

การระบายความร้อนของแผ่นเรียบด้วยโครงสร้างเชือกดุดซับน้ำ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Heat removal of flat plate using wick structure



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การระบายความร้อนของแผ่นเรียบด้วยโครงสร้างเชิงกูด ชั้นน้ำ
โดย	น.ส.ชลธิชา แก้วทงงค์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สร้อย ศาลากิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.สุรัฐ ขวัญเมือง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จิตติน แดงเที่ยง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สร้อย ศาลากิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.สุรัฐ ขวัญเมือง)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษฎา พนมเชิง)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.พสุ บุญวิสุทธิ)

ชลธิชา แก้วทนต์ : การระบายความร้อนของแผ่นเรียบด้วยโครงสร้างเชิงกุดดูดซับน้ำ. (

Heat removal of flat plate using wick structure) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.สร้อย ศาลากิจ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.สุรัฐ ขวัญเมือง

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ การศึกษาส่วนแรกเป็นการทดสอบผลของอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง และการศึกษาในส่วนที่ 2 เป็นการเสนอการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งได้นำเสนอต้นแบบการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์โดยมี 3 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนดาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร รูปแบบที่ 2 คือกรณีติดตั้งบนดาดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และรูปแบบที่ 3 คือกรณีติดตั้งบนหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) วิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) และวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ

การทดสอบอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์จำลองแสดงให้เห็นว่าสำหรับกรณีฟังก์ชันความร้อน 205.8, 483.8 และ 661.8 W/m² สามารถลดอุณหภูมิของแผงได้ถึง 5.9, 8.3 และ 11.3°C ซึ่งประมาณได้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ 2.95, 4.15 และ 5.65% ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ตัวอย่างที่ขนาดการติดตั้ง 6.6 kW ตลอดอายุโครงการ 25 ปี แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งในรูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนดาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร มีค่า NPV สูงสุด IRR มากที่สุด และระยะเวลาคืนทุนน้อยสุด ได้แก่ 109,112.11 บาท, 255.33% และ 0.39 ปี ตามลำดับ ในกรณีวิเคราะห์ความอ่อนไหวโครงการที่พิจารณาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าไฟฟ้า ค่าน้ำ และค่าผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่า ค่าผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพที่เปลี่ยนไปส่งผลต่อ NPV, IRR และระยะเวลาคืนทุนมากที่สุด โดยการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำมีผลกระทบที่น้อยที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5970137021 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORD: Solar cell, Cooling, PV Cooling, Passive Cooling

Chonticha Klewthnong : Heat removal of flat plate using wick structure. Advisor: Asst. Prof. Saran Salakij, Ph.D. Co-advisor: Surat Kwanmuang, Ph.D.

The purpose of this study is to study the application of fabric water evaporation cooling device for the solar cells. This research is divided into 2 parts. The first part of the study aims to test the effects of using a fabric evaporative cooling device with an artificial solar cell. The second part proposes an application of a fabric evaporative cooling device to solar cells. Three prototype setups of the solar cell with evaporative cooling device using fabric were studied. The first scheme is the case of installing it on a flat building's roof by using the water system of the building. The second and the third scheme are the cases of using separating water system and installing the cooling system on flat and sloped building's roofs, respectively. The analysis investigates the economic impact via the following parameters: the net present value (NPV), internal rate of return (IRR), the payback period, and the sensitivity of the project.

The testing fabric evaporative cooling device on an artificial solar cell shows that for case with heat flux of 205.8, 483.8 and 661.8 W/m², the temperature of the solar cell can be reduced by 5.9, 8.3, 11.3°C, which is equivalent to the improve in the solar cell efficiency of 2.95, 4.15 and 5.65%, respectively. The economics analysis for applying a fabric evaporative cooling device to a 6.6-kW solar cell system for 25 years shows that the installation in the first scheme, the case of installing on a flat building roof using a water system of the building, has the highest NPV, the highest IRR, and the lowest payback period which are 109,112.11 baht, 255.33% and 0.39 years, respectively. For project sensitivity analysis which includes the effects of variation of electricity cost, water tariff and the temperature-and-solar-cell-efficiency sensitivity. It was found that the changing of the temperature-and-solar-cell-efficiency sensitivity affects NPV, IRR and payback period of the project the most, while the changing of water tariff affects them the least.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Mechanical Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2021

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์ และให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จากอาจารย์สร้อย ศาลากิจ และอาจารย์สุรัฐ ขวัญเมือง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งตลอดมา อาจารย์ให้ความเมตตา ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา และแก้ไขปัญหาต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณที่ดูแลลูกศิษย์คนนี้อย่างดีที่สุดเสมอมา

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ คณะวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และให้กำลังใจที่ดีที่สุดเสมอมา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณนิสิต ไสยลักษณ์ ที่ให้ความช่วยเหลืออย่างมากในส่วนของ การปฏิบัติ การ และคุณมาศฟ้า อัมพะวะพะสิน ที่เมตตาให้ความช่วยเหลืออย่างดีเสมอมา

ขอขอบคุณ พี่นะ จีระณะ ณ นรงค์, พี่แคท วริศรา ตั้งยศขจร, กอด ศุภอรรัช เจริญชัยสมบัติ, พี่ธีร์ อธิป ต้นติวรวงศ์, พี่เบส อภินาท คุณานพรัตน์, น้องณัฐ ศุภณัฐ หาญสกุลบรรเทิง, พี่มิน พิมพ์กานต์ เมฆพฤษภาวรงค์, พี่หมี ไชยนที ธนะกุลรังสรรค์, มิวส์ สุวิภา กุศลจุง และ น้องแบงค์ บรรณพงศ์ กลีบประทุม ที่ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน เป็นพลังใจ เป็นกำลังใจที่ดีที่สุดให้เสมอมา รวมถึงเพื่อน พี่น้อง อีกทั้งผู้ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุน ทุกท่านที่ไม่กล่าวนามถึง

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณตาสุวรรณ คุณยายคำ ศรีเพ็ญ คุณพ่อจรัสชัย คุณแม่อนงค์ แก้วทงศ์ ครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่ง ผู้เป็นเบื้องหลังทุกความสำเร็จ เป็นพลังใจ เป็นกำลังใจ คอยเคียงข้าง และสนับสนุนลูกคนนี้อย่างดีที่สุดเสมอมา

ชลธิชา แก้วทงศ์

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 อุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์.....	4
2.2 การระบายความร้อน.....	5
2.3 การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	10
2.4 สรุปการศึกษางานวิจัย	12
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	14
3.1 พลังงานแสงอาทิตย์	14
3.2 สเปกตรัมพลังงานแสงอาทิตย์.....	14
3.3 รังสีและการฉายรังสี.....	15
3.4 การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์	16

3.5 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงิน (Financial Feasibility).....	20
บทที่ 4 การศึกษาการระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง	24
4.1 เซลล์แสงอาทิตย์จำลอง.....	24
4.2 ห้องจำลองสภาพอากาศ.....	29
4.3 การทดลอง.....	29
4.4 การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล	33
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	35
5.1 การวิเคราะห์ผลการศึกษาอุณหภูมิในแต่ละจุดวัดของเซลล์แสงอาทิตย์	35
5.2 การวิเคราะห์ผลการศึกษาอุณหภูมิเฉลี่ยของจุดวัดเซลล์แสงอาทิตย์	36
5.3 การวิเคราะห์ผลการศึกษาค่าประมาณประสิทธิภาพที่เพิ่ม	38
บทที่ 6 การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง	40
6.1 รูปแบบชุดเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ในการศึกษา	40
6.2 การติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนกับชุดเซลล์แสงอาทิตย์	41
6.3 การบำรุงรักษาระบบระบายความร้อน	44
6.4 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากต้นแบบการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ระบายความร้อน	45
บทที่ 7 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง.....	49
7.1 การประเมินต้นทุนของโครงการ.....	49
7.2 ประมาณการผลประโยชน์ของโครงการ.....	56
7.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน	57
7.4 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ	60
บทที่ 8 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	68
บรรณานุกรม.....	70
ประวัติผู้เขียน.....	137



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูป

รูปที่ 4-1 รูปเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง.....	24
รูปที่ 4-2 ฮีทเตอร์ซิลิโคน (Silicone heater).....	25
รูปที่ 4-3 แผ่นอลูมิเนียม (Aluminum Plate).....	25
รูปที่ 4-4 หัวเซนเซอร์วัดอุณหภูมิชนิด K (Thermocouple Type K).....	26
รูปที่ 4-5 หม้อแปลงไฟฟ้า (Power Supply).....	26
รูปที่ 4-6 ผ้าฝ้าย (Cotton Sheet)	26
รูปที่ 4-7 รูปเครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)	27
รูปที่ 4-8 ทิมมิเตอร์ (Multimeter).....	27
รูปที่ 4-9 ตำแหน่งการติดตั้งหัววัด Thermocouple Type K	28
รูปที่ 4-10 ภาพชุดการทดลอง	28
รูปที่ 4-11 แผนภาพแสดงชุดการทดลอง.....	28
รูปที่ 4-12 รูปแสดงแบบการทดสอบ.....	29
รูปที่ 4-13 แผนภูมิแสดงข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 2562 อิงจากสภาพภูมิอากาศประเทศไทย	32
รูปที่ 4-14 แผนภูมิแสดงข้อมูลความชื้นสูงสุดเฉลี่ย 2562 อิงจากสภาพภูมิอากาศประเทศไทย.....	32
รูปที่ 5-1 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิทั้ง 4 จุดวัด ของแผงเปล่า.....	36
รูปที่ 5-2 กราฟแสดงอุณหภูมิของแผงเปล่า ผ้าแห้ง ผ้าดูดซับน้ำในแต่ละค่า heat flux.....	37
รูปที่ 5-3 แผนภูมิแสดงค่าประมาณประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น	39
รูปที่ 6-1 แสดงรูปแบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์	41
รูปที่ 6-2 แสดงอุปกรณ์ระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์	42
รูปที่ 6-3 รูปแบบการติดตั้งระบบทางเดินน้ำของอุปกรณ์ระบายความร้อนของชุดเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ ทำการศึกษสำหรับ (ก) ดาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร (ข) ดาดฟ้าอาคารเรียบ โดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และ (ค) หลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร.....	43

รูปที่ 6-4 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างอุปกรณ์ระบายความร้อน น้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับกรณีไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์	46
รูปที่ 6-5 แผนภูมิประมาณการหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีของการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ระบายความร้อน ระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับกรณีไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์	47
รูปที่ 6-6 กราฟแสดงความเป็นไปได้ในการเพิ่มขึ้นของหน่วยผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยสะสม โดย ระหว่างติดตั้งระบบระบายความร้อนกับไม่ติดตั้งระบบระบายความร้อน	48
รูปที่ 7-1 แผนภูมิแสดงการสรุปการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) และ ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) กรณีของการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำจากผ้ากับ เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงรูปแบบที่ 1 เมื่อค่าไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป โดยกำหนดให้อัตราค่าไฟฟ้าปกติ 4.42 บาทต่อหน่วย ค่าไฟฟ้าลดลงและเพิ่มขึ้น 20%	62
รูปที่ 7-2 แผนภูมิแสดงการสรุปการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) และ ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) กรณีของการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำจากผ้ากับ เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงรูปแบบที่ 1 เมื่อค่าน้ำเปลี่ยนแปลงไป โดยกำหนดให้อัตราค่าน้ำปกติ 10.50 บาทต่อหน่วย ค่าไฟฟ้าลดลงและเพิ่มขึ้น 20%	64
รูปที่ 7-3 แผนภูมิแสดงการสรุปการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) และ ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) กรณีของการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำจากผ้ากับ เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงรูปแบบที่ 1 เมื่อค่าผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์ แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป โดยค่าผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ต่ำสุดคือ 0.42% ค่าเฉลี่ย 0.50% และสูงสุดคือ 0.73%	66

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4-1 แสดงข้อมูลชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุดจากข้อมูลการตรวจวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2562.....	30
ตารางที่ 4-2 รายละเอียดการป้อนกำลังไฟฟ้า	31
ตารางที่ 7-1 สรุปการประมาณการค่าใช้จ่ายในลงทุนเริ่มต้นของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนตาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร รูปแบบที่ 2 คือกรณีติดตั้งบนตาดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และรูปแบบที่ 3 คือกรณีติดตั้งบนหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร	50
ตารางที่ 7-2 สรุปการประมาณการค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนตาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร รูปแบบที่ 2 คือกรณีติดตั้งบนตาดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และรูปแบบที่ 3 คือกรณีติดตั้งบนหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร	51
ตารางที่ 7-3 สรุปการประมาณการค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนตาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร รูปแบบที่ 2 คือกรณีติดตั้งบนตาดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และรูปแบบที่ 3 คือกรณีติดตั้งบนหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร	52
ตารางที่ 7-4 สรุปการประมาณการต้นทุนรวมของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนตาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร.....	53
ตารางที่ 7-5 สรุปการประมาณการต้นทุนรวมของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง รูปแบบที่ 2 คือกรณีติดตั้งบนตาดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร.....	54
ตารางที่ 7-6 สรุปการประมาณการต้นทุนรวมของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง รูปแบบที่ 3 คือกรณีติดตั้งบนหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร	55
ตารางที่ 7-7 สรุปต้นทุนรวม ค่าไฟที่ประหยัดได้เพิ่มขึ้น ผลประโยชน์สุทธิสะสม เปรียบเทียบกันระหว่างกรณีของการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง ใน 3 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนตาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร รูปแบบที่	

2 คือกรณีติดตั้งบนตาดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และรูปแบบที่ 3 คือกรณีติดตั้งบนหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร 58

ตารางที่ 7-8 สรุปการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) กรณีของการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดจริงใน 3 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนตาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร รูปแบบที่ 2 คือกรณีติดตั้งบนตาดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และรูปแบบที่ 3 คือกรณีติดตั้งบนหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร 59



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายอันเนื่องจากการพัฒนาเทคโนโลยี เซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และราคายังถูกลงจากเดิม อีกทั้งปัจจุบันยังมีผู้เชี่ยวชาญ ด้านเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้น จึงทำให้ผู้บริโภคมั่นใจมากขึ้นอีกด้วย พลังงานแสงอาทิตย์เป็น อีกหนึ่งทางเลือกในการใช้พลังงานสะอาดเพื่อลดการสิ้นเปลืองพลังงานให้กับโลก และด้วยลักษณะ ภูมิอากาศและภูมิประเทศของประเทศไทยนั้น เซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการ ลงทุน

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยมี หลักการทำงานคือ เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนพลังงาน แสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากนั้นส่งเข้าไปเก็บยังแบตเตอรี่ เข้าอุปกรณ์ inverter เพื่อ แปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ ก่อนส่งไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน และ แน่นอนว่าสิ่งที่มาควบคู่กับรังสีดวงอาทิตย์นั้นก็คือความร้อน ซึ่งความร้อนเป็นตัวการสำคัญทำให้ เซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ จะไม่สามารถทำงานได้ดี เมื่อมีอุณหภูมิสูง เพราะนอกจากความร้อนจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพลดลงแล้ว ความร้อนยัง ส่งผลต่ออายุขัยของอุปกรณ์ หรืออาจทำให้อุปกรณ์เกิดการชำรุดเสียหายได้อีกด้วย ซึ่งจากการ รวบรวมงานวิจัยเทคนิคการระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์ของ [1] พบว่า ในทุกๆการเพิ่มขึ้นของ อุณหภูมิ 1°C จะส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพลดลงถึง 0.40-0.65% ซึ่งข้อมูลข้างต้นเป็น ตัวบ่งชี้ได้ว่าความร้อนส่งผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นการระบายความร้อน ของเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีความจำเป็นอย่างมาก

ปัจจุบันการระบายความร้อนได้ถูกพัฒนาขึ้นมามากมาย ซึ่งโดยหลักๆแล้วสามารถแบ่งออก ได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การระบายความร้อนแบบ active และการระบายความร้อนแบบ passive การระบายความร้อนแบบ active คือ การระบายความร้อนโดยอาศัยพลังงานภายนอกในการ ขับเคลื่อน เช่น พัดลม บีมเป็นต้นการระบายความร้อนแบบ passive คือ การระบายความร้อนที่ อาศัยการถ่ายโอนความร้อน ไม่ต้องพึ่งพาการใช้พลังงานใดๆ เพิ่มเติมในการระบายความร้อนแม้จะ ระบายความร้อนได้ไม่ดีเท่าการระบายความร้อนแบบ active แต่ระบบการระบายความร้อนแบบ passive นั้นไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก ค่าใช้จ่ายในระบบการทำงานและค่าบำรุงรักษา

ค่อนข้างต่ำ การระบายความร้อนแบบ passive จึงเป็นทางเลือกที่หน้าสนใจที่จะนำมาพัฒนา จึงเกิดการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้น

อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นวิธีการระบายความร้อนแบบ passive โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์จำลอง ซึ่งการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์จำลองนั้นสร้างขึ้นโดยใช้แผ่นอลูมิเนียมประกบแผ่น silicone heater ไว้ด้านบนแผ่นอลูมิเนียมเพื่อให้ความร้อนแทนการรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ และระบายความร้อนด้วยผ้าฝ้ายดูดซับน้ำซึ่งจะถูกติดตั้งบริเวณด้านหลังของแผ่นอลูมิเนียม โดยผ้าฝ้ายจะดูดซับน้ำจากแหล่งน้ำทำเยี่ยงเซลล์แสงอาทิตย์จำลองเข้ามาระบายความร้อนบริเวณใต้แผง อุปกรณ์ระบายความร้อนอย่างผ้าฝ้ายนี้มีข้อดีคือ มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี มีความบางจึงสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดี น้ำหนักเบา เป็นวัสดุที่หาง่าย และมีราคาถูก อาจมีข้อจำกัดของอุปกรณ์ระบายความร้อนคือ สามารถติดตั้งได้บริเวณหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่านั้น

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ การศึกษาส่วนแรกเป็นการทดสอบอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง และการศึกษาในส่วนที่ 2 เป็นการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ และวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยการศึกษาส่วนแรกเป็นการทดสอบอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง ซึ่งในบทที่ 4 จะเป็นระเบียบการทดลอง และบทที่ 5 เป็นการวิเคราะห์ผลการทดลอง และนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ในส่วนแรกไปประกอบการศึกษาในส่วนที่ 2 ถัดไป โดยการศึกษาในส่วนที่ 2 นั้นเป็นการออกแบบต้นแบบการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ระบายความร้อนกับแผงขนาดจริง และคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งบทที่ 6 ได้นำเสนอต้นแบบการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์โดยมี 3 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนดาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร รูปแบบที่ 2 คือกรณีติดตั้งบนดาดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และรูปแบบที่ 3 คือกรณีติดตั้งบนหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และนำไปคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในบทที่ 7 ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาการลดอุณหภูมิด้วยอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์จำลองโดยใช้ผ้าฝ้ายดูดซับน้ำ

- 2) ออกแบบต้นแบบการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) เพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินเมื่อประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์โดย วิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) วิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) และวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการเมื่อต้นทุนเกิดการเปลี่ยนแปลง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ศึกษาอุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง
- 2) ทดสอบอุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์จำลองในห้องจำลองสภาพอากาศ
- 3) ใช้ผ้าฝ้ายเป็นตัวดูดซับน้ำเพื่อใช้ในการระบายความร้อนของอุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์
- 4) ออกแบบต้นแบบการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง เพื่อคำนวณและเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพ และผลผลิตทางไฟฟ้า
- 5) ในส่วนของศึกษาความคุ้มค่าทางการเงิน ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ผลการทดลองของอุณหภูมิจากอุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการลดอุณหภูมิการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง
- 2) สามารถออกแบบต้นแบบการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงได้
- 3) สามารถประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนเมื่อติดตั้งระบบระบายความร้อนจากการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงได้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

M. M. Rahman และคณะ [2] ได้ศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ในการทดลองนี้ พารามิเตอร์การทำงานต่างๆ เช่น ความเข้มของการฉายรังสี อัตราการไหลของมวลของของไหลหล่อเย็น ความชื้น และฝุ่นจะเปลี่ยนแปลงไปเพื่อสังเกตผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่า ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าลดลง 0.60% ต่ออุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น 1°C

M. Chandrasekar และคณะ [3] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการทำความเย็นแบบพาสซีฟ โดยการติดตั้งตะเกียงเปียกที่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์แบบสแตนด์อโลน อุณหภูมิโมดูลลดลงสูงสุด 20 °C (จาก 65 ถึง 45 °C) ซึ่งเทียบเท่ากับการลดลง 30% ประสิทธิภาพสูงสุด 10.4% จากการใช้ไส้ตะเกียงชุน้ำ ดังนั้นประสิทธิภาพทางไฟฟ้าลดลง 0.52% ต่ออุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น 1°C

Chandrasekar และ Senthilkumar [4] ศึกษาการจัดการความร้อนแบบพาสซีฟ โดยใช้เครื่องกระจายความร้อนร่วมกับไส้ตะเกียงฝ้าย อุณหภูมิสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ จาก 49.2°C เป็น 43.3°C ซึ่งอยู่ที่ประมาณ 5.9°C แอต์พุตทางไฟฟ้าก็ดีขึ้น 14% ดังนั้นประสิทธิภาพทางไฟฟ้าลดลง 0.42% ต่ออุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น 1°C

Bahaidarah และคณะ [5] ศึกษาการระบายความร้อนด้วยน้ำของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ภายใต้สภาพแวดล้อมที่รุนแรง โดยดำเนินการวิเคราะห์เชิงตัวเลขและศึกษาเชิงทดลองของระบบไฮบริดระบายความร้อนด้วยน้ำ พบว่าอุณหภูมิลดลงอย่างเห็นได้ชัดจาก 45°C เป็น 34°C ซึ่งลดลง 11°C และประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 9% ดังนั้นประสิทธิภาพทางไฟฟ้าลดลง 0.81% ต่ออุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น 1°C

Moharram และคณะ [6] ได้ศึกษาการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ โดยประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้น้ำน้อย กำหนดให้ระบบทำงานเป็นเวลา 5 นาที อุณหภูมิเซลล์สุริยะจะลดลง 10°C พบว่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าลดลง 0.5% ต่ออุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น 1°C

Baloch et al และคณะ [7] แนวทางใหม่ในการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ converging channel heat exchanger เพื่อลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิเซลล์ลดลงอย่าง

มีนัยสำคัญจาก 71.2°C เป็น 45.1°C ลดลง 26.1°C โดยประสิทธิภาพสูงสุด 35.5% ดังนั้น ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าลดลง 0.73% ต่ออุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น 1°C

S. Nizetic และคณะ [8] นำเสนอเกี่ยวกับเทคนิคการหล่อเย็น โดยเป็นการพ่นน้ำพร้อมกันทั้งสองด้านของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิแผงลดลงจากค่าเฉลี่ย 54°C เป็น 24°C ลดลง 30°C โดยประสิทธิภาพสูงสุด 14.1% ดังนั้นประสิทธิภาพทางไฟฟ้าลดลง 0.47% ต่ออุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น 1°C

Ye Zhangbo และคณะ [9] ศึกษาเทคโนโลยีการระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์ การควบคุมอุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญมากในการรักษาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของระบบจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้กำลังส่งออกของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบที่มีความเข้มข้น เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานหลายครั้ง แม้กระทั่งหลายร้อยครั้งในสภาวะการฉายรังสี ดังนั้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งไม่เพียงแต่ลดประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเท่านั้น แต่ยังส่งผลต่อช่วงชีวิตของเซลล์ไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย โดยประสิทธิภาพของเซลล์ลดลงเมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงอยู่ที่ 0.45% ต่อ $^{\circ}\text{C}$

2.2 การระบายความร้อน

การระบายความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ การระบายความร้อนแบบ active และการระบายความร้อนแบบ passive การระบายความร้อนแบบ active คือ การระบายความร้อนโดยอาศัยพลังงานภายนอกในการขับเคลื่อน เช่น พัดลม ป้อนเป็นต้นการระบายความร้อนแบบ passive คือ การระบายความร้อนที่อาศัยการถ่ายโอนความร้อน ไม่ต้องพึ่งพาการใช้พลังงานใดๆ เพิ่มเติมในการระบายความร้อน

2.2.1 การระบายความร้อนแบบ Active

H. Bahaidarah และคณะ [5] ได้ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์การระบายความร้อนด้วยน้ำจากด้านหลังแผง เป็นการศึกษาโดยใช้โปรแกรม Engineering Equation Solver (EES) ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข และการทดลอง โดยการการศึกษาในครั้งนี้ทดลองในสภาพอากาศร้อนของเมืองดาร์ราน ประเทศซาอุดีอาระเบีย ในการใช้โปรแกรม Engineering Equation

Solver (EES) สามารถคาดการณ์ประสิทธิภาพทางความร้อนและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ระบบระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกติดตั้งบริเวณใต้แผงสามารถลดอุณหภูมิให้กับแผงได้ โดยการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิระหว่างน้ำกับเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ให้ผลลัพธ์ที่ดีทั้งอุณหภูมิที่ลดลงและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่ดี ทั้งจากการศึกษาด้วยการจำลองเชิงตัวเลขและการศึกษาจากการทดลอง โดยอุณหภูมิลดลงอย่างมีนัยสำคัญถึง 20% และประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 9% และจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าอัตราการไหลมีผลต่อการเพิ่มขึ้นและลดลงของอุณหภูมิ น้ำที่ใช้เป็นสารหล่อเย็นในการระบายความร้อน และในกรณีอัตราการไหลของน้ำที่เท่ากันแต่อุณหภูมิต่างกัน อุณหภูมิที่สูงกว่าจะส่งผลให้อุณหภูมิแผงสูงขึ้นไปด้วย

K. A. Moharram และคณะ [6] ได้ศึกษางานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์ในการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้พลังงานและน้ำในปริมาณน้อยที่สุด ระบบระบายความร้อนถูกพัฒนาให้ฉีดพ่นละอองน้ำให้กับเซลล์แสงอาทิตย์แบบเป็นครั้งคราว โดยระบบระบายความร้อนนี้จะมีการกำหนดเวลาในการพ่นละอองน้ำตามระยะเวลาที่กำหนดเพื่อให้อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์อุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ โดยมีการใช้จำลองทางคณิตศาสตร์ในการจำลองอุณหภูมิแผง และจำลองอัตราการทำความเย็น เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ และการทำความแห้งด้วยตัวเองโดยใช้ระบบระบายความร้อนนี้ในบริเวณที่ร้อนและมีฝุ่น อัตราการทำความเย็นของระบบระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์คือ 2°C ต่อนาที ขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงานที่เกี่ยวข้อง โดยในการทดสอบครั้งนี้จะกำหนดให้พ่นน้ำโดยใช้ระยะเวลา 5 นาทีต่อครั้งเพื่อลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง 10°C ซึ่งอ้างอิงจากผลจำลองทางคณิตศาสตร์ว่าอุณหภูมินี้ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด การลดลงของอุณหภูมิส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ดีขึ้นอีกด้วย

A. A. B. Baloch และคณะ [7] ทำการศึกษาเกี่ยวกับการระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Micro channel จะศึกษาในเชิงทดลองและการวิเคราะห์เชิงตัวเลข โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิแผงมีความสม่ำเสมอ ในการศึกษาเชิงการทดลอง ได้แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณี คือ แบบติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Micro channel และแบบไม่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Micro channel ศึกษาภายใต้สภาพอากาศร้อนของซาอุดีอาระเบีย และใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลขจำลองเพื่อตรวจสอบคุณลักษณะทางความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์ ในการทดสอบครั้งนี้ทดสอบในเดือนมิถุนายน และเดือนธันวาคมในเมืองดาห์ราน ประเทศซาอุดีอาระเบีย อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบในหน้าร้อนเดือนมิถุนายน

ให้ผลลัพธ์คืออุณหภูมิเมื่อไม่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 71.2°C และอุณหภูมิเมื่อติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 45.1°C สามารถลดอุณหภูมิได้ถึง 26.1°C ถือเป็น 57.8% อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบในหน้าหนาวเดือนธันวาคมให้ผลลัพธ์คืออุณหภูมิเมื่อไม่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 48.3°C และอุณหภูมิเมื่อติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 36.4°C สามารถลดอุณหภูมิได้ถึง 11.9°C ถือเป็น 32.7% และผลลัพธ์ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าในการทดสอบในเดือนมิถุนายนเมื่อไม่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 57.8% เมื่อติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 35.5% ในการทดสอบในเดือนมิถุนายนเมื่อไม่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 32.7% เมื่อติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 27.5% ผลลัพธ์ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเดือนมิถุนายนเพิ่มขึ้น 36.1% และประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเดือนธันวาคมเพิ่มขึ้น 26.1% จากการศึกษาข้างต้นจึงสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Micro channel ที่ใช้ในการระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์สามารถลดอุณหภูมิได้ นำไปใช้ในสภาพอากาศร้อนได้ และมีการกระจายอุณหภูมิมบนพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างสม่ำเสมอ

S. Nizetic และคณะ [8] ได้นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับการระบายความร้อนด้วยการพ่นละอองน้ำ โดยการทดสอบบนเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Monocrystalline และทดสอบในสภาพอากาศแบบเมดิเตอร์เรเนียนโดยทั่วไป โดยกำหนดการทดลอง 2 รูปแบบ แบบที่ 1 คือการระบายความร้อนด้วยการพ่นละอองน้ำด้านหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงด้านเดียว และรูปแบบที่ 2 การระบายความร้อนด้วยการพ่นละอองน้ำทั้งด้านหน้าและด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยรูปแบบการทดสอบที่ให้ผลลัพธ์ในการระบายความร้อนได้ดีที่สุดคือ รูปแบบที่ 2 การระบายความร้อนด้วยการพ่นละอองน้ำทั้งด้านหน้าและด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การลดลงของอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลให้ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น ทำให้กำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการระบายความร้อนด้วยการพ่นละอองน้ำทั้งด้านหน้าและด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์พร้อมกัน คือ สามารถลดอุณหภูมิจาก 54°C ลดลงเหลือ 24°C ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถึง 30°C โดยกำหนดให้อุณหภูมิของน้ำในท่อที่ใช้เป็นสารหล่อเย็นให้อยู่ที่อุณหภูมิ 17°C และการลดลงของอุณหภูมียังมีต่อผลลัพธ์ทางไฟฟ้า โดย power output ผลรวมสูงสุดเพิ่มขึ้น 16.3% และประสิทธิภาพไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นทั้งหมด 14.1% การระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการพ่นละอองน้ำนอกเหนือจากความสามารถในการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแผงและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าแล้วนั้น เทคนิคการระบายความร้อนนี้ยังสามารถช่วยในการทำความสะอาดตัวเองของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ซึ่งฝุ่นละอองและคราบ

สกปรกบนแผงเป็นอีกสาเหตุผลหนึ่งซึ่งส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์อีกด้วย

2.2.2 การระบายความร้อนแบบ Passive

M. Chandrasekar และคณะ [3] ได้ศึกษาเกี่ยวกับระบบระบายความร้อนแบบพาสซีฟอย่างง่ายที่มีโครงสร้างเชิงกลโดยพัฒนาสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบ stand alone โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ เพิ่มผลผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และลดความเสียหายอุปกรณ์จากความร้อน จากการทดลองสังเกตได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อนมีอุณหภูมิสูงถึง 65°C และเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดอุปกรณ์ระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโครงสร้างเชิงกลที่ใช้น้ำอุณหภูมิจะลดลงเหลือ 45°C ซึ่งอุณหภูมิที่ลดลงคิดเป็น 30% และการทดลองอุปกรณ์ระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโครงสร้างเชิงกลที่ใช้น้ำ CuO กับน้ำ และ Al_2O_3 กับน้ำ ผลลัพธ์ที่ได้คืออุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงจาก 65°C เหลือ 59°C และ 54°C ซึ่งอุณหภูมิที่ลดลงคิดเป็น 11% และ 17% ตามลำดับ และเซลล์แสงอาทิตย์มีกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วยระบบระบายความร้อนโครงสร้างเชิงกลที่ใช้น้ำ 47.5W โครงสร้างเชิงกลที่ใช้น้ำ nano fluid อยู่ที่ 44.6W และไม่ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนอยู่ที่ 41W และในส่วนประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบายความร้อนด้วยโครงสร้างเชิงกลที่ใช้น้ำ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 10.4% โครงสร้างเชิงกลที่ใช้น้ำ nano fluid อยู่ที่ 9.7% และ 9.5% ตามลำดับ และไม่ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนอยู่ที่ 9% จึงสรุปได้ว่าอุปกรณ์ระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์สามารถลดอุณหภูมิและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ได้ และในกรณีของการระบายความร้อนด้วยโครงสร้างเชิงกลที่ใช้น้ำซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุด

M. Chandrasekar and T. Senthilkumar [4] ได้ศึกษาการสร้างระบบระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์แบบพาสซีฟอย่างง่ายด้วยครีบอลูมิเนียมกระจายความร้อนกับโครงสร้างเชิงกลที่พัฒนาขึ้นเพื่อระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์แบบ stand alone ได้ทำการทดลองเพื่อการทำงานที่เหมาะสมของการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์และการทำงานของระบบระบายความร้อนครีบอลูมิเนียมกระจายความร้อนกับโครงสร้างเชิงกล จากการทดลองผลลัพธ์อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงจาก 49.2°C เหลือ 43.3°C ซึ่งอุณหภูมิที่ลดลงคิดเป็น 12% และเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 19.95% ซึ่งเป็นผลจากการระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยครีบอลูมิเนียมกระจายความร้อนกับโครงสร้างเชิงกล

M. Ebrahimi และคณะ [10] ได้ศึกษาเทคนิคการระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์โดยการใช้ไอธรรมชาติในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ดังนั้นการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เหนือคลองหรือแม่น้ำที่สามารถมีไอรหรือนั้นก็สามารถพัฒนาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ได้ วิธีการนี้เป็นเป็นวิธีการระบายความร้อนโดยไม่ต้องพึ่งพาพลังงานจากภายนอก และยังพบว่า การเพิ่มอัตราการไหลของไอธรรมชาติทำให้ถ่ายเทความร้อนของเซลล์แสงอาทิตย์ดีขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นอีกด้วย อัตราการไหลของไอธรรมชาติมีผลต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ จากผลการทดลองได้ผลลัพธ์ว่า ในอัตราการไหลไอธรรมชาติที่ 1.6 gr min^{-1} เซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 48.3°C และการไหลไอธรรมชาติที่ 5 gr min^{-1} เซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 39.3°C จากผลลัพธ์ในการทดสอบพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลไอธรรมชาติสูงอุณหภูมิไอธรรมชาติต่ำ ซึ่งผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นถึงอัตราการไหลไอธรรมชาติเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการพิจารณา นอกจากนี้การกระจายของไอธรรมชาติบริเวณด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์ และเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อน จากผลลัพธ์ที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่าการกระจายของไอธรรมชาติและอัตราเร็วมีผลต่อประสิทธิภาพการระบายความร้อน การทดลองนี้พบว่าประสิทธิภาพการระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีที่สุดคืออัตราการไหลไอธรรมชาติสูงอุณหภูมิต่ำ ในทางตรงกันข้ามในกรณีที่ให้ผลลัพธ์ไม่ดีมากนักคืออัตราการไหลไอธรรมชาติต่ำอุณหภูมิสูง จึงสรุปได้ว่า อัตราการไหลไอธรรมชาติ การกระจายความร้อนเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

A. H. Alami และคณะ [11] ต้องการค้นหาวิธีการทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพและราคาถูกที่จะใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์โดยการลดอุณหภูมิแบบพาสซีฟ ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ดินเหนียวสังเคราะห์ติดเข้ากับด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง และปล่อยฟิล์มน้ำบางๆ เพื่อการระเหย ทำให้อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์จำลองลดลง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้พิสูจน์ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของเทคนิคนี้ โดยเทคนิคนี้กำหนดความหนาของดินเหนียวที่ใช้ที่ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง โดยมีแผ่นทองแดงหนา 1.5 มม. หุ้มด้วยชั้นดินเหนียว มีความหนา 3 ขนาด ความหนาที่ 1 เท่ากับ 2 มม. ความหนาที่ 2 เท่ากับ 4 มม. และความหนาที่ 3 เท่ากับ 6 มม. ซึ่งผลลัพธ์ของความหนาที่ 1 ที่มีความหนาของชั้นดินเหนียวเท่ากับ 2 มม. ให้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขาออกสูงสุด 19.4% และเพิ่ม power output 19.1% นอกจากดินเหนียวสังเคราะห์นี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์แล้วนั้น ดินเหนียวสังเคราะห์ยังมีราคาถูก และยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

2.3 การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ [12] ได้ทำการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยนักวิจัยมีความประสงค์ที่จะลดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงาน จึงได้ศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเลือก 10 อาคารที่ผ่านเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมทั้งด้านกายภาพและด้านภูมิศาสตร์ ซึ่งการศึกษาพบว่าผลการผลิตไฟฟ้ามีศักยภาพรวมในของ 10 อาคารอยู่ที่ 2,949.19 kWh ต่อวัน และศึกษาศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ที่มีอัตราส่วนลด 7.08% มีค่าปัจจุบันสุทธิอยู่ที่ 26,744,616.98 บาท มีระยะของการคืนทุนอยู่ที่ 7.41 ปี มีผลตอบแทนภายใน 15% และพบว่าสามารถลดการใช้พลังงานได้ถึง 10.97% จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และความต้องการการใช้ไฟฟ้าของอาคารที่ศึกษาทุกอาคาร ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการลงทุนในระบบผลิตไฟฟ้าบนหลังคาทั้ง 10 อาคารที่คัดเลือกในพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย นั้นมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน ทั้งในส่วนบุคคลปัจจุบันสุทธิและผลตอบแทนภายในมีค่าเชิงบวก และมีระยะคืนทุนที่สั้น ทำให้การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาเป็นทางเลือกที่น่าสนใจที่จะลงทุนเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

เชมณัฐ พรหมมินทร์ [13] ได้ประเมินทางเศรษฐศาสตร์และประสิทธิภาพหลังการติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ในกรณีศึกษาห้างสรรพสินค้า ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม PV syst ในการจำลองปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จะผลิตได้ก่อนการติดตั้งระบบจริง ศึกษา ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ on grid ที่ติดตั้งบนหลังคา มีระยะการประเมินความคุ้มค่า 1ปี ซึ่งขนาดกำลังไฟฟ้าที่กำลังผลิตได้จากการติดตั้ง 998.4 kWp ซึ่งผลลัพธ์ที่ผลิตได้จริงมีผลผลิตทางไฟฟ้าที่มากกว่าจากการจำลองและคำนวณในโปรแกรม PV syst จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยพลังงานเท่ากับ 1.29 บาทต่อ 1 kWh ซึ่งการติดตั้งระบบในครั้งนี้อาจใช้เพื่อประหยัดรายจ่ายด้านพลังงานได้บางส่วน เนื่องจากเป็นการติดตั้งแบบ on grid สามารถผลิตไฟฟ้าได้บางเวลาเท่านั้น ผลผลิตมากน้อยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม

วิภา เล็กกุลวัฒน์ [14] ศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินในการเข้าร่วมโครงการนำร่องส่งเสริมการติดตั้งโซลาร์รูฟอย่างเสรี กรณีศึกษาในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวง โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินในการเข้าร่วมโครงการที่ภาครัฐให้ประชาชนติดตั้ง

เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้าไว้ใช้เอง ของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย กิจกรรมขนาดเล็ก กิจกรรมขนาดกลาง และกิจกรรมขนาดใหญ่ ซึ่งในการศึกษาความคุ้มค่าจะทำการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการและประเมินความคุ้มค่าโดยใช้ตัวชี้วัดทางการเงินรวมทั้งวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ และอัตราการเติบโตของค่าไฟ เพื่อศึกษาผลกระทบมาตรการสนับสนุนของภาครัฐที่มีต่อความคุ้มค่าทางการเงินของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภท โดยเปรียบเทียบกรณีที่ภาครัฐไม่รับซื้อไฟฟ้าส่วนเกิน กับกรณีที่ภาครัฐรับซื้อไฟฟ้าส่วนเกินในอัตราค่าไฟฟ้าขายปลีก ซึ่งผลวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการพบว่า ความคุ้มค่าทางการเงินมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวกสำหรับผู้ใช้อิเล็กทรอนิกส์ทุกประเภท โดยอัตราผลตอบแทนภายในโครงการของบ้านอยู่อาศัย กิจกรรมขนาดเล็ก กิจกรรมขนาดกลาง และกิจกรรมขนาดใหญ่ เท่ากับร้อยละ 9.34, 11.26, 13.43 และ 14.94 ตามลำดับ มีระยะคืนทุนเท่ากับ 12.22, 9.23, 7.88 และ 7.18 ปี ตามลำดับ และจากวิเคราะห์ความอ่อนไหวโครงการพบว่า มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนกรณีของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าทุกประเภท กลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยที่ประสิทธิภาพลดลงเหลือร้อยละ 11.57 หรืออัตราการเติบโตของค่าไฟเท่ากับร้อยละ 1.89 ต่อปีไม่มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

ราชันย์ ชูชาติ [15] ได้วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีศึกษาโรงงานผลิตไม้ยางพาราแปรรูปในจังหวัดตรัง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนจากการผลิตไฟฟ้าในโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารโรงงานผลิตไม้ยางพาราแปรรูป และศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการ จากการเก็บข้อมูลจากโรงงานผลิตไม้ยางพาราจำนวน 23 โรงงานในจังหวัดตรัง การศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการโดยวิเคราะห์ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 วิเคราะห์ต้นทุน และส่วนที่ 2 วิเคราะห์ทางการเงินโครงการ ในส่วนการวิเคราะห์ต้นทุนและผลผลิตของโครงการพบว่า ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยทั้ง 3 ขนาด มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ค่าไฟฟ้าในช่วง peak แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน และในส่วนของการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินพบว่า PB ระยะคืนทุนมีระยะน้อยกว่าอายุโครงการ, DPB ระยะคืนทุนแบบอัตราคิดลดกระแสเงินสดมีระยะคืนทุนน้อยกว่าอายุโครงการ, BCR อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนมีค่ามากกว่า 1, ค่า IRR อัตราผลตอบแทนภายในมากกว่าเกณฑ์อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ ดังนั้นด้วยเหตุผลทางการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินข้างต้นที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าโครงการนี้มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

ธนวัฒน์ ชูวัน [16] ศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อการนำระบบไร้กระดาษมาใช้ในบริษัท พี.ซี.ทาคาซึมา (ประเทศไทย) จำกัด ได้ศึกษาเกี่ยวกับต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการเพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) และวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการต่อการเปลี่ยนแปลง โดยโครงการมีระยะดำเนินงาน 8 ปี ซึ่งผลการศึกษาพบว่าการลงทุนรวมเท่ากับ 60,214 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 6 ปี 2 เดือน อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) เท่ากับ 1.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 3,219.55 บาท และอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) เท่ากับ 7.56% นอกผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงการทั้ง 4 กรณีพบว่า กรณีต้นทุนรวมเพิ่มขึ้น 10% มีระยะเวลาคืนทุน 7 ปี 1 เดือน อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) เท่ากับ 1.0 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ -2,671.35 บาท และอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) เท่ากับ 4.80% กรณีต้นทุนรวมลดลง 10% มีระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 4 เดือน อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) เท่ากับ 1.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 9,110.46 บาท และอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) เท่ากับ 10.80% กรณีผลตอบแทนรวมเพิ่มขึ้น 10% มีระยะเวลาคืนทุน 5 ปี 4 เดือน ผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) เท่ากับ 1.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 9,432.40 บาท อัตรา และอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) เท่ากับ 10.48% กรณีผลตอบแทนรวมลดลง 10% มีระยะเวลาคืนทุน 7 ปี 1 เดือน อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) เท่ากับ 0.9 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ -2,993.30 บาท และอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) เท่ากับ 4.52% ดังนั้นควรลงทุนในโครงการระบบไร้กระดาษ (Paperless) ในระยะการดำเนินงานปกติ และมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงการกรณีต้นทุนรวมลดลง และกรณีผลตอบแทนรวมเพิ่มขึ้น 10% เนื่องจากมีความคุ้มค่าในการลงทุน และมีระยะเวลาคืนทุนสั้นกว่าอายุของโครงการ

2.4 สรุปการศึกษางานวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ [1]-[9] อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น 1°C M. Hasanuzzaman [1] ในทุกๆการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 1°C จะส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพลดลงถึง 0.40-0.65% ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยโดยประมาณคือ 0.57% M. M. Rahman และคณะ [2] ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าลดลง 0.60%

M. Chandrasekar และคณะ [3] ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าลดลง 0.52% Chandrasekar และ Senthilkumar [4] ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าลดลง 0.42% Bahaidarah และคณะ [5] ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าลดลง 0.71% Moharram และคณะ [6] ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าลดลง 0.5% Baloch และคณะ [7] ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าลดลง 0.73% S. Nizetic และคณะ [8] ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าลดลง 0.47% Ye Zhangbo และคณะ [9] ประสิทธิภาพของเซลล์ลดลงเมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงอยู่ที่ 0.45% ต่อ °C จากข้อมูลข้างต้น อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น 1°C ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดคือ 0.73% ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์น้อยที่สุดคือ 0.42%

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ความสามารถในการลดอุณหภูมิแบบ active H. Bahaidarah และคณะ [5] K. A. Moharram และคณะ [6] A. A. B. Baloch และคณะ [7] S. Nizetic และคณะ [8] การระบายความร้อนแบบ active สามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดคือ 30°C การระบายความร้อนแบบ active สามารถลดอุณหภูมิได้ต่ำสุดคือ 10°C และความสามารถในการลดอุณหภูมิแบบ passive จาก M. Chandrasekar และคณะ [3] M. Chandrasekar and T. Senthilkumar [4] M. Ebrahimi และคณะ [10] A. H. Alami และคณะ [11] การระบายความร้อนแบบ passive สามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดคือ 20°C การระบายความร้อนแบบ passive สามารถลดอุณหภูมิได้ต่ำสุดคือ 5.9°C จากข้อมูลข้างต้นแม้ว่าการระบายความร้อนแบบ passive จะระบายความร้อนได้ไม่ดีเท่าการระบายความร้อนแบบ active แต่ระบบการระบายความร้อนแบบ passive นั้นไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก ค่าใช้จ่ายในระบบการทำงานและค่าบำรุงรักษาค่อนข้างต่ำ การระบายความร้อนแบบ passive จึงเป็นทางเลือกที่หน้าสนใจที่จะนำมาพัฒนา

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานจากดวงอาทิตย์ถือเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพมหาศาล เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่ไม่มีวันหมด เป็นพลังงานสะอาดที่สร้างประโยชน์ได้อย่างมากมาย ดวงอาทิตย์ยังถือเป็นพื้นฐานของพลังงานทุกรูปแบบอีกด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ คือรังสีจากดวงอาทิตย์ที่แผ่มายังโลกซึ่งสามารถเปลี่ยนจากพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าได้โดยใช้เทคโนโลยีต่างๆ ข้อดีของพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์นั้นไร้ขีดจำกัด มีศักยภาพสูงและไม่มีวันหมดไป สามารถแปลงพลังงานแสงอาทิตย์จากเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยไม่ก่อมลพิษ

3.2 สเปกตรัมพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์มีสเปกตรัมหลายส่วนมีระดับพลังงานที่แตกต่างกัน สเปกตรัมแสงสีแดงเป็นแสงที่เรามองเห็นซึ่งมีระดับพลังงานต่ำสุด และแสงสีม่วงที่มีระดับพลังงานสูงสุด การเคลื่อนที่ของแสงเป็นการเคลื่อนที่ของคลื่น โดยการแผ่รังสีมีความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ความยาวคลื่นคือระยะทางจากจุดสูงสุดของคลื่นหนึ่งไปถึงจุดสูงสุดของคลื่นลูกถัดไป การแผ่รังสีมีปริมาณที่แตกต่างกัน ยิ่งถ้าหากว่าคลื่นมาความยาวมากเท่าไรก็มีพลังงานน้อยเท่านั้น ดวงอาทิตย์ปล่อยพลังงานรังสีในรูปแบบสเปกตรัมของความยาวคลื่นในช่วง 2×10^{-7} ถึง 4×10^{-6} เมตร พลังงานส่วนใหญ่อยู่ในช่วงแสงที่มองเห็น และความยาวคลื่นสอดคล้องกับความถี่ของพลังงาน โดยที่คลื่นที่มีความยาวสั้น มีความถี่สูง จะมีพลังงานสูง แสดงอยู่ในรูปของอิเล็กทรอนิกส์ โดยอิเล็กทรอนิกส์ คือปริมาณของพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นจากการที่อิเล็กตรอนอิสระเดินทางผ่านความต่างศักย์จากไฟฟ้าสถิตขนาด 1 โวลต์ในสุญญากาศ โดยดวงอาทิตย์จะปล่อยพลังงานความร้อนจำนวนมหาศาลออกสู่ระบบสุริยะ โลกได้รับพลังงานเพียง 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยขอบด้านนอกของชั้นบรรยากาศจะดูดซับและสะท้อนการแผ่รังสีไว้ โดยส่วนใหญ่เป็นรังสีเอกซ์และรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่กระทบพื้นโลกทุกนาที่นั้นมีปริมาณพลังงานมาก โดยชั้นบรรยากาศของโลกจะมีก้อนเมฆปกคลุมดูดซับ สะท้อน กระจาย รังสีดวงอาทิตย์บางส่วนเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ อย่างไรก็ตามมีพลังงานแสงอาทิตย์ส่องผ่านโดยตรงและแพร่กระจายจำนวนมหาศาลไปถึงพื้นผิวของโลกและสามารถใช้ในการผลิตไฟฟ้า

ได้ พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร ถูกส่งตรงมายังชั้นบรรยากาศนอกโลก แม้ว่าชั้นบรรยากาศจะดูดซับและสะท้อนรังสีเหล่านี้ พลังงานเหล่านี้ก็ยังถูกส่งมายังผิวโลกก็ยังมีจำนวนมหาศาล และแสงแดดที่ตกกระทบมายังพื้นโลกก็มีความแตกต่างกันไปตามสภาพ ภูมิอากาศ ภูมิภาค ฤดูกาล วัน และเวลา รวมถึงมลพิษทางอากาศอีกด้วย และแสงแดดก็มีการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ โดยพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับเส้นศูนย์สูตรจะได้รับรังสีแสงอาทิตย์มากกว่าบริเวณอื่นๆ และแสงแดดจะมีความแตกต่างกันไปตามฤดูกาล โดยฤดูกาลที่เปลี่ยนไปเกิดจากการหมุนของแกนโลก เกิดการยืดหรือลดระยะเวลาในแต่ละวัน และในส่วปริมาณของพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ซึ่งประสิทธิภาพที่จะแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับพลังงานแสงอาทิตย์และคุณภาพของแสงอาทิตย์ ซึ่งประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกกำหนดด้วยปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้หารด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่เข้ามาที่แผง ซึ่งในหลายปีที่ผ่านมา นักวิจัยพยายามที่จะศึกษาและพัฒนาการปรับปรุงประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นและสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้นด้วย

3.3 รังสีและการฉายรังสี

รังสีแสงอาทิตย์ (Solar Radiation) คำว่ารังสีแสงอาทิตย์ หมายถึง พลังงานที่ปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยพลังงานกัมมันตภาพรังสีและแสง

- รังสีโดยตรง (Direct radiation) คือการแผ่รังสีที่ไม่สะท้อนหรือการกระจาย แต่ถึงพื้นผิวโลกโดยตรง
- รังสีกระจาย (Diffuse radiation) GD คือรังสีที่กระจายที่มาถึงพื้นผิวโลก
- รังสีสะท้อน (Reflected radiation)

เราไม่สามารถมองเห็นรังสีจากดวงอาทิตย์ได้ทั้งหมด การแผ่รังสีสามารถมาในรูปแบบของรังสีอินฟราเรด หรือรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มองไม่เห็น ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ยังสามารถใช้ส่วนของรังสีผลิตกระแสไฟฟ้าได้ การแผ่รังสีของแสงอาทิตย์จะทำให้เกิดพลังงานขึ้นและหน่วยสำหรับการวัดกำลังคือวัตต์ (W) อย่างไรก็ตามปริมาณพลังงานขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์ และขนาดของพื้นที่ผิวที่รับแสงพื้นที่ใหญ่ขึ้นจะได้รับพลังงานมากขึ้น ดังนั้นการฉายรังสีจึงมีหน่วยวัดเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) การฉายรังสีเป็นมาตรวัดพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งวัดพลังงานเป็น Wh (วัตต์ต่อชั่วโมง) หรือ kWh (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง) พลังงานแสงอาทิตย์เป็นผลของกำลังงานแสงอาทิตย์และเวลา ซึ่ง

วัตต์เป็น Wh/m^2 (วัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร) ช่างเทคนิคพลังงานแสงอาทิตย์จำเป็นต้องรู้ว่าสามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้มากแค่ไหนในหนึ่งวัน ดังนั้นเราจึงวัดพลังงานแสงอาทิตย์ในหน่วย วัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน หรือกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางต่อวัน

การแผ่รังสีคือแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่มาถึงพื้นผิวโลก มันรวมถึงการแพร่กระจายโดยตรง รังสีสะท้อนและรังสีที่กระจัดกระจาย Irradiance เป็นการวัดความเข้มข้นของพลังงาน อธิบายถึงพลังงานมาถึงพื้นที่ผิวที่กำหนดการฉายรังสีคือพลังงานแสงอาทิตย์ที่รวบรวมได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง มันคือผลคูณของการฉายรังสี และเวลา

3.4 การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า และระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

3.4.1 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV stand alone system)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 8 อุปกรณ์ของระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อใช้งานตรงกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรง และอีกรูปแบบหนึ่งคือ นำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Solar charge controller) ซึ่งต่ออยู่ถัดมาและกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการใช้งานของโหลด ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์ ควบคุมการประจุสามารถนำไปใช้งานโดยการต่อกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรงได้เลยและในขณะเดียวกัน ถ้ากำลังไฟฟ้าเหลือก็สามารถนำไปชาร์จเข้าแบตเตอรี่ (ควรเลือกใช้เป็นแบตเตอรี่แบบ Deep cycle) และถัดมาเป็นอุปกรณ์ แปลงผันพลังงาน เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ โดยโหลดที่ใช้จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ

3.4.2 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (PV grid connected system)

ระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้างดแสดงในรูปที่ 8 อุปกรณ์ของระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งนำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอินเวอร์เตอร์ โดย

ต่อผ่านกล่องต่อสายและเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการใช้งานของโหลด ซึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรงโดยการต่อกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรง หรือแปลง เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งสามารถนำไปใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับและในขณะเดียวกัน ก็สามารถต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า ผ่านสวิตช์ตัดตอนและมิเตอร์กิโลวัตต์-ชั่วโมง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบโครงข่ายไฟฟ้าเข้าถึง

3.4.3 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system)

ระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกรออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าชนิดอื่นๆ อุปกรณ์ของระบบ ที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งนำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอุปกรณ์แปลงผันพลังงาน แบบผสมผสาน (Hybrid inverter) โดยสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กังหันลมผลิตไฟฟ้า และแบตเตอรี่ดังแสดงในรูปที่ 9 โดยไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้สามารถนำไปใช้กับซึ่งสามารถนำไปใช้กับโหลดไฟฟ้า กระแสสลับ 230 Vac และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า

3.4.4 เซลล์แสงอาทิตย์กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียวจะมีค่าต่ำมาก การนำมาใช้งานจะต้องนำเซลล์หลายๆ เซลล์มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์ที่นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar module หรือ Solar panel) การทำเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นแผงก็เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน ด้านหน้าของแผงเซลล์ประกอบด้วยแผ่นกระจกที่มีส่วนผสมของเหล็กดำซึ่งมีคุณสมบัติในการยอมให้แสงผ่านได้ดีและยังเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์อีกด้วย แผงเซลล์จะต้องมีการ ป้องกันความชื้นที่ตีมากเพราะจะต้องอยู่กลางแจ้งกลางฝนเป็นเวลายาวนาน ในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความ คงทนและป้องกันความชื้นที่ดี เช่น ซิลิโคน และอีวีเอ เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกันแผ่น กระจกด้านบนของแผงเซลล์จึงต้องมีการทำกรอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรง

3.4.5 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ แบบที่ใช้สารกึ่งตัวนำ 1 ซิลิกอน (Silicon Semiconductor) และชนิดหนึ่งที่ใช้สารกึ่งตัวนำแบบผสม (Compound Semiconductor) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารกึ่งตัวนำซิลิกอนจะถูกแบ่งออกเป็นสารกึ่งตัวนำเป็นผลึก

(Crystal) และไม่เป็นผลึก (Amorphous) สารกึ่งตัวนำชนิดผลึกซิลิคอนจะใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับอัตราการแปลงสูงและความน่าเชื่อถือติดตามเคมีคอนดักเตอร์ไม่เป็นผลึกทำงานได้ดีแม้ภายใต้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังนั้นจึงใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับเครื่องคิดเลขและนาฬิกาข้อมือ ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ องค์ประกอบหลัก ของระบบคือ “แผงเซลล์แสงอาทิตย์” ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์โฟโตวอลเทอิก โดยในท้องตลาดมีเทคโนโลยีของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ 3 ชนิดหลัก ๆ คือ โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline) โพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) และ ฟิล์มบาง (Thin film)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ หลายคนคิดว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์เป็นเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์และทางเลือกที่ดีที่สุด โมโนคริสตัลไลน์เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่เก่าแก่ที่สุดและมีราคาแพงกว่า แต่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้ มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยทั่วไปแล้วแผงชนิดนี้มีประสิทธิภาพการแปลงได้ถึงร้อยละ 15-20 นั้นหมายความว่ามันสามารถแปลงร้อยละ 15-20 ของพลังงานในแสงอาทิตย์ที่กระทบกับพวกมันเป็นพลังงานไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ ทำจากผลึกเดี่ยวของซิลิคอนบริสุทธิ์พิเศษขนาดประมาณขวดไวน์เส้นสีเงินเป็นลวดตัวนำซึ่งทำหน้าที่รวบรวมกระแสไฟฟ้าที่ถูกสร้างขึ้นเมื่อแสงกระทบกับเซลล์ย่อย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยเมทริกซ์ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์วางต่อกันในแนวราบในลักษณะเหมือนกระเบื้องปูพื้นห้องน้ำ โดยทั่วไปแล้วเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ มีประสิทธิภาพสูง แต่จะเสียพื้นที่บางส่วนระหว่างเซลล์เมื่อถูกนำมาประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผู้ผลิตบางรายจะใช้เทคนิคพิเศษ เพื่อสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ ประสิทธิภาพสูงพิเศษ เทคนิคพิเศษเหล่านี้ เช่น "สร้างสนามที่พื้นผิวด้านหลังหรือใช้เลเซอร์เซาะร่อง" และเทคโนโลยีไฮบริด แผงโมโนคริสตัลไลน์ประสิทธิภาพสูงพิเศษเหล่านี้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 20 แต่ราคาจะสูงขึ้น ประมาณร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ทั่วไป

3.4.6 ปัจจัยที่กำหนดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับอิทธิพลจากตัวแปรทั้งหมดดังต่อไปนี้

1) ประเภทแผงพลังงานแสงอาทิตย์

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ทำจากซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์สูงสุดทำให้เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพที่สุด

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ซิลิคอนโพลีคริสตัลไลน์นั้นมักจะไม่ค่อยมีประสิทธิภาพเท่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์แต่ก็ไม่แตกต่างกันมากนัก

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางในปัจจุบันค่อนข้างมีประสิทธิภาพต่ำแต่ก็มีราคาต่ำกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางใช้พื้นที่มากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนหรือโพลีคริสตัลซึ่งเป็นสาเหตุที่ไม่เหมาะสำหรับครัวเรือนส่วนใหญ่

2) การยึดและการติดตั้งแผง

การยึดและติดตั้งแผงก็เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการติดตั้งแผงจะต้องคำนวณว่าแผงควรจะติดตั้งให้มีความชันและความลาดเอียงจากพื้นกึ่งองศาและหันหน้าไปทางทิศใด (โดยทั่วไปในประเทศไทยจะติดตั้งให้ระนาบแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปทางทิศใต้โดยมีความชันประมาณ 15 องศาจากพื้นดิน) ดังแสดงในรูปที่ 26 การยึดและติดตั้งแผงนั้นมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพโดยรวมของแผงหรือทั้งระบบ ถ้าติดตั้งไปผิดทิศหรือความชันแผงจากพื้นไม่เหมาะสมมาก ลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็จะลดลงไปอย่างมาก

3) ความเข้มของแสง

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้นหรืออีกนัยหนึ่งจะกล่าวว่า กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะสูงขึ้นแต่แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ตัวอย่างเช่น ความเข้มแสงมีค่าเท่ากับ 100 เมกะวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร หรือ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลก ความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 เมกะวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร หรือ 750 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

4) อุณหภูมิ

กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุก ๆ 1 องศาเซลเซียส ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงร้อยละ 0.5 และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ Voc) ที่ 21 โวลต์ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับ

อุปกรณ์ ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสจะเท่ากับ 21 โวลต์ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสจะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลงร้อยละ 2.5 (ร้อยละ 0.5×5 องศาเซลเซียส) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ Voc จะลดลง 0.525 โวลต์ (21 โวลต์ \times ร้อยละ 2.5) เหลือเพียง 20.475 โวลต์ (21 โวลต์ - 0.525 โวลต์) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

5) วัสดุประกอบแผง

วัสดุที่นำมาประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น กระจกก็มีผลต่อประสิทธิภาพเช่นเดียวกัน กระจก ที่ใช้จะต้องลดการสะท้อนของแสงให้น้อยที่สุดก่อนที่แสงจะผ่านไปถึงเซลล์ด้านใน

6) เจาบดบังแสง

นอกเหนือจากการติดตั้งแผงที่เหมาะสมแล้วเงาที่บดบังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในบางส่วนก็มีผลต่อ ประสิทธิภาพโดยรวมของทั้งระบบด้วยเพราะโดยส่วนมากแล้วระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต่อวงจรเป็นแบบอนุกรมแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้แรงดัน ที่ออกแบบไว้ เมื่อมีเงาบางส่วนบดบังแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงแค่หนึ่งแผง ก็จะทำให้กระแสไฟฟ้าในระบบหยุดไหลได้ ดังนั้นควรมั่นใจว่าการติดตั้งแผงต้องไม่มีร่มเงาบดบัง การรับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ไมโครอินเวอร์เตอร์ที่ติดตั้งที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผง สามารถช่วยแก้ปัญหานี้ได้ โดยแผง เซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกเงาบดบังจะใช้ไม่ได้เพียงแผงเดียวเท่านั้นแต่แผงอื่นจะยังสามารถใช้งานได้อยู่ ดังนั้นการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต้อง ท การวิเคราะห์ร่มเงา ในสถานที่ที่จะทำการติดตั้ง

7) อายุการใช้งาน

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะค่อยๆ ลดลงตามอายุการใช้งาน โดยทั่วไปแล้วแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงร้อยละ 0.5 ทุก ๆ ปี ผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์มักเสนอการรับประกันว่าการจ่ายพลังงานจะสูงกว่าร้อยละ 80 หลังจาก 25 ปี [17]

3.5 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงิน (Financial Feasibility)

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการทางการเงินเป็นการวิเคราะห์ผลตอบแทนและ ต้นทุนของโครงการหรือผลกำไรทางการเงินเป็นหลัก เพื่อให้ผู้ลงทุนหรือเจ้าของโครงการทราบว่าเมื่อลงทุนแล้วจะมีความคุ้มค่าในการลงทุนมากน้อยเพียงใด โดยเจ้าของโครงการต้องวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อวางแผนให้การดำเนินโครงการเป็นไปอย่างราบรื่น มีการจัดทำแผนการเงินที่เหมาะสม รวมทั้งพิจารณาเกณฑ์การตัดสินใจลงทุนต่างๆ อย่างเหมาะสม

3.5.1 หลักเกณฑ์การตัดสินใจลงทุน

การตัดสินใจเลือกลงทุนในโครงการใดมักจะขึ้นอยู่กับความคุ้มค่าของโครงการนั้นๆ ซึ่งความคุ้มค่าของโครงการวัดได้จากการเปรียบเทียบกันระหว่างผลประโยชน์กับต้นทุนของโครงการโดยนำมาคำนวณหาค่าตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการตามการวิเคราะห์แบบปรับค่าของเวลา เช่น มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ เป็นต้น ซึ่งตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการมีความสำคัญอย่างมากต่อการตัดสินใจลงทุนหรือปฏิเสธโครงการที่กำลังพิจารณาอยู่ ทั้งนี้เพราะตัวชี้วัดสามารถบ่งบอกได้ว่าโครงการแต่ละโครงการมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ และยังสามารถบอกให้ทราบถึงลำดับความสำคัญของโครงการได้อีกด้วยซึ่งในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการในการศึกษาครั้งนี้จะใช้หลักเกณฑ์การตัดสินใจ 3 หลักเกณฑ์ประกอบด้วย

1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการคือ มูลค่าปัจจุบันของกระแส ผลตอบแทนสุทธิหรือกระแสเงินสดของโครงการซึ่งคำนวณได้โดยการแปลงกระแสผลตอบแทนสุทธิ ตลอดอายุโครงการให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน หรือคำนวณ NPV จากผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ของโครงการ ตลอดอายุโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนของโครงการซึ่งเขียนเป็น สูตรการคำนวณได้ดังนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1-i)^t} \quad (1)$$

โดยที่ B_t = มูลค่าผลประโยชน์ของโครงการที่คาดว่าจะได้รับในปีที่ t

C_t = มูลค่าต้นทุนของโครงการในปีที่ t

i = อัตราคิดลด (Discount rate)

t = ปีของโครงการคือ ปีที่ 0, 1, 2, ..., n

n = อายุของโครงการ

เกณฑ์การตัดสินใจ

- ถ้า $NPV > 0$ ควรลงทุนในโครงการนี้เพราะโครงการสร้างผลประโยชน์สุทธิเป็นมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนที่จ่ายไปแสดงว่าเจ้าของโครงการได้รับผลประโยชน์มากกว่าความต้องการขั้นต่ำที่กำหนดไว้

- ถ้า $NPV = 0$ จะตัดสินใจลงทุนหรือไม่ลงทุนก็ได้เพราะโครงการนี้มีมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนตลอดอายุโครงการเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนที่จ่ายไป

- ถ้า $NPV < 0$ ไม่ควรลงทุนในโครงการนี้เพราะมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนตลอดอายุโครงการน้อยกว่ามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการหรือ เจ้าของโครงการจะได้รับผลประโยชน์น้อยกว่าผลประโยชน์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้

2) อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการเป็นอัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายซึ่งหมายถึงมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์โดยที่ผลลัพธ์ที่ได้จะมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยการคำนวณ IRR จะมี ข้อสมมติว่าผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงานที่ได้รับมาระหว่างการดำเนินโครงการในแต่ละปีนั้นจะนำไปลงทุนต่อทุกปีจนถึงปีสุดท้ายของโครงการโดยได้รับอัตราผลตอบแทนเท่ากับอัตรา IRR ซึ่ง IRR สามารถคำนวณได้จากสมการนี้

$$\sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (2)$$

โดยที่ B_t = มูลค่าผลประโยชน์ของโครงการที่คาดว่าจะได้รับในปีที่ t

C_t = มูลค่าต้นทุนของโครงการในปีที่ t

r = อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR)

t = ปีของโครงการคือ ปีที่ 0, 1, 2, ..., n

n = อายุของโครงการ

เกณฑ์การตัดสินใจ

IRR เป็นอัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการลงทุนจำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบกับต้นทุนของเงินทุนโดยควรลงทุนในโครงการที่ IRR มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับต้นทุนของเงินทุนซึ่งจะทำให้เจ้าของโครงการได้รับผลตอบแทนมากกว่าผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ และมีความคุ้มค่าในการลงทุน

3) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุนเป็นการหารระยะเวลาที่คุ้มทุนของโครงการลงทุน คือ ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับเงินลงทุนของโครงการเป็นการพิจารณาความเสี่ยงและสภาพคล่อง

ในการลงทุน แต่วิธีนี้จะไม่คำนึงถึงค่าของเงินตามเวลาและกระแสเงินสดรับหลังจากปีที่ลงทุน โดยระยะเวลาลงทุนมีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\text{ระยะเวลาลงทุน} = \text{จำนวนปีก่อนหน้าได้ทุนคืนหมด} + \frac{\text{ส่วนที่ยังได้คืนไม่ครบของปีถัดไป}}{\text{กระแสเงินสดที่คาดว่าจะได้รับของปีนั้น}} \quad (3)$$

เกณฑ์การตัดสินใจ

ในการพิจารณาระยะเวลาในการลงทุนระยะเวลาลงทุนจะต้องไม่นานเกินไปเพื่อเป็นข้อพิจารณาว่าควรลงทุนในโครงการนั้นหรือไม่ [18]



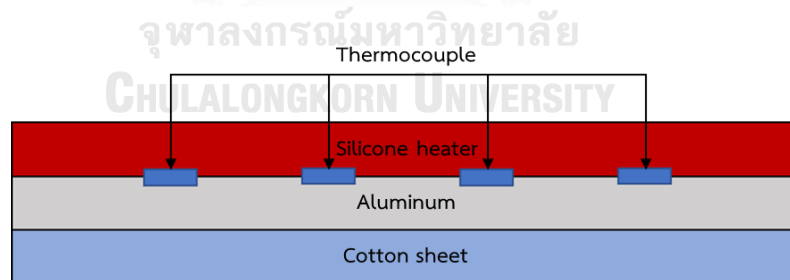
บทที่ 4

การศึกษาการระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง

การศึกษาการระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์จำลองด้วยผ้าฝ้ายดูดซับน้ำ ในการศึกษาไม่ได้ทดสอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง และไม่ได้ทดสอบด้วยแสงอาทิตย์จากธรรมชาติแต่ทดสอบโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์จำลอง และทดสอบในห้องจำลองสภาวะ ซึ่งเป็นห้องปิดที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ โดยที่ชุดทดลองและกระบวนการทดลองได้ปรับปรุงมาจากการทดลองของนายบรรณพงศ์ กสิปประทุม [19] และ Gleebratum และ Salakij [20] ในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของ ชุดการทดลองและอุปกรณ์ ขั้นตอนการทดลอง ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล ดังต่อไปนี้

4.1 เซลล์แสงอาทิตย์จำลอง

เซลล์แสงอาทิตย์จำลองเป็นจำลองความเข้มของแสงอาทิตย์ โดยใช้ ฮีทเตอร์ซิลิโคน และใช้แผ่นอลูมิเนียมแทนเซลล์แสงอาทิตย์ โดยฮีทเตอร์ซิลิโคนจะถูกประกบไว้ด้านบนแผ่นอลูมิเนียม ซึ่งการประกบกันนี้ส่งผลให้แผ่นอลูมิเนียมได้รับความร้อนโดยตรง ทำให้ช่วยตัดประเด็นในส่วนของความแตกต่างของประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดออกไปได้



รูปที่ 4-1 รูปเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง

4.1.1 ส่วนประกอบเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง

ส่วนประกอบเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์จำลองนี้มีหน้าที่จำลองความเข้มของแสงอาทิตย์ และจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยอุปกรณ์ 5 ชนิด ดังต่อไปนี้

1) ฮีตเตอร์ซิลิโคน (Silicone heater) ฮีตเตอร์ซิลิโคนเป็นอุปกรณ์ทำความร้อน ทำหน้าที่จำลองความเข้มของแสงอาทิตย์ โดยฮีตเตอร์มีขนาดความกว้าง 0.16 m ความยาว 0.17 m และมีขนาดแรงดันไฟฟ้า 24V กำลังวัตต์ 150W



รูปที่ 4-2 ฮีตเตอร์ซิลิโคน (Silicone heater)

2) แผ่นอะลูมิเนียม (Aluminum plate) ความกว้าง 0.16 m ความยาว 0.17 m



รูปที่ 4-3 แผ่นอะลูมิเนียม (Aluminum Plate)

3) หัวเซนเซอร์วัดอุณหภูมิชนิด K (Thermocouple Type K) หัววัดแบบกลมแบน ปลายสายย้าทางปลา ช่วงวัด 0-400 องศา เป็นสายโลหะถักยาว 1 m



รูปที่ 4-4 หัวเซนเซอร์วัดอุณหภูมิชนิด K (Thermocouple Type K)

4) หม้อแปลงไฟฟ้า (Power Supply) ขนาดปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงสุด 20A ค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 220V ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก 1.5V ถึง 15V



รูปที่ 4-5 หม้อแปลงไฟฟ้า (Power Supply)

5) ผ้าฝ้าย (Cotton Sheet)



รูปที่ 4-6 ผ้าฝ้าย (Cotton Sheet)

4.1.2 เครื่องมือวัดในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง

เครื่องมือวัดในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง ประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ชนิด ดังต่อไปนี้

- 1) เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) อุณหภูมิ ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DP-74SD เป็นเครื่องอ่าน หัววัด Thermocouple Type K ความเที่ยงตรงที่ $0.4\% \pm 0.5^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4-7 รูปเครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)

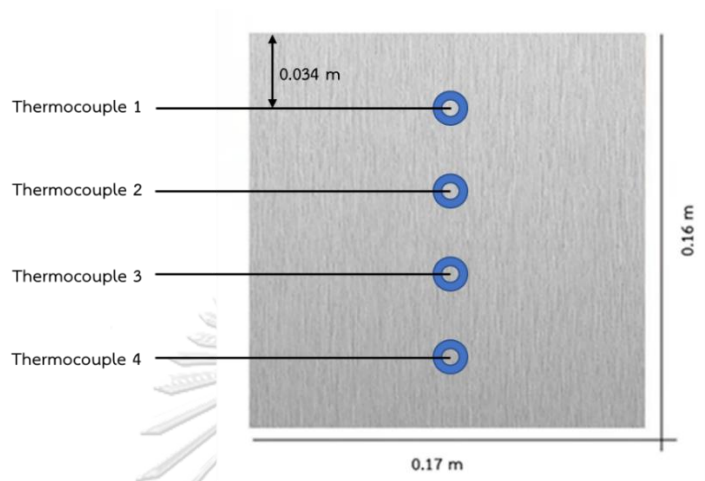
- 2) มัลติมิเตอร์ (Multimeter) ในการทดสอบครั้งนี้ใช้มัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ Fluke รุ่น 177 มีความเที่ยงตรงในการวัดค่าความต่างศักย์ที่ $0.09\% \pm 2\text{V}$ ความเที่ยงตรงในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ $1\% \pm 3\text{A}$



รูปที่ 4-8 ติมิเตอร์ (Multimeter)

4.1.3 การติดตั้ง Thermocouple Type K เข้ากับแผ่นอลูมิเนียม

ติดตั้ง thermocouple 4 หัว เข้ากับด้านหลังแผงอะลูมิเนียมของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง โดยติดบริเวณตรงกลางของแนวยาว และเว้นระยะห่างที่เท่ากัน

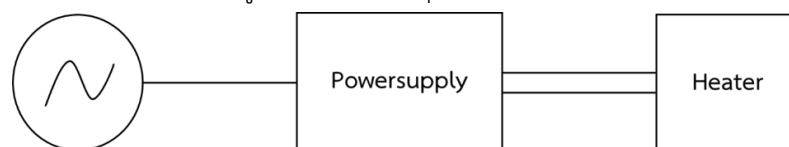


รูปที่ 4-9 ตำแหน่งการติดตั้งหัววัด Thermocouple Type K

4.1.4 เซลล์แสงอาทิตย์จำลอง



รูปที่ 4-10 ภาพชุดการทดลอง



รูปที่ 4-11 แผนภาพแสดงชุดการทดลอง

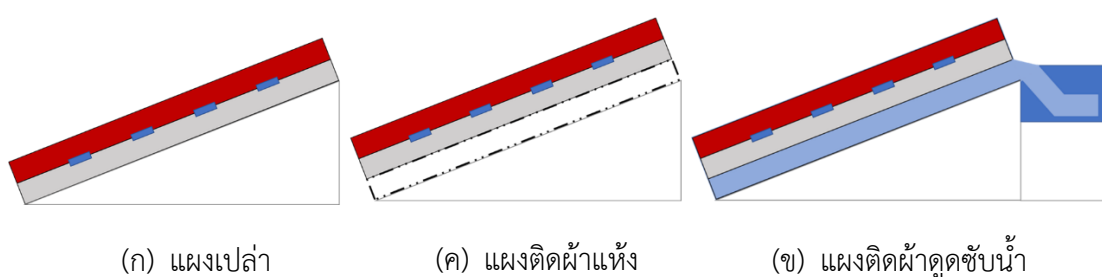
4.2 ห้องจำลองสภาพอากาศ

การศึกษาการระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์จำลองด้วยผ้าฝ้ายดูดซับน้ำ ในส่วนนี้ ไม่ได้ทดสอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงและไม่ได้ทดสอบด้วยแสงอาทิตย์จากธรรมชาติ แต่ทดสอบในห้องจำลองสภาพอากาศ ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ เพื่อสามารถทวนการทดสอบซ้ำได้ โดยห้องจำลองสภาพอากาศนี้ตั้งอยู่ ณ ชั้น 3 ตึกโคลัมโบ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย โดยขนาดของห้องจำลองสภาพอากาศ มีความกว้าง 3.42 m ความยาว 3.86 m ความสูง 2.42 m ผนังภายในห้องถูกบุด้วยฉนวนกันความร้อนทุกด้าน เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายในห้องจำลองสภาพอากาศสู่ภายนอก โดยมีความหนาของผนัง 0.10 m

4.3 การทดลอง

4.3.1 รูปแบบการทดลอง

ในการศึกษารั้งนี้ต้องการทราบถึงอุปกรณ์ระบายความร้อนมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง การศึกษานั้นจะใช้เซลล์แสงอาทิตย์จำลอง และทดสอบในห้องจำลองสภาวะ โดยการทดสอบมีการเปรียบเทียบกัน 3 รูปแบบ ได้แก่ การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จำลองเปล่าโดยไม่ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อน การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จำลองโดยติดตั้งผ้าแห้งไว้ส่วนด้านหลังของแผง และการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จำลองโดยติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อน



(ก) แผงเปล่า

(ค) แผงติดผ้าแห้ง

(ข) แผงติดผ้าดูดซับน้ำ

รูปที่ 4-12 รูปแสดงแบบการทดสอบ

จากรูปแสดงแบบทดสอบ รูป (ก) คือการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จำลองเปล่าโดยไม่ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อน รูป (ข) คือ การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จำลองโดยติดตั้งผ้าแห้งไว้ส่วนด้านหลังของแผง และรูป (ค) คือ การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จำลองโดยติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อน การทดสอบสอรูปแบบที่ 1 จุดประสงค์หลักของการทดสอบในรูปแบบของการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จำลองเปล่าโดยไม่ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนนั้น เพื่อต้องการทดสอบว่าการระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์จำลองก่อนติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนมีผลแตกต่างกับการระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์จำลองหลังติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนอย่างไร การทดสอบสอรูปแบบที่ 2 จุดประสงค์หลักของการทดสอบในรูปแบบของการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จำลองเปล่าโดยติดตั้งผ้าแห้งนั้น เพื่อต้องการทดสอบว่าหากเกิดกรณีที่ผ้าดูดซับน้ำไม่ทันต่อการระเหยผ้าที่ติดอยู่บริเวณด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะมีผลต่อการระบายความร้อนของเซลล์แสงอาทิตย์หรือไม่ และการทดสอบสอรูปแบบที่ 3 จุดประสงค์หลักของการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จำลองโดยติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนนั้น เพื่อต้องการทดสอบว่าหลังจากติดตั้งอุปกรณ์ความร้อนให้กับเซลล์แสงอาทิตย์จำลองมีผลแตกต่างกับการระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์จำลองก่อนติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนมากน้อยเพียงใด

4.3.2 การกำหนดค่าของ heat flux ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ

การกำหนดค่า heat flux ที่ป้อนเข้าสู่ระบบอ้างอิงจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์ โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลการตรวจวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2562 จากสถานีวัดกรุงเทพมหานคร โดยที่ตั้งคือกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 17 ถนนพระราม 1 แขวงรองเมือง เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 4-1 แสดงข้อมูลชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุดจากข้อมูลการตรวจวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2562

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (kW/m ² /hour)	1.03	1.27	1.45	1.60	1.45	1.22	1.25	1.07	1.08	1.14	1.16	1.17

จากตารางแสดงข้อมูลชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุด พบว่าค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ $1,200 \text{ W/m}^2$ ในกรณีแผงเปล่ามีการระบายความร้อนด้านหน้าและด้านหลังของแผงเท่ากันซึ่งในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จำลองนั้น เราทดสอบโดยใช้แผ่น silicone heater ปิดไว้ด้านหนึ่งของแผง ดังนั้นการระบายความร้อนด้านหน้าที่เป็นฉนวนจึงหายไป ในการกำหนดค่า heat flux สูงสุดที่ป้อนเข้าสู่ระบบจึงเลือกใช้ค่า 661.8 W/m^2

จากงานวิจัยพบว่า เนื่องจากช่วงเวลาประมาณ 10:00 น. ถึง 14:00 น. ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ แปรผันค่อนข้างสูง ค่าความร้อนในชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุด แทนช่วงเวลา 11.00-12.00 น. เลือกใช้ค่า 483.8 W/m^2 แทนช่วงเวลา 13.00-14.00น. และเลือกใช้ค่า 205.8 W/m^2 แทนช่วงเวลา 10.00-11.00น.

การทดสอบใน 3 รูปแบบนี้จึงให้ความความร้อนผ่าน heater โดยการป้อน heat flux เข้าสู่ระบบ 3 ขนาด ได้แก่ 205.8 W/m^2 483.8 W/m^2 และ 661.8 W/m^2 ดังตาราง

$$q'' = \frac{P}{A}$$

q'' = Heat flux (W/m^2)

P = Power (W)

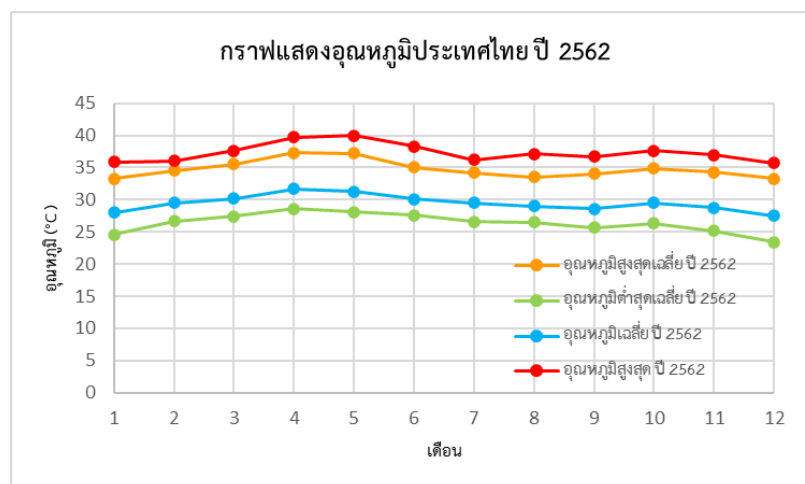
A = Area (m^2)

ตารางที่ 4-2 รายละเอียดการป้อนกำลังไฟฟ้า

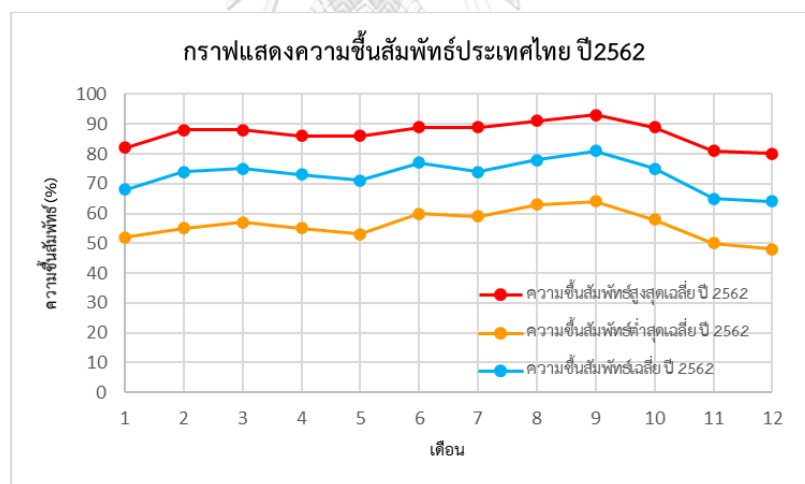
รูปแบบ	Heat flux ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (W/m^2)		
	กรณีที่1	กรณีที่2	กรณีที่3
แผงเปล่า	205.8	483.8	661.8
แผง+ผ้าแห้ง	205.8	483.8	661.8
แผง+อุปกรณ์	205.8	483.8	661.8

4.3.3 การกำหนดค่าอุณหภูมิและความชื้นของห้องจำลองสภาพอากาศ

การเลือกใช้อุณหภูมิในห้องจำลองสภาพอากาศเลือกอิงจากสภาพภูมิอากาศประเทศไทย โดยอ้างอิงจากข้อมูลทางสถิติของกรมอุตุนิยมวิทยาได้รายงานสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยในปี 2562 ซึ่งข้อมูลได้แสดงเป็นกราฟดังต่อไปนี้



รูปที่ 4-13 แผนภูมิแสดงข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 2562 อิงจากสภาพภูมิอากาศประเทศไทย



รูปที่ 4-14 แผนภูมิแสดงข้อมูลความชื้นสูงสุดเฉลี่ย 2562 อิงจากสภาพภูมิอากาศประเทศไทย

จากแผนภูมิแสดงอุณหภูมิของประเทศไทยในปี 2562 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมียุคค่าค่อยๆเพิ่มขึ้น ตั้งแต่เดือนมกราคมและสูงสุดในช่วงเดือนพฤษภาคมและลดลงต่ำสุดในช่วงธันวาคมโดยค่าอุณหภูมิสูงสุดของเดือนพฤษภาคมอยู่ที่ 40°C จากกราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของประเทศไทยในปี 2562 จะเห็นได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 48.8% - 86.8 จากข้อมูลสถิติของภูมิอากาศประเทศ

ไทยในปี 2562 จึงได้เลือกนำอุณหภูมิที่ 40°C และเลือกนำความชื้นสัมพัทธ์ที่ 61.5% มาใช้จำลองสภาพภูมิอากาศประเทศไทยใช้ในห้องจำลองสภาพอากาศ

4.3.4 ขั้นตอนการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ต้องการทราบถึงระบบระบายความร้อนมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง โดยการศึกษาครั้งนี้จะใช้เซลล์แสงอาทิตย์จำลอง และทดสอบในห้องจำลองสภาวะ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) เปิดห้องควบคุม กำหนดสภาวะที่ต้องการทดสอบ นั่นคืออุณหภูมิที่ 40°C จากค่าอุณหภูมิสูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 61.5%

2) วัดอุณหภูมิและความชื้นห้อง ด้วย thermometer กระเปาะแก้วที่ตั้งอยู่ใน station ของห้องควบคุม รอจนกว่าห้องควบคุมจะเข้าสู่สภาวะคงที่

3) หลังจากห้องเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว ป้อน heat flux เข้าสู่ระบบด้วย Power supply โดยค่า heat flux มี 3 ขนาด ดังนี้ 205.9 W/m² 483.8 W/m² และ 661.8 W/m² และไม่มีโดยการทดสอบนั้น 3 รูปแบบด้วยกัน ทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จำลองโดยไม่ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อน ทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จำลองโดยติดตั้งผ้าแห้ง และทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จำลองโดยติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อน

4) บันทึกผลค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

อนึ่ง การกำหนดค่า heat flux นั้นอยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่าพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ heater เปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนทั้งหมด และถ่ายเทไปยังเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั้งหมด โดยไม่มีการสูญเสียไปสู่อากาศด้านที่ไม่ติดกับเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง

4.4 การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

1) การเก็บข้อมูลการทดสอบในแต่ละครั้งนั้นใช้เวลาทดสอบครั้งละ 60 นาที

2) โดยวัดและบันทึกผลค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง บันทึกผลทุก 1 นาทีใน 10 นาทีแรก และบันทึกทุก 10 นาที ใน 50 นาทีที่เหลือ

3) แต่ละกรณีศึกษาจะทดสอบซ้ำจำนวน 5 ครั้ง

- 4) โดยเก็บค่าอนุกรมจุดวัดที่ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ
- 5) การวิเคราะห์ข้อมูลนำค่าอนุกรมที่ได้จากจุดวัดลบออกด้วยอนุกรมห้อง นำผลต่างอนุกรมที่ได้มาหาค่า uncertainty โดยกำหนด $n=5$ $t=2.776$ จากนั้นคำนวณหาค่าเฉลี่ย และ error



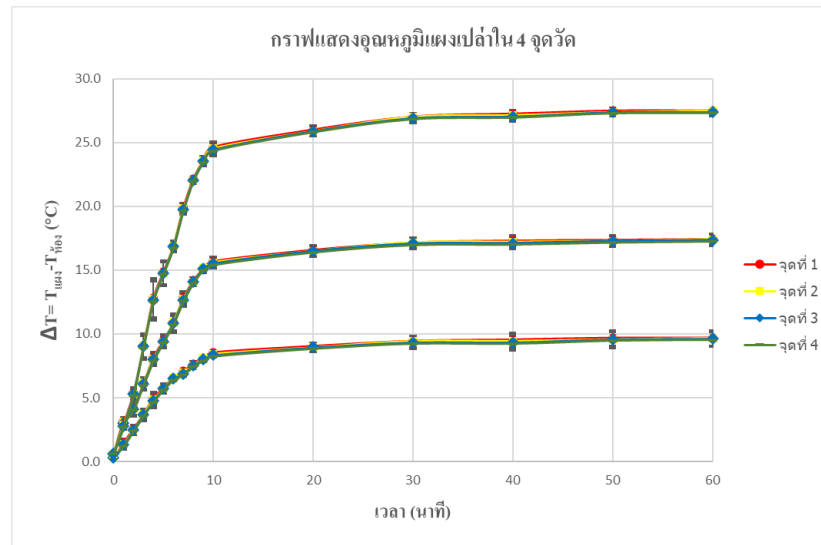
บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์การศึกษาการลดอุณหภูมิของการทดลองเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง โดยวิเคราะห์การลดอุณหภูมิของแผงใน 3 รูปแบบ ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อน เซลล์แสงอาทิตย์แบบติดผ้าแห้งไว้ด้านหลังของแผง และเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อน ที่ค่า heat flux 3 ค่า คือ 205.8 W/m^2 483.8 W/m^2 และ 661.8 W/m^2 ทำการทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้ง โดยการทดสอบแต่ละครั้งจะทำการวัดค่าอุณหภูมิ 4 จุดวัดและเพื่อลดปัญหาอุณหภูมิห้องที่ต่างกัน จึงเลือกแสดงผลด้วยผลต่างของอุณหภูมิแผงเทียบกับอุณหภูมิห้อง ณ ขณะนั้น (ΔT) แล้วนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล Standard deviation และหาค่า error เพื่อวิเคราะห์ผลการศึกษา และนำผลการวิเคราะห์ไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้การระบายความร้อนด้วยผ้าฝ้ายดูดซับน้ำกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง

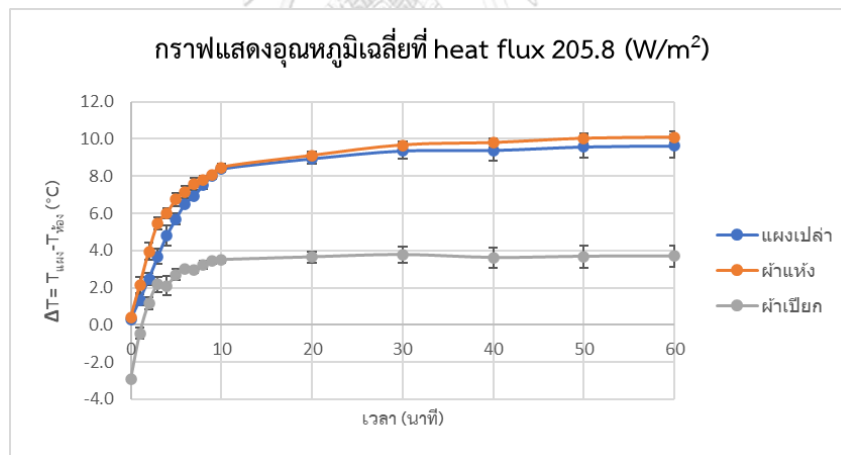
5.1 การวิเคราะห์ผลการศึกษาอุณหภูมิในแต่ละจุดวัดของเซลล์แสงอาทิตย์

กราฟดูความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิของแผงเปล่าที่ heat flux 3 ค่า ได้แก่ 205.8 W/m^2 483.8 W/m^2 และ 661.8 W/m^2 โดยแต่ละชุดการทดลองแสดงผลการวัด 4 จุด คือ จุดวัด 1 2 3 4 พบว่าในช่วง 10 วินาทีแรก อุณหภูมิมีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการทดลองที่ให้ความร้อนหลังจากเริ่ม และอัตราการเพิ่มขึ้นจะน้อยลงมาก และค่อยๆ เข้าใกล้สู่ค่าหนึ่ง เนื่องจากเป็นช่วงระบายความร้อน และกราฟได้แสดงค่า error bar แต่มีค่าน้อย ดังแสดงในรูป 5-1 ซึ่งแสดงถึงว่ามีความแม่นยำอยู่ในระดับที่รับได้ ที่แต่ละ heat flux มีแนวโน้มเดียวกัน คือ ผลของค่าอุณหภูมิของแต่ละจุดวัดมีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นผลการทดลองต่อจากนี้จะใช้ผลค่าเฉลี่ยของทุกจุด

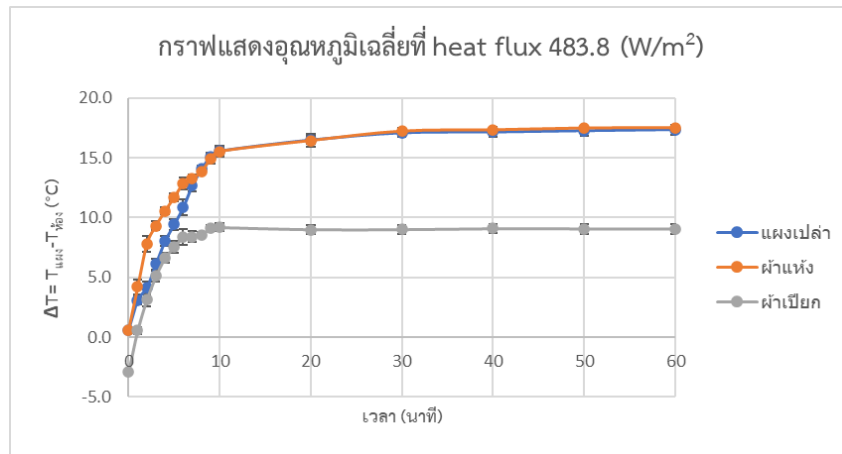
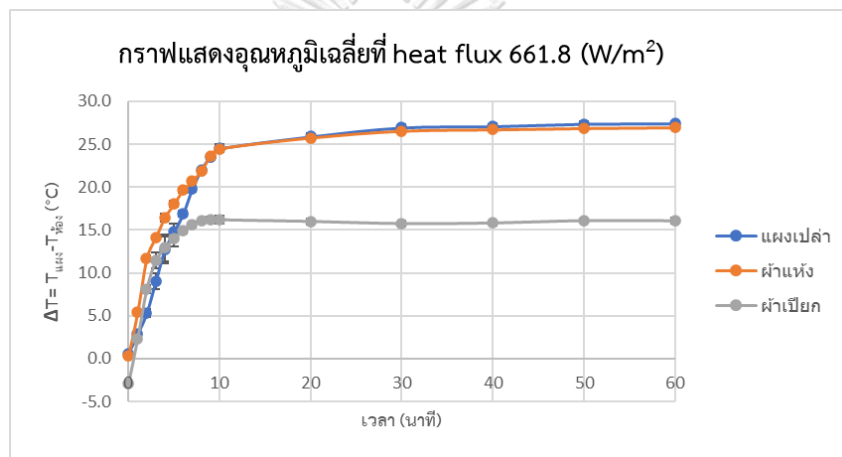


รูปที่ 5-1 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิทั้ง 4 จุดวัด ของแผงเปล่า

5.2 การวิเคราะห์ผลการศึกษาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของจุดวัดเซลล์แสงอาทิตย์



(ก) heat flux 205.8 W/m²

(ข) heat flux 483.8 W/m²(ค) heat flux 661.8 W/m²

รูปที่ 5-2 กราฟแสดงอุณหภูมิของแฉงเปล่า ผ้าแห้ง ผ้าเปียกดูดซับน้ำในแต่ละค่า heat flux

จากรูป (ก) เป็นการแสดงผลอุณหภูมิของ แฉงเปล่า ผ้าแห้ง ผ้าเปียกดูดซับน้ำที่ heat flux 205.8 W/m² สำหรับรูป (ข) เป็นการแสดงผลอุณหภูมิของ แฉงเปล่า ผ้าแห้ง ผ้าเปียกดูดซับน้ำที่ heat flux 483.8 W/m² และรูป (ค) เป็นการแสดงผลอุณหภูมิของ แฉงเปล่า ผ้าแห้ง ผ้าเปียกดูดซับน้ำที่ heat flux 661.8 W/m² โดยทั้ง 3 รูป อุณหภูมิจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิที่ต่ำ จะค่อยๆเพิ่มขึ้นแล้วเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง เพราะเป็นการทดลองที่ให้ค่าความร้อนหลังจากเริ่ม ซึ่งช่วงเวลาที่เข้าใกล้ค่าๆหนึ่งนั้น ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการระบายความร้อนออก ด้วยกระบวนการอันใกล้เคียงกับกระบวนการความร้อนที่ให้เข้ามา

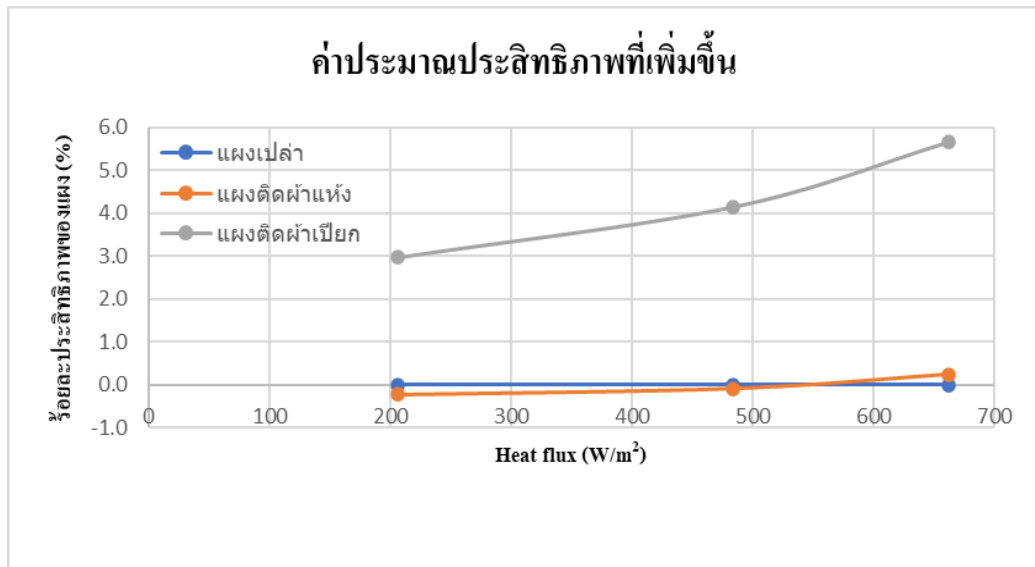
ในกรณีของแผงเปล่าและผ้าแห้ง แผงเปล่าและผ้าแห้งอุณหภูมิสูงกว่ากันในทุกกรณี อุณหภูมิของผ้าแห้งไม่ว่าช่วงไหนก็ตามจะสูงกว่าแผงเปล่าอยู่เล็กน้อย เพราะว่าผ้าแห้งทำหน้าที่เป็นฉนวนความร้อน ส่งผลให้การระบายความร้อนแย่งลง ซึ่งมีค่าน้อยมากไม่มีผลมากนัก

ส่วนในกรณีของผ้าเปียกดูดซับน้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่าตั้งแต่เวลาที่ 0 เพราะอุณหภูมิเริ่มต้นเกิดจากผ้าที่เปียกเกิดการระเหย ทำให้อุณหภูมิน้ำที่ได้ต่ำกว่าอุณหภูมิบรรยากาศ และอุณหภูมิรอบข้าง ทำให้อุณหภูมิของแผงลดลงตั้งแต่ค่าเริ่มต้น แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งผ้าเปียกดูดซับน้ำไว้ด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น เป็นตัวช่วยในการทำให้อุณหภูมิต่ำกว่าสภาพแวดล้อมได้ ซึ่งอุณหภูมิให้อุณหภูมิต่ำกว่าสภาพแวดล้อมได้ ซึ่งอุณหภูมิมียุคต่ำกว่าตลอดเวลา ซึ่งก็เป็นการแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ระบายความร้อนนี้สามารถลดความร้อนได้จริง

ผลต่างของอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปตามค่า heat flux ยิ่งถ้าหาก heat flux สูงขึ้น ผลต่างอุณหภูมิในส่วนนี้ก็เยอะขึ้น เพราะเป็นผลมาจากการทำระเหยได้ดีขึ้นในช่วงที่ heat flux เยอะ ซึ่งเป็นผลดี เพราะในช่วงที่ heat flux เยอะคือช่วงที่แผงมีอุณหภูมิสูง การที่เราสามารถลดอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิสูงลดให้ต่ำลงได้ เกิดขึ้นในช่วงที่มีความร้อนมากๆทำให้เป็นผลดี สามารถช่วยลดความร้อนและเพิ่มประสิทธิภาพ ในช่วงที่มีกำลังการผลิตสูง

5.3 การวิเคราะห์ผลการศึกษาค่าประมาณประสิทธิภาพที่เพิ่ม

จากผลที่ผ่านมาเราสามารถเอาอุณหภูมิที่ใช้มาคำนวณคิดในเชิงประสิทธิภาพได้ โดยข้อสมมติฐานของการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพคือในการลดลงของอุณหภูมิทุกๆ 1°C จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ 0.50% โดยประมาณจากค่าเฉลี่ยที่ได้จากผลของงานวิจัยที่ [1]-[9] ซึ่งจากการทดลองเราสามารถอุณหภูมิได้สูงสุดถึง 11.3°C ที่ heat flux 661.8 W/m^2 ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถึง 5.65% และสามารถลดอุณหภูมิได้ 8.3°C ที่ heat flux 483.8 W/m^2 ส่งผลให้ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น 4.15% และสามารถลดอุณหภูมิได้ 5.9°C ที่ heat flux 205.8 W/m^2 ส่งผลให้ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น 2.95% จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าการระบายความร้อนทำได้ดีขึ้นตามความร้อนที่เพิ่มขึ้น โดยการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยผ้าฝ้ายดูดซับน้ำให้ผลดีในช่วงที่ heat flux 483.8 W/m^2 และให้ผลการลดความร้อนได้ดีที่สุดในช่วงที่ heat flux 661.8 W/m^2 และทำให้เราสามารถนำเสนอในรูปแบบกราฟประมาณประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูป 5-3



รูปที่ 5-3 แผนภูมิแสดงค่าประมาณประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น



บทที่ 6

การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง

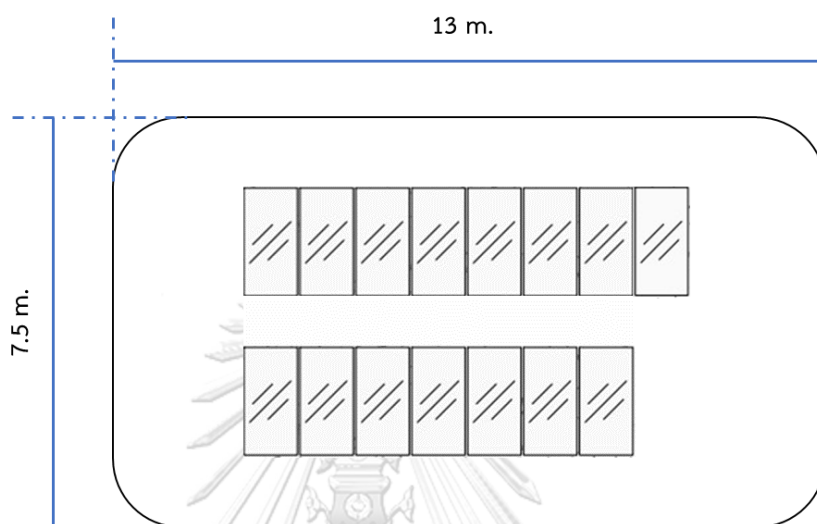
เนื่องด้วยการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง กับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง มีลักษณะที่แตกต่างกัน จึงมีส่วนที่ต้องพิจารณาเพิ่มมากขึ้นทั้งในส่วนของขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และขนาดของอุปกรณ์ระบายความร้อน จึงได้เกิดการนำเสนอตัวอย่าง ต้นแบบระบบระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้น ซึ่งการศึกษาในส่วนนี้เป็นการศึกษาส่วนที่ 2 เป็นการนำผลที่ได้จากการทดลองเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง จากการศึกษาส่วนก่อนหน้ามาใช้ยกตัวอย่าง กรณีศึกษาด้านแบบการประยุกต์ใช้ระบบระบายความร้อนกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง โดยการศึกษาในครั้งนี้เลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิด Mono Crystalline ขนาดการติดตั้งที่ ขนาด 6.6 kW โดยต้นแบบการประยุกต์รูปแบบหลักนั้น เป็นการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์บน าดาดฟ้าอาคารเรียบโดยควมรวมระบบน้ำของอุปกรณ์ระบายความร้อนเข้ากับระบบน้ำของอาคาร ใน ส่วนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์บนาดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำของอุปกรณ์ ระบายความร้อนออกจากระบบน้ำของอาคาร และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์หลังคา ลาดโดยแยกระบบน้ำของอุปกรณ์ระบายความร้อนออกจากระบบน้ำของอาคาร จะมีการติดตั้ง อุปกรณ์เพิ่มเติมจากรูปแบบหลักเพื่อตอบโจทย์ข้อจำกัดในการติดตั้ง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.1 รูปแบบชุดเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ในการศึกษา

การศึกษาในส่วนนี้เป็นการแสดงการเลือกใช้ขนาดการติดตั้งชุดเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ในการ ศึกษา รวมถึงแผนผังการจัดเรียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการติดตั้งที่ใช้เป็นตัวอย่างต้นแบบการ ประยุกต์ระบบระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งครั้งนี้เลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิด Mono Crystalline โดยอ้างอิงข้อมูลเชิงเทคนิคจากผู้ผลิตซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก(ก) ที่มีขนาดการ ติดตั้ง 6.6 kW โดยขนาดการติดตั้งนี้เป็นขนาดเฉลี่ยที่ใช้โดยทั่วไป จำนวน 15 แผง โดยแผงมีขนาด $2.1 \times 1.0 \text{ m}^2$ ซึ่งแผงมีกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 440 W ต่อแผง และมีค่าประสิทธิภาพของเซลล์ แสงอาทิตย์อยู่ที่ 19.8% เป็นผลลัพธ์กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด จากการทดสอบ Standard Testing Condition (STC) ที่ความเข้มชั้นแสงที่ 1000 W/m^2 และมีอุณหภูมิ 25°C และ แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอัตราการเสื่อมสภาพปีละ 0.55% โดยค่าต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมานี้อ้างอิงตาม

ผลทดสอบจากผู้ผลิตแบ่งการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 2 แถว โดยแถวแรกติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 8 แผง แถวที่ 2 ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 7 แผง กำหนดให้ติดตั้งบนหลังคามีความกว้าง 7.5 m. และมีความยาว 13 m. ดังรูป 6-1



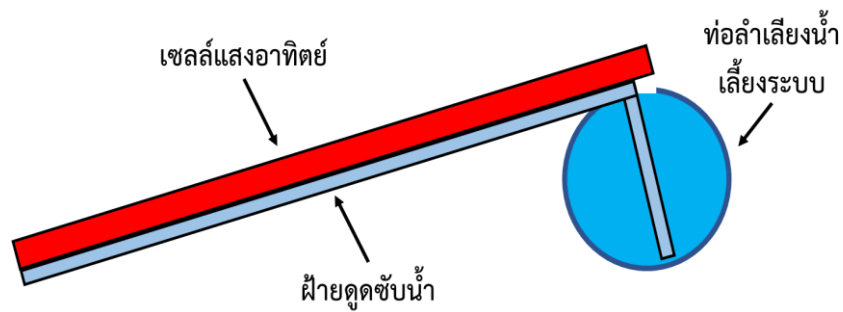
รูปที่ 6-1 แสดงรูปแบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

6.2 การติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนกับชุดเซลล์แสงอาทิตย์

ในส่วนของการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์ในหัวข้อนี้ จะแสดงถึงการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ระบายความร้อนสำหรับ 1 แผง และแผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนและระบบน้ำของชุดเซลล์แสงอาทิตย์

6.2.1 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ระบายความร้อนในขนาด 1 แผง

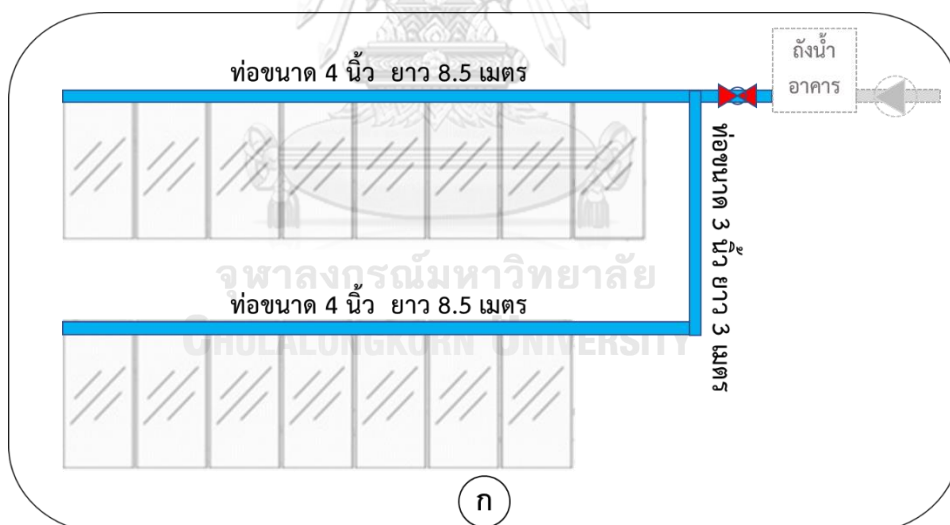
ในส่วนของอุปกรณ์ระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ระบายความร้อนในสำหรับ 1 แผง มีหลักการทำงานของอุปกรณ์การระบายความร้อนนี้คือ ติดตั้งผ้าฝ้ายไว้บริเวณด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วหย่อนส่วนปลายของผ้าลงในท่อลำเลียงน้ำเพื่อให้ผ้าฝ้ายได้ดูดซับน้ำขึ้นมา ดังแสดงภาพตัดขวางของการติดตั้งในรูป 6-2 โดยการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ระบายความร้อน 1 แผง โดยอุปกรณ์หลักมีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แผงมีขนาด 2.1 x 1.0 m. ใช้ผ้าฝ้าย 100% ที่ใช้ตัดเย็บเสื้อผ้าทั่วไปในอุตสาหกรรม ขนาด 1.0x3.0 m. ใช้ท่อน้ำขนาด 4 นิ้วในการทำท่อลำเลียงน้ำที่ใช้เลี้ยงระบบระบายความร้อน

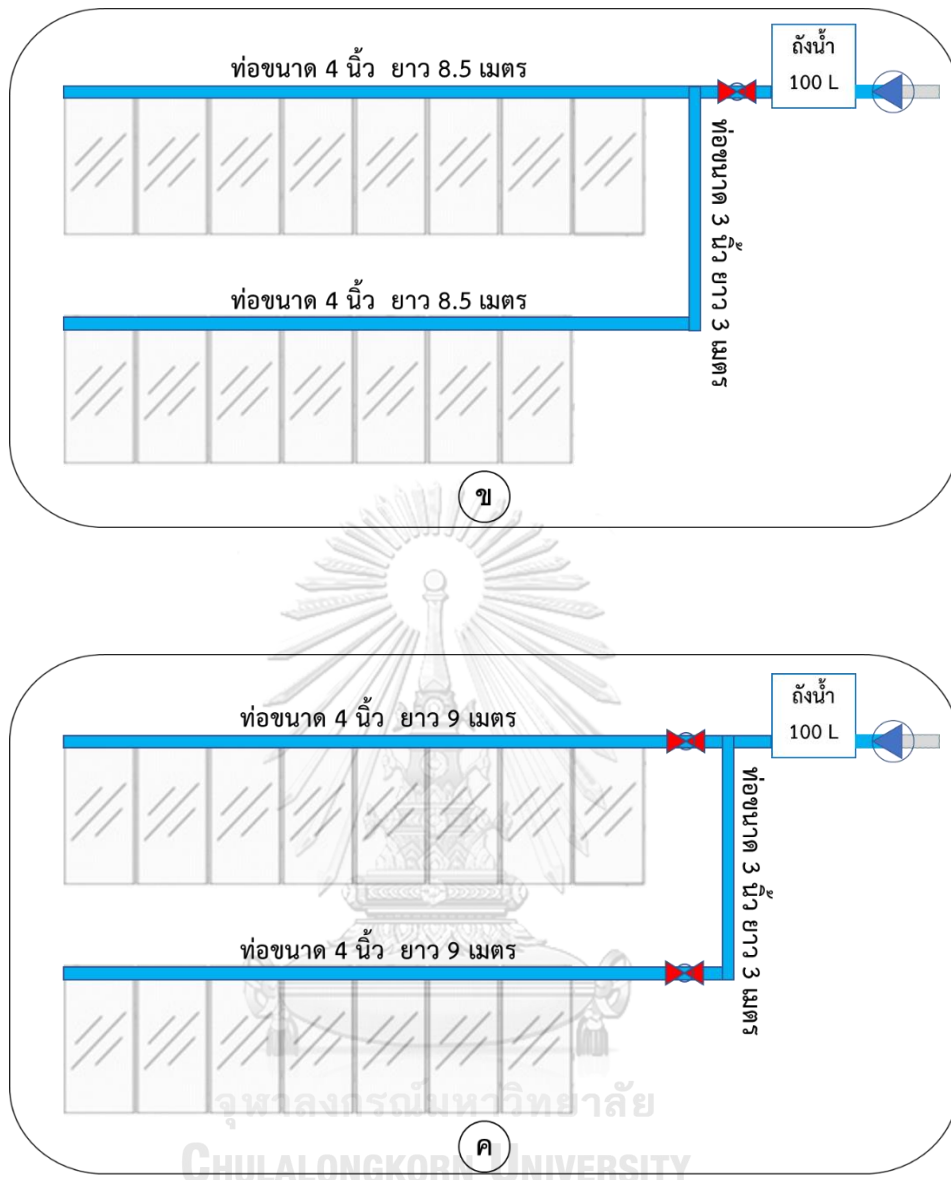


รูปที่ 6-2 แสดงอุปกรณ์ระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์

6.2.2 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนและระบบการลำเลียงน้ำ

รูปแบบของแผนผังการติดตั้งอุปกรณ์และระบบการลำเลียงน้ำในศึกษาครั้งนี้มีตัวอย่างต้นแบบการประยุกต์ คือ แบบหลักติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนบนดาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร แบบติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนบนดาดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกการใช้ระบบน้ำกับอาคาร และแบบติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อใช้กับหลังคาลาดเอียง โดยมีรายละเอียดการแสดงแผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนและระบบลำเลียงน้ำดังรูป 6.3





รูปที่ 6-3 รูปแบบการติดตั้งระบบทางเดินน้ำของอุปกรณ์ระบายความร้อนของชุดเซลล์แสงอาทิตย์
 ที่ทำการศึกษาศึกษาสำหรับ (ก) คัดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร
 (ข) คัดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร
 และ (ค) หลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร

รูป 6-3 (ก) เป็นตัวอย่างต้นแบบการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ระบายความร้อนรูปแบบหลักโดยมีการใช้ระบบน้ำร่วมกับระบบน้ำของอาคาร มีอุปกรณ์ของระบบระบายความร้อน ได้แก่ ท่อลำเลียงน้ำ เพื่อเลี้ยงระบบระบายความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ท่อน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว วาล์วลูกกลอยอัตโนมัติ 1 ตัว ซึ่งตัวอย่างการประยุกต์ในรูปแบบนี้สามารถช่วยประหยัดต้นทุนในการ

ดูแลรักษา ทั้งลดต้นทุน ถังเก็บน้ำ ปั๊มน้ำ อีกทั้งบำรุงรักษาปั๊มน้ำ และประหยัดพื้นที่การติดตั้ง ตัวอย่างต้นแบบการประยุกต์รูปแบบนี้เหมาะกับการติดตั้งบนอาคารเรียบที่มีการติดตั้งระบบน้ำไว้ด้านบนอาคารอยู่แล้ว และในรูปแบบการติดตั้งนี้เป็นแบบวาล์วลูกกลอยตัวเดียว เหมาะสำหรับ การติดตั้งบนหลังคาที่ไม่มีพื้นที่ลาดเอียง

รูป 6-3 (ข) เป็นตัวอย่างต้นแบบการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ระบายความร้อนรูปแบบเพิ่มเติมเพื่อ ใช้ระบบน้ำแยกกับระบบน้ำของอาคาร โดยมีอุปกรณ์เพิ่มเติมจากอุปกรณ์ระบายความร้อนรูปแบบ หลักคือ ถังเก็บน้ำขนาด 100 ลิตร 1 ใบ ปั๊มน้ำ 80 วัตต์ 1 ตัว ตัวอย่างต้นแบบการประยุกต์รูปแบบนี้ มีต้นทุนเพิ่มในส่วนของปั๊มน้ำและค่าบำรุงรักษาปั๊มน้ำ ซึ่งตัวอย่างต้นแบบการประยุกต์รูปแบบนี้ เหมาะกับการติดตั้งบนอาคารเรียบที่ไม่เอื้ออำนวยในการติดตั้งระบบน้ำร่วมกับระบบน้ำของ อาคาร

รูป 6-3 (ค) เป็นตัวอย่างต้นแบบการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ระบายความร้อนรูปแบบเพิ่มเติมเพื่อ ใช้ระบบน้ำแยกกับระบบน้ำของอาคารโดยหลังคาของอาคารมีความลาดเอียง โดยมีอุปกรณ์เพิ่มเติม จากรูปแบบแยกกับระบบน้ำของอาคาร คือวาล์วลูกกลอยอัตโนมัติ 1 ตัว ตัวอย่างต้นแบบการประยุกต์ รูปแบบนี้มีต้นทุนเพิ่มในส่วนของคือต้นทุนวาล์วลูกกลอยอัตโนมัติ ตัวอย่างต้นแบบการประยุกต์รูปแบบ นี้เหมาะกับการติดตั้งบนอาคารที่ไม่เอื้ออำนวยในการการติดตั้งระบบน้ำของอาคาร สามารถใช้ติดตั้ง บนหลังคาที่ลาดเอียง หรือมีพื้นที่ไม่ลาดเอียงก็ได้

6.3 การบำรุงรักษาระบบระบายความร้อน

เนื่องจากระบบระบายความร้อนเสนอไม่ใช่ระบบที่ติดตั้งครั้งเดียวตลอดการใช้งาน จึงมี การนำเสนอการบำรุงรักษามา ณ ที่นี้ด้วย โดยมีการบำรุงรักษาหลักที่ต้องดูแล 2 ส่วนคือ ผ้าฝ้าย ที่ทำหน้าที่ดูดซับน้ำเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์ และปั๊มน้ำอัตโนมัติที่ทำหน้าที่สูบน้ำไปเก็บยังถังเก็บน้ำเพื่อป้อนน้ำให้กับระบบระบายความร้อน

โดยผ้าฝ้ายที่ใช้ในระบบระบายความร้อนเป็นผ้าฝ้าย 100% ที่ใช้ตัดเย็บเสื้อผ้าทั่วไปใน อุตสาหกรรม เมื่อใช้เป็นอุปกรณ์ดูดซับน้ำสำหรับระบบระบายความร้อนจะมีการเปื่อยและแห้ง สลัดกันจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนเมื่อผ้าฝ้ายเกิดเสื่อมสภาพ ส่วนปั๊มน้ำอัตโนมัติที่มีอายุการใช้งานปกติ น้อยกว่าเซลล์แสงอาทิตย์จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนปั๊มเมื่อหมดอายุการใช้งาน

6.4 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากต้นแบบการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ระบายความร้อน

ในส่วนของศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากต้นแบบการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นการอนุมานอ้างอิงจากผลการทดลองด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จำลองในส่วนแรกว่าการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงจะให้ผลทางด้านการผลิตอุณหภูมิใกล้เคียงกับที่ทำการทดลองกับเซลล์แสงอาทิตย์จำลองในบทที่ผ่านมาในกรณี heat flux 661.8 W/m^2 คือสามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงได้เท่ากับ 11.3°C และอนุมานร่วมกับสมมติฐานที่ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงเฉลี่ยประมาณ 0.50% ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยโดยประมาณจากผลของงานวิจัยที่ [1]-[8]

สำหรับงานวิจัยนี้ตั้งสมมติฐานว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนทำงานที่อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 40°C จึงอนุมานได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนทำงานที่อุณหภูมิเฉลี่ยลดลงเป็น 28.7°C เมื่ออนุมานร่วมกับสมมติฐานเรื่องประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลดลงจากอุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะได้ว่าประสิทธิภาพเมื่อคิดผลของอุณหภูมิทำงานเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิทำงานอ้างอิงที่ผู้ผลิตระบุไว้ที่ 25°C ได้จากสมการ

$$\eta_0 = \eta_{25,0} - 0.005(T_{\text{operate}} - 25) \quad (4)$$

โดยที่ T_{operate} คืออุณหภูมิทำงานเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ และ $\eta_{0,25}$ คือประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเริ่มต้นใช้งานที่ทำการทดสอบที่ 25°C ซึ่งในกรณีนี้ใช้ค่าเป็น 19.80% เมื่ออ้างอิงจากข้อมูลเชิงเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์จากผู้ผลิตซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก (ก) จึงประมาณได้ว่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนและที่ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนเมื่อเริ่มต้นการติดตั้งคือ 12.30% และ 17.95% ตามลำดับ

นอกเหนือจากการลดลงของประสิทธิภาพเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นแล้ว เซลล์แสงอาทิตย์ยังมีการเสื่อมสภาพเมื่อมีการใช้งานทำให้ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงทุกปี จากข้อมูลเชิงเทคนิคของเซลล์แสงอาทิตย์จากผู้ผลิตซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก (ก) แสดงว่าประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ในปีแรกจะลดลง 2% และลดลงเฉลี่ยปีละ 0.55% ในปีที่ 2 ถึงปีที่ 25 โดยในงานวิจัยนี้จะคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยในแต่ละปีโดยประมาณจากประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ต้นปีและปลายปีนั้น ๆ จึงได้ว่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงในแต่ละปีเมื่อทำงานที่อุณหภูมิ 25°C เป็นดังนี้

$$\bar{\eta}_n = \begin{cases} 0.99\eta_0, & n = 1 \\ [0.9725 - 0.0055(n - 2)]\eta_0, & n \geq 2 \end{cases} \quad (5)$$

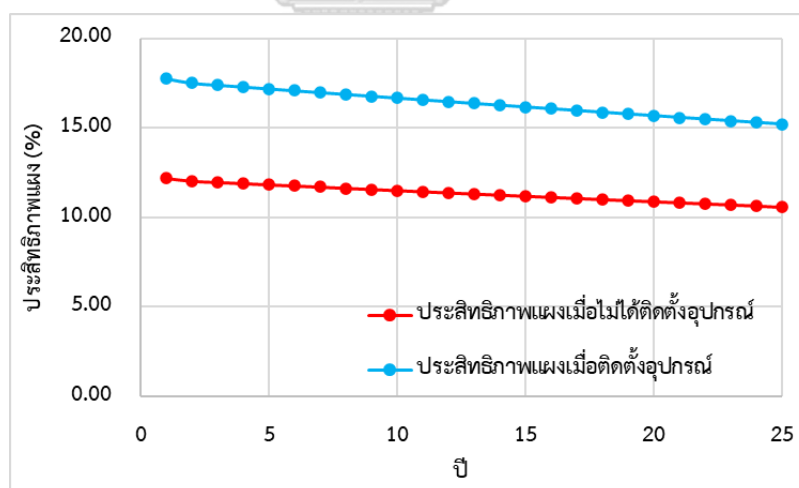
โดยที่ n คือ ปีที่พิจารณา

การประมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโครงการในแต่ละปีทำได้การคำนวณจาก

$$E_n = \bar{\eta}_n \times P_{PV} \times t_{sun} \quad (6)$$

โดยที่ P_{PV} คือขนาดติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในกรณีนี้มีค่าเท่ากับ 6.6 kW และ t_{sun} คือชั่วโมงเทียบเท่าที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงอาทิตย์เต็มกำลังในแต่ละปี สำหรับงานวิจัยนี้ตั้งสมมติฐานว่าในแต่ละวันมีแสงอาทิตย์เต็มกำลังอยู่ที่เฉลี่ย 4 ชั่วโมงต่อวัน และแต่ละปีมีจำนวนวันคงที่คือ 365 วัน นอกจากนี้เพื่อให้การวิเคราะห์การติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนแต่ละรูปแบบสามารถเปรียบเทียบกันได้ จึงพิจารณาบนสมมติฐานที่ว่ารูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนไม่มีผลกับการรับแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

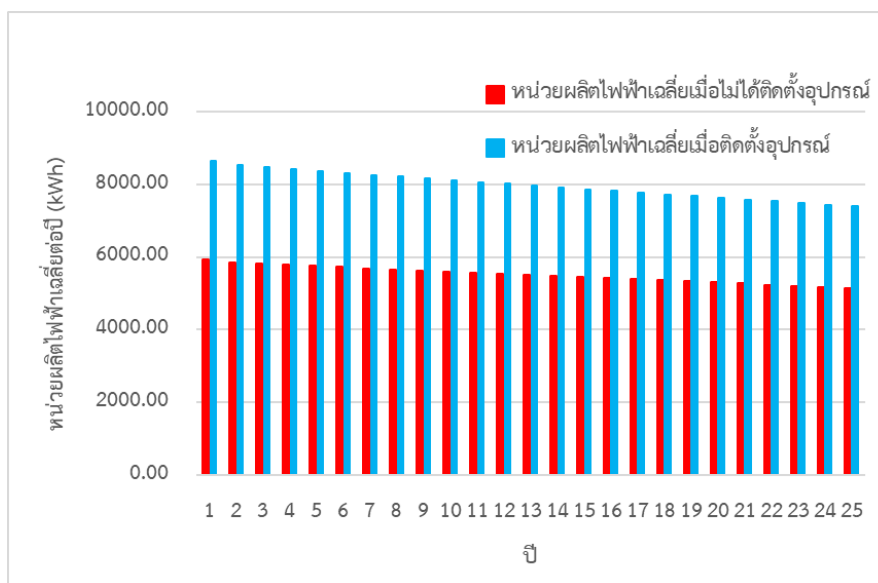
ผลการวิเคราะห์ในหัวข้อนี้จะพิจารณาการทำงานเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงอายุการใช้งาน 25 ปี โดยแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การเปรียบเทียบหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี และการความเป็นไปได้ในการเพิ่มขึ้นของหน่วยผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีโดยระหว่างติดตั้งระบบระบายความร้อนกับไม่ได้ติดตั้งระบบระบายความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 6.4-6.6



รูปที่ 6-4 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหย น้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับกรณีไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์

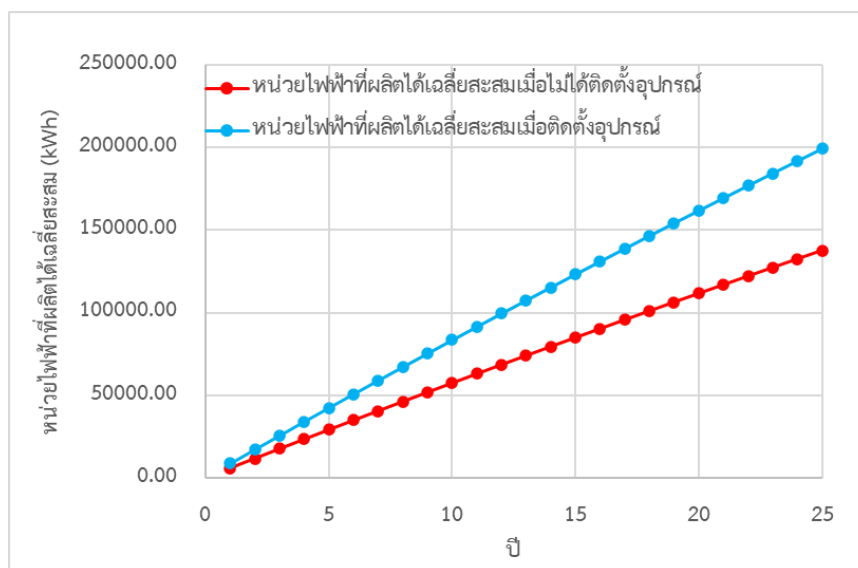
จากรูปที่ 6-4 เป็นการแสดงผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งในแบบติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนและไม่ได้ติดตั้ง จากรูปประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะค่อยๆ

ลดลงตามลำดับ ทั้งแบบติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนและไม่ติดตั้ง โดยแบบที่ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบที่ไม่ติดตั้งระบบระบายความร้อน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งระบบระบายความร้อนนั้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ได้



รูปที่ 6-5 แผนภูมิประมาณการหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีของการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับกรณีไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์

จากรูปที่ 6-5 เป็นการแสดงผลเปรียบเทียบหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีโดยเทียบหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี ทั้งในแบบติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนและไม่ติดตั้ง หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีก็เช่นกัน ของหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีจะค่อยๆลดลงตามลำดับ ทั้งแบบติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนและไม่ติดตั้ง โดยแบบที่ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนจะมีหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงกว่าแบบที่ไม่ติดตั้งระบบระบายความร้อน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งระบบระบายความร้อนนั้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลให้หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย



รูปที่ 6-6 กราฟแสดงความเป็นไปได้ในการเพิ่มขึ้นของหน่วยผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยสะสม โดยระหว่างติดตั้งระบบระบายความร้อนกับไม่ติดตั้งระบบระบายความร้อน

จากรูปที่ 6-6 เป็นการความเป็นไปได้ในการเพิ่มขึ้นของหน่วยผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีสะสม โดยเทียบระหว่างติดตั้งระบบระบายความร้อนกับไม่ติดตั้งระบบระบายความร้อน จากรูปหน่วยผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีสะสมจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อย ทั้งแบบติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนและไม่ติดตั้ง โดยแบบที่ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนจะมีหน่วยผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีสะสมสูงกว่าแบบที่ไม่ติดตั้งระบบระบายความร้อน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งระบบระบายความร้อนนั้นสามารถช่วยเพิ่มหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้มากขึ้นอีกด้วย

จากแสดงผลข้างต้นสามารถสรุปการใช้ต้นแบบการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนกับแผงขนาดจริง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแผงจากเดิมมีประสิทธิภาพ 12.30% เพิ่มขึ้นเป็น 17.95% โดยตลอดอายุโครงการ 25 ปีสามารถหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มมากขึ้นเป็น 199311.59 kWh จากเดิมที่ไม่ติดตั้งอุปกรณ์ 137788.89 kWh ซึ่งมีผลต่างถึง 61522.70 kWh

บทที่ 7

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อน ระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง

จากการศึกษาการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงในบทก่อนหน้า นำมาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์โดยการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อน เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างโครงการที่ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนกับโครงการที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่นำมาคำนวณเป็นต้นทุนในส่วนนี้ เพราะต้องการนำเสนอถึงความคุ้มค่าในการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนเท่านั้น

ในส่วนนี้จะแสดงเกี่ยวกับการประมาณการค่าใช้จ่ายโครงการ เงินลงทุนเริ่มต้น ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ต้นทุนรวมโครงการ ผลประโยชน์โครงการ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการ โดยวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) และวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการเมื่อค่าไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป โดยศึกษาใน 3 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนดาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 6-3 (ก) รูปแบบที่ 2 คือกรณีติดตั้งบนดาดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 6-3 (ข) และรูปแบบที่ 3 คือกรณีติดตั้งบนหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 6-3 (ค) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

7.1 การประเมินต้นทุนของโครงการ

การศึกษาในส่วนนี้เป็นการแสดงการประมาณการค่าใช้จ่ายโครงการการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง โดยกำหนดให้โครงการมีอายุ 25 ปี โดยการคำนวณต้นทุนเริ่มต้นโครงการนี้อ้างอิงข้อมูลราคาอุปกรณ์จากผู้จำหน่ายสินค้าในท้องตลาดทั่วไปสามารถประมาณต้นทุนเริ่มต้นของโครงการได้ดังนี้

7.1.1 เงินลงทุนเริ่มต้น

ในส่วนของเงินลงทุนเริ่มต้นของการติดตั้งการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงเป็นการรวมราคาค่าอุปกรณ์ต่างๆของระบบระบายความร้อนใน 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนคานาฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร รูปแบบที่ 2 คือกรณีติดตั้งบนคานาฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และรูปแบบที่ 3 คือกรณีติดตั้งบนหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร โดยมีการประมาณการค่าใช้จ่ายในลงทุนเริ่มต้นของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงดังตารางที่ 7-1

ตารางที่ 7-1 สรุปการประมาณการค่าใช้จ่ายในลงทุนเริ่มต้นของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนคานาฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร รูปแบบที่ 2 คือกรณีติดตั้งบนคานาฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และรูปแบบที่ 3 คือกรณีติดตั้งบนหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร

รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2		รูปแบบที่ 3	
		จำนวน (หน่วย)	รวม (บาท)	จำนวน (หน่วย)	รวม (บาท)	จำนวน (หน่วย)	รวม (บาท)
ผ้าฝ้าย (cotton 100%)	30.00	45	1,350.00	45	1,350.00	45	1,350.00
ท่อน้ำ PVC ขนาด 3 นิ้ว	48.25	3	144.75	3	144.75	3	144.75
ท่อน้ำ PVC ขนาด 4 นิ้ว	77.50	17	1,317.50	17	1,317.50	18	1,395.00
วาล์วลูกกลอย	99.00	1	99.00	1	99.00	2	198.00
ถังน้ำ	846.00	1	846.00	1	846.00	1	846.00
ปั้มน้ำ	3,890.00	-	-	1	3,890.00	1	3,890.00
รวมค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น			3,757.25		7,647.25		7,823.75

7.1.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operation Cost)

ในส่วนของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินงานการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงโดยหลักแล้วแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือค่าน้ำที่ใช้ระเหยและค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการปั้มน้ำเข้าสู่ระบบซึ่ง 3 รูปแบบใช้ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เท่ากัน จากการ

คำนวณในส่วนก่อนหน้าซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก (จ) พบว่าระบบใช้น้ำ 93.48 หน่วยต่อปี ราคาหน่วยละ 10.50 บาทต่อหน่วย คิดเป็นเงิน 981.54 บาทต่อปี และในส่วนของค่าไฟฟ้า 3.57 หน่วยต่อปี ราคาหน่วยละ 4.42 บาทต่อหน่วย คิดเป็นเงิน 15.77 บาทต่อปี โดยมีรายละเอียดการประมาณการค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานการประมาณการค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงดังตารางที่ 7-2

ตารางที่ 7-2 สรุปการประมาณการค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนดาดฟ้าอาคารเรียบ โดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร รูปแบบที่ 2 คือกรณีติดตั้งบนดาดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และรูปแบบที่ 3 คือกรณีติดตั้งบนหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร

รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวนที่ใช้ต่อปี (หน่วย)	รวมค่าใช้จ่าย ต่อปี (บาท)	รวมค่าใช้จ่ายตลอด โครงการ (บาท)
ค่าน้ำประปา (นครหลวง)	10.50	93.48	981.54	24,538.50
ค่าไฟฟ้า (นครหลวง)	4.42	3.57	15.77	394.25
รวม	14.92	97.05	997.31	24,932.75

7.1.3 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (Maintenance Cost)

ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษามีส่วนที่ต้องดูแลโดยหลักแล้วแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือผ้าฝ้ายที่ใช้ดูดซับน้ำขนาดหน้ากว้าง 1 เมตร ที่ต้องเปลี่ยนปีละ 1 ครั้ง ซึ่งทั้ง 3 รูปแบบมีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เท่ากัน และปั๊มอัตโนมัติ ขนาด 80 วัตต์ ที่ต้องเปลี่ยนทุก 12.5 ปี สำหรับการติดตั้งในรูปแบบที่ 2 และ 3 โดยมีการประมาณการค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง ดังตารางที่ 7-3

ตารางที่ 7-3

ตารางที่ 7-3 สรุปการประมาณการค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนตาดฟ้าอาคารเรียบ โดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร รูปแบบที่ 2 คือกรณีติดตั้งบนตาดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และรูปแบบที่ 3 คือกรณีติดตั้งบนหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร

	รายการ	อายุการใช้งาน (ปี)	จำนวน (หน่วย)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวมค่าบำรุงรักษาตลอด โครงการ (บาท)
รูปแบบที่ 1	ผ้าฝ้าย	1	45	30.00	33,750.00
	ปั้มน้ำ	-	-	-	
รูปแบบที่ 2	ผ้าฝ้าย	1	45	30.00	37,640.00
	ปั้มน้ำ	12.5	1	3,890.00	
รูปแบบที่ 3	ผ้าฝ้าย	1	45	30.00	37,640.00
	ปั้มน้ำ	12.5	1	3,890.00	

7.1.4 สรุปต้นทุนรวม

ต้นทุนรวมของการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อน ทั้งในส่วนของการลงทุนเริ่มต้น ค่าดำเนินการ และค่าบำรุงรักษา ของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง ตลอดอายุโครงการ 25 ปี ซึ่งแสดงรายละเอียดการประมาณการต้นทุนรวมดังตารางที่ 7-4, 7-5 และ 7-6

ตารางที่ 7-4 สรุปการประมาณการต้นทุนรวมของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำ จากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนตาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำ ร่วมกับอาคาร

ปี	ต้นทุนเริ่มแรก (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการ ดำเนินงาน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)
0	3,757.25		-	3,757.25
1		981.54	1,350.00	2,331.54
2		981.54	1,350.00	2,331.54
3		981.54	1,350.00	2,331.54
4		981.54	1,350.00	2,331.54
5		981.54	1,350.00	2,331.54
6		981.54	1,350.00	2,331.54
7		981.54	1,350.00	2,331.54
8		981.54	1,350.00	2,331.54
9		981.54	1,350.00	2,331.54
10		981.54	1,350.00	2,331.54
11		981.54	1,350.00	2,331.54
12		981.54	1,350.00	2,331.54
13		981.54	1,350.00	2,331.54
14		981.54	1,350.00	2,331.54
15		981.54	1,350.00	2,331.54
16		981.54	1,350.00	2,331.54
17		981.54	1,350.00	2,331.54
18		981.54	1,350.00	2,331.54
19		981.54	1,350.00	2,331.54
20		981.54	1,350.00	2,331.54
21		981.54	1,350.00	2,331.54
22		981.54	1,350.00	2,331.54
23		981.54	1,350.00	2,331.54
24		981.54	1,350.00	2,331.54
25		981.54	1,350.00	2,331.54
รวม		24,538.50	33,750.00	62,045.75

ตารางที่ 7-5 สรุปการประมาณการต้นทุนรวมของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำ จากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง รูปแบบที่ 2 คือกรณีติดตั้งบนคานาฝ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบ น้ำกับอาคาร

ปี	ต้นทุนเริ่มแรก (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการ ดำเนินงาน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)
0	7,647.25		-	7,647.25
1		997.31	1,350.00	2,347.31
2		997.31	1,350.00	2,347.31
3		997.31	1,350.00	2,347.31
4		997.31	1,350.00	2,347.31
5		997.31	1,350.00	2,347.31
6		997.31	1,350.00	2,347.31
7		997.31	1,350.00	2,347.31
8		997.31	1,350.00	2,347.31
9		997.31	1,350.00	2,347.31
10		997.31	1,350.00	2,347.31
11		997.31	1,350.00	2,347.31
12		997.31	5,240.00	6,237.31
13		997.31	1,350.00	2,347.31
14		997.31	1,350.00	2,347.31
15		997.31	1,350.00	2,347.31
16		997.31	1,350.00	2,347.31
17		997.31	1,350.00	2,347.31
18		997.31	1,350.00	2,347.31
19		997.31	1,350.00	2,347.31
20		997.31	1,350.00	2,347.31
21		997.31	1,350.00	2,347.31
22		997.31	1,350.00	2,347.31
23		997.31	1,350.00	2,347.31
24		997.31	1,350.00	2,347.31
25		997.31	1,350.00	2,347.31
	รวม	24,932.75	37,640.00	70,220.00

ตารางที่ 7-6 สรุปการประมาณการต้นทุนรวมของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำ จากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง รูปแบบที่ 3 คือกรณีติดตั้งบนหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยก ระบบน้ำกับอาคาร

ปี	ต้นทุนเริ่มแรก (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการ ดำเนินงาน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)
0	7,823.75		-	7,823.75
1		997.31	1,350.00	2,347.31
2		997.31	1,350.00	2,347.31
3		997.31	1,350.00	2,347.31
4		997.31	1,350.00	2,347.31
5		997.31	1,350.00	2,347.31
6		997.31	1,350.00	2,347.31
7		997.31	1,350.00	2,347.31
8		997.31	1,350.00	2,347.31
9		997.31	1,350.00	2,347.31
10		997.31	1,350.00	2,347.31
11		997.31	1,350.00	2,347.31
12		997.31	5,240.00	6,237.31
13		997.31	1,350.00	2,347.31
14		997.31	1,350.00	2,347.31
15		997.31	1,350.00	2,347.31
16		997.31	1,350.00	2,347.31
17		997.31	1,350.00	2,347.31
18		997.31	1,350.00	2,347.31
19		997.31	1,350.00	2,347.31
20		997.31	1,350.00	2,347.31
21		997.31	1,350.00	2,347.31
22		997.31	1,350.00	2,347.31
23		997.31	1,350.00	2,347.31
24		997.31	1,350.00	2,347.31
25		997.31	1,350.00	2,347.31
รวม		24,932.75	37,640.00	70,396.50

7.2 ประเมินการผลประโยชน์ของโครงการ

การประมาณผลประโยชน์ของโครงการของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง คำนวณจากค่าประมาณหน่วยการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี เปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่ไม่ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ กับกรณีที่ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์

จากสมการ

$$B = I - U \quad (7)$$

B = ผลประโยชน์จากการติดตั้งอุปกรณ์

I = หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ของกรณีติดตั้งอุปกรณ์

U = หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ของกรณีไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์

โดยที่การประมาณการหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ของกรณีติดตั้งและไม่ได้ติดตั้ง อุปกรณ์มีรายละเอียดอธิบายในหัวข้อ 6.4 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าของการประยุกต์อุปกรณ์ระบาย ความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง และมีผลการประมาณแสดงในรูปแบบ แผนภูมิในรูปที่ 6-5 นำค่าประมาณหน่วยการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี มาคำนวณเป็นผลประโยชน์ ของโครงการ โดยคิดจากค่าไฟเฉลี่ยที่ 4.42 บาทต่อหน่วย อ้างอิงจากค่าไฟฟ้าเฉลี่ยจากการไฟฟ้านคร หลวง ดังแสดงในภาคผนวก (จ) โดยรายละเอียดการประมาณผลประโยชน์ของโครงการของการ ประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงตลอดอายุโครงการ 25 ปี จะแสดงอยู่ในภาคผนวก (ข) และสรุปผลการประมาณผลประโยชน์ของโครงการของการ ประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงได้ดังนี้ ค่าประมาณ หน่วยการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีเมื่อไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์อยู่ที่ 137,788.89 (kWh) ส่วนค่าประมาณ หน่วยการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีเมื่อติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์ แสงอาทิตย์ขนาดจริงอยู่ที่ 199,311.59 kWh ซึ่งมีผลต่างหน่วยการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีอยู่ที่ 61,522.69 kWh ซึ่งคำนวณจากสมการข้างต้นจะได้ผลประโยชน์ 271,930.28 บาท

7.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน จะวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ โดยวิเคราะห์ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) โดยเลือกใช้อัตราส่วนคิดลด (Discount Rate) สำหรับโครงการการประยุกต์การติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับร้อยละ 5.95% โดยเป็นอัตราดอกเบี้ยลูกค้ารายย่อย (Minimum Retail Rate) ของธนาคารกรุงเทพ จำกัด มหาชน ประกาศ 17 มิถุนายน 2564

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน ของโครงการของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง ในส่วนนี้จะแสดงเกี่ยวกับ ต้นทุนรวม ค่าไฟที่ประหยัดได้เพิ่มขึ้น ผลประโยชน์สุทธิสะสม เปรียบเทียบกันระหว่างกรณีของการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงใน 3 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนดาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร รูปแบบที่ 2 คือกรณีติดตั้งบนดาดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และรูปแบบที่ 3 คือกรณีติดตั้งบนหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร โดยแสดงการสรุปการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน ดังแสดงในตารางที่ 7-7 โดยนำต้นทุนรวมจากที่แสดงในตาราง 7-4, 7-5 และ 7-6 ผลประโยชน์โครงการในหัวข้อ 7.2 และคำนวณผลประโยชน์สุทธิสะสมจากการติดตั้งอุปกรณ์ จากสมการที่ 7

$$BC = BE - TC \quad (8)$$

BC = ผลประโยชน์สุทธิสะสมจากการติดตั้งอุปกรณ์

BE = ผลประโยชน์จากค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เพิ่มขึ้น

TC = ต้นทุนรวม

ตารางที่ 7-7 สรุปต้นทุนรวม ค่าไฟที่ประหยัดได้เพิ่มขึ้น ผลประโยชน์สุทธิสะสม เปรียบเทียบกัน ระหว่างกรณีของการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง ใน 3 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนดาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร รูปแบบที่ 2 คือกรณีติดตั้งบนดาดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และรูปแบบที่ 3 คือกรณีติดตั้งบนหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร

รูปแบบการติดตั้ง	ต้นทุนเริ่มแรก (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เพิ่มขึ้น (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิ (บาท)
1	3,757.25	24,538.50	33,750.00	62,045.75	271,930.31	209,884.56
2	7,647.25	24,932.75	37,640.00	70,220.00	271,930.31	201,710.31
3	7,823.75	24,932.75	37,640.00	70,396.50	271,930.31	201,533.81

จากตาราง 7-7 พบว่าในการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง ใน 3 รูปแบบนั้น รูปแบบที่ 1 มีต้นทุนเริ่มแรก ค่าบำรุงรักษาที่น้อยที่สุด ส่งผลให้ต้นทุนรวมที่น้อยที่สุดตามไปด้วย และรูปแบบที่ 3 มีต้นทุนเริ่มแรกมากที่สุด ส่งผลให้ต้นทุนรวมมากที่สุดตามไปด้วย แต่สามารถลดอุณหภูมิได้เท่ากับ รูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 จึงมีค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เพิ่มขึ้นเท่ากัน และเนื่องด้วยประโยชน์เท่ากัน ต้นทุนรวมน้อยสุด รูปแบบที่ 1 จึงมีความน่าสนใจเพราะให้ผลประโยชน์สุทธิมากที่สุดส่วนรูปแบบที่ 3 น่าสนใจน้อยกว่า เพราะให้ผลประโยชน์สุทธิน้อยที่สุด

การการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน ของโครงการของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง ได้วิเคราะห์ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) กรณีของการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงใน 3 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนดาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร รูปแบบที่ 2 คือกรณีติดตั้งบนดาดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และรูปแบบที่ 3 คือกรณีติดตั้งบนหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร โดยวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) จากสมการที่ (1) วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน

(Internal Rate of Return : IRR) จากสมการที่ (2) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) จากสมการที่ (3) โดยได้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 7-8

ตารางที่ 7-8 สรุปการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) กรณีของการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดจริงใน 3 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนตาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร รูปแบบที่ 2 คือกรณีติดตั้งบนตาดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และรูปแบบที่ 3 คือกรณีติดตั้งบนหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร

รูปแบบการติดตั้ง	NPV (บาท)	IRR (%)	Payback Period (ปี)
1	109,112.11	255.33%	0.39
2	103,075.37	124.52%	0.79
3	102,898.87	121.68%	0.81

จากตาราง 7-8 พบว่าการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ในการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดจริง ใน 3 รูปแบบนั้น รูปแบบที่ 1 มีค่า NPV สูงสุด IRR มากสุด และระยะเวลาคืนทุนน้อยสุด ส่งผลให้การติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงใน รูปแบบที่ 1 นั้นนำลงทุนที่สุด ส่วนรูปแบบที่ 3 มีค่า NPV ต่ำสุด IRR น้อยสุด และระยะเวลาคืนทุนมากที่สุด ส่งผลให้ การติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงใน รูปแบบที่ 3 นั้นนำลงทุนน้อยสุด

ซึ่งจากข้อมูลข้างต้นที่กล่าวมา ต้นทุนรวม รูปแบบที่ 1 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 2 มีความแตกต่างกัน 11.64% รูปแบบที่ 2 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 3 มีความแตกต่างกัน 0.25% และรูปแบบที่ 1 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 3 มีความแตกต่างกัน 11.86%

ผลประโยชน์สุทธิ รูปแบบที่ 1 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 2 มีความแตกต่างกัน 3.89% รูปแบบที่ 2 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 3 มีความแตกต่างกัน 0.09% และรูปแบบที่ 1 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 3 มีความแตกต่างกัน 3.98%

NPV รูปแบบที่ 1 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 2 มีความแตกต่างกัน 5.53% รูปแบบที่ 2 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 3 มีความแตกต่างกัน 0.17% และรูปแบบที่ 1 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 3 มีความแตกต่างกัน 5.69%

IRR รูปแบบที่ 1 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 2 มีความแตกต่างกัน 131% รูปแบบที่ 2 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 3 มีความแตกต่างกัน 3% และรูปแบบที่ 1 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 3 มีความแตกต่างกัน 134%

ระยะเวลาคืนทุน รูปแบบที่ 1 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 2 มีความแตกต่างกัน 0.4 ปี รูปแบบที่ 2 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 3 มีความแตกต่างกัน 0.0 ปี และรูปแบบที่ 1 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 3 มีความแตกต่างกัน 0.4 ปี

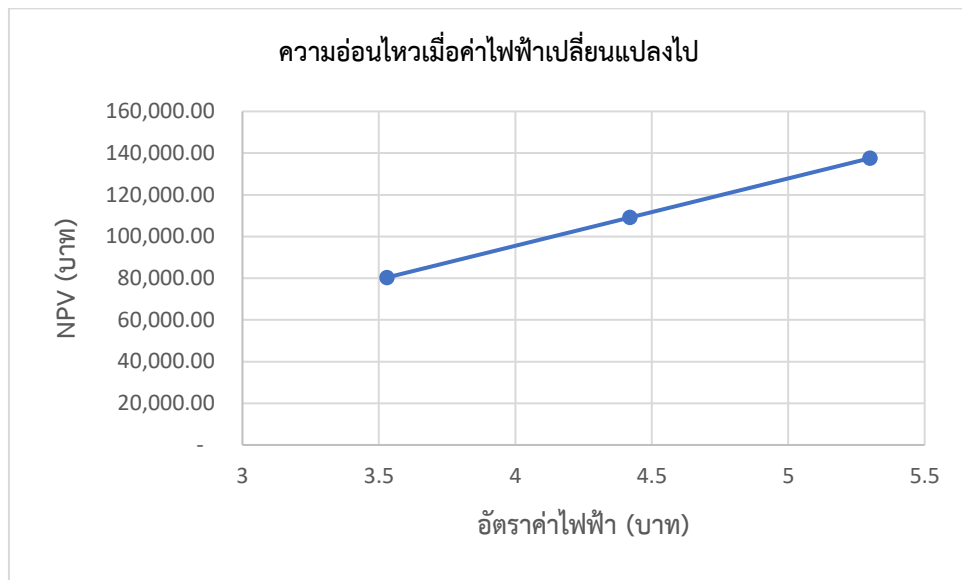
7.4 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการเป็นการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น และทำให้เกิดผลกระทบต่อต้นทุนหรือผลตอบแทนของโครงการการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง ในครั้งนี้จะวิเคราะห์ความอ่อนไหวโครงการใน 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 เมื่อค่าไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป โดยกำหนดให้อัตราค่าไฟฟ้าปกติ 4.42 บาทต่อหน่วย ค่าไฟฟ้าลดลง 20% ค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 20% กรณีที่ 2 เมื่อค่าน้ำเปลี่ยนแปลงไป โดยกำหนดให้อัตราค่าน้ำปกติ 10.50 บาทต่อหน่วย ค่าน้ำลดลง 20% ค่าน้ำเพิ่มขึ้น 20% และกรณีที่ 3 เมื่อค่าผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป โดยค่าผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ต่ำสุดคือ 0.42% ค่าเฉลี่ย 0.50% และสูงสุดคือ 0.73% โดยอ้างอิงข้อมูลจาก [1]-[9] ในการสรุปรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 กำหนดให้ต้นทุนรวมคงที่และอัตราคิดลดเท่ากับ 5.95% และในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวโครงการครั้งนี้เลือกใช้การประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงรูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนดาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร

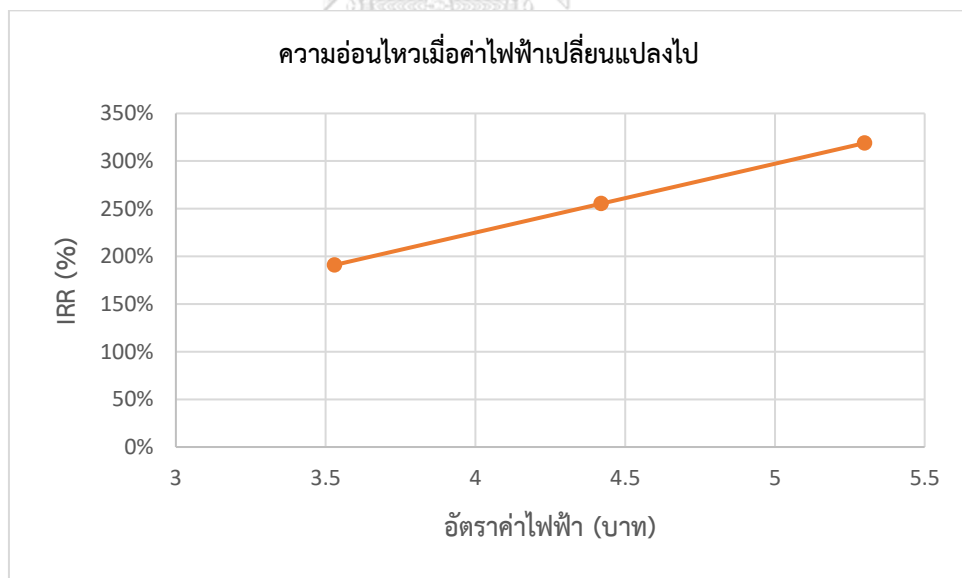
7.4.1 ความอ่อนไหวโครงการเมื่อราคาค่าไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวโครงการเมื่อค่าไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป โดยกำหนดให้อัตราค่าไฟฟ้าปกติ 4.42 บาทต่อหน่วย ค่าไฟฟ้าลดลง 20% ค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 20% ในส่วนนี้จะแสดงเกี่ยวกับ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of

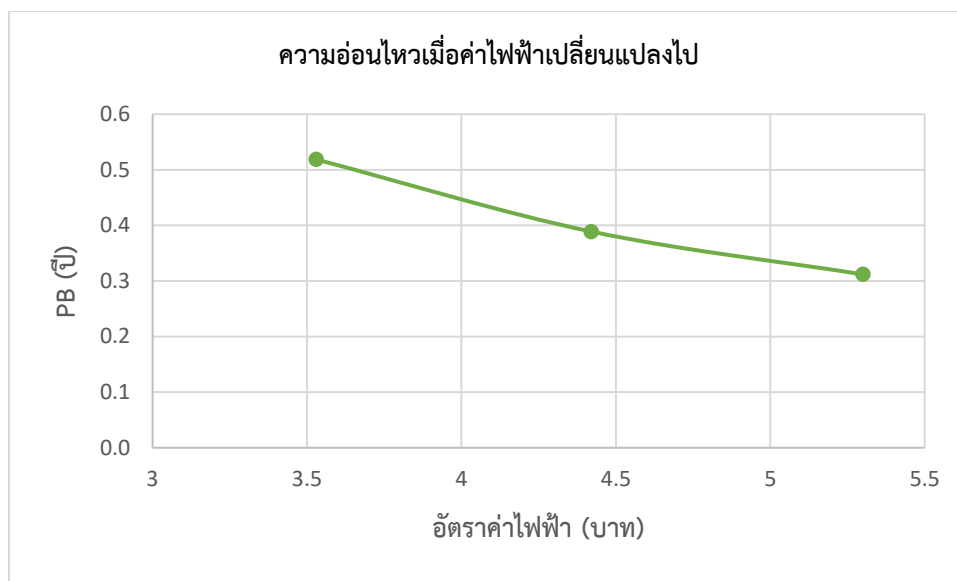
Return : IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ในกรณีของการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงใน รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนดาดฟ้าอาคาร เรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร



(ก)



(ข)



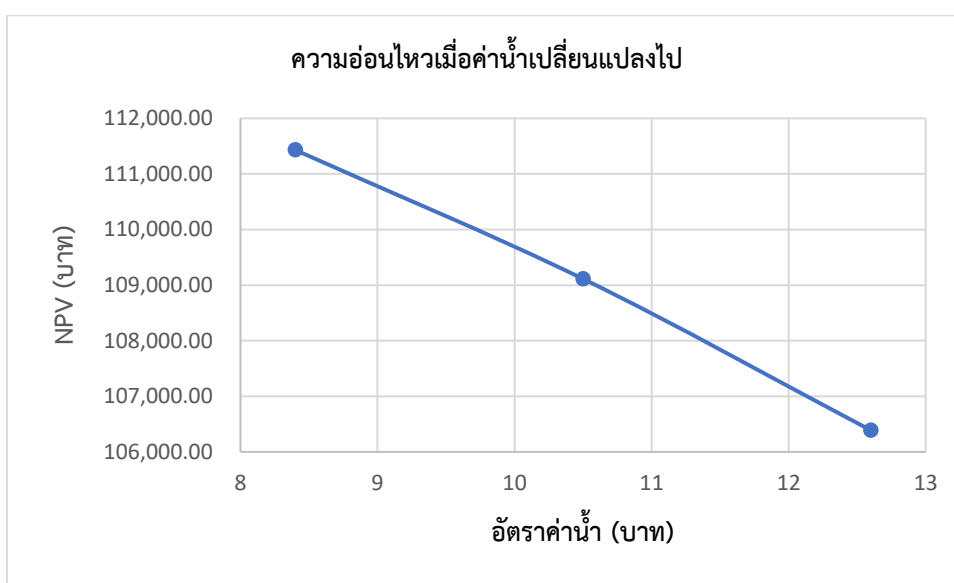
(ค)

รูปที่ 7-1 แผนภูมิแสดงการสรุปการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) กรณีของการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้าก๊อชเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงรูปแบบที่ 1 เมื่อค่าไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป โดยกำหนดให้อัตราค่าไฟฟ้าปกติ 4.42 บาทต่อหน่วย ค่าไฟฟ้าลดลงและเพิ่มขึ้น 20%

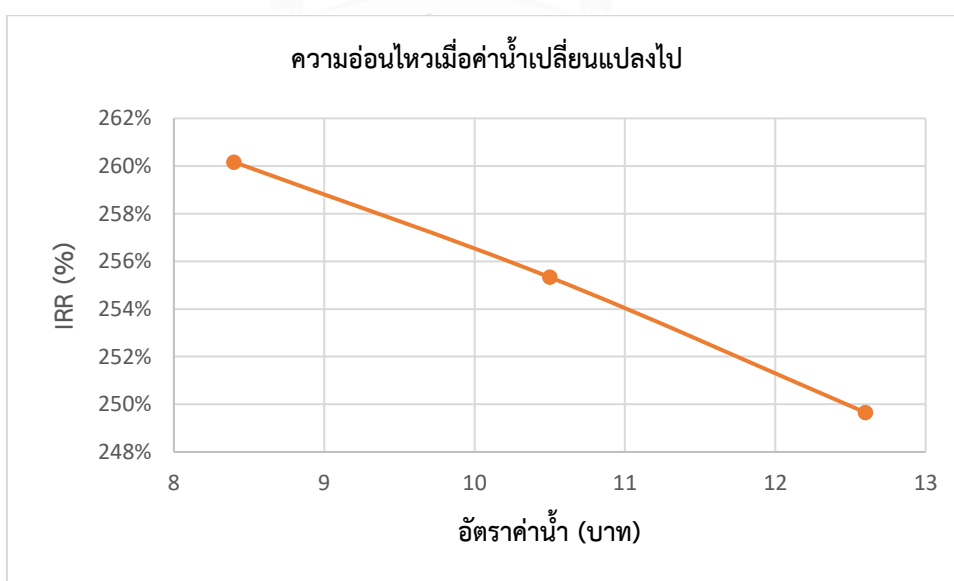
จากรูปที่ 7-1 แผนภูมิแสดงการสรุปการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงิน รูป (ก) เสนอการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงินโดยวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิเมื่อค่าไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป จะเห็นได้ว่า เมื่ออัตราค่าไฟฟ้าสูงขึ้นจะส่งผลให้ NPV สูงขึ้นไปด้วย รูป (ข) เสนอการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงินโดยวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน เมื่อค่าไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป จะเห็นได้ว่า เมื่ออัตราค่าไฟฟ้าสูงขึ้นจะส่งผลให้ IRR สูงขึ้นไปด้วย รูป (ค) เสนอการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงินโดยวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนเมื่อค่าไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราค่าไฟฟ้าสูงขึ้นจะส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นลง เนื่องจากค่าไฟฟ้ามีผลต่อค่าดำเนินการ และผลประโยชน์ของโครงการ ยิ่งอัตราค่าไฟฟ้าสูงเมื่อนำไปคำนวณกับผลผลิตทางไฟฟ้าที่ได้ ผลประโยชน์จึงสูงขึ้น ระยะเวลาคืนทุนสั้นลง

7.4.2 ความอ่อนไหวโครงการเมื่อราคาค่าน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป

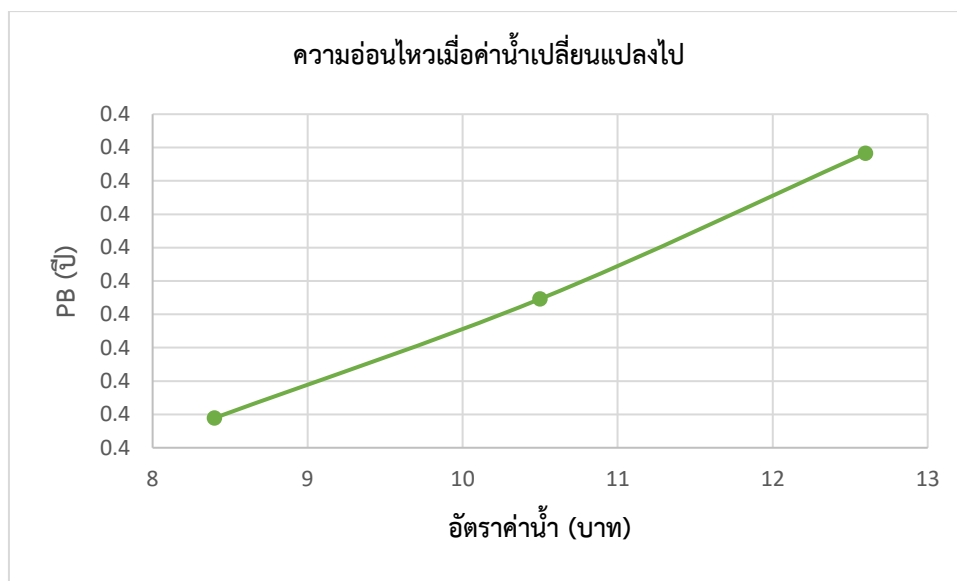
การวิเคราะห์ความอ่อนไหวโครงการเมื่อค่าน้ำเปลี่ยนแปลงไป โดยกำหนดให้อัตราค่าน้ำปกติ 10.50 บาทต่อหน่วย ค่าน้ำลดลง 20% ค่าน้ำเพิ่มขึ้น 20% ในส่วนนี้จะแสดงเกี่ยวกับ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ในกรณีของการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหย น้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงใน รูปแบบที่ 1 คือกรณีติดตั้งบนตาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร



(ก)



(ข)



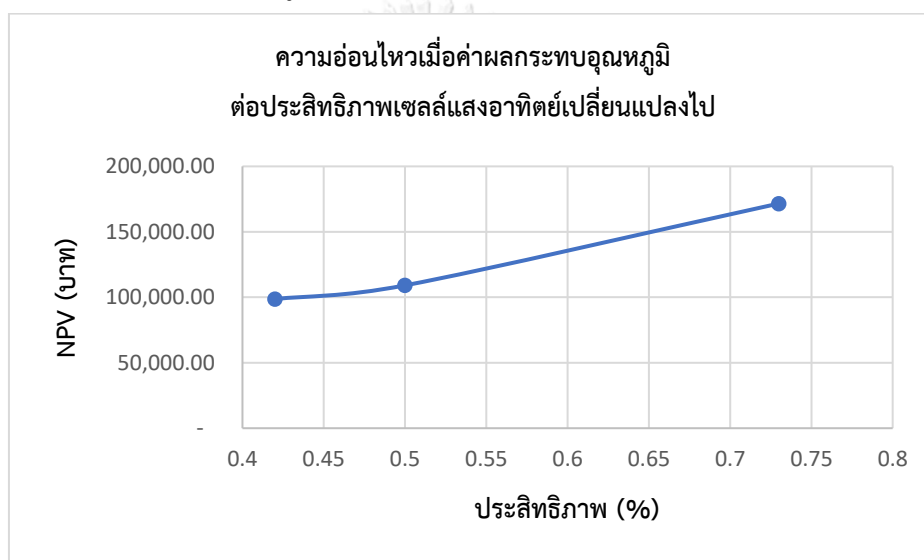
(ค)

รูปที่ 7-2 แผนภูมิแสดงการสรุปการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) กรณีของการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับ เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงรูปแบบที่ 1 เมื่อค่าน้ำเปลี่ยนแปลงไป โดยกำหนดให้อัตราค่าน้ำปกติ 10.50 บาทต่อหน่วย ค่าไฟฟ้าลดลงและเพิ่มขึ้น 20%

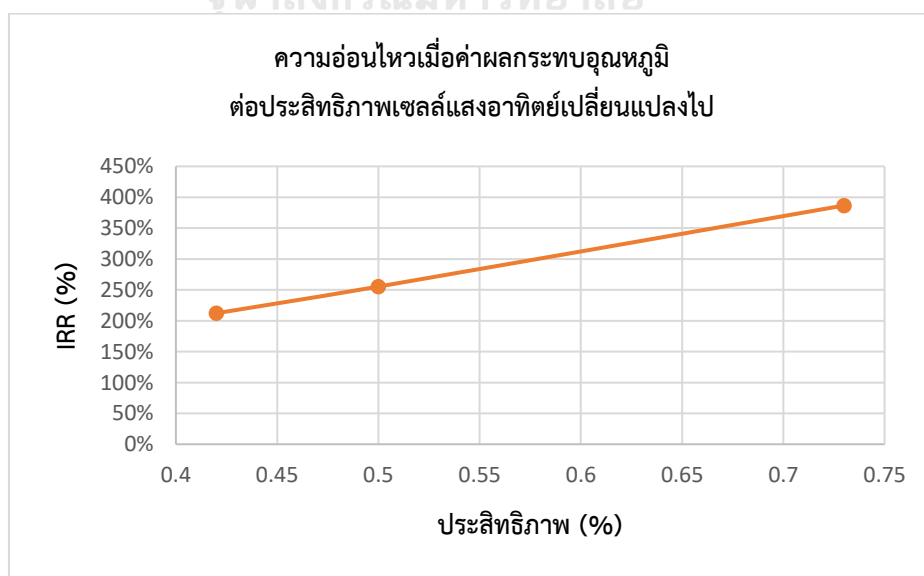
จากรูปที่ 7-2 แผนภูมิแสดงการสรุปการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงิน รูป (ก) เสนอการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงินโดยวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิเมื่อค่าน้ำเปลี่ยนแปลงไป จะเห็นได้ว่า เมื่ออัตราค่าน้ำสูงขึ้นจะส่งผลให้ NPV ต่ำลง รูป (ข) เสนอการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงินโดยวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน เมื่อค่าน้ำเปลี่ยนแปลงไป จะเห็นได้ว่า เมื่ออัตราค่าน้ำสูงขึ้นจะส่งผลให้ IRR ยิ่งต่ำลงไปด้วย รูป (ค) เสนอการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงินโดยวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนเมื่อค่าน้ำเปลี่ยนแปลงไป จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราค่าน้ำสูงขึ้นจะส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนยาวนานขึ้น เนื่องจากค่าน้ำมีผลต่อค่าดำเนินการ แต่ไม่ผลกับผลประโยชน์ของโครงการ ยิ่งอัตราค่าน้ำสูง ยิ่งทำให้ต้นทุนสูงขึ้น ผลผลิตทางไฟฟ้าเท่าเดิม ส่งผลให้ผลประโยชน์โครงการน้อยลง ระยะเวลาคืนทุนยาวนานขึ้น

7.4.3 ความอ่อนไหวโครงการเมื่อค่าผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

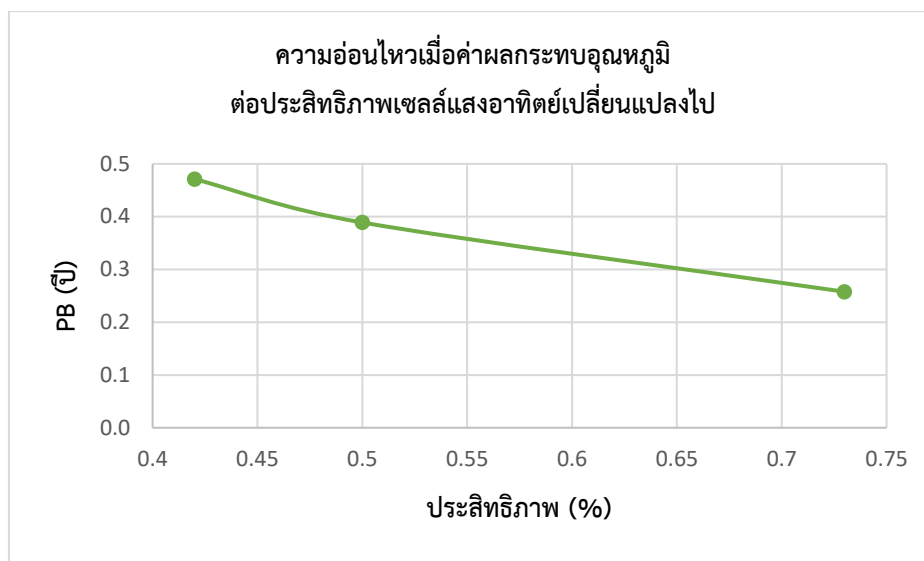
การวิเคราะห์ความอ่อนไหวโครงการเมื่อค่าผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป โดยค่าผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ต่ำสุดคือ 0.42% ค่าเฉลี่ย 0.50% และสูงสุดคือ 0.73% ในส่วนนี้จะแสดงเกี่ยวกับ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ในกรณีของการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้า กับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงใน รูปแบบที่ 1



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 7-3 แผนภูมิแสดงการสรุปการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) กรณีของการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงรูปแบบที่ 1 เมื่อค่าผลกระทบบุณภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป โดยค่าผลกระทบบุณภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ต่ำสุดคือ 0.42% ค่าเฉลี่ย 0.50% และสูงสุดคือ 0.73%

จากรูปที่ 7-3 แผนภูมิแสดงการสรุปการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงิน รูป (ก) เสนอการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงินโดยวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิเมื่อค่าผลกระทบบุณภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป จะเห็นได้ว่า เมื่อค่าผลกระทบบุณภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้นจะส่งผลให้ NPV สูงขึ้นไปด้วย รูป (ข) เสนอการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงินโดยวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน เมื่อค่าผลกระทบบุณภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป จะเห็นได้ว่า เมื่อค่าผลกระทบบุณภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้นจะส่งผลให้ IRR สูงขึ้นไปด้วย รูป (ค) เสนอการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงินโดยวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนเมื่อค่าผลกระทบบุณภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป จะเห็นได้ว่าเมื่อค่าผลกระทบบุณภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้นจะส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นลง เนื่องจากค่าผลกระทบบุณภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์มีผลผลิตทางไฟฟ้า ยิ่งค่าผลกระทบบุณภูมิต่อประสิทธิภาพ

เซลล์แสงอาทิตย์สูงชันผลิตทางไฟฟ้าสูงชันตามไปด้วย ส่งผลให้ผลประโยชน์ของโครงการสูงชัน
แม้ว่าต้นทุนเท่าเดิม ระยะเวลาคืนทุนสั้นลง



บทที่ 8

สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

ส่วนที่ 1 ของวิทยานิพนธ์นี้ได้ทดสอบการระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์จำลองด้วยการระเหยน้ำจากผ้า ซึ่งทำการทดลองในห้องจำลองสภาพอากาศที่ควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 40°C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ 61.5% ให้ใกล้เคียงกับสภาพอากาศสูงสุดเฉลี่ยของประเทศไทย โดยทดลองที่ heat flux ที่ 205.8, 483.8 และ 661.8 W/m^2 อุปกรณ์ระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์จำลองด้วยการระเหยน้ำจากผ้าสามารถลดอุณหภูมิของแผงได้สูงสุดถึง 11.3°C หรือคิดเป็นการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เทียบเท่ากับ 5.65% เมื่ออนุมานร่วมกับสมมติฐานที่ว่า ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงประมาณ 0.50% เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C

ข้อจำกัดของระบบระบายความร้อนนี้คือต้องติดตั้งผ้าดูดซับน้ำไว้ด้านหลังของแผงเพียงเท่านั้น ชนิดของผ้าอาจมีผลต่อการดูดซับน้ำ ฉะนั้นอาจจะต้องเลือกชนิดผ้าให้เหมาะกับการดูดซับน้ำและมีความโปร่ง สามารถช่วยแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผ้าและเซลล์แสงอาทิตย์ และแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผ้ากับอากาศทำให้เกิดไม่ให้เกิดความร้อนจนเกิดเป็นฉนวนให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ และระดับการติดตั้งแหล่งน้ำก็อาจมีผลต่อการดูดซับน้ำของผ้าด้วยเช่นกัน ดังนั้นควรติดตั้งแหล่งน้ำในระดับที่เหมาะสมที่จะไม่บดบังเซลล์แสงอาทิตย์จากแสงแดด และสามารถป้อนน้ำให้กับผ้าได้ดี

ส่วนที่ 2 ของวิทยานิพนธ์นี้เสนอการประยุกต์ใช้การระบายความร้อนด้วยผ้าฝ้ายดูดซับน้ำมีขนาดการติดตั้ง 6.6 kW 3 รูปแบบการติดตั้งระบบทางเดินน้ำของอุปกรณ์ระบายความร้อนคือ ดาดฟ้าอาคารเรียบโดยใช้ระบบน้ำร่วมกับอาคาร ดาดฟ้าอาคารเรียบโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และหลังคาที่มีความลาดเอียงโดยแยกระบบน้ำกับอาคาร และนำเสนอผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบที่นำเสนอทั้ง 3 รูปแบบ โดยสรุปต้นทุนรวม ค่าไฟที่ประหยัดได้เพิ่มขึ้น ผลประโยชน์สุทธิสะสม มูลค่าปัจจุบันสุทธิ วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน และระยะเวลาคืนทุน โดยที่เมื่อเปรียบเทียบการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริงทั้ง 3 รูปแบบ พบว่ารูปแบบที่ 1 มีค่า NPV สูงสุด IRR มากที่สุด และระยะเวลาคืนทุนน้อยที่สุดคือ 109,112.11 บาท, 255.33% และ 0.39 ปี ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการจากการเปลี่ยนแปลงค่าไฟฟ้า ค่าน้ำ และค่าผลกระทบของอุณหภูมิต่อ

ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ โดยที่ค่าผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพที่เปลี่ยนไปส่งผลต่อ NPV, IRR และระยะเวลาคืนทุนมากที่สุด ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงค่าน้ำมีผลกระทบน้อยที่สุด



บรรณานุกรม

- [1] M. Hasanuzzaman, A. B. M. A. Malek, M. M. Islam, A. K. Pandey, and N. A. Rahim, "Global advancement of cooling technologies for PV systems: A review," *Solar Energy*, vol. 137, pp. 25-45, 2016, doi: 10.1016/j.solener.2016.07.010.
- [2] M. M. Rahman, M. Hasanuzzaman, and N. A. Rahim, "Effects of various parameters on PV-module power and efficiency," *Energy Conversion and Management*, vol. 103, pp. 348-358, 2015, doi: 10.1016/j.enconman.2015.06.067.
- [3] M. Chandrasekar, S. Suresh, T. Senthilkumar, and M. Ganesh karthikeyan, "Passive cooling of standalone flat PV module with cotton wick structures," *Energy Conversion and Management*, vol. 71, pp. 43-50, 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2013.03.012.
- [4] M. Chandrasekar and T. Senthilkumar, "Experimental demonstration of enhanced solar energy utilization in flat PV (photovoltaic) modules cooled by heat spreaders in conjunction with cotton wick structures," *Energy*, vol. 90, pp. 1401-1410, 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.06.074.
- [5] H. Bahaidarah, A. Subhan, P. Gandhidasan, and S. Rehman, "Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions," *Energy*, vol. 59, pp. 445-453, 2013, doi: 10.1016/j.energy.2013.07.050.
- [6] K. A. Moharram, M. S. Abd-Elhady, H. A. Kandil, and H. El-Sherif, "Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 4, no. 4, pp. 869-877, 2013, doi: 10.1016/j.asej.2013.03.005.
- [7] A. A. B. Baloch, H. M. S. Bahaidarah, P. Gandhidasan, and F. A. Al-Sulaiman, "Experimental and numerical performance analysis of a converging channel heat exchanger for PV cooling," *Energy Conversion and Management*, vol. 103, pp. 14-27, 2015, doi: 10.1016/j.enconman.2015.06.018.
- [8] S. Nižetić, D. Čoko, A. Yadav, and F. Grubišić-Čabo, "Water spray cooling technique applied on a photovoltaic panel: The performance response," *Energy Conversion and Management*, vol. 108, pp. 287-296, 2016, doi:

- 10.1016/j.enconman.2015.10.079.
- [9] L. Q. Ye Zhangbo, Zhu Qunzhi, Pan Weiguo, "The cooling technology of solar cells under concentrated system," *2009 IEEE 6th International Power Electronics and Motion Control Conference*, pp. 2193-2197, 2009, doi: doi: 10.1109/IPEMC.2009.5157766.
- [10] M. Ebrahimi, M. Rahimi, and A. Rahimi, "An experimental study on using natural vaporization for cooling of a photovoltaic solar cell," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 65, pp. 22-30, 2015, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2015.04.002.
- [11] A. H. Alami, "Effects of evaporative cooling on efficiency of photovoltaic modules," *Energy Conversion and Management*, vol. 77, pp. 668-679, 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2013.10.019.
- [12] ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์, "การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย," p. 104, 2014.
- [13] เขมณัญญ์ พรหมมินทร์, "การประเมินทางเศรษฐศาสตร์และประสิทธิภาพหลังการติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา : กรณีศึกษาห้างสรรพสินค้า," p. 57, 2019.
- [14] วิภา. เล็กกุลวัฒน์, "การศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินในการเข้าร่วมโครงการนำร่องการส่งเสริมการติดตั้งโซลาร์รูฟอย่างเสรี กรณีศึกษาในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวง," p. 154, 2016.
- [15] ราชนันย์. ชูชาติ, "การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีศึกษาโรงงานผลิตได้อย่างพาราแปรรูปในจังหวัดตรัง," p. 207, 2019.
- [16] ธนวัฒน์. ชูวัน, "การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อการนำระบบไร้กระดาษ (Paperless) มาใช้บริษัท พี.ซี. ทาคาซึมา (ประเทศไทย) จำกัด," p. 102, 2020.
- [17] ก. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายทอด และเผยแพร่การใช้พลังงานแสงอาทิตย์.
- [18] ดร. จารุณี. วงศ์ลิ้มปิยะรัตน์, การเงินและการบัญชีเพื่อการบริหารเทคโนโลยีและนวัตกรรม. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2015.
- [19] นายบรรณพงศ์. กสิปประทุม, "การพัฒนาแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของการระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำเปียกบนแผ่น
เรียบเพื่อประยุกต์ใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์," จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2562.
- [20] B. Gleebratum and S. Salakij, "Thermal Models for Evaporative Cooling on

Photovoltaic Panel Attached

with a Wetted Salo Fabric," *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, no. 566,
p. 012005, 2020, doi: doi:10.1088/1755-1315/566/1/012005.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก (ก)

ผลการทดลองอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์

ก.1 ตารางผลการทดลองอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์แผงเปล่าที่

Heatflux = 205.8 W/m²

แผงเปล่า					
ทดสอบครั้งที่ 1					
Room Conditions					
T _{db} = 40°C ±1					
T _{wb} = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux=205.8 W/m ²					
I = 1.12 A					
V = 5.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.3	40.3	40.3	40.3
1	40.0	41.4	41.3	41.2	41.1
2	40.0	42.4	42.3	42.3	42.2
3	40.0	43.5	43.5	43.4	43.3
4	40.0	45.3	45.2	45.1	45.0
5	40.0	45.9	45.8	45.8	45.7
6	40.0	46.5	46.5	46.4	46.3
7	40.0	47.2	47.1	47.0	46.9
8	40.0	47.7	47.6	47.6	47.5
9	40.0	48.1	48.1	48.0	47.9
10	40.0	48.4	48.3	48.2	48.1
20	40.0	48.8	48.7	48.7	48.6
30	40.0	49.0	49.0	48.9	48.8
40	40.0	49.1	49.0	48.9	48.8
50	40.0	49.2	49.1	49.1	49.0
60	40.0	49.2	49.2	49.1	49.1

แผงเปล่า					
ทดสอบครั้งที่ 2					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux=205.8 W/m ²					
I = 1.12 A					
V = 5.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.3	40.3	40.3	40.3
1	40.0	41.6	41.5	41.4	41.3
2	40.0	42.9	42.8	42.8	42.7
3	40.0	44.3	44.3	44.2	44.1
4	40.0	45.5	45.4	45.3	45.2
5	40.0	46.0	45.9	45.9	45.8
6	40.0	46.6	46.6	46.5	46.4
7	40.0	47.0	46.9	46.8	46.7
8	40.0	47.4	47.3	47.3	47.2
9	40.0	48.0	48.0	47.9	47.8
10	40.0	48.5	48.4	48.3	48.2
20	40.0	48.8	48.7	48.7	48.6
30	40.0	49.2	49.2	49.1	49.0
40	40.0	49.2	49.1	49.0	48.9
50	40.0	49.3	49.2	49.2	49.1
60	40.0	49.3	49.2	49.2	49.1

แผงเปล่า					
ทดสอบครั้งที่ 3					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1 Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux=205.8 W/m ² I = 1.12 A V = 5.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.3	40.3	40.3	40.3
1	40.0	41.3	41.2	41.1	41.0
2	40.0	42.3	42.2	42.2	42.1
3	40.0	43.5	43.5	43.4	43.3
4	40.0	44.8	44.7	44.6	44.5
5	40.0	46.0	45.9	45.9	45.8
6	40.0	46.5	46.5	46.4	46.3
7	40.0	47.0	46.9	46.8	46.7
8	40.0	47.8	47.7	47.7	47.6
9	40.0	48.1	48.1	48.0	47.9
10	40.0	48.6	48.5	48.4	48.3
20	40.0	49.1	49.0	49.0	48.9
30	40.0	49.4	49.4	49.3	49.2
40	40.0	49.4	49.3	49.2	49.1
50	40.0	49.5	49.4	49.4	49.3
60	40.0	49.5	49.5	49.5	49.4

แผงเปล่า					
ทดสอบครั้งที่ 4					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux=205.8 W/m ²					
I = 1.12 A					
V = 5.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.3	40.3	40.3	40.3
1	40.0	41.3	41.2	41.1	41.0
2	40.0	42.3	42.2	42.2	42.1
3	40.0	43.5	43.5	43.4	43.3
4	40.0	44.8	44.7	44.6	44.5
5	40.0	46.0	45.9	45.9	45.8
6	40.0	46.5	46.5	46.4	46.3
7	40.0	47.0	46.9	46.8	46.7
8	40.0	47.8	47.7	47.7	47.6
9	40.0	48.1	48.1	48.0	47.9
10	40.0	48.6	48.5	48.4	48.3
20	40.0	49.1	49.0	49.0	48.9
30	40.0	49.4	49.4	49.3	49.2
40	40.0	49.4	49.3	49.2	49.1
50	40.0	49.5	49.4	49.4	49.3
60	40.0	49.5	49.5	49.5	49.4

แผงเปล่า					
ทดสอบครั้งที่ 5					
Room Conditions					
T _{db} = 40°C ±1					
T _{wb} = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux=205.8 W/m ²					
I = 1.12 A					
V = 5.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.3	40.3	40.3	40.3
1	40.0	41.3	41.2	41.1	41.0
2	40.0	42.5	42.4	42.4	42.3
3	40.0	43.8	43.8	43.7	43.6
4	40.0	44.7	44.6	44.5	44.4
5	40.0	45.7	45.6	45.6	45.5
6	40.0	46.7	46.7	46.6	46.5
7	40.0	47.2	47.1	47.0	46.9
8	40.0	47.8	47.7	47.7	47.6
9	40.0	48.3	48.3	48.2	48.1
10	40.0	48.7	48.6	48.5	48.4
20	40.0	49.3	49.2	49.2	49.1
30	40.0	49.9	49.9	49.8	49.7
40	40.0	50.1	50.0	49.9	49.8
50	40.0	50.3	50.2	50.2	50.1
60	40.0	50.3	50.3	50.2	50.1

ก.2 ตารางผลการทดลองอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์แผงเปล่าที่

$$\text{Heatflux} = 483.8 \text{ W/m}^2$$

แผงเปล่า					
ทดสอบครั้งที่ 1					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 483.8 W/m ²					
I = 1.88 A					
V = 7.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.6	40.6	40.6	40.6
1	40.0	43.1	43.0	42.9	42.8
2	40.0	44.6	44.5	44.5	44.4
3	40.0	46.5	46.5	46.4	46.3
4	40.0	48.4	48.3	48.2	48.1
5	40.0	49.8	49.7	49.7	49.6
6	40.0	51.3	51.3	51.2	51.1
7	40.0	52.9	52.8	52.7	52.6
8	40.0	54.3	54.2	54.2	54.1
9	40.0	55.0	55.0	54.9	54.8
10	40.0	55.4	55.3	55.2	55.1
20	40.0	56.4	56.3	56.3	56.2
30	40.0	56.9	56.9	56.8	56.7
40	40.0	57.0	56.9	56.8	56.7
50	40.0	57.1	57.0	57.0	56.9
60	40.0	57.2	57.2	57.1	57.0

แผงเปล่า					
ทดสอบครั้งที่ 2					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 483.8 W/m ²					
I = 1.88 A					
V = 7.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.6	40.6	40.6	40.6
1	40.0	43.1	43.0	42.9	42.8
2	40.0	44.5	44.4	44.4	44.3
3	40.0	46.4	46.4	46.3	46.2
4	40.0	48.3	48.2	48.1	48.0
5	40.0	49.8	49.7	49.7	49.6
6	40.0	51.3	51.3	51.2	51.1
7	40.0	53.1	53.0	52.9	52.8
8	40.0	54.2	54.1	54.1	54.0
9	40.0	55.1	55.1	55.0	54.9
10	40.0	55.6	55.5	55.4	55.3
20	40.0	56.3	56.2	56.2	56.1
30	40.0	56.9	56.9	56.8	56.7
40	40.0	57.0	56.9	56.8	56.7
50	40.0	57.2	57.1	57.1	57.0
60	40.0	57.2	57.1	57.1	57.0

แผงเปล่า					
ทดสอบครั้งที่ 3					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 483.8 W/m ²					
I = 1.88 A					
V = 7.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.6	40.6	40.6	40.6
1	40.0	43.6	43.5	43.4	43.3
2	40.0	44.4	44.3	44.3	44.2
3	40.0	46.4	46.4	46.3	46.2
4	40.0	48.4	48.3	48.2	48.1
5	40.0	49.8	49.7	49.7	49.6
6	40.0	51.3	51.3	51.2	51.1
7	40.0	53.2	53.1	53.0	52.9
8	40.0	54.4	54.3	54.3	54.2
9	40.0	55.4	55.4	55.3	55.2
10	40.0	56.0	55.9	55.8	55.7
20	40.0	56.8	56.7	56.7	56.6
30	40.0	57.3	57.3	57.2	57.1
40	40.0	57.3	57.2	57.1	57.0
50	40.0	57.2	57.1	57.1	57.0
60	40.0	57.2	57.2	57.2	57.1

แผงเปล่า					
ทดสอบครั้งที่ 4					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 483.8 W/m ²					
I = 1.88 A					
V = 7.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.6	40.6	40.6	40.6
1	40.0	43.0	42.9	42.8	42.7
2	40.0	43.5	43.4	43.4	43.3
3	40.0	45.8	45.8	45.7	45.6
4	40.0	48.2	48.1	48.0	47.9
5	40.0	49.1	49.0	49.0	48.9
6	40.0	50.1	50.1	50.0	49.9
7	40.0	52.2	52.1	52.0	51.9
8	40.0	53.9	53.8	53.8	53.7
9	40.0	55.0	55.0	54.9	54.8
10	40.0	55.6	55.5	55.4	55.3
20	40.0	56.5	56.4	56.4	56.3
30	40.0	57.2	57.2	57.1	57.0
40	40.0	57.5	57.4	57.3	57.2
50	40.0	57.5	57.4	57.4	57.3
60	40.0	57.7	57.7	57.6	57.5

แผงเปล่า					
ทดสอบครั้งที่ 5					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 483.8 W/m ²					
I = 1.88 A					
V = 7.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.6	40.6	40.6	40.6
1	40.0	43.3	43.2	43.1	43.0
2	40.0	44.1	44.0	44.0	43.9
3	40.0	45.8	45.8	45.7	45.6
4	40.0	47.6	47.5	47.4	47.3
5	40.0	49.1	49.0	49.0	48.9
6	40.0	50.7	50.7	50.6	50.5
7	40.0	52.9	52.8	52.7	52.6
8	40.0	54.1	54.0	54.0	53.9
9	40.0	55.4	55.4	55.3	55.2
10	40.0	56.0	55.9	55.8	55.7
20	40.0	57.0	56.9	56.9	56.8
30	40.0	57.6	57.6	57.5	57.4
40	40.0	57.8	57.7	57.6	57.5
50	40.0	57.9	57.8	57.8	57.7
60	40.0	57.9	57.9	57.8	57.7

ก.3 ตารางผลการทดลองอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์แผงเปล่าที่
Heatflux = 661.8 W/m²

แผงเปล่า					
ทดสอบครั้งที่ 1					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 661.8 W/m ²					
I = 2.00 A					
V = 9.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.6	40.6	40.6	40.6
1	40.0	42.9	42.8	42.7	42.6
2	40.0	45.2	45.1	45.1	45.0
3	40.0	49.4	49.4	49.3	49.2
4	40.0	53.6	53.5	53.4	53.3
5	40.0	55.4	55.3	55.3	55.2
6	40.0	57.2	57.2	57.1	57.0
7	40.0	59.9	59.8	59.7	59.6
8	40.0	61.9	61.8	61.8	61.7
9	40.0	63.3	63.3	63.2	63.1
10	40.0	64.2	64.1	64.0	63.9
20	40.0	65.5	65.4	65.4	65.3
30	40.0	66.9	66.9	66.8	66.7
40	40.0	67.0	66.9	66.8	66.7
50	40.0	67.1	67.0	67.0	66.9
60	40.0	67.1	67.1	67.0	66.9

แผงเปล่า					
ทดสอบครั้งที่ 2					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 661.8 W/m ²					
I = 2.00 A					
V = 9.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.6	40.6	40.6	40.6
1	40.0	43.1	43.0	42.9	42.8
2	40.0	45.6	45.5	45.5	45.4
3	40.0	49.7	49.7	49.6	49.5
4	40.0	53.9	53.8	53.7	53.6
5	40.0	55.6	55.5	55.5	55.4
6	40.0	57.3	57.3	57.2	57.1
7	40.0	59.8	59.7	59.6	59.5
8	40.0	62.3	62.2	62.2	62.1
9	40.0	63.4	63.4	63.3	63.2
10	40.0	64.7	64.6	64.5	64.4
20	40.0	66.2	66.1	66.1	66.0
30	40.0	66.7	66.7	66.6	66.5
40	40.0	67.3	67.2	67.1	67.0
50	40.0	67.6	67.5	67.5	67.4
60	40.0	67.6	67.6	67.5	67.5

แผงเปล่า					
ทดสอบครั้งที่ 3					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 661.8 W/m ²					
I = 2.00 A					
V = 9.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.6	40.6	40.6	40.6
1	40.0	42.9	42.8	42.7	42.6
2	40.0	45.3	45.2	45.2	45.1
3	40.0	48.3	48.3	48.2	48.1
4	40.0	51.3	51.2	51.1	51.0
5	40.0	54.0	53.9	53.9	53.8
6	40.0	56.8	56.8	56.7	56.6
7	40.0	59.9	59.8	59.7	59.6
8	40.0	62.2	62.1	62.1	62.0
9	40.0	63.8	63.8	63.7	63.6
10	40.0	65.0	64.9	64.8	64.7
20	40.0	66.1	66.0	66.0	65.9
30	40.0	67.3	67.3	67.2	67.1
40	40.0	67.6	67.5	67.4	67.3
50	40.0	67.6	67.5	67.5	67.4
60	40.0	67.5	67.5	67.4	67.3

แผงเปล่า					
ทดสอบครั้งที่ 4					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 661.8 W/m ²					
I = 2.00 A					
V = 9.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.6	40.6	40.6	40.6
1	40.0	42.8	42.7	42.6	42.5
2	40.0	45.0	44.9	44.9	44.8
3	40.0	48.3	48.3	48.2	48.1
4	40.0	51.7	51.6	51.5	51.4
5	40.0	54.1	54.0	54.0	53.9
6	40.0	56.6	56.6	56.5	56.4
7	40.0	59.7	59.6	59.5	59.4
8	40.0	62.2	62.1	62.1	62.0
9	40.0	63.7	63.7	63.6	63.5
10	40.0	64.3	64.2	64.1	64.0
20	40.0	66.0	65.9	65.9	65.8
30	40.0	66.9	66.9	66.8	66.7
40	40.0	67.0	66.9	66.8	66.7
50	40.0	67.6	67.5	67.5	67.4
60	40.0	67.7	67.7	67.6	67.5

แผงเปล่า					
ทดสอบครั้งที่ 5					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 661.8 W/m ²					
I = 2.00 A					
V = 9.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.6	40.6	40.6	40.6
1	40.0	43.2	43.1	43.0	42.9
2	40.0	45.9	45.8	45.8	45.7
3	40.0	49.8	49.8	49.7	49.6
4	40.0	53.7	53.6	53.5	53.4
5	40.0	55.2	55.1	55.1	55.0
6	40.0	56.8	56.8	56.7	56.6
7	40.0	60.4	60.3	60.2	60.1
8	40.0	62.1	62.0	62.0	61.9
9	40.0	63.9	63.9	63.8	63.7
10	40.0	65.0	64.9	64.8	64.7
20	40.0	66.2	66.1	66.1	66.0
30	40.0	67.3	67.3	67.2	67.1
40	40.0	67.3	67.2	67.1	67.0
50	40.0	67.5	67.4	67.4	67.3
60	40.0	67.5	67.5	67.4	67.3

ก.4 ตารางผลการทดลองอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์แผงแห้งที่
Heatflux = 205.8 W/m²

ผ้าแห้ง					
ทดสอบครั้งที่ 1					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1 Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux=205.8 W/m ² I = 1.12 A V = 5.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.4	40.4	40.4	40.4
1	40.0	42.8	42.7	42.6	42.5
2	40.0	44.4	44.3	44.3	44.2
3	40.0	45.8	45.8	45.7	45.6
4	40.0	46.3	46.2	46.1	46.0
5	40.0	46.9	46.8	46.8	46.7
6	40.0	47.4	47.4	47.3	47.2
7	40.0	47.9	47.8	47.7	47.6
8	40.0	48.0	47.9	47.9	47.8
9	40.0	48.2	48.2	48.1	48.0
10	40.0	48.5	48.4	48.3	48.2
20	40.0	49.1	49.0	49.0	48.9
30	40.0	49.5	49.5	49.4	49.3
40	40.0	49.8	49.7	49.6	49.5
50	40.0	50.2	50.1	50.1	50.0
60	40.0	50.3	50.3	50.2	50.1

ผ้าแห้ง					
ทดสอบครั้งที่ 2					
Room Conditions					
T _{db} = 40°C ±1					
T _{wb} = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux=205.8 W/m ²					
I = 1.12 A					
V = 5.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.4	40.4	40.4	40.4
1	40.0	42.1	42.0	41.9	41.8
2	40.0	43.9	43.8	43.8	43.7
3	40.0	45.6	45.6	45.5	45.4
4	40.0	46.2	46.1	46.0	45.9
5	40.0	46.8	46.7	46.7	46.6
6	40.0	47.2	47.2	47.1	47.0
7	40.0	47.7	47.6	47.5	47.4
8	40.0	47.9	47.8	47.8	47.7
9	40.0	48.1	48.1	48.0	47.9
10	40.0	48.7	48.6	48.5	48.4
20	40.0	49.2	49.1	49.1	49.0
30	40.0	49.8	49.8	49.7	49.6
40	40.0	50.2	50.1	50.0	49.9
50	40.0	50.3	50.2	50.2	50.1
60	40.0	50.3	50.3	50.3	50.2

ผ้าแห้ง					
ทดสอบครั้งที่ 3					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux=205.8 W/m ²					
I = 1.12 A					
V = 5.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.4	40.4	40.4	40.4
1	40.0	42.5	42.4	42.3	42.2
2	40.0	43.5	43.4	43.4	43.3
3	40.0	45.3	45.3	45.2	45.1
4	40.0	45.8	45.7	45.6	45.5
5	40.0	46.4	46.3	46.3	46.2
6	40.0	46.8	46.8	46.7	46.6
7	40.0	47.3	47.2	47.1	47.0
8	40.0	47.6	47.5	47.5	47.4
9	40.0	48.0	48.0	47.9	47.8
10	40.0	48.4	48.3	48.2	48.1
20	40.0	49.0	48.9	48.9	48.8
30	40.0	49.9	49.9	49.8	49.7
40	40.0	50.1	50.0	49.9	49.8
50	40.0	50.3	50.2	50.2	50.1
60	40.0	50.3	50.3	50.2	50.1

ผ้าแห้ง					
ทดสอบครั้งที่ 4					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux=205.8 W/m ²					
I = 1.12 A					
V = 5.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.4	40.4	40.4	40.4
1	40.0	42.0	41.9	41.8	41.7
2	40.0	44.2	44.1	44.1	44.0
3	40.0	45.7	45.7	45.6	45.5
4	40.0	46.4	46.3	46.2	46.1
5	40.0	47.1	47.0	47.0	46.9
6	40.0	47.4	47.4	47.3	47.2
7	40.0	47.8	47.7	47.6	47.5
8	40.0	48.0	47.9	47.9	47.8
9	40.0	48.3	48.3	48.2	48.1
10	40.0	48.8	48.7	48.6	48.5
20	40.0	49.4	49.3	49.3	49.2
30	40.0	49.8	49.8	49.7	49.6
40	40.0	49.9	49.8	49.7	49.6
50	40.0	50.0	49.9	49.9	49.8
60	40.0	50.0	50.0	49.9	49.9

ผ้าแห้ง					
ทดสอบครั้งที่ 5					
Room Conditions					
T _{db} = 40°C ±1					
T _{wb} = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux=205.8 W/m ²					
I = 1.12 A					
V = 5.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.4	40.4	40.4	40.4
1	40.0	42.1	42.0	41.9	41.8
2	40.0	44.3	44.2	44.2	44.1
3	40.0	45.2	45.2	45.1	45.0
4	40.0	46.1	46.0	45.9	45.8
5	40.0	47.0	46.9	46.9	46.8
6	40.0	47.4	47.4	47.3	47.2
7	40.0	47.9	47.8	47.7	47.6
8	40.0	48.0	47.9	47.9	47.8
9	40.0	48.1	48.1	48.0	47.9
10	40.0	48.7	48.6	48.5	48.4
20	40.0	49.3	49.2	49.2	49.1
30	40.0	49.7	49.7	49.6	49.5
40	40.0	49.7	49.6	49.5	49.4
50	40.0	49.8	49.7	49.7	49.6
60	40.0	49.8	49.8	49.7	49.6

ก.5 ตารางผลการทดลองอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์แผงแห้งที่
Heatflux = 483.8 W/m²

ผ้าแห้ง					
ทดสอบครั้งที่ 1					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 483.8 W/m ²					
I = 1.88 A					
V = 7.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.6	40.6	40.6	40.6
1	40.0	44.9	44.8	44.7	44.6
2	40.0	47.2	47.1	47.1	47.0
3	40.0	49.5	49.5	49.4	49.3
4	40.0	50.6	50.5	50.4	50.3
5	40.0	51.7	51.6	51.6	51.5
6	40.0	52.7	52.7	52.6	52.5
7	40.0	53.2	53.1	53.0	52.9
8	40.0	53.8	53.7	53.7	53.6
9	40.0	54.4	54.4	54.3	54.2
10	40.0	55.1	55.0	54.9	54.8
20	40.0	55.9	55.8	55.8	55.7
30	40.0	57.0	57.0	56.9	56.8
40	40.0	57.5	57.4	57.3	57.2
50	40.0	57.6	57.5	57.5	57.4
60	40.0	57.6	57.6	57.5	57.4

ผ้าแห้ง					
ทดสอบครั้งที่ 2					
Room Conditions					
T _{db} = 40°C ±1					
T _{wb} = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 483.8 W/m ²					
I = 1.88 A					
V = 7.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.6	40.6	40.6	40.6
1	40.0	44.3	44.2	44.1	44.0
2	40.0	47.7	47.6	47.6	47.5
3	40.0	49.1	49.1	49.0	48.9
4	40.0	50.6	50.5	50.4	50.3
5	40.0	51.6	51.5	51.5	51.4
6	40.0	52.7	52.7	52.6	52.5
7	40.0	53.4	53.3	53.2	53.1
8	40.0	54.1	54.0	54.0	53.9
9	40.0	55.2	55.2	55.1	55.0
10	40.0	55.9	55.8	55.7	55.6
20	40.0	56.8	56.7	56.7	56.6
30	40.0	57.5	57.5	57.4	57.3
40	40.0	57.5	57.4	57.3	57.2
50	40.0	57.6	57.5	57.5	57.4
60	40.0	57.6	57.6	57.5	57.4

ผ้าแห้ง					
ทดสอบครั้งที่ 3					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 483.8 W/m ²					
I = 1.88 A					
V = 7.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.6	40.6	40.6	40.6
1	40.0	44.0	43.9	43.8	43.7
2	40.0	47.8	47.7	47.7	47.6
3	40.0	49.2	49.2	49.1	49.0
4	40.0	50.7	50.6	50.5	50.4
5	40.0	51.8	51.7	51.7	51.6
6	40.0	53.0	53.0	52.9	52.8
7	40.0	53.4	53.3	53.2	53.1
8	40.0	53.8	53.7	53.7	53.6
9	40.0	55.2	55.2	55.1	55.0
10	40.0	56.0	55.9	55.8	55.7
20	40.0	56.9	56.8	56.8	56.7
30	40.0	57.3	57.3	57.2	57.1
40	40.0	57.6	57.5	57.4	57.3
50	40.0	57.6	57.5	57.5	57.4
60	40.0	57.6	57.6	57.5	57.4

ผ้าแห้ง					
ทดสอบครั้งที่ 4					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 483.8 W/m ²					
I = 1.88 A					
V = 7.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.6	40.6	40.6	40.6
1	40.0	43.8	43.7	43.6	43.5
2	40.0	48.3	48.2	48.2	48.1
3	40.0	49.4	49.4	49.3	49.2
4	40.0	50.6	50.5	50.4	50.3
5	40.0	51.6	51.5	51.5	51.4
6	40.0	52.7	52.7	52.6	52.5
7	40.0	53.4	53.3	53.2	53.1
8	40.0	54.1	54.0	54.0	53.9
9	40.0	55.1	55.1	55.0	54.9
10	40.0	55.6	55.5	55.4	55.3
20	40.0	56.4	56.3	56.3	56.2
30	40.0	57.3	57.3	57.2	57.1
40	40.0	57.4	57.3	57.2	57.1
50	40.0	57.6	57.5	57.5	57.4
60	40.0	57.6	57.6	57.6	57.5

ผ้าแห้ง					
ทดสอบครั้งที่ 5					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 483.8 W/m ²					
I = 1.88 A					
V = 7.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.6	40.6	40.6	40.6
1	40.0	44.8	44.7	44.6	44.5
2	40.0	48.5	48.4	48.4	48.3
3	40.0	49.8	49.8	49.7	49.6
4	40.0	51.1	51.0	50.9	50.8
5	40.0	52.3	52.2	52.2	52.1
6	40.0	53.6	53.6	53.5	53.4
7	40.0	53.8	53.7	53.6	53.5
8	40.0	54.0	53.9	53.9	53.8
9	40.0	55.3	55.3	55.2	55.1
10	40.0	55.9	55.8	55.7	55.6
20	40.0	56.8	56.7	56.7	56.6
30	40.0	57.5	57.5	57.4	57.3
40	40.0	57.5	57.4	57.3	57.2
50	40.0	57.6	57.5	57.5	57.4
60	40.0	57.6	57.6	57.5	57.4

ก.6 ตารางผลการทดลองอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์แผงแห้งที่
Heatflux = 661.8 W/m^2

ผ้าแห้ง					
ทดสอบครั้งที่ 1					
Room Conditions					
Tdb = $40^{\circ}\text{C} \pm 1$ Twb = $33^{\circ}\text{C} \pm 1$					
Heat Conditions					
Heatflux = 661.8 W/m^2 I = 2.00 A V = 9.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.3	40.3	40.3	40.3
1	40.0	45.4	45.3	45.2	45.1
2	40.0	51.7	51.6	51.6	51.5
3	40.0	54.0	54.0	53.9	53.8
4	40.0	56.3	56.2	56.1	56.0
5	40.0	57.9	57.8	57.8	57.7
6	40.0	59.6	59.6	59.5	59.4
7	40.0	60.9	60.8	60.7	60.6
8	40.0	62.2	62.1	62.1	62.0
9	40.0	63.8	63.8	63.7	63.6
10	40.0	64.5	64.4	64.3	64.2
20	40.0	65.9	65.8	65.8	65.7
30	40.0	66.5	66.5	66.4	66.3
40	40.0	66.8	66.7	66.6	66.5
50	40.0	66.9	66.8	66.8	66.7
60	40.0	67.0	67.0	66.9	66.8

แผงแห้ง					
ทดสอบครั้งที่ 2					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 661.8 W/m ²					
I = 2.00 A					
V = 9.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.3	40.3	40.3	40.3
1	40.0	45.7	45.6	45.5	45.4
2	40.0	52.1	52.0	52.0	51.9
3	40.0	54.3	54.3	54.2	54.1
4	40.0	56.6	56.5	56.4	56.3
5	40.0	58.3	58.2	58.2	58.1
6	40.0	60.0	60.0	59.9	59.8
7	40.0	61.0	60.9	60.8	60.7
8	40.0	62.0	61.9	61.9	61.8
9	40.0	63.5	63.5	63.4	63.3
10	40.0	64.6	64.5	64.4	64.3
20	40.0	65.8	65.7	65.7	65.6
30	40.0	66.6	66.6	66.5	66.4
40	40.0	66.8	66.7	66.6	66.5
50	40.0	66.9	66.8	66.8	66.7
60	40.0	67.0	67.0	66.9	66.8

ผ้าแห้ง					
ทดสอบครั้งที่ 3					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 661.8 W/m ²					
I = 2.00 A					
V = 9.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.3	40.3	40.3	40.3
1	40.0	45.6	45.5	45.4	45.3
2	40.0	52.0	51.9	51.9	51.8
3	40.0	54.3	54.3	54.2	54.1
4	40.0	56.6	56.5	56.4	56.3
5	40.0	58.1	58.0	58.0	57.9
6	40.0	59.7	59.7	59.6	59.5
7	40.0	60.8	60.7	60.6	60.5
8	40.0	61.9	61.8	61.8	61.7
9	40.0	63.6	63.6	63.5	63.4
10	40.0	64.6	64.5	64.4	64.3
20	40.0	65.9	65.8	65.8	65.7
30	40.0	66.7	66.7	66.6	66.5
40	40.0	66.8	66.7	66.6	66.5
50	40.0	66.9	66.8	66.8	66.7
60	40.0	67.0	67.0	66.9	66.8

ผ้าแห้ง					
ทดสอบครั้งที่ 4					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 661.8 W/m ²					
I = 2.00 A					
V = 9.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.3	40.3	40.3	40.3
1	40.0	45.7	45.6	45.5	45.4
2	40.0	51.4	51.3	51.3	51.2
3	40.0	54.3	54.3	54.2	54.1
4	40.0	57.2	57.1	57.0	56.9
5	40.0	58.6	58.5	58.5	58.4
6	40.0	59.9	59.9	59.8	59.7
7	40.0	60.9	60.8	60.7	60.6
8	40.0	61.9	61.8	61.8	61.7
9	40.0	63.8	63.8	63.7	63.6
10	40.0	64.7	64.6	64.5	64.4
20	40.0	66.0	65.9	65.9	65.8
30	40.0	66.8	66.8	66.7	66.6
40	40.0	66.8	66.7	66.6	66.5
50	40.0	66.9	66.8	66.8	66.7
60	40.0	66.9	66.9	66.8	66.7

ผ้าแห้ง					
ทดสอบครั้งที่ 5					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 661.8 W/m ²					
I = 2.00 A					
V = 9.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	40.3	40.3	40.3	40.3
1	40.0	45.4	45.3	45.2	45.1
2	40.0	51.7	51.6	51.6	51.5
3	40.0	54.0	54.0	53.9	53.8
4	40.0	56.3	56.2	56.1	56.0
5	40.0	57.8	57.7	57.7	57.6
6	40.0	59.3	59.3	59.2	59.1
7	40.0	60.6	60.5	60.4	60.3
8	40.0	62.0	61.9	61.9	61.8
9	40.0	63.9	63.9	63.8	63.7
10	40.0	64.7	64.6	64.5	64.4
20	40.0	65.6	65.5	65.5	65.4
30	40.0	66.4	66.4	66.3	66.2
40	40.0	67.0	66.9	66.8	66.7
50	40.0	67.1	67.0	67.0	66.9
60	40.0	67.1	67.1	67.1	66.9

ก.7 ตารางผลการทดลองอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์แผงแห้งที่

$$\text{Heatflux} = 205.8 \text{ W/m}^2$$

ผ้าเปียก					
ทดสอบครั้งที่ 1					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux=205.8 W/m ²					
I = 1.12 A					
V = 5.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	37.1	37.1	37.1	37.1
1	40.0	39.6	39.5	39.4	39.3
2	40.0	41.1	41.0	41.0	40.9
3	40.0	42.0	42.0	41.9	41.8
4	40.0	42.6	42.5	42.4	42.3
5	40.0	42.9	42.8	42.8	42.7
6	40.0	43.0	43.0	42.9	42.8
7	40.0	43.2	43.1	43.0	42.9
8	40.0	43.4	43.3	43.3	43.2
9	40.0	43.5	43.5	43.4	43.3
10	40.0	43.5	43.4	43.3	43.2
20	40.0	43.5	43.4	43.4	43.3
30	40.0	43.4	43.4	43.3	43.2
40	40.0	43.3	43.2	43.1	43.0
50	40.0	43.3	43.2	43.2	43.1
60	40.0	43.3	43.3	43.2	43.1

ผ้าเปียก					
ทดสอบครั้งที่ 2					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1 Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux=205.8 W/m ² I = 1.12 A V = 5.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	37.1	37.1	37.1	37.1
1	40.0	39.8	39.7	39.6	39.5
2	40.0	41.6	41.5	41.5	41.4
3	40.0	42.8	42.8	42.7	42.6
4	40.0	42.8	42.7	42.6	42.5
5	40.0	43.0	42.9	42.9	42.8
6	40.0	43.1	43.1	43.0	42.9
7	40.0	43.0	42.9	42.8	42.7
8	40.0	43.1	43.0	43.0	42.9
9	40.0	43.4	43.4	43.3	43.2
10	40.0	43.6	43.5	43.4	43.3
20	40.0	43.5	43.4	43.4	43.3
30	40.0	43.6	43.6	43.5	43.4
40	40.0	43.4	43.3	43.2	43.1
50	40.0	43.4	43.3	43.3	43.2
60	40.0	43.4	43.4	43.3	43.2

ผ้าเปียก					
ทดสอบครั้งที่ 3					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1 Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux=205.8 W/m ² I = 1.12 A V = 5.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	37.1	37.1	37.1	37.1
1	40.0	39.5	39.4	39.3	39.2
2	40.0	41.0	40.9	40.9	40.8
3	40.0	42.0	42.0	41.9	41.8
4	40.0	42.1	42.0	41.9	41.8
5	40.0	43.0	42.9	42.9	42.8
6	40.0	43.0	43.0	42.9	42.8
7	40.0	43.0	42.9	42.8	42.7
8	40.0	43.5	43.4	43.4	43.3
9	40.0	43.5	43.5	43.4	43.3
10	40.0	43.7	43.6	43.5	43.4
20	40.0	43.8	43.7	43.7	43.6
30	40.0	43.8	43.8	43.7	43.6
40	40.0	43.6	43.5	43.4	43.3
50	40.0	43.6	43.5	43.5	43.4
60	40.0	43.6	43.6	43.5	43.4

ผ้าเปียก					
ทดสอบครั้งที่ 4					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1 Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux=205.8 W/m ² I = 1.12 A V = 5.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	37.1	37.1	37.1	37.1
1	40.0	40.1	40.0	39.9	39.8
2	40.0	41.5	41.4	41.4	41.3
3	40.0	42.2	42.2	42.1	42.0
4	40.0	41.8	41.7	41.6	41.5
5	40.0	42.4	42.4	42.3	42.2
6	40.0	43.1	43.0	42.9	42.8
7	40.0	43.0	42.9	42.8	42.7
8	40.0	43.2	43.1	43.1	43.0
9	40.0	43.4	43.4	43.3	43.2
10	40.0	43.6	43.5	43.4	43.3
20	40.0	43.9	43.8	43.8	43.7
30	40.0	44.1	44.1	44.0	43.9
40	40.0	44.1	44.1	44.0	43.9
50	40.0	44.2	44.1	44.0	43.9
60	40.0	44.2	44.2	44.1	44.0

ผ้าเปียก					
ทดสอบครั้งที่ 5					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux=205.8 W/m ²					
I = 1.12 A					
V = 5.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	37.1	37.1	37.1	37.1
1	40.0	39.5	39.4	39.3	39.2
2	40.0	41.2	41.1	41.1	41.0
3	40.0	42.3	42.3	42.2	42.1
4	40.0	42.0	41.9	41.8	41.7
5	40.0	42.7	42.6	42.6	42.5
6	40.0	43.2	43.2	43.1	43.0
7	40.0	43.2	43.1	43.0	42.9
8	40.0	43.5	43.4	43.4	43.3
9	40.0	43.7	43.7	43.6	43.5
10	40.0	43.8	43.7	43.6	43.5
20	40.0	44.0	43.9	43.9	43.8
30	40.0	44.3	44.3	44.2	44.1
40	40.0	44.3	44.2	44.1	44.0
50	40.0	44.4	44.4	44.3	44.2
60	40.0	44.4	44.3	44.2	44.1

ก.8 ตารางผลการทดลองอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์แผงแห้งที่

$$\text{Heatflux} = 483.8 \text{ W/m}^2$$

ผ้าเปียก					
ทดสอบครั้งที่ 1					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 483.8 W/m ²					
I = 1.88 A					
V = 7.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	37.1	37.1	37.1	37.1
1	40.0	40.5	40.4	40.3	40.2
2	40.0	42.5	42.4	42.4	42.3
3	40.0	44.8	44.8	44.7	44.6
4	40.0	46.8	46.7	46.6	46.5
5	40.0	47.2	47.1	47.1	47.0
6	40.0	47.6	47.6	47.5	47.4
7	40.0	47.9	47.8	47.7	47.6
8	40.0	48.4	48.3	48.3	48.2
9	40.0	49.0	49.0	48.9	48.8
10	40.0	49.2	49.1	49.0	48.9
20	40.0	49.0	48.9	48.9	48.8
30	40.0	49.1	49.1	49.0	48.9
40	40.0	49.4	49.3	49.2	49.1
50	40.0	49.3	49.2	49.2	49.1
60	40.0	49.4	49.4	49.3	49.2

ผ้าเปียก					
ทดสอบครั้งที่ 2					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1 Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 483.8 W/m ² I = 1.88 A V = 7.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	37.1	37.1	37.1	37.1
1	40.0	40.6	40.5	40.4	40.3
2	40.0	43.6	43.5	43.5	43.4
3	40.0	45.5	45.5	45.4	45.3
4	40.0	47.0	46.9	46.8	46.7
5	40.0	47.9	47.8	47.8	47.7
6	40.0	48.8	48.8	48.7	48.6
7	40.0	48.6	48.5	48.4	48.3
8	40.0	48.8	48.7	48.7	48.6
9	40.0	49.0	49.0	48.9	48.8
10	40.0	49.0	48.9	48.8	48.7
20	40.0	48.9	48.8	48.8	48.7
30	40.0	48.8	48.8	48.7	48.6
40	40.0	48.9	48.8	48.7	48.6
50	40.0	48.9	48.8	48.8	48.7
60	40.0	48.9	48.9	48.8	48.7

ผ้าเปียก					
ทดสอบครั้งที่ 3					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 483.8 W/m ²					
I = 1.88 A					
V = 7.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	37.1	37.1	37.1	37.1
1	40.0	40.6	40.5	40.4	40.3
2	40.0	43.5	43.4	43.4	43.3
3	40.0	45.4	45.4	45.3	45.2
4	40.0	46.9	46.8	46.7	46.6
5	40.0	47.9	47.9	47.8	47.7
6	40.0	48.8	48.7	48.6	48.5
7	40.0	48.8	48.7	48.6	48.5
8	40.0	48.7	48.6	48.6	48.5
9	40.0	49.1	49.1	49.0	48.9
10	40.0	49.2	49.1	49.0	48.9
20	40.0	48.8	48.7	48.7	48.6
30	40.0	48.8	48.8	48.7	48.6
40	40.0	48.9	48.9	48.8	48.7
50	40.0	49.0	48.9	48.8	48.7
60	40.0	48.9	48.9	48.8	48.7

ผ้าเปียก					
ทดสอบครั้งที่ 4					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 483.8 W/m ²					
I = 1.88 A					
V = 7.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	37.1	37.1	37.1	37.1
1	40.0	41.1	41.0	40.9	40.8
2	40.0	43.4	43.3	43.3	43.2
3	40.0	45.4	45.4	45.3	45.2
4	40.0	47.0	46.9	46.8	46.7
5	40.0	47.9	47.8	47.8	47.7
6	40.0	48.8	48.8	48.7	48.6
7	40.0	48.9	48.8	48.7	48.6
8	40.0	48.9	48.8	48.8	48.7
9	40.0	49.4	49.4	49.3	49.2
10	40.0	49.6	49.5	49.4	49.3
20	40.0	49.3	49.2	49.2	49.1
30	40.0	49.2	49.2	49.1	49.0
40	40.0	49.2	49.1	49.0	48.9
50	40.0	49.0	48.9	48.9	48.8
60	40.0	48.9	48.9	48.8	48.7

ผ้าเปียก					
ทดสอบครั้งที่ 5					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 483.8 W/m ²					
I = 1.88 A					
V = 7.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	37.1	37.1	37.1	37.1
1	40.0	40.8	40.7	40.6	40.5
2	40.0	43.1	43.0	43.0	42.9
3	40.0	44.8	44.8	44.7	44.6
4	40.0	46.2	46.1	46.0	45.9
5	40.0	47.2	47.1	47.1	47.0
6	40.0	48.2	48.2	48.1	48.0
7	40.0	48.6	48.5	48.4	48.3
8	40.0	48.6	48.5	48.5	48.4
9	40.0	49.4	49.4	49.3	49.2
10	40.0	49.6	49.5	49.4	49.3
20	40.0	49.5	49.4	49.4	49.3
30	40.0	49.5	49.5	49.4	49.3
40	40.0	49.7	49.6	49.5	49.4
50	40.0	49.7	49.6	49.6	49.5
60	40.0	49.6	49.6	49.5	49.4

ก.9 ตารางผลการทดลองอุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์แผงแห้งที่

Heatflux = 661.8 W/m^2

ผ้าเปียก					
ทดสอบครั้งที่ 1					
Room Conditions					
Tdb = $40^{\circ}\text{C} \pm 1$					
Twb = $33^{\circ}\text{C} \pm 1$					
Heat Conditions					
Heatflux = 661.8 W/m^2					
I = 2.00 A					
V = 9.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} ($^{\circ}\text{C}$)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	37.1	37.1	37.1	37.1
1	40.0	42.4	42.3	42.2	42.1
2	40.0	48.0	47.9	47.9	47.8
3	40.0	51.8	51.8	51.7	51.6
4	40.0	53.8	53.7	53.7	53.6
5	40.0	54.6	54.6	54.5	54.4
6	40.0	55.3	55.2	55.1	55.0
7	40.0	55.7	55.6	55.5	55.4
8	40.0	55.9	55.8	55.8	55.7
9	40.0	56.0	56.0	55.9	55.8
10	40.0	55.9	55.8	55.7	55.6
20	40.0	55.6	55.5	55.5	55.4
30	40.0	55.7	55.7	55.6	55.5
40	40.0	55.7	55.6	55.6	55.5
50	40.0	55.8	55.8	55.7	55.6
60	40.0	55.8	55.7	55.6	55.5

ผ้าเปียก					
ทดสอบครั้งที่ 2					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 661.8 W/m ²					
I = 2.00 A					
V = 9.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	37.1	37.1	37.1	37.1
1	40.0	42.6	42.5	42.4	42.3
2	40.0	48.4	48.3	48.3	48.2
3	40.0	52.1	52.1	52.0	51.9
4	40.0	54.1	54.0	53.9	53.8
5	40.0	54.8	54.7	54.7	54.6
6	40.0	55.4	55.4	55.3	55.2
7	40.0	55.6	55.5	55.4	55.3
8	40.0	56.3	56.2	56.2	56.1
9	40.0	56.1	56.1	56.0	55.9
10	40.0	56.4	56.3	56.2	56.1
20	40.0	56.3	56.2	56.2	56.1
30	40.0	55.5	55.5	55.4	55.3
40	40.0	56.0	55.9	55.8	55.7
50	40.0	56.3	56.2	56.2	56.1
60	40.0	56.3	56.3	56.2	56.1

ผ้าเปียก					
ทดสอบครั้งที่ 3					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1 Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 661.8 W/m ² I = 2.00 A V = 9.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	37.1	37.1	37.1	37.1
1	40.0	42.4	42.3	42.2	42.1
2	40.0	48.1	48.0	48.0	47.9
3	40.0	50.7	50.7	50.6	50.5
4	40.0	51.5	51.4	51.3	51.2
5	40.0	53.2	53.1	53.1	53.0
6	40.0	54.9	54.9	54.8	54.7
7	40.0	55.7	55.6	55.5	55.4
8	40.0	56.2	56.1	56.1	56.0
9	40.0	56.5	56.5	56.4	56.3
10	40.0	56.7	56.6	56.5	56.4
20	40.0	56.2	56.1	56.1	56.0
30	40.0	56.1	56.1	56.0	55.9
40	40.0	56.3	56.2	56.2	56.1
50	40.0	56.3	56.3	56.2	56.1
60	40.0	56.2	56.1	56.0	55.9

ผ้าเปียก					
ทดสอบครั้งที่ 4					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1 Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 661.8 W/m ² I = 2.00 A V = 9.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	37.1	37.1	37.1	37.1
1	40.0	42.3	42.2	42.1	42.0
2	40.0	47.8	47.7	47.7	47.6
3	40.0	50.7	50.7	50.6	50.5
4	40.0	51.9	51.8	51.7	51.6
5	40.0	53.3	53.2	53.2	53.1
6	40.0	54.7	54.7	54.6	54.5
7	40.0	55.5	55.4	55.3	55.2
8	40.0	56.2	56.1	56.1	56.0
9	40.0	56.4	56.4	56.3	56.2
10	40.0	56.0	55.9	55.8	55.7
20	40.0	56.1	56.0	56.0	55.9
30	40.0	55.7	55.7	55.6	55.5
40	40.0	55.7	55.6	55.5	55.4
50	40.0	56.3	56.2	56.2	56.1
60	40.0	56.4	56.4	56.3	56.2

ผ้าเปียก					
ทดสอบครั้งที่ 5					
Room Conditions					
Tdb = 40°C ±1					
Twb = 33°C ±1					
Heat Conditions					
Heatflux= 661.8 W/m ²					
I = 2.00 A					
V = 9.00 V					
Time (min)	Room	T _{panel}			
	T _{db} (°C)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	40.0	37.1	37.1	37.1	37.1
1	40.0	42.7	42.6	42.5	42.4
2	40.0	48.7	48.6	48.6	48.5
3	40.0	52.2	52.2	52.1	52.0
4	40.0	53.9	53.8	53.7	53.6
5	40.0	54.4	54.3	54.3	54.2
6	40.0	54.9	54.9	54.8	54.7
7	40.0	56.2	56.1	56.0	55.9
8	40.0	56.1	56.0	56.0	55.9
9	40.0	56.6	56.6	56.5	56.4
10	40.0	56.7	56.6	56.5	56.4
20	40.0	56.3	56.2	56.2	56.1
30	40.0	56.1	56.1	56.0	55.9
40	40.0	56.0	55.9	55.8	55.7
50	40.0	56.2	56.1	56.1	56.0
60	40.0	56.2	56.2	56.1	56.0

ภาคผนวก (ข)

รายละเอียดของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อนระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด
จริง

ข.1 เซลล์แสงอาทิตย์



LR4-72HPH

420~440M

*High Efficiency
Low LID Mono PERC
with Half-cut Technology*

Hi-M0 4m

10-year Warranty for Materials and Processing;
25-year Warranty for Extra Linear Power Output



Complete System and Product Certifications

IEC 61215, IEC61730, UL1703
ISO 9001:2008: ISO Quality Management System
ISO 14001: 2004: ISO Environment Management System
TS62941: Guideline for module design qualification and type approval
OHSAS 18001: 2007 Occupational Health and Safety





* Specifications subject to technical changes and tests. LONGI Solar reserves the right of interpretation.

Positive power tolerance (0 ~ +5W) guaranteed

High module conversion efficiency (up to 19.8%)


Slower power degradation enabled by Low LID Mono PERC technology: first year <2%, 0.55% year 2-25

Solid PID resistance ensured by solar cell process optimization and careful module BOM selection

Reduced resistive loss with lower operating current

Higher energy yield with lower operating temperature

Reduced hot spot risk with optimized electrical design and lower operating current

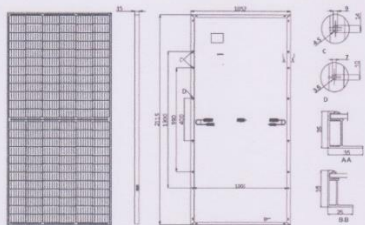


Room 801, Tower 3, Lujiazui Financial Plaza, No.826 Century Avenue, Pudong Shanghai, 200120, China
Tel: +86-21-80162606 E-mail: module@longi-silicon.com Facebook: www.facebook.com/LONGI Solar

Note: Due to continuous technical innovation, R&D and improvement, technical data above mentioned may be of modification accordingly. LONGI Solar have the sole right to make such modification at anytime without further notice; Demanding party shall request for the latest datasheet for such as contract need, and make it a consisting and binding part of lawful documentation duly signed by both parties.

LR4-72HPH 420~440M

Design (mm)



Mechanical Parameters

Cell Orientation: 144 (6x24)
 Junction Box: IP68, 11 three diodes
 Output Cable: 4mm², 300mm in length, length can be customized
 Glass: Single glass
 3.2mm coated tempered glass
 Frame: Anodized aluminum alloy frame
 Weight: 24 kg
 Dimension: 2115x1052x35mm
 Packaging: 30pcs per pallet
 150pcs per 20GP
 660pcs per 40HC

Operating Parameters

Operational Temperature: -40 C ~ +85 C
 Power Output Tolerance: 0 ~ +5 W
 Voc and Isc Tolerance: ±3%
 Maximum System Voltage: DC1500V (IEC/UL)
 Maximum Series Fuse Rating: 20A
 Nominal Operating Cell Temperature: 45±2 C
 Safety Class: Class II
 Fire Rating: UL type 1 or type 2

Electrical Characteristics

Model Number	LR4-72HPH-420M		LR4-72HPH-425M		LR4-72HPH-430M		LR4-72HPH-435M		LR4-72HPH-440M	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax/W)	420	311.1	425	314.8	430	318.5	435	322.2	440	326.0
Open Circuit Voltage (Voc/V)	48.8	45.5	49.0	45.7	49.2	45.9	49.4	46.1	49.6	46.3
Short Circuit Current (Isc/A)	11.04	8.90	11.11	8.95	11.19	9.02	11.26	9.08	11.33	9.13
Voltage at Maximum Power (Vmp/V)	40.2	37.1	40.4	37.3	40.6	37.5	40.8	37.7	41.0	37.9
Current at Maximum Power (Imp/A)	10.45	8.38	10.52	8.44	10.60	8.50	10.67	8.56	10.74	8.61
Module Efficiency(%)	18.9		19.1		19.3		19.6		19.8	

STC (Standard Testing Conditions): Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25 C, Spectra at AM1.5
 NOCT (Nominal Operating Cell Temperature): Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20 C, Spectra at AM1.5, Wind at 1m/s

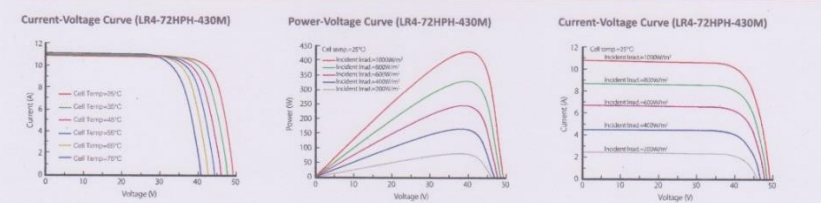
Temperature Ratings (STC)

Temperature Coefficient of Isc: +0.057%/C
 Temperature Coefficient of Voc: -0.286%/C
 Temperature Coefficient of Pmax: -0.370%/C

Mechanical Loading

Front Side Maximum Static Loading: 5400Pa
 Rear Side Maximum Static Loading: 2400Pa
 Hailstone Test: 25mm Hailstone at the speed of 23m/s

I-V Curve



Room 801, Tower 3, Lujiazui Financial Plaza, No.826 Century Avenue, Pudong Shanghai, 200120, China
 Tel: +86-21-80162606 E-mail: module@longi-silicon.com Facebook: www.facebook.com/LONGI Solar

Note: Due to continuous technical innovation, R&D and improvement, technical data above mentioned may be of modification accordingly. LONGI Solar have the sole right to make such modification at anytime without further notice. Demanding party shall request for the latest datasheet for such as contract need, and make it a consisting and binding part of lawful documentation duly signed by both parties.

ภาคผนวก (ค)

รายละเอียดการประมาณการศักยภาพการผลิตไฟฟ้าของการประยุกต์อุปกรณ์ระบายความร้อน
ระเหยน้ำจากผ้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดจริง

ค.1 ตารางการประมาณการประสิทธิภาพแผงระหว่างติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนกับไม่ติด

ปี	ประสิทธิภาพ (%) อุณหภูมิ 40.0°C	ประสิทธิภาพ (%) อุณหภูมิ 28.7°C @eff 0.50%	ประสิทธิภาพ (%) อุณหภูมิ 28.7°C @eff 0.42%	ประสิทธิภาพ (%) อุณหภูมิ 28.7°C @eff 0.73%
1	12.18	17.75	16.87	20.04
2	12.02	17.50	16.65	19.78
3	11.95	17.39	16.56	19.67
4	11.89	17.29	16.47	19.56
5	11.82	17.18	16.38	19.46
6	11.76	17.08	16.29	19.35
7	11.69	16.97	16.20	19.24
8	11.63	16.87	16.11	19.14
9	11.57	16.77	16.02	19.03
10	11.50	16.67	15.93	18.93
11	11.44	16.56	15.85	18.82
12	11.38	16.46	15.76	18.72
13	11.31	16.36	15.67	18.62
14	11.25	16.26	15.59	18.51
15	11.19	16.16	15.50	18.41
16	11.13	16.06	15.42	18.31
17	11.07	15.96	15.33	18.21
18	11.01	15.87	15.25	18.11
19	10.95	15.77	15.16	18.01
20	10.88	15.67	15.08	17.91
21	10.82	15.58	15.00	17.81
22	10.77	15.48	14.91	17.71
23	10.71	15.38	14.83	17.62
24	10.65	15.29	14.75	17.52
25	10.57	15.20	14.67	17.42

ค.2 ตารางการประมาณการหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ระหว่างติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนกับไม่ติด

ปี	ประมาณการหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh)ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อน	ประมาณการหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh)ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อน @ _{eff} 0.50%	ประมาณการหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh)ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อน @ _{eff} 0.42%	ประมาณการหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh)ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อน @ _{eff} 0.73%
1	5926.14	8639.31	8209.87	9751.63
2	5850.15	8516.98	8104.59	9626.58
3	5817.97	8465.18	8060.02	9573.64
4	5785.97	8413.67	8015.69	9520.98
5	5754.15	8362.45	7971.60	9468.62
6	5722.50	8311.50	7927.76	9416.54
7	5691.03	8260.83	7884.16	9364.75
8	5659.73	8210.45	7840.79	9313.24
9	5628.60	8160.34	7797.67	9262.02
10	5597.64	8110.51	7754.78	9211.08
11	5566.86	8060.95	7712.13	9160.42
12	5536.24	8011.66	7669.71	9110.04
13	5505.79	7962.64	7627.53	9059.93
14	5475.51	7913.90	7585.58	9010.10
15	5445.39	7865.42	7543.86	8960.55
16	5415.44	7817.21	7502.37	8911.26
17	5385.66	7769.26	7461.10	8862.25
18	5356.04	7721.58	7420.07	8813.51
19	5326.58	7674.16	7379.26	8765.03
20	5297.28	7627.00	7338.67	8716.83
21	5268.15	7580.10	7298.31	8668.88
22	5239.17	7533.45	7258.17	8621.21
23	5210.36	7487.07	7218.25	8573.79
24	5181.70	7440.94	7178.55	8526.63
25	5144.87	7395.06	7139.07	8479.74

ภาคผนวก (ง)

รายละเอียดการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน

ง.1 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินในการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนรูปแบบที่ 1

ปี	ต้นทุนรวม (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เพิ่มขึ้น (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิ (บาท)	มูลค่าปัจจุบัน (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิสะสม (บาท)
0	3,757.25	-	(3,757.25)	(3,757.25)	(3,757.25)
1	2,331.54	11,992.20	9,660.66	9,118.13	5,903.41
2	2,331.54	11,787.39	9,455.85	8,423.62	15,359.25
3	2,331.54	11,700.67	9,369.13	7,877.64	24,728.39
4	2,331.54	11,614.43	9,282.89	7,366.81	34,011.28
5	2,331.54	11,528.66	9,197.12	6,888.86	43,208.40
6	2,331.54	11,443.37	9,111.83	6,441.69	52,320.23
7	2,331.54	11,358.54	9,027.00	6,023.33	61,347.23
8	2,331.54	11,274.18	8,942.64	5,631.94	70,289.87
9	2,331.54	11,190.29	8,858.75	5,265.79	79,148.62
10	2,331.54	11,106.85	8,775.31	4,923.26	87,923.94
11	2,331.54	11,023.88	8,692.34	4,602.84	96,616.28
12	2,331.54	10,941.36	8,609.82	4,303.11	105,226.10
13	2,331.54	10,859.30	8,527.76	4,022.74	113,753.86
14	2,331.54	10,777.68	8,446.14	3,760.50	122,200.00
15	2,331.54	10,696.52	8,364.98	3,515.20	130,564.98
16	2,331.54	10,615.80	8,284.26	3,285.78	138,849.24
17	2,331.54	10,535.53	8,203.99	3,071.20	147,053.23
18	2,331.54	10,455.70	8,124.16	2,870.52	155,177.38
19	2,331.54	10,376.30	8,044.76	2,682.84	163,222.15
20	2,331.54	10,297.34	7,965.80	2,507.32	171,187.95
21	2,331.54	10,218.82	7,887.28	2,343.19	179,075.23
22	2,331.54	10,140.73	7,809.19	2,189.70	186,884.42
23	2,331.54	10,063.07	7,731.53	2,046.18	194,615.95
24	2,331.54	9,985.84	7,654.30	1,911.98	202,270.25
25	2,331.54	9,945.84	7,614.30	1,795.17	209,884.56
รวม	62,045.75	271,930.31	209,884.56	109,112.11	209,884.56
				NPV	109,112.11
				IRR	255%
				Payback Period	0.4

ง.2 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินในการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนรูปแบบที่ 2

ปี	ต้นทุนรวม (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เพิ่มขึ้น (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิ (บาท)	มูลค่าปัจจุบัน (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิสะสม (บาท)
0	7,647.25	-	(7,647.25)	(7,647.25)	(7,647.25)
1	2,347.31	11,992.20	9,644.89	9,103.24	1,997.64
2	2,347.31	11,787.39	9,440.08	8,409.57	11,437.71
3	2,347.31	11,700.67	9,353.36	7,864.39	20,791.08
4	2,347.31	11,614.43	9,267.12	7,354.29	30,058.20
5	2,347.31	11,528.66	9,181.35	6,877.05	39,239.55
6	2,347.31	11,443.37	9,096.06	6,430.54	48,335.61
7	2,347.31	11,358.54	9,011.23	6,012.81	57,346.84
8	2,347.31	11,274.18	8,926.87	5,622.01	66,273.71
9	2,347.31	11,190.29	8,842.98	5,256.42	75,116.69
10	2,347.31	11,106.85	8,759.54	4,914.42	83,876.24
11	2,347.31	11,023.88	8,676.57	4,594.49	92,552.81
12	6,237.31	10,941.36	4,704.05	2,351.04	97,256.86
13	2,347.31	10,859.30	8,511.99	4,015.30	105,768.85
14	2,347.31	10,777.68	8,430.37	3,753.47	114,199.22
15	2,347.31	10,696.52	8,349.21	3,508.58	122,548.43
16	2,347.31	10,615.80	8,268.49	3,279.52	130,816.92
17	2,347.31	10,535.53	8,188.22	3,065.30	139,005.14
18	2,347.31	10,455.70	8,108.39	2,864.95	147,113.52
19	2,347.31	10,376.30	8,028.99	2,677.58	155,142.52
20	2,347.31	10,297.34	7,950.03	2,502.36	163,092.55
21	2,347.31	10,218.82	7,871.51	2,338.50	170,964.06
22	2,347.31	10,140.73	7,793.42	2,185.28	178,757.48
23	2,347.31	10,063.07	7,715.76	2,042.00	186,473.24
24	2,347.31	9,985.84	7,638.53	1,908.04	194,111.77
25	2,347.31	9,945.84	7,598.53	1,791.45	201,710.31
รวม	70,220.00	271,930.31	201,710.31	103,075.37	201,710.31
				NPV	103,075.37
				IRR	125%
				Payback Period	0.8

ง.3 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินในการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนรูปแบบที่ 3

ปี	ต้นทุนรวม (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เพิ่มขึ้น (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิ (บาท)	มูลค่าปัจจุบัน (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิสะสม (บาท)
0	7,823.75	-	(7,823.75)	(7,823.75)	(7,823.75)
1	2,347.31	11,992.20	9,644.89	9,103.24	1,821.14
2	2,347.31	11,787.39	9,440.08	8,409.57	11,261.21
3	2,347.31	11,700.67	9,353.36	7,864.39	20,614.58
4	2,347.31	11,614.43	9,267.12	7,354.29	29,881.70
5	2,347.31	11,528.66	9,181.35	6,877.05	39,063.05
6	2,347.31	11,443.37	9,096.06	6,430.54	48,159.11
7	2,347.31	11,358.54	9,011.23	6,012.81	57,170.34
8	2,347.31	11,274.18	8,926.87	5,622.01	66,097.21
9	2,347.31	11,190.29	8,842.98	5,256.42	74,940.19
10	2,347.31	11,106.85	8,759.54	4,914.42	83,699.74
11	2,347.31	11,023.88	8,676.57	4,594.49	92,376.31
12	6,237.31	10,941.36	4,704.05	2,351.04	97,080.36
13	2,347.31	10,859.30	8,511.99	4,015.30	105,592.35
14	2,347.31	10,777.68	8,430.37	3,753.47	114,022.72
15	2,347.31	10,696.52	8,349.21	3,508.58	122,371.93
16	2,347.31	10,615.80	8,268.49	3,279.52	130,640.42
17	2,347.31	10,535.53	8,188.22	3,065.30	138,828.64
18	2,347.31	10,455.70	8,108.39	2,864.95	146,937.02
19	2,347.31	10,376.30	8,028.99	2,677.58	154,966.02
20	2,347.31	10,297.34	7,950.03	2,502.36	162,916.05
21	2,347.31	10,218.82	7,871.51	2,338.50	170,787.56
22	2,347.31	10,140.73	7,793.42	2,185.28	178,580.98
23	2,347.31	10,063.07	7,715.76	2,042.00	186,296.74
24	2,347.31	9,985.84	7,638.53	1,908.04	193,935.27
25	2,347.31	9,945.84	7,598.53	1,791.45	201,533.81
รวม	70,396.50	271,930.31	201,533.81	102,898.87	201,533.81
				NPV	102,898.87
				IRR	122%
				Payback Period	0.8

ง.4 ตารางวิเคราะห์ความอ่อนไหวเมื่ออัตราค่าไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปเป็น 3.53 บาทต่อหน่วย

ปี	ต้นทุนรวม (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เพิ่มขึ้น (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิ (บาท)	มูลค่าปัจจุบัน (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิสะสม (บาท)
0	3,757.25	-	(3,757.25)	(3,757.25)	(3,757.25)
1	2,331.54	9,577.48	7,245.94	6,839.02	3,488.69
2	2,331.54	9,413.91	7,082.37	6,309.23	10,571.06
3	2,331.54	9,344.65	7,013.11	5,896.69	17,584.17
4	2,331.54	9,275.78	6,944.24	5,510.88	24,528.41
5	2,331.54	9,207.28	6,875.74	5,150.09	31,404.15
6	2,331.54	9,139.16	6,807.62	4,812.71	38,211.77
7	2,331.54	9,071.42	6,739.88	4,497.23	44,951.65
8	2,331.54	9,004.04	6,672.50	4,202.24	51,624.15
9	2,331.54	8,937.04	6,605.50	3,926.42	58,229.65
10	2,331.54	8,870.41	6,538.87	3,668.54	64,768.52
11	2,331.54	8,804.14	6,472.60	3,427.43	71,241.12
12	2,331.54	8,738.24	6,406.70	3,202.01	77,647.81
13	2,331.54	8,672.70	6,341.16	2,991.27	83,988.97
14	2,331.54	8,607.52	6,275.98	2,794.27	90,264.95
15	2,331.54	8,542.70	6,211.16	2,610.11	96,476.10
16	2,331.54	8,478.23	6,146.69	2,437.96	102,622.79
17	2,331.54	8,414.12	6,082.58	2,277.04	108,705.37
18	2,331.54	8,350.36	6,018.82	2,126.64	114,724.19
19	2,331.54	8,286.96	5,955.42	1,986.07	120,679.61
20	2,331.54	8,223.90	5,892.36	1,854.68	126,571.97
21	2,331.54	8,161.19	5,829.65	1,731.90	132,401.61
22	2,331.54	8,098.82	5,767.28	1,617.15	138,168.89
23	2,331.54	8,036.80	5,705.26	1,509.92	143,874.15
24	2,331.54	7,975.11	5,643.57	1,409.71	149,517.72
25	2,331.54	7,943.17	5,611.63	1,323.02	155,129.36
รวม	62,045.75	217,175.11	155,129.36	80,354.96	155,129.36
				NPV	80,354.96
				IRR	191%
				Payback Period	0.5

ง.5 ตารางวิเคราะห์ความอ่อนไหวเมื่ออัตราค่าไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปเป็น 5.30 บาทต่อหน่วย

ปี	ต้นทุนรวม (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เพิ่มขึ้น (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิ (บาท)	มูลค่าปัจจุบัน (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิสะสม (บาท)
0	3,757.25	-	(3,757.25)	(3,757.25)	(3,757.25)
1	2,331.54	14,379.78	12,048.24	11,371.63	8,290.99
2	2,331.54	14,134.20	11,802.66	10,514.24	20,093.65
3	2,331.54	14,030.22	11,698.68	9,836.35	31,792.33
4	2,331.54	13,926.80	11,595.26	9,201.89	43,387.59
5	2,331.54	13,823.96	11,492.42	8,608.09	54,880.02
6	2,331.54	13,721.69	11,390.15	8,052.37	66,270.16
7	2,331.54	13,619.97	11,288.43	7,532.29	77,558.59
8	2,331.54	13,518.82	11,187.28	7,045.58	88,745.87
9	2,331.54	13,418.22	11,086.68	6,590.11	99,832.55
10	2,331.54	13,318.17	10,986.63	6,163.89	110,819.19
11	2,331.54	13,218.68	10,887.14	5,765.05	121,706.32
12	2,331.54	13,119.73	10,788.19	5,391.84	132,494.52
13	2,331.54	13,021.33	10,689.79	5,042.62	143,184.31
14	2,331.54	12,923.47	10,591.93	4,715.87	153,776.23
15	2,331.54	12,826.14	10,494.60	4,410.13	164,270.84
16	2,331.54	12,729.35	10,397.81	4,124.08	174,668.65
17	2,331.54	12,633.10	10,301.56	3,856.44	184,970.21
18	2,331.54	12,537.37	10,205.83	3,606.04	195,176.04
19	2,331.54	12,442.17	10,110.63	3,371.79	205,286.67
20	2,331.54	12,347.49	10,015.95	3,152.63	215,302.63
21	2,331.54	12,253.34	9,921.80	2,947.61	225,224.43
22	2,331.54	12,159.70	9,828.16	2,755.82	235,052.59
23	2,331.54	12,066.58	9,735.04	2,576.41	244,787.63
24	2,331.54	11,973.97	9,642.43	2,408.59	254,430.05
25	2,331.54	11,926.01	9,594.47	2,262.02	264,024.53
รวม	62,045.75	326,070.28	264,024.53	137,546.14	264,024.53
				NPV	137,546.14
				IRR	319%
				Payback Period	0.3

ง.6 ตารางวิเคราะห์ความอ่อนไหวเมื่ออัตราค่าน้ำเปลี่ยนแปลงไปเป็น 8.40 บาทต่อหน่วย

ปี	ต้นทุนรวม (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เพิ่มขึ้น (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิ (บาท)	มูลค่าปัจจุบัน (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิสะสม (บาท)
0	3,757.25	-	(3,757.25)	(3,757.25)	(3,757.25)
1	2,151.00	11,992.20	9,841.19	9,288.53	6,083.94
2	2,151.00	11,787.39	9,636.39	8,584.45	15,720.33
3	2,151.00	11,700.67	9,549.67	8,029.44	25,270.00
4	2,151.00	11,614.43	9,463.43	7,510.08	34,733.43
5	2,151.00	11,528.66	9,377.66	7,024.08	44,111.09
6	2,151.00	11,443.37	9,292.37	6,569.32	53,403.45
7	2,151.00	11,358.54	9,207.54	6,143.80	62,611.00
8	2,151.00	11,274.18	9,123.18	5,745.64	71,734.18
9	2,151.00	11,190.29	9,039.29	5,373.11	80,773.46
10	2,151.00	11,106.85	8,955.85	5,024.55	89,729.32
11	2,151.00	11,023.88	8,872.88	4,698.44	98,602.20
12	2,151.00	10,941.36	8,790.36	4,393.34	107,392.55
13	2,151.00	10,859.30	8,708.30	4,107.91	116,100.85
14	2,151.00	10,777.68	8,626.68	3,840.88	124,727.53
15	2,151.00	10,696.52	8,545.52	3,591.07	133,273.05
16	2,151.00	10,615.80	8,464.80	3,357.39	141,737.85
17	2,151.00	10,535.53	8,384.53	3,138.79	150,122.37
18	2,151.00	10,455.70	8,304.69	2,934.31	158,427.07
19	2,151.00	10,376.30	8,225.30	2,743.05	166,652.37
20	2,151.00	10,297.34	8,146.34	2,564.15	174,798.71
21	2,151.00	10,218.82	8,067.82	2,396.82	182,866.53
22	2,151.00	10,140.73	7,989.73	2,240.32	190,856.26
23	2,151.00	10,063.07	7,912.07	2,093.96	198,768.33
24	2,151.00	9,985.84	7,834.83	1,957.07	206,603.16
25	2,151.00	9,945.84	7,794.84	1,837.74	214,398.01
รวม	57,532.30	271,930.31	214,398.01	111,431.00	214,398.01
				NPV	111,431.00
				IRR	260%
				Payback Period	0.4

ง.7 ตารางวิเคราะห์ความอ่อนไหวเมื่ออัตราค่าน้ำเปลี่ยนแปลงไปเป็น 12.6 บาทต่อหน่วย

ปี	ต้นทุนรวม (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เพิ่มขึ้น (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิ (บาท)	มูลค่าปัจจุบัน (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิสะสม (บาท)
0	3,757.25	-	(3,757.25)	(3,757.25)	(3,757.25)
1	2,543.62	11,992.20	9,448.58	8,917.96	5,691.33
2	2,543.62	11,787.39	9,243.77	8,234.69	14,935.10
3	2,543.62	11,700.67	9,157.05	7,699.33	24,092.15
4	2,543.62	11,614.43	9,070.81	7,198.50	33,162.96
5	2,543.62	11,528.66	8,985.05	6,730.01	42,148.01
6	2,543.62	11,443.37	8,899.75	6,291.76	51,047.76
7	2,543.62	11,358.54	8,814.92	5,881.82	59,862.68
8	2,543.62	11,274.18	8,730.57	5,498.38	68,593.25
9	2,543.62	11,190.29	8,646.67	5,139.73	77,239.92
10	2,543.62	11,106.85	8,563.24	4,804.28	85,803.16
11	2,543.62	11,023.88	8,480.26	4,490.54	94,283.42
12	2,543.62	10,941.36	8,397.74	4,197.12	102,681.16
13	2,543.62	10,859.30	8,315.68	3,922.70	110,996.84
14	2,543.62	10,777.68	8,234.07	3,666.07	119,230.91
15	2,543.62	10,696.52	8,152.90	3,426.08	127,383.81
16	2,543.62	10,615.80	8,072.18	3,201.66	135,455.99
17	2,543.62	10,535.53	7,991.91	2,991.81	143,447.90
18	2,543.62	10,455.70	7,912.08	2,795.59	151,359.98
19	2,543.62	10,376.30	7,832.68	2,612.12	159,192.66
20	2,543.62	10,297.34	7,753.73	2,440.57	166,946.39
21	2,543.62	10,218.82	7,675.20	2,280.18	174,621.59
22	2,543.62	10,140.73	7,597.11	2,130.23	182,218.71
23	2,543.62	10,063.07	7,519.45	1,990.05	189,738.16
24	2,543.62	9,985.84	7,442.22	1,859.00	197,180.38
25	2,543.62	9,945.84	7,402.23	1,745.17	204,582.61
รวม	67,347.70	271,930.31	204,582.61	106,388.11	204,582.61
				NPV	106,388.11
				IRR	250%
				Payback Period	0.4

ง.8 ตารางวิเคราะห์ความอ่อนไหวเมื่อค่าผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์
เปลี่ยนแปลงไปเป็น 0.42%

ปี	ต้นทุนรวม (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัด ได้เพิ่มขึ้น (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิ (บาท)	มูลค่าปัจจุบัน (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิ สะสม (บาท)
0	3,757.25	-	(3,757.25)	(3,757.25)	(3,757.25)
1	2,331.54	10,305.41	7,973.87	7,526.07	4,216.62
2	2,331.54	10,305.41	7,973.87	7,103.41	12,190.48
3	2,331.54	10,305.41	7,973.87	6,704.50	20,164.35
4	2,331.54	10,305.41	7,973.87	6,327.98	28,138.22
5	2,331.54	10,305.41	7,973.87	5,972.61	36,112.08
6	2,331.54	10,305.41	7,973.87	5,637.20	44,085.95
7	2,331.54	10,305.41	7,973.87	5,320.62	52,059.82
8	2,331.54	10,305.41	7,973.87	5,021.82	60,033.68
9	2,331.54	10,305.41	7,973.87	4,739.80	68,007.55
10	2,331.54	10,305.41	7,973.87	4,473.62	75,981.42
11	2,331.54	10,305.41	7,973.87	4,222.39	83,955.28
12	2,331.54	10,305.41	7,973.87	3,985.27	91,929.15
13	2,331.54	10,305.41	7,973.87	3,761.46	99,903.02
14	2,331.54	10,305.41	7,973.87	3,550.22	107,876.89
15	2,331.54	10,305.41	7,973.87	3,350.85	115,850.75
16	2,331.54	10,305.41	7,973.87	3,162.67	123,824.62
17	2,331.54	10,305.41	7,973.87	2,985.06	131,798.49
18	2,331.54	10,305.41	7,973.87	2,817.42	139,772.35
19	2,331.54	10,305.41	7,973.87	2,659.20	147,746.22
20	2,331.54	10,305.41	7,973.87	2,509.86	155,720.09
21	2,331.54	10,305.41	7,973.87	2,368.91	163,693.95
22	2,331.54	10,305.41	7,973.87	2,235.88	171,667.82
23	2,331.54	10,305.41	7,973.87	2,110.31	179,641.69
24	2,331.54	10,305.41	7,973.87	1,991.80	187,615.55
25	2,331.54	10,305.41	7,973.87	1,879.94	195,589.42
รวม	62,045.75	257,635.17	195,589.42	98,661.62	195,589.42
				NPV	98,661.62
				IRR	212%
				Payback Period	0.5

ง.9 ตารางวิเคราะห์ความอ่อนไหวเมื่อค่าผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์
เปลี่ยนแปลงไปเป็น 0.73%

ปี	ต้นทุนรวม (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัด ได้เพิ่มขึ้น (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิ (บาท)	มูลค่าปัจจุบัน (บาท)	ผลประโยชน์สุทธิ สะสม (บาท)
0	3,757.25	-	(3,757.25)	(3,757.25)	(3,757.25)
1	2,331.54	16,908.67	14,577.13	13,758.50	10,819.88
2	2,331.54	16,691.85	14,360.31	12,792.69	25,180.20
3	2,331.54	16,600.05	14,268.51	11,997.08	39,448.70
4	2,331.54	16,508.75	14,177.21	11,250.89	53,625.91
5	2,331.54	16,417.95	14,086.41	10,551.04	67,712.31
6	2,331.54	16,327.65	13,996.11	9,894.68	81,708.42
7	2,331.54	16,237.85	13,906.31	9,279.08	95,614.73
8	2,331.54	16,148.54	13,817.00	8,701.74	109,431.73
9	2,331.54	16,059.72	13,728.18	8,160.27	123,159.91
10	2,331.54	15,971.39	13,639.85	7,652.44	136,799.76
11	2,331.54	15,883.55	13,552.01	7,176.18	150,351.77
12	2,331.54	15,796.19	13,464.65	6,729.51	163,816.42
13	2,331.54	15,709.31	13,377.77	6,310.61	177,194.19
14	2,331.54	15,622.91	13,291.37	5,917.75	190,485.56
15	2,331.54	15,536.98	13,205.44	5,549.31	203,691.01
16	2,331.54	15,451.53	13,119.99	5,203.77	216,811.00
17	2,331.54	15,366.55	13,035.01	4,879.72	229,846.01
18	2,331.54	15,282.03	12,950.49	4,575.82	242,796.50
19	2,331.54	15,197.98	12,866.44	4,290.82	255,662.94
20	2,331.54	15,114.39	12,782.85	4,023.54	268,445.79
21	2,331.54	15,031.26	12,699.72	3,772.89	281,145.51
22	2,331.54	14,948.59	12,617.05	3,537.83	293,762.56
23	2,331.54	14,866.37	12,534.83	3,317.39	306,297.40
24	2,331.54	14,784.61	12,453.07	3,110.67	318,750.46
25	2,331.54	14,740.11	12,408.57	2,925.48	331,159.04
รวม	62,045.75	393,204.79	331,159.04	171,602.44	331,159.04
				NPV	171,602.44
				IRR	387%
				Payback Period	0.3

ภาคผนวก (จ)

การคำนวณค่าดำเนินการระบบระบายความร้อน

จ.1 ค่าน้ำที่ใช้ในการดำเนินการระบบระบายความร้อน

อันดับแรก คำนวณหาค่า mass flow rate

$$\dot{m} = \frac{\dot{q}_{evap}A}{h_{fg@atm}}$$

$$\dot{m} = \frac{1.24(2.1 \times 1.0 \times 15)}{22565}$$

$$\dot{m} = \frac{39.06}{22565} \quad \begin{matrix} \text{kJ/s} \\ \text{kJ/k} \end{matrix}$$

$$\dot{m} = 0.0173 \quad \text{kg/}$$

อันดับ 2 ใช้ mass flow rate คำนวณหาปริมาณน้ำที่ความดันบรรยากาศ โดยอ้างอิงจากตาราง thermodynamics $V_{f@atm} = 0.001043 \text{ m}^3/\text{kg}$ ที่ความดันที่ 100 kPa และอุณหภูมิที่ 99.61°C โดยปริมาตรอัตราการไหล จำคำนวณได้โดย สมการดังต่อไปนี้

$$V_{f@atm} = \frac{V}{m}$$

$$V_{f@atm} = \frac{\dot{V}}{\dot{m}}$$

$$\dot{V} = V_{f@atm} \dot{m}$$

$$\dot{V} = 0.001043 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times 0.0173 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\dot{V} = 0.00018 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

คำนวณหาปริมาณน้ำจากสมการ

$$V = \dot{V}t$$

โดยคำนวณเวลาทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเวลา 4 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลาในช่วง 10.00-14.00 น. จำนวน 30 วัน

$$t = 4 \frac{\text{hour}}{\text{day}} \times 30 \text{ days} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hour}} \times 60 \frac{\text{sec}}{\text{min}}$$

$$t = 432,000 \text{ sec}$$

$$V = 0.00143 \times 0.0173 \times 432,000$$

$$V = 7.79 \text{ m}^3$$

ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบคือ 7.79 m^3

อันดับ 3 คำนวณหาค่าน้ำ

โดยปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบคือ 7.79 m^3 ถือว่าอยู่ใน 100 หน่วยแรกของการคิดค่าบริการ จากอัตราการคิดค่าน้ำใน 150 หน่วยแรก ราคาหน่วยละ 10.2 บาทต่อหน่วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าน้ำ = ราคาค่าน้ำต่อหน่วย \times ปริมาณน้ำ

$$\text{ค่าน้ำ} = \text{ค่าน้ำต่อหน่วย} \times \text{ปริมาณน้ำ}$$

$$\text{ค่าน้ำ} = 10.50 \frac{\text{บาท}}{\text{หน่วย}} \times 7.79 \text{ หน่วย}$$

$$\text{ค่าน้ำ} = 81.79 \text{ บาท}$$

ดังนั้น ค่าน้ำของระบบระบายความร้อน 81.79 บาท

1) ค่าไฟที่ใช้ในการดำเนินการระบบระบายความร้อน

จากการปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบคือ $V = 7.8 \text{ m}^3$ ในครั้งนี้เลือกศึกษา Mitsubishi รุ่น EP 85Q5 ขนาด 80 W ปริมาณน้ำ 7,800 L โดยมีอัตราการไหล 35 L/min

คำนวณหาเวลาการทำงานของปั๊ม

$$\frac{\text{ปริมาณน้ำที่ใช้}}{\text{อัตราการไหลของปั๊ม}} = \text{เวลาการทำงานของปั๊ม}$$

$$\frac{7,800 \text{ L}}{35 \text{ L/min}} = \frac{222.85 \text{ min}}{60} = 3.714 \text{ hour}$$

ดังนั้นเวลาการทำงานของปั๊มเท่ากับ 3.714 hour

คำนวณหาหน่วยการใช้ไฟฟ้า

$$\text{เวลาการทำงานของปั๊ม} \times \frac{\text{กำลังไฟฟ้าของปั๊ม}}{1000} = 0.29714 \text{ unit}$$

$$3.714 \text{ hour} \times \frac{80 \text{ W}}{1000} = 0.29714 \text{ unit}$$

ดังนั้นหน่วยการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.2971 หน่วย

จากปริมาณการใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 0.297 หน่วย สำหรับค่าไฟฟ้าที่อยู่อาศัยไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน โดยค่ากำลังไฟฟ้าใน 15 หน่วยแรกนั้น คิดค่ากำลังไฟฟ้าราคา 2.3488 บาทต่อหน่วย สามารถคำนวณหาค่าไฟฟ้าได้ดังนี้

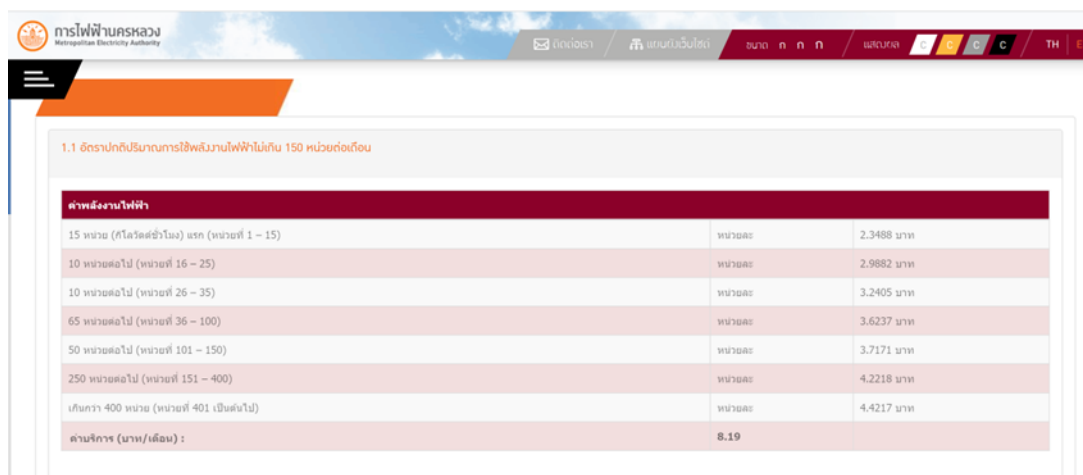
$$\text{ค่าไฟฟ้า} = \text{หน่วยไฟฟ้าที่ใช้} \times \text{ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย}$$

$$0.2971 \text{ unit} \times 4.42 \text{ บาท} = 1.31 \text{ บาทต่อเดือน}$$

ดังนั้นค่าไฟฟ้าที่ใช้เท่ากับ 1.31 บาทต่อเดือน

จ.3 อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการคำนวณ 4.42 บาทต่อหน่วย

อ้างอิงจากเว็บไซต์การไฟฟ้านครหลวงวันที่ 30 สิงหาคม 2565



1.1 อัตราค่าบริการการให้บริการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

ค่าพลังงานไฟฟ้า		
15 หน่วย (ครัวเรือนส่วนใหญ่) แรก (หน่วยที่ 1 – 15)	หน่วยละ	2.3488 บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 16 – 25)	หน่วยละ	2.9882 บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 26 – 35)	หน่วยละ	3.2405 บาท
65 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 36 – 100)	หน่วยละ	3.6237 บาท
50 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 101 – 150)	หน่วยละ	3.7171 บาท
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 – 400)	หน่วยละ	4.2218 บาท
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	หน่วยละ	4.4217 บาท
ค่าบริการ (บาท/เดือน) :	8.19	

จ.3 อัตราค่าน้ำประปาที่ใช้ในการคำนวณ 10.50 บาทต่อหน่วย

อ้างอิงจากเว็บไซต์การประปานครหลวงวันที่ 30 สิงหาคม 2565

W3C | FontSize A A A |  ค้นหา

หน้าแรก >> คู่มือต่างๆ >> อัตราค่าน้ำและบริการ

อัตราค่าน้ำและบริการ

**อัตราค่าน้ำประปา (WATER TARIFFS)
ตั้งแต่ ธันวาคม 2542/Effective December 1999**

ประเภทที่ 1 พักอาศัย Residence		ประเภทที่ 2 ธุรกิจ ราชการ รัฐบาลหรือ หน่วยงาน Commerce, Government Agency, State Enterprise and Industry	
ปริมาณน้ำใช้ จากมาตรวัด Volume (cu.m.)	ราคาค่าน้ำ บาท/ลูกบาศก์เมตร Baht/cu.m.	ปริมาณน้ำใช้ จากมาตรวัด Volume(cu.m.)	ราคาค่าน้ำ บาท/ลูกบาศก์เมตร Baht/cu.m.
0-30	8.50	0-10	9.50 แต่ไม่ต่ำกว่า 90.00 บาท (Not less than 90.00 Baht)
31-40	10.03	11-20	10.70
41-50	10.35	21-30	10.95
51-60	10.68	31-40	13.21
61-70	11.00	41-50	13.54
71-80	11.33	51-60	13.86
81-90	12.50	61-80	14.19
91-100	12.82	81-100	14.51
101-120	13.15	101-120	14.84
121-160	13.47	121-160	15.16
161-200	13.80	161-200	15.49
มากกว่า 200 (over 200)	14.45	มากกว่า 200 (over 200)	15.81

หมายเหตุ (Remark) :

- ภาษีมูลค่าเพิ่ม (Vat not included)
- การขายเหมา (Bulk Sale) มีราคาเฉลี่ยดังนี้
 - o ประเภทที่พักอาศัย(Residence) 10.50 บาท/ลบ.ม.(Baht/cu.m.)
 - o ประเภทอื่นๆ (Others) 13.00 บาท/ลบ.ม. (Baht/cu.m.)

ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2547 การประปาส่วนหลวงได้เก็บค่าน้ำในอัตรา 15 บาท/ลูกบาศก์เมตร เพื่อจ่ายให้กับเขตประปาต่าง



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ชลธิชา แก้วทงนงค์
วัน เดือน ปี เกิด	22 เมษายน 2536
สถานที่เกิด	ลำปาง
วุฒิการศึกษา	จบการศึกษาระดับปริญญาตรีจากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สาขาเทคโนโลยีเครื่องกล มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 125 หมู่บ้านเวียงสวรรค์ หมู่ 9 ตำบลแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง 52220
ผลงานตีพิมพ์	การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33 ระหว่างวันที่ 2 - 5 กรกฎาคม 2562