”, Proceeding of the 3rd International Conference on Rajamangala University of Technology, Bangkok, Thailand, 2010, pp. 209-215. (in Thai)
- [7] L. Guanhuai, S. Xinchun, F. Chao, and Z. Guoliang. “Design and implementation of a novel MPPT controller based on sun tracking technology”, IEEE proceedings, 2008, pp. 2611-2615.
- [8] Electricity Generating Authority of Thailand. “Solar Weighted Tracking Systems”, Available : http://www2.egat.co.th/re/egat_pv/egatpv_silinthon/tracking_silinthon.htm, accessed on 20 May 2011. (in Thai)
- [9] Learning Center on The Earth Science and Astronomy. “Daily Motions”, Available : <http://www.lesa.biz/astronomy/celestialsphere/celestial-motion/diurnal-motion>, accessed on 15 March 2011. (in Thai)

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงราย และโครงการส่งเสริมการผลิตผลงานวิจัย มทร.ธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุน