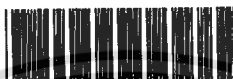


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ศักยภาพโรงผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าสายส่งในสกลนคร

PV GRID-CONNECTED POWER PLANT ABILITY IN SAKONNAKHON



T117121



เลขที่.....
เลขทะเบียน 117121
วันเดือนปี 23 ส.ย. 2554

b..... i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

KMITL 2010-EN-M-020-162

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PV GRID-CONNECTED POWER PLANT ABILITY IN SAKONNAKHON



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KMITL 2010-EN-M-020-162
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



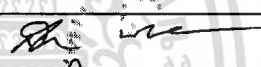




COPYRIGHT 2010

FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG ระเบียบด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ศักยภาพโรงผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าสายส่งในสกลนคร
Thesis Title PV Grid-connected Power Plant Ability in Sakonnakhon
นักศึกษา นายรัก สกลพงษ์
รหัสประจำตัว 48060274
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ร.อ.ดร.วีระเชษฐ ชันเงิน
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMTIL-2010-EN-M-020-162

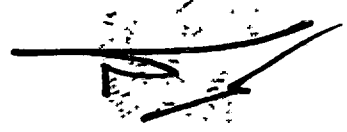
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.สมภพ ผลไม้	
รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ	
ผศ.ดร.เผ่าศักดิ์ ศิริสุข	
รศ.ดร.ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย	
รศ.ร.อ.ดร.วีระเชษฐ ชันเงิน	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2553 เวลา 13.00-15.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 2 ห้องประชุม 1
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG


คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2553

สำนักทะเบียนและประมวลผล สจส.
วันที่ส่งเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
วันที่ 29 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 53
ลงชื่อ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกนอกมหาวิทยาลัยได้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ศักยภาพโรงผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าสายส่งใน สกลนคร
นักศึกษา	นายรัก สกกุลพงศ์
รหัสนักศึกษา	48060274
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าสายส่งขนาด 1 กิโลวัตต์ ติดตั้ง ณ จังหวัดสกลนคร ในเขตภาคอีสานตอนบน มีวิธีการออกแบบระบบที่สั้น รวดเร็วและใช้ได้จริง มีการจำลองผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อตรวจสอบการออกแบบซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการออกแบบถูกต้อง มีการติดตั้งระบบจริง การเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้น้อยทุก 1 นาที ครอบคลุมในฤดูกาลที่แตกต่าง แล้วนำผลไปวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าในการสร้างโรงผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการออกแบบถูกต้อง และระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แบบต่อเข้าสายส่ง เหมาะสมกับพื้นที่ที่นำเสนอ

Thesis Title	PV Grid-connected Power Plant Ability in Sakonnakhon
Student	Mr. Rak Skunpong
Student ID.	48060274
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2010
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Werachet Khan-ngern

ABSTRACT

This thesis proposes 1 kW PV grid-connected installed in Sakonnakhon province, North Isan of Thailand. The thesis shows the design which is a short and proper method for the PV design. The design is simulated by software to prove and optimize the design. The simulation is shown that the method is correct for this design. The construction is done accordingly to the design. The energy data collected less than every 1 minute. The results of system analyzed to cover the cost of PV grid-connected power plant construction in Sakonnakhon. This can ensure that the proposed PV system is correctly designed.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ จาก รศ.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

รัก สกมลพงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย	2
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน	3
1.6 ขอบเขตการวิจัย	3
1.7 ขั้นตอนการศึกษา	3
บทที่ 2 ทฤษฎีระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	5
2.1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	5
2.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	7
บทที่ 3 หลักการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	13
3.1 คอลลิดีแฟกเตอร์	15
3.2 การหาขนาดของระบบ PV	16
3.3 ขนาดของแบตเตอรี่	17
3.4 ค่าที่เหมาะสมและการจำลองทางคณิตศาสตร์	18
บทที่ 4 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้ากับสายส่ง	22
4.1 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้ากับสายส่ง	22
4.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์	23
4.3 อินเวอร์เตอร์	27

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ผลการทดสอบระบบ	32
5.1 การบันทึกผล	32
5.2 ผลจากการวัดเปรียบเทียบกับผลการจำลอง	33
5.3 ผลของระบบเซลล์แสงอาทิตย์	34
5.4 ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์	43
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	46
6.1 ขอบเขตการวิจัย	46
6.2 ศักยภาพโรงผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าสายส่งในจังหวัดสกลนคร	47
6.3 ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็น	47
บรรณานุกรม	48
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก. แผงเซลล์แสงอาทิตย์และ โครงสร้างสำหรับติดตั้ง	50
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	60
ประวัติผู้เขียน	71

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตัวอย่างปริมาณพลังงานที่ใช้ในครอบครัว	14
3.2 ค่าการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับระบบ PV	17
3.3 ค่า Q ของระบบ PV แต่ละชนิด	17
4.1 ค่าตัวประกอบคุณภาพของระบบ	23
4.2 ข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	24
4.3 ข้อมูลทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์	28
5.1 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูล	32



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน	5
2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน	6
2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอน	6
2.4 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อตรง	7
2.5 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อผ่านอินเวอร์เตอร์	7
2.6 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ	8
2.7 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าระบบไฟฟ้า	8
2.8 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จุดต่อร่วมกระแสตรง	9
2.9 แสดง MIP2.6 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จุดต่อร่วมกระแสตรงผสมผสาน	10
2.10 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ใช้กับทั้งอุปกรณ์กระแสตรงและกระแสสลับ	10
2.11 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ผสมผสาน ใช้กับกระแสตรงและกระแสสลับ	11
2.12 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จุดต่อร่วมกระแสตรงจ่ายอุปกรณ์กระแสสลับ	11
2.13 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จุดต่อร่วมกระแสสลับผสมผสาน	12
3.1 ลำดับขั้นการออกแบบระบบ PV ตามความเหมาะสม	13
3.2 ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าขนาดของระบบ PV	18
3.3 โปรแกรมที่ใช้จำลองการทำงานระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	19
3.4 การกำหนดพื้นที่ที่ใช้การจำลอง	20
3.5 กำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์ในแต่ละวัน	20
3.6 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากแผงเซลล์ในแต่ละเดือน	21
4.1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้ากับระบบสายส่ง	22
4.2 กราฟคุณสมบัติ กระแส-แรงดันของแผงเซลล์	24
4.3 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 กิโลวัตต์	25
4.4 โครงสร้างสำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 กิโลวัตต์	25
4.5 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ณ สถานที่ดำเนินการวิจัย	27
4.6 วงจรการทำงานอินเวอร์เตอร์	28
4.7 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์ ณ สถานที่ดำเนินการวิจัย	29
4.8 ส่วนแสดงผลของอินเวอร์เตอร์	31
4.9 การติดตั้งกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์เข้ากับระบบ	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์ 1 พ.ย. 2552 ระหว่างผลการจำลองและค่าที่วัดจริง	33
5.2 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์ 1 มี.ค. 2553 ระหว่างผลการจำลองและค่าที่วัดจริง	33
5.3 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับของอินเวอร์เตอร์ทั้ง 3 ชุด ในวันที่ 9 กันยายน 2552	34
5.4 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของอินเวอร์เตอร์ทั้ง 3 ชุด ในวันที่ 9 กันยายน 2552	35
5.5 กระแสไฟฟ้ากระแสสลับของอินเวอร์เตอร์ทั้ง 3 ชุด ในวันที่ 9 กันยายน 2552	35
5.6 แรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์ของอินเวอร์เตอร์ทั้ง 3 ชุด ในวันที่ 9 กันยายน 2552	36
5.7 กระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์ของอินเวอร์เตอร์ทั้ง 3 ชุด ในวันที่ 9 กันยายน 2552	36
5.8 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนกันยายน 2552	37
5.9 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนตุลาคม 2552	38
5.10 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนพฤศจิกายน 2552	38
5.11 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนธันวาคม 2552	38
5.12 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนมกราคม 2553	39
5.13 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนกุมภาพันธ์ 2553	39
5.14 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนมีนาคม 2553	39
5.15 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนเมษายน 2553	40
5.16 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนพฤษภาคม 2553	40
5.17 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนมิถุนายน 2553	40
5.18 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนกรกฎาคม 2553	41
5.19 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนสิงหาคม 2553	41
5.20 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนกันยายน 2553	41
5.21 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนกันยายน 2552 กับ 2553	42
5.22 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของแต่ละเดือนใน 1 ปี	42
5.23 ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์	43
5.24 รูปคลื่นแรงดันก่อนต่อระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสายส่ง	43
5.25 รูปแรงแฮร์โมนิกส์แรงดันก่อนต่อระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสายส่ง	44
5.26 รูปคลื่นแรงดันและกระแสหลังต่อระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสายส่ง	44
5.27 รูปแรงแฮร์โมนิกส์แรงดันและกระแสหลังต่อระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสายส่ง	45
6.1 ที่ตั้งสถานที่วิจัยจาก google map	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องด้วยปัญหาการขาดแคลนพลังงานถือเป็นปัญหาหลักของชาติในปัจจุบัน พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้มีการทำวิจัยและทดลอง เพื่อนำมาใช้แทนพลังงานที่ขาดแคลน ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใช้งานในประเทศไทยนั้น กว่า 98% จะเป็นการลงทุนจากภาครัฐในชุมชนห่างไกลที่ระบบของการไฟฟ้ายังเข้าไม่ถึง ดังนั้นระบบจึงมีลักษณะเป็นแบบแยกเดี่ยว (Stand alone) และส่วนใหญ่จะมีระบบแบตเตอรี่สำหรับเก็บสะสมพลังงานเพื่อจ่ายให้กับโหลดในตอนกลางคืน เหตุผลหลักที่การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ยังไม่เป็นที่แพร่หลายนัก เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีราคาสูงอยู่มาก โดยพิจารณาในเชิงของราคาไฟฟ้าต่อหน่วยที่ผลิตออกมาได้ตลอดอายุการใช้งาน เทียบกับราคาไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้าของการไฟฟ้า (ประมาณว่าสูงกว่ากัน 5-10 เท่า) อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์มีข้อดี คือเป็นพลังงานที่มีอยู่ไม่จำกัดในธรรมชาติและแทบไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจัดว่าเป็นพลังงานที่สะอาดและควรได้รับการสนับสนุนในสภาวะการณ์ปัจจุบัน ที่ทั่วโลกกำลังตื่นตัวเรื่องปัญหาของมลภาวะอยู่ในขณะนี้

การไฟฟ้าได้มีการส่งเสริมให้เอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนต่าง ๆ โดยมีส่วนเพิ่มราคารับซื้อพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน โรงผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ก็เป็นพลังงานทดแทนอีกอย่างที่น่าสนใจ เพราะประเทศไทยมีปริมาณแสงอาทิตย์มากเกือบทุกภูมิภาคทั่วประเทศ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าระบบสายส่ง ซึ่งเป็นระบบที่เอกชนใช้สร้างโรงผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจำหน่ายให้การไฟฟ้า โดยสร้างระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ศึกษาความสามารถผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจำลองผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่ติดตั้งจริง เพื่อนำข้อมูลพลังงานไฟฟ้าจริงไปวิเคราะห์ความเป็นไปได้ ตลอดจนจุดคุ้มทุนของการสร้างโรงผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การศึกษาการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าสู่สายส่งจากสถานที่จริง และนำผลปฏิบัติงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่ครอบคลุมในทุกฤดูกาลมาประเมินถึงศักยภาพ ตลอดจนความคุ้มค่าจะเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจของเอกชนที่ต้องการลงทุนสร้างโรงผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ว่าเป็นทางเลือกหนึ่งของพลังงานทดแทนที่คุ้มค่าในการลงทุน เพื่อประเทศจะได้ใช้พลังงานจากพลังงานทดแทนมากขึ้น ชดเชยการใช้พลังงานอื่นที่ต้องนำเข้าและกำลังจะหมดไป

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง เป็นระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่มีราคาถูกที่สุดในระบบผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ในกิจการผลิตเดียวกัน และลักษณะของการใช้งานก็สะดวกและมีเสถียรภาพมาก การทำงานสามารถอธิบายได้ดังนี้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell array) จะถูกติดตั้งบนหลังคาของบ้านพักอาศัย พลังงานไฟฟ้าที่ออกมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาดและความถี่ใกล้เคียงกับการไฟฟ้า พลังงานเหล่านี้ซึ่งมีมากในตอนกลางวัน จะถูกจ่ายให้กับโหลดภายในบ้านและถ้ายังเหลือก็จะถูกขายคืนแก่การไฟฟ้าผ่านมิเตอร์ขาย ส่วนตอนกลางคืนซึ่งไม่มีพลังงานจากแสงอาทิตย์ ไฟฟ้าจะถูกดึงมาจากระบบของการไฟฟ้าตามปกติ โดยผ่านมิเตอร์ซื้อ ข้อดีของระบบนี้คือ ไม่ต้องมีแบตเตอรี่เป็นตัวเก็บพลังงานดังที่มีในระบบแบบแยกเดี่ยว (Stand alone) การต่อระบบเข้ากับสายส่งของการไฟฟ้าเพื่อตัดปัญหาเรื่องตัวเก็บพลังงานทำให้ช่วยลดต้นทุนของระบบลงไปได้มาก ในขณะที่เดียวกันพลังงานจากเซลล์อาทิตย์ที่เหลือและถูกขายคืนแก่การไฟฟ้ายังสามารถนำไปช่วยจ่ายให้กับโหลดในส่วนอื่นที่ต้องการใช้ไฟฟ้ามากในตอนกลางวัน เช่น โรงงาน และอาคารสำนักงานต่าง ๆ ได้อีกด้วย ส่วนการคำนวณค่าไฟฟ้านั้นก็ทำได้โดยเอาตัวเลขจากมิเตอร์ขายมาหักออกจากมิเตอร์ซื้อ ได้เป็นปริมาณไฟฟ้าสุทธิที่ผู้บริโภคซึ่งเป็นเจ้าของระบบต้องชำระในแต่ละเดือน

การต่อระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในลักษณะเช่นนี้ เราเรียกว่าแบบ Grid-connected (Grid หมายถึง ระบบของการไฟฟ้า) ในการต่อลักษณะนี้ อินเวอร์เตอร์ในระบบจะต้องถูกออกแบบให้สามารถแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาด (Amplitude) และความถี่ (Frequency) ที่คล้อยจอง (Synchronize) กับระบบของการไฟฟ้า ในส่วนที่เกี่ยวกับการป้องกันและรักษาความปลอดภัยนั้น ยังต้องสามารถตัดตัวเองออก (Islanding Operation) เมื่อระบบของการไฟฟ้ามีปัญหาเพื่อป้องกันพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ไหลเข้าไปทำอันตรายต่อช่างที่กำลังซ่อมแซมระบบ คุณสมบัติพื้นฐานที่จำเป็นเหล่านี้ จะมีการกำหนดโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในประเทศนั้น ๆ ว่าควรจะมีค่าเท่าใด ข้อกำหนดทางเทคนิคต่าง ๆ เหล่านี้ ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ในระบบไม่ว่าจะเป็นอินเวอร์เตอร์ส่วนควบคุม (Controller)

และอุปกรณ์ป้องกันมีความซับซ้อนและมีราคาสูง โดยในกรณีของประเทศญี่ปุ่น ที่จัดว่ามีข้อกำหนดที่ค่อนข้างเข้มงวดนั้น ส่วนนี้จะมีสัดส่วนประมาณ 40% ของราคารวมของระบบ และนอกจากนี้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพ จะต้องมีการบริหารจัดการและบันทึกข้อมูลพลังงานด้วย ดังนั้นราคาของอุปกรณ์ในระบบซับซ้อนและมีราคาสูงมากขึ้น

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

ประเทศไทยมีปริมาณแสงอาทิตย์มากเกือบทุกภูมิภาค แต่การทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จากสถานที่จริงทุกภูมิภาคยังไม่มีเก็บข้อมูลมากนัก โดยในที่นี้เลือกจังหวัดสกลนคร ในเขตภาคอีสานตอนบน ซึ่งมีภูมิอากาศที่ครบทั้งสามฤดู เป็นพื้นที่ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าสายส่ง เพื่อศึกษาข้อมูลความสามารถผลิตไฟฟ้านำไปใช้ประโยชน์ทั้งในจังหวัดและภูมิภาคใกล้เคียงต่อไป

1.6 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าสายส่งขนาด 1 กิโลวัตต์ ติดตั้ง ณ จังหวัดสกลนคร ในเขตภาคอีสานตอนบน มีวิธีการออกแบบระบบ การติดตั้ง การจำลองผลจาก โปรแกรมคอมพิวเตอร์ การเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้อย่างน้อยทุก 1 นาที ครอบคลุมในฤดูกาลที่แตกต่าง แล้วนำผลไปวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าในการสร้างโรงผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจำหน่ายให้การไฟฟ้าต่อไป

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ระบบต่าง

บทที่ 3 กล่าวถึงหลักการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งการหาขนาด PV แบตเตอรี่ และอินเวอร์เตอร์ พร้อมการจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

บทที่ 4 กล่าวถึงระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าสายส่งทั้งการออกแบบ การติดตั้งจริง ตลอดจนอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งจริง

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าสายส่งจากการติดตั้งจริง ณ สถานที่จริง

บทที่ 6 กล่าวถึงการนำผลจากการติดตั้งจริงมาวิเคราะห์ความคุ้มค่าในกรณีสร้างเป็นโรงผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจำหน่ายให้การไฟฟ้า และสรุปผลการทดสอบระบบทั้งหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีโครงสร้างและขนาดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งในบทนี้จะอธิบายถึงส่วนประกอบของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่าง ๆ เบื้องต้นเพื่อจะแยกความแตกต่างและเข้าใจระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

2.1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ [12]

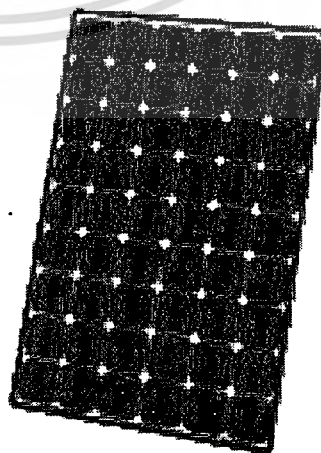
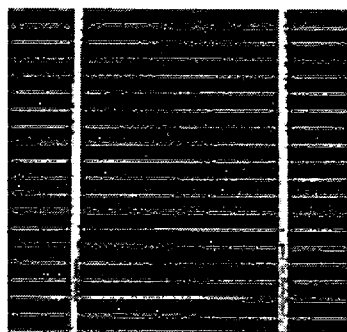
เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือกลุ่ม เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอนและกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน

2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน

จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็น รูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึก จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) และ ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก คือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

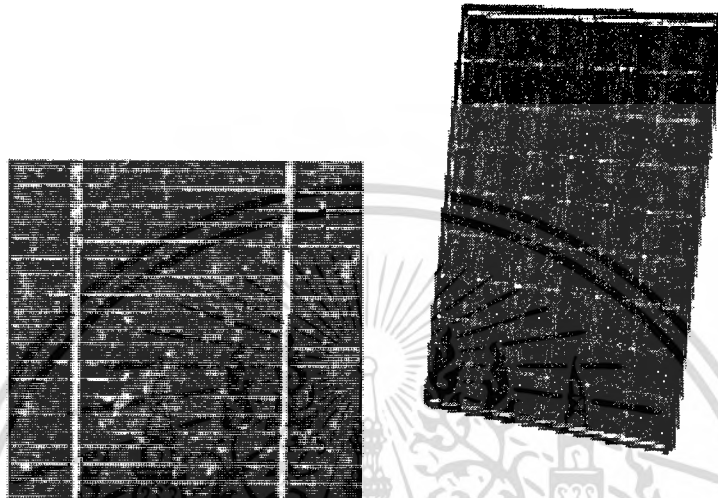
1. ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell)

เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ทำจากซิลิคอนบริสุทธิ์หลอมแล้วทำให้ตกผลึก จากนั้นนำไปตัดให้เป็นแผ่นบางแล้วจึงนำไปทำให้เกิดรอยต่อเพื่อทำให้เกิดขั้ว มีประสิทธิภาพสูงประมาณ 12-15% แต่จะเริ่มผลิตไฟฟ้าเมื่อมีความเข้มของแสงมากถึงระดับหนึ่ง และมีราคาแพง



2. ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell)

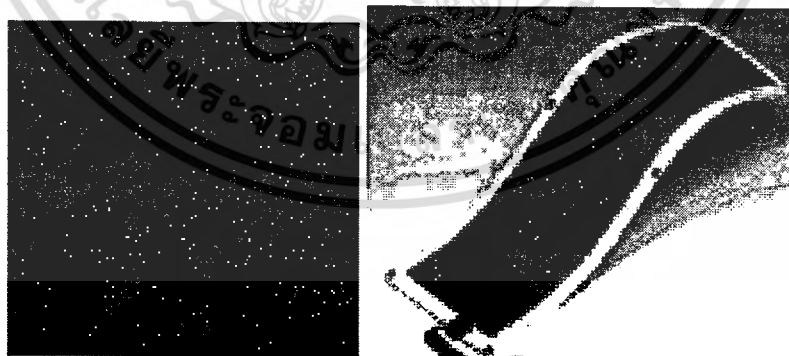
เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำให้ราคาถูกลงกว่าแบบผลึกเดี่ยวซิลิคอน โดยการหลอมซิลิคอนรวมกับสารอื่นเพื่อให้เกิดรอยต่อมีประสิทธิภาพสูงประมาณ 12% และเริ่มผลิตไฟฟ้าเมื่อมีความเข้มของแสงมากถึงระดับหนึ่งเหมือนแบบเดี่ยวซิลิคอน



รูปที่ 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน

3. ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีราคาถูกลงกว่าแบบผลึกเดี่ยวและผลึกรวม ประสิทธิภาพประมาณ 7% ทำให้ถ้าต้องการกำลังเท่ากันจำเป็นต้องใช้พื้นที่รับแสงมากกว่า แต่จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ที่ความเข้มแสงน้อย



รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน

2.1.2 กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน

ซึ่งประเภทนี้ จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมาก ไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลก จึงใช้งานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต

2.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ [1-4]

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแยกตามโครงสร้างสำคัญหลักๆได้เป็นแบบที่มีแบตเตอรี่สะสมพลังงานกับแบบที่ไม่มีแบตเตอรี่

2.2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ปราศจากแบตเตอรี่สะสมพลังงาน

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้จะไม่มีแบตเตอรี่สะสมพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ไฟฟ้าหรือผู้ใช้ไฟฟ้าจะได้รับพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่แผงเซลล์สามารถผลิตไฟฟ้าได้เท่านั้น

1. ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อตรง

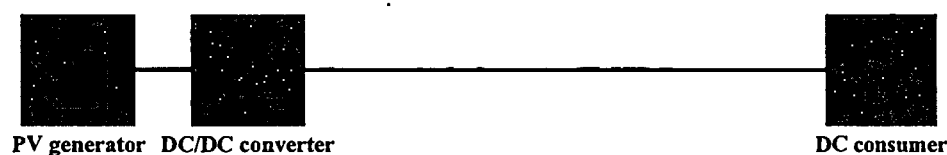
ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อตรงดังแสดงในรูปที่ 2.4 ระบบนี้ อุปกรณ์ไฟฟ้าจะต่อตรงกับแผงเซลล์อาทิตย์โดยไม่ผ่านอุปกรณ์อื่นซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าจะเป็นแบบที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์จะเป็นกระแสตรง พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้อุปกรณ์จะมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์



รูปที่ 2.4 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อตรง

2. ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อผ่านคอนเวอร์เตอร์

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อผ่านคอนเวอร์เตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ระบบนี้จะมีคอนเวอร์เตอร์ต่ออยู่ระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งจะคอยรักษาระดับพลังงานจ่ายไปยังอุปกรณ์ให้ได้รับพลังงานที่เหมาะสมตลอดเวลา แต่อุปกรณ์ก็ยังคงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.5 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อผ่านคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

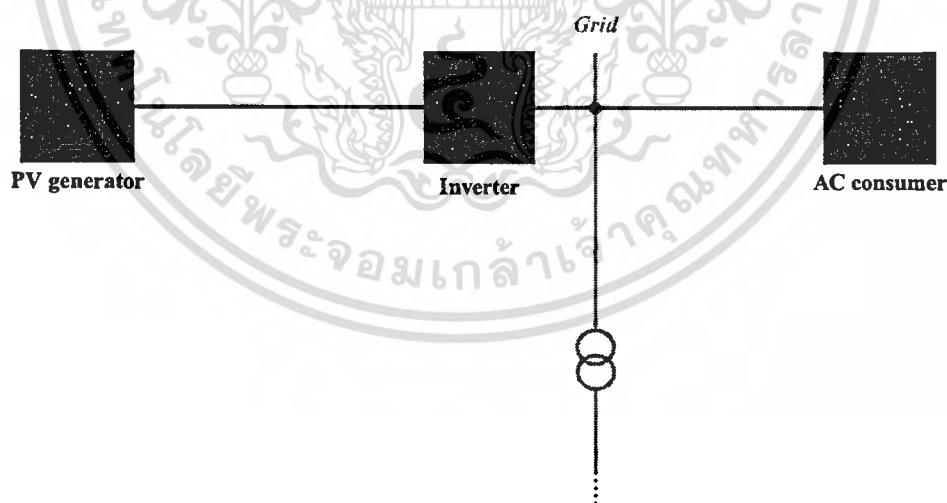
ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแสดงดังรูปที่ 2.6 ระบบนี้จะมีอินเวอร์เตอร์ต่ออยู่ระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งจะแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และควบคุมระดับพลังงานให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 2.6 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

4. ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าระบบไฟฟ้า

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าระบบไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 2.7 ระบบนี้ อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับนอกจากจะได้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แล้วยังได้รับพลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าจำหน่ายหลักทำให้ได้รับพลังงานที่ต่อเนื่องทั้งตอนที่พลังงานจากแสงอาทิตย์หรือไม่มีก็ตาม



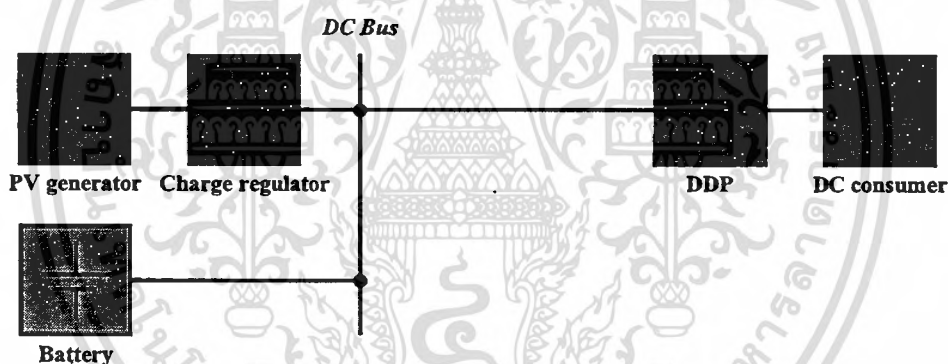
รูปที่ 2.7 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าระบบไฟฟ้า

2.2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแบตเตอรี่สะสมพลังงาน

กรณีที่ช่วงเวลาในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์กับช่วงเวลาที่อุปกรณ์ใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่คนละช่วงกัน อุปกรณ์สะสมพลังงานหรือแบตเตอรี่จำเป็นต้องนำมาใช้ ซึ่งระบบที่มีแบตเตอรี่สะสมพลังงาน นอกจากสามารถใช้พลังงานนอกช่วงเวลาผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แล้วยังรวมถึงในช่วงที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้แต่สภาวะอากาศไม่ดี อุปกรณ์ก็ยังสามารถรับพลังงานอย่างต่อเนื่อง

1. ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จุดต่อร่วมกระแสตรง

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จุดต่อร่วมกระแสตรงดังแสดงในรูปที่ 2.8 ระบบนี้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงและประจุพลังงานไปยังแบตเตอรี่ไปพร้อมกัน โดยผ่านตัวควบคุมการประจุให้การประจุเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และตัวควบคุมการคายประจุควบคุมพลังงานที่จ่ายไปยังอุปกรณ์ให้สม่ำเสมอตลอดเวลา



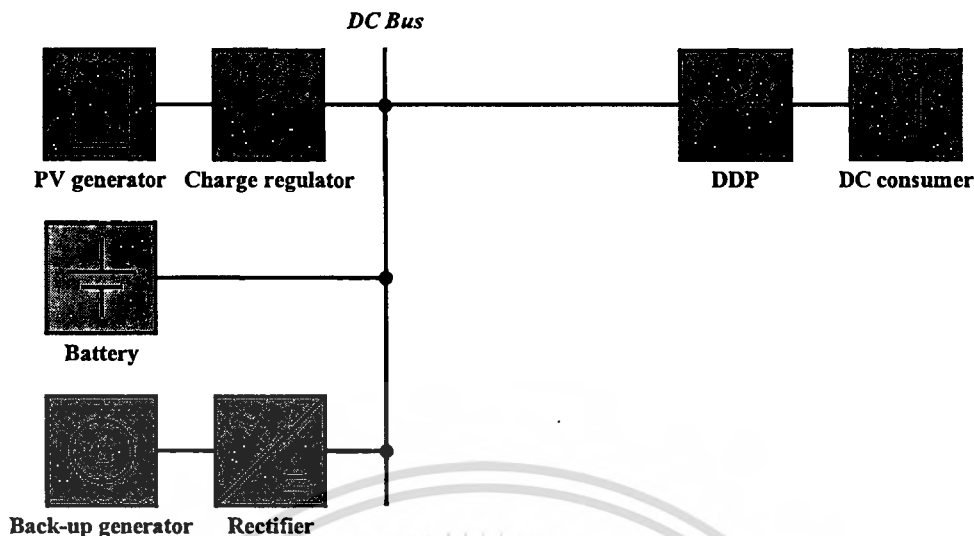
รูปที่ 2.8 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จุดต่อร่วมกระแสตรง

2. ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จุดต่อร่วมกระแสตรงผสมผสาน

ในกรณีที่อุปกรณ์ต้องการพลังงานจำนวนมาก ถ้าใช้แหล่งจ่ายจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเดียวจะทำให้มีขนาดใหญ่มากและค่าใช้จ่ายสูง จึงได้มีการนำแหล่งจ่ายชนิดอื่นเข้ามาจ่ายร่วม เรียกว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จุดต่อร่วมกระแสตรงผสมผสานแสดงดังรูปที่ 2.9 แหล่งจ่ายที่นำมาต่อร่วมอาจเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

แหล่งที่นำมาต่อร่วมจะต่อด้านกระแสตรงโดยต่อผ่านวงจรเรียงกระแส ในช่วงเวลาที่ไม่ผลิตพลังงานจากแผงเซลล์และจากแบตเตอรี่เพื่อจ่ายไปยังอุปกรณ์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองที่ต่อร่วมจะจ่ายพลังงานแทน และอีกส่วนหนึ่งจะประจุเก็บไว้ที่แบตเตอรี่ ระบบนี้จะทำให้อุปกรณ์ซึ่งในที่นี้เป็นอุปกรณ์กระแสตรง ได้รับพลังงานอย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องใช้แผงเซลล์และแบตเตอรี่จำนวนมาก

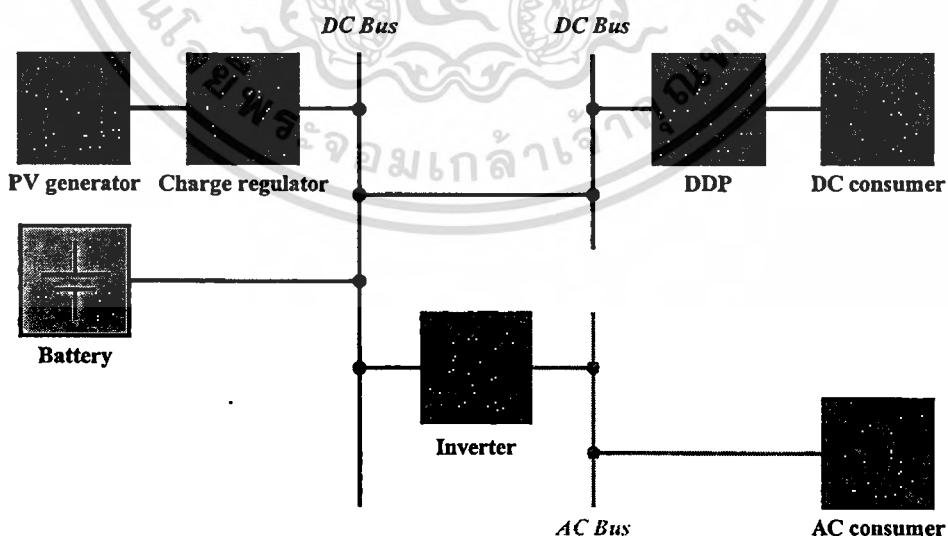
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จุดต่อร่วมกระแสตรงผสมผสาน

3. ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ใช้กับทั้งอุปกรณ์กระแสตรงและกระแสสลับ

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ใช้กับทั้งอุปกรณ์กระแสตรงและกระแสสลับ ดังแสดงดังรูปที่ 2.10 จะแตกต่างจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จุดต่อร่วมกระแสตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เพียงแค่เพิ่มอินเวอร์เตอร์เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์กระแสสลับเพิ่มขึ้นจากเดิมที่มีเฉพาะอุปกรณ์กระแสตรงในระบบ

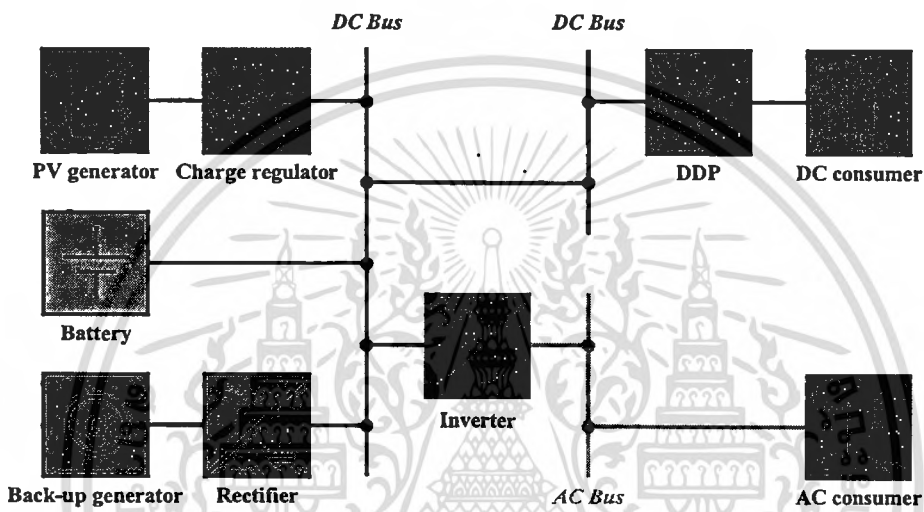


รูปที่ 2.10 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ใช้กับทั้งอุปกรณ์กระแสตรงและกระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ผสมผสานใช้กับกระแสตรงและกระแสสลับ

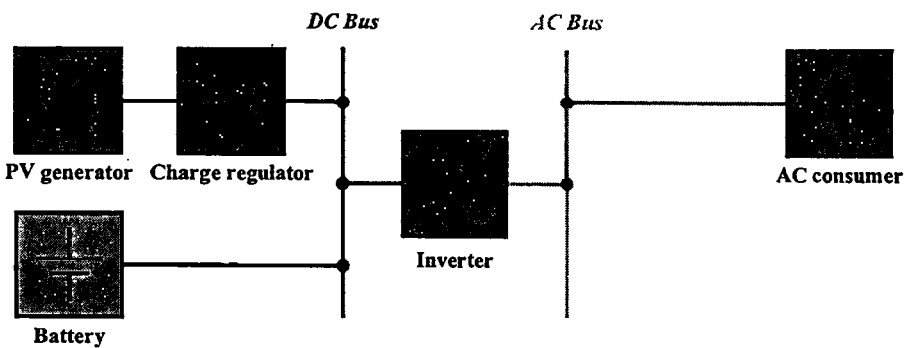
ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ผสมผสาน ใช้กับทั้งอุปกรณ์กระแสตรงและกระแสสลับแสดงดังรูปที่ 2.11 แตกต่างจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จุดต่อร่วมกระแสตรงผสมผสานแสดงดังรูปที่ 2.9 เพียงแค่เพิ่มอินเวอร์เตอร์เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์กระแสสลับเพิ่มขึ้นจากเดิมที่มีเฉพาะอุปกรณ์กระแสตรงในระบบ



รูปที่ 2.11 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ผสมผสานใช้กับกระแสตรงและกระแสสลับ

5. ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จุดต่อร่วมกระแสตรงจ่ายอุปกรณ์กระแสสลับ

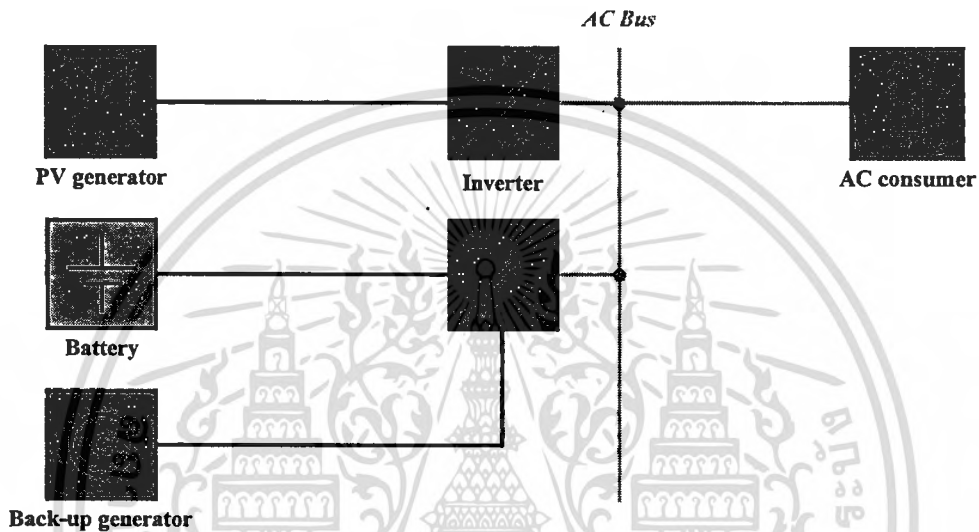
อุปกรณ์ไฟฟ้าที่นิยมใช้ส่วนใหญ่แล้วเป็นอุปกรณ์กระแสสลับ ดังนั้นระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จุดต่อร่วมกระแสตรงจ่ายอุปกรณ์กระแสสลับแสดงดังรูปที่ 2.12 จึงถูกนำมาใช้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์กับแบตเตอรี่จะต่อเข้าจุดต่อร่วมกระแสตรง อินเวอร์เตอร์จะเป็นตัวเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายไปยังอุปกรณ์



รูปที่ 2.12 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จุดต่อร่วมกระแสตรงจ่ายอุปกรณ์กระแสสลับ

6. ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จุดต่อร่วมกระแสสลับผสมผสาน

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จุดต่อร่วมกระแสสลับผสมผสานแสดงดังรูปที่ 2.13 ระบบนี้จะมีอินเวอร์เตอร์แปลงพลังงานจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และมีอินเวอร์เตอร์ต่อกับแบตเตอรี่ที่เป็นทั้งตัวแปลงพลังงานจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ และเป็นตัวประจุพลังงานให้กับแบตเตอรี่ในตัวเดียวกัน รวมทั้งมีแหล่งจ่ายอื่นเพื่อช่วยในการจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ โดยทั้งหมดจะต่อร่วมกันทางด้านกระแสสลับ



รูปที่ 2.13 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จุดต่อร่วมกระแสสลับผสมผสาน

บทที่ 3

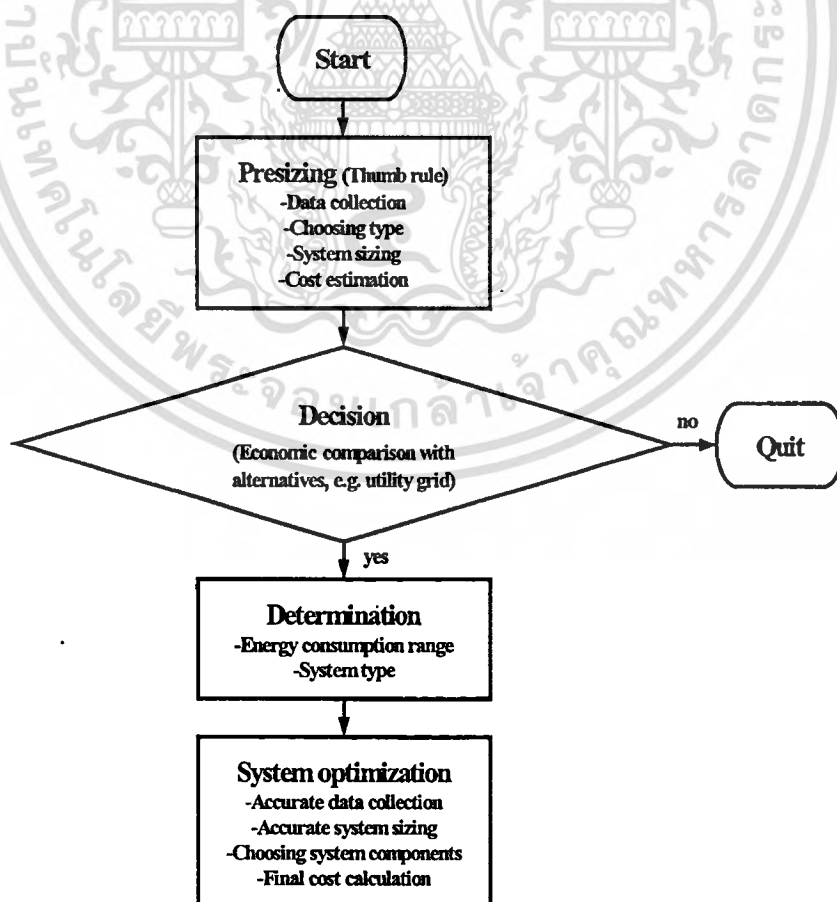
หลักการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งการออกแบบขนาดระบบ PV ขนาดแบตเตอรี่ ขนาดอินเวอร์เตอร์ พร้อมทั้งการจำลองระบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นระบบที่นำเอาเอาพลังงานจากแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งโดยทั่วไปจะเรียกระบบนี้สั้นๆเพื่อให้เข้าใจง่าย ๆ ว่า PV วิธีการนี้เป็นการเปลี่ยนค่าพลังงานที่ได้จากแสงมาเป็นพลังงานไฟฟ้า วิธีการนี้จะเปลี่ยนพลังงานจากรังสีแสงอาทิตย์ ทำปฏิกิริยากับอิเล็กทรอนิกส์ที่เคลื่อนที่ ทำให้เกิดพลังงาน การออกแบบระบบนี้จะต้องคำนึงถึงการตกกระทบของรังสีจากดวงอาทิตย์ ซึ่งบทความนี้แนะนำเสนอวิธีการ[5-11] นำเอาวิธีการอย่างสมดุลดังสมการ (3.1)

$$E_{demand} \leq E_{supply} \quad (3.1)$$

เพื่อให้การออกแบบเป็นที่น่าเชื่อถือต้องมีการวางแผนดังเช่นแผนผังดังรูปที่ 3.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนการออกแบบระบบ PV ตามความเหมาะสม
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรสำคัญในการออกแบบระบบ PV ก็คือรังสีจากดวงอาทิตย์ ซึ่งในประเทศไทยก็จะประมาณค่าเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{d}$) เมื่อรู้ค่าปริมาณของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ต้องการใช้งาน ค่าต่อไปที่จำเป็นอีกค่าคือ ค่าภาระทางไฟฟ้า (โหลด)ของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือโหลดที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการใช้ในระบบ เช่น ระบบหมู่บ้านที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าหรือว่าโรงเรียนก็จะมีค่าของโหลดต่างๆ ศูนย์สุขภาพ ธุรกิจขนาดครอบครัว ซึ่งเหล่านี้ก็จะมีขนาดตัวอย่างของโหลดทางไฟฟ้าโดยประมาณดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างปริมาณพลังงานที่ใช้ในครอบครัว

Appliance	Power rating [W]	Daily consumption [kWh/d]	Annual consumption [kWh/a]
1 Incandescent bulb	60	0.25	90
1 Typical fluorescent lamp	40	0.15	60
1 Compact fluorescent lamp (CFL)	15	0.07	25
1 Fan	375	0.75	270
1 Radio	55	0.10	35
1 Television, colour 19"	80	0.14	50
1 Drill, 318" variable	240	-	10
1 Blender/Mixer	350	0.07	25
1 Refrigerator (12cu. ft./340 litre)	330	2.75	1000
1 Vacuum cleaner	900	-	45
1 Iron	1000	-	50
1 Clothes washer	1150	-	120
1 Toaster	1200	0.12	45
1 Coffee maker	1200	0.30	110
1 Hair dryer	1500	0.33	120
1 Microwave oven	2100	0.35	130

ส่วนโหลดไฟฟ้าที่ไม่เลือกไว้ในตารางที่ 3.1 ได้แก่ โหลดพวกเครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องทำความร้อนเพราะเป็นโหลดที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูง อย่างไรก็ตามระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งส่วนใหญ่โหลดของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ก็จะเป็นโหลดดังตารางที่ 3.1 หน่วยของพลังงานที่ได้เอกสารจะเป็น $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{d}$ แต่บางระบบจะใช้หน่วยเป็น $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{a}$ (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี) ใ้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ไม่แน่นอนทำให้ได้พลังงานในปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ อย่างไรก็ตาม หากไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ตามต้องการ หรือว่าระบบล้มเหลว ดังนั้น จำเป็นต้องมีการประกันคุณภาพที่ดีพอ เพื่อทำหน้าที่ให้พลังงานกับภาระที่มีอยู่ ซึ่งเรียกการประกันคุณภาพนี้ว่า คอติตีแฟกเตอร์ (quality factor, Q)

3.1 คอติตีแฟกเตอร์

คอติตีแฟกเตอร์ (Q) คือคุณภาพของพลังงานที่ได้เพื่อจ่ายให้กับโหลดที่มีอยู่ได้แก่ พลังงานเอาต์พุตที่มีอยู่ (E_{Load}) กับพลังงานที่โหลดต้องการ (E_{demand}) และความต้องการของเอาต์พุต (E_{th}) เมื่อทราบค่าเหล่านี้แล้ว สามารถสร้างเป็นสมการมาตรฐานที่ได้จากการทดสอบ (Standard Test Conditions,STC) ดังนี้

$$Q = \frac{E_{Load}}{E_{th}} \quad (3.2)$$

ที่ Q = ค่าตัวประกอบคุณภาพของระบบ
 E_{Load} = ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่โหลดของระบบต้องการ [kWh]
 E_{th} = ค่าความต้องการพลังงานของระบบ [kWh]

คุณภาพของระบบจะต้องมีพลังงานเพียงพอกับช่วงเวลาที่ต้องการใช้ ส่วนใหญ่การออกแบบจะออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ให้เพียงพอกับการใช้ตลอดทั้งปี ความต้องการเอาต์พุตจะเป็นค่าที่ระบบใช้จริง ซึ่งค่าที่ได้จากระบบ PV แปรผันไปตามพื้นที่รับแสงของแผง PV (A_{array}) ค่าความเข้มข้นของรังสีจากดวงอาทิตย์ (E_{glob}) ประสิทธิภาพของแผง PV นั้นๆ (η) ตามสแตนดาร์ดของ STC ซึ่งมีสมการดังนี้

$$E_{th} = \eta \cdot E_{glob} \cdot A_{array} \quad (3.3)$$

ที่ค่า E_{th} = ค่าเอาต์พุตที่ได้ต่อพื้นที่แผง PV [kWh]
 η = ประสิทธิภาพของแผง PV [decimal]
 E_{glob} = ปริมาณรังสีตกกระทบโดยรวมตามแนวอน [kWh/m²]
 A_{array} = พื้นที่แผง PV [m²]

หลายครั้งที่ประสิทธิภาพของพลังงานที่ได้จาก PV ไม่เป็นไปตามที่บริษัทผู้ผลิตระบุ นอกจากนั้นการวางตำแหน่งที่ผิดๆก็สามารถทำให้ประสิทธิภาพของ PV ลดลง อย่างไรก็ตามค่าพลังงานสูงสุดสามารถวัดได้ ภายใต้มาตรฐานของ STC ซึ่งให้ค่าดังนี้ (STC: $I_{STC} = 1000$ W/m²; $T_{STC} = 25$ °C, AM = 1.5) จะได้ค่าดังสมการที่ (3.4)

$$P_{peak} = \eta \cdot I_{STC} \cdot A_{array} \quad (3.4)$$

ที่ค่า P_{peak} = ค่าพลังงานสูงสุดต่อพื้นที่ของ PV [kWp]

η = ค่าประสิทธิภาพของ PV ต่อพื้นที่ [decimal]

I_{STC} = พลังงานรวมของการแผ่รังสีตามมาตรฐาน STC [1 kW/m²]

$$A_{array} = \text{พื้นที่ของ PV [m}^2\text{]}$$

จากสมการที่ (3.3) และ (3.4) จะได้ประสิทธิภาพคูณพื้นที่ ดังสมการที่ (3.5)

$$E_{th} = P_{peak} \cdot \frac{E_{glob}}{I_{STC}} \quad (3.5)$$

จากสมการที่ (3.2) และ (3.5) จะได้ค่าตัวคูณประสิทธิภาพดังสมการที่ (3.6)

$$Q = \frac{E_{Load}}{E_{glob} \cdot P_{peak}} \cdot I_{STC} \quad (3.6)$$

ค่าจากสมการที่ (3.6) และค่าตัว Q จะขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่และลักษณะเฉพาะของ PV นั้นๆ

3.2 การหาขนาดของระบบ PV

จากค่า Q ในสมการที่ (3.6) พื้นที่ของ PV สามารถปรับได้ตามสมการที่ (3.7)

$$P_{peak} = \frac{E_{Load} \cdot I_{STC}}{E_{glob} \cdot Q} \quad (3.7)$$

ที่ค่า P_{peak} = กำลังงานสูงสุดของพื้นที่ PV ตามมาตรฐาน STC [kWp]

E_{Load} = ค่าพลังงานไฟฟ้าขาออกจริงของระบบ [kWh/a]

I_{STC} = ผลการแผ่รังสีตามมาตรฐาน STC [1 kW/m²]

E_{glob} = การแผ่รังสีโดยรวม [kWh/m²/a]

Q = ค่าตัวคูณประอบคุณภาพของระบบ

ค่าพลังงานที่จ่ายกับค่าความต้องการพลังงานเป็นค่าสมมูลจะได้ ค่า $Q = 1$ เช่น วัตถุประสงค์ Q ได้ 0.75 หมายความว่าค่า Q คือ 75%ของพลังงานไฟฟ้าซึ่งแปรผันกับค่าการแผ่รังสีของ PV ที่ได้รับ ส่วนอีก 25% ที่ถูกใช้ไปเป็นค่าความสูญเสียระหว่างเซลล์และกำลังขาออกของระบบหรือส่วนที่ไม่ได้ใช้ค่า Q จะขึ้นอยู่กับความมั่นคงของระบบ ในกรณีของการเชื่อมต่อระบบ แบบกริดพลังงานที่ได้ทั้งหมดจะถูกนำไปใช้จนไม่มีพลังงานเหลือที่ผิวของ PV อย่างไรก็ตามในระบบ PV จะมีการจัดเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่เงินเต็ม หลังจากนั้นพลังงานจะถูกใช้ ค่า Q จะขึ้นอยู่กับชนิดของระบบของ PV เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจในการเลือกใช้ชนิดของระบบ ค่าการใช้พลังงานของ PV แบบต่างๆตามตารางที่ 3.2 และค่า Q ตามตารางที่ 3.3

ดังนั้น ขนาดของระบบ PV สามารถหาได้จากสมการที่ (3.7) ขนาดของระบบ PV จะมีหน่วยเป็นวัตต์สูงสุด (P_{peak}) หลังจากได้ขนาดของ PV แล้วยังต้องคำนึงถึงต้นทุนที่จะใช้ด้วย

ตารางที่ 3.2 ค่าการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับระบบ PV

Systems	Annual energy consumption				
	0.1 kWh/a	1 kWh/a	10 kWh/a	100 kWh/a	1 MWh/a
PV-Batterie					
PV-Diesel-Batterie					
Diesel-Batterie					
Diesel					
PV grid-connected					

ตารางที่ 3.3 ค่า Q ของระบบ PV แต่ละชนิด [9]

Component/System	Q
PV module (Crystalline)	0.85...0.95
PV array	0.80...0.90
PV system (Grid-connected)	0.60...0.75
PV system (Stand-alone)	0.10...0.40
Hybrid system (PV/Diesel)	0.40...0.60

3.3 ขนาดของแบตเตอรี่

ระบบ PV แบบเดี่ยวจะต้องเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่เพื่อใช้ในเวลากลางคืน ดังนั้น ความจุของแบตเตอรี่และค่าใช้จ่ายจะต้องนำมาพิจารณาให้ครอบคลุมถึงช่วงเวลาช่วงนี้ด้วย เนื่องจากการใช้งานจริงแบตเตอรี่เป็นส่วนประกอบที่ใหญ่ที่สุดเป็นอันดับสองของค่าใช้จ่าย โดยรวมทั้งระบบ PV และระบบ PV แบบผสมอย่างไรก็ตามบางครั้งค่าใช้จ่ายขณะที่ทำงานอาจจะมีค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายเริ่มต้นค่าความจุของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับค่าการแผ่รังสี, โหลด, ความน่าเชื่อถือสำหรับผู้ใช้งาน จากประสบการณ์ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของการเก็บประจุ [kWh] และค่าพลังงานสูงสุด [kWp] ของพื้นที่ระบบ PV จะประมาณ 10:1 ในกรณีที่การแผ่รังสีที่บริเวณที่ติดตั้งคงที่ตลอดทั้งปีค่า Q น้อยกว่า 10:1 หากเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากใน

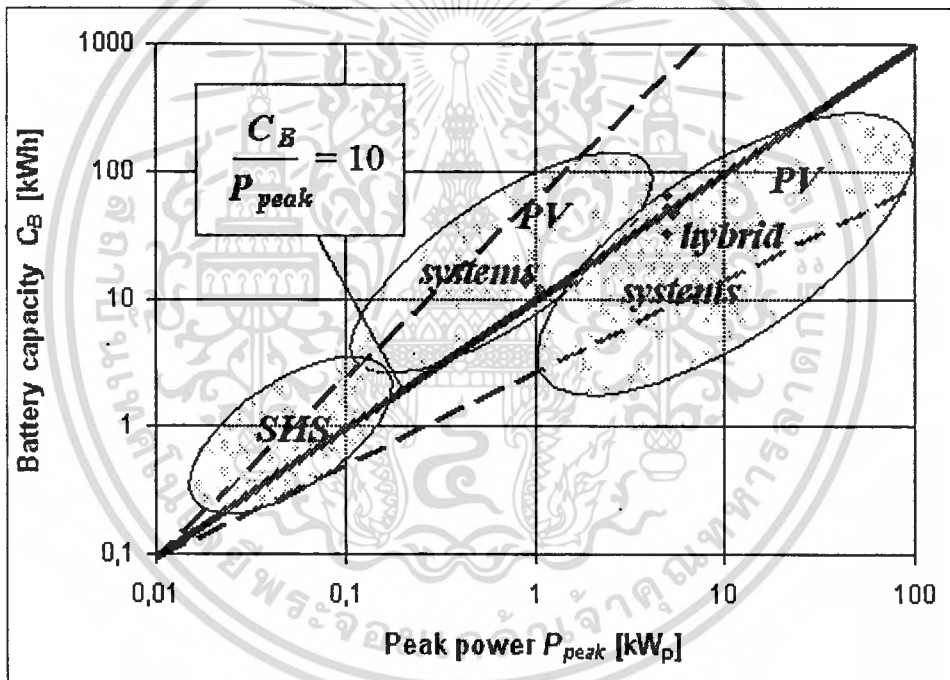
ตอนกลางคืนประสิทธิภาพของระบบอาจลดลงถึง 10% แต่ถ้าต่อร่วมกับระบบพลังงานไฟฟ้าแบบผสมผสานประสิทธิภาพของระบบอาจเพิ่มได้ถึง 20% ได้ ซึ่งสามารถหาขนาดของแบตเตอรี่ได้ดังสมการที่ (3.8).

$$C_B = 10 \frac{P_{peak}}{P_{peak}} \quad (3.8)$$

ที่ C_B = battery capacity [kWh]

P_{peak} = peak power of the PV array [kWp]

จากสมการที่ (3.8) สามารถหาความสัมพันธ์ได้จากรูปที่ 3.2 ซึ่งวิธีนี้จะใช้ข้อมูลเพียงเล็กน้อยก็สามารถออกแบบระบบได้ อย่างไรก็ตามระบบนี้ก็ยังมีข้อเสีย ผลที่ได้อาจไม่เหมาะสมเพราะเกิดจากการคาดเดา จึงควรปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพของระบบให้เหมาะสมกับการใช้งานของระบบนั้นๆ



รูปที่ 3.2 ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าขนาดของระบบ PV

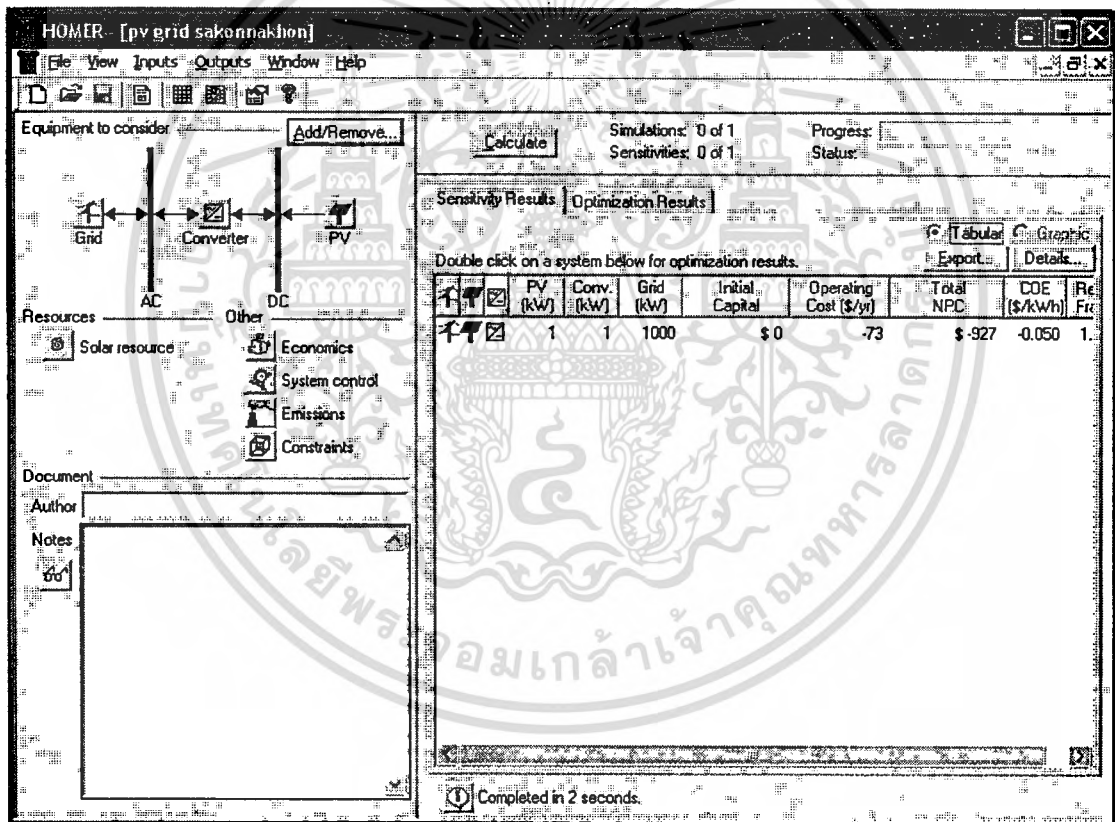
บางครั้งที่การออกแบบระบบ PV โหลดส่วนมากเป็นโหลดที่ไม่แน่นอนและจากประสบการณ์วิธีการออกแบบที่ผ่านมาก็ให้ค่าในระดับที่ดีเป็นที่น่าพอใจเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการจำลองระบบ PV ทางคณิตศาสตร์

3.4 ค่าที่เหมาะสมและการจำลองทางคณิตศาสตร์

หลังจากได้ระบบ PV จากการออกแบบตามสมการที่ผ่านมหลังจากได้ระบบแล้วจะต้องเอกสารตรวจสอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสม ค่าต่างๆที่หาค่าตัวประกอบที่เหมาะสมก็มาจากหลายๆค่าส่วนนี้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหญ่จะเป็นค่าความต้องการทางภาระได้แก่ ค่าความต้องการของภาระสูงสุด จะเป็นข้อมูลในการเลือกใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับระบบของ PV ลำดับที่ 2 มุมรับแสงของการติดตั้ง PV หากออกแบบให้ PV รับแสงได้เยอะและนานจะทำให้ได้พลังงานที่ดี ค่าองศาของการรับแสงสามารถหาได้จากที่ตั้งตามละติจูดของพื้นที่ที่ต้องการติดตั้ง ในที่นี้ใช้มุมรับแสงจากพื้น 15 องศา เพราะจะสะดวกและง่ายในการบำรุงรักษาเมื่อฝนตกหรือว่าฝุ่นเกาะเยอะๆค่าที่เหมาะสมของระบบนี้สามารถคำนวณโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ เป็นการจำลองด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ ซึ่งปัจจุบันมีโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณที่หลากหลาย ซึ่งในที่นี้ใช้โปรแกรมโฮมเมอร์(Homer) เป็นโปรแกรมคำนวณ

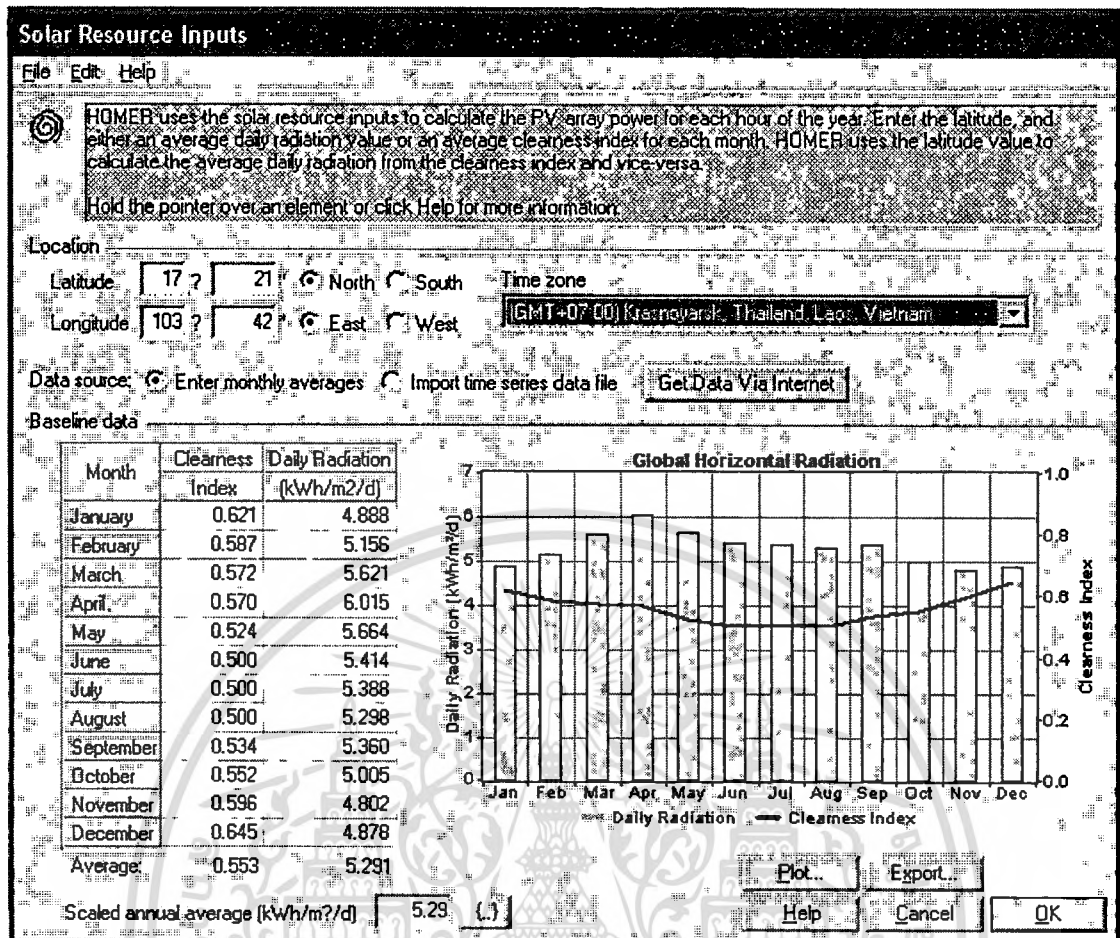
โปรแกรมที่ใช้จำลองการทำงานระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 3.3 เป็นตัวอย่างการจำลองระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต่อเข้าระบบไฟฟ้า ซึ่งเลือกขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์และขนาดตัวแปลงพลังงานเป็นขนาด 1 กิโลวัตต์



รูปที่ 3.3 โปรแกรมที่ใช้จำลองการทำงานระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

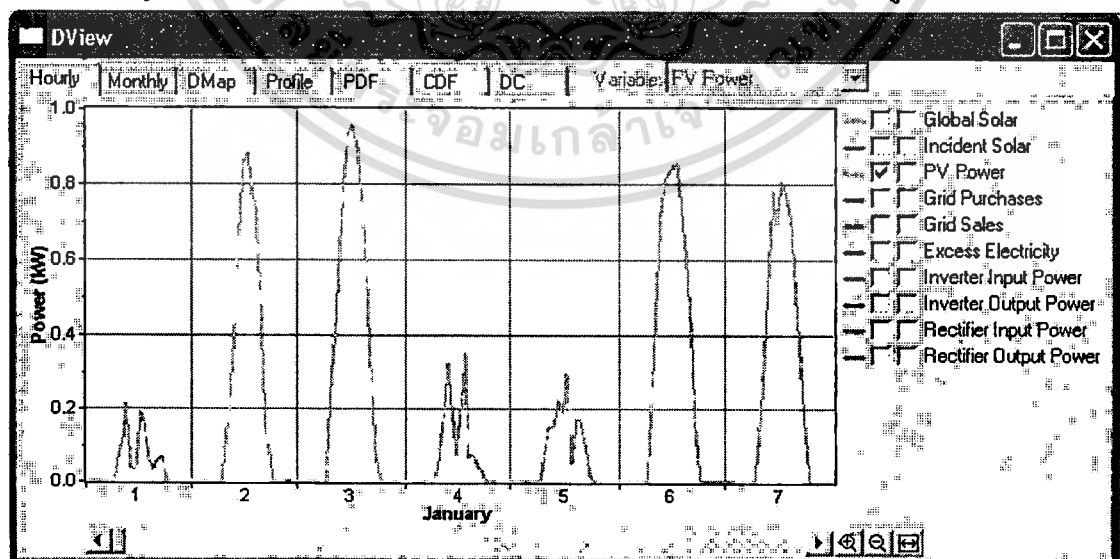
เลือกพื้นที่ที่ใช้ในการจำลองคือบริเวณอำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร พิกัดละติจูด 17 องศา 21 ลิปดา เหนือ ลองจิจูด 103 องศา 42 ลิปดา ตะวันออก ซึ่งจะสามารถจำลองปริมาณแสงตลอดทั้งปีของพิกัดที่กำหนดตลอดทั้งปี ดังแสดงในรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



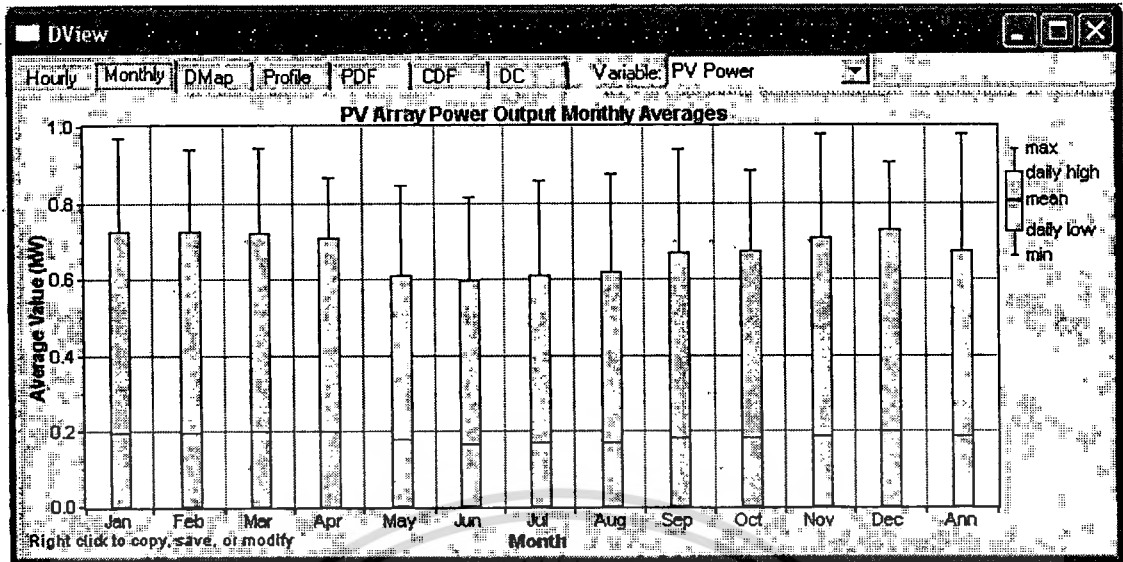
รูปที่ 3.4 การกำหนดพิกัดพื้นที่ที่ใช้การจำลอง

การจำลองผลสามารถจำลองค่าต่าง ๆ อย่างเช่นค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์ในแต่ละวัน ดังแสดงในรูปที่ 3.5 หรือกำลังไฟฟ้าย่อยจากแผงเซลล์ในแต่ละเดือนดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 กำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์ในแต่ละวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากแผงเซลล์ในแต่ละเดือน



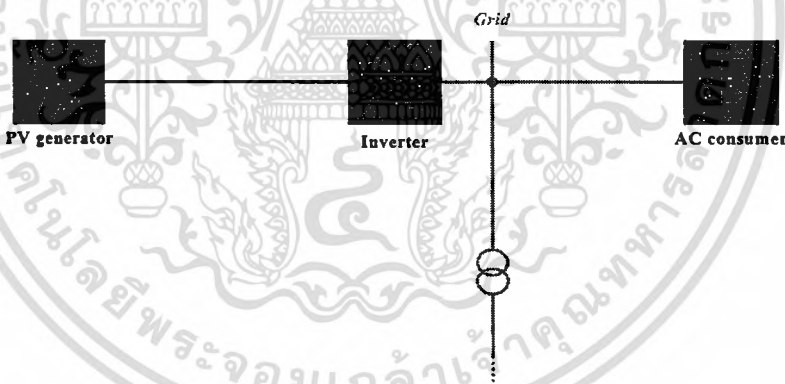
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ แบบต่อเข้ากับสายส่ง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้ากับสายส่ง การติดตั้งจริง รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งจริงทั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอินเวอร์เตอร์ การติดตั้งจริง ณ อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้ากับสายส่ง (PV-Grid-connected system) เป็นระบบที่มีเสถียรภาพมากและมีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับระบบที่มีแบตเตอรี่ จึงเป็นระบบที่มีการติดตั้งอย่างแพร่หลายทั่วโลกในขณะนี้ การทำงานของระบบจะเป็นดังรูปที่ 4.1 ซึ่งประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell or Photovoltaic Array) ต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และต่อเข้ากับระบบส่ง



รูปที่ 4.1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้ากับระบบสายส่ง

4.1 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้ากับสายส่ง

การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถออกแบบได้ง่าย และรวดเร็ว โดยใช้สมการที่ (4.1)

$$P_{Peak} = \frac{E_{Load} \cdot I_{STC}}{E_{Glob} \cdot Q} \quad (4.1)$$

เมื่อ P_{Peak} = กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [kW_p]

E_{Load} = พลังงานไฟฟ้าจริงของระบบ [kWh/a] นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I_{STC} = การกระจายแสงอาทิตย์ตามมาตรฐาน STC [1 kW/m^2]

E_{Glob} = พลังงานจากแสงอาทิตย์กระจายสู่พื้นโลก [$\text{kWh/m}^2/\text{a}$]

Q = ตัวประกอบคุณภาพของระบบ

พลังงานจากแสงอาทิตย์กระจายสู่พื้นโลก E_{Glob} โดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ในประเทศไทยคือ $5 \text{ kWh/m}^2/\text{d}$

ตัวประกอบคุณภาพของระบบ (Quality factor of the system) Q สามารถเลือกค่าให้เหมาะกับระบบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวประกอบคุณภาพของระบบ

Component/System	Q
PV module (Crystalline)	0.85...0.95
PV array	0.80...0.90
PV system (Grid-connected)	0.60...0.75
PV system (Stand-alone)	0.10...0.40
Hybrid system (PV/Diesel)	0.40...0.60

พลังงานจากแสงอาทิตย์กระจายสู่พื้นโลกโดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ในประเทศไทยใน 1 วันคือ 5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร ($E_{Glob} = 5 \text{ kWh/m}^2/\text{d}$) เลือกตัวประกอบคุณภาพของระบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้ากับสายส่ง (PV-Grid-connected system) ที่ค่า 0.75 ($Q = 0.75$) ต้องการทราบศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ชุดละ 1 กิโลวัตต์ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าจริงของระบบจากการคำนวณจะได้ว่า

$$E_{Load} = 1 \times 5 \times 0.75 = 3.75 \text{ kWh/d}$$

คือระบบไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าระบบขนาด 1 กิโลวัตต์ควรผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 3.75 หน่วยต่อวัน

4.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

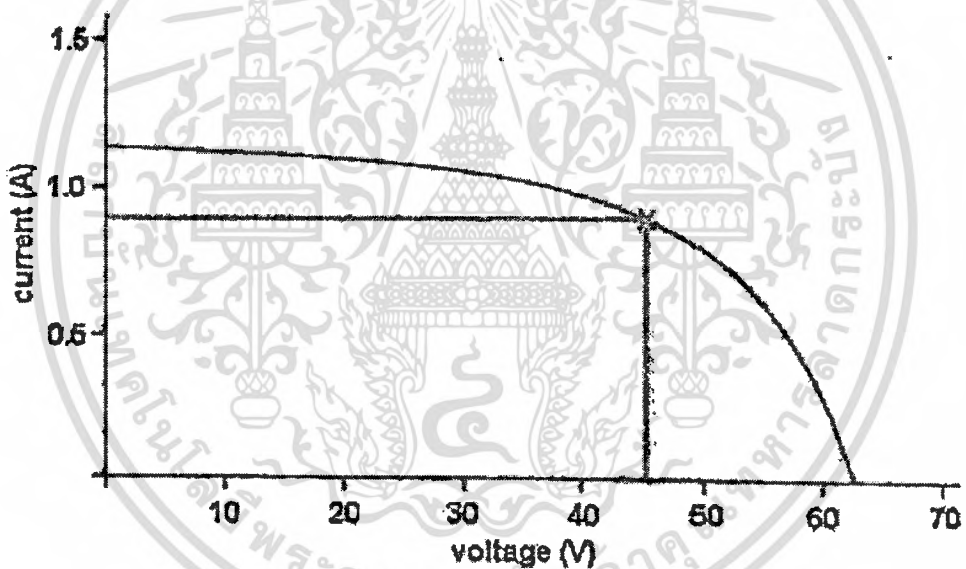
แผงเซลล์เลือกชนิดอะมอร์ฟัสเนื่องจากข้อดีในด้านความสามารถการผลิตไฟฟ้าตั้งแต่ความเข้มแสงน้อย โดยเลือกแผงละ 40 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 44.8 โวลต์ เพราะฉะนั้นต้องใช้ 25 แผงต่อชุดจะได้กำลังไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ต่อชุด การต่อแผงเซลล์จะต่ออนุกรมกัน 5 แผงในแต่ละแถวค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนที่จะนำแต่ละแถวมาขนานกันทำให้ได้แรงดันไฟฟ้า 224 โวลต์เพื่อให้เข้ากับระบบอินเวอร์เตอร์ที่เลือกใช้ แผงเซลล์ที่ใช้แต่ละแผงมีข้อมูลดังตารางที่ 4.2 และมีกราฟคุณสมบัติกระแส-แรงดัน ดังแสดงในรูปที่ 5.2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Nominal Power (W)	Operating Voltage (V)	Operating Current (A)	Open Circuit Voltage (V)	Short Circuit Current (A)	Maximum series fuse (A)	Max. system voltage (V)	Dimensions (mm. x mm.)	Max. Weight (kg)	Total area (m ²)
40.0	44.8	0.93	62.2	1.14	4	600	635x1245	13.5	0.79

Typical I-V Characteristic at 1,000 W/m² irradiation for BS 40

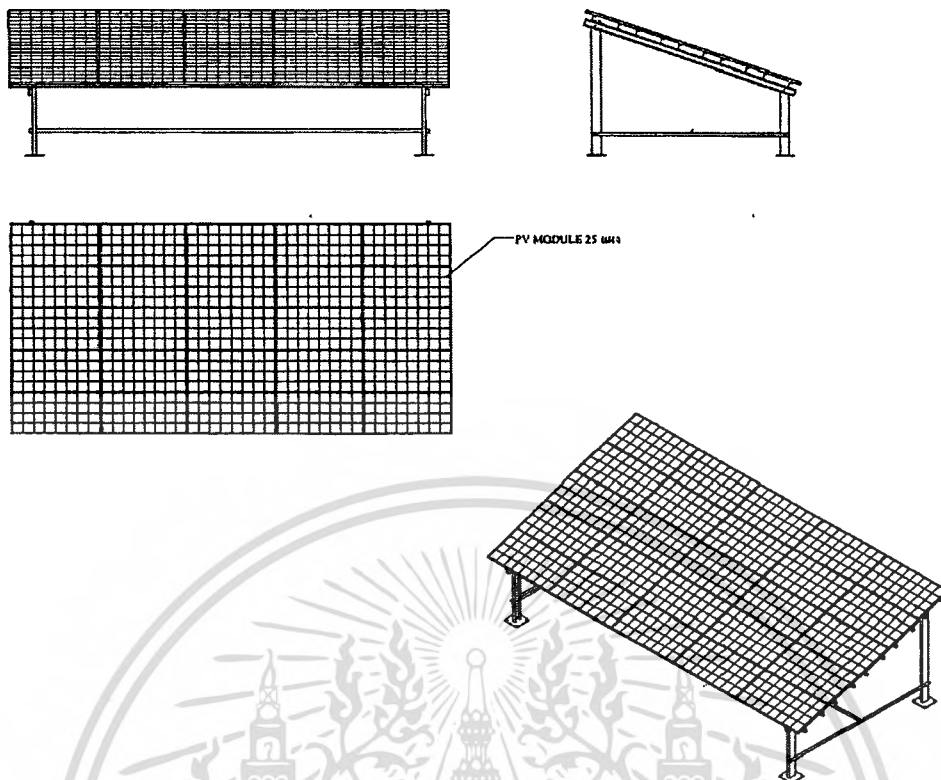


Voc=62.2V Isc=1.16A Temp: 24°C
Pw=40W Im=0.9A Vm=44.8V

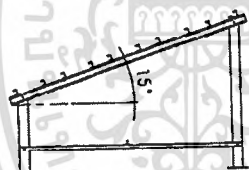
รูปที่ 4.2 กราฟคุณสมบัติ กระแส-แรงดันของแผงเซลล์

รูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แต่ละชุดๆละ 25 แผงแสดงดังรูปที่ 4.3 โดยมีโครงสร้างสำหรับติดตั้งแสดงดังรูปที่ 4.4

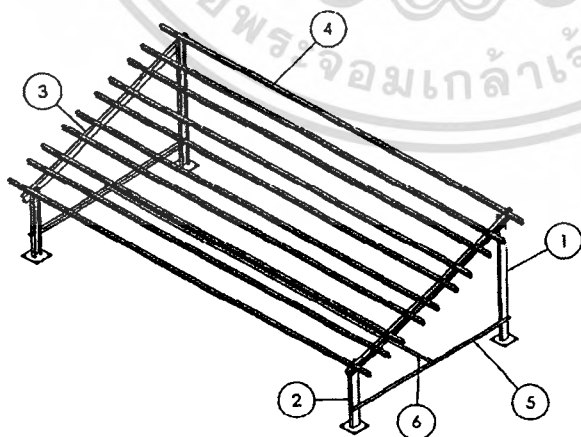
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 กิโลวัตต์



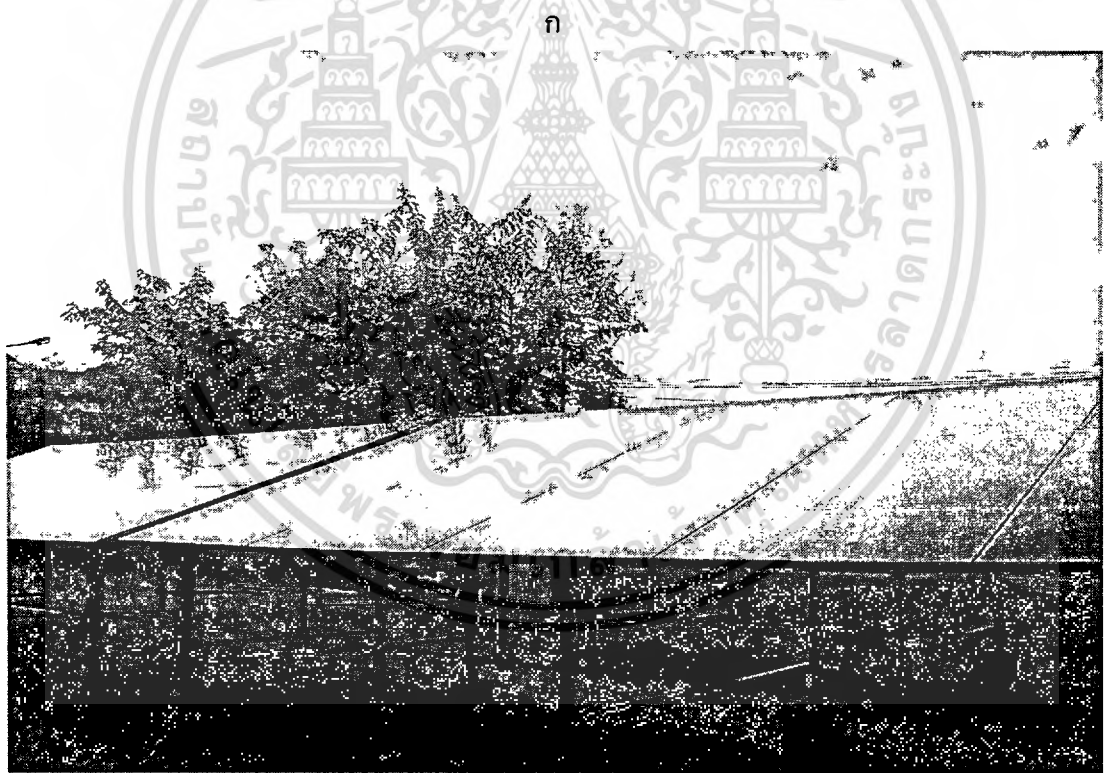
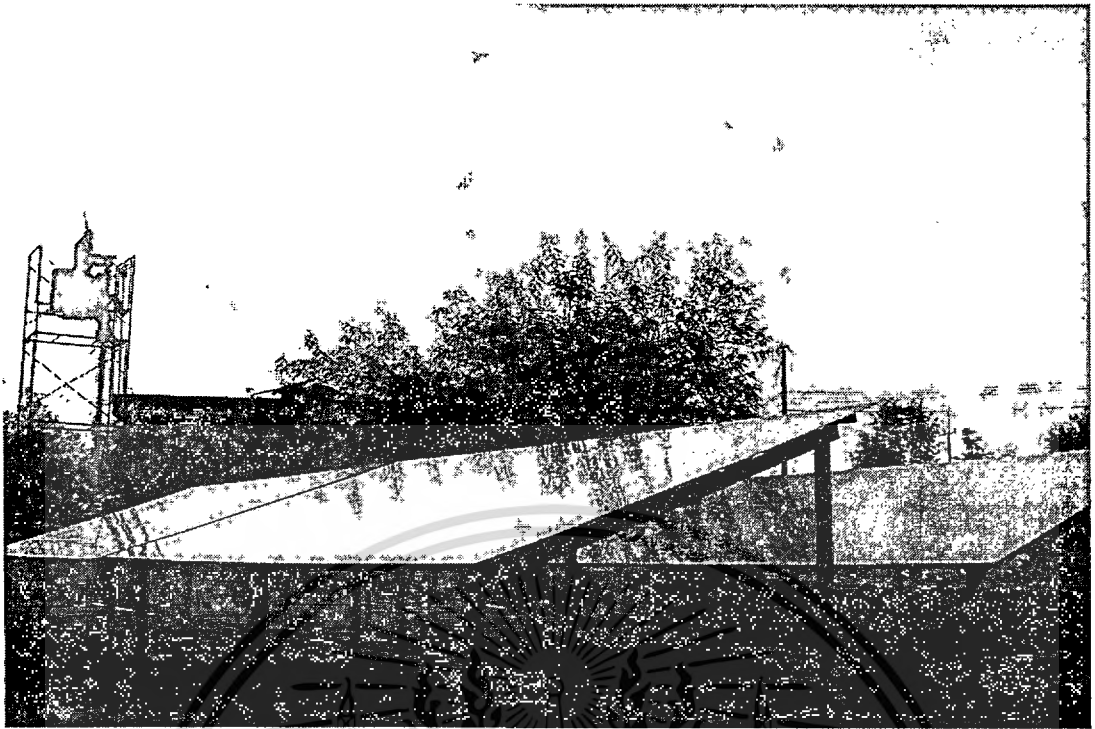
ITEM NO.	DESCRIPTION	QTY.
1	Assem SHORT LEG 1921 MM.	2
2	Assem SHORT LEG 1000 MM.	2
3	LOWER FRAME	2
4	UPPER FRAME	10
5	ชนิดค้ำข้าง	2
6	ชนิดค้ำบน	1



รูปที่ 4.4 โครงสร้างสำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 กิโลวัตต์

และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดละ 1 กิโลวัตต์ ณ สถานที่ดำเนินการวิจัยจริง เอกสารนี้เป็นเอกสารทูลงวันไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ก-ค

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



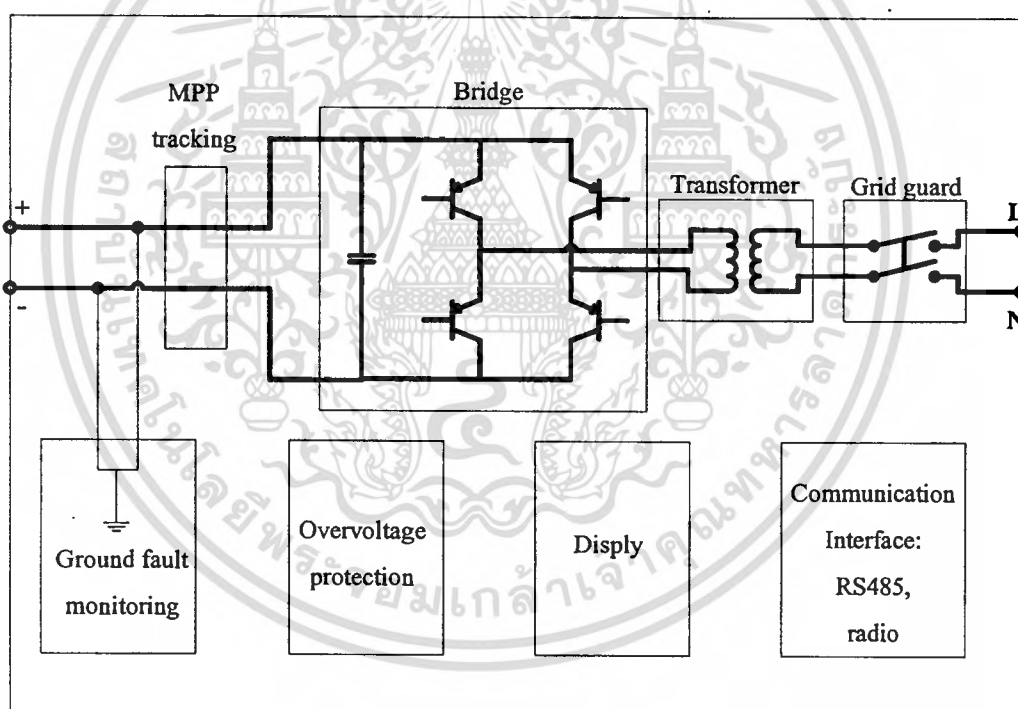
ค
รูปที่ 4.5 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ณ สถานที่ดำเนินการวิจัย

4.3 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ที่ใช้มีหลักการทำงานคือเมื่อได้รับไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ามาจะมีระบบตรวจจับจุดกำลังสูงสุด (Maximum Power Point Tracking, MPP) ถ้าไม่ถึงจุดที่กำหนดอินเวอร์เตอร์จะไม่ทำงาน ในที่นี้จะตรวจวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต้องอยู่ในช่วง 139-320 โวลต์ หลังจากได้แรงดันไฟฟ้าตามที่ต้องการจนสามารถทำให้อินเวอร์เตอร์ทำงานได้ก็จะทำการเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) แล้วส่งผ่านหม้อแปลงก่อนที่จะผ่านส่วนป้องกันและต่อกับระบบสายส่ง ซึ่งส่วนป้องกันและต่อกับระบบสายส่งนี้จะตรวจสอบเฟสความถี่ ตลอดจนแรงดันไฟฟ้าทั้งจากอินเวอร์เตอร์และสายส่งให้ทำงานไปพร้อมกัน นอกจากนี้ยังมีส่วนควบคุม ส่วนแสดงผล และส่วนส่งข้อมูลออก รูปวงจรแสดงการทำงานของอินเวอร์เตอร์แสดงดังรูปที่ 4.6 ส่วนข้อมูลทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์ตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์

Max. input voltage	$U_{DC\ max}$	400 V
Input voltage, MPP range	U_{PV}	139 V ... 320 V
Max. input current	$I_{PV, \max}$	10 A
Max. input power	P_{DC}	1210 W
Nominal output power	$P_{AC, \text{nom}}$	1000 W
Nominal output current	$I_{AC, \text{nom}}$	4.4 A
Nominal operating voltage	$U_{AC, \text{nom}}$	220 V / 230 V / 240 V
Nominal operating frequency	$F_{AC, \text{nom}}$	50 Hz / 60 Hz
Power factor (at nominal output power)	Cos phi	1



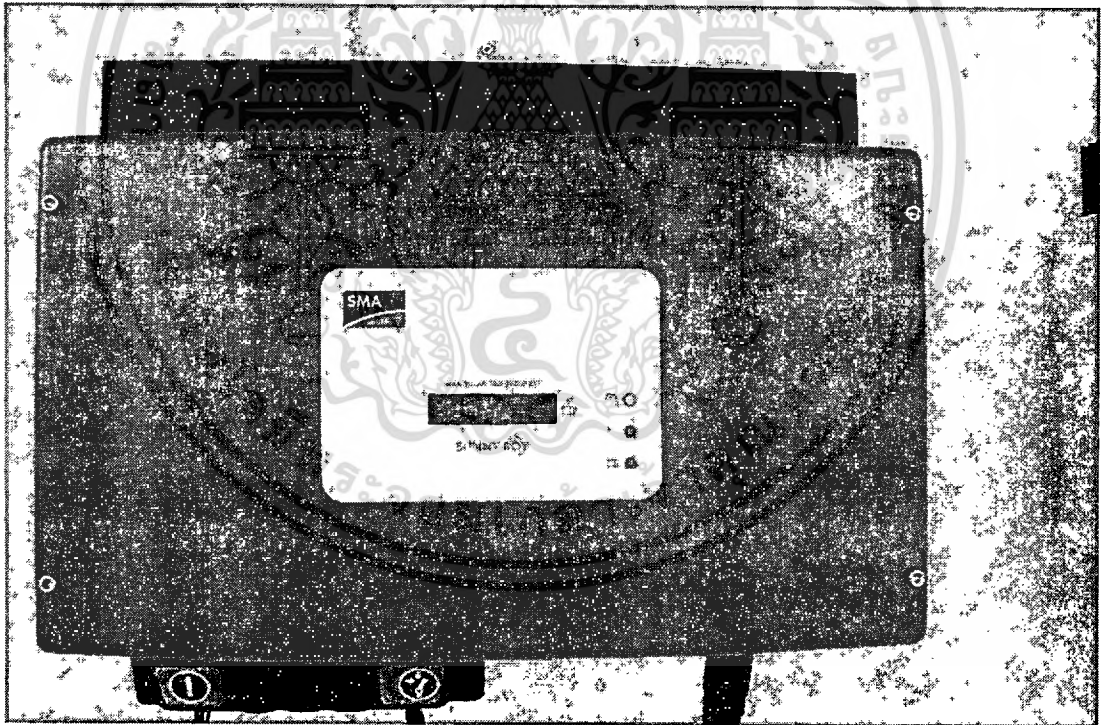
รูปที่ 4.6 วงจรการทำงานอินเวอร์เตอร์

การติดตั้งอินเวอร์เตอร์ ณ สถานที่ดำเนินการวิจัยแสดงดังรูปที่ 4.8 ก-ข ในส่วนหน้าจอแสดงผลของอินเวอร์เตอร์สามารถแสดงค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (P_{ac}) และแรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์ (V_{pv}) ดังรูปที่ 4.9 ก แสดงค่าพลังงานรวม(E_{total}) และค่าเวลารวม(h_{total}) ดังรูปที่ 4.9 ข และแสดงค่าพลังงานวันนี้ (E_{today}) และโหมดการทำงาน($Mode$) ดังรูปที่ 4.9 ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



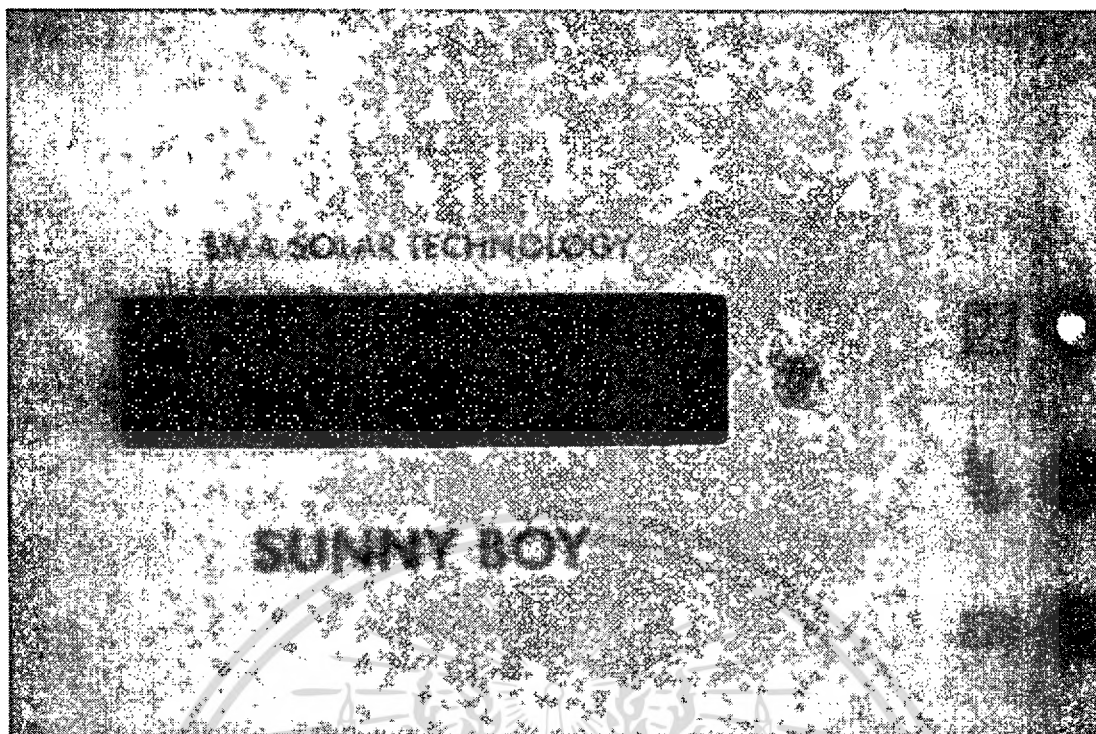
ก



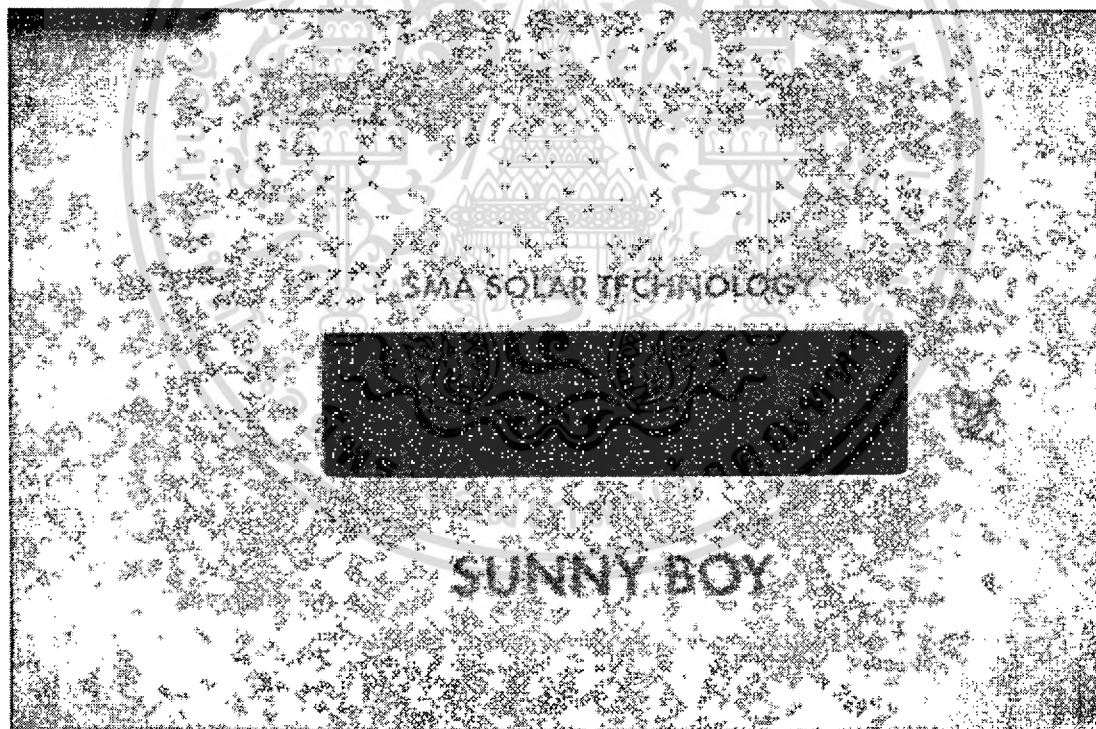
ข

รูปที่ 4.7 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์ ณ สถานที่ดำเนินการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

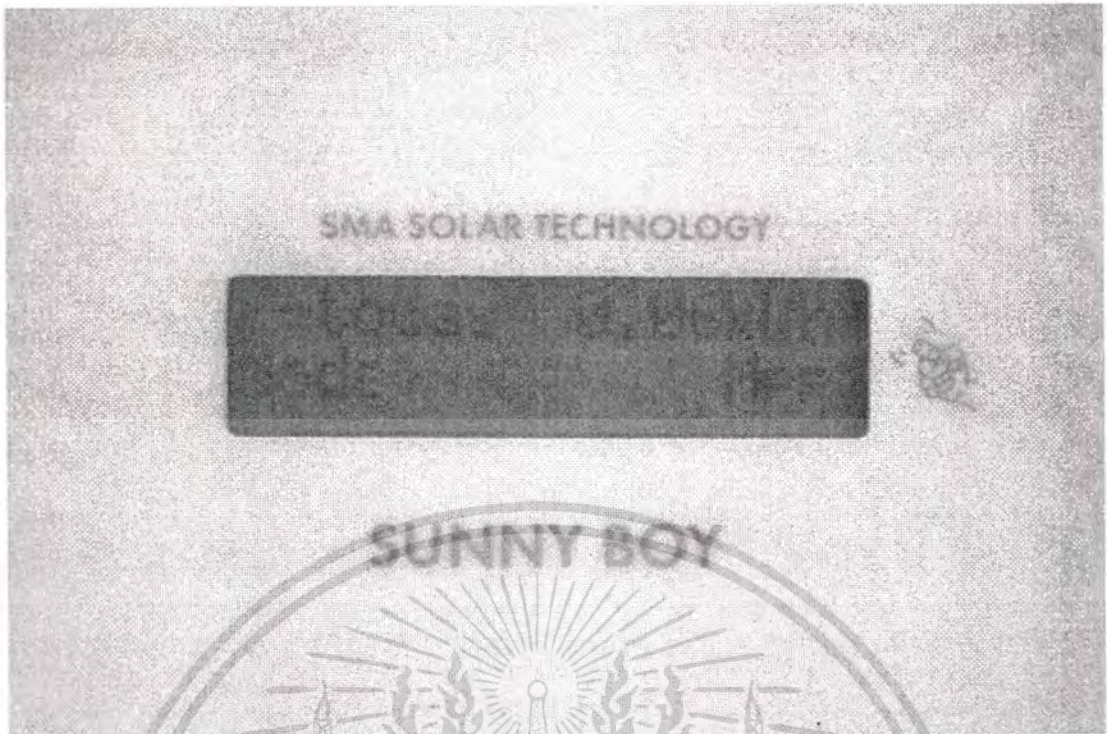


ก



ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ส่วนแสดงผลของอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.9 การติดตั้งกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์เข้ากับระบบ

ในรูปที่ 4.10 แสดงการติดตั้งกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์เข้ากับระบบเพื่อวัดพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งหมัดที่ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าสายส่งจ่ายให้กับภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดสอบระบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการเก็บบันทึกผลจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าสายส่งจากการติดตั้งและบันทึกผลจริง และนำผลมาวิเคราะห์เพื่อดูความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของระบบ

การดำเนินการติดตั้งระบบและต่อระบบเข้ากับสายส่งอย่างละเอียดเริ่มตั้งแต่วันที่ 30 สิงหาคม 2552

5.1 การบันทึกผล

ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูล

วัน/เดือน/ ปี	เวลา	อินเวอร์เตอร์ชุดที่...						
		E-total (kWh)	h-total (h)	Pac (W)	Uac (V)	Iac (mA)	Upv (V)	Ipv (mA)
...	04.00 น.	...	...	...	...	...	...	...
...
...	20.00 น.	...	...	...	...	...	...	...

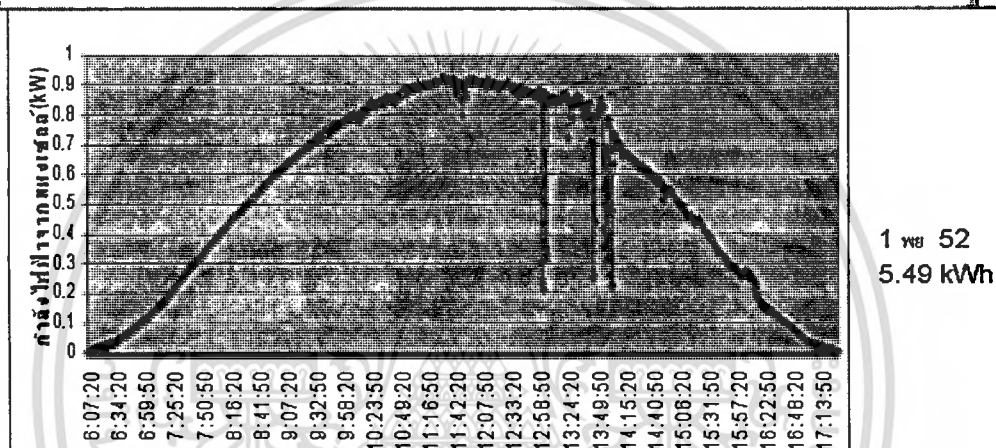
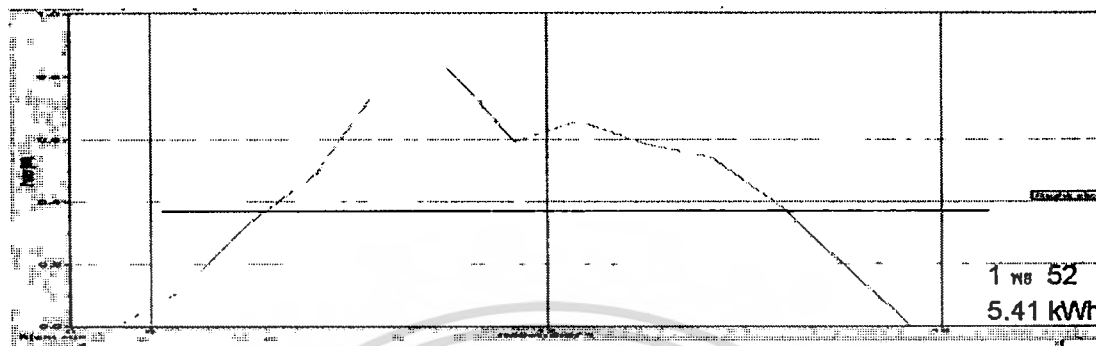
การบันทึกข้อมูลโดยละเอียดดังตารางที่ 5.1 แสดงตัวอย่างว่ามีข้อมูลใดบ้างที่ทำการบันทึก เริ่มตั้งแต่วันที่ทำการบันทึก เวลาที่ทำการบันทึกตั้งแต่ 04.00-20.00 น. เนื่องจากระบบนี้ไม่มีการเก็บพลังงานจึงทำงานช่วงที่มีแสงเท่านั้น ข้อมูลต่อมาคือชุดอินเวอร์เตอร์เนื่องจากระบบนี้ออกแบบให้มีแผงเซลล์และอินเวอร์เตอร์ 3 ชุดเพื่อจ่ายภาระ 3 เฟสของอาคารวิศวกรรมไฟฟ้า ข้อมูลจากชุดอินเวอร์เตอร์แต่ละชุดได้แก่ พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งหมด (E-total) หน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง และเวลารวมทั้งหมด (h-total) หน่วยเป็นชั่วโมง ซึ่งทั้ง 2 ข้อมูลนี้จะบันทึกตั้งแต่เริ่มการเชื่อมต่อระบบเข้ากับสายส่งวันแรกรวมมาเรื่อย ๆ จนถึงปัจจุบัน ข้อมูลต่อไปเป็นกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (Pac) หน่วยเป็นวัตต์ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (Uac) หน่วยเป็นโวลต์ กระแสไฟฟ้าสลับ (Iac) หน่วยเป็นมิลลิแอมป์ แรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์ (Upv) หน่วยเป็นโวลต์ และกระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์ (Ipv) หน่วยเป็นมิลลิแอมป์ โดยข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลที่เกิดขึ้นในขณะช่วงเวลาที่บันทึกผล การบันทึกข้อมูลบันทึกทุก 30 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

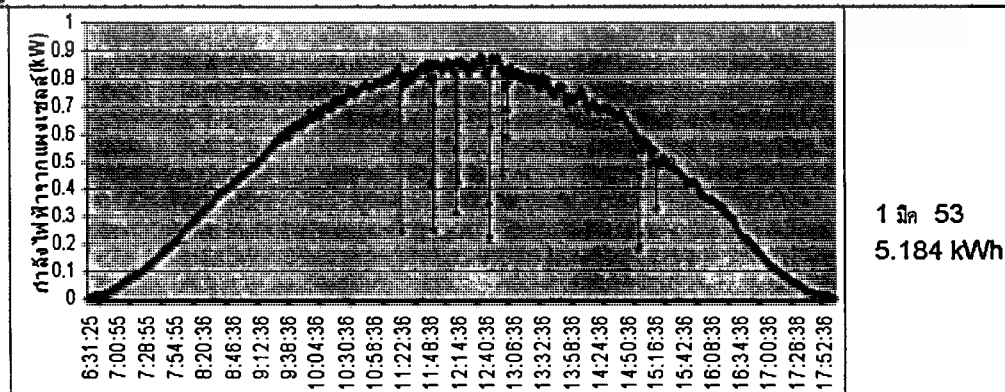
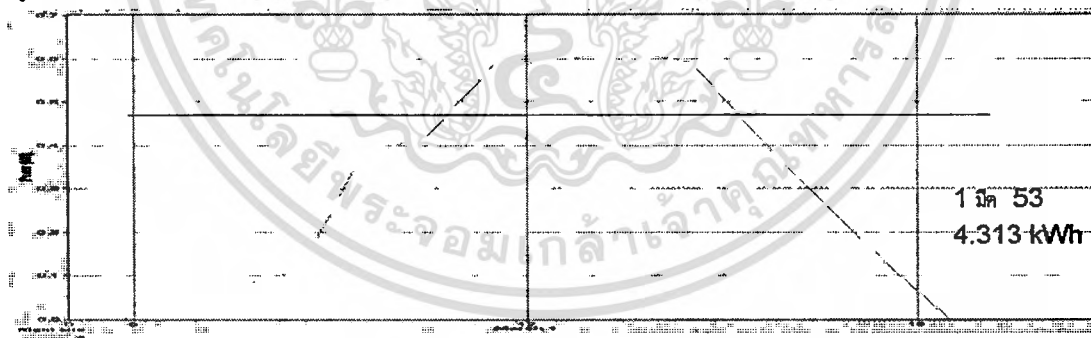
5.2 ผลจากการวัดเปรียบเทียบเกี่ยวกับผลการจำลอง

จากผลที่บันทึกนำไปเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังรูปที่

5.1-5.2



รูปที่ 5.1 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์ 1 พ.ย. 2552 ระหว่างผลการจำลองและค่าที่วัดจริง



รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์ 1 มี.ค. 2553 ระหว่างผลการจำลองและค่าที่วัดจริง

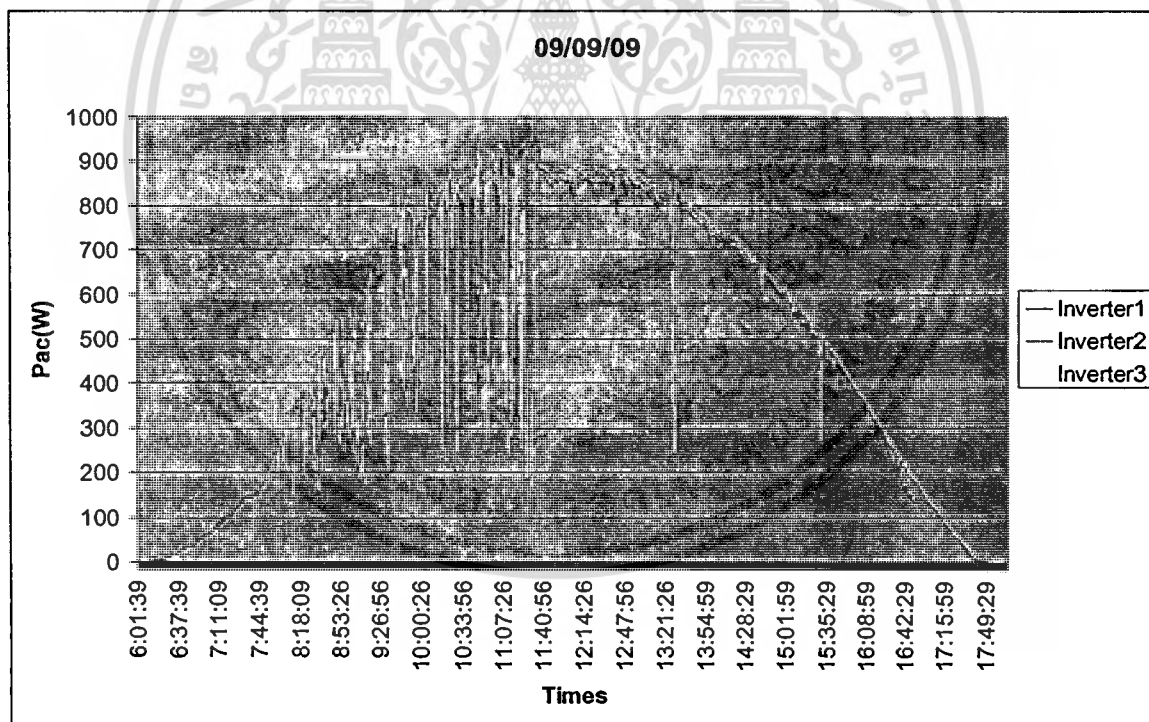
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์กับที่จำลองจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์วันที่ 1 พฤศจิกายนระหว่างผลการจำลองและค่าที่วัดจริงรูปบนจะเป็นผลจากการจำลองส่วนรูปข้างล่างจะเป็นผลการวัดจริง ค่าพลังงานจากการจำลองมีค่า 5.41 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าที่วัดจริงมีค่า 5.49 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน

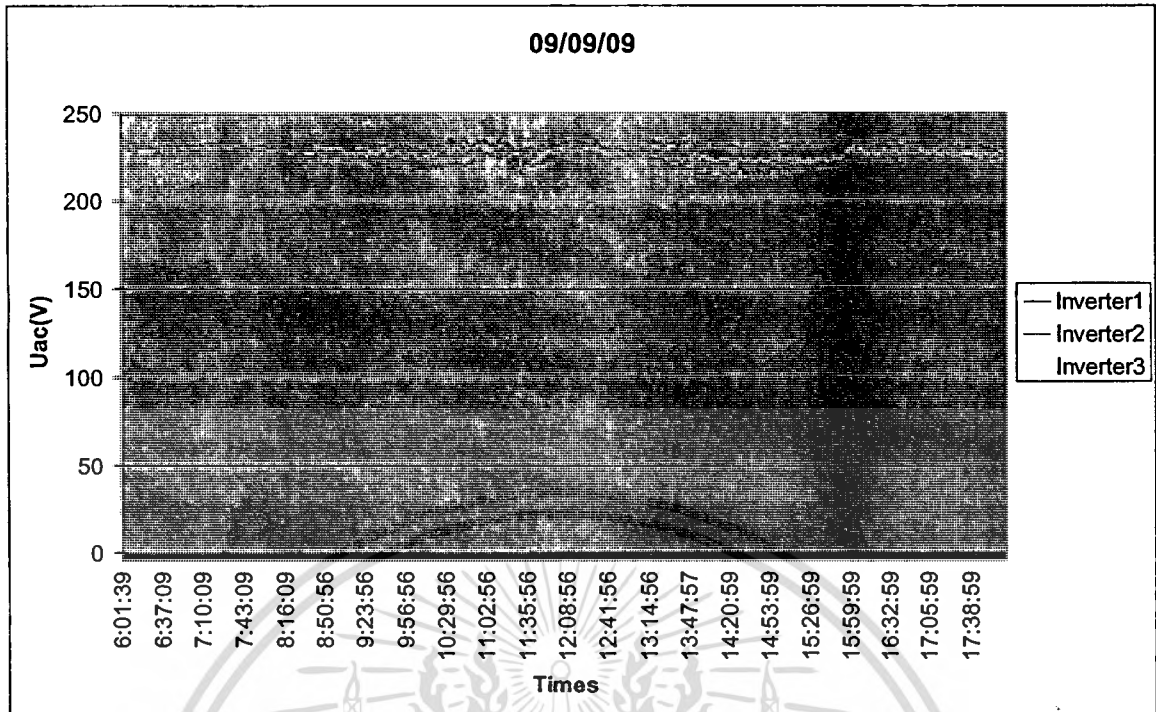
รูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์วันที่ 1 มีนาคมระหว่างผลการจำลองและค่าที่วัดจริง ค่าพลังงานจากการจำลองมีค่า 4.31 กิโลวัตต์ชั่วโมง ค่าที่วัดจริงมีค่า 5.18 กิโลวัตต์ชั่วโมงซึ่งมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลจากสภาพอากาศจริงในสถานที่จริงแตกต่างจากข้อมูลสภาพอากาศของช่วงจำลองผล

5.3 ผลของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

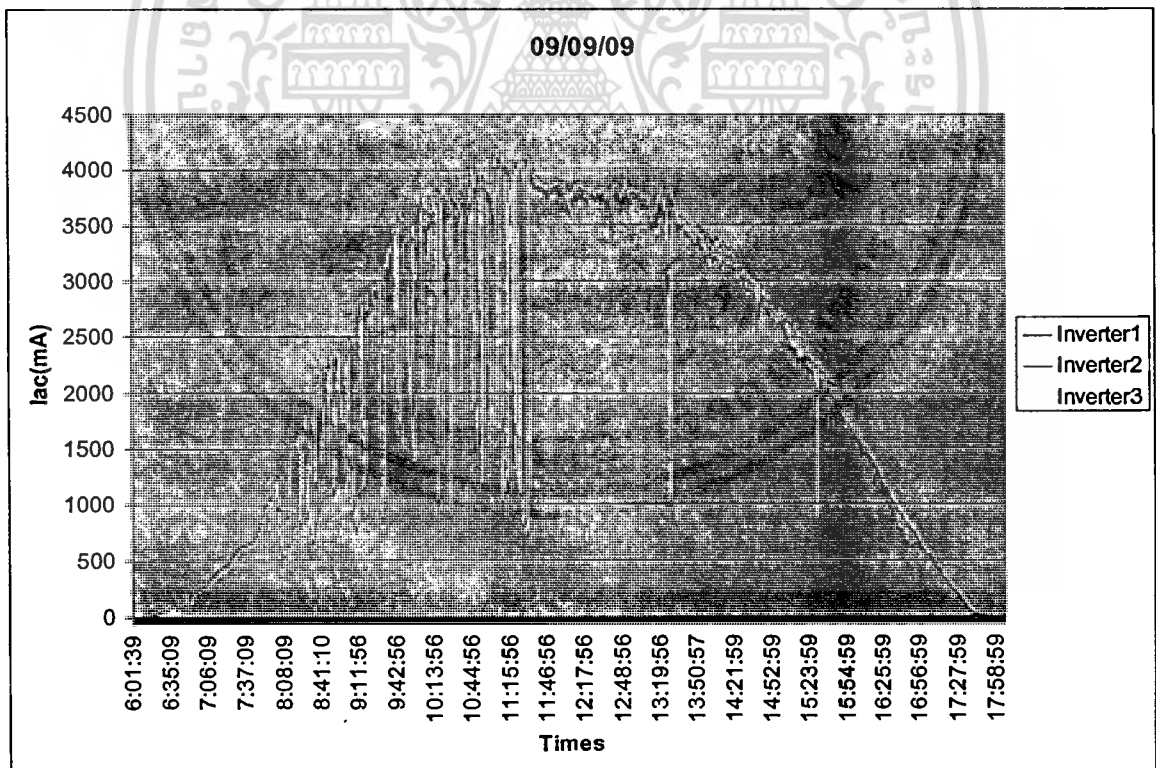
นำข้อมูลใน 1 วันจากอินเวอร์เตอร์ทั้ง 3 จุดเปรียบเทียบกันทั้งกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์ และกระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์ ดังรูปที่ 5.3-5.7 ซึ่งค่าที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ทั้ง 3 จุดมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 5.3 กำลัง ไฟฟ้ากระแสสลับของอินเวอร์เตอร์ทั้ง 3 จุด ในวันที่ 9 กันยายน 2552



รูปที่ 5.4 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของอินเวอร์เตอร์ทั้ง 3 ชุด ในวันที่ 9 กันยายน 2552



รูปที่ 5.5 กระแสไฟฟ้ากระแสสลับของอินเวอร์เตอร์ทั้ง 3 ชุด ในวันที่ 9 กันยายน 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

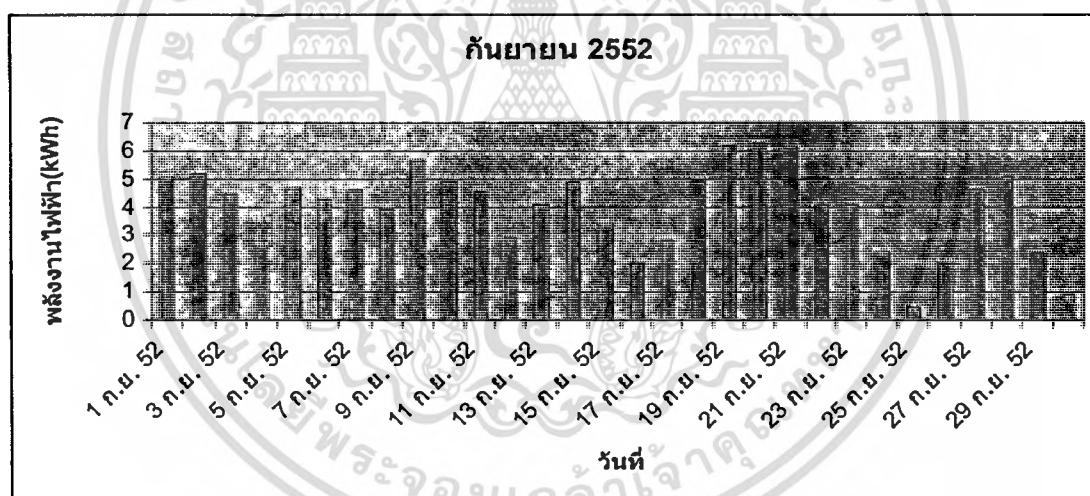
แต่ละช่วงเวลา กำลังไฟฟ้าสูงสุดของวันประมาณ 800-900 วัตต์อยู่ในช่วงเวลา 10.00-14.00 น. ในวันดังกล่าวเป็นวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ไม่มีฝนตกหรือเมฆมากนัก

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากอินเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 5.4 มีค่าค่อนข้างคงที่ตั้งแต่ช่วงเวลาที่อินเวอร์เตอร์เริ่มทำงานจนหยุดทำงาน โดยแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมาประมาณ 220-230 โวลต์

กระแสไฟฟ้ากระแสสลับจากอินเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 5.5 เส้นกราฟจะมีรูปร่างตามกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ ก็จะเปลี่ยนแปลงตามแสงแต่ละช่วงเวลา กระแสไฟฟ้าสูงสุดมีค่าประมาณ 4,000 มิลลิแอมป์

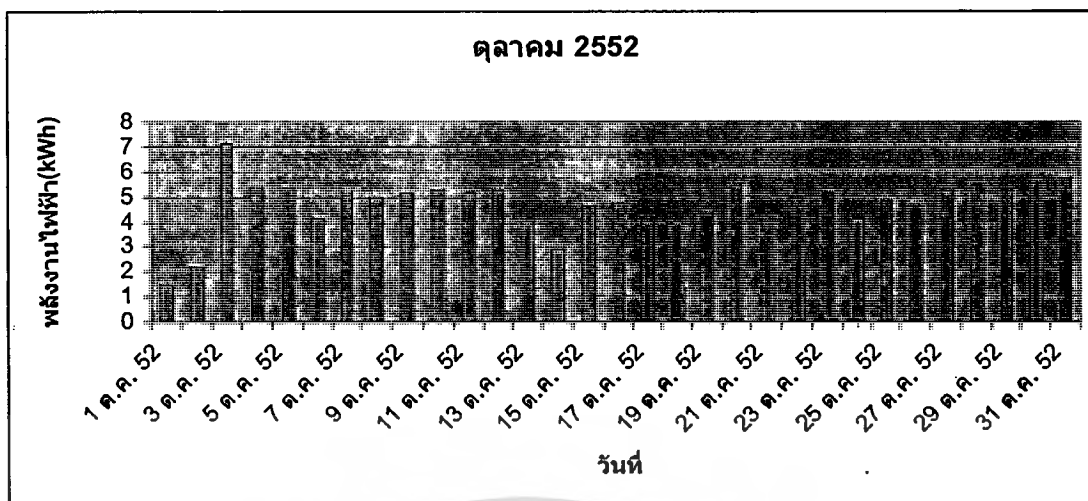
แรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์ ดังรูปที่ 5.6 แผงเซลล์จะพยายามรักษาแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกจากแผงเซลล์ให้คงที่ แต่ถึงอย่างนั้นในช่วงเวลาที่แสงค่อนข้างน้อยแรงดันไฟฟ้าก็ยังตกลงมาจากค่าสูงสุดพอสมควร โดยแรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์สูงสุดมีค่าประมาณ 200 โวลต์

กระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์ ดังรูปที่ 5.7 เส้นกราฟที่ได้มีรูปร่างคล้ายเส้นกราฟของกำลังไฟฟ้ากระแสสลับจากอินเวอร์เตอร์ และกระแสไฟฟ้ากระแสสลับจากอินเวอร์เตอร์จะเปลี่ยนแปลงตามแสงในแต่ละช่วงเวลา โดยค่ากระแสจากแผงสูงสุดมีค่าประมาณ 5,000-5,500 มิลลิแอมป์

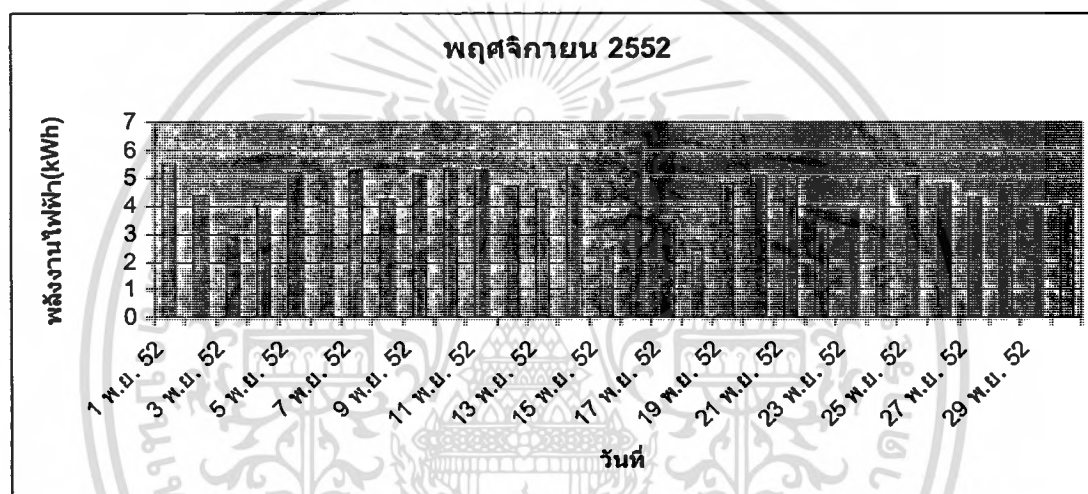


รูปที่ 5.8 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนกันยายน 2552

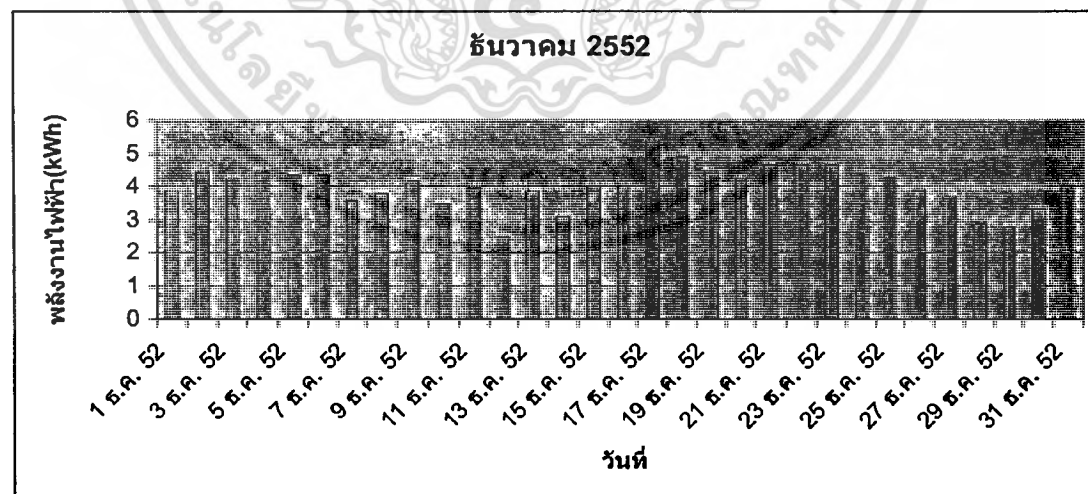
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนตุลาคม 2552

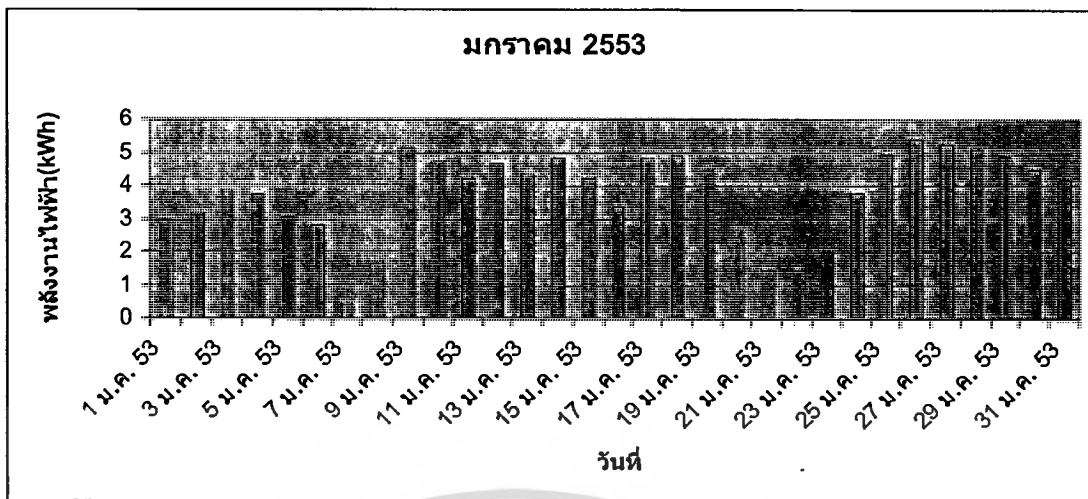


รูปที่ 5.10 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนพฤศจิกายน 2552

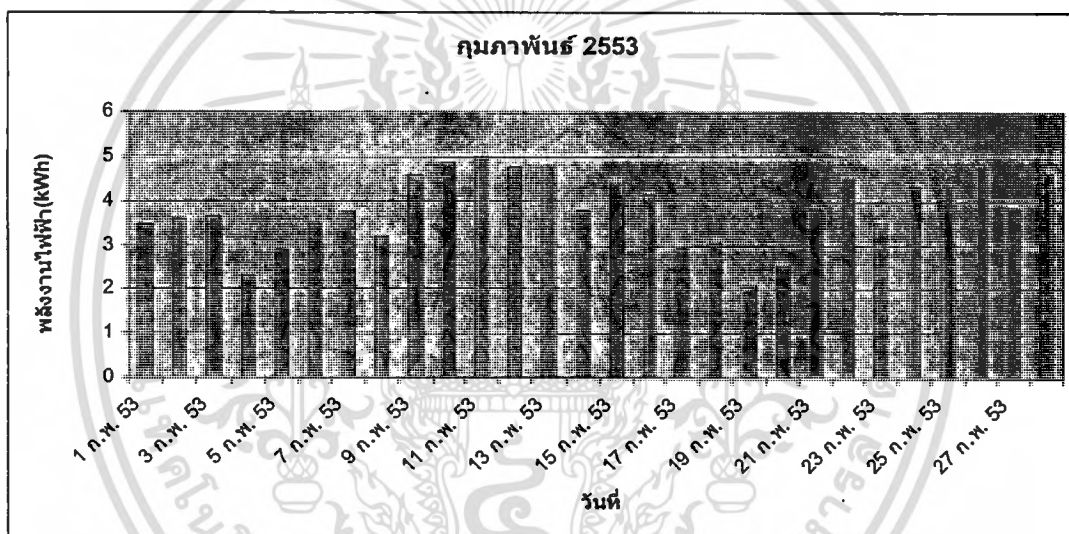


รูปที่ 5.11 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนธันวาคม 2552

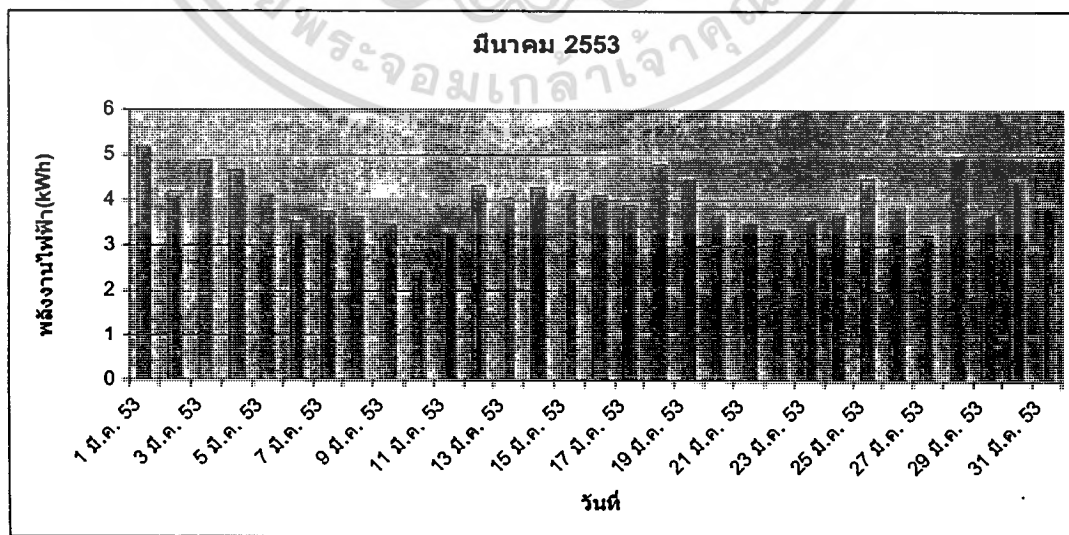
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนมกราคม 2553

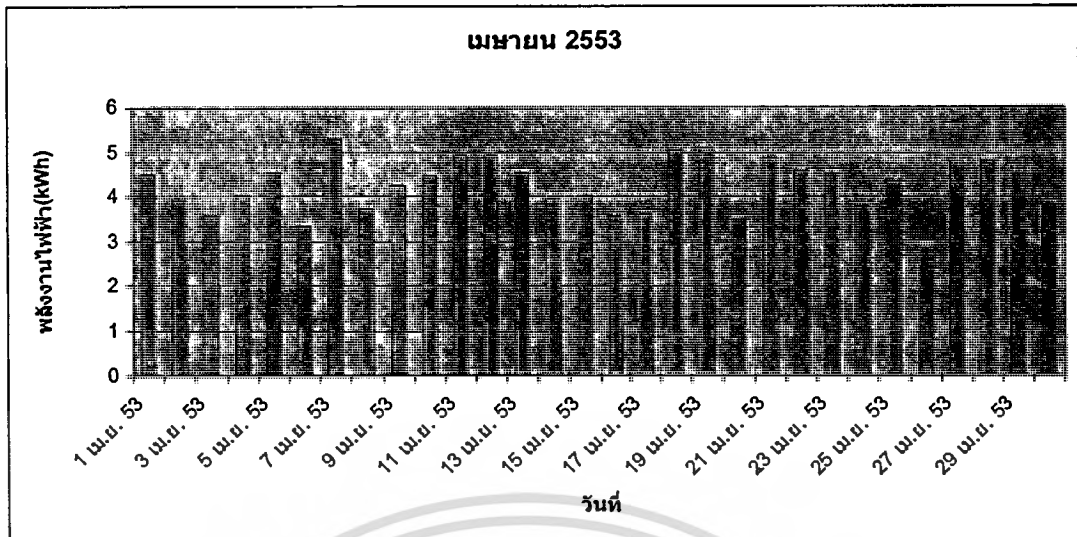


รูปที่ 5.13 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนกุมภาพันธ์ 2553

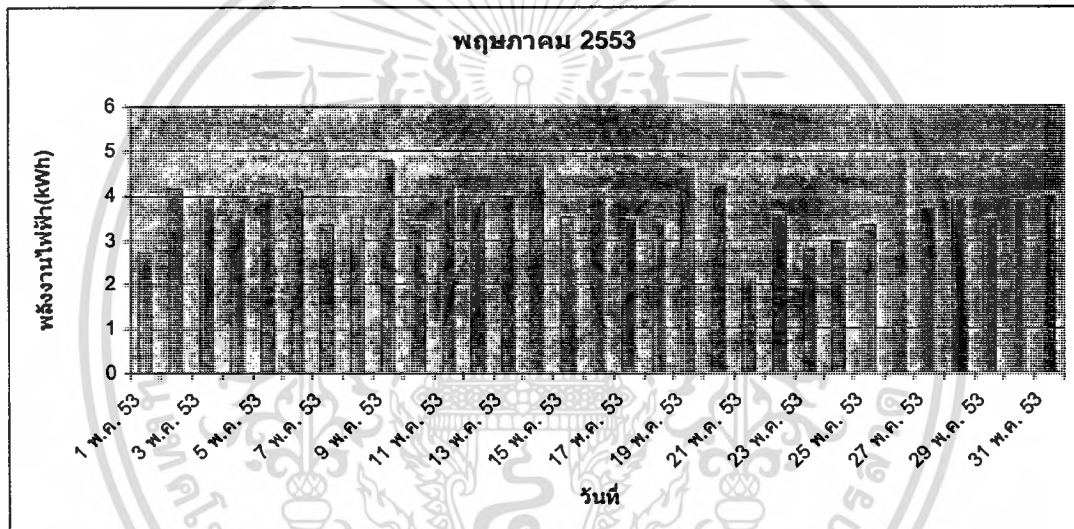


รูปที่ 5.14 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนมีนาคม 2553

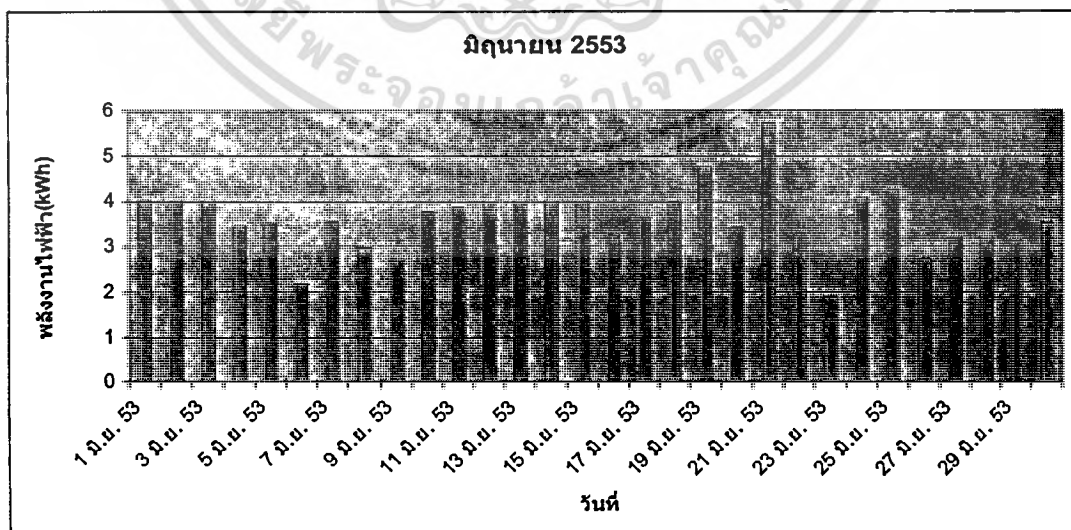
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนเมษายน 2553

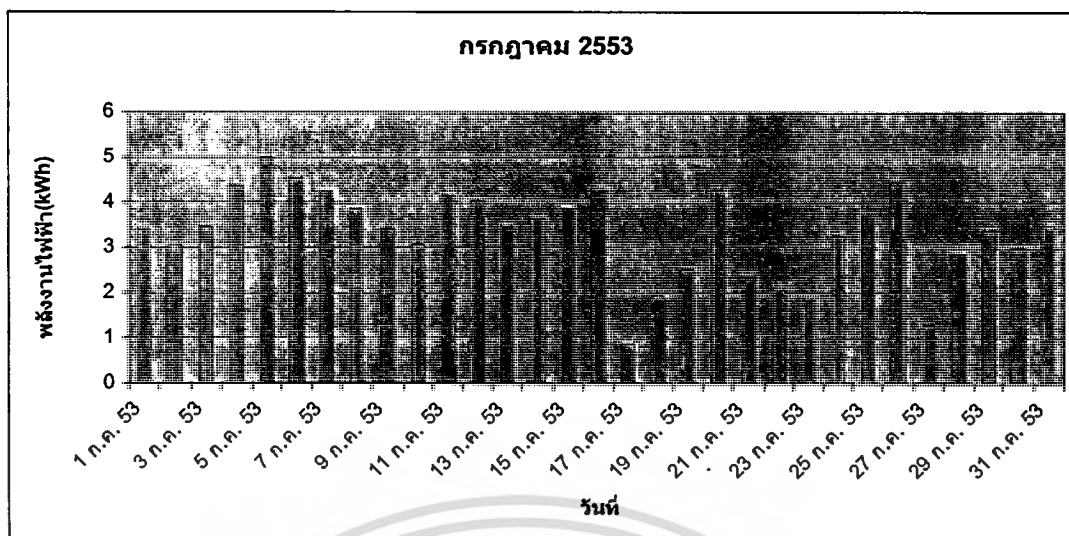


รูปที่ 5.16 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนพฤษภาคม 2553

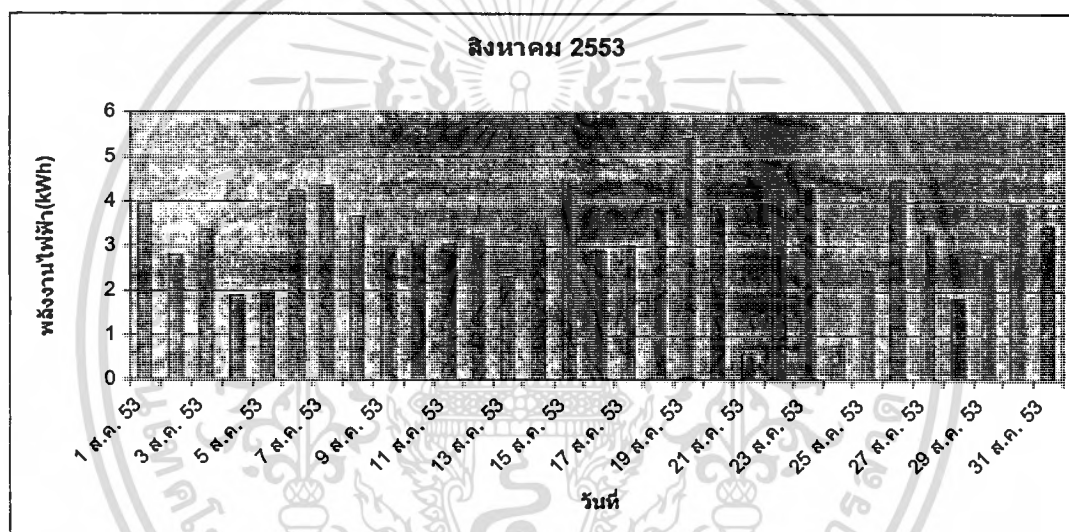


รูปที่ 5.17 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนมิถุนายน 2553

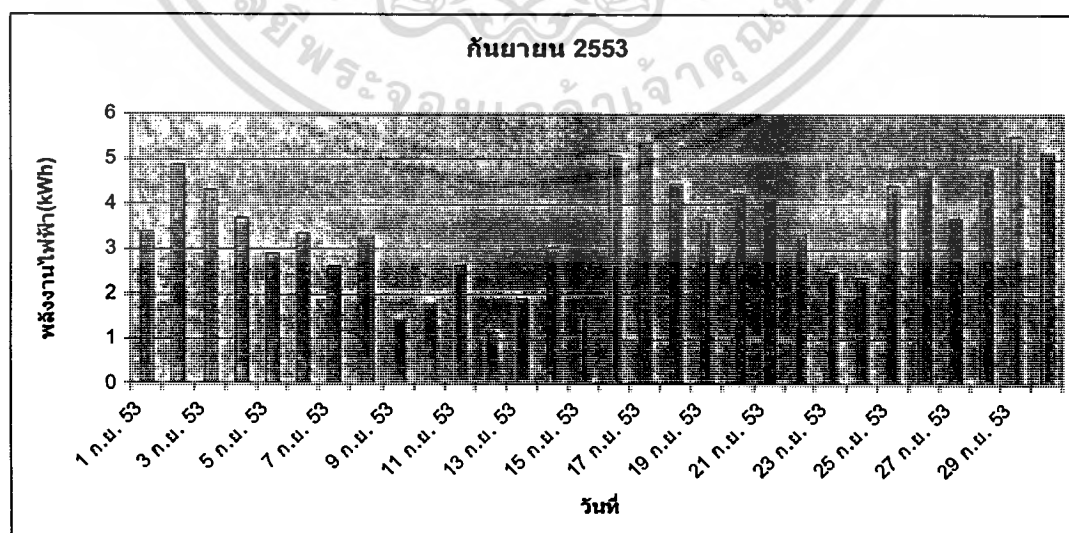
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนกรกฎาคม 2553

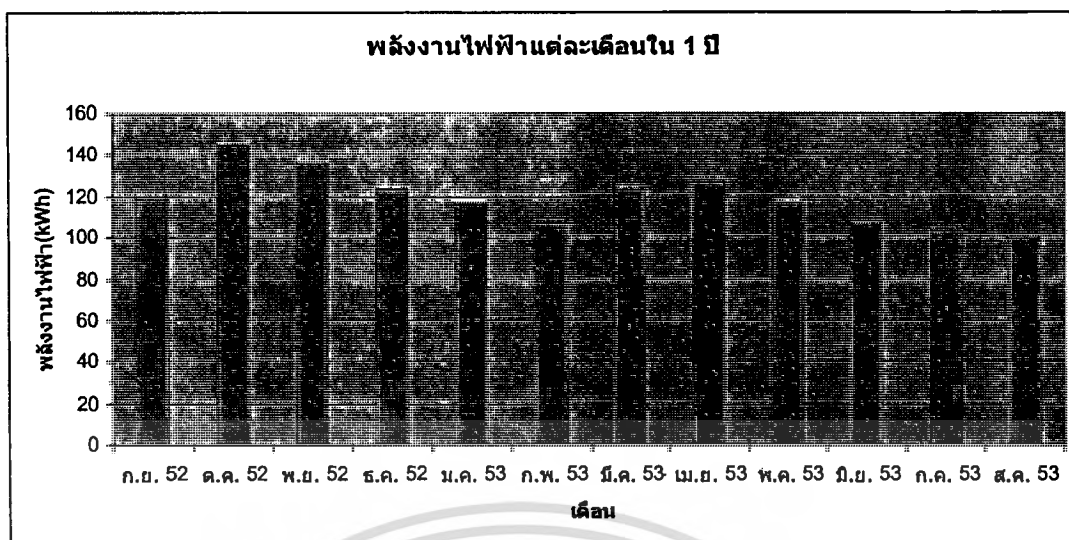


รูปที่ 5.19 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนสิงหาคม 2553

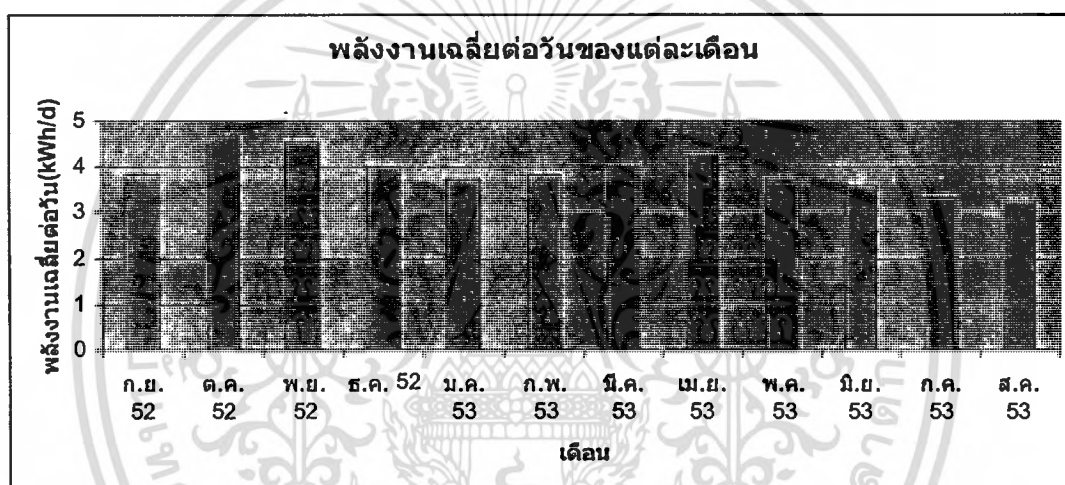


รูปที่ 5.20 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของเดือนกันยายน 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 พลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของแต่ละเดือนใน 1 ปี



รูปที่ 5.22 พลังงานเฉลี่ยต่อวันของแต่ละเดือนในรอบ 1 ปี

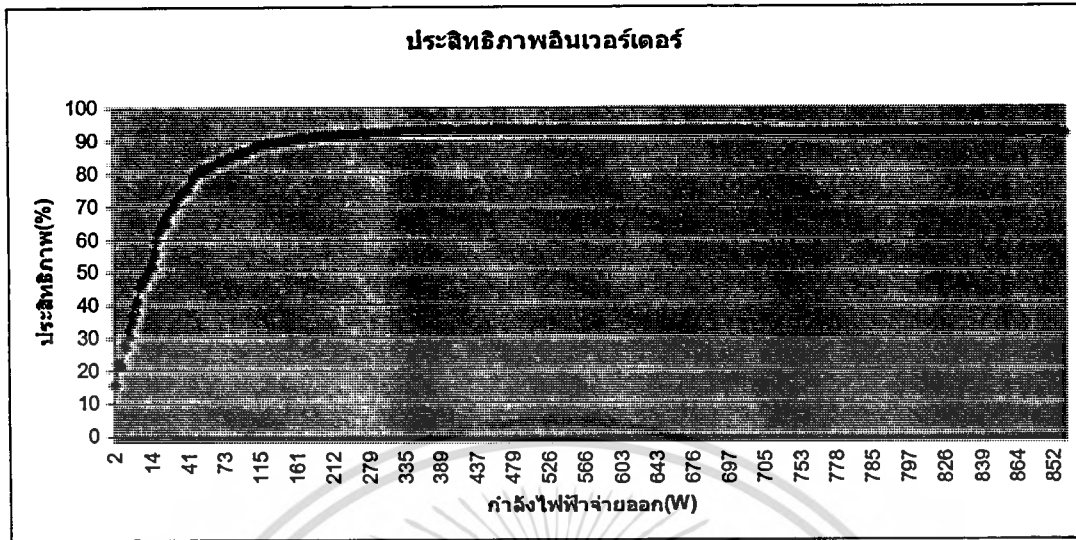
ในรูปที่ 5.8-5.20 เป็นการแสดงพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบเปรียบเทียบแต่ละวัน ในแต่ละเดือนเป็นพลังงานที่ผลิตได้รวมของแต่ละวัน โดยมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวันจะเห็นว่าที่มีพลังงานไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 7.138 กิโลวัตต์ชั่วโมงคือวันที่ 3 ตุลาคม 2552 ส่วนวันที่มีพลังงานต่ำสุดมีค่า 0.434 กิโลวัตต์ชั่วโมงคือวันที่ 7 มกราคม 2553

ในรูปที่ 5.21 เป็นพลังงานไฟฟ้าจ่ายออกจากระบบของแต่ละเดือนใน 1 ปี ส่วนในรูปที่ 5.22 เป็นพลังงานเฉลี่ยต่อวันของแต่ละเดือนในรอบ 1 ปี ซึ่งพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันในแต่ละเดือนสูงสุดมีค่า 4.683 กิโลวัตต์ชั่วโมงอยู่ในเดือนตุลาคม 2552 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูหนาว พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันในแต่ละเดือนต่ำสุดมีค่า 3.239 กิโลวัตต์ชั่วโมงอยู่ในเดือนสิงหาคม 2553 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน จากค่าพลังงานจากการออกแบบจากแผงเซลล์แต่ละชุดขนาด 1 กิโลวัตต์ คือ 3.75 กิโลวัตต์ชั่วโมง (3.75 หน่วย) ต่อวัน จะเห็นบางวันพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าค่าความต้องการ แต่ในวันอื่นจะมีค่ามากกว่าค่อนข้างมาก เมื่อเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าประมาณ 4 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวันซึ่งสูงกว่าค่าความต้องการขั้นต่ำพอสมควร

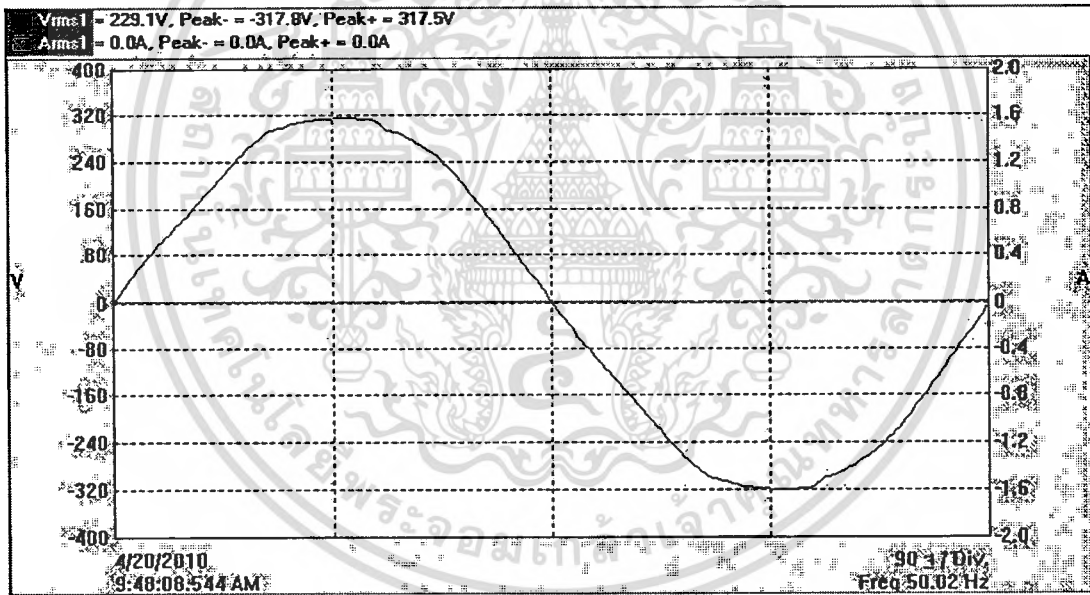
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์

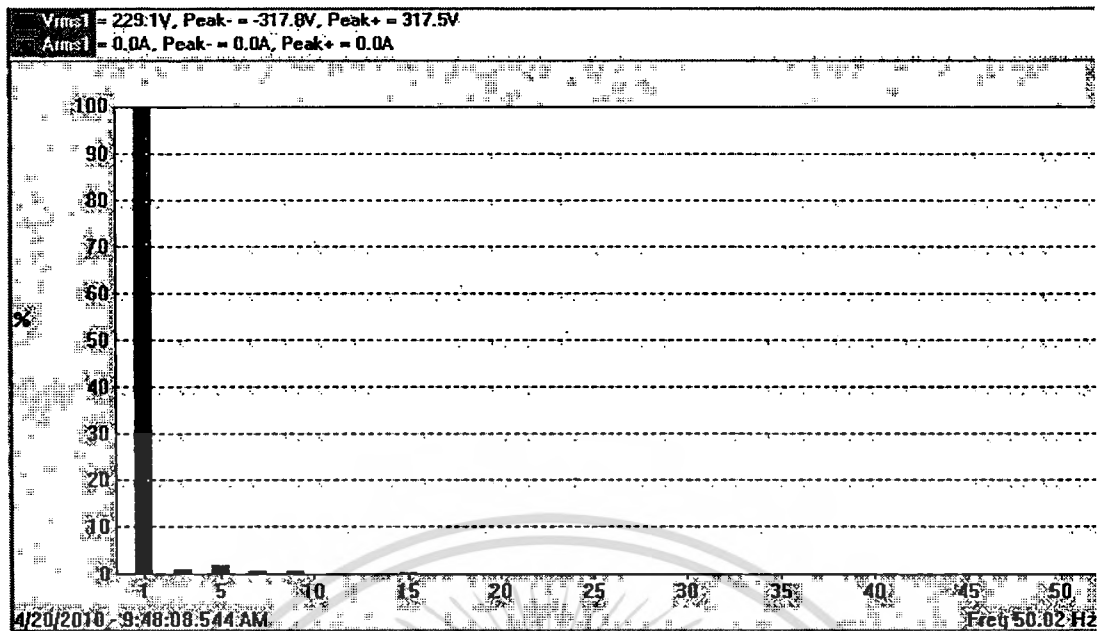


รูปที่ 5.23 ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์

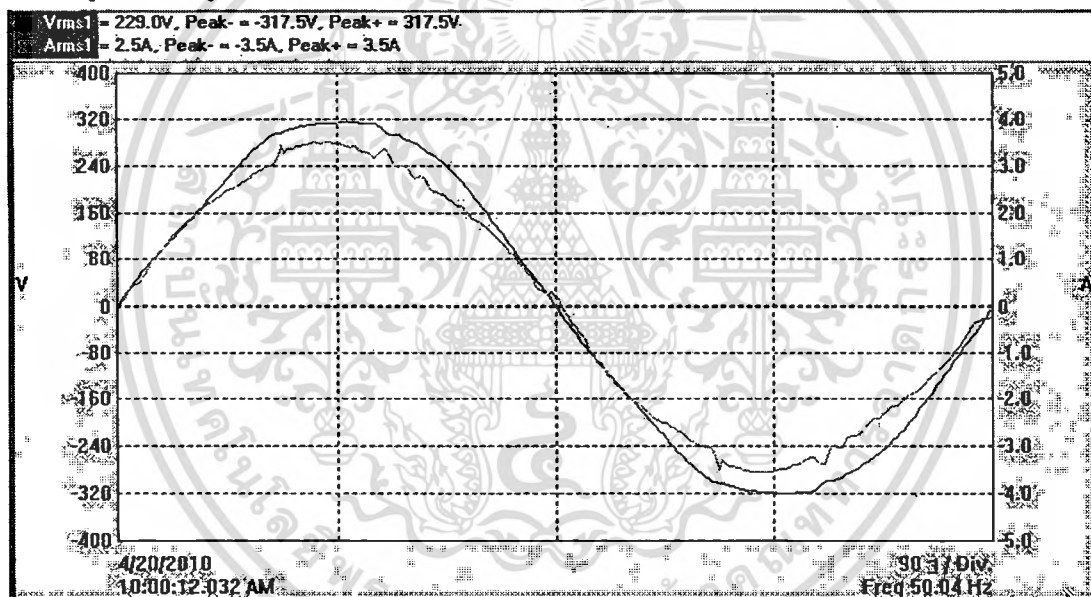


รูปที่ 5.24 รูปคลื่นแรงดันก่อนต่อระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

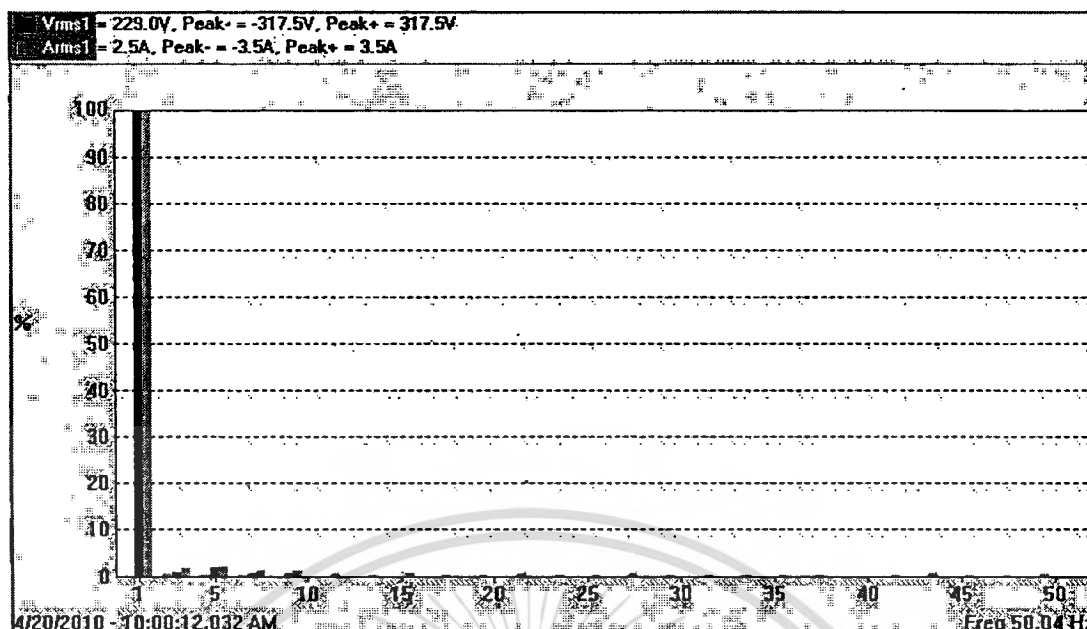


รูปที่ 5.25 รูปแท่งฮาร์มอนิกส์แรงดันก่อนต่อระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสายส่ง



รูปที่ 5.26 รูปคลื่นแรงดันและกระแสหลังต่อระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.27 รูปแท่งฮาร์มอนิกส์แรงดันและกระแสหลังต่อระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสายส่ง

ในรูปที่ 5.23 แสดงประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์เปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายออกจากระบบซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุด 93.2 %

ในรูปที่ 5.24 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสก่อนต่อระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสายส่งซึ่งจะมีเฉพาะรูปคลื่นแรงดันของสายส่ง ส่วนในรูปที่ 5.24 แสดงรูปแท่งฮาร์มอนิกส์แรงดันและกระแสก่อนต่อระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสายส่งซึ่งจะมีเฉพาะฮาร์มอนิกส์ของแรงดันเช่นเดียวกัน

ในรูปที่ 5.25 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสหลังต่อระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสายส่งซึ่งรูปคลื่นแรงดันไม่ค่อยแตกต่างจากตอนก่อนต่อระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสายส่ง แต่ขณะนี้มีกระแสไหลเข้าสายส่งซึ่งรูปคลื่นกระแสมีความผิดเพี้ยนพอสมควร ส่วนในรูปที่ 5.26 แสดงรูปแท่งฮาร์มอนิกส์แรงดันและกระแสหลังต่อระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสายส่ง ซึ่งรูปแท่งฮาร์มอนิกส์แรงดันไม่แตกต่างจากก่อนต่อระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสายส่ง จะมีรูปแท่งฮาร์มอนิกส์กระแสที่เพิ่มเข้ามา

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ศักยภาพระบบไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าสายส่งว่ามีความคุ้มค่าหรือไม่ และสรุปผลระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าสายส่งที่ได้ทดสอบ

6.1 ขอบเขตการวิจัย

สรุปขอบเขตการวิจัยทั้งสถานที่ ระบบการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และขนาดของระบบได้ดังนี้

- สถานที่ดำเนินการวิจัย ที่อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร ซึ่งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย ละติจูด 17 องศา 21 ลิปดาเหนือ ลองจิจูด 103 องศา 42 ลิปดาตะวันออก ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ที่ตั้งสถานที่วิจัยจาก Google map

- ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เลือกใช้คือระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าสายส่ง
- ขนาดของระบบไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์คือ 1 กิโลวัตต์
- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เลือกใช้คือแบบอะมอร์ฟัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ศักยภาพระบบไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าสายส่งในจังหวัดสกลนคร

จากผลการทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบต่อเข้าสายส่งขนาด 1 กิโลวัตต์ จะนำไปวิเคราะห์ถึงศักยภาพการจัดสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงแบบต่อเข้าสายส่งในจังหวัด สกลนคร

6.2.1 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

จากระบบที่ทดสอบขนาด 1 กิโลวัตต์เป็นเวลา 1 ปีสามารถสรุปความสามารถในการผลิต ไฟฟ้าได้ดังนี้

- ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 4 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) ต่อวัน
- พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งปีได้ 1,427.6 กิโลวัตต์ชั่วโมง
- พลังงานเฉลี่ยต่อวันในแต่ละเดือนสูงสุดมีค่า 4.683 กิโลวัตต์ชั่วโมงในเดือนตุลาคม 2552 ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว
- พลังงานเฉลี่ยต่อวันในแต่ละเดือนค้ำมีค่า 3.239 กิโลวัตต์ชั่วโมงในเดือนสิงหาคม 2553 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน

6.2.3 การขายพลังงานไฟฟ้า

- ปีที่ 1-10 ถ้าคิดอัตราขายพลังงานไฟฟ้า 3 บาทต่อหน่วยและในส่วนบวกเพิ่มอีก 8 บาทต่อ หน่วย รวมเป็น 11 บาทต่อหน่วย คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า 15,703.6 บาทต่อปี
- ปีที่ 11-20 อัตราขายพลังงานไฟฟ้า 3 บาทต่อหน่วย คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า 4,282.8 บาท ต่อปี

หมายเหตุ เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่ยังไม่ได้พิจารณาปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์อื่น ๆ

6.3 ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็น

1. ควรพิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าโดยมีการติดตั้งระบบการ วดอุณหภูมิ พร้อมทั้งบันทึกค่าตลอดทั้งปี และนำข้อมูลที่ได้้นั้นมาใช้ทำการวิเคราะห์ ร่วมกับผลของค่าพลังงานที่มีระบบการบันทึกข้อมูลไว้แล้ว
2. ควรพิจารณาศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์ แสงอาทิตย์ให้เพิ่มขึ้นโดยการปรับมุมเอียงรับแสงอย่างง่ายและใช้พลังงานน้อย

บรรณานุกรม

- [1] Roth W., **Principles of System Configuration and Application Potential**. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Course book for the seminar, PV Systems; Freiburg, 1995. pg. 1-42.
- [2] Roth W., **Prinzipieller Aufbau photovoltaischer Energieversorgungssysteme**. Schmid J., Photovoltaik, Strom aus der Sonne, Technologie, Wirtschaftlichkeit und Marktentwicklung, Heiderberg: Müller, 1999. pg. 108-116.
- [3] Institut für Solare Energieversorgungstechnik, **Jahresbericht 1998**, Kassel
- [4] Dach M., Konzipierung eines Meßsystems zur energetischen Analyse von AC- und DC-Kopplung des PV-Generators bei Hybridsystemen. Diplomarbeit, Kassel, 2001. pg. 29-30.
- [5] Naphat Wajanathepin, Monitoring System for On-line PV Production System. <http://netapp.nbk.rmutp.ac.th/division/wtc/comnet/w4.pdf>, 2548.
- [6] Boonyang Plangklang, **Teaching note for Advanced Topics in Electrical Engineering**. 2550.
- [7] J. Schmid, **Photovoltaic systems Technology**. teaching script, IEE-RE, University of Kassel, Germany, 2002.
- [8] N.Ketjoy, **MiniGrid System (Thai-language)**. Naresuan University, Thailand, 2003.
- [9] Ladener H., **Solare Stromversorgung: Grundlagen, Planung**. Anwendung, Freiburg, ökobuch Verlag, 1996. pg. 153-182.
- [10] Kaiser R., **Sizing photovoltaic systems**. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Course book for the seminar, Photovoltaic Systems, Freiburg, 1995. pg. 403-440.
- [11] METEONORM 4.0, **Global Meteorological Database for Solar Energy and Applied Meteorology**. Bern, Switzerland.
- [12] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (<http://www2.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm>)



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Construction Drawing.

REVISION HISTORY		
DRAWING NO.	DESCRIPTION	DATE

Serial Number

- ① Glass Substrate. Clear Float Glass.
- ② Glass superstrate. Transparent Conductive Oxide Glass.
- ③ Contact and Current Bus Band.
- ④ Encapsulant Material.
- ⑤ Moulding Boot.
- ⑥ Silicone Potting.
- ⑦ Silicone Cable.
- ⑧ Aluminium Bracket Alloy 6063.
- ⑨ Silicone Adhesive Material for Bracket.
- ⑩ Label.
- ⑪ Diode.
- ⑫ Cable Fixed Base.
- ⑬ Silicone Adhesive for Cable Fixed Base.

1.5 sq.mm. silicone insulated wire each 450 mm. long.

Nylon locking nut maximum torque 5.8 Newton-meters

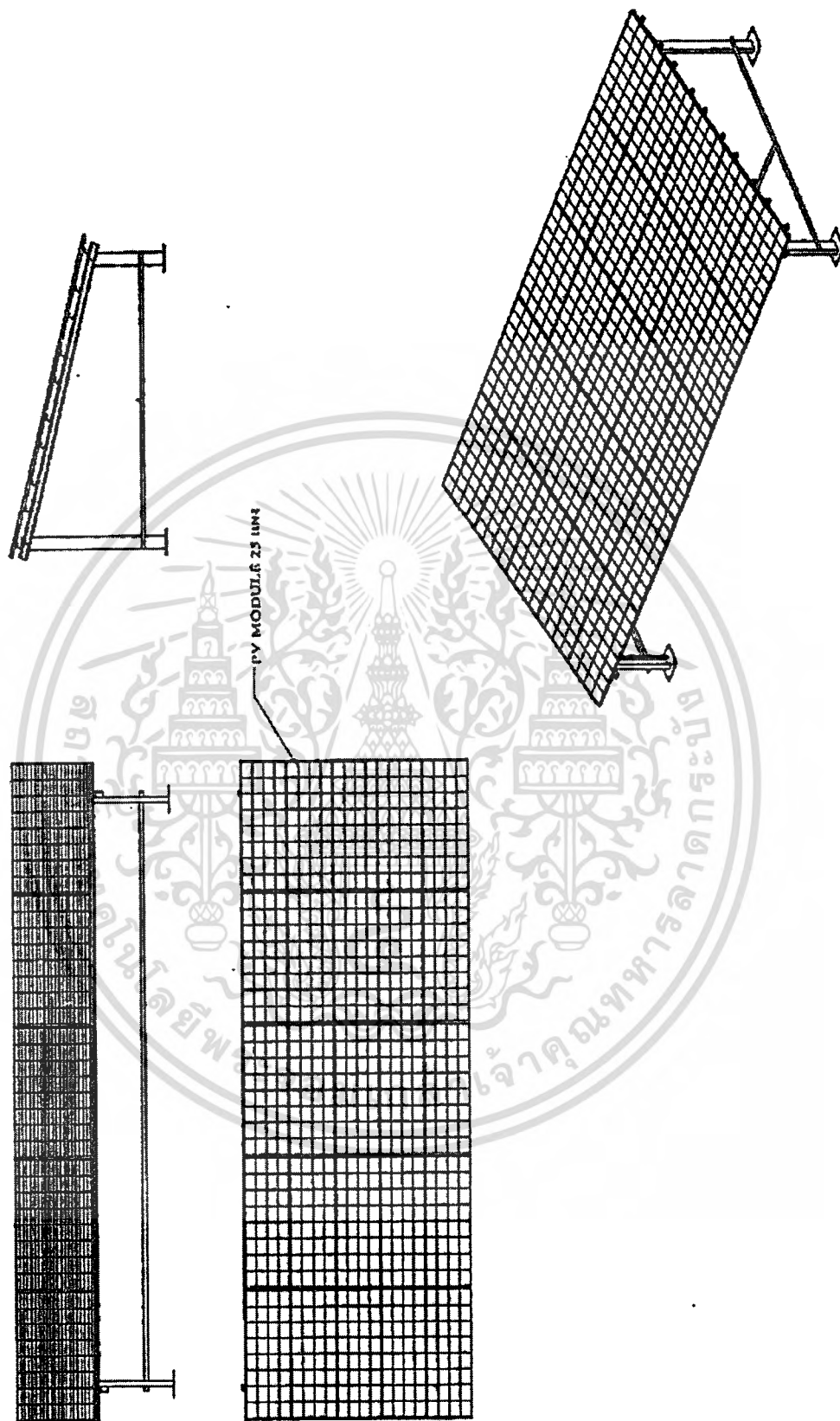
Mounting designed to hold a hex head bolt M5 head or 6 mm. with 10 mm. head

The electrical characteristics are within ±10 percent of the indicated values of Isc, Voc, Im and Pm under Standard Test Conditions [STC : Irradiance of 1000 W/m², AM 1.5 spectrum and a cell temperature of 25 °C (77 °F)]

Nominal Power (W)	Operating Voltage (V)	Operating Current (A)	Open Circuit Voltage (V)	Short Circuit Current (A)	Maximum series fuse (A)	Max. system voltage (V)	Dimensions (mm. x mm.)	Minimum Weight (kg.)	Total area (m ²)
40.0	44.8	0.93	62.2	1.14	4	600	635 x 1245	13.5	0.79

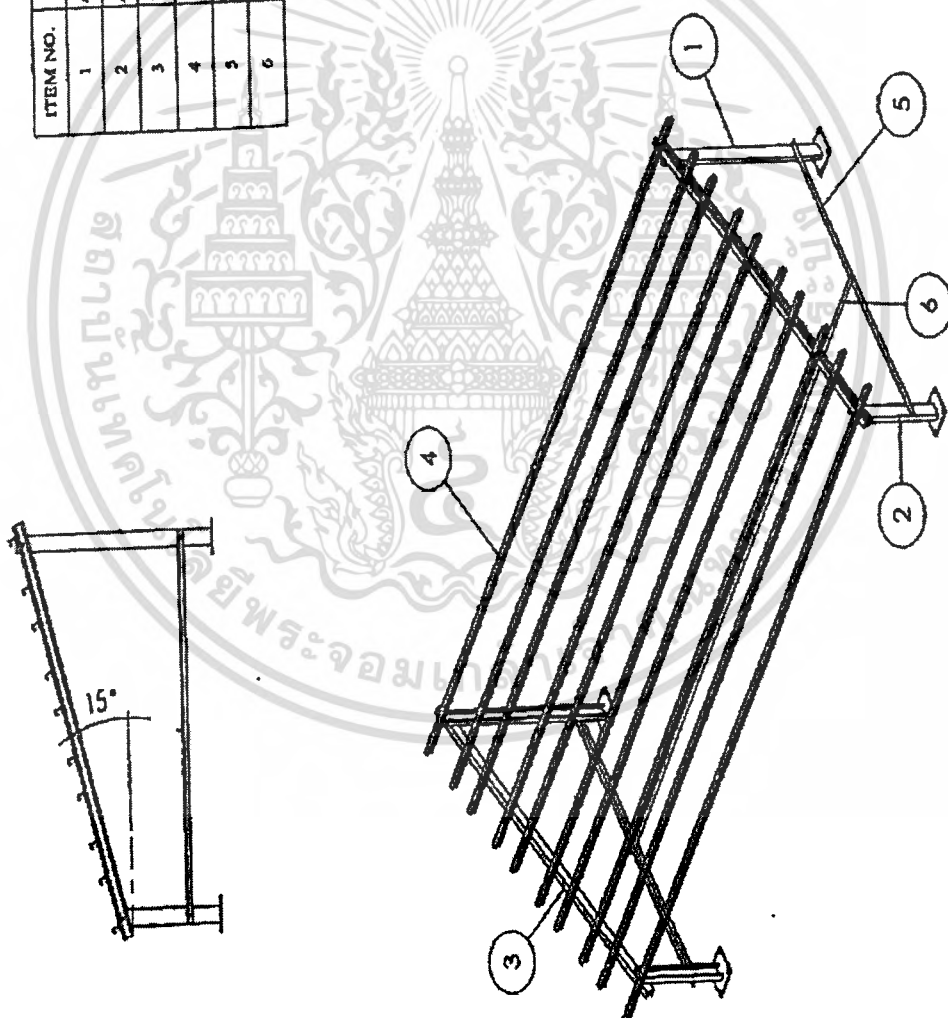
DRAWING NO. RDI-PR1-36R0	DRAWN BY <i>[Signature]</i>	CHECKED BY <i>[Signature]</i>	APPROVED BY <i>[Signature]</i>	<p style="margin: 0;">BSC BANGKOK SOLAR CO., LTD.</p>
SCALE 1:10	UNIT mm.	SHEET 1/1	REMARKS Tandem Junction : WMA Boot Mounting Accessory by 4 Al Brackets.		TITLE BS 40 Thin-Film Amorphous Silicon Photovoltaic (PV) Module.
<p style="margin: 0;">13 / 1 / 07</p> <p style="margin: 0;">13 / 4 / 07</p> <p style="margin: 0;">5 / 11 / 07</p>				<p style="margin: 0; font-size: small;">FMRDPR 02 Rev.01</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

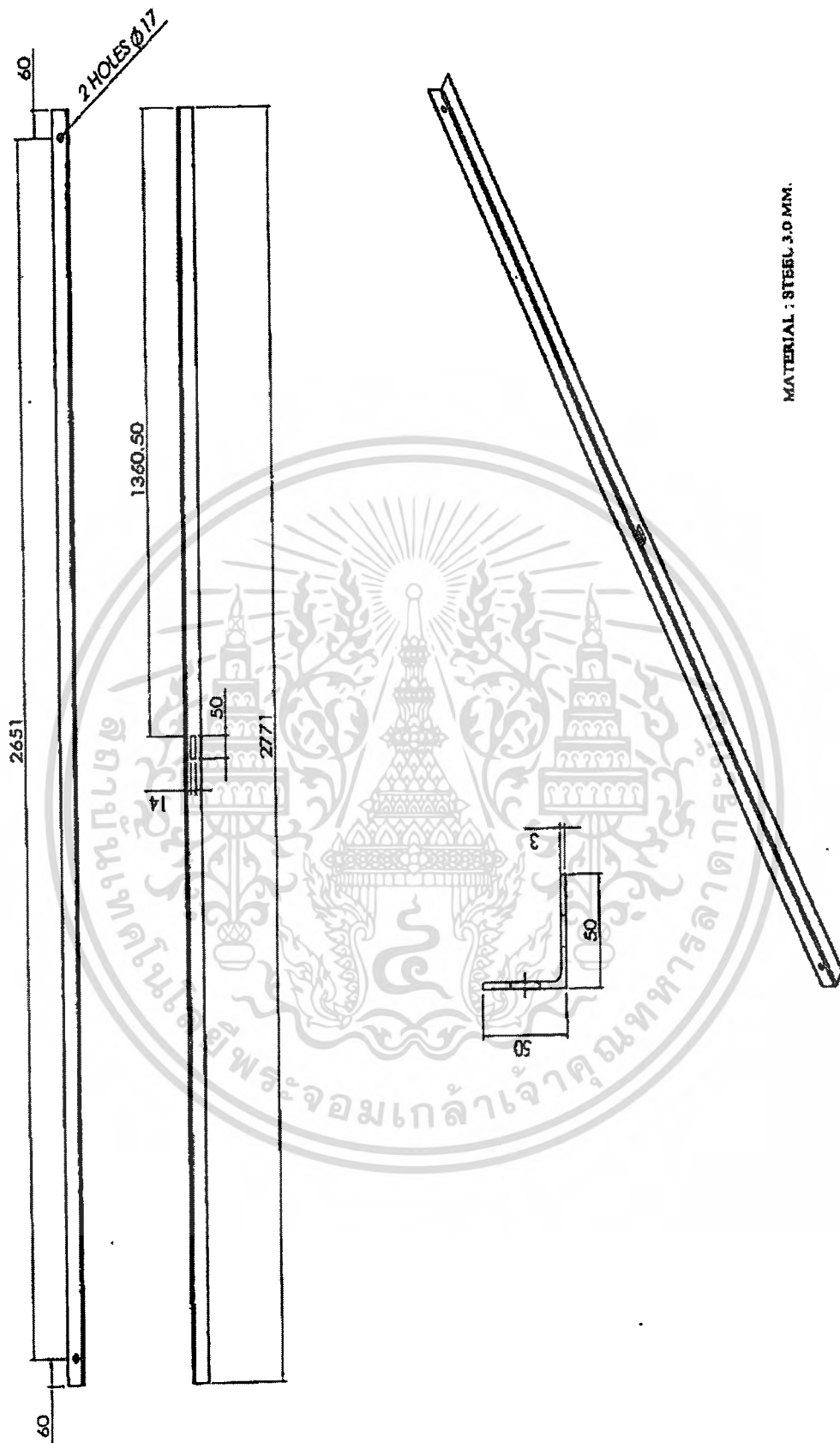


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

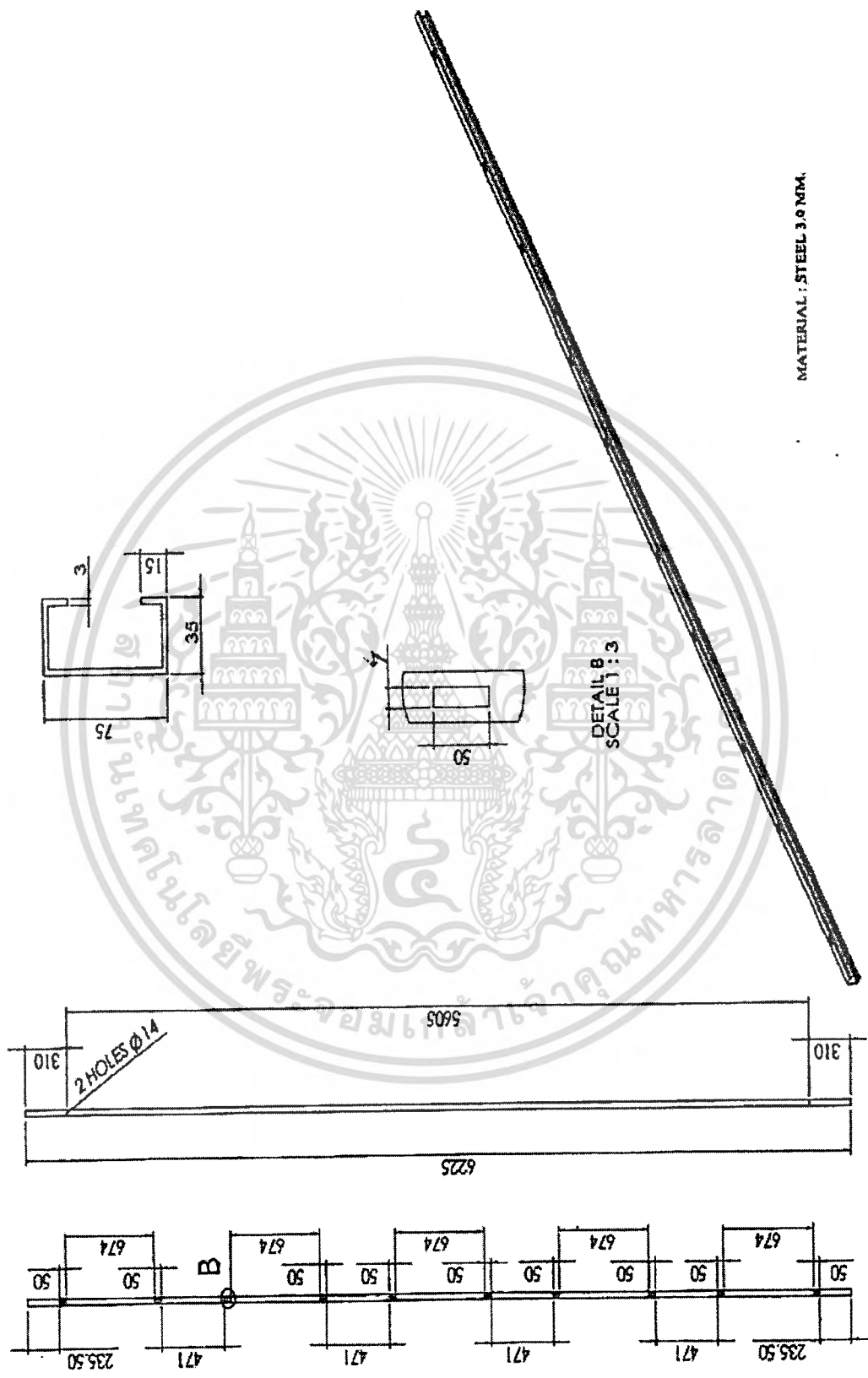
ITEM NO.	DESCRIPTION	QTY.
1	Assom SHORT LEG 1921 MM.	2
2	Assom SHORT LEG 1000 MM.	2
3	LOWER FRAME	2
4	UPPER FRAME	10
5	ขาปีค้ำข้างซ้าย	2
6	ขาปีค้ำด้านขวา	1



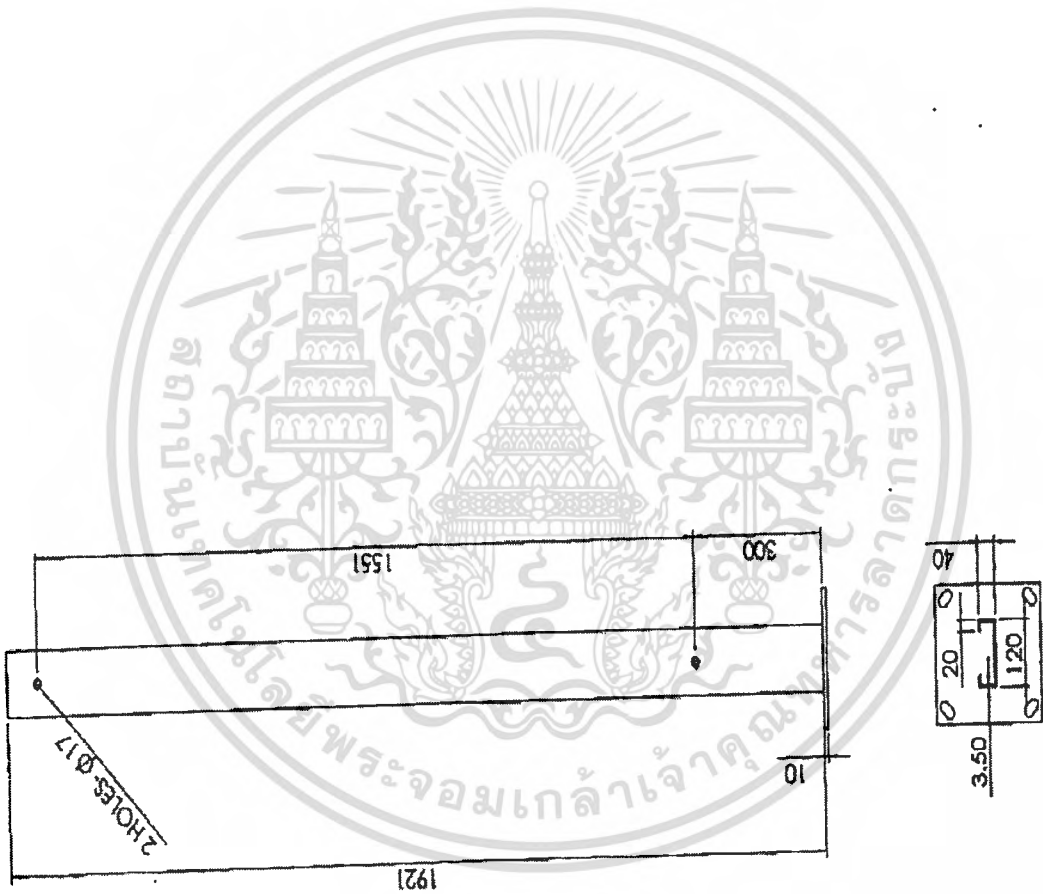
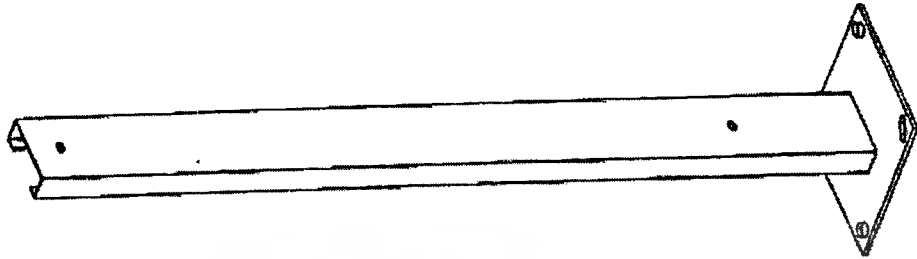
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



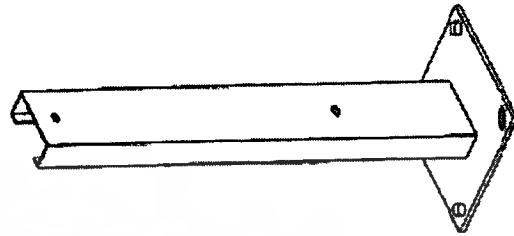
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



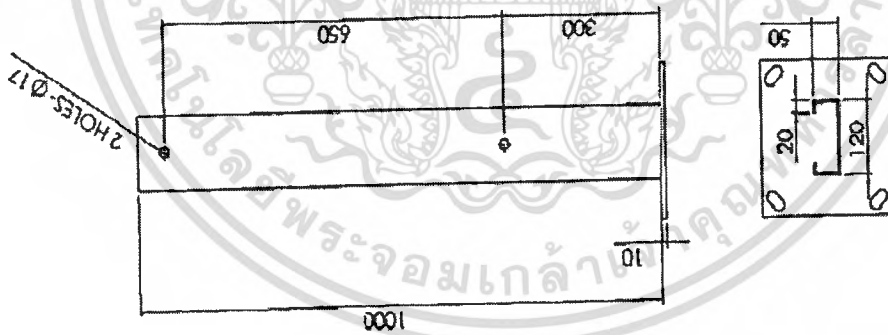
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



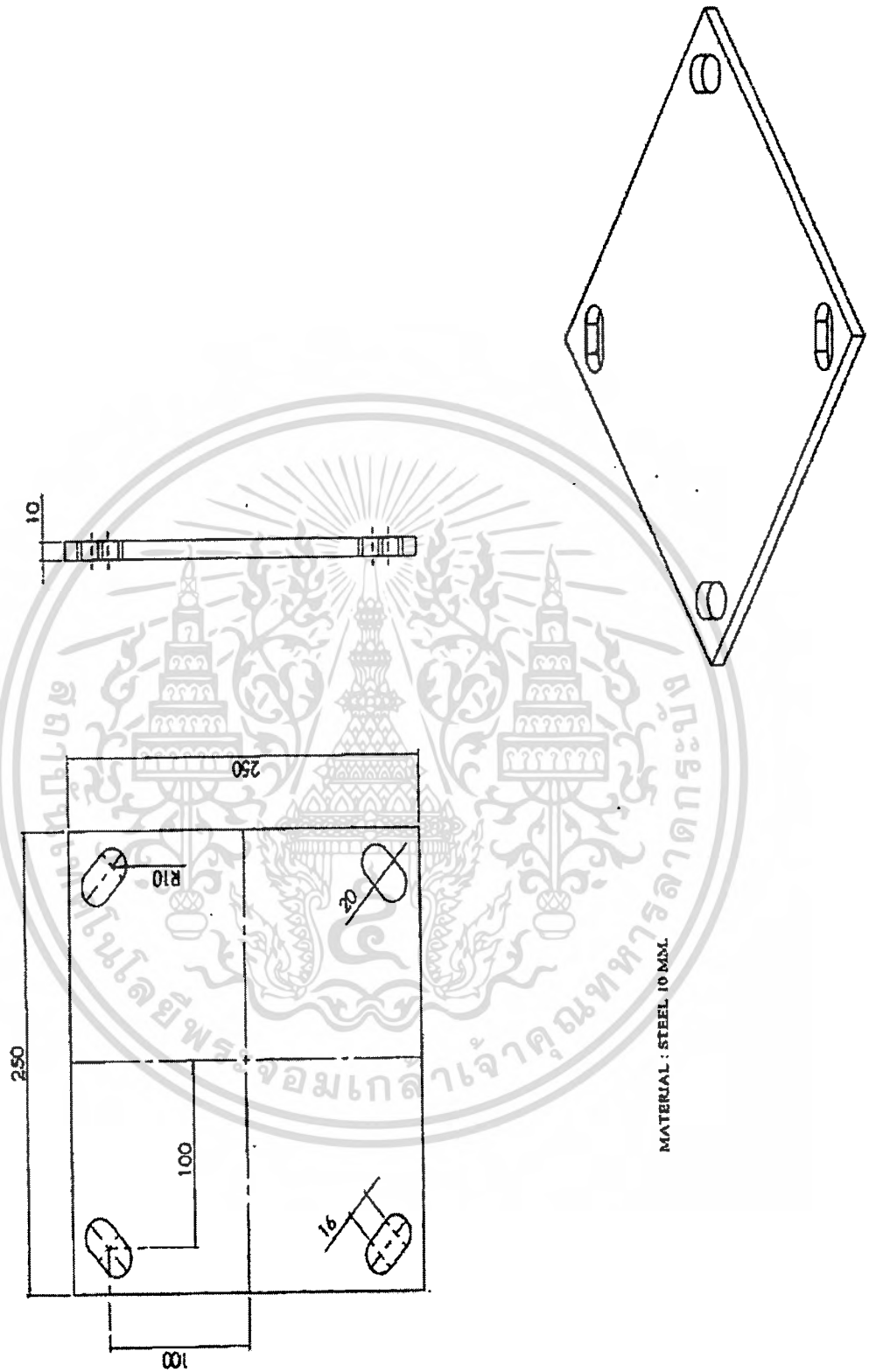
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MATERIAL : STEEL 3.0 MM.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND ANALYSIS OF PV HYBRID SYSTEM FOR ISOLETED HOUSEHOLD ELECTRIFICATION

Rak Skunpong¹, Pramuk Unahalekhaka², Boonyang Plangklang³, Werachet Khan-ugern¹¹Department of Electrical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand²Department of Electrical Engineering, Rajamangala University of Technology Suvamabhumi, Nonthaburi Thailand³Department of Electrical Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT), Thanyaburi, Klong 6, Pathumthani 12110 Thailand, Telephone: +66 (0)2 549 3420 Fax 0-2549-3568, E-mail: pboonyang@hotmail.com

ABSTRACT: This paper describes a design method and construction of a PV hybrid system for household electrification in remote area which has typical important electrical loads for daily life such as television, refrigerator, electric Fan, coffee maker, and radio. The paper shows the design method which is a short and proper method for the PV design. The design is simulated by software to prove and optimize the design. The simulation is shown that the method is correct for this design. The construction is done accordingly to the design. A prototype house is constructed specially for demonstration of the system. The PV hybrid system is constructed inside the prototype house which has a 1.8 kWp, 20 kWh of battery, and 3 kW of diesel generator. The results of the system shows that the designed PV hybrid system can deliver the power to the house continually 24 hours This can ensure that the proposed PV hybrid system is correctly designed and can be used for utility in the remote area where has no an electric grid.

Keywords: PV Hybrid, Monitoring System

1. INTRODUCTION

Energy is considered as an essential mechanism in order to development a country, but now we are facing energy shortage. High cost of energy affects the development of country adversely. Alternative energy from various sources has been investigated in order to find a substitution for energy from main energy source such as energy from the sun or the wind. Alternative energy in different forms has been used in different projects, but its use is still limited because there is no accurate database to provide data, such as real-time monitoring, environmental factors, for the analysis and the assessment of efficiency and economic feasibility. As the alternative energy is not available all the time, to ensure continually power deliver, the construction of a hybrid system is necessary. Therefore a PV hybrid system for household electrification in remote areas is constructed and demonstrated at Rajamangala University of Technology Thanyaburi. The system is working continually including a real-time monitoring system.

2. THE PRICIPLE SYSTEM DESIGN

The PV hybrid system for household electrification must be able to supply electricity to loads continually. The system emphasized the use of solar energy as the main source of energy. In the design, the solar energy will be converted to electricity and supplied directly to loads and exceed energy is stored into batteries for using during the night. There is also a real-time monitoring system to see whether the power production is working properly. Usually the monitoring system observes the production performance everyday and can give a report daily, monthly or annually. All the data are collected into a computer system. The overall picture of a PV hybrid system can be shown as in Figure 1.

3. THE DESIGN

According to the design principle, the design must be able to cover all needs of the system which also includes the real-time monitoring system. The data for the design include the typical loads and how much power is used by loads in each time interval. In this paper loads for household use in remote areas are described as shown in Figure 2.

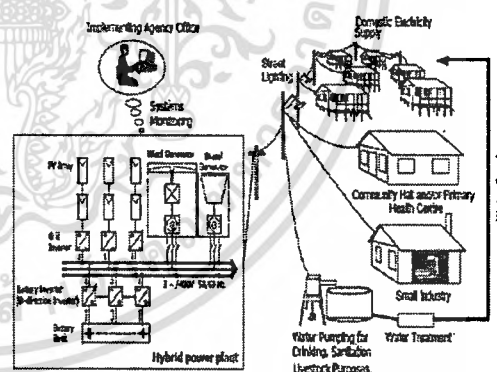


Figure 1: A PV hybrid system

After having the demand of the loads, the demand is considered and calculated to determine the capacity of the solar cell. P_{peak} - starting from the efficiency of the system as in equation (1), then the estimation in theory and in practice is calculated to find the energy obtained from sunlight (2,3); capacity of solar cell in shown in equation (6)

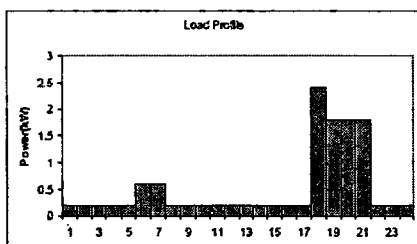


Figure 2: Typical loads for isolate household

$$Q = \frac{E_{el}}{E_{th}} \quad (1)$$

$$E_{th} = \eta \cdot E_{glob} \cdot A_{array} \quad (2)$$

$$P_{peak} = \eta \cdot I_{STC} \cdot A_{array} \quad (3)$$

$$E_{th} = P_{peak} \cdot \frac{E_{glob}}{I_{STC}} \quad (4)$$

$$Q = \frac{E_{el}}{E_{glob} \cdot P_{peak}} \cdot I_{STC} \quad (5)$$

$$P_{peak} = \frac{E_{el} \cdot I_{STC}}{E_{glob} \cdot Q} \quad (6)$$

- when
- P_{peak} = peak power of the PV array under STC [kW_p]
 - E_{el} = real electric output energy of the system [kWh/a]
 - I_{STC} = incident solar radiation under STC [1 kW/m²]
 - E_{glob} = annual global solar radiation [kWh/m²a]
 - Q = quality factor of the system
 - E_{th} = theoretical output energy of the system [kWh/a]
 - η = efficiency of the PV array [decimal]
 - A_{array} = area of the PV array [m²]

Equation (6) (be honor to the author's professor, this method is called Schmid' Formula) can be used for design. The efficiency values of the system is shown in Table I.

Table I: shows quality factor of the system used in the PV hybrid system [3]

Component System	Q
PV module (Crystalline)	0.85...0.95
PV array	0.80...0.90
PV system (Grid-connected)	0.60...0.75
PV system (Stand-alone)	0.10...0.40
Hybrid system (PV/Diesel)	0.40...0.60

When we know the value of P_{peak} of the solar cell from the calculation of equation (6), we use the value in the calculation to find the battery capacity as in equation (7). The proposed method is designed the capacity of battery for 10 time of P_{peak} .

$$CB = 10 \times P_{peak} \quad (7)$$

When P_{peak} = peak power of the PV array under STC [kW_p]
 CB = battery capacity [kWh]

When the capacity of the battery is obtained, the level of battery voltage can be selected depending on the level of load consumption as shown in Table II. For the designed system, 48 volts of battery is selected.

Table II: shows the level of battery voltage in comparison with average energy consumption of the system [3]

Average daily energy consumption [kWh/d]	Peak power for minutes [kW]	Peak power for seconds [kW]	System voltage level below [V]
0...4	0.0...1.0	0.0...2.0	12
2...6	1.0...2.0	2.0...4.0	24
4...12	2.0...4.0	4.0...8.0	48
8 and more	4.0...8.0	8.0...16.0	96

After all the values have been obtained, the Hybrid system is simulated and analyzed by using a simulation program, the well known Homer program is used to assess the performance of system as shown in figure 3.

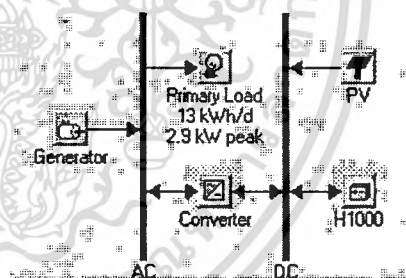


Figure 3: The designed PV hybrid system.

From the design and software optimization, the designed PV hybrid system consists of the followings:

- PV = 1.8 kW_p
- Diesel Generator = 3kW
- Battery = 20 kWh

The result of simulation shows that the designed system can be able to supply energy to the load continually as shown in Figure 4.

From the simulation of the designed PV hybrid system, it is found that during the day the solar cell can

produce enough electricity to supply the loads and the surplus energy is stored into the battery and during the night when the solar cell cannot work the stored energy in the battery is supplied to the load and if the battery is empty the energy generated by the diesel generator enabling the system to supply automatically therefore the PV hybrid system can ensure energy supply continually and stably without power shortage or failure.

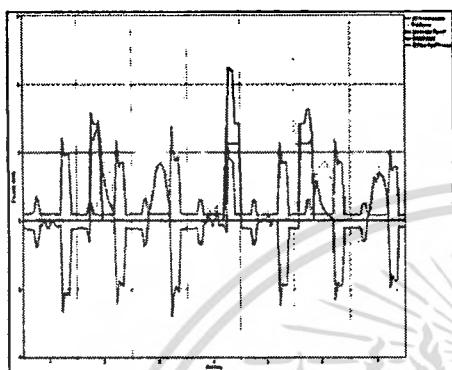


Figure 4: The result of simulation.

4. THE OPERATION AND ANALYSIS

According to the system design, the hybrid energy house is built. The house is specially designed to demonstrate the designed PV hybrid system supplying power to the daily loads. The constructed energy house at RMUTT is shown in figure 5.

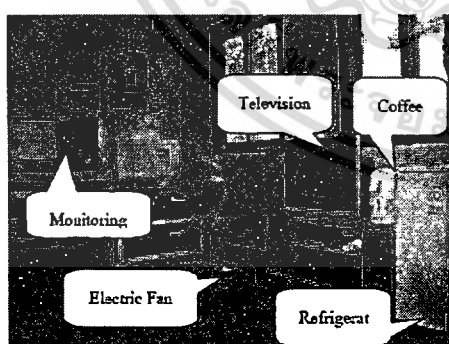
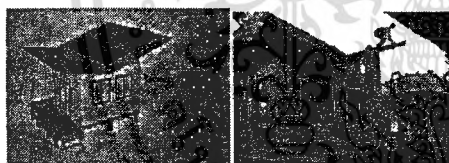


Figure 5: The Prototype of energy house with everyday household loads.

From 6 months experiment of the RMUTT energy hybrid house using a microcontroller automatic on-off load simulating the use of electric appliances in daily life as a typical load profile shown in figure 2, the result is in the state of satisfactory. The system can supply electricity to the house stably. The monitoring system can collect the data of every 5 minute interval and recorded into the database to study and evaluate the efficiency of the system. the collected data is shown as in figures 6-7.

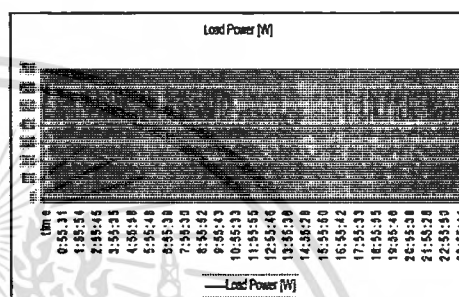


Figure 6: Load profile of the house with a refrigerator

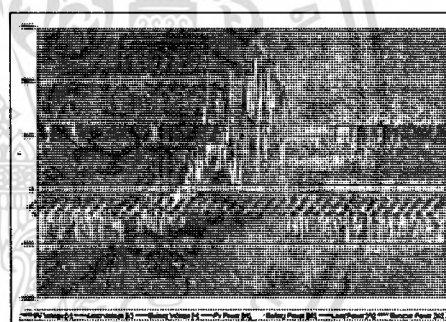


Figure 7: graph showing performance of the PV hybrid system.

Figures 6-7 are graphs showing relationship in performance of the PV hybrid system. It can be seen the time during which the PV can produce electricity for the loads and the consumption is less then the production level. This time is from 6.15 a.m. to 6.00 p.m. The surplus energy will be stored in the battery for the night use. During the night the PV cannot produce electricity and the energy value of the battery is in the minus range because the energy from battery is supplied to the loads and the system will automatically start the generator when the battery voltage is lower than set-point which is 44 V. At this level of battery voltage, the battery is empty and can not supply electricity to the loads more otherwise battery will be damaged. However from the experiment of the designed system, the designed PV hybrid system can

supply to the loads continually without starting the diesel generator because there is enough energy during experiment in summer season. This can be seen on the graph which shows that the energy from the generator is zero all the time.

5. CONCLUSIONS

From the proposed PV hybrid system for household electrification, the designed method is used to calculate the system components, all the values obtained from the design are optimized by the software program. A real construction of the system design is built accordingly to the design. From the experiment it is found that there is a spike of the loads because of the refrigerator, it maintains the constant temperature of itself and during the day when the weather is warm, the refrigerator works almost all the time which is the function of refrigerators in typical work. The designed hybrid system can supply enough energy because there is a lot of solar energy. And the result from the experiment shows that the proposed method is correct for designing a PV hybrid system for household electrification. The system can work continually and stably.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

The researcher would like to thank office of the National Research council of Thailand who sponsors the research and to thank all the business sectors who give support equipments and also appreciate the moral support from friends and Valuable supports from the advisors.

7. REFERENCES

- [1] Naphat Wajanathepin. 2548. Monitoring System for On-line PV Production System. <http://netapp.uibk.rmutp.ac.th/division/wrc/connet/w4.pdf>
- [2] Boonyang Plangklang. 2550. Teaching note for Advanced Topics in Electrical Engineering.
- [3] J. Schmid, Photovoltaic systems Technology, teaching script, IEE-RE, University of Kassel, Germany, 2002.
- [4] N.Keitjoy. MiniGrid System (Thai-languange). Naresuan University, Thailand. 2003.

PEEC-6

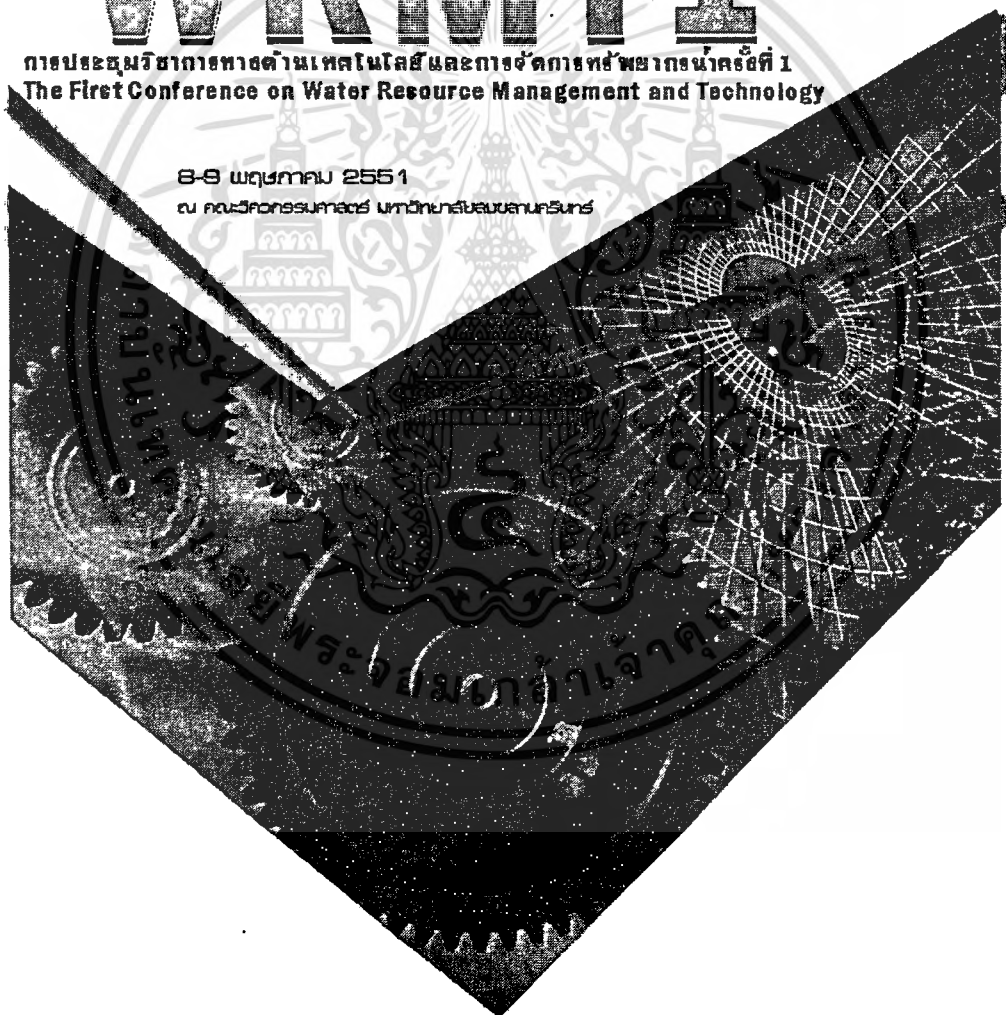
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6
The 6th PSU-Engineering Conference



WRMT-1

การประชุมวิชาการทางด้านเทคโนโลยีและการจัดการทรัพยากรน้ำครั้งที่ 1
The First Conference on Water Resource Management and Technology

8-9 พฤษภาคม 2551
ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Practical Method for Quickly PV sizing

Rak Skunpong¹, Boonyang Plangklang², Veerachet Khan-Ngern¹, Paisan Boonchiam¹
¹King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
²Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT)
 Klong 6 Thanyaburi Pathumthani Thailand 12110

Abstract

Nowadays PV system is being worldwide installed. The potential of solar radiation in Thailand is recognized therefore the PV implementation in Thailand should be realized and supported for future renewable energy use. However, the PV sizing method is still complicated for developers and researchers. This paper will present a simple and practical method for PV sizing which takes very short time for sizing PV system. The calculation in this paper will be both PV stand alone and PV hybrid system. The results will be simulated to improve that the method is right for the PV sizing.

Keywords: PV system, PV sizing

1. Introduction

Photovoltaic system is realized as an energy source that transforms the solar radiation energy into electrical energy. The term photovoltaic is often abbreviated to PV. The radiation energy is transferred by means of the photo effect directly to the electrons in their PV crystals. To design the right and effective PV system is therefore depending on a great role of solar radiation. The simple idea for sizing is the energy balance (1).

$$E_{demand} \leq E_{supply} \quad (1)$$

In order to construct a reliable PV system an accurate planning is necessary. Therefore, a photovoltaic system should be sized according to following planning Fig. 1.

Presizing

One of the most parameters required for presizing PV systems is a value of annual global solar radiation. The annual global solar radiation at a site has to be quickly approximated at first for example in Thailand is about 5 kWh/m²/d.

After the potential of solar energy was approximated, the next parameter is how much energy is required by consumers, it is necessary to know which consumers and how many of them would be included into the system. In case of village electrification it must be informed if there are schools, health stations, small enterprises or private households. For example, some of common

household appliances and their approximate daily and annual energy consumption are listed in Table I.

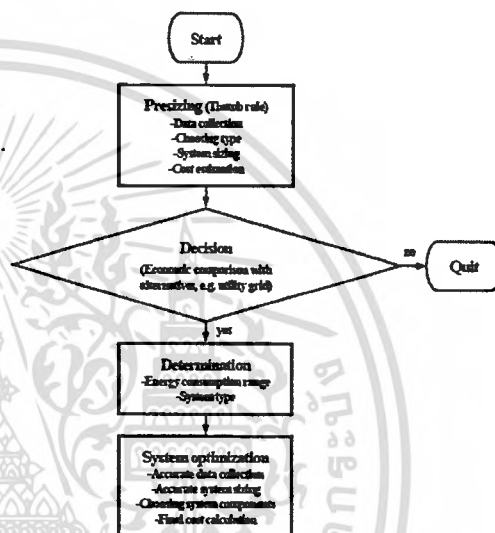


Figure 1. Procedure for planning and sizing of PV systems

Table I: Energy consumption of household

Appliance	Power rating [W]	Daily consumption [kWh/d]	Annual consumption [kWh/a]
1 Incandescent bulb	60	0.25	90
1 Typical fluorescent lamp	40	0.15	60
1 Compact fluorescent lamp (CFL)	15	0.07	25
1 Fan	375	0.75	270
1 Radio	55	0.10	35
1 Television, colour 19"	80	0.14	50
1 Drill, 3/8" variable	240	-	10
1 Blender/Mixer	350	0.07	25
1 Refrigerator (12cu. ft./340 litre)	330	2.75	1000
1 Vacuum cleaner	900	-	45
1 Iron	1000	-	50
1 Clothes washer	1150	-	120
1 Toaster	1200	0.12	45
1 Coffee maker	1200	0.30	110
1 Hair dryer	1500	0.33	120
1 Microwave oven	2100	0.35	130

It should be noted that air conditioners and some other electrical heating applications such as space and water heating should not be included into PV systems due to their relative high-energy consumption so that they are not economically supplied by PV electricity, but rather by thermal solar energy. In addition, the user should look for the most efficient appliances or should also consider all appliances if they are really necessary. As in Table I, it is necessary to find out the energy consumption in kWh/m²/d for properly size the PV system. However some of appliances can not be found in daily consumption, it is therefore approximately calculated in kWh/m²/annual.

Due to the uncertainty of demand prediction and the assumed radiation, the energy supply should be basically higher than the energy demand. However, it could sometimes happen that the supply could not meet the demand and the system fails consequently. For this reason, a *quality factor (Q)* is commonly used to present how well the supply meets the demand.

2. Quality factor (Q)

The quality factor (Q) is defined as the quotient of the real electric output energy measured at the system output (E_{load}), which is the system load (E_{demand}) and the theoretical output energy (E_{th}), which is defined as the output energy from the same system under ideal conditions, which is the Standard Test Conditions (STC).

$$Q = \frac{E_{Load}}{E_{th}} \quad (2)$$

where: Q = quality factor of the system,
E_{Load} = real electric output energy [kWh]
E_{th} = theoretical output energy of the system [kWh]

The quality factor can be determined over any given time period. In most cases, a time period of one year is chosen to presize PV systems. The theoretical output energy (E_{th}) is defined as the energy output, which is produced by a PV array with an area of A_{array}, the global radiation E_{glob} incident on a horizontal surface and efficiency η determined under STC:

$$E_{th} = \eta \cdot E_{glob} \cdot A_{array} \quad (3)$$

where: E_{th} = theoretical output energy of array [kWh]
 η = efficiency of the PV array [decimal]
E_{glob} = global radiation [kWh/m²]
A_{array} = area of the PV array [m²]

It is often difficult to obtain values like the efficiencies from manufacturers. Besides, the area of the array is frequently unknown. However, the peak power measured under STC is normally given (STC: I_{STC} = 1000 W/m²; T_{STC} = 25 °C, AM = 1.5).

$$P_{peak} = \eta \cdot I_{STC} \cdot A_{array} \quad (4)$$

where: P_{peak} = peak power of the PV array [kWp]
 η = efficiency of the PV array [decimal]
I_{STC} = global radiation under STC [1 kW/m²]
A_{array} = area of the PV array [m²]

According to the equations (3) and (4) after substitution of $\eta \cdot A_{array}$:

$$E_{th} = P_{peak} \cdot \frac{E_{glob}}{I_{STC}} \quad (5)$$

According to the equations (2) and (5) the quality factor can be found out:

$$Q = \frac{E_{el}}{E_{glob} \cdot P_{peak}} \cdot I_{STC} \quad (6)$$

With the quality factor formula (6) and the empirical quality factors of existing systems it is practical to use this quality factor (Q) to presize the PV array.

3. Sizing of PV system

From the quality factor (Q) in (6), the PV array can be sized accordingly:

$$P_{peak} = \frac{E_{Load} \cdot I_{STC}}{E_{glob} \cdot Q} \quad (7)$$

where: P_{peak} = peak power of under STC [kWp]
E_{load} = real electric output energy [kWh/a]
I_{STC} = solar radiation under STC [1 kW/m²]
E_{glob} = annual global solar radiation [kWh/m²a]
Q = quality factor of the system

In the theory, supply and demand values are equivalent and the quality factor is therefore equal to one (Q = 1). A measured value of, for example, Q = 0.75 means that 75 % of the electric energy, which is converted from the incident solar energy, is used whereas 25 % of the electric energy is lost between the solar cell and the system output or it is not used.

The quality factor depends strongly on the system type. In case of grid-connected systems all produced energy could be used, so there will never be surplus energy. In a PV system it could however happen that the battery storage is full and then PV energy will be dissipated. For this reason, the quality factor relates to the system type. In order to make a decision reasonably on the system type the amount of energy consumption could be useful (Table II). The quality factors are then given in Table III.

Table II: Suitable type of PV systems

System	Annual energy consumption					
	0.1 kWh/a	1 kWh/a	10 kWh/a	100 kWh/a	1 MWh/a	10 MWh/a
PV-Battery						
PV-Diesel-Battery						
Diesel-Battery						
Diesel						
PV grid-connected						

Table III: Quality factors of components and different PV systems

Component/System	Q
PV module (Crystalline)	0.85...0.95
PV array	0.80...0.90
PV system (Grid-connected)	0.60...0.75
PV system (Stand-alone)	0.10...0.40
Hybrid system (PV/Diesel)	0.40...0.60

Therefore, the PV array can be sized by using formula (7), the size of PV will be in Watt Peak (P_{peak}) after sizing PV array, the investment cost is also considered. The cost and economics result will not be described in this paper.

4. Battery sizing

For PV systems, the battery storage is commonly used for supplying energy during night for stand alone system therefore the battery capacity and investment costs should be also considered.

Due to the fact that the batteries are the second biggest part of the investment and operation costs in PV- and PV hybrid systems. However, experience has indicated that operation cost of the battery is sometimes higher than its investment cost.

The battery capacity depends on characteristics of radiation, load, and system reliability as well as intention of the user. From experience, the relation between storage capacity [kWh] and peak power [kWp] of the PV array is more or less 10:1. In case that the global radiation at the site is nearly constant throughout the year, this value will be lower than 10:1. When having a system where the power consumption is mainly during the night this must be corrected to the value higher (up to 20 % more) and vice versa when e.g. a wind generator or a diesel generator is integrated into the system (Fig. 2). The proposed formula for battery sizing is as formula (8).

$$C_B = 10 \cdot P_{peak} \quad (8)$$

where: C_B = battery capacity [kWh]

P_{peak} = peak power of the PV array [kWp]

From the formula (8) can be described as in Figure 2. The method requires only little information and provides a quick system design. However, there are some disadvantages because results are not optimized solutions due to only rough estimation and therefore contain high degree of uncertainty. There is also no consideration of different system variants (for example, adapting the size of the PV array to available values and compensating this decision through smaller or larger storage installations).

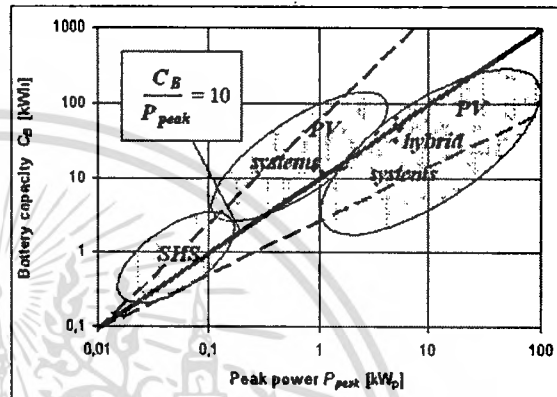


Figure 2. Battery capacity and PV nominal power

Anyway, when planning a PV system, consumer load is much more uncertain factor and experience has shown that the empirical method provides as good results as when the system is sized by simulation programs.

5. Optimization and Simulation

After obtaining the size of PV from the formula process, it is recommended that the system should be optimized. There are many uncertainty factors for optimization. A factor should be considered firstly is load demand, what load profile is? How the peak load is? This information can be used for PV or battery optimization. Secondly, PV tilt angle should also be considered, the easy method is that the PV array should face to the sun the latitude and longitude have to be taken into account. However from experience, the tilt angle for 15 degree is good for self cleaning during rain.

The optimization process can be executed either by computer or by hand. The simulation program can approximately simulate the fact of the design system. There are nowadays many programs available. For this paper, to prove the sizing method, the software Homer is here used. The example load profile for the simulation is as Fig. 3.

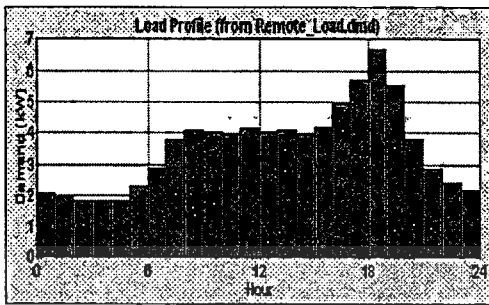


Figure 3. Proposed example Load profile for sizing

The stand alone PV system is firstly implemented. The energy consumption for this load profile is 85 kWh/d. The solar radiation is selected from Thailand 5 kWh/m²/d. Using the formula (7) with Q = 0.4, obtains as following:

$$P_{peak} = (85 \text{ kWh/d} \times 1 \text{ kW/m}^2) / (5 \text{ kWh/m}^2/\text{d} \times 0.4)$$

$$P_{peak} = 42.5 \text{ kW}_p$$

$$P_{Batt} = 10 \times 42.5 \text{ kW}$$

$$P_{Batt} = 425 \text{ kW/h}$$

Therefore from the calculation, the selected PV-battery system has the PV array of 42.5 kW_p and the battery capacity is 425 kWh. The homer program is used to simulate and it can be set up the system as in figure 4.

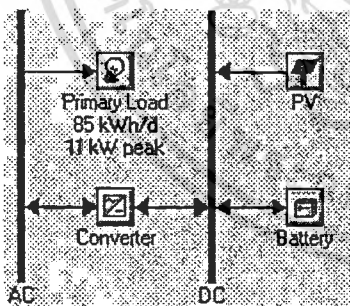


Figure 4. System set up for simulation

The simulation output is therefore shown in figure 5. The selected inverter is 43 kW. According to a limitation of the market for available Battery in the program, 423 kWh Battery capacity is selected.

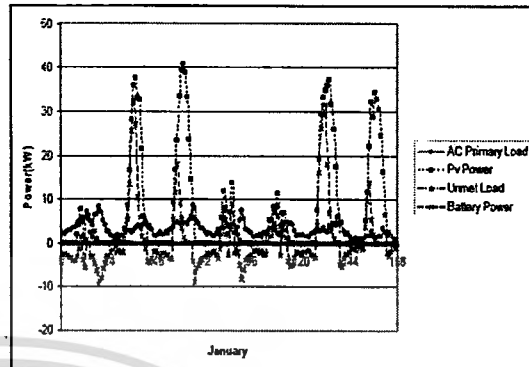


Figure 5. Simulation result for PV stand alone system

The simulation result shows that the PV system can supply power to the load demand without any shortage or unmet load. The PV system can cover the load even there are 2 continued low radiation days. This can prove that the formula is right for PV sizing. Moreover secondly a PV hybrid system is selected for this study using the same load profile as fig. 3. The generator is selected to supply the peak demand of 5 kW. The daily consumption is the same as 85 kWh/d and the Q = 0.6. The calculation is therefore:

$$P_{peak} = (85 \text{ kWh/d} \times 1 \text{ kW/m}^2) / (5 \text{ kWh/m}^2/\text{d} \times 0.6)$$

$$P_{peak} = 28.33 \text{ kW}_p$$

$$P_{Batt} = 10 \times 28.33 \text{ kW}$$

$$P_{Batt} = 283.3 \text{ kW/h}$$

The simulation diagram and result are as fig. 6. The result shows that the formula is effectively used for sizing PV hybrid system. The system can cover all demand, however the unmet load also occurs in the simulation but it is a small range and it can be optimized for the implementation such as increase capacity of PV, battery, or Generator.

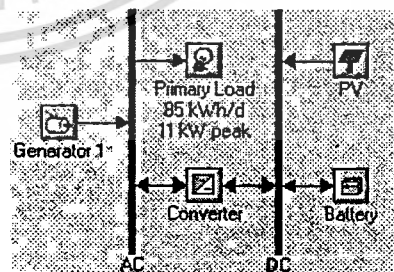


Figure 6. System set up for Hybrid system

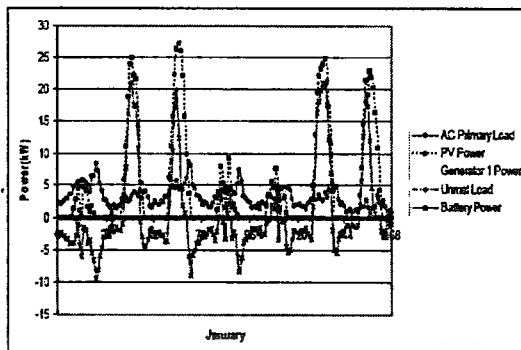


Figure 6 (Cont.). Simulation result for Hybrid system

6. Conclusions

The paper presents a short and quick method for sizing PV system both PV stand alone and PV hybrid system. The calculation and the simulation show that the formula is effectively right for quickly PV sizing.

To be honor for a man who works hard. I would like to call this method as Schmid's formula.

References

- [1] J. Schmid, Photovoltaic systems Technology, teaching script. IEE-RE, University of Kassel, Germany, 2002.
- [2] Ladener, H.: Solare Stromversorgung: Grundlagen, Planung, Anwendung; Freiburg: Ökobuch Verlag, 1996. pg. 153-182.
- [3] Kaiser, R.: Sizing photovoltaic systems. In: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems: Course book for the seminar: Photovoltaic Systems; Freiburg, 1995. pg. 403-440.
- [4] METEONORM 4.0: Global Meteorological Database for Solar Energy and Applied Meteorology; Bern, Switzerland.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายรัก สกุลพงษ์ เกิดเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม พ.ศ.2516 ที่จังหวัดสกลนคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2548 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งอาจารย์ระดับ 7 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้