

การศึกษาการออกแบบต้นแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดใหญ่ที่เหมาะสมกับประเทศไทย

Design of Solar Tracking System for Large Scale Photovoltaic Power Plant in Thailand

รัฐพร เงินมีศรี นินพนธ์ เกตุจ้อย*
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000
โทร 0-5596-3188 โทรสาร 0-5596-3188 E-mail: niponk@nu.ac.th

Rattaporn Ngoenmeesri Nipon Ketjjoy*
School of Renewable Energy Technology, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand
Tel: 0-5596-3188 Fax: 0-5596-3188 E-mail: niponk@nu.ac.th
*Corresponding author

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอผลการออกแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน เพื่อใช้สำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ในประเทศไทย จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่แบบแกนเดียวสามารถผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 25% และแบบ สองแกนเพิ่มขึ้น 40% เทียบกับแบบติดตั้งอยู่กับที่ งานวิจัยนี้แบ่งการออกแบบระบบเป็น 2 ส่วน คือ 1) ออกแบบโครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์ภายใต้มาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 2) ออกแบบระบบขับเคลื่อนตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน หลังจากออกแบบแล้วเสร็จ ทำการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบติดตามดวงอาทิตย์ จากการศึกษาพบว่าผลการออกแบบระบบต้นแบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน พบว่าระบบต้นแบบมีพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 80 ตารางเมตร สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 10 กิโลวัตต์ ระบบขับเคลื่อนของระบบต้นแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงในการขับเคลื่อนระบบต้นแบบหมุนในแนว Azimuth จาก 0-180 องศาและในแนว Elevation 0-90 องศา โครงสร้างหลักของระบบต้นแบบทำจากเหล็กกล้าสามารถทนการปะทะของแรงลมได้สูงสุดเท่ากับ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งจากการออกแบบจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย บทความฉบับนี้นำเสนอในส่วนของงานวิเคราะห์ทางด้านเทคนิคของระบบ

Abstract

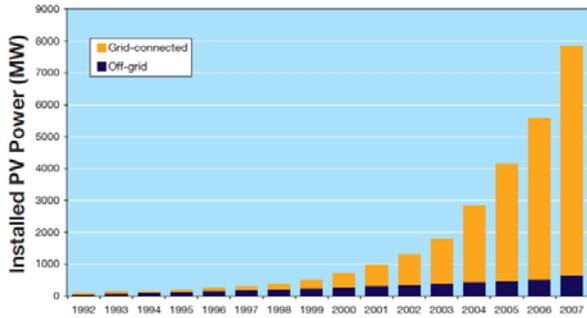
This article presents the designed resulted of 2 axis solar tracking system prototype for installation the large scale

photovoltaic power plant in Thailand. From the study of previous research found that, one axis and two axis large scale photovoltaic power plants could product electrical energy higher than fixing system were 25% and 40% respectively. The design of this research can be separated to 2 parts: 1) design the structure of solar tracking system under standard of The Engineering Institute of Thailand 2) design the 2 axis tracking system for prototype system. After designed the prototype system, it is evaluated in term of technicality and economics. The result of design found that, the area for installing PV module is 80 m² which can install PV capacity of about 10 kW, high efficient motor is used to drive the tracking system for solar tracking system prototype in range of 0 – 180 degree of azimuth angle and range of 0 – 90 degree of elevation angle, steel is used as material for building the structure of prototype system which can against the wind load about 60 km/hr the results of this design will be a lot of benefit to develop photovoltaic power plant in Thailand.

1. บทนำ

ปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีเพิ่มมากขึ้น จากรูปที่ 1 [1] เป็นกราฟที่แสดงถึงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งและแบบไม่ได้เชื่อมต่อกับสายส่ง ซึ่งจะเห็นว่าการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งมากขึ้นนั้นหมายความว่ามีการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้น ประเทศไทยเองก็มีการใช้ผลิต

ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้น โดยมีแนวโน้มในการสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตมากกว่า 1 MW เพิ่มขึ้น ทั้งหมดเป็น



รูปที่ 1 การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

แบบติดตั้งอยู่กับที่ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการเพิ่มความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นด้วยการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้สามารถเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ทำให้ผู้ประกอบการสนใจที่จะลงทุนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งระบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ นั้นมีรูปแบบที่หลากหลาย โดยทั่วไปจะผลิตในต่างประเทศมีราคาสูง แต่ปัจจุบันราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงไปมาก และวัสดุที่นำมาใช้โครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์ก็สามารถหาได้ในประเทศไทย อีกทั้งเทคโนโลยีที่ใช้ในการตามดวงอาทิตย์ทุกวันนี้มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนระบบน้อย ดังนั้นบทความนี้จะทำการศึกษาเพื่อออกแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่มีเหมาะสมกับประเทศไทยสำหรับนำไปใช้ในการตัดสินใจก่อนที่จะลงทุนในการติดตั้งระบบจริงสำหรับผู้ประกอบการ ในการลดความเสี่ยงของการลงทุน และส่งผลดีต่อการติดตั้งโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ในประเทศไทยต่อไปในอนาคต

2. การออกแบบ

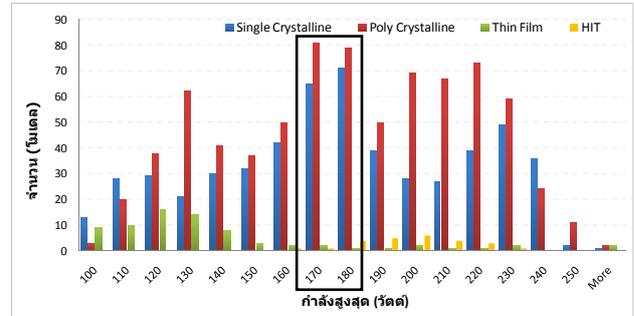
ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ออกแบบเป็นระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 10 กิโลวัตต์ต่อหนึ่งระบบ ซึ่งออกแบบให้มีการติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน ประกอบด้วย Azimuth และ Elevation ซึ่งทำให้ระบบติดตามดวงอาทิตย์หันหน้าเข้าหาและตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลา จากการศึกษาของระบบติดตามดวงอาทิตย์ทั้ง 1 แกนและ 2 แกน พบว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าประมาณ 30–40% [2] โดยในงานวิจัยนี้แบ่งการออกแบบเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของโครงสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยทำการออกแบบโครงสร้างภายใต้มาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในส่วนของระบบขับเคลื่อนจะเป็นการเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนระบบต้นแบบ โดยคำนึงถึงกำลังของระบบขับเคลื่อนและพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อน

2.1 โครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์ต้นแบบ

ในการออกแบบโครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์ขนาด 10 กิโลวัตต์นั้นเราจะต้องทราบพื้นที่และน้ำหนักของทั้งกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะติดตั้งให้กับระบบ เพราะปัจจัยเหล่านี้จะมีผลใน

การคำนวณเพื่อหาแรงที่กระทำต่อระบบ โดยได้ทำการเปรียบเทียบเซลล์แสงอาทิตย์ 4 ชนิด ที่มีกำลังการผลิตตั้งแต่ 100 วัตต์ขึ้นไป คือ Single Crystalline, Poly Crystalline, Thin Film และ HIT

จากการศึกษาพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการผลิตออกมามากที่สุดคือ Poly Crystalline และ Single Crystalline ซึ่งมีกำลังการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 170 วัตต์ และ 180 วัตต์ ดังรูปที่ 2 ทั้งนี้ขนาดของแผงเซลล์ที่มีการผลิตออกมามากที่สุดคือ 1.60 x 0.80 ม. ซึ่งมีน้ำหนักอยู่ที่ 16 กิโลกรัม [3]



รูปที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดที่มีกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 100 วัตต์ขึ้นไป

ดังนั้นสามารถคำนวณหาพื้นที่และน้ำหนักที่กระทำต่อระบบได้ดังนี้

- จำนวนแผงเซลล์ที่ติดตั้ง = 56 แผง
- พื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์ = 72 ตารางเมตร
- น้ำหนักแผงเซลล์ = 12.5 กิโลกรัม / ตารางเมตร

การคำนวณหาแรงลมที่กระทำกับระบบ

ในการออกแบบโครงสร้างของระบบจะต้องมีการคำนึงถึงแรงลมที่กระทำด้วย ซึ่งจากมาตรฐาน UBC 1991 (Uniform Building Code) กำหนดให้ [4]

$$P = 0.004826 C_e C_q I V_s^2 \quad (1)$$

เมื่อ P = หน่วยแรงลมที่กระทำต่ออาคาร (กก./ตร.ม.)

C_e = สัมประสิทธิ์ที่คำนึงถึงผลของความสูง ลักษณะภูมิประเทศที่ตั้งและแรงกระโชก

C_q = สัมประสิทธิ์แรงดันดิน (Pressure Coefficient) มีค่าเท่ากับ 1.3 สำหรับโครงสร้างที่ต่ำกว่า 13 ม. และเท่ากับ 1.4 สำหรับโครงสร้างที่สูงระหว่าง 13 ม. ถึง 67 ม.

V_s = ความเร็วลมวัดที่ความสูง 10 เมตร จากพื้นดิน (กม./ชม.)

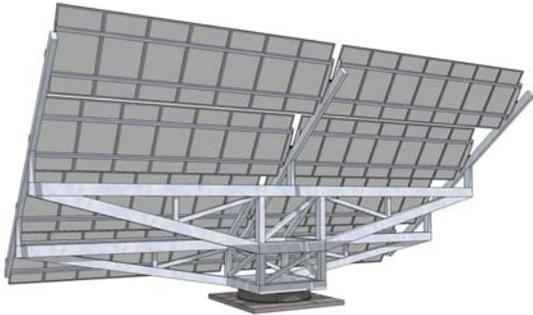
I = Importance factor (สำหรับโครงสร้างทั่วไป ค่าเท่ากับ 1.0)

เนื่องจากค่าแรงลมในจังหวัดต่างๆ ของประเทศไทยมีค่าไม่เท่ากันตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครจึงได้กำหนดขนาดของแรงลมตามความสูงของโครงสร้าง คือ

- ที่ความสูงไม่เกิน 10 ม. ใช้ค่าแรงลม = 50 กก./ตร.ม.
- ที่ความสูง 10 ม. แต่ไม่เกิน 20 ม. ใช้ค่าแรงลม = 80 กก./ตร.ม.
- ที่ความสูง 20 ม. แต่ไม่เกิน 40 ม. ใช้ค่าแรงลม = 120 กก./ตร.ม.
- ที่ความสูงเกิน 40 ม. ใช้ค่าแรงลม = 160 กก./ตร.ม.

เนื่องจากกำหนดให้ความสูงของระบบไม่เกิน 10 ม. ดังนั้นหน่วยแรงลมที่ใช้เท่ากับ 50 กก./ตร.ม. ซึ่งสามารถคำนวณค่าความเร็วลมที่กระทำกับโครงสร้างได้เท่ากับ 78.3 กม./ชม.

ดังนั้นจากข้อมูลดังกล่าวจึงทำการออกแบบระบบติดตามดวงแบบ 2 แกน เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อออกแบบโครงสร้าง ดังรูปที่ 3 โดยระบบที่ออกแบบมีความสูงเท่ากับ 7.00 ม. และมีความกว้างเท่ากับ 11.50 ม. สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.60 x 0.80 ม. จำนวน 56 แผง



รูปที่ 3 ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน ตัวต้นแบบ

การคำนวณออกแบบโครงสร้างของระบบ

หลังจากที่ได้รูปแบบของระบบติดตามดวงอาทิตย์ตัวต้นแบบแล้วก็ทำการออกแบบโครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้แบ่งการออกแบบโครงสร้างเป็นสองส่วนคือการออกแบบโครงสร้างเหล็กที่เสนอโดยใช้มาตรฐาน AISC (American Institute of Steel Construction) และการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้มาตรฐานการคำนวณออกแบบของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.) เป็นเกณฑ์ โดยคำนึงถึงความมั่นคงแข็งแรง ปลอดภัย และประหยัด ของระบบต้นแบบ [4]

การคำนวณออกแบบโครงสร้างเหล็กเป็นการคำนวณรับแรงที่กระทำกับโครงสร้างเหล็ก คือแรงลมที่กระทำกับระบบติดตามดวงอาทิตย์ หน้าหนักของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง โดยแบ่งการออกแบบเป็นส่วนของโครงสร้างรับแรงดึง (Tension Member) และโครงสร้างรับแรงอัด (Compression Member) ซึ่งผลรวมของแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความต้านทานขององค์อาคารซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sum Q_i \leq R_s \tag{2}$$

เมื่อ

- Q_i = แรงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกใช้งาน
- R_s = ความต้านทานที่สภาวะการใช้งานขององค์อาคาร
- = $R_n/F.S.$

- R_n = ความต้านทานระบุ
- $F.S.$ = ตัวคูณความปลอดภัย
- = 1.67 สำหรับองค์อาคารรับแรงดึง
- = 1.67-1.92 สำหรับองค์อาคารรับแรงอัด

สำหรับโครงสร้างรับแรงดึงสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$T_a \leq T_n/F.S. \tag{3}$$

โดยที่

- T_a = แรงดึงที่ยอมให้ (ΣQ_i)
- R_s = $T_n/F.S.$
- T_n = กำลังรับแรงดึง
- $F.S.$ = ตัวคูณความปลอดภัย

กำลังรับแรงดึงที่ยอมให้หาได้จากสมการ

$$T_n = F_t A \tag{4}$$

โดยที่

- F_t = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ ($0.6F_y$)
- A = เนื้อที่หน้าตัด

เนื่องจากโครงสร้างรับแรงอัดจะเกิดการโก่งเดาะภายใต้แรงอัดตามแกนกำลังของเสาจะขึ้นอยู่กับค่าสัดส่วนความชะลูด (slenderness ratio, $\lambda = KL/r$) ดังนั้นจากสมการ

$$C_c = \sqrt{(2\pi^2 E)/F_y} \tag{5}$$

โดยที่

- C_c = ค่าสัดส่วนความชะลูดของโครงสร้างรับแรงอัด
- E = โมดูลัสยืดหยุ่น
- F_y = หน่วยแรงคราก

เมื่อ $KL/r \geq C_c$ ชั้นส่วนรับแรงอัดจะมีพฤติกรรมการโก่งเดาะในช่วงอีลาสติก ซึ่งหน่วยแรงอัดสามารถหาได้จากสมการ

$$F_a = (\pi^2 E)/(F.S.(KL/r)^2) \tag{6}$$

โดยที่

- F_a = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้

เมื่อ $KL/r \leq C_c$ ชั้นส่วนรับแรงอัดจะมีพฤติกรรมการโก่งเดาะในช่วงอินอีลาสติก ซึ่งหน่วยแรงอัดสามารถหาได้จากสมการ

$$F_a = (F_y/F.S.)/[1-(KL/r)^2/(2C_c^2)] \tag{7}$$

กำลังรับแรงอัดที่ยอมให้หาได้จากสมการ

$$P = F_a A \tag{8}$$

โดยที่

- P = กำลังรับแรงอัดใช้งาน
- A = เนื้อที่หน้าตัด

สำหรับการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นการคำนวณเพื่อออกแบบในส่วนของฐานรากของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งรับน้ำหนักที่ถ่ายมาจากโครงสร้างของระบบ โดยออกแบบฐานรากเป็นฐานรากวางบนเสาเข็ม (Pile Footing) ซึ่งกำลังรับน้ำหนักของ

เสาค้ำได้จากความฝืด (Skin Friction) ระหว่างผิวสัมผัสของเสาค้ำกับชั้นดินที่อยู่โดยรอบ ดังนั้นน้ำหนักที่เสาค้ำต้องรับหาได้จากสมการ [5]

$$R = P/n \leq Ra \quad (9)$$

โดยที่

- R = น้ำหนักที่เสาค้ำแต่ละต้นต้องรับ
- P = น้ำหนักบรรทุกทั้งหมด
- n = จำนวนของเสาค้ำ
- Ra = กำลังรับน้ำหนักของเสาค้ำที่ยอมให้

ซึ่งฐานรากที่ออกแบบต้องมีความต้านทานโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนได้อย่างปลอดภัย หาได้จากสมการ

$$M_c = Rbd^2 \quad (9)$$

ดังนั้นความลึกของฐานรากหาได้โดย

$$\text{ความลึกของฐานราก } d \geq \sqrt{(M/Rb)} \quad (10)$$

ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้หาได้จากสมการ

$$A_s = M/f_yjd \quad (11)$$

2.2 ระบบขับเคลื่อนของระบบติดตามดวงอาทิตย์

ระบบขับเคลื่อนสำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์ตัวต้นแบบใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังในการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ทั้งสองแกนเพื่อให้ระบบติดตามดวงอาทิตย์หันหน้าเข้าหาและตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลาโดยทำให้ระบบขับเคลื่อนในแนว Azimuth จาก 0-180 องศาและในแนว Elevation จาก 0-90 องศา ซึ่งมอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 500 วัตต์

3. ผลการวิเคราะห์

จากการออกแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ตัวต้นแบบ พบว่าระบบสามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ประมาณ 10 กิโลวัตต์ เป็นพื้นที่เท่ากับ 72 ม² ซึ่งโครงสร้างของระบบเป็นโครงสร้างเหล็กที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไป และตัวโครงสร้างสามารถรับแรงลมที่มากกระทำได้เท่ากับ 78.3 กม./ชม. ฐานรากของระบบเป็นฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กวางอยู่บนเสาค้ำซึ่งสามารถต้านทานแรงที่กระทำและจากโมเมนต์ที่เกิดขึ้นได้อย่างปลอดภัย ระบบขับเคลื่อนของระบบต้นแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการขับเคลื่อนระบบให้หมุนในแนว Azimuth จาก 0-180 องศาและในแนว Elevation 0-90 องศา ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนรวม 500 วัตต์

ตารางที่ 1 ข้อมูลของระบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่

ข้อมูลของระบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ต้นแบบ	
Axis	2
Drive Unit	motor electrical
Power Consumption (Watt)	500
Max Module (m ²)	72
Max Load (kg)	5,850
Weight+Modules (kg)	3,800
Base	Concrete
Max height (m)	7.00
Min height (m)	0.50
Azimuth (degree)	0 - 180
Elevation (degree)	0 - 90

4. สรุป

ระบบติดตามดวงอาทิตย์ถูกออกแบบให้สามารถติดตั้งในพื้นที่ต่างๆ ได้ เนื่องจากระบบได้มีการออกแบบให้มีความแข็งแรงทนทานทั้งในตัวโครงสร้างและฐานราก พร้อมทั้งใช้ระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าที่สามารถหาซื้อได้ในประเทศไทย ทำให้ระบบที่ออกแบบมีความเหมาะสมกับประเทศไทย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยมหาวิทยาลัย สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว. อุตสาหกรรม ประจำปี 2552

เอกสารอ้างอิง

- International Energy Agency. (2007). Trends in Photovoltaic Applications, Total photovoltaic power installed. In Report IEA-PVPS T1-17:2008. N.P.: n.p.
- Mazen M. Abu-Khader. Evaluating Multi-axes Sun-tracking system at different modes of operation in Jordan. สืบค้นจาก www.sciencedirect.com.
- Major Solar Module Brands. Retrieved August, 2009, from <http://www.solarbuzz.com/Moduleprices.htm>
- ทักษิณ เทพชาติ. (2541). พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก. (ครั้งที่2). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- วินิต ชอวีเชียร. (2542). การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน. (ครั้งที่1). กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป. สัมพันธ์พาณิชย์