บทที่ 2
ทฤษฎีระบบอุ่นน้ำกระชังปลาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ก่อนที่จะดำเนินการออกแบบระบบอุ่นน้ำในกระชังปลาระบบปิดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จะกล่าวถึง การเลี้ยงปลาในกระชัง ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาในกระชังระบบปิด หลักการทำงานของระบบอุ่นน้ำในกระชังปลาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบปิด และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระชังปลาระบบปิด ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 เลี้ยงปลาในกระชัง [2]

การเลี้ยงปลาในกระชัง หมายถึง การเลี้ยงปลาในภาชนะกักขังที่ใช้ไม้หรือวัสดุอื่นใดเป็นกรอบสี่เหลี่ยม และใช้เนื้ออวนไนล่อนทำเป็นถุงสี่เหลี่ยมขนาดเดียวกันกับพื้นที่กรอบ สวมและขึงให้ตึงทั้งสี่มุม ลักษณะเดียวกันกับการกางมุ้งหงายขึ้น ถุงอวนจมอยู่ใต้น้ำ และชายอวนอยู่เหนือน้ำพอประมาณ เพื่อป้องกันปลาหลบหนี ขนาดช่องตาอวนใหญ่พอให้น้ำไหลผ่านเข้าออกได้แต่ปลาออกไม่ได้ ปริมาณปลาที่เลี้ยงในกระชังสามารถปล่อยลงเลี้ยงให้มีความหนาแน่นสูง ซึ่งไม่มีปัญหาเรื่องน้ำเสีย เพราะตัวกระชังจะนำไปผูกแขวนลอยไว้ในแหล่งน้ำ เช่น แม่น้ำ ลำคลอง หนองบึง และอ่างเก็บน้ำ คุณสมบัติของน้ำในกระชังจะยังคงสภาพดีอยู่ตลอดเวลา เช่นเดียวกับคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำนั้น ทั้งนี้เพราะสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ และเศษอาหารที่บูดเน่าตกค้างจะถูกกระแสน้ำพัดพาออกนอกกระชังทางหนึ่ง และอีกทางหนึ่งการว่ายน้ำของปลาที่เลี้ยงในกระชังทำให้น้ำหมุนเวียนช่วยผลักดันของเสียดังกล่าว

2.1.1 ชนิดของกระชังเลี้ยงปลา

- กระชังชนิดก้นกระชังติดพื้นท้องดิน ไม่จำเป็นต้องมีทุ่นลอย ดังนั้นปัญหาที่สำคัญที่ควรระวังคือการขึ้นลงของน้ำที่กระชังตั้งอยู่ เพราะอาจทำให้กระชังจมผิวใต้น้ำ ปลาที่เลี้ยงเล็ดลอดหายไป ปลาที่เลี้ยงง่ายต่อการเป็นโรคจำพวกพาราไซด์ ซึ่งเกิดจากการเน่าเปื่อยของอินทรีย์วัตถุที่พื้นก้นกระชังตั้งอยู่
- กระชังลอย หมายถึงกระชังที่แขวนลอยอยู่บนทุ่น และพื้นก้นกระชังอยู่ผิวดินที่กระชังตั้งอยู่ สำหรับกระชังนี้เป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลาย มีการถ่ายเทน้ำได้ดี และไม่มีปัญหาเกี่ยวกับพวกพาราไซด์และระดับน้ำขึ้นลง
- กระชังครึ่งลอยครึ่งจม หมายถึงกระชังที่มีฝาปิดและแขวนลอยใต้ผิวน้ำ กระชังชนิดนี้ไม่เป็นที่นิยมทั้งนี้เพราะยากต่อการให้อาหาร และดูแลรักษา ตลอดจนปลาที่เลี้ยงไม่มีโอกาสขึ้นมาบนผิวน้ำ

2.1.2 ประโยชน์ของการเลี้ยงปลาในกระชัง

การเลี้ยงปลาในกระชังเป็นการเลี้ยงปลาอีกรูปแบบหนึ่งที่ให้ผลผลิตสูง ลดต้นทุนการผลิต สะดวกในการดูแลรักษา ไม่ต้องมีปัญหาคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลา สามารถดัดแปลงเลี้ยงได้ทั้งในแม่น้ำ ลำคลอง หนองบึงและอ่างเก็บน้ำต่างๆ ให้เหมาะสมกับสถานที่นั้น ๆ ได้ การเลี้ยงปลาในกระชัง เมื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงปลาในบ่อดินแล้วจะพบว่าการเลี้ยงปลาในกระชังมีข้อดี ดังนี้ คือ

- เป็นการใช้แหล่งน้ำที่มีอยู่ให้เป็นประโยชน์ โดยไม่จำเป็นต้องสร้างหรือดัดแปลงพื้นดิน โดยสามารถสร้างกระชังเลี้ยงปลาได้เลย ไม่จำเป็นที่ต้องจัดการคุณภาพน้ำและในแหล่งน้ำมีอาหารธรรมชาติที่สมบูรณ์อยู่แล้ว
- สามารถเลี้ยงปลาได้หนาแน่น เมื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงปลาโดยวิธีอื่นๆในเนื้อที่เท่ากัน สะดวกในการดูแลรักษา การให้อาหาร เพราะพื้นที่เลี้ยงแคบ ดูแลได้ทั่วถึงและไม่ต้องกังวลเรื่องคุณภาพน้ำที่อาจทำให้ปลาชะงักการเจริญเติบโตหรือตายได้ เนื่องจากมีการถ่ายเทน้ำผ่านตลอดเวลา
- ปลาใช้ประโยชน์จากอาหารสมทบได้เต็มที่ และใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงให้ได้ขนาดที่ ต้องการน้อยกว่าในบ่อ
- สะดวกในการจับปลาและสามารถที่จะจับปลาได้ทั้งหมดหรือสะดวกในการคัดขนาดของปลาที่ต้องการออกได้สะดวก

2.1.3 ข้อจำกัดของการเลี้ยงปลาในกระชัง

การเลี้ยงปลาในกระชังมีข้อจำกัดอยู่หลายด้าน ซึ่งสามารถจำแนกได้ ดังนี้ คือ

- บริเวณที่ตั้งกระชังเลี้ยงปลาจะต้องมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น คุณภาพน้ำต้องมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ กระแสน้ำไหลในอัตราที่พอเหมาะและไม่ก่อให้เกิดปัญหาโรคปลาตลอดเวลาที่เลี้ยง สถานที่ตั้งกระชังจะต้องตั้งอยู่ในบริเวณที่หลบคลื่นลมและปราศจากกระแสน้ำเชี่ยว
- ปลาที่ปล่อยเลี้ยงในกระชัง จะต้องขนาดโตกว่าตาอวน หรือช่องกระชัง ทั้งนี้เพราะว่าหากปลามีขนาดเล็กหรือเท่ากับช่องตากระชัง ก็ทำให้ปลาลอดช่องกระชังหนีไป หรือเข้าไปติดอยู่ในช่องกระชังได้
- ปลาที่เลี้ยงควรมีลักษณะการกินอาหารที่พร้อมๆกันปลาที่เลี้ยงควรมีลักษณะการกินอาหารที่พร้อม ๆ กันทันที ที่มีการให้อาหาร เพื่อให้ปลากินอาหารให้มากที่สุดก่อนที่อาหารจะถูกกระแสน้ำพัดพาออกไปนอกกระชัง
- การเลี้ยงปลาในกระชังจะต้องหมั่นตรวจสอบกระชังและทำความสะอาดอยู่เสมอ เพราะกระชังจะถูกพวกตะกอนเกาะติดได้ง่าย เกิดการชำรุด

- ในกรณีแหล่งน้ำเลี้ยงผิดปกติ เช่น เกิดสารพิษหรือปริมาณน้ำมากหรือน้อยในทันที หากเกิดสภาวะเช่นนี้ ทำให้การย้ายปลาไปเลี้ยงที่อื่นทันที

2.1.4 ชนิดของปลาที่นิยมเลี้ยงในกระชัง

ปลาที่มีความเหมาะสมแก่การเลี้ยงในกระชังนั้น จะต้องมีการเจริญเติบโตดี กินอาหารไม่เลือกและกินอาหารธรรมชาติได้ดี เลี้ยงได้อย่างหนาแน่น ทนต่อสภาพแวดล้อมและต้านทานต่อโรคได้สูง ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

- ปลาน้ำจืด ชนิดของปลาที่นิยมเลี้ยงในกระชัง ได้แก่ ปลาบู่ ปลาแรด ปลาชะโด ปลาสวาย ปลานิล ปลาดุกและปลาตะเพียนขาว
- ปลาน้ำกร่อย ชนิดของปลาที่นิยมเลี้ยงในกระชังที่มีอยู่ 2 ชนิด คือ ปลากะพงขาวและปลากะรัง ทั้งนี้ เพราะว่าปลาทั้ง 2 ชนิด เป็นปลาที่เลี้ยงง่าย โตเร็วและสามารถหาพันธุ์ได้ง่ายกว่าปลาชนิดอื่น ๆ

ตารางที่ 2.1 อัตราการเจริญเติบโตของปลาชนิดต่างๆที่เลี้ยงในกระชัง

ชนิด (ปลา)	**ขนาดที่ปล่อย** (เซนติเมตร)	**อัตราปล่อย** (ตัวต่อตารางเมตร)	**ระยะเวลา** (เดือน)	**อัตราการเจริญเติบโต** (กิโลกรัม/ตัว)	**อุณหภูมิเลี้ยงที่เหมาะสม** ($^{\circ}$C)
บู่	100-300 กรัม	70-100	4-8	0.4-1	26-32
แรด	10-15	25	8-12	0.5-1	
ชะโด	8-15	200	8-12	1	
สวาย	10-15	150-200	8-12	1-3	
นิล	5-6	200-250	4-6	0.25-0.48	
ดุก	5-6	200-350	2-3	0.3-0.4	

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของน้ำ [2]

คุณสมบัติของน้ำ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลา ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อคุณสมบัติของน้ำสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.2.1 อุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแหล่งน้ำขึ้นอยู่กับความลึกและขนาดของแหล่งน้ำนั้นเป็นสำคัญ ในแหล่งน้ำขนาดใหญ่จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยและเป็นไปอย่างช้าๆ เพราะสามารถจะดูดกลืนความร้อนได้มาก ส่วนความลึกของน้ำนั้นในระดับที่ผิวน้ำการเปลี่ยนแปลงมากกว่าที่ระดับลึก แต่หากระดับลึกมากๆ ก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ทั้งนี้เพราะว่าแสงสามารถส่องลงไปได้น้อย ซึ่งก่อให้เกิดการแบ่งชั้นของอุณหภูมิ แก้ไขโดยให้น้ำหมุนเวียน อุณหภูมิที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 26-32°C และจะต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากนัก

2.2.2 ปริมาณออกซิเจน

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ มีผลต่อการเจริญเติบโต ซึ่งความต้องการออกซิเจนของปลาจะแตกต่างกันไปตามชนิดของปลานั้น แหล่งน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลา ควรมีออกซิเจนที่ละลายน้ำอยู่ในช่วง 4.0-8.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2.3 ความเป็นกรดเป็นด่าง

แหล่งน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาควรอยู่ระหว่าง 6.5-7.5 แต่ในแหล่งน้ำกร่อยน้ำค่อนข้างเป็นด่างเล็กน้อยคือระหว่าง 7.5-9.0 และแหล่งน้ำนั้นจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างน้อย หรือไม่เกิน ± 0.5 เพราะหากมีการเปลี่ยนแปลงมาก ก็ทำให้ปลาเกิดความเครียด

2.2.4 แร่ธาตุอาหาร

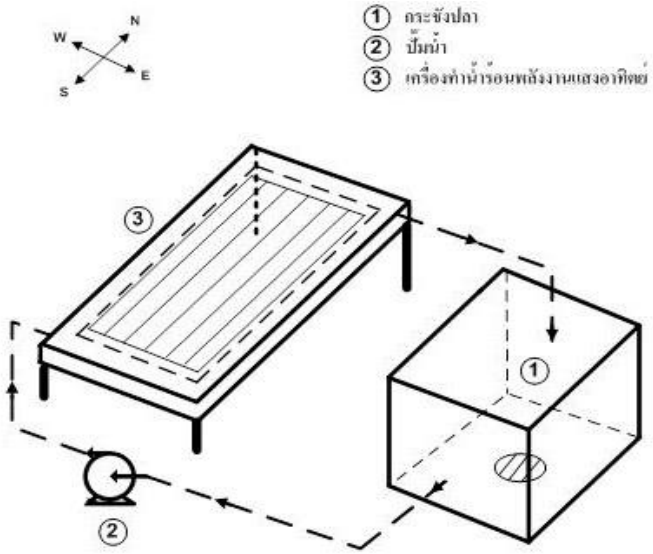
มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาทั้งทางตรงและทางอ้อม หากแหล่งน้ำนั้นมีปริมาณแร่ธาตุอาหารที่มากพอก็จะส่งผลให้เกิดอาหารธรรมชาติที่สมบูรณ์ ส่งเสริมให้ปลาเจริญเติบโตเร็วและแข็งแรง

2.2.5 แอมโมเนีย

เกิดจากของเสียที่เกิดจากขบวนการเมตาบอลิซึมในตัวสัตว์น้ำและการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ภายในกระชังหรือพื้นดินใต้ท้องน้ำ ซึ่งระดับแอมโมเนียที่เป็นอันตรายต่อปลาคือ 0.6-2.0 ส่วนในล้านและที่ระดับ 0.1 ส่วนในล้านก็ทำให้ปลาเกิดความเครียด

2.3 หลักการทำงานของระบบอุ่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

หลักการทำงานของระบบอุ่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเลี้ยงปลาในกระชัง ปั๊มน้ำจะทำหน้าที่ดึงน้ำในกระชัง ผ่านเข้าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Collector) เพื่อผลิตน้ำร้อนมีอุณหภูมิประมาณ 40-60 °C น้ำร้อนที่ผ่านเครื่องทำน้ำร้อนจะไหลกลับลงสู่กระชังเลี้ยงปลา โดยควบคุมอุณหภูมิน้ำในกระชังให้อยู่ในช่วง 26-32 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลา แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบอุ่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเลี้ยงปลาในกระชังระบบปิด

2.3.1 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในกระชัง

คุณสมบัติของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Collector) มีดังนี้

- ขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาด 0.59×2.4 m^2
- กระจกครอบ 1 ชั้น หนา 1 mm
- ฉนวนทำด้วย Mineral Wood ด้านข้างหนา 15 mm และด้านล่างหนา 40 mm
- มีช่วงอุณหภูมิใช้งานระหว่าง -20-180 °C
- ตัวเก็บรังสีมีขนาดน้ำหนักรวม 30 kg
- ใช้แผ่นดูดกลืนแบบ Selective Surface ทำด้วยอะลูมิเนียม
- ค่าการดูดกลืน $\rho = 0.95$
- ค่าการแผ่รังสี $\varepsilon = 0.15$
- ใช้ทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 mm
- อัตราการไหล 0.31 kg/s , ประสิทธิภาพ 63%

2.3.2 ประเภทของรังสีที่ผิวโลก [3]

รังสีตรง (Beam or Direct Radiation) คือรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกลงบนผิวรับแสง มีทิศทางแน่นอนที่เวลาใดเวลาหนึ่ง ทิศทางของรังสีตรงอยู่ในลำแสงอาทิตย์

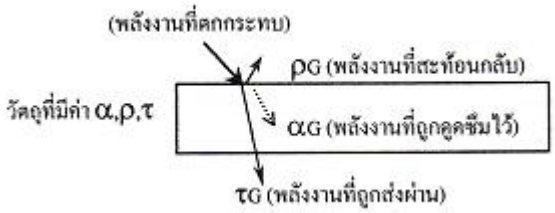
รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) คือรังสีดวงอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนจากบรรยากาศของโลกและวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบพื้นผิวรับแสง รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางของท้องฟ้า

รังสีรวม (Total or Global Radiation) คือผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายที่ตกกระทบผิวรับแสง สำหรับกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นราบ รังสีรวมจะมาจากครึ่งท้องฟ้าไม่มีส่วนที่มาจากผิวโลก เรียกรังสีรวมในกรณีนี้ว่า Global Radiation

2.3.3 คุณสมบัติของการแผ่รังสี [4]

เมื่อพลังงานจากการแผ่รังสีตกกระทบบนผิวของวัตถุจะมีพลังงานบางส่วนถูกวัตถุดูดกลืนไว้ (Absorbtion: α) บางส่วนจะสะท้อนออกไป (Reflection: ρ) ส่วนที่เหลือจะถูกส่งผ่านออกไป (Transmission: τ) จากวัตถุก้อนนั้นดังรูปที่ 2.2
ดังนั้น ผลรวมของรังสี

$$\alpha+\rho+\tau = 1 \qquad (2.1)$$



รูปที่ 2.2 ผลของรังสีตกกระทบบนวัตถุ

2.3.4 ค่าการดูดกลืน (Absorptivity), ค่าการสะท้อน (Reflectivity) และค่าการส่องผ่าน (Transmisstivity) [4]

$$\text{ค่าการดูดกลืน, } \alpha = \frac{\text{พลังงานที่ถูกดูดกลืน ไว้}}{\text{พลังงานที่ตกกระทบ}} \tag{2.2}$$

$$\text{ค่าการสะท้อนกลับ, } \rho = \frac{\text{พลังงานที่สะท้อนออกมา}}{\text{พลังงานที่ตกกระทบ}} \tag{2.3}$$

$$\text{ค่าการส่องผ่าน, } \tau = \frac{\text{พลังงานที่ผ่านวัตถุออกไป}}{\text{พลังงานที่ตกกระทบ}} \tag{2.4}$$

2.3.5 ค่าการแผ่รังสี (Emissivity) [4]

ค่าการแผ่รังสีของวัตถุใดๆ คืออัตราส่วนของพลังงานจากการแผ่รังสีที่ปลดปล่อยออกมาจากวัตถุนั้นต่อพลังงานจากการแผ่รังสีที่ปลดปล่อยออกจากวัตถุดำที่อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุ ถ้าผิวเรียบจะมีการแผ่รังสีมาก แต่ถ้าผิวหยาบจะถูกดูดกลืนไว้ ค่าการแผ่รังสีจะน้อยลง ในวัตถุที่มีอุณหภูมิเท่าๆ กันนั้น วัตถุดำจะสามารถแผ่รังสีได้มากที่สุด ดังนั้นการแผ่รังสีของวัตถุต่างๆ จึงมีค่าอยู่ในช่วง 0 กับ 1 เสมอ

2.3.6 การแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุดำ

อัตราถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีจากวัตถุที่เป็นวัตถุดำที่มีอุณหภูมิ T และพื้นที่ผิว A มีสมการ ดังนี้

$$Q_b = \sigma A T^4 \tag{2.5}$$

เมื่อ σ คือ Stefan-Boltzmann constant (5.669×10^{-8} W/m^2K^4)

A คือ พื้นที่ของวัตถุ (m^2)

T คือ อุณหภูมิของผิววัตถุ (K)

2.3.7 การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุเทา

อัตราการแผ่ความร้อนโดยการแผ่รังสีของวัตถุเทา มีสมการดังนี้

$$Q = \varepsilon\sigma AT^4 \tag{2.6}$$

เมื่อ ε คือ ค่าการแผ่รังสีของวัตถุเทา

2.3.8 การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน [5]

- **สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน**

จากกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's Law of Cooling) มีสมการดังนี้

$$Q_c = \overline{h_c} A(T_s - T_f) \tag{2.7}$$

เมื่อ $\overline{h_c}$ คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยที่ผิวสัมผัสของของไหลกับวัตถุ (W/m^2K)

A คือ พื้นที่ของวัตถุที่สัมผัสกับของไหล (m^2)

T_s คือ อุณหภูมิของผิววัตถุ (K)

T_f คือ อุณหภูมิของของไหลอิสระที่อยู่ห่างออกไปจากผิววัตถุ (K)

- **สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยอาศัยแรงลอยตัว**

การพาความร้อนโดยอาศัยแรงลอยตัวมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของของไหล เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในของไหลและแรงกระทำกับของไหล คือแรงโน้มถ่วงของโลกของไหลที่ร้อนจะลอยตัวสูงขึ้นและของไหลที่เย็นกว่าจะตกลงข้างล่างมาแทนที่ ทำให้เกิดการพาความร้อนเกิดขึ้น สัมประสิทธิ์ การพาความร้อนโดยอาศัยแรงลอยตัวสามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$\overline{Nu} = \left(\frac{h_L L}{k} \right) \tag{2.8}$$

เมื่อ $\overline{Nu_L} = 0.54\,Ra_L^{1/4}$; $10^4 \le Ra_L \le 10^7$

หรือ $\overline{Nu_L} = 0.15\,Ra_L^{1/3}$; $10^7 \le Ra_L \le 10^{11}$

โดยที่ $Ra_L = Gr_L\,Pr = \dfrac{g\beta\,(T_s - T_\infty)L^3}{\upsilon\alpha}$

ดังนั้น $h_L = \overline{Nu_L}\left(\dfrac{L}{k}\right)$ (2.9)

2.3.9 การนำความร้อนในสภาวะไม่สม่ำเสมอ

การนำความร้อนในสภาวะไม่สม่ำเสมอจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่จุดๆ หนึ่งในตัวกลางเปลี่ยนแปลงกับเวลา การนำความร้อนแบบ 1 มิติ ในตัวกลางที่มีรูปร่างเป็นแผ่นหนามากๆ สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$Q(t) = \frac{k(T_0 - T_i)}{\sqrt{\pi\alpha_d t}} \qquad (2.10)$$

เมื่อ k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวกลาง (W/m.K)

t คือ เวลา (s)

T_0 คือ อุณหภูมิของตัวกลางที่ขอบผิว (K)

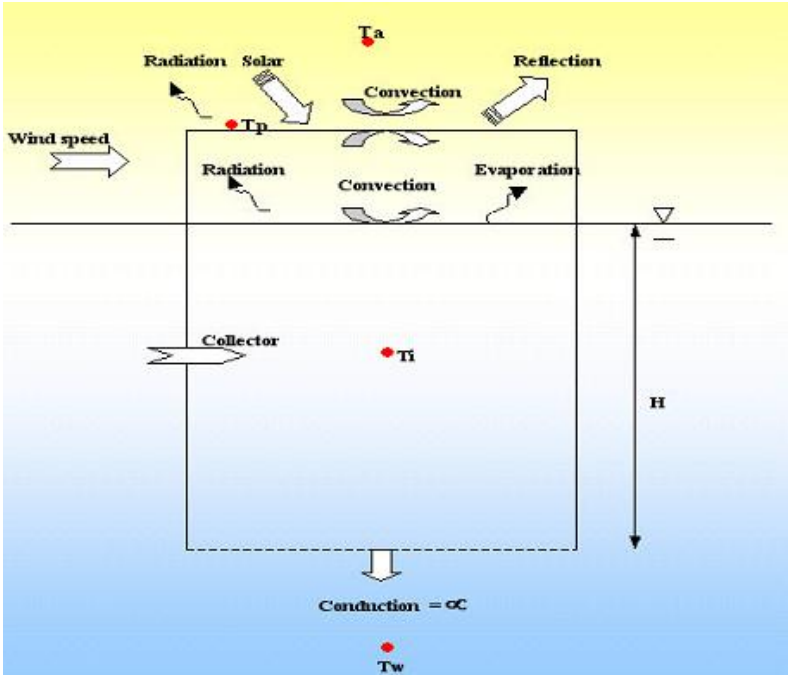
α_d คือ ค่าการแพร่กระจายความร้อนของตัวกลาง (m^2/s)

2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระชังเลี้ยงปลา

สมมติฐานในการทดลอง

1. ค่าการสะท้อนของพลาสติกถือว่าน้อยมาก
2. ไม่คิดการสะท้อนจากสระน้ำเข้าสู่กระชัง
3. พื้นที่ด้านข้างส่วนบนของกระชังไม่นำมาคำนวณ
4. คุณสมบัติของน้ำและพลาสติกมีค่าคงที่
5. อุณหภูมิของน้ำในกระชังมีความสม่ำเสมอเท่ากันทุกจุด
6. วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนแบบไม่สม่ำเสมอแบบทิศทางเดียว โดยไม่คิดการนำและการสูญเสียความร้อนด้านข้าง

พิจารณากระชัง ดังรูปที่ 2.3 จากข้อสมมุติฐานสำหรับการวิเคราะห์หาอุณหภูมิน้ำในกระชัง สามารถสร้างสมดุลพลังงานได้ 2 ส่วน คือสมดุลพลังงานที่ผิวพลาสติกและที่น้ำในกระชัง ดังต่อไปนี้



รูปที่2.3 สมดุลพลังงานของกระชังเลี้ยงปลา

2.4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผิวพลาสติก

พิจารณาจากรูปที่ 2.3 สมดุลพลังงานของผิวบนพลาสติก สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$\rho_p C_p \Delta x_p \frac{\partial T_p}{\partial t} = \alpha_p I_T + h_{ci}(T_i - T_p) + h_{ri}(T_i - T_p) + m_e h_{fg} + h_c(T_a - T_p) + h_r(T_{sky} - T_p) \quad (2.11)$$

เมื่อ ρ_p คือ ความหนาแน่นของพลาสติก (kg/m^3)

C_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะของพลาสติก (J/kg·K)

Δx_p คือ ความหนาของพลาสติก (m)

t คือ เวลา (s)

T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (K)

T_i คือ อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในกระชัง (K)

T_p คือ อุณหภูมิผิวพลาสติก (K)

T_{sky} คือ อุณหภูมิท้องฟ้า (K)

h_{ci} คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในกระชัง (W/m^2K)

h_{ri} คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนภายในกระชัง (W/m^2K)

h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยลม (W/m^2K)

h_r คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนโดยลม (W/m^2K)

I_t คือ ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m^2)

α_p คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพลาสติก

m_e คือ อัตราการระเหยของไอน้ำ (kg/hr)

h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kJ/kg)

2.4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของน้ำในกระชัง

พิจารณารูปที่ 2.3 จากสมดุลพลังงานของน้ำในกระชัง กรณีที่ได้รับพลังงานความร้อนจากตัวเก็บรังสี สามารถเขียนเป็นสมการสมดุลพลังงานของน้ำในกระชังได้ ดังนี้

$$\rho_w C_w \Delta x_p \frac{\partial T_i}{\partial t} = \tau_p \alpha_w I_T + h_{ci}(T_p - T_i) + h_{ri}(T_p - T_i) - m_e h_{fg} + \frac{Q_u}{Ai} + \frac{k_w}{\sqrt{\pi \alpha_{dw} t}}(T_w - T_i) \quad (2.12)$$

เมื่อ ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

C_w คือ ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kg·K)

Δx คือ ความลึกของน้ำ (m)

τ_p คือ ค่าการส่องผ่านของพลาสติก

α_w คือ ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของน้ำ

α_{dw} คือ ค่าการแพร่กระจายความร้อนของน้ำ (m^2/s)

Ai คือ พื้นที่หน้าตัดของผิวน้ำในกระชัง (m^2)

k_w คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของน้ำ (W/m·K)

Q_u คือ ความร้อนที่ได้รับจากตัวเก็บรังสี (W)

t คือ เวลา (s)

T_i คือ อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในกระชัง (K)

T_w คือ อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในสระ (K)

2.4.3 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนในกระชัง

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างผิวระเหยกับผิวกลั่นตัว มีสมการดังนี้

$$h_{ci} = 0.884\left[(T_i - T_p) + \frac{(P_i - P_p)(T_i + 273)}{(268.9\times10^3 - P_i)}\right]^{1/3} \quad (2.13)$$

เมื่อ P_i คือ ความดันย่อยของไอน้ำที่อุณหภูมิผิวน้ำ (N/m^2)

P_w คือ ความดันย่อยของไอน้ำที่อุณหภูมิผิวพลาสติก (N/m^2)

2.4.4 อัตราการถ่ายเทมวล

สมการอัตราการถ่ายเทมวลไว้ดังนี้

$$m_e = 1.6273\times10^{-2} h_{ci}(P_i - P_p) \quad (2.14)$$

2.4.5 สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนในกระชัง

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างผิวน้ำในกระชังกับผิวพลาสติก เป็นวัตถุที่มีพื้นที่เท่ากันและวางขนานกัน โดยปรับปรุงดังนี้

$$h_{ri} = \frac{\sigma(T_i + T_p)(T_i^2 + T_p^2)}{\frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_p} - 1} \quad (2.15)$$

เมื่อ ε_w คือ ค่าการแผ่รังสีของน้ำ

ε_p คือ ค่าการแผ่รังสีของพลาสติก

σ คือ Stefan-Boltzmann constant (5.669×10^{-8} W/m^2K^4)

2.4.6 สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากผิวพลาสติกไปยังอากาศแวดล้อม

การแผ่รังสีจากวัตถุที่มีขนาดเล็กถูกล้อมรอบด้วยวัตถุที่มีขนาดใหญ่ มีสมการดังนี้

$$h_r = \sigma\varepsilon_p (T_p + T_{sky})(T_p^2 + T_{sky}^2) \quad (2.16)$$

โดยที่ $T_{sky} = 0.0552\, T_a^{1.5}$

2.4.7 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยลม, h_c (W/m^2K)

จากสมการของ Watmuff และคณะ (1977) มีสมการดังนี้

$$h_c = 2.8+3V \quad (2.17)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วลม (m/s)

2.4.8 พลังงานความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสี [6]

สมการปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับจากตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ มีสมการดังนี้

$$Q_u = A_c F_R \left[(\tau\alpha)I_t - U_L (T_{fi} - T_a)\right] \quad (2.18)$$

เมื่อ A_c คือ พื้นที่ของตัวเก็บรังสีทั้งหมด (m^2)

F_R คือ แฟคเตอร์การดึงความร้อนมาใช้งานของตัวเก็บรังสี

Q_u คือ พลังงานความร้อนที่ได้รับจากตัวเก็บรังสี (W)

$\tau\alpha$ คือ ผลของการส่งผ่านและดูดกลืนรังสีอาทิตย์

I_t คือ ความเข้มของรังสีรวมที่ตกกระทบบนตัวเก็บรังสี (W/m^2)

U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสี ($W/m^2 \cdot °C$)

T_{fi} คือ อุณหภูมิของน้ำไหลเข้าตัวเก็บรังสี (°C)
(ซึ่งในการคำนวณจะกำหนดให้เท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในกระชังปลา)

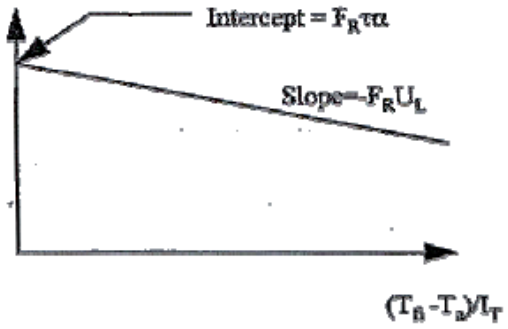
T_a คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C)

2.4.9 ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี

ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี (Collector Efficiency, η_c) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการเปลี่ยนรูปของพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวเก็บรังสีไปเป็นพลังงานความร้อน สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\eta_c = q_c / I_t A_c = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L (T_{fi} - T_a)/I_t \qquad (2.19)$$

เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่าง η_c และ $(T_{fi} - T_a)/I_t$ มาเขียนกราฟจะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรงโดยให้ค่าความชันของเส้นกราฟเท่ากับ $-F_R U_L$ และค่าที่ตัดบนแกนประสิทธิภาพคือ ค่า $F_R(\tau\alpha)$ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่2.4 สมรรถนะของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์

2.4.10 การคำนวณหาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีที่นำมาต่ออนุกรมกัน N ตัว

ถ้ามีการนำตัวเก็บรังสีหลายๆ ตัวมาต่ออนุกรมกัน สมรรถนะของตัวเก็บรังสีแต่ละตัวที่นำมาต่ออนุกรมกันนั้นจะมีแนวโน้มที่ลดลงตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิของของไหลที่ไหลเข้าตัวเก็บรังสีแต่ละตัวมีค่าที่แตกต่างกัน โดยอุณหภูมิของของไหลที่ทางเข้าของตัวเก็บรังสีแต่ละตัวจะมีค่าที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้ตัวเก็บรังสีตัวท้ายๆ มีอุณหภูมิของของไหลที่ทางเข้าค่อนข้างสูง ทำให้สมรรถนะของตัวเก็บรังสีตัวท้ายๆ มีค่าที่ค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับสมรรถนะของตัวเก็บรังสีที่อยู่ลำดับต้นๆ สมรรถนะของตัวเก็บรังสีที่นำมาต่ออนุกรมกันสามารถหาได้ ดังนี้ ในกรณีที่มีตัวเก็บรังสีต่อกันมากกว่า 2 แผง สำหรับสมการตัวเก็บรังสีที่มีคุณสมบัติเหมือนกันจำนวน N แผง มาต่อกันแบบอนุกรม สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$F_R(\tau\alpha) = F_{R,1}(\tau\alpha)_1 \left[(1-(1-K)^N)/NK\right] \qquad (2.20)$$

และ

$$F_R U_L = F_{R,1} U_{L,1} \left[(1-(1-K)^N)/NK \right] \quad (2.21)$$

$$K = A_1 F_{R,1} U_{L,1} / mC_p \quad (2.22)$$

เมื่อ $F_{R,1}$ คือ แฟคเตอร์การดึงความร้อนมาใช้ของตัวเก็บรังสีแผงเดียว

$(\tau\alpha)$ คือ ผลของการส่งผ่านและดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีที่ต่ออนุกรมกัน

$(\tau\alpha)_1$ คือ ผลของการส่งผ่านและดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีแผงเดียว

U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีที่ต่ออนุกรม ($W/m^2 \cdot °C$)

$U_{L,1}$ คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีแผงเดียว ($W/m^2 \cdot °C$)

N คือ จำนวนตัวเก็บรังสีที่ต่ออนุกรมกัน

ในส่วนของการต่อตัวเก็บรังสีแบบขนานค่า $F_R(\tau\alpha)$ และ $F_R U_L$ ของตัวเก็บรังสีรวมไม่แตกต่างจากกรณีของตัวเก็บรังสีเพียงแผงเดียว แต่ระบบจะมีอัตราการไหลรวมมากกว่าการต่อแบบอนุกรมที่จำนวนแผงรับรังสีแสงอาทิตย์เท่ากัน

2.4.11 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผิวพลาสติก

การคำนวณอุณหภูมิของผิวบนพลาสติกสามารถประมาณได้จากสมการ ดังนี้

$$T_p^{i+1} = \frac{\Delta t}{\rho_p C_p \Delta x_p} \left[\alpha_p I_t + h_{ci}(T_i - T_p) + h_{ri}(T_i - T_p) + m_e h_{fg} + h_c(T_a - T_p) + h_r(T_{sky} - T_p) \right] + T_p^i \quad (2.23)$$

2.4.12 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของน้ำในกระชัง

การคำนวณอุณหภูมิของน้ำในกระชังสามารถประมาณได้จากสมการ ดังนี้

$$T_i^{i+1} = \frac{\Delta t}{\rho_w C_w \Delta x} \left[\tau_p \alpha_w I_t + h_{ci}(T_p - T_i) + h_{ri}(T_p - T_i) - m_e h_{fg} + \frac{Q_u}{A_i} + \frac{k_w}{\sqrt{\pi \alpha_{dw} t}}(T_w - T_i) \right] + T_i^i \quad (2.24)$$