บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 การคำนวณค่ารังสีอาทิตย์

ในการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์นั้นเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นเวลาสุริยะ (Solar time) เป็นเวลาที่สอดคล้องกับตำแหน่งดวงอาทิตย์ โดยเวลาที่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์มีค่ามุมเงย (Altitude) สูงสุด คือเวลาเที่ยงสุริยะ (Solar noon) ซึ่งจะแตกต่างจากเวลามาตรฐานท้องถิ่น (Standard time) สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างเวลามาตรฐานท้องถิ่นและเวลาสุริยะสามารถคำนวณได้จากสมการ (Duffie and Beckman, 1980) ดังนี้

$$\text{Solar time - Standard time} = 4(L_{st} - L_{loc}) + E \tag{2.1}$$

โดยที่

$$E = 9.87\sin(2B) - 7.53\cos B - 1.5\sin B \tag{2.2}$$

และ

$$B = \frac{360(n-1)}{365} \tag{2.3}$$

เมื่อ L_{st} = ตำแหน่งเส้นลองจิจูด (Longitude) ที่ใช้คำนวณเวลามาตรฐานท้องถิ่น

L_{loc} = ตำแหน่งเส้นลองจิจูดของบริเวณที่พิจารณา

E = สมการเวลา (Equation of time)

n = วันที่ของปีหรือวันจูเลียน (Julian date)

ค่ารังสีอาทิตย์เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลกในแต่ละวัน จากพระอาทิตย์ขึ้นจนถึงพระอาทิตย์ตก สามารถคำนวณได้ดังนี้ (Duffie and Beckman, 1980)

$$\mathrm{H_o} = \frac{24\times 3600}{\pi} G_{sc}\left[1 + 0.033\cos\left(\frac{360n}{365}\right)\right]\times\left[\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360}\sin\phi\sin\delta\right] \tag{2.4}$$

โดยที่

$$\delta = 23.45\sin\left[\frac{360(284+n)}{365}\right] \tag{2.5}$$

$$\omega_s = \cos^{-1}\left[\frac{\sin\phi\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta}\right] = \cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta) \tag{2.6}$$

เมื่อ H_o = ค่ารังสีอาทิตย์เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลก (MJ/m^2-day)

G_{sc} = ค่าคงที่สุริยะ (Solar constant) ซึ่งมีค่าประมาณ 1372 (W/m^2)

ϕ = มุมละติจูด (Latitude angle) หรือเส้นรุ่งของตำแหน่งที่พิจารณา

δ = มุมเดคลิเนชัน (Declination angle) หรือมุมแนวลำแสงอาทิตย์ไปยังจุดกึ่งกลางของโลกที่เที่ยงวันสุริยะกระทำกับแนวระนาบอิเควเตอร์

ω_s = มุมชั่วโมงที่พระอาทิตย์ตกดิน (Sunset hour angle) เป็นมุมตกกระทบระหว่างค่ารังสีตรงกับพื้นในแนวระดับ

ในการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์โดยทั่วไปแล้ว มักจะใช้วันที่ที่เป็นตัวแทนของเดือนในการคำนวณ ซึ่งในการหาวันที่ที่เป็นตัวแทนของเดือนนั้นทำได้โดยการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลก (H_0) ในแต่ละวันของเดือนนั้นๆ แล้วหาค่าเฉลี่ยตลอดทั้งเดือน ถ้าค่าเฉลี่ยของเดือนนั้นใกล้เคียงกับวันใดมากที่สุดวันนั้นก็จะเป็นวันที่ที่เป็นตัวแทนของเดือน จากการศึกษาจะได้วันที่ที่เป็นตัวแทนของเดือนแสดงดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 วันที่ที่เป็นตัวแทนของแต่ละเดือน (กำหนดวันที่ค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศของโลกมีค่าใกล้เคียง กับค่าเฉลี่ยของค่ารังสีดังกล่าวตลอดทั้งเดือน)

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	14	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 (ธีระพงษ์ ว่องรัตนะไพศาล และคณะ, 2546)

$$\frac{H_d}{H_o} = -4.6408 + 26.5495\left(\frac{H}{H_o}\right) - 28.3422\left(\frac{H}{H_o}\right)^2 - 31.4546\left(\frac{H}{H_o}\right)^3 + 46.4421\left(\frac{H}{H_o}\right)^4 \qquad (2.7)$$

เมื่อ H_d = รังสีกระจายรายวันในแนวระดับ (MJ/m^2-day)

H = รังสีรวมรายวันในแนวระดับ (MJ/m^2-day)

ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงสามารถคำนวณได้โดยกำหนดค่าอัตราส่วนรังสีรวมรายชั่วโมงต่อรังสีรวมรายวันดังนี้

$$r_t = \frac{I}{H} = \frac{\pi}{24} \times \frac{(a + b\cos\omega)(\cos\omega - \cos\omega_s)}{\sin\omega_s - \frac{2\pi\omega_s \cos\omega_s}{360}} \qquad (2.8)$$

โดยที่ a = $a_1 + a_2 \sin(\omega_s - 60^o)$

b = $b_1 + b_2 \sin(\omega_s - 60^o)$

เมื่อ I = รังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงในแนวระดับ (MJ/m^{2}hr)

ω = มุมชั่วโมง (Hour angle) กำหนดให้เที่ยงวันเวลาสุริยะมีค่าเป็นศูนย์ และให้แต่ละชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 15^o โดยในตอนเช้ามีค่าเป็นลบและตอนบ่ายมีค่าเป็นบวก

a_1, a_2, b_1, b_2 = ค่าคงที่ที่สถานีต่างๆ ของประเทศไทยซึ่งแสดงดังในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ a_1, a_2, b_1, b_2 ของสถานีต่างๆ ในประเทศไทย

สถานี	a_1	a_2	b_1	b_2
เชียงใหม่	0.514	0.228	0.512	0.033
อุบลราชธานี	0.760	– 0.031	0.207	0.238
หาดใหญ่	0.307	– 0.124	0.417	0.007
กรุงเทพฯ	0.792	– 0.250	0.189	0.471

(ที่มา: Naris Pratinthong, 1996)

ค่ารังสีกระจายรายชั่วโมงสามารถคำนวณได้โดยกำหนดค่าอัตราส่วนของรังสีกระจายรายชั่วโมงต่อค่ารังสีกระจายรายวันดังนี้

$$r_d = \frac{I_d}{H_d} = \frac{\pi}{24} \times \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \frac{2\pi\omega_s \cos\omega_s}{360}} \qquad (2.9)$$

เมื่อทราบค่ารังสีรวมและรังสีกระจายรายชั่วโมงจากสมการที่ 2.8 และ 2.9 ดังนั้นจะคำนวณหาค่ารังสีตรงรายชั่วโมงได้ดังนี้

$$I_b = I - I_d \tag{2.10}$$

เมื่อ I_b = รังสีตรงรายชั่วโมงในแนวระดับ (MJ/m^2-hr)

I_d = รังสีกระจายรายชั่วโมงในแนวระดับ (MJ/m^2-hr)

ในการใช้งานจริงจะต้องวางตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้ทำมุมเอียงกับแนวระดับ เพื่อให้สามารถรับรังสีอาทิตย์ได้ดีตลอดทั้งปี ซึ่งจากการศึกษาพบว่ามุมเอียงดีที่สุดมีค่าเท่ากับมุมละติจูดของพื้นที่ที่พิจารณา ดังนั้นการคำนวณหาค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกบนระนาบในแนวเอียงได้ดังนี้

$$I_T = I_b R_b + I_d \frac{1+\cos\beta}{2} \tag{2.11}$$

นอกจากนี้ในกรณีที่วางตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำมุมเอียงกับแนวระดับยังมีรังสีอาทิตย์อีกส่วนหนึ่งที่สะท้อนมาจากสิ่งแวดล้อมรอบๆ ตัวเก็บรังสี ดังนั้นค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกลงบนตัวเก็บรังสีจะคำนวณได้จาก

$$I_T = I_b R_b + I_d \frac{1+\cos\beta}{2} + \rho_g (I_b + I_d)\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \tag{2.12}$$

โดยที่

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \tag{2.13}$$

$$\begin{aligned}\cos\theta = {} & \sin\delta\sin\phi\cos\beta - \sin\delta\cos\phi\sin\beta\cos\gamma + \cos\delta\cos\phi\cos\beta\cos\omega \\ & + \cos\delta\sin\phi\sin\beta\cos\gamma\cos\omega + \cos\delta\sin\beta\sin\gamma\sin\omega\end{aligned} \tag{2.14}$$

$$\cos\theta_z = \sin\delta\sin\phi + \cos\delta\cos\phi\cos\omega \tag{2.15}$$

เมื่อ I_T = รังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบตั้งฉากบนระนาบเอียง (MJ/m^2-hr)

I_{bT} = รังสีตรงรายชั่วโมงที่ตกกระทบตั้งฉากบนระนาบเอียง (MJ/m^2-hr)

β = มุมที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เอียงทำมุมกับแนวระดับ (degree)

θ = มุมที่รังสีตรงตกกระทบกับแกนที่ตั้งฉากบนระนาบในแนวเอียง (degree)

θ_z = มุมที่รังสีตรงตกกระทบกับแกนที่ตั้งฉากบนระนาบในแนวระดับ (Zenith angle)

ρ_g = แฟกเตอร์ของรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากสิ่งแวดล้อม (Ground reflectance or Albedo) มีค่าประมาณ 0.2 เมื่อตัวเก็บรังสีวางอยู่บนพื้นดินหรือพื้นหญ้า และ 0.8 เมื่อวางบนพื้นคอนกรีต

γ = มุมอะซิมุธ (Azimuth angle) ของระนาบเอียง มีค่าเป็นศูนย์เมื่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์หันไปทางทิศใต้ มีค่าเป็นลบในทิศตะวันออก และมีค่าเป็นบวกในทิศตะวันตก (degree)

2.2 แบบจำลองอุณหภูมิอากาศ

ในการคำนวณอุณหภูมิอากาศสามารถจำลองโดยใช้ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมาทำการหาค่าอุณหภูมิที่เวลาใดๆ ดังสมการที่ (2.16) (Naris Pratinthong, 1996)

ตารางที่ 2.3 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด ในช่วง พ.ศ.2547 - 2552 ของจังหวัดเชียงใหม่

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.
T_{max} (°C)	30.2	32.9	35.9	36.6	34.2	32.6	33.2	31.6	31.5	32.1	30.4	28.9
T_{min} (°C)	14.7	16.3	18.7	22.9	23.3	23.9	23.6	23.4	23.3	22.2	19.5	14.8

(ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2547)

$$T_a(t) = \frac{1}{2}\left[(T_{\max} + T_{\min}) + (T_{\max} - T_{\min})\sin\left(\frac{2\pi}{24}(t-9)\right)\right] \qquad (2.16)$$

เมื่อ $T_a(t)$ = อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เวลา t (°C)

$T_{\max}$ = อุณหภูมิบรรยากาศสูงสุดในวัน (°C)

$T_{\min}$ = อุณหภูมิบรรยากาศต่ำสุดในวัน (°C)

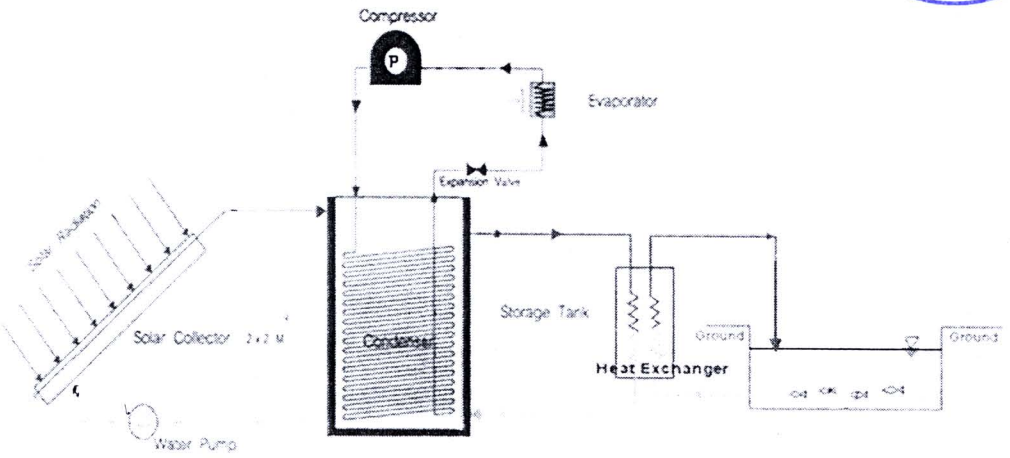
t = เวลา (hr)

2.3 การให้ความร้อนในบ่อปลาโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อน

การอุ่นน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ด้วยระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อนนั้น เริ่มจากน้ำร้อนในถังเก็บน้ำจะรับความร้อนจากตัวรับรังสีอาทิตย์ และรับความร้อนเสริมจากปั๊มความร้อนในกรณีที่แสงไม่พอหรือตอนกลางคืน น้ำในถังเก็บน้ำจะป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาโดยผ่าน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ เพื่อทำนายอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำและอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลา



รูปที่ 2.1 แผนผังการให้ความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาโดยระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อน

2.3.1 การคำนวณอุณภูมิในถังเก็บน้ำ (Storage Tank)

อุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนสามารถหาได้จากสมการสมดุลพลังงานทางความร้อนของถังเก็บน้ำ เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ จะสมมุติให้ถังเก็บสะสมมีอุณหภูมิสม่ำเสมอและไม่มีการแยกชั้นอุณหภูมิของน้ำ จะได้

สมการสมดุลพลังงานของถังเก็บน้ำ

$$Q_{coll} + Q_{cond} = Q_{HX} + Q_{loss} + (M_{w,st}\, C_p)(\frac{dT_{st}}{dt}) \tag{2.17}$$

ค่าอัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ Q_{coll} สามารถหาได้จาก

$$Q_{coll} = A_c\{F_R(\tau\alpha)_e I_T - F_R U_L(T_{st} - T_a)\} \tag{2.18}$$

ค่าอัตราความร้อนที่ได้จากปั๊มความร้อน Q_{cond} สามารถหาได้จาก

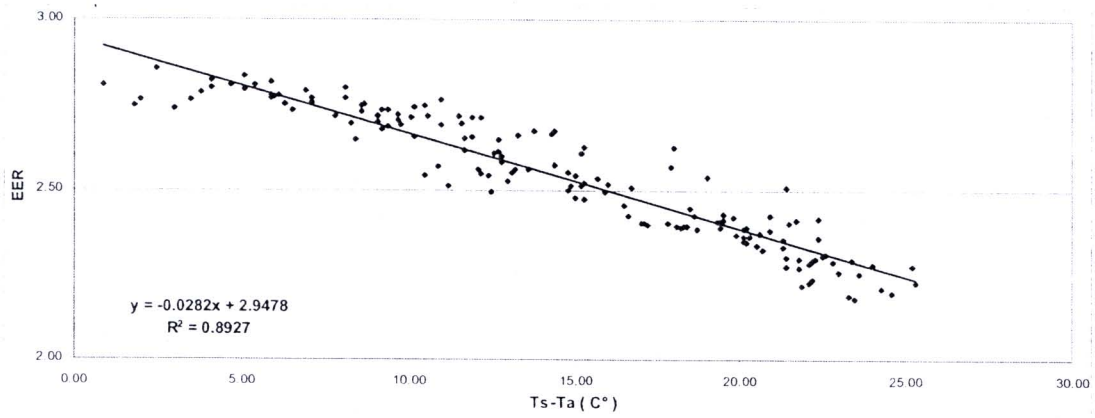
$$Q_{cond} = EER \times Power \tag{2.19}$$

EER คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างค่าอัตราความร้อนที่คอนเดนเซอร์ต่อกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบปั๊มความร้อน

จากการทดลองของ มารุด บูรพา (2009) พบว่าค่า EER มีความสัมพันธ์ค่อนข้างเชิงเส้นเทียบกับค่าอุณหภูมิแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำกับอุณหภูมิอากาศรอบๆ จัดรูปสมการได้ดังนี้

$$EER = a + b(T_{st} - T_a)$$

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 25 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 247934
เลขเรียกหนังสือ



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่า EER ของระบบปั๊มความร้อนกับอุณหภูมิแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำและอุณหภูมิอากาศรอบๆ (Ts-Ta) ของ มารุต บูรพา (2009)

ดังนั้นค่าอัตราความร้อนที่ได้จากปั๊มความร้อนสามารถจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$Q_{cond} = (a + b(T_{st} - T_a)) \times Power \tag{2.20}$$

ค่าอัตราความร้อนที่ได้จากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Q_{HX} สามารถหาได้จาก

$$Q_{HX} = \varepsilon_{HX} (mC_p)_{\min} (T_{st} - T_p) \tag{2.21}$$

ค่าอัตราการสูญเสียความร้อนของน้ำในถังเก็บน้ำสู่อากาศโดยรอบ Q_{loss} สามารถหาได้จาก

$$Q_{loss} = UA(T_{st} - T_a) \tag{2.22}$$

จัดรูปแบบใหม่ในสมการเชิงตัวเลขโดยเขียนสมการได้เป็น

$$T_{st}^{+} = T_{st} + (\frac{\Delta t}{M_W C_p})_{st} (Q_{coll} + Q_{cond} - Q_{HX} - Q_{loss})$$

$$T_{st}^{+} = T_{st} + (\frac{\Delta t}{M_W C_p})_{st} ([A_c \{F_R (\tau\alpha)_e I_T - F_R U_L (T_{st} - T_a)] + [(a + b(T_{st} - T_a)] \tag{2.23}$$

$$\times Power] - [\varepsilon_{HX} (mC_p)_{\min} (T_{st} - T_p))] - [UA(T_{st} - T_a)])$$

เมื่อ

Q_{coll} คือ ค่าอัตราความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (W)

Q_{cond} คือ ค่าอัตราความร้อนที่คอนเดนเซอร์ของปั๊มความร้อน(W)

Q_{HX} คือ ค่าอัตราความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน(W)

Q_{loss} คือ ค่าอัตราการสูญเสียความร้อนของน้ำในถังเก็บน้ำสู่อากาศโดยรอบ(W)

$M_{w,st}$ คือ มวลของน้ำในถังเก็บน้ำร้อน (kg)

ε_{HX} คือ ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

$(\dot{m}C_P)_{\min}$ คือ ค่าความจุความร้อนของน้ำกระแสเย็น (W/K)

$T_{st}^{\,t+\Delta t}$ คือ อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำที่เวลา $t+\Delta t$ (°C)

T_{st} คือ อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำที่เวลา t (°C)

$F_R(\tau\alpha)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านและดูดกลืนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

$F_R U_L$ คือ สิทธิ์การสูญเสียความร้อนค่าสัมประตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (W/m^2K)

I_T คือ ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m^2)

A_c คือ พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (m^2)

EER คือ Energy Efficiency Ratio

$Power$ คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับปั๊มความร้อน(W)

a,b คือ ค่าคงที่ ที่ได้จากการทดลอง

UA คือ ค่าสัมประสิทธิการสูญเสียความร้อนรวมของถังเก็บน้ำ (W/K)

2.3.2 การคำนวณอุณหภูมิในบ่อปลา

อุณหภูมิของน้ำในบ่อปลาสามารถหาได้จากสมการสมดุลพลังงานทางความร้อนของบ่อปลา เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ จะสมมุติให้บ่อปลามีอุณหภูมิสม่ำเสมอและไม่มีการแยกชั้นอุณหภูมิของน้ำ จะได้

$$\dot{Q}_{HX} + \dot{Q}_I = \dot{Q}_E + \dot{Q}_C + \dot{Q}_R + (M_{W,P} C_p)(\frac{dT_p}{dt}) \tag{2.24}$$

ค่าอัตราความร้อนจากการระเหย $\dot{Q}_E$ (Duffie and Beckman, 1991) สามารถหาได้จาก

$$\dot{Q}_E = A_P(P_a\{35u + 43(T_P - T_a)^{1.3}\}(\omega_P - \omega_a)) \tag{2.25}$$

ค่าอัตราความร้อนจากการพาความร้อน $\dot{Q}_C$ (Duffie and Beckman, 1991) สามารถหาได้จาก

$$\dot{Q}_C = \dot{Q}_E \times \frac{0.0006(T_p - T_a)}{(\omega_p - \omega_a)} \tag{2.26}$$

ค่าอัตราความร้อนจากการแผ่รังสี $\dot{Q}_R$ (Duffie and Beckman, 1991) สามารถหาได้จาก

$$\dot{Q}_R = \sigma\varepsilon A_P(T_P^4 - T_a^4) \tag{2.27}$$

ค่าอัตราความร้อนที่ได้จากรังสีแสงอาทิตย์ $\dot{Q}_I$ (Duffie and Beckman, 1991) สามารถหาได้จาก

$$\dot{Q}_I = \alpha I A_P \tag{2.28}$$

จัดรูปแบบใหม่ในสมการเชิงตัวเลขโดยเขียนสมการได้เป็น

$$T_P^+ = T_P + (\frac{\Delta t}{M_W C_p})_P(\dot{Q}_{HX} + \dot{Q}_I - \dot{Q}_E - \dot{Q}_C - \dot{Q}_R)$$

$$T_P^+ = T_P + (\frac{\Delta t}{M_w C_p})_P \{\varepsilon \dot{m}_c c_p (T_{st} - T_P) + \alpha I A_P - [A_P (P_a (35u + 43(T_P - T_a)^{1/3})(\omega_P - \omega_a)]$$
$$-[A_P \{P_a \{35u + 43(T_P - T_a)^{1/3}\} \times 0.0006(T_P - T_a)] - \sigma \varepsilon A_P (T_P^4 - T_a^4)\} \qquad (2.29)$$

เมื่อ

$\dot{Q}_I$ คือ ค่าอัตราความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ (W)

$\dot{Q}_E$ คือ ค่าอัตราความร้อนการระเหยของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา (W)

$\dot{Q}_C$ คือ ค่าอัตราความร้อนจากการพา (W)

$\dot{Q}_R$ คือ ค่าอัตราความร้อนจากการแผ่รังสี (W)

$M_{w,p}$ คือ มวลของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา (kg)

$\dot{m}_c$ คือ อัตราการไหลของน้ำกระแสเย็น (kg/s)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kgK)

T_a คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C)

T_p^+ คือ อุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่เวลา $t+\Delta t$ (°C)

T_p คือ อุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่เวลา t (°C)

Δt คือ ผลต่างของเวลาใด ๆ (s)

α คือ ค่าสัมประสิทธิการดูดซับรังสีแสงอาทิตย์

P_a คือ ค่าความดันบรรยากาศ (bar)

u คือ ค่าความเร็วลม(m/s)

ω_P คือ ค่า Humidity ratio ของผิวน้ำ ($kg_{water}/kg_{dry\ air}$)

ω_a คือ ค่า Humidity ratio ของอากาศ ($kg_{water}/kg_{dry\ air}$)

A_P คือ พื้นที่ผิวด้านบนของบ่อเลี้ยงปลา

σ คือ ค่าคงที่ของสเตฟานโบลต์ซมันน์ (5.67×10^{-8} W/m^2K^4)

ε คือ ค่า Emissivity ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา

2.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ความรู้ทางเศรษฐศาสตร์ ได้ถูกนำมาเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจซึ่งจะพิจารณาว่าระบบใดให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุดหรือมีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด โดยมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดการประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์วิธีที่ง่ายและนิยมใช้มากคือ

2.4.1 วิธีประเมินโดยคิดระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period)

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้คำนวณหาปีที่คุ้มทุนของโครงการที่พิจารณา ซึ่งจะไม่มีการคิดภาษีและนำดอกเบี้ยมาร่วมวิเคราะห์ ทำให้ง่ายแก่การคำนวณ ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period) สามารถคำนวณได้

$$\text{ระยะคืนทุน} = \text{เงินลงทุน} / \text{ผลกำไรสุทธิรายปี} \qquad (2.30)$$

เมื่อ

เงินลงทุน คือ มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนในการซื้อและติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อน

ผลกำไรสุทธิรายปี คือ ผลต่างของกำไรสุทธิต่อปี ที่ได้จากการขายปลาบ่อที่ทำการควบคุมอุณหภูมิและบ่อปลาที่ไม่ทำการควบคุมอุณหภูมิ หักจากค่าซื้อปลา ค่าอาหารปลา และค่าไฟฟ้าแล้ว

2.4.2 วิธีประเมินโดยคิดอัตราผลตอบแทนการคืนทุน (Internal Rate of Return)

อัตราผลตอบแทนการลงทุนหมายถึงอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนการลงทุนมีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายการลงทุน หรืออาจกล่าวได้ว่าอัตราผลตอบแทนการลงทุนคืออัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิในการลงทุน (Net Present Value, NPV) เท่ากับศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์ วิธีนี้มีการนำเอาค่าอัตราดอกเบี้ยมาร่วมคำนวณด้วย ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ถูกต้องมากขึ้นวิธีการหาอัตราผลตอบแทนการลงทุนเป็นการหาโดยใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and error) ค่าอัตราส่วนลดที่หาได้คือค่า IRR นั้นคือค่า i ที่ทำให้ NPV (i) ~0

$$NPV = \sum_{n=1}^{n}\left(\frac{NCF_n}{(1+i)^n}\right) - TIC = 0 \qquad (2.31)$$

เมื่อ

NCF_n คือ ผลกำไรสุทธิในปีที่ n (Baht)

i คือ อัตราผลตอบแทนในการลงทุนของการใช้ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อนในการควบคุมอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลา

N คือ อายุการใช้งานของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (year)

TIC คือ มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนทั้งหมด (Baht)