

# การออกแบบติดตั้งและประเมินผลระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเชื่อมสู่กริดโดยการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล

สุทธิกาญจน์ วีระเสถียร<sup>1</sup>, ไพบุลย์ ไชยนิล<sup>2</sup> และ อนันท์ อุ่นศิริไวย<sup>2\*</sup>

*Veerasathain, S.<sup>1</sup>, Chaiyanil, P.<sup>2</sup> and Oonsivilai, A.<sup>2\*</sup> (2001). Design Installation and Evaluation of a PV Grid Connected System with Seasonal Adjusted Tilt angles of PV array. Suranaree J. Sci. Technol. 8: 212-218.*

## Abstract

The purpose of this research project is to; design, install, test and analyze a PV grid connected system by restoring an abandoned stand - alone PV system at Suranaree University North - Eastern Thailand. Key issue of this project is the seasonal adjusted of PV array tilt angles in order to obtain more energy in comparison with a typical PV rooftop installation in which the PV array is fixed at the tilt angle of the roof.

## บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ คือการออกแบบติดตั้ง ทดสอบและวิเคราะห์เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเชื่อมสู่กริด (Grid connected) กับระบบจำหน่าย ของ กฟภ. โดยการฟื้นฟูระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แบบอิสระ (Stand-alone) ซึ่งเลิกใช้งานแล้วที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย สาระสำคัญของโครงการนี้คือการที่สามารถปรับมุมเอียง (Tilt angles) ของกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ (PV array) ได้ตามฤดูกาลเพื่อให้ได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับบ้านหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ (PV rooftop) ซึ่งกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ ติดตั้งคงที่ ตามมุมเอียงของหลังคาบ้าน

## บทนำ

องค์ประกอบสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเชื่อมสู่กริด มี 3 อย่างดังต่อไปนี้	48 แผง ซึ่งให้กำลังผลิต 2.8 กิโลวัตต์ สูงสุด (KWp) ที่ ความเข้มแสง 800 W/m <sup>2</sup> , Airmass (AM)=1.5 และอุณหภูมิหลังแผงเซลล์ 49 <sup>o</sup> ซ แสดงดังภาพที่ 1
- กลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบ Poly crystalline ของบริษัท Solarex รุ่น MSX 83 จำนวน	- อุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแส

<sup>1</sup> บัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

\* ผู้เขียนที่ให้การติดต่อ

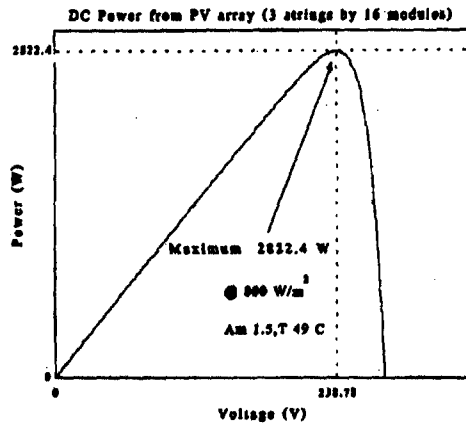


Figure 1. Characteristics of voltage and power electrical DC design grid connected System.

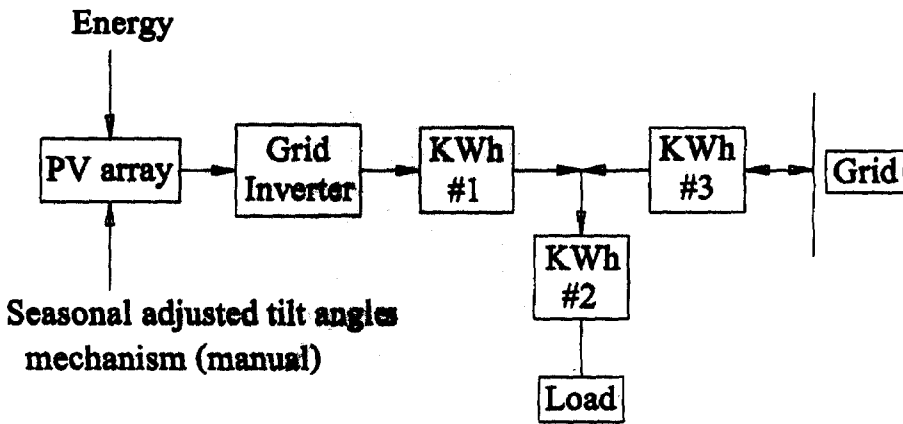


Figure 2. Block diagram of grid connected system with adjusted tilt angles PV array.

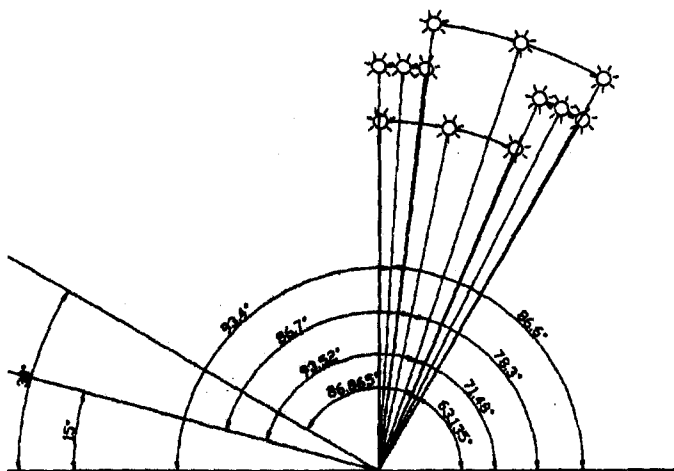


Figure 3. Seasonal adjusted tilt angles PV array with grid connected system.

สลับแบบต่อเชื่อมตู้กริด (Grid connected inverter) ของบริษัท Leonicus รุ่น Apollo G-304 ขนาด 3.5 กิโลวัตต์ (KW)

- แผงควบคุมด้านกระแสสลับที่แรงดัน 230 V, ±10%, แบบเฟสเดียว (1 φ, 50 Hz) เพื่อต่อเชื่อมอินเวอร์เตอร์ กับระบบจำหน่ายของ กฟภ.

โครงสร้างระบบต่อเชื่อมตู้กริดแบบปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล แสดงดังภาพที่ 2

ในโครงการวิจัยนี้ มุมเอียงของกลุ่มแผงแสงอาทิตย์จะถูกปรับเปลี่ยนตามฤดูกาลดังนี้

- ช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) ปรับที่ 30° จากแนวระนาบ

- ช่วงฤดูร้อน (มีนาคม-เมษายน และ กันยายน-ตุลาคม) ปรับที่ 15° จากแนวระนาบ

- ช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม - สิงหาคม) ปรับที่แนวระนาบ

ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบผลกับมุมเอียงคงที่ 15° ตลอดทั้งปี ซึ่งเป็นกรณีของการติดตั้งทั่ว ๆ ไป แสดงดังรูปที่ 3

### ทฤษฎี

ทฤษฎีการวิเคราะห์มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาล สมการพลังแสงอาทิตย์ภายนอกโลกที่ส่องมายังแนวระนาบที่ผิวโลก เป็น

$$G_0 = G_{sc} (1 + 0.033 \cos(\frac{360n}{365})) (\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta) \quad (1)$$

เมื่อ  $n$  = จำนวนวันในรอบ 1 ปี  
 $\phi$  = ละติจูดของตำแหน่งที่ติดตั้ง  
 $\delta$  = มุมเอียงของแสงอาทิตย์  
 $\omega$  = ตำแหน่งเวลาใน 1 วัน  
 $G_{sc}$  = ค่าคงที่ของแสงอาทิตย์  
 สมการการส่งผ่านพลังแสงอาทิตย์จากแนวระนาบไปยังผิวเอียงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็น

$$S_{\beta} = \frac{S \sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha}$$

เมื่อ  $S$  = พลังแสงอาทิตย์ที่แนวระนาบ  
 $\alpha$  = มุมระหว่างดวงอาทิตย์กับแนวระนาบ  
 $\beta$  = มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากแนวระนาบ

การวิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์อาศัยหลักการรวมพื้นที่ได้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ จากการวิเคราะห์เชิงเลขของสมการโพลีโนเมียลกำลังสองของพลังแสงอาทิตย์ หากค่าความแตกต่างระหว่างพื้นที่ของมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์คงที่กับปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ละติจูด 14.85° เหนือ) การวิเคราะห์เชิงเลขของสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พลังแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกเฉลี่ยรายปี ระหว่างมุมเอียงกลุ่มแผง

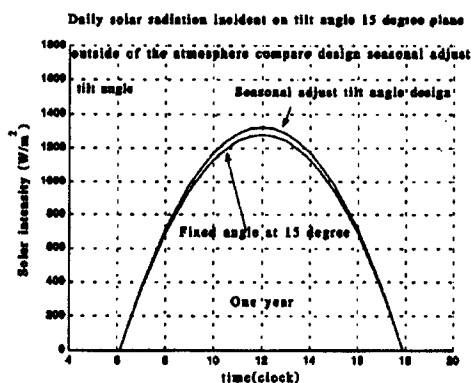


Figure 4. An average daily solar intensity between fix angle (15°) and seasonal adjusted tilt angles PV array per year.

การเปรียบเทียบการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ ระหว่างมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์คงที่ตลอดปี (15°) กับ มุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล แสดง  
ดังตารางที่ 1

Table 1. Comparison between fix angle (15°) and seasonal adjusted tile PV array data

เดือน	Fix angle	Model fix angle	Avg. Energy fix (KW/h/m <sup>2</sup> -Day)	Seasonal Tilts angle	Model Seasonal Tilts angle	Avg. Energy Seasonal Tilts (KW/h/m <sup>2</sup> -Day)	Increase Energy (KW/h/m <sup>2</sup> -Day)	% Increase Energy
ม.ค.-ก.ค.	15°	$y = -39.5x^2 + 949.2x - 4401.2$	9.867	30°	$y = -41.3x^2 + 991.9x - 4599.7$	10.305	0.437	4.43
มี.ค.-เม.ย.	15°	$y = -37.6x^2 + 901.4x - 4084.7$	10.475	15°	$y = -37.6x^2 + 901.4x - 4084.7$	10.475	0.00	0.00
พ.ค.-มิ.ย.	15°	$y = -31.8x^2 + 762.7x - 3362.7$	9.998	0°	$y = -33.9x^2 + 812.9x - 3583.7$	10.659	0.661	6.62
ก.ค.-ส.ค.	15°	$y = -33x^2 + 792.9x - 3518.8$	10.106	0°	$y = -34.6x^2 + 829.6x - 3681.3$	10.584	0.478	4.73
ก.ย.-ต.ล.	15°	$y = -38.5x^2 + 924.4x - 4227.7$	10.290	15°	$y = -38.5x^2 + 924.4x - 4227.7$	10.290	0.00	0.00
พ.ย.-ธ.ค.	15°	$y = -39.2x^2 + 939.9x - 4377.6$	9.503	30°	$y = -41.7x^2 + 1001x - 4662.2$	10.168	0.618	6.47
ค่าเฉลี่ย	15°	$y = -36.6x^2 + 878.4x - 3995.5$	10.033	ตามฤดูกาล	$y = -37.9x^2 + 910.2x - 4139.9$	10.398	0.365	3.64

เมื่อ y = พลังงานที่ผลิตได้ต่อตารางเมตรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์  
x = คำนวนมุมเอียง

Table 2. AC Energy and cost of fix angle (15°) and seasonal adjusted tilt angles PV array.

เดือน	พลังงานไฟฟ้า AC (KW/h)	ค่าไฟฟ้าที่มุมเอียง	ค่าไฟฟ้าที่ปรับมุม
มุมคงที่ 15°	ปรับมุมตามฤดูกาล	คงที่ 15° (บาท)	ตามฤดูกาล (บาท)
ม.ค.-ก.พ.	2544	717.3	1899.1
มี.ค.-เม.ย.	2544	776.9	2280.6
พ.ค.-มิ.ย.	2544	706.2	2056.3
ก.ค.-ส.ค.	2544	655.1	1900.1
รวม	2751.2	2855.5	8230.0

แสงอาทิตย์ 15° คงที่ตลอดปี เป็น  $Y = -36.6X^2 + 878.4X - 3995.5$  คิดเป็นพลังงานเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 10.033 KWhr/m<sup>2</sup>, พลังงานเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 3662.045 KWhr/m<sup>2</sup> กับ การปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล เป็น  $Y = -37.9X^2 + 910.2X - 4139.9$  คิดเป็นพลังงานเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 10.398 KWhr/m<sup>2</sup>, พลังงานเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 3795.270 KWhr/m<sup>2</sup> คิดเป็นพลังงานที่เพิ่มขึ้นต่อวันเท่ากับ 0.365 KWhr/m<sup>2</sup>, พลังงานเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 133.225 KWhr/m<sup>2</sup> แสดงดังรูปที่ 4

**ผลการทดลอง**

ระบบต่อเชื่อมตู้กริด ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ระบบกำลังกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ประมาณ 2.8 กิโลวัตต์ ที่ 800 W/m<sup>2</sup> AM 1.5 Tcell 49°ซ เมื่อเงื่อนไขเป็น

1. ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ที่มุม 30° ทำการวิเคราะห์เชิงเลขของสมการ เส้นตรงระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตกับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเข้าที่พุดดังรูปที่ 5
2. ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ที่มุม 15° ทำการวิเคราะห์เชิงเลขของสมการ เส้นตรงระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตกับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเข้าที่พุดดังรูปที่ 6
3. ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ที่แนวระนาบ ทำการวิเคราะห์เชิงเลขของสมการ เส้นตรงระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์อินพุตกับพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเข้าที่พุดดังรูปที่ 7

**สรุป**

จากการคำนวณค่าพลังแสงอาทิตย์ กรณีไม่คำนึงถึงชั้นบรรยากาศของโลกและอิทธิพลของเมฆ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้เฉลี่ยต่อวัน ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ตำแหน่งละติจูด 14.85° เหนือ และมุมเอียงของกลุ่มแผงแสงอาทิตย์คงที่ (15°) หันหน้ารับแสงทางทิศใต้ มีค่า เท่ากับ 10.033 KWhr/

m<sup>2</sup> แต่ถ้ามีการปรับมุมเอียงของกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้เฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 10.398 KW hr/m<sup>2</sup> ดังนั้นค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวัน เมื่อมีการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล เท่ากับ 0.365 KWhr/m<sup>2</sup> คิดเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.64% ประสิทธิภาพของระบบต่อเชื่อมตู้กริด ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อ

1. ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ 30° กับแนวระนาบ (ม.ค.-ก.พ.) ประสิทธิภาพระบบต่อเชื่อมตู้กริด เท่ากับ 9.01%
2. ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ 15° กับแนวระนาบ (มี.ค.-เม.ย.) ประสิทธิภาพระบบต่อเชื่อมตู้กริด เท่ากับ 8.52%
3. ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ เท่ากับแนวระนาบ (พ.ค.-ส.ค.) ประสิทธิภาพระบบต่อเชื่อมตู้กริด เท่ากับ 7.90%

การปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์แบบตามฤดูกาลจะให้พลังงานสูงขึ้นในระดับหนึ่ง โดยมูลค่าการลงทุนจะไม่สูงมากนัก การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและค่าไฟฟ้าระหว่างมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์คงที่ (15°) กับการปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ตามฤดูกาลแสดงดังตารางที่ 2

ประมาณการค่าใช้จ่าย กรณีที่ปรับมุมเอียงกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ระบบต่อเชื่อมตู้กริด ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าอุปกรณ์ที่ใช้ปรับมุมเอียงแผงเซลล์ตามฤดูกาลจำนวน 48 แผง เป็นเงิน 200 บาท ระยะเวลาที่ใช้ในการปรับมุมกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ จำนวน 48 แผง ครั้งละ 1 ชั่วโมง จำนวนครั้งและคน ในการปรับมุมกลุ่มแผงแสงอาทิตย์ เท่ากับ 4 ครั้งต่อปี จำนวน 1 คนต่อครั้ง

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจากการปรับมุมเอียงแผงตามฤดูกาล ระยะเวลา 8 เดือน คิดเป็นเงินเท่ากับ 331.50 บาท

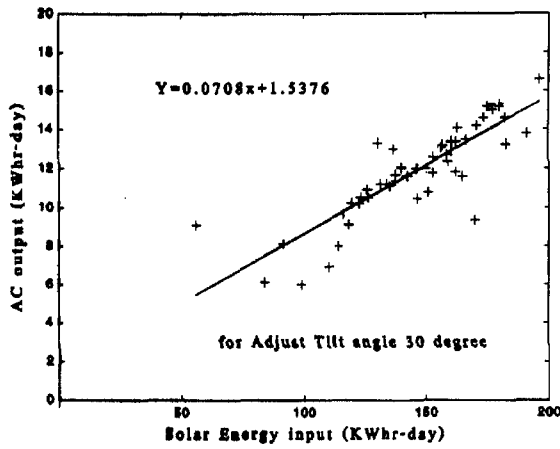


Figure 5. Solar intensity input and power electrical AC output at tilt angles PV array 30°.

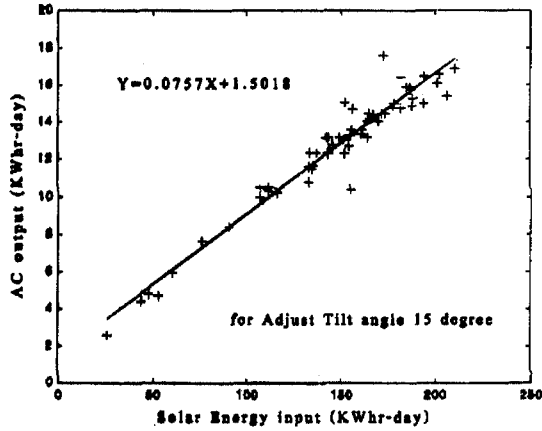


Figure 6. Solar intensity input and power electrical AC output at tilt angles PV array 15°.

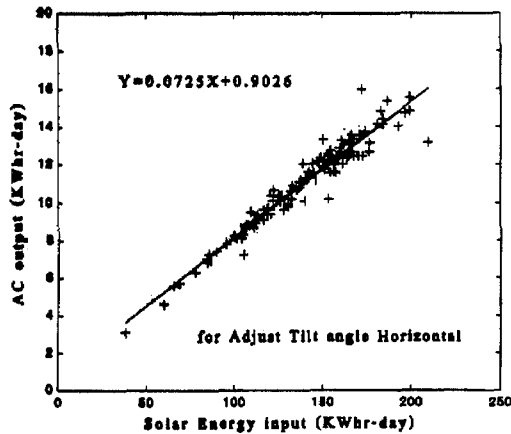


Figure 7. Solar intensity input and power electrical AC output at tilt angles PV array 0°.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อ ผศ.ดร.พวงเพ็ญ อินทรประวัตติ, รศ.ไพบุลย์ ไชยนิล และ ดร.อนันท์ อุ่นศิริไธส ที่ให้คำปรึกษา, นายทวิสิน บุญสม อผข. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (นครราชสีมา) และ นายสำเร็จ เกียรติปรารณา ประธานบริษัท Leonics แห่งประเทศไทยที่สนับสนุนเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- ขวลิต คำรงค์รัตน์. (2533). การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า. เล่มที่1. กรุงเทพฯ:บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. (2539). การออกแบบระบบไฟฟ้า. กรุงเทพฯ:บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์. และวรัทัศน์ ภัทรอมรกุล. (2543). คู่มือการใช้ Matlab ฉบับสมบูรณ์. นนทบุรี:อินโฟเพรส.
- พรเลิศ ยอดประทุม. (เมษายน 2544). การต่อลงดิน (2). ในการประชุมทางวิชาการวิศวกรรม การส่งและจ่ายไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (หน้า 1- 13) กรุงเทพฯ.: ชมรมวิศวกรรมไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.
- กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. (กุมภาพันธ์ 2543). แผนและแนวทางการวิจัยและพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ (พ.ศ.2544- พ.ศ. 2545):.คณะทำงานจัดทำงานนโยบาย แผนและแนวทาง.
- ชาย ชีวะเกตุ. (เมษายน 2544).เป้าหมายโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ พ.ศ. 2544-พ.ศ. 2545 (แผน9):.สำนักงานคณะกรรมการนโยบาย พลังงานแห่งชาติ.
- Strong, S.J. and Scheller,W.G. (1993). The solar electric house. Library of Congress Cataloging-in-Publication U.S.A.:USA.
- Goswami, D.Y., Kreith, F. and Kreider, J.F. (1999). Principles of solar engineering. Philadelphia:George H. Buchanan Co.: USA.
- Wenham, S.R., Green, M.A. and Watt, M.E. Applied photovoltaics. National Library of Australia Cataloging-in- Publication.: Australia.
- Joe D. Hoffman. (1992). Numerical Methods for Engineers and Scientists. Singapore: McGraw-Hill.
- Pongchawee, D., Boonbumroong, U., Suwankhum, T., Peawkhaw K., Khumsee, S., Intasara., and A., Songprakorp, R., (2000). Operation of a PV Grid Connected Power system. First Regional conference on Energy Technology Towards a Clean Environment, 1<sup>st</sup>-2<sup>nd</sup>. (pp 25-30):.Chiang Mai, Thailand.
- Janjai, S., and Tosing, K. (2000). A New for Calculating Global Radiation from Cloud Cover for Thailand. First Regional conference on Energy Technology Towards a Clean Environment, 1<sup>st</sup>-2<sup>nd</sup>. (pp 1-6):.Chiang Mai, Thailand.
- Jivacate, C., Siripuekpong, P., Sinratanakdee, E., Prasardvigai, S., Limsawat, V., Naknam, W., Kunarak, U. and Pantacharoen, S. (1999). Thailand's First Cost-Share PV Roof-Top Grid Connected Pilot Project. Present at the 11<sup>th</sup> International Photovoltaic Science and Engineering Conference. (PV-Sec 11):. Hokkaido Japan.
- Jivacate, C. (2000). Photovoltaic (PV) Technology. Presented at 7<sup>th</sup> Apec Coal Flow Seminar.: Bangkok Thailand.
- Buaxkhiew, C. and jivacate, C. (2000). The Role of PV in Thailand's Electricity system., The National energy Policy Office (NEPO).