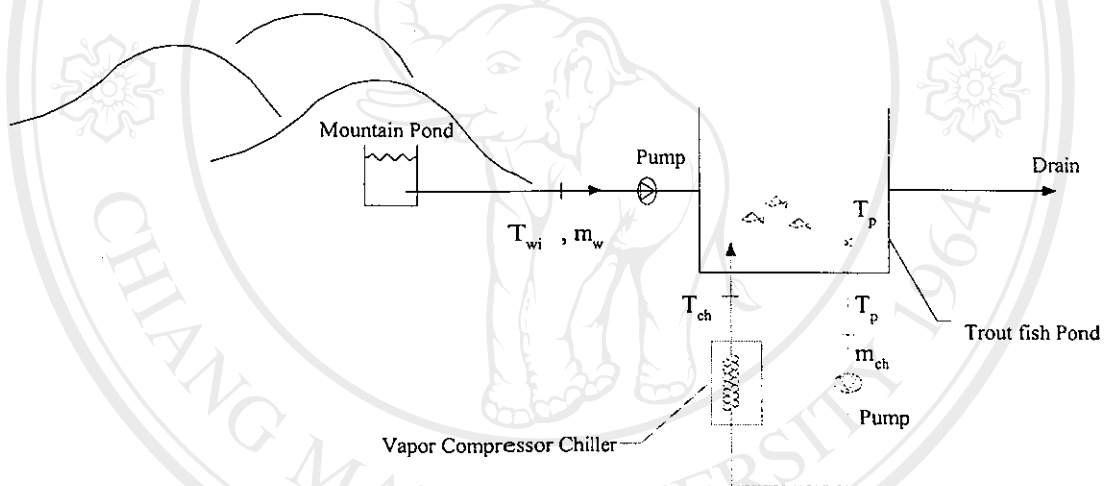


บทที่ 2

หลักการ และทฤษฎี

2.1 การคำนวณหาค่าภาระคายความร้อนของปลาเทร้าท์

ลักษณะของบ่อเลี้ยงปลาเทร้าท์ฟอพันธุ์แม่พันธุ์ของสถานีวิจัยประมงในที่สูง แสดงให้เห็นเป็นแผนผัง ได้ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำป้อนสำหรับบ่อเลี้ยงปลาจากน้ำใต้ดินบนภูเขา ส่งผ่านปั๊มน้ำเข้าสู่ตัวบ่อ และระบายน้ำทิ้งด้วยอัตราการไหลเดียวกัน เมื่อถึงช่วงเวลาผสมพันธุ์และฟักไข่ก็จะมีปั๊มอีกหนึ่งเครื่องทำการสูบน้ำจากบ่อเข้าสู่เครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอแล้วส่งกลับคืนบ่ออีกครั้ง



รูปที่ 2.1 แผนผังน้ำป้อน และการทำน้ำเย็นของบ่อเลี้ยงปลาเทร้าท์ฟอพันธุ์แม่พันธุ์

จากรูปที่ 2.1 ถ้าหากว่าปิดเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) และปิดวาล์วที่จะส่งผ่านน้ำเข้า Chiller จะได้สมการสมดุลพลังงานออกมาเป็น

$$\dot{m}_w c_p (T_p - T_{wi}) = Load_{trout} + \dot{Q}_p + \dot{Q}_{p,conduct} - (\rho V c_p)_p \frac{dT_p}{dt} \quad (2.1)$$

โดยที่ $\dot{m}_w$ = อัตราการไหลของน้ำป้อน, kg/sec

c_p = ค่าความจุความร้อนของน้ำป้อน, J/kgK

$Load_{\text{trout}}$	=	ภาระคายความร้อนของปลาเทราท์, W
T_p	=	อุณหภูมิน้ำในบ่อปลาเทราท์, °C
T_{wi}	=	อุณหภูมิน้ำป้อนจากภูเขา, °C

$\dot{Q}_{p,conduct}$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W) ที่ให้กับบ่อเนื่องจากการนำความร้อนจากอากาศภายนอกและพื้นดิน ผ่านผนังคอนกรีตโดยรอบ หาได้จากสมการการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน

$$\text{จากอากาศโดยรอบ} \quad \dot{Q}_{p,conduct} = \frac{kA}{L}(T_a - T_p) \quad (2.2)$$

$$\text{จากพื้นดิน} \quad \dot{Q}_{p,conduct} = \frac{kA}{L}(T_g - T_p) \quad (2.3)$$

$\dot{Q}_p$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W) ของบ่อเนื่องจากการระเหยน้ำที่ผิวบ่อ ($\dot{Q}_{p,evap}$ มีค่าเป็นลบ) หรือการควบแน่นของอากาศบนผิวบ่อ ($\dot{Q}_{p,condense}$ มีค่าเป็นบวก) หาได้จาก

$$\dot{Q}_p = \dot{m}_p h_{fg} \quad (2.4)$$

โดย $\dot{m}_p$ คือ อัตราการระเหยของน้ำ ($\dot{m}_{p,evap}$) หรือการควบแน่นของอากาศ ($\dot{m}_{p,condense}$) ที่ผิวบ่อ มีหน่วยเป็น kg/sec หาได้จาก

$$\dot{m}_p = \frac{EA_p}{3402} \quad (2.5)$$

h_{fg} = ความร้อนแฝงของการระเหย/ควบแน่น ที่อุณหภูมิในบ่อ, kJ/kg

A_p = พื้นที่ของผิวน้ำในบ่อ, m²

E คือ อัตราการระเหยของน้ำ หรือการควบแน่นของอากาศมีหน่วยเป็น in/day คำนวณได้จากสมการของ Horton (1917) คือ

$$E = 0.4(2 - e^{0.2v})(P_w - P_a) \quad (2.6)$$

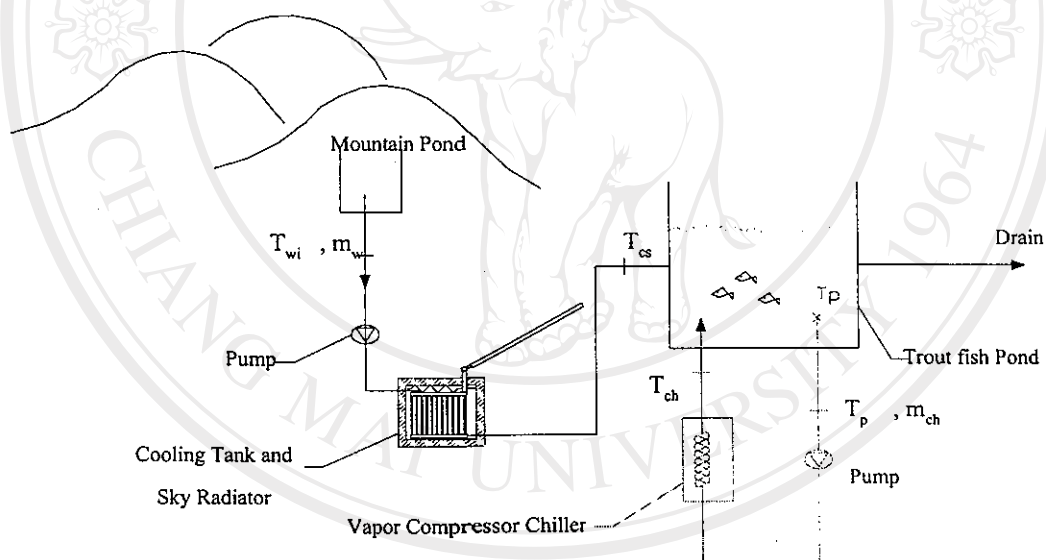
เมื่อ P_w = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิของผิวน้ำ, in ของปรอท

P_a = ความดันไอของอากาศเหนือผิวน้ำ, in ของปรอท

v = ความเร็วลม, mph

2.2 การคำนวณขนาดของถังทำน้ำเย็น และค่าพลังงานความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกจากถัง

โดยปกติทั่วไปการติดตั้งถังทำน้ำเย็นจะฝังไว้ใต้ดินเพื่อลดการสูญเสียความเย็นสู่บรรยากาศภายนอก แต่ในโครงการวิจัยนี้จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องที่สถานีวิจัยประมงในที่สูงบนคอกอินทนนท์ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านพื้นที่ ทำให้ไม่สามารถฝังถังทำน้ำเย็นไว้ใต้ดินได้ ฉะนั้นจึงทำการติดตั้งถังไว้บนผิวดินและป้องกันการสูญเสียความเย็นด้วยการหุ้มฉนวนหนาเป็นพิเศษแทน ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนผังดังรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าตำแหน่งที่ติดตั้งจะอยู่ระหว่างแหล่งน้ำจากภูเขา กับบ่อเลี้ยงปลาเทร้าท์ โดยยังคงรูปแบบแผนผังแบบเดิมไว้ครบถ้วน นั้นรวมไปถึงวงจรเครื่องทำน้ำเย็นแบบเดิมซึ่งยังคงเป็นอุปกรณ์หลักในการทำน้ำเย็นให้กับบ่อปลาเทร้าท์ฟาร์มแม่พันธุ์



รูปที่ 2.2 แผนผังน้ำป้อน และการทำน้ำเย็นของบ่อเลี้ยงปลาเทร้าท์ฟาร์มแม่พันธุ์

หลังจากติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนภาคกลางคืน

จากรูปที่ 2.2 เมื่อพิจารณาขอบเขตที่บ่อเลี้ยงปลาเทร้าท์จะได้สมการสมดุลพลังงานดังนี้

$$\dot{m}_w c_p (T_p - T_{cs}) + \dot{m}_{ch} c_p (T_p - T_{ch}) = Load_{trout} + \dot{Q}_p + \dot{Q}_{p,conduct} - (\rho V c_p)_p \frac{dT_p}{dt} \quad (2.7)$$

จากรูปที่ 2.2 เมื่อพิจารณาขอบเขตที่เครื่องทำน้ำเย็นแบบวิธีระบายความร้อนภาคกลางคืนจะได้สมการสมดุลพลังงานเป็น

$$\dot{Q}_u = \dot{m}_w c_p (T_{wi} - T_{cs}) + (UA)_{cs} (T_a - T_{cs}) - (\rho V c_p)_{cs} \frac{dT_{cs}}{dt} \quad (2.8)$$

เมื่อ	$\dot{Q}_u$	=	อัตราความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกจากเครื่องทำน้ำเย็น, W
	$\dot{m}_w$	=	อัตราการไหลของน้ำป้อนจากภูเขา, kg/sec
	$\dot{m}_{ch}$	=	อัตราการไหลของน้ำที่ส่งผ่านเข้า Chiller, kg/sec
	U_{cs}	=	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของถังทำน้ำเย็นและฉนวน, W/m ² K
	A_{cs}	=	พื้นที่ผิวของถังทำน้ำเย็น, m ²
	T_{cs}	=	อุณหภูมิของน้ำหลังออกจากเครื่องทำน้ำเย็น, °C
	T_{ch}	=	อุณหภูมิของน้ำหลังออกจาก Chiller, °C
	T_a	=	อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม, °C

2.3 การสมดุลพลังงานความร้อนที่เทอร์โมไซฟอน

อัตราความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน($\dot{Q}_E$) มีค่าเท่ากับอัตราความร้อนที่ถ่ายเทออกจากส่วนควบแน่น($\dot{Q}_C$) โดยที่การถ่ายเทความร้อนที่ส่วนทำระเหยเป็นแบบการพาความร้อนเพียงอย่างเดียว แต่ที่ส่วนควบแน่นเป็นทั้งแบบการพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน สามารถแสดงอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$\dot{Q}_u = \dot{Q}_E \quad (2.9)$$

$$\dot{Q}_E = \dot{Q}_C \quad (2.10)$$

$$\dot{Q}_E = h_E A_E (T_w - T_E) \quad (2.11)$$

$$\dot{Q}_C = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad} \quad (2.12)$$

$$\dot{Q}_{conv} = h_C A_C (T_C - T_a) \quad (2.13)$$

โดยที่ $\dot{Q}_{conv}$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อน, W

$\dot{Q}_{rad}$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อน, W

h_E, h_C = ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นตามลำดับ, W/m²K

$$A_E, A_c = \text{พื้นที่ส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นตามลำดับ, m}^2$$

$$T_E, T_c = \text{อุณหภูมิของส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นตามลำดับ, } ^\circ\text{C}$$

2.4 การเติมสารทำงานในเทอร์โมไซฟอน

การเติมสารทำงาน ถ้ามามากเกินไปจะทำให้ของเหลวถูกพุงตัวลอยขึ้นไปปิดกั้นการควบแน่นของส่วนควบแน่นทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง รวมทั้งยังเป็นการสิ้นเปลืองอีกด้วย ถ้าหากเติมน้อยเกินไปจะทำให้เกิดการแห้งในขณะทำงาน ในทางที่ถูกต้องควรจะใช้หลักการดังต่อไปนี้

$$F = \frac{V_l}{Al_e} \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } F &= \text{อัตราการเติมสารทำงาน} \\ V_l &= \text{ปริมาตรสารทำงาน, m}^3 \\ A &= \text{พื้นที่หน้าตัดภายในท่อ, m}^2 \end{aligned}$$

ค่า F ควรจะอยู่ระหว่าง 40%- 60% สำหรับท่อตรง และ 60%-80% สำหรับท่อเอียง และปริมาตรในการเติมจะต้องมีค่าสัมพันธ์กับสมการต่อไปนี้

$$V_l > 0.001D_i(l_e + l_a + l_c) \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } D_i &= \text{เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของท่อด้านใน, m} \\ l_e, l_a, l_c &= \text{ความยาวส่วนทำระเหย ส่วนอะเดียบาติก และส่วนควบแน่นตามลำดับ, m} \end{aligned}$$

2.5 การคำนวณการแผ่รังสีความร้อนสู่ท้องฟ้า

ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่า การแผ่รังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าจะทำได้ดีในช่วงเวลากลางคืน เพราะว่าท้องฟ้าในเวลากลางคืนเปรียบเสมือนวัตถุดำ (Black Body) ขนาดใหญ่ จึงสามารถดูดกลืนรังสีความร้อนจากวัตถุนบนโลกได้ดี ค่าความร้อนจากการแผ่รังสีคำนวณได้จาก

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon A \sigma (T_s^4 - T_{sky}^4) \quad (2.16)$$

เมื่อ ε	=	ค่าสภาพการเปล่งรังสี
A	=	พื้นที่ผิววัตถุ, m^2
σ	=	ค่าคงที่ของ Stefan – Boltzmann มีค่าเท่ากับ $5.6697 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
T_{sky}	=	อุณหภูมิท้องฟ้า, K
T_s	=	อุณหภูมิผิววัตถุ, K

ในที่นี้อุณหภูมิผิววัตถุ ก็คือ อุณหภูมิผิวด้านนอกส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนนั่นเอง ($T_s = T_c$) จะเขียนสมการ (2.16) ได้เป็น

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon A_c \sigma (T_c^4 - T_{sky}^4) \quad (2.17)$$

สำหรับอุณหภูมิท้องฟ้า (T_{sky}) Bliss (1961) ได้ให้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิท้องฟ้ากับอุณหภูมิอากาศที่บรรยากาศทั่วไป และความชื้นสัมพัทธ์ไว้ดังนี้ ซึ่งสมการนี้ใช้ได้ดี ถ้าหากว่าท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม

$$T_{sky} = T_a \left[0.8 + \frac{(T_{dp} - 273)}{250} \right]^{1/4} \quad (2.18)$$

Swimbank (1963) ได้ให้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิท้องฟ้า กับอุณหภูมิอากาศที่บรรยากาศ (T_a) ไว้ดังนี้

$$T_{sky} = 0.0552 T_a^{1.5} \quad (2.19)$$

สมการที่ (2.19) สามารถใช้ได้ทั้งอุณหภูมิบรรยากาศท้องถิ่นทั่วไปแต่จะให้ผลดีที่สุดต่อเมื่อท้องฟ้าแจ่มใส

Berdahl และ Martin (1984) ได้ให้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิท้องฟ้ากับความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิอากาศที่บรรยากาศของสหรัฐอเมริกาไว้ดังนี้

$$T_{sky} = T_a \varepsilon_{sky}^{1/4} \quad (2.20)$$

$$\varepsilon_{sky} = 0.711 + 0.56 \left[\frac{T_{dp} - 273}{100} \right] + 0.73 \left[\frac{T_{dp} - 273}{100} \right]^2 \quad (2.21)$$

2.6 การสมดุลพลังงานความร้อนที่ถังทำน้ำเย็นในกรณีที่มีควาล์วน้ำเข้าและออก

ในขณะที่ระบบทำน้ำเย็นภาคกลางคืนทำงาน จะต้องปิดควาล์วน้ำเข้าและออกเสียก่อน โดยที่อัตราความร้อนที่ถ่ายเทออกจากน้ำในถังน้ำ (Q_u) มีค่าเท่ากับ อัตราการทำความเย็นของน้ำในถัง รวมกับอัตราการรับความร้อนเพิ่มจากอากาศรอบนอก และอัตราความร้อนที่นำผ่านผนังเทอร์โมไซฟอนลงมาถึง (Q_{Tube}) จึงสามารถแสดงสมการ(2.8)ได้ใหม่เป็น

$$Q_u = -(\rho V c_p)_{cs} \frac{dT_{cs}}{dt} + UA(T_a - T_{cs}) + Q_{Tube} \quad (2.22)$$

เมื่อ	ρ	=	ความหนาแน่นของน้ำ, kg/m ³
	c_p	=	ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ, J/kgK
	T_{cs}	=	อุณหภูมิน้ำในถังทำน้ำเย็น, °C
	T_a	=	อุณหภูมิอากาศรอบนอก, °C
	U	=	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของถังทำน้ำเย็นและฉนวน, W/m ² K
	A	=	พื้นที่ผิวของถังทำน้ำเย็น, m ²
	V	=	ปริมาตรของถังทำน้ำเย็น, m ³

อัตราความร้อนที่นำผ่านผนังเทอร์โมไซฟอนลงมาถึง (Q_{Tube}) สามารถเปรียบเสมือนส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนได้กับครีป จะได้

$$Q_{Tube} = \eta_f h_f A_f (T_E - T_w) \quad (2.23)$$

$$\eta_f = \frac{\tanh mL}{mL} \quad (2.24)$$

$$m = \sqrt{\frac{hP}{Ak}} \quad (2.25)$$

เมื่อ	h_f	=	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของครีป, W/m ² K
	k	=	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของครีป, W/m K
	A_f	=	พื้นที่ครีป, m ²
	L	=	ความยาวครีป, m
	P	=	เส้นรอบรูปภาคตัดของครีป, m

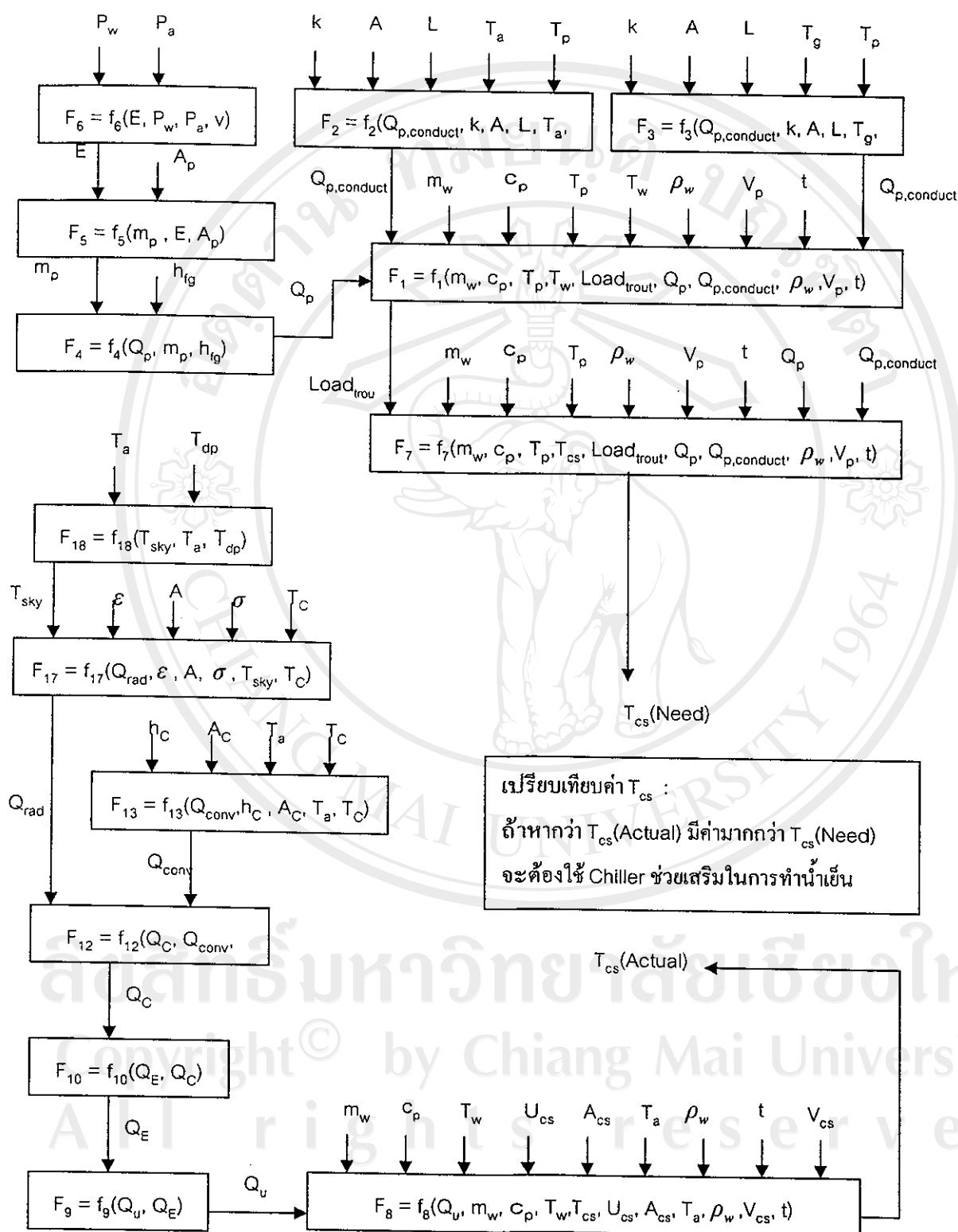
2.7 การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ในทางวิศวกรรมมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะต้องใช้ประกอบการตัดสินใจว่ามีความคุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่ สำหรับการศึกษาครั้งนี้เป็นการประเมินระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ของเครื่องทำน้ำเย็น โดยวิธีระบายความร้อนภาคกลางคืนซึ่งหาได้จาก

$$PP = \frac{C}{N} \quad (2.26)$$

โดยที่ PP = ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period), ปี
 C = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Capital Cost), บาท
 N = ค่าพลังงานการทำน้ำเย็นโดยระบบอัดไอที่ประหยัดได้ต่อปี (Saving Cost), บาท

เครื่องทำน้ำเย็นโดยวิธีระบายความร้อนภาคกลางคืนไม่มีค่าพลังงานในการเดินเครื่อง (Running Cost) และค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา (Operation and Maintenance Cost)



รูปที่ 2.3 แสดงการใช้สมการในการวิเคราะห์ระบบทำน้ำเย็นโดยวิธีระบายความร้อนภาคกลางคืน
สำหรับบ่อปลาเทร้าท์ในช่วงพักไข่