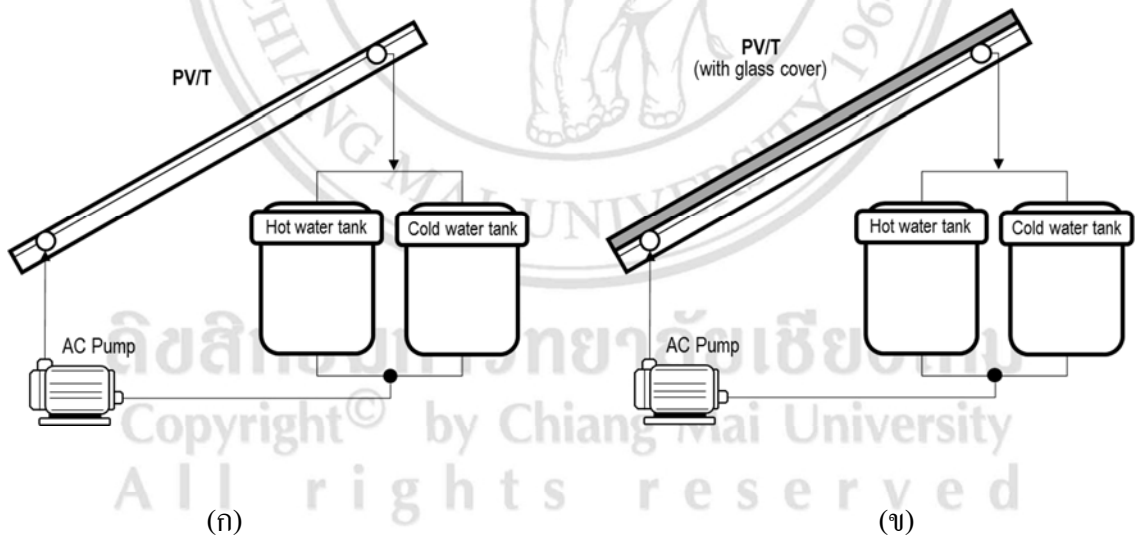


บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบผลิตน้ำร้อนและน้ำเย็น โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดไฮบริด โฟโตโวลตาอิก/ความร้อน

การศึกษาศมรรถนะของระบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดไฮบริด โฟโตโวลตาอิก/ความร้อน ได้ทำการศึกษา ระบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดไฮบริด โฟโตโวลตาอิก/ความร้อน สำหรับโมดูลชนิดที่ไม่มีกระจกปิดทับด้านบนและโมดูลชนิดที่มีกระจกปิดทับด้านบน โดยแต่ละระบบมีการเชื่อมต่อโมดูลกับถังเก็บน้ำร้อนและน้ำเย็น (Water Storage Tank) แสดงดังรูปที่ 2.1 โดยทำการศึกษการทำงานภายใต้ 2 สถานะกล่าวคือ ในตอนกลางวันระบบทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนในเวลาเดียวกัน ส่วนในตอนกลางคืนระบบจะทำหน้าที่ผลิตน้ำเย็นเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 2.1 ระบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดไฮบริด โฟโตโวลตาอิก/ความร้อนสำหรับ
(ก) โมดูลชนิดที่ไม่มีกระจกปิดทับด้านบน (ข) โมดูลชนิดที่มีกระจกปิดทับด้านบน

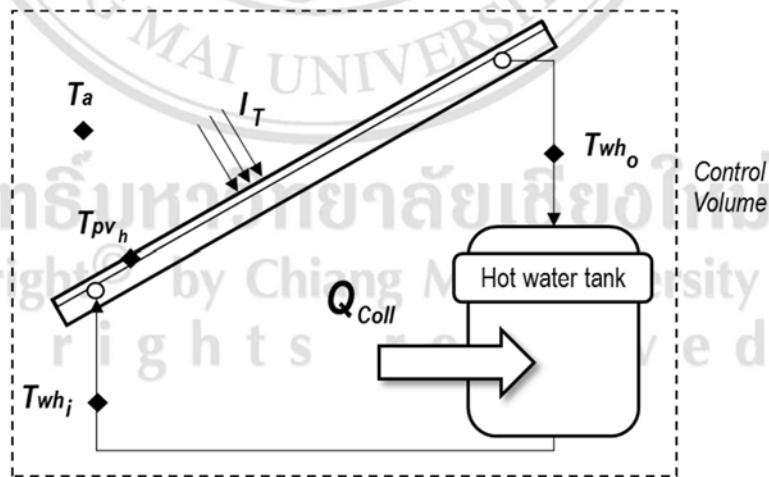
2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ

2.2.1 การผลิตน้ำร้อนสำหรับเวลากลางวัน

การทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนในเวลากลางวัน แสดงดังรูปที่ 2.2 ระบบจะทำการส่งน้ำจากถังเก็บน้ำร้อนส่งขึ้นไปสู่มอเตอร์ โดยผ่านปั๊มน้ำ โดยมอเตอร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นความร้อน ความร้อนที่ดูดซับจะถูกถ่ายเทให้กับน้ำที่ไหลอยู่ในท่อที่ถูกติดตั้งไว้ภายในมอเตอร์ น้ำร้อนที่ได้จะถูกบรรจุอยู่ในถังเก็บน้ำร้อน ทำให้อุณหภูมิในถังเพิ่มขึ้น ดังนั้น อัตราความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังน้ำร้อน จึงเท่ากับ อัตราความร้อนที่ผลิตได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ รวมกับอัตราความร้อนที่สูญเสียจากน้ำในถังน้ำร้อน ซึ่งสามารถเขียนสมดุลพลังงานการผลิตน้ำร้อนสำหรับเวลากลางวันของระบบ ได้ดังนี้

$$Q_{stored_H} = Q_{coll} - Q_{loss} \quad (2.1)$$

- เมื่อ Q_{stored_H} คือ อัตราความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังน้ำร้อน, (W)
 Q_{coll} คือ อัตราความร้อนที่ผลิตได้จากมอเตอร์เซลล์แสงอาทิตย์, (W)
 Q_{loss} คือ อัตราความร้อนที่สูญเสียจากน้ำในถังน้ำร้อน, (W)



รูปที่ 2.2 สมดุลพลังงานการผลิตน้ำร้อนสำหรับเวลากลางวันของระบบ

กำหนดให้ตัวถังน้ำร้อนหุ้มฉนวนเป็นอย่างดี ทำให้อัตราความร้อนที่สูญเสียจากน้ำในถังน้ำร้อน (Q_{loss}) มีค่าเท่ากับ ศูนย์ จึงสามารถจัดรูปสมการในการหาอุณหภูมิในถัง ในรูปสมการเชิงเลข ได้ดังนี้

$$M_w C_{pw} (T_{wh_i}^{t+\Delta t} - T_{wh_i}^t) = A_{PV} \Delta t \{ (\tau\alpha)_c I_T - U_L (T_{PV_h} - T_a) \} \quad (2.2)$$

โดยกำหนดให้อุณหภูมิของน้ำในถัง มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าโมดูล (T_{wh_i}) จากสมการดังกล่าว สามารถจัดรูปสมการเพื่อคำนวณหาอุณหภูมิของน้ำร้อนภายในถังตอนกลางวันได้ดังนี้

$$T_{wh_i}^{t+\Delta t} = \frac{A_{PV} \Delta t}{M_w C_{pw}} \{ [(\tau\alpha)_c I_T - U_L (T_{PV_h} - T_a)] \} + T_{wh_i}^t \quad (2.3)$$

- เมื่อ M_w คือ มวลของน้ำในถังน้ำ, (kg)
 C_{pw} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.180 kJ/kg-K)
 $T_{wh_i}^{t+\Delta t}$ คือ อุณหภูมิของน้ำในถังที่เวลา, $t + \Delta t$ (K)
 $T_{wh_i}^t$ คือ อุณหภูมิของน้ำในถังที่เวลา, t (K)
 A_{PV} คือ พื้นที่รับรังสีด้านหน้าของโมดูล, (m²)
 $(\tau\alpha)_c$ คือ ค่าการสะท้อนของแสง และค่าการดูดกลืนแสง
 I_T คือ ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกบน โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์, (W/m²)
 U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมผิวคู่อากาศ, (W/m²K)
 T_{PV_h} คือ อุณหภูมิของโมดูลตอนกลางวัน, (K)
 T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, (K)
 Δt คือ ช่วงเวลาในการคำนวณ, (s)

เมื่อพิจารณาสมดุลพลังงานที่โมดูลในตอนกลางวัน ดังรูปที่ 2.3ก พบว่า อัตราความร้อนที่ถ่ายเทไปที่ของไหลที่ผ่านโมดูล จะคำนวณได้จาก

$$Q_{water_H} = m_w C_{pw} (T_{wh_o} - T_{wh_i}) \quad (2.4)$$

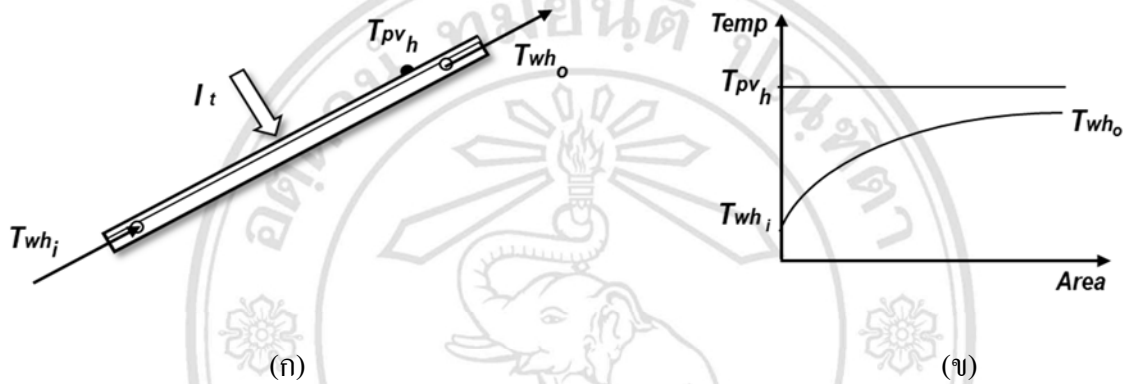
หรือสามารถจัดรูปสมการได้ดังนี้

$$m_w C_{pw} (T_{wh_o} - T_{wh_i}) = A_{PV} \{ (\tau\alpha)_c I_T - U_L (T_{PV_h} - T_a) \} \quad (2.5)$$

จากสมการดังกล่าว สามารถจัดรูปสมการเพื่อคำนวณหาอุณหภูมิของน้ำร้อนขาออกโมดูลได้ดังนี้

$$T_{wh_o} = \frac{A_{PV}}{m_w C_{pw}} \{[(\tau\alpha)_c I_T - U_L(T_{PV_h} - T_a)]\} + T_{wh_i} \quad (2.6)$$

จากรูปที่ 2.3 ข ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิโมดูล อุณหภูมิของน้ำขาเข้าและขาออกจากโมดูล สามารถนำมาคำนวณหาอุณหภูมิน้ำร้อนขาออกโมดูลได้ Stoecker [1989] ดังนี้



รูปที่ 2.3 (ก) สมดุลพลังงานที่โมดูล (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโมดูล น้ำขาเข้า ออกกับพื้นที่

$$T_{wh_o} = T_{wh_i} + (T_{PV} - T_{wh_i}) \left(1 - e^{\frac{(-UA)_{PV}}{m_w C_{pw}}}\right) \quad (2.7)$$

เมื่อ m_w คือ อัตราการไหลของน้ำ, (L/H)

T_{wh_o} คือ อุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากโมดูล, (K)

T_{wh_i} คือ อุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าจากโมดูล, (K)

T_{PV_h} คือ อุณหภูมิของโมดูลตอนกลางวัน, (K)

$(UA)_{PV}$ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของโมดูล, (W/K)

การหาค่า $(UA)_{PV}$ ของโมดูลจะพิจารณาจากอัตราความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ น้ำเมื่อผ่านโมดูล เมื่อกำหนดให้โมดูลเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสองกระแส โดยที่กระแสที่หนึ่ง คือโมดูลและกระแสที่สองคือน้ำร้อน ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมื่อผ่านโมดูล ถ้าสมมติให้โมดูลมี อุณหภูมิคงที่ ดังนั้น สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิโมดูล อุณหภูมิของน้ำขาเข้า และออกโมดูลได้ดังนี้

$$Q = m_w C_{pw} (T_{wh_o} - T_{wh_i}) \quad (2.8)$$

$$Q = (UA)_{PV} (LMTD) \quad (2.9)$$

โดยที่

$$LMTD = \frac{(T_{PV_h} - T_{wh_i}) - (T_{PV_h} - T_{wh_o})}{\ln \left[\frac{(T_{PV_h} - T_{wh_i})}{(T_{PV_h} - T_{wh_o})} \right]} \quad (2.10)$$

จากสมการที่ 2.9 และ 2.10 สามารถจัดรูปสมการ ได้ดังนี้

$$(UA)_{PV} = \frac{m_w C_{pw} (T_{wh_o} - T_{wh_i})}{LMTD} \quad (2.11)$$

จากข้อมูลผลการทดลอง เมื่อนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของโมดูล ดังสมการที่ 2.11 พบว่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของโมดูลชนิดนี้และไม่มีกระจกปิดทับบนมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 18.54 W/K และ 38.96 W/K ตามลำดับ

อัตราการความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำในถังน้ำร้อน, (Q_{stored_H}) จะคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

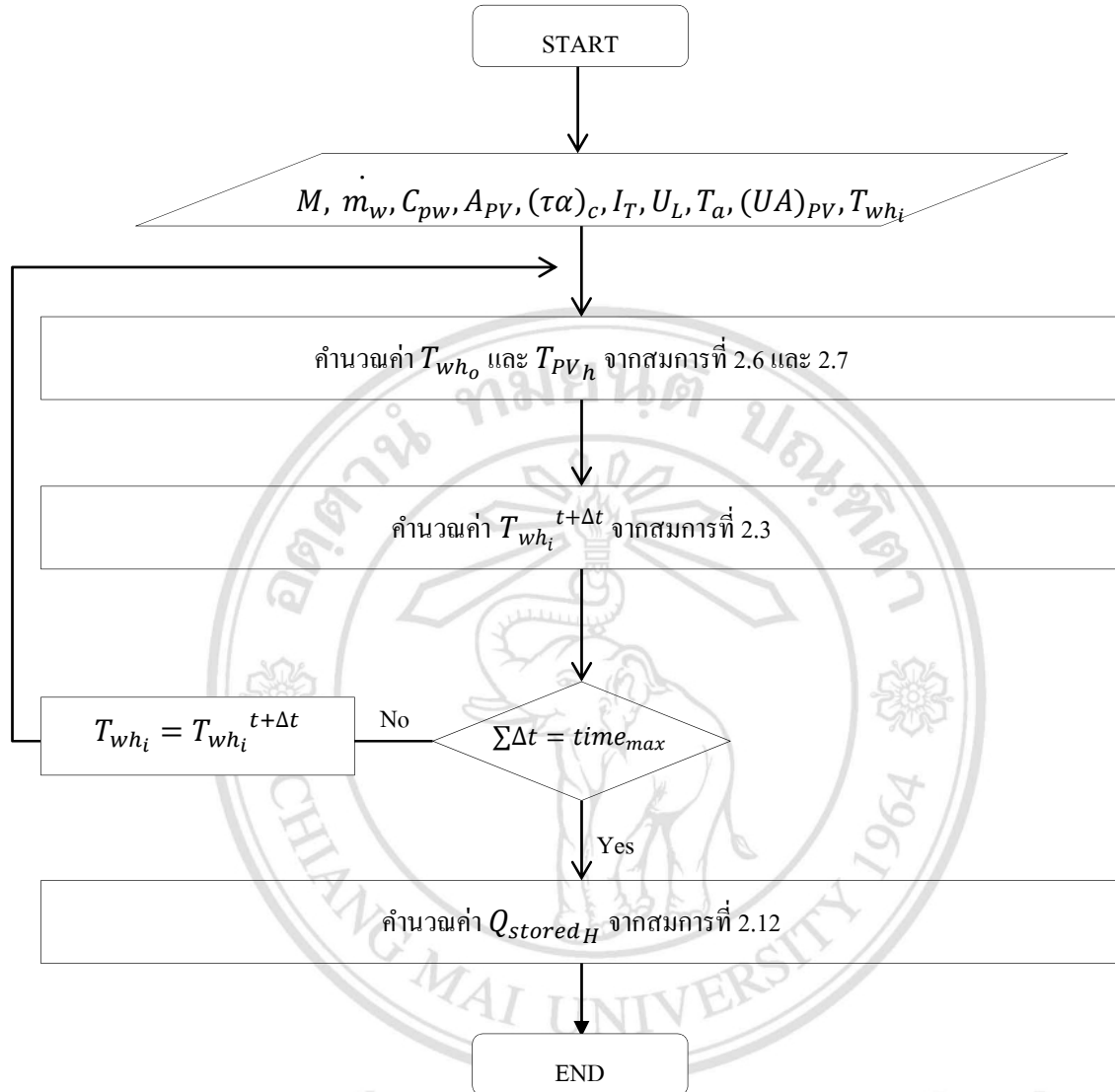
$$Q_{stored_H} = \frac{M_w C_{pw} (T_{wh_i}^{t+\Delta t} - T_{wh_i}^t)}{\Delta t} \quad (2.12)$$

เมื่อ M_w คือ มวลของน้ำในถังน้ำร้อน, (kg)

$T_{wh_i}^{t+\Delta t}$ คือ อุณหภูมิของน้ำในถังที่เวลา, $t + \Delta t$, (K)

$T_{wh_i}^t$ คือ อุณหภูมิของน้ำในถังที่เวลา, t , (K)

จากสมการข้างต้น สามารถนำมาใช้คำนวณหาอุณหภูมิน้ำในถังน้ำร้อน ในตอนกลางวันของแต่ละระบบโมดูลได้ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนผังการทำนายอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อน ในตอนกลางวัน

2.2.2. การผลิตน้ำเย็นสำหรับเวลากลางคืน

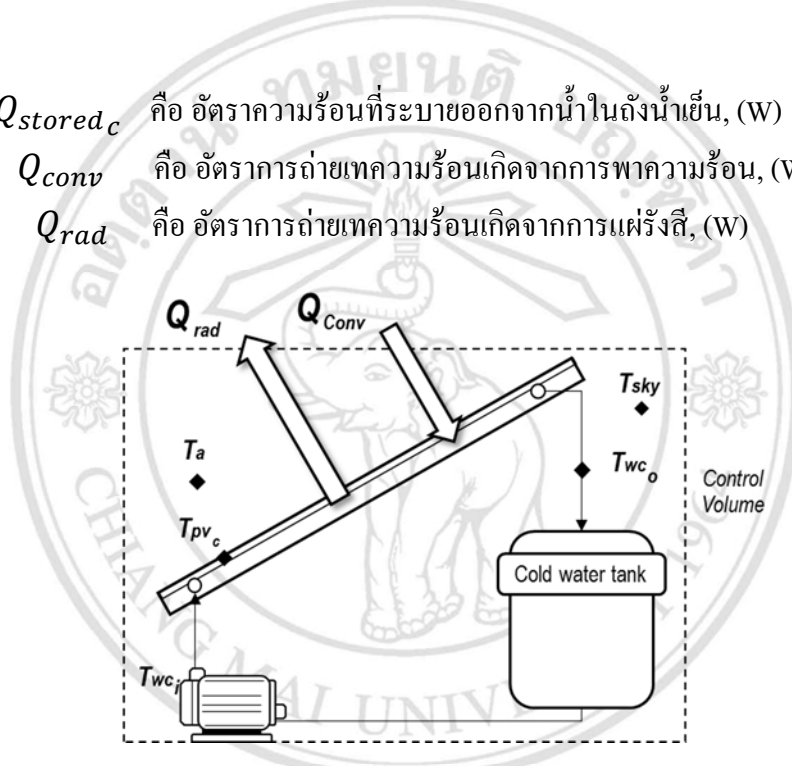
การทำงานของระบบทำน้ำเย็นภาคกลางคืน การหมุนเวียนน้ำจะเหมือนกับระบบทำน้ำร้อนตอนกลางวัน แต่ใช้โมดูลเป็นส่วนระบายความร้อนจากน้ำในถังออกสู่บรรยากาศ โดยกระบวนการระบายความร้อนจะเกิดขึ้นในเวลากลางคืน โดยพิจารณาจาก การแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าและการพาความร้อนสู่อากาศแวดล้อม นำน้ำจากถังมาผ่านโมดูล โดยอัตราการความร้อนจากการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้า สูงกว่าอัตราการความร้อนที่ได้จากการพาความร้อนจากอากาศรอบๆ จะทำให้อุณหภูมิ น้ำที่บรรจุอยู่ในถังมีอุณหภูมิลดลง

2.2.2.1 การผลิตน้ำเย็นสำหรับโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน เวลากลางคืน

จากรูปที่ 2.5 อัตราความเย็นของน้ำในถังของระบบ โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน จึงเท่ากับ ผลรวมระหว่างอัตราความร้อนที่ได้จากการแผ่รังสีกับการพาความร้อน ซึ่งสามารถเขียนสมดุลพลังงาน การผลิตน้ำเย็นในเวลากลางคืนของระบบ ได้ดังนี้

$$Q_{stored_c} = Q_{conv} - Q_{rad} \quad (2.13)$$

- เมื่อ Q_{stored_c} คือ อัตราความร้อนที่ระบายออกจากน้ำในถังน้ำเย็น, (W)
 Q_{conv} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนเกิดจากการพาความร้อน, (W)
 Q_{rad} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนเกิดจากการแผ่รังสี, (W)



รูปที่ 2.5 สมดุลพลังงานการผลิตน้ำเย็นสำหรับเวลากลางคืนของระบบ โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน

สำหรับระบบ โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน กำหนดให้ตัวถังน้ำร้อนหุ้มฉนวนเป็นอย่างดี ทำให้อัตราความร้อนที่สูญเสียจากผิวถังน้ำร้อน, (Q_{loss}) มีค่าเท่ากับ ศูนย์ สามารถจัดรูปสมการของ ได้ดังนี้

$$MC_{pw}(T_{wc_i}^{t+\Delta t} - T_{wc_i}^t) = A_{PV}\Delta t[h_{PV,a}(T_a - T_{PV_c}) - \epsilon\sigma(T_{PV_c}^4 - T_{sky}^4)] \quad (2.14)$$

จากสมการดังกล่าว สามารถจัดรูปสมการเพื่อคำนวณหาอุณหภูมิของน้ำเย็นภายในถังตอน กลางคืนสำหรับระบบ โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน ได้ดังนี้

$$T_{wci}^{t+\Delta t} = \frac{A_{PV}\Delta t}{MC_{pw}} [h_{PV,a}(T_a - T_{PVc}) - \varepsilon\sigma(T_{PVc}^4 - T_{sky}^4)] + T_{wci}^t \quad (2.15)$$

- เมื่อ M_w คือ มวลของน้ำในถังน้ำ, (kg)
 C_{pw} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.180 kJ/kg-K)
 $T_{wci}^{t+\Delta t}$ คือ อุณหภูมิของน้ำในถังที่เวลา, $t + \Delta t$ (K)
 T_{wci}^t คือ อุณหภูมิของน้ำในถังที่เวลา, t (K)
 $h_{PV,a}$ คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของโมดูลกับอากาศหน้าโมดูล, (W/m²K)
 T_{PVc} คือ อุณหภูมิของโมดูลตอนกลางคืน, (K)
 T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, (K)
 T_{sky} คือ อุณหภูมิของท้องฟ้า, (K)
 ε คือ ค่าสภาพการเปล่งรังสี
 σ คือ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 - \text{K}^4$
 Δt คือ ช่วงเวลาในการคำนวณ, (s)

จากรูปที่ 2.6 พบว่า อัตราความร้อนที่ระบายออกจากของไหลที่ผ่านโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับระบบโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบน, (Q_{waterc}) เท่ากับ

$$Q_{waterc} = \dot{m}_w C_{pw} (T_{wco} - T_{wci}) \quad (2.16)$$

โดยอัตราความร้อนที่ระบายออกจาก โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ จะเท่ากับผลรวมระหว่างอัตราความร้อนที่ได้จากการแผ่รังสีกับการพาความร้อน ซึ่งสามารถเขียนสมดุลพลังงานการผลิตน้ำเย็นในเวลา กลางคืนของระบบ ได้ดังนี้

$$\dot{m}_w C_{pw} (T_{wco} - T_{wci}) = A_{PV} [h_{PV,a}(T_a - T_{PVc}) - \varepsilon\sigma(T_{PVc}^4 - T_{sky}^4)] \quad (2.17)$$

จากสมการดังกล่าว สามารถจัดรูปสมการเพื่อคำนวณอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกโมดูลได้ดังนี้

$$T_{wco} = \frac{A_{PV}}{\dot{m}_w C_{pw}} [h_{PV,a}(T_a - T_{PVc}) - \varepsilon\sigma(T_{PVc}^4 - T_{sky}^4)] + T_{wci} \quad (2.18)$$

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ โมดูลกับอากาศแวดล้อมหน้าโมดูล ในตอนกลางคืน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.17 โดยสามารถจัดรูปสมการได้ดังนี้

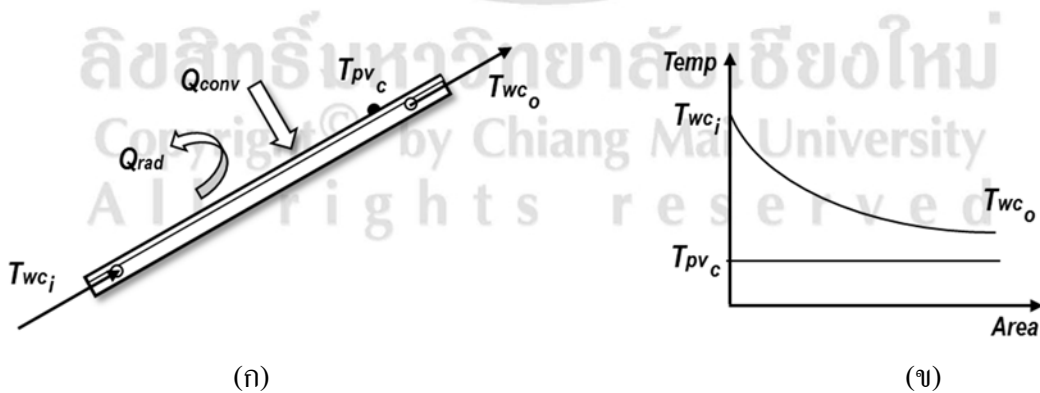
$$h_{PV,a} = \frac{\dot{m}_w C_{pw} (T_{wc_o} - T_{wc_i}) + \varepsilon \sigma A_{PV} (T_{PV_c}^4 - T_{sky}^4)}{A_{PV} (T_a - T_{PV_c})} \quad (2.19)$$

ทั้งนี้ค่าสภาพการเปล่งรังสีสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.17 ได้เช่นกัน โดยพิจารณา ณ เวลาที่ค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของโมดูลแล้ว ($T_a = T_{PV_c}$) จะทำให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเกิดจากการพาความร้อนมีค่าเท่ากับ ศูนย์ จึงสามารถจัดสมการได้ดังนี้

$$\varepsilon = \frac{\dot{m}_w C_{pw} (T_{wc_i} - T_{wc_o})}{\sigma A_{PV} (T_{PV_c}^4 - T_{sky}^4)} \quad (2.20)$$

จากข้อมูลผลการทดลอง เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ โมดูลกับอากาศแวดล้อมหน้าโมดูล มาคำนวณหาค่าสภาพการเปล่งรังสีตั้งสมการที่ 2.20 พบว่า ค่าสภาพการเปล่งรังสีของโมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบนมีค่าเฉลี่ยในแต่ละคืน เท่ากับ 0.918

จากรูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิโมดูล อุณหภูมิของน้ำขาเข้าและขาออกจากโมดูล สามารถนำมาคำนวณหาอุณหภูมิน้ำเย็นขาออก โมดูลชนิดไม่มีกระจกปิดทับบนได้ Stoecker [1989] ดังนี้



รูปที่ 2.6 (ก) สมดุลพลังงานที่โมดูล (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโมดูล น้ำเข้าและออกกับพื้นที่

$$T_{wc_o} = T_{wc_i} + (T_{PV_c} - T_{wc_i}) \left(1 - e^{\frac{(-hA)_{PV,w}}{\dot{m}_w C_{pw}}}\right) \quad (2.21)$$

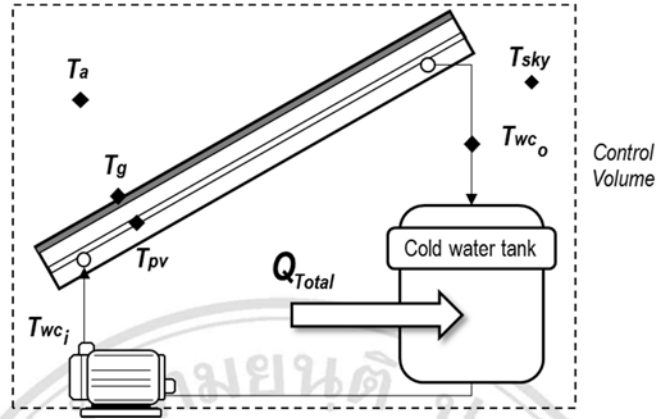
เมื่อ	m_w	คือ อัตราการไหลของน้ำ, (L/H)
	C_{pw}	คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.180 kJ/kg-K)
	T_{wh_o}	คือ อุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากโมดูล, (K)
	T_{wh_i}	คือ อุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าจากโมดูล, (K)
	T_{PV_c}	คือ อุณหภูมิหน้าโมดูลตอนกลางคืน, (K)
	A_{PV}	คือ พื้นที่รับรังสีด้านหน้าของโมดูล, (m ²)
	$(hA)_{PV,w}$	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมดูลกับน้ำที่ผ่าน โมดูล, (W/K)

2.2.2.2 การผลิตน้ำเย็นสำหรับโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบน เวลากลางคืน

จากรูปที่ 2.7 อัตราความเย็นของน้ำในถังของโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบน เท่ากับ อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม ซึ่งเป็นผลรวมระหว่างอัตราความร้อนที่ได้จากการแผ่รังสีกับการพาความร้อนระหว่างโมดูล กระจกปิดทับหน้าโมดูล และอากาศแวดล้อมด้านหน้าโมดูล ซึ่งสามารถเขียนสมดุลพลังงานการผลิตน้ำเย็นในเวลากลางคืนของระบบ ได้ดังนี้

$$Q_{total} = Q_{conv} - Q_{rad} \quad (2.22)$$

เมื่อ	Q_{Total}	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมระหว่างโมดูล กระจกปิดทับหน้าโมดูล และอากาศแวดล้อมด้านหน้าโมดูล, (W)
	Q_{conv}	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนเกิดจากการพาความร้อน, (W)
	Q_{rad}	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนเกิดจากการแผ่รังสี, (W)



รูปที่ 2.7 สมดุลพลังงานการผลิตน้ำเย็นสำหรับโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบน เวลากลางวัน

อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมระหว่างโมดูล กระจกปิดทับหน้าโมดูลและอากาศแวดล้อม ด้านหน้าโมดูล สามารถคำนวณได้จาก

$$Q_{Total} = \frac{MC_{pw}(T_{wc_i}^{t+\Delta t} - T_{wc_i}^t)}{\Delta t} \quad (2.23)$$

อัตราความร้อนที่ได้จากการแผ่รังสีระหว่างโมดูลและอัตราความร้อนจากการพาความร้อนระหว่างโมดูลและอากาศแวดล้อมด้านหน้าโมดูล สามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q_{rad} = \frac{(T_{PVc} - T_{sky})}{R_{rad}} \quad (2.24)$$

$$Q_{conv} = \frac{(T_a - T_{PVc})}{R_{conv}} \quad (2.25)$$

จากสมการที่ 2.23 เมื่อแทนค่าอัตราความร้อนที่ได้จากการแผ่รังสีกับการพาความร้อนระหว่างโมดูลและอากาศแวดล้อมด้านหน้าโมดูล จากสมการ 2.24 และ 2.25 ตามลำดับ สามารถจัดรูปสมการใหม่ได้ เป็น

$$\frac{MC_{pw}(T_{wc_i}^{t+\Delta t} - T_{wc_i}^t)}{\Delta t} = \frac{(T_a - T_{PVc})}{R_{conv}} - \frac{(T_{PVc} - T_{sky})}{R_{rad}} \quad (2.26)$$

ทั้งนี้ ในเทอมของอัตราความร้อนจากการแผ่รังสีกับการพาความร้อนระหว่างโมดูลและอากาศ แวดล้อมด้านหน้าโมดูล จากสมการที่ 2.26 สามารถรวมเป็นพจน์เดียวกันได้ โดยใช้ค่าความต้านทานความร้อนระหว่างโมดูลและอากาศแวดล้อม (R_{total}) มาช่วยพิจารณา ดังนั้นสามารถจัดรูปสมการของระบบโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบน ได้ดังนี้

$$\frac{MC_{pw}(T_{wci}^{t+\Delta t} - T_{wci}^t)}{\Delta t} = \frac{(T_a - T_{PVc})}{R_{total}} \quad (2.27)$$

จากสมการดังกล่าวสามารถจัดรูปสมการเพื่อคำนวณหาอุณหภูมิของน้ำเย็นภายในถึงตอนกลางคืน สำหรับโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบน ได้ดังนี้

$$T_{wci}^{t+\Delta t} = \frac{\Delta t}{MC_{pw}} \left[\frac{(T_a - T_{PVc})}{R_{total}} \right] + T_{wci}^t \quad (2.28)$$

- เมื่อ M_w คือ มวลของน้ำในถังน้ำ, (kg)
- C_{pw} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.180 kJ/kg-K)
- $T_{wci}^{t+\Delta t}$ คือ อุณหภูมิของน้ำในถังที่เวลา, $t + \Delta t$ (K)
- T_{wci}^t คือ อุณหภูมิของน้ำในถังที่เวลา, t (K)
- T_{PVc} คือ อุณหภูมิหน้าโมดูลตอนกลางคืน, (K)
- T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, (K)
- T_{sky} คือ อุณหภูมิของท้องฟ้า, (K)
- R_{total} คือ ความต้านทานความร้อนระหว่างโมดูลและอากาศแวดล้อม, (W/K)
- ϵ คือ ค่าสภาพการเปล่งรังสี
- σ คือ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)
- Δt คือ ช่วงเวลาในการคำนวณ, (s)

ทั้งนี้ค่า R_{total} ของโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับ จะสามารถหาได้จากการทดลอง พบว่า ค่า R_{total} ของโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบนมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.46 W/K

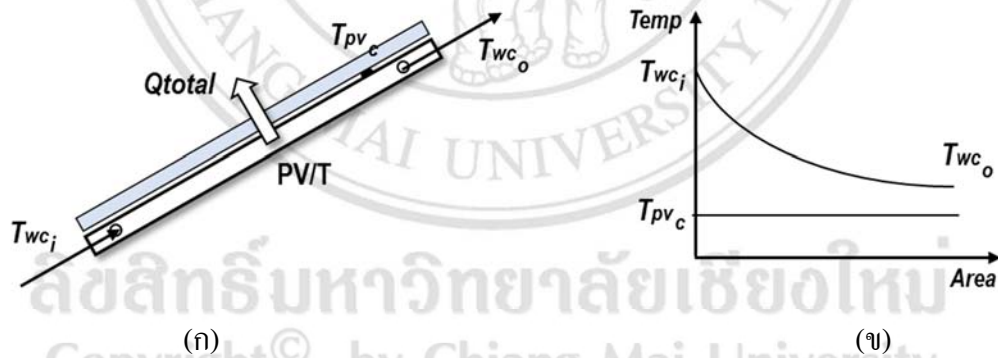
จากรูปที่ 2.8 ก พบว่า สมดุลพลังงานระหว่างอัตราความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำเมื่อผ่าน โมดูล กับ อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมระหว่างโมดูล และอากาศแวดล้อมด้านหน้าโมดูลของระบบโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบน สามารถจัดรูปสมการได้ดังนี้

$$m_w C_{pw} (T_{wc_o} - T_{wc_i}) = \frac{(T_a - T_{PV_c})}{R_{total}} \quad (2.29)$$

จากสมการดังกล่าว สามารถจัดรูปสมการเพื่อคำนวณหาอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกโมดูลได้ดังนี้

$$T_{wc_o} = \frac{1}{m_w C_{pw}} \left[\frac{(T_a - T_{PV_c})}{R_{total}} \right] + T_{wc_i} \quad (2.30)$$

จากรูปที่ 2.8 ข จากความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิโมดูล อุณหภูมิของน้ำขาเข้าและขาออกจากโมดูล สามารถนำมาคำนวณหาอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกโมดูลชนิดมีกระจกปิดทับบนได้ Stoecker [1989] ดังนี้



รูปที่ 2.8 (ก) สมดุลพลังงานที่โมดูล (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโมดูล น้ำเข้าและออกกับพื้นที่

$$T_{wc_o} = T_{wc_i} + (T_{PV_c} - T_{wc_i}) \left(1 - e^{\left(\frac{(-hA)_{PV,w}}{m_w C_{pw}} \right)} \right) \quad (2.31)$$

เมื่อ m_w คือ อัตราการไหลของน้ำ, (L/H)

C_{pw} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.180 kJ/kg-K)

T_{who} คือ อุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากโมดูล, (K)

T_{whi} คือ อุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าจากโมดูล, (K)

T_{PVc} คือ อุณหภูมิหน้าโมดูลตอนกลางวัน, (K)

$(hA)_{PV,w}$ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมดูลกับน้ำที่ผ่านโมดูล, (W/K)

ดังนั้นสามารถคำนวณหาอัตราการความร้อนที่ดึงออกจากน้ำในถังเก็บน้ำเย็น, ($Q_{storedc}$) จะได้ดัง
สมการต่อไปนี้

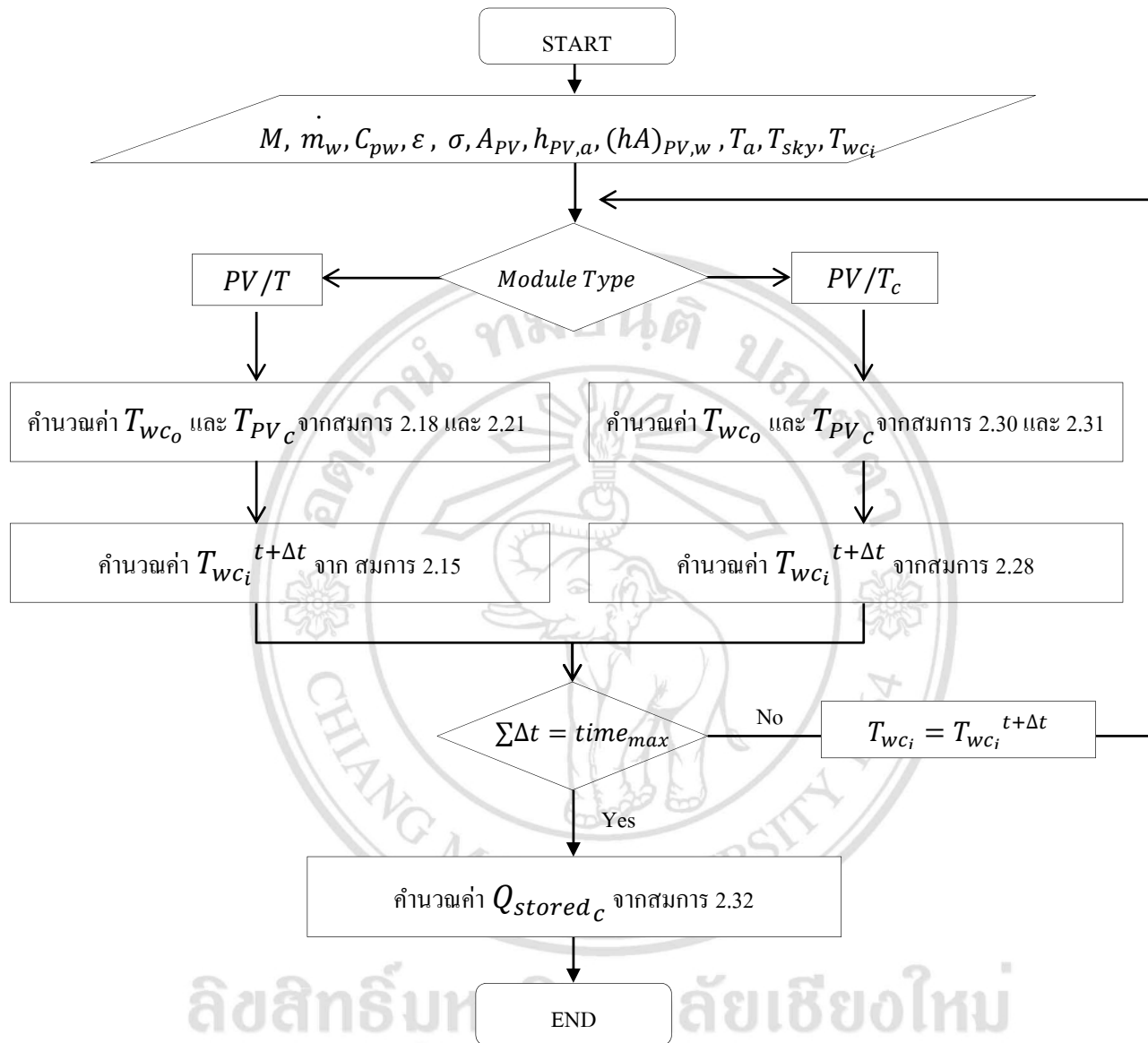
$$Q_{storedc} = \frac{M_w C_{pw} (T_{wci}^{t+\Delta t} - T_{wci}^t)}{\Delta t} \quad (2.32)$$

เมื่อ M_w คือ มวลของน้ำในถังน้ำเย็น, (kg)

$T_{wci}^{t+\Delta t}$ คือ อุณหภูมิของน้ำในถังที่เวลา $t + \Delta t$, (K)

T_{wci}^t คือ อุณหภูมิของน้ำในถังที่เวลา t , (K)

จากสมการข้างต้น สามารถนำมาใช้หาอุณหภูมิน้ำในถังน้ำเย็น ในตอนกลางคืนได้ ดังรูปที่ 2.9



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright © by Chiang Mai University
 All Rights Reserved
 รูปที่ 2.9 แผนผังการทำนายอุณหภูมิน้ำในถังน้ำเย็น ในตอนกลางคืน

2.3 การคำนวณค่าอุณหภูมิอากาศและท้องฟ้า

ในการคำนวณอุณหภูมิอากาศ (T_a) สามารถจำลองโดยใช้ค่าอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดมาทำการหาอุณหภูมิที่เวลาใดๆ โดยจะอยู่ในรูปสมการที่ 2.33 [นริศ ประทีนทอง, 2539] และค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุด และต่ำสุดของจังหวัดเชียงใหม่ที่นำมาใช้ที่ได้มาจากการเก็บข้อมูลของศูนย์ภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา ดังแสดงในรูปที่ 2.10

$$T_a(t) = \frac{1}{2} \left[(T_{max} + T_{min}) + (T_{max} - T_{min}) \sin \left(\frac{2\pi}{24} (t - 9) \right) \right] \quad (2.33)$$

เมื่อ $T_a(t)$ คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อมที่เวลา t , ($^{\circ}\text{C}$)

T_{max} คือ อุณหภูมิบรรยากาศสูงสุดในวัน, ($^{\circ}\text{C}$)

T_{min} คือ อุณหภูมิบรรยากาศต่ำสุดในวัน, ($^{\circ}\text{C}$)

CLIMATOLOGICAL DATA FOR THE PERIOD 1981-2010													
Station CHIANG MAI											Elevation of station above MSL	313 Meters	
Index station 48327											Height of barometer above MSL	314 Meters	
Latitude 18 47 N											Height of thermometer above ground	1.25 Meters	
Longitude 98 58 E											Height of rain gauge	0.70 Meters	
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
Temperature (Celsius)													
Mean	21.5	23.9	27.1	29.3	28.2	27.6	27.2	26.8	26.7	26.1	24.0	21.4	25.8
Mean max.	29.8	32.7	35.2	36.5	34.2	32.7	31.8	31.5	31.7	31.4	30.1	28.6	32.2
Mean min.	14.9	16.2	19.5	22.9	23.8	24.0	23.9	23.7	23.2	22.2	19.2	15.7	20.8
Ext. max.	35.2	37.7	40.9	41.4	42.4	39.3	39.0	36.5	35.8	37.9	34.7	33.4	42.4
Ext. min.	8.6	9.4	13.0	16.3	18.3	21.2	20.5	21.2	19.5	14.0	9.3	3.8	3.8

รูปที่ 2.10 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ในช่วง 30 ปี พ.ศ. 2524-2553 ของจังหวัดเชียงใหม่

(ที่มา: ศูนย์ภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา, 2558)

สำหรับอุณหภูมิท้องฟ้า (T_{sky}) Bliss (1961) ได้ให้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิท้องฟ้ากับอากาศที่บรรยากาศทั่วไป และความชื้นสัมพัทธ์ไว้ดังนี้ ซึ่งสมการนี้ใช้ได้ถ้าท้องฟ้ามี เมฆปกคลุม

$$T_{sky} = T_a \left[0.8 + \frac{T_{dp} - 273.15}{250} \right]^{1/4} \quad (2.34)$$

เมื่อ T_{sky} คือ อุณหภูมิท้องฟ้า, (K)
 T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, (K)
 T_{dp} คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง, (K)

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง สามารถหาได้จากการเปิดกราฟ psychrometric chart โดยข้อมูลที่จะนำมาใช้เปิดกราฟนั้น จะแบ่งที่มาจากสองกรณีดังนี้ กรณีแรก การหาสมรรถนะการผลิตน้ำเย็นที่ได้จากการทดลอง จะใช้ข้อมูลอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และ กระเปาะเปียกที่ได้จากการทดลอง กรณีที่สอง การทำนายการผลิตน้ำเย็นตลอดทั้งปี จะใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยรายเดือน โดยอิงข้อมูลจากสภาพภูมิอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ ดังตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง เฉลี่ยรายเดือน ประจำปี พ.ศ.2557
 (ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา: https://www.m-society.go.th/ewt_news.php?nid=14571/)

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ค่าความชื้นสัมพัทธ์	73	66	61	65	73	79	82	84	83	81	80	74
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	20.7	24.2	27.6	29.4	29.0	28.1	27.3	27.0	27.1	26.3	25.3	22.9

2.4 การคำนวณค่ารังสีแสงอาทิตย์

ในการคำนวณค่ารังสีแสงอาทิตย์นั้นเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นเวลาสุริยะ (Solar time) เป็นเวลาที่สอดคล้องกับตำแหน่งดวงอาทิตย์ โดยเวลาที่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์มีค่ามุมเงยหรือมุมยกขึ้น (Altitude) สูงสุด คือ เวลาเที่ยงสุริยะ (Solar noon) ซึ่งจะแตกต่างจากเวลามาตรฐานท้องถิ่น (Standard time) ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลหลักสองประการ คือ ความแตกต่างของเส้นลองจิจูด (Longitude) ที่ใช้คำนวณเวลามาตรฐานท้องถิ่นกับเส้นลองจิจูดเมริเดียนของตำแหน่งที่ต้องการพิจารณา และเนื่องจากวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์มีค่าที่แตกต่างกันไปทั้งปี จึงทำให้เวลามาตรฐานท้องถิ่นและเวลาสุริยะต่างกัน ซึ่งจะมีค่าชดเชยที่เรียกว่า สมการเวลา (Equation of time, E) สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างเวลามาตรฐานท้องถิ่นและเวลาสุริยะสามารถคำนวณได้ดังนี้ (Duffie and Beckman, 1980) ดังนี้

$$\text{Solar time} - \text{Standard time} = 4(L_{st} - L_{loc}) + E \quad (2.35)$$

โดยที่ $E = 9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B \quad (2.36)$

และ $B = \frac{360(n-81)}{365} \quad (2.37)$

- เมื่อ E = สมการเวลา
 N = วันที่ของปี
 L_{st} = ตำแหน่งของเส้นลองจิจูด (Longitude) ที่ใช้คำนวณเวลามาตรฐานท้องถิ่น
 L_{loc} = ตำแหน่งเส้นลองจิจูดของบริเวณที่พิจารณาโดย ทิศตะวันตกจะมีค่าเป็นบวก
 และทิศตะวันออกจะมีค่าเป็นลบ

ค่ารังสีแสงอาทิตย์เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลกในแต่ละวันจากพระอาทิตย์ขึ้นจนถึงพระอาทิตย์ตกสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$H_0 = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \times \left[\cos \theta \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360} \sin \theta \sin \delta \right] \quad (2.38)$$

โดยที่
$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360(284 + n)}{365} \right] \quad (2.39)$$

$$\omega_s = \cos^{-1} \left[\frac{\sin \theta \sin \delta}{\cos \theta \cos \delta} \right] = \cos^{-1} (-\tan \theta \tan \delta) \quad (2.40)$$

- เมื่อ H_0 คือ ค่ารังสีแสงอาทิตย์เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศโลก ($\text{MJ/m}^2\text{-day}$)
 G_{sc} คือ ค่าคงที่สุริยะ (Solar constant) ซึ่งมีค่าประมาณ $1,372 \text{ W/m}^2$
 n คือ วันที่ของปี
 ϕ คือ มุมละติจูดหรือเส้นรุ้งของตำแหน่งที่พิจารณา
 ω_s คือ มุมชั่วโมงพระอาทิตย์ตกดิน (Sunset hour angle) เป็นมุมตกกระทบบนระนาบ
 ค่ารังสีตรงกับพื้นในแนวระดับ
 δ คือ มุมระหว่างตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่เที่ยงสุริยะกระทำกับแนวระนาบ
 อีควีเตอร์ หรือเรียกมุมดังกล่าวว่า มุมเดคลิเนชัน (Declination angle)

ตัวแทนวันที่ของแต่ละเดือนที่นำมาคำนวณได้ดังตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 วันที่ที่เป็นตัวแทนของแต่ละเดือน (กำหนดวันที่ค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศของโลกมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของค่ารังสีดังกล่าวตลอดทั้งเดือน)

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
วันที่ของเดือน	17	16	16	15	15	11	17	16	15	15	15	10
วันที่ของปี (n)	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344

ที่มา: Duffie and Beckman, 1980

รังสีอาทิตย์รวมที่ตกบนพื้นโลกจะประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจาย สำหรับประเทศไทยค่ารังสีกระจายเฉลี่ย (Daily diffuse solar radiation, H_d) จะพิจารณาค่ารังสีอาทิตย์รายวันที่เฉลี่ยในแต่ละเดือน จากข้อมูลทางสถิติของประเทศไทย ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$\frac{H_d}{H_0} = -4.6408 + 26.5495 \left(\frac{H}{H_0} \right) - 28.3422 \left(\frac{H}{H_0} \right)^2 - 31.4546 \left(\frac{H}{H_0} \right)^3 + 46.4421 \left(\frac{H}{H_0} \right)^4 \quad (2.41)$$

เมื่อ H_d คือ รังสีกระจายรายวัน, ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{-day}$)

H_0 คือ รังสีรวมรายวันเฉลี่ย, ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{-day}$)

H คือ รังสีรวมรายวัน, ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{-day}$)

ค่ารังสีรวมรายชั่วโมงสามารถคำนวณหาได้โดยกำหนดค่าอัตราส่วนรังสีรวมรายชั่วโมงต่อรังสีรวมรายวันดังนี้

$$r_i = \frac{I}{H} \quad (2.42)$$

$$r_i = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \left(\frac{2\pi \omega_s}{360} \right) \cos \omega_s} \quad (2.43)$$

$$\text{โดยที่ } a = a_1 + a_2 \sin(\omega_s - 60) \quad (2.44)$$

$$b = b_1 + b_2 \sin(\omega_s - 60) \quad (2.45)$$

เมื่อ I = ค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมง ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{-hr}$)

H = ค่ารังสีรวมรายวัน ($\text{MJ/m}^2\text{-day}$)

ω = มุมซัน (hour angle) กำหนดเป็น 15 องศาต่อชั่วโมง ที่เที่ยง

สุริยะเป็นศูนย์ ในตอนเช้ามีค่าเป็นลบ และในตอนบ่ายมีค่าเป็นบวก

a_1, a_2, b_1 และ b_2 = ค่าคงที่ที่สถานที่ต่างๆ ของประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์ a_1, a_2, b_1 และ b_2 ของสถานีต่างๆ ในประเทศไทย

สถานี	a_1	a_2	b_1	b_2
เชียงใหม่	0.514	0.228	0.512	0.033
อุบลราชธานี	0.76	-0.031	0.207	0.238
หาดใหญ่	0.307	-0.124	0.417	0.007

ที่มา: นริศ ประทินทอง, 2539

ค่ารังสีกระจายรายชั่วโมงคำนวณได้โดยกำหนดค่าอัตราส่วนของรังสีกระจายชั่วโมงต่อค่ารังสีรายวันดังนี้

$$r_d = \frac{I_d}{H_d} = \frac{\pi}{24} \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \left(\frac{2\pi\omega_s}{360} \right) \cos \omega_s} \quad (2.46)$$

ดังนั้นจะได้ค่ารังสีตรงรายชั่วโมงดังนี้

$$I_b = I - I_d \quad (2.47)$$

เมื่อ I_b = ค่ารังสีตรงรายชั่วโมง ($\text{MJ/m}^2\text{-hr}$)

I_d = ค่ารังสีกระจายรายชั่วโมง ($\text{MJ/m}^2\text{-hr}$)

นอกจากนี้ในกรณีติดตั้งโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมเอียงกับแนวระดับยังมีรังสีอีกส่วนหนึ่งที่สะท้อนมาจากสิ่งแวดล้อมรอบๆ โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากลงบนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะคำนวณได้จากสมการที่

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + (I_b + I_d) \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \rho_g \quad (2.48)$$

โดยที่
$$R_b = \frac{I_{bt}}{I_b} = \frac{I_{bn} \cos \theta}{I_{bn} \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (2.49)$$

และ
$$\cos \theta_z = \cos \theta \cos \delta \cos \omega + \sin \theta \sin \delta \quad (2.50)$$

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \sin \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (2.51)$$

เมื่อ I_T = รังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบบนระนาบเอียง ($\text{MJ/m}^2 \cdot \text{hr}$)

I_{bn} = แนวนรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิว

I_{bt} = รังสีตรงรายชั่วโมงที่ตกกระทบบนระนาบเอียง ($\text{MJ/m}^2 \cdot \text{hr}$)

β = มุมที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เอียงทำมุมกับแนวระดับ (degree)

θ = มุมที่รังสีตรงตกกระทบบนแกนที่ตั้งฉากบนระนาบในแนวเอียง (degree)

θ_z = มุมที่รังสีตรงตกกระทบบนแกนที่ตั้งฉากบนระนาบในแนวระดับ (degree)

ρ_g = แพลกเตอร์ของรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากสิ่งแวดล้อม (Ground reflectance or Albedo) มีค่าประมาณ 0.2 เมื่อโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์วางอยู่บนพื้นดิน หรือพื้นหญ้า และ 0.8 เมื่อวางอยู่บนพื้นคอนกรีต

γ = มุมอะซิมุท (Azimuth angle) ของระนาบเอียง มีค่าเป็นศูนย์เมื่อโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์หัน ไปทางทิศใต้ มีค่าเป็นลบในทิศตะวันออก และมีค่าเป็นบวกในทิศตะวันตก (degree)

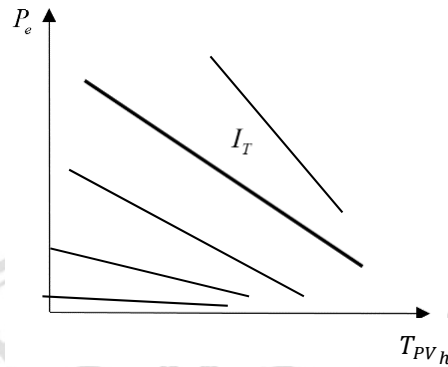
2.5 การประเมินกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

สมการที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการทำนาย กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละวัน โดยโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้าเมื่อมีรังสีอาทิตย์มาตกกระทบบนแผ่นเซลล์ โดยอิทธิพลที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของตัวโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิโมดูล ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$P_e = f [T_{PVh}, I_T] \quad (2.52)$$

ทั้งนี้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นจะเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มของรังสี (I_T) และอุณหภูมิของโมดูลในตอนกลางวัน (T_{PVh}) กับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (T_a) ซึ่งในงานวิจัยของอรรถกร อาสนคำ และคณะ

(2558) ได้ทดสอบสมรรถนะในการผลิตไฟฟ้าจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่า ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิของโมดูล ดังแสดงในภาพที่ 2.11

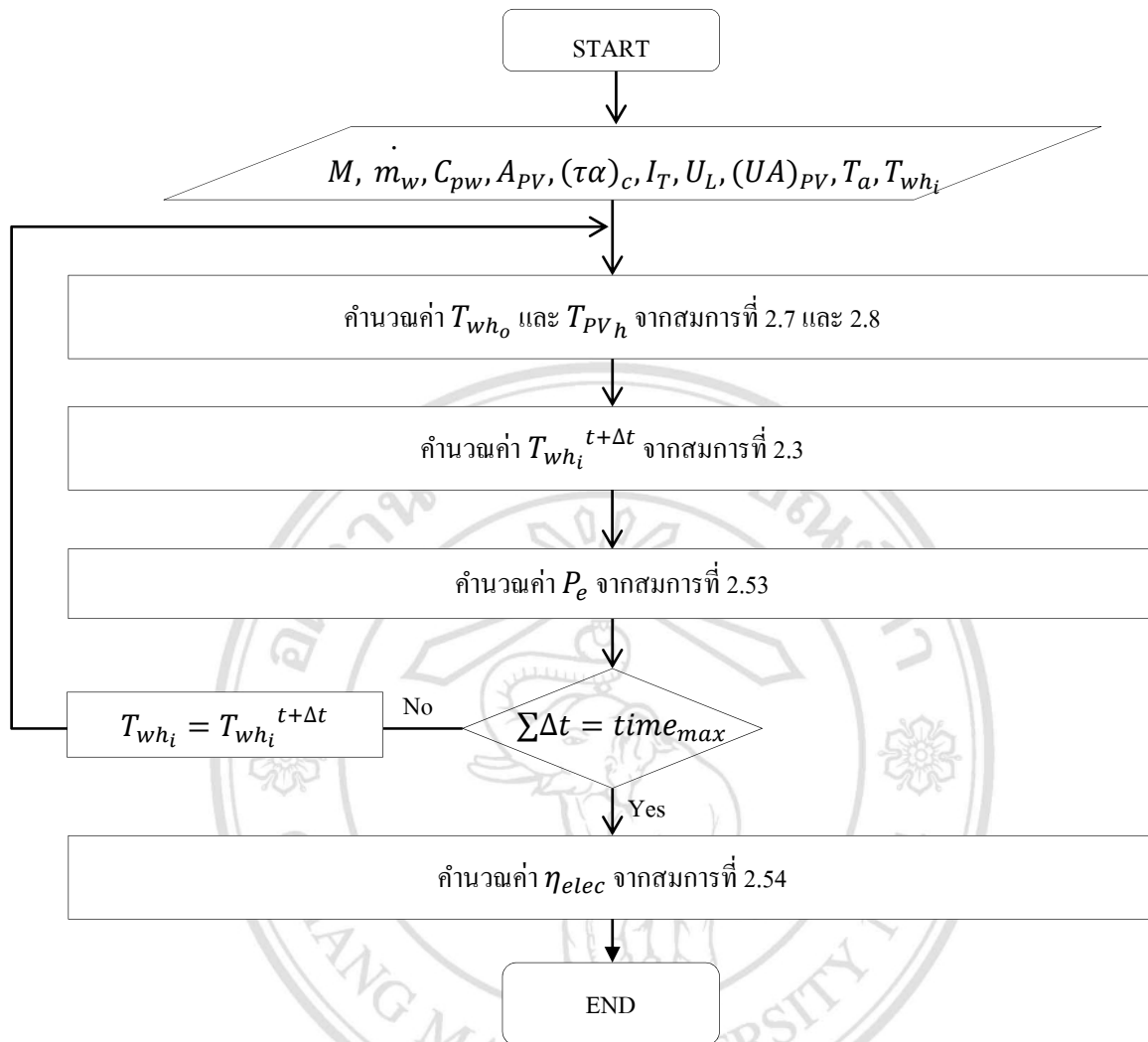


รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตและอุณหภูมิ ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ ซึ่งจะอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$P_e = a + bI_T + cI_T^2 + dT_{PVh} + eI_T T_{PVh} + fI_T^2 T_{PVh} \quad (2.53)$$

จากสมการดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ถ้าสามารถคำนวณความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิโมดูล และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมจะสามารถประเมินกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยค่าอุณหภูมิโมดูลจะต้องคำนวณแยกเป็น 2 กรณี คือ อุณหภูมิโมดูลชนิด PV/T ที่ไม่มีกระจกปิดทับด้านบนกับ โมดูลชนิด PV/T ที่มีกระจกปิดทับด้านบน ดังรูปที่ 2.12

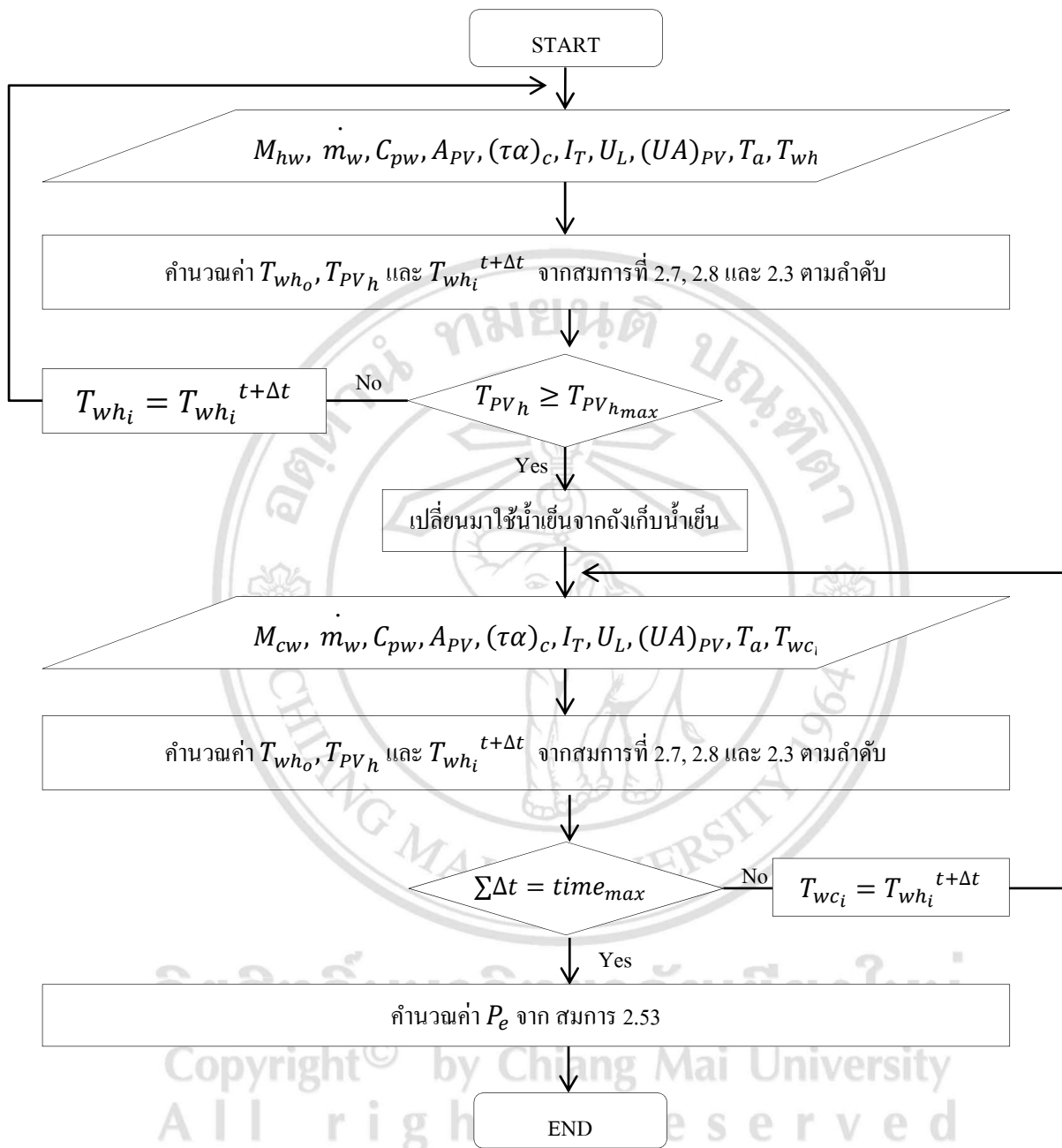
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.12 แผนผังการทำงานนายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตในตอนกลางวันได้

2.6 การประยุกต์ใช้น้ำเย็น ในตอนกลางวัน

น้ำเย็นที่ผลิตได้ในตอนกลางคืน จะถูกนำมาใช้ระบายความร้อนให้แก่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในตอนกลางวัน โดยเปลี่ยนน้ำป้อนเข้าโมดูล จากเดิมใช้น้ำจากถังน้ำร้อนที่ใช้ผลิตน้ำร้อนในตอนกลางวัน เป็นป้อนน้ำเย็นที่ผลิตได้ในตอนกลางคืนจากถังน้ำเย็นเข้าสู่โมดูลแทน ทั้งนี้การหาระบบที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้น้ำเย็นมาระบายความร้อนแก่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ จะเริ่มจากคาดการณ์ช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิสูงสุด ให้เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับป้อนน้ำเย็นจากถังเก็บน้ำเย็นที่ผลิตได้ในเวลากลางคืน จำนวนอัตราการไหลของน้ำเย็นที่ป้อน และอุณหภูมิน้ำเย็นเริ่มต้นจากถังเก็บน้ำเย็นที่จะเหมาะสมแก่การระบายความร้อนแก่โมดูลในช่วงเวลาดังกล่าวได้ ดังรูปที่ 2.13 นี้



รูปที่ 2.13 แผนผังการทำนายหาระบบที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้น้ำเย็นระบายความร้อนแก้มอดูล เซลล์แสงอาทิตย์ในตอนกลางวัน

2.7 การประเมินสมรรถนะในการผลิตไฟฟ้า น้ำร้อนและน้ำเย็นของ โมดูล

2.7.1. การประเมินสมรรถนะในการผลิตไฟฟ้าของโมดูล

สมรรถนะในการผลิตไฟฟ้า จะหาจากประสิทธิภาพทางไฟฟ้า (η_{elec}) สามารถหาได้จาก อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ และพลังงานจากความเข้มของรังสีอาทิตย์ ตกกระทบบนพื้นที่ หน้าโมดูล ดังนั้นสมรรถนะในการผลิตไฟฟ้า โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดไฮบริดโฟโตโวลตาอิก/ความร้อนสามารถคำนวณหาสมรรถนะได้จาก

$$\eta_{elec} = \frac{P_e}{I_T A_{PV}} \quad (2.54)$$

เมื่อ P_e คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้, (W)

A_{PV} คือ พื้นที่รับรังสีด้านหน้าของโมดูล, (m²)

I_T คือ ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกบน โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์, (W/m²)

2.7.2. การประเมินประสิทธิภาพในการผลิตน้ำร้อนของ โมดูล

จากขอบเขตในการผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนของระบบ ดังรูปที่ 2.1 กำหนดให้พลังงานขาเข้าคือ ปริมาณพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนโมดูล โดยผลที่ได้คือ อัตราความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำในถังน้ำร้อนรวมของช่วงเวลาที่พิจารณา สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.14 ดังนั้นประสิทธิภาพในการผลิตน้ำร้อน โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดไฮบริดโฟโตโวลตาอิก/ความร้อน สามารถคำนวณได้จาก

$$\eta_H = \frac{Q_{stored_h}}{I_T A_{PV}} \quad (2.55)$$

เมื่อ Q_{stored_h} คือ อัตราความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำในถังน้ำร้อน,(W)

A_{PV} คือ พื้นที่รับรังสีด้านหน้าของโมดูล, (m²)

I_T คือ ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกบนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์, (W/m²)

2.7.3. การประเมินสมรรถนะในการผลิตน้ำเย็นของโมดูล

ในช่วงเวลากลางคืน อัตราความร้อนที่เปลี่ยนแปลงของน้ำในถังน้ำเย็น เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าและการพาความร้อนสู่อากาศแวดล้อม เป็นผลให้อุณหภูมิของน้ำในถังน้ำเย็นนั้นลดลง โดยอุณหภูมิของน้ำในถังจะลดลงหรือสูงขึ้นตามอุณหภูมิอากาศแวดล้อมและอุณหภูมิท้องฟ้า ตามลักษณะของท้องฟ้าต่างกันดังนี้ ท้องฟ้ากระจ่าง, ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม และมีฝนตก

ดังนั้น จากขอบเขตในการผลิตน้ำเย็นของระบบ ดังรูปที่ 2.5 พบว่าพลังงานขาเข้า มีเพียงงานของปั้มน้ำที่ใช้ส่งน้ำจากถังเก็บน้ำเย็นเข้าสู่โมดูล โดยผลที่ได้คือ อัตราความร้อนที่ระบายออกจากน้ำในถังน้ำเย็นรวมของช่วงเวลาที่พิจารณา ดังนั้นสมรรถนะของระบบในการผลิตน้ำเย็น หาได้จาก

$$COP_c = \frac{Q_{storedc}}{W_{pump} \times \Delta t} \quad (2.56)$$

เมื่อ $Q_{storedc}$ คือ อัตราความร้อนที่ระบายออกจากน้ำในถังน้ำเย็น, (J)

W_{pump} คือ พลังงานไฟฟ้าของปั้มน้ำ, (W)

Δt คือ ช่วงเวลาในการคำนวณ, (s)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8 การประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน

การคำนวณต่างๆในหัวข้อที่ผ่านมาจะนำมาใช้วิเคราะห์ศักยภาพในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดไฮบริดโฟโตโวลตาอิก/ความร้อน ในการผลิตไฟฟ้า น้ำร้อน และน้ำเย็น ตลอดปี โดยเทียบจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด หรือจากการลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนและการนำน้ำเย็นไปใช้ลดอุณหภูมิโมดูลในตอนกลางวัน เพื่อนำมาคิดวิเคราะห์เทียบผลประหยัดและต้นทุนในการลงทุนว่าระบบใดให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุดหรือมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดยมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด โดยการประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์วิธีที่ง่ายและนิยมมากที่สุด คือ ระยะเวลาการคืนทุน (Payback period, n) วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้คำนวณหาปีที่คุ้มทุนของโครงการที่พิจารณา ซึ่งจะไม่คิดภาษีและนำดอกเบี้ยมารวมวิเคราะห์ ทำให้ง่ายแก่การคำนวณ โดยสามารถคำนวณจาก

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน(ปี)} = \frac{\text{มูลค่าในการลงทุนรวม (บาท)}}{\text{ผลตอบแทนสะสมสุทธิรายปี (บาท/ปี)}}$$

(2.57)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved