

การเพิ่มกำลังไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในแนวตั้ง
โดยใช้อุปกรณ์สะท้อนแสง

โดย

นายรัชนนท์ เดชจินดา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

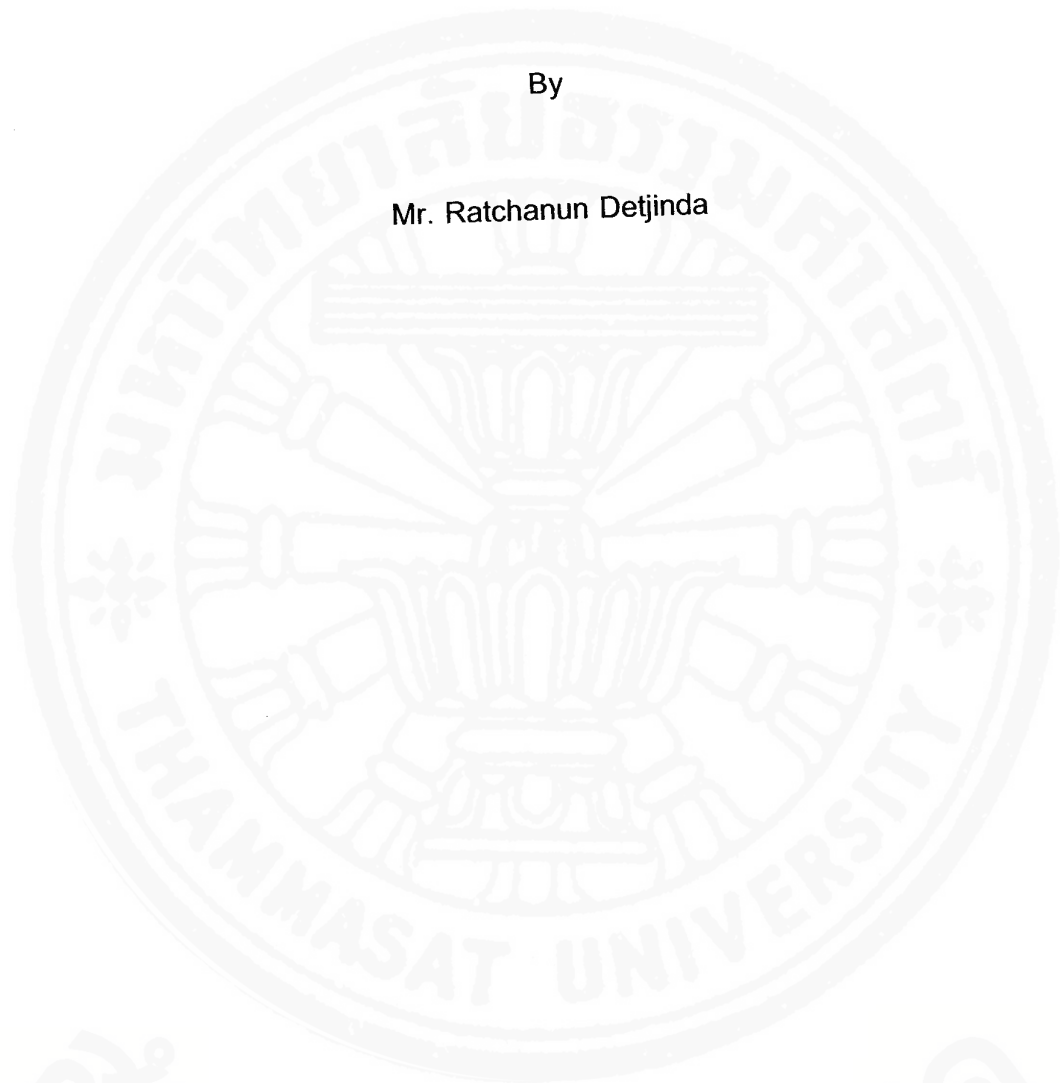
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2553

Increase of Power Generation from Photovoltaic Cells in Vertical Plane
by Reflective Device.

By

Mr. Ratchanun Detjinda



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program
Department of Architecture
Faculty of Architecture and Planning
Thammasat University

2010

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

วิทยานิพนธ์

ของ

นายรัชนันท์ เดชจินดา

เรื่อง

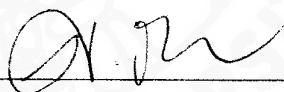
การเพิ่มกำลังไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในแนวตั้ง โดยใช้อุปกรณ์สะท้อนแสง

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร


สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต

9 สิงหาคม 2553


ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


(รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชาติ จงโพบูลย์พัฒนสะ)


กรรมการสอบและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์


(อาจารย์ ดร.สุดากรณ์ จุ่งสู)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์


(อาจารย์ ดร.ยอด สุระมงคล)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทรวงจิรา ทิศาวิภาค)

คณบดี


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สันติรักษ์ ประเสริฐสะ)

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน ประเทศไทยบริโภคพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น ซึ่งพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ได้มาจากโรงไฟฟ้าที่เผาไหม้เชื้อเพลิงนำเข้ามาจากต่างประเทศ เช่น ก๊าซธรรมชาติ และพลังงานเชื้อเพลิงอื่นๆ เนื่องจากพลังงานมีราคาแพงและมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนในอนาคตอันใกล้ รัฐบาลจึงมีนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนในประเทศ พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่มีความเหมาะสมสำหรับครัวเรือน เนื่องจากใช้งานง่ายและปลอดภัย นอกจากนี้การผลิตไฟฟ้าที่ครัวเรือนช่วยลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่สูญหายในสายส่งไฟฟ้าได้มาก

ประเทศไทยตั้งอยู่ที่ละติจูด 14 องศาเหนือดังนั้นจึงติดตั้งพื้นที่รับแสงของเซลล์หันไปทางทิศใต้และเอียง 14 องศา กับพื้นระนาบเพื่อรับรังสีแสงอาทิตย์ตั้งจาก ความแออัดของเมืองในปัจจุบันส่งผลให้มีพื้นที่จำกัดสำหรับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นระนาบ จึงมีการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุม 90 องศามากขึ้นโดยติดตั้งที่เปลือกอาคาร ผลการทดลองเบื้องต้นในงานวิจัยนี้ได้แสดงว่าการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผนังอาคารด้วยมุม 90 องศา กับพื้นระนาบผลิตไฟฟ้าได้น้อยกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งด้วยมุมเอียง 14 องศา งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการใช้อุปกรณ์สะท้อนแสงกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งมุม 90 องศา กับพื้นระนาบเพื่อเพิ่มการผลิตไฟฟ้า ผลการศึกษาเป็นแนวทางสำหรับรัฐบาลและเจ้าของอาคารในการเพิ่มความคุ้มค่าในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์มากยิ่งขึ้น

ผลการทดลองแสดงว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งที่มุม 90 องศา มีค่าน้อยกว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งที่มุม 14 องศาโดยเฉลี่ย 52.5 % ดังนั้นผู้ใช้งานพึงหลีกเลี่ยงการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุม 90 องศาโดยไม่มีอุปกรณ์ช่วยการสะท้อนแสง ผลจากการทดลองพบว่า อุปกรณ์สะท้อนแสงที่สามารถเพิ่มการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งที่มุม 90 องศา คืออุปกรณ์สะท้อนแสงติดตั้งที่มุม 38 องศา กับพื้นระนาบสัดส่วนของกำลังไฟฟ้า (วัตต์) ที่ผลิตได้คือ 5.77: 1: 1.53 โดยได้รับจากเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งที่มุม 14 องศา เซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งที่มุม 90 องศา และเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งที่มุม 90 องศา พร้อมอุปกรณ์สะท้อนแสงติดตั้งที่มุม 38 องศา ตามลำดับ เซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งที่มุม 90 องศา พร้อมกับอุปกรณ์เพิ่มการสะท้อนแสงติดตั้งที่มุม 38 องศาเหมาะสำหรับใช้งานในช่วงเดือนมีนาคมถึงตุลาคม

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาผลของอุปกรณ์สะท้อนแสงติดตั้งที่มุม 38 องศา กับพื้นระนาบต่อการบังแดด ผลการศึกษาพบว่าอุปกรณ์สะท้อนแสงเป็นอุปกรณ์บังแดดอาคารได้ใน

ช่วงเวลา 11.45 น. – 12.15 น. ของเดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายน และมีระยะเวลาในการบังแดดมากที่สุดในช่วงเวลา 10.50 น. – 14.10 น. ของเดือนพฤษภาคม นอกจากนี้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งที่มุม 90 องศา และห่างจากเปลือกอาคารสามารถบังแดดเปลือกอาคารได้โดยลดอุณหภูมิผิวของเปลือกอาคารลง 2 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการบังแดด ดังนั้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์แนวตั้งพร้อมอุปกรณ์สะท้อนแสงสามารถเพิ่มการผลิตไฟฟ้าและเป็นอุปกรณ์บังแดดให้กับอาคาร

สำนักหอสมุด

Abstract

Nowadays, Thailand increases consumption of electrical energy. Typically, the electrical energy from power plant is generated from natural gas and other fuels imported from foreign countries. As the fuel is expensive and tends to be insufficient in the near future, government issues policies to promote renewable energy consumption in the country. The electricity from solar cell is proper for households because it is simple to use and safe. Additionally, the generation of electricity at home helps reduce transmission loss through electrical wire.

Thailand locates at latitude 14 degrees North, hence the solar cell is installed facing the South at the inclination of 14 degree with horizontal plane to receive the perpendicular solar radiation. In the crowded city the installation of solar cell at 90 degree by installing parallel the wall is getting increase because of the limitation of horizontal area to install the solar cell. It is preliminary shown that the solar cell installed at 90 degree to the horizontal plane generates electric power less than that installed at 14 degree plane. This research aims at utilization of the reflecting device with the solar cell installed at 90 degree to increase the electric generation. The findings will be the guideline for the government and the building's owner to increase the return of investment from installation of the solar cell.

The experimental result shows that the electric power generated from the solar cell installed at 90 degree is lower than that from the solar cell installed at 14 degree by 52.5 %. Therefore the user should avoid the installation of solar cell at 90 degree without any reflecting device. The experimental result shows the reflecting device installed at 38 degree to the horizontal increases electric power generating from the solar cell installed at 90 degree. The ratio of electric power of 5.77 : 1.00 : 1.53 is obtained from the solar cell installed at 14 degree, 90 degree and 90 degree with the reflecting equipment of 38 degree, respectively. The appropriate period to use the reflecting device is during March to October.

This research also studies the effect of the reflecting device installed at 38 degree on the shading of building. The reflecting device can be the shading device during 11.45 a.m. – 12.15 a.m. in March until June. The longest period of the shading is during 10.50 – 14.10 of May. In addition, the solar cell installed at 90 degree with a distance from the façade can cover the façade and decrease the surface temperature of the façade by 2 degree Celsius comparing to that of the bare wall. It is shown that the vertical solar cell with the reflecting device increases the electric power generation and acts as the shading device for the building.

สำนักหอสมุด

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ ดร.สุศุภภรณ์ ชุ่มฉ่ำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่แนะนำแนวทางการทำวิจัยเป็นอย่างดีในทุกกระบวนการวิจัย ตลอดจนแนะนำผู้ชำนาญการในวิทยาการด้านที่ทำการศึกษามีความสามารถหลายท่านที่ช่วยแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการศึกษาได้อย่างดี ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. ยอด สุขะมงคล ที่ได้ให้คำปรึกษารวมทั้งตอบปัญหาขอสงสัยต่างๆอย่างลึกซึ้ง อีกทั้งสละเวลาเพื่อช่วยทำการทดลอง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรรณจิรา ทิศาวิภาต ที่ให้คำปรึกษา และช่วยหาแนวทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำวิจัยรวมทั้งให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณอย่างยิ่งสำหรับ รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภชาติ จงไพบูลย์พัฒนา ที่ให้คำแนะนำทั้งทฤษฎี และวิธีการทดลอง อีกทั้งกรุณาเป็นประธานสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ น้องสาว และน้องชาย ที่เป็นที่รัก และเคารพพียง ที่คอยห่วงใยเป็นกำลังใจ และสนับสนุนด้านการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา

ขอขอบคุณ อาจารย์ ชาตรี ตั้งอมตะกุล นักวิจัย สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงาน แสงอาทิตย์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ได้ให้คำปรึกษา พร้อมทั้งให้การสนับสนุนทางด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ทำวิจัย และช่วยเหลือการทำวิจัยเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต ลิ้มมีโชคชัย จากสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์ และสถานที่ในการทดลอง

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ คณาจารย์คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา และถ่ายทอดความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าขณะที่ได้ศึกษาในสถาบันแห่งนี้

คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

รัชพันธ์ เดชจินดา

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2553

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพประกอบ.....	(10)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4 สมมติฐานการวิจัย	4
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย.....	4
1.6 ตัวแปรในการศึกษา	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
2. ผลงานวิจัย และเอกสารที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์.....	10
2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับแสง	13
2.3 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับแสงอาทิตย์.....	18
2.4 ปริทัศน์งานวิจัย.....	19

3. วิธีการวิจัย	28
3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	29
3.2 การทดลองที่ 1	33
3.3 การทดลองที่ 2	35
3.4 การทดลองที่ 3	38
4. ผลการศึกษา.....	42
4.1 กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุม 14 องศา และที่มุม 90 องศา กับแนวระนาบ	42
4.2 กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุม 14 องศา มุม 90 องศา กับแนวระนาบ และเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งที่มุม 90 องศา กับแนวระนาบ พร้อมอุปกรณ์สะท้อนแสงติดตั้งที่มุม 38 องศา 7 องศา และ 14 องศา.....	45
4.3 กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุม 14 องศา มุม 90 องศา กับแนวระนาบ และเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งที่มุม 90 องศา กับแนวระนาบ และเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งที่มุม 90 องศา กับแนวระนาบ พร้อมอุปกรณ์สะท้อนแสงติดตั้งที่มุม 28 องศา และ 14 องศา สำหรับแต่ละเดือนในหนึ่งปี.....	49
4.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งที่มุม 14 องศา มุม 90 องศา กับแนวระนาบ และเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งที่มุม 90 องศา กับแนวระนาบ พร้อมอุปกรณ์สะท้อนแสงติดตั้งที่มุม 38 องศา และ 14 องศา สำหรับแต่ละเดือนในหนึ่งปี	59
5. สรุปผลการศึกษา.....	65
5.1 สรุปผลด้านพลังงานไฟฟ้า	66
5.2 สรุปผลด้านการนำไปใช้	81

6. อภิปรายผลการศึกษา	91
6.1 แนวทางการเลือกใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์.....	91
6.2 อุปกรณ์สะท้อนแสงและตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อการออกแบบ.....	95
6.3 สัดส่วนพื้นที่ที่ติดตั้งให้ได้กำลังไฟฟ้าเท่ากัน.....	96
6.4 ข้อจำกัดในการทดลอง	96
6.6 เสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	97
บรรณานุกรม	98
ประวัติการศึกษา.....	101

สำนักหอสมุด

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ตารางแสดงการใช้พลังงานของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2547 – 2551	1
1.2	ตัวแปรในการทดลองที่ 1	5
1.3	ตัวแปรในการทดลองที่ 2	6
1.4	ตัวแปรในการทดลองที่ 3	7
2.1	ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละชนิด เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป	11
2.2	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุ	15
4.1	ค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้า และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในช่วงเวลา 7.00 น. – 18.00 น. ของวันที่ 1 มีนาคม 2553	44
4.2	ค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้า และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในช่วงเวลา 7.00 น. – 18.00 น. ของวันที่ 1 มีนาคม 2553	45
5.1	ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ และค่าประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	66
5.2	ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ และค่าประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	71
5.3	ค่ากำลังไฟฟ้า ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ และสัดส่วนกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก PV 14° PV 90° และ PV 90° Ref 38°	80
5.4	ค่ากำลังไฟฟ้า ที่ผลิตได้จาก PV 14° PV 90° และ PV 90° Ref 38° จากค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	87
5.5	หน่วยไฟฟ้า (P _x) และจำนวนเงินที่เพิ่มขึ้น (บาทต่อปี) เมื่อติดตั้งอุปกรณ์สะท้อนแสงที่เอียงมุม 38 องศา ให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งทำมุม 90 องศา กับแนวระนาบ	90

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1.1	แนวมุมระดับที่ตกกระทบกับแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์	2
1.2	หลักการการทำงานของอุปกรณ์สะท้อนแสง	3
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า เมื่อความเข้มของแสงเปลี่ยนแปลงไป	10
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป	10
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคลื่นของแสงอาทิตย์ กับประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.4	แนวของแสงที่ตกกระทบพื้นผิว	13
2.5	หลักการสะท้อนแสงของอุปกรณ์เพิ่มการสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งให้เซลล์แสงอาทิตย์ที่เอียงทำมุม 90 องศา กับแนวระนาบ	14
2.6	ภาพแสดงลักษณะของอุปกรณ์สะท้อนแสงที่มีลักษณะเป็น Specula Reflector	15
2.7	พฤติกรรมของแสงที่ตกกระทบ การดูดซับ และ ส่งผ่านของแสงที่ผ่านกระจก	16
2.8	ค่าการส่งผ่านของกระจกแต่ละสเปกตรัม	17
2.9	การโคจรดวงอาทิตย์ที่ละติจูด 14 องศาเหนือ	18
2.10	การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุมชันกว่า 90 องศา กับแนวระนาบ	19
2.11	การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุม 90 องศา กับแนวระนาบ ณ อาคาร ท.102 บางกรวย จ. นนทบุรี	20
2.12	การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุม 90 องศา กับแนวระนาบ	20
2.13	ผนังเซลล์แสงอาทิตย์เปล่งแสง	21
2.14	Photovoltaic Thermal cell	22
2.15	Photovoltaic cell Thin Film	22
2.16	Solar Concentrator	23
2.17	Ridge Reflector	24
2.18	รายละเอียดของ Ridge Reflector	24

2.19	Parabolic Reflector	25
2.20	การเปรียบเทียบพลังงาน ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มการสะท้อนแสงแบบต่าง ๆ	25
2.21	การพัฒนาโมดูลโฟโตโวลตาอิกร่วมกับ รวบรวมแสงแบบรูปประกอบพาราโบลา	26
2.22	เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้รวบรวมแสงแบบ รูปประกอบพาราโบลา (CPC) กับแบบทั่วไป.....	27
3.1	แผนผังวงจรแปลงค่ากระแสไฟฟ้า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และตำแหน่งที่ทำการวัด.....	29
3.2	การติดตั้งอุปกรณ์การทดลองบนพื้นที่ลาดฟ้าอาคารปฏิบัติการ สถาบันเทคโนโลยี นานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	30
3.3	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	30
3.4	แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองที่ 1.....	33
3.5	แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองที่ 2.....	36
3.6	การติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มการสะท้อนแสงในการทดลองที่ 2	37
3.7	ตำแหน่งระนาบอ้างอิงในชุดทดลอง	39
3.8	ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองที่ 3 สำหรับ เดือน สิงหาคม.....	41
4.1	ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบกับค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในช่วงเวลา 7.00 น.–18.00 น. ของวันที่ 1 มีนาคม 2553.....	43
4.2	กระแสไฟฟ้า PV 14° PV 90° และ PV 90° ref 38°	46
4.3	กระแสไฟฟ้า PV 14° PV 90° และ PV 90° ref 7°.....	46
4.4	กระแสไฟฟ้า PV 14° PV 90° และ PV 90° ref 14°	47
4.5	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเดือนมกราคมและพฤศจิกายน.....	50
4.6	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเดือนกุมภาพันธ์และตุลาคม	50
4.7	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเดือนมีนาคมและกันยายน.....	51
4.8	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเดือนเมษายนและสิงหาคม.....	51
4.9	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเดือนพฤษภาคมและกรกฎาคม	52
4.10	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเดือนมิถุนายน.....	52
4.11	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเดือนธันวาคม.....	53

4.12	กระแสไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนมกราคม และพฤศจิกายน.....	53
4.13	กระแสไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ และตุลาคม.....	54
4.14	กระแสไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนมีนาคม และตุลาคม.....	54
4.15	กระแสไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนเมษายน และสิงหาคม.....	55
4.16	กระแสไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนพฤษภาคม และกรกฎาคม.....	55
4.17	กระแสไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนมิถุนายน.....	56
4.18	กระแสไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนธันวาคม.....	56
4.19	อุณหภูมิผิว PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนมกราคมและพฤศจิกายน.....	60
4.20	อุณหภูมิผิว PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์และตุลาคม.....	60
4.21	อุณหภูมิผิว PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนมีนาคม และตุลาคม.....	61
4.22	อุณหภูมิผิว PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนเมษายน และสิงหาคม.....	61
4.23	อุณหภูมิผิว PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนพฤษภาคม และกรกฎาคม.....	62
4.24	อุณหภูมิผิว PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนมิถุนายน.....	62
4.25	อุณหภูมิผิว PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนธันวาคม.....	63
4.26	อุณหภูมิผิวใต้ร่มเงาแผงเซลล์แสงอาทิตย์อุณหภูมิพื้นผิวภายนอกร่มเงา.....	63

5.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการสรุปผลการศึกษา.....	65
5.2	กำลังไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งทำมุม 14 องศา และมุม 90 องศา กับแนว ระนาบทางด้านทิศใต้	66
5.3	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งทำมุม 14 องศา และ มุม 90 องศา กับแนวระนาบทางด้านทิศใต้.....	67
5.4	กำลังไฟฟ้า PV 14 PV 90° และ PV 90° ref 38°	68
5.5	กำลังไฟฟ้า PV 14 PV 90° และ PV 90° ref 7°	69
5.6	กำลังไฟฟ้า PV 14 PV 90° และ PV 90° ref 14°	69
5.7	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า PV 14° PV 90° และ PV 90° Ref 38°	70
5.8	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า PV 14° PV 90° และ PV 90° Ref 7°	70
5.9	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า PV 14° PV 90° และ PV 90° Ref 14°	71
5.10	กำลังไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 38° ในช่วงเดือน มกราคม และพฤศจิกายน	72
5.11	กำลังไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 38° ในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ และตุลาคม	73
5.12	กำลังไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 38° ในช่วงเดือน มีนาคม และตุลาคม	73
5.13	กำลังไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 38° ในช่วงเดือน เมษายน และสิงหาคม	74
5.14	กำลังไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 38° ในช่วงเดือน พฤษภาคม และกรกฎาคม.....	74
5.15	กำลังไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 38° ในช่วงเดือน มิถุนายน.....	75
5.16	กำลังไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 38° ในช่วงเดือน ธันวาคม	75
5.17	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนมกราคม และพฤศจิกายน.....	76
5.18	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ และตุลาคม.....	76

5.19	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนมีนาคม และตุลาคม	77
5.20	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนเมษายน และสิงหาคม	77
5.21	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนพฤษภาคม และกรกฎาคม	78
5.22	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนมิถุนายน	79
5.23	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า PV 14° PV 90° PV 90° Ref 38° และ PV 90° Ref 14° ในช่วงเดือนธันวาคม	79
5.24	การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุม 90 องศา กับแนวระนาบ ณ อาคาร ท.102 บางกรวย จ. นนทบุรี	82
5.25	รูปด้านอาคาร ท.102	83
5.26	Perspective อาคาร ท.102	84
5.27	Perspective อาคาร ท.102 เมื่อติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มการสะท้อนแสงที่มุม 38 องศา	85
5.28	รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มการสะท้อนแสงที่มุม 38 องศา	86
5.29	การใช้อุปกรณ์สะท้อนแสงที่เอียงทำมุม 38 องศา เป็นแผงบังแดด	92
5.27	การโคจรของดวงอาทิตย์แสดงช่วงเวลาที่อุปกรณ์สะท้อนแสงที่เอียงทำมุม 38 องศา สามารถบังแดดเข้าสู่อาคารได้ทั้งหมด (ส่วนที่แรเงา)	92