บรรณานุกรม

ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. การออกแบบระบบพลังงานความร้อน. พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพฯ: คณะพลังงานและวัสดุ; สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2537.

ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ อ.เมือง จ.เชียงใหม่. Climatological data for the period 30 years (1971-2000). ได้จาก http://www.cmmet.com 2547.

มารุด บูรพา. วิเคราะห์สมรรถนะระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีปั๊มความร้อนเสริม. วิทยานิพนธ์. เชียงใหม่: วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต; สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน; มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2552.

ธีรภัทร อนุชาติ.*การเลือกขนาดของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีปั๊มความร้อนเสริมที่เหมาะสมกับการใช้งานในโรงแรม*, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2549.

ศรีธร อุปคำ.*ศึกษาถึงสมรรถนะการทำน้ำร้อนจากตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อน*, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2543.

Dufie J, Beckman W. Solar Engineering of Thermal Processes. Second ed. John Wiley & Sons Interscience; 1991.

Mclinden M.O., Klein S.A., Lamon E.W. and Peskin A.P., " Thermodynamic and Transport Properties of Refrigerants and Refrigerant Mirtures " NIST Standard Reference Data base 23-Version 6 Copy right 1998 by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America 1998.

Dilip Jain , "Modeling the thermal performance of an aquaculture pond heating with greenhouse" Building and Environment 42 (2007) 557-565

Lamoureux Jonathan, Tiersch Terrence R., Hall Steven G., "Pond heat and temperature regulation (PHATR):Modeling temperature and energy balances in earthen outdoor aquaculture ponds" Aquacultural Engineering 34 (2006) 103-116

Das Tribeni, Tiwari G.N. and Sarkar Bikash, "Thermal Performance of a Greenhouse Fish Pond Integrated with Flat Plate Collector" International Journal of Agricultural Research 1 (5): 406-419, 2006

Whangchai N., Ungsethaphand T., Chimanat C., Mengumphun K., and Uraiwan S., Performance of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergli de Man*) Reared in eartnen ponds beneath plastic film shelters, Chiang Mai, J. Sci, 34(1), 2007, pp. 89-96.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการคำนวณ

ก.1 การคำนวณหาปริมาณรังสีอาทิตย์

การคำนวณหาปริมาณรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงที่ตกกระทบบนตัวเก็บรังสีแนวระนาบเอียงในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ได้แสดงการคำนวณหารังสีอาทิตย์รายชั่วโมงของวันที่ 17 มกราคม ที่เวลา 12:00 นาฬิกา ในกรณีที่ทราบค่ารังสีอาทิตย์รายวัน

กำหนดให้

มุมละติจูด จ.เชียงใหม่ $\phi = 18.783°$

มุมลองจิจูด จ.เชียงใหม่ $L_{loc} = 98.983°$

มุมลองจิจูด จ.อุบลราชธานี $L_{st} = 105°$

มุมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เอียงทำมุมกับแนวระดับ $\beta = 18.783°$

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์หันหน้าไปทางทิศใต้ มุมอะซิมุธ $\gamma = 0°$

วันที่ของปี $n = 17$ (ตารางที่ 2.1)

ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายวัน H = 17.25 MJ/m^{2}day (ตารางที่ 2.2)

Solar time หาได้จากสมการดังนี้

$$B = \frac{360(n-81)}{364}$$

$$= \frac{360(17-81)}{364}$$

$$= -63.3$$

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

$$= 9.87\sin(2\times(-63.3)) - 7.53\cos(-63.3) - 1.5\sin(-63.3)$$

$$= -9.968$$

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

$$= (12\times 60) - 4(105 - 98.983) - 9.968 = 685.964 \text{ นาที}$$

$$= \frac{685.964}{60}$$

$$= 11.433 \text{ ชั่วโมง หรือ } 11{:}26 \text{ นาฬิกา}$$

$$\omega = 15(11.433 - 12)$$

$$= -8.505°$$

มุมเดคลิเนชัน (Declination angle) หาได้จากสมการดังนี้

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

$$= 23.45\sin\left[\frac{360(284+17)}{365}\right]$$

$$= -20.917°$$

มุมชั่วโมงที่พระอาทิตย์ตกดิน (Sunset hour angle) หาได้จากสมการดังนี้

$$\omega_s = \cos^{-1}\left[\frac{\sin\phi\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta}\right] = \cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta)$$
$$= \cos^{-1}(-\tan(18.783)\tan(-20.917))$$
$$= 82.531°$$

จากสมการ

$$\cos\theta = \sin\delta\sin\phi\cos\beta - \sin\delta\cos\phi\sin\beta\cos\gamma + \cos\delta\cos\phi\cos\beta\cos\omega + \cos\delta\sin\phi\sin\beta\cos\gamma\cos\omega + \cos\delta\sin\beta\sin\gamma\sin\omega$$
$$= \sin(-20.917)\sin(18.783)\cos(18.783) - \sin(-20.917)\cos(18.783)\sin(18.783)\cos(0) + \cos(-20.917)\cos(18.783)\cos(18.783)\cos(0) + \cos(-20.917)\sin(18.783)\sin(18.783)\cos(0)\cos(-8.505) + \cos(-20.917)\sin(18.783)\sin(0)\sin(-8.505)$$
$$= 0.924$$

จากสมการ

$$\cos\theta_z = \sin\delta\sin\phi + \cos\delta\cos\phi\cos\omega$$
$$= \sin(-20.917)\sin(18.783) + \cos(-20.917)\cos(18.783)\cos(-8.505)$$
$$= 0.760$$

อัตราส่วนความเข้มของรังสีตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีตรงบนแนวระดับหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z}$$
$$= \frac{0.924}{0.760}$$
$$= 1.216$$

ค่า a1, a2, b1 และ b2 จากตารางที่ 2.3

$$a = a_1 + a_2\sin(\omega_s - 60°)$$
$$= 0.514 + 0.228\sin(82.531 - 60) = 0.601$$
$$b = b_1 + b_2\sin(\omega_s - 60°)$$
$$= 0.512 + 0.083\sin(82.531 - 60) = 0.544$$

ค่ารังสีนอกชั้นบรรยากาศรายวันหาได้จากสมการ

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

$$H_o = \frac{24 \times 3600 \times 1353}{\pi}\left[1 + 0.033\cos\left(\frac{360 \times 17n}{365}\right)\right]$$
$$\times\left[\cos(18.783)\cos(-20.917)\sin(82.531) + \frac{2\pi(82.531)}{360}\sin(18.783)\sin(-20.917)\right]$$

$$= 27.303 \text{ MJ/m}^2\text{day}$$

ค่ารังสีกระจายรายวันหาได้จากสมการ

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

$$= 27.302\left[\begin{array}{l} -4.6408 + 26.5495\left(\frac{17.25}{27.303}\right) - 28.3422\left(\frac{17.25}{27.303}\right)^2 \\ -31.4546\left(\frac{17.25}{27.303}\right)^3 + 46.4421\left(\frac{17.25}{27.303}\right)^4 \end{array}\right]$$

$$= 7.836 \text{ MJ/m}^2\text{day}$$

ค่ารังสีรวมรายชั่วโมงหาได้จากสมการ

$$I = H\left[\frac{\pi}{24} \times \frac{(a + b\cos\omega)(\cos\omega - \cos\omega_s)}{\sin\omega_s - \frac{2\pi\omega_s\cos\omega_s}{360}}\right]$$

$$= 17.25\left[\frac{\pi}{24} \times \frac{(0.601 + 0.544\cos(-8.505))(\cos(-8.505) - \cos(82.531))}{\sin(82.531) - \frac{2\pi(82.531)\cos(82.531)}{360}}\right]$$

$$= 2.745 \text{ MJ/m}^2\text{hr}$$

ค่ารังสีกระจายรายชั่วโมงหาได้จากสมการ

$$I_d = H_d\left[\frac{\pi}{24} \times \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \frac{2\pi\omega_s\cos\omega_s}{360}}\right]$$

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

$$= 7.836\left[\frac{\pi}{24}\times\frac{\cos(-8.505)-\cos(82.531)}{\sin(82.531)-\frac{2\pi(82.531)\cos(82.531)}{360}}\right]$$

$$= 1.095 \text{ MJ/m}^2\text{hr}$$

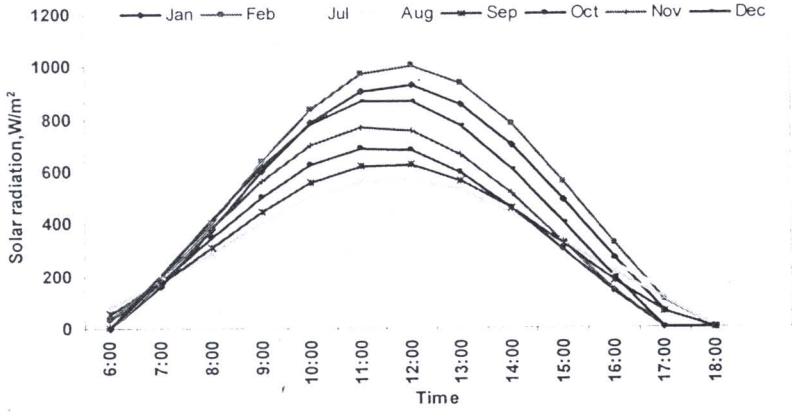
ค่ารังสีตรงรายชั่วโมงหาได้จากสมการ

$$I_b = I - I_d$$
$$= 2.745 - 1.095$$
$$= 1.651 \text{ MJ/m}^2\text{hr}$$

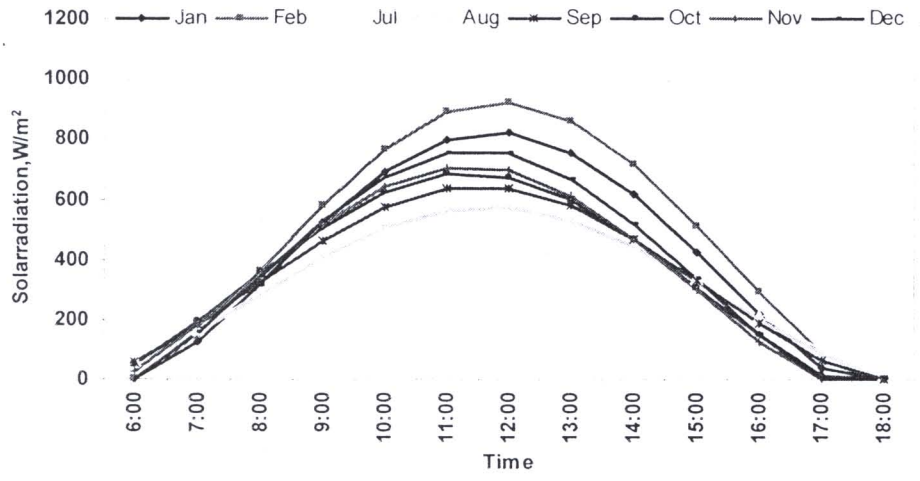
ดังนั้นค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในระนาบเอียงหาได้จากสมการ

$$I_T = I_b R_b + I_d\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + I\rho_g\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)$$
$$= 1.651\times 1.260 + 1.095\left(\frac{1+\cos(18.783)}{2}\right) + 2.745\times 0.8\left(\frac{1-\cos(18.783)}{2}\right)$$
$$= 3.026 \text{ MJ/m}^2\text{hr}$$
$$= 841 \text{ w/m}^2$$

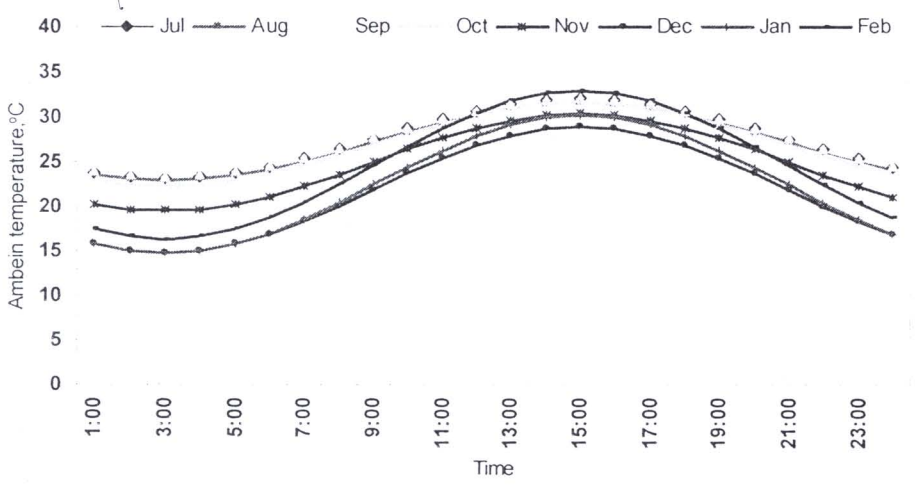
ค่ารังสีอาทิตย์ที่คำนวณโดยแทนค่าตัวแทนวันที่ของปีและค่าอุณหภูมิอากาศจังหวัดเชียงใหม่ที่ได้จากการคำนวณในแต่ละเดือนในหนึ่งปี แสดงดังรูป ที่ ก.1 - ก.3



รูปที่ ก.1 ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในแต่ละเดือนของพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่



รูปที่ ภ.2 ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นราบในแต่ละเดือนของพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่



รูปที่ ก.3 ค่าอุณหภูมิของอากาศในแต่ละเดือนของจังหวัดเชียงใหม่

ก.2 ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาค่าอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำและอุณหภูมิน้ำในบอเลี้ยงปลา

การทำงานของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อน จะทำงานตลอดทั้งวันซึ่งตัวอย่างในการคำนวณเพื่อหาค่าอัตราความร้อนในระบบ สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ก.2.1 ตัวอย่างการคำนวณในช่วงเวลากลางคืน

การคำนวณอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำและอุณหภูมิของบ่อเลี้ยงปลาในเวลากลางคืน น้ำในถังเก็บน้ำจะได้รับความร้อนจากปั๊มความร้อนและมีการป้อนความร้อนสู่น้ำในบ่อเลี้ยงปลา มีการคำนวณดังนี้

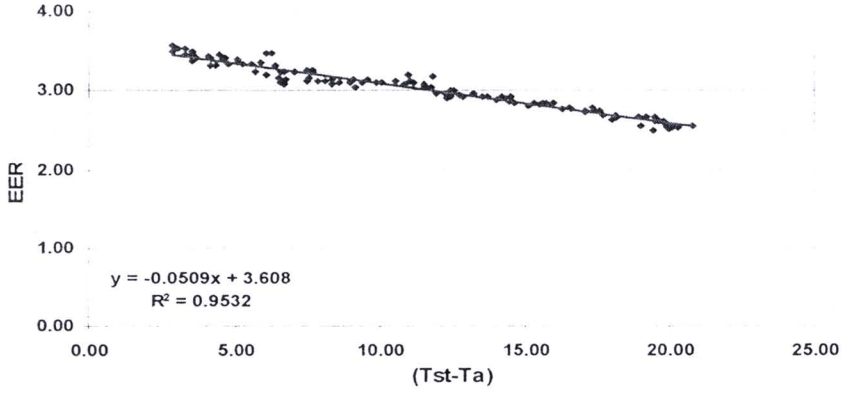
ค่าตัวแปรต้นที่ใช้ในการคำนวณ

1. อุณหภูมิอากาศ (Ta) = 25°C
2. ความชื้นสัมพัทธ์ =75 %
3. มวลของน้ำในถังเก็บน้ำ (Mw,st) = 300 kg
4. อัตราการไหลของน้ำกระแสเย็น ($\dot{m}_c$) =0.04 kg/s
5. อัตราการไหลของน้ำกระแสเย็น ($\dot{m}_h$) = 0.1 kg/s
6. อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำ (Tst) = 40°C
7. อุณหภูมิน้ำในบ่อปลา (Tp) = 26°C
8. ค่าความเร็วลม (u) = 3 m/s
9. กำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากปั๊มความร้อน (Power) = 1,000 W
10. มวลของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา (Mw,st) = 2,000 kg
11. พื้นที่ผิวบ่อปลา (Ap) = 25 m^2
12. ความดันบรรยากาศของเชียงใหม่ = 0.94 bar

ในการคำนวณค่าอัตราความร้อนที่ได้จากปั๊มความร้อนสามารถคำนวณได้จาก สมการ

$$Q_{cond} = ERR \times Power$$

และค่า *EER* สามารถหาได้จากการทดลองดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า EER กับค่าความต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำและอุณหภูมิของอากาศ (Tst-Ta)

จากรูปที่ ก.1 จะได้ค่า $ERR = -0.0509(T_{st} - T_a) + 3.608$

การหาอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำได้ดังสมการ

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

หาค่าอัตราความร้อนที่ได้จากปั๊มความร้อน (Q_{cond})

$$ERR = -0.0509(T_{st} - T_{air}) + 3.608$$

$ERR = -0.0509(40 - 22) + 3.608 = 2.59$

$Q_{cond} = ERR \times Power$

$Q_{cond} = 2.59 \times 1{,}000 = 2{,}590 \ W$

หาค่าอัตราความร้อนที่ป้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลา Q_{HX}

$Q_{HX} = \varepsilon_{HX} \dot{m}_c C_P (T_{hi} - T_p)$ และ $T_{hi} = T_{st}$ จะได้ $Q_{HX} = \varepsilon_{HX} \dot{m}_c C_P (T_{hst} - T_p)$

$Q_{HX} = 0.3 \times 0.04 \times 4{,}180(40 - 26) = 702.24 \ W$

หาอุณหภูมิของน้ำในถังที่เปลี่ยนไปใน 1 นาที

$$T_{st}^{+} = 40 + (\frac{60}{300 \times 4{,}180})(2{,}590 - 702.24) = 40.09 \ ^{o}C$$

อุณหภูมิของน้ำในถังจะถูกป้อนความร้อนสู่น้ำในบ่อเลี้ยงปลาโดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

<u>การหาอุณหภูมิของน้ำในบ่อปลาได้ดังสมการ</u>

$$T_P^{+} = T_P + (\frac{\Delta T}{M_W C_p})_P (Q_{HX} - Q_E - Q_C - Q_R)$$

เมื่อไม่มีการสูญเสียความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ค่าอัตราความร้อนที่น้ำในบ่อปลาได้รับจากน้ำร้อนในถังเก็บน้ำ (Q_{HX}) มีค่าเท่ากับค่าอัตราความร้อนที่น้ำในถังเก็บน้ำป้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลา

$Q_{HX} = 0.3 \times 0.04 \times 4{,}180(40 - 26) = 702.24$

หาความร้อนที่สูญเสียจากการระเหย Q_E ได้ดังสมการนี้

$Q_E = A_p P_a \{35u + 43(T_P - T_a)^{1/3}\}(\omega_P - \omega_a)$

หาค่า humidity ratio ของผิวน้ำของบ่อปลา (ω_P) ได้ดังนี้

และ $\omega_P = 0.622 \times (\frac{P_P}{0.94 - P_P})$ เมื่อ P_P คือค่าความดันที่ $T_{P,sat}$ ที่อุณหภูมิบ่อปลา 26°C

$$\omega_P = 0.622 \times (\frac{0.035}{0.94 - 0.035}) = 0.024$$

หาค่า humidity ratio ของอากาศ (ω_a) ได้ดังนี้

$\omega_a = 0.622 \times (\frac{P_a}{1.03 - P_a})$ เมื่อ P_a คือค่าความดันไอน้ำในอากาศ

$P_a = P_{sat@Ta} \times RH$ และ $P_{sat@Ta} = P_{sat@T=25^{o}C} = 0.031 bar$

$P_a = 0.031 \times 0.75 = 0.023 \ bar$

$$\omega_a = 0.622 \times (\frac{0.023}{0.94 - 0.023}) = 0.015$$

$Q_E = 25 \times 94\{35(3) + 43(26 - 25)^{1/3}\}(0.024 - 0.015) = 3{,}130W$

หาความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อน Q_C ได้ดังสมการนี้

$$Q_C = Q_E \times 0.0006 \frac{(T_P - T_a)}{(\omega_p - \omega_a)}$$

$$Q_C = 3{,}130 \times 0.0006 \frac{(26-25)}{(0.024-0.015)} = 187.81W$$

หาความร้อนที่สูญเสียจากการแผ่รังสี Q_R ได้ดังสมการนี้

$$Q_R = A_p \sigma \varepsilon (T_r^4 - T_a^4)$$

$$Q_R = 25 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 0.9((273+26)^4 - (273+25)^4) = 135.75W$$

สามารถคำนวณอุณหภูมิของบ่อปลาเมื่อเวลาผ่านไป 1 นาทีได้ดังนี้

$$T_P^+ = 26 + (\frac{\Delta t}{M_W C_p})_P (Q_{HX} - Q_E - Q_C - Q_R)$$

$$T_P^+ = 26 + (\frac{60}{2{,}000 \times 4{,}180})(702.24 - 3{,}130 - 187.81 - 135.75) = 25.98\ ^oC$$

ก.2.2 ตัวอย่างการคำนวณในช่วงเวลากลางวัน

การคำนวณอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำและอุณหภูมิของบ่อเลี้ยงปลาในเวลากลางคืน น้ำในถังเก็บน้ำจะได้รับความร้อนจากปั๊มความร้อนและมีการป้อนความร้อนสู่น้ำในบ่อเลี้ยงปลา มีการคำนวณดังนี้

ค่าตัวแปรต้นที่ใช้ในการคำนวณ

1. อุณหภูมิอากาศ (Ta)	= 32°C	9.พื้นที่ผิวบ่อปลา (Ap)	= 25 m^2
2. ความชื้นสัมพัทธ์	=75 %	10. $F_R(\tau\alpha)_e$	=0.72W/m^2
3. มวลของน้ำในถังเก็บ		11. $F_R U_L$	= 10.52
น้ำ (Mw,st)	= 300 kg	12. พื้นที่แผงรับอาทิตย์	
4. อัตราการไหลของ		(Ac)	= 4 m^2
น้ำกระแสเย็น (m_c)	=0.04 kg/s		
5. อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำ (Tst)	= 39°C	13.ความเข้มแสงอาทิตย์	
6. อุณหภูมิน้ำในบ่อปลา (Tp)	= 28.5°C	ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (I_T)	=850 W/m^2
7. ค่าความเร็วลม (u)	= 3 m/s	14.ความเข้มแสงอาทิตย์	
8. มวลของน้ำใน		ของบ่อปลา (I)	=750 W/m^2
บ่อเลี้ยงปลา (Mw,st)	= 2,000 kg	15.ความดันบรรยากาศ	=0.94 bar

การหาอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำได้ดังสมการ

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

หาค่าอัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ได้ดังนี้

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

$$Q_{coll} = 4\{0.72(850) - 10.52(39 - 32)\} = 2,168\ W$$

หาค่าอัตราความร้อนที่ป้อนให้กับน้ำในบ่อปลาได้ดังนี้

$$Q_{HX} = 0.3 \times 0.3 \times 4,180(39 - 28.5) = 3,950.1\ W$$

หาอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 1 นาทีได้ดังนี้ได้ดังนี้

$$T_{st}^{+} = 49 + (\frac{60}{4,180 \times 300})(2,168 - 3,950.1) = 48.91\ ^{o}C$$

การหาอุณหภูมิของน้ำในบ่อปลาได้ดังสมการ

$$T_P^{+} = T_P + (\frac{\Delta T}{M_W C_p})_P(Q_I - Q_E - Q_C - Q_R)$$

หาค่าความร้อนที่ได้รับจากแสงอาทิตย์โดยตรง Q_I ได้ดังนี้

$$Q_I = \alpha I_T$$

$$Q_I = 0.8 \times 750 = 600\ W/m^2$$

หาความร้อนที่สูญเสียจากการระเหย Q_E ได้ดังสมการนี้

$$Q_E = P_a\{35u + 43(T_P - T_a)^{1/3}\}(\omega_P - \omega_a)$$

หาค่า humidity ratio ของผิวน้ำของบ่อปลา (ω_P) ได้ดังนี้

และ $\omega_P = 0.622 \times (\frac{P_P}{1.03 - P_P})$ เมื่อ P_P คือค่าความดันที่ $T_{P,sat}$ ที่อุณหภูมิบ่อปลา 28.5°C

$$\omega_P = 0.622 \times (\frac{0.038}{0.94 - 0.038}) = 0.026$$

หาค่า humidity ratio ของอากาศ (ω_a) ได้ดังนี้

$\omega_a = 0.622 \times (\frac{P_a}{1.03 - P_a})$ เมื่อ P_a คือค่าความดันไอน้ำในอากาศ

$P_a = P_{sat@Ta} \times RH$ เมื่อ $P_{sat@Ta}$ คือค่าความดันที่ $T_{a,sat}$ ที่อุณหภูมิอากาศ 32°C

$$P_a = 0.047 \times 0.75 = 0.035\ bar$$

$$\omega_a = 0.622 \times (\frac{0.035}{0.94 - 0.035}) = 0.024$$

สามารถหาค่า Q_E ได้ดังนี้

$$Q_E = A_p P_a \{35u + 43(T_p - T_a)^{1/3}\}(\omega_p - \omega_a)$$

$$Q_E = 25 \times 94\{35(3) + 43(28.5 - 32)^{1/3}\}(0.026 - 0.024) = 186.65\ W$$

หาความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อน Q_C ได้ดังสมการนี้

$$Q_C = Q_E \times 0.0006 \frac{(T_p - T_a)}{(\omega_p - \omega_a)}$$

$$Q_C = 186.65 \times 0.0006 \frac{(28.5 - 32)}{(0.026 - 0.024)} = -195.98\ W$$

หาความร้อนที่สูญเสียจากการแผ่รังสี Q_R ได้ดังสมการนี้

$$Q_R = A_p \sigma \varepsilon (T_p^4 - T_a^4)$$

$$Q_R = 25 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 0.9((273 + 28.5)^4 - (273 + 32)^4) = -498.09\ W$$

สามารถคำนวณอุณหภูมิของบ่อปลาเมื่อเวลาผ่านไป 1 นาทีได้ดังนี้

$$T_p^+ = 28.5 + (\frac{60}{2{,}000 \times 4{,}180})(600 - 186.65 + 195.98 + 498.09) = 28.507^o C$$

ก.3 ตัวอย่างการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

ก.3.1 การคำนวณเศรษฐศาสตร์ที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 2 ตารางเมตร

- ค่าเงินลงทุนเบื้องต้นของระบบ 79,000 บาท
- ค่าใช้จ่ายรายปี
  - ค่าไฟฟ้า 8,590 บาท/ปี
  - ค่าซื้อปลาและค่าอาหาร 12,000 บาท/ปี
- ค่ารายรับต่อปีของระบบ
  - ค่าขายปลาดุกบิ๊กอุยในบ่อที่ควบคุมอุณหภูมิ 32,000 บาท/ปี
  - ค่าขายปลาดุกบิ๊กอุยในบ่อที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ 19,394 บาท/ปี
- ผลกำไรสุทธิรายปี

ผลกำไรสุทธิของบ่อปลาที่ทำการควบคุมอุณหภูมิ-ผลกำไรสุทธิของบ่อปลาที่ไม่ทำการควบคุมอุณหภูมิ

(32,000-12,000-8,590)-(19,394-12,000) = 4,,016 บาท/ปี

ระยะคืนทุน = 79,000/4,016 = 19.67 ปี

<u>การคำนวณผลตอบแทนภายในการลงทุน</u>

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสุทธิ เท่ากับ 79,000 บาท

ผลกำไรสุทธิ เท่ากับ 4,016 บาท/ปี

จะได้ว่า

$$\frac{4,016}{(1+i)}+\frac{4,016}{(1+i)^2}+\frac{4,016}{(1+i)^3}+\text{.....}+\frac{4,016}{(1+i)^{20}}-79,000=0$$

จะได้ค่า i ที่ทำให้ NPV เท่ากับ 0 คือ 0.0087

$$\therefore \quad IRR = 0.18\%$$

ก.3.2 การคำนวณเศรษฐศาสตร์ที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 6 ตารางเมตร

- ค่าเงินลงทุนเบื้องต้นของระบบ 107,000 บาท
- ค่าใช้จ่ายรายปี
  - ค่าไฟฟ้า 7,409 บาท/ปี
  - ค่าซื้อปลาและค่าอาหาร 12,000 บาท/ปี
- ค่ารายรับต่อปีของระบบ
  - ค่าขายปลาดุกบิ๊กอุยในบ่อที่ควบคุมอุณหภูมิ 32,000 บาท/ปี
  - ค่าขายปลาดุกบิ๊กอุยในบ่อที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ 19,394 บาท/ปี
- ผลกำไรสุทธิรายปี

ผลกำไรสุทธิของบ่อปลาที่ทำการควบคุมอุณหภูมิ-ผลกำไรสุทธิของบ่อปลาที่ไม่ทำการควบคุมอุณหภูมิ

(32,000-12,000-7,409)-(19,394-12,000) = 5,197 บาท/ปี

ระยะคืนทุน = 107,000/5,197 = 20.59 ปี

<u>การคำนวณผลตอบแทนภายในการลงทุน</u>

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสุทธิ เท่ากับ 107,000 บาท

ผลกำไรสุทธิ เท่ากับ 5,197 บาท/ปี

จะได้ว่า

$$\frac{5,197}{(1+i)}+\frac{5,197}{(1+i)^2}+\frac{5,197}{(1+i)^3}+.....+\frac{5,197}{(1+i)^{20}}-107,000=0$$

จะได้ค่า i ที่ทำให้ NPV เท่ากับ 0 คือ 0.003

$$\therefore \quad IRR = 0.3\%$$

ก.3.3 การคำนวณเศรษฐศาสตร์ที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 8 ตารางเมตร

- ค่าเงินลงทุนเบื้องต้นของระบบ 121,000 บาท
- ค่าใช้จ่ายรายปี
  - ค่าไฟฟ้า 7,284 บาท/ปี
  - ค่าซื้อปลาและค่าอาหาร 12,000 บาท/ปี
- ค่ารายรับต่อปีของระบบ
  - ค่าขายปลาดุกบิ๊กอุยในบ่อที่ควบคุมอุณหภูมิ 32,000 บาท/ปี
  - ค่าขายปลาดุกบิ๊กอุยในบ่อที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ 19,394 บาท/ปี
- ผลกำไรสุทธิรายปี

ผลกำไรสุทธิของบ่อปลาที่ทำการควบคุมอุณหภูมิ-ผลกำไรสุทธิของบ่อปลาที่ไม่ทำการควบคุมอุณหภูมิ

(32,000-12,000-7,284)-(19,394-12,000) = 5,322 บาท/ปี

ระยะคืนทุน = 121,000/5,322 = 22.74 ปี

<u>การคำนวณผลตอบแทนภายในการลงทุน</u>

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสุทธิ เท่ากับ 121,000 บาท

ผลกำไรสุทธิ เท่ากับ 5,322 บาท/ปี

จะได้ว่า

$$\frac{5,322}{(1+i)}+\frac{5,322}{(1+i)^2}+.....+\frac{5,322}{(1+i)^{20}}-121,000=0$$

จะได้ค่า i ที่ทำให้ NPV เท่ากับ 0 คือ -0.0131

$$\therefore \quad IRR = -1.31\%$$

ก.3.4 การคำนวณเศรษฐศาสตร์ที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 10 ตารางเมตร

- ค่าเงินลงทุนเบื้องต้นของระบบ 135,000 บาท
- ค่าใช้จ่ายรายปี
  - ค่าไฟฟ้า 7,181 บาท/ปี
  - ค่าซื้อปลาและค่าอาหาร 12,000 บาท/ปี
- ค่ารายรับต่อปีของระบบ
  - ค่าขายปลาดุกบิ๊กอุยในบ่อที่ควบคุมอุณหภูมิ 32,000 บาท/ปี
  - ค่าขายปลาดุกบิ๊กอุยในบ่อที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ 19,394 บาท/ปี
- ผลกำไรสุทธิรายปี

ผลกำไรสุทธิของบ่อปลาที่ทำการควบคุมอุณหภูมิ-ผลกำไรสุทธิของบ่อปลาที่ไม่ทำการควบคุมอุณหภูมิ

(32,000-12,000-7,181)-(19,394-12,000) = 5,425 บาท/ปี

ระยะคืนทุน = 135,000/5,425 = 24.88 ปี

<u>การคำนวณผลตอบแทนภายในการลงทุน</u>

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสุทธิ เท่ากับ 135,000 บาท

ผลกำไรสุทธิ เท่ากับ 5,425 บาท/ปี

จะได้ว่า

$$\frac{5,425}{(1+i)}+\frac{5,425}{(1+i)^2}+\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots+\frac{5,425}{(1+i)^{20}}-135000=0$$

จะได้ค่า i ที่ทำให้ NPV เท่ากับ 0 คือ -0.0219

$$\therefore \quad IRR = -2.19\%$$

ก.3.5 การคำนวณเศรษฐศาสตร์ที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 4 ตารางเมตร ในการเลี้ยงปลาที่มีราคาขาย 65 บาทต่อกิโลกรัม

- ค่าเงินลงทุนเบื้องต้นของระบบ 93,000 บาท

- ค่าใช้จ่ายรายปี

ค่าไฟฟ้า 7,623 บาท/ปี

ค่าซื้อปลาและค่าอาหาร 12,000 บาท/ปี

- ค่ารายรับต่อปีของระบบ

ค่าขายปลาช่อนในบ่อควบคุมอุณหภูมิ 52,000 บาท/ปี

ค่าขายปลาดุกบิ๊กอุยในบ่อที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ 19,515 บาท/ปี

- ผลกำไรสุทธิรายปี

ผลกำไรสุทธิของบ่อปลาที่ทำการควบคุมอุณหภูมิ-ผลกำไรสุทธิของบ่อปลาที่ไม่ทำการควบคุมอุณหภูมิ

(32,000-12,000-7,623)-(19,394-12,000) = 4,983 บาท/ปี

ระยะคืนทุน = 93,000/12,862 = 7.23 ปี

<u>การคำนวณผลตอบแทนภายในการลงทุน</u>

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสุทธิ เท่ากับ 93,000 บาท

ผลกำไรสุทธิ เท่ากับ 12,862 บาท/ปี

จะได้ว่า

$$\frac{12,862}{(1+i)}+\frac{12,862}{(1+i)^2}+.....+\frac{12,862}{(1+i)^{10}}-93000=0$$

จะได้ค่า i ที่ทำให้ NPV เท่ากับ 0 คือ 0.0806

$$\therefore \quad IRR = 8.06\%$$

ภาคผนวก ข

ข้อมูลดิบการทดสอบ

ตาราง ก.1 ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ค่าอัตราความร้อนจากปั๊มความร้อน และค่าความร้อนที่ป้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2553

ค่าคงที่		
F_RU_L	10.52	W/m^2K
$F_R(\tau\alpha)e$	0.72	
a	3.608	
b	-0.0509	
ε_{HX}	0.3	

Time	Ta (°C)	Tst (°C)	I_T (W/m^2)	Qcoll (W)	Power (W)	Qcond (W)	Tp (°C)	Q_{HX} (W)
1:00	22.00	37.60	0.00	0.00	1306.44	3036.84	29.10	2131.80
2:00	20.60	42.00	0.00	0.00	1306.44	3036.84	29.00	2131.80
3:00	20.00	42.70	0.00	0.00	1384.93	3005.50	28.26	2751.35
4:00	19.20	43.30	0.00	0.00	1411.53	2989.39	27.83	2985.72
5:00	18.70	43.30	0.00	0.00	1429.33	2977.04	27.90	3067.78
6:00	18.50	42.40	0.00	0.00	1435.56	2972.43	27.35	3093.25
7:00	18.80	42.00	11.25	0.00	1433.60	2973.90	27.35	3101.03
8:00	22.00	41.50	150.60	0.00	1420.30	2983.46	27.35	3103.13
9:00	25.90	41.50	359.65	0.00	1343.55	3025.05	27.31	3102.20
10:00	27.30	42.90	538.15	480.30	0.00	0.00	27.47	0.00
11:00	29.60	44.70	713.80	1004.94	0.00	0.00	28.02	0.00
12:00	30.90	46.50	783.00	1506.43	0.00	0.00	28.90	0.00
13:00	32.20	43.10	853.50	1608.78	0.00	0.00	29.60	4648.05
14:00	33.50	40.80	766.35	2172.48	0.00	0.00	30.20	2695.05
15:00	33.70	38.40	292.40	2028.80	0.00	0.00	31.00	2187.44
16:00	33.80	36.20	152.10	688.21	0.00	0.00	31.25	1931.30
17:00	33.70	34.20	130.15	413.50	0.00	0.00	31.40	1106.91
18:00	30.30	32.19	33.40	415.88	0.00	0.00	31.33	638.91
19:00	26.50	32.19	0.00	16.62	0.00	0.00	31.09	0.00
20:00	26.10	37.90	0.00	0.00	1089.16	2997.21	30.93	466.64
21:00	25.30	41.10	0.00	0.00	1231.25	3044.14	30.70	2029.32
22:00	24.70	41.90	0.00	0.00	1302.31	3037.82	30.50	2704.54
23:00	24.30	42.20	0.00	0.00	1333.08	3028.93	30.30	2957.73
0:00	23.10	42.00	0.00	0.00	1345.63	3024.22	29.87	3050.31

หมายเหตุ : ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์จะทำงานในตอนกลางวันและระบบปั๊มความร้อนจะทำงานในกรณีที่ไม่มีค่ารังสีอาทิตย์หรือเวลากลางคืน การป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาและการทำงานของปั๊มความร้อนจะหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลามีค่าตามที่กำหนด

ตาราง ก.1 (ต่อ) ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ค่าอัตราความร้อนจากปั๊มความร้อน และค่าความร้อนที่ป้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2553

ค่าคงที่		
F_RU_L	10.52	W/m^2K
$F_R(\tau\alpha)e$	0.72	
a	3.608	
b	-0.0509	
ε_{HX}	0.3	

Time	Ta (°C)	Tst (°C)	I_T (W/m^2)	Qcoll (W)	Power (W)	Qcond (W)	Tp (°C)	Q_{HX} (W)
1:00	22.30	41.70	0.00	0.00	0.00	0.00	29.60	0.00
2:00	21.50	41.80	0.00	0.00	1388.29	3003.62	29.40	3138.98
3:00	20.90	41.52	0.00	0.00	1398.77	2997.46	28.89	3152.40
4:00	20.30	41.52	0.00	0.00	1403.82	2994.34	28.61	3123.45
5:00	19.70	41.15	0.00	0.00	1410.23	2990.24	28.40	3112.47
6:00	19.90	40.87	0.00	0.00	1417.00	2985.72	28.06	3108.14
7:00	20.30	40.59	10.35	0.00	1406.15	2992.87	27.83	3105.85
8:00	22.30	40.40	166.00	0.00	1391.40	3001.84	27.71	3105.95
9:00	25.40	41.50	386.85	0.00	1341.88	3025.69	27.51	3102.81
10:00	29.00	43.40	599.50	528.15	0.00	0.00	28.02	0.00
11:00	30.00	45.90	760.10	1238.90	0.00	0.00	28.77	0.00
12:00	31.70	48.40	833.00	1618.79	0.00	0.00	29.12	0.00
13:00	33.20	46.20	892.40	1737.31	0.00	0.00	30.60	4852.09
14:00	33.90	42.80	840.50	2285.07	0.00	0.00	31.20	2844.54
15:00	34.30	40.80	668.70	2221.38	0.00	0.00	31.60	2304.41
16:00	34.70	39.80	369.00	1751.78	0.00	0.00	31.72	2079.27
17:00	34.40	37.80	257.45	938.45	0.00	0.00	31.84	1741.89
18:00	30.80	35.24	37.05	685.44	0.00	0.00	31.60	1170.72
19:37	29.50	35.34	0.00	0.00	0.00	0.00	31.52	0.00
20:00	26.10	39.90	0.00	0.00	1074.62	2987.93	31.13	799.57
21:00	25.40	42.30	0.00	0.00	1264.73	3043.64	30.80	2155.68
22:00	24.00	42.90	0.00	0.00	1326.91	3031.01	30.30	2752.73
23:00	23.50	42.70	0.00	0.00	1372.39	3012.14	30.22	2985.72
0:00	23.30	42.90	0.00	0.00	1384.79	3005.58	29.91	3069.87

ตาราง ก.1 (ต่อ) ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ค่าอัตราความร้อนจากปั๊มความร้อน และค่าความร้อนที่ป้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2553

ค่าคงที่		
F_RU_L	10.52	W/m^2K
$F_R(\tau\alpha)e$	0.72	
a	3.608	
b	-0.0509	
ε_{HX}	0.3	

Time	Ta (°C)	Tst (°C)	I_T (W/m^2)	Qcoll (W)	Power (W)	Qcond (W)	Tp (°C)	Q_{HX} (W)
1:00	22.50	42.50	0.00	0.00	0.00	0.00	29.71	0.00
2:00	21.40	42.00	0.00	0.00	1403.42	2994.60	29.32	3169.97
3:00	21.10	41.90	0.00	0.00	1418.40	2984.77	29.08	3168.52
4:00	20.50	42.00	0.00	0.00	1415.33	2986.86	28.61	3132.48
5:00	20.10	41.71	0.00	0.00	1420.87	2983.07	28.38	3120.29
6:00	20.30	41.43	0.00	0.00	1422.44	2981.97	28.02	3114.22
7:00	20.30	41.30	10.60	0.00	1411.08	2989.68	27.94	3111.51
8:00	21.90	41.30	122.45	0.00	1404.66	2993.82	28.00	3110.74
9:00	25.50	41.50	429.75	0.00	1363.27	3016.57	27.87	3106.56
10:00	29.50	42.37	635.95	633.15	0.00	0.00	28.49	0.00
11:00	30.50	44.30	727.00	1331.59	0.00	0.00	28.97	0.00
12:00	31.60	49.20	849.00	1501.84	0.00	0.00	29.70	0.00
13:00	32.80	46.70	916.15	1748.30	0.00	0.00	30.10	4914.23
14:00	33.20	42.30	840.60	2310.90	0.00	0.00	30.90	2874.93
15:00	34.00	41.30	694.55	2166.93	0.00	0.00	31.50	2330.36
16:00	34.30	40.20	519.95	1796.42	0.00	0.00	31.85	2060.43
17:00	34.50	37.60	154.80	1332.77	0.00	0.00	32.11	1760.29
18:00	32.00	34.90	38.95	332.60	0.00	0.00	32.11	1393.75
19:00	25.90	34.90	0.00	0.57	0.00	0.00	31.81	0.00
20:00	24.30	39.70	0.00	0.00	1155.71	3029.08	31.29	694.17
21:00	23.70	42.00	0.00	0.00	1313.91	3034.90	30.99	2134.73
22:00	22.90	42.40	0.00	0.00	1374.53	3011.05	30.55	2776.89
23:00	22.30	43.00	0.00	0.00	1404.48	2993.93	30.18	3008.65
0:00	22.00	42.70	0.00	0.00	1416.91	2985.78	29.95	3086.19

ตาราง ก.1 (ต่อ) ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ค่าอัตราความร้อนจากปั๊มความร้อน และค่าความร้อนที่ป้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2553

ค่าคงที่		
F_RU_L	10.52	W/m^2K
$F_R(\tau\alpha)e$	0.72	
a	3.608	
b	-0.0509	
ε_{HX}	0.3	

Time	Ta (°C)	Tst (°C)	I_T (W/m^2)	Qcoll (W)	Power (W)	Qcond (W)	Tp (°C)	Q_{HX} (W)
1:00	20.90	42.20	0.00	0.00	0.00	0.00	29.69	0.00
2:00	19.60	42.10	0.00	0.00	1442.45	2967.15	29.40	3195.02
3:00	19.00	42.00	0.00	0.00	1459.07	2953.65	29.17	3178.73
4:00	18.50	41.80	0.00	0.00	1460.42	2952.50	28.91	3135.27
5:00	18.20	41.70	0.00	0.00	1461.80	2951.32	28.54	3119.72
6:00	17.00	41.30	0.00	0.00	1459.54	2953.25	28.21	3112.94
7:00	16.50	40.87	8.50	0.00	1477.55	2937.35	27.84	3109.59
8:00	19.30	40.87	142.40	0.00	1479.48	2935.57	27.43	3101.98
9:00	23.20	41.15	395.05	0.00	1409.07	2990.99	27.35	3097.92
10:00	25.40	41.80	619.95	460.00	0.00	0.00	27.58	0.00
11:00	27.50	44.80	720.00	1153.98	0.00	0.00	27.91	0.00
12:00	29.90	47.50	829.00	1414.32	0.00	0.00	28.43	0.00
13:00	31.00	45.40	862.35	1686.86	0.00	0.00	29.02	4732.20
14:00	31.90	41.60	789.35	2135.77	0.00	0.00	29.51	2775.71
15:08	32.40	39.70	513.90	2027.82	0.00	0.00	30.10	2199.54
16:00	32.90	38.50	409.00	1272.85	0.00	0.00	30.62	1936.07
17:00	33.10	37.10	254.80	1058.55	0.00	0.00	30.99	1428.76
18:00	27.20	35.44	27.60	660.14	0.00	0.00	31.10	1117.30
19:00	24.70	34.55	0.00	0.00	0.00	0.00	30.85	0.00
20:00	23.90	38.10	0.00	0.00	1162.40	3031.32	30.50	779.96
21:00	23.00	41.20	0.00	0.00	1298.59	3038.65	30.30	2214.93
22:00	21.80	42.10	0.00	0.00	1361.79	3017.26	29.87	2796.64
23:00	20.60	41.70	0.00	0.00	1399.83	2996.82	29.63	3005.04
0:00	20.00	41.80	0.00	0.00	1425.82	2979.58	29.30	3076.59

ตาราง ก.1 (ต่อ) ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ค่าอัตราความร้อนจากปั๊มความร้อน และค่าความร้อนที่ป้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2553

ค่าคงที่		
F_RU_L	10.52	W/m^2K
$F_R(\tau\alpha)e$	0.72	
a	3.608	
b	-0.0509	
ε_{HX}	0.3	

Time	Ta (°C)	Tst (°C)	I_T (W/m^2)	Qcoll (W)	Power (W)	Qcond (W)	Tp (°C)	Q_{HX} (W)
1:00	18.80	41.70	0.00	0.00	0.00	0.00	28.80	0.00
2:00	18.50	41.50	0.00	0.00	1460.33	2952.57	28.60	3184.66
3:00	17.20	41.30	0.00	0.00	1454.72	2957.29	28.22	3167.91
4:00	17.00	41.10	0.00	0.00	1472.24	2942.17	27.90	3128.84
5:00	16.60	40.49	0.00	0.00	1466.81	2946.98	27.51	3108.06
6:00	16.10	40.00	0.00	0.00	1467.14	2946.70	27.04	3103.22
7:00	16.40	39.90	14.95	0.00	1469.90	2944.26	26.92	3099.33
8:00	17.70	39.47	130.05	0.00	1455.13	2956.95	26.31	3095.66
9:00	21.10	39.84	290.45	0.00	1419.20	2984.22	26.28	3094.23
10:00	24.60	40.80	499.10	118.67	0.00	0.00	26.54	0.00
11:00	27.60	41.90	758.35	854.92	0.00	0.00	27.06	0.00
12:00	29.50	45.30	854.00	1641.73	0.00	0.00	27.60	0.00
13:00	30.90	43.30	932.30	1831.88	0.00	0.00	28.32	4496.52
14:00	31.50	40.30	901.40	2384.55	0.00	0.00	28.99	2758.23
15:00	32.00	40.00	738.20	2358.42	0.00	0.00	29.58	2329.14
16:00	32.40	39.40	554.10	1906.50	0.00	0.00	29.95	2164.91
17:00	32.70	37.70	276.85	1419.14	0.00	0.00	30.29	1860.00
18:00	28.20	35.14	36.65	677.66	0.00	0.00	30.47	1478.08
19:00	23.40	34.65	0.00	0.00	0.00	0.00	30.25	0.00
20:00	22.00	38.30	0.00	0.00	1188.19	3038.31	30.00	914.44
21:00	20.90	40.10	0.00	0.00	1330.88	3029.69	29.54	2265.76
22:00	20.00	40.59	0.00	0.00	1395.33	2999.53	29.14	2818.43
23:00	19.70	40.68	0.00	0.00	1424.68	2980.39	28.80	3013.76
0:00	18.90	40.49	0.00	0.00	1429.53	2976.90	28.47	3078.91

ตาราง ก.1 (ต่อ) ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ค่าอัตราความร้อนจากปั๊มความร้อน และค่าความร้อนที่ป้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2553

ค่าคงที่		
F_RU_L	10.52	W/m^2K
$F_R(\tau\alpha)e$	0.72	
a	3.608	
b	-0.0509	
ε_{HX}	0.3	

Time	Ta (°C)	Tst (°C)	I_T (W/m^2)	Qcoll (W)	Power (W)	Qcond (W)	Tp (°C)	Q_{HX} (W)
1:00	18.00	40.31	0.00	0.00	0.00	0.00	28.13	0.00
2:00	17.30	40.10	0.00	0.00	1461.58	2951.51	27.69	3184.41
3:00	17.00	40.00	0.00	0.00	1464.73	2948.80	27.32	3165.15
4:00	16.20	39.93	0.00	0.00	1459.94	2952.91	27.09	3122.33
5:00	15.50	39.56	0.00	0.00	1468.63	2945.39	26.61	3106.63
6:00	15.40	39.56	0.00	0.00	1475.55	2939.18	26.20	3097.39
7:00	16.50	39.47	8.50	0.00	1469.41	2944.69	25.94	3092.01
8:00	18.00	40.00	117.15	0.00	1437.44	2971.01	25.76	3091.13
9:00	20.60	40.00	302.80	0.00	1398.09	2997.88	25.68	3094.26
10:00	23.20	40.60	493.85	159.56	0.00	0.00	26.00	0.00
11:00	27.30	42.20	663.05	803.13	0.00	0.00	26.46	0.00
12:00	29.00	44.00	769.00	1382.10	0.00	0.00	26.76	0.00
13:00	31.10	43.20	894.10	1619.64	0.00	0.00	27.35	4345.90
14:00	31.80	39.60	780.15	2342.74	0.00	0.00	27.87	2583.30
15:00	32.10	38.60	654.50	2068.24	0.00	0.00	28.73	2239.68
16:00	32.70	37.60	430.45	1736.25	0.00	0.00	29.14	1973.38
17:00	33.10	35.50	226.80	1140.11	0.00	0.00	29.58	1692.45
18:00	30.60	34.06	37.15	626.03	0.00	0.00	29.80	1261.96
19:00	25.10	33.57	0.00	38.66	0.00	0.00	29.83	0.00
20:00	23.10	37.90	0.00	0.00	1121.87	3015.05	29.52	817.64
21:00	22.20	40.00	0.00	0.00	1281.64	3041.71	29.28	2152.83
22:00	21.20	41.00	0.00	0.00	1348.27	3023.16	29.04	2757.25
23:00	20.40	41.30	0.00	0.00	1384.29	3005.86	28.73	2983.52
0:00	18.80	41.30	0.00	0.00	1403.08	2994.81	28.60	3063.03

ตาราง ก.2 ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนสูญเสียสู่อากาศโดยรอบของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2553

Time	Tp (°C)	P_P (bar)	Psat (bar)	Pair (bar)	ω_p	ω_{air}	Q_E (W)	Q_C(W)	Q_R(W)
1:00	29.10	0.040	0.026	0.020	0.028	0.013	6,379.61	1,878.52	959.16
2:00	29.00	0.040	0.024	0.018	0.028	0.012	6,875.80	1,878.52	959.16
3:00	28.26	0.039	0.023	0.018	0.027	0.012	6,758.72	2,288.90	1,097.67
4:00	27.83	0.038	0.022	0.017	0.026	0.011	6,824.55	2,431.10	1,129.03
5:00	27.90	0.037	0.022	0.016	0.026	0.011	6,812.70	2,501.37	1,186.55
6:00	27.35	0.037	0.021	0.016	0.025	0.011	6,668.94	2,476.09	1,205.61
7:00	27.35	0.036	0.022	0.016	0.025	0.011	6,342.35	2,303.10	1,186.62
8:00	27.35	0.036	0.026	0.020	0.024	0.013	4,976.11	1,333.73	1,105.86
9:00	27.31	0.035	0.033	0.025	0.024	0.017	3,028.16	233.00	656.84
10:00	27.47	0.036	0.036	0.027	0.025	0.019	2,078.56	-56.99	126.35
11:00	28.02	0.036	0.042	0.031	0.025	0.021	662.88	-251.99	-37.76
12:00	28.90	0.037	0.045	0.034	0.026	0.023	298.13	-215.22	-322.56
13:00	29.60	0.038	0.048	0.036	0.026	0.025	159.47	-233.33	-445.28
14:00	30.20	0.040	0.052	0.039	0.028	0.027	80.68	-233.84	-560.25
15:00	31.00	0.042	0.052	0.039	0.029	0.027	136.88	-194.33	-641.26
16:00	31.25	0.042	0.053	0.039	0.029	0.027	180.00	-197.10	-580.49
17:00	31.40	0.043	0.052	0.039	0.030	0.027	232.72	-187.38	-551.01
18:00	31.33	0.043	0.043	0.032	0.030	0.022	726.67	1.71	-507.08
19:00	31.09	0.043	0.035	0.026	0.030	0.018	3,454.36	646.33	4.33
20:00	30.93	0.043	0.034	0.025	0.030	0.017	5,074.34	995.67	538.08
21:00	30.70	0.042	0.032	0.024	0.029	0.016	5,255.24	1,134.25	567.49
22:00	30.50	0.042	0.031	0.023	0.029	0.016	5,433.80	1,249.63	638.34
23:00	30.30	0.041	0.030	0.023	0.029	0.015	5,510.37	1,314.07	689.03
0:00	29.87	0.041	0.028	0.021	0.028	0.014	5,863.79	1,575.39	714.52

ตาราง ก.2 (ต่อ) ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนสูญเสียสู่อากาศโดยรอบของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2553

Time	Tp (°C)	P_P (bar)	Psat (bar)	Pair (bar)	ω_p	ω_{air}	Q_E (W)	Q_C(W)	Q_R(W)
1:00	29.60	0.040	0.027	0.020	0.028	0.014	6,150.63	1,765.52	846.07
2:00	29.40	0.039	0.026	0.019	0.027	0.013	6,246.23	1,899.54	920.28
3:00	28.89	0.039	0.025	0.019	0.027	0.013	6,328.86	2,007.84	971.71
4:00	28.61	0.038	0.024	0.018	0.026	0.012	6,388.59	2,111.18	1,013.73
5:00	28.40	0.038	0.023	0.017	0.026	0.012	6,434.77	2,212.18	1,053.99
6:00	28.06	0.037	0.023	0.017	0.026	0.012	6,207.12	2,094.79	1,092.48
7:00	27.83	0.036	0.024	0.018	0.025	0.012	5,830.43	1,896.08	1,027.80
8:00	27.71	0.036	0.027	0.020	0.025	0.014	4,885.76	1,279.41	939.39
9:00	27.51	0.036	0.032	0.024	0.025	0.017	3,388.30	419.29	648.11
10:00	28.02	0.036	0.040	0.030	0.025	0.021	1,608.89	-381.79	227.57
11:00	28.77	0.037	0.042	0.032	0.025	0.022	454.09	-181.26	-240.52
12:00	29.12	0.038	0.047	0.035	0.026	0.024	231.87	-241.72	-336.35
13:00	30.60	0.039	0.051	0.038	0.027	0.026	69.50	-251.00	-510.77
14:00	31.20	0.041	0.053	0.040	0.028	0.027	81.39	-211.29	-650.94
15:00	31.60	0.043	0.054	0.041	0.030	0.028	129.32	-200.64	-639.28
16:00	31.72	0.044	0.055	0.042	0.031	0.029	165.63	-201.95	-599.58
17:00	31.84	0.045	0.054	0.041	0.031	0.028	269.79	-173.08	-578.95
18:00	31.60	0.046	0.044	0.033	0.032	0.023	860.73	30.18	-484.05
19:37	31.52	0.046	0.041	0.031	0.032	0.021	3,544.44	370.71	74.95
20:00	31.13	0.046	0.034	0.025	0.032	0.017	5,345.18	1,139.11	266.92
21:00	30.80	0.045	0.032	0.024	0.031	0.017	6,154.81	1,402.28	712.08
22:00	30.30	0.044	0.030	0.022	0.031	0.015	6,597.72	1,708.95	770.24
23:00	30.22	0.044	0.029	0.022	0.030	0.015	6,759.48	1,814.67	920.26
0:00	29.91	0.043	0.029	0.021	0.030	0.015	6,650.64	1,802.38	947.92

ตาราง ก.2 (ต่อ) ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนสูญเสียสู่อากาศโดยรอบของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2553

Time	Tp (°C)	P_P (bar)	Psat (bar)	Pair (bar)	ω_p	ω_{air}	Q_E (W)	Q_C(W)	Q_R(W)
1:00	29.71	0.042	0.027	0.020	0.029	0.014	6,736.06	1,938.08	934.67
2:00	29.32	0.041	0.026	0.019	0.028	0.013	6,897.88	2,141.87	1,001.38
3:00	29.08	0.040	0.025	0.019	0.028	0.013	6,871.74	2,171.61	1,086.42
4:00	28.61	0.040	0.024	0.018	0.027	0.012	6,857.34	2,252.72	1,083.72
5:00	28.38	0.039	0.024	0.018	0.027	0.012	6,806.31	2,291.18	1,119.05
6:00	28.02	0.038	0.024	0.018	0.026	0.012	6,525.78	2,157.86	1,127.89
7:00	27.94	0.038	0.024	0.018	0.026	0.012	6,259.42	2,060.29	1,059.83
8:00	28.00	0.037	0.026	0.020	0.026	0.013	5,473.86	1,550.47	1,019.87
9:00	27.87	0.037	0.033	0.024	0.025	0.017	3,749.81	529.72	776.91
10:00	28.49	0.037	0.041	0.031	0.026	0.021	1,696.86	-392.96	281.22
11:00	28.97	0.038	0.044	0.033	0.026	0.022	470.93	-180.31	-243.05
12:00	29.70	0.039	0.047	0.035	0.027	0.024	335.33	-202.87	-336.87
13:00	30.10	0.040	0.050	0.037	0.028	0.026	219.34	-221.65	-428.88
14:00	30.90	0.042	0.051	0.038	0.029	0.026	271.60	-177.32	-524.26
15:00	31.50	0.044	0.053	0.040	0.031	0.028	287.68	-196.12	-466.91
16:00	31.85	0.045	0.054	0.041	0.032	0.028	336.44	-177.45	-486.91
17:00	32.11	0.047	0.055	0.041	0.032	0.028	401.64	-170.83	-450.51
18:00	32.11	0.047	0.048	0.036	0.033	0.025	852.95	-11.22	-417.18
19:00	31.81	0.047	0.033	0.025	0.033	0.017	3,013.79	680.82	-26.07
20:00	31.29	0.047	0.030	0.023	0.033	0.015	7,390.34	1,917.35	836.06
21:00	30.99	0.046	0.029	0.022	0.032	0.015	7,526.54	2,029.78	1,028.50
22:00	30.55	0.045	0.028	0.021	0.031	0.014	7,570.04	2,154.12	1,049.95
23:00	30.18	0.044	0.027	0.020	0.031	0.014	7,580.33	2,241.04	1,103.63
0:00	29.95	0.043	0.026	0.020	0.030	0.013	7,451.18	2,240.53	1,133.29

ตาราง ก.2 (ต่อ) ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนสูญเสียสู่อากาศโดยรอบของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2553

Time	Tp (°C)	P_P (bar)	Psat (bar)	Pair (bar)	ω_p	ω_{air}	Q_E (W)	Q_C(W)	Q_R(W)
1:00	29.69	0.042	0.025	0.019	0.029	0.013	7,580.24	2,446.40	1,124.09
2:00	29.40	0.041	0.023	0.017	0.028	0.012	7,751.46	2,704.55	1,219.53
3:00	29.17	0.040	0.022	0.016	0.028	0.011	7,768.14	2,806.40	1,318.34
4:00	28.91	0.039	0.021	0.016	0.027	0.011	7,667.86	2,851.55	1,343.20
5:00	28.54	0.039	0.021	0.016	0.027	0.011	7,492.03	2,835.84	1,353.82
6:00	28.21	0.038	0.019	0.015	0.026	0.010	7,573.00	3,064.71	1,339.18
7:00	27.84	0.037	0.019	0.014	0.025	0.009	7,532.39	3,136.48	1,437.54
8:00	27.43	0.036	0.022	0.017	0.025	0.011	6,392.26	2,240.51	1,446.56
9:00	27.35	0.036	0.028	0.021	0.025	0.014	4,523.47	1,021.95	1,044.12
10:00	27.58	0.036	0.032	0.024	0.025	0.017	3,301.15	413.99	511.14
11:00	27.91	0.036	0.037	0.028	0.025	0.019	2,295.82	-38.71	232.07
12:00	28.43	0.037	0.042	0.032	0.026	0.022	741.05	-253.04	-24.16
13:00	29.02	0.038	0.045	0.034	0.026	0.023	373.60	-193.31	-309.42
14:00	29.51	0.040	0.047	0.035	0.028	0.024	338.06	-183.70	-394.12
15:08	30.10	0.042	0.049	0.037	0.029	0.025	367.63	-171.22	-416.34
16:00	30.62	0.043	0.050	0.038	0.030	0.026	377.80	-179.13	-398.76
17:00	30.99	0.043	0.051	0.038	0.030	0.026	408.35	-167.60	-409.76
18:00	31.10	0.044	0.036	0.027	0.031	0.018	1,284.15	218.07	-388.44
19:00	30.85	0.044	0.031	0.023	0.031	0.016	5,888.29	1,424.34	479.10
20:00	30.50	0.043	0.030	0.022	0.030	0.015	6,405.68	1,653.66	820.71
21:00	30.30	0.042	0.028	0.021	0.029	0.014	6,559.04	1,815.23	879.81
22:00	29.87	0.042	0.026	0.020	0.029	0.013	6,855.64	2,073.71	949.51
23:00	29.63	0.041	0.024	0.018	0.028	0.012	7,173.86	2,351.62	1,063.80
0:00	29.30	0.040	0.023	0.018	0.028	0.012	7,247.63	2,464.89	1,176.06

ตาราง ก.2 (ต่อ) ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนสูญเสียสู่อากาศโดยรอบของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2553

Time	Tp (°C)	P_P (bar)	Psat (bar)	Pair (bar)	ω_p	ω_{air}	Q_E (W)	Q_C(W)	Q_R(W)
1:00	28.80	0.039	0.022	0.016	0.027	0.011	7,422.39	2,713.40	1,207.15
2:00	28.60	0.038	0.021	0.016	0.026	0.011	7,256.51	2,699.58	1,312.46
3:00	28.22	0.038	0.020	0.015	0.026	0.010	7,376.71	2,955.54	1,282.32
4:00	27.90	0.037	0.019	0.015	0.025	0.010	7,279.70	2,953.11	1,396.48
5:00	27.51	0.036	0.019	0.014	0.025	0.010	7,117.34	2,955.44	1,371.08
6:00	27.04	0.035	0.018	0.014	0.024	0.009	7,011.87	2,996.57	1,370.17
7:00	26.92	0.034	0.019	0.014	0.024	0.009	6,697.03	2,818.10	1,382.49
8:00	26.31	0.034	0.020	0.015	0.023	0.010	6,031.74	2,336.87	1,297.00
9:00	26.28	0.033	0.025	0.019	0.023	0.013	4,631.31	1,297.91	1,091.61
10:00	26.54	0.033	0.031	0.023	0.023	0.016	3,002.67	326.27	633.16
11:00	27.06	0.034	0.037	0.028	0.023	0.019	1,523.44	-330.92	175.60
12:00	27.60	0.035	0.041	0.031	0.024	0.021	338.82	-234.95	-211.29
13:00	28.32	0.036	0.045	0.034	0.025	0.023	160.75	-233.27	-417.11
14:00	28.99	0.038	0.046	0.035	0.026	0.024	178.33	-192.81	-539.14
15:00	29.58	0.039	0.048	0.036	0.027	0.025	225.55	-187.10	-512.40
16:00	29.95	0.041	0.049	0.037	0.028	0.025	272.43	-182.59	-483.67
17:00	30.29	0.042	0.050	0.037	0.029	0.026	315.79	-178.53	-457.95
18:00	30.47	0.042	0.038	0.029	0.029	0.020	972.39	103.60	-435.67
19:00	30.25	0.042	0.029	0.022	0.029	0.015	5,435.04	1,453.06	241.05
20:00	30.00	0.042	0.026	0.020	0.029	0.013	6,739.20	2,008.59	899.51
21:00	29.54	0.041	0.025	0.019	0.028	0.013	7,002.10	2,248.18	1,039.97
22:00	29.14	0.040	0.023	0.018	0.028	0.012	7,145.86	2,429.24	1,129.69
23:00	28.80	0.039	0.023	0.017	0.027	0.012	7,060.70	2,442.15	1,196.76
0:00	28.47	0.038	0.022	0.016	0.027	0.011	7,072.71	2,568.90	1,187.62

ตาราง ก.2 (ต่อ) ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนสูญเสียสู่อากาศโดยรอบของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-23 กุมภาพันธ์ 2553

Time	Tp (°C)	P_P (bar)	Psat (bar)	Pair (bar)	ω_p	ω_{air}	Q_E (W)	Q_C(W)	Q_R(W)
1:00	28.13	0.038	0.021	0.015	0.026	0.010	7,167.11	2,745.49	1,243.02
2:00	27.69	0.037	0.020	0.015	0.025	0.010	7,097.43	2,831.73	1,309.86
3:00	27.32	0.036	0.019	0.015	0.025	0.010	6,964.41	2,828.33	1,330.80
4:00	27.09	0.035	0.018	0.014	0.024	0.009	6,950.09	2,953.96	1,320.32
5:00	26.61	0.035	0.018	0.013	0.024	0.009	6,952.12	3,073.27	1,372.00
6:00	26.20	0.034	0.018	0.013	0.023	0.009	6,773.65	3,016.55	1,410.01
7:00	25.94	0.033	0.019	0.014	0.023	0.009	6,211.82	2,597.27	1,373.62
8:00	25.76	0.033	0.021	0.015	0.022	0.010	5,442.44	2,043.48	1,191.62
9:00	25.68	0.032	0.024	0.018	0.022	0.012	4,337.99	1,241.20	964.93
10:00	26.00	0.032	0.028	0.021	0.022	0.014	3,188.94	525.41	613.10
11:00	26.46	0.033	0.036	0.027	0.022	0.019	1,409.01	-419.95	280.96
12:00	26.76	0.033	0.040	0.030	0.023	0.021	277.82	-234.16	-253.32
13:00	27.35	0.034	0.045	0.034	0.024	0.023	25.16	-281.25	-438.49
14:00	27.87	0.036	0.047	0.035	0.025	0.024	34.21	-215.15	-666.50
15:00	28.73	0.037	0.048	0.036	0.026	0.025	78.87	-201.94	-658.18
16:00	29.14	0.039	0.050	0.037	0.027	0.026	82.69	-215.55	-611.66
17:00	29.58	0.039	0.051	0.038	0.027	0.026	85.19	-214.23	-621.85
18:00	29.80	0.040	0.044	0.033	0.028	0.023	410.43	-79.78	-625.00
19:00	29.83	0.040	0.032	0.024	0.028	0.016	1,477.14	303.16	-230.34
20:00	29.52	0.040	0.028	0.021	0.028	0.014	5,421.11	1,436.70	542.66
21:00	29.28	0.039	0.027	0.020	0.027	0.014	5,856.16	1,675.58	799.56
22:00	29.04	0.039	0.025	0.019	0.027	0.013	6,108.62	1,891.34	878.05
23:00	28.73	0.038	0.024	0.018	0.026	0.012	6,293.26	2,063.40	970.92
0:00	28.60	0.038	0.022	0.016	0.026	0.011	6,688.78	2,441.21	1,037.31

ตาราง ก.3 ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ค่าอัตราความร้อนจากปั๊มความร้อน และค่าความร้อนที่ป้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-22 มิถุนายน 2553

ค่าคงที่		
F_RU_L	10.52	W/m^2K
$F_R(\tau\alpha)e$	0.72	
a	3.608	
b	-0.0509	
ε_{HX}	0.3	

Time	Ta (°C)	Tst (°C)	I_T (W/m^2)	Qcoll (W)	Power (W)	Qcond (W)	Tp (°C)	Q_{HX} (W)
1:00	23.85	50.94	-0.05	0.00	0.00	0.00	27.69	6,598.55
2:00	23.22	35.34	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.09	6,598.55
3:00	23.00	30.84	-0.05	0.00	0.00	0.00	27.89	3,417.34
4:00	23.22	29.74	-0.05	0.00	0.00	0.00	27.69	1,765.81
5:00	23.85	29.34	-0.05	0.00	0.00	0.00	27.29	947.73
6:00	24.86	29.24	83.39	0.00	0.00	0.00	27.09	538.34
7:00	26.18	29.34	87.75	82.47	0.00	0.00	26.89	0.00
8:00	27.71	29.24	137.64	143.73	0.00	0.00	26.79	0.00
9:00	29.35	29.34	414.77	340.28	0.00	0.00	27.19	0.00
10:00	30.99	29.74	505.08	1,180.19	0.00	0.00	27.69	0.00
11:00	33.30	33.54	583.31	1,414.37	0.00	0.00	27.89	0.00
12:00	35.70	34.34	639.90	1,622.84	0.00	0.00	28.69	0.00
13:00	37.30	36.74	618.69	1,756.10	0.00	0.00	29.29	0.00
14:00	38.50	41.24	574.23	1,620.93	0.00	0.00	29.69	0.00
15:00	39.10	43.04	357.74	1,412.84	0.00	0.00	30.49	0.00
16:00	35.90	46.20	290.12	700.80	0.00	0.00	30.22	0.00
17:00	31.20	47.40	145.27	314.96	0.00	0.00	30.54	0.00
18:00	30.70	47.90	63.88	0.00	0.00	0.00	30.70	0.00
19:00	29.20	47.40	4.40	0.00	0.00	0.00	30.79	0.00
20:00	24.80	47.00	-0.05	0.00	0.00	0.00	30.19	0.00
21:00	24.40	46.90	-0.05	0.00	0.00	0.00	29.79	0.00
22:00	23.40	46.50	-0.05	0.00	0.00	0.00	29.29	0.00
23:00	22.50	46.00	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.99	0.00
0:00	22.10	46.20	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.59	0.00

หมายเหตุ : ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์จะทำงานในตอนกลางวันและระบบปั๊มความร้อนจะทำงานในกรณีที่ไม่มีค่ารังสีอาทิตย์หรือเวลากลางคืน การป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาและการทำงานของปั๊มความร้อนจะหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลามีค่าตามที่กำหนด

ตาราง ก.3 (ต่อ) ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ค่าอัตราความร้อนจากปั๊มความร้อน และค่าความร้อนที่ป้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-22 มิถุนายน 2553

ค่าคงที่		
F_RU_L	10.52	W/m^2K
$F_R(\tau\alpha)e$	0.72	
a	3.608	
b	-0.0509	
ε_{HX}	0.3	

Time	Ta (°C)	Tst (°C)	I_T (W/m^2)	Qcoll (W)	Power (W)	Qcond (W)	Tp (°C)	Q_{HX} (W)
1:00	21.70	38.80	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.39	0.00
2:00	21.60	32.40	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.39	5,048.20
3:00	23.00	30.20	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.39	2,718.31
4:00	23.22	28.04	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.09	1,449.04
5:00	23.85	28.24	-0.05	0.00	0.00	0.00	27.79	801.82
6:00	24.86	28.04	84.03	0.00	0.00	0.00	27.29	470.89
7:00	26.18	28.24	95.82	76.18	0.00	0.00	27.29	0.00
8:00	27.71	28.24	170.85	159.34	0.00	0.00	27.19	0.00
9:00	29.35	28.34	563.16	427.02	0.00	0.00	27.69	0.00
10:00	30.99	29.54	692.74	1,591.64	0.00	0.00	28.19	0.00
11:00	32.53	33.34	804.07	1,905.82	0.00	0.00	28.49	0.00
12:00	33.84	36.84	883.59	2,137.40	0.00	0.00	28.99	0.00
13:00	34.85	39.54	852.69	2,249.62	0.00	0.00	29.69	0.00
14:00	36.70	43.74	787.81	2,021.93	0.00	0.00	30.59	0.00
15:00	37.10	47.50	480.83	1,750.11	0.00	0.00	30.99	0.00
16:00	29.10	50.60	381.29	741.89	0.00	0.00	31.39	0.00
17:00	31.30	53.30	172.97	58.82	0.00	0.00	31.29	0.00
18:00	31.00	53.30	53.22	0.00	0.00	0.00	31.25	0.00
19:00	25.70	53.10	4.40	0.00	0.00	0.00	31.05	0.00
20:00	24.10	52.80	-0.05	0.00	0.00	0.00	30.74	0.00
21:00	22.80	52.40	-0.05	0.00	0.00	0.00	30.22	0.00
22:00	23.60	52.00	-0.05	0.00	0.00	0.00	29.67	0.00
23:00	21.60	51.90	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.89	0.00
0:00	20.90	51.70	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.49	0.00

ตาราง ก.3 (ต่อ) ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ค่าอัตราความร้อนจากปั๊มความร้อน และค่าความร้อนที่ป้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-22 มิถุนายน 2553

ค่าคงที่		
F_RU_L	10.52	W/m^2K
$F_R(\tau\alpha)e$	0.72	
a	3.608	
b	-0.0509	
ε_{HX}	0.3	

Time	Ta (°C)	Tst (°C)	I_T (W/m^2)	Qcoll (W)	Power (W)	Qcond (W)	Tp (°C)	Q_{HX} (W)
1:00	22.10	42.50	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.09	0.00
2:00	21.40	35.40	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.29	6,194.73
3:00	21.50	33.50	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.19	3,322.07
4:00	22.20	31.30	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.39	1,756.89
5:00	23.85	30.00	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.39	972.94
6:00	23.00	30.20	3.40	0.00	0.00	0.00	28.09	574.02
7:00	27.60	30.20	70.60	0.00	0.00	0.00	27.99	0.00
8:00	29.10	30.30	125.10	0.00	0.00	0.00	27.89	0.00
9:00	31.40	30.20	257.45	0.00	0.00	0.00	27.99	0.00
10:00	32.70	29.80	568.90	0.00	0.00	0.00	28.39	0.00
11:00	32.70	30.00	799.15	0.00	0.00	0.00	28.53	0.00
12:00	32.90	30.20	867.15	0.00	0.00	0.00	29.16	0.00
13:00	32.90	30.20	469.20	0.00	0.00	0.00	29.79	0.00
14:00	35.50	30.20	198.05	0.00	0.00	0.00	30.03	0.00
15:00	37.60	30.30	593.65	0.00	0.00	0.00	30.89	0.00
16:00	29.70	30.50	63.90	0.00	0.00	0.00	30.89	0.00
17:00	31.90	30.20	48.10	0.00	0.00	0.00	30.49	0.00
18:00	25.60	30.30	34.60	0.00	0.00	0.00	30.29	0.00
19:00	22.80	30.30	0.90	0.00	0.00	0.00	29.79	0.00
20:00	25.00	30.20	-0.15	0.00	0.00	0.00	29.59	0.00
21:00	23.30	29.80	-0.05	0.00	0.00	0.00	29.29	0.00
22:00	21.70	30.00	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.89	0.00
23:00	21.00	29.70	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.59	0.00
0:00	21.10	30.00	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.29	0.00

ตาราง ก.3 (ต่อ) ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ค่าอัตราความร้อนจากปั๊มความร้อน และค่าความร้อนที่ป้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-22 มิถุนายน 2553

ค่าคงที่		
F_RU_L	10.52	W/m^2K
$F_R(\tau\alpha)e$	0.72	
a	3.608	
b	-0.0509	
ε_{HX}	0.3	

Time	Ta (°C)	Tst (°C)	I_T (W/m^2)	Qcoll (W)	Power (W)	Qcond (W)	Tp (°C)	Q_{HX} (W)
1:00	21.00	38.40	-0.05	0.00	1,145.14	3,534.27	28.09	0.00
2:00	21.20	35.30	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.09	1,938.74
3:00	22.10	33.70	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.19	1,104.77
4:00	21.50	31.20	-0.05	0.00	0.00	0.00	27.89	643.73
5:00	21.70	29.80	-0.05	0.00	0.00	0.00	27.35	402.05
6:00	24.86	29.50	83.18	0.00	0.00	0.00	27.24	279.28
7:00	22.50	29.50	122.53	0.00	0.00	0.00	27.69	0.00
8:00	31.20	29.50	164.48	0.00	0.00	0.00	27.39	0.00
9:00	31.40	29.30	281.07	0.00	0.00	0.00	27.79	0.00
10:00	33.50	29.30	572.37	0.00	0.00	0.00	28.02	0.00
11:00	32.53	29.70	792.78	0.00	0.00	0.00	27.87	0.00
12:00	32.20	29.20	858.11	0.00	0.00	0.00	28.69	0.00
13:00	34.85	29.50	478.48	0.00	0.00	0.00	29.16	0.00
14:00	34.10	29.50	224.85	0.00	0.00	0.00	29.95	0.00
15:28	35.70	29.70	583.89	0.00	0.00	0.00	30.69	0.00
16:00	31.50	29.80	115.23	0.00	0.00	0.00	30.99	0.00
17:00	30.10	29.80	106.51	0.00	0.00	0.00	31.09	0.00
18:00	29.10	29.50	37.08	0.00	0.00	0.00	30.79	0.00
19:00	28.90	29.70	3.25	0.00	0.00	0.00	30.29	0.00
20:00	26.60	29.50	-0.05	0.00	0.00	0.00	29.79	0.00
21:00	24.80	29.00	-0.05	0.00	0.00	0.00	29.29	0.00
22:00	23.50	29.30	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.59	0.00
23:00	23.30	29.20	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.19	0.00
0:00	23.30	29.00	-0.05	0.00	0.00	0.00	27.99	0.00

ตาราง ก.3 (ต่อ) ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ค่าอัตราความร้อนจากปั๊มความร้อน และค่าความร้อนที่ป้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-22 มิถุนายน 2553

ค่าคงที่		
F_RU_L	10.52	W/m^2K
$F_R(\tau\alpha)e$	0.72	
a	3.608	
b	-0.0509	
ε_{HX}	0.3	

Time	Ta (°C)	Tst (°C)	I_T (W/m^2)	Qcoll (W)	Power (W)	Qcond (W)	Tp (°C)	Q_{HX} (W)
1:00	24.00	38.10	-0.05	0.00	1,061.55	3,477.81	27.79	0.00
2:00	22.10	35.44	-0.05	0.00	0.00	0.00	27.89	1,421.33
3:00	23.00	33.74	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.19	812.18
4:00	23.22	31.50	-0.05	0.00	0.00	0.00	27.99	487.15
5:00	23.85	30.50	-0.05	0.00	0.00	0.00	27.99	320.91
6:00	24.86	29.30	83.22	0.00	0.00	0.00	27.69	230.22
7:00	26.18	29.30	124.09	0.00	0.00	0.00	27.49	0.00
8:00	27.71	29.20	200.18	0.00	0.00	0.00	27.59	0.00
9:00	29.35	29.20	482.20	0.00	0.00	0.00	27.79	0.00
10:00	30.99	29.00	629.66	0.00	0.00	0.00	28.29	0.00
11:00	32.53	29.20	792.16	0.00	0.00	0.00	29.09	0.00
12:00	33.84	29.20	413.02	0.00	0.00	0.00	29.59	0.00
13:00	34.85	29.30	918.48	0.00	0.00	0.00	30.19	0.00
14:00	37.60	29.30	385.79	0.00	0.00	0.00	31.09	0.00
15:00	36.60	29.20	485.19	0.00	0.00	0.00	30.99	0.00
16:00	37.30	29.00	285.89	0.00	0.00	0.00	31.09	0.00
17:00	29.80	29.20	181.91	0.00	0.00	0.00	30.59	0.00
18:00	25.30	29.20	-13.13	0.00	0.00	0.00	30.29	0.00
19:00	24.80	29.30	4.00	0.00	0.00	0.00	29.99	0.00
20:00	23.50	29.30	-0.05	0.00	0.00	0.00	29.69	0.00
21:00	26.30	29.50	-0.05	0.00	0.00	0.00	29.29	0.00
22:00	23.00	29.50	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.89	0.00
23:00	22.10	29.50	-0.15	0.00	0.00	0.00	28.69	0.00
0:00	22.00	29.30	-0.05	0.00	0.00	0.00	28.19	0.00

ตาราง ก.4 ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนสูญเสียสู่อากาศโดยรอบของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-22 กุมภาพันธ์ 2553

Time	Tp (°C)	P_P (bar)	Psat (bar)	Pair (bar)	ω_p	ω_{air}	Q_E (W)	Q_C(W)	Q_R(W)
1:00	27.69	0.037	0.030	0.024	0.026	0.016	3,857.95	932.89	519.76
2:00	28.09	0.037	0.028	0.023	0.026	0.015	4,108.20	932.89	519.76
3:00	27.89	0.037	0.028	0.022	0.026	0.015	4,348.99	1,189.70	611.37
4:00	27.69	0.037	0.028	0.023	0.026	0.015	4,219.69	1,115.16	646.06
5:00	27.29	0.037	0.030	0.024	0.025	0.016	3,807.44	902.12	601.30
6:00	27.09	0.036	0.031	0.025	0.025	0.017	3,177.95	589.59	492.32
7:00	26.89	0.036	0.034	0.027	0.025	0.019	2,386.21	222.99	331.78
8:00	26.79	0.036	0.037	0.030	0.025	0.020	1,480.97	-138.97	132.59
9:00	27.19	0.036	0.041	0.033	0.025	0.022	344.37	-218.97	-91.87
10:00	27.69	0.036	0.045	0.036	0.025	0.025	36.91	-247.79	-319.52
11:00	27.89	0.037	0.051	0.041	0.026	0.028	-242.69	-304.02	-510.53
12:00	28.69	0.038	0.059	0.047	0.026	0.033	-416.83	-303.95	-788.38
13:00	29.29	0.040	0.064	0.051	0.027	0.036	-413.82	-251.67	-1,075.87
14:00	29.69	0.041	0.068	0.055	0.028	0.038	-405.26	-222.20	-1,240.68
15:00	30.49	0.042	0.070	0.056	0.029	0.040	-368.87	-195.42	-1,348.19
16:00	30.22	0.043	0.059	0.047	0.030	0.033	-111.79	-118.51	-1,368.49
17:00	30.54	0.044	0.045	0.036	0.030	0.025	341.16	-29.95	-834.20
18:00	30.70	0.044	0.044	0.035	0.030	0.024	943.21	-14.16	-107.83
19:00	30.79	0.044	0.041	0.032	0.030	0.022	1,568.48	153.24	-21.68
20:00	30.19	0.044	0.031	0.025	0.030	0.017	4,726.50	1,213.84	186.85
21:00	29.79	0.043	0.031	0.024	0.030	0.017	5,612.29	1,482.97	779.99
22:00	29.29	0.042	0.029	0.023	0.029	0.016	5,799.60	1,657.75	796.13
23:00	28.99	0.041	0.027	0.022	0.029	0.015	5,990.18	1,825.61	881.08
0:00	28.59	0.040	0.027	0.021	0.028	0.014	5,940.49	1,853.97	949.48

ตาราง ก.4 (ต่อ) ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนสูญเสียสู่อากาศโดยรอบของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-22 กุมภาพันธ์ 2553

Time	Tp (°C)	P_P (bar)	Psat (bar)	Pair (bar)	ω_p	ω_{air}	Q_E (W)	Q_C(W)	Q_R(W)
1:00	28.39	0.040	0.026	0.021	0.027	0.014	5,823.70	1,861.15	949.24
2:00	28.39	0.039	0.026	0.021	0.027	0.014	5,597.61	1,790.23	948.70
3:00	28.39	0.038	0.028	0.022	0.026	0.015	4,908.10	1,374.89	909.93
4:00	28.09	0.038	0.028	0.023	0.026	0.015	4,514.68	1,221.77	707.28
5:00	27.79	0.037	0.030	0.024	0.026	0.016	4,064.83	995.40	652.05
6:00	27.29	0.037	0.031	0.025	0.025	0.017	3,408.17	672.01	538.34
7:00	27.29	0.037	0.034	0.027	0.025	0.019	2,593.82	294.45	374.47
8:00	27.19	0.036	0.037	0.030	0.025	0.020	1,674.71	-81.39	172.84
9:00	27.69	0.036	0.041	0.033	0.025	0.022	456.67	-208.28	-52.49
10:00	28.19	0.037	0.045	0.036	0.026	0.025	115.87	-231.29	-277.94
11:00	28.49	0.039	0.049	0.039	0.027	0.027	-49.70	-246.50	-453.04
12:00	28.99	0.040	0.053	0.042	0.028	0.029	-135.61	-244.91	-598.06
13:00	29.69	0.042	0.056	0.045	0.029	0.031	-163.80	-233.97	-700.05
14:00	30.59	0.043	0.062	0.049	0.030	0.035	-319.74	-273.21	-748.38
15:00	30.99	0.045	0.063	0.051	0.031	0.035	-241.21	-217.80	-926.32
16:00	31.39	0.046	0.040	0.032	0.032	0.022	623.52	87.88	-892.59
17:00	31.29	0.047	0.046	0.037	0.033	0.025	2,849.53	101.79	332.40
18:00	31.25	0.047	0.045	0.036	0.033	0.025	2,549.38	139.74	63.82
19:00	31.05	0.047	0.033	0.026	0.032	0.018	4,866.46	1,197.75	102.91
20:00	30.74	0.046	0.030	0.024	0.032	0.016	6,702.24	1,869.73	824.78
21:00	30.22	0.045	0.028	0.022	0.031	0.015	7,122.54	2,163.24	1,001.68
22:00	29.67	0.044	0.029	0.023	0.030	0.016	6,535.48	1,865.38	1,115.81
23:00	28.89	0.043	0.026	0.021	0.030	0.014	6,865.68	2,239.20	947.28
0:00	28.49	0.042	0.025	0.020	0.029	0.013	7,007.89	2,381.95	1,151.46

ตาราง ก.4 (ต่อ) ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนสูญเสียสู่อากาศโดยรอบของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-22 กุมภาพันธ์ 2553

Time	Tp (°C)	P_P (bar)	Psat (bar)	Pair (bar)	ω_p	ω_{air}	Q_E (W)	Q_C(W)	Q_R(W)
1:00	28.09	0.041	0.027	0.021	0.028	0.014	6,211.87	1,941.58	1,180.93
2:00	28.29	0.040	0.026	0.020	0.027	0.014	5,995.60	1,960.61	961.61
3:00	28.19	0.039	0.026	0.021	0.027	0.014	5,907.63	1,914.66	996.39
4:00	28.39	0.039	0.027	0.021	0.027	0.015	5,436.61	1,657.97	967.08
5:00	28.39	0.038	0.030	0.024	0.026	0.016	4,461.18	1,125.39	843.05
6:00	28.09	0.038	0.028	0.022	0.026	0.015	4,425.42	1,221.66	587.98
7:00	27.99	0.037	0.037	0.030	0.026	0.020	2,271.79	26.89	667.91
8:00	27.89	0.037	0.040	0.032	0.026	0.022	1,002.43	-259.51	14.76
9:00	27.99	0.037	0.046	0.037	0.026	0.025	33.84	-293.32	-203.90
10:00	28.39	0.038	0.050	0.040	0.026	0.027	-128.88	-259.84	-520.97
11:00	28.53	0.039	0.050	0.040	0.027	0.027	-51.89	-198.18	-678.73
12:00	29.16	0.040	0.050	0.040	0.028	0.028	4.51	-191.27	-613.87
13:00	29.79	0.042	0.050	0.040	0.029	0.028	108.16	-168.52	-553.38
14:00	30.03	0.043	0.058	0.046	0.030	0.032	-257.93	-318.13	-456.85
15:00	30.89	0.043	0.065	0.052	0.030	0.036	-446.17	-304.44	-785.86
16:00	30.89	0.044	0.042	0.033	0.031	0.023	402.12	33.16	-1,074.64
17:00	30.49	0.045	0.047	0.038	0.031	0.026	1,720.12	-217.02	154.77
18:00	30.29	0.045	0.033	0.026	0.031	0.018	1,888.21	454.31	-147.58
19:00	29.79	0.044	0.028	0.022	0.031	0.015	6,653.05	2,017.80	726.14
20:00	29.59	0.043	0.032	0.025	0.030	0.017	5,756.13	1,442.97	1,089.51
21:00	29.29	0.042	0.029	0.023	0.029	0.016	5,891.85	1,704.08	739.88
22:00	28.89	0.042	0.026	0.021	0.029	0.014	6,450.55	2,084.74	915.80
23:00	28.59	0.041	0.025	0.020	0.028	0.013	6,571.71	2,216.48	1,074.76
0:00	28.29	0.040	0.025	0.020	0.027	0.014	6,248.36	2,086.64	1,108.23

ตาราง ก.4 (ต่อ) ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนสูญเสียสู่อากาศโดยรอบของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-22 กุมภาพันธ์ 2553

Time	Tp (°C)	P_P (bar)	Psat (bar)	Pair (bar)	ω_p	ω_{air}	Q_E (W)	Q_C(W)	Q_R(W)
1:00	28.09	0.039	0.025	0.020	0.027	0.013	5,927.41	1,984.01	1,035.93
2:00	28.09	0.038	0.025	0.020	0.026	0.014	5,542.38	1,816.27	992.20
3:00	28.19	0.037	0.027	0.021	0.026	0.014	4,939.42	1,485.08	912.93
4:00	27.89	0.037	0.026	0.021	0.025	0.014	4,856.27	1,530.29	757.88
5:00	27.35	0.036	0.026	0.021	0.025	0.014	4,636.62	1,418.82	798.90
6:00	27.24	0.036	0.031	0.025	0.024	0.017	3,113.24	525.37	734.45
7:00	27.69	0.035	0.027	0.022	0.024	0.015	3,522.39	956.20	279.18
8:00	27.39	0.035	0.045	0.036	0.024	0.025	-454.28	-1,134.18	568.25
9:00	27.79	0.035	0.046	0.037	0.024	0.025	-90.75	-218.67	-643.38
10:00	28.02	0.036	0.052	0.041	0.025	0.029	-317.11	-302.61	-648.70
11:00	27.87	0.036	0.049	0.039	0.025	0.027	-118.36	-182.37	-912.63
12:00	28.69	0.038	0.048	0.039	0.026	0.027	-47.40	-185.94	-730.74
13:00	29.16	0.038	0.056	0.045	0.027	0.031	-369.63	-324.32	-608.66
14:00	29.95	0.040	0.054	0.043	0.028	0.030	-119.56	-177.88	-941.72
15:28	30.69	0.041	0.059	0.047	0.029	0.033	-281.54	-265.21	-738.76
16:00	30.99	0.043	0.046	0.037	0.030	0.025	248.04	-54.23	-887.25
17:00	31.09	0.043	0.043	0.034	0.030	0.023	882.59	23.65	-207.75
18:00	30.79	0.044	0.040	0.032	0.030	0.022	2,595.81	267.64	42.24
19:00	30.29	0.044	0.040	0.032	0.030	0.022	3,022.83	334.22	200.04
20:00	29.79	0.043	0.035	0.028	0.030	0.019	3,979.81	806.15	217.60
21:00	29.29	0.043	0.031	0.025	0.030	0.017	5,052.54	1,276.58	513.83
22:00	28.59	0.042	0.029	0.023	0.029	0.016	5,634.38	1,594.07	726.85
23:00	28.19	0.041	0.029	0.023	0.028	0.016	5,601.39	1,596.70	858.41
0:00	27.99	0.040	0.029	0.023	0.028	0.016	5,328.45	1,501.58	836.66

ตาราง ก.4 (ต่อ) ข้อมูลการคำนวณค่าอัตราความร้อนสูญเสียสู่อากาศโดยรอบของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ของวันที่ 18-22 กุมภาพันธ์ 2553

Time	Tp (°C)	P_P (bar)	Psat (bar)	Pair (bar)	ω_p	ω_{air}	Q_E (W)	Q_C(W)	Q_R(W)
1:00	27.79	0.040	0.030	0.024	0.027	0.016	4,754.92	1,224.52	788.02
2:00	27.89	0.039	0.027	0.021	0.027	0.014	5,179.69	1,594.02	649.14
3:00	28.19	0.038	0.028	0.022	0.026	0.015	4,853.46	1,358.49	858.80
4:00	27.99	0.038	0.028	0.023	0.026	0.015	4,450.22	1,197.55	704.96
5:00	27.99	0.037	0.030	0.024	0.026	0.016	3,968.78	960.02	639.11
6:00	27.69	0.037	0.031	0.025	0.025	0.017	3,302.30	633.72	520.24
7:00	27.49	0.036	0.034	0.027	0.025	0.019	2,488.19	257.72	354.42
8:00	27.59	0.036	0.037	0.030	0.025	0.020	1,591.47	-104.82	152.16
9:00	27.79	0.036	0.041	0.033	0.025	0.022	417.12	-208.67	-68.44
10:00	28.29	0.037	0.045	0.036	0.025	0.025	86.82	-238.36	-289.68
11:00	29.09	0.038	0.049	0.039	0.026	0.027	-78.65	-252.04	-473.63
12:00	29.59	0.040	0.053	0.042	0.027	0.029	-159.03	-247.49	-625.45
13:00	30.19	0.040	0.056	0.045	0.028	0.031	-230.18	-251.73	-728.60
14:00	31.09	0.042	0.065	0.052	0.029	0.036	-472.89	-305.33	-828.92
15:00	30.99	0.043	0.061	0.049	0.030	0.034	-212.86	-179.66	-1,135.66
16:00	31.09	0.044	0.064	0.051	0.031	0.036	-306.47	-236.64	-935.06
17:00	30.59	0.045	0.042	0.034	0.031	0.023	452.33	37.09	-979.83
18:00	30.29	0.045	0.032	0.026	0.031	0.018	4,828.83	1,208.57	154.99
19:00	29.99	0.045	0.031	0.025	0.031	0.017	5,940.46	1,546.03	796.11
20:00	29.69	0.044	0.029	0.023	0.030	0.016	6,266.31	1,801.15	832.51
21:00	29.29	0.043	0.034	0.027	0.030	0.019	4,801.66	999.51	955.40
22:00	28.89	0.042	0.028	0.022	0.029	0.015	5,590.73	1,648.67	525.38
23:00	28.69	0.041	0.027	0.021	0.028	0.014	6,169.10	1,935.60	926.06
0:00	28.19	0.040	0.026	0.021	0.028	0.014	5,988.67	1,881.59	996.95

ตาราง ก.5 ข้อมูลดิบในการทดสอบเพื่อหาค่าอัตราส่วนระหว่างค่าความร้อนของคอนเดนเซอร์ต่อค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบปั๊มความร้อน (EER) ของวันที่ 4 มีนาคม 2553

Time	Tst (°C)	Qcond (W)	Power (W)	Ta (°C)	Tst-Ta	ERR
10:00	31.44	3,500	0.99	28.50	2.94	3.28
10:01	31.54	3,500	1.00	28.70	2.84	3.28
10:02	31.94	3,580	1.01	28.90	3.04	3.27
10:03	31.74	3,500	0.99	28.50	3.24	3.27
10:04	31.94	3,550	0.99	29.10	2.84	3.28
10:05	32.14	3,500	1.01	28.90	3.24	3.27
10:06	32.34	3,500	1.02	28.70	3.64	3.25
10:07	32.44	3,550	1.03	28.90	3.54	3.25
10:08	32.64	3,500	1.03	28.50	4.14	3.23
10:09	32.74	3,600	1.03	29.20	3.54	3.25
10:10	33.04	3,500	1.04	29.50	3.54	3.25
10:11	33.04	3,500	1.03	28.40	4.64	3.21
10:12	33.24	3,550	1.04	29.20	4.04	3.24
10:13	33.54	3,580	1.04	29.10	4.44	3.22
10:14	33.94	3,500	1.04	28.90	5.04	3.20
10:15	34.04	3,550	1.05	29.50	4.54	3.22
10:16	34.14	3,500	1.05	29.40	4.74	3.21
10:17	34.24	3,500	1.05	29.00	5.24	3.19
10:18	34.34	3,580	1.05	29.30	5.04	3.20
10:19	34.54	3,500	1.06	30.40	4.14	3.23
10:20	34.54	3,500	1.06	30.20	4.34	3.22
10:21	35.14	3,682	1.06	28.90	6.24	3.15
10:22	35.14	3,515	1.05	29.30	5.84	3.17
10:23	35.54	3,726	1.07	29.50	6.04	3.16
10:24	35.54	3,570	1.07	30.00	5.54	3.18
10:25	35.64	3,511	1.08	30.00	5.64	3.18
10:26	35.84	3,537	1.09	29.30	6.54	3.14
10:27	35.94	3,483	1.09	29.90	6.04	3.16
10:28	35.94	3,359	1.09	29.30	6.64	3.14
10:29	36.14	3,387	1.09	29.60	6.54	3.14
10:30	36.64	3,623	1.09	30.30	6.34	3.15
10:31	36.74	3,573	1.10	29.30	7.44	3.11
10:32	36.94	3,592	1.11	29.90	7.04	3.12
10:33	37.14	3,610	1.11	29.50	7.64	3.10
10:34	37.14	3,504	1.11	30.70	6.44	3.14
10:35	37.44	3,583	1.11	30.80	6.64	3.14
10:36	37.64	3,599	1.11	30.00	7.64	3.10
10:37	37.64	3,502	1.11	30.90	6.74	3.13
10:38	37.84	3,520	1.12	29.50	8.34	3.07
10:39	37.94	3,483	1.11	30.50	7.44	3.11
10:40	38.24	3,553	1.12	30.70	7.54	3.10
10:41	38.34	3,517	1.13	30.50	7.84	3.09
10:42	38.54	3,533	1.13	30.50	8.04	3.08
10:43	38.84	3,597	1.14	30.50	8.34	3.07

ตาราง ก.5 (ต่อ) ข้อมูลดิบในการทดสอบเพื่อหาค่าอัตราส่วนระหว่างค่าความร้อนของคอนเดนเซอร์ต่อ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบปั๊มความร้อน (EER) ของวันที่ 4 มีนาคม 2553

Time	Tst (°C)	Qcond (W)	Power (W)	Ta (°C)	Tst-Ta	ERR
10:46	39.34	3,589	1.15	30.30	9.04	3.05
10:47	39.44	3,557	1.15	30.90	8.54	3.07
10:48	39.54	3,527	1.16	30.40	9.14	3.04
10:49	39.94	3,626	1.17	30.60	9.34	3.03
10:50	40.14	3,637	1.17	30.30	9.84	3.02
10:51	40.44	3,688	1.18	30.90	9.54	3.03
10:52	40.84	3,778	1.18	29.90	10.94	2.97
10:53	40.84	3,707	1.18	30.30	10.54	2.99
10:54	40.94	3,677	1.18	30.90	10.04	3.01
10:55	41.14	3,686	1.19	30.30	10.84	2.98
10:56	41.24	3,658	1.19	29.70	11.54	2.95
10:57	41.84	3,813	1.20	30.00	11.84	2.94
10:58	41.74	3,712	1.20	30.60	11.14	2.97
10:59	42.04	3,755	1.20	31.00	11.04	2.97
11:00	42.24	3,762	1.22	30.70	11.54	2.95
11:01	42.24	3,700	1.22	30.50	11.74	2.94
11:02	42.24	3,641	1.23	30.30	11.94	2.94
11:03	42.54	3,682	1.23	30.00	12.54	2.91
11:04	42.54	3,625	1.22	30.30	12.24	2.92
11:05	42.74	3,633	1.24	30.00	12.74	2.91
11:06	43.14	3,705	1.24	30.70	12.44	2.92
11:07	43.04	3,619	1.24	30.70	12.34	2.92
11:08	43.34	3,658	1.25	30.90	12.44	2.92
11:09	43.54	3,665	1.25	30.70	12.84	2.90
11:10	43.94	3,732	1.26	30.70	13.24	2.89
11:11	44.04	3,709	1.27	30.30	13.74	2.87
11:12	44.24	3,716	1.27	29.70	14.54	2.84
11:13	44.44	3,722	1.27	30.90	13.54	2.88
11:14	44.54	3,700	1.26	30.30	14.24	2.85
11:15	44.64	3,678	1.28	30.60	14.04	2.86
11:16	45.04	3,740	1.28	30.90	14.14	2.85
11:17	45.24	3,746	1.29	30.90	14.34	2.85
11:18	45.34	3,724	1.30	30.90	14.44	2.84
11:19	45.54	3,730	1.30	31.50	14.04	2.86
11:20	45.74	3,736	1.30	31.30	14.44	2.84
11:21	45.74	3,690	1.31	30.60	15.14	2.81
11:22	46.04	3,721	1.31	31.40	14.64	2.83
11:23	46.24	3,727	1.31	30.90	15.34	2.81
11:24	46.64	3,782	1.33	31.00	15.64	2.80
11:25	46.64	3,737	1.32	30.90	15.74	2.79
11:26	46.84	3,743	1.33	31.30	15.54	2.80
11:27	47.14	3,772	1.33	31.10	16.04	2.78
11:28	47.34	3,776	1.33	31.60	15.74	2.79
11:29	47.34	3,734	1.34	31.00	16.34	2.77

ตาราง ก.5 (ต่อ) ข้อมูลดิบในการทดสอบเพื่อหาค่าอัตราส่วนระหว่างค่าความร้อนของคอนเดนเซอร์ต่อ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบปั๊มความร้อน (EER) ของวันที่ 4 มีนาคม 2553

Time	Tst (°C)	Qcond (W)	Power (W)	Ta (°C)	Tst-Ta	ERR
11:32	47.94	3,748	1.36	31.30	16.64	2.76
11:33	48.04	3,731	1.36	30.90	17.14	2.74
11:34	48.24	3,735	1.37	31.10	17.14	2.74
11:35	48.54	3,762	1.37	31.10	17.44	2.73
11:36	48.74	3,766	1.37	31.10	17.64	2.72
11:37	48.64	3,706	1.37	30.90	17.74	2.72
11:38	48.84	3,711	1.37	30.70	18.14	2.70
11:39	48.94	3,694	1.38	30.70	18.24	2.70
11:40	49.24	3,720	1.39	30.30	18.94	2.67
11:41	49.24	3,683	1.39	31.10	18.14	2.70
11:42	49.34	3,668	1.39	31.30	18.04	2.71
11:43	49.84	3,734	1.40	30.60	19.24	2.66
11:44	50.04	3,738	1.40	30.50	19.54	2.65
11:45	50.04	3,702	1.41	30.50	19.54	2.65
11:46	50.24	3,707	1.41	30.60	19.64	2.64
11:47	50.44	3,711	1.42	30.60	19.84	2.64
11:48	50.54	3,696	1.42	30.90	19.64	2.64
11:49	50.74	3,701	1.42	30.90	19.84	2.64
11:50	50.84	3,686	1.43	31.00	19.84	2.64
11:51	51.04	3,690	1.44	32.00	19.04	2.67
11:52	51.24	3,695	1.43	31.30	19.94	2.63
11:53	51.24	3,662	1.45	31.30	19.94	2.63
11:54	51.44	3,667	1.44	31.30	20.14	2.63
11:55	51.64	3,671	1.45	31.30	20.34	2.62
11:56	51.94	3,694	1.45	31.10	20.84	2.60
11:57	52.24	3,716	1.46	32.00	20.24	2.62
11:58	52.24	3,684	1.47	32.20	20.04	2.63
11:59	52.24	3,653	1.47	32.80	19.44	2.65

ตาราง ก.6 ข้อมูลดิบในการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนรวมของถังเก็บน้ำ (UA) ของวันที่ 9 สิงหาคม 2553

Time	Tst (°C)	Ta (°C)	Tst-Ta	UA (W/K)	Time	Tst (°C)	Ta (°C)	Tst-Ta	UA (W/K)
19:00	48.469	25.30	23.14	4.34	19:46	48.248	24.80	23.34	4.30
19:01	48.464	25.30	23.14	4.34	19:47	48.243	25.00	23.14	4.34
19:02	48.459	25.50	22.94	4.37	19:48	48.239	25.00	23.14	4.34
19:03	48.455	25.40	23.04	4.35	19:49	48.234	24.80	23.44	4.28
19:04	48.450	25.40	23.04	4.35	19:50	48.229	25.20	22.94	4.37
19:05	48.445	25.30	23.14	4.34	19:51	48.224	25.10	23.04	4.35
19:06	48.440	25.50	22.94	4.37	19:52	48.219	25.30	22.84	4.39
19:07	48.435	25.70	22.74	4.41	19:53	48.215	25.20	22.94	4.37
19:08	48.431	25.60	22.84	4.39	19:54	48.210	25.40	22.74	4.41
19:09	48.426	25.50	23.34	4.30	19:55	48.205	25.10	23.04	4.35
19:10	48.421	25.40	23.04	4.35	19:56	48.200	25.10	23.04	4.35
19:11	48.416	25.50	22.84	4.39	19:57	48.195	24.90	23.24	4.32
19:12	48.411	25.40	23.04	4.35	19:58	48.191	25.00	23.14	4.34
19:13	48.407	25.30	22.94	4.37	19:59	48.186	25.10	23.04	4.35
19:14	48.402	25.40	23.14	4.34	20:00	48.181	25.00	23.14	4.34
19:15	48.397	25.40	23.04	4.35	20:01	48.176	25.10	23.04	4.35
19:16	48.392	25.40	23.04	4.35	20:02	48.171	25.00	23.14	4.34
19:17	48.387	25.50	22.94	4.37	20:03	48.167	25.00	23.24	4.32
19:18	48.383	25.40	22.94	4.37	20:04	48.162	25.20	22.94	4.37
19:19	48.378	25.80	22.64	4.43	20:05	48.157	25.10	23.04	4.35
19:20	48.373	25.70	22.74	4.41	20:06	48.152	25.10	23.14	4.34
19:21	48.368	25.60	22.74	4.41	20:07	48.147	25.30	22.84	4.39
19:22	48.363	25.50	22.94	4.37	20:08	48.143	25.10	22.94	4.37
19:23	48.359	25.80	22.54	4.45	20:09	48.138	25.20	22.94	4.37
19:24	48.354	25.70	22.74	4.41	20:10	48.133	25.30	22.94	4.37
19:25	48.349	25.50	22.94	4.37	20:11	48.128	25.20	22.94	4.37
19:26	48.344	25.50	22.94	4.37	20:12	48.123	25.10	23.04	4.35
19:27	48.339	25.40	23.04	4.35	20:13	48.119	25.20	22.94	4.37
19:28	48.335	25.60	22.84	4.39	20:14	48.114	25.20	22.94	4.37
19:29	48.330	25.60	22.74	4.41	20:15	48.109	25.20	22.84	4.39
19:30	48.325	25.40	22.94	4.37	20:16	48.104	25.20	22.84	4.39
19:31	48.320	25.30	23.04	4.35	20:17	48.099	25.20	22.84	4.39
19:32	48.315	25.20	23.04	4.35	20:18	48.095	25.40	22.74	4.41
19:33	48.311	25.40	23.14	4.34	20:19	48.090	25.30	22.74	4.41
19:34	48.306	25.20	23.04	4.35	20:20	48.085	25.30	22.74	4.41
19:35	48.301	25.20	23.04	4.35	20:21	48.080	25.30	22.84	4.39
19:36	48.296	25.40	22.84	4.39	20:22	48.075	25.00	23.14	4.34
19:37	48.291	25.10	23.14	4.34	20:23	48.071	25.10	23.04	4.35
19:38	48.287	25.30	22.94	4.37	20:24	48.066	25.00	23.14	4.34
19:39	48.282	25.10	23.24	4.32	20:25	48.061	25.20	22.94	4.37
19:40	48.277	25.00	23.24	4.32	20:26	48.056	25.20	22.84	4.39
19:41	48.272	24.90	23.34	4.30	20:27	48.051	25.60	22.44	4.47
19:42	48.267	25.10	23.04	4.35	20:28	48.047	25.30	22.94	4.37
19:43	48.263	25.60	22.64	4.43	20:29	48.042	25.20	22.94	4.37

ตาราง ก.6 (ต่อ) ข้อมูลดิบในการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนรวมของถังเก็บน้ำ (UA) ของวันที่ 9 สิงหาคม 2553

Time	Tst (°C)	Ta (°C)	Tst-Ta	UA (W/K)	Time	Tst (°C)	Ta (°C)	Tst-Ta	UA (W/K)
20:32	48.027	25.10	23.04	4.35	21:18	47.807	24.90	22.84	4.39
20:33	48.023	25.10	22.94	4.37	21:19	47.802	24.90	22.84	4.39
20:34	48.018	25.10	23.04	4.35	21:20	47.797	24.90	22.84	4.39
20:35	48.013	25.30	22.84	4.39	21:21	47.792	25.00	22.84	4.39
20:36	48.008	25.10	23.04	4.35	21:22	47.787	24.90	22.94	4.37
20:37	48.003	25.00	22.94	4.37	21:23	47.783	24.60	23.34	4.30
20:38	47.999	25.20	22.84	4.39	21:24	47.778	24.60	23.14	4.34
20:39	47.994	25.00	22.94	4.37	21:25	47.773	24.60	23.04	4.35
20:40	47.989	25.00	22.94	4.37	21:26	47.768	25.00	22.74	4.41
20:41	47.984	25.10	22.84	4.39	21:27	47.763	24.50	23.34	4.30
20:42	47.979	24.90	23.14	4.34	21:28	47.759	24.90	22.94	4.37
20:43	47.975	25.10	23.04	4.35	21:29	47.754	24.70	23.14	4.34
20:44	47.970	25.00	23.04	4.35	21:30	47.749	24.70	23.04	4.35
20:45	47.965	25.20	22.84	4.39	21:31	47.744	24.70	23.14	4.34
20:46	47.960	25.00	23.04	4.35	21:32	47.739	24.80	23.04	4.35
20:47	47.955	25.10	22.94	4.37	21:33	47.735	24.90	23.04	4.35
20:48	47.951	24.80	23.24	4.32	21:34	47.730	24.50	23.34	4.30
20:49	47.946	24.80	23.14	4.34	21:35	47.725	24.80	22.94	4.37
20:50	47.941	24.90	23.04	4.35	21:36	47.720	24.80	22.94	4.37
20:51	47.936	24.90	23.14	4.34	21:37	47.715	24.80	23.04	4.35
20:52	47.931	24.90	23.04	4.35	21:38	47.711	25.00	22.74	4.41
20:53	47.927	25.20	22.74	4.41	21:39	47.706	24.50	23.34	4.30
20:54	47.922	24.90	23.04	4.35	21:40	47.701	25.00	22.74	4.41
20:55	47.917	24.90	23.04	4.35	21:41	47.696	24.70	23.14	4.34
20:56	47.912	24.80	23.14	4.34	21:42	47.691	25.00	22.84	4.39
20:57	47.907	25.00	22.94	4.37	21:43	47.687	25.10	22.74	4.41
20:58	47.903	24.70	23.04	4.35	21:44	47.682	24.80	23.14	4.34
20:59	47.898	24.60	23.14	4.34	21:45	47.677	25.00	22.84	4.39
21:00	47.893	24.70	23.14	4.34	21:46	47.672	24.80	22.84	4.39
21:01	47.888	24.70	23.14	4.34	21:47	47.667	24.90	22.94	4.37
21:02	47.883	24.90	22.94	4.37	21:48	47.663	25.20	22.44	4.47
21:03	47.879	25.00	22.84	4.39	21:49	47.658	24.90	22.84	4.39
21:04	47.874	24.90	22.84	4.39	21:50	47.653	25.00	22.84	4.39
21:05	47.869	24.80	22.84	4.39	21:51	47.648	25.00	22.74	4.41
21:06	47.864	24.70	23.04	4.35	21:52	47.643	25.00	22.84	4.39
21:07	47.859	24.60	23.14	4.34	21:53	47.639	25.10	22.64	4.43
21:08	47.855	24.70	22.94	4.37	21:54	47.634	24.90	22.84	4.39
21:09	47.850	24.50	23.34	4.30	21:55	47.629	24.70	23.04	4.35
21:10	47.845	24.60	23.14	4.34	21:56	47.624	24.70	23.04	4.35
21:11	47.840	24.70	23.14	4.34	21:57	47.619	24.80	22.84	4.39
21:12	47.835	24.70	23.04	4.35	21:58	47.615	24.80	22.94	4.37
21:13	47.831	24.80	23.14	4.34	21:59	47.610	24.70	23.04	4.35
21:14	47.826	24.90	22.94	4.37	22:00	47.605	24.50	23.14	4.34
21:15	47.821	24.90	22.94	4.37	22:01	47.600	24.70	23.04	4.35

ตาราง ก.6 (ต่อ) ข้อมูลดิบในการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนรวมของถังเก็บน้ำ (UA) ของวันที่ 9 สิงหาคม 2553

Time	Tst (°C)	Ta (°C)	Tst-Ta	UA (W/K)	Time	Tst (°C)	Ta (°C)	Tst-Ta	UA (W/K)
22:04	47.586	24.70	23.04	4.35	22:50	47.365	24.20	23.14	4.34
22:05	47.581	24.60	23.14	4.34	22:51	47.360	24.40	22.94	4.37
22:06	47.576	24.70	22.84	4.39	22:52	47.355	24.30	23.04	4.35
22:07	47.571	24.80	22.84	4.39	22:53	47.351	24.30	23.04	4.35
22:08	47.567	25.00	22.64	4.43	22:54	47.346	24.30	22.94	4.37
22:09	47.562	24.80	22.84	4.39	22:55	47.341	24.40	22.94	4.37
22:10	47.557	24.90	22.84	4.39	22:56	47.336	24.30	23.04	4.35
22:11	47.552	24.90	22.74	4.41	22:57	47.331	24.50	22.74	4.41
22:12	47.547	24.70	22.84	4.39	22:58	47.327	24.40	22.84	4.39
22:13	47.543	24.60	23.04	4.35	22:59	47.322	24.40	22.94	4.37
22:14	47.538	24.90	22.74	4.41	23:00	47.317	24.40	22.74	4.41
22:15	47.533	24.90	22.74	4.41	23:01	47.312	24.40	22.74	4.41
22:16	47.528	24.60	23.04	4.35	23:02	47.307	24.20	23.14	4.34
22:17	47.523	24.60	23.14	4.34	23:03	47.303	24.30	22.94	4.37
22:18	47.519	24.50	23.24	4.32	23:04	47.298	24.20	22.94	4.37
22:19	47.514	24.40	23.24	4.32	23:05	47.293	24.20	23.24	4.32
22:20	47.509	24.50	23.14	4.34	23:06	47.288	24.30	23.04	4.35
22:21	47.504	24.40	23.34	4.30	23:07	47.283	24.20	23.04	4.35
22:22	47.499	24.50	23.24	4.32	23:08	47.279	24.30	22.94	4.37
22:23	47.495	24.40	23.04	4.35	23:09	47.274	24.30	23.04	4.35
22:24	47.490	24.50	23.04	4.35	23:10	47.269	24.50	22.74	4.41
22:25	47.485	24.50	23.24	4.32	23:11	47.264	24.50	22.74	4.41
22:26	47.480	24.50	23.14	4.34	23:12	47.259	24.30	22.94	4.37
22:27	47.475	24.50	23.04	4.35	23:13	47.255	24.40	22.94	4.37
22:28	47.471	24.40	23.24	4.32	23:14	47.250	24.40	22.84	4.39
22:29	47.466	24.50	23.04	4.35	23:15	47.245	24.20	23.04	4.35
22:30	47.461	24.40	23.24	4.32	23:16	47.240	24.30	22.94	4.37
22:31	47.456	24.30	23.24	4.32	23:17	47.235	24.30	22.94	4.37
22:32	47.451	24.30	23.24	4.32	23:18	47.231	24.40	22.94	4.37
22:33	47.447	24.20	23.34	4.30	23:19	47.226	24.20	23.24	4.32
22:34	47.442	24.30	23.24	4.32	23:20	47.221	24.30	22.94	4.37
22:35	47.437	24.30	23.24	4.32	23:21	47.216	24.40	22.84	4.39
22:36	47.432	24.20	23.14	4.34	23:22	47.211	24.30	22.94	4.37
22:37	47.427	24.20	23.14	4.34	23:23	47.207	24.60	22.64	4.43
22:38	47.423	24.20	23.14	4.34	23:24	47.202	24.50	22.64	4.43
22:39	47.418	24.20	23.24	4.32	23:25	47.197	24.70	22.54	4.45
22:40	47.413	24.30	23.04	4.35	23:26	47.192	24.20	22.94	4.37
22:41	47.408	24.40	22.94	4.37	23:27	47.187	24.30	22.94	4.37
22:42	47.403	24.40	23.04	4.35	23:28	47.183	24.40	22.84	4.39
22:43	47.399	24.50	22.84	4.39	23:29	47.178	24.30	22.84	4.39
22:44	47.394	24.50	22.84	4.39	23:30	47.173	24.30	22.84	4.39
22:45	47.389	24.30	23.04	4.35	23:31	47.168	24.40	22.84	4.39
22:46	47.384	24.20	23.04	4.35	23:32	47.163	24.50	22.74	4.41
22:47	47.379	24.20	23.04	4.35	23:33	47.159	24.30	22.94	4.37

ตาราง ก.6 (ต่อ) ข้อมูลดิบในการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนรวมของถังเก็บน้ำ (UA) ของวันที่ 9 สิงหาคม 2553

Time	Tst (°C)	Ta (°C)	Tst-Ta	UA (W/K)
23:36	47.144	24.30	22.94	4.37
23:37	47.139	24.50	22.74	4.41
23:38	47.135	24.60	22.54	4.45
23:39	47.130	24.40	22.84	4.39
23:40	47.125	24.30	22.94	4.37
23:41	47.120	24.50	22.74	4.41
23:42	47.115	24.40	22.84	4.39
23:43	47.111	24.20	23.04	4.35
23:44	47.106	24.20	23.04	4.35
23:45	47.101	24.30	22.84	4.39
23:46	47.096	24.10	23.14	4.34
23:47	47.091	24.10	23.14	4.34
23:48	47.087	23.90	23.14	4.34
23:49	47.082	24.10	23.04	4.35
23:50	47.077	24.10	23.04	4.35
23:51	47.072	24.20	22.94	4.37
23:52	47.067	24.30	22.84	4.39
23:53	47.063	24.30	22.84	4.39
23:54	47.058	24.40	22.74	4.41
23:55	47.053	24.20	22.94	4.37
23:56	47.048	24.40	22.74	4.41
23:57	47.043	24.40	22.64	4.43
23:58	47.039	24.20	22.84	4.39
23:59	47.034	24.20	23.04	4.35

ตาราง ก.7 ข้อมูลดิบในการทดสอบเพื่อหาประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (ε_{HX}) ของ

วันที่ 8 กรกฎาคม 2553

Time	Tst=Thi (°C)	Tp=Tci (°C)	Tho (°C)	ε_{HX}	Time	Tst=Thi (°C)	Tp=Tci (°C)	Tho (°C)	ε_{HX}
1:00	45.74	31.13	43.15	0.29	1:31	37.24	30.83	36.15	0.32
1:01	45.34	31.03	42.55	0.29	1:32	37.14	30.83	36.35	0.32
1:02	44.94	31.13	42.35	0.30	1:33	37.04	30.83	36.15	0.32
1:03	44.54	31.23	42.05	0.30	1:34	36.84	30.83	35.85	0.32
1:04	44.24	31.03	42.85	0.30	1:35	36.44	30.93	34.95	0.33
1:05	43.84	31.03	42.25	0.30	1:36	36.34	30.83	35.05	0.32
1:06	43.44	31.13	41.65	0.30	1:37	36.24	30.93	34.85	0.33
1:07	43.14	30.93	41.05	0.30	1:38	36.14	30.83	35.05	0.32
1:08	42.84	30.93	40.45	0.30	1:39	35.94	30.83	34.45	0.32
1:09	42.54	31.03	41.00	0.31	1:40	35.84	30.93	35.15	0.33
1:10	42.04	30.93	40.80	0.31	1:41	35.74	30.83	34.85	0.32
1:11	41.84	31.03	40.65	0.31	1:42	35.64	30.73	34.05	0.32
1:12	41.54	31.03	39.75	0.31	1:43	35.44	30.83	34.05	0.32
1:13	41.24	30.83	39.05	0.31	1:44	35.44	30.83	33.95	0.32
1:14	40.94	30.83	38.85	0.31	1:45	35.24	30.83	33.85	0.32
1:15	40.74	30.83	39.30	0.31	1:46	35.24	30.73	33.85	0.31
1:16	40.44	30.83	38.55	0.31	1:47	35.14	30.83	33.85	0.32
1:17	40.24	30.83	38.35	0.31	1:48	35.04	30.73	33.95	0.31
1:18	39.84	30.83	38.95	0.31	1:49	34.94	30.83	34.15	0.32
1:19	39.64	30.83	38.65	0.31	1:50	34.84	30.83	34.25	0.32
1:20	39.54	30.83	38.45	0.31	1:51	34.74	30.83	33.95	0.32
1:21	39.24	30.83	38.15	0.32	1:52	34.64	30.73	34.05	0.31
1:22	38.94	30.83	37.15	0.32	1:53	34.54	30.83	33.85	0.31
1:23	38.74	30.83	37.05	0.32	1:54	34.44	30.83	33.95	0.31
1:24	38.64	30.83	36.75	0.32	1:55	34.34	30.83	33.95	0.31
1:25	38.34	30.83	36.55	0.32	1:56	34.24	30.83	33.75	0.31
1:26	38.14	30.83	36.35	0.32	1:57	34.14	30.73	33.65	0.30
1:27	38.04	30.83	36.35	0.32	1:58	34.04	30.73	33.50	0.29
1:28	37.84	30.83	36.15	0.32	1:59	33.94	30.73	33.50	0.29
1:29	37.54	30.83	35.85	0.32	2:00	33.84	30.63	33.30	0.28
1:30	37.44	30.83	35.75	0.32					

ภาคผนวก ค

ผลงานวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

การประชุมวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ เกษตร วิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 2 วันที่ 29 สิงหาคม 2563 มหาวิทยาลัยพะเยา

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อนในการควบคุมอุณหภูมิบ่อเลี้ยงปลา

Feasibility Study of Using Solar Hot Water System with Assisted Heat Pump for Controlling Fish Pond Temperature

กรวัฒน์ วุฒิกิจ[1] และ ธนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์[1]
Korawat Wudtigid[1] and Tanongkiat Kiatsiroat[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อน เพื่อควบคุมอุณหภูมิบ่อเลี้ยงปลาในช่วงที่อากาศเย็น การทดสอบใช้ตัวเก็บรังสีแบบแผ่เรียบ 2 ตัว มีค่า $F_R(\tau\alpha)_n$ และ F_RU_L 0.72 และ 10.62 W/m²K ตามลำดับ ตัวรับรังสีแต่ละตัวมีพื้นที่ 2 m² ใช้ความร้อนกับน้ำร้อนขนาดความจุ 300 Liter โดยมีปั๊มความร้อนที่ใช้ R22 ที่มีความสามารถในการให้ความร้อนประมาณ 3.6 kW เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนกับน้ำร้อนในถังเก็บ[illegible] ที่มีขนาดเส้นผ่านประมาณ 20 m และวัดอุณหภูมิให้ได้อุณหภูมิ[illegible]

ผลการศึกษาได้ทดลองในช่วงเดือน [illegible] 2562 ถึงเดือนมีนาคม 2563 ในบ่อเลี้ยงปลาขนาด 1,200 ลิตร ในแต่ละบ่อ ระบบที่มีการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อน สามารถทำอุณหภูมิน้ำในบ่อได้ประมาณ 21 °C เมื่อประมาณ 22°C ออกในเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับบ่อที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิแล้วอุณหภูมิสูงสุดได้ไม่เกิน 22°C ในเดือนกุมภาพันธ์บ่อปลาที่มีการควบคุมอุณหภูมิสามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 27-31°C ได้ และน้ำหนักของปลาเมื่อเวลาผ่านไป 4 เดือนเพิ่มขึ้น 1.6 เท่าของบ่อที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ นอกจากนี้มีการจำลองการทำงานของระบบด้วยโปรแกรม[illegible] และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าระบบดังกล่าวมีค่า IRR 8%

คำสำคัญ: ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมด้วยปั๊มความร้อน, บ่อเลี้ยงปลา, ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

การประชุมวิชาการ วิศวกรรมแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2 วันที่ 25 พฤษภาคม 2553 ณ มหาวิทยาลัยพายัพ

Abstract

This research is to use a solar hot water system with an assisted heat pump to control a fish pond temperature in a cool weather. Two flat-plate solar collectors, each having $F_R(\tau\alpha)_n$ of 0.72, F_RU_L of 0.72 W/m^{2}K and an area of 2 m^2, in parallel connection were used to supply heat to a water storage having a capacity of 300 liter. A 3.5 kW R22 heat pump was used to supply auxiliary heat when the temperature in the storage tank was less than a set value. The hot water in the storage tank was used to mix up with water in a 20 m^3 fish pond having around 1000 catfishes to warm and keep the pond temperature to be constant.

The experimental study was carried out during December 2009- March 2010 and the results were compared with those of a similar pond without any temperature control. It could be found that for the pond with the solar heat pump control, the pond temperature could be increased from 21°C to 27°C in one week while the pond without any temperature control the pond temperature reached 27 °C in two months. In February this system could control fish pond temperature at 27-31°C. The fish weight after 4 months for the pond with temperature control could be around 1.6 times of that without temperature control. A simulation of the temperature controlled fish pond was also carried out and the IRR was around 8 %.

Keywords: solar water heating system with assisted heat pump, fish pond, solar collector

[1] [illegible] Asst. Prof., Ph.D. (Mechanical Engineering), Energy Engineering Program, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiangmai University, Chiangmai 50200, Thailand. [2] E-mail: kor_wat@hotmail.com

[1] Asst. Prof., Ph.D. (Mechanical Engineering), Energy Engineering Program, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiangmai University, Chiangmai 50200, Thailand. [2] E-mail: kor_wat@hotmail.com

1. บทนำ

อุณหภูมิน้ำในบ่อปลาที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาอยู่ที่ 28-30°C แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่านี้จะทำให้ระบบย่อยอาหารของปลาช้าลง กินอาหารน้อยลง ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลา ดังนั้นจึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะนำระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อนมาใช้ในการอุ่นน้ำบ่อเลี้ยงปลา

จากการศึกษาบทความที่เกี่ยวข้อง ของมารุต บุรพา(2009) ได้ใช้ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมด้วยปั๊มความร้อนแทนการใช้อิลิเมอร์ไฟฟ้าในการทำน้ำร้อนในอาคารเด็กอ่อนของโรงพยาบาลมหาราชเชียงใหม่ โดยในส่วนหนึ่งของงานวิจัยพบว่าระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์สามารถทำอุณหภูมิได้ 55°C ซึ่งทำให้เกิดแนวคิดที่จะนำระบบนี้มาใช้อุ่นน้ำบ่อเลี้ยงปลาที่อุณหภูมิประมาณ 30°C ได้ และระบบนี้ยังประหยัดค่าไฟฟ้ากว่าระบบทำน้ำร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้า

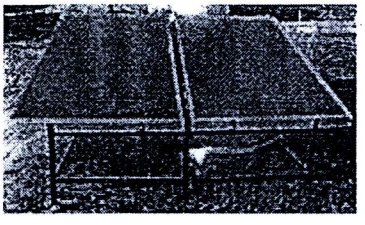
Tridoon Dus (2006) ได้ใช้ระบบเรือนกระจกร่วมกับการทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ในการอุ่นน้ำบ่อเลี้ยงปลาในฤดูหนาวของประเทศอินเดีย ผลการวิจัยพบว่าเมื่อใช้ระบบเรือนกระจกอย่างเดียวในการเพิ่มอุณหภูมิบ่อเลี้ยงปลาสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้ 3-5°C (อุณหภูมิบ่อปลาสูงสุด 20°C) เมื่อใช้ระบบเรือนกระจกร่วมกับการทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์สามารถเพิ่มอุณหภูมิได้ 4-6°C (อุณหภูมิบ่อปลาสูงสุด 23°C)

งานวิจัยนี้จะศึกษาความเป็นไปได้ในการทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เพื่อรักษาอุณหภูมิบ่อเลี้ยงปลาโดยมีปั๊มความร้อนทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม ปั๊มความร้อนสามารถดึงความร้อนจากอากาศโดยรอบมาผลิตน้ำร้อนในเวลากลางคืน หรือวันที่แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอได้

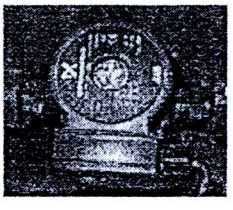
2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

2.1 การติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมด้วยปั๊มความร้อนในการควบคุมอุณหภูมิบ่อเลี้ยงปลา

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิจัยที่คณะเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ ในการวิจัยได้ใช้ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อนในการควบคุมอุณหภูมิบ่อเลี้ยงปลา ในการทดสอบใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ขนาด 2 m^2 ต่อขนานกันมีค่า $F_R(\tau\alpha)_e$=0.72, F_RU_L=10.52 W/m^2K ใช้ปั๊มน้ำขนาด 375 W ในการควบคุมการไหลของน้ำในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ดังรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาด 2 m^2 ต่อขนานกัน

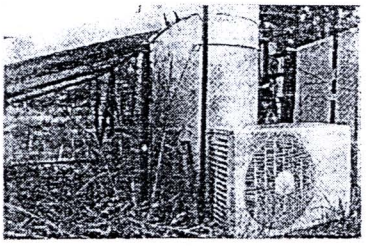


รูปที่ 2 ปั๊มน้ำขนาด 375 W

ระบบปั๊มความร้อนใช้ R-22 เป็นสารทำงานใช้คอมเพลสเซอร์แบบอัดไอขนาด 3.5 kW ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 ระบบปั๊มความร้อน

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์และระบบปั๊มความร้อนจะถูกต่อเข้ากับถังเก็บน้ำร้อนขนาด 300 Liter ดังรูปที่ 4

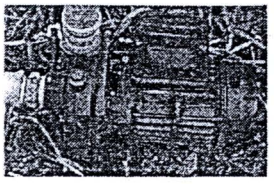


รูปที่ 4 ถังเก็บน้ำขนาด 300 Liter ต่อกับตัวเก็บรังสีและปั๊มความร้อน

น้ำร้อนจากถังเก็บน้ำจะถูกนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในบ่อปลา โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Shell & Tube ดังรูปที่ 5

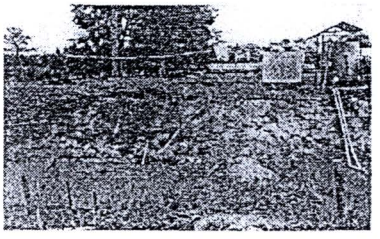
รูปที่ 5 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Shell & Tube

การสูบน้ำจากบ่อปลาและถังเก็บน้ำเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะใช้ปั๊มขนาด 1.49 kW ในการควบคุมอัตราการไหลดังรูปที่ 6 อัตราการไหลของน้ำจากถังเก็บน้ำเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 1kg/s อัตราการไหลของน้ำจากบ่อปลาเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับ 0.3kg/s (ไหลในท่อ)



รูปที่ 6 ปั๊มน้ำขนาด 1.49 kW

บ่อปลาที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด 5x5x1 m^3 บรรจุน้ำปริมาตร 20 m^3 (5x5x0.8 m^3) โดยจะเตรียมไว้ 2 บ่อ คือบ่อที่ทำการควบคุมอุณหภูมิและบ่อที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 บอปลาที่ทำการควบคุมอุณหภูมิ (ขวา) และบ่อที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ (ซ้าย)

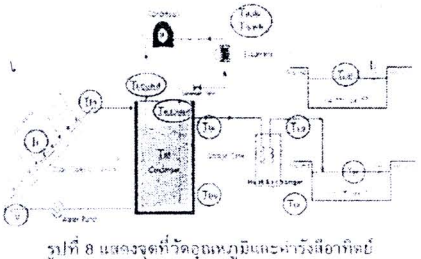
2.2 การทำงานของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ในการควบคุมอุณหภูมิบ่อเลี้ยงปลา

น้ำร้อนจากถังเก็บน้ำจะถูกนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในบ่อปลาโดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและจะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด 3 ช่วงเวลาในหนึ่งวัน ช่วงแรกเวลา 01:00-06:00 น. ช่วงที่ 2 เวลา 12:00-16:00 น. ช่วงที่ 3 เวลา 19:00-23:00 น ในช่วงกลางคืนอุณหภูมิน้ำในบอปลาจะลดลงเนื่องจากการสูญเสียความร้อนจากการระเหยการพาความร้อนและการแผ่รังสีของน้ำในบ่อปลากับอากาศโดยรอบ ดังนั้นจึงต้องทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในถังเก็บน้ำซึ่งจะตรงกับช่วงเวลาแรกและช่วงเวลาที่ 3 คือน้ำในถังเก็บน้ำจะรับความร้อนจากระบบปั๊มความร้อนไปพร้อมกับการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในบ่อปลา ในช่วงกลางวันน้ำในบ่อปลาจะรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ ความร้อนจากการพาความร้อนความร้อนจากการแผ่รังสี และความร้อนจากการ

แลกเปลี่ยนความร้อนกับถังเก็บน้ำซึ่งตรงกับช่วงที่ 2 นั่นคือในถังเก็บน้ำจะรับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไปพร้อมกับการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำใน Tube

2.3 อุปกรณ์วัด

Pyranometer ใช้ในการวัดค่ารังสีอาทิตย์ Thermo Couple Type K ใช้ในการวัดอุณหภูมิต่อเข้ากับ Data Logger โดยทำการวัดตามจุดต่างๆดังรูปที่ 8 ใช้ตราชั่งในการชั่งน้ำหนักปลาทุกๆ 1 เดือน และใช้ Clamp meter ในการวัดกำลังไฟฟ้าของปั๊มเพรสเซอร์



รูปที่ 8 แสดงจุดที่วัดอุณหภูมิและค่ารังสีอาทิตย์

2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สมการสมดุลพลังงานของถังเก็บน้ำ

$$Q_{coll} + Q_{comp} = Q_{HX} + (M_w C_p)_w \left(\frac{dT_w}{dt}\right) \quad (1)$$

จัดรูปแบบใหม่ได้เป็น

$$T_w^+ = T_w + \left(\frac{\Delta t}{M_w C_p}\right)_w (Q_{coll} + Q_{comp} - Q_{HX}) \quad (2)$$

ค่าอัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์

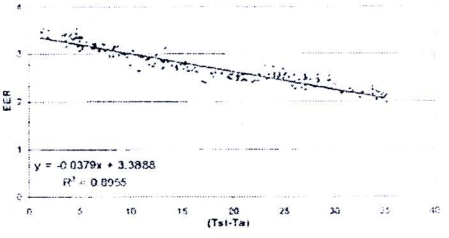
$$Q_{coll} = A_c \{F_R(\tau\alpha)_e I_T - F_R U_L (U_w - T_a)\} \quad (3)$$

ค่าอัตราความร้อนที่ได้จากปั๊มความร้อน

$$Q_{comp} = EER \times Power \quad (4)$$

จากการทดลองพบว่าค่า EER มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอุณหภูมิแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำในถังเก็บและอุณหภูมิอากาศรอบๆ อาจจัดในรูปสมการดังนี้

$$EER = a + b(T_w - T_a)$$



รูปที่ 9 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า EER และอุณหภูมิแตกต่างระหว่างน้ำในถังเก็บน้ำกับอากาศ

ดังนั้นค่าอัตราความร้อนที่ได้จากปั๊มความร้อนสามารถจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$Q_{comp} = (a + b(T_w - T_a)) \times Power \quad (5)$$

ค่าอัตราความร้อนที่ได้จากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

$$Q_{HX} = \varepsilon_{HX}\, m_c\, C_p (T_w - T_p) \quad (6)$$

สมการสมดุลพลังงานของบ่อปลา

$$Q_{HX} + Q_l = Q_E + Q_C + Q_R + (M_w C_p)_f \left(\frac{dT_p}{dt}\right) \quad (7)$$

จัดรูปแบบใหม่ได้เป็น

$$T_p^+ = T_p + \left(\frac{\Delta t}{M_w C_p}\right)_p (Q_{HX} + Q_l - Q_E - Q_C - Q_R) \quad (8)$$

ค่าอัตราความร้อนจากการระเหย

(Duffie and Beckman, 1991)

$$Q_E = A_p U_e^{2/3} \{35.0 + 4.3(T_a - T_p)^{1/3}\} (\omega_p - \omega_a)) \quad (9)$$

ค่าอัตราความร้อนจากการพาความร้อน

(Duffie and Beckman, 1991)

$$Q_C = Q_E \times \frac{0.0006\,(T_p - T_a)}{(\omega_p - \omega_a)} \quad (10)$$

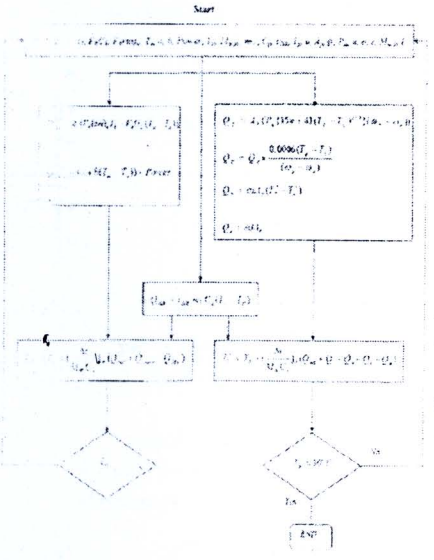
ค่าอัตราความร้อนจากการแผ่รังสี

$$Q_R = \sigma \varepsilon A_p (T_p^4 - T_a^4) \quad (11)$$

ค่าอัตราความร้อนที่ได้จากรังสีแสงอาทิตย์

$$Q_l = \alpha I A_p \quad (12)$$

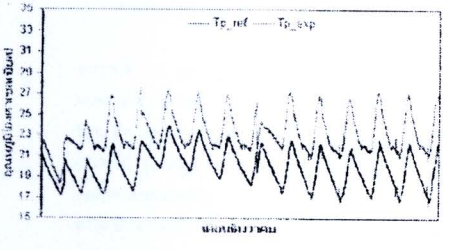
การคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีขั้นตอนในการคำนวณตามแผนผังในรูปที่ 10



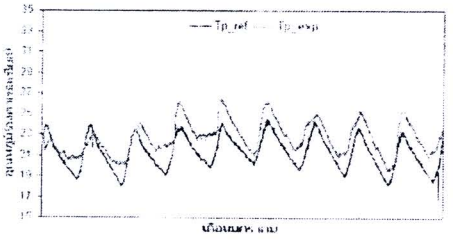
รูปที่ 10 แสดงแผนผังการคำนวณของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมด้วยปั๊มความร้อนในการควบคุมอุณหภูมิบ่อเลี้ยงปลาให้คงที่ 30 C

3. ผลการทดลอง

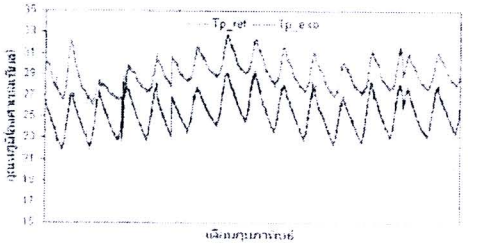
ผลจากการใช้ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อนในการอุ่นน้ำบ่อเลี้ยงปลาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 11, 12 และ 13



รูปที่ 11 แสดงค่าอุณภูมิของน้ำในบ่อปลาของเดือนธันวาคม



รูปที่ 12 แสดงค่าอุณภูมิของน้ำในบ่อปลาของเดือนมกราคม



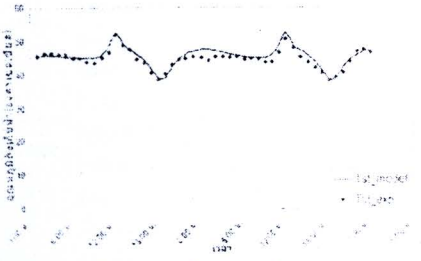
รูปที่ 13 แสดงค่าอุณภูมิของน้ำในบ่อปลาของเดือนกุมภาพันธ์

จากรูปที่ 11, 12 และ 13 จะสังเกตเห็นว่าค่าอุณหภูมิน้ำในบ่อปลาจาก 21 C ในเดือนธันวาคม ให้ได้ถึง 27°C ภายใน 1 อาทิตย์ ในเดือนกุมภาพันธ์ บ่อปลาที่ทำการควบคุมอุณหภูมิมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 30°C และบ่อปลาที่ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 25°C

3.1 ผลการทดลองเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

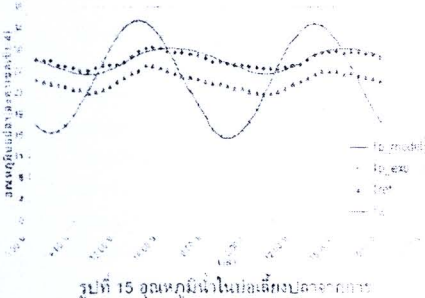
จากการทดลองพบว่า น้ำร้อนในถังในช่วง 01:00-06:00 น.มีการรับความร้อนจากปั๊มความร้อน แต่ยังมีค่าน้อยกว่าค่าความร้อนที่สูญเสียไปจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในบ่อปลาจึงทำให้อุณหภูมิของน้ำในถังลดลง ในช่วงเวลา 07:00-17:00 น.น้ำในถังรับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงช่วง12:00-18:00 น.น้ำในถังจะถูกนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในบ่อปลาทำให้มีอุณหภูมิลดลง ในช่วงเวลา19:00-23:00 น.น้ำในถังจะรับความร้อนจากปั๊มความร้อนไปพร้อมกับการแลกเปลี่ยน

ความร้อนกับบ่อเลี้ยงปลาแต่ช่วงนี้จะแตกต่างจากช่วง 01:00-06:00 น.เพราะค่าความร้อนที่ได้จากปั๊มความร้อนมีค่ามากกว่าความร้อนที่สูญเสียไปกับการแลกเปลี่ยนความร้อน ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำจากการทดลองเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากรูปที่ 14 จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำจากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 15 อุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาจากการทดลองเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากรูปที่ 15 พบว่าอุณหภูมิน้ำในบ่อที่มีให้ความร้อนจากจากระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมด้วยปั๊มความร้อน มีค่าสูงกว่าบ่อปกติ 5°Cและมีอุณภูมิอยู่ในช่วง 27-31°C อุณหภูมิของน้ำในบ่อปลามีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงตามอุณหภูมิของอากาศ และผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง

3.2 ผลทางเศรษฐศาสตร์

เมื่อนำทั้งระบบมาคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่าระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อนใช้ไฟฟ้า วันละ 30 บาท ภายใน 1 ปีทำงาน 122 วันโดย 1 ปีจะทำงานแค่ช่วงฤดูหนาวแต่ในฤดูฝนระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวสามารถให้ความร้อนที่เพียงพอแก่บ่อเลี้ยงปลาได้ ภายใน 1 ปีเลี้ยงปลา 3 ครั้ง เสียค่าซื้อปลา, ค่าอาหารและค่าขายปลาแสดงดังตารางที่ 1 ตารางที่ 1 แสดงค่าใช้จ่ายต่างๆ

รายการ	ราคา
ระบบSolar Heat pump	100,000 บาท
ค่าซื้อปลา	3,750 บาท/ปี
ค่าอาหาร	3,000 บาท/ปี
ค่าไฟฟ้า	3,647 บาท/ปี
ค่าขายปลา	24,000 บาท/ปี
IRR	9%

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อนสามารถทำอุณหภูมิของบ่อเลี้ยงปลาที่ 21°C มาที่ 27°C ในเวลาสั้นและสามารถควบคุมอุณหภูมิของบ่อเลี้ยงปลาให้อยู่ที่อุณหภูมิ 31-27°Cได้ ในเดือนกุมภาพันธ์อุณหภูมิของบ่อปลาที่ควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 29°C และค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของปลาที่ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิที่ 25°C ผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถนำมาพยากรณ์ผลของระบบได้และมีแนวโน้มใกล้เคียงกับการทดลอง เมื่อคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่าระบบมีค่า IRR=9%

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ เครือข่ายภาคเหนือ (สวทช.) บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่และภาควิชาวิศวกรรม,เครื่องกลและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการสนับสนุนค่าใช้จ่าย ตลอดเทคโนโลยีการประมงมหาวิทยาลัยแม่โจ้ในการสนับสนุนด้านสถานที่ในการวิจัยครั้งนี้

6. รายการสัญลักษณ์

Q_{sc} = อัตราความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (W)

Q_{hp} = อัตราความร้อนจากปั๊มความร้อน (W)

Q_{in} = อัตราความร้อนจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (W)

Q = อัตราความร้อนจากการระเหย (W)

Q_{sen} = อัตราความร้อนจากการแผ่รังสี (W)

Q_{rad} = อัตราความร้อนจากรังสีอาทิตย์ในแนวราบ(W)

$F_{(\tau\alpha)}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านและดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

$U_{(tot)}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (W/m^2K)

A_c = พื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (m^2)

I = ค่ารังสีอาทิตย์ในแนวเอียง (W/m^2)

t_w = อุณหภูมิของถังเก็บน้ำ (°C)

t_a = อุณหภูมิของอากาศ (°C)

EER = Energy Efficiency Ratio

Power = กำลังไฟฟ้าของปั๊มความร้อน (W)

COP = ค่า Factor ที่ได้จากการทดสอบของปั๊มความร้อน

m_w = อัตราการไหลของน้ำจากปั๊มปลาเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (kg/s)

C_{pw} = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg.K)

ε_{hx} = ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

T_f = อุณหภูมิของบ่อปลา (°C)

A_s = พื้นที่หน้าตัดของปั๊มปลา (°C)

P_v = ความดันบรรยากาศ (bar)

u = ความเร็วลม (m/s)

$(\omega)_{in}$ = ค่า Humidity ratio ของน้ำ ($kg_{water}/kg_{dry\ air}$)

$(\omega)_{out}$ = ค่า Humidity ratio ของน้ำ ($kg_{water}/kg_{dry\ air}$)

σ = ค่าคงที่ของสเตฟานโบลต์ซมันน์

ε = ค่า Emissivity ของอากาศ

I = ค่ารังสีอาทิตย์ในแนวราบ (W/m^2)

α = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของปลปลา

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ชนะ เกียรติ เกียรติศิริโรจน์ การออกแบบระบบพลังงานความร้อน พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2537

[2] มารุต บูรพา วิเคราะห์สมรรถนะระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีปั๊มความร้อนเสริม วิทยานิพนธ์เชียงใหม่: วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2552

[3] ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ (2547). Climatological data for the period 30 years (1971-2000). ได้จาก http://www.cmmet.com

[4] Duffie J. Beckman W. Solar Engineering of Thermal Processes. Second ed. John Wiley & Sons Interscience, 1991

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย กรวัฒน์ วุฒิกิจ
วัน เดือน ปีเกิด	26 พฤศจิกายน 2527
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษามัธยมตอนต้นและมัธยมปลายจาก โรงเรียนนวมินทราชูทิศ พายัพ 2545 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2552