

การพัฒนาแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของการระบายความร้อนด้วยการระเหยผ้าเปียกบนแผ่น
เรียบเพื่อประยุกต์ใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Development of heat transfer model of fabric evaporative cooling on flat plate for
photovoltaic application



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 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของการระบายความร้อนด้วยการระเหยผ้าเปียกบนแผ่นเรียบเพื่อประยุกต์ใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์
โดย	นายบรรณพงศ์ กลีบประทุม
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สร้อย ศาลากิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ วรรณโสภาคย์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เด่นชัย วรรณจำเริญ)

บรรณพงศ์ กลีบประทุม : การพัฒนาแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของการระบายความร้อนด้วยการระเหยผ้าเปียกบนแผ่นเรียบเพื่อประยุกต์ใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์. (Development of heat transfer model of fabric evaporative cooling on flat plate for photovoltaic application) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.สร้อย ศาลากิจ

ปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากเป็นพลังงานหมุนเวียนและ ไม่ปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม นักวิจัยพบว่าประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพมากที่สุด คือ อุณหภูมิ ดังนั้นจึงต้องมีการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อรักษาประสิทธิภาพไว้ งานวิจัยนี้จึงนำเสนอแบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับการลดอุณหภูมิของแผ่นเรียบด้วยวิธีการระเหยผ้าเปียกซึ่งสามารถไปประยุกต์ใช้ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อทำนายผลการลดอุณหภูมิของแผ่นเรียบและใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบติดตั้งจริง แบบจำลองแบ่งออกเป็น 3 กรณี ได้แก่ กรณีแผ่นเรียบทั่วไป กรณีแผ่นเรียบที่ติดผ้าชุมน้ำไว้ที่ด้านหลัง และกรณีแผ่นเรียบที่ติดผ้าชุมน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ สำหรับแบบจำลองกรณีแผ่นเรียบทั่วไปและกรณีแผ่นเรียบที่ติดผ้าชุมน้ำไว้ที่ด้านหลังจะถูกตรวจสอบความถูกต้องจากการทดลองด้วยแผ่นเรียบที่ประดิษฐ์ขึ้นจากแผ่นอลูมิเนียมบางพร้อมกับติดแผ่นทำความร้อนซิลิโคนด้านบน โดยจะทำการทดลองภายในห้องจำลองสภาวะอากาศคงที่ ผลการทดลองพบว่า การติดตั้งผ้าชุมน้ำไว้ที่ด้านหลังสามารถลดอุณหภูมิของแผ่นเรียบได้ 24.5 องศาเซลเซียส และแบบจำลองทางทฤษฎีสามารถทำนายผลลัพธ์ได้ใกล้เคียงกับผลการทดลอง ดังนั้นแบบจำลองนี้มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบติดตั้งผ้าเพื่อลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์จริงได้ แต่ข้อจำกัดของการติดตั้งเฉพาะผ้าชุมน้ำไว้ที่ด้านหลัง คือ ผ้าไม่สามารถลดอุณหภูมิของแผ่นเรียบได้ตลอดเวลา เนื่องจากเมื่อผ้าระเหยน้ำออกไปหมดแล้วจะทำให้อุณหภูมิของแผ่นเรียบเพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพลดลงอีกครั้ง สำหรับการแก้ไขปัญหานี้ทำได้โดยการเลือกใช้ผ้าที่หนาขึ้นหรือมีความพรุนมากเพื่อยืดระยะเวลาในการลดอุณหภูมิ ส่วนกรณีแผ่นเรียบที่ติดผ้าชุมน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ เป็นการติดตั้งแหล่งน้ำเพิ่มเติมเพื่อให้ผ้าสามารถดูดน้ำจากแหล่งน้ำขึ้นมาลดอุณหภูมิของแผ่นเรียบได้ตลอดเวลา ซึ่งวิธีนี้จะต้องคำนึงถึงระยะความสูงของผ้าจากแหล่งน้ำถึงขอบบนของแผ่นเรียบที่เหมาะสมที่จะสามารถลดอุณหภูมิได้ตลอดและเกิดการสูญเสียให้น้อยที่สุด สำหรับกรณีนี้จะเป็นการศึกษาจากการคำนวณจากแบบจำลองเพียงอย่างเดียว ผลการจำลองพบว่าระยะติดตั้งผ้าที่เหมาะสมที่สุดมีค่าเท่ากับ 11.9 เซนติเมตร นอกจากนี้พบว่าสภาวะอากาศภายนอกส่งผลต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิด้วย หากอุณหภูมิอากาศสูงขึ้นหรือความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลงจะส่งผลให้ผ้าสามารถระเหยน้ำได้ดีและลดอุณหภูมิของแผ่นเรียบได้มากขึ้น สุดท้ายงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จริง ซึ่งจะทำการจำลองภายใต้สภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเป็นระยะเวลา 1 ปี โดยทำการเปลี่ยนแปลงระยะติดตั้งผ้าและความหนาผ้าต่าง ๆ เพื่อประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ปริมาณน้ำที่ใช้ และปริมาณน้ำที่สูญเสียใน 1 ปี แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาระยะความสูงในการติดตั้งผ้าและความหนาผ้าที่เหมาะสมที่สุด ผลการจำลองพบว่า การเลือกติดตั้งผ้าความหนา 3 เท่าที่ระยะความสูง 10 เซนติเมตร หรือติดตั้งผ้าความหนา 4 เท่า ที่ระยะความสูง 12.5 เซนติเมตร เป็นการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด เพราะสามารถเพิ่มการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูง และปริมาณน้ำที่สูญเสียไม่ถึงร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่ใช้ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6170382021 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORD: Photovoltaic; Evaporative cooling; Theoretical model

Bannaphong Gleebratum : Development of heat transfer model of fabric evaporative cooling on flat plate for photovoltaic application. Advisor: Asst. Prof. SARAN SALAKIJ, Ph.D.

Photovoltaic panel has been widely used for producing an electricity because it is a renewable energy and zero emission. Some researchers found that an electrical efficiency of the panel depends on many factors. The most factor effects to the efficiency is temperature. Therefore, cooling of photovoltaic panel is required to maintain its efficiency. This research presents theoretical models for evaporative cooling by fabric to predict a flat plate temperature and use them as a design tool on an actual photovoltaic panel. The models are divided in three cases; (i) common flat plate, (ii) flat plate attached a wetted fabric, and (iii) flat plate attached a wetted fabric and installing a reservoir. For both case (i) and (ii) are validated from an experiment by using a model, which made from a flat plate aluminum attached with a silicone heater. The experiment is tested in the controlled condition room. The results found that attached a wetted fabric can decrease the temperature by 24.5 Celsius, and theoretical model can nearly predict the temperature compared with the experimental data. Thus, these theoretical models are possibly used as a design tool for cooling an actual photovoltaic panel. Limitation of attached only wetted fabric is cannot reduce the temperature all the time, because the temperature would rise up and the panel efficiency would drop again when the fabric is dry. To resolve this problem, thicker fabric or higher porous fabric should be chosen to extend the cooling period. For case (iii), a reservoir is installed as a water supply system for fabric such that evaporative cooling can be maintained all the time. To use this method, it is important to consider for an optimum wick height installation between the top of the flat plate and reservoir that can reduce the temperature all the time while minimize the rate of water loss. This case is studied based on the theoretical model. The result shows that the optimum wick height installation is 11.9 cm. Moreover, it found that ambient affects the cooling capability. If the air temperature rises or relative humidity is lower, the fabric can evaporate better and decrease the flat plate temperature more. Last, this research has developed the theoretical model to apply on an actual photovoltaic panel to simulate in a real ambient condition for 1 year. This simulation varies wick height installation and fabric thickness to estimate an energy production from the observed photovoltaic panel, water usage and rate of water loss which it can be used to analyze the appropriate wick height installation and fabric thickness. The simulation result shows that 3-time-fabric thickness with 10 cm wick height and 4-time-fabric thickness with 12.5 cm wick height are the optimum designs, because they can highly increase an energy production and rate of water loss is less than 10 percent compared with the annual water usage.

Field of Study: Mechanical Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2019

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สร้อย ศาลากิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง และแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ จนผู้วิจัยสามารถดำเนินงานวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. จิตติน แดงเที่ยง ที่ให้เกียรติสละเวลามาเป็นประธานการสอบวิทยานิพนธ์ รวมไปถึง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพนธ์ วรรณโสภากย์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เด่นชัย วรรณจำเริญ ที่ให้เกียรติสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณนิสิต ไสยลักษณ์ เจ้าหน้าที่บริการวิทยาศาสตร์ ที่สละเวลามาช่วยอธิบายวิธีการใช้ห้องจำลองสภาวะอากาศสำหรับการทดลอง และอำนวยความสะดวกในเรื่องอุปกรณ์การทดลองให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในระดับปริญญาโททุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และคอยเป็นกำลังใจให้แก่ผู้ทำวิจัยตลอดระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ที่ช่วยเหลือสนับสนุนในเรื่องการศึกษา และคอยเป็นกำลังใจให้อยู่ตลอดเวลา จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการศึกษาระดับปริญญาโทมาบัดนี้



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณพงศ์ กสิปประทุม

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	4
2.1 ปัจจัยภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	4
2.1.1 อุณหภูมิ (Temperature).....	4
2.1.2 ความชื้น (Humidity).....	5
2.1.3 ฝุ่น (Dust).....	6
2.1.4 ปริมาณก้อนเมฆ (Cloud).....	6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.2.1 การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์แบบแอคทีฟ (Active Cooling).....	7

2.2.1.1 การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้น้ำ (Water Active Cooling).....	7
2.2.1.2 การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้อากาศ (Air Active Cooling).....	7
2.2.2 การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์แบบพาสซีฟ (Passive Cooling).....	8
2.2.2.1 การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ตัวกระจายความร้อน (Heat Spreader).....	8
2.2.2.2 การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้สารเปลี่ยนสถานะ (Phase Change Material).....	9
2.2.2.3 การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling).....	10
2.3 แบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับการดูดน้ำของผ้า (Wicking model).....	11
2.4 สรุปผลจากการศึกษางานวิจัย.....	12
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	14
3.1 การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นบนเซลล์แสงอาทิตย์.....	14
3.1.1 การนำความร้อนบนเซลล์แสงอาทิตย์ (Heat Conduction).....	14
3.1.2 การพาความร้อนบนเซลล์แสงอาทิตย์ (Heat Convection).....	15
3.1.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation).....	20
3.2 การลดอุณหภูมิด้วยวิธีการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling).....	21
3.2.1 การพามวลสาร (Mass Convection).....	21
3.2.2 การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการระเหยของน้ำ (Evaporative Heat Transfer).....	24
3.3 กลไกการดูดซับน้ำของผ้า (Wicking Mechanism).....	25
3.3.1 การเปียกน้ำของผ้า (Wetting).....	25
3.3.2 การดูดน้ำ (Wicking).....	26
3.3.3 แบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับการดูดน้ำ (Wicking Model).....	27
บทที่ 4 การสร้างแบบจำลองทางทฤษฎี.....	30
4.1 ระบบที่ทำการศึกษา.....	30

4.2	แบบจำลองสมดุลทางความร้อนสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง	31
4.2.1	กรณีทีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป	33
4.2.2	กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง	40
4.2.3	กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ.....	45
4.3	การประยุกต์ใช้แบบจำลองสมดุลทางความร้อนกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ	47
4.3.1	ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองผลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง.....	47
4.3.2	แบบจำลองสมดุลทางความร้อนสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง.....	49
4.3.2.1	กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไป.....	50
4.3.2.2	กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ	53
บทที่ 5	การทดลองเพื่อตรวจสอบแบบจำลองทางทฤษฎี.....	56
5.1	ห้องจำลองสภาวะแวดล้อม (Environmental room).....	56
5.1.1	อุปกรณ์ที่ใช้กับห้องจำลองสภาวะแวดล้อม	57
5.1.2	หลักการทํางานและควบคุมสภาวะอากาศภายในห้องจำลองสภาวะแวดล้อม	61
5.2	อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง (Apparatus)	62
5.2.1	เซลล์แสงอาทิตย์จำลอง	62
5.2.2	อุปกรณ์การวัด.....	65
5.3	วิธีการทดลอง.....	68
5.3.1	การทดสอบสมบัติของผ้า (Fabric testing)	68
5.3.2	การทดลองเพื่อตรวจสอบแบบจำลองทางทฤษฎี (Theoretical Model Validation)...	72
5.3.2.1	การตรวจสอบแบบจำลองกฎของ Darcy.....	72
5.3.2.2	การตรวจสอบแบบจำลองสมดุลทางความร้อน	73
บทที่ 6	การวิเคราะห์ผลจากแบบจำลองทางทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง.....	76

6.1 การวิเคราะห์ผลของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองในเงื่อนไขสภาวะอากาศคงที่.....	76
6.2 การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์จำลองในเงื่อนไขสภาวะอากาศต่างๆ.....	86
6.2.1 กรณีอุณหภูมิกอากาศต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากัน.....	86
6.2.2 กรณีอุณหภูมิกอากาศเท่ากันและความชื้นสัมพัทธ์ต่างกัน.....	90
บทที่ 7 การทำนายผลการประยุกต์ใช้การระเหยน้ำจากผ้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ.....	95
7.1 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เทียบกับเวลา.....	97
7.1.1 กรณีใช้ผ้าความหนาเท่ากันแต่ติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงต่างกัน.....	97
7.1.2 กรณีติดตั้งผ้าที่มีความหนาต่างกันที่ระยะความสูงเดียวกัน.....	102
7.2 การวิเคราะห์ภาพรวมรายปีของการติดตั้งผ้าในรูปแบบต่างกัน.....	106
บทที่ 8 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	111
บรรณานุกรม.....	113
ภาคผนวก ก Code แบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับกรณีต่าง ๆ ด้วยการใช้โปรแกรม MATLAB	117
ก.1 Code สำหรับการดูน้ำหนักของผ้า.....	118
ก.2 Code แบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป.....	120
ก.3 Code แบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง.....	124
ก.4 Code แบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อม กับแหล่งน้ำ.....	130
ก.5 Code แบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไป.....	137
ก.6 Code แบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งผ้าไว้ที่ด้านหลังพร้อม กับแหล่งน้ำ.....	146
ภาคผนวก ข รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	158
ข.1 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermocouple).....	159
ข.2 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer).....	161
ข.3 มัลติมิเตอร์ (Multimeter).....	162

ข.4 ไมโครมิเตอร์ (Micrometer).....	165
ภาคผนวก ค รายละเอียดของเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่นำมาใช้ในการจำลอง	167
ประวัติผู้เขียน.....	170



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 แสดงสมการหาค่าตัวเลข Nusselt สำหรับการพาความร้อนแบบตามธรรมชาติ รูปแบบต่าง ๆ.....	19
ตารางที่ 3.2 แสดงสมการหาค่าตัวเลข Sherwood รูปแบบต่าง ๆ.....	24
ตารางที่ 3.3 สมการคำนวณความดันในการดูน้ำ.....	28
ตารางที่ 4.1 สมบัติเชิงความร้อนสำหรับส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์.....	48
ตารางที่ 4.2 สมบัติเชิงความร้อนของตัวเซลล์แสงอาทิตย์.....	48
ตารางที่ 6.1 ผลของความหนาผ้าสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำ ไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ.....	86
ตารางที่ 6.2 อุณหภูมิสุดท้ายของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไปหลังได้รับความร้อน ขนาด 460 W/m^2 เป็นเวลา 4 ชั่วโมงและร้อยละของการถ่ายเทความร้อนภายใต้ เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศที่แตกต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 65.....	88
ตารางที่ 6.3 อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่มีการลดอุณหภูมิด้วยการติดตั้งผ้าชุ่มน้ำ ไว้ที่ด้านหลังและร้อยละของการถ่ายเทความร้อนภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศที่แตกต่างกันและ ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 65.....	89
ตารางที่ 6.4 ความสูงที่เหมาะสมในการติดตั้งผ้าและปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อใช้ในการลดอุณหภูมิ ได้ตลอดเวลาสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำภายใต้ เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศที่แตกต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 65.....	89

ตารางที่ 6.5 อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไปและร้อยละของการถ่ายเทความร้อน
ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน.....91

ตารางที่ 6.6 อุณหภูมิด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่มีการลดอุณหภูมิและร้อยละของการ
ถ่ายเทความร้อนภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 35 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์
แตกต่างกัน.....92

ตารางที่ 6.7 ความสูงที่เหมาะสมในการติดตั้งผ้าและปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อใช้ในการลดอุณหภูมิ
ได้ตลอดเวลาสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ
ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 35 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์แตกต่าง.....92

ตารางที่ 6.8 ผลการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง ระยะความสูงเหมาะสมในการติดตั้งผ้า
และปริมาณน้ำที่ใช้ ภายใต้เงื่อนไขสภาวะอากาศต่างๆ.....93

ตารางที่ 7.1 ปริมาณน้ำที่ใช้และสูญเสียสำหรับติดตั้งผ้าความหนา 1 เทา ที่ระยะความสูงต่าง ๆ...100

ตารางที่ 7.2 ปริมาณน้ำที่ใช้และสูญเสียในการติดตั้งผ้าความหนาต่าง ๆ ที่ระยะความสูง
7.5 เซนติเมตร.....104

ตารางที่ 7.3 แสดงผลการจำลองจากแบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับระยะเวลา 1 ปี.....107

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.1 มุมสัมผัสระหว่างรอยต่อตัวกลาง.....	25
รูปที่ 3.2 การดูหน้าของผ้า.....	26
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนในการคำนวณหาความสูงในการดูหน้าและอัตราการดูหน้าของผ้า.....	29
รูปที่ 4.1 ระบบที่ทำการศึกษา.....	30
รูปที่ 4.2 แบบจำลองสมดุลทางความร้อนของระบบ.....	32
รูปที่ 4.3 แบบจำลองสมดุลทางความร้อนของระบบกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป.....	33
รูปที่ 4.4 วงจรความต้านทานทางความร้อนกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป.....	34
รูปที่ 4.5 แสดงการแบ่งจุดต่อของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป.....	34
รูปที่ 4.6 พลักซ์ความร้อนที่เข้าจุดต่อด้านหน้าเซลล์ (จุดที่ 1).....	35
รูปที่ 4.7 พลักซ์ความร้อนที่เข้าจุดต่อตรงกลางเซลล์ (จุดที่ 2).....	36
รูปที่ 4.8 พลักซ์ความร้อนที่เข้าจุดต่อด้านหลังเซลล์ (จุดที่ 3).....	37
รูปที่ 4.9 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าอุณหภูมิกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป.....	39
รูปที่ 4.10 แบบจำลองสมดุลทางความร้อนของระบบกรณีที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง.....	40
รูปที่ 4.11 วงจรความต้านทานทางความร้อนที่เซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง.....	40
รูปที่ 4.12 แสดงการแบ่งจุดต่อของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง.....	41
รูปที่ 4.13 พลักซ์ความร้อนที่เข้าจุดต่อระหว่างเซลล์กับผ้าสาธิต (จุดที่ 3).....	41
รูปที่ 4.14 พลักซ์ความร้อนที่เข้าจุดต่อด้านหลังเซลล์ (จุดที่ 4).....	42

รูปที่ 4.15 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าอุณหภูมิกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง.....	44
รูปที่ 4.16 แบบจำลองสมดุลทางความร้อนของระบบกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ.....	45
รูปที่ 4.17 แบบจำลองสมดุลทางความร้อนของระบบกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ.....	46
รูปที่ 4.18 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ของจริง.....	47
รูปที่ 4.19 แบบจำลองสมดุลทางความร้อนสำหรับกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไป.....	50
รูปที่ 4.20 วงจรต้านทานทางความร้อนสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไป.....	50
รูปที่ 4.21 จุดต่อต่าง ๆ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไป.....	51
รูปที่ 4.22 แบบจำลองสมดุลทางความร้อนของระบบกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ.....	53
รูปที่ 4.23 วงจรต้านทานทางความร้อนสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ.....	54
รูปที่ 4.24 จุดต่อต่าง ๆ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ.....	54
รูปที่ 5.1 อุปกรณ์ภายในห้องจำลองสภาวะแวดล้อม.....	57
รูปที่ 5.2 แผ่นทำความร้อน.....	57
รูปที่ 5.3 เครื่องเป่าลม.....	58
รูปที่ 5.4 คอยล์เย็น.....	58
รูปที่ 5.5 เกือบค่าตัวอย่างอากาศ.....	59
รูปที่ 5.6 เครื่องควบคุมความชื้น.....	59

รูปที่ 5.7 ถังน้ำเย็น.....	60
รูปที่ 5.8 เครื่องทำน้ำเย็น.....	60
รูปที่ 5.9 เครื่องสูบน้ำ.....	61
รูปที่ 5.10 เทอโมมิเตอร์กระเปาะแห้งและเทอโมมิเตอร์กระเปาะเปียก.....	62
รูปที่ 5.11 แผ่นอะลูมิเนียมบาง.....	63
รูปที่ 5.12 แผ่นทำความร้อนซิลิโคน.....	63
รูปที่ 5.13 แผ่นฉนวนกันความร้อน.....	64
รูปที่ 5.14 เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง.....	64
รูปที่ 5.15 ผ้าอ้อมสาธุ.....	64
รูปที่ 5.16 เซลล์แสงอาทิตย์จำลอง.....	65
รูปที่ 5.17 เครื่องวัดอุณหภูมิชนิด K และตำแหน่งติดตั้งหัววัด.....	66
รูปที่ 5.18 เครื่องวัดความเร็วลม.....	66
รูปที่ 5.19 มัลติมิเตอร์.....	67
รูปที่ 5.20 ไมโครมิเตอร์.....	67
รูปที่ 5.21 วิธี Water Displacement Method.....	69
รูปที่ 5.22 วิธี Falling Head Parameter.....	70
รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln \frac{x_0}{x}$ กับเวลา เพื่อใช้ในการหาค่าสภาพซึบซาบของผ้า.....	71
รูปที่ 5.24 การทดสอบเพื่อหาค่าความสูงสูงสุดที่ผ้าสามารถดูดน้ำขึ้นไปได้.....	71
รูปที่ 5.25 แสดงผลลัพธ์จากการทดลองหาความสูงมากที่สุดที่ผ้าสามารถดูดน้ำขึ้นไปได้.....	72
รูปที่ 5.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยที่ผ้าดูดซับน้ำกับเวลา.....	73

รูปที่ 5.27 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองกับเวลา สำหรับกำลังไฟฟ้า 460 W/m² ที่สภาวะทดสอบอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 สำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป.....74

รูปที่ 5.28 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองกับเวลา สำหรับกำลังไฟฟ้า 460 W/m² ที่สภาวะทดสอบอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 สำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง.....74

รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ได้รับความร้อน ขนาด 460 W/m² เทียบกับเวลา 4 ชั่วโมง สำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง และกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ.....77

รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาของผ้าต่างๆ กับอุณหภูมิสุดท้ายที่ด้านหลังของเซลล์ที่เวลา 4 ชั่วโมงและระยะเวลาที่สามารถลดอุณหภูมิได้ สำหรับความร้อน 460 W/m² ในกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง.....78

รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการควบแน่นของผ้าเทียบกับระยะความสูงในการติดตั้งผ้าต่าง ๆ.....80

รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงในการติดตั้งผ้าที่ระยะต่าง ๆ กับอุณหภูมิของเซลล์และปริมาณน้ำที่เหลือในผ้าสาธิตเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง สำหรับความร้อน 460 W/m² ในกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ.....81

รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการควบแน่นของผ้าอัตราการระเหยน้ำของผ้าและปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้าเทียบกับความสูงในการติดตั้งผ้าที่ระยะต่าง ๆ สำหรับการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง และความร้อนขนาด 460 W/m².....81

รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ณ สภาวะคงที่สุดท้ายและเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิตำแหน่งด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองเทียบกับความสูงในการติดตั้งผ้าที่ระยะต่าง ๆ.....84

รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะติดตั้งผ้าต่าง ๆ กับอุณหภูมิสุดท้ายของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง ณ สภาวะคงที่ ปริมาณน้ำที่ใช้ และปริมาณน้ำที่เหลือในผ้าสาธิตเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง สำหรับความร้อน 460 W/m².....85

รูปที่ 6.8 อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ได้รับความร้อนขนาด 460 W/m^2 เทียบกับเวลา 4 ชั่วโมง ทั้ง 3 กรณี (กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง และกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ) ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศที่แตกต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 65.....	87
รูปที่ 6.9 อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ได้รับความร้อนขนาด 460 W/m^2 เทียบกับเวลา 4 ชั่วโมง ทั้ง 3 กรณี (กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง และกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ) ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 35.0 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน.....	90
รูปที่ 7.1.ก ความเข้มแสงอาทิตย์ระหว่างวันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561.....	95
รูปที่ 7.1.ข อุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกระหว่างวันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561.....	96
รูปที่ 7.1.ค ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างวันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561.....	96
รูปที่ 7.1.ง ความเร็วลมระหว่างวันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561.....	97
รูปที่ 7.2 ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้าสำหรับกรณีติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงต่าง ๆ ที่ความหนาผ้า 1 เท่า ระหว่างวันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561.....	98
รูปที่ 7.3 อุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงกรณีติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงต่าง ๆ ที่ความหนาผ้า 1 เท่า ระหว่างวันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561.....	100
รูปที่ 7.4 ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้าสำหรับกรณีติดตั้งผ้าที่ระยะความสูง 7.5 เซนติเมตร โดยใช้ความหนาผ้าต่างกัน ระหว่างวันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561.....	103
รูปที่ 7.5 อุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงสำหรับกรณีติดตั้งผ้าที่ระยะความสูง 7.5 เซนติเมตร โดยใช้ความหนาผ้าต่างกัน ระหว่างวันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561.....	105

สัญลักษณ์และอักษรย่อ

อักษรโรมัน

A_{cond}	พื้นที่ผิวในการนำความร้อน (m^2)
A_{conv}	พื้นที่ผิวในการพาความร้อน (m^2)
A_{rad}	พื้นที่ผิวในการแผ่รังสีความร้อน (m^2)
$A_{cs,wick}$	พื้นที่หน้าตัดผ้า (m^2)
A_s	พื้นที่ผิว (m^2)
$A_{s,cell}$	พื้นที่ผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)
$C_{p,bs}$	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของแผ่นประกอบหลัง (J/kg.K)
$C_{p,cell}$	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ (J/kg.K)
$C_{p,cott}$	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของผ้า (J/kg.K)
$C_{p,EVA}$	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของแผ่น EVA (J/kg.K)
$C_{p,glass}$	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของกระจก (J/kg.K)
D_{AB}	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของมวล (m^2/s)
D_{H_2O-air}	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของมวลระหว่างน้ำกับอากาศ (m^2/s)
\dot{E}_{in}	อัตราการถ่ายเทพลังงานที่เข้าสู่ระบบ (W)
\dot{E}_{out}	อัตราการถ่ายเทพลังงานที่ออกจากระบบ (W)
E_{system}	พลังงานภายในระบบ (J)
e	ค่าคงตัวของ Euler มีค่าประมาณ 2.7183

F	View factor
Gr_L	ตัวเลข Grashof
\dot{G}_{solar}	ค่าการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (W/m^2)
g	ค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก มีค่าเท่ากับ $9.81\ m/s^2$
h_{conv}	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2K)
h_{fg}	ความร้อนแฝงจำเพาะ (kJ/kg)
h_{mass}	สัมประสิทธิ์การพามวลสาร (m/s)
h_w	ความสูงที่ผ้าดูดซับน้ำขึ้นไปได้ (m)
$h_{w,max}$	ความสูงที่ผ้าดูดซับน้ำขึ้นไปได้สูงสุด (m)
K	สภาพซึมซาบของผ้า (m^2)
k	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวกลาง ($W/m.K$)
k_{bs}	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นประกบหลัง ($W/m.K$)
k_{cell}	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเซลล์แสงอาทิตย์ ($W/m.K$)
k_{cott}	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้า ($W/m.K$)
k_{EVA}	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่น EVA ($W/m.K$)
k_{glass}	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของกระจก ($W/m.K$)
L	ความยาวของวัตถุในการถ่ายเทความร้อน (m)
L_c	ความยาวลักษณะเฉพาะของวัตถุในการถ่ายเทความร้อน (m)
L_{wick}	ความยาวของผ้า (m)
m_{dry}	มวลของผ้าแห้ง (kg)
\dot{m}_{evap}	อัตราการระเหยของมวล (kg/s)

m_{sub}	มวลของผ้าขณะที่ยุ่มอยู่ในน้ำทั้งผืน (kg)
m_{wet}	มวลของผ้าชุมน้ำ (kg)
\dot{m}_{wick}	อัตราการดูดน้ำของผ้า (kg/s)
Nu_L	ตัวเลข Nusselt
$\overline{Nu}_{L,forced}$	ตัวเลข Nusselt สำหรับการพาความร้อนแบบบังคับ
$\overline{Nu}_{L,mixed}$	ตัวเลข Nusselt สำหรับการพาความร้อนแบบผสม
$\overline{Nu}_{L,natural}$	ตัวเลข Nusselt สำหรับการพาความร้อนแบบตามธรรมชาติ
P	ความยาวเส้นรอบรูป (m)
P_{atm}	ความดันบรรยากาศ (atm)
P_s	ความดันในการดูดน้ำ (Pa)
P_{pv}	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ (W)
$P_{pv,stc}$	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง ในสภาวะทดสอบ (W)
Pr	ตัวเลข Prandtl
\dot{Q}_{cond}	อัตราการถ่ายเทความร้อนจากการนำความร้อนผ่านตัวกลาง (W)
\dot{Q}_{conv}	อัตราการถ่ายเทความร้อนจากการพาความร้อน (W)
$\dot{Q}_{conv,f}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง จากการพาความร้อน (W)
$\dot{Q}_{conv,b}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง จากการพาความร้อน (W)
\dot{Q}_{evap}	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจากการระเหย (W)

\dot{Q}_{rad}	อัตราการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสี (W)
$\dot{Q}_{rad,f}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนด้านหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง จากการแผ่รังสี (W)
$\dot{Q}_{rad,b}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง จากการแผ่รังสี (W)
q''	ฟลักซ์ความร้อน (W/m^2)
q''_{conv}	ฟลักซ์ความร้อนจากการพาความร้อน (W/m^2)
q''_{evap}	ฟลักซ์ความร้อนจากการระเหย (W/m^2)
q''_{rad}	ฟลักซ์ความร้อนจากการแผ่รังสี (W/m^2)
q''_s	ฟลักซ์ความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อน (W/m^2)
R_c	รัศมีหลอดคาปิลารี (m)
R_{fb}	รัศมีเส้นใย (m)
R_p	รัศมีอนุภาคทรงกลม (m)
R_{sr}	รัศมีของหลอดชนิดยา (m)
R_{wick}	รัศมีของผ้า (m)
Re_L	ตัวเลข Reynolds
Ra_L	ตัวเลข Rayleigh
Sc	ตัวเลข Schmit
Sh	ตัวเลข Sherwood
Sh_{forced}	ตัวเลข Sherwood สำหรับการพามวลสารแบบบังคับ
$Sh_{natural}$	ตัวเลข Sherwood สำหรับการพามวลสารแบบตามธรรมชาติ

T	อุณหภูมิของอากาศ (K)
T_{amb}	อุณหภูมิของอากาศ ณ สภาวะแวดล้อม (K)
T_{cell}	อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (K)
T_s	อุณหภูมิผิวของตัวกลางที่สัมผัสกับอากาศ (K)
T_w	อุณหภูมิของน้ำ (K)
t	เวลา (s)
V_{porous}	ปริมาตรช่องว่างในเนื้อผ้า (m^3)
V_{total}	ปริมาตรของผ้าทั้งหมด (m^3)
\bar{v}	ความเร็วของของไหล (m/s)
$w_{w,s}$	เศษส่วนโดยมวลของน้ำที่อิมมิด์
$w_{w,amb}$	เศษส่วนโดยมวลของน้ำที่สภาวะแวดล้อม
x	ความสูงของระดับน้ำที่ลดลง (m)
x_0	ความสูงของระดับน้ำเริ่มต้น (m)
x_{bs}	ความหนาของแผ่นประกบหลัง (m)
x_{cell}	ความหนาของเซลล์แสงอาทิตย์ (m)
x_{cott}	ความหนาของผ้า (m)
x_{EVA}	ความหนาของแผ่น EVA (m)
x_{glass}	ความหนาของกระจก (m)

อักษรกรีก

α	ค่าการแพร่ทางความร้อน (m^2/s)
β	สัมประสิทธิ์การขยายตัวของความร้อนเชิงปริมาตร (K^{-1})
γ_{lv}	ค่าแรงตึงผิวระหว่างผิวของน้ำกับอากาศ (N/m)
γ_{sl}	ค่าแรงตึงผิวระหว่างผิวของผ้ากับน้ำ (N/m)
γ_{sv}	ค่าแรงตึงผิวระหว่างผิวของผ้ากับอากาศ (N/m)
δ_{cell}	สัมประสิทธิ์ในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์ต่ออุณหภูมิของเซลล์
ϵ	ความสามารถในการดูดกลืนแสงของวัตถุ
ϵ	ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสี
ϵ_{bs}	ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของแผ่นประกบหลัง
ϵ_{cell}	ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของเซลล์แสงอาทิตย์
ϵ_{cott}	ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของผ้า
η_{pv}	ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง
θ	ค่าของมุมที่เซลล์แสงอาทิตย์กระทำกับแนวระดับ
θ_d	ค่ามุมสัมผัสระหว่างรอยต่อของน้ำ-อากาศ กับรอยต่อของผ้า-น้ำ
μ	ความหนืดพลวัตของของไหล ($kg/m.s$)
ρ	ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)
ρ_{bs}	ความหนาแน่นของแผ่นประกบหลัง (kg/m^3)
ρ_{cell}	ความหนาแน่นของเซลล์แสงอาทิตย์ (kg/m^3)
ρ_{cott}	ความหนาแน่นของผ้า (kg/m^3)

ρ_{EVA}	ความหนาแน่นของแผ่น EVA (kg/m^3)
ρ_{glass}	ความหนาแน่นของกระจก (kg/m^3)
ρ_{mix}	ความหนาแน่นของอากาศผสมกับไอน้ำ (kg/m^3)
ρ_w	ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)
σ	ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzman มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
ϑ	ความหนืดจลน์ (m^2/s)
ϕ	ความพรุนของผ้า



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic panel) ได้รับความนิยมน้อย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าใช้กับภาคครัวเรือน ภาคเกษตรกรรม หรือการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าให้แก่ชุมชน เพราะเป็นพลังงานหมุนเวียนและไม่ปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม การผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะได้นำตัวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปติดตั้งไว้ที่ ๆ มีแสงอาทิตย์ส่องทั่วถึงเพื่อสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้นอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วยังขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอกที่เกี่ยวข้องกับ สภาพภูมิอากาศและสถานที่ติดตั้งด้วย เช่น ความเข้มแสงอาทิตย์ (Irradiance) อุณหภูมิ (Temperature) ความชื้น (Humidity) และอื่น ๆ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยภายนอกเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุด คือ อุณหภูมิ โดยเมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส จะทำให้ประสิทธิภาพลดลงไปประมาณร้อยละ 0.4 ถึงร้อยละ 0.5 ดังนั้นจึงต้องหาวิธีลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ลงเพื่อที่จะทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าและประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้น

วิธีการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์แบบแอคทีฟ (Active Cooling) เป็นวิธีการลดอุณหภูมิที่ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าจากภายนอก เช่น พัดลม เครื่องสูบน้ำ เป็นต้น เข้ามาช่วยในการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ และวิธีที่สองคือ การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์แบบพาสซีฟ (Passive Cooling) เป็นวิธีการลดอุณหภูมิโดยอาศัยหลักการตามธรรมชาติ และไม่ต้องใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าจากภายนอกเข้ามาช่วยในการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น การลดอุณหภูมิด้วยตัวกระจายความร้อน (Heat Spreader) การลดอุณหภูมิด้วยสารเปลี่ยนสถานะ (Phase Change Material) และ

การลดอุณหภูมิด้วยวิธีการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling) เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้จะเลือกวิธีการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์แบบพาสซีฟเข้ามาช่วยในการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะเป็นวิธีที่สะดวกและไม่สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าจากภายนอก

สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกศึกษาการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์แบบพาสซีฟด้วยการระเหยผ้าเปียก โดยจะศึกษาจากแผ่นอะลูมิเนียมเรียบแทนเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดด้วยผ้าอ้อมสาธิตสำหรับการระเหยผ้าเปียกไว้ด้านหลัง ปลายผ้าด้านหนึ่งจะถูกจุ่มไว้กับแหล่งน้ำเพื่อให้ผ้าสามารถดูดน้ำขึ้นมาใช้ในการระเหยน้ำเพื่อลดอุณหภูมิได้ โดยผู้วิจัยทำการสร้างแบบจำลองทางทฤษฎีเกี่ยวกับสมดุลทางความร้อนพร้อมกับประยุกต์ใช้แบบจำลองการดูดน้ำของผ้าเพื่อทำนายผลการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ และได้มีการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์จำลองจากแผ่นเรียบแล้วนำไปทดลองในห้องจำลองสภาวะแวดล้อมที่ควบคุมสภาวะอากาศคงที่ เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางทฤษฎีที่สร้างขึ้น แล้วจึงนำแบบจำลองที่ตรวจสอบแล้วมาวิเคราะห์หาผลที่เกิดจากสภาวะอากาศที่มีต่อการระบายความร้อนด้วยวิธีระเหยผ้าเปียก และขยายผลเพื่อจำลองผลการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงภายใต้เงื่อนไขสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาในระยะเวลา 1 ปี

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลการลดอุณหภูมิของแผ่นเรียบด้วยวิธีการระเหยน้ำจากผ้าเปียก

1.2.2 เพื่อสร้างแบบจำลองทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับ การทดลองในการวิเคราะห์ผลของการลดอุณหภูมิของแผ่นเรียบด้วยวิธีการระเหยน้ำจากผ้าเปียกสำหรับเป็นเครื่องมือในการออกแบบอุปกรณ์ใช้งานจริง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ทดสอบแบบจำลองในห้องจำลองสภาวะอากาศคงที่และมีค่าใกล้เคียงกับสภาวะอากาศของประเทศไทย

1.3.2 แผ่นเรียบที่ทำการศึกษาคำด้วยแผ่นอะลูมิเนียมหนา 3 มิลลิเมตร เพื่อจำลองสภาวะเชิงความร้อนที่เกิดขึ้นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเน้นการวิเคราะห์เชิงความร้อนเป็นหลัก

1.3.3 วัสดุที่นำมาใช้ในการดูต้นน้ำและระเหยน้ำเพื่อนำไปลดอุณหภูมิของแผ่นเรียบ คือ ผ้าสาหลู

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้แบบจำลองทางทฤษฎีไปใช้ในการคำนวณสำหรับการติดตั้งผ้าเปียกเพื่อประมาณการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง

1.4.2 สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองไปใช้เป็นแนวทางในการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง

1.4.3 สามารถประเมินความคุ้มค่าจากการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ลดอุณหภูมิสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง

บทที่ 2

งานวิจัยที่ผ่านมา

งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีขอบเขตการศึกษาอย่างกว้างขวาง โดยเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่แสดงถึงปัจจัยภายนอกต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนเพื่อให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจถึงที่มาของปัญหาที่กำลังศึกษา จากนั้นจะกล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวกับวิธีการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งแบบแอคทีฟ (Active Cooling) และแบบพาสซีฟ (Passive Cooling) เพื่อให้ผู้อ่านสามารถเห็นภาพรวมและรับรู้ถึงวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ และสุดท้ายกล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวกับแบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับการดูดน้ำของผ้า เพื่อให้ผู้อ่านได้ทราบถึงแบบจำลองทางทฤษฎีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้

2.1 ปัจจัยภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าปัจจัยภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นประกอบด้วยหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิ (Temperature) ความชื้น (Humidity) ฝุ่น (Dust) และปริมาณก้อนเมฆบนท้องฟ้า (Cloud) เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้กำลังการผลิตไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง

2.1.1 อุณหภูมิ (Temperature)

M.M. Rahman *et al.* [1] ศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ จากการศึกษผลกระทบของอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น โดยทำการปรับค่าอัตราความเข้มแสงต่อพื้นที่ (Irradiation) เป็น 400 W/m^2 , 600 W/m^2 , 800 W/m^2 และ 1000 W/m^2 พบว่าที่อัตราความเข้มแสงต่อพื้นที่เท่ากับ 1000 W/m^2 ทำให้อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นมา 56 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลให้กำลังผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงไป 20.47 W และประสิทธิภาพลดลงไปร้อยละ 3.13 จากการทดลองนั้นสามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงไปประมาณร้อยละ 0.06 เมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส

M. Chandrasekar *et al.* [2] ศึกษาเกี่ยวกับการใช้เชือกผ้าฝ้ายในการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ในตอนแรกนั้นได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น พบว่าเมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นจาก 37 องศาเซลเซียส เป็น 65 องศาเซลเซียส ส่งผลให้กำลังผลิตกระแสไฟฟ้าลดลงจาก 50 W เป็น 41 W (ลดลงร้อยละ 18) และประสิทธิภาพลดลงจากร้อยละ 10.3 เป็นร้อยละ 9 (ลดลงร้อยละ 12.6) จากการทดลองนั้นสามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงไปประมาณร้อยละ 0.05 เมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส

A. A. Katkar *et al.* [3] ได้ประเมินสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมจากผลของอุณหภูมิและความชื้นด้วยการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปทดสอบในห้องจำลองสภาพแวดล้อม พบว่าในช่วงเริ่มต้นเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพร้อยละ 9.702 ที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส จากนั้นประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 12.04 ที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส หลังจากเมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ พบว่าประสิทธิภาพเริ่มมีค่าลดลงจนกระทั่งประสิทธิภาพมีค่าร้อยละ 2.37 ที่อุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 36 องศาเซลเซียส จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงสุด และหากอุณหภูมิยิ่งเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง

2.1.2 ความชื้น (Humidity)

M.M. Rahman *et al.* [1] ศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ จากการศึกษาผลกระทบของความชื้นอากาศที่เพิ่มขึ้น โดยทำการปรับค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเป็นร้อยละ 40, ร้อยละ 50 และร้อยละ 60 พบว่าเมื่อเพิ่มความชื้นจากร้อยละ 40 เป็นร้อยละ 50 (เพิ่มขึ้นร้อยละ 10) นั้นทำให้กำลังผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง 1.58 W และเมื่อเพิ่มความชื้นจากร้อยละ 40 เป็นร้อยละ 60 (เพิ่มขึ้นร้อยละ 20) นั้นทำให้กำลังผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง 3.16 W

M. Chaichan *et al.* [4] ศึกษาผลกระทบของความชื้นต่อเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศโอมาน โดยนำเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ประเภท ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ประเภท Amorphous เซลล์แสงอาทิตย์ประเภท Polycrystalline และเซลล์แสงอาทิตย์ประเภท Monocrystalline

มาทดสอบ ณ สภาวะแวดล้อมเดียวกัน พบว่าเมื่อความชื้นมีค่าลดลง เซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ประเภท มีกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น

2.1.3 ฝุ่น (Dust)

S. A. M. [5] ศึกษาผลกระทบของฝุ่นต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับกระบวนการผลิตน้ำร้อน โดยทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ปกติกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีฝุ่นเกาะด้านหน้าของแผงเป็นระยะเวลา 1 ปี พบว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีฝุ่นเกาะมีค่าลดลงเฉลี่ยร้อยละ 7 ต่อเดือนเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ปกติ

Z. Jing *et al.* [6] ศึกษาผลกระทบของฝุ่นต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับกระบวนการผลิตน้ำร้อน โดยทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ปกติกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีฝุ่นเกาะด้านหน้าของแผง ซึ่งผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงร้อยละ 9.7 เมื่อทดสอบในสภาวะอากาศคงที่และประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 12 เมื่อทดสอบในสภาวะอากาศจริง

2.1.4 ปริมาณก้อนเมฆ (Cloud)

A. Bonkaney *et al.* [7] ศึกษาผลกระทบของปริมาณก้อนเมฆต่อกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไนอามี ผลการทดลองพบว่าในวันที่ท้องฟ้ามีปริมาณก้อนเมฆมากนั้น กำลังผลิตกระแสไฟฟ้าลดลงไปสูงสุดร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส

M. H. Ali และ A. Ibrahim Gaya [8] ศึกษาผลกระทบของปริมาณก้อนเมฆต่อกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการทดลอง ณ สภาวะอากาศจริงทั้งหมด 3 สถานที่ พบว่าปริมาณก้อนเมฆบนท้องฟ้านั้นส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาทดลองทั้ง 3 สถานที่นี้ลดลงไปร้อยละ 0.96 ถึงร้อยละ 3.77

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

จากการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าอุณหภูมิส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุด โดยเมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส จะทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงไปประมาณร้อยละ 0.4 ถึงร้อยละ 0.5 ซึ่งจะส่งผลให้กำลังการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นลดลงด้วยปัจจัยนี้ทำให้ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวกับวิธีการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

เพื่อให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น พบว่าวิธีการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์แบบแอคทีฟ (Active Cooling) และการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์แบบพาสซีฟ (Passive Cooling) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์แบบแอคทีฟ (Active Cooling)

วิธีการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์แบบแอคทีฟประกอบด้วย 2 วิธี ได้แก่ การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้น้ำ (Water Active Cooling) และการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้อากาศ (Air Active Cooling)

2.2.1.1 การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้น้ำ (Water Active Cooling)

S. Krauter [9] ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้น้ำไหลผ่านด้านหน้าของตัวเซลล์ โดยปั้มน้ำด้วยอัตรา 2 ลิตรต่อนาทีขึ้นมาจากถังเก็บน้ำแล้วฉีดน้ำผ่านหัวฉีดจำนวน 12 หัวที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งทำให้เกิดฟิล์มน้ำขึ้นบนด้านหน้าของเซลล์ พบว่าสามารถลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถึง 22 องศาเซลเซียสและสามารถผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.3 (หากคำนึงถึงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องสูบน้ำด้วยจะพบว่าสามารถผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 8 ถึง 9)

K.A. Moharram *et al.* [10] ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการใช้น้ำในการลดอุณหภูมิของตัวเซลล์ โดยปั้มน้ำด้วยอัตรา 29 ลิตรต่อนาทีขึ้นมาจากถังเก็บน้ำที่ฝังไว้ใต้ดินแล้วฉีดน้ำผ่านหัวฉีดจำนวน 120 หัวที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะให้น้ำสามารถไหลผ่านด้านหน้าของตัวเซลล์ได้ จากการทดลองพบว่าสามารถลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ลงในอัตรา 2 องศาเซลเซียสต่ออนาที มากไปกว่านั้นการทดลองนี้ได้กำหนดเงื่อนไขของอุณหภูมิด้านหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ 4 เงื่อนไข ได้แก่ 40 องศาเซลเซียส 45 องศาเซลเซียส 55 องศาเซลเซียส และ 65 องศาเซลเซียส เพื่อทดสอบหาค่าประสิทธิภาพการให้พลังงานสุทธิที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละอุณหภูมิดังกล่าว พบว่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 45 องศาเซลเซียสนั้นทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการให้พลังงานสุทธิสูงสุด

2.2.1.2 การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้อากาศ (Air Active Cooling)

A.R. Ametia *et al.* [11] ศึกษาเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์อาศัยหลักการพาความร้อนด้วยการใช้พัดลม โดยทำการติดตั้งพัดลมเข้ากับแผ่นสังกะสีแล้วจึงนำไปติดไว้ที่

ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในการทดลองนี้ได้ศึกษาถึงผลของจำนวนพัดลมที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย พบว่าเมื่อติดตั้งพัดลมจำนวน 1, 2, 3 และ 4 นั้นจะทำให้อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงจาก 54.01 องศาเซลเซียส เป็น 49.89 องศาเซลเซียส (ลดลงร้อยละ 8.26), 41.31 องศาเซลเซียส (ลดลงร้อยละ 23.51), 40.06 องศาเซลเซียส (ลดลงร้อยละ 25.82) และ 39.86 องศาเซลเซียส (ลดลงร้อยละ 26.2) ตามลำดับ และส่งผลให้กำลังผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.93 สำหรับพัดลม 1 ตัว, เพิ่มขึ้นร้อยละ 37.17 สำหรับพัดลม 2 ตัว, เพิ่มขึ้นร้อยละ 41.28 สำหรับพัดลม 3 ตัวและเพิ่มขึ้นร้อยละ 44.34 สำหรับพัดลม 4 ตัว ดังนั้นการเพิ่มจำนวนพัดลมขึ้นจะทำให้สามารถลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์และได้กำลังผลิตกระแสไฟฟ้ามากขึ้น แต่ข้อเสียพบว่ามีเมื่อเพิ่มจำนวนพัดลมแล้วจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ในพัดลมเพิ่มขึ้นด้วย

R. Mazón-Hernández *et al.* [12] ศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการใช้ลมเป่าเพื่อลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเปรียบเทียบระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลดอุณหภูมิด้วยการพาความร้อนแบบบังคับกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลดอุณหภูมิด้วยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลดอุณหภูมิด้วยการพาความร้อนแบบบังคับด้วยการใช้พัดลมเป่าด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์นั้นสามารถลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ลงได้ 15 องศาเซลเซียส และกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 15 เมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลดอุณหภูมิด้วยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ

2.2.2 การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์แบบพาสซีฟ (Passive Cooling)

วิธีการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์แบบพาสซีฟมีหลายประเภท เช่น การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ตัวกระจายความร้อน (Heat Spreader) การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้สารเปลี่ยนสถานะ (Phase Change Material) และการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling) เป็นต้น

2.2.2.1 การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ตัวกระจายความร้อน (Heat Spreader)

E. Cuce *et al.* [13] ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์แบบพาสซีฟต่อสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอน โดยการติดตั้งครีบริบายความร้อนที่ทำจากอะลูมิเนียมความหนา 1 mm. จำนวนหลายอันไว้ที่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ในการทดลองนั้นได้มีการเปรียบเทียบอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์และกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ปกติกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดครีบริบายความร้อนที่ค่าอัตราความเข้ม

แสง (Irradiation) ต่างกัน ได้แก่ 200 W/m^2 , 400 W/m^2 , 600 W/m^2 และ 800 W/m^2 พบว่าที่ อัตราความเข้มแสง 800 W/m^2 นั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งระบายความร้อนสามารถลดอุณหภูมิของเซลล์ลงร้อยละ 25.77 กำลังผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 14 และประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 9 เมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบปกติ

L. Idoko *et al.* [14] ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพและกำลังผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อาศัยหลักการลดอุณหภูมิต่าง ๆ โดยทำการติดตั้งแผ่นระบายความร้อนที่ทำจากอลูมิเนียมจำนวน 56 แผ่นไว้ที่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ และทำการรดน้ำที่ด้านหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์ทุก ๆ 1 ชั่วโมงเพื่อเป็นการลดอุณหภูมิด้านหน้าเซลล์แสงอาทิตย์ลงด้วย พบว่าสามารถลดอุณหภูมิที่ด้านหน้าเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 8.8 องศาเซลเซียส (ลดลงร้อยละ 13.33) และสามารถลดอุณหภูมิที่ด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 8 องศาเซลเซียส (ลดลงร้อยละ 13.33) อีกทั้งกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 13.35 เมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการลดอุณหภูมิ

H. Chen *et al.* [15] ทำการจำลองด้วยแบบจำลองทางทฤษฎีเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งครีระบายความร้อนไว้ด้านหลัง ภายใต้เงื่อนไขสภาวะอากาศที่แตกต่างกัน ผลการจำลองพบว่าการติดตั้งครีระบายความร้อนไว้ที่ด้านหลังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางไฟฟ้าได้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.27 ถึงร้อยละ 1.14

2.2.2.2 การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้สารเปลี่ยนสถานะ (Phase Change Material)

M. Khaled *et al.* [16] ทดลองเกี่ยวกับการใช้สารเปลี่ยนสถานะเพื่อลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งสารเปลี่ยนสถานะไว้ที่ด้านหลัง พบว่าอุณหภูมิด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 59 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งสารเปลี่ยนสถานะไว้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 56.3 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าเมื่อติดตั้งสารเปลี่ยนสถานะไว้ที่ด้านหลังแล้วสามารถลดอุณหภูมิที่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ลงไปเฉลี่ย 2.7 องศาเซลเซียส และประสิทธิภาพทางไฟฟ้าขึ้นร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบทั่วไป

F. Kawtharani *et al.* [17] ทดลองเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการใช้สารเปลี่ยนสถานะ โดยนำสารเปลี่ยนสถานะไปติดตั้งไว้ที่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์แล้วทำการทดสอบในห้องจำลองสถานะแวดล้อม พบว่าหลังจากเวลาผ่านไป 15 นาที เซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดสารเปลี่ยนสถานะติดไว้ที่ด้านหลังสามารถทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 16 เมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบทั่วไป

2.2.2.3 การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling)

M. Chandrasekar *et al.* [2] ศึกษาเกี่ยวกับการใช้เชือกผ้าฝ้ายในการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำผ้าฝ้ายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 มม. ขดเป็นวงกลมมาติดไว้ที่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์และปลายเชือกนั้นจุ่มอยู่กับขวดน้ำเพื่อให้สามารถดูดน้ำขึ้นไปใช้ในการระบายความร้อนได้ พบว่าสามารถลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์จาก 65 องศาเซลเซียส เป็น 45 องศาเซลเซียส (ลดลงร้อยละ 30) และได้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดคือ ร้อยละ 10.4

A.H. Alami [18] ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการลดอุณหภูมิด้วยหลักการระเหยของน้ำต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการนำเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นไปวางระหว่างกล่องปิด 2 ใบ จากนั้นติดตั้งเครื่องระบายความร้อนที่ทำจากอะลูมิเนียมขนาด 220 x 120 มม. ไว้ด้านข้างของกล่องทั้ง 2 ใบและนำดินสังเคราะห์เข้าไปติดบนเครื่องระบายความร้อนอีกครั้ง สุดท้ายทำการติดตั้งระบบพ่นน้ำเอาไว้ด้านบนของแผ่นดินสังเคราะห์อีกทีเพื่อให้ดินสังเคราะห์นั้นชื้นอยู่ตลอดเวลา ซึ่งการทดลองนี้ได้ทำการปรับความหนาของแผ่นดินสังเคราะห์ให้มีขนาดต่างกัน ได้แก่ 2 มม., 4 มม. และ 6 มม. พบว่าแผ่นดินสังเคราะห์ที่มีความหนาขนาด 2 มม. ดีที่สุดและทำให้กำลังผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 19.1 เมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการลดอุณหภูมิ

A.H. Alami [19] ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ดินสังเคราะห์กับแผ่นอะลูมิเนียมติดเข้าที่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อช่วยในการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ดินสังเคราะห์หนา 3 มม. กับแผ่นอะลูมิเนียมขนาด 156 x 156 x 1.5 มม. และฉีดน้ำเข้าไปบนแผ่นดินสังเคราะห์ทุก ๆ 5 นาที เพื่อทำให้ดินชื้นและสามารถระบายความร้อนด้วยการระเหยของน้ำได้ พบว่าสามารถลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 18 องศาเซลเซียส และสามารถเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 34.6 เมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการลดอุณหภูมิ

Z. A. Haidar *et al.* [20] ศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยหลักการระเหยของน้ำ โดยนำชิ้นผ้ามาติดไว้ที่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์แล้วจึงติดตั้งท่อน้ำที่ทำจากยางเข้าไปติดกับชิ้นผ้าและท่อน้ำนี้ถูกต่อเข้ากับถังน้ำเพื่อให้ น้ำในถังสามารถไหลผ่านท่อน้ำไปยังชิ้นผ้าได้ ซึ่งจะช่วยให้ชิ้นผ้าเปียกอยู่ตลอดเวลา จากนั้นจึงติดตั้งแผงอะลูมิเนียมเข้าไปยึดชิ้นผ้าอีกครั้งเพื่อทำให้ชิ้นผ้าติดกับด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าสามารถลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 22 องศาเซลเซียส และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ร้อยละ 10 ถึง 14 เมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการลดอุณหภูมิ

2.3 แบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับการดูดน้ำของผ้า (Wicking model)

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับวิธีการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ คือ การลดอุณหภูมิโดยใช้การระเหยของน้ำ (Evaporative cooling) เนื่องจากวิธีนี้เป็นการลดอุณหภูมิแบบพาสซีฟ ทำให้ไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งภายนอกเพื่อใช้กับอุปกรณ์ช่วยลดอุณหภูมิเหมือนวิธีการลดอุณหภูมิแบบแอคทีฟ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดอุณหภูมิสามารถหาซื้อได้ง่ายและมีต้นทุนต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์โดยติดตั้งผ้าไว้ที่ด้านหลังเพื่อเป็นอุปกรณ์ลดอุณหภูมิพร้อมกับแหล่งน้ำ เพื่อให้ผ้าสามารถดูดน้ำจากแหล่งน้ำขึ้นมาทำการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ พบว่าระยะความสูงในการติดตั้งผ้าที่เหมาะสมจากผิวน้ำถึงขอบด้านบนสุดของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวแปรที่สำคัญเพื่อที่จะทำให้ผ้าสามารถดูดน้ำจากแหล่งน้ำเพื่อไปลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตลอดเวลา ดังนั้นผู้วิจัยจะต้องทำการศึกษาถึงแบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับการดูดน้ำของผ้าเพื่อที่จะประมาณค่าความสูงในการติดตั้งผ้าที่เหมาะสม โดยพบว่าแบบจำลองทางทฤษฎีที่ใช้สำหรับทำนายการดูดน้ำของผ้าจะแบ่งหลัก ๆ ออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบจำลองปรากฏการณ์คาปิลารีและแบบจำลองกฎของ Darcy [21] ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาสำหรับแบบจำลองการดูดน้ำของผ้ามีดังนี้

R. Masoodi *et al.* [22] ทำการทดลองการดูดของเหลวของไส้ตะเกียงที่ทำจากโพลีเมอร์ชนิดต่างๆ และเปรียบเทียบผลการทดลองกับแบบจำลองทางทฤษฎีทั้ง 2 แบบ พบว่าแบบจำลองที่สามารถทำนายค่าของผลลัพธ์ได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุดคือ แบบจำลองกฎของ Darcy

R. Masoodi *et al.* [23] ทำการทดลองเพิ่มความดันภายนอกในขณะที่ชิ้นส่วนทดลองกำลังดูดของเหลว ซึ่งชิ้นส่วนที่ใช้ในการทดลอง คือ กระดาษทิชชู และผ้าเช็ดโต๊ะ แล้วเปรียบเทียบผล

การทดลองกับแบบจำลองทางทฤษฎีทั้ง 2 แบบ พบว่าแบบจำลองปรากฏการณ์คาปิลารีสามารถทำนายผลได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองเมื่อความดันภายนอกมีค่ามากในขณะที่แบบจำลองกฎของ Darcy สามารถทำนายผลได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองเมื่อความดันภายนอกมีค่าน้อยหรือเท่ากับ 0

M. A. F. Zarandi *et al.* [24] ทำการทดลองการดูดน้ำมันของไส้ตะเกียงที่ทำจากไฟเบอร์กลาส และเปรียบเทียบผลการทดลองกับแบบจำลองกฎของ Darcy พบว่าแบบจำลองนี้สามารถทำนายค่าของผลลัพท์ได้ใกล้เคียงกับผลการทดลอง

2.4 สรุปผลจากการศึกษางานวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่ามียุควิจัยหลายอย่างที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ [1-8] โดยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลมากที่สุดคือ อุณหภูมิ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส จะทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงไปประมาณร้อยละ 0.5 ดังนั้นจึงต้องมีการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพซึ่งวิธีการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ 1) การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์แบบแอคทีฟ และ 2) การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์แบบพาสซีฟ สำหรับ การลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์แบบแอคทีฟ S. Krauter [9] สามารถลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 22 องศาเซลเซียส ทำให้กำลังผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.3 และ A.R. Ametia *et al.* [11] สามารถลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากที่สุดร้อยละ 26.2 ทำให้กำลังผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 44.34 ส่วนการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์แบบพาสซีฟ L. Idoko *et al.* [14] สามารถลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งด้านหน้าเซลล์และด้านหลังเซลล์ได้ร้อยละ 13.33 ทำให้กำลังผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 13.35 และ A.H. Alami [18] สามารถลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 18 องศาเซลเซียส ทำให้กำลังผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 34.6 จากข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้นพบว่าข้อดีของการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์แบบแอคทีฟคือ สามารถลดอุณหภูมิและเพิ่มกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าได้ดีกว่าการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์แบบพาสซีฟ แต่ข้อเสียของการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์แบบแอคทีฟคือ ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งภายนอกเพื่อใช้สำหรับอุปกรณ์ที่ช่วยลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ [9][11] เช่น เครื่องสูบน้ำ พัดลม เป็นต้น ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพสุทธินั้นลดลงและเสียค่าใช้จ่ายสูงขึ้น

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกที่จะใช้วิธีการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์แบบพาสซีฟเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่าย

วิธีการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์แบบพาสซีฟนั้นมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ตัวกระจายความร้อน [13-15] การลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้สารเปลี่ยนสถานะ [16-17] และวิธีลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การระเหยของน้ำ [2] [18-20] เป็นต้น ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกวิธีลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การระเหยของน้ำมาช่วยในการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเหตุผลที่ว่าวิธีการนี้ใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ วัสดุที่นำมาใช้ในการช่วยลดอุณหภูมินั้นสามารถหาง่ายกว่าวิธีอื่น ๆ และวิธีการนี้เหมาะสำหรับสภาพอากาศที่ร้อนและแห้ง

สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการระเหยของน้ำ โดยทำการติดตั้งผ้าไว้ที่ด้านหลังเพื่อเป็นอุปกรณ์ลดอุณหภูมิพร้อมกับแหล่งน้ำ เพื่อให้ผ้าสามารถดูดน้ำจากแหล่งน้ำขึ้นมาทำการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ พบว่าระยะความสูงในการติดตั้งผ้าที่เหมาะสมจากผิวน้ำถึงขอบด้านบนสุดของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวแปรที่สำคัญเพื่อที่จะทำให้ผ้าสามารถดูดน้ำจากแหล่งน้ำเพื่อไปลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตลอดเวลา ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาแบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับการดูดน้ำของผ้าเพื่อที่จะประมาณค่าความสูงในการติดตั้งผ้าที่เหมาะสม โดยจากการศึกษาพบว่าแบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับการดูดน้ำของผ้ามีทั้งหมด 2 แบบ ได้แก่ แบบจำลองปรากฏการณ์คาปิลารี และแบบจำลองกฎของ Darcy [21] ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกแบบจำลองบนพื้นฐานกฎของ Darcy มาใช้ในการประมาณค่าด้วยเหตุผลที่ว่าแบบจำลองนี้สามารถทำนายลักษณะการดูดน้ำของผ้าได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด [22-24]

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่นำมาใช้สำหรับงานวิจัย เพื่อให้ผู้อ่านสามารถรับรู้ถึงที่มาของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบนเซลล์แสงอาทิตย์ที่กำลังศึกษา และสมการต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ โดยแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นบนเซลล์แสงอาทิตย์ การลดอุณหภูมิด้วยวิธีการระเหยของน้ำ และแบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับการควบแน่น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นบนเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจะถูกติดตั้งไว้ที่โล่งแจ้งเพื่อทำให้เซลล์ได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์จะเกิดการผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้น นอกจากนี้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ยังทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) บนเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งหมดบนเซลล์แสงอาทิตย์นี้ประกอบด้วยทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และ การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) [25] โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 การนำความร้อนบนเซลล์แสงอาทิตย์ (Heat Conduction)

การนำความร้อน หมายถึง กระบวนการเคลื่อนที่ของความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำโดยผ่านวัตถุตัวกลาง โดยตัวกลางจะต้องไม่มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในวัตถุดังกล่าว ซึ่งตัวกลางสามารถเป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ในตัวกลางที่เป็นของแข็งนั้น ความร้อนจะถูกถ่ายเทโดยอิเล็กตรอนอิสระภายในของแข็ง กล่าวคือเมื่ออิเล็กตรอนอิสระภายใต้รับความร้อนก็จะมีพลังงานมากขึ้นและเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งจะเป็นการนำเอาพลังงานความร้อนถ่ายเทไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าด้วย นอกจากนี้แล้ว พลังงานความร้อนจะถูกถ่ายเทโดยการสั่นสะเทือนของโมเลกุลที่อยู่ภายในของแข็ง ส่วนของแข็งที่ได้รับความร้อนจะถ่ายเทความร้อนให้กับโมเลกุลที่อยู่ชั้นถัดไปในรูปของพลังงานความสั่นสะเทือน (Vibration Energy) ซึ่งจะทำให้พลังงานความร้อนถูกถ่ายเทเข้าไปยังเนื้อของของแข็งเรื่อย ๆ ส่วนในตัวกลางที่เป็น

ของเหลวและก๊าซนั้น ความร้อนจะถูกถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ด้วยการแพร่และการชนกันของโมเลกุลของของเหลวและก๊าซ

การนำความร้อนที่เกิดขึ้นบนเซลล์แสงอาทิตย์เกิดจากความร้อนที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับจากดวงอาทิตย์ที่ด้านหน้าของเซลล์ถ่ายเทมายังด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์โดยผ่านตัวกลางคือเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากกฎของฟูรีเยร์สำหรับการนำความร้อน (Fourier's law of heat conduction)

$$\dot{Q}_{cond} = -kA_{cond} \frac{\partial T}{\partial x} \quad (3.1)$$

เมื่อ \dot{Q}_{cond} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนจากการนำความร้อนผ่านตัวกลาง (W)

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวกลาง (W/m.K)

A_{cond} คือ พื้นที่ในการนำความร้อน (m^2)

$\frac{\partial T}{\partial x}$ คือ เกรเดียนของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในตัวกลาง (K)

จากสมการที่ 3.1 จะพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนขึ้นอยู่กับ การแจกแจงของอุณหภูมิภายในเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเดียว เพราะว่าทั้งค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนต่างเป็นค่าคงที่ และในการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการนำความร้อนที่เกิดขึ้นบนเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะสมมติให้เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นเพียงแนวเดียว คือ แนวความหนาของเซลล์แสงอาทิตย์

3.1.2 การพาความร้อนบนเซลล์แสงอาทิตย์ (Heat Convection)

การพาความร้อน หมายถึง การถ่ายเทความร้อนโดยที่ตัวกลางจะเคลื่อนที่พร้อมกับการพาความร้อนออกไปด้วย สิ่งที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนด้วยวิธีการพาความร้อนนั้นเกิดจากผลรวมของการนำความร้อน การสะสมพลังงานและการเคลื่อนที่ของของไหล ซึ่งการพาความร้อนจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ การพาความร้อนแบบการบังคับ (Forced Heat Convection) การพาความร้อนแบบตามธรรมชาติ (Natural Heat Convection) และ

การพาความร้อนแบบผสม (Mixed Convection) โดยการพาความร้อนแบบบังคับ คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิววัตถุกับของไหลบริเวณรอบ ๆ ซึ่งของไหลจะถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของวัตถุโดยการอาศัยกลไกภายนอก เช่น พัดลม เครื่องสูบน้ำ เป็นต้น การพาความร้อนแบบตามธรรมชาติ คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของวัตถุกับของไหล โดยที่ไม่มีกลไกภายนอกมาทำให้ของไหลเคลื่อนที่ แต่ของไหลที่อยู่ใกล้กับผิวของวัตถุก็อาจเคลื่อนที่ได้ด้วยแรงลอยตัวของของไหลเอง ซึ่งแรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหลเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหลขึ้น และการพาความร้อนแบบผสม คือ การเกิดการพาความร้อนแบบบังคับกับการพาความร้อนแบบตามธรรมชาติขึ้นพร้อมกัน

การพาความร้อนที่เกิดขึ้นบนเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นได้ทั้งการพาความร้อนแบบบังคับ การพาความร้อนแบบตามธรรมชาติ และการพาความร้อนแบบผสม โดยเกิดการพาความร้อนขึ้นทั้งด้านหน้าและด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการพาความร้อนที่อยู่ในรูปของกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's Law of Cooling) ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 3.2

$$\dot{Q}_{conv} = h_{conv} A_{conv} (T_s - T_{amb}) \quad (3.2)$$

เมื่อ \dot{Q}_{conv} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนจากการพาความร้อน (W)

h_{conv} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2K)

A_{conv} คือ พื้นที่ในการพาความร้อน (m^2)

T_s คือ อุณหภูมิผิวของตัวกลางที่สัมผัสกับอากาศ (K)

T_{amb} คือ อุณหภูมิของอากาศ ณ สภาวะแวดล้อม (K)

หากพิจารณาถึงตัวแปรต่าง ๆ ในจากสมการที่ 3.3 แล้ว พบว่าตัวแปรที่เป็นอุณหภูมิ ณ จุดต่าง ๆ หรือพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถวัดเพื่อหาค่าได้โดยตรง แต่ตัวแปรที่เป็นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h_{conv}) นั้นไม่สามารถหาได้จากการตรวจวัด ดังนั้นจึงต้องทำการคำนวณหาจากตัวเลข Nusselt ดังสมการที่ 3.3

$$Nu_L = \frac{h_{conv} L_c}{k} \quad (3.3)$$

เมื่อ Nu_L คือ ตัวเลข Nusselt

L_c คือ ความยาวลักษณะเฉพาะของพื้นที่ผิวในการ
ถ่ายเทความร้อน (m)

การแบ่งลักษณะของการพาความร้อนนั้นสามารถแบ่งได้โดยใช้อัตราส่วนของแรงลอยตัวของของไหล (Buoyancy) ต่อความเค้นเฉือนในการไหล (Flow shear) สำหรับแรงลอยตัวของของไหลคือ ตัวเลข Grashof (Gr_L) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของแรงลอยตัวของของไหลต่อแรงหนืดของของไหลสามารถหาได้จากสมการที่ 3.4

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_{amb})L^3}{\nu^2} \quad (3.4)$$

เมื่อ g คือ ค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก มีค่าเท่ากับ 9.81 m/s^2

β คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวของความร้อนเชิงปริมาตร (K^{-1})

ν คือ สัมประสิทธิ์ความหนืดจลน์ (m^2/s)

และความเค้นเฉือนในการไหล คือ ตัวเลข Reynolds (Re_L) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของแรงเฉื่อย (Inertia) ต่อแรงหนืด (Viscosity) สามารถหาได้จากสมการที่ 3.5

$$Re_L = \frac{\rho \bar{v} L}{\mu} \quad (3.5)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

\bar{v} คือ ความเร็วของของไหล (m/s)

μ คือ ความหนืดพลวัตของของไหล ($kg/m.s$)

กรณีที่ค่าอัตราส่วนของแรงลอยตัวของของไหลต่อความเค้นเฉือนในการไหล ($\frac{Gr_L}{Re_L}$) มีค่าน้อยกว่า 1 มาก ๆ จะถือว่าการพาความร้อนที่เกิดขึ้นบนเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นการพาความร้อนแบบบังคับ โดยรูปแบบการไหลจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar) กับ การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) ซึ่งรูปแบบของการไหลจะแบ่งได้จากตัวเลข Reynolds กล่าวคือ ถ้าตัวเลข Reynolds มีค่าน้อยกว่า 10^5 จะถือว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบ แต่ถ้าหากตัวเลข Reynolds มีค่ามากกว่า 5×10^5 จะถือว่าเป็นการไหลแบบปั่นป่วน สำหรับค่าตัวเลข Nusselt ของทั้ง 2 รูปแบบการไหลสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.6 และสมการที่ 3.7 ตามลำดับ

การไหลแบบราบเรียบ (Laminar)

$$\overline{Nu}_{L,forced} = 0.664 Pr^{1/3} Re_L^{0.5} \quad (3.6)$$

การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent)

$$\overline{Nu}_{L,forced} = 0.037 Pr^{1/3} Re_L^{0.8} \quad (3.7)$$

โดยค่า Prandtl Number (Pr) เป็นอัตราส่วนของโมเมนตัมการแพร่ (Momentum Diffusivity) ของของไหลต่อการแพร่ความร้อน (Thermal Diffusivity) ของของไหล สามารถหาได้จากสมการที่ 3.8

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (3.8)$$

เมื่อ ν คือ ความหนืดจลน์ (m^2/s)

ต่อมาในกรณีที่ค่าอัตราส่วนของแรงลอยตัวของของไหลต่อความเค้นเฉือนในการไหล ($\frac{Gr_L}{Re_L}$) มีค่ามากกว่า 1 มาก ๆ จะถือว่าการพาความร้อนที่เกิดขึ้นบนเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการพาความร้อนแบบตามธรรมชาติ ซึ่งสามารถคำนวณหาตัวเลข Nusselt ที่มีรูปแบบของสมการเฉพาะเพื่อความแม่นยำได้จากสมการที่ 3.9

$$\overline{Nu}_{L,natural} = C Ra_L^n \quad (3.9)$$

โดยค่า C และ n จะขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของพื้นผิวสัมผัสและรูปแบบของการไหล ซึ่งสามารถหาได้จากสมการต่าง ๆ ที่แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสมการหาค่าตัวเลข Nusselt สำหรับการพาความร้อนแบบตามธรรมชาติ รูปแบบต่าง ๆ

ลักษณะรูปร่าง	L_c	ช่วง Ra_L	\overline{Nu}_L
แผ่นเรียบวางตั้ง	L	10^7 ถึง 10^{11}	$\overline{Nu}_{L,natural} = 0.59Ra_L^{1/4}$
		10^9 ถึง 10^{13}	$\overline{Nu}_{L,natural} = 0.1Ra_L^{1/3}$
		Entire range	$\overline{Nu}_{L,natural} = \left\{ 0.825 + \frac{0.387Ra_L^{1/6}}{[1+(0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$
แผ่นเรียบวางเอียงทำมุม θ กับแนวตั้ง	L	-	ใช้สมการแผ่นเรียบวางตั้งมาคำนวณ และแทนค่า g ด้วย $g \cos \theta$ สำหรับ $0^\circ < \theta < 60^\circ$
แผ่นเรียบวางในแนวนอน (ด้านร้อนอยู่ด้านบน)	$\frac{A_s}{P}$	10^4 ถึง 10^7	$\overline{Nu}_{L,natural} = 0.59Ra_L^{1/4}$
		10^7 ถึง 10^{11}	$\overline{Nu}_{L,natural} = 0.59Ra_L^{1/4}$
แผ่นเรียบวางในแนวนอน (ด้านร้อนอยู่ด้านล่าง)	$\frac{A_s}{P}$	10^5 ถึง 10^{11}	$\overline{Nu}_{L,natural} = 0.27Ra_L^{1/4}$

ส่วนตัวเลข Rayleigh (Ra_L) สามารถหาได้จากสมการที่ 3.10

$$Ra_L = Gr_L Pr \quad (3.10)$$

หากพิจารณาตัวเลข Grashof (Gr_L) ในสมการที่ 3.10 พบว่าตัวเลข Grashof เป็นตัวแปรที่ใช้บ่งชี้ถึงรูปแบบการไหลของของไหลรอบผิววัตถุสำหรับการพาความร้อนแบบตามธรรมชาติ กล่าวคือถ้าตัวเลข Grashof มีค่าน้อยกว่า 10^9 จะถือว่ารูปแบบการไหลของของไหลรอบผิววัตถุเป็นแบบราบเรียบ แต่ถ้าหากค่า Grashof มีค่ามากกว่า 10^9 จะถือว่ารูปแบบการไหลของของไหลรอบผิววัตถุเป็นแบบปั่นป่วน

สำหรับค่าอัตราส่วนของแรงลอยตัวของของไหลต่อความเค้นเฉือนในการไหล ($\frac{Gr_L}{Re_L}$) มีค่าประมาณหรือเท่ากับ 1 จะถือว่าการพาความร้อนที่เกิดขึ้นบนเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการพาความร้อนแบบผสม (Mixed Convection) ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าตัวเลข Nusselt ได้จากสมการที่ 3.11 [26]

$$\overline{Nu}_{L,mixed} = [\overline{Nu}_{L,forced}^3 + \overline{Nu}_{L,natural}^3]^{1/3} \quad (3.11)$$

3.1.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อน หมายถึง การที่พลังงานความร้อนถูกปล่อยออกมาจากวัตถุที่มีอุณหภูมิที่แน่นอน โดยวัตถุนั้นอาจเป็นของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซ ซึ่งพลังงานความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาจากวัตถุจะไม่ต้องอาศัยตัวกลางใด ๆ ในการถ่ายเทความร้อน แต่จะอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการถ่ายเทความร้อน

วัตถุดำ (Black Body) คือ วัตถุหรือพื้นผิวที่ถูกสมมติขึ้นมาในอุดมคติซึ่งมีความสามารถในการดูดกลืนรังสีตกกระทบได้ทั้งหมดและมีความสามารถในการแผ่รังสีได้มากที่สุดอีกด้วยเมื่อเทียบกับวัตถุทั่วไป ตัวแปรที่จะนำมาใช้บ่งบอกถึงความสามารถในการแผ่รังสีของวัตถุคือ ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่ความร้อน (Emissivity) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยวัตถุดำจะมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่ความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 1 ส่วนวัตถุทั่วไปจะมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนน้อยกว่า 1

การแผ่รังสีความร้อนบนเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะเกิดขึ้นทั้งด้านหน้าและด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากทั้งด้านหน้าและด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์สัมผัสกับอากาศ จึงทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวของทั้ง 2 ด้านไปสู่อากาศโดยรอบ ซึ่งอัตราการแผ่รังสีความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.12

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \sigma A_{rad} (T_s^4 - T_{amb}^4) \quad (3.12)$$

เมื่อ \dot{Q}_{rad} คือ อัตราความร้อนจากการแผ่รังสี (W)

ε คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสี

σ คือ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzman มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

A_{rad} คือ พื้นที่ผิวในการแผ่รังสีความร้อน (m^2)

3.2 การลดอุณหภูมิด้วยวิธีการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling)

จากการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นบนเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปแบบข้างต้น พบว่าอุณหภูมิด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงมีค่าสูงอยู่ ซึ่งจะส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นจึงต้องหาวิธีลดอุณหภูมิด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์ลงไปอีกเพื่อให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีที่จะนำมาใช้ในการลดอุณหภูมิด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์นั้นก็คือ การลดอุณหภูมิด้วยวิธีการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling) โดยใช้ผ้าเปียก

การระเหย (Evaporation) หมายถึง กระบวนการที่ของเหลวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ เนื่องจากโมเลกุลของของเหลวเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาและเกิดการชนกันเอง โดยการชนนั้นทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานขึ้น หากพลังงานมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลได้ จะทำให้โมเลกุลหลุดออกมาจากผิวหน้าของของเหลวและเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ โดยการระเหยสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง

ในการลดอุณหภูมิที่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการระเหยโดยใช้ผ้าเปียกนั้น ของเหลวที่จะนำมาใช้นี้คือน้ำ โดยจะนำผ้าที่เปียกน้ำมาติดตั้งไว้ที่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของน้ำที่อยู่บนผ้าเปียกได้รับพลังงานจากความร้อนที่ถ่ายเทบนเซลล์แสงอาทิตย์ ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอและเกิดการระเหยออกจากผ้าเปียกไป โดยในการระเหยของน้ำนั้นทำให้เกิดกระบวนการที่เรียกว่า การพามวลสาร (Mass Convection) ขึ้น และการถ่ายเทความร้อนจากการระเหย (Evaporative Heat Transfer) อีกด้วย

3.2.1 การพามวลสาร (Mass Convection)

การพามวลสาร หมายถึง การเคลื่อนที่ของมวลสารไปสู่ที่ต่าง ๆ โดยอาศัยตัวกลางของสารในการเคลื่อนที่และเกี่ยวข้องกับการไหล เช่น การไหลของของไหลผ่านพื้นผิวหรือการไหลระหว่างของไหล 2 ชนิดที่ไม่ผสมกัน (Immiscible Moving Fluids) เป็นต้น ซึ่งการพามวลสารแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การพามวลแบบบังคับ (Forced Mass Convection) และการพามวลแบบตามธรรมชาติ (Natural Mass Convection) ซึ่งการพามวลแบบบังคับ คือ กระบวนการเคลื่อนที่ของมวลโดยอาศัยปัจจัยภายนอก เช่น เครื่องเป่าลม หรือลมตามธรรมชาติ เป็นต้น มาควบคุมการพาของมวลสาร ส่วนการพามวลแบบตามธรรมชาติ คือ กระบวนการเคลื่อนที่ของมวลโดยไม่มีอาศัยปัจจัยภายนอก แต่เกิดขึ้นโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิ ความหนาแน่น หรือความเข้มข้นของสาร สำหรับการพามวลสารในการลดอุณหภูมิด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการระเหยของน้ำจาก

ผ้าเปียกอาจเกิดการพามวลสารได้ทั้งแบบบังคับ และแบบตามธรรมชาติ ซึ่งสามารถคำนวณการพามวลสารหรืออัตราการระเหยน้ำได้จากสมการที่ 3.13

$$\dot{m}_{evap} = h_{mass}\rho_{mix}A_s(w_{w,s} - w_{w,amb}) \quad (3.13)$$

เมื่อ \dot{m}_{evap} คือ อัตราการระเหยของมวล (kg/s)

h_{mass} คือ สัมประสิทธิ์การพามวลสาร (m/s)

ρ_{mix} คือ ความหนาแน่นของอากาศผสมกับไอน้ำ (kg/m³)

A_s คือ พื้นที่ผิวที่ใช้สำหรับถ่ายโอนมวลสาร (m²)

$w_{w,s}$ คือ เศษส่วนโดยมวลของน้ำที่อิ่มตัว

$w_{w,amb}$ คือ เศษส่วนโดยมวลของน้ำที่สภาวะแวดล้อม

หากพิจารณาสมการที่ 3.13 แล้วพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพามวลสาร (h_{mass}) ไม่สามารถวัดค่าได้โดยตรง ดังนั้นจึงต้องทำการคำนวณมาจากตัวเลข Sherwood (Sh) ดังสมการที่ 3.14

$$Sh = \frac{h_{mass}L_c}{D_{AB}} \quad (3.14)$$

เมื่อ Sh คือ ตัวเลข Sherwood

D_{AB} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของมวลระหว่างน้ำกับอากาศ (m²/s)

จากสมการที่ 3.14 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของมวล (D_{AB}) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงอัตราการแพร่ของมวลสารในตัวกลางใด ๆ ค่านี้สามารถเปรียบเทียบได้กับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Diffusivity) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของระบบ ส่วนผสมของระบบ และสภาพแวดล้อมของระบบ เช่น ความดันและอุณหภูมิ เป็นต้น โดยสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารในสถานะก๊าซจะมีค่ามากกว่าสถานะของเหลว และสารในสถานะของเหลวจะมีค่ามากกว่าในสถานะของแข็ง เพราะว่าโมเลกุลของสารในสถานะก๊าซนั้นสามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายกว่าสถานะของเหลว และโมเลกุลของสารในสถานะของเหลวเคลื่อนที่ได้ง่ายกว่าสถานะของแข็ง

การลดอุณหภูมิที่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการระเหยของน้ำโดยใช้ผ้าเปียกพบว่าน้ำจากผ้าเปียกจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอและระเหยออกไปจากผ้าเปียกตามที่

กล่าวไว้ข้างต้น โดยการระเหยของไอน้ำนี้จะหมายถึงการที่ไอน้ำแพร่ออกจากผ้าเปียกไปสู่อากาศบริเวณรอบ ๆ ดังนั้นสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของมวลระหว่างน้ำกับอากาศได้จากสมการที่ 3.15

$$D_{H_2O-air} = 1.87 \times 10^{-10} \frac{T_w^{2.072}}{P_{atm}} \quad (3.15)$$

เมื่อ D_{H_2O-air} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของมวลระหว่างน้ำกับอากาศ (m^2/s)

T_w คือ อุณหภูมิของน้ำ (K)

P_{atm} คือ ความดันบรรยากาศ (atm)

เมื่อทราบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของมวลระหว่างน้ำกับอากาศแล้ว สามารถนำค่านี้ไปใช้ในการคำนวณหาตัวเลข Schmidt (Sc) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของโมเมนตัมการแพร่ (Momentum Diffusivity) ต่อสัมประสิทธิ์การแพร่ของมวลระหว่างน้ำกับอากาศ (Mass Diffusivity) ดังสมการที่ 3.16

$$Sc = \frac{\nu}{D_{H_2O-air}} \quad (3.16)$$

เมื่อ Sc คือ ตัวเลข Schmit

ต่อมาจึงนำค่าตัวเลข Schmidt ไปใช้ในการคำนวณเพื่อหาตัวเลข Sherwood ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณจะพิจารณาจากประเภทของการพามวลสารที่ถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การพามวลสารแบบบังคับ กับ การพามวลสารแบบตามธรรมชาติ โดยการพามวลสารแบบบังคับจะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบเช่นเดียวกันกับการพาความร้อนแบบบังคับ ได้แก่ การพามวลสารแบบราบเรียบ กับ การพามวลสารแบบปั่นป่วน สำหรับค่าตัวเลข Sherwood ของทั้ง 2 รูปแบบการไหลสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.17 และสมการที่ 3.18 ตามลำดับ

การพามวลสารแบบราบเรียบ (Laminar)

$$Sh_{forced} = 0.664Sc^{1/3}Re_L^{0.5} \quad (3.17)$$

การพามวลสารแบบปั่นป่วน (Turbulent)

$$Sh_{forced} = 0.037Sc^{1/3}Re_L^{0.8} \quad (3.18)$$

ส่วนการพามวลสารแบบตามธรรมชาติ การคำนวณค่าตัวเลข Sherwood จะแบ่งตามลักษณะรูปร่างของวัตถุ แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงสมการหาค่าตัวเลข Sherwood รูปแบบต่าง ๆ

ลักษณะรูปร่าง	สมการ	เงื่อนไข
แผ่นเรียบวางแนวตั้ง	$Sh_{natural} = 0.59(GrSc)^{1/4}$	$10^5 < GrSc < 10^9$
	$Sh_{natural} = 0.10(GrSc)^{1/3}$	$10^9 < GrSc < 10^{13}$
แผ่นเรียบวางในแนวนอน (ด้านร้อนอยู่ด้านบน)	$Sh_{natural} = 0.54(GrSc)^{1/4}$	$10^4 < GrSc < 10^7$
	$Sh_{natural} = 0.15(GrSc)^{1/3}$	$10^7 < GrSc < 10^{11}$
แผ่นเรียบวางในแนวนอน (ด้านร้อนอยู่ด้านล่าง)	$Sh_{natural} = 0.27(GrSc)^{1/4}$	$10^5 < GrSc < 10^{11}$

สุดท้ายจึงนำตัวเลข Sherwood ที่คำนวณได้มาใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การพามวลสาร (สมการที่ 3.14) และอัตราการระเหยน้ำจากผ้า (สมการที่ 3.13) ได้ตามลำดับ

3.2.2 การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการระเหยของน้ำ (Evaporative Heat Transfer)

สำหรับการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการระเหยโดยใช้ผ้าเปียกนั้น น้ำในสถานะของเหลวที่ได้รับพลังความร้อนจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ เรียกพลังความร้อนที่ทำให้ น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอน้ำนี้ว่า ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Heat of Vaporization) เมื่อน้ำเกิดการระเหยออกไปจากผ้าเปียกก็จะนำความร้อนบางส่วนออกไปด้วย โดยจะเรียกความร้อนนี้ว่า ความร้อนจากการระเหย (Evaporative Heat Transfer) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.19

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{evap} h_{fg} \quad (3.19)$$

เมื่อ \dot{Q}_{evap} คือ อัตราความร้อนที่เกิดขึ้นจากการระเหย (W)

h_{fg} คือ ความร้อนแฝงจำเพาะ (kJ/kg)

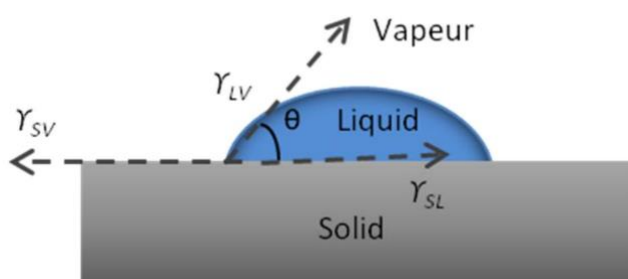
3.3 กลไกการดูดซับน้ำของผ้า (Wicking Mechanism)

เมื่อทราบถึงอัตราการระเหยมวลของน้ำแล้วจำเป็นต้องคำนึงถึงอัตราการดูดน้ำของผ้าเปียกจากแหล่งน้ำ เพื่อให้รู้ว่าอัตราการดูดน้ำของผ้าเปียกเพียงพอต่ออัตราการระเหยมวลของน้ำหรือไม่ ซึ่งกระบวนการเกิดการดูดซับน้ำของผ้านั้นจะประกอบด้วย 2 กระบวนการ คือ การเปียกน้ำ (Wetting) และการดูดน้ำ (Wicking)

3.3.1 การเปียกน้ำของผ้า (Wetting)

การเปียกน้ำ หมายถึง ปรากฏการณ์แรกที่เกิดขึ้นเมื่อนำผ้าไปสัมผัสกับน้ำ โดยความสามารถในการเปียกน้ำ (Wettability) นั้นจะขึ้นกับสมดุลระหว่างแรงยึดเหนี่ยว (Adhesion) กับแรงเชื่อมแน่น (Cohesion) โดยแรงยึดเหนี่ยวคือ แรงที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของน้ำกับอนุภาคของผ้า ส่วนแรงเชื่อมแน่นคือ แรงที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของน้ำกับน้ำ

มุมสัมผัส หมายถึง มุมที่เกิดจากการสัมผัสกันระหว่างรอยต่อของน้ำ-อากาศ (Liquid-Vapor Interface) กับ รอยต่อของผ้า-น้ำ (Fiber-Liquid Interface) ดังรูปที่ 3.1 โดยสามารถคำนวณหาค่ามุมสัมผัสได้จากสมการ Young-Dupré ซึ่งเป็นสมดุลแรงตึงผิวที่ขอบผิวระหว่างผ้ากับน้ำ ดังสมการที่ 3.20



รูปที่ 3.1 มุมสัมผัสระหว่างรอยต่อตัวกลาง

สมการ Young-Dupré

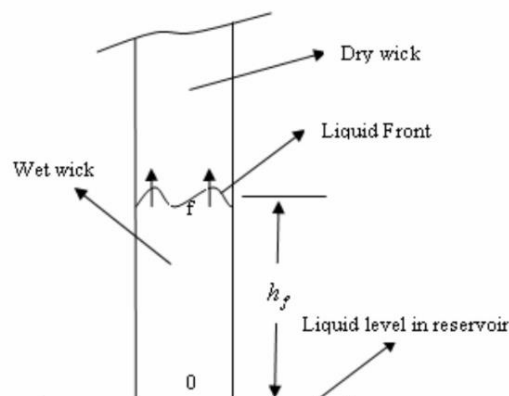
$$\gamma_{sv} - \gamma_{sl} = \gamma_{lv} \cos \theta_d \quad (3.20)$$

เมื่อ	γ_{sv}	คือ ค่าแรงตึงผิวระหว่างผิวของผ้ากับอากาศ (N/m)
	γ_{sl}	คือ ค่าแรงตึงผิวระหว่างผิวของผ้ากับน้ำ (N/m)
	γ_{lv}	คือ ค่าแรงตึงผิวระหว่างผิวของน้ำกับอากาศ (N/m)
	θ_d	คือ ค่ามุมสัมผัสระหว่างรอยต่อของน้ำ-อากาศ กับรอยต่อของผ้า-น้ำ

หากพิจารณาตัวแปรค่ามุมสัมผัส (θ_d) ในสมการที่ 3.20 พบว่าถ้าค่ามุมสัมผัสระหว่างรอยต่อของน้ำ-อากาศ กับรอยต่อของผ้า-น้ำมีค่าน้อยกว่า 90° ถือว่าวัสดุนั้นมีความสามารถในการเปียกน้ำสูง แต่ถ้าค่ามุมสัมผัสระหว่างรอยต่อของน้ำ-อากาศ กับรอยต่อของผ้า-น้ำมีค่ามากกว่า 90° จะถือว่าวัสดุนั้นมีความสามารถในการเปียกน้ำต่ำ

3.3.2 การดูดน้ำ (Wicking)

การดูดน้ำ หมายถึง ปรากฏการณ์ที่น้ำเคลื่อนที่เข้าไปยังผ้าและเคลื่อนที่ขึ้นไปตามความสูงของผ้าจนกระทั่งถึงจุดสภาวะอิ่มตัวจึงจะหยุด (รูปที่ 3.2) โดยความสามารถในการดูดน้ำของผ้าขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่าง ได้แก่ ความดันในการดูดน้ำ (Suction pressure) และสภาพซึมซาบ (Permeability) ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของผ้าที่บ่งบอกถึงความสามารถที่ยอมให้น้ำไหลผ่านตัวเนื้อผ้า



รูปที่ 3.2 การดูดน้ำของผ้า

3.3.3 แบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับการดูดน้ำ (Wicking Model)

การคำนวณหาค่าความสูงในการดูดซับน้ำและอัตราการดูดซับน้ำของผ้าสามารถคำนวณได้จากแบบจำลองทางทฤษฎี ซึ่งจากบทงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าแบบจำลองกฎของ Darcy สามารถทำนายลักษณะการดูดน้ำของผ้าได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกแบบจำลองนี้มาใช้สำหรับงานวิจัยนี้ โดยสมมติฐานของแบบจำลองมีดังนี้ [21]

- 1) การดูดน้ำของผ้าเกิดขึ้นเฉพาะใน 1 มิติเท่านั้น
- 2) รูพรุนในผ้ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากัน
- 3) ไม่คิดค่าความคดเคี้ยว (Tortuosity) ของผ้า
- 4) คิดผลจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity) และไม่คิดผลของแรงเฉื่อย (Inertia) เนื่องจากความเร็วในการไหลบนผ้ามีค่าน้อยมาก
- 5) ไม่มีการระเหยของน้ำจากผ้าเปียกสู่สิ่งแวดล้อมในขณะที่ผ้ากำลังดูดน้ำขึ้นไปด้านบน

จากสมมติฐานข้างต้นสามารถเขียนแบบจำลองกฎของ Darcy ได้ดังสมการที่ 3.21

$$P_s \ln \left| \frac{P_s}{P_s - \rho_w g h_w} \right| - \rho_w g h_w = \frac{\rho_w^2 g^2 K}{\phi \mu} t \quad (3.21)$$

เมื่อ P_s คือ ความดันในการดูดน้ำ (Pa)

h_w คือ ความสูงที่ผ้าดูดซับน้ำขึ้นไปได้ (m)

K คือ สภาพซึมซาบของผ้า (m^2)

ϕ คือ ความพรุนของผ้า

ในการคำนวณความดันในการดูดน้ำ (P_s) แล้วพบว่าสมการที่ใช้คำนวณจะขึ้นอยู่กับสมมติฐานของเนื้อผ้า ดังตารางที่ 3.3 [21]

ตารางที่ 3.3 สมการคำนวณความดันในการดูดน้ำ

สมมติฐาน	สมการ	หมายเหตุ
เนื้อผ้ามีลักษณะเป็นหลอดคาปิลารี	$p_s = \frac{2\gamma_{lv}\cos\theta_d}{R_c}$	R_c คือ รัศมีหลอดคาปิลารี
เนื้อผ้ามีลักษณะเป็นมัดของเส้นใยรัศมีเท่ากัน	$p_s = \frac{2(1-\phi)\gamma_{lv}\cos\theta_d}{\phi R_{fb}}$	R_{fb} คือ รัศมีเส้นใย
เนื้อผ้ามีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลมรัศมีเท่ากัน	$P_s = \frac{3(1-\phi)\gamma_{lv}\cos\theta_d}{\phi R_p}$	R_p คือ รัศมีอนุภาคทรงกลม

การหาค่าความสูงในการดูดน้ำของผ้า ณ เวลาใด ๆ โดยตรงจากสมการที่ 3.21 เป็นการคำนวณที่ยุ่งยากซับซ้อนมาก เนื่องจากสมการนี้ไม่สามารถจัดรูปหาคำตอบได้ตามปกติ ดังนั้นจึงต้องทำการจัดสมการให้อยู่ในรูปของ Lambert W function [27] ซึ่งจะให้ได้สมการคำนวณความสูงในการดูดน้ำของผ้าอยู่ในฟังก์ชันของเวลา ดังสมการที่ 3.23

$$h_w(t) = \frac{P_s}{\rho_w g} [1 + W(y)] \quad (3.23)$$

เมื่อ y มีค่าเท่ากับ $-e^{-1 - \frac{\rho_w^2 g^2 K_t}{\phi \mu P_s}}$ และค่า $W(y)$ สามารถประมาณค่าได้จากสมการที่ 3.24

$$W(y) \approx -1 + \frac{\sqrt{2+2ey}}{1 + \frac{4.13501\sqrt{2+2ey}}{12.7036 + \sqrt{2+2ey}}} \quad (3.24)$$

เมื่อ e คือ ค่าคงตัวของ Euler มีค่าประมาณ 2.7183

เมื่อทราบความสูงในการดูดน้ำของผ้าแล้ว สามารถคำนวณหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำบนผ้าได้ โดยใช้สมการอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง ดังสมการที่ 3.25

$$\frac{dh_w}{dt} = \frac{h_w^i - h_w^{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \quad (3.25)$$

เมื่อ $\frac{dh_w}{dt}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความสูงของน้ำเทียบกับเวลา (m/s)

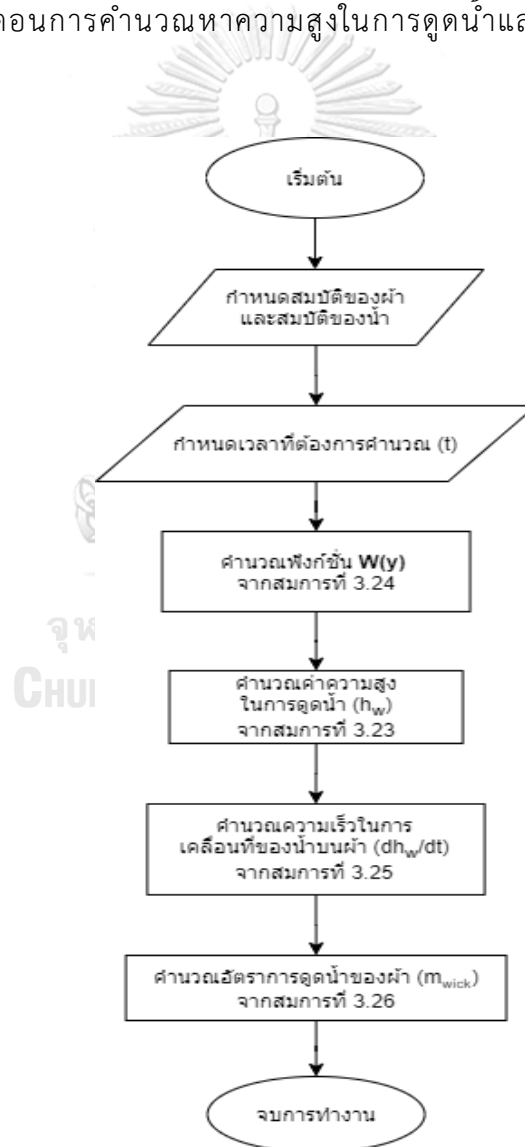
จากสมการที่ 3.25 ตัวแปรที่ถูกยกกำลังด้วย i และ $i - 1$ หมายถึง ค่า ณ เวลาปัจจุบัน และเวลาในอดีตตามลำดับ และสุดท้ายจึงสามารถคำนวณหาอัตราการดูดน้ำของผ้าได้จากสมการที่ 3.26

$$\dot{m}_{wick} = \phi \rho_w A_{cs,wick} \frac{dh_w}{dt} \quad (3.26)$$

เมื่อ \dot{m}_{wick} คือ อัตราการดูดน้ำของผ้า (kg/s)

$A_{cs,wick}$ คือ พื้นที่หน้าตัดของผ้า (m^2)

สำหรับขั้นตอนการคำนวณหาความสูงในการดูดน้ำและอัตราการดูดน้ำของผ้าจะแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการคำนวณหาความสูงในการดูดน้ำและอัตราการดูดน้ำของผ้า

บทที่ 4

การสร้างแบบจำลองทางทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึงหัวข้อหลักที่สำคัญซึ่งประกอบด้วย 3 หัวข้อ ได้แก่ ระบบที่ทำการศึกษาระบบแบบจำลองสมดุลทางความร้อนสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง และการประยุกต์ใช้แบบจำลองสมดุลทางความร้อนกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ โดยหัวข้อระบบที่ทำการศึกษาจะกล่าวถึงระบบที่ผู้วิจัยนั้นกำลังทำการศึกษาก่อนเพื่อให้ผู้อ่านรับรู้ถึงสิ่งที่ผู้วิจัยทำการศึกษา ต่อมาแบบจำลองสมดุลทางความร้อนสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์จำลองจะกล่าวถึงการนำทฤษฎีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้กับระบบที่ผู้วิจัยทำการศึกษาอยู่เพื่อให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจหลักถึงที่มาและหลักการคำนวณตามทฤษฎี และสุดท้ายประยุกต์ใช้แบบจำลองสมดุลทางความร้อนกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ เป็นการนำแบบจำลองสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์จำลองมาพัฒนาต่อเพื่อประยุกต์ใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง

4.1 ระบบที่ทำการศึกษา



รูปที่ 4.1 ระบบที่ทำการศึกษา

งานวิจัยนี้ระบบที่ผู้วิจัยต้องการศึกษาคือ เซลล์แสงอาทิตย์ (รูปที่ 4.1) ซึ่งถ้าหากพิจารณา ระบบที่ทำการศึกษาก็จะพบว่ามี การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นทั้งเกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ระบบและถ่ายเทความร้อนออกจากระบบ โดยความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ระบบนั้นก็คือ ความร้อนจากดวงอาทิตย์ (\dot{Q}_{solar}) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1

$$\dot{Q}_{solar} = \epsilon \dot{G}_{solar} A_{s,cell} \quad (4.1)$$

เมื่อ ϵ คือ ความสามารถในการดูดกลืนแสงของวัตถุ

\dot{G}_{solar} คือ ค่าการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (W/m^2)

$A_{s,cell}$ คือ พื้นที่ผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ (W)

ส่วนความร้อนที่ถ่ายเทออกจากระบบที่ทำการศึกษประกอบไปด้วยหลายประเภท ได้แก่ ความร้อนจากการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีที่เกิดขึ้นทั้งด้านหน้าและด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการต่าง ๆ ตามบททฤษฎีที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องการศึกษาเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิที่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีระเหยของน้ำด้วยผ้าชุมน้ำ ซึ่งสามารถคำนวณค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้จากสมการตามบททฤษฎีที่เกี่ยวข้องเช่นกัน ดังนั้นการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นบนระบบและการวิเคราะห์อัตราการระเหยน้ำกับอัตราการดูดน้ำของผ้าสำหรับการลดอุณหภูมิด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีระเหยน้ำจากผ้าเปียกนี้จึงต้องคำนึงถึงการถ่ายเทความร้อนแต่ละองค์ประกอบที่กล่าวมาข้างต้นด้วย

สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะทำการสร้างแบบจำลองทางทฤษฎีขึ้นมาบนพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองแทนการใช้เซลล์แสงอาทิตย์จริง ซึ่งตัวเซลล์แสงอาทิตย์ทำจากแผ่นอะลูมิเนียมบาง แล้วนำแผ่นทำความร้อนซิลิโคนมาติดไว้ที่ด้านหน้าของแผ่นอะลูมิเนียมบางเพื่อเปรียบเสมือนเป็นความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ และทำการติดฉนวนกันความร้อนไว้ที่ด้านหน้าแผ่นทำความร้อนซิลิโคน เพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทออกสู่ด้านหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบที่ทำการศึกษานี้จะอยู่บนพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง

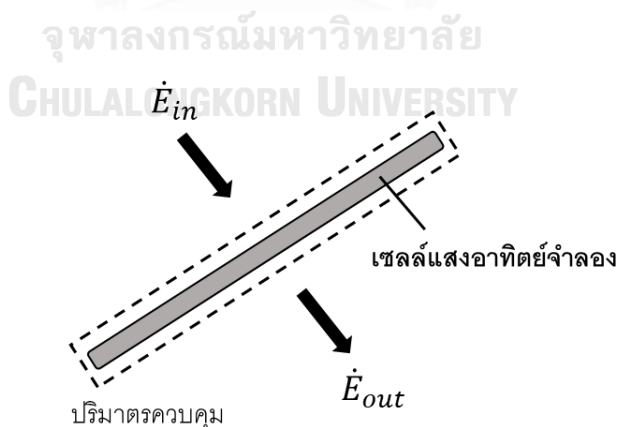
4.2 แบบจำลองสมดุลทางความร้อนสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการระเหยน้ำจากผ้าเปียกนั้นพบว่าสามารถนำทฤษฎีและสมการต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในสร้างแบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับการคำนวณได้ ซึ่งแบบจำลองทางทฤษฎีที่สร้างขึ้นจะถูกเรียกว่า “แบบจำลองสมดุลทางความร้อน” โดยแบบจำลองนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทำนายอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์จำลองระหว่างกรณีทั่วไป

กับกรณีที่ตั้งผ้าชุมน้ำไว้ที่ด้านหลัง โดยสมมุติฐานที่ใช้ในการสร้างสมดุลทางความร้อนมีรายละเอียดดังนี้

1. การกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนเซลล์แสงอาทิตย์จำลองเข้ามามีค่าเท่ากันทุกจุด
2. เซลล์แสงอาทิตย์จำลองมีการถ่ายเทความร้อนออกทางด้านหลังเพียงด้านเดียว และกำหนดให้ความร้อนสูญเสียออกทางด้านหน้ามีค่าเท่ากับร้อยละ 25 ของความร้อนที่เซลล์แสงอาทิตย์จำลองรับเข้ามา
3. สำหรับการคำนวณค่าตัวเลข Nusselt (\overline{Nu}_L) สำหรับกรณีที่เป็นพาความร้อนแบบตามธรรมชาตินั้น ให้เปรียบเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ใช้งานในประเทศไทยจะติดตั้งทำมุมเอียงในแนวระดับที่ 13-15 องศาเสมือนว่าเป็นแผ่นเรียบวางในแนวนอนโดยมีด้านร้อนอยู่ด้านบน
4. สภาวะแวดล้อมทั้งด้านหน้าและด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์จำลองมีค่าเท่ากันและคงที่ตลอด
5. การคำนวณในกรณีที่ติดตั้งผ้าไว้ที่ด้านหลังเพื่อเป็นอุปกรณ์ลดอุณหภูมิ จะใช้สมบัติของน้ำคำนวณแทนสมบัติของผ้า

แบบจำลองสมดุลทางความร้อนของระบบนี้จะเริ่มต้นจากกฎการอนุรักษ์พลังงานภายในระบบตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (The first law of thermodynamic) ดังรูปที่ 4.2 และสมการที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แบบจำลองสมดุลทางความร้อนของระบบ

กฎการอนุรักษ์พลังงานภายในระบบ

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \frac{dE_{system}}{dt} \quad (4.2)$$

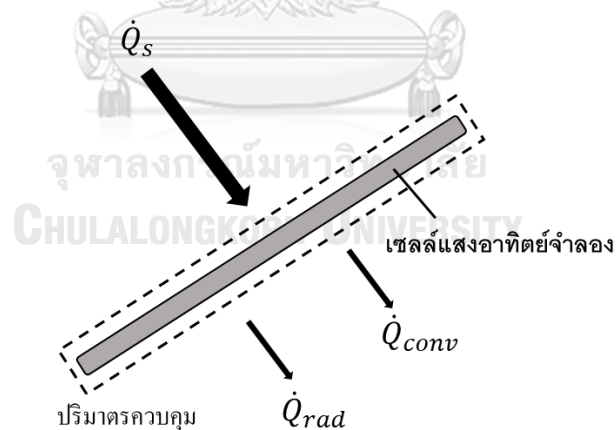
เมื่อ \dot{E}_{in} คือ อัตราการถ่ายเทพลังงานที่เข้าสู่ระบบ (W)

\dot{E}_{out} คือ อัตราการถ่ายเทพลังงานที่ออกจากระบบ (W)

$\frac{dE_{system}}{dt}$ คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นภายในระบบ
เทียบกับเวลา (W)

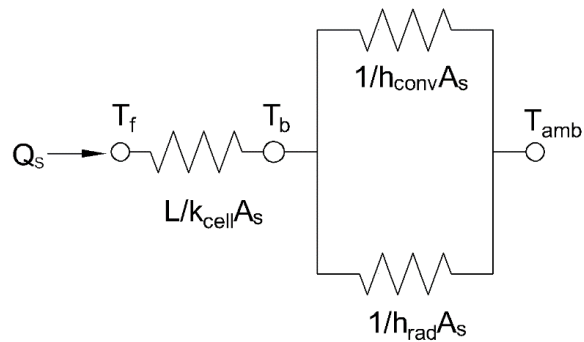
สมการที่ 4.2 จะถูกนำมาใช้เป็นสมการตั้งต้นสำหรับแบบจำลองสมดุลทางความร้อน การคำนวณจะใช้วิธี Finite Difference Method เพื่อทำนายอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งและเวลาต่าง ๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง และใช้แบบจำลองทางทฤษฎีช่วยในการคำนวณ ซึ่งแบบจำลอง จะแบ่งออกเป็น 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่เซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป กรณีที่เซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้า ชุมน้ำไว้ที่ด้านหลัง และกรณีที่เซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุมน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับ แหล่งน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 กรณีที่เซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป



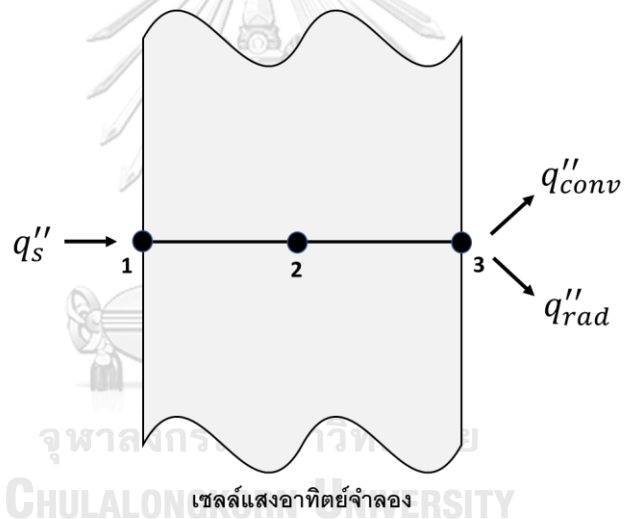
รูปที่ 4.3 แบบจำลองสมดุลทางความร้อนของระบบกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป

หากพิจารณาระบบคือเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์จำลองได้รับความร้อน จากดวงอาทิตย์ (\dot{Q}_s) จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นที่ด้านหลัง 2 ประเภท คือ การพาความร้อน (\dot{Q}_{conv}) และการแผ่รังสี (\dot{Q}_{rad}) ซึ่งสามารถเขียนเป็นวงจรความต้านทาน ทางความร้อน (Thermal resistance) ได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 วงจรความต้านทานทางความร้อนที่เซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป

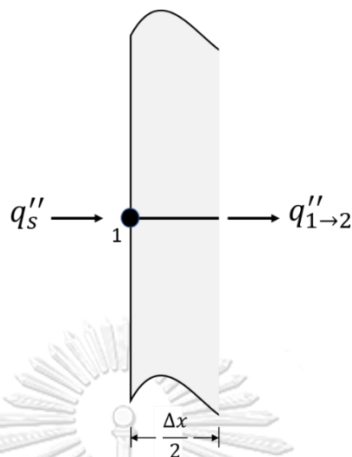
ในการคำนวณหาค่าอุณหภูมิ ณ เวลาต่าง ๆ ด้วยสมการ Finite Difference เซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไปจะถูกแบ่งออกเป็น 3 จุดต่อ ได้แก่ จุดต่อด้านหน้าเซลล์ (จุดที่ 1) จุดต่อตรงกลางเซลล์ (จุดที่ 2) และจุดต่อด้านหลังเซลล์ (จุดที่ 3) ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงการแบ่งจุดต่อของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป

สมการ Finite Difference ที่ใช้ในการคำนวณ ณ จุดต่อตำแหน่งต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

1) จุดต่อด้านหน้าเซลล์



รูปที่ 4.6 พลักซ์ความร้อนที่เข้าจุดต่อด้านหน้าเซลล์ (จุดที่ 1)

จากรูปที่ 4.6 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการกฎการอนุรักษ์พลังงานภายในระบบได้ดังสมการที่ 4.3

$$\rho_{cell} C_{p,cell} \frac{dT_1}{dt} = q''_s - q''_{1 \rightarrow 2} \quad (4.3)$$

เมื่อ q''_s คือ พลักซ์ความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ (W/m^2)

$q''_{1 \rightarrow 2}$ คือ พลักซ์ความร้อนที่ถ่ายเทจากจุดต่อที่ 1 ไป 2 โดยการนำความร้อน (W/m^2)

ρ_{cell} คือ ความหนาแน่นของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง (kg/m^3)

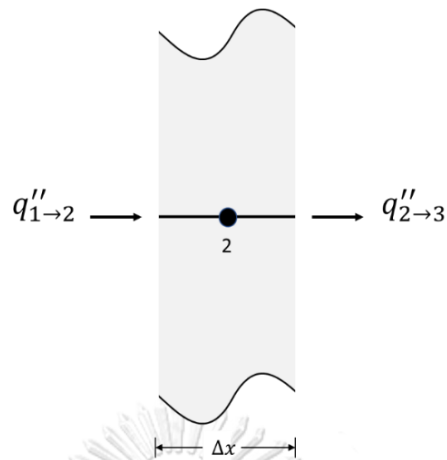
$C_{p,cell}$ คือ ความจุทางความร้อนของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง ($J/kg.K$)

$\frac{dT_1}{dt}$ คือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ จุดต่อที่ 1 เทียบกับเวลา

แทนค่าสมการที่ 3.1 ลงไปในสมการที่ 4.3 จะสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังสมการที่ 4.4

$$\frac{\rho_{cell} C_{p,cell}}{2} \frac{T_1^{i+1} - T_1^i}{\Delta t} = q''_s - k_{cell} \frac{T_1^{i+1} - T_2^{i+1}}{\Delta x_{cell}} \quad (4.4)$$

2.) จุดต่อตรงกลางเซลล์



รูปที่ 4.7 พลักซ์ความร้อนที่เข้าจุดต่อตรงกลางเซลล์ (จุดที่ 2)

จากรูปที่ 4.7 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการกฎการอนุรักษ์พลังงานภายในระบบได้
ดังสมการที่ 4.5

$$\rho_{cell} C_{p,cell} \frac{dT_2}{dt} = q''_{1 \to 2} - q''_{2 \to 3} \quad (4.5)$$

เมื่อ $\frac{dT_2}{dt}$ คือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ จุดต่อที่ 2 เทียบกับเวลา

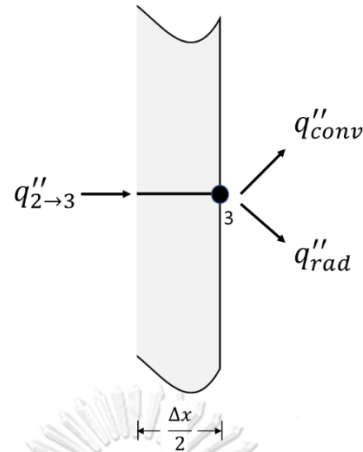
$q''_{2 \to 3}$ คือ พลักซ์ความร้อนที่ถ่ายเทจากจุดต่อที่ 2 ไป 3

โดยการนำความร้อน (W/m^2)

แทนค่าสมการที่ 3.1 ลงไปในสมการที่ 4.5 จะสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังสมการที่ 4.6

$$\rho_{cell} C_{p,cell} \frac{T_2^{i+1} - T_2^i}{\Delta t} = k_{cell} \frac{T_1^{i+1} - T_2^{i+1}}{\Delta x_{cell}} - k_{cell} \frac{T_2^{i+1} - T_3^{i+1}}{\Delta x_{cell}} \quad (4.6)$$

3.) จุดต่อด้านหลังเซลล์



รูปที่ 4.8 ฟลักซ์ความร้อนที่เข้าจุดต่อด้านหลังเซลล์ (จุดที่ 3)

จากรูปที่ 4.8 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการกฎการอนุรักษ์พลังงานภายในระบบได้ดังสมการที่ 4.7

$$\rho_{cell} C_{p,cell} \frac{dT_3}{dt} = q''_{2 \rightarrow 3} - q''_{conv} - q''_{rad} \quad (4.7)$$

เมื่อ $\frac{dT_3}{dt}$ คือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ จุดต่อที่ 3 เทียบกับเวลา

q''_{conv} คือ ฟลักซ์ความร้อนที่ถ่ายเทจากจุดต่อที่ 3 ไปยัง
สภาวะแวดล้อม โดยการพาความร้อน (W/m^2)

q''_{rad} คือ ฟลักซ์ความร้อนที่ถ่ายเทจากจุดต่อที่ 3 ไปยัง
สภาวะแวดล้อม โดยการแผ่รังสี (W/m^2)

แทนค่าสมการที่ 3.1, 3.2 และ 3.10 ลงไปในสมการที่ 4.7 จะสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังสมการที่ 4.8

$$\frac{\rho_{cell} C_{p,cell}}{2} \frac{T_3^{i+1} - T_3^i}{\Delta t} = \quad (4.8)$$

$$k_{cell} \frac{T_2^{i+1} - T_3^{i+1}}{\Delta x_{cell}} - h_{conv}(T_3^i - T_{amb}) - \varepsilon_{cell} \sigma [(T_3^i)^4 - (T_{amb})^4]$$

ต่อมาให้ทำการจัดสมการของจุดต่อทุกจุดให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ (Matrix) ดังสมการที่ 4.9 เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าอุณหภูมิของแต่ละจุดต่อในเวลาอนาคต

$$[A]\{T_n^{i+1}\} = \{T_n^i\} + \{B\} \quad (4.9)$$

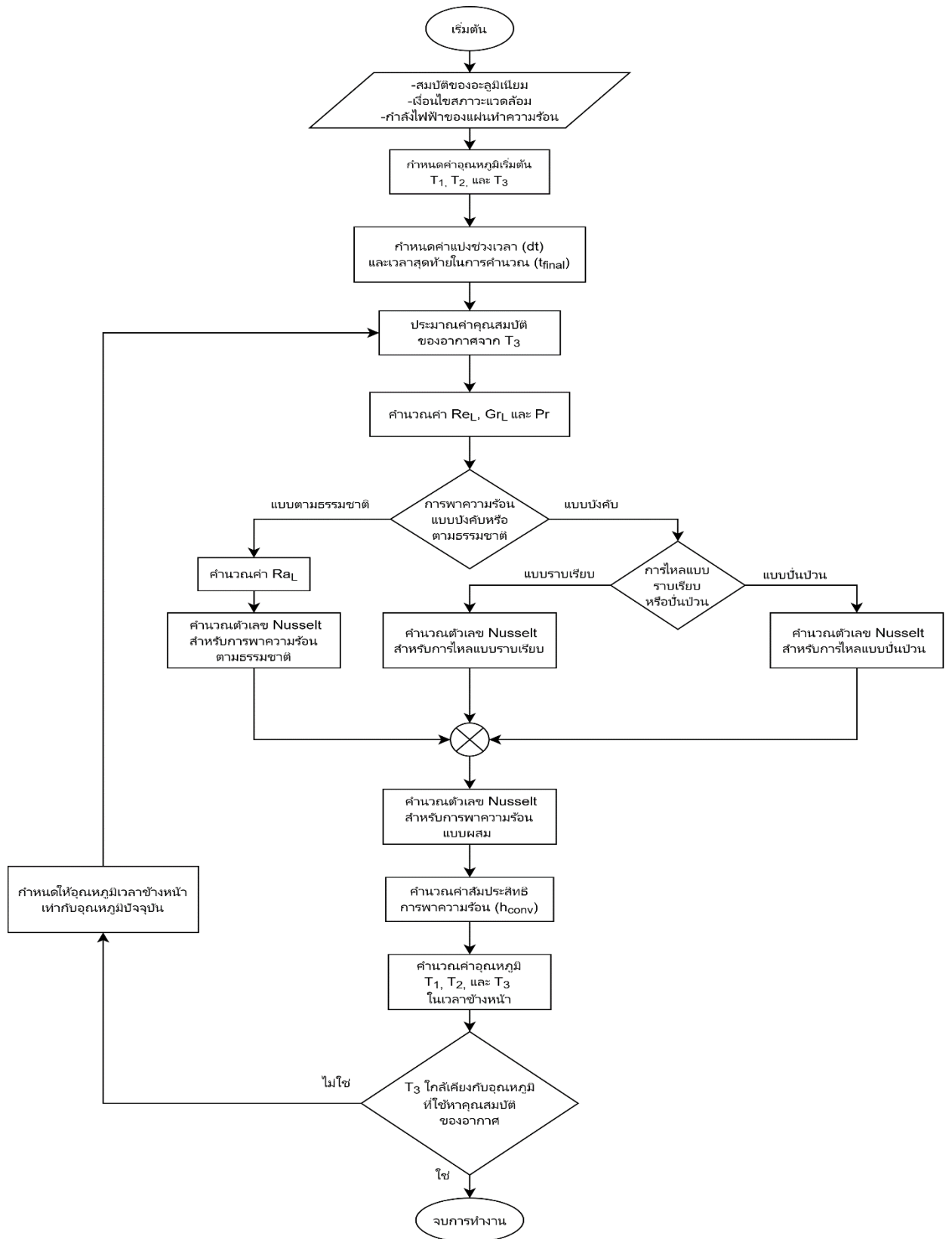
$$\text{เมื่อ } [A] = \begin{bmatrix} 2\tau + 1 & -2\tau & 0 \\ -\tau & 2\tau + 1 & -\tau \\ 0 & -2\tau & X \end{bmatrix}$$

$$\{T_n^{i+1}\} = \begin{Bmatrix} T_1^{i+1} \\ T_2^{i+1} \\ T_3^{i+1} \end{Bmatrix}, \quad \{T_n^i\} = \begin{Bmatrix} T_1^i \\ T_2^i \\ T_3^i \end{Bmatrix}$$

$$\{B\} = \begin{Bmatrix} \frac{2\tau q_s'' x_{cell}}{k_{cell}} \\ 0 \\ 2\tau \left(\frac{h_{conv} x_{cell} T_{amb}}{k_{cell}} + \frac{\epsilon_{cell} \sigma x_{cell} T_{amb}^4}{k_{cell}} \right) \end{Bmatrix}$$

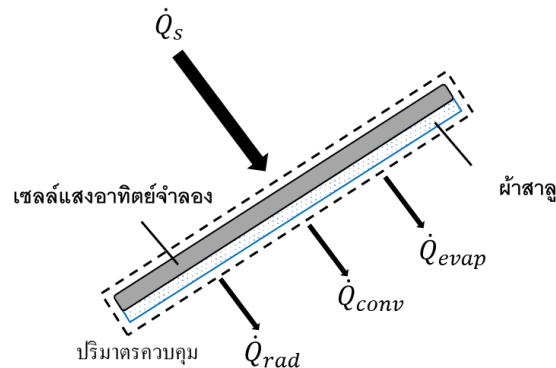
(หมายเหตุ τ มีค่าเท่ากับ $\frac{k_{cell} \Delta t}{\rho_{cell} C_{p,cell} \Delta x_{cell}^2}$ และ X มีค่าเท่ากับ $1 + 2\tau + 2\tau \frac{h_{conv} x_{cell}}{k_{cell}} + 2\tau \frac{\epsilon_{cell} \sigma x_{cell}}{k_{cell}} T_3^{i+1}^3$)

สำหรับการคำนวณหาค่าอุณหภูมิของแต่ละจุดต่อในกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป จะแสดงเป็นแผนภาพขั้นตอน ดังรูปที่ 4.9



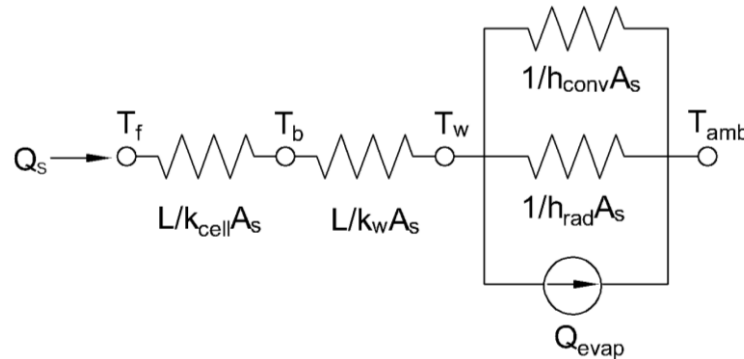
รูปที่ 4.9 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าอุณหภูมิกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป

4.2.2 กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง



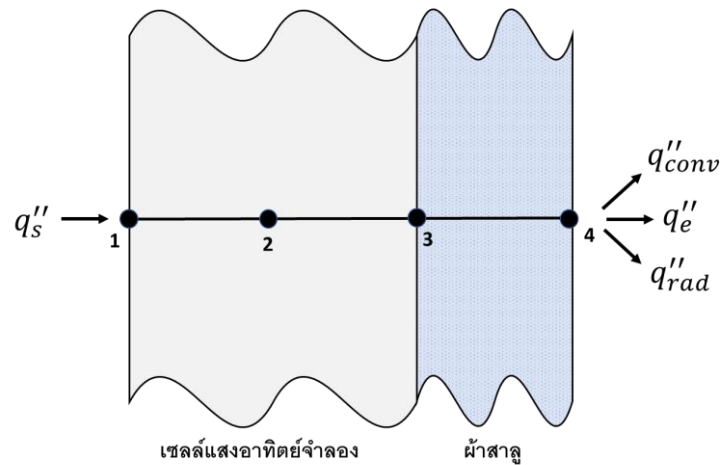
รูปที่ 4.10 แบบจำลองสมดุลทางความร้อนของระบบกรณีที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง

หากพิจารณาระบบคือเซลล์แสงอาทิตย์จำลองและผ้า เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์จำลองได้รับความร้อนจาก ดวงอาทิตย์ (\dot{Q}_s) จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นที่ด้านหลัง 3 ประเภท คือ การพาความร้อน (\dot{Q}_{conv}) การแผ่รังสี (\dot{Q}_{rad}) และการระเหยของน้ำ (\dot{Q}_{evap}) ซึ่งสามารถเขียนเป็นวงจรความต้านทานทางความร้อน (Thermal resistance) ได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 วงจรความต้านทานทางความร้อนกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง

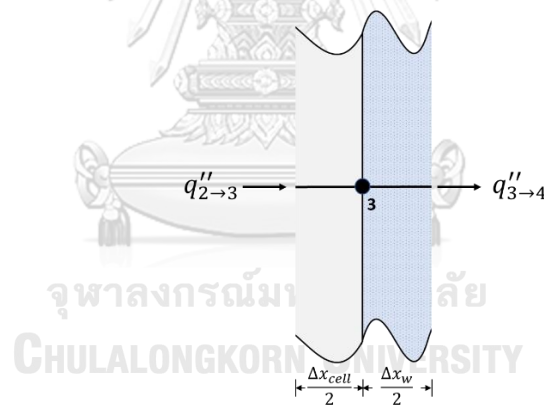
ในการคำนวณหาค่าอุณหภูมิ ณ เวลาต่าง ๆ ด้วยสมการ Finite Difference เซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าไว้ที่ด้านหลังจะถูกแบ่งออกเป็น 4 จุดต่อ ได้แก่ จุดต่อด้านหน้าเซลล์ (จุดที่ 1) จุดต่อตรงกลางเซลล์ (จุดที่ 2) จุดต่อระหว่างเซลล์กับผ้าสาหลู (จุดที่ 3) และจุดต่อด้านหลังผ้าสาหลู (จุดที่ 4) ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงการแบ่งจุดต่อของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง

จากรูปที่ 4.12 การคำนวณอุณหภูมิ ณ จุดที่ 1 และ 2 จะใช้สมการที่ 4.4 และ 4.6 ตามลำดับ ส่วนการคำนวณอุณหภูมิ ณ จุดที่ 3 และ 4 มีรายละเอียดดังนี้

- 1.) จุดต่อระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์จำลองกับผ้าสาธิต



รูปที่ 4.13 พลักซ์ความร้อนที่เข้าจุดต่อระหว่างเซลล์กับผ้าสาธิต (จุดที่ 3)

จากรูปที่ 4.13 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการกฎการอนุรักษ์พลังงานภายในระบบได้ดังสมการที่ 4.10

$$\frac{\rho_{cell} C_{p,cell} x_{cell}}{2} \frac{dT_3}{dt} + \frac{\rho_{cott} C_{p,cott} x_{cott}}{2} \frac{dT_3}{dt} = q''_{2 \rightarrow 3} - q''_{3 \rightarrow 4} \quad (4.10)$$

เมื่อ $q''_{3 \rightarrow 4}$ คือ พลักซ์ความร้อนที่ถ่ายเทจากจุดต่อที่ 2 ไป 3

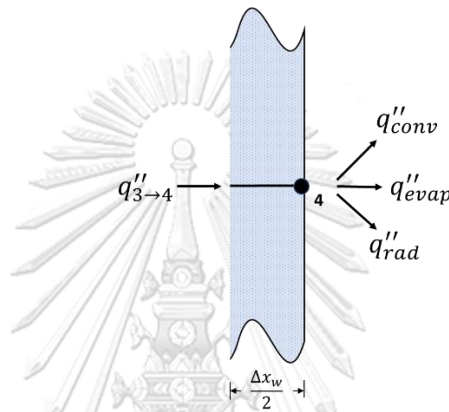
โดยการนำความร้อน (W/m^2)

แทนค่าสมการที่ 3.1 ลงไปในสมการที่ 4.10 จะสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังสมการที่ 4.11

$$\frac{\rho_{cell} C_{p,cell} \Delta x_{cell}}{2} \frac{T_3^{i+1} - T_3^i}{\Delta t} + \frac{\rho_{cott} C_{p,cott} \Delta x_{cott}}{2} \frac{T_3^{i+1} - T_3^i}{\Delta t} = \quad (4.11)$$

$$k_{cell} \frac{T_2^{i+1} - T_3^{i+1}}{\Delta x_{cell}} - k_{cott} \frac{T_3^{i+1} - T_4^{i+1}}{\Delta x_{cott}}$$

2.) จุดต่อระหว่างผ้าสาหล่ากับสภาวะแวดล้อม



รูปที่ 4.14 ฟลักซ์ความร้อนที่เข้าจุดต่อด้านหลังเซลล์ (จุดที่ 4)

จากรูปที่ 4.14 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการกฎการอนุรักษ์พลังงานภายในระบบได้ดังสมการที่ 4.12

$$\rho_{cott} C_{p,cott} \frac{dT_4}{dt} = q''_{3-4} - q''_{conv} - q''_{rad} - q''_{evap} \quad (4.12)$$

เมื่อ $\frac{dT_4}{dt}$ คือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ จุดต่อที่ 4 เทียบกับเวลา

q''_{evap} คือ ฟลักซ์ความร้อนที่ถ่ายเทจากจุดต่อที่ 4 ไปยัง

สภาวะแวดล้อมโดยการระเหยของน้ำ (W/m^2)

แทนค่าสมการที่ 3.1, 3.2 3.10 และ 3.15 จะสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังสมการที่ 4.13

$$\frac{\rho_{cott} C_{p,cott}}{2} \frac{T_4^{i+1} - T_4^i}{\Delta t} = k_{cott} \frac{T_3^{i+1} - T_4^{i+1}}{\Delta x_{cott}} - h_{conv} (T_4^i - T_{amb}) \quad (4.13)$$

$$- \varepsilon_{cott} \sigma [(T_4^i)^4 - (T_{amb})^4] - \dot{m}_{evap} h_{fg}$$

ต่อมาให้ทำการจัดสมการของจุดต่อทุกจุดให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ (Matrix) ให้เหมือนกับสมการที่ 4.9 เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าอุณหภูมิของแต่ละจุดต่อในเวลาอนาคต

$$[A]\{T_n^{i+1}\} = \{T_n^i\} + \{B\} \quad (4.9)$$

$$\text{เมื่อ } [A] = \begin{bmatrix} 2\tau + 1 & -2\tau & 0 & 0 \\ -\tau & 2\tau + 1 & -\tau & 0 \\ 0 & -2\tau\rho_{cell}C_{p,cell} & Y & -2\beta\rho_{cott}C_{p,cott} \\ 0 & 0 & -2\beta & Z \end{bmatrix}$$

$$\{T_n^{i+1}\} = \begin{Bmatrix} T_1^{i+1} \\ T_2^{i+1} \\ T_3^{i+1} \\ T_4^{i+1} \end{Bmatrix}, \quad \{T_n^i\} = \begin{Bmatrix} T_1^i \\ T_2^i \\ T_3^i \\ T_4^i \end{Bmatrix}$$

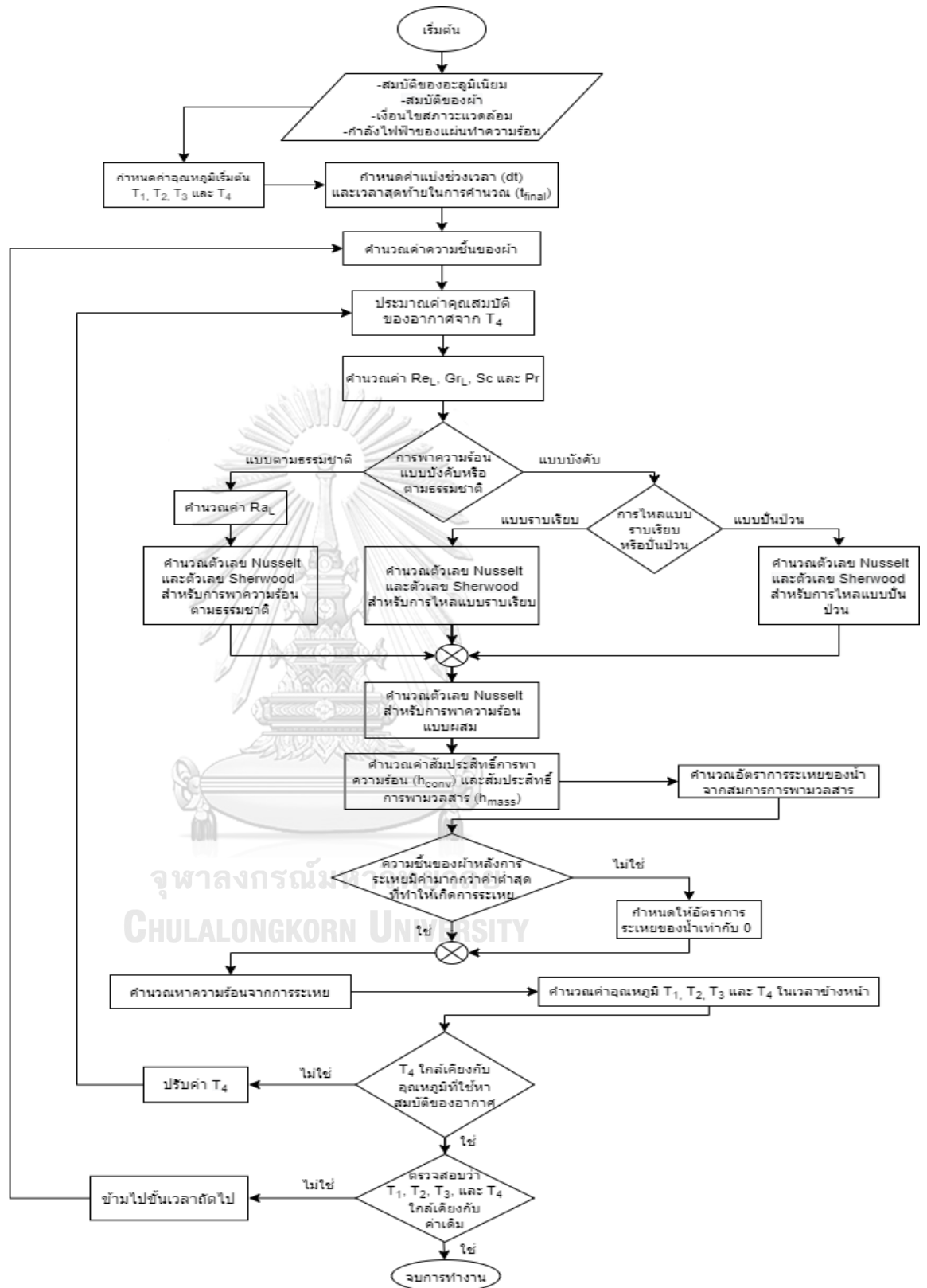
$$\{B\} = \begin{Bmatrix} \frac{2\tau q_s'' \Delta x_{cell}}{k_{cell}} \\ 0 \\ \rho_{cell}C_{p,cell}\Delta x_{cell} + \rho_{cott}C_{p,cott}\Delta x_{cott} \\ 2\varphi \left(\frac{h_{conv}\Delta x_{cott}T_{amb}}{k_{cott}} + \frac{\varepsilon_{cott}\sigma\Delta x_{cott}}{k_{cott}}T_{amb}^4 - \frac{q_e''\Delta x_{cott}}{k_{cott}} \right) \end{Bmatrix}$$

(หมายเหตุ τ มีค่าเท่ากับ $\frac{k_{cell}\Delta t}{\rho_{cell}C_{p,cell}\Delta x_{cell}^2}$ φ มีค่าเท่ากับ $\frac{k_{cott}\Delta t}{\rho_{cott}C_{p,cott}\Delta x_{cott}^2}$)

$$Y \text{ มีค่าเท่ากับ } \frac{2\Delta tk_{cell}}{\Delta x_{cell}} + \frac{2\Delta tk_{cott}}{\Delta x_{cott}} + \rho_{cell}C_{p,cell}\Delta x_{cell} + \rho_{cott}C_{p,cott}\Delta x_{cott}$$

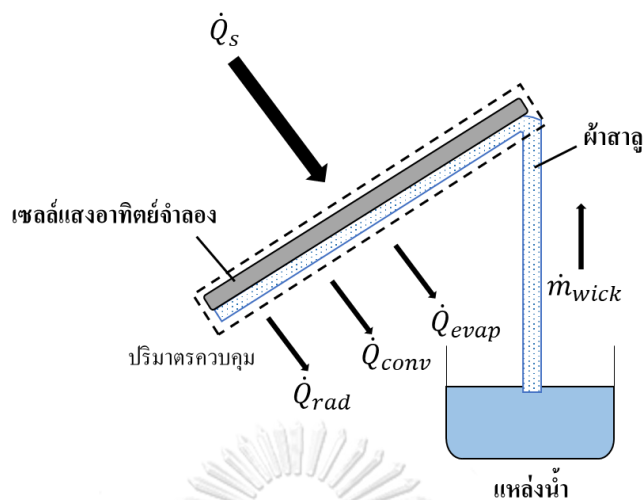
$$\text{และ } Z \text{ มีค่าเท่ากับ } 1 + 2\varphi + 2\varphi \frac{h_{conv}\Delta x_{cell}}{k_{cell}} + 2\varphi \frac{\varepsilon_{cott}\sigma\Delta x_{cell}}{k_{cell}} T_3^{i+1^3}$$

สำหรับการคำนวณจะต้องพิจารณาอัตราการระเหยน้ำของผ้า (\dot{m}_{evap}) กล่าวคือ หากค่าความชื้นของผ้าหลังการระเหยน้ำมีค่ามากกว่าค่าต่ำสุดที่ทำให้เกิดการระเหยน้ำ ให้คำนวณค่าอัตราการระเหยน้ำจากสมการที่ 3.13 ตามปกติ แต่เมื่อค่าความชื้นของฝ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าต่ำสุดที่ทำให้เกิดการระเหยน้ำ ให้กำหนดว่าไม่มีการระเหยน้ำจากผ้าเกิดขึ้น ซึ่งวิธีการคำนวณหาค่าอุณหภูมิของแต่ละจุดต่อในกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง จะแสดงเป็นแผนภาพขั้นตอน ดังรูปที่ 4.15



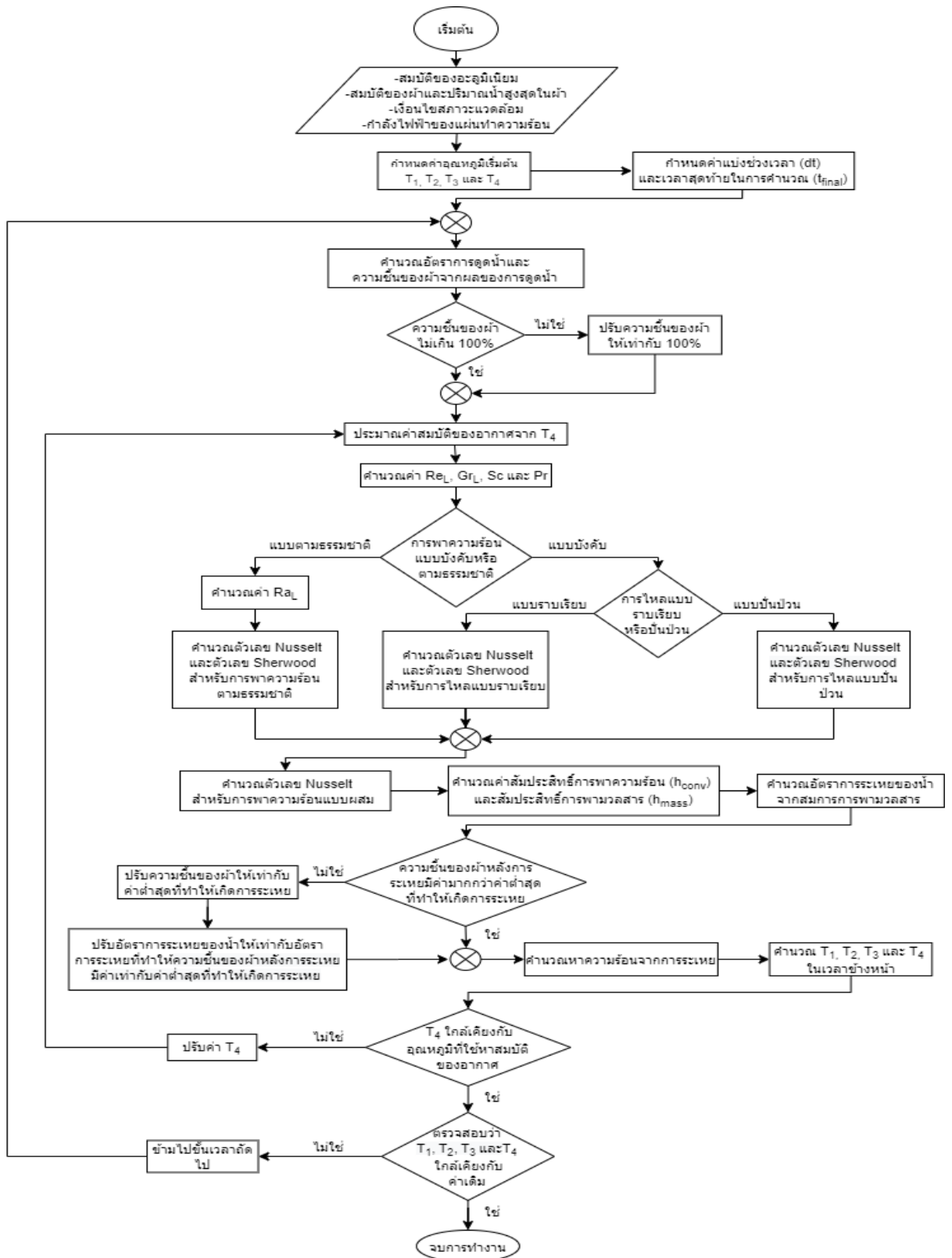
รูปที่ 4.15 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าอุณหภูมิกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง

4.2.3 กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ



รูปที่ 4.16 แบบจำลองสมดุลทางความร้อนของระบบกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง
ที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ

สำหรับกรณีนี้จะคล้ายกับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง กล่าวคือ ติดตั้งผ้าไว้ที่ด้านหลังเหมือนกัน แต่นำปลายผ้าอีกด้านไปจุ่มลงในแหล่งน้ำเพื่อให้ผ้าสามารถดูดซับน้ำขึ้นมาช่วยลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง ในการคำนวณหาค่าอุณหภูมิ ณ เวลาต่าง ๆ จะใช้สมการเดียวกันกับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง เพียงแต่จะต้องพิจารณาถึงการคำนวณอัตราการระเหยน้ำของผ้า (\dot{m}_{evap}) กล่าวคือ หากค่าความชื้นของผ้าหลังการระเหยน้ำมีค่ามากกว่าค่าต่ำสุดที่ทำให้เกิดการระเหยน้ำ ให้คำนวณค่าอัตราการระเหยน้ำจากสมการที่ 3.13 ตามปกติ แต่เมื่อค่าความชื้นของผ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าต่ำสุดที่ทำให้เกิดการระเหยน้ำ ให้กำหนดค่าอัตราการระเหยน้ำให้มีค่าเท่ากับอัตราการระเหยน้ำที่ทำให้ความชื้นของผ้ามีค่าเท่ากับค่าต่ำสุดที่ทำให้เกิดการระเหย ซึ่งวิธีการคำนวณหาค่าอุณหภูมิของแต่ละจุดต่อในกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำจะแสดงเป็นแผนภาพขั้นตอนดังรูปที่ 4.17



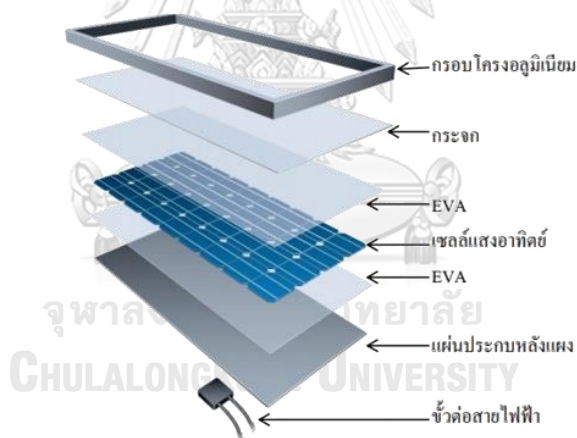
รูปที่ 4.17 แบบจำลองสมตุลทางความร้อนของระบบกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง
ที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ

4.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองสมดุลทางความร้อนกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ

หัวข้อนี้จะอภิปรายถึงการนำเอาแบบจำลองสมดุลทางความร้อนสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์จำลองมาประยุกต์ใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไปกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งผ้าดูดซับน้ำไว้ด้านหลัง เพื่อจะทำนายผลการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่เกิดขึ้น โดยจะจำลองผลการจำลองในสภาวะตามธรรมชาติในรอบ 1 ปี และพิจารณาผลของการติดตั้งผ้าในรูปแบบต่าง ๆ ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการระเหยน้ำในการลดอุณหภูมิแผง และปริมาณน้ำที่สูญเสียในรอบปี

4.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองผลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง

เซลล์แสงอาทิตย์ของจริงที่ผู้วิจัยนำมาในการจำลองนั้นจะใช้ของบริษัท Canadian Solar (ภาคผนวก ค) ขนาด 250 วัตต์ โดยมีส่วนประกอบและค่าสมบัติของวัสดุแสดงดังรูปที่ 4.18 และตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.18 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ของจริง

ตารางที่ 4.1 สมบัติเชิงความร้อนสำหรับส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์

ส่วนประกอบ	ความหนา (mm.)	สัมประสิทธิ์ การนำความร้อน (W/m.K)	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ความจุความร้อน จำเพาะ (J/g.K)	สภาพแผ่รังสี
กระจก	4	1.8	2500	792	-
EVA	0.4	0.35	930	1400	-
แผ่นประกบหลัง	3	0.3	1380	1300	0.8

ส่วนสมบัติเชิงความร้อนของตัวเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากสมการในตารางที่ 4.2 [28, 29]

ตารางที่ 4.2 สมบัติเชิงความร้อนของตัวเซลล์แสงอาทิตย์

สมบัติเชิงความร้อน	สมการ	หมายเหตุ
ความหนา (mm.)	0.4	-
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	$1521T_{cell}^{-1.226}$	$T_{cell} < 1200 K$
	$8.99T_{cell}^{-1.226}$	$T_{cell} \geq 1200 K$
ความจุความร้อนจำเพาะ (J/g.K)	$0.184\exp(4.5 \times 10^{-3}T_{cell})$	$T_{cell} < 300 K$
	$0.1694\exp(2.375 \times 10^{-4}T_{cell})$	$T_{cell} \geq 1200 K$
ความหนาแน่น (kg/m ³)	2329	-
สภาพแผ่รังสีและสภาพดูดกลืน	0.95	-

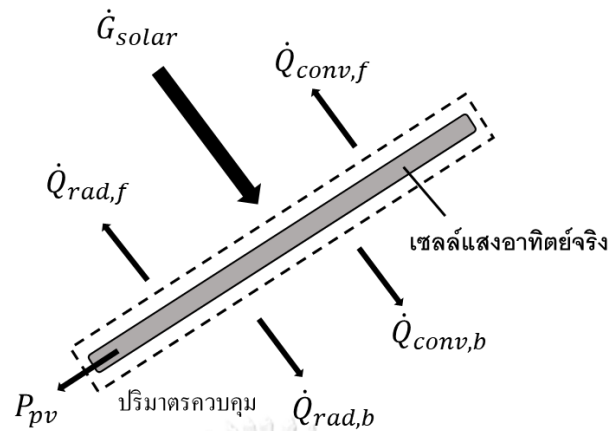
4.3.2 แบบจำลองสมดุทางความร้อนสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง

เนื่องจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นเป็นพัฒนาต่อมาจากแบบจำลองทางความร้อนของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงการผลิตกระแสไฟฟ้า แบบจำลองที่ใช้ในการจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงจึงมีการปรับปรุงเล็กน้อยเพื่อให้ครอบคลุมถึงการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วย โดยสมมติฐานสำหรับแบบจำลองที่ปรับปรุงมีดังต่อไปนี้

1. การกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงนั้นมีค่าเท่ากันทุกจุด
2. แผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงมีการถ่ายเทความร้อนออกทั้งทางด้านหน้าและทางด้านหลัง
3. สำหรับการคำนวณค่าตัวเลข Nusselt (\overline{Nu}_L) สำหรับกรณีที่เป็นการพาความร้อนแบบตามธรรมชาตินั้น ให้เปรียบแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ใช้งานในประเทศไทยจะติดตั้งทำมุมเอียงในแนวระดับที่ 13-15 องศาเสมือนว่าเป็นแผ่นเรียบวางในแนวนอนโดยมีด้านร้อนอยู่ด้านบน
4. สภาวะแวดล้อมทั้งด้านหน้าและด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงมีค่าเท่ากันและเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา
5. คำนึงถึงการผลิตกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง

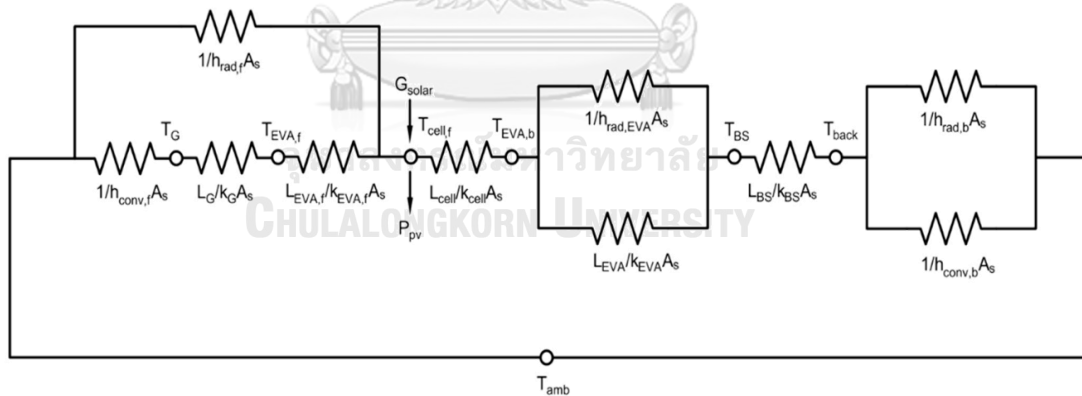
จากการสมมติฐานแบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงข้างต้นสามารถนำมาเขียนแบบจำลองสมดุทางความร้อนตามกฎอนุรักษ์พลังงานภายในระบบดังสมการที่ 4.2 ซึ่งใช้เป็นสมการตั้งต้นในการทำนายอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จริงด้วยการคำนวณจากวิธี Finite Difference Method โดยแบบจำลองสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไป และแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.3.2.1 กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไป



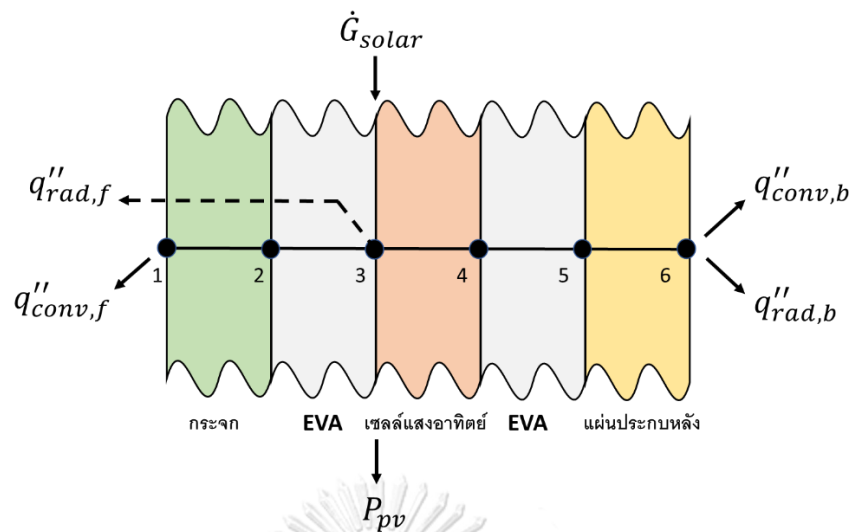
รูปที่ 4.19 แบบจำลองสมดุลทางความร้อนสำหรับกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไป

หากพิจารณาระบบคือแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ (\dot{G}_{solar}) จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้า (P_{pv}) และเกิดการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นทั้งด้านหน้าและด้านหลัง 2 ประเภท คือ การพาความร้อน (\dot{Q}_{conv}) และการแผ่รังสี (\dot{Q}_{rad}) ซึ่งสามารถเขียนเป็นวงจรความต้านทานทางความร้อน (Thermal resistance) ได้ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 วงจรต้านทานทางความร้อนสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไป

การคำนวณหาค่าอุณหภูมิ ณ เวลาต่าง ๆ ด้วยสมการ Finite Difference Method แผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไปจะถูกแบ่งออกเป็น 6 จุดต่อตามส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์จริง แสดงดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 จุดต่อต่าง ๆ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไป

จากรูปที่ 4.21 สมการที่ใช้ในการคำนวณหาอุณหภูมิ ณ จุดต่อต่าง ๆ จะแสดงดังสมการที่ 4.14 ถึง 4.21

จุดต่อระหว่างสิ่งแวดล้อมกับกระจก (จุดต่อที่ 1)

$$\frac{\rho_{glass} C_{p,glass}}{2} \frac{T_1^{i+1} - T_1^i}{\Delta t} = k_{glass} \frac{T_2^{i+1} - T_1^{i+1}}{\Delta x_{glass}} - h_{conv} (T_1^i - T_{amb}) \quad (4.14)$$

จุดต่อระหว่างกระจกกับแผ่น EVA (จุดต่อที่ 2)

$$\frac{\rho_{glass} C_{p,glass} \Delta x_{glass}}{2} \frac{T_2^{i+1} - T_2^i}{\Delta t} + \frac{\rho_{EVA} C_{p,EVA} \Delta x_{EVA}}{2} \frac{T_2^{i+1} - T_2^i}{\Delta t} = k_{glass} \frac{T_1^{i+1} - T_2^{i+1}}{\Delta x_{glass}} - k_{EVA} \frac{T_2^{i+1} - T_3^{i+1}}{\Delta x_{EVA}} \quad (4.15)$$

จุดต่อระหว่างแผ่น EVA ด้านหน้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ (จุดต่อที่ 3)

$$\frac{\rho_{EVA} C_{p,EVA} \Delta x_{EVA}}{2} \frac{T_3^{i+1} - T_3^i}{\Delta t} + \frac{\rho_{cell} C_{p,cell} \Delta x_{cell}}{2} \frac{T_3^{i+1} - T_3^i}{\Delta t} = \quad (4.16)$$

$$\dot{G}_{solar} - P_{pv} + k_{EVA} \frac{T_2^{i+1} - T_3^{i+1}}{\Delta x_{EVA}} - k_{cell} \frac{T_3^{i+1} - T_4^{i+1}}{\Delta x_{cell}} - \varepsilon_{cell} \sigma [(T_3^i)^4 - (T_{amb})^4]$$

สำหรับการคำนวณหา กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้และประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิของแผงด้วย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.17 [30] และ 4.18 ตามลำดับ

กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

$$P_{pv} = \frac{P_{pv,stc} G_{solar}}{1000} [1 - \delta_{cell} (T_{cell} - 25)] \quad (4.17)$$

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

$$\eta_{pv} = \frac{P_{pv}}{G_{solar} A_{cell}} \times 100 \quad (4.18)$$

เมื่อ P_{pv} คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง (W)

η_{pv} คือ ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง

$P_{pv,stc}$ คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง
ในสภาวะทดสอบ (W)

δ_{cell} คือ สัมประสิทธิ์ในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์ต่ออุณหภูมิของเซลล์

T_{cell} คือ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ($^{\circ}\text{C}$)

จุดต่อระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์กับแผ่น EVA ด้านหลัง (จุดต่อที่ 4)

$$\frac{\rho_{cell} C_{p,cell} \Delta x_{cell}}{2} \frac{T_4^{i+1} - T_4^i}{\Delta t} + \frac{\rho_{EVA} C_{p,EVA} \Delta x_{EVA}}{2} \frac{T_4^{i+1} - T_4^i}{\Delta t} = \quad (4.19)$$

$$k_{cell} \frac{T_3^{i+1} - T_4^{i+1}}{\Delta x_{cell}} - k_{EVA} \frac{T_5^{i+1} - T_4^{i+1}}{\Delta x_{EVA}} - F \varepsilon_{cell} \sigma [(T_4^i)^4 - (T_5^i)^4]$$

จุดต่อระหว่างแผ่น EVA ด้านหลังกับแผ่นประกบหลัง (จุดต่อที่ 5)

$$\frac{\rho_{EVA} C_{p,EVA} \Delta x_{EVA}}{2} \frac{T_5^{i+1} - T_5^i}{\Delta t} + \frac{\rho_{bs} C_{p,bs} \Delta x_{bs}}{2} \frac{T_5^{i+1} - T_5^i}{\Delta t} = \quad (4.20)$$

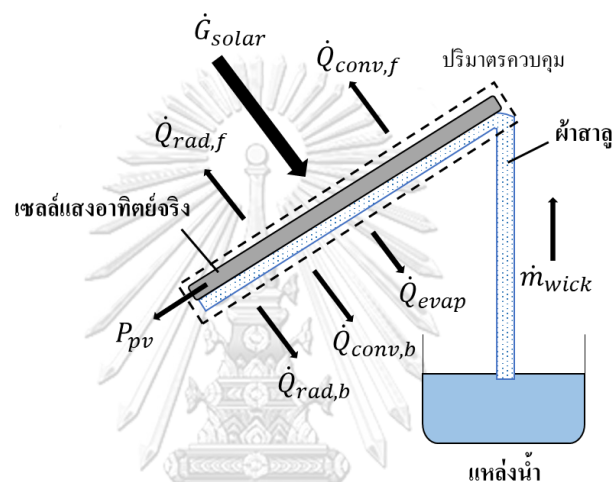
$$k_{EVA} \frac{T_4^{i+1} - T_5^{i+1}}{\Delta x_{EVA}} - k_{bs} \frac{T_6^{i+1} - T_5^{i+1}}{\Delta x_{bs}} + F \varepsilon_{cell} \sigma [(T_4^i)^4 - (T_5^i)^4]$$

จุดต่อระหว่างแผ่นประกบหลังกับสิ่งแวดล้อม (จุดต่อที่ 6)

$$\frac{\rho_{bs} C_{p,bs} T_6^{i+1} - T_6^i}{2 \Delta t} = \quad (4.21)$$

$$k_{bs} \frac{T_5^{i+1} - T_6^{i+1}}{\Delta x_{bs}} - h_{conv}(T_6^i - T_{amb}) - \varepsilon_{bs} \sigma [(T_6^i)^4 - (T_{amb})^4]$$

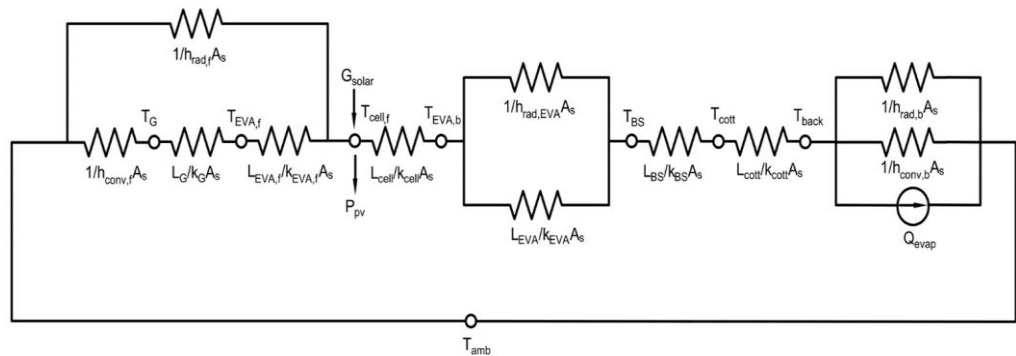
4.3.2.2 กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ



รูปที่ 4.22 แบบจำลองสมดุลทางความร้อนของระบบกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง

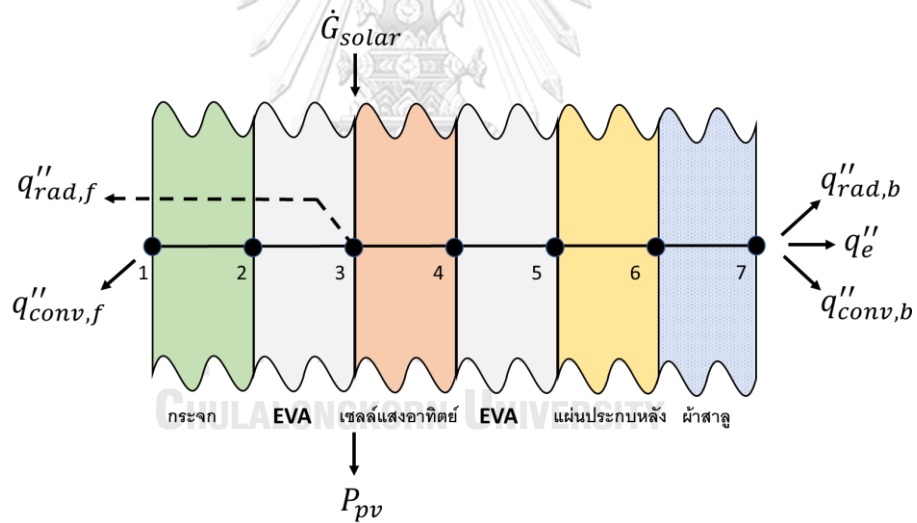
ที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ

หากพิจารณาระบบคือแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ (\dot{G}_{solar}) จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้า (P_{pv}) ออกมา เกิดการพาความร้อน (\dot{Q}_{conv}) และการแผ่รังสี (\dot{Q}_{rad}) ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง และเกิดความร้อนจากการระเหยของน้ำ (\dot{Q}_{evap}) ขึ้นที่ด้านหลังซึ่งสามารถเขียนเป็นวงจรความต้านทานทางความร้อน (Thermal resistance) ได้ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 วงจรต้านทานทางความร้อนสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ

การคำนวณหาค่าอุณหภูมิ ณ เวลาต่าง ๆ ด้วยสมการ Finite Difference Method แผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไปจะถูกแบ่งออกเป็น 7 จุดต่อตามส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ แสดงดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 จุดต่อต่าง ๆ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ

จากรูปที่ สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณหาอุณหภูมิของจุดต่อที่ 1 ถึงจุดต่อที่ 5 จะใช้สมการเดียวกันกับการคำนวณสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไป (สมการที่ 4.14 ถึง 4.20) ส่วนสมการที่ใช้สำหรับจุดต่อที่ 6 และจุดต่อที่ 7 จะแสดงดังสมการที่ 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ

จุดต่อระหว่างแผ่นประกบหลังกับผ้าสาหลู (จุดต่อที่ 6)

$$\frac{\rho_{bs} C_{p,bs} \Delta x_{bs}}{2} \frac{T_6^{i+1} - T_6^i}{\Delta t} + \frac{\rho_{cott} C_{p,cott} \Delta x_{cott}}{2} \frac{T_6^{i+1} - T_6^i}{\Delta t} =$$

$$k_{bs} \frac{T_5^{i+1} - T_6^{i+1}}{\Delta x_{bs}} - k_{cott} \frac{T_6^{i+1} - T_7^{i+1}}{\Delta x_{cott}} \quad (4.22)$$

จุดต่อระหว่างผ้าสาหลูกับสิ่งแวดล้อม (จุดต่อที่ 7)

$$\frac{\rho_{cott} C_{p,cott}}{2} \frac{T_7^{i+1} - T_7^i}{\Delta t} = k_{cott} \frac{T_6^{i+1} - T_7^{i+1}}{\Delta x_{cott}} - h_{conv} (T_7^i - T_{amb})$$

$$- \varepsilon_{cott} \sigma [(T_7^i)^4 - (T_{amb})^4] - \dot{m}_{evap} h_{fg} \quad (4.23)$$

สุดท้ายทำการจัดรูปสมการทุกจุดต่อทั้งกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไปและเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งผ้าไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ (Matrix) ดังสมการที่ 4.9 แล้วใช้แบบจำลองทางทฤษฎีช่วยในการคำนวณเพื่อหาค่าอุณหภูมิของแต่ละจุดต่อออกมา

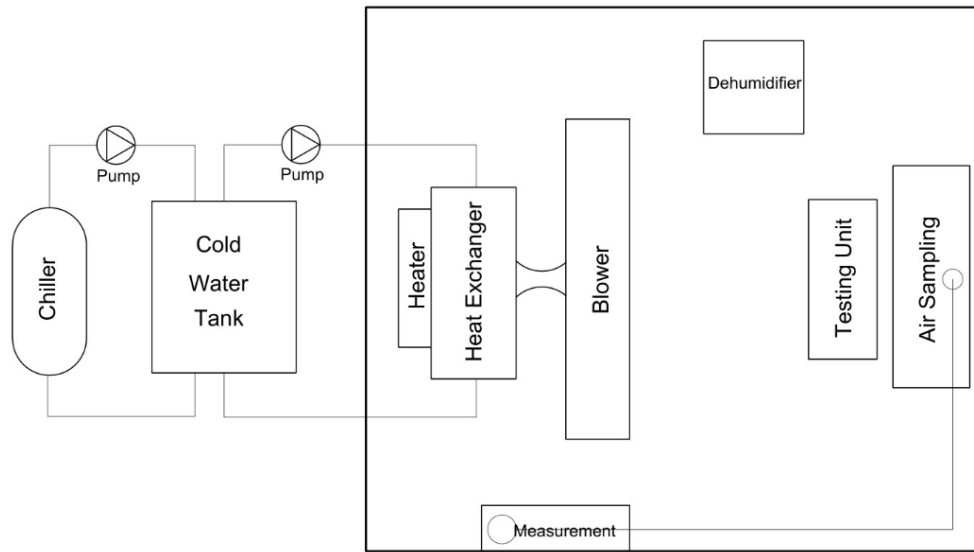
บทที่ 5

การทดลองเพื่อตรวจสอบแบบจำลองทางทฤษฎี

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลองเพื่อนำผลไปตรวจสอบแบบจำลองทางทฤษฎีที่ระบุไว้ในบทก่อนหน้า เพื่อแบบจำลองที่แม่นยำแล้วไปใช้ในการวิเคราะห์ผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ในบทต่อไป ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ในส่วนแรกจะกล่าวถึงห้องจำลองสภาวะแวดล้อมที่ผู้วิจัยได้ใช้ในการทดลอง เพื่อให้ผู้อ่านได้รู้จักกับอุปกรณ์ที่อยู่ภายในห้องจำลองสภาวะแวดล้อมและวิธีการทำงานของห้องจำลองสภาวะแวดล้อม ส่วนต่อมาจะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง เพื่อให้ผู้อ่านรับรู้ถึงอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ที่ผู้วิจัยใช้ในการทดลอง และส่วนสุดท้าย คือวิธีการทดลอง ซึ่งทำให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจขั้นตอนการทดลองและสามารถนำไปปฏิบัติตามได้

5.1 ห้องจำลองสภาวะแวดล้อม (Environmental room)

ห้องจำลองสภาวะแวดล้อมถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับทดลองเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง โดยห้องนี้สามารถจำลองสภาวะแวดล้อมตามความต้องการของผู้วิจัย ซึ่งการจำลองสภาวะแวดล้อมนี้ จะสามารถจำลองได้ด้วยการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ภายในห้องจำลองสภาวะแวดล้อม การทดลองจะกระทำที่ห้องชั้น 3 อาคารโคลัมโบ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยห้องจำลองสภาวะแวดล้อมมีขนาดความกว้าง 3.42 เมตร ความยาว 3.86 เมตร และความสูง 2.42 เมตร ผนังห้องมีความหนาประมาณ 10.6 เซนติเมตร และผนังทุกด้านของห้องจำลองสภาวะแวดล้อมจะบุด้วยฉนวนกันความร้อน เพื่อไม่ให้ความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถถ่ายเทออกจากห้องจำลองสภาวะแวดล้อมไปสู่ด้านนอกได้ โดยรายละเอียดอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในห้องจำลองสภาวะแวดล้อมจะแสดงดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 อุปกรณ์ภายในห้องจำลองสภาวะแวดล้อม

5.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้กับห้องจำลองสภาวะแวดล้อม

อุปกรณ์ที่ใช้กับห้องจำลองสภาวะแวดล้อมจะมีหน้าที่ในการควบคุมสภาวะอากาศภายในห้องจำลองสภาวะแวดล้อมให้เป็นไปตามที่ผู้วิจัยต้องการได้ โดยในห้องจำลองสภาวะแวดล้อมมีอุปกรณ์อยู่ทั้งหมด 8 ชนิด ดังนี้

1) เครื่องทำความร้อน (Heater)

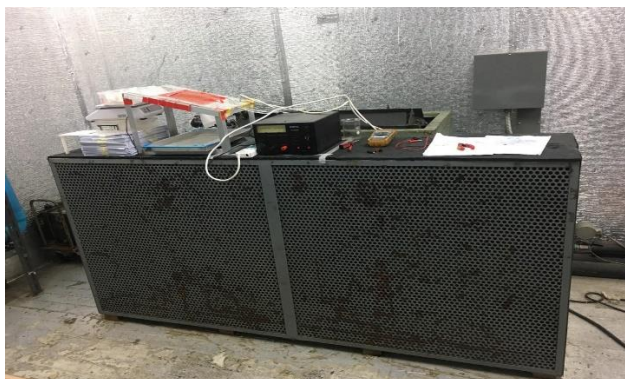
เครื่องทำความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับให้ความร้อนแก่ห้องจำลองสภาวะแวดล้อม โดยแผ่นทำความร้อนที่ใช้น้ำมันอีตราการให้ความร้อนอยู่ที่ 2000 วัตต์ ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แผ่นทำความร้อน

2) เครื่องเป่าลม (Blower)

เครื่องเป่าลมเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจ่ายลมให้แก่ห้องจำลองสภาวะแวดล้อม เพื่อให้ห้องจำลองสภาวะแวดล้อมมีอากาศหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลา โดยเครื่องเป่าลมที่ใช้มีขนาดความกว้าง 0.4 เมตร ความยาว 2.0 เมตรและความสูง 1.0 เมตร ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 เครื่องเป่าลม

3) คอยล์เย็น (Cooling Coil)

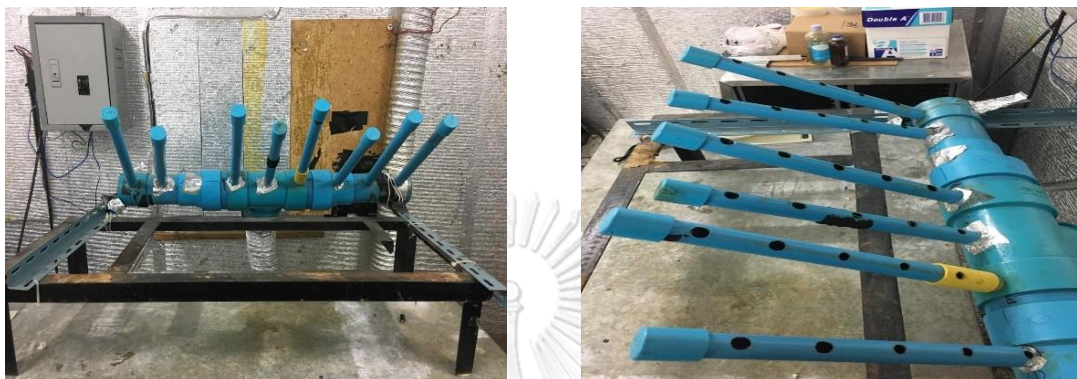
คอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศภายในห้องจำลองสภาวะแวดล้อมกับท่อน้ำเย็น ซึ่งเมื่ออากาศไหลผ่านอุปกรณ์นี้จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับระบบท่อน้ำเย็นส่งผลให้อุณหภูมิอากาศมีค่าลดลง โดยคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนมีขนาดความกว้าง 60.5 เซนติเมตร ความยาว 86.5 เซนติเมตร และความหนา 12 เซนติเมตร ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 คอยล์เย็น

4) ที่เก็บค่าตัวอย่างอากาศ (Air Sampling)

ที่เก็บค่าตัวอย่างอากาศเป็นอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างอากาศที่อยู่ในห้องทดสอบบางส่วน เพื่อนำมาใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิอากาศจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้งและเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 เก็บค่าตัวอย่างอากาศ

5) เครื่องควบคุมความชื้น (Humidifier/Dehumidifier)

เครื่องควบคุมความชื้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมค่าความชื้นของอากาศที่อยู่ภายในห้องจำลองสภาวะแวดล้อม โดยมีขนาดความกว้าง 39 เซนติเมตรเมตร ความยาว 51 เซนติเมตร และความสูง 66 เซนติเมตร ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 เครื่องควบคุมความชื้น

6) ถังน้ำเย็น (Cold Water Tank)

ถังน้ำเย็นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องทดลองซึ่งจะถูกติดตั้งไว้ที่ด้านนอกห้องจำลองสภาวะแวดล้อม โดยน้ำเย็นจะทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับคอยล์ร้อน ซึ่งจะเป็นตัวช่วยในการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องจำลองสภาวะแวดล้อม ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ถังน้ำเย็น

7) เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)

เครื่องทำน้ำเย็นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของน้ำเย็นลงไปอีกซึ่งจะถูกติดตั้งไว้ที่ด้านนอกห้องจำลองสภาวะแวดล้อม ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 เครื่องทำน้ำเย็น

8) เครื่องสูบน้ำ (Pump)

เครื่องสูบน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำเย็นเพื่อทำให้น้ำเย็นสามารถไหลเข้าไปถึงคอยล์ร้อนได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะถูกติดตั้งไว้ที่ด้านนอกห้องจำลองสภาวะแวดล้อม ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 เครื่องสูบน้ำ

5.1.2 หลักการทำงานและควบคุมสภาวะอากาศภายในห้องจำลองสภาวะแวดล้อม

ก่อนที่จะทำการทดลองเซลล์แสงอาทิตย์จำลองนั้นจะต้องควบคุมสภาวะอากาศภายในห้องทดสอบให้มีค่าคงที่ก่อน โดยเริ่มต้นนั้นให้ทำการเปิดแผ่นทำความร้อนเพื่อให้แผ่นทำความร้อนจ่ายความร้อนให้แก่คอยล์ร้อน จากนั้นเครื่องเป่าลมก็จะจ่ายอากาศที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นออกมาภายในห้องจำลองสภาวะแวดล้อม ซึ่งอากาศก็จะหมุนเวียนอยู่ในห้องจำลองสภาวะแวดล้อมแล้วเคลื่อนที่กลับเข้าไปยังคอยล์ร้อนอีกรอบ และอากาศในห้องจำลองสภาวะแวดล้อมบางส่วนจะเคลื่อนที่เข้าไปในที่เก็บค่าตัวอย่างอากาศเพื่อให้ผู้วิจัยสามารถทราบค่าอุณหภูมิของสภาวะอากาศภายในห้องจำลองสภาวะแวดล้อมได้ โดยทำการอ่านค่าอุณหภูมิของสภาวะอากาศที่เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้งและเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก (รูปที่ 5.10) ผ่านทางหน้าต่างของห้องจำลองสภาวะแวดล้อมที่ทำด้วยกระจก



รูปที่ 5.10 เทอโมมิเตอร์กระเปาะแห้งและเทอโมมิเตอร์กระเปาะเปียก

เมื่อทราบค่าอุณหภูมิของเทอโมมิเตอร์ทั้งสองแล้วสามารถนำค่าที่ได้มาคำนวณเพื่อหาค่าความชื้นของอากาศภายในห้องจำลองสภาวะแวดล้อมได้ หลังจากทีทราบค่าอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายในห้องจำลองสภาวะแวดล้อมแล้ว ให้พิจารณาว่าค่าทั้งสองที่ได้ตรงกับความต้องการหรือไม่ ถ้าค่าทั้งสองตรงกับความต้องการของผู้วิจัยให้เริ่มทำการทดลองเซลล์แสงอาทิตย์จำลองได้ แต่ถ้าค่าทั้งสองยังไม่ตรงกับความต้องการของผู้วิจัย ให้ทำการปรับค่าจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในห้องจำลองสภาวะจนกว่าค่าทั้งสองจะตรงตามความต้องการของผู้วิจัย

5.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง (Apparatus) วิทยาลัย

สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ เซลล์แสงอาทิตย์จำลอง และอุปกรณ์ การวัด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์จำลอง

เซลล์แสงอาทิตย์จำลองเป็นอุปกรณ์ที่ผู้วิจัยได้ประดิษฐ์ขึ้นมาเพื่อจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไป โดยอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์จำลองมีทั้งหมด 5 อย่าง ได้แก่

1) แผ่นอะลูมิเนียมบางซึ่งมีขนาดความกว้าง 16 มิลลิเมตร ความยาว 17 มิลลิเมตร และความหนา 3 มิลลิเมตร และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าเท่ากับ 237 W/m.K เพื่อใช้จำลองเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 5.11



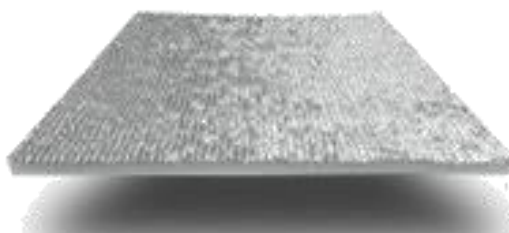
รูปที่ 5.11 แผ่นอะลูมิเนียมบาง

2) แผ่นทำความร้อนซิลิโคนขนาด 150 W มีความกว้างและความยาวเท่ากับขนาดของแผ่นอะลูมิเนียมบาง เพื่อเปรียบเสมือนความร้อนจากดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 แผ่นทำความร้อนซิลิโคน

3) แผ่นฉนวนกันความร้อนทำจากโพลียูรีเทน (PU) มีความกว้างและความยาวเท่ากับขนาดของแผ่นอะลูมิเนียมบาง และมีความหนา 10 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการถ่ายเทความร้อนออกสู่ด้านหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง (ตามสมมติฐานของแบบจำลองสมดุลทางความร้อนข้อที่ 2) ดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 แผ่นฉนวนกันความร้อน

4) เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับแผ่นทำความร้อนซิลิโคน โดยสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 20 A และความต่างศักย์อยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 15 V_{DC} ดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

5) ผ้าอ้อมสาธู (รูปที่ 5.15) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับลดอุณหภูมิด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ มีความกว้างและความยาวเท่ากับแผ่นอะลูมิเนียมบาง และมีความหนาประมาณ 0.35 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้การติดตั้งไว้ที่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง โดยผ้าอ้อมสาธู มีสมบัติดังนี้

- 1) สามารถดูดซับน้ำและระเหยน้ำได้ดี
- 2) อายุการใช้งานนาน
- 3) มีน้ำหนักเบาและหาซื้อได้ง่าย

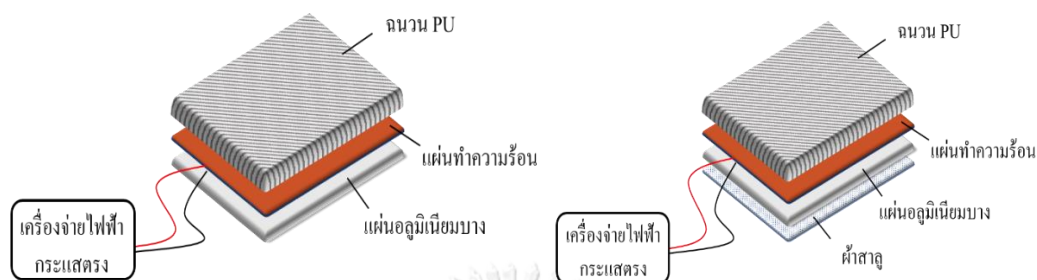
มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 5.15 ผ้าอ้อมสาธู

เซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ประดิษฐ์ขึ้นจะถูกนำมาติดตั้งไว้บนฐานโครงสร้าง โดยทำมุมเอียงกับแนวระดับ 15 องศา ซึ่งเป็นมุมติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ใน

ประเทศไทย สำหรับการทดลองเซลล์แสงอาทิตย์จำลองจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ เซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป กับเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง แสดงดังรูปที่ 5.16



(ก) เซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป (ข) เซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง

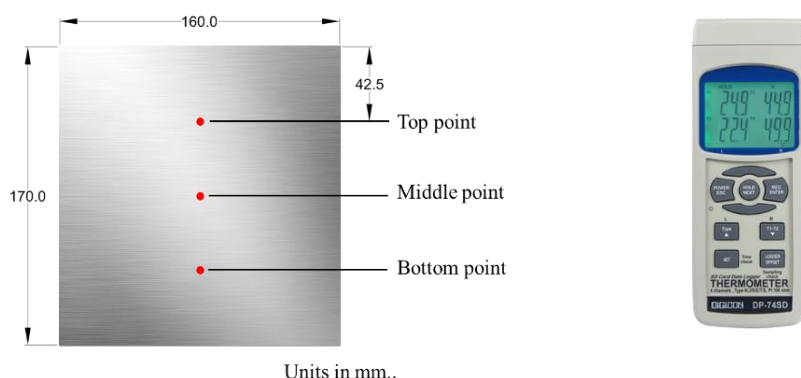
รูปที่ 5.16 เซลล์แสงอาทิตย์จำลอง

5.2.2 อุปกรณ์การวัด

การทดลองเซลล์แสงอาทิตย์จำลองนี้จะใช้อุปกรณ์ในการวัดค่าและเก็บข้อมูลเพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยอุปกรณ์การวัดในงานวิจัยนี้มีอยู่ 4 ชนิด ได้แก่ เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความเร็วลม มัลติมิเตอร์ และไมโครมิเตอร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermocouple)

เครื่องวัดอุณหภูมิใช้สำหรับวัดอุณหภูมิในการทดลองเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง โดยจะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DP-74SD มีความเที่ยงตรง $0.4\% \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ เทอโมคัปเปิลจะถูกติดตั้งไว้ที่ด้านหลังของแผ่นอะลูมิเนียมทั้งหมด 3 หัว โดยติด ณ ตำแหน่งด้านบน ตรงกลาง และด้านล่าง ดังรูปที่ 5.17



(ก) เครื่องวัดอุณหภูมิชนิด K

(ข) ตำแหน่งติดตั้งหัววัด

รูปที่ 5.17 เครื่องวัดอุณหภูมิชนิด K และตำแหน่งติดตั้งหัววัด

2) เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)

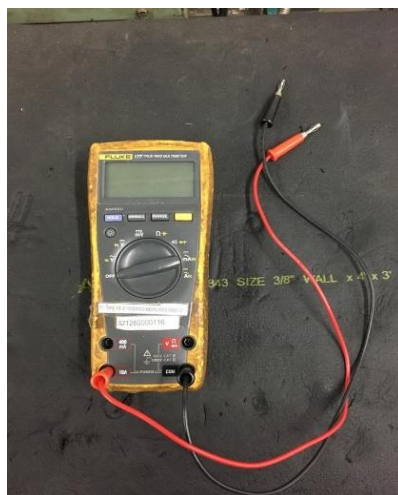
เครื่องวัดความเร็วลมใช้สำหรับวัดความเร็วของลมที่ออกมาจากเครื่องเป่าลมเพื่อนำไปประกอบในการคำนวณทางทฤษฎี โดยในการวัดค่าจะใช้เครื่องวัดความเร็วลมยี่ห้อ VICTOR รุ่น 816B มีความเที่ยงตรง 3% ดังรูปที่ 5.18



รูปที่ 5.18 เครื่องวัดความเร็วลม

3) มัลติมิเตอร์ (Multimeter)

มัลติมิเตอร์ใช้สำหรับวัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงไปยังแผ่นทำความร้อนซิลิโคน โดยในการวัดค่าจะใช้มัลติมิเตอร์ยี่ห้อ Fluke รุ่น 177 ซึ่งมีความเที่ยงตรงในการวัดค่าความต่างศักย์เท่ากับ $0.09\% \pm 2$ V และความเที่ยงตรงในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ $1.0\% \pm 3$ A ดังรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 มัลติมิเตอร์

4) ไมโครมิเตอร์ (Micrometer)

ไมโครมิเตอร์ใช้สำหรับวัดค่าความหนาของผ้าเพื่อนำมาใช้เป็นตัวแปรสำหรับ การคำนวณในแบบจำลองสมดุลทางความร้อนของระบบ โดยในการวัดค่าจะใช้ไมโครมิเตอร์ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น 293 ซึ่งมีความเที่ยงตรงในการวัดเท่ากับ $\pm 1 \mu\text{m}$ แสดงดังรูปที่ 5.20



รูปที่ 5.20 ไมโครมิเตอร์

5.3 วิธีการทดลอง

การทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การทดสอบสมบัติของผ้า และการตรวจสอบแบบจำลองทางทฤษฎี ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 การทดสอบสมบัติของผ้า (Fabric testing)

ผ้าสาธิตที่จะต้องถูกทดสอบเพื่อหาสมบัติ 3 ประการ ได้แก่ ค่าความพรุน (ϕ) ค่าสภาพซึมซาบ (K) และแรงดูดน้ำ (P_s) ซึ่งสมบัติเหล่านี้เป็นตัวแปรสำคัญที่นำไปใช้ทำนายลักษณะการดูดน้ำของผ้าจากแบบจำลองกฎของ Darcy (สมการที่ 3.21) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ค่าความพรุน (Porosity)

ความพรุนของผ้า หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาตรช่องว่างในเนื้อผ้าต่อปริมาตรของผ้าทั้งหมด ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการอุ้มน้ำของผ้า โดยผ้าที่มีความพรุนสูงจะสามารถอุ้มน้ำไว้ได้ดีกว่าผ้าที่มีความพรุนต่ำเพราะว่าน้ำสามารถเข้าไปแทนที่ช่องว่างของผ้าได้มากกว่า การทดสอบหาค่าความพรุนจะใช้วิธี Gravimetric Method [22] ซึ่งค่าความพรุนของผ้าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5.1

$$\phi = \frac{V_{porous}}{V_{total}} = \frac{m_{wet} - m_{dry}}{m_{wet} - m_{sub}} \quad (5.1)$$

เมื่อ V_{porous} คือ ปริมาตรช่องว่างในเนื้อผ้า (m^3)

V_{total} คือ ปริมาตรของผ้าทั้งหมด (m^3)

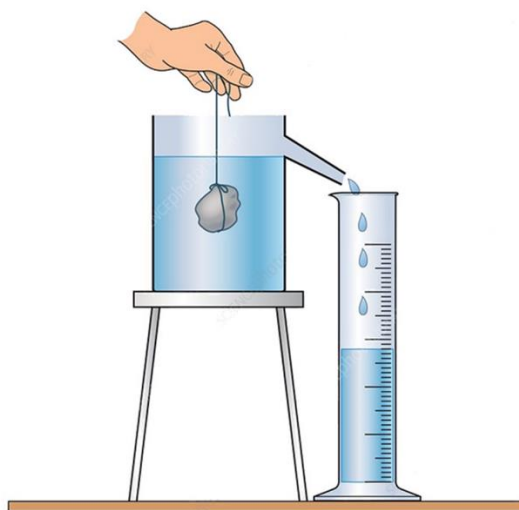
m_{dry} คือ มวลของผ้าแห้ง (kg)

m_{wet} คือ มวลของผ้าชุ่มน้ำ (kg)

m_{sub} คือ มวลของผ้าขณะที่ยุ่มอยู่ในน้ำทั้งผืน (kg)

หากพิจารณาตัวแปรในสมการที่ 5.1 จะพบว่าตัวแปรที่สามารถหาค่าได้ด้วยการทดสอบ คือ มวลของผ้าแห้ง (m_{dry}) มวลของผ้าชุ่มน้ำ (m_{wet}) และมวลของผ้าขณะที่ยุ่มอยู่ในน้ำทั้งผืน (m_{sub}) โดยนำมวลของผ้าแห้งสามารถหาได้จากการชั่งน้ำหนักของผ้าแห้ง มวลของผ้าชุ่มน้ำสามารถหาได้จากการนำน้ำมาหยดลงบนผ้าแห้งเพื่อให้เปียกชุ่มทั้งผืน จากนั้นจึงนำผ้าที่เปียกชุ่มน้ำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนัก และมวลของผ้าขณะที่ยุ่มอยู่ในน้ำสามารถหาด้วยวิธี

Water Displacement Method (รูปที่ 5.21) กล่าวคือนำผ้าแห้งไปจุ่มลงในภาชนะที่บรรจุน้ำไว้เต็ม ภาชนะ จากนั้นให้วัดปริมาตรน้ำที่ล้นออกมาจากภาชนะ ซึ่งปริมาตรที่ล้นออกมาจากภาชนะนี้จะมีค่าเท่ากับน้ำหนักของผ้าขณะที่จุ่มอยู่ในน้ำทั้งผืน

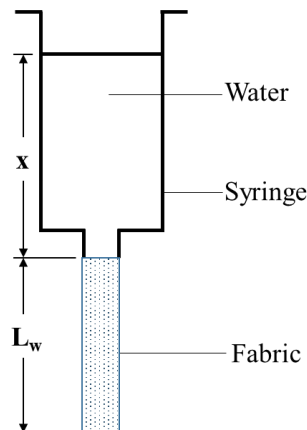


รูปที่ 5.21 วิธี Water Displacement Method

จากการทดสอบเพื่อหาค่าความพรุนของผ้าเป็นจำนวนทั้งหมด 5 ครั้ง พบว่าค่าความพรุนของผ้า (ϕ) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.6880 ± 0.01

2) ค่าสภาพซึมซาบ (Permeability)

ค่าสภาพซึมซาบของผ้า หมายถึง ความสามารถที่ยอมให้น้ำไหลผ่านตัวเนื้อผ้า ซึ่งผ้าที่ดูดซับน้ำได้อย่างรวดเร็วจะมีค่าสภาพซึมซาบมากกว่าผ้าที่ดูดซับน้ำได้ช้า การทดสอบหาค่าสภาพซึมซาบของผ้าจะใช้วิธี Falling Head Parameter (FHP) [22] โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบจะประกอบไปด้วยหลอดน้ำที่มีชั้นผ้าอยู่ด้านใน หลอดฉีดยา และขวดน้ำ แสดงดังรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 วิธี Falling Head Parameter

วิธีการทดสอบเริ่มต้นจากการนำน้ำใส่ลงไปหลอดฉีดยา (Syringe) ให้เต็ม จากนั้นนำหลอดฉีดยาไปต่อเข้ากับหลอดน้ำที่มีชิ้นผ้าอยู่ด้านใน เมื่อระดับน้ำเริ่มลดลงผู้ทำวิจัยจึงเริ่มจับเวลาและบันทึกค่าทุกครั้งเมื่อระดับน้ำในกระบอกฉีดยาลดลงไปที่ละ 1 ลบ.ซม. ต่อมานำค่าที่บันทึกได้แต่ละครั้งมาทำการพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln \frac{x_0}{x}$ กับเวลา (t) หลังจากนั้นทำการหาค่าความชันของกราฟเพื่อหาค่าสภาพซึมซาบ (K) ของผ้าตามสมการที่ 5.2

$$\ln \frac{x_0}{x} = \frac{K \rho_w g R_{wick}^2}{\mu_w L_{wick} R_{Sr}^2} t \quad (5.2)$$

เมื่อ x_0 คือ ความสูงของระดับน้ำเริ่มต้น (m)

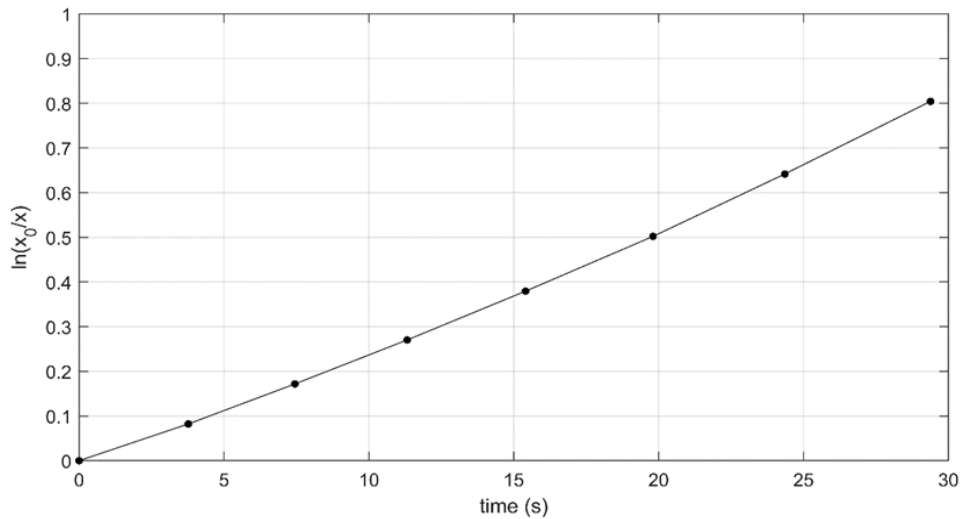
x คือ ความสูงของระดับน้ำที่ลดลง (m)

L_{wick} คือ ความยาวของผ้า (m)

R_{wick} คือ รัศมีของผ้า (m)

R_{Sr} คือ รัศมีของหลอดฉีดยา (m)

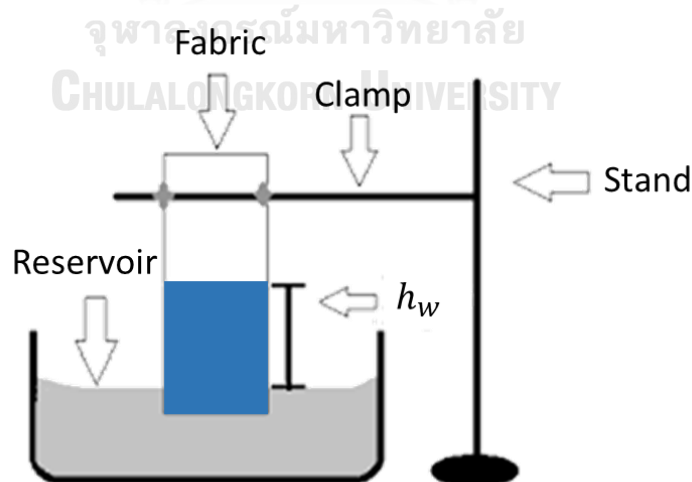
จากการทดสอบเพื่อหาค่าสภาพซึมซาบของผ้าด้วยวิธี Falling Head Parameter (FHP) เป็นจำนวนทั้งหมด 5 ครั้ง พบว่าสภาพซึมซาบของผ้า (K) ซึ่งคำนวณจากความชัน (Slope) ของกราฟตามสมการที่ 5.2 แสดงดังรูปที่ 5.23 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1.904 \times 10^{-12} \pm 7.79 \times 10^{-14} \text{ m}^2$



รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln \frac{x_0}{x}$ กับเวลา เพื่อใช้ในการหาค่าสภาพซึบซาบของผ้า

3) แรงดูดน้ำ (Suction pressure)

การหาค่าแรงดูดน้ำของผ้าจะต้องทราบค่าความสูงสูงสุดที่ผ้าสามารถดูดน้ำขึ้นไปได้ก่อน โดยวิธีการทดสอบเพื่อหาค่าความสูงสูงสุดที่ผ้าสามารถดูดน้ำขึ้นได้สามารถทำได้โดยการนำผ้าไปจุ่มไว้กับแหล่งน้ำแล้วปล่อยให้ผ้าดูดน้ำจนถึงจุดสูงสุด [31] และผ้าจะมีการหุ้มแผ่นพลาสติกใสไว้รอบด้านเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำสู่อากาศ (ดังรูปที่ 5.24) อีกทั้งการทดสอบนี้จะทำให้ทราบถึงลักษณะการดูดน้ำของผ้าที่เกิดขึ้นด้วย



รูปที่ 5.24 การทดสอบเพื่อหาค่าความสูงสูงสุดที่ผ้าสามารถดูดน้ำขึ้นไปได้

จากการทดสอบเพื่อหาค่าความสูงมากที่สุดที่ผ้าสามารถดูดน้ำเป็นจำนวนทั้งหมด 4 ครั้ง พบว่าผ้าสามารถดูดน้ำขึ้นไปได้สูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 50.0625 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 5.25



รูปที่ 5.25 แสดงผลลัพธ์จากการทดลองหาความสูงมากที่สุดที่ผ้าสามารถดูดน้ำขึ้นไปได้

ต่อมำนำค่าความสูงมากที่สุดที่ได้ไปคำนวณเพื่อหาค่าแรงดูดน้ำของผ้าตามสมการที่ 5.3

$$P_s = \rho_w g h_{w,max} \quad (5.3)$$

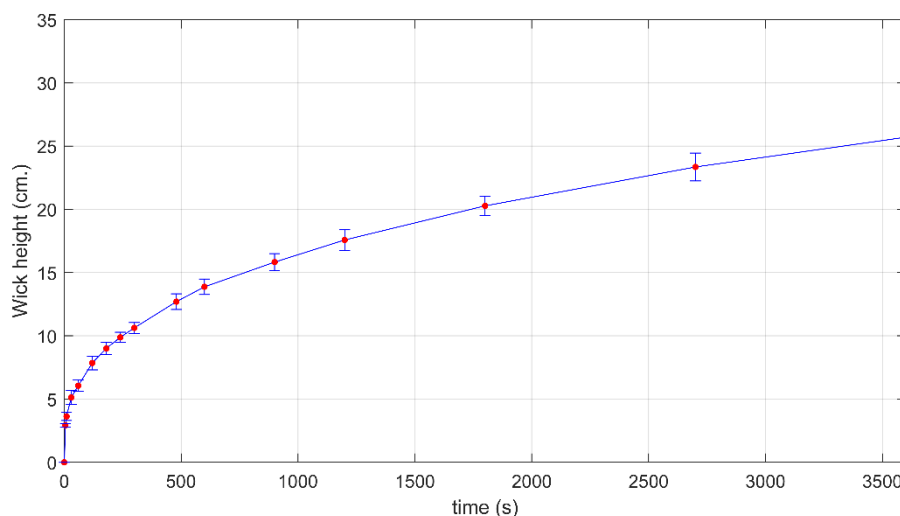
จากการทดสอบพบว่าแรงดูดน้ำของผ้ามีค่าเท่ากับ 4896.4 Pa

5.3.2 การทดลองเพื่อตรวจสอบแบบจำลองทางทฤษฎี (Theoretical Model Validation)

การทดลองทำขึ้นเพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองกฎของ Darcy และแบบจำลองสมดุลทางความร้อนมีความถูกต้องและสามารถนำไปใช้งานได้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.3.2.1 การตรวจสอบแบบจำลองกฎของ Darcy

การทดลองเพื่อตรวจสอบแบบจำลองกฎของ Darcy ตามบทที่ 3 จะใช้วิธีเดียวกันกับการทดสอบหาแรงดูดน้ำของผ้าในหัวข้อที่ผ่านมา เพียงแต่จะมีการบันทึกค่าความสูงที่ผ้าสามารถดูดน้ำขึ้นไปได้ ณ เวลาต่าง ๆ โดยผลการทดลองเปรียบเทียบกับแบบจำลองกฎของ Darcy จะแสดงดังรูปที่ 5.26

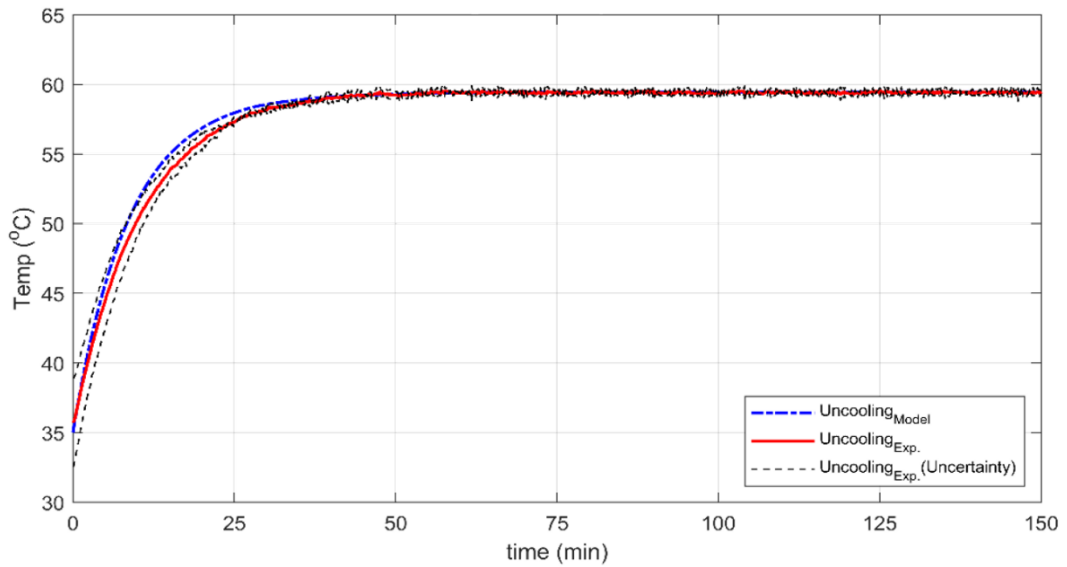


รูปที่ 5.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยที่ผ้าดูดซับน้ำกับเวลา

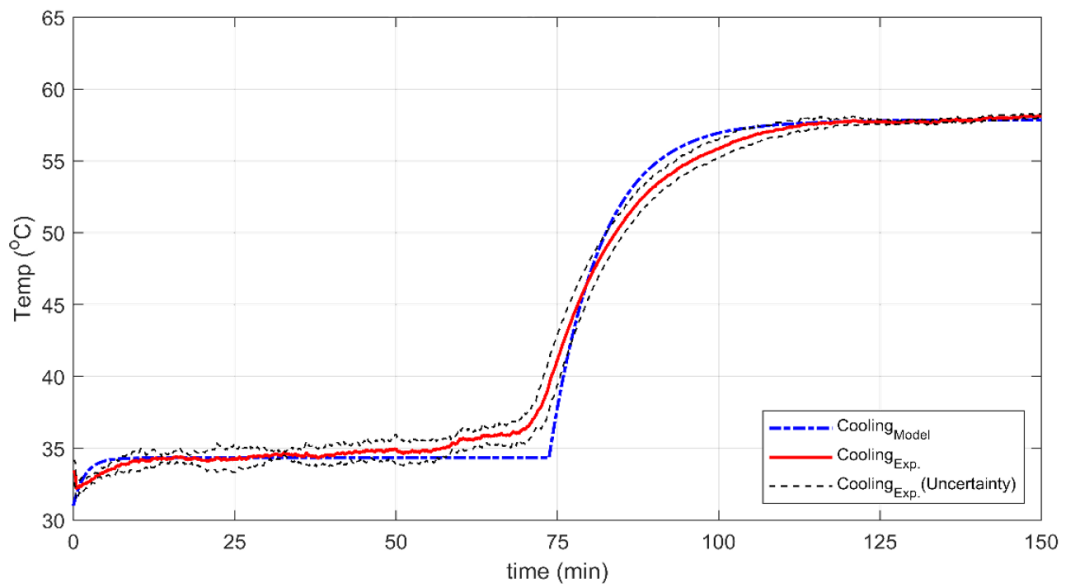
จากรูปที่ 5.26 พบว่าผลลัพธ์จากการทำนายลักษณะการดูดน้ำของผ้าด้วยแบบจำลองกฎของ Darcy มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองนี้สามารถนำไปใช้งานได้จริง

5.3.2.2 การตรวจสอบแบบจำลองสมดุลทางความร้อน

การทดลองเพื่อตรวจสอบแบบจำลองสมดุลทางความร้อนตามบทที่ 4 จะทำการทดลองเพียง 2 กรณีเท่านั้น คือ กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป และกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่มีการติดผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง ซึ่งการทดลองจะกระทำภายในห้องจำลองสภาวะแวดล้อม โดยเริ่มต้นจากการควบคุมสภาวะภายในห้องให้มีอุณหภูมิเท่ากับ 35 ± 0.2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 65 ± 3 เมื่อสภาวะแวดล้อมภายในห้องคงที่แล้วให้เริ่มทำการเปิดเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้แผ่นทำความร้อนทำความร้อนแก่แผ่นอะลูมิเนียมบาง ซึ่งจะกำหนดค่ากำลังความร้อนของแผ่นทำความร้อนให้มีขนาดเท่ากับ 460 W/m^2 หลังจากนั้นให้เริ่มบันทึกอุณหภูมิที่วัดค่าได้ทุก ๆ 5 วินาที และใช้เวลาในการทดลองทั้งหมด 150 นาที ซึ่งผลการทดลองสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป และกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่มีการติดผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง จะแสดงดังรูปที่ 5.27 และ 5.28 ตามลำดับ



รูปที่ 5.27 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองกับเวลา สำหรับกำลังไฟฟ้า 460 W/m^2 ที่สภาวะทดสอบอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 สำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป



รูปที่ 5.28 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองกับเวลา สำหรับกำลังไฟฟ้า 460 W/m^2 ที่สภาวะทดสอบอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 สำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง

จากผลการทดลองพบว่าแบบจำลองสมดุลทางความร้อนที่ผู้วิจัยได้ประดิษฐ์ขึ้นใน
บทการสร้างแบบจำลองทางทฤษฎีนั้นสามารถทำนายค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองของทั้ง
2 กรณีได้ใกล้เคียงกับผลการทดลอง และจากผลการทดลองสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติด
ผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง พบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดที่ทำให้ผ้าเกิดการระเหยน้ำได้มีค่าเท่ากับร้อยละ
22 ซึ่งจากผลการทดลองเพื่อตรวจสอบแบบจำลองทางทฤษฎีนี้จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองสมดุลทาง
ความร้อนนี้สามารถนำไปใช้ทำนายค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ได้จริง

สำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่มีการติดผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำนั้น
ผู้วิจัยไม่ได้ทำการตรวจสอบกับการทดลองโดยตรง แต่จะใช้วิธีการคำนวณด้วยแบบจำลอง
ทางทฤษฎีแทน ซึ่งผลลัพธ์จากการคำนวณจะอภิปรายในบทถัดไป



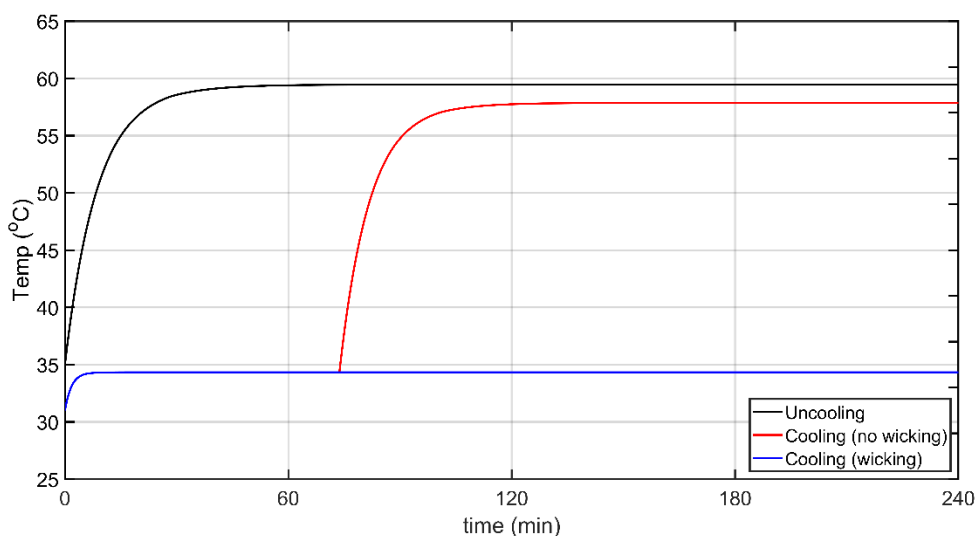
บทที่ 6

การวิเคราะห์ผลจากแบบจำลองทางทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง

บทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ผลจากแบบจำลองทางทฤษฎีซึ่งแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ โดยหัวข้อแรกจะวิเคราะห์ผลของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองในเงื่อนไขสภาวะอากาศคงที่ เพื่อให้ผู้อ่านได้ทราบถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองในกรณีต่างๆ และหัวข้อที่สองจะเป็นการวิเคราะห์ผลของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองในเงื่อนไขสภาวะอากาศต่างๆ เพื่อให้ผู้อ่านทราบถึงปัจจัยของสภาวะอากาศที่ส่งผลต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิด้วยวิธีระเหยน้ำเปียก

6.1 การวิเคราะห์ผลของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองในเงื่อนไขสภาวะอากาศคงที่

แบบจำลองทางทฤษฎีจะถูกนำมาใช้เพื่อทำนายผลของอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง โดยแบ่งออกเป็น 3 กรณี ได้แก่ กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุมน้ำไว้ที่ด้านหลัง และกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุมน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ ซึ่งในแต่ละกรณีนั้นจะให้ความร้อนแก่เซลล์แสงอาทิตย์จำลองเป็นขนาด 460 W/m^2 และใช้เวลาคำนวณทั้งหมด 4 ชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ดีที่สุดในแต่ละวัน โดยผลการทำนายค่าอุณหภูมิทั้ง 3 กรณีจะแสดงดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ได้รับความร้อนขนาด 460 W/m^2 เทียบกับเวลา 4 ชั่วโมง สำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุมน้ำไว้ที่ด้านหลัง และกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุมน้ำไว้ที่ด้านหลัง พร้อมกับแหล่งน้ำ

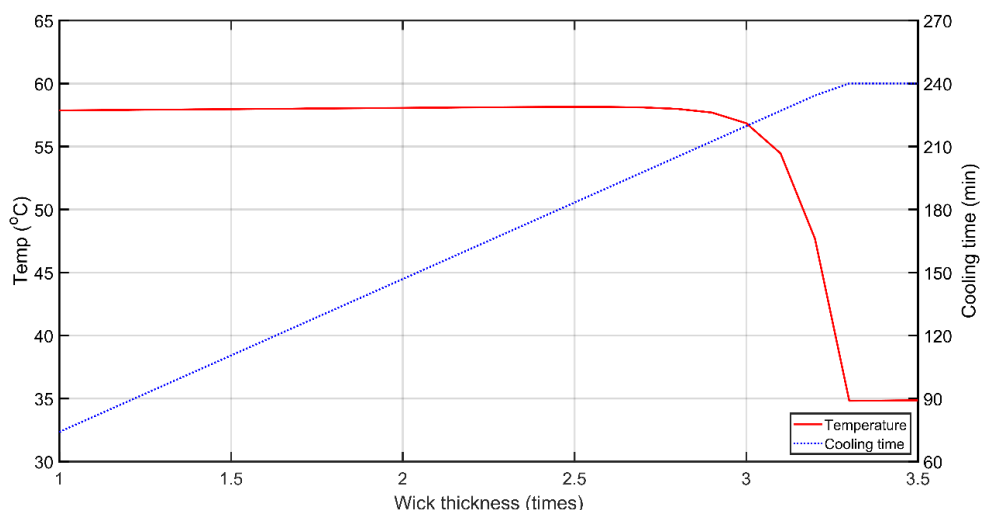
จากรูปที่ 6.1 กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป เมื่อเริ่มให้ความร้อนแก่เซลล์แสงอาทิตย์จำลอง พบว่าอุณหภูมิด้านหลังของเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงที่ที่อุณหภูมิเท่ากับ 59.8 องศาเซลเซียส ภายในเวลาประมาณ 45 นาที

ต่อมากรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุมน้ำไว้ที่ด้านหลัง เมื่อเริ่มให้ความร้อนแก่เซลล์แสงอาทิตย์จำลอง พบว่าอุณหภูมิของเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเข้าสู่สภาวะคงที่ครั้งแรกที่อุณหภูมิเท่ากับ 34.3 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 10 นาที และสามารถคงอุณหภูมินี้ได้ถึงประมาณ 74 นาที เมื่อผ้าเริ่มแห้งหรือกล่าวคือความชื้นของผ้ามีค่าถึงความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดที่ทำให้เกิดการระเหยของน้ำซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 22 อุณหภูมิของเซลล์จึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเข้าสู่สภาวะอุณหภูมิกิ่งที่อีกครั้งที่ประมาณ 57.8 องศาเซลเซียส ภายในเวลาประมาณ 125 นาที

ผลการคำนวณจากแบบจำลองทางทฤษฎีของทั้ง 2 กรณีนี้ พบว่ากรณีแสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุมน้ำไว้ที่ด้านหลังสามารถลดอุณหภูมิของเซลล์ได้ประมาณ 24.5 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถลดได้มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของสภาวะอากาศโดยรอบ ดังนั้นการลดอุณหภูมิด้วยวิธีนี้มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ แต่เมื่อผ้าเริ่มแห้งอุณหภูมิของเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเข้าสู่สภาวะคงที่อีกครั้ง หากสังเกตจะพบว่าสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่

ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังมีอุณหภูมิน้อยกว่ากรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไปเล็กน้อยเนื่องมาจากผลของค่าสภาพเปล่งรังสี (ϵ) ของผ้าที่มีค่ามากกว่าอุณหภูมิเย็บจึงส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสีในกรณีที่มีผ้าแห้งติดไว้ที่ด้านหลังมีค่ามากกว่ากรณีทั่วไป ซึ่งผลลัพธ์บ่งบอกได้ว่าหากติดตั้งผ้าแห้งไว้ที่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองก็จะสามารถช่วยลดอุณหภูมิได้เพียงเล็กน้อย

เมื่อทราบแล้วว่าการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองในกรณีที่ติดผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังมีข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ กล่าวคือไม่สามารถลดอุณหภูมิได้ตลอดเวลาที่ต้องการเนื่องจากผ้าเริ่มแห้ง ส่งผลให้อุณหภูมิของเซลล์เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพของเซลล์ค่าลดลง ดังนั้นข้อจำกัดนี้สามารถแก้ปัญหาดูด้วยการเพิ่มความหนาของผ้าสาหร่ายหรือเปลี่ยนจากผ้าสาหร่ายเป็นผ้าชนิดอื่นที่มีค่าความพรุนสูงกว่า ซึ่งจะทำให้ผ้ามีความสามารถในการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นและช่วยเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิด้านหลังของเซลล์



รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาของผ้าต่างๆ กับอุณหภูมิสุดท้ายของเซลล์ที่เวลา 4 ชั่วโมงและระยะเวลาที่สามารถลดอุณหภูมิได้ สำหรับความร้อน 460 W/m^2 ในกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง

ดังที่กล่าวมาแล้วว่ามีความเป็นไปได้ในการเพิ่มระยะเวลาในการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองด้วยการเพิ่มความหนาของผ้าชุ่มน้ำ ผลการจำลองจากแบบจำลองทางทฤษฎีถึงผลการเปลี่ยนแปลงความหนาของผ้าต่อระยะเวลาที่สามารถลดอุณหภูมิได้และอุณหภูมิสุดท้ายของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองหลังจากเริ่มรับความร้อนแล้ว 4 ชั่วโมง แสดงให้เห็นในรูปที่ 6.2 จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าความหนาของผ้าส่งผลต่อระยะเวลาที่ผ้าใช้ในการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

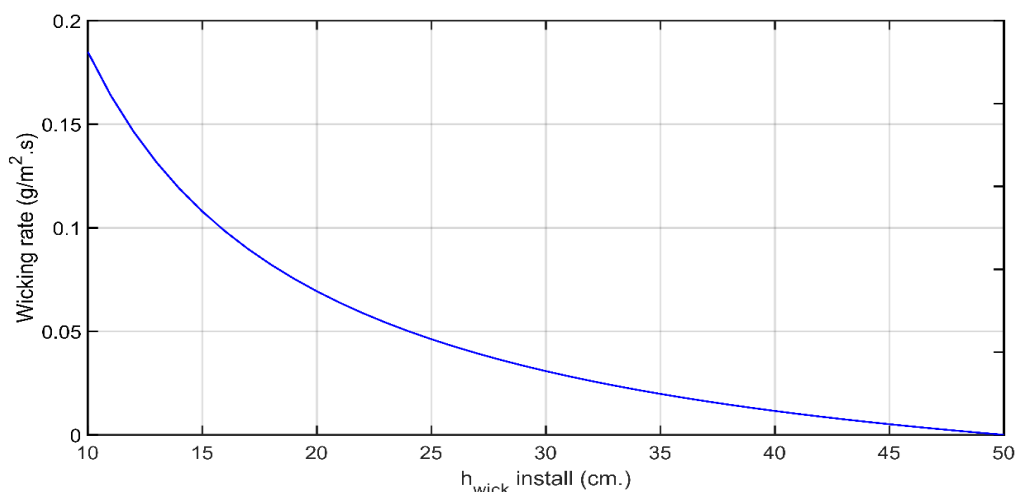
จำลอง โดยเมื่อใช้ผ้าที่มีความหนาขึ้นจะทำให้ผ้าสามารถกักเก็บน้ำได้เพิ่มขึ้นตามความหนาของผ้า ซึ่งส่งผลให้สามารถยืดระยะเวลาในการลดอุณหภูมิออกไปได้นานขึ้น สำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังโดยให้ความร้อนขนาด 460 W/m^2 และจำลองอยู่ในสภาวะอากาศคงที่นั้น พบว่า การเลือกใช้ความหนาผ้ามากกว่า 3.2 เท่าขึ้นไป สามารถลดอุณหภูมิได้ตลอดระยะเวลา 4 ชั่วโมง

ข้อเสียที่ควรกล่าวถึงสำหรับการเพิ่มความหนาของผ้า คือ เมื่อเกิดปัญหาผ้าแห้งขึ้นอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าหนาจะมีค่าสูงกว่าผ้าบางเพราะการเพิ่มความหนาของผ้าเปรียบเสมือนการเพิ่มตัวต้านทานทางความร้อน ซึ่งจะส่งผลให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนมีค่าลดลง อนึ่ง จากรูปที่ 6.2 จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเนื่องจากความหนาของผ้าไม่ค่อยมีนัยสำคัญนัก เพราะผ้ามีความหนาที่บางมาก อีกประเด็นที่ควรคำนึงด้วยคือการเพิ่มความหนาผ้าจะเป็นการเพิ่มน้ำหนักของผ้าขึ้นด้วยเนื่องจากปริมาณน้ำในผ้าที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะต้องทำการออกแบบตัวรองรับผ้าให้เหมาะสมเพื่อทำให้ผ้าสามารถแนบติดกับด้านหลังของเซลล์ได้ตลอดเวลา

อีกวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิได้คือ การติดตั้งระบบเติมน้ำให้แก่ผ้า โดยอาศัยหลักการดูดน้ำของผ้าจากแหล่งน้ำขึ้นมาเติมน้ำให้แก่ผ้าที่ติดตั้งอยู่ด้านหลังของเซลล์ ทำให้ผ้ามีความชุ่มอยู่ตลอดเวลาและเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ ซึ่งวิธีนี้ผู้วิจัยได้ทำการจำลองด้วยแบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ

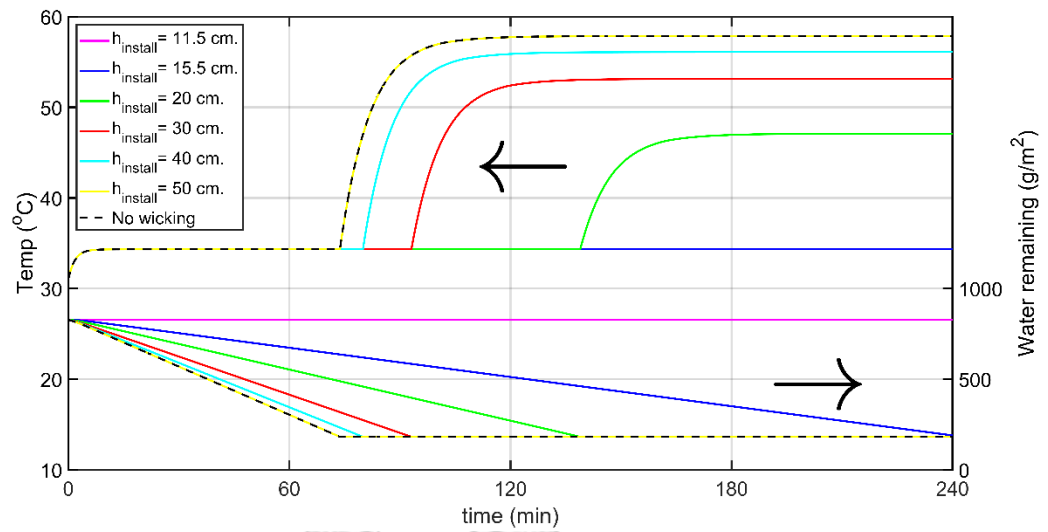
สำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ โดยสมมติให้ผ้าชุ่มน้ำที่ติดตั้งอยู่ด้านหลังเซลล์มีน้ำดูดขึ้นมาเพียงพอที่จะเลี้ยงให้ผ้าชุ่มตลอดเวลา เมื่อเริ่มให้ความร้อนแก่เซลล์แสงอาทิตย์จำลอง จะเห็นได้จากรูปที่ 6.1 ว่าอุณหภูมิของเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเข้าสู่สภาวะคงที่ตลอดที่อุณหภูมิเท่ากับ 34.3 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 10 นาที และหลังจากนั้นสามารถคงอุณหภูมิได้ตลอดเวลา 240 นาที ดังนั้นผลการคำนวณจากแบบจำลองทางทฤษฎีในกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำแสดงให้เห็นแล้วว่า หากมีการติดตั้งแหล่งน้ำไว้ด้วยจะทำให้ผ้าสามารถดูดซับน้ำจากแหล่งน้ำขึ้นไปด้านหลังของเซลล์เพื่อช่วยให้เกิดการลดอุณหภูมิของเซลล์ได้ตลอดเวลา ส่งผลให้สามารถรักษาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตลอดและไม่เกิดปัญหาในเรื่องของผ้าแห้งเหมือนกับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่มีการติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังอีกด้วย

เมื่อเราทราบว่าการติดตั้งแหล่งน้ำไว้ด้วยเป็นการช่วยลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์จำลองได้ตลอดเวลาแล้ว ส่วนต่อมาจะต้องคำนึงถึงระยะความสูงที่เหมาะสมในการติดตั้งผ้าจากผิวของแหล่งน้ำถึง ด้านบนสุดของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองด้วยเพราะว่าในการติดตั้งความสูงของผ้าไว้ที่ระยะต่างกันจะมีผลต่ออัตราการดูดน้ำของผ้า ดังรูปที่ 6.3

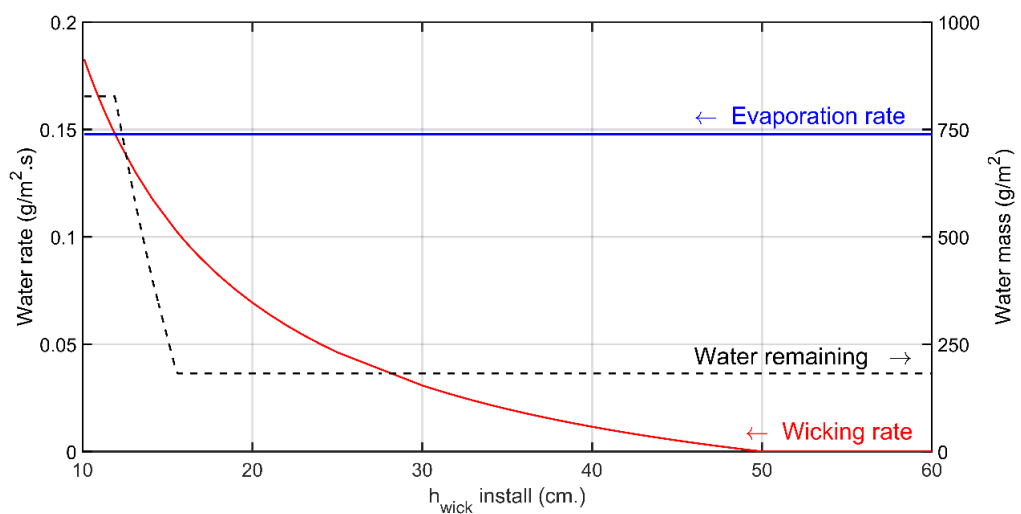


รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดน้ำของผ้าเทียบกับระยะความสูงในการติดตั้งผ้าต่าง ๆ

จากรูปที่ 6.3 จะสังเกตได้ว่าเมื่อระยะความสูงในการติดตั้งผ้าจากผิวของแหล่งน้ำถึง ด้านบนสุดของ เซลล์แสงอาทิตย์จำลองมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการดูดน้ำของผ้ามีค่าลดลง ดังนั้นในการออกแบบติดตั้งระยะความสูงของผ้าต้องพิจารณาด้วยว่าหากติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงนี้จะเพียงพอต่อการลดอุณหภูมิของเซลล์ภายในเวลาที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงในการติดตั้งผ้าที่ระยะต่าง ๆ กับอุณหภูมิของเซลล์ในกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำจะแสดงดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงในการติดตั้งผ้าที่ระยะต่าง ๆ กับอุณหภูมิของเซลล์และปริมาณน้ำที่เหลือในผ้าสาธิตเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง สำหรับความร้อน 460 W/m^2 ในกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ



รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดน้ำของผ้าอัตราการระเหยน้ำของผ้า และปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้าเทียบกับความสูงในการติดตั้งผ้าที่ระยะต่าง ๆ สำหรับการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง และความร้อนขนาด 460 W/m^2

หากพิจารณาจากรูปที่ 6.5 จะเห็นได้ว่าในการติดตั้งความสูงของผ้าจากผิวของแหล่งน้ำถึงด้านบนสุดของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ระยะต่างกันจะส่งผลต่อการลดอุณหภูมิของเซลล์ เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ และปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้าภายในระยะเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กรณีติดตั้งผ้าความสูงเป็นระยะน้อยกว่า 11.9 เซนติเมตร พบว่าสามารถลดอุณหภูมิได้ตลอดระยะเวลา 4 ชั่วโมงและปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้ามีค่าคงที่ เนื่องจากผ้าสามารถดูดน้ำจากแหล่งน้ำขึ้นมาเติมผ้าทำให้ผ้าชุ่มน้ำอยู่ตลอดเวลา แต่เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 6.5 จะพบว่าอัตราการดูดน้ำของผ้ามีค่ามากกว่าอัตราการระเหยน้ำของผ้า ซึ่งหมายความว่าปริมาณน้ำที่เติมเข้ามาในผ้าแต่ละเวลามีค่ามากกว่าปริมาณน้ำที่ผ้าต้องระเหยออกไป ซึ่งจะทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในผ้าเกินความสามารถในการอุ้มน้ำของผ้าและเกิดปัญหาเรื่องการสูญเสียน้ำที่เกินความจำเป็น

กรณีติดตั้งผ้าที่ความสูงเป็นระยะ 11.9 เซนติเมตร พบว่าสามารถลดอุณหภูมิได้ตลอดระยะเวลา 4 ชั่วโมงและปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้ามีค่าคงที่ เนื่องจากผ้าสามารถดูดน้ำจากแหล่งน้ำขึ้นมาเติมผ้าทำให้ผ้าชุ่มน้ำอยู่ตลอดเวลา และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 6.5 จะพบว่าอัตราการดูดน้ำของผ้ามีค่าเท่ากับอัตราการระเหยน้ำของผ้า ซึ่งหมายความว่าผ้าจะรับปริมาณน้ำที่เติมเข้ามาพอดีกับปริมาณน้ำที่ระเหยออกไปจากผ้า จึงไม่ทำให้เกิดปัญหาเรื่องการสูญเสียน้ำที่เกินความจำเป็น

กรณีติดตั้งผ้าที่ความสูงเป็นระยะมากกว่า 11.9 เซนติเมตร แต่ไม่เกิน 15.5 เซนติเมตร พบว่าสามารถลดอุณหภูมิได้ตลอดระยะเวลา 4 ชั่วโมง แต่หากสังเกตปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้าเมื่อติดตั้งระยะความสูงในช่วงนี้ พบว่าปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้ามีค่าลดลงเนื่องจากอัตราการดูดน้ำของผ้าสำหรับระยะความสูงในช่วงนี้มีค่าน้อยกว่าอัตราการระเหยของผ้า (รูปที่ 6.5) ซึ่งทำให้ผ้ามีความชุ่มลดลงหรือกล่าวคือความชื้นสัมพัทธ์ของผ้ามีค่าลดลง เพียงแต่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของผ้าที่ลดลงในช่วงความสูงนี้ยังไม่ถึงค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดที่ทำให้เกิดการระเหยของน้ำ จึงทำให้สามารถลดอุณหภูมิได้ภายในระยะเวลา 4 ชั่วโมง

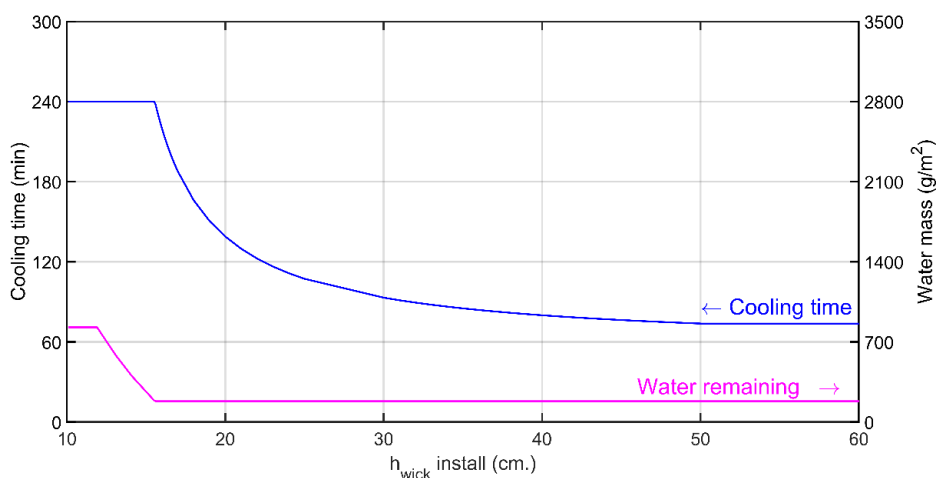
กรณีติดตั้งผ้าที่ความสูงมากกว่า 15.5 เซนติเมตร แต่ไม่เกิน 50.0 เซนติเมตร พบว่าไม่สามารถลดอุณหภูมิได้ตลอดเวลา 4 ชั่วโมง และสังเกตได้ว่าปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้าเมื่อติดตั้งระยะความสูงในช่วงนี้มีค่าลดลงเนื่องจากอัตราการดูดน้ำของผ้าสำหรับระยะความสูงในช่วงนี้มีค่าน้อยกว่าอัตราการระเหยของผ้า (รูปที่ 6.5) ทำให้ผ้ามีความชุ่มลดลงหรือกล่าวคือความชื้นสัมพัทธ์ของผ้ามีค่าลดลงตลอดจนถึงค่าต่ำสุดที่ทำให้เกิดการระเหยน้ำ ซึ่งส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเซลล์จะมีลักษณะคล้ายกับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่มีการติดผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง (รูปที่ 6.1) ทั้งนี้หากพิจารณาถึงค่าระยะความสูงในการติดตั้งผ้าจะพบว่าระยะความสูงในการติดตั้งผ้าที่ต่างกันจะส่งผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของเซลล์ ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้า และอุณหภูมิสถานะคงที่สุดท้ายที่ด้านหลังของเซลล์เมื่อผ้าแห้ง กล่าวคือหากความสูงในการติดตั้งผ้ามีค่าเพิ่มขึ้นจะ

ทำให้เวลาในการลดอุณหภูมิของเซลล์ลดลง ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้าลดลงเร็วขึ้น และอุณหภูมิสถานะคงที่สุดท้ายของเซลล์เมื่อผ้าแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น

สุดท้ายกรณีติดตั้งผ้าที่ความสูงมากกว่า 50.0 เซนติเมตรขึ้นไป พบว่าไม่สามารถลดอุณหภูมิได้ตลอดเวลา 4 ชั่วโมง เนื่องจากอัตราการควบแน่นของผ้ามีค่าน้อยกว่าอัตราการระเหยน้ำของผ้าเช่นกัน เพียงแต่อัตราการควบแน่นของผ้าสำหรับระยะความสูงในช่วงนี้มีค่าน้อยมาก ๆ เมื่อเทียบกับอัตราการระเหยน้ำของผ้า (รูปที่ 6.5) ซึ่งทำให้ระยะเวลาใช้ในการลดอุณหภูมิของเซลล์ ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้าและอุณหภูมิสถานะคงที่สุดท้ายที่ด้านหลังของเซลล์เมื่อผ้าแห้งมีค่าเทียบเท่ากับการลดอุณหภูมิของเซลล์ในกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่มีการติดผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง ดังนั้นการติดตั้งแหล่งน้ำสำหรับช่วงระยะความสูงนี้จึงไม่เหมาะสมต่อการช่วยลดอุณหภูมิของเซลล์

โดยสรุปสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำเพื่อใช้ในการลดอุณหภูมิของเซลล์ตลอด 4 ชั่วโมง เมื่อได้รับความร้อนขนาด 460 W/m^2 ค่าระยะความสูงที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งผ้าจากแหล่งน้ำถึงขอบบนสุดของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองคือ 11.9 เซนติเมตร เพราะที่ระยะความสูงนี้สามารถลดอุณหภูมิของเซลล์ได้ตลอดเวลา และไม่เกิดปัญหาการสูญเสียน้ำที่เกินความจำเป็น

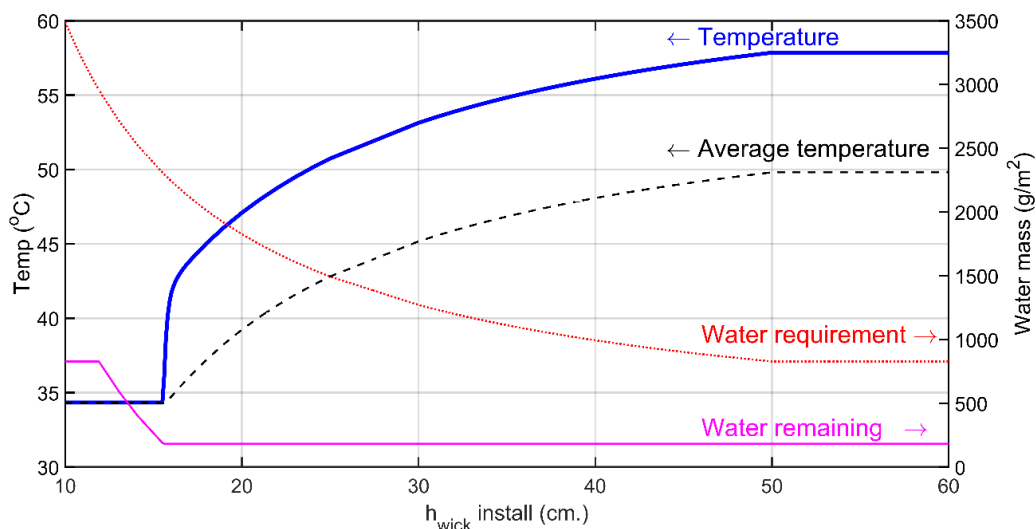
จะเห็นได้ว่าระยะความสูงในการติดตั้งผ้าจากผิวของแหล่งน้ำถึงด้านบนสุดของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองในกรณีติดตั้งแหล่งน้ำเพื่อที่จะทำให้ผ้าชุ่มน้ำอยู่ตลอดเวลา อีกทั้งยังส่งผลต่อตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของเซลล์ อุณหภูมิสุดท้าย ณ สถานะคงที่ ปริมาณน้ำที่ผ้าต้องการใช้เพื่อลดอุณหภูมิ และปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้า ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอสรุปผลของค่าความสูงในการติดตั้งผ้าที่ระยะต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อตัวแปรดังกล่าวไว้ออกมาดังรูปที่ 6.6 และรูปที่ 6.7 ตามลำดับ



รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ณ สภาวะคงที่สุดท้ายและเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ ตำแหน่งด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองเทียบกับความสูงในการติดตั้งผ้าที่ระยะต่าง ๆ

จากรูปที่ 6.6 แสดงให้เห็นว่าระยะความสูงในการติดตั้งผ้าที่ต่างกันจะส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง ปริมาณการใช้น้ำของผ้าและปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้ามีค่าต่างกันด้วย โดยระยะความสูงในการติดตั้งผ้าที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 15.5 เซนติเมตร พบว่าปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้ามีค่ามากกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดที่ทำให้เกิดการระเหยของน้ำ ดังนั้นจึงทำให้สามารถลดอุณหภูมิของเซลล์ได้ตลอด 4 ชั่วโมง ส่วนระยะความสูงของผ้าที่มีค่าตั้งแต่ 15.5 เซนติเมตร ขึ้นไป พบว่าหากระยะความสูงในการติดตั้งผ้ามีค่ามากขึ้นจะทำให้เวลาที่ปริมาณน้ำในผ้ามีค่าลดลงจนถึงค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดที่ทำให้เกิดการระเหยของน้ำนั้นเร็วขึ้น ซึ่งส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของเซลล์มีค่าน้อยลงและไม่เพียงพอต่อเวลาที่ต้องการลดอุณหภูมิของเซลล์ตลอดทั้ง 4 ชั่วโมง

เมื่อทราบวาระยะความสูงในการติดตั้งผ้าส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิแล้ว เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมินี้ก็จะส่งผลต่ออุณหภูมิสุดท้ายของเซลล์ ณ สภาวะคงที่ด้วย แสดงดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะติดตั้งผ้าต่าง ๆ กับอุณหภูมิสุดท้ายของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง ณ สภาวะคงที่ ปริมาณน้ำที่ใช้ และปริมาณน้ำที่เหลือในผ้าสาธิต เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง สำหรับความร้อน 460 W/m^2

รูปที่ 6.7 แสดงให้เห็นว่าระยะความสูงในการติดตั้งผ้าที่ต่างกันจะส่งผลต่ออุณหภูมิสุดท้ายของเซลล์ ณ สภาวะคงที่ ซึ่งเป็นผลลัพธ์มาจากเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของเซลล์ กล่าวคือเมื่อระยะความสูงในการติดตั้งน้อยกว่าหรือเท่ากับ 15.5 เซนติเมตร อุณหภูมิของเซลล์มีค่าคงที่และเท่ากับอุณหภูมิที่ผ้าชุ่มสามารถลดได้มากที่สุด ต่อมาที่ระยะความสูงในการติดตั้งอยู่ระหว่าง 15.5 เซนติเมตร ถึง 50.0 เซนติเมตร พบว่าอุณหภูมิสุดท้ายของเซลล์ ณ สภาวะคงที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะความสูงที่เพิ่มขึ้นด้วย เพราะผลจากระยะเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิด้านหลังของเซลล์ที่มีค่าน้อยลงนั่นเอง และสำหรับระยะความสูงในการติดตั้งมากกว่า 50 เซนติเมตร ขึ้นไป พบว่าอุณหภูมิสุดท้ายของเซลล์ ณ สภาวะคงที่มีค่าเท่ากันตลอดช่วงความสูงนี้ เพราะระยะเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิเทียบเท่าได้กับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่มีการติดผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง นอกจากนี้แบบจำลองทางทฤษฎีสามารถประมาณค่าปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องการใช้สำหรับการลดอุณหภูมิของเซลล์ในแต่ละความสูงด้วย ซึ่งสามารถคำนวณได้จากผลรวมของอัตราการควบแน่นของผ้าที่ระยะความสูงในการติดตั้งผ้าต่าง ๆ โดยผลลัพธ์ที่แสดงออกมาจะมีลักษณะคล้ายกับผลของอัตราการควบแน่นที่เทียบกับระยะความสูงในการติดตั้งผ้าต่าง ๆ ดังที่แสดงในรูปที่ 6.3

การปรับอัตราการควบแน่นของผ้านอกเหนือจากการปรับระยะความสูงในการติดตั้งผ้าแล้ว ยังสามารถปรับโดยการเปลี่ยนความหนาของผ้าได้ด้วย โดยที่การติดตั้งผ้าที่หนาขึ้นจะทำให้สามารถควบแน่นจากแหล่งน้ำขึ้นมาใช้ในการลดอุณหภูมิได้มากขึ้น เพราะว่าการเพิ่มความหนาผ้าเป็นการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดที่ผ้าใช้ในการควบแน่น ซึ่งข้อดีคือสามารถเพิ่มระยะความสูงที่เหมาะสมในการติดตั้งผ้าจาก

แหล่งน้ำถึงขอบด้านบนสุดของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองได้ ส่วนข้อเสียคือต้องใช้ปริมาณน้ำมากขึ้นและเป็นการเพิ่มน้ำหนักของผ้า สำหรับผลของการเพิ่มความหนาผ้าของกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำจะแสดงดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ผลของความหนาผ้าสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ

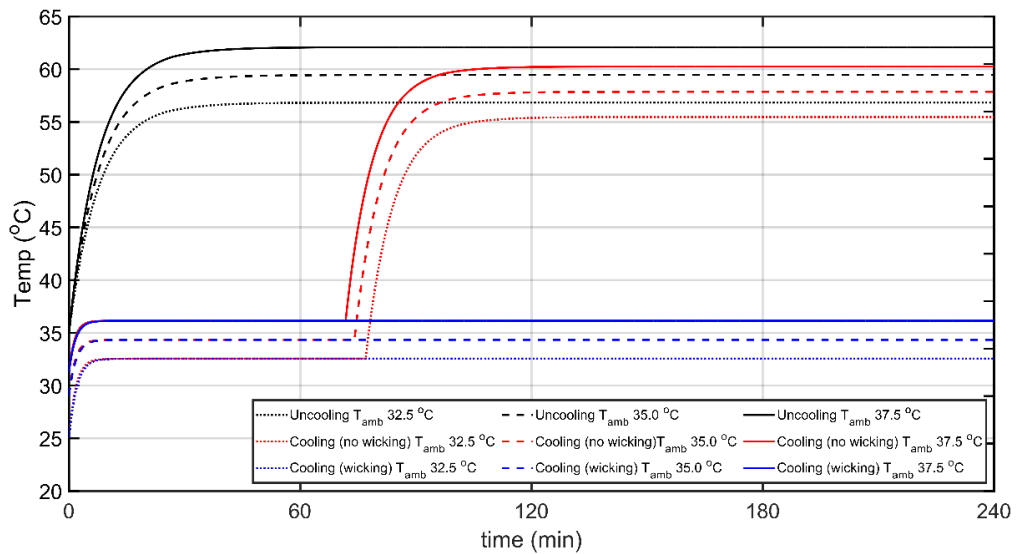
ความหนาผ้า (เท่า)	ระยะความสูงติดตั้งผ้าที่เหมาะสม (เซนติเมตร)	ปริมาณการใช้น้ำ (กรัม/ตารางเมตร)
1.0	11.9	2960.40
1.5	16.0	3364.30
2.0	19.3	3773.40
2.5	21.9	4204.10
3.0	24.2	4611.00
3.5	26.2	5028.70

6.2 การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์จำลองในเงื่อนไขสภาวะอากาศต่างๆ

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะทำการทำนายอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองจากแบบจำลองทางทฤษฎี ซึ่งจะทำการจำลองกับค่าสภาวะอากาศที่แตกต่างกันออกไปโดยอิงจากค่าสภาพอากาศตามฤดูกาลต่างๆ ในประเทศไทย เพื่อศึกษาถึงปัจจัยภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง โดยการจำลองจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

6.2.1 กรณีอุณหภูมิอากาศต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากัน

สำหรับกรณีนี้จะทำการจำลองโดยกำหนดให้อุณหภูมิอากาศมีค่าแตกต่างกัน ได้แก่ 32.5 องศาเซลเซียส 35.0 องศาเซลเซียส และ 37.5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์มีค่าคงที่และเท่ากับร้อยละ 65 เพื่อต้องการทราบถึงผลของอุณหภูมิอากาศต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง ซึ่งผลลัพธ์จะแสดงดังรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 อุณหภูมิเซลล์ของแสงอาทิตย์จำลองที่ได้รับความร้อนขนาด 460 W/m^2 เทียบกับเวลา 4 ชั่วโมง ทั้ง 3 กรณี (กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลัง และกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ) ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศที่แตกต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 65

จากรูปที่ 6.8 จะเห็นว่าในทุกกรณีที่ทำการศึกษาเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะเห็นผลกระทบของอุณหภูมิอากาศต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองในช่วงที่ไม่มีการระเหยน้ำจากผ้า กล่าวคือ กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไปทั้งหมดและกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังภายหลังการกระโดดเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ มีค่าต่างกันมากกว่าในช่วงที่ยังคงมีการระเหยน้ำจากผ้า กล่าวคือ กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำทั้งหมด และกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังช่วงก่อนการกระโดดเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

ผลของความต่างนี้เกิดจากรูปแบบการระบายความร้อนที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้จากการวิเคราะห์ผลจากตารางที่ 6.2 และ 6.3 จากตารางที่ 6.2 จะเห็นว่าเมื่อไม่มีการระเหยของน้ำ การระบายความร้อนของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองจะเกิดขึ้นจากการพาความร้อนเป็นหลัก มีเพียงไม่ถึงร้อยละ 5 ที่เป็นการระบายความร้อนจากการแผ่รังสี โดยที่การถ่ายเทความร้อนทั้ง 2 รูปแบบเกิดขึ้นในทิศเดียวกันคือเป็นการระบายความร้อนออกจากเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง ในขณะที่ตารางที่ 6.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการระเหยของน้ำจากผ้าเกิดขึ้น การระบายความร้อนของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองมีการเปลี่ยนรูปแบบเป็นจากการระเหยน้ำแทน ซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิของ

เซลล์แสงอาทิตย์มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศ จึงทำให้การพาความร้อนและการแผ่รังสีมีทิศทางกลับเป็นการดูดความร้อนมาจากอากาศเข้าสู่เซลล์แสงอาทิตย์จำลองแทน กล่าวคือ สำหรับกรณีที่มีการระบายความร้อนจากการระเหยน้ำ แม้ว่าการระบายความร้อนจากการระเหยน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น แต่การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนก็จะดูดความร้อนกลับเข้าสู่เซลล์แสงอาทิตย์จำลองมากขึ้นด้วย จึงทำให้ผลของอุณหภูมิอากาศมีผลกับอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองน้อยกว่าช่วงที่ไม่มีการระเหยน้ำ

ข้อสังเกตที่น่าสนใจที่ได้จากตารางที่ 6.3 คือเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้น การระเหยน้ำจากผ้าจะสามารถลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองได้มากขึ้น เพราะที่ความร้อนที่ถ่ายเทจากการระเหยน้ำสำหรับอุณหภูมิอากาศสูงจะมีค่ามากกว่ากรณีที่อุณหภูมิอากาศต่ำกว่า แต่ในขณะเดียวกันสำหรับกรณีที่ไม่มีการเติมน้ำไปที่ผ้าจากการดูน้ำก็ทำให้เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิจึงมีค่าลดลงเพราะผ้าระเหยน้ำออกไปได้หมดก่อน

ตารางที่ 6.2 อุณหภูมิสุดท้ายของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไปหลังได้รับความร้อนขนาด 460 W/m^2 เป็นเวลา 4 ชั่วโมงและร้อยละของการถ่ายเทความร้อนภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศที่แตกต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 65

อุณหภูมิอากาศ (°C)	อุณหภูมิสุดท้ายของเซลล์ แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป (°C)	ร้อยละของการถ่ายเทความร้อน	
		การพาความร้อน	การแผ่รังสี
32.5	56.83	95.37	4.63
35.0	59.45	95.23	4.77
37.5	62.08	95.09	4.91

ตารางที่ 6.3 อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่มีการลดอุณหภูมิด้วยการติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังและร้อยละของการถ่ายเทความร้อนภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศที่แตกต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 65

อุณหภูมิอากาศ (°C)	อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองในช่วงที่มีการลดอุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิที่สามารถลดได้ (°C)	เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ (นาที)	ร้อยละของการถ่ายเทความร้อน		
				การพาความร้อน	การแผ่รังสี	การระเหยน้ำ
32.5	32.55	24.28	76	-0.44	-0.03	100.67
35.0	34.33	25.12	74	-2.47	-0.15	103.76
37.5	36.15	25.93	72	-4.40	-0.28	106.75

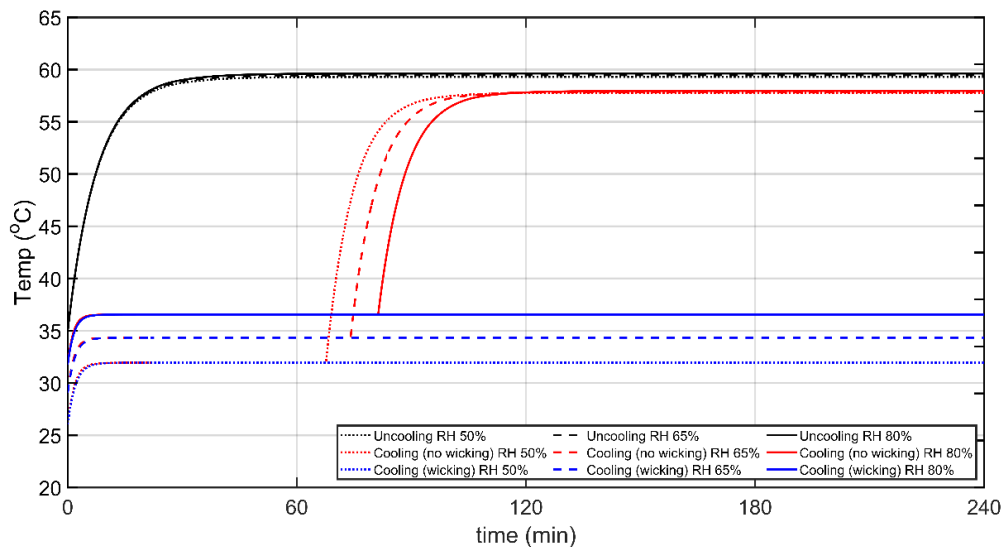
เนื่องจากอุณหภูมิอากาศมีผลกับอัตราการระเหยน้ำของผ้า ความสูงติดตั้งผ้าที่เหมาะสมของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำที่ให้มีน้ำเพียงพอกับการระเหยจึงขึ้นกับอุณหภูมิอากาศด้วย ตารางที่ 6.4 แสดงความสูงที่เหมาะสมในการติดตั้งผ้าและปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อใช้ในการลดอุณหภูมิได้ตลอดเวลา พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ระยะความสูงในการติดตั้งผ้ามีค่าน้อยลง เนื่องจากอัตราการระเหยน้ำมากขึ้นจึงต้องการปริมาณน้ำที่นำมาใช้ในการลดอุณหภูมิมากขึ้นด้วย

ตารางที่ 6.4 ความสูงที่เหมาะสมในการติดตั้งผ้าและปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อใช้ในการลดอุณหภูมิได้ตลอดเวลาสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศที่แตกต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 65

อุณหภูมิอากาศ (°C)	ระยะความสูงติดตั้งผ้าที่เหมาะสม (เซนติเมตร)	ปริมาณการใช้น้ำ (กรัม/ตารางเมตร)
32.5	12.3	2869.30
35.0	11.9	2960.40
37.5	11.7	3008.20

6.2.2 กรณีอุณหภูมิอากาศเท่ากันและความชื้นสัมพัทธ์ต่างกัน

สำหรับกรณีนี้จะทำการจำลองโดยกำหนดให้อุณหภูมิอากาศมีค่าคงที่และเท่ากับ 35.0 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าแตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 50 ร้อยละ 65 และร้อยละ 80 เพื่อต้องการทราบว่าความชื้นสัมพัทธ์ส่งผลต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองอย่างไร ซึ่งผลลัพธ์จะแสดงดังรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ได้รับความร้อนขนาด 460 W/m^2 เทียบกับเวลา 4 ชั่วโมง ทั้ง 3 กรณี (กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป กรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุมน้ำไว้ที่ด้านหลัง และกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุมน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ) ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 35.0 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน

จากรูปที่ 6.9 สังเกตได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์ไม่ค่อยมีผลกับอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองในกรณีที่ไม่มีกระแสน้ำเกิดขึ้น เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศส่งผลต่อสมบัติทางความร้อนที่นำมาใช้คำนวณในแบบจำลองเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นจะทำให้การถ่ายเทความร้อนจากการพาความร้อนมีค่าลดลง และส่งผลให้อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองมีค่าเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไปและร้อยละของการถ่ายเทความร้อนภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 35 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน

ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	อุณหภูมิด้านหลังของ เซลล์แสงอาทิตย์	ร้อยละของการถ่ายเทความร้อน	
	จำลองทั่วไป (°C)	การพาความร้อน	การแผ่รังสี
50	59.3	95.27	4.73
65	59.45	95.23	4.77
80	59.62	95.19	4.81

สำหรับกรณีที่เซลล์แสงอาทิตย์จำลองมีการระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำจากผ้า พบว่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองมีค่าแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดจน กล่าวคือ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการระเหยน้ำของผ้ามีค่าลดลง ตามสมการที่ 3.13 ซึ่งความร้อนที่ถ่ายเทจากการระเหยน้ำมีค่าลดลงทำให้ความสามารถในการลดอุณหภูมิของผ้าลดลงและส่งผลให้อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่มีค่าน้อยกว่า นอกจากนี้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศยังส่งผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผ้าด้วย โดยอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะใช้เวลาในการลดอุณหภูมิได้เร็วกว่าอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงอย่างเห็นได้ชัด เพราะว่าผ้าจะระเหยน้ำออกไปหมดก่อน และหลังจากที่ผ้าแห้งแล้วอุณหภูมิของเซลล์เพิ่มขึ้นและมีลักษณะไม่แตกต่างกันมากเหมือนกับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั่วไป ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อดีของการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการระเหยน้ำจากผ้าเปียกนี้คือเหมาะสมแก่การนำไปใช้กับสภาวะอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำ เพราะสามารถลดอุณหภูมิด้านหลังของเซลล์ได้ดี แต่ข้อเสียสำหรับกรณีที่ไม่มีน้ำไปที่ผ้าจากการดูดน้ำคือระยะเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของเซลล์มีค่าลดลง อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่มีการลดอุณหภูมิและร้อยละของการถ่ายเทความร้อนรูปแบบต่างๆ จะแสดงดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 อุณหภูมิด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่มีการลดอุณหภูมิและร้อยละของการถ่ายเทความร้อนภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 35 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน

ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	อุณหภูมิด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่มีการลดอุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิที่สามารถลดได้ (°C)	เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ (นาท)	ร้อยละของการถ่ายเทความร้อน		
				การพาความร้อน	การแผ่รังสี	การระเหยน้ำ
50	31.94	27.36	57	-9.31	-0.56	114.08
65	34.33	25.12	74	-2.47	-0.15	103.76
80	36.55	23.07	81	3.79	0.23	94.21

เช่นเดียวกันกับกรณีที่อุณหภูมิอากาศมีผลกับความสูงติดตั้งและปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก็มีผลต่อระยะความสูงที่เหมาะสมในการติดตั้งผ้าและปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อที่จะนำมาลดอุณหภูมิได้ตลอดเวลาด้วยเช่นกัน โดยความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำจะทำให้ผ้าสามารถระเหยน้ำออกไปได้มากกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูง ดังนั้นระยะความสูงในการติดตั้งผ้าจึงมีค่าลดลงและปริมาณการใช้น้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเพื่อที่จะนำไปใช้ในการลดอุณหภูมิได้ตลอดเวลานั่นเอง โดยที่ความสูงที่เหมาะสมในการติดตั้งผ้าและปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อใช้ในการลดอุณหภูมิได้ตลอดเวลาจะแสดงดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 ความสูงที่เหมาะสมในการติดตั้งผ้าและปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อใช้ในการลดอุณหภูมิได้ตลอดเวลาสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 35 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน

ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	ระยะความสูงติดตั้งผ้าที่เหมาะสม (เซนติเมตร)	ปริมาณการใช้น้ำ (กรัม/ตารางเมตร)
50	11	3162.10
65	11.9	2960.40
80	12.8	2763.50

สุดท้ายผู้วิจัยได้ทำการสรุปผลของการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการระเหยน้ำจากผ้าเปียกภายใต้เงื่อนไขสภาวะอากาศต่างๆ เพื่อให้ผู้อ่านได้เห็นถึงความแตกต่างของผลการลดอุณหภูมิด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง ระยะเวลาสูงเหมาะสมในการติดตั้งผ้า และปริมาณน้ำที่ใช้ ดังตารางที่ 6.8 ตารางที่ 6.8 ผลการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง ระยะเวลาสูงเหมาะสมในการติดตั้งผ้า และปริมาณน้ำที่ใช้ ภายใต้เงื่อนไขสภาวะอากาศต่างๆ

อุณหภูมิอากาศ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง		อุณหภูมิที่สามารถลดได้ (°C)	ระยะความสูงติดตั้งผ้าที่เหมาะสม (เซนติเมตร)	ปริมาณการใช้น้ำ (กรัม/ตารางเมตร)
		กรณีทั่วไป (°C)	กรณีมีการลดอุณหภูมิ (°C)			
32.5	50	56.69	30.32	26.37	11.4	3083.10
	65	56.83	32.55	24.28	12.3	2869.30
	80	56.98	34.62	22.36	13.2	2704.00
35.0	50	59.3	31.94	27.36	11	3162.10
	65	59.45	34.33	25.12	11.9	2960.40
	80	59.62	36.55	23.07	12.8	2763.50
37.5	50	61.9	33.58	28.32	10.8	3245.50
	65	62.08	36.15	25.93	11.7	3008.20
	80	62.26	38.5	23.76	12.6	2805.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 6.8 จะเห็นได้ว่าทั้งอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ต่างส่งผลต่อการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลอง โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการระเหยผ้าเปียกมากกว่าอุณหภูมิอากาศ เพราะความสามารถในการระเหยน้ำของผ้าขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์มากที่สุด โดยภาพรวมแล้วสรุปได้ว่าการลดอุณหภูมิด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการลดอุณหภูมิด้านหลังของเซลล์ในสภาวะอากาศที่ร้อนและแห้ง เช่น สภาวะอากาศที่อุณหภูมิ 37.5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 เป็นต้น เพราะสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่าสภาวะอากาศที่เย็นและชื้น แต่ข้อเสีย คือ การใช้ปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อที่จะทำให้สามารถลดอุณหภูมิได้ตลอดเวลา ดังนั้นหากนำวิธีการลดอุณหภูมินี้มาใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงตามฤดูกาลต่างๆ ในประเทศไทยจึงมีแนวโน้มว่าช่วงฤดูร้อนสามารถลดอุณหภูมิด้านหลังของเซลล์ได้ดีที่สุด และช่วงฤดูฝนสามารถลดอุณหภูมิด้านหลังของเซลล์ได้แย่มากที่สุด

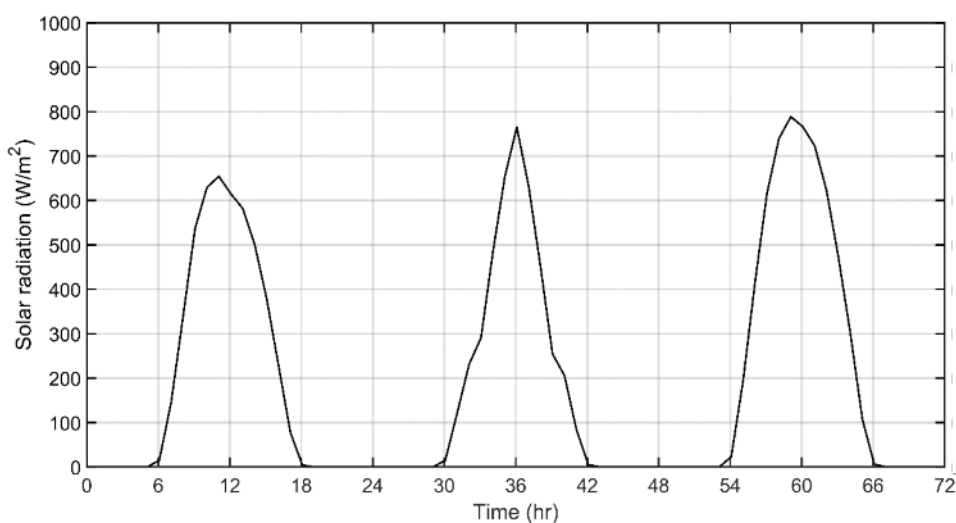
สุดท้ายการวิเคราะห์ผลจากการทำนายค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองโดยการใช้แบบจำลองทางทฤษฎีชี้ให้เห็นว่านอกจากแบบจำลองทางทฤษฎีที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองแล้ว ยังทำให้ทราบถึงอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่สามารถลดได้ ปริมาณน้ำที่ ต้องการใช้ในการลดอุณหภูมิและความสูงในการติดตั้งผ้าที่เหมาะสมที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่เซลล์แสงอาทิตย์จำลองได้รับความร้อนและตั้งอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่คงที่ อีกทั้งทำให้ทราบว่าความสามารถในการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์จำลองขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศอีกด้วย ในความเป็นจริงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกใช้งานภายใต้เงื่อนไขสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นแบบจำลองทางทฤษฎีนี้มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใช้งานจริง สำหรับแบบจำลองทางทฤษฎีที่นำไปประยุกต์ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์จริงนั้น ผู้วิจัยจะทำการแสดงผลและวิเคราะห์ผลการจำลองในบทถัดไป



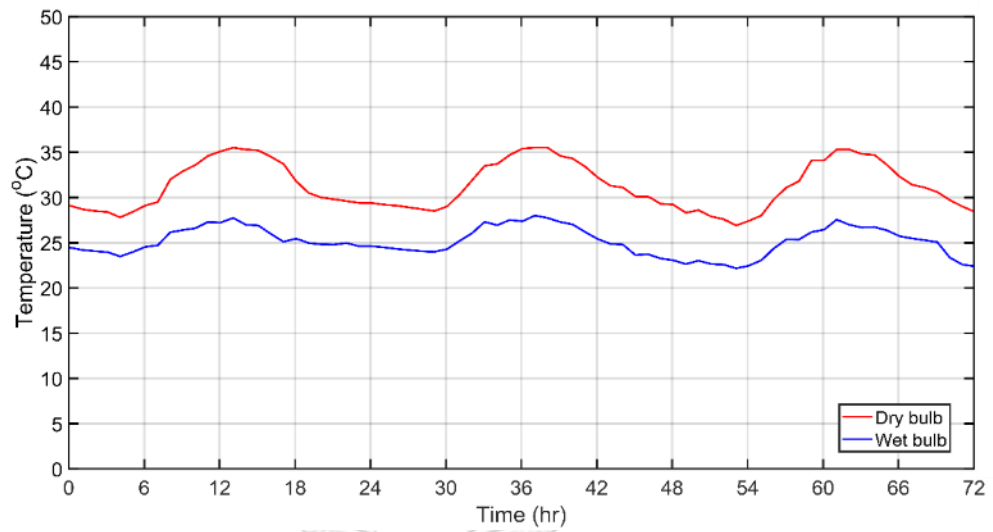
บทที่ 7

การทำนายผลการประยุกต์ใช้การระเหยน้ำจากผ้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ

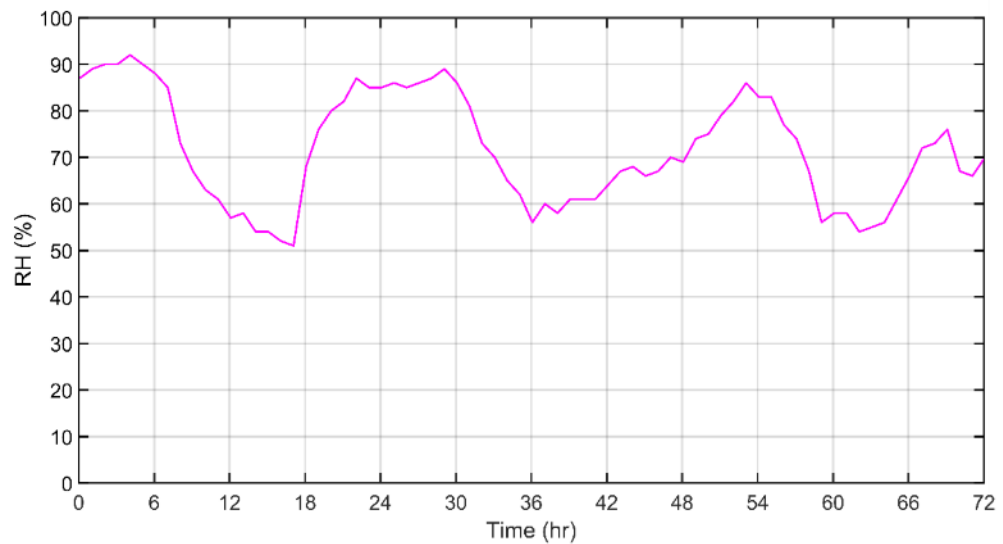
บทนี้เป็นการขยายผลของแบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์จำลองมาใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้การระบายความร้อนด้วยการระเหยผ้าเปียกกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานจริง โดยจะกล่าวถึงการทำนายผลจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองสมดุลทางความร้อนกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงในสภาวะอากาศที่วัดได้ในรอบ 1 ปี จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาในปี พ.ศ. 2561 ซึ่งเน้นไปที่ผลของความหนาของผ้าที่ใช้ในระบบระเหยน้ำและความสูงติดตั้งต่อปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยจะแบ่งส่วนของการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนหลัก ส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแผงเทียบกับเวลา เพื่อให้เห็นภาพการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงได้ชัดเจนขึ้น ในส่วนนี้จะยกตัวอย่างการวิเคราะห์ในช่วงเวลา 3 วัน คือ วันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561 เท่านั้น (ข้อมูลสภาวะอากาศในช่วงวันที่ดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 7.1) ส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์ภาพรวมรายปีของการติดตั้งผ้าในรูปแบบต่างกันต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และปริมาณน้ำที่ใช้ เพื่อเปรียบเทียบประโยชน์ที่จะได้รับกับสิ่งที่ต้องเสียไปสำหรับการติดตั้งระบบระเหยน้ำจากผ้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง



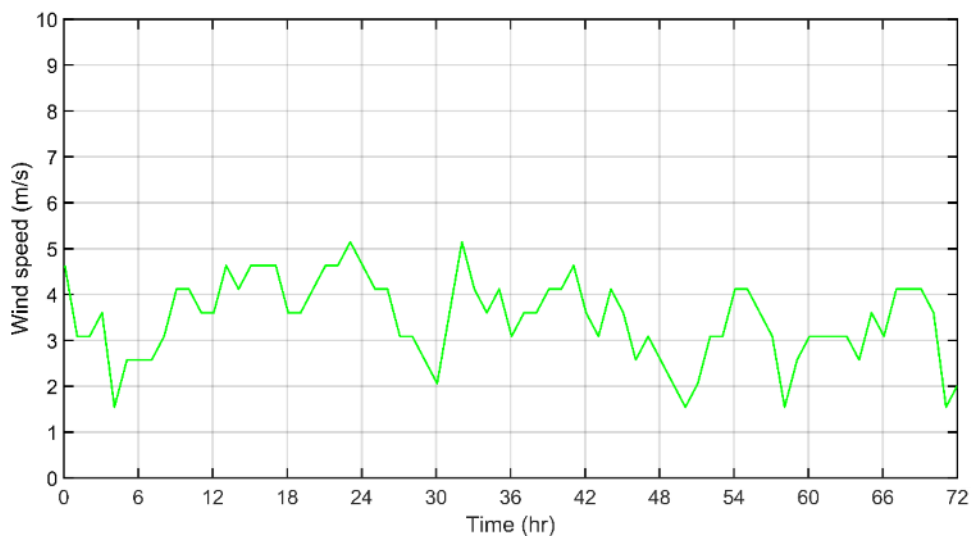
รูปที่ 7.1.ก ความเข้มแสงอาทิตย์ระหว่างวันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561



รูปที่ 7.1.ข อุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกระหว่างวันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561



รูปที่ 7.1.ค ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างวันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561



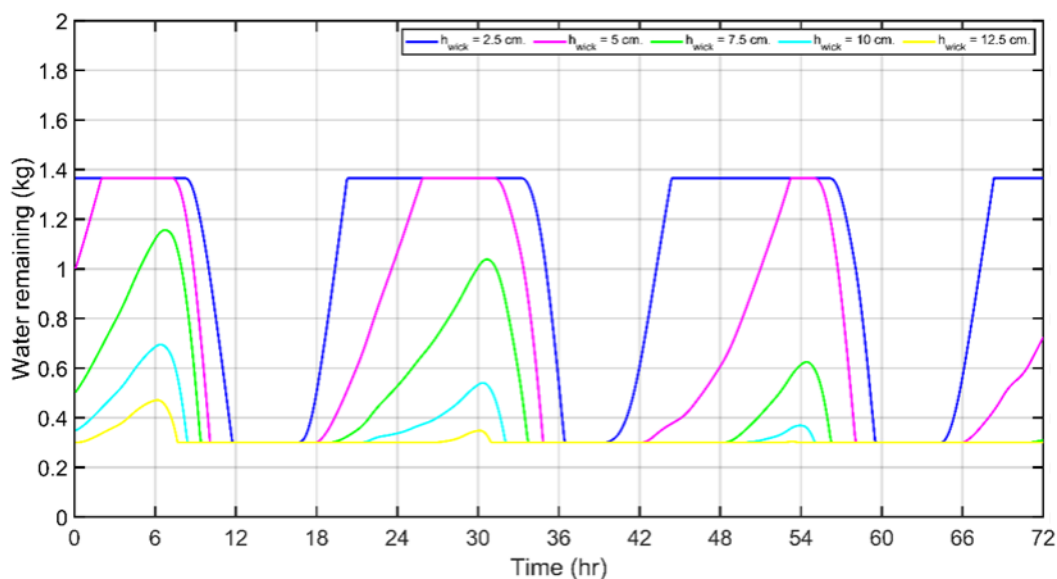
รูปที่ 7.1.ง ความเร็วลมระหว่างวันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561

7.1 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เทียบกับเวลา

การวิเคราะห์นี้จะเน้นวิเคราะห์ผลของการใช้ผ้าที่ความหนาต่างกัน และติดตั้งที่ระยะความสูงตั้งแต่ระดับผิวน้ำถึงขอบบนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ต่างกัน โดยจะแยกการพิจารณาออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่ใช้ผ้าความหนาเท่ากันแต่ติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงต่างกัน และกรณีติดตั้งผ้าที่มีความหนาต่างกันแต่ติดตั้งที่ระยะความสูงเดียวกัน ซึ่งการวิเคราะห์ผลการจำลองมีรายละเอียดดังนี้

7.1.1 กรณีใช้ผ้าความหนาเท่ากันแต่ติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงต่างกัน

สำหรับงานวิจัยนี้จะพิจารณากรณีติดตั้งผ้าสาหลูหนา 1 ชั้น (3.754 มิลลิเมตร) ทำการติดตั้งโดยให้จุดน้ำที่ความสูงจากผิวของแหล่งน้ำถึงขอบด้านบนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระยะ 2.5 เซนติเมตร 5.0 เซนติเมตร 7.5 เซนติเมตร 10 เซนติเมตร และ 12.5 เซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งอยู่ภายในกรุงเทพฯ ในระหว่างวันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561 ซึ่งแสดงข้อมูลสภาวะอากาศดังรูปที่ 7.1 จากการจำลองจะพบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในผ้าในแต่ละช่วงเวลา ดังรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้าสำหรับกรณีติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงต่าง ๆ ที่ความหนาผ้า 1 เท่า ระหว่างวันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561

จากรูปที่ 7.2 โดยรวมแล้วจะเห็นได้ว่าการติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงใดก็ตาม ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำที่อยู่ภายในผ้าความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือปริมาณน้ำในผ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์แต่จะไม่เพิ่มขึ้นเกินไปกว่าค่าปริมาณน้ำสูงสุดที่ผ้าสามารถรับได้ (สำหรับผ้าความหนา 1 เท่า สามารถรับปริมาณน้ำสูงสุดได้เท่ากับ 1.365 กิโลกรัม) และปริมาณน้ำในผ้าจะเริ่มมีค่าลดลงเมื่อช่วงเวลาที่แสงอาทิตย์ขึ้นในวันถัดไป หากสังเกตจะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในผ้ามีลักษณะต่างกันในทุกระยะความสูง ซึ่งรายละเอียดสำหรับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในผ้ามีดังนี้

สำหรับช่วงที่มีแสงอาทิตย์ของแต่ละวันสภาวะอากาศนั้นร้อนและแห้ง เนื่องจากความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นส่วนความชื้นสัมพัทธ์มีค่าลดลง ซึ่งส่งผลต่ออัตราการระเหยของน้ำจากผ้าที่มีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่าอัตราการดูดน้ำของผ้าในช่วงที่มีแสงอาทิตย์ ทำให้ปริมาณน้ำในผ้าทุกระยะความสูงที่ติดตั้งมีค่าลดลงจนถึงปริมาณน้ำต่ำสุดของผ้า ที่ไม่มีการระเหยน้ำได้อีกที่ประมาณ 300 กรัม แต่หากสังเกตถึงการลดลงของปริมาณน้ำในผ้าที่แต่ละความสูงในการติดตั้งผ้าแล้วจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำในผ้าที่ถูกติดตั้งที่ระยะความสูงที่มากขึ้นจะลดลงจนเกิดปัญหาผ้าไม่สามารถระเหยน้ำได้เร็วกว่าผ้าที่ถูกติดตั้งที่ระยะความสูงที่น้อยกว่า ทำให้เกิดช่วงที่ปริมาณน้ำในผ้าต่ำสุดนานกว่า ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เป็นเช่นนี้เนื่องจากปริมาณน้ำที่สะสมอยู่ในผ้าใน

ช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์มีค่าน้อยกว่า จึงทำให้ปริมาณน้ำในผ้าระเหยออกไปจนถึงปริมาณน้ำในผ้าต่ำที่สุดที่มีการระเหยน้ำได้ก่อนผ้าที่ติดตั้งที่ระยะความสูงน้อยในช่วงที่มีแสงอาทิตย์

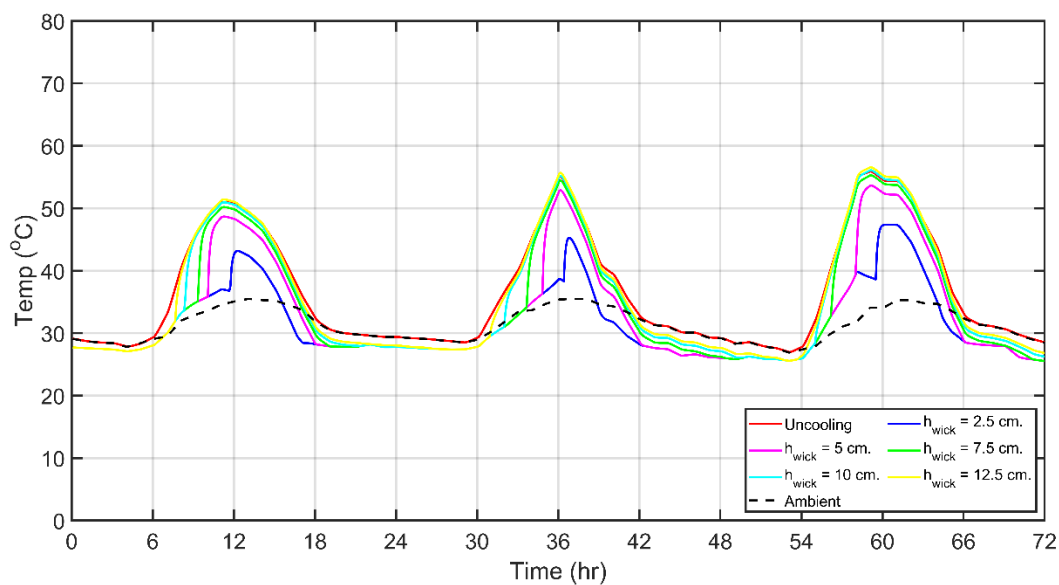
ส่วนในช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ของแต่ละวันสภาวะอากาศนั้นเย็นลงและขึ้นเนื่องจากความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศมีค่าลดลงส่วนความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้อัตราการระเหยของน้ำจากผ้าจะมีค่าลดลงและมีค่าน้อยกว่าอัตราการดูดน้ำของผ้าทำให้ปริมาณน้ำในผ้าทุกระยะความสูงที่ติดตั้งมีค่าเพิ่มขึ้น แต่หากสังเกตถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำในผ้าในแต่ละความสูงสำหรับการติดตั้งผ้าแล้วจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำในผ้าที่ถูกติดตั้งที่ระยะความสูงน้อยจะใช้เวลาในการเพิ่มขึ้นได้เร็วกว่าผ้าที่ถูกติดตั้งที่ระยะความสูงมากเนื่องจากอัตราการดูดน้ำที่มากกว่าและสามารถดูดน้ำขึ้นไปสะสมในผ้าได้ก่อนที่จะถึงเวลาที่มีแสงอาทิตย์ของวันถัดไป โดยยิ่งติดตั้งที่ระยะความสูงน้อยจะทำให้ผ้าสามารถดูดน้ำขึ้นไปสะสมไว้ในผ้าได้มากขึ้นและอาจสะสมได้ถึงปริมาณมากที่สุดที่ผ้าสามารถรับได้ ดังที่เห็นจากที่กราฟแสดงปริมาณน้ำในผ้าของกรณีติดตั้งผ้าที่ความสูง 2.5 และ 5 เซนติเมตร ปรากฏช่วงที่มีลักษณะเป็นแนวระนาบคงที่ที่ 1.365 กิโลกรัมอยู่ช่วงหนึ่งก่อนที่จะลดปริมาณลงไป

ถึงแม้ว่าการติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงน้อยนั้นมีข้อดีคือ ผ้าสามารถดูดน้ำขึ้นมาเติมเต็มในผ้าได้ในช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์ซึ่งทำให้เกิดการระเหยน้ำของผ้าในช่วงที่มีแสงอาทิตย์ได้นานขึ้น แต่ข้อเสียสำหรับการติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงน้อยคือ การสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์ เนื่องจากผ้ามีการดูดน้ำจากแหล่งน้ำอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อผ้าดูดน้ำขึ้นมาถึงปริมาณมากที่สุดที่ผ้าจะสามารถรับได้แล้วน้ำที่เหลือที่ถูกผ้าดูดขึ้นมาจึงกลายเป็นน้ำที่สูญเสียไป โดยการสูญเสียน้ำจะเกิดขึ้นเฉพาะกับผ้าที่สามารถดูดน้ำขึ้นมาเต็มผ้าเท่านั้น เช่น การใช้ผ้าความหนา 1 เท้า จะเกิดการสูญเสียน้ำขึ้นเมื่อระยะความสูงติดตั้งผ้าน้อยกว่า 5 เซนติเมตร อีกทั้งการติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงน้อยจะสูญเสียปริมาณน้ำมากกว่าการติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงที่มากขึ้นด้วย โดยปริมาณน้ำที่ใช้และปริมาณน้ำที่สูญเสียรวมภายใน 3 วันจะแสดงดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ปริมาณน้ำที่ใช้และสูญเสียสำหรับติดตั้งผ้าความหนา 1 เท่า ที่ระยะความสูงต่าง ๆ

ระยะติดตั้งผ้า (ซม.)	ปริมาณการใช้น้ำ (กิโลกรัม/ 3 วัน)	ปริมาณน้ำสูญเสีย (กิโลกรัม/ 3 วัน)	ร้อยละการสูญเสียน้ำ
2.5	39.12	14.49	37.0
5.0	18.37	2.02	11.0
7.5	11.55	0	0
10.0	8.15	0	0
12.5	6.11	0	0

ผลจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นภายในผ้าสำหรับกรณีติดตั้งผ้าความหนาเท่ากัน แต่ติดตั้งที่ระยะต่างกันจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย ดังรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 อุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงกรณีติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงต่าง ๆ ที่ความหนาผ้า 1 เท่า ระหว่างวันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561

จากรูปที่ 7.3 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงสำหรับการติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงต่างกันจะมีรูปแบบแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน คือมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วงเวลากลางวันและช่วงที่มีแสงอาทิตย์จนถึงค่าสูงสุดโดยประมาณเที่ยงตรงของแต่ละวัน (ชั่วโมงที่ 11, 36 และ 59) แล้วจึงเริ่มลดลงจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศในช่วงเวลาที่แสงอาทิตย์น้อยหรือไม่มี แต่จะมีความแตกต่างกันตามปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้า ซึ่งแตกต่างกันตามความสูงของการติดตั้งผ้า ตามที่แสดงในรูปที่ 7.1 โดยความแตกต่างกันของอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งระบบระบายน้ำจากผ้าด้านหลังที่ความสูงของผ้าต่างกันมีรายละเอียดดังนี้

ช่วงที่มีแสงอาทิตย์สำหรับช่วงเวลาที่ค่าความเข้มแสงอาทิตย์กับอุณหภูมิอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นนั้น เมื่อปริมาณน้ำในผ้ามีค่าลดลงจนถึงค่าที่ผ้าไม่เกิดการระเหยน้ำได้ การระบายความร้อนจากการระเหยน้ำจึงลดลงไปโดยในช่วงนี้อัตราการระเหยของน้ำจะลดลงไปจนมีค่าเท่ากับอัตราการดูดน้ำขึ้นของผ้าเท่านั้น ทำให้อุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเทียบกับช่วงเวลาที่ที่ยังมีปริมาณน้ำเหลืออยู่ในผ้า โดยกรณีที่ติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงมากจะเกิดการกระโดดเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงเนื่องจากไม่มีการระเหยน้ำจากผ้าเร็วกว่ากรณีที่ติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงน้อยกว่า เพราะอัตราการดูดน้ำของผ้าลดลงตามความสูงของการติดตั้งผ้าจึงทำให้การลดลงของปริมาณน้ำถึงค่าที่ผ้าไม่เกิดการระเหยน้ำได้เร็วกว่า

นอกจากนี้จากผลการจำลองมีข้อสังเกตว่าสำหรับการติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงมากกว่า 7.5 เซนติเมตรที่มีอัตราการดูดน้ำน้อยจนทำให้มีช่วงที่มีปริมาณน้ำไม่พอกับการระเหยน้ำทำให้อุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งผ้าหลังจากที่ไม่เกิดการระเหยน้ำมีการเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงกว่ากรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ไม่ติดตั้งผ้า กล่าวคือกรณีเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งผ้าแห้งมีอุณหภูมิสูงกว่ากรณีเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งผ้า เห็นได้จากรูปที่ 7.2 ในช่วงเวลาประมาณ ชั่วโมงที่ 9 ถึง 14, 33 ถึง 38 และ 56 ถึง 63 สำหรับกรณีการติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงมากกว่า 7.5 เซนติเมตร กรณีนี้เป็นผลมาจากการติดผ้าแห้งเพิ่มไปที่ด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงเป็นการเพิ่มความต้านทานการถ่ายเทความร้อน ประกอบกับค่าสภาพเปล่งรังสีของผ้าที่ไม่เกิดการระเหยน้ำมีค่าน้อยกว่าค่าสภาพเปล่งรังสีของแผ่นประกบหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงทำให้ความร้อนจากการแผ่รังสีที่ด้านหลังสำหรับกรณีที่ผ้าไม่เกิดการระเหยน้ำมีค่าน้อยกว่าการแผ่รังสีด้วยแผ่นประกบหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงเอง ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าผลที่ได้แตกต่างจากที่เห็นใน

กรณีของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองทั้งในส่วนของการทดลองและการจำลองที่แสดงในบทที่ผ่านมา เพราะเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ใช้ในบทที่แล้วทำจากแผ่นอลูมิเนียมซึ่งมีค่าสภาพเปล่งรังสีที่ต่ำกว่าผ้า

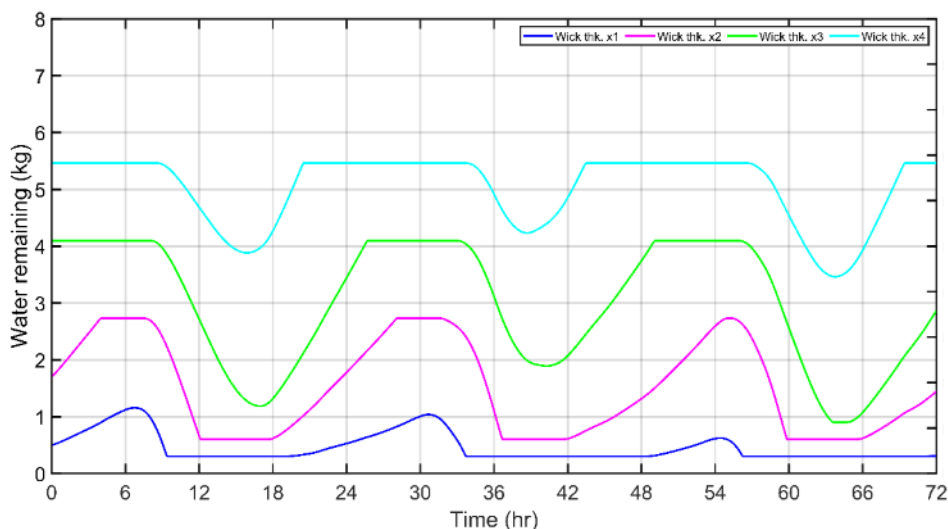
ส่วนช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์อุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงสำหรับทุกระยะความสูงในการติดตั้งผ้ามีค่าลดลงเช่นกัน เพียงแต่อุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงในการติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงน้อยจะลดลงได้เร็วกว่าการติดตั้งผ้าที่ระยะมากขึ้น เพราะว่าปริมาณน้ำในผ้าสำหรับการติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงน้อยมีค่าเพิ่มขึ้นก่อนจึงทำให้สามารถลดอุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงได้รวดเร็วกว่า ในขณะที่ผ้าที่ถูกติดตั้งที่ระยะความสูงมากขึ้น ยังคงเป็นผ้าที่ไม่เกิดการระเหยน้ำทำให้อุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงสำหรับผ้าที่ถูกติดตั้งที่ระยะความสูงมากมีค่าลดลงได้ช้ากว่า

จะเห็นได้ว่าการติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงต่างกันจะส่งผลต่อการลดอุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่แตกต่างกันด้วย โดยการติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงน้อยสามารถลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงได้ดีกว่าการติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงมาก แต่ข้อเสียสำหรับกรณีติดตั้งผ้าความหนา 1 เท้า ในทุกระยะความสูง คือ การเกิดปัญหาเรื่องผ้าไม่ระเหยน้ำขึ้นในช่วงที่มีแสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นนี้อาจแก้ไขได้โดยการติดตั้งผ้าที่มีความหนาเพิ่มขึ้นเพื่อทำให้ผ้าอุ้มน้ำได้มากขึ้นและสามารถลดอุณหภูมิได้นานขึ้นนั่นเอง ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.1.2 กรณีติดตั้งผ้าที่มีความหนาต่างกันที่ระยะความสูงเดียวกัน

สำหรับส่วนนี้จะวิเคราะห์ผลการจำลองสำหรับกรณีติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงเดียวกันคือ 7.5 เซนติเมตร และใช้ความหนาผ้าสาหลูต่างกันตั้งแต่ 1 เท้า จนถึง 4 เท้า สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ตั้งอยู่ภายในกรุงเทพฯ ในระหว่างวันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561 ซึ่งแสดงข้อมูลสภาวะอากาศดังรูปที่ 7.1 จากการจำลองจะพบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในผ้าในแต่ละช่วงเวลา ดังรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผ้าสำหรับกรณีติดตั้งผ้าที่ระยะความสูง 7.5 เซนติเมตร โดยใช้ความหนาผ้าต่างกัน ระหว่างวันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561

จากรูปที่ 7.4 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในผ้ากรณีติดตั้งผ้าที่มีความหนาต่างกันที่ระยะความสูงเดียวกันยังคงมีแนวโน้มเหมือนเดิมเช่นเดียวกันกับกรณีติดตั้งผ้าความหนาเท่ากันที่ระยะความสูงแตกต่างกัน คือมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์แต่จะไม่เพิ่มขึ้นเกินไปกว่าค่าปริมาณน้ำสูงสุดที่ผ้าสามารถรับได้และมีค่าลดลงในช่วงที่มีแสงอาทิตย์ แต่จะเห็นได้ว่าสำหรับกรณีผ้าหนาตั้งแต่ 3 เท่าขึ้นไปปริมาณน้ำจะไม่ลดถึงจุดต่ำสุดเป็นค่าคงที่ ซึ่งแสดงถึงช่วงที่ไม่มีการระเหยน้ำเนื่องจากผ้าที่หนาขึ้นสามารถเก็บสะสมน้ำไว้ในผ้าได้มากกว่า อีกทั้งยังมีอัตราการดูดน้ำที่มากกว่าด้วย จึงทำให้สามารถมีการระเหยน้ำจากผ้าได้ตลอดเวลาที่ต้องการระบายความร้อนจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง นอกจากนี้การที่ผ้าหนาขึ้นจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ในผ้าได้มากขึ้นทำให้สามารถยืดช่วงที่มีการระเหยน้ำในช่วงที่อัตราการดูดน้ำขึ้นน้อยกว่าอัตราการระเหยน้ำให้นานขึ้นได้ แล้ว อัตราดูดน้ำที่เพิ่มขึ้นจากการที่ผ้าหนาขึ้นยังช่วยให้สามารถดูดน้ำขึ้นมาเติมในผ้าได้เต็มก่อนผ้าที่บางกว่าในช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์อีกด้วย

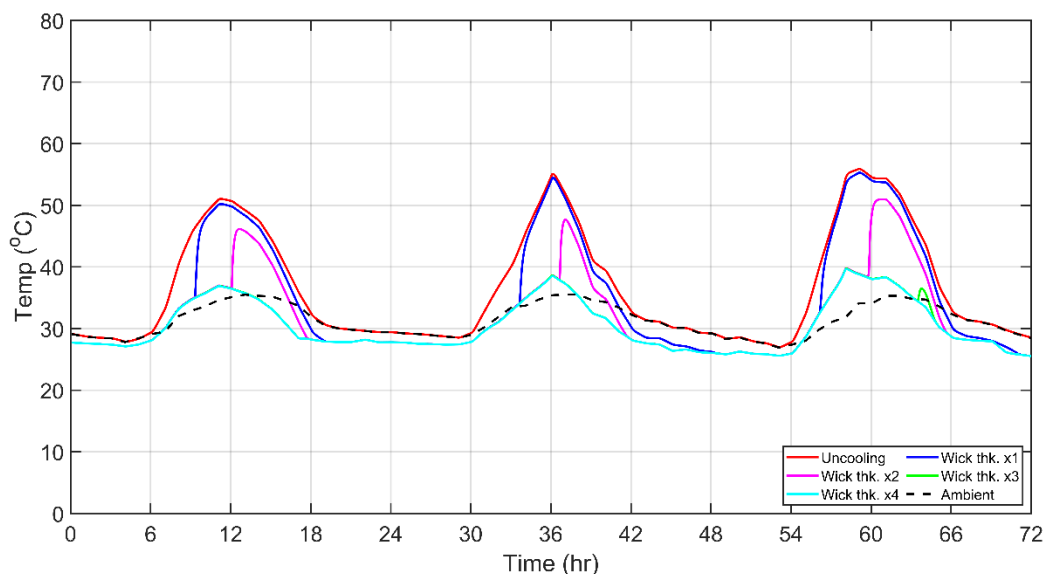
ถึงแม้ว่าการติดตั้งผ้าที่มีความหนาเพิ่มขึ้นจะเป็นการแก้ปัญหาในเรื่องผ้าไม่เกิดการระเหยน้ำขึ้นได้ในเวลาที่มีแสงอาทิตย์นั้น แต่ข้อเสียคือการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์ โดยร้อยละของการสูญเสียน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความหนาของผ้าที่ใช้ เนื่องจากผ้าที่หนาขึ้นจะสามารถดูดน้ำขึ้นมาสะสมในผ้าจนเต็มได้เร็วกว่าผ้าที่บางกว่าในช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์ ทำให้ปริมาณน้ำที่เหลือที่ถูกผ้าดูดขึ้นมาเพิ่มเติมนั้นจะเป็นปริมาณน้ำที่สูญเสียออกไปโดยปริยาย ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้และปริมาณน้ำ

ที่สูญเสียรวมภายใน 3 วันสำหรับการติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงเดียวกันแต่ใช้ผ้าความหนาต่างกัน จะแสดงดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 ปริมาณน้ำที่ใช้และสูญเสียในการติดตั้งผ้าความหนาต่าง ๆ ที่ระยะความสูง 7.5 เซนติเมตร

ความหนาผ้า	ปริมาณการใช้น้ำ (กิโลกรัม/ 3 วัน)	ปริมาณน้ำสูญเสีย (กิโลกรัม/ 3 วัน)	ร้อยละการสูญเสียน้ำ
1 เท่า	11.55	0	0
2 เท่า	23.11	1.51	6.53
3 เท่า	34.66	7.68	22.15
4 เท่า	46.22	18.02	38.98

ผลจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นภายในผ้าสำหรับกรณีติดตั้งผ้าที่มีความหนาต่างกันที่ระยะความสูงเดียวกันจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง ดังรูปที่ 7.5



รูปที่ 7.5 อุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงสำหรับกรณีติดตั้งผ้าที่ระยะความสูง 7.5 เซนติเมตร โดยใช้ความหนาผ้าต่างกัน ระหว่างวันที่ 13 ถึง 15 เมษายน พ.ศ. 2561

จากรูปที่ 7.5 จะเห็นได้ว่าการติดตั้งผ้าที่ความหนาต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงในแนวโน้มเดียวกันกับกรณีติดตั้งผ้าความหนาเดียวกันที่ระยะต่างกัน คือขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศและความเข้มของแสงอาทิตย์แต่ละเวลารวมถึงปริมาณน้ำค้างเหลือในผ้า ซึ่งแตกต่างกันตามความหนาของผ้าที่ใช้ด้วย หมายเหตุ เนื่องจากกรณีผ้าหนา 3 เท่าและหนา 4 เท่ามีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิใกล้เคียงกันมาก เส้นกราฟของกรณีผ้าหนา 3 เท่าจึงถูกทับไปด้วยเส้นกราฟของกรณีผ้าหนา 4 เท่าเกือบทั้งหมด ซึ่งจะเห็นได้ว่าสำหรับกรณีผ้าหนา 3 เท่าและหนา 4 เท่า สามารถลดอุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงได้ตลอดเวลา เพราะปริมาณน้ำในผ้าเพียงพอต่อการระเหยน้ำอยู่ตลอดและไม่เกิดปัญหาผ้าไม่ระเหยน้ำขึ้นเลย จากผลการจำลองจะเห็นได้ชัดว่าการเลือกติดตั้งที่หนาเพิ่มขึ้นจึงเป็นผลดีต่อการลดอุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง

นอกเหนือนั้นผลการจำลองยังแสดงถึงข้อสังเกตที่น่าสนใจอีก สำหรับกรณีที่เกิดการจำกัดการระเหยของน้ำในช่วงที่ปริมาณน้ำในผ้าลดลงถึงจุดต่ำสุดเป็นค่าคงที่ในรูปที่ 7.4 ดังเช่นที่เกิดขึ้นกับสำหรับกรณีผ้าหนา 1 เท่าและหนา 2 เท่า ซึ่งเกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงอย่างรวดเร็วเนื่องจากเกิดช่วงที่มีการระเหยน้ำจากผ้าจำกัดด้วยอัตราการควบแน่น โดยสำหรับกรณีผ้าหนา 1 เท่า อุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงจะเพิ่มขึ้น

อย่างรวดเร็วดังแต่ประมาณชั่วโมงที่ 9, 34 และ 56 ซึ่งเกิดขึ้นก่อนกรณีผ้าหนา 2 เท่า ซึ่งเริ่มเกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างรวดเร็วดังแต่เวลาประมาณชั่วโมงที่ 12, 37 และ 60 เนื่องจากปริมาณน้ำของกรณีผ้าหนา 1 เท่าลดลงถึงปริมาณน้ำต่ำสุดก่อนกรณีผ้าหนา 2 เท่า

ข้อสังเกตอีกประการสำหรับกรณีผ้าหนา 1 เท่าและหนา 2 เท่าในช่วงที่ปริมาณน้ำในผ้าลดลงถึงจุดต่ำสุด หลังจากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดของแต่ละวันแล้ว เช่น ช่วงประมาณชั่วโมงที่ 12 ถึง 18 ดังแสดงในรูปที่ 7.4 และ 7.5 ถึงแม้ว่าปริมาณน้ำจะลดลงถึงจุดต่ำสุดเหมือนกันทั้ง 2 กรณี แต่อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงของกรณีผ้าหนา 1 เท่ายังคงสูงกว่ากรณีผ้าหนา 2 เท่าตลอดในช่วงเวลานั้น เป็นเพราะว่าในช่วงนี้อัตราการระเหยน้ำลดลงจนมีค่าเท่ากับอัตราการดูดน้ำของผ้าเท่านั้น แต่เนื่องจากอัตราการดูดน้ำของกรณีผ้าหนา 2 เท่ามีค่ามากกว่ากรณีผ้าหนา 1 เท่า จึงมีการระบายความร้อนจากการระเหยของผ้ามากกว่า จึงทำให้กรณีผ้าหนา 2 เท่ามีอุณหภูมิของแผงต่ำกว่ากรณีผ้าหนา 1 เท่านั้นเอง

7.2 การวิเคราะห์ภาพรวมรายปีของการติดตั้งผ้าในรูปแบบต่างกัน

เมื่อเห็นภาพการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงในระยะเวลา 3 วันแล้ว ต่อไปผู้วิจัยจะแสดงผลการจำลองทั้งหมดสำหรับระยะเวลา 1 ปี โดยจะเลือกใช้ผ้าที่มีความหนาและระยะติดตั้งผ้าที่แตกต่างกันออกไปเพื่อแสดงให้เห็นถึงปริมาณการใช้น้ำ ปริมาณน้ำสูญเสีย ร้อยละการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้า และพลังงานทั้งหมดที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้สำหรับในแต่ละกรณี ซึ่งผลจากการจำลองจะแสดงดังตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 แสดงผลการจำลองจากแบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับระยะเวลา 1 ปี

ความสูงในการติดตั้งผ้า (ชม.)	ปริมาณการใช้น้ำ (กิโลกรัม/ปี)	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (กิโลกรัม/ปี)	ร้อยละการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าสูงสุดเทียบกับกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไป (%)	พลังงานที่ผลิตได้ทั้งหมดต่อปี (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	ร้อยละการเพิ่มขึ้นของพลังงานเทียบกับกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไป (%)
กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไป					
-	-	-	-	395.58	-
กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งผ้าไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ (ผ้าหนา 1 เท่า)					
2.5	4759.67	2151.74	10.74	413.20	4.45
5.0	2235.30	458.82	7.42	404.52	2.26
7.5	1405.89	80.23	6.93	400.50	1.24
10.0	992.22	10.55	5.52	397.75	0.55
12.5	744.15	0.09	4.80	396.10	0.13
กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งผ้าไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ (ผ้าหนา 2 เท่า)					
2.5	9519.34	6562.74	11.27	417.06	5.43
5.0	4470.60	1674.01	11.27	415.45	5.02
7.5	2811.79	443.38	10.60	411.17	3.94
10.0	1984.45	59.44	9.68	406.63	2.79
12.5	1488.29	1.65	8.66	402.15	1.66

ความสูงในการ ติดตั้งผ้า (ชม.)	ปริมาณการ ใช้น้ำ (กิโลกรัม)	ปริมาณน้ำ ที่สูญเสีย (กิโลกรัม)	ร้อยละการเพิ่มขึ้น ของกำลังไฟฟ้าสูงสุด เทียบกับกรณีแผง เซลล์แสงอาทิตย์ จริงทั่วไป (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิต ได้ทั้งหมดต่อปี (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	ร้อยละการเพิ่มขึ้น ของพลังงานเทียบกับ กรณีแผงเซลล์ แสงอาทิตย์จริงทั่วไป (%)
กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งผ้าไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ (ผ้าหนา 3 เท่า)					
2.5	14279.01	11334.22	11.11	416.74	5.35
5.0	6705.91	3762.94	11.11	416.74	5.35
7.5	4217.68	1326.44	11.11	416.29	5.23
10.0	2976.67	292.02	11.11	414.49	4.78
12.5	2232.44	24.67	11.11	409.62	3.55
กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งผ้าไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ (ผ้าหนา 4 เท่า)					
2.5	19038.69	16105.74	10.95	416.43	5.27
5.0	8941.21	6008.37	10.95	416.43	5.27
7.5	5623.58	2692.20	10.95	416.43	5.27
10.0	3968.90	1051.36	10.95	416.34	5.25
12.5	2976.58	217.04	10.95	414.95	4.90

จากตารางที่ 7.3 แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงน้อย ผ้าบางจะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงสามารถเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดและผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ดีกว่าผ้าหนา ตัวอย่างเช่น การติดตั้งผ้าที่ระยะความสูง 2.5 เซนติเมตร ผ้าที่มีความหนา 2 เท่า ให้ผลดีกว่าผ้าที่มีความหนา 3 เท่า และ 4 เท่า เป็นต้น เพราะว่าผ้าที่บางกว่าสามารถถ่ายเทความร้อนออกมาที่

ผิวผ้าได้ดีกว่าผ้าหนา อีกทั้งเมื่อเกิดปัญหาผ้าแห้งขึ้นผ้าแห้งจะประพடுத்தัวเป็นตัวต้านทานทางความร้อนโดยผ้าหนาจะมีความต้านทานทางความร้อนมากกว่าผ้าบาง จึงทำให้อุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงมีค่าสูงขึ้นและส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุดกับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าลดลงมากกว่าการติดตั้งผ้าบาง

นอกจากนี้การเลือกติดตั้งผ้าที่ความหนาเดียวกัน อาจไม่จำเป็นต้องติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงน้อยเท่านั้น หากติดตั้งผ้าที่ระยะมากขึ้นแล้วปรากฏว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เทียบเท่ากับการติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงน้อยแล้ว จึงควรเลือกที่จะติดตั้งผ้าที่ระยะความสูงมากขึ้นเพราะสามารถลดปริมาณการใช้น้ำและปริมาณการสูญเสียน้ำได้ ตัวอย่างเช่น การเลือกใช้ผ้าความหนา 4 เท้า พบว่าการติดตั้งที่ระยะความสูง 2.5 เซนติเมตร 5 เซนติเมตร และ 7.5 เซนติเมตร มีร้อยละการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าสูงสุดและสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากัน ดังนั้นควรที่จะเลือกติดตั้งผ้าที่ระยะความสูง 7.5 เซนติเมตร เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำและไม่ให้เกิดการสูญเสียที่มากเกินไป เป็นต้น

โดยภาพรวมแล้วจะเห็นได้ว่าระยะความสูงในการติดตั้งผ้าและความหนาของผ้ามีผลต่อการลดอุณหภูมิ ปริมาณน้ำที่ใช้ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุด และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง ซึ่งในการออกแบบเลือกนำผ้ามาติดตั้งเพื่อใช้ในการลดอุณหภูมิด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงนั้นอาจต้องคำนึงถึงระยะความสูงและความหนาของผ้าที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงขึ้นและเกิดการสูญเสียที่น้อยลง สำหรับกรณีศึกษาทั้งหมดนี้การเลือกติดตั้งผ้าความหนา 3 เท้า ที่ระยะความสูง 10 เซนติเมตร หรือติดตั้งผ้าความหนา 4 เท้า ที่ระยะความสูง 12.5 เซนติเมตร เป็นการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด เพราะทั้ง 2 ตัวเลือกนี้สามารถเพิ่มการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงได้สูง และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณน้ำที่ใช้กับปริมาณน้ำที่สูญเสีย พบว่าทั้ง 2 ตัวเลือกนี้มีการใช้ปริมาณน้ำที่ใกล้เคียงกันและสูญเสียไม่ถึงร้อยละ 10 ของปริมาณน้ำที่ใช้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นการสูญเสียที่น้อยมาก

โดยสรุปแบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงนี้สามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้และปริมาณน้ำที่ต้องการใช้สำหรับการใช้งานจริง เพื่อสามารถประเมินได้ว่าการติดตั้งผ้าเป็นอุปกรณ์ลดอุณหภูมิด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์นี้มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ โดยจะเห็นได้ว่าการเลือกใช้ผ้ามาเป็นอุปกรณ์ลดอุณหภูมิด้านหลัง

ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงนี้มีทั้งข้อดีและข้อเสีย เพราะฉะนั้นหากต้องการนำไปใช้งานจริงควรจะ
ออกแบบเลือกใช้ผ้าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในด้านการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ
แผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงให้ดีขึ้นและคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด



บทที่ 8

สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยทั้งหมดนี้ พบว่าแบบจำลองทางทฤษฎีที่สร้างขึ้นสำหรับ เซลล์แสงอาทิตย์จำลองสามารถทำนายผลของอุณหภูมิด้านหลังได้ใกล้เคียงกับผลการทดลอง และการติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ที่ด้านหลังสามารถลดอุณหภูมิด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองได้ 24.5 องศาเซลเซียส ดังนั้นแบบจำลองนี้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบ ใช้งานจริงได้และมีความเป็นไปได้ที่จะนำวิธีการลดอุณหภูมินี้ไปประยุกต์ใช้งานกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง แต่ข้อจำกัดของการติดตั้งผ้าชุ่มน้ำไว้ด้านหลังเพียงอย่างเดียว คือ ผ้าไม่สามารถลด อุณหภูมิได้ตลอดเวลาเนื่องจากเกิดปัญหาไม่ระเหยน้ำขึ้น ซึ่งการแก้ไขปัญหานี้สามารถทำได้โดย การเลือกใช้ผ้าหนาเพิ่มขึ้นหรือผ้าที่มีความพรุนมากขึ้นเพื่อยืดระยะเวลาในการลดอุณหภูมิ หรืออีกวิธี หนึ่ง คือ การติดตั้งแหล่งน้ำเพิ่มเติมเพื่อให้ผ้าชุ่มน้ำและสามารถลดอุณหภูมิได้ตลอดเวลา ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการจำลองจากแบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จำลองที่ติดตั้งผ้าชุ่มน้ำ ไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ โดยตัวแปรสำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ ระยะเวลาสูงสุดติดตั้งผ้าระหว่าง แหล่งน้ำถึงขอบบนของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองเพื่อหาระยะความสูงในการติดตั้งผ้าที่เหมาะสมที่สุด ผลการจำลองพบว่าระยะติดตั้งผ้าที่เหมาะสมที่สุด คือ 11.5 เซนติเมตร เพราะสามารถลดอุณหภูมิได้ ตลอดเวลาที่ต้องการ ผ้าชุ่มน้ำตลอดเวลาและไม่เกิดปัญหาสูญเสียน้ำขึ้น

ต่อมาผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางทฤษฎีเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง โดยทำการจำลองในสภาวะอากาศจริงที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเป็น ระยะเวลา 1 ปี ซึ่งจะศึกษาถึงระยะความสูงและความหนาของผ้าที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบ ติดตั้ง ผลการจำลองพบว่าทางเลือกติดตั้งผ้าความหนา 3 เท่า ที่ระยะความสูง 10 เซนติเมตร หรือ ติดตั้งผ้าความหนา 4 เท่า ที่ระยะความสูง 12.5 เซนติเมตร เป็นการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด เพราะ สามารถเพิ่มการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูง และปริมาณน้ำที่สูญเสียไม่ถึงร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับ ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อปี โดยภาพรวมแล้วจะเห็นได้ว่าแบบจำลองทางทฤษฎีที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นทั้งหมดนี้ มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ในการออกแบบติดตั้งผ้าไว้ที่ด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง สำหรับการลดอุณหภูมิเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพได้จริง โดยค่าต่างๆ ที่ได้จากการจำลองนั้นล้วนแต่ เป็นตัวแปรสำคัญที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์และประเมินถึงการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดเพื่อที่จะ

เพิ่มประสิทธิภาพในด้านการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริงให้ดีขึ้นและคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด

จากผลสรุปการดำเนินงานวิจัยที่ได้กล่าวไปข้างต้น ผู้วิจัยมีความคิดเห็นว่าจะสามารถนำงานวิจัยนี้ไปศึกษาและพัฒนาต่อได้ ดังนั้นจึงขอแนะนำแนวทางที่สามารถทำการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตต่อไป ดังนี้

1. นำแบบจำลองทางทฤษฎีไปทำการศึกษาเชิงตัวแปร (Parametric study) เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม เป็นต้น ที่ส่งผลต่ออุณหภูมิและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์
2. ทำการทดลองเปลี่ยนชนิดของผ้าที่นำมาใช้สำหรับการลดอุณหภูมิด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์จำลองในกรณีติดผ้าชุ่มน้ำไว้เพียงอย่างเดียว เพื่อศึกษาถึงผลการลดอุณหภูมิของผ้าแต่ละชนิดและสามารถประเมินได้ว่าผ้าชนิดใดสามารถนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ลดอุณหภูมิได้ดีที่สุด
3. ทำการทดลองกับเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั้ง 3 กรณีเช่นเดียวกันกับงานวิจัยนี้ ในสภาวะอากาศคงที่และสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์จริง และทำให้ทราบถึงผลการลดอุณหภูมิ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ปริมาณน้ำที่ใช้ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย รวมไปถึงประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละกรณีได้

บรรณานุกรม

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] A. A. Katkar, N. N. Shinde, and P. Patil, "Performance & evaluation of industrial solar cell w.r.t. temperature and humidity," *International Journal of Research in Mechanical Engineering and Technology*, vol. 1, pp. 69-73, 01/01 2011.
- [4] M. Chaichan, "Effect of Humidity on the PV Performance in Oman," *Asian Transactions on Engineering*, vol. 2, pp. 29-32, 09/01 2012.
- [5] S. A. M. Said, "Effects of dust accumulation on performances of thermal and photovoltaic flat-plate collectors," *Applied Energy*, vol. 37, no. 1, pp. 73-84, 1990/01/01/ 1990, doi: [https://doi.org/10.1016/0306-2619\(90\)90019-A](https://doi.org/10.1016/0306-2619(90)90019-A).
- [6] Z. Jing, W. Zhiping, W. Kezhen, and L. Jianbo, "Dust Effect on Thermal Performance of Flat Plate Solar Collectors," *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 137, p. 014502, 02/01 2014, doi: 10.1115/1.4028364.
- [7] A. Bonkaney, S. Madougou, and R. Adamou, "Impacts of Cloud Cover and Dust on the Performance of Photovoltaic Module in Niamey," *Journal of Renewable Energy*, vol. 2017, pp. 1-8, 2017, doi: 10.1155/2017/9107502.
- [8] M. H. Ali and A. Ibrahim Gaya, "Determination of Cloud Effect on the Performance of Photovoltaic Module," *IOSR Journal of Applied Physics*, vol. 08, no. 04, pp. 03-07, 2016, doi: 10.9790/4861-0804020307.
- [9] S. Krauter, "Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 82, no. 1-2, pp. 131-137, 2004, doi: 10.1016/j.solmat.2004.01.011.
- [10] 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.
- [11] A. R. Amelia *et al.*, "Cooling on Photovoltaic Panel Using Forced Air Convection Induced by DC Fan," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 6, no. 2, 2016, doi: 10.11591/ijece.v6i2.9118.
- [12] R. Mazón-Hernández, J. R. García-Cascales, F. Vera-García, A. S. Káiser, and B. Zamora, "Improving the Electrical Parameters of a Photovoltaic Panel by Means of an Induced or Forced Air Stream," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2013, pp. 1-10, 2013, doi: 10.1155/2013/830968.
- [13] E. Cuce, T. Bali, and S. A. Sekucoglu, "Effects of passive cooling on performance of silicon photovoltaic cells," *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol. 6, no. 4, pp. 299-308, 2011, doi: 10.1093/ijlct/ctr018.
- [14] L. Idoko, O. Anaya-Lara, and A. McDonald, "Enhancing PV modules efficiency and power output using multi-concept cooling technique," *Energy Reports*, vol. 4, pp. 357-369, 2018, doi: 10.1016/j.egy.2018.05.004.
- [15] H. Chen, X. Chen, S. Li, and H. Ding, "Numerical study on the electrical performance of photovoltaic panel with passive cooling of natural ventilation," *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 2014, doi: 10.12720/sgce.3.4.395-400.
- [16] M. Khaled, F. Hachem, M. Gad El-Rab, and M. Ramadan, *Cooling photovoltaic cells using phase change materials – Experiments and economical study*. 2015.
- [17] F. Kawtharani *et al.*, *Cooling PV modules using phase change material*. 2017, pp. 1-5.
- [18] 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.
- [19] A. H. Alami, "Synthetic clay as an alternative backing material for passive temperature control of photovoltaic cells," *Energy*, vol. 108, pp. 195-200, 2016, doi: 10.1016/j.energy.2015.05.029.
- [20] Z. A. Haidar, J. Orfi, and Z. Kaneesamkandi, "Experimental investigation of evaporative cooling for enhancing photovoltaic panels efficiency," *Results in*

- Physics*, vol. 11, pp. 690-697, 2018, doi: 10.1016/j.rinp.2018.10.016.
- [21] R. Masoodi, K. Pillai. *Wicking in Porous Materials – Traditional and Modern Modeling Approaches*. LLC: Taylor & Francis Group, 2013.
- [22] R. Masoodi, K. Pillai, and P. Varanasi, "Darcy's law-based models for liquid absorption in polymer wicks," *AIChE Journal*, vol. 53, pp. 2769-2782, 11/01 2007, doi: 10.1002/aic.11322.
- [23] R. Masoodi, K. Pillai, and P. Varanasi, "Effect of Externally Applied Liquid Pressure on Wicking in Paper Wipes," *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, vol. 5, pp. 49-66, 09/01 2010, doi: 10.1177/155892501000500307.
- [24] M. A. F. Zarandi, K. M. Pillai, and A. S. Kimmel, "Spontaneous imbibition of liquids in glass-fiber wicks. Part I: Usefulness of a sharp-front approach," *AIChE Journal*, vol. 64, no. 1, pp. 294-305, 2018, doi: 10.1002/aic.15965.
- [25] Y.A. Cengel, A.J. Ghajar. *Heat and Mass Transfer – Fundamentals and Applications, 5th Edition*. McGraw Hill Education, 2015.
- [26] M. Hammami, S. Torretti, F. Grimaccia, and G. Grandi, "Thermal and Performance Analysis of a Photovoltaic Module with an Integrated Energy Storage System," *Applied Sciences*, vol. 7, p. 1107, 10/25 2017, doi: 10.3390/app7111107.
- [27] R. Corless, G. Gonnet, D. Hare, D. Jeffrey, and D. Knuth, "On the Lambert W Function," *Advances in Computational Mathematics*, vol. 5, pp. 329-359, 01/12 1996, doi: 10.1007/BF02124750.
- [28] L. Sabri and M. Benzirar, "Effect of Ambient Conditions on Thermal Properties of Photovoltaic Cells: Crystalline and Amorphous Silicon," *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 03, no. 12, pp. 17815-17821, 2014, doi: 10.15680/ijirset.2014.0312010.
- [29] T. Okada, R. Ishige, and S. Ando, "Analysis of Thermal Radiation Properties of Polyimide and Polymeric Materials Based on ATR-IR spectroscopy," *Journal of Photopolymer Science and Technology*, vol. 29, pp. 251-254, 08/07 2016, doi: 10.2494/photopolymer.29.251.
- [30] Y. Riffonneau, S. Bacha, F. Barruel, and S. Ploix, "Optimal Power Flow Management for Grid Connected PV Systems With Batteries," *IEEE Transactions*

on *Sustainable Energy*, vol. 2, no. 3, pp. 309-320, 2011, doi:
10.1109/tste.2011.2114901.

- [31] J.-Y. Cho, H.-M. Choi, and C.-J. Hong, "Characterization of absorbent properties of fibers and fibrous assemblies using inclined wicking test," *Fibers and Polymers*, vol. 16, no. 4, pp. 934-940, 2015, doi: 10.1007/s12221-015-0934-8.






ก.1 Code สำหรับการดูดน้ำของผ้า

```

function [hwick_rec,mwickrate]=Wickh(Twater,hwickmax,phi,K,Wickwidth,Wickthk)
%% Properties of fabric and water
g=9.81; e=exp(1); Ac=Wickwidth*Wickthk;
denwater=999.79684+0.068317355*Twater-
0.010740248*Twater^2+0.00082140905*Twater^2.5-(2.3030988e-5)*Twater^3;
u = 1/(557.82468+19.408782*Twater+0.1360459*Twater^2-(3.1160832e-4)*Twater^3);
Ps=denwater*g*hwickmax;
%% Define time and tolerance
tfinal=360000; dt=1;
hwick_rec=length(tfinal);
hwicki=0;
es=1e-8;
tol=10;
t=0;
%% Wick Calculation
aa=1; %Model Adjust
a=Ps*K/(phi*u)*aa;
b=denwater*g*K/(phi*u)*aa*1;
while tol>es
    t=t+1;
    x = -exp(-1-(b^2*t)/a);
    y = real(sqrt(2+2*e*x));
    W = -1+y./(1+(4.13501*y)./(12.7036+y));
    hwick = (a/b)*(1+W);
    hwick_rec(t)=hwick;
    if t==1
        tol= abs((hwick_rec(t)-hwicki)/hwick_rec(t))*100;
    else
        tol= abs((hwick_rec(t)-hwick_rec(t-1))/hwick_rec(t))*100;
    end
end

```



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

end

mwick = phi*denwater*Ac*hwick_rec;

mdiff=mwick(2:end)-mwick(1:end-1);

mwickrate=mdiff/dt;



ก.2 Code แบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป

```

function T3 = Uncooling_Transient(Qs,vwind,T_amb,RH,dt,tfinal)
%% Properties of aluminum
k_al=237; rho_al=2.37e+3; Cp_al=900; eps_al=0.09; zigma=5.67e-8;
l=0.17; w=0.16; thk_al=3e-3;
alpha_al=k_al/(rho_al*Cp_al); Area= l*w; Lc=sqrt(Area);
%% Input condition
P=101.325;
MW_air=28.97; MW_vapor=18.02;
%%Initial condition for temperature
T1i=35; T2i=35; T3i=35; Tinsuli=30;
dx_al=thk_al/2; %Node distance
qs=Qs*0.75/Area; %Heat loss to front panel 25%
%% Transient calculation
n=tfinal/dt;
tou=alpha_al*dt/(dx_al^2);
T1=zeros(1,n); T1(1)=T1i;
T2=zeros(1,n); T2(1)=T2i;
T3=zeros(1,n); T3(1)=T3i;
for i = 1:n
    %% Heat transfer to the back panel
    %%Properties of air-vapour mixture
    Tf = ((T3(i)+273.15)+(T_amb+273.15))/2;
    beta = 1-(Tf/647.096);
    %%Pressure
    Psat = (220.64*exp((647.096/Tf)*(-7.85951783*beta+1.84408259*beta^1.5-
11.7866497*beta^3+22.6807411*beta^3.5-
15.9618719*beta^4+1.80122502*beta^7.5))))*100;
    P_vapor = Psat*RH/100;

```

```

%Thermal Conductivity (k)
k_air = -2.276*(10^-3)+1.26*(10^-4)*Tf-1.481*(10^-7)*Tf^2+1.735*(10^-10)*Tf^3-
1.066*(10^-13)*Tf^4+2.476*(10^-17)*Tf^5;
k_vapor = (17.617+0.0555*(Tf-273.15)+0.000166*(Tf-273.15)^2)*10^-3;
k_mix = k_air*(1-(P_vapor/P))+k_vapor*(P_vapor/P);
%Specific Heat (Cp)
Cp_air = 1.034-0.284*(10^-3)*Tf+0.781*(10^-6)*Tf^2-0.497*(10^-
9)*Tf^3+0.1077*(10^-12)*Tf^4;
Cp_vapor = 1.869-2.578*(10^-4)*Tf+1.941*(10^-5)*Tf^2;
Cp_mix = ((Cp_air*(P-P_vapor)*MW_air)+Cp_vapor*P_vapor*MW_vapor)/(MW_air*(P-
P_vapor)+P_vapor*MW_vapor);
%Viscosity (u)
u_air = (-0.986+9.08*(10^-2)*Tf-1.176*(10^-4)*Tf^2+1.123*(10^-7)*Tf^3-5.797*(10^-
11)*Tf^4)*10^-6;
u_vapor = (80.58+0.4*(Tf-273.15))*10^-6;
u_mix = (u_air*(P-P_vapor)*sqrt(MW_air)+u_vapor*P_vapor*sqrt(MW_vapor))/((P-
P_vapor)*sqrt(MW_air)+P_vapor*sqrt(MW_vapor));
%Density (rho)
rho_mix = (P/(8.3145*Tf))*(MW_air*(1-(P_vapor/P))+MW_vapor*(P_vapor/P));
%Thermal Diffusivity (alpha)
alpha = k_mix/(Cp_mix*rho_mix*1000);
Re = (rho_mix*vwind*Lc)/u_mix;
Pr = u_mix/alpha;
if vwind>0 & Re<5*10^5
    %Forced Convection(Laminar)
    Nu = 0.664*(Re^0.5)*(Pr^(1/3));
else vwind>0 & Re>=5*10^5
    %Forced Convection(Laminar)
    Nu = 0.037*(Re^0.8)*(Pr^(1/3));
end
h_correct=1.33; %convective heat and mass transfer coefficient configuration

```

```

hconv=(Nu*k_mix/Lc)*h_correct;
T3(i+1)=(1-2*tou*hconv*dx_al/k_al-2*tou)*(T3(i)+273.15)-
(2*tou*sigma*eps_al*dx_al*(T3(i)+273.15)^4)/k_al+2*tou*(hconv*dx_al*(T_amb+273.1
5)/k_al+(sigma*eps_al*dx_al*(T_amb+273.15)^4)/k_al+(T2(i)+273.15));
%% AT(i+1)=T(i)+B
T1(i)=T1(i)+273.15; T2(i)=T2(i)+273.15; T3(i)=T3(i)+273.15; T_amb=T_amb+273.15;
Tvec=[T1(i); T2(i); T3(i)];
Tvec_new=zeros(3,1000);
Tvec_new(:,1)=Tvec;
A=zeros(3,3);
B=zeros(3,1);
%T1 eq
A(1,1)=2*tou+1;   A(1,2)=-2*tou;
B(1)=2*tou*qs*dx_al/k_al;
%T2 eq
A(2,1)=-tou;     A(2,2)=2*tou+1;   A(2,3)=-tou;
%T3 eq
A(3,2)=-2*tou;
A(3,3)=1+2*tou+2*tou*hconv*dx_al/k_al+(2*tou*eps_al*sigma*dx_al/k_al)*Tvec(3)^3;
B(3)=2*tou*(hconv*dx_al*T_amb/k_al+sigma*eps_al*dx_al*(T_amb^4)/k_al);
es=1e-5;
tol_Tvec=100;
j=0;
while tol_Tvec > es && j < 1000
    j=j+1;
    A(3,3)=1+2*tou+2*tou*hconv*dx_al/k_al+(2*tou*eps_al*sigma*dx_al/k_al)*Tvec_new(
3,j)^3;
    Tvec_new(:,j+1)=A(Tvec+B);
    tol_Tvec=norm((Tvec_new(:,j+1)-Tvec_new(:,j))./Tvec_new(:,j+1));
    u_relax=0.8; %Underrelaxation
    Tvec_new(:,j+1)=u_relax*Tvec_new(:,j+1)+(1-u_relax)*Tvec_new(:,j);

```

end

$T1(i+1)=Tvec_new(1,j+1)-273.15;$

$T2(i+1)=Tvec_new(2,j+1)-273.15;$

$T3(i+1)=Tvec_new(3,j+1)-273.15;$

$T_amb=T_amb-273.15;$

end

$T1=T1-273.15; T1(end)=T1(end)+273.15;$

$T2=T2-273.15; T2(end)=T2(end)+273.15;$

$T3=T3-273.15; T3(end)=T3(end)+273.15;$



ก.3 Code แบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งผ้าชุมน้ำไว้ที่ด้านหลัง

```

function [T3,mwater_rm_c_nw] =
Cooling_Transient_No_wick(Qs,vwind,T_amb,RH,mwateri,dt,tfinal)
%% Properties of aluminum
k_al=237; rho_al=2.37e+3; Cp_al=900; eps_al=0.09; zigma=5.67e-8;
l=0.17; w=0.16; thk=3e-3;
alpha_al=k_al/(rho_al*Cp_al); Area= l*w; Lc=sqrt(Area);
%% Input contidion
P=101.325;
MW_air=28.97; MW_vapor=18.02; R_vapor=0.46140;
%%Initial condition for temperature
T1i=31; % Front panel temperature
T2i=31; % Middle panel temperature
T4i=31; % Cotton temperature = Wet bulb temperature
T3i=31; % Back panel temperature
dx_al=thk/2; %Aluminum distance
dx_cott=3.754e-4; %Fabric distance
qs=Qs*0.75/Area; %Heat loss to front panel 25%
%% Transient calcuation
n=tfinal/dt;
jou=alpha_al*dt/(dx_al^2);
T1=zeros(1,n); T1(1)=T1i;
T2=zeros(1,n); T2(1)=T2i;
T3=zeros(1,n); T3(1)=T3i;
T4=zeros(1,n); T4(1)=T4i;
mconvrec=zeros(1,n);
mwater_rm_c_nw=ones(1,n)*mwateri;
RH_cott=ones(1,n);
for i =1:n
    %%%Properties of air-vapour mixture%%
    Tf = ((T4(i)+273.15)+(T_amb+273.15))/2;

```

```

beta = 1-(Tf/647.096);
%Pressure
Psat = (220.64*exp((647.096/Tf)*(-7.85951783*beta+1.84408259*beta^1.5-
11.7866497*beta^3+22.6807411*beta^3.5-
15.9618719*beta^4+1.80122502*beta^7.5))))*100;
P_vapor = Psat*RH/100;
%Thermal Conductivity (k)
k_air = -2.276*(10^-3)+1.26*(10^-4)*Tf-1.481*(10^-7)*Tf^2+1.735*(10^-10)*Tf^3-
1.066*(10^-13)*Tf^4+2.476*(10^-17)*Tf^5;
k_vapor = (17.617+0.0555*(Tf-273.15)+0.000166*(Tf-273.15)^2)*10^-3;
k_mix = k_air*(1-(P_vapor/P))+k_vapor*(P_vapor/P);
%Specific Heat (Cp)
Cp_air = 1.034-0.284*(10^-3)*Tf+0.781*(10^-6)*Tf^2-0.497*(10^-
9)*Tf^3+0.1077*(10^-12)*Tf^4;
Cp_vapor = 1.869-2.578*(10^-4)*Tf+1.941*(10^-5)*Tf^2;
Cp_mix = ((Cp_air*(P-P_vapor)*MW_air)+Cp_vapor*P_vapor*MW_vapor)/(MW_air*(P-
P_vapor)+P_vapor*MW_vapor);
%Viscosity (u)
u_air = (-0.986+9.08*(10^-2)*Tf-1.176*(10^-4)*Tf^2+1.123*(10^-7)*Tf^3-5.797*(10^-
11)*Tf^4)*10^-6;
u_vapor = (80.58+0.4*(Tf-273.15))*10^-6;
u_mix = (u_air*(P-P_vapor)*sqrt(MW_air)+u_vapor*P_vapor*sqrt(MW_vapor))/((P-
P_vapor)*sqrt(MW_air)+P_vapor*sqrt(MW_vapor));
%Density (rho)
rho_mix = (P/(8.3145*Tf))*(MW_air*(1-(P_vapor/P))+MW_vapor*(P_vapor/P));
%Thermal Diffusivity (alpha)
alpha = k_mix/(Cp_mix*rho_mix*1000);
%%%Properties of water at cotton surface%%%
tau_cott = 1-((T4(i)+273.15)/647.096);
Psat_cott =(220.64*exp((647.096/((T4(i)+273.15))*(-
7.85951783*tau_cott+1.84408259*tau_cott^1.5-

```

```

11.7866497*tau_cott^3+22.6807411*tau_cott^3.5-
15.9618719*tau_cott^4+1.80122502*tau_cott^7.5))))*100;
    Pvs_cott = Psat_cott;
    denvs_cott = Pvs_cott/(R_vapor*((T4(i)+273.15)));
    k_cott = 0.5650285+0.0026363895*T4(i)-0.00012516934*(T4(i)^1.5)-1.5154918e-
6*(T4(i)^2)-0.0009412945*(T4(i))^0.5;
    Cp_cott=4.2174356-0.0056181625*(T4(i))+0.0012992528*(T4(i))^1.5-
0.00011535353*(T4(i))^2+4.14964e-6*(T4(i))^2.5;
    alpha_cott=k_cott/(denvs_cott*Cp_cott);
    gamma = alpha_cott*dt/(dx_cott)^2;
    eps_cott=0.77;
    %%%Properties of water at ambient%%
    tau_amb = 1-((T_amb+273.15)/647.096);
    Psat_amb =(220.64*exp((647.096/(T_amb+273.15)))*(-
7.85951783*tau_amb+1.84408259*tau_amb^1.5-
11.7866497*tau_amb^3+22.6807411*tau_amb^3.5-
15.9618719*tau_amb^4+1.80122502*tau_amb^7.5))))*100;
    Pv_amb = Psat_amb*RH/100;
    denv_amb = Pv_amb/(R_vapor*(T_amb+273.15));
    % Heat and Mass transfer
    Re = (rho_mix*vwind*Lc)/u_mix;
    Pr = u_mix/alpha;
    Dab = 1.87*(10^-10)*(((T4(i)+273.15)^2.072)/1);
    Sc = u_mix/(rho_mix*Dab);
    if vwind>0 && Re<5*10^5
        %Forced Convection(Laminar)
        Nu = 0.664*(Re^0.5)*(Pr^(1/3));
        Sh = 0.664*(Re^0.5)*(Sc^1/3);
    else vwind>0 && Re>=5*10^5
        %Forced Convection(Turbulent)
        Nu = 0.037*(Re^0.8)*(Pr^(1/3));

```

```

Sh = 0.037*(Re^0.8)*(Sc^1/3);
end
hconv_correct=0.94; hmass_correct=5;%convective heat and mass transfer
coefficient configuration
hconv=hconv_correct*Nu*k_mix/Lc;
hmass = hmass_correct*Dab*Sh/Lc;
if RH_cott(i)<0.22
    mconv=0;
else
    mconv = hmass*Area*(denvs_cott-denv_amb);
end
hfg = 2500.34-2.2521025*T4(i)-0.021465847*T4(i)^1.5+3.1750136e-4*T4(i)^2.5-
2.8607959e-5*T4(i)^3;
Qevap=mconv*hfg*1000;
qevap=Qevap/Area;
%% Newton Raphson method to determine T(i+1)
es=1e-5;
M=k_al/dx_al+k_cott/dx_cott+rho_al*dx_al*Cp_al/(2*dt)+denvs_cott*dx_cott*Cp_cot
t/(2*dt);
T1(i)=T1(i)+273.15; T2(i)=T2(i)+273.15; T3(i)=T3(i)+273.15; T4(i)=T4(i)+273.15;
T_amb=T_amb+273.15;
%% AT(i+1)=T(i)+B
Tvec=[T1(i); T2(i); T3(i); T4(i)];
Tvec_new=zeros(4,1000);
Tvec_new(:,1)=Tvec;
A=zeros(4,4);
B=zeros(4,1);
%T1 eq
A(1,1)=2*tou+1; A(1,2)=-2*tou;
B(1)=2*tou*qs*dx_al/k_al;

```



```

%T2 eq
A(2,1)=-tou;    A(2,2)=2*tou+1;    A(2,3)=-tou;

%T3 eq
A(3,2)=(-2*dt*k_al/dx_al)/(rho_al*dx_al*Cp_al+denvs_cott*dx_cott*Cp_cott);
A(3,3)=2*dt*M/(rho_al*dx_al*Cp_al+denvs_cott*dx_cott*Cp_cott);
A(3,4)=(-2*dt*k_cott/dx_cott)/(rho_al*dx_al*Cp_al+denvs_cott*dx_cott*Cp_cott);

%T4 eq
A(4,3)=-2*gamma;
A(4,4)=1+2*gamma+2*gamma*hconv*dx_cott/k_cott+(2*gamma*eps_cott*zigma*dx
_cott/k_cott)*Tvec(4)^3;
B(4)=-
2*gamma*qevap*dx_cott/k_cott+2*gamma*(hconv*dx_cott*T_amb/k_cott+zigma*e
ps_cott*dx_cott*(T_amb^4)/k_cott);
tol_Tvec=100;
j=0;
while tol_Tvec > es && j < 1000
    j=j+1;
A(4,4)=1+2*gamma+2*gamma*hconv*dx_cott/k_cott+(2*gamma*eps_cott*zigma*dx
_cott/k_cott)*Tvec_new(4,j)^3;
    Tvec_new(:,j+1)=A\Tvec+B;
    tol_Tvec=norm((Tvec_new(:,j+1)-Tvec_new(:,j))./Tvec_new(:,j+1));
    u_relax=0.8; %Underrelaxation
    Tvec_new(:,j+1)=u_relax*Tvec_new(:,j+1)+(1-u_relax)*Tvec_new(:,j);
end

T1(i+1)=Tvec_new(1,j+1)-273.15;
T2(i+1)=Tvec_new(2,j+1)-273.15;
T3(i+1)=Tvec_new(3,j+1)-273.15;
T4(i+1)=Tvec_new(4,j+1)-273.15;
T_amb=T_amb-273.15;
mconvrec(i)=mconv;
mwater_rm_c_nw(i+1)=mwater_rm_c_nw(i)-mconv;

```

$RH_cott(i+1)=mwater_rm_c_nw(i+1)/mwateri;$

end

$T1=T1-273.15; T1(end)=T1(end)+273.15;$

$T2=T2-273.15; T2(end)=T2(end)+273.15;$

$T3=T3-273.15; T3(end)=T3(end)+273.15;$

$T4=T4-273.15; T4(end)=T4(end)+273.15;$



ก.4 Code แบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งผ้าชุมน้ำไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ

```

function [T3,mwicktot,mwater_rm,mwickrate_use,mconvrec,t_effect] =
Cooling_Transient_Wick(Qs,vwind,T_amb,RH_amb,mwateri,h_install,dt,tfinal)
%% Properties of aluminum
k_al=237; rho_al=2.7e+3; Cp_al=900; eps_al=0.09; zigma=5.67e-8;
l=0.17; w=0.16; thk=3e-3;
alpha_al=k_al/(rho_al*Cp_al); Area= l*w; Lc=sqrt(Area);
%% Properites of fabric
phi=0.688; K=1.904e-12;
Wickwidth=0.16; Wickthk=3.753e-4;
Ac=Wickwidth*Wickthk;
Twater=25; hwickmax=50.0625e-2;
RH_cott_min=0.22;
[hwick_rec,mwickrate]=Wickh(Twater,hwickmax,phi,K,Wickwidth,Wickthk);
Table=[hwick_rec(2:end);mwickrate];
hwick_rec=Table(:,1);
mwickrate=Table(:,2);
if h_install<=hwickmax
    mwickrate_use=interp1(hwick_rec,mwickrate,h_install);
else
    mwickrate_use=0;
end
%% Input condition
% Qs=9.375; vwind=1.1; T_amb=35; RH_amb=65; mwateri=22.5e-3; h=50.0625e-2;
P=101.325;R_vapor=0.46140;
MW_air=28.97; MW_vapor=18.02;
qs=Qs*0.75/Area; %Heat loss to the front panel 25%

```

```

%% Initial condition for temperature
T1i=31; % Front panel temperature
T2i=31; % Middle panel temperature
T4i=31; % Cotton temperature = Wet bulb temperature
T3i=31; % Back panel temperature
dx_al=0.0015; %Aluminum distance
dx_cott=3.754e-4; %Fabric distance

%% Time step
% tfinal = 360000;
% dt = 1;
t=1:dt:tfinal;
%% Transient calculation
n=length(t);
tau=alpha_al*dt/(dx_al^2);
T1=zeros(1,n); T1(1)=T1i;
T2=zeros(1,n); T2(1)=T2i;
T3=zeros(1,n); T3(1)=T3i;
T4=zeros(1,n); T4(1)=T4i;

%% Record
mconvrec=zeros(1,n);
mwicktot=zeros(1,n);
mwater_rm=ones(1,n)*mwateri;
RH_cottrec=ones(1,n);
RH_cott_afrec=zeros(1,n);
t_dryrec=zeros(1,n);
for i =1:n
    %% Wick calculation
    if i==1
        mwicktot(i)=mwateri+mwickrate_use*dt;
        mwater_rm(i)=mwateri+mwickrate_use*dt;
    else

```

```

mwicktot(i)=mwicktot(i-1)+mwickrate_use*dt;
mwater_rm(i)=mwater_rm(i-1)+mwickrate_use*dt;
end
%% Properties of air-vapour mixture
Tf = ((T4(i)+273.15)+(T_amb+273.15))/2;
beta = 1-(Tf/647.096);
%%Pressure
Psat = (220.64*exp((647.096/Tf)*(-7.85951783*beta+1.84408259*beta^1.5-
11.7866497*beta^3+22.6807411*beta^3.5-
15.9618719*beta^4+1.80122502*beta^7.5))))*100;
P_vapor = Psat*RH_amb/100;
%%Thermal Conductivity (k)
k_air = -2.276*(10^-3)+1.26*(10^-4)*Tf-1.481*(10^-7)*Tf^2+1.735*(10^-10)*Tf^3-
1.066*(10^-13)*Tf^4+2.476*(10^-17)*Tf^5;
k_vapor = (17.617+0.0555*(Tf-273.15)+0.000166*(Tf-273.15)^2)*10^-3;
k_mix = k_air*(1-(P_vapor/P))+k_vapor*(P_vapor/P);
%%Specific Heat (Cp)
Cp_air = 1.034-0.284*(10^-3)*Tf+0.781*(10^-6)*Tf^2-0.497*(10^-
9)*Tf^3+0.1077*(10^-12)*Tf^4;
Cp_vapor = 1.869-2.578*(10^-4)*Tf+1.941*(10^-5)*Tf^2;
Cp_mix = ((Cp_air*(P-P_vapor)*MW_air)+Cp_vapor*P_vapor*MW_vapor)/(MW_air*(P-
P_vapor)+P_vapor*MW_vapor);
%%Viscosity (u)
u_air = (-0.986+9.08*(10^-2)*Tf-1.176*(10^-4)*Tf^2+1.123*(10^-7)*Tf^3-5.797*(10^-
11)*Tf^4)*10^-6;
u_vapor = (80.58+0.4*(Tf-273.15))*10^-6;
u_mix = (u_air*(P-P_vapor)*sqrt(MW_air)+u_vapor*P_vapor*sqrt(MW_vapor))/((P-
P_vapor)*sqrt(MW_air)+P_vapor*sqrt(MW_vapor));
%%Density (rho)
rho_mix = (P/(8.3145*Tf))*(MW_air*(1-(P_vapor/P))+MW_vapor*(P_vapor/P));

```

```

%Thermal Diffusivity (alpha)
alpha = k_mix/(Cp_mix*rho_mix*1000);

%%Properties of water at cotton surface%%
tau_cott = 1-((T4(i)+273.15)/647.096);
Psat_cott =(220.64*exp((647.096/((T4(i)+273.15)))*(-
7.85951783*tau_cott+1.84408259*tau_cott^1.5-
11.7866497*tau_cott^3+22.6807411*tau_cott^3.5-
15.9618719*tau_cott^4+1.80122502*tau_cott^7.5))))*100;
Pvs_cott = Psat_cott;
denvs_cott = Pvs_cott/(R_vapor*((T4(i)+273.15)));
k_cott = 0.5650285+0.0026363895*T4(i)-0.00012516934*(T4(i)^1.5)-1.5154918e-
6*(T4(i)^2)-0.0009412945*(T4(i))^0.5;
Cp_cott=4.2174356-0.0056181625*(T4(i))+0.0012992528*(T4(i))^1.5-
0.00011535353*(T4(i))^2+4.14964e-6*(T4(i))^2.5;
alpha_cott=k_cott/(denvs_cott*Cp_cott);
gamma = alpha_cott*dt/(dx_cott)^2;
eps_cott=0.77;

%%Properties of water at ambient%%
tau_amb = 1-((T_amb+273.15)/647.096);
Psat_amb =(220.64*exp((647.096/(T_amb+273.15)))*(-
7.85951783*tau_amb+1.84408259*tau_amb^1.5-
11.7866497*tau_amb^3+22.6807411*tau_amb^3.5-
15.9618719*tau_amb^4+1.80122502*tau_amb^7.5))))*100;
Pv_amb = Psat_amb*RH_amb/100;
denv_amb = Pv_amb/(R_vapor*(T_amb+273.15));

% Heat and Mass transfer
Re = (rho_mix*vwind*Lc)/u_mix;
Pr = u_mix/alpha;
Dab = 1.87*(10^-10)*(((T4(i)+273.15)^2.072)/1);
Sc = u_mix/(rho_mix*Dab);
if vwind>0 && Re<5*10^5

```

```

    %Forced Convection(Laminar)
    Nu = 0.664*(Re^0.5)*(Pr^(1/3));
    Sh = 0.664*(Re^0.5)*(Sc^1/3);
else vwind>0 && Re>=5*10^5
    %Forced Convection(Turbulent)
    Nu = 0.037*(Re^0.8)*(Pr^(1/3));
    Sh = 0.037*(Re^0.8)*(Sc^1/3);
end
hconv_correct=0.94; hmass_correct=5;%convective heat and mass transfer
coefficient configuration
hconv=hconv_correct*Nu*k_mix/Lc;
hmass = hmass_correct*Dab*Sh/Lc;
mconv = hmass*Area*(denvs_cott-denv_amb);
mconvrec(i)=mconv;
mwater_af=mwater_rm(i)-mconv*dt;
% mwater_af_rec(i)=mwater_af;
% mwater(i)=mwater_af;
RH_cott_af=mwater_af/mwateri;
if RH_cott_af<RH_cott_min
    RH_cott_af=RH_cott_min;
    mwater_af=RH_cott_af*mwateri;
    mconv=(mwater_rm(i)-mwater_af)/dt;
else
    t_dry=i;
    t_dryrec(i)=t_dry;
end
mconvrec(i)=mconv;
RH_cott_afrec(i)=RH_cott_af;
%% Fabric RH check!
if RH_cott_af>1
    mwater_af=mwateri;

```

```

end

mwater_rm(i)=mwater_af;

hfg = 2500.34-2.2521025*T4(i)-0.021465847*T4(i)^1.5+3.1750136e-4*T4(i)^2.5-
2.8607959e-5*T4(i)^3;

Qevap=mconv*hfg*1000;
qevap=Qevap/Area;

%% Newton Raphson method to determine T(i+1)
es=1e-5;
M=k_al/dx_al+k_cott/dx_cott+rho_al*dx_al*Cp_al/(2*dt)+densv_cott*dx_cott*Cp_cott/(2*dt);
T1(i)=T1(i)+273.15; T2(i)=T2(i)+273.15; T3(i)=T3(i)+273.15; T4(i)=T4(i)+273.15;
T_amb=T_amb+273.15;
%% AT(i+1)=T(i)+B
Tvec=[T1(i); T2(i); T3(i); T4(i)];
Tvec_new=zeros(4,1000);
Tvec_new(:,1)=Tvec;
A=zeros(4,4);
B=zeros(4,1);
%%T1 eq
A(1,1)=2*tou+1;   A(1,2)=-2*tou;
B(1)=2*tou*qs*dx_al/k_al;
%%T2 eq
A(2,1)=-tou;     A(2,2)=2*tou+1;   A(2,3)=-tou;
%%T3 eq
A(3,2)=(-2*dt*k_al/dx_al)/(rho_al*dx_al*Cp_al+densv_cott*dx_cott*Cp_cott);
A(3,3)=2*dt*M/(rho_al*dx_al*Cp_al+densv_cott*dx_cott*Cp_cott);
A(3,4)=(-2*dt*k_cott/dx_cott)/(rho_al*dx_al*Cp_al+densv_cott*dx_cott*Cp_cott);
%%T4 eq
A(4,3)=-2*gamma;
A(4,4)=1+2*gamma+2*gamma*hconv*dx_cott/k_cott+(2*gamma*eps_cott*zigma*dx_cott/k_cott)*Tvec(4)^3;

```



```

B(4)=-
2*gamma*qevap*dx_cott/k_cott+2*gamma*(hconv*dx_cott*T_amb/k_cott+sigma*
ps_cott*dx_cott*(T_amb^4)/k_cott);
tol_Tvec=100;
j=0;
while tol_Tvec > es && j < 1000
    j=j+1;
A(4,4)=1+2*gamma+2*gamma*hconv*dx_cott/k_cott+(2*gamma*eps_cott*sigma*dx
_cott/k_cott)*Tvec_new(4,j)^3;
    Tvec_new(:,j+1)=A\Tvec+B;
    tol_Tvec=norm((Tvec_new(:,j+1)-Tvec_new(:,j))./Tvec_new(:,j+1));
    u_relax=0.8; %Underrelaxation
    Tvec_new(:,j+1)=u_relax*Tvec_new(:,j+1)+(1-u_relax)*Tvec_new(:,j);
end
T1(i+1)=Tvec_new(1,j+1)-273.15;
T2(i+1)=Tvec_new(2,j+1)-273.15;
T3(i+1)=Tvec_new(3,j+1)-273.15;
T4(i+1)=Tvec_new(4,j+1)-273.15;
T_amb=T_amb-273.15;
end
colsWithZeros = any(t_dryrec==0, 1);
t_cooling = t_dryrec(:, ~colsWithZeros);
t_effect=t_cooling(end);
RH_cott_rec=mwater_rm/mwateri;
T1=T1-273.15; T1(end)=T1(end)+273.15;
T2=T2-273.15; T2(end)=T2(end)+273.15;
T3=T3-273.15; T3(end)=T3(end)+273.15;
T4=T4-273.15; T4(end)=T4(end)+273.15;

```

ก.5 Code แบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จริงทั่วไป

```

function [T_glass_uc,T_EVA1_uc,T_cell_uc,T_EVA2_uc,T_bs_uc,Tback_uc,P_pv_uc] =
Uncooling_Transient_Actual_PV(G_solar,vwind,T_glass_uc,T_EVA1_uc,T_cell_uc,T_EVA
2_uc,T_bs_uc,Tback_uc,T_db,RH_amb,dt,tfinal)
%% Characteristic of PV cell
l=1.65; w=1; Area= l*w; Lc=sqrt(Area);
thk_glass=4e-3;
thk_EVA=0.4e-3;
thk_cell=0.4e-3;
thk_bs=3e-3;
P_pv_stc=250;
gamma=0.5/100;
%% Thermal Properties of PV panel
%Glass
k_glass=1.8; rho_glass=2500; Cp_glass=792;
alpha_glass=k_glass/(rho_glass*Cp_glass);
%EVA
k_EVA=0.35; rho_EVA=930; Cp_EVA=1400;
alpha_EVA=k_EVA/(rho_EVA*Cp_EVA);
%Backsheet (PET)
k_bs=0.3; rho_bs=1380; Cp_bs=1300; eps_bs=0.8;
alpha_bs=k_bs/(rho_bs*Cp_bs);
%% Input contidion
P=101.325;
MW_air=28.97; MW_vapor=18.02;
% qs=Qs/Area;
%%Initial condition for temperature
T_glassi=T_glass_uc; T_EVA1i=T_EVA1_uc; T_celli=T_cell_uc; T_EVA2i=T_EVA2_uc;
T_bsi=T_bs_uc; Tback_uci=Tback_uc;
%%Node distance
dx_glass=thk_glass;

```

```

dx_EVA=thk_EVA;
dx_cell=thk_cell;
dx_bs=thk_bs;
tou_glass=alpha_glass*dt/(dx_glass^2);
tou_bs=alpha_bs*dt/(dx_bs^2);
%% Transient calculation
n=tfinal/dt;
T_glass_uc=zeros(1,n); T_glass_uc(1)=T_glassi;
T_EVA1_uc=zeros(1,n); T_EVA1_uc(1)=T_EVA1i;
T_cell_uc=zeros(1,n); T_cell_uc(1)=T_celli;
T_EVA2_uc=zeros(1,n); T_EVA2_uc(1)=T_EVA2i;
T_bs_uc=zeros(1,n); T_bs_uc(1)=T_bsi;
Tback_uc=zeros(1,n); Tback_uc(1)=Tback_uci;
T_cell_avg=zeros(1,n);
P_pv_rec=zeros(1,n);
for i =1:n
%% Properties of crystalline cell
absorb_cell=0.95;
sigma=5.67e-8;
eps_cell=0.95;
F=1; %View factor
T_cell_uc(i+1)=T_cell_uc(i); %Assume!
T_cell_avg(i)=(T_cell_uc(i)+T_cell_uc(i+1))*0.5;
P_pv=P_pv_stc*(G_solar/1000)*(1-gamma*(T_cell_avg(i)-25))/Area; %Unit in W/m2
qs=absorb_cell*G_solar-P_pv; %Unit in W/m2
T_cell_avg=T_cell_avg(i)+273.15;
k_cell=(1521*T_cell_avg^(-1.226))*100;
rho_cell=2329;
if T_cell_avg<300
    Cp_cell=0.184*exp((4.5e-3)*T_cell_avg)*1000;
else

```

```

Cp_cell=0.1694*exp((2.375e-4)*T_cell_avg)*1000;
end
%% Properties of air-vapour mixture at front panel
Tf_f = ((T_glass_uc(i)+273.15)+(T_db+273.15))/2;
beta_f = 1-(Tf_f/647.096);
%%Pressure
Psat_f = (220.64*exp((647.096/Tf_f)*(-7.85951783*beta_f+1.84408259*beta_f^1.5-
11.7866497*beta_f^3+22.6807411*beta_f^3.5-
15.9618719*beta_f^4+1.80122502*beta_f^7.5))))*100;
P_vapor_f = Psat_f*RH_amb/100;
%%Thermal Conductivity (k)
k_air_f = -2.276*(10^-3)+1.26*(10^-4)*Tf_f-1.481*(10^-7)*Tf_f^2+1.735*(10^-
10)*Tf_f^3-1.066*(10^-13)*Tf_f^4+2.476*(10^-17)*Tf_f^5;
k_vapor_f = (17.617+0.0555*(Tf_f-273.15)+0.000166*(Tf_f-273.15)^2)*10^-3;
k_mix_f = k_air_f*(1-(P_vapor_f/P))+k_vapor_f*(P_vapor_f/P);
%%Specific Heat (Cp)
Cp_air_f = 1.034-0.284*(10^-3)*Tf_f+0.781*(10^-6)*Tf_f^2-0.497*(10^-
9)*Tf_f^3+0.1077*(10^-12)*Tf_f^4;
Cp_vapor_f = 1.869-2.578*(10^-4)*Tf_f+1.941*(10^-5)*Tf_f^2;
Cp_mix_f = ((Cp_air_f*(P-
P_vapor_f)*MW_air)+Cp_vapor_f*(P_vapor_f*MW_vapor))/(MW_air*(P-
P_vapor_f)+P_vapor_f*MW_vapor);
%%Viscosity (u)
u_air_f = (-0.986+9.08*(10^-2)*Tf_f-1.176*(10^-4)*Tf_f^2+1.123*(10^-7)*Tf_f^3-
5.797*(10^-11)*Tf_f^4)*10^-6;
u_vapor_f = (80.58+0.4*(Tf_f-273.15))*10^-6;
u_mix_f = (u_air_f*(P-
P_vapor_f)*sqrt(MW_air)+u_vapor_f*(P_vapor_f)*sqrt(MW_vapor))/((P-
P_vapor_f)*sqrt(MW_air)+P_vapor_f*sqrt(MW_vapor));
%%Density (rho)
rho_mix_f = (P/(8.3145*Tf_f))*(MW_air*(1-(P_vapor_f/P))+MW_vapor*(P_vapor_f/P));

```

```

%Thermal Diffusivity (alpha)
alpha_f = k_mix_f/(Cp_mix_f*rho_mix_f*1000);
Re_f = (rho_mix_f*vwind*Lc)/u_mix_f;
Pr_f = u_mix_f/alpha_f;
if vwind>0 & Re_f<5*10^5
    %Forced Convection(Laminar)
    Nu_f = 0.664*(Re_f^0.5)*(Pr_f^(1/3));
else vwind>0 & Re_f>=5*10^5
    %Forced Convection(Laminar)
    Nu_f = 0.037*(Re_f^0.8)*(Pr_f^(1/3));
end
h_correct=1.33; %convective heat and mass transfer coefficient configuration
hconv_f=(Nu_f*k_mix_f/Lc)*h_correct;
%% Properties of air-vapour mixture at back panel
Tf_b = ((Tback_uc(i)+273.15)+(T_db+273.15))/2;
beta_b = 1-(Tf_b/647.096);
%Pressure
Psat_b = (220.64*exp((647.096/Tf_b)*(-
7.85951783*beta_b+1.84408259*beta_b^1.5-
11.7866497*beta_b^3+22.6807411*beta_b^3.5-
15.9618719*beta_b^4+1.80122502*beta_b^7.5))))*100;
P_vapor_b = Psat_b*RH_amb/100;
%Thermal Conductivity (k)
k_air_b = -2.276*(10^-3)+1.26*(10^-4)*Tf_b-1.481*(10^-7)*Tf_b^2+1.735*(10^-
10)*Tf_b^3-1.066*(10^-13)*Tf_b^4+2.476*(10^-17)*Tf_b^5;
k_vapor_b = (17.617+0.0555*(Tf_b-273.15)+0.000166*(Tf_b-273.15)^2)*10^-3;
k_mix_b = k_air_b*(1-(P_vapor_b/P))+k_vapor_b*(P_vapor_b/P);
%Specific Heat (Cp)
Cp_air_b = 1.034-0.284*(10^-3)*Tf_b+0.781*(10^-6)*Tf_b^2-0.497*(10^-
9)*Tf_b^3+0.1077*(10^-12)*Tf_b^4;
Cp_vapor_b = 1.869-2.578*(10^-4)*Tf_b+1.941*(10^-5)*Tf_b^2;

```

```

Cp_mix_b = ((Cp_air_b*(P-
P_vapor_b)*MW_air)+Cp_vapor_b*P_vapor_b*MW_vapor)/(MW_air*(P-
P_vapor_b)+P_vapor_b*MW_vapor);
%Viscosity (u)
u_air_b = (-0.986+9.08*(10^-2)*Tf_b-1.176*(10^-4)*Tf_b^2+1.123*(10^-7)*Tf_b^3-
5.797*(10^-11)*Tf_b^4)*10^-6;
u_vapor_b = (80.58+0.4*(Tf_b-273.15))*10^-6;
u_mix_b = (u_air_b*(P-
P_vapor_b)*sqrt(MW_air)+u_vapor_b*P_vapor_b*sqrt(MW_vapor))/((P-
P_vapor_b)*sqrt(MW_air)+P_vapor_b*sqrt(MW_vapor));
%Density (rho)
rho_mix_b = (P/(8.3145*Tf_b))*(MW_air*(1-
(P_vapor_b/P))+MW_vapor*(P_vapor_b/P));
%Thermal Diffusivity (alpha)
alpha_b = k_mix_b/(Cp_mix_b*rho_mix_b*1000);
Re_b = (rho_mix_b*vwind*Lc)/u_mix_b;
Pr_b = u_mix_b/alpha_b;
if vwind>0 & Re_b<5*10^5
    %Forced Convection(Laminar)
    Nu_b = 0.664*(Re_b^0.5)*(Pr_b^(1/3));
else vwind>0 & Re_b>=5*10^5
    %Forced Convection(Laminar)
    Nu_b = 0.037*(Re_b^0.8)*(Pr_b^(1/3));
end
h_correct=1.33; %convective heat and mass transfer coefficient configuration
hconv_b=(Nu_b*k_mix_b/Lc)*h_correct;
%% AT(i+1)=T(i)+B
T_glass_uc(i)=T_glass_uc(i)+273.15; T_EVA1_uc(i)=T_EVA1_uc(i)+273.15;
T_cell_uc(i)=T_cell_uc(i)+273.15;
T_EVA2_uc(i)=T_EVA2_uc(i)+273.15; T_bs_uc(i)=T_bs_uc(i)+273.15;
Tback_uc(i)=Tback_uc(i)+273.15;

```

```

T_db=T_db+273.15;
Tvec=[T_glass_uc(i); T_EVA1_uc(i); T_cell_uc(i); T_EVA2_uc(i); T_bs_uc(i);
Tback_uc(i)];
Tvec_new=zeros(6,1000);
Tvec_new(:,1)=Tvec;
M2=k_glass/dx_glass+k_EVA/dx_EVA+rho_glass*dx_glass*Cp_glass/(2*dt)+rho_EVA*dx_
EVA*Cp_EVA/(2*dt);
M3=k_EVA/dx_EVA+k_cell/dx_cell+rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA/(2*dt)+rho_cell*dx_cell*
Cp_cell/(2*dt);
M4=k_cell/dx_cell+k_EVA/dx_EVA+rho_cell*dx_cell*Cp_cell/(2*dt)+rho_EVA*dx_EVA*
Cp_EVA/(2*dt);
M5=k_EVA/dx_EVA+k_bs/dx_bs+rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA/(2*dt)+rho_bs*dx_bs*Cp_bs
/(2*dt);
A=zeros(6,6);
B=zeros(6,1);
%T1 eq
A(1,1)=2*tou_glass*hconv_f*dx_glass/k_glass+2*tou_glass+1;
A(1,2)=-2*tou_glass;
B(1)=(2*tou_glass*hconv_f*dx_glass/k_glass)*T_db;
%T2 eq
A(2,1)=(-
2*dt*k_glass/dx_glass)/(rho_glass*dx_glass*Cp_glass+rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA);
A(2,2)=2*dt*M2/(rho_glass*dx_glass*Cp_glass+rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA);
A(2,3)=(-
2*dt*k_EVA/dx_EVA)/(rho_glass*dx_glass*Cp_glass+rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA);
%T3 eq
A(3,2)=(-2*dt*k_EVA/dx_EVA)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_cell*dx_cell*Cp_cell);
A(3,3)=2*dt*(M3+sigma*eps_cell*Tvec(3)^3)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_cell*dx_c
ell*Cp_cell);
A(3,4)=(-2*dt*k_cell/dx_cell)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_cell*dx_cell*Cp_cell);

```

```

B(3)=2*dt*(sigma*eps_cell*T_db^4+qs)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_cell*dx_cell*Cp_cell);
%T4 eq
A(4,3)=(-2*dt*k_cell/dx_cell)/(rho_cell*dx_cell*Cp_cell+rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA);
A(4,4)=2*dt*(M4+sigma*eps_cell*Tvec(4)^3)/(rho_cell*dx_cell*Cp_cell+rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA);
A(4,5)=-
2*dt*(k_EVA/dx_EVA+sigma*eps_cell*F*Tvec(5)^3)/(rho_cell*dx_cell*Cp_cell+rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA);
%T5 eq
A(5,4)=-
2*dt*(k_EVA/dx_EVA+sigma*eps_cell*F*Tvec(4)^3)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_bs*dx_bs*Cp_bs);
A(5,5)=2*dt*(M5+sigma*eps_cell*F*Tvec(5)^3)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_bs*dx_bs*Cp_bs);
A(5,6)=(-2*dt*k_bs/dx_bs)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_bs*dx_bs*Cp_bs);
%T6 eq
A(6,5)=-2*tou_bs;
A(6,6)=1+2*tou_bs+2*tou_bs*hconv_b*dx_bs/k_bs+(2*tou_bs*eps_bs*sigma*dx_bs/k_bs)*Tvec(6)^3;
B(6)=2*tou_bs*(hconv_b*dx_bs*T_db/k_bs+sigma*eps_bs*dx_bs*(T_db^4)/k_bs);
es=1e-5;
tol_Tvec=100;
j=0;
while tol_Tvec > es && j < 1000
    j=j+1;
A(3,3)=2*dt*(M3+sigma*eps_cell*Tvec_new(3)^3)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_cell*dx_cell*Cp_cell);
A(4,4)=2*dt*(M4+sigma*eps_cell*Tvec_new(4)^3)/(rho_cell*dx_cell*Cp_cell+rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA);

```



```

A(4,5)=-
2*dt*(k_EVA/dx_EVA+sigma*eps_cell*F*Tvec_new(5)^3)/(rho_cell*dx_cell*Cp_cell+r
ho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA);
A(5,4)=-
2*dt*(k_EVA/dx_EVA+sigma*eps_cell*F*Tvec_new(4)^3)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+r
ho_bs*dx_bs*Cp_bs);
A(5,5)=2*dt*(M5+sigma*eps_cell*F*Tvec_new(5)^3)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_bs
*dx_bs*Cp_bs);
A(6,6)=1+2*tou_bs+2*tou_bs*hconv_b*dx_bs/k_bs+(2*tou_bs*eps_bs*sigma*dx_bs/k_
bs)*Tvec_new(6)^3;
B(3)=2*dt*(sigma*eps_cell*T_db^4+qs)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_cell*dx_cell*C
p_cell);
Tvec_new(:,j+1)=A(Tvec+B);
tol_Tvec=norm((Tvec_new(:,j+1)-Tvec_new(:,j))./Tvec_new(:,j+1));
u_relax=0.8; %Underrelaxation
Tvec_new(:,j+1)=u_relax*Tvec_new(:,j+1)+(1-u_relax)*Tvec_new(:,j);
T_cell_avg(i)=(T_cell_uc(i)+(Tvec_new(3,j+1)))*0.5;
P_pv=P_pv_stc*(G_solar/1000)*(1-gramma*((T_cell_avg(i)-273.15)-25))/Area;
qs=absorb_cell*G_solar-P_pv;
end
T_glass_uc(i+1)=Tvec_new(1,j+1)-273.15;
T_EVA1_uc(i+1)=Tvec_new(2,j+1)-273.15;
T_cell_uc(i+1)=Tvec_new(3,j+1)-273.15; T_cell_uc(i)=T_cell_uc(i)-273.15;
T_EVA2_uc(i+1)=Tvec_new(4,j+1)-273.15;
T_bs_uc(i+1)=Tvec_new(5,j+1)-273.15;
Tback_uc(i+1)=Tvec_new(6,j+1)-273.15;
T_db=T_db-273.15;
P_pv_rec(i)=P_pv;
end
T_glass_uc=T_glass_uc-273.15; T_glass_uc(end)=T_glass_uc(end)+273.15;
T_EVA1_uc=T_EVA1_uc-273.15; T_EVA1_uc(end)=T_EVA1_uc(end)+273.15;

```

% T3=T3-273.15; T3(end)=T3(end)+273.15;

T_EVA2_uc=T_EVA2_uc-273.15; T_EVA2_uc(end)=T_EVA2_uc(end)+273.15;

T_bs_uc=T_bs_uc-273.15; T_bs_uc(end)=T_bs_uc(end)+273.15;

Tback_uc=Tback_uc-273.15; Tback_uc(end)=Tback_uc(end)+273.15;

P_pv_uc=P_pv_rec(end)*Area; %Unit in W



ก.6 Code แบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่ติดตั้งผ้าไว้ที่ด้านหลังพร้อมกับแหล่งน้ำ

function

```
[T_glass_c,T_EVA1_c,T_cell_c,T_EVA2_c,T_bs_c,Tback_c,T_cott_c,mconvrec,mwickrate
_use,mwater_rm,mwater_ex_tot,P_pv_c] =
```

```
Cooling_Transient_wick_Actual_PV(G_solar,vwind,T_glass_c,T_EVA1_c,T_cell_c,T_EVA2
_c,T_bs_c,Tback_c,T_cott_c,T_db,RH_amb,mwateri,h_install,dt,tfinal,thk_mul)
```

%% Characteristic of PV cell

```
l=1.65; w=1; Area= l*w; Lc=sqrt(Area);
```

```
thk_glass=4e-3;
```

```
thk_EVA=0.4e-3;
```

```
thk_cell=0.4e-3;
```

```
thk_bs=3e-3;
```

```
P_pv_stc=250;
```

```
gamma=0.5/100;
```

```
%mwateri=1.365 kg
```

%% Thermal Properties of PV panel

%Glass

```
k_glass=1.8; rho_glass=2500; Cp_glass=792;
```

```
alpha_glass=k_glass/(rho_glass*Cp_glass);
```

%EVA

```
k_EVA=0.35; rho_EVA=930; Cp_EVA=1400;
```

```
alpha_EVA=k_EVA/(rho_EVA*Cp_EVA);
```

%Backsheet (PET)

```
k_bs=0.3; rho_bs=1380; Cp_bs=1300; eps_bs=0.8;
```

```
alpha_bs=k_bs/(rho_bs*Cp_bs);
```

%% Properites of fabric

```
phi=0.688; K=1.904e-12;
```

```
Wickwidth=w; Wickthk=3.753e-4*thk_mul;
```

```
Twater=25; hwickmax=50.0625e-2;
```

```
mwater_max=1.365*thk_mul;
```



CHULALONGKORN UNIVERSITY

```

RH_cott_min=0.22;
[hwick_rec,mwickrate]=Wickh(Twater,hwickmax,phi,K,Wickwidth,Wickthk);
Table=[hwick_rec(2:end);mwickrate]';
hwick_rec=Table(:,1);
mwickrate=Table(:,2);
if h_install<=hwickmax
    mwickrate_use=interp1(hwick_rec,mwickrate,h_install);
else
    mwickrate_use=0;
end
%% Input contidion
P=101.325; R_vapor=0.46140;
MW_air=28.97; MW_vapor=18.02;
%%Initial condition for temperature
T_glassi=T_glass_c; T_EVA1i=T_EVA1_c; T_celli=T_cell_c; T_EVA2i=T_EVA2_c;
T_bsi=T_bs_c; Tback_ci=Tback_c; T_cotti=T_cott_c;
%%Node distance
dx_glass=thk_glass;
dx_EVA=thk_EVA;
dx_cell=thk_cell;
dx_bs=thk_bs;
dx_cott=Wickthk; %%Fabric distance
tou_glass=alpha_glass*dt/(dx_glass^2);
tou_bs=alpha_bs*dt/(dx_bs^2);
%% Transient calculation
n=tfinal/dt;
T_glass_c=zeros(1,n); T_glass_c(1)=T_glassi;
T_EVA1_c=zeros(1,n); T_EVA1_c(1)=T_EVA1i;
T_cell_c=zeros(1,n); T_cell_c(1)=T_celli;
T_EVA2_c=zeros(1,n); T_EVA2_c(1)=T_EVA2i;
T_bs_c=zeros(1,n); T_bs_c(1)=T_bsi;

```

```

Tback_c=zeros(1,n);Tback_c(1)=Tback_ci;
T_cott_c=zeros(1,n);T_cott_c(1)=T_cotti;
T_cell_avg=zeros(1,n);
P_pv_rec=zeros(1,n);
%% Record
mconvrec=zeros(1,n);
mwicktot=zeros(1,n);
mwater_rm=ones(1,n)*mwateri;
mwater_ex_rec=zeros(1,n);
RH_cottrec=ones(1,n);
RH_cott_afrec=zeros(1,n);
t_dryrec=zeros(1,n);
for i =1:n
    %% Wick calculation
    if i==1
        mwicktot(i)=mwateri+mwickrate_use*dt; %Unit in kg
        mwater_rm(i)=mwateri+mwickrate_use*dt; %Unit in kg
    else
        mwicktot(i)=mwicktot(i-1)+mwickrate_use*dt;
        mwater_rm(i)=mwater_rm(i-1)+mwickrate_use*dt;
    end
    %% Properties of crystalline cell
    absorb_cell=0.95;
    zigma=5.67e-8;
    eps_cell=0.95;
    F=1; %View factor
    T_cell_c(i+1)=T_cell_c(i); %Assume!
    T_cell_avg(i)=(T_cell_c(i)+T_cell_c(i+1))*0.5;
    P_pv=P_pv_stc*(G_solar/1000)*(1-gramma*(T_cell_avg(i)-25))/Area;
    qs=absorb_cell*G_solar-P_pv;
    T_cell_avg=T_cell_avg(i)+273.15;

```

```

k_cell=(1521*T_cell_avg^(-1.226))*100;
rho_cell=2329;
if T_cell_avg<300
    Cp_cell=0.184*exp((4.5e-3)*T_cell_avg)*1000;
else
    Cp_cell=0.1694*exp((2.375e-4)*T_cell_avg)*1000;
end

%% Properties of air-vapor mixture at front panel
Tf_f = ((T_glass_c(i)+273.15)+(T_db+273.15))/2;
beta_f = 1-(Tf_f/647.096);

%%Pressure
Psat_f = (220.64*exp((647.096/Tf_f)*(-7.85951783*beta_f+1.84408259*beta_f^1.5-
11.7866497*beta_f^3+22.6807411*beta_f^3.5-
15.9618719*beta_f^4+1.80122502*beta_f^7.5)))*100;
P_vapor_f = Psat_f*RH_amb/100;

%%Thermal Conductivity (k)
k_air_f = -2.276*(10^-3)+1.26*(10^-4)*Tf_f-1.481*(10^-7)*Tf_f^2+1.735*(10^-
10)*Tf_f^3-1.066*(10^-13)*Tf_f^4+2.476*(10^-17)*Tf_f^5;
k_vapor_f = (17.617+0.0555*(Tf_f-273.15)+0.000166*(Tf_f-273.15)^2)*10^-3;
k_mix_f = k_air_f*(1-(P_vapor_f/P))+k_vapor_f*(P_vapor_f/P);

%%Specific Heat (Cp)
Cp_air_f = 1.034-0.284*(10^-3)*Tf_f+0.781*(10^-6)*Tf_f^2-0.497*(10^-
9)*Tf_f^3+0.1077*(10^-12)*Tf_f^4;
Cp_vapor_f = 1.869-2.578*(10^-4)*Tf_f+1.941*(10^-5)*Tf_f^2;
Cp_mix_f = ((Cp_air_f*(P-
P_vapor_f)*MW_air)+Cp_vapor_f*(P_vapor_f*MW_vapor))/(MW_air*(P-
P_vapor_f)+P_vapor_f*MW_vapor);

%%Viscosity (u)
u_air_f = (-0.986+9.08*(10^-2)*Tf_f-1.176*(10^-4)*Tf_f^2+1.123*(10^-7)*Tf_f^3-
5.797*(10^-11)*Tf_f^4)*10^-6;
u_vapor_f = (80.58+0.4*(Tf_f-273.15))*10^-6;

```

```

u_mix_f = (u_air_f*(P-
P_vapor_f)*sqrt(MW_air)+u_vapor_f*P_vapor_f*sqrt(MW_vapor))/((P-
P_vapor_f)*sqrt(MW_air)+P_vapor_f*sqrt(MW_vapor));
%Density (rho)
rho_mix_f = (P/(8.3145*Tf_f))*(MW_air*(1-(P_vapor_f/P))+MW_vapor*(P_vapor_f/P));
%Thermal Diffusivity (alpha)
alpha_f = k_mix_f/(Cp_mix_f*rho_mix_f*1000);
Re_f = (rho_mix_f*vwind*Lc)/u_mix_f;
Pr_f = u_mix_f/alpha_f;
if wwind>0 && Re_f<5*10^5
    %Forced Convection(Laminar)
    Nu_f = 0.664*(Re_f^0.5)*(Pr_f^(1/3));
else wwind>0 && Re_f>=5*10^5
    %Forced Convection(Laminar)
    Nu_f = 0.037*(Re_f^0.8)*(Pr_f^(1/3));
end
h_correct=1.33; %convective heat and mass transfer coefficient configuration
hconv_f=(Nu_f*k_mix_f/Lc)*h_correct;
%% Properties of air-vapour mixture at back panel
Tf_b = ((T_cott_c(i)+273.15)+(T_db+273.15))/2;
beta_b = 1-(Tf_b/647.096);
%Pressure
Psat_b = (220.64*exp((647.096/Tf_b)*(-
7.85951783*beta_b+1.84408259*beta_b^1.5-
11.7866497*beta_b^3+22.6807411*beta_b^3.5-
15.9618719*beta_b^4+1.80122502*beta_b^7.5))))*100;
P_vapor_b = Psat_b*RH_amb/100;
%Thermal Conductivity (k)
k_air_b = -2.276*(10^-3)+1.26*(10^-4)*Tf_b-1.481*(10^-7)*Tf_b^2+1.735*(10^-
10)*Tf_b^3-1.066*(10^-13)*Tf_b^4+2.476*(10^-17)*Tf_b^5;
k_vapor_b = (17.617+0.0555*(Tf_b-273.15)+0.000166*(Tf_b-273.15)^2)*10^-3;

```

```

k_mix_b = k_air_b*(1-(P_vapor_b/P))+k_vapor_b*(P_vapor_b/P);
%Specific Heat (Cp)
Cp_air_b = 1.034-0.284*(10^-3)*Tf_b+0.781*(10^-6)*Tf_b^2-0.497*(10^-
9)*Tf_b^3+0.1077*(10^-12)*Tf_b^4;
Cp_vapor_b = 1.869-2.578*(10^-4)*Tf_b+1.941*(10^-5)*Tf_b^2;
Cp_mix_b = ((Cp_air_b*(P-
P_vapor_b)*MW_air)+Cp_vapor_b*P_vapor_b*MW_vapor)/(MW_air*(P-
P_vapor_b)+P_vapor_b*MW_vapor);
%Viscosity (u)
u_air_b = (-0.986+9.08*(10^-2)*Tf_b-1.176*(10^-4)*Tf_b^2+1.123*(10^-7)*Tf_b^3-
5.797*(10^-11)*Tf_b^4)*10^-6;
u_vapor_b = (80.58+0.4*(Tf_b-273.15))*10^-6;
u_mix_b = (u_air_b*(P-
P_vapor_b)*sqrt(MW_air)+u_vapor_b*P_vapor_b*sqrt(MW_vapor))/((P-
P_vapor_b)*sqrt(MW_air)+P_vapor_b*sqrt(MW_vapor));
%Density (rho)
rho_mix_b = (P/(8.3145*Tf_b))*(MW_air*(1-
(P_vapor_b/P))+MW_vapor*(P_vapor_b/P));
%Thermal Diffusivity (alpha)
alpha_b = k_mix_b/(Cp_mix_b*rho_mix_b*1000);
%Properties of water at cotton surface
tau_cott = 1-((T_cott_c(i)+273.15)/647.096);
Psat_cott =(220.64*exp((647.096/((T_cott_c(i)+273.15))*(-
7.85951783*tau_cott+1.84408259*tau_cott^1.5-
11.7866497*tau_cott^3+22.6807411*tau_cott^3.5-
15.9618719*tau_cott^4+1.80122502*tau_cott^7.5))))*100;
Pvs_cott = Psat_cott;
rho_cott = Pvs_cott/(R_vapor*((T_cott_c(i)+273.15)));
k_cott = 0.5650285+0.0026363895*T_cott_c(i)-0.00012516934*(T_cott_c(i)^1.5)-
1.5154918e-6*(T_cott_c(i)^2)-0.0009412945*(T_cott_c(i))^0.5;

```



```

Cp_cott=4.2174356-0.0056181625*(T_cott_c(i))+0.0012992528*(T_cott_c(i))^1.5-
0.00011535353*(T_cott_c(i))^2+4.14964e-6*(T_cott_c(i))^2.5;
alpha_cott=k_cott/(rho_cott*Cp_cott);
tou_cott = alpha_cott*dt/(dx_cott)^2;
eps_cott=0.77;
%%%Properties of water at ambient%%%
tau_amb = 1-((T_db+273.15)/647.096);
Psat_amb =(220.64*exp((647.096/(T_db+273.15)))*(-
7.85951783*tau_amb+1.84408259*tau_amb^1.5-
11.7866497*tau_amb^3+22.6807411*tau_amb^3.5-
15.9618719*tau_amb^4+1.80122502*tau_amb^7.5)))*100;
Pv_amb = Psat_amb*RH_amb/100;
rho_amb = Pv_amb/(R_vapor*(T_db+273.15));
%%Heat and Mass transfer
Re_b = (rho_mix_b*vwind*Lc)/u_mix_b;
Pr_b = u_mix_b/alpha_b;
Dab = 1.87*(10^-10)*(((T_cott_c(i)+273.15)^2.072)/1);
Sc = u_mix_b/(rho_mix_b*Dab);
if wwind>0 && Re_b<5*10^5
    %Forced Convection(Laminar)
    Nu_b = 0.664*(Re_b^0.5)*(Pr_b^(1/3));
    Sh = 0.664*(Re_b^0.5)*(Sc^1/3);
else wwind>0 && Re_b>=5*10^5
    %Forced Convection(Turbulent)
    Nu_b = 0.037*(Re_b^0.8)*(Pr_b^(1/3));
    Sh = 0.037*(Re_b^0.8)*(Sc^1/3);
end
hconv_correct=0.94; hmass_correct=5;%convective heat and mass transfer
coefficient configuration
hconv_b=hconv_correct*Nu_b*k_mix_b/Lc;
hmass = hmass_correct*Dab*Sh/Lc;

```

```

mconv = hmass*Area*(rho_cott-rho_amb); %Unit in kg/s
mconvrec(i)=mconv; %Unit in kg/s
mwater_af=mwater_rm(i)-mconv*dt; %Unit in kg
RH_cott_af=mwater_af/mwater_max;
if RH_cott_af<RH_cott_min
    RH_cott_af=RH_cott_min;
    mwater_af=RH_cott_af*mwater_max; %Unit in kg
    mconv=(mwater_rm(i)-mwater_af)/dt; %Unit in kg/s
else
    t_dry=i;
    t_dryrec(i)=t_dry;
end
mconvrec(i)=mconv; %Unit in kg/s
RH_cott_afrec(i)=RH_cott_af;
%% Fabric RH check!
if RH_cott_af>1
    mwater_ex=mwater_af-mwater_max;
    mwater_af=mwater_max; %Unit in kg
else
    mwater_ex=0;
end
mwater_rm(i)=mwater_af; %Unit in kg
mwater_ex_rec(i)=mwater_ex;
hfg = 2500.34-2.2521025*T_cott_c(i)-0.021465847*T_cott_c(i)^1.5+3.1750136e-
4*T_cott_c(i)^2.5-2.8607959e-5*T_cott_c(i)^3;
Qevap=mconv*hfg*1000;
qevap=Qevap/Area;

```

```

%% AT(i+1)=T(i)+B
T_glass_c(i)=T_glass_c(i)+273.15; T_EVA1_c(i)=T_EVA1_c(i)+273.15;
T_cell_c(i)=T_cell_c(i)+273.15;
T_EVA2_c(i)=T_EVA2_c(i)+273.15; T_bs_c(i)=T_bs_c(i)+273.15;
Tback_c(i)=Tback_c(i)+273.15;
T_cott_c(i)=T_cott_c(i)+273.15; T_db=T_db+273.15;
Tvec=[T_glass_c(i); T_EVA1_c(i); T_cell_c(i); T_EVA2_c(i); T_bs_c(i); Tback_c(i);
T_cott_c(i)];
Tvec_new=zeros(7,1000);
Tvec_new(:,1)=Tvec;
M2=k_glass/dx_glass+k_EVA/dx_EVA+rho_glass*dx_glass*Cp_glass/(2*dt)+rho_EVA*dx_
EVA*Cp_EVA/(2*dt);
M3=k_EVA/dx_EVA+k_cell/dx_cell+rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA/(2*dt)+rho_cell*dx_cell*
Cp_cell/(2*dt);
M4=k_cell/dx_cell+k_EVA/dx_EVA+rho_cell*dx_cell*Cp_cell/(2*dt)+rho_EVA*dx_EVA*
Cp_EVA/(2*dt);
M5=k_EVA/dx_EVA+k_bs/dx_bs+rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA/(2*dt)+rho_bs*dx_bs*Cp_bs
/(2*dt);
M6=k_bs/dx_bs+k_cott/dx_cott+rho_bs*dx_bs*Cp_bs/(2*dt)+rho_cott*dx_cott*Cp_co
tt/(2*dt);
A=zeros(7,7);
B=zeros(7,1);
%T1 eq
A(1,1)=2*tou_glass*hconv_f*dx_glass/k_glass+2*tou_glass+1;
A(1,2)=-2*tou_glass;
B(1)=(2*tou_glass*hconv_f*dx_glass/k_glass)*T_db;
%T2 eq
A(2,1)=(-
2*dt*k_glass/dx_glass)/(rho_glass*dx_glass*Cp_glass+rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA);
A(2,2)=2*dt*M2/(rho_glass*dx_glass*Cp_glass+rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA);

```

```

A(2,3)=(-
2*dt*k_EVA/dx_EVA)/(rho_glass*dx_glass*Cp_glass+rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA);
%T3 eq
A(3,2)=(-2*dt*k_EVA/dx_EVA)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_cell*dx_cell*Cp_cell);
A(3,3)=2*dt*(M3+sigma*eps_cell*Tvec(3)^3)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_cell*dx_c
ell*Cp_cell);
A(3,4)=(-2*dt*k_cell/dx_cell)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_cell*dx_cell*Cp_cell);
B(3)=2*dt*(sigma*eps_cell*T_db^4+qs)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_cell*dx_cell*C
p_cell);
%T4 eq
A(4,3)=(-2*dt*k_cell/dx_cell)/(rho_cell*dx_cell*Cp_cell+rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA);
A(4,4)=2*dt*(M4+sigma*eps_cell*Tvec(4)^3)/(rho_cell*dx_cell*Cp_cell+rho_EVA*dx_E
VA*Cp_EVA);
A(4,5)=-
2*dt*(k_EVA/dx_EVA+sigma*eps_cell*F*Tvec(5)^3)/(rho_cell*dx_cell*Cp_cell+rho_EVA
*dx_EVA*Cp_EVA);
%T5 eq
A(5,4)=-
2*dt*(k_EVA/dx_EVA+sigma*eps_cell*F*Tvec(4)^3)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_bs*
dx_bs*Cp_bs);
A(5,5)=2*dt*(M5+sigma*eps_cell*F*Tvec(5)^3)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_bs*dx_
bs*Cp_bs);
A(5,6)=(-2*dt*k_bs/dx_bs)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_bs*dx_bs*Cp_bs);
%T6 eq
A(6,5)=(-2*dt*k_bs/dx_bs)/(rho_bs*dx_bs*Cp_bs+rho_cott*dx_cott*Cp_cott);
A(6,6)=2*dt*M6/(rho_bs*dx_bs*Cp_bs+rho_cott*dx_cott*Cp_cott);
A(6,7)=(-2*dt*k_cott/dx_cott)/(rho_bs*dx_bs*Cp_bs+rho_cott*dx_cott*Cp_cott);
%T7 eq
A(7,6)=-2*tou_cott;
A(7,7)=1+2*tou_cott+2*tou_cott*hconv_b*dx_cott/k_cott+(2*tou_cott*eps_cott*sigma
a*dx_cott/k_cott)*Tvec(7)^3;

```

```

B(7)=2*tou_cott*(hconv_b*dx_cott*T_db/k_cott+sigma*eps_cott*dx_cott*(T_db^4)/k_
cott-qevap*dx_cott/k_cott);
es=1e-5;
tol_Tvec=100;
j=0;
while tol_Tvec > es && j < 1000
    j=j+1;
A(3,3)=2*dt*(M3+sigma*eps_cell*Tvec_new(3)^3)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_cell*
dx_cell*Cp_cell);
A(4,4)=2*dt*(M4+sigma*eps_cell*Tvec_new(4)^3)/(rho_cell*dx_cell*Cp_cell+rho_EVA*
dx_EVA*Cp_EVA);
A(4,5)=-
2*dt*(k_EVA/dx_EVA+sigma*eps_cell*F*Tvec_new(5)^3)/(rho_cell*dx_cell*Cp_cell+rh
o_EVA*dx_EVA*Cp_EVA);
A(5,4)=-
2*dt*(k_EVA/dx_EVA+sigma*eps_cell*F*Tvec_new(4)^3)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rh
o_bs*dx_bs*Cp_bs);
A(5,5)=2*dt*(M5+sigma*eps_cell*F*Tvec_new(5)^3)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_bs
*dx_bs*Cp_bs);
A(7,7)=1+2*tou_cott+2*tou_cott*hconv_b*dx_cott/k_cott+(2*tou_cott*eps_cott*sigm
a*dx_cott/k_cott)*Tvec(7)^3;
B(3)=2*dt*(sigma*eps_cell*T_db^4+qs)/(rho_EVA*dx_EVA*Cp_EVA+rho_cell*dx_cell*C
p_cell);
Tvec_new(:,j+1)=A\Tvec+B;
tol_Tvec=norm((Tvec_new(:,j+1)-Tvec_new(:,j))./Tvec_new(:,j+1));
u_relax=0.8; %Underrelaxation
Tvec_new(:,j+1)=u_relax*Tvec_new(:,j+1)+(1-u_relax)*Tvec_new(:,j);
T_cell_avg(i)=(T_cell_c(i)+(Tvec_new(3,j+1)))*0.5;
P_pv=P_pv_stc*(G_solar/1000)*(1-gramma*((T_cell_avg(i)-273.15)-25))/Area;
qs=absorb_cell*G_solar-P_pv;

```

```

end
T_glass_c(i+1)=Tvec_new(1,j+1)-273.15;
T_EVA1_c(i+1)=Tvec_new(2,j+1)-273.15;
T_cell_c(i+1)=Tvec_new(3,j+1)-273.15; T_cell_c(i)=T_cell_c(i)-273.15;
T_EVA2_c(i+1)=Tvec_new(4,j+1)-273.15;
T_bs_c(i+1)=Tvec_new(5,j+1)-273.15;
Tback_c(i+1)=Tvec_new(6,j+1)-273.15;
T_cott_c(i+1)=Tvec_new(7,j+1)-273.15;
T_db=T_db-273.15;
P_pv_rec(i)=P_pv;
end
colsWithZeros = any(t_dryrec==0, 1);
t_cooling = t_dryrec(:, ~colsWithZeros);
% t_effect=t_cooling(end);
RH_cott_rec=mwater_rm/mwater_max;
mwater_ex_tot=sum(mwater_ex_rec);
T_glass_c=T_glass_c-273.15; T_glass_c(end)=T_glass_c(end)+273.15;
T_EVA1_c=T_EVA1_c-273.15; T_EVA1_c(end)=T_EVA1_c(end)+273.15;
T_cell_c=T_cell_c-273.15; T_cell_c(end)=T_cell_c(end)+273.15;
T_EVA2_c=T_EVA2_c-273.15; T_EVA2_c(end)=T_EVA2_c(end)+273.15;
T_bs_c=T_bs_c-273.15; T_bs_c(end)=T_bs_c(end)+273.15;
Tback_c=Tback_c-273.15; Tback_c(end)=Tback_c(end)+273.15;
T_cott_c=T_cott_c-273.15; T_cott_c(end)=T_cott_c(end)+273.15;
P_pv_c=P_pv_rec(end)*Area; %Unit in W

```



ข.1 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermocouple)



ภาพด้านหน้า



ภาพด้านหลัง



ภาพด้านข้าง



ภาพด้านล่าง

คุณสมบัติ

วงจร	ไมโครโปรเซสเซอร์ LSI แบบชิปเดี่ยว
จอแสดงผล	แบบ LCD ขนาด 52x38 มม. มีไฟแบ็คไลท์สีเขียว (เปิด/ปิด)
หน่วยการแสดงผล	เลือกเป็น °C หรือ °F ได้
แขนแปล	T1, T2, T3, T4, T1-T2
ชนิดของเซนเซอร์	เทอร์โมคัปเปิล Type K/ J/ T/ E/ R/ S, RTD Pt100Ω
เวลาดูม้วนที่ข้อมูล	1-3,600 วินาที (เมื่อเลือกแบบอัตโนมัติ)
หน่วยความจำข้อมูล	SD Card 1-16 GB
การชดเชยอุณหภูมิ	ชดเชยอุณหภูมิอัตโนมัติสำหรับเทอร์โมคัปเปิล Type K/ J/ T/ E/ R/ S
การชดเชยความเป็นเชิงเส้น	ชดเชยความเป็นเชิงเส้นสำหรับย่านเต็มสเกล
การปรับ offset	มีให้สำหรับ Type K/ J/ T/ E/ R/ S และ Pt100Ω
เวลาในการแสดงผล	ประมาณ 1 วินาที
ข้อควรระวังสำหรับไฟรบกวน	ไฟรบกวน Pt100Ω : ข้อควรระวังแบบ Ear phone ไฟรบกวนเทอร์โมคัปเปิล : ข้อควรระวัง 2 ขา แบบมาตรฐาน
อุณหภูมิขณะใช้งาน	0-50°C/ ความชื้นสัมพัทธ์ น้อยกว่า 85% RH
ใช้ไฟ	แบตเตอรี่ 1.5V DC (UM-3, AA) 6 ก้อน มีช่องต่ออะแดปเตอร์แปลงไฟ 9V DC (อะแดปเตอร์แปลงไฟต้องสั่งซื้อเพิ่ม)
ขนาด/ น้ำหนัก	68x177x45 มม. (กว้างสูงสุด/หนา) น้ำหนัก 489 กรัม
อุปกรณ์มาตรฐาน	คู่มือการใช้งานภาษาไทย-อังกฤษ 1 ชุด
อุปกรณ์สั่งซื้อเพิ่มเติม	- เทอร์โมคัปเปิล Type K รุ่น TP-01, TP-02A, TP-03, TP-04 - ไฟรบกวน Pt100Ω รุ่น TP-101 - อะแดปเตอร์แปลงไฟ AC เป็น 9V DC - สายเคเบิล RS232 รุ่น UPCB-02 - สายเคเบิล USB รุ่น USB-01 - โปรแกรมสำหรับประมวลผลข้อมูล รุ่น SW-U801-WIN - กระเป๋าใส่เครื่องและอุปกรณ์แบบแข็ง รุ่น CA-06 - กระเป๋าใส่เครื่องแบบอ่อน รุ่น CA-05A - SD Card (1 GB, 2 GB)

หมายเหตุ : * เป็นค่าความเที่ยงตรงสำหรับตัวมิเตอร์เท่านั้น ไม่รวมความเที่ยงตรงของไฟรบกวน โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 23 ± 5°C

ย่านการวัด

ชนิดเซนเซอร์	ความละเอียด	ย่านการวัด	ความเที่ยงตรง*
RTD (Pt100Ω)	0.1°C	-199.9~+850.0°C	±(0.4%+1°C)
	0.1°F	-327.0~+999.9°F	±(0.4%+1.8°F)
	1°F	1,000~1,562°F	±(0.4%+2°F)
เทอร์โมคัปเปิล Type K	0.1°C	-50.1~+100.0°C -50.0~+999.9°C	±(0.4%+1°C) ±(0.4%+0.5°C)
	1°C	1,000~1,300°C	±(0.4%+1°C)
	0.1°F	-58.1~+148.0°F -58.0~+999.9°F	±(0.4%+1.8°F) ±(0.4%+1°F)
	1°F	1,000~2,372°F	±(0.4%+2°F)
เทอร์โมคัปเปิล Type J	0.1°C	-50.1~+100.0°C -50.0~+999.9°C	±(0.4%+1°C) ±(0.4%+0.5°C)
	1°C	1,000~1,150°C	±(0.4%+1°C)
	0.1°F	-58.1~+148.0°F -58.0~+999.9°F	±(0.4%+1.8°F) ±(0.4%+1°F)
	1°F	1,000~2,102°F	±(0.4%+2°F)
เทอร์โมคัปเปิล Type T	0.1°C	-50.1~+100.0°C -50.0~+400.0°C	±(0.4%+1°C) ±(0.4%+0.5°C)
	0.1°F	-58.1~+148.0°F -58.0~+752.0°F	±(0.4%+1.8°F) ±(0.4%+1°F)
เทอร์โมคัปเปิล Type E	0.1°C	-50.1~+100.0°C -50.0~+900.0°C	±(0.4%+1°C) ±(0.4%+0.5°C)
	0.1°F	-58.1~+148.0°F -58.0~+999.9°F	±(0.4%+1.8°F) ±(0.4%+1°F)
	1°F	1,000~1,625°F	±(0.4%+2°F)
เทอร์โมคัปเปิล Type R	1°C	0~600°C 601~1,700°C	±(0.5%+1°C) ±(0.5%+1°C)
	1°F	32~1,112°F 1,113~3,092°F	±(0.5%+2°F) ±(0.5%+2°F)
เทอร์โมคัปเปิล Type S	1°C	0~600°C 601~1,500°C	±(0.5%+1°C) ±(0.5%+1°C)
	1°F	32~1,112°F 1,113~2,732°F	±(0.5%+2°F) ±(0.5%+2°F)

ข.2 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)

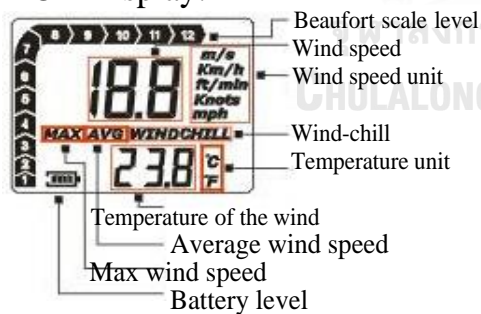
OPERATION MANUAL



Function:

- 1) Wind speed & temperature measurement
- 2) Maximum/average/current wind speed
- 3) Temperature display in °C/°F
- 4) Wind speed measurement unit: M/s, Km/h, Ft/min, Knots, Mph
- 5) Beaufort scale Level display
- 6) LCD backlight
- 7) Auto/Manual power off
- 8) Wind-chill Indication
- 9) Low battery indication

LCD Display:



Operation:

- 1) Starting up: press "MODE" for 2 seconds to turn on the device. LCD will display wind speed, temperature, battery icon. Meanwhile, LCD backlight will be turned on for 8 seconds.
- 2) Setting different wind speed measurement unit: press "MODE" for 3 seconds until "m/s" starts to blink, temperature & wind speed vanishes. Press "SET" to select desired measurement unit. To confirm the desired measurement device by pressing "MODE". After powering off, the above settings will be saved unless replacement battery.

Wind speed measurement unit: M/s, Km/h, Ft/min, Knots, Mph
Measure wind speed in: Current/Max/Average

3) Temperature Unit: (°C/°F)


Press the °C/°F to select the desired temperature unit

4) Backlight: press any key will activate LCD backlight for 8 seconds

5) Measurement: when the wind vane (impeller) runs, LCD will display instant wind speed, temperature and level. When temperature below 0 °C, wind chill symbol will shown on the LCD.

7) Power off: long press "SET" to turn off the unit.

8) Auto power off: Being Power off automatically in 5 minutes without any operations

9) Replacement battery: LCD display , you need to replace battery promptly.

Specifications:

Wind speed range				
Unit	Range	Resolution	Threshold	Accuracy
M/s	0~30	0.1	0.1	±5%
Ft/min	0~5860	19	39	
Knots	0~55	0.2	0.1	
Km/hr	0~90	0.3	0.3	
Mph	0~65	0.2	0.2	
Temperature range				
Unit	Range	Resolution	Accuracy	
°C	-10°C~45°C	0.2	±2°C	
°F	14°F~113°F	0.36	±3.6°F	
Battery		CR2032 3.0V		
Thermometer		NTC thermometer		
Operating temperature		-10°C~45°C (14°F~113°F)		
Operating humidity		≤90% RH		
Store temperature		-40°C~60°C (-40°F~140°F)		
Current consumption		About 3mA		
Weight		52g (with battery land yard)		
Size		104.3*57.8*19.9mm		

ข.3 มัลติมิเตอร์ (Multimeter)

Page 1 of 3, Document #2155
170 Series True-rms DMMs
Extended Specifications
©2000 Fluke Corporation
Rev. A-11/2000



Fluke 170 Series True-rms Digital Multimeter Extended Specifications

Model Differences

(all other specifications are the same for each model)

Feature	Model		
	175	177	179
Backlight		•	•
Temperature Measurement			•
Basic dc voltage accuracy	0.15%	0.09%	0.09%

Nominal Specifications

Function	Absolute Range or Description	
AC Voltage, True-rms	0.1 mV to 1000V (1 kHz)	
DC Voltage	0.1 mV to 1000V	
Continuity	Beeper guaranteed on < 25 Ω, guaranteed off > 250 Ω; detects opens or shorts of 250 μs or longer.	
Resistance	0.1Ω to 50.00 MΩ	
Diode Test	2.400V	
Capacitance	1 nF to 9999 μF	
AC Current, True-rms	0.01 mA to 10.00A (20.00 A over-range for 30 seconds)	
DC Current	0.01 mA to 10.00A (20.00 A over-range for 30 seconds)	
Frequency	2 Hz to 50 kHz	
Temperature (179 Only)	-40 °C to +400 °C; -40 °F to +752 °F	
Basic dc voltage accuracy	0.15% (175)	0.09% (177 & 179)
Basic ac voltage accuracy	1.0%	

Features

Feature	Description
Digital Display	6000 counts, updates 4 x second
Analog Bargraph Display	33 segments, updates 40 x second
Backlight (177 & 179 only)	Automatically turns off after 2 minutes to save battery life. The timeout feature can be disabled with a power-up option.
HOLD & Auto HOLD	HOLD: freezes the display at the push of a button Auto HOLD: Display holds present reading until it detects new stable input, then the meter beeps and displays new reading
MIN MAX AVG	Minimum, maximum, and average reading memory
Manual or auto ranging	In auto range, the meter selects the range with the best resolution for the present measurement value
Fast continuity/open detection	The beeper sounds with a stretched pulse for opens or shorts as brief as 250 μs
Test lead alert	The message "LEAd" appears briefly on the display when the rotary switch is moved to or from any A (Amps) position
Power-up options	(1) Turn on all LCD segments, (2) Disable beeper, (3) Disable sleep mode, (4) Enable smoothing, (5) Disable backlight timeout (Models 177 & 179 only)
Closed-case calibration	No internal adjustments needed
Probe holders	The instrument comes with built-in probe holders for probe storage and for convenience when making measurements
Battery access door	Battery replacement without voiding calibration
High-impact overmold case	Integrated overmolded protection provides superior impact protection for your meter

Shop for Fluke products online at: www.MyFlukeStore.com 1.877.766.5412

General Specifications

Accuracy is specified for 1 year after calibration, at operating temperatures of 18 °C to 28 °C, with relative humidity of 0 % to 75 %. Accuracy specifications take the form of: \pm [% of Reading] + [Counts]	
Maximum voltage between any terminal and earth ground	1000V DC or AC RMS
Surge Protection	8 kV peak per IEC 61010
Fuse for mA inputs	440 mA, 1000 V FAST Fuse
Fuse for A input	11A, 1000V FAST Fuse
Display	Digital: 6,000 counts, updates 4/sec Bar Graph: 33 segments, updates 40/sec Frequency: 9,999 counts Capacitance: 9,999 counts
Altitude	Operating: 2000 m; Storage: 12000 m
Temperature	Operating: -10 °C to +50 °C Storage: -30 °C to +60 °C
Temperature coefficient	0.1 % (specified accuracy / °C) (< 18 °C or > 28 °C)
Electromagnetic Compatibility (EN 61326-1:1997)	In an RF field of 3 V/M, accuracy = specified accuracy except in temperature: specified accuracy \pm 5 °C, \pm 9 °F
Relative Humidity	0 % to 90 % @ 0 °C to 35 °C; 0 % to 70 % @ 36 °C to 50 °C
Relative Humidity in 50 MΩ Range	0 % to 80 % @ 0 °C to 35 °C; 0 % to 70 % @ 36 °C to 50 °C
Battery Life	Alkaline: -200 hrs typical
Size, with Holster (H x W x L)	4.3 cm x 9 cm x 18.5 cm
Weight	420g
Safety Compliances	ANSI/ISA S82.02.01, CSA C22.2-1010.1, IEC 61010 to 1000 V Overvoltage Category III, 600 V Overvoltage Category IV
Certifications	CSA, TÜV (EN61010), Australian (N10140)



Detailed Specifications

Function	Range ¹	Resolution	Accuracy ± [% of Reading] + [Counts]		
			Model 175	Model 177	Model 179
AC Volts ²	600.0 mV	0.1 mV	1.0 % + 3	1.0 % + 3	1.0 % + 3
	6.000V 60.00V 600.0V 1000V	0.001V 0.01V 0.1V 1V	(45 Hz to 500 Hz) 2.0 % + 3 (500 Hz to 1 kHz)	(45 Hz to 500 Hz) 2.0 % + 3 (500 Hz to 1 kHz)	(45 Hz to 500 Hz) 2.0 % + 3 (500 Hz to 1 kHz)
DC mV	600.0 mV	0.1 mV	0.15 % + 2	0.09 % + 2	0.09 % + 2
DC Volts	6.000V 60.00V 600.0V	0.001V 0.01V 0.01V	0.15 % + 2	0.09 % + 2	0.09 % + 2
	1000V	1V	0.15 % + 2	0.1 % + 2	0.1 % + 2
Continuity	600Ω	1Ω	Meter beeps at < 25 Ω, beeper turns off at > 250 Ω; detects opens or shorts of 250 ms or longer.		
Ohms	600.0Ω	0.1Ω	0.9 % + 2	0.9 % + 2	0.9 % + 2
	6.000 kΩ	0.001 kΩ	0.9 % + 1	0.9 % + 1	0.9 % + 1
	60.00 kΩ	0.01 kΩ	0.9 % + 1	0.9 % + 1	0.9 % + 1
	600.0 kΩ	0.1 kΩ	0.9 % + 1	0.9 % + 1	0.9 % + 1
	6.000 MΩ	0.001 MΩ	0.9 % + 1	0.9 % + 1	0.9 % + 1
	50.00 MΩ	0.01 MΩ	1.5 % + 3	1.5 % + 3	1.5 % + 3
Diode test	2.400V	0.001V	1 % + 2		
Capacitance	1000 nF	1 nF	1.2 % + 2	1.2 % + 2	1.2 % + 2
	10.00 μF	0.01 μF	1.2 % + 2	1.2 % + 2	1.2 % + 2
	100.0 μF	0.1 μF	1.2 % + 2	1.2 % + 2	1.2 % + 2
	9999 μF ³	1 μF	10 % typical	10 % typical	10 % typical
AC Amps (True-rms) (45 Hz to 1 kHz)	60.00 mA 400.0 mA (500 mA for 18 hrs) 6.000A 10.00A (20A for 30s)	0.01 mA 0.1 mA 0.001A 0.01A	1.5 % + 3	1.5 % + 3	1.5 % + 3
	DC Amps	60.00 mA 400.0 mA (500 mA for 18 hrs) 6.000A 10.00A (20A for 30s)	0.01 mA 0.1 mA 0.001A 0.01A	1.0 % + 3	1.0 % + 3
Hz (AC- or DC-coupled, V or A ^{4,5} input)	99.99 Hz 999.9 Hz 9.999 kHz 99.99 kHz	0.01 Hz 0.1 Hz 0.001 kHz 0.01 kHz	0.1 % + 1	0.1 % + 1	0.1 % + 1
Temperature	-40 °C to +400 °C -40 °F to +752 °F	0.1 °C 0.1 °F	NA	NA	1 % + 1.0 °C 1 % + 1.8 °F
MIN MAX AVG	For DC functions, accuracy is the specified of the measurement function ± 12 counts for changes longer than 275 ms in duration. For AC functions, accuracy is the specified of the measurement function ± 40 counts for changes longer than 1.2 s in duration.				

- All AC voltage and AC current ranges are specified from 5 % of range to 100 % of range.
- Crest factor of ≤ 3 at full scale up to 500 V, decreasing linearly to crest factor ≤ 1.5 at 1000 V.
- In the 9999 μF range for measurements to 1000 μF, the measurement accuracy is 1.2 % for all models.
- In mA and A ranges, frequency measurement is specified to 30 kHz.
- Frequency < 10 kHz are not specified in 600 mV AC, 60 mA AC, and 6 A AC ranges.

Fluke. Keeping your world up and running.

Function	Overload Protection	Input Impedance (Nominal)	Common Mode Rejection Ratio (1 kΩ Unbalanced)	Normal Mode Rejection
Volts AC	1000 V RMS or DC	> 10 MΩ < 100 pF	> 60 dB @ DC, 50 or 60 Hz	
Volts DC	1000 V RMS or DC	> 10 MΩ < 100 pF	> 120 dB @ DC, 50 or 60 Hz	> 60 dB @ 50 Hz or 60 Hz
		Open Circuit Test Voltage	Full Scale Voltage To: 6.0 MΩ	Short Circuit Current
Ohms	1000V RMS or DC	< 1.5 V DC	< 500 mV DC < 1.5 V DC	< 500 μA
Diode test	1000V RMS or DC	2.4 to 3.0 V DC	2.4 V DC	< 1.2 mA typical

1. 10³ V-Hz maximum.

Fluke Corporation
 PO Box 9090, Everett, WA USA 98206
 Fluke Europe B.V.
 PO Box 1186, 5602 BD
 Eindhoven, The Netherlands
 For more information call:
 U.S.A. (800) 443-5853 or
 Fax (425) 446-5116
 Europe (31 40) 2 675 200 or
 Fax (31 40) 2 675 222
 Canada (905) 890-7600 or
 Fax (905) 890-6866
 Other countries (425) 446-5500 or
 Fax (425) 446-5116
 Web access: <http://www.fluke.com>

©2001 Fluke Corporation. All rights reserved.
 Specifications subject to change without notice.
 Printed in U.S.A. 3/2001
 Printed on recycled paper.

Shop for Fluke products online at: www.MyFlukeStore.com **1.877.766.5412**

ข.4 ไมโครมิเตอร์ (Micrometer)

Coolant-proof Micrometer

SERIES 293 — with Dust/Water Protection Conforming to IP65 Level

FEATURES

- IP65 protection level, enabling use in environments exposed to cutting oil, etc*.
- *Anti-corrosion treatment is required after use.
- Measurement data output function is available with a water-resistant connection cable.
- Auto power ON/OFF function.
- A nonslip surface with raised dots is employed for the frame cover and surface panel to achieve stable handheld measurement.
- Certificate of inspection* is included. (2" /50mm or less range models)**
- ** It is not the type used to obtain calibration certificates. ** except 293-349-30
- With a standard bar except for 0-1" /0-25mm model.
- Supplied in fitted case. Plastic case up to 6" /150mm, wooden box over 6" /150mm.



293-330-30



293-252-30



Oil-resistant materials are used in all plastic components.



Measurement data output function is available with a water-resistant connection cable.



Employed nonslip surface with raised dots



Certificate of inspection

Technical Data

Accuracy: Refer to the list of specifications.
 Resolution: 0.0005"/0.001mm or 0.001mm (up to 4" models)
 0.001" / 0.001mm (over 4" models)
 Flatness: 0.00012"/0.3µm
 Parallelism: 0.0004"/1µm for models up to 2"/50mm
 0.0008"/2µm for models up to 4"/100mm
 0.0012"/3µm for models up to 7"/175mm
 0.0016"/4µm for models up to 11"/275mm
 0.002"/5µm for models over 12"/300mm
 Measuring faces: Carbide tipped
 Display: LCD
 Battery: SR44 (1 pc.), 938882
 Battery life: Approx. 2.4 years under normal use
 Dust/Water protection level: IP65

Function

Origin-set, Zero / ABS, Hold, Auto power on/off, Data output (output models), inch/mm conversion (on inch/metric models only)
 Alarm: Low voltage, Counting value composition error

Optional Accessories

05CZA662: SPC cable with data switch (40"/1m)
 05CZA663: SPC cable with data switch (80"/2m)



SPC cable with data switch

SPECIFICATIONS

Metric With ratchet stop			
Range	Resolution	Order No.	Accuracy
0 - 25mm	0.001mm	293-230-30 / 293-240-30*	±1µm
25 - 50mm	0.001mm	293-231-30 / 293-241-30*	±1µm
50 - 75mm	0.001mm	293-232-30 / 293-242-30*	±1µm
75 - 100mm	0.001mm	293-233-30 / 293-243-30*	±2µm
100 - 125mm	0.001mm	293-250-30	±2µm
125 - 150mm	0.001mm	293-251-30	±2µm
150 - 175mm	0.001mm	293-252-30	±3µm
175 - 200mm	0.001mm	293-253-30	±3µm
200 - 225mm	0.001mm	293-254-30	±3µm
225 - 250mm	0.001mm	293-255-30	±4µm
250 - 275mm	0.001mm	293-256-30	±4µm
275 - 300mm	0.001mm	293-257-30	±4µm

*without SPC data output

Metric With ratchet thimble			
Range	Resolution	Order No.	Accuracy
0 - 25mm	0.001mm	293-234-30 / 293-244-30*	±1µm
25 - 50mm	0.001mm	293-235-30 / 293-245-30*	±1µm
50 - 75mm	0.001mm	293-236-30 / 293-246-30*	±1µm
75 - 100mm	0.001mm	293-237-30 / 293-247-30*	±2µm

*without SPC data output

Metric Micrometer Set		
Range	Order No.	Included in set
0-50mm (2pcs. Set)	293-966-30	293-230-30, 293-231-30, 25mm CERA block, plastic case
0-75mm (3pcs. Set)	293-962-30	293-230-30, 293-231-30, 293-232-30, 2 standard bars, plastic case
0-100mm (4pcs. Set)	293-963-30	293-230-30, 293-231-30, 293-232-30, 293-233-30, 3 standard bars, wooden box

Inch/Metric With ratchet stop			
Range	Resolution	Order No.	Accuracy
0 - 1" / 0 - 25.4mm	.00005" / 0.001mm	293-330-30 / 293-340-30*	±0.00005"
1" - 2" / 25.4 - 50.8mm	.00005" / 0.001mm	293-331-30 / 293-341-30*	±0.00005"
2" - 3" / 50.8 - 76.2mm	.00005" / 0.001mm	293-332-30 / 293-342-30*	±0.00005"
3" - 4" / 76.2 - 101.6mm	.00005" / 0.001mm	293-333-30 / 293-343-30*	±0.0001"
4" - 5" / 101.6 - 127.0mm	.0001" / 0.001mm	293-350-30	±0.0001"
5" - 6" / 127.0 - 152.4mm	.0001" / 0.001mm	293-351-30	±0.0001"
6" - 7" / 152.4 - 177.8mm	.0001" / 0.001mm	293-352-30	±0.00015"
7" - 8" / 177.8 - 203.2mm	.0001" / 0.001mm	293-353-30	±0.00015"
8" - 9" / 203.2 - 228.6mm	.0001" / 0.001mm	293-354-30	±0.00015"
9" - 10" / 228.6 - 254.0mm	.0001" / 0.001mm	293-355-30	±0.0002"
10" - 11" / 254.0 - 279.4mm	.0001" / 0.001mm	293-356-30	±0.0002"
11" - 12" / 279.4 - 304.8mm	.0001" / 0.001mm	293-357-30	±0.0002"

*without SPC data output

Inch/Metric With ratchet thimble			
Range	Resolution	Order No.	Accuracy
0 - 1" / 0 - 25.4mm	.00005" / 0.001mm	293-334-30 / 293-344-30*	±0.00005"
0 - 1" / 0 - 25.4mm	.0001" / 0.001mm	293-349-30*	±0.0001"
1" - 2" / 25.4 - 50.8mm	.00005" / 0.001mm	293-345-30*	±0.00005"
2" - 3" / 50.8 - 76.2mm	.00005" / 0.001mm	293-346-30*	±0.00005"
3" - 4" / 76.2 - 101.6mm	.00005" / 0.001mm	293-347-30*	±0.0001"

*without SPC data output

Inch/Metric With friction thimble			
Range	Resolution	Order No.	Accuracy
0 - 1" / 0 - 25.4mm	.00005" / 0.001mm	293-335-30 / 293-348-30*	±0.00005"
1" - 2" / 25.4 - 50.8mm	.00005" / 0.001mm	293-336-30	±0.00005"

*without SPC data output

Inch/Metric Micrometer Set .00005" / 0.001mm graduation model		
Range	Order No.	Included in set
0 - 3" / 0 - 76.2mm (3 pcs. set)	293-960-30	293-330-30, 293-331-30, 293-332-30, 2 standard bars, plastic case
0 - 4" / 0 - 101.6mm (4 pcs. set)	293-961-30	293-330-30, 293-331-30, 293-332-30, 293-333-30, 3 standard bars, wooden box

DIMENSIONS AND MASS

Ratchet-stop type (up to 100mm/4")

Ratchet-thimble type and friction-thimble type

Ratchet stop type (over 100mm/4" to 300mm/12")

Range (Metric / Inch)	L	a	b	c	Mass (g)
0 - 25mm / 0-1"	0	2.5	9	(25)	270
25 - 50mm / 1-2"	25	2.5	9.8	(31.5)	330
50 - 75mm / 2-3"	50	2.5	12.6	(47)	470
75 - 100mm / 3-4"	75	2.5	14	(60)	625
100 - 125mm / 4-5"	132.8	5.3	16.7	(76.5)	600
125 - 150mm / 5-6"	158.2	5.7	18.8	(91)	740
150 - 175mm / 6-7"	183.6	6.1	19.1	(103.1)	800
175 - 200mm / 7-8"	208.8	6.3	18.2	(115.3)	970
200 - 225mm / 8-9"	234.2	6.7	16.8	(126.8)	1100
225 - 250mm / 9-10"	258	5.5	18	(139.8)	1270
250 - 275mm / 10-11"	284	18	28	(152.3)	1340
275 - 300mm / 11-12"	309	18	28	(166)	1540



ภาคผนวก ค

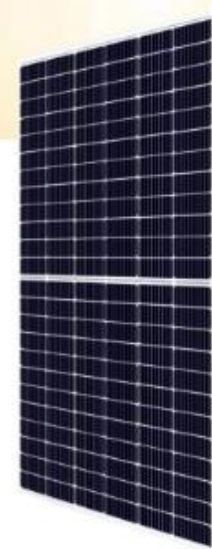
รายละเอียดของเซลล์แสงอาทิตย์จริงที่นำมาใช้ในการจำลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



Preliminary Technical
Information Sheet

CanadianSolar



HiKu

SUPER HIGH POWER MONO PERC MODULE

425 W ~ 450 W

CS3W-425 | 430 | 435 | 440 | 445 | 450MS

MORE POWER



26 % more power than
conventional modules



Up to 4.5 % lower LCOE
Up to 2.7 % lower system cost



Low NMOT: 42 ± 3 °C
Low temperature coefficient (Pmax):
-0.36 % / °C



Better shading tolerance

MORE RELIABLE



Lower internal current,
lower hot spot temperature



Cell crack risk limited in small region,
enhance the module reliability



Heavy snow load up to 5400 Pa,
wind load up to 3600 Pa*



linear power output warranty*



enhanced product warranty on materials
and workmanship*

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE (Expected in December, 2019)

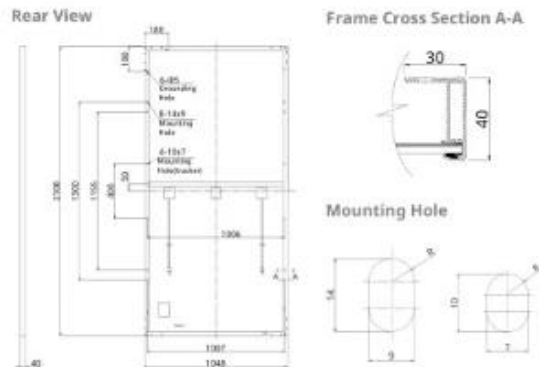
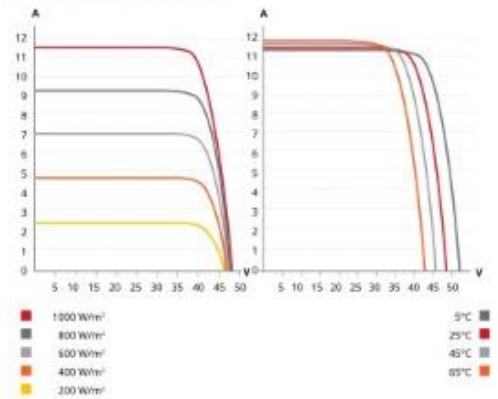
* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 36 GW deployed around the world since 2001.

* For detail information, please refer to Installation Manual.

CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)**CS3W-435MS / I-V CURVES****ELECTRICAL DATA | STC***

CS3W	425MS	430MS	435MS	440MS	445MS	450MS
Nominal Max. Power (Pmax)	425 W	430 W	435 W	440 W	445 W	450 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	39.5 V	39.7 V	39.9 V	40.1 V	40.3 V	40.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.76 A	10.84 A	10.91 A	10.98 A	11.05 A	11.12 A
Open Circuit Voltage (Voc)	47.7 V	47.9 V	48.1 V	48.3 V	48.5 V	48.7 V
Short Circuit Current (Isc)	11.37 A	11.42 A	11.47 A	11.53 A	11.59 A	11.65 A
Module Efficiency	19.24%	19.46%	19.69%	19.92%	20.14%	20.37%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	20 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 5 W					

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS3W	425MS	430MS	435MS	440MS	445MS	450MS
Nominal Max. Power (Pmax)	316 W	320 W	324 W	328 W	331 W	335 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.8 V	36.9 V	37.1 V	37.3 V	37.5 V	37.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.60 A	8.67 A	8.73 A	8.79 A	8.84 A	8.89 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.7 V	44.9 V	45.1 V	45.3 V	45.5 V	45.6 V
Short Circuit Current (Isc)	9.17 A	9.21 A	9.25 A	9.30 A	9.35 A	9.40 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2108 X 1048 X 40 mm (83.0 X 41.3 X 1.57 in)
Weight	24.9 kg (54.9 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-); landscape: 1400 mm (55.1 in); leap-frog connection: 1670 mm (65.7 in)*
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.36 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

PARTNER SECTION

* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CANADIAN SOLAR INC.
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายบรรณพงศ์ กลีบประทุม
วัน เดือน ปี เกิด	18 เมษายน 2539
สถานที่เกิด	กรุงเทพ
วุฒิการศึกษา	จบการศึกษาระดับปริญญาตรีจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน) เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง
ที่อยู่ปัจจุบัน	24/92 หมู่บ้านแก้วแสนสอง ซ.อยู่เย็น แขวงรามอินทรา เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10230
ผลงานตีพิมพ์	2020 2nd International Conference on Environment, Resources and Energy Engineering (EREE 2020) July 24-26,2020, Singapore