

# ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ควบคุมโดยการคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์ ที่ปรากฏในท้องฟ้าด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

## The Sun Tracking Control System Based on Sun Position Calculation using Microcomputer

อนุชา ดีผาง (Anucha Deephang)<sup>1\*</sup>

สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ (Singthong Pattanasethanon)<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบควบคุมติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้การคำนวณหาตำแหน่งดวงอาทิตย์จากสมการด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ จุดเด่นของระบบนี้คือ ระบบสามารถทำงานได้ในสภาพความเข้มแสงน้อย และไม่ต้องบำรุงรักษาบ่อยเนื่องจากไม่ใช้ตัวตรวจจับแสง ระบบนี้ประกอบด้วยชุดเคลื่อนที่สองแกนที่เคลื่อนที่แบบแยกอิสระต่อกัน ซึ่งสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้ทั้งแนวอัลติจูดและแนวอะซิมูท ระบบควบคุมของแต่ละแกนประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง วงจรขับมอเตอร์ ตัววัดตำแหน่ง และ ตัวควบคุมแบบดิจิทัล หลักการทำงานของระบบนี้ เริ่มจาก คำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์ในรูปของค่ามุมอัลติจูดและอะซิมูท ตามพิกัดภูมิศาสตร์และวันเวลา หลังจากนั้น รับค่ามุมอัลติจูดและอะซิมูทปัจจุบันเปรียบเทียบกับค่าคำนวณ นำผลต่างที่ได้เป็นสัญญาณควบคุมให้กับมอเตอร์ชุดขับเคลื่อนของแต่ละแกน การทดสอบการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ กระทำ ณ ชั้น 5 อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยการวัดค่ารังสีอาทิตย์ด้วยไพรานอมิเตอร์ที่ติดตั้ง 2 แบบ คือ แบบติดตั้งอยู่กับที่ที่มุมเอียง 15 องศาได้ กับแบบที่ติดตั้งร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์ เมื่อนำค่ารังสีอาทิตย์ที่วัดได้จากการติดตั้งไพรานอมิเตอร์ทั้งสองแบบมาเปรียบเทียบกัน พบว่าค่ารังสีอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ที่ติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์สูงกว่าค่ารังสีอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์แบบที่ติดตั้งอยู่กับที่ โดยเฉลี่ยประมาณ 28.42 % โดยสรุประบบติดตามดวงอาทิตย์นี้สามารถทำงานได้เป็นอย่างดีโดยช่วยให้อุปกรณ์รับพลังงานแสงอาทิตย์สามารถรับพลังงานได้มากขึ้น ในส่วนของการนำไปใช้ประโยชน์สามารถนำหลักการควบคุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์นี้ไปประยุกต์ติดตั้งให้กับแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งก็จะช่วยให้แผงรับพลังงานมีประสิทธิภาพมากขึ้นได้

### Abstract

This research presents a sun tracking control system based on sun position calculation using a micro-computer. The advantages of this system are that it can be operated under a low intensity of daylight and has low maintenance requirements because it does not use a photo sensor. This system consists of equipment for two axis independent movement which can track the sun's position both in altitude and azimuth. The components

<sup>1</sup>นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

<sup>2</sup>รองศาสตราจารย์ สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

\*corresponding author, e-mail: anucha\_dee@yahoo.com

for each axis consist of dc motor, driver, position sensor and digital controller. The procedure for the system operation is as follows. First, calculate the sun's position in altitude and azimuth based on the geographic coordinate, date and time. After that, read the present altitude and azimuth angles from the system and compare with the angle value from calculation. This error is the control signal for controlling the system through the motor of each axis. This system is installed on the 5<sup>th</sup> floor of the Faculty of Engineering Building at Mahasarakham University. To test the system the total radiation was measured using two pyranometers. These pyranometers are installed on the sun tracking system and on a fixed surface at 15 degrees. The results show that the total radiation measured by the pyranometer on the sun tracking system is higher than the pyranometer which was installed on the fixed surface with an average value of 28.42%. In conclusion the proposed sun tracking system works well, because the results indicate that the measured collected solar energy on the moving surface is significantly higher than on the stationary surface. This control system can be applied for solar collectors to significantly improve efficiency.

**คำสำคัญ:** ระบบติดตามดวงอาทิตย์

**Keywords:** sun tracking system

## บทนำ

เทคนิคและวิธีการในการสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับอุปกรณ์รับพลังงานแสงอาทิตย์ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง หากจำแนกตามวิธีการที่ใช้ในการติดตาม (Roth, 2004) สามารถจำแนกการควบคุมออกได้ 3 แบบ คือ ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบพาสซีฟ (Passive Controlled Unit) เป็นระบบที่ปราศจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อาศัยการเปลี่ยนสถานะของของเหลว มวลของของเหลวที่ถ่ายเทไปมาจะทำหน้าที่ยกแผงรับพลังงานนี้ให้เคลื่อนที่ไปเสมือนว่าแผงเคลื่อนที่ติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ ข้อดีของระบบติดตามดวงอาทิตย์ลักษณะนี้คือ ไม่ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าในการเคลื่อนที่แผงรับพลังงาน ต้องการการบำรุงรักษาน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบอื่น ข้อเสียจะเป็นส่วนของความแม่นยำที่ค่อนข้างต่ำ ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบไมโครโพรเซสเซอร์ควบคุม (Microprocessor Controlled Unit) เป็นระบบที่มีการควบคุมตำแหน่งการติดตามดวงอาทิตย์ด้วยไมโครโพรเซสเซอร์ อาจระบุตำแหน่งดวงอาทิตย์ด้วยการคำนวณจากสมการ หรืออาจทำงานร่วมกับอุปกรณ์ตรวจ

จับตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ ข้อดีคือความแม่นยำค่อนข้างสูง แต่มีค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบค่อนข้างสูง และสุดท้ายเป็นระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบใช้อุปกรณ์ตรวจจับแสงร่วมกับวงจรควบคุม (Electro-optically Controlled Unit) อาศัยอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์โดยการตรวจจับรังสีตรงด้วยอุปกรณ์ประเภทที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มแสง ซึ่งสามารถประยุกต์เอาคุณสมบัติดังกล่าวมาใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับรังสีตรงดวงอาทิตย์ เช่น โฟโตไดโอด (Konar, 1999) โฟโตทรานซิสเตอร์ หรือแอลดีอาร์ (Koyunc, 1991) (Kalogirou, 1996) เป็นต้น ส่วนสำคัญของเทคนิคการติดตามดวงอาทิตย์ในลักษณะนี้คือ อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์ ความแม่นยำในการติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ขึ้นกับความเข้มแสงเป็นส่วนใหญ่ ระบบอาจไม่ทำงานในสภาพที่มีแสงน้อย เช่น เมื่อเกิดการบังเงาของเมฆหรือในสภาพท้องฟ้ามีดครึ้ม นอกจากนี้ในสภาพใช้งานจริงตัวตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์อาจเสียหายจากความร้อนและฝุ่นละอองในอากาศทำให้ระบบทำงานคลาดเคลื่อนหรือหยุดทำงานจากปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงนำเสนอระบบติดตาม

ดวงอาทิตย์ที่ควบคุมและคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่ปรากฏในท้องฟ้าด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีข้อดีคือไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์ทำให้ระบบไม่ต้องการการบำรุงรักษาที่มากนัก การระบุตำแหน่งดวงอาทิตย์อาศัยการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำให้ความแม่นยำไม่มีผลต่อความสามารถในการทำงานของระบบ และประการสำคัญเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีจากองค์ความรู้ของตนเองเพื่อลดการพึ่งพาและการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ

### การออกแบบ

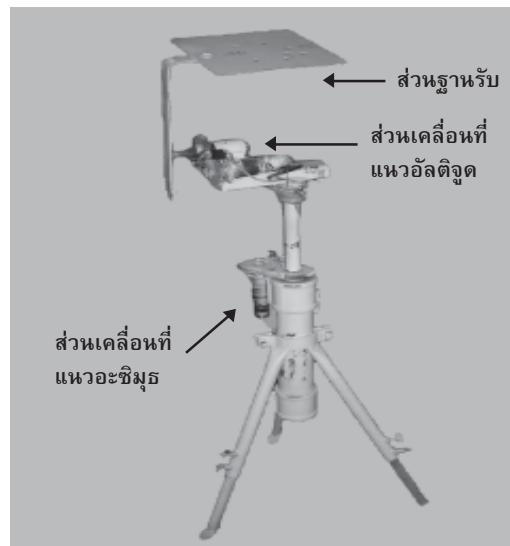
ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ใช้หลักการควบคุมแบบดิจิทัล และไม่ใช้อุปกรณ์ตรวจรู้ในการระบุตำแหน่งดวงอาทิตย์ แต่อาศัยการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ในการระบุตำแหน่งดวงอาทิตย์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นนี้ จึงวางแนวทางในการทดสอบโดยทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดด้วยไพรานอมิเตอร์แบบติดตั้งอยู่กับที่กับแบบที่ติดตั้งร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์นี้

ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างจึงมุ่งเน้นไปที่การใช้งานร่วมกับอุปกรณ์วัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ ไพรานอมิเตอร์ส่วนของโครงสร้างทางกลในที่นี้จะหมายถึง อุปกรณ์ทั้งหมดที่ประกอบขึ้นเป็นระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างที่มีกลไกให้หมุนได้ในสองแนวแกนคือ แนวอัลติจูด และแนวอะซิมูท โดยมีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสองตัวเป็นตัวขับเคลื่อนแยกเป็นอิสระต่อกันในแต่ละแนวแกน

### โครงสร้างทางกลของระบบติดตามดวงอาทิตย์

หมายถึงส่วนที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ประกอบด้วยส่วนเคลื่อนที่แนวอะซิมูท และส่วนเคลื่อนที่แนวอัลติจูด ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการขับเคลื่อนแต่ละแนวแกน การส่งกำลังใช้เฟืองอัตราทด 1:1 ใส่ที่แกนหมุนและที่เพลาของมอเตอร์ ด้วยสัดส่วนการทดรอบนี้ตำแหน่งแกนของมอเตอร์ที่หมุนไปจะเท่ากับตำแหน่งการเคลื่อนที่ของ

แกนหมุนทำให้ง่ายต่อการออกแบบกระบวนการควบคุมและที่ปลายของแกนหมุนยังติดตั้งโพเทนชิโอมิเตอร์เพื่อคืนค่าตำแหน่งของส่วนเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนไปกลับไปยังกระบวนการควบคุมเพื่อการประมวลผลต่อไป รูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างทางกลของระบบติดตามดวงอาทิตย์

### มอเตอร์และวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

งานวิจัยนี้ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดแม่เหล็กถาวร ขนาด 5 โวลต์ มีเกียร์ทดรอบด้วยเกียร์สเตจความเร็วในการหมุน 8 รอบต่ออนาที ส่วนขับเคลื่อนเครื่องติดตามดวงอาทิตย์ใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลัง มีการขับเคลื่อนในสองแนวแกนคือแนวอัลติจูด และแนวอะซิมูท ในส่วนของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ของระบบติดตามดวงอาทิตย์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ วงจรขับเคลื่อนระบบติดตามดวงอาทิตย์ตามแนวอัลติจูด และวงจรขับเคลื่อนระบบติดตามดวงอาทิตย์ตามแนวอะซิมูท

วงจรขับเคลื่อนทั้ง 2 ส่วนใช้วงจรลักษณะเดียวกัน เรียกว่า วงจรขับเคลื่อนแบบ H-bridgeรายละเอียดวงจรเป็นดังรูปที่ 2 ใช้ทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN จำนวน 4 ตัว เป็นตัวที่คอยทำหน้าที่สลับชั่วคราวไหลของกระแสไฟเพื่อให้มอเตอร์หมุนซ้ายและขวาตามสภาวะของอินพุต Q1 และ Q2 ที่มาจากโปรแกรมคำนวณตำแหน่ง

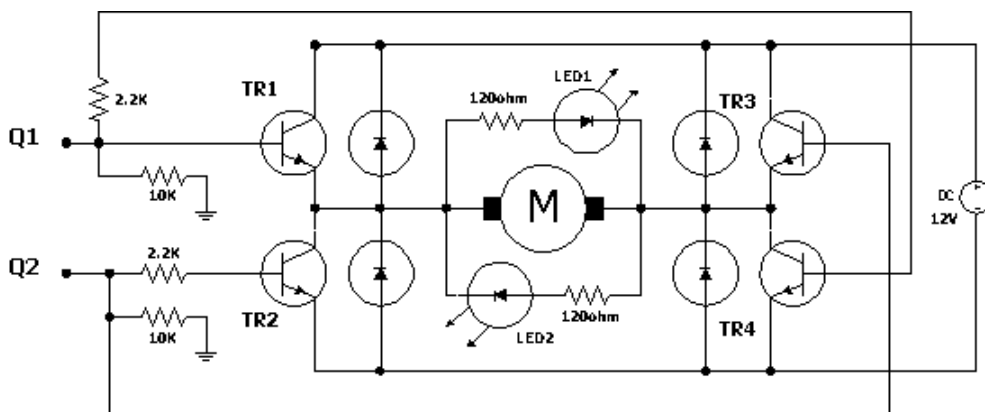
ดวงอาทิตย์ เมื่อเริ่มทำงานโปรแกรมจะคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในแนวอัลติจูดและอะซิมูธออกมาพิจารณาโปรแกรมเฉพาะส่วนการคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์ในแนวอัลติจูดค่าที่ได้จะเป็นจำนวนองศาที่ต้องมอเตอร์ต้องหมุนไป ซึ่งจะพาส่วนเคลื่อนที่แนวอัลติจูด เคลื่อนที่ไปด้วย มุมอัลติจูดนี้ถือเป็นมุมอ้างอิงในขณะเดียวกันมุมหรือตำแหน่งปัจจุบันจะถูกตรวจสอบและแจ้งกลับด้วยโพเทนชิโอมิเตอร์สัญญาณนี้จะถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง หากสัญญาณอ้างอิงมีค่าน้อยกว่าสัญญาณที่มาจากโพเทนชิโอมิเตอร์โปรแกรมจะสั่งให้สัญญาณที่ Q1 มีสถานะลอจิกเป็น “1” และ Q2 มีสถานะลอจิกเป็น “0” และหากสัญญาณอ้างอิงมีค่ามากกว่าสัญญาณที่มาจากโพเทนชิโอมิเตอร์โปรแกรมก็จะสั่งให้สัญญาณที่ Q1 มีสถานะลอจิกเป็น “0” และ Q2 มีสถานะลอจิกเป็น “1” และถ้าสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณที่มาจากโพเทนชิโอมิเตอร์มีค่าเท่ากัน Q1 และ Q2 ก็จะมีสถานะลอจิกเป็น “0” ทั้งคู่ จากสภาวะของ Q1 และ Q2 ที่โปรแกรมส่งออกมา นั้นสามารถอธิบายการทำงานของวงจรได้ดังนี้ เมื่อ Q1 และ Q2 มีสถานะลอจิกเป็น “0” ทั้งคู่ ทรานซิสเตอร์ TR1 TR2 TR3 และ TR4 จะไม่นำกระแส ทำให้ขณะนี้มอเตอร์ไม่หมุน เมื่อ Q1 มีสถานะลอจิกเป็น “1” และ Q2 มีสถานะลอจิกเป็น “0” ขณะนี้ทรานซิสเตอร์ TR2 และ TR3 จะไม่

นำกระแส ส่วนทรานซิสเตอร์ TR1 และ TR4 จะถูกไบอัสทำให้ TR1 นำกระแสผ่านมอเตอร์และโหลดครบวงจร โดยผ่าน TR4 ทำให้มอเตอร์หมุนขวา และเมื่อ Q1 มีสถานะลอจิกเป็น “0” และ Q2 มีสถานะลอจิกเป็น “1” ขณะนี้ทรานซิสเตอร์ TR1 และ TR4 จะไม่นำกระแส ส่วนทรานซิสเตอร์ TR2 และ TR3 จะถูกไบอัสทำให้ TR3 นำกระแสผ่านมอเตอร์และโหลดครบวงจรโดยผ่าน TR2 ทำให้มอเตอร์หมุนซ้าย ส่วนในสภาวะที่ Q1 และ Q2 มีสถานะลอจิกเป็น “1” ทั้งคู่จะไม่เกิดขึ้นจากการออกแบบในส่วนของโปรแกรมควบคุม

ในทำนองเดียวกันวงจรขับมอเตอร์ระบบติดตามดวงอาทิตย์ตามแนวอะซิมูธ จะรับเอาเอาท์พุทจากที่มาจากโปรแกรมคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์ในแนวอะซิมูธคือ Q3 และ Q4 มาใช้ในการตัดสินใจเคลื่อนระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยมีหลักการทำงานอธิบายได้เช่นเดียวกันกับวงจรขับเคลื่อนเครื่องติดตามดวงอาทิตย์ตามแนวอัลติจูด

### การแปลงค่ามุมของส่วนเคลื่อนที่แนวอะซิมูธและแนวอัลติจูด

ที่แกนหมุนของมอเตอร์จะมีการแปลงค่ามุมที่ได้จากการหมุนด้วยทรานสดิวเซอร์ที่สร้างจากโพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer) เพื่อเป็นสัญญาณป้อนกลับให้

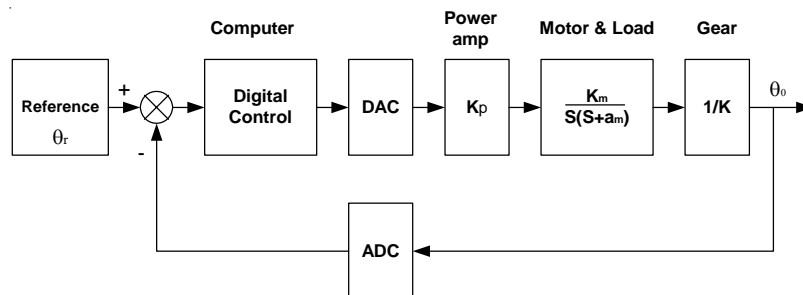


รูปที่ 2. วงจรขับมอเตอร์

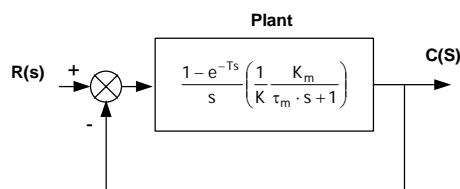
แก่ระบบ โดยมีการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อส่งไปประมวลผลด้วย ADC (Analog to Digital Converter) ระบบจะกระทำเช่นนี้อย่างต่อเนื่องเป็นอัตโนมัติ งานวิจัยนี้มีสัญญาณแอนะล็อกที่เป็นค่ามุมอยู่ 2 มุมที่ต้องได้รับการแปลงไปเป็นสัญญาณดิจิทัล คือ ค่ามุมในแนวอัลติจูดและค่ามุมในแนวอะซิมูท จึงเลือกใช้ ไอซี เบอร์ LTC 1298 เป็นอุปกรณ์ประเภท ADC เนื่องจากมีช่องรับอินพุต 2 ช่องเพียงพอกับการใช้งาน การทำงานของ ไอซี LTC 1298 นั้นจะรับข้อมูลที่เป็นแอนะล็อกแล้วแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลและส่งข้อมูลดิจิทัลนั้นออกแบบอนุกรม ขนาด 12 บิต ทีละ 1 ช่อง ควบคุมการรับส่งข้อมูลด้วยสัญญาณจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตขนาน

### การวิเคราะห์ระบบ

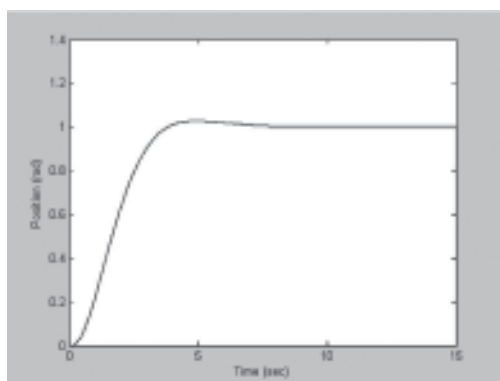
ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่นำเสนอเป็นระบบควบคุมแบบดิจิทัล มีคอมพิวเตอร์เป็นองค์ประกอบหลักในการควบคุมการทำงานของระบบ โดยมีผังสัญญาณของระบบแสดง ดังรูปที่ 3 จากผังสัญญาณในการพิจารณาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบสามารถพิจารณาแยกเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้ ส่วนของคอมพิวเตอร์ในส่วนนี้จะรวมเอา Digital to Analog Converter, Analog to Digital Converter และ Potentiometer เข้าด้วยกัน แทนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยฟังก์ชันการถ่ายโอนเป็นค่าคงที่หนึ่งค่า และอีกส่วนหนึ่งคือ ส่วนของโครงสร้างทางกล ได้แก่ เฟืองทดรอบซึ่งคิดตามอัตราทด มอเตอร์และโหลด สามารถแทนแต่ละส่วนด้วยฟังก์ชันการถ่ายโอน ดังสมการในรูปที่ 4



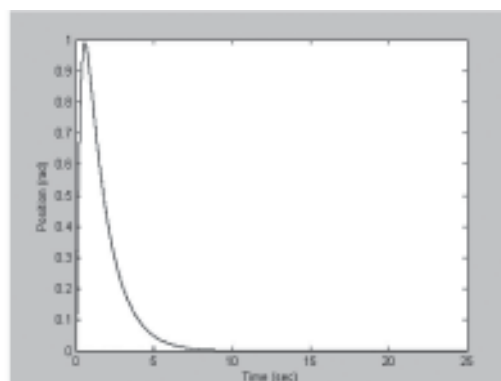
รูปที่ 3. ผังสัญญาณของระบบติดตามดวงอาทิตย์



รูปที่ 4. แผนผังสัญญาณฟังก์ชันการถ่ายโอนของระบบ



(ก)



(ข)

รูปที่ 5. (ก) ผลการจำลองระบบทดสอบด้วยสัญญาณ Stair step Response (ข) ผลการจำลองระบบทดสอบด้วยสัญญาณ Impulse Response

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบติดตามดวงอาทิตย์ เมื่อทดสอบการทำงานโดยการจำลองระบบด้วยโปรแกรม Mat Lab พบว่าเมื่อทดสอบผลตอบสนองด้วยสัญญาณแบบขั้นบันได (Stair Step Response) ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5 (ก) อธิบายได้ว่าระบบมีการตอบสนองทางเวลาในการเข้าหาจุด Set Point กำหนดที่ 1 เรเดียน ใช้เวลาประมาณ 8 วินาที และมีการกระเพื่อมของสัญญาณเป็นแบบ Over Shoot เพียงเล็กน้อยในจุดที่ยอมรับได้ และเมื่อทดสอบผลตอบสนองด้วยสัญญาณแบบชั่วขณะ (Impulse Response) เพื่อดูผลการกลับเข้าสู่จุด Set Point จากการรบกวนระบบด้วยสัญญาณชั่วขณะ ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5 (ข) อธิบายได้ว่า เมื่อระบบถูกรบกวนด้วยสัญญาณชั่วขณะขนาด 1 เรเดียน ระบบจะกลับเข้าหาจุด Set Point ใช้เวลาประมาณ 8.5 วินาที เมื่อพิจารณาผลการทดสอบดังกล่าวร่วมกับเงื่อนไขการใช้งานคือการติดตามดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 15 องศาต่อ 1 ชั่วโมง หรือ 4 นาที ต่อ 1 องศา แสดงให้เห็นว่าระบบมีผลการตอบสนองทางเวลาที่เร็วและดีเพียงพอในการรองรับการทำงาน

## โปรแกรมคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์และควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์

ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏในท้องฟ้าเปลี่ยนแปลงตลอดวันและตลอดทั้งปี การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะแสดงในรูปของค่ามุมอะซิมุทและมุมอัลติจูด ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก วัน เวลา และพิกัดของจุดสังเกต เมื่อทราบค่าต่างๆ เหล่านี้สามารถนำมาเขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏในท้องฟ้าได้

โปรแกรมสำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์ในงานวิจัยนี้ แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการคำนวณตำแหน่งปรากฏของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้า และส่วนของการควบคุมการเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งของระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยมีข้อมูลและวิธีการประมวลผลดังนี้

1. ข้อมูลเข้า ข้อมูลที่นำเข้าไปในโปรแกรมนี้นี้ได้แก่ พิกัดภูมิศาสตร์ วัน-เวลา และค่ามุมจากทรานสดิวเซอร์
2. วิธีการประมวลผล การประมวลผลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

2.1 ส่วนการคำนวณตำแหน่งปรากฏของดวงอาทิตย์ การทำงานในส่วนนี้เริ่มจากการรับค่าพิกัดภูมิศาสตร์ของสถานที่ (ละติจูดและลองจิจูด) วัน เดือน ปี และเวลา จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณค่าต่างๆ ตามลำดับขั้น จนกระทั่งได้ค่าของมุมอัลติจูดและมุมอะซิมูทของดวงอาทิตย์ในขณะนั้นออกมา ซึ่งค่ามุมทั้งสองนี้ จะถูกใช้เป็นมุมอ้างอิงในการประมวลผลลำดับต่อไป

2.2 ส่วนของการควบคุมตำแหน่งระบบติดตามดวงอาทิตย์ ในส่วนนี้เป็นการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกซึ่งจะกระทำผ่านพอร์ตขนาน การประมวลผลแยกเป็น 2 แนวแกน คือ แนวอัลติจูด และแนวอะซิมูท

## การทดสอบ

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานอยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่าอุปกรณ์รับพลังงานแสงอาทิตย์ จะได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์สูงสุดเมื่อหันด้านรับพลังงานเข้าหาตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ ซึ่งหากสามารถควบคุมให้อุปกรณ์รับพลังงานแสงอาทิตย์เคลื่อนตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ก็จะทำให้ได้รับพลังงานสูงสุดตลอดวันเช่นกัน ด้วยเหตุนี้เพื่อต้องการทราบค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่อุปกรณ์รับพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับเมื่อมีการติดตั้งและไม่ติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ จึงเลือกใช้ไพรานอมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีอาทิตย์ รังสีที่วัดได้นี้จะเป็นรังสีรวมเทียบได้กับที่อุปกรณ์รับพลังงานแสงอาทิตย์จะได้รับจริง การทดสอบกระทำโดยการเปรียบเทียบผลของค่ารังสีอาทิตย์ที่วัดได้เมื่อติดตั้งไพรานอมิเตอร์ร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับไพรานอมิเตอร์ที่ติดตั้งอยู่กับที่บนฐานที่มีมุมเอียง 15 องศา หันหน้าไปทางทิศใต้ ซึ่งเป็นมาตรฐานในการวางตำแหน่งอุปกรณ์รับพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย สถานที่ทำการทดสอบ อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม ตั้งอยู่ที่ ละติจูดที่ 103.25 องศาตะวันออก ลองจิจูดที่ 16.24 องศาเหนือ เป็นเวลา 10 วัน คือระหว่างวันที่ 1 ถึง 10 สิงหาคม พ.ศ. 2549 ตั้งแต่เวลา 6.00 น. ถึงเวลา 18.00 น.

## ผลการทดสอบ

จากการทดสอบภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบต่างๆ ในเดือนสิงหาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน แสดงให้เห็นว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่นำเสนอนี้ สามารถใช้งานได้ดีในทุกสภาพท้องฟ้าตามที่ได้อ้างไว้ พบว่าในแต่ละวันปริมาณรังสีอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ที่ทำการติดตั้งทั้ง 2 แบบ เป็นไปตามตารางที่ 1 โดยมีการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่ารังสีอาทิตย์ที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และมีค่าต่างกันเฉลี่ยทั้งวันประมาณ 28.42 % โดยที่การติดตั้งแบบร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์จะให้ค่าที่สูงกว่าการติดตั้งแบบอยู่กับที่ และพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันในช่วงเริ่มต้นและช่วงท้ายของแต่ละวัน โดยมีลักษณะของค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่วัดได้เป็น ดังรูปที่ 7 ถึง 11

## สรุป

ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ควบคุมโดยการคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่ปรากฏในท้องฟ้าด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ เป็นการควบคุมแบบ 2 แกน คือ แนวอัลติจูดและแนวอะซิมูท โดยมีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 5 โวลต์ ความเร็ว 8 รอบต่อนาที เป็นตัวขับเคลื่อนแต่ละแนว ทำการติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์โดยอาศัยสมการพื้นฐานในการคำนวณมุมต่างๆ ที่จำเป็น สำหรับมุมที่ใช้ในการระบุตำแหน่งดวงอาทิตย์นั้นได้แก่ มุมอัลติจูดและมุมอะซิมูทด้วยค่ามุมทั้ง 2 นี้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นจะนำไปสั่งงานส่วนควบคุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้หันและชี้ตำแหน่งไปยังดวงอาทิตย์ โดยใช้หลักการควบคุมแบบดิจิทัล จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่ารังสีอาทิตย์ที่วัดได้เมื่อติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์มีค่าที่สูงกว่าแบบที่ไม่ติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยเฉลี่ยทั้งวันประมาณ 28.42 % แสดงให้เห็นว่าในสภาวะอากาศที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะท้องฟ้าโปร่ง แดดจัด หรือฟ้าครึ้มไม่มีแดด ระบบติดตามดวงอาทิตย์ในงานวิจัยนี้ยังคงทำงานได้ดีโดยทำให้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์รับพลังงานแสงอาทิตย์สูงกว่าแบบติดตั้งอยู่กับที่เสมอ

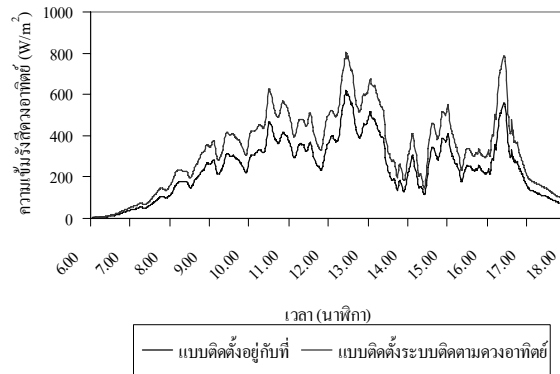
ตารางที่ 1. ผลการทดลองการวัดค่ารังสีดวงอาทิตย์ด้วยไพรานอมิเตอร์ ที่มีการติดตั้งทั้ง 2 แบบ ตั้งแต่ วันที่ 1 ถึง วันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2549 โดยเฉลี่ยตั้งแต่เวลา 6.00 น. ถึง 18.00 น.

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มรังสีอาทิตย์ เฉลี่ยทั้งวัน แบบติดตั้งอยู่กับที่ ( $W/m^2$ )	ความเข้มรังสีอาทิตย์ เฉลี่ยทั้งวัน แบบติดตามดวงอาทิตย์ ( $W/m^2$ )	ความแตกต่างของ ความเข้มรังสีอาทิตย์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)
1/8/2549	243.49	329.30	35.24
2/8/2549	303.21	406.98	34.22
3/8/2549	297.14	382.97	28.88
4/8/2549	428.08	531.63	24.19
5/8/2549	405.00	506.82	25.14
6/8/2549	404.27	510.66	26.32
7/8/2549	337.30	435.95	29.25
8/8/2549	415.62	523.40	25.93
9/8/2549	325.71	416.71	27.94
10/8/2549	537.87	666.36	23.89
เฉลี่ย	369.77	471.08	28.42

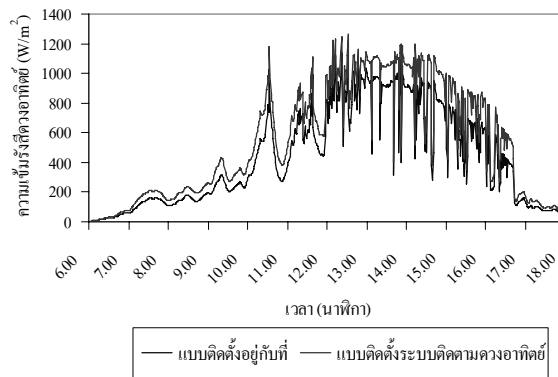


รูปที่ 6. การวัดค่ารังสีรวมอาทิตย์ โดยการติดตั้งไพรานอมิเตอร์ ด้วยอุปกรณ์ทั้งสองแบบ

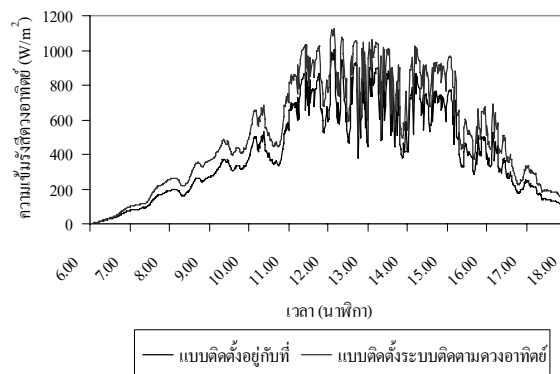




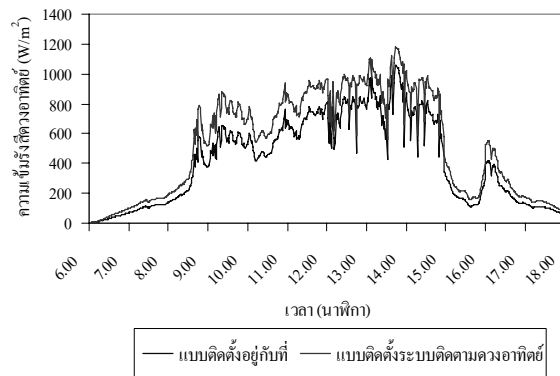
รูปที่ 7. รังสีดวงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ ณ วันที่ 1 สิงหาคม 2549



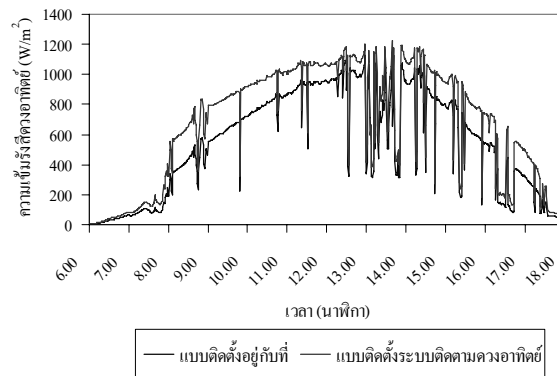
รูปที่ 8. รังสีดวงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ ณ วันที่ 3 สิงหาคม 2549



รูปที่ 9. รังสีดวงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ ณ วันที่ 6 สิงหาคม 2549



รูปที่ 10. รังสีดวงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ ณ วันที่ 8 สิงหาคม 2549



รูปที่ 11. รังสีดวงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรานอมิเตอร์ ณ วันที่ 10 สิงหาคม 2549

## เอกสารอ้างอิง

- Aiuchi, Kosuke. 2005. **Sensor Controlled Heliostat with An Equatorial Mount**. Solar Energy. 1089-1097.
- Bacos, George C. 2006. **Design and Construction of A Two-axis Sun Tracking System for Parabolic Trough Collector (PTC) Efficiency Improvement**. Renewable Energy. 31: 2411-2421.
- Kalogirou, Soteris A. 1996. **Design and Construction of A One-Axis Sun-Tracking**. Solar Energy. 57(6): 465-469. 1996.
- Konar, A., and A.K. Mandal. **Microprocessor Base Automatic Sun Tracker**. IEEE Proceedings-A. 14(138) : 237-241.
- Koyunc, B. and K.Balasubramanian. 1990. **A Micro-processor Controlled Automatic Sun Tracker**. IEEE Transactions on Consumer Electronics. 37(4): 913-917.
- Maish, Alexander B. 1990. **Performance of A Self-Aligning Solar Array Tracking Controller**. IEEE Photovoltaic Specialists Conference 22<sup>th</sup>. <<http://www.ieee.com/locate/energy>> 2006.
- Nise, Norman S. 2000. Control System Engineering. 3<sup>rd</sup> ed. California: Wiley,
- Roger, Messenger. 1999. Photovoltaic Systems Engineering. 2<sup>sd</sup> ed. Florida: Florida Atlantic University,
- Roth, P., A. Georgiev and H. Boudino. 2005. **Cheap Two Axis Sun Following Device**. Energy Conversion and Management. 46 : 1179-1192.
- Roth, P., A. Georgiev and H. Boudinov. 2004. **Design and Construction of A System for Sun-Tracking**. Renewable Energy. 29: 393-402.
- Wahidah, Mensor. 2001. **Microcomputer-Based Intelligent System for Motion Control**. IEEE Catalogue. <<http://www.ieee.com/locate/energy>> 2006.
- Yousef, Hasan A. 1999. **Design and Implementation of A Fuzzy Logic Computer-Controlled Sun Tracking System**. IEEE Catalogue. <<http://www.ieee.com/locate/energy>> 2006.

