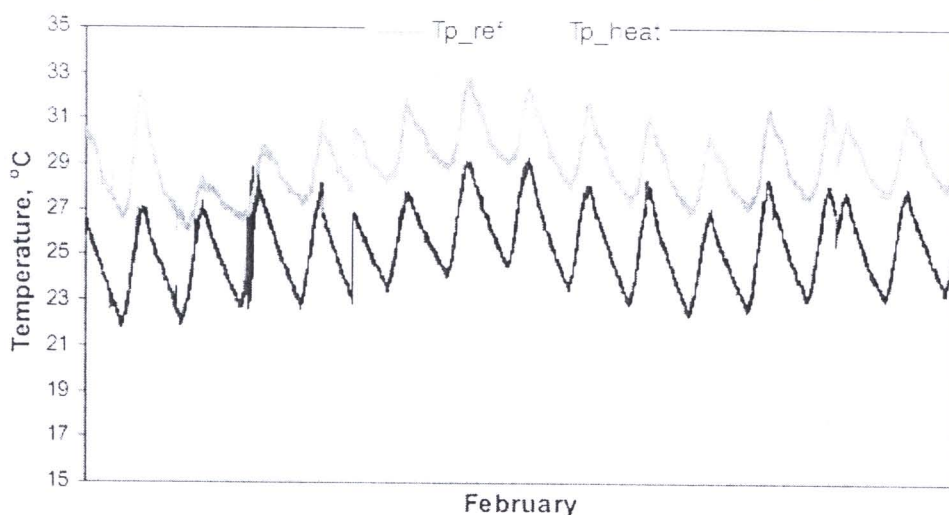


บทที่ 4

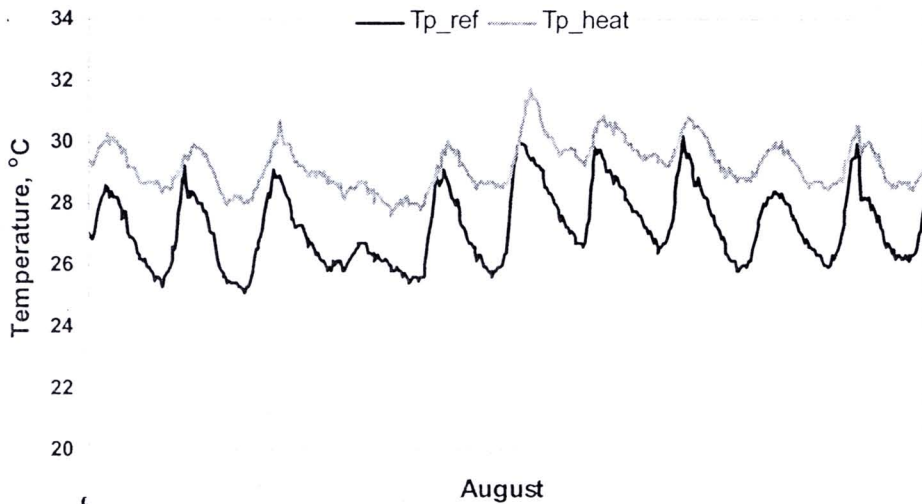
ผลการทดสอบ

ในงานวิจัยครั้งนี้ต้องการควบคุมอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาให้มีค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาในช่วงที่อุณหภูมิของอากาศต่ำของฤดูหนาวและฤดูฝนในจังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมเพิ่มความร้อนในการป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลา ผลการวิจัยพบว่าระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมเพิ่มความร้อนสามารถป้อนความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาให้มีค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตได้ (อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาอยู่ที่ $28-30^{\circ}\text{C}$) และเมื่อนำผลการทดสอบของอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการควบคุมอุณหภูมิมาเทียบกับบ่อปลาที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงผลของอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาในเดือนกุมภาพันธ์ที่เป็นตัวแทนของฤดูหนาว และรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงผลของอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาในเดือนสิงหาคมที่เป็นตัวแทนของฤดูฝน



รูปที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการควบคุมอุณหภูมิ (Tp_heat) และค่าอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ (Tp_ref) โดยภาพรวมของเดือนกุมภาพันธ์ 2553

จากรูปที่ 4.1 ในเดือนกุมภาพันธ์ ค่าอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการควบคุมอุณหภูมิมิมีค่าเฉลี่ย 30°C และค่าอุณหภูมิสูงสุด 32°C ค่าอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิมิมีค่าเฉลี่ย 25°C มีค่าอุณหภูมิสูงสุด 29°C



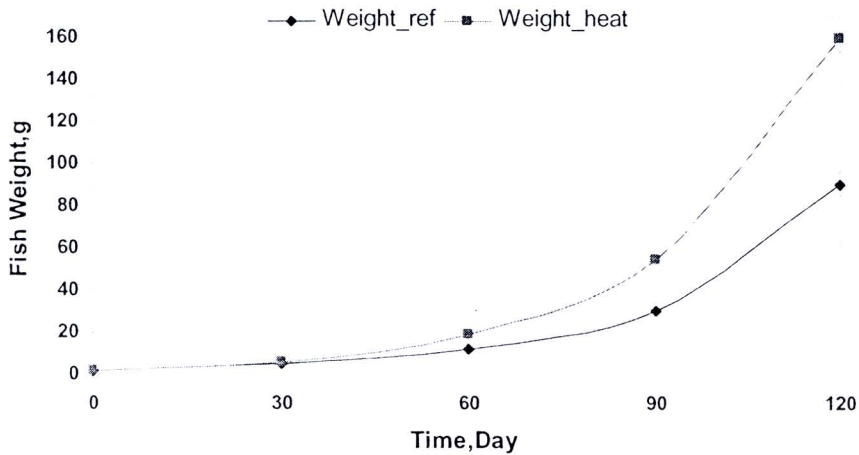
รูปที่ 4.2 ค่าอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการควบคุมอุณหภูมิ (Tp_heat) และค่าอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ (Tp_ref) โดยภาพรวมของเดือนสิงหาคม 2553

จากรูปที่ 4.2 ในเดือนสิงหาคม ค่าอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการควบคุมอุณหภูมิมีค่าเฉลี่ย 29.5°C และค่าอุณหภูมิสูงสุด 32°C ค่าอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิมียค่าเฉลี่ย 27°C มีค่าอุณหภูมิสูงสุด 30°C

จากผลการทดสอบในเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งตรงกับฤดูหนาวและเดือนสิงหาคมซึ่งตรงกับฤดูฝนของจังหวัดเชียงใหม่ เป็นช่วงที่มีอากาศเย็นทำให้อุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลามีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลา สังเกตได้จากอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลาที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิในรูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในบ่อเลี้ยงปลามีค่าต่ำกว่า 28°C แต่บ่อที่มีการใช้ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมเพิ่มความร้อนในการป้อนความร้อนให้กับบ่อเลี้ยงปลาสามารถควบคุมอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลาให้มีค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตได้

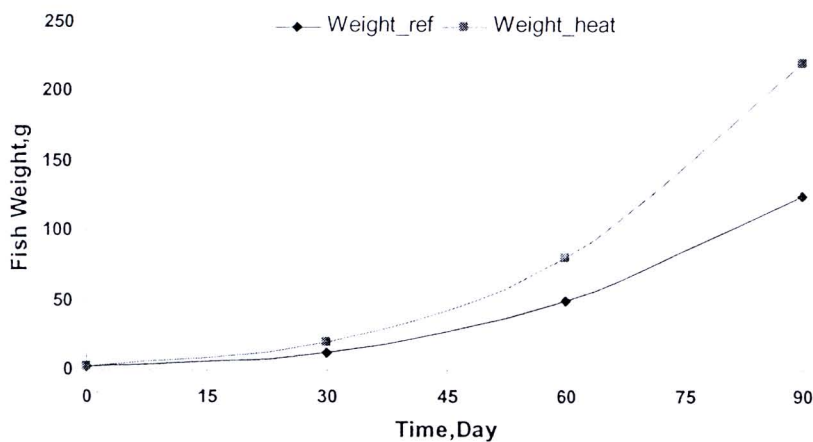
ผลของน้ำหนักปลาคุกก้อยในบ่อที่มีการควบคุมอุณหภูมิและในบ่อที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นการเลี้ยงปลาคุกก้อยในฤดูหนาว และรูปที่ 4.4 เป็นการเลี้ยงปลาคุกก้อยในฤดูฝน





รูปที่ 4.3 ค่าน้ำหนักของปลาคูกบิกอยู่ในบ่อที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ (Weight_ref) และบ่อที่มีการควบคุมอุณหภูมิ (Weight_heat) ในฤดูหนาว

จากรูปที่ 4.3 พบว่า น้ำหนักของปลาในบ่อที่มีการควบคุมอุณหภูมิมีน้ำหนักเฉลี่ย 160 กรัมต่อตัวและน้ำหนักของปลาในบ่อที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิน้ำหนักเฉลี่ย 100 กรัมต่อตัว ที่ระยะเวลาในการเลี้ยง 4 เดือน ปกติแล้วปลาสามารถมีน้ำหนักเฉลี่ย 200 กรัมต่อตัว ในช่วงเวลาการเลี้ยง 3 เดือน แต่ลูกปลาที่นำมาเพาะเลี้ยงในฤดูหนาวนั้นเป็นสายพันธุ์ที่ไม่ดีทำให้การเจริญเติบโตช้ากว่าปกติ จึงได้มีการทดลองเลี้ยงใหม่ในฤดูฝน



รูปที่ 4.4 ค่าน้ำหนักของปลาคูกบิกอยู่ในบ่อที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ (Weight_ref) และบ่อที่มีการควบคุมอุณหภูมิ (Weight_heat) ในฤดูฝน

จากรูปที่ 4.4 พบว่า น้ำหนักของปลาในบ่อที่มีการควบคุมอุณหภูมิน้ำหนักเฉลี่ย 220 กรัมต่อตัวและน้ำหนักของปลาในบ่อที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิน้ำหนักเฉลี่ย 125 กรัมต่อตัว ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 3 เดือน โดยมีน้ำหนักเริ่มต้นก่อนปล่อยลงบ่อเพาะเลี้ยง 3.5 กรัมต่อตัว

จากการเพาะเลี้ยงปลาอุกบักอยู่ในฤดูหนาวและฤดูฝนพบว่า อุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลาเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลา ดังนั้นถ้าสามารถควบคุมอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลาให้อยู่ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตได้ตลอดทั้งปี จะสามารถเลี้ยงปลาได้หลายครั้งภายในช่วงเวลา 1 ปี สามารถเพิ่มรายได้แก่ผู้เพาะเลี้ยงได้อีกด้วย

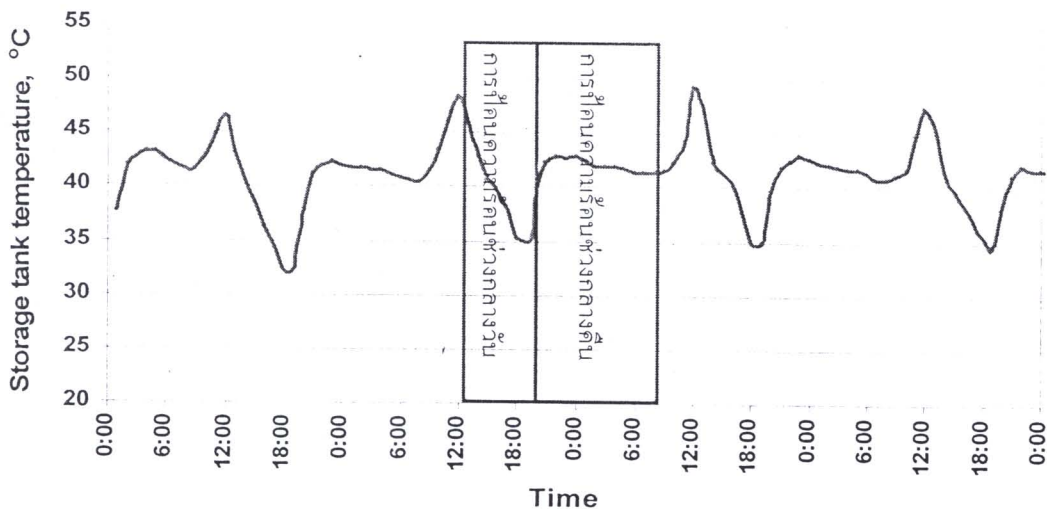
การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการควบคุมอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลาโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อน ซึ่งการป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาจะกล่าวในหัวข้อ 4.1

4.1 การป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาโดยระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อน

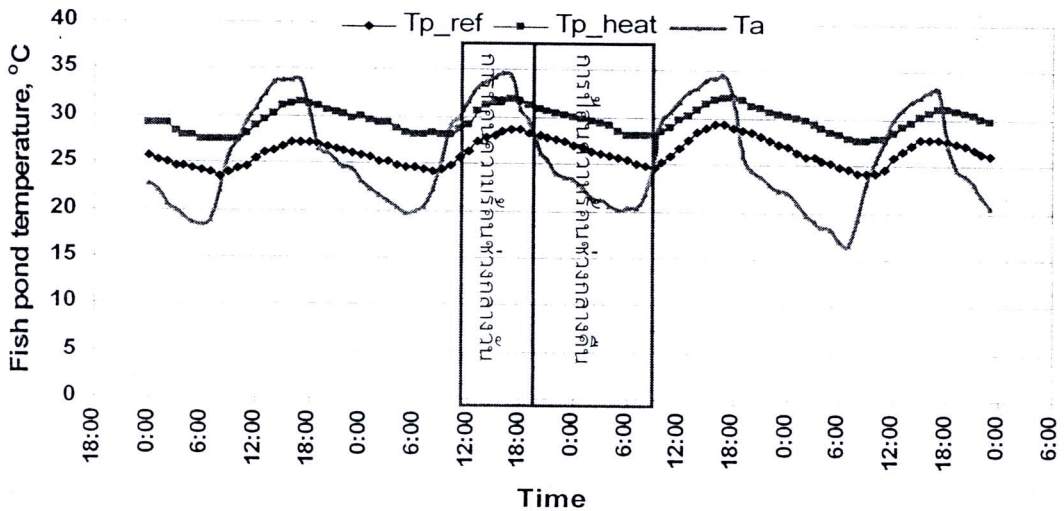
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการการป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาโดยระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อน ซึ่งในการป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาในฤดูหนาวและฤดูฝนนั้นจะมีการป้อนความร้อนไม่เหมือนกัน เนื่องจากในฤดูหนาวมีอุณหภูมิของอากาศที่ต่ำกว่าฤดูฝนดังนั้นการป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาในฤดูหนาวจึงต้องป้อนความร้อนหลายช่วงเวลา แต่ในฤดูฝนมีการป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาเพียงแค่ช่วงเวลาเดียวก็สามารถควบคุมอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลาให้อยู่ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาได้

4.1.1 การป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาในฤดูหนาว

การป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลานั้น จะนำความร้อนที่สะสมในถังเก็บน้ำร้อนมาป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลา ซึ่งการป้อนความร้อนจากถังเก็บน้ำร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาในฤดูหนาวนั้น จะป้อนในช่วงเวลากลางวันโดยใช้ความร้อนสะสมที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และช่วงเวลากลางคืนจะใช้ความร้อนจากปั๊มความร้อน สามารถแสดงได้ในรูปที่ 4.5 ซึ่งแสดงผลของอุณหภูมิในถังเก็บน้ำที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาใน รูปที่ 4.6



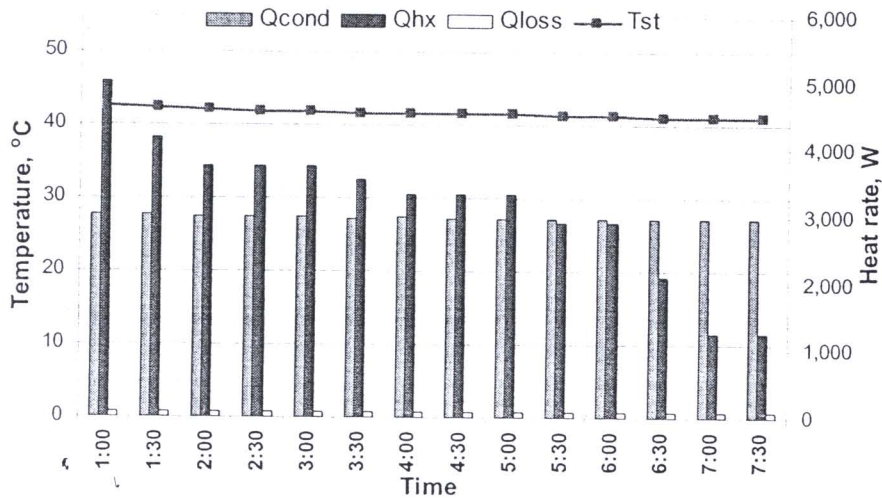
รูปที่ 4.5 ค่าอุณหภูมิในถังเก็บน้ำของวันที่ 18- 21 กุมภาพันธ์ 2553



รูปที่ 4.6 ค่าอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการควบคุมอุณหภูมิ (Tp_heat) เทียบกับค่าอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลาที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ (Tp_ref) และอุณหภูมิอากาศ (Ta) ของวันที่ 18- 21 กุมภาพันธ์ 2553

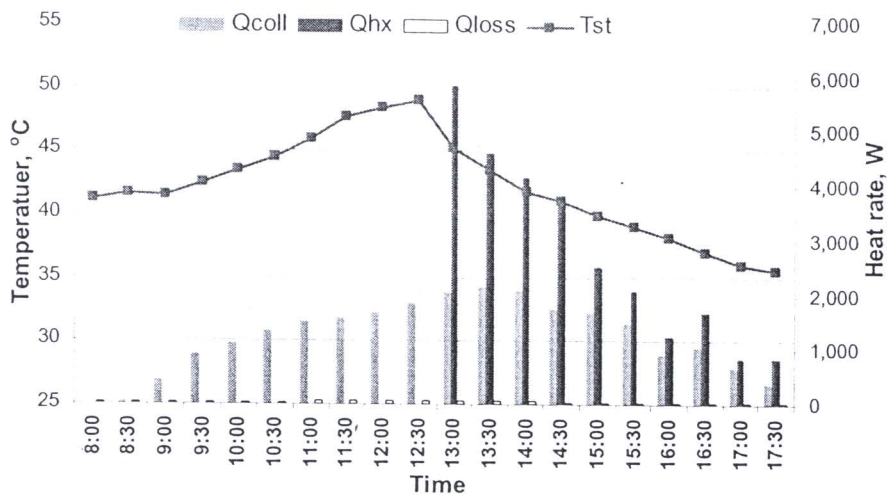
จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงผลการศึกษาระหว่าง 18- 21 กุมภาพันธ์ 2553 การป้อนความร้อนจากถังเก็บสะสมความร้อนจะทำงานเมื่ออุณหภูมิในถังเก็บน้ำมีค่าตามที่กำหนดไว้ (ในที่นี้กำหนดไว้ที่ 45°C) สังเกตได้ในรูปที่ 4.5 เมื่ออุณหภูมิในถังเก็บน้ำสูงกว่าหรือเท่ากับ 45°C ในช่วงเวลากลางวันจะมีการป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาทันที ในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาจะมีค่าลดลงเพราะอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลามีค่ามากกว่าอุณหภูมิของอากาศ ทำให้น้ำในบ่อเลี้ยงปลาการสูญเสียความร้อนสู่อากาศ ดังนั้นจึงต้องมีการป้อนความร้อนสู่บ่อปลาเพื่อให้อุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาไม่ลดลงมากเกินไป แต่ในช่วงเวลากลางคืนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไม่สามารถให้ความร้อนได้ จึงต้องใช้ความร้อนเสริมจากระบบปั๊มความร้อน โดยการทำงานของปั๊มความร้อนจะทำงานเมื่อไม่มีค่ารังสีอาทิตย์หรือช่วงเวลากลางคืนและเมื่ออุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลามีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ (ในที่นี้กำหนดไว้ที่ 32°C) จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาที่น้ำในบ่อเลี้ยงปลาได้รับความร้อนจากถังเก็บน้ำร้อนจะมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับอุณหภูมิของน้ำในบ่อที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ

จากกรอบสี่เหลี่ยมในรูปที่ 4.5 สามารถนำมาแสดงพฤติกรรมการรับและถ่ายเทความร้อนของน้ำในถังเก็บน้ำโดยละเอียด ค่าผลแสดงได้ในรูปที่ 4.7-4.9



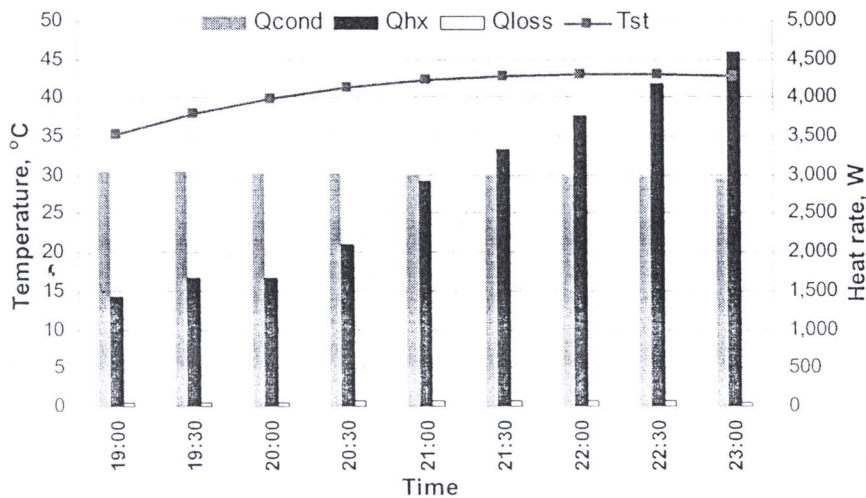
รูปที่ 4.7 ค่าอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำ (T_{st}) ที่ได้รับอัตราการความร้อนจากปั๊มความร้อน (Q_{cond}) ค่าอัตราการความร้อนที่ป้อนสู่บ่อปลา (Q_{hx}) และค่าอัตราการสูญเสียความร้อนของน้ำในถังเก็บน้ำสู่อากาศโดยรอบ (Q_{loss}) ในช่วงเวลา 01:00-7:30 น. ของวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2553

จากรูปที่ 4.7 พบว่าน้ำในถังเก็บน้ำร้อนได้รับความร้อนเสริมจากปั๊มความร้อน (Q_{cond}) ในช่วงเวลา 1:00-7:30 น. พร้อมทั้งมีการป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลา (Q_{hx}) ค่าความร้อนเฉลี่ยที่ป้อนสู่บ่อเลี้ยงปลามีค่ามากกว่าค่าความร้อนเฉลี่ยที่ได้รับจากปั๊มความร้อนทำให้อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนมีค่าลดลง



รูปที่ 4.8 ค่าอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำ (T_{st}) ที่ได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Q_{coll}) ค่าความร้อนที่ป้อนสู่บ่อปลา (Q_{hx}) และค่าอัตราการสูญเสียความร้อนของน้ำในถังเก็บน้ำสู่อากาศโดยรอบ (Q_{loss}) ในช่วงเวลา 08:00-17:30 น. ของวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2553

จากรูปที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำในเวลากลางวัน ในช่วงแรกยังไม่มี การป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาทำให้น้ำในถังเก็บน้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเพราะได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Q_{coll}) เมื่อมีการป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลา (Q_{hx}) ในช่วงเวลา 12:00-17:30 น. ทำให้อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำมีค่าลดลง



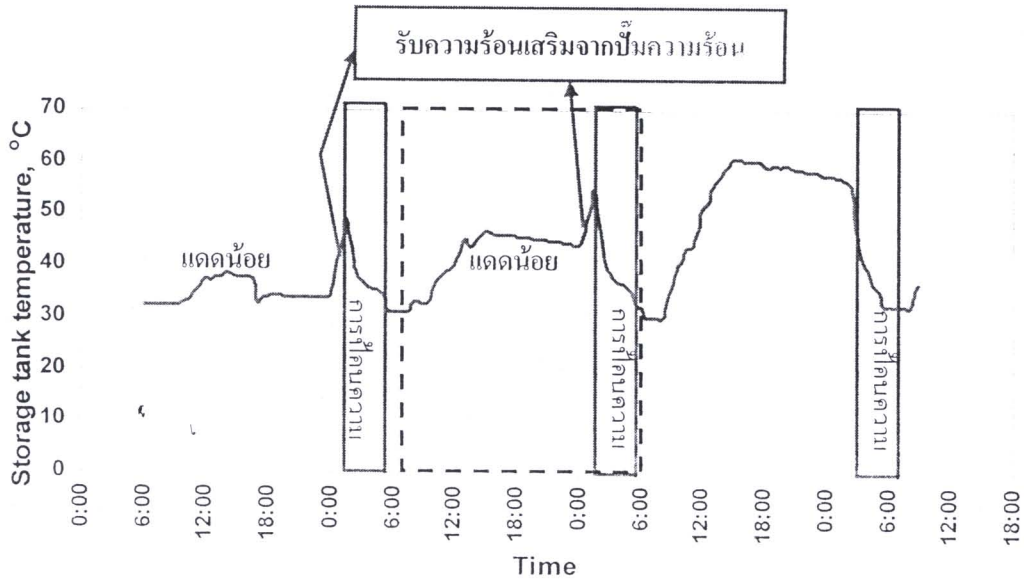
รูปที่ 4.9 ค่าอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำ (Tst) ที่ได้รับความร้อนจากป้อนความร้อน (Q_{cond}) ค่าความร้อนที่ป้อนสู่บ่อเลี้ยงปลา (Q_{hx}) และค่าอัตราการสูญเสียความร้อนของน้ำในถังเก็บน้ำสู่อากาศโดยรอบ (Q_{loss}) ในช่วงเวลา 19:00-23:00 น. ของวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2553

จากรูปที่ 4.9 พบว่าในช่วงแรกน้ำในถังเก็บน้ำร้อนได้รับความร้อนจากป้อนความร้อนพร้อมทั้งมีการป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาแต่ค่าความร้อนจากป้อนความร้อนมีค่ามากกว่าค่าความร้อนที่ป้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลาจึงทำให้อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ในช่วงหลังค่าความร้อนจากป้อนความร้อนมีค่าน้อยกว่าค่าความร้อนที่ป้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลาจึงทำให้อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำเริ่มมีค่าลดลง

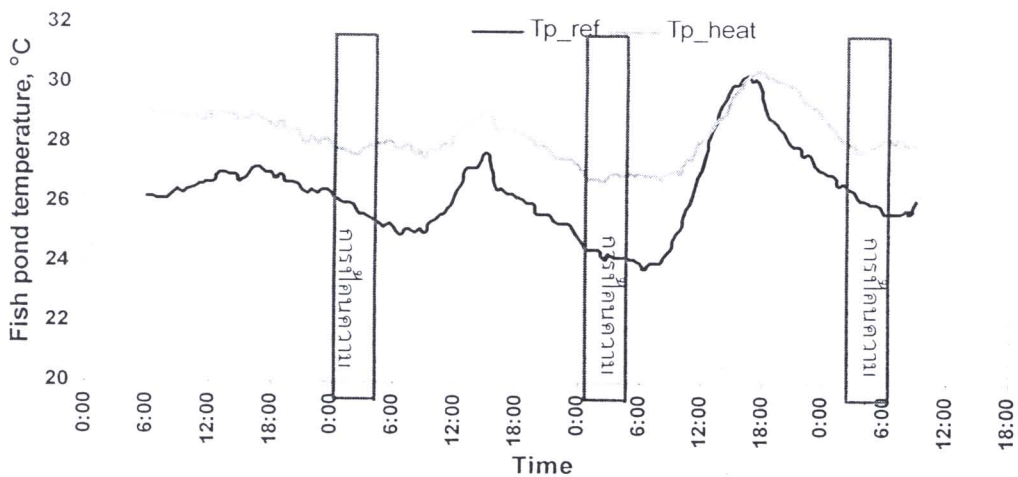
4.1.2 การป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาในฤดูฝน

การป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาในฤดูฝนนั้น จะมีการป้อนความร้อนเพียงช่วงเวลาเดียวคือช่วงเวลากลางคืน เพราะในเวลากลางคืนน้ำในบ่อเลี้ยงปลาจะมีการคายความร้อนสู่อากาศโดยรอบ แต่การคายความร้อนสู่อากาศโดยรอบจะต่ำกว่าในฤดูหนาว เพราะค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศกับอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลามีค่าน้อยกว่าฤดูหนาวแต่ก็ยังทำให้อุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลามีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลา ในฤดูฝนค่ารังสีอาทิตย์ในบางวันอาจมีค่าน้อยทำให้น้ำร้อนในถังเก็บน้ำมีอุณหภูมิไม่ถึงที่กำหนดไว้ ดังนั้นระบบป้อนความร้อนจึงให้ความร้อนเสริมแก่น้ำในถังเก็บน้ำให้มีอุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ก่อนที่จะป้อน

ความร้อนสูบน้ำเลี้ยงปลา การป้อนความร้อนจากถังเก็บน้ำร้อนสูบน้ำเลี้ยงปลาแสดงได้ดังรูปที่ 4.10 และ รูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 ค่าอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำของวันที่ 16-19 สิงหาคม 2553

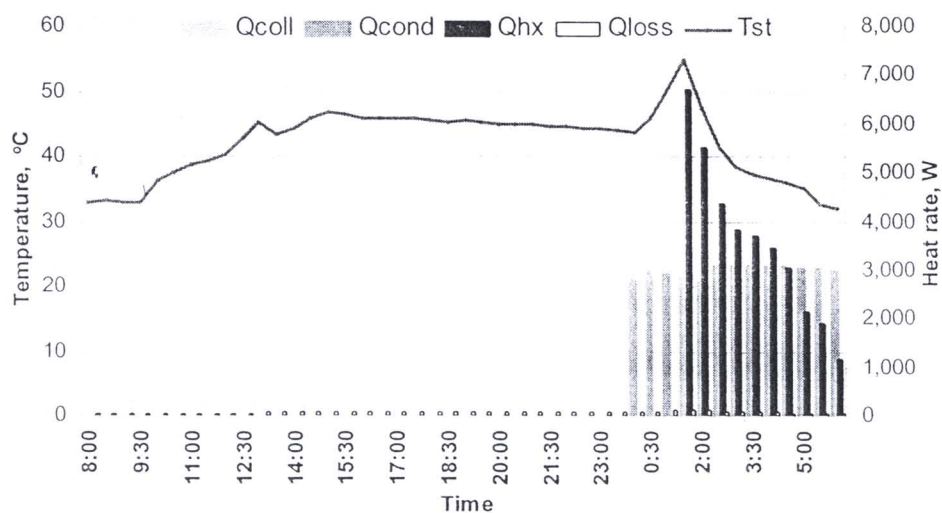


รูปที่ 4.11 ค่าอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการควบคุมอุณหภูมิ (T_{p_heat}) เทียบกับค่าอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ (T_{p_ref}) และอุณหภูมิอากาศ (T_a) ของวันที่ 16-19 สิงหาคม 2553

ในฤดูฝนการป้อนความร้อนสูบน้ำเลี้ยงปลาจะป้อนเมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิที่กำหนด (ในที่นี้กำหนดไว้ที่ 45°C) จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าในบางวันที่ค่ารังสีอาทิตย์มีค่าต่ำ ความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไม่สามารถทำให้อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำมีค่าตามที่กำหนดไว้จึงยังไม่มี การป้อนความร้อนสูบน้ำเลี้ยงปลา ดังนั้นจึงต้องใช้ความร้อน

เสริมจากปั๊มความร้อน โดยการทำงานของปั๊มความร้อนจะทำงานเมื่อไม่มีค่ารังสีอาทิตย์หรือช่วงเวลากลางคืนและเมื่ออุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ (ในที่นี้กำหนดไว้ที่ 28°C) และจากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าในช่วงที่น้ำในบ่อเลี้ยงปลาได้รับความร้อนจากถังเก็บน้ำร้อนจะมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับอุณหภูมิของน้ำในบ่อที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ

จากกรอบสี่เหลี่ยมประในรูปที่ 4.10 สามารถนำมาแสดงพฤติกรรมการรับและถ่ายเทความร้อนของน้ำในถังเก็บน้ำโดยละเอียด ค่าผลแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ค่าอุณหภูมิในถังเก็บน้ำ (Tst) ที่ได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Qcoll) ค่าความร้อนจากปั๊มความร้อน (Qcond) และค่าความร้อนที่ป้อนสู่บ่อเลี้ยงปลา (Qhx) ของวันที่ 18 สิงหาคม 2553

จากรูปที่ 4.12 พบว่าน้ำในถังเก็บน้ำได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในช่วงกลางวัน แต่ความร้อนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ผลิตได้ทำให้อุณหภูมิในถังเก็บน้ำมีค่าประมาณ 42°C ซึ่งมีค่าไม่ถึงตามอุณหภูมิที่กำหนดไว้ที่ 45°C ปั๊มความร้อนจึงให้ความร้อนเสริมจนทำให้อุณหภูมิในถังเก็บน้ำเพิ่มขึ้นจาก 42°C ให้มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ก่อนที่จะป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาในช่วงเวลากลางคืน ในช่วงที่มีการป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาน้ำในถังเก็บน้ำจะรับความร้อนจากปั๊มความร้อนไปด้วย แต่ค่าความร้อนที่ป้อนสู่บ่อเลี้ยงปลามีค่ามากกว่าความร้อนที่ได้รับจากปั๊มความร้อนจึงทำให้อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำมีค่าลดลง

4.2 ผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในงานวิจัยนี้นอกจากจะทำการทดสอบระบบแล้วยังได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายอุณหภูมิในถังเก็บน้ำและอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลา ค่าตัวแปรต้นที่

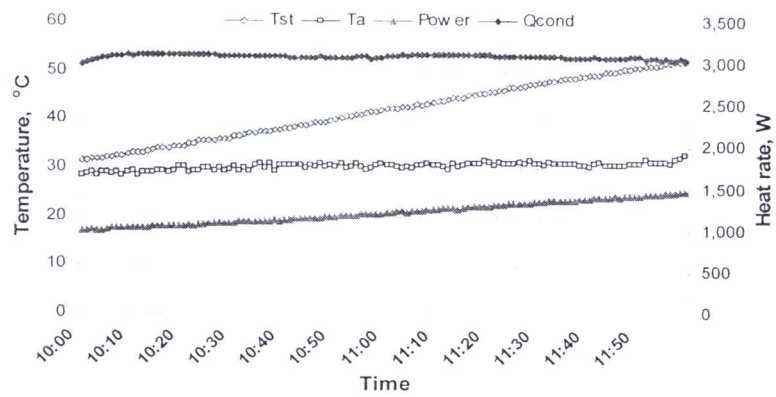
ป้อนในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บางค่าสามารถหาได้จากการทดสอบ ซึ่งการทดสอบเพื่อหาค่าตัวแปรต้นเหล่านี้ สามารถทำการทดสอบได้ดังนี้

4.2.1 การทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์

การทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะทดสอบเพื่อหาค่า $F_R(\tau\alpha)_c$ และค่า $F_R U_L$ ซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตได้ทำการทดสอบแล้ว มีค่า $F_R(\tau\alpha)_c$ และ $F_R U_L$ 0.72 และ 10.52 W/m²K ตามลำดับ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ 2 ตัว แต่ละตัวมีพื้นที่ 2 m² ต่อขนานกัน ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่น้ำในถังน้ำร้อนขนาดความจุ 300 ลิตร และเมื่อค่ารังสีอาทิตย์ไม่เพียงพอต่อการให้ความร้อนแก่น้ำในถังน้ำร้อนระบบปั๊มความร้อนจะให้ความร้อนเสริมจนทำให้อุณหภูมิในถังเก็บน้ำมีค่าตามที่กำหนด ซึ่งค่าความร้อนที่ได้จากปั๊มความร้อนสามารถหาได้จากการทดสอบดังหัวข้อ 4.2.2

4.2.2 การทดสอบปั๊มความร้อน

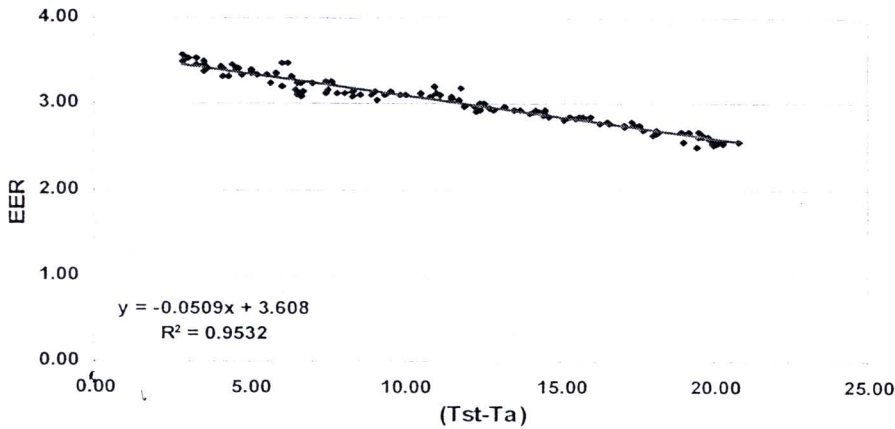
การทดสอบระบบปั๊มความร้อนจะทดสอบเพื่อหาค่า อัตราส่วนระหว่างค่าความร้อนของคอนเดนเซอร์ต่อ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบปั๊มความร้อน (Energy Efficiency Ratio, EER) และค่าผลต่างอุณหภูมิในถังเก็บน้ำกับอุณหภูมิของอากาศ ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ค่าอุณหภูมิของอากาศ (Ta) อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำ (Tst) ค่าความร้อนของคอนเดนเซอร์ (Qcond) และกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับคอนเดนเซอร์ (Power)

จากรูปที่ 4.13 พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบปั๊มความร้อนมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิอากาศโดยรอบต่ำ ทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์มีค่าต่ำ ส่งผลให้คอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อนต้องใช้กำลังงานในการอัดไอสารทำความเย็นสูงขึ้นและการที่อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำมีค่าสูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่อัดไอสารทำความเย็นเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน เพื่อทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่คอนเดนเซอร์สูงกว่าอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำ และเมื่อค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบปั๊มความร้อน

ร้อนมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นค่า EER จะมีแนวโน้มที่ลดเมื่อผลต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศกับอุณหภูมิของถังเก็บน้ำมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า EER และผลต่างระหว่างค่าอุณหภูมิในถังเก็บน้ำกับอุณหภูมิของอากาศ (Tst-Ta)

จากรูปที่ 4.14 พบว่าค่า EER มีความสัมพันธ์ค่อนข้างเป็นเชิงเส้นเทียบกับค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิในถังเก็บน้ำกับค่าอุณหภูมิของอากาศ ค่า EER มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิแตกต่างระหว่างอุณหภูมิถังเก็บน้ำกับอุณหภูมิของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่า EER เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความร้อนของคอนเดนเซอร์ต่อค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับคอนเดนเซอร์ เมื่อผลต่างระหว่างอุณหภูมิในถังเก็บน้ำกับอุณหภูมิของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับคอนเดนเซอร์มีค่าเพิ่มขึ้นแต่ค่าความร้อนของคอนเดนเซอร์ค่อนข้างคงที่ค่า EER จึงมีค่าลดลง

เมื่อทราบค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่า EER กับค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิในถังเก็บน้ำกับค่าอุณหภูมิของอากาศ ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงในรูป

$$EER = -0.0509(T_{st} - T_a) + 3.608$$

และสามารถหาค่าอัตราความร้อนที่ถังเก็บน้ำได้รับจากปั๊มความร้อนได้จากสมการ

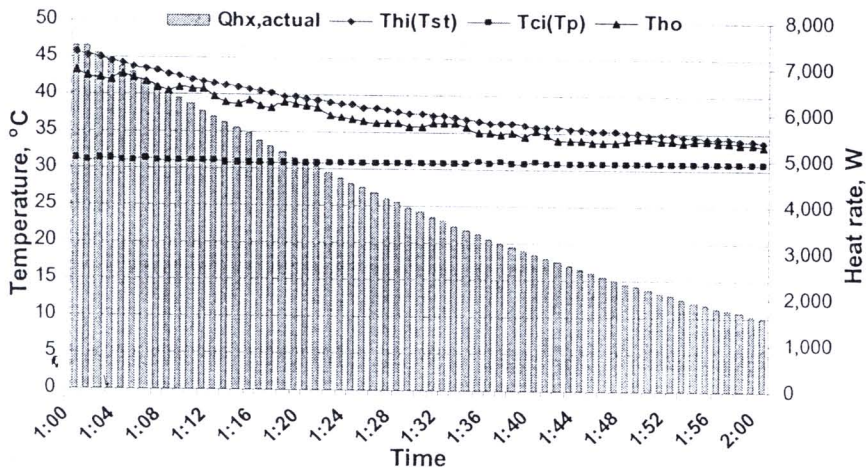
$$Q_{cond} = EER \times Power \text{ และ}$$

หรือ

$$Q_{cond} = (3.608 - 0.0509(T_{st} - T_a)) \times Power$$

4.2.3 การทดสอบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การทดสอบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะทำการทดสอบเพื่อหาค่าประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนในถังเก็บน้ำกับน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ผลการทดสอบเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.15



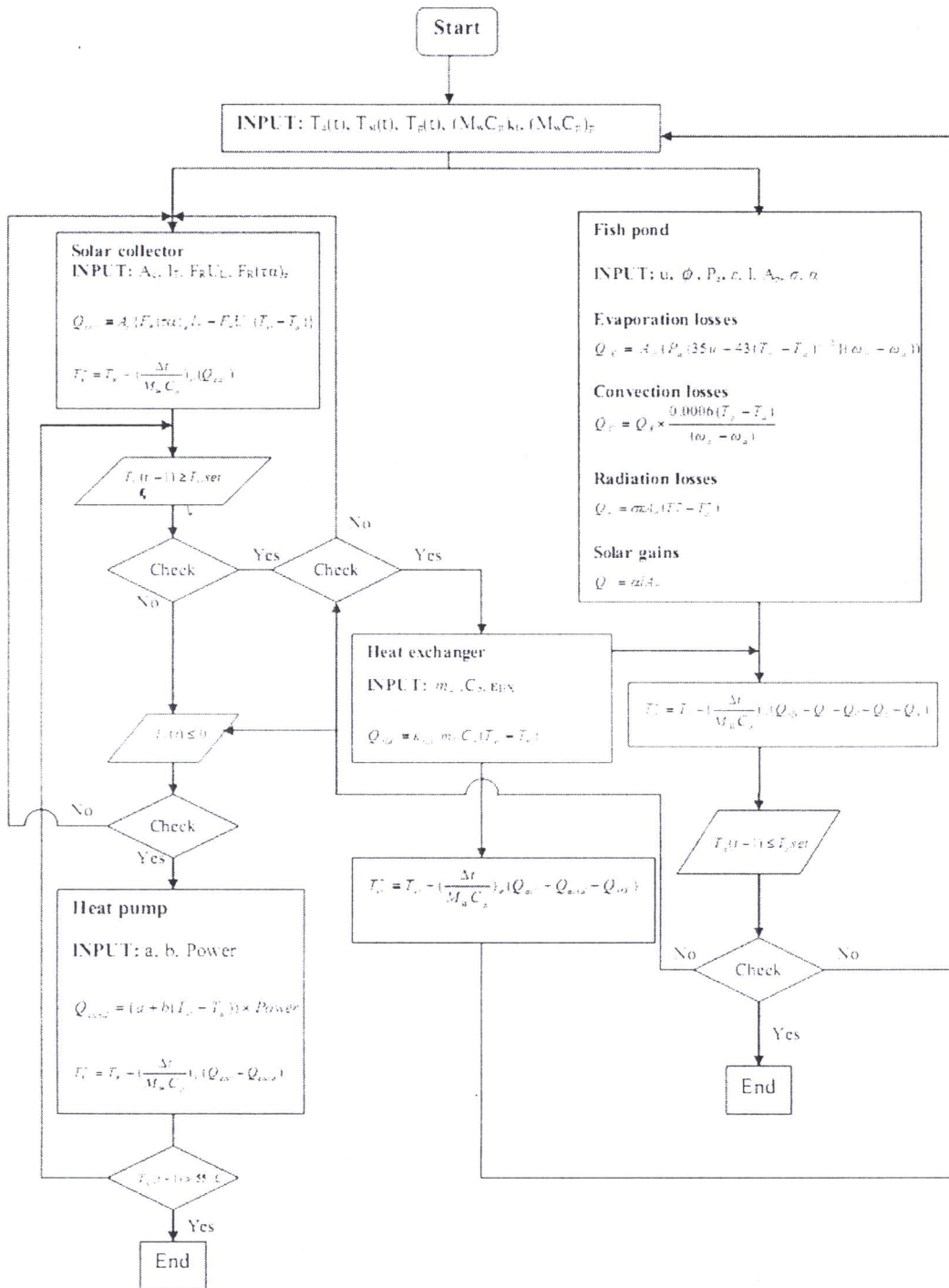
รูปที่ 4.15 ค่าอุณหภูมิน้ำกระแสน้ำเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำ ($T_{hi}=T_{st}$) ค่าอุณหภูมิน้ำกระแสน้ำออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (T_{ho}) ค่าอุณหภูมิน้ำกระแสน้ำเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ($T_{ci}=T_p$) และค่าอัตราการความร้อนที่ได้จากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจริง ($Q_{hx,actual}$)

จากการทดสอบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อหาค่าประสิทธิภาพสามารถหาค่าประสิทธิภาพได้ตามสมการนี้

$$\varepsilon_{HX} = \frac{Q_{hx,actual}}{(m C_p)_{\min} (T_{st} - T_p)} \quad \text{และ} \quad Q_{hx,actual} = (m C_p) (T_{st} - T_{ho})$$

จากผลการทดสอบจะได้ค่า ประสิทธิภาพเฉลี่ย 0.3

ค่าตัวแปรต้นที่ได้จากการทดสอบ จะใช้ป้อนในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งขั้นตอนในการคำนวณเพื่อหาค่าอุณหภูมิถังเก็บน้ำและอุณหภูมิบ่อปลาในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีขั้นตอนในการคำนวณตามแผนผังในรูปที่ 4.16



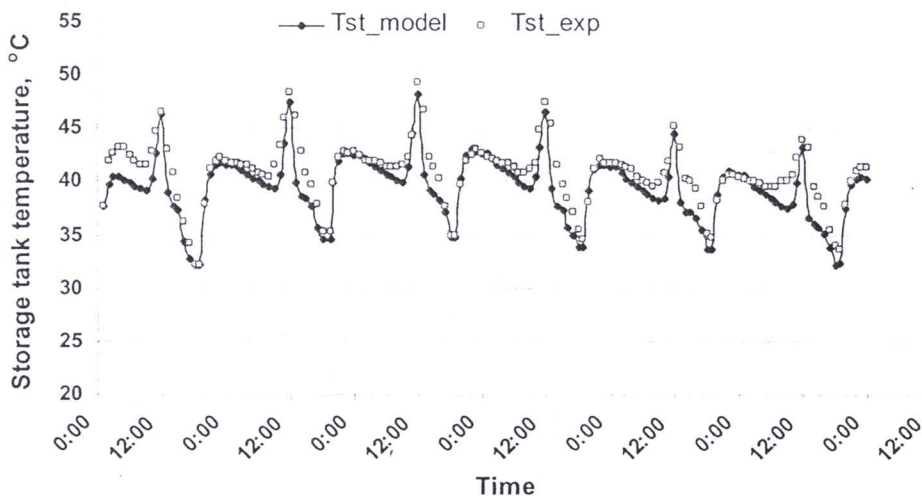
รูปที่ 4.16 ขั้นตอนการคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าขั้นตอนการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าอุณหภูมิในถังเก็บน้ำและอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลานั้น อุณหภูมิในถังเก็บน้ำจะรับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์จนกว่าจะมีอุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นจะมีการป้อนความร้อนสู่บ่อเลี้ยงปลาโดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน การทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะทำงานก็ต่อเมื่ออุณหภูมิในถังเก็บน้ำมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิที่กำหนดไว้ ในกรณีที่น้ำในถังเก็บน้ำมีอุณหภูมิไม่ถึงตามที่กำหนดอันเนื่องมาจากในเวลากลางวันค่าความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไม่เพียงพอที่จะทำให้อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำมีค่าตามที่กำหนดไว้ ป้อนความร้อนจะให้ความร้อนเสริมแก่น้ำในถังเก็บน้ำ โดยเงื่อนไขการทำงานของปั๊มความร้อนคือจะทำงานเมื่อไม่มีค่ารังสีอาทิตย์หรือในช่วงเวลากลางคืน การทำงานของระบบจะหยุดทำงานก็ต่อเมื่ออุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลามากกว่าอุณหภูมิในบ่อปลาที่กำหนดไว้ (ซึ่งแต่ละฤดูจะกำหนดไม่เหมือนกัน)

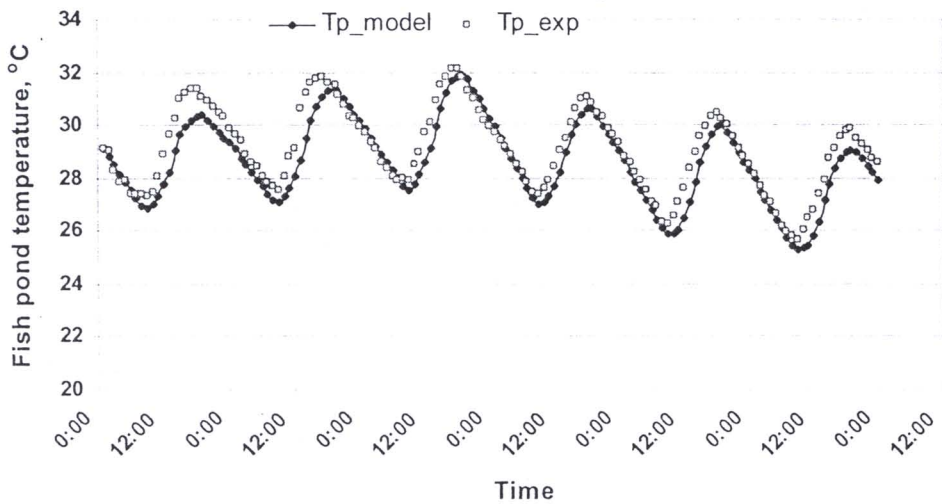
4.2.4 ผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เทียบกับผลการทดลอง

ในการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิในถังเก็บน้ำและอุณหภูมิในบ่อปลาที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับที่ได้จากการทดสอบ จะใช้ตัวแปรต้นที่ได้จากการทดสอบจริง เช่น ค่ารังสีอาทิตย์ ค่าอุณหภูมิอากาศ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น ช่วงเวลาที่มีการป้อนความร้อนสู่บ่อปลาและช่วงเวลาที่มีการใช้ปั๊มความร้อนจะใช้ช่วงเวลาตาม หัวข้อ 4.1.1

ค่าอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำและค่าอุณหภูมิของน้ำในบ่อปลาที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เมื่อนำมาเทียบกับผลการทดสอบ แสดงได้ดังรูปที่ 4.17 และ 4.18



รูปที่ 4.17 ค่าอุณหภูมิในถังเก็บน้ำที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Tst_model) และค่าอุณหภูมิในถังเก็บน้ำที่ได้จากการทดลอง (Tst_exp) ของวันที่ 18-24 กุมภาพันธ์ 2553



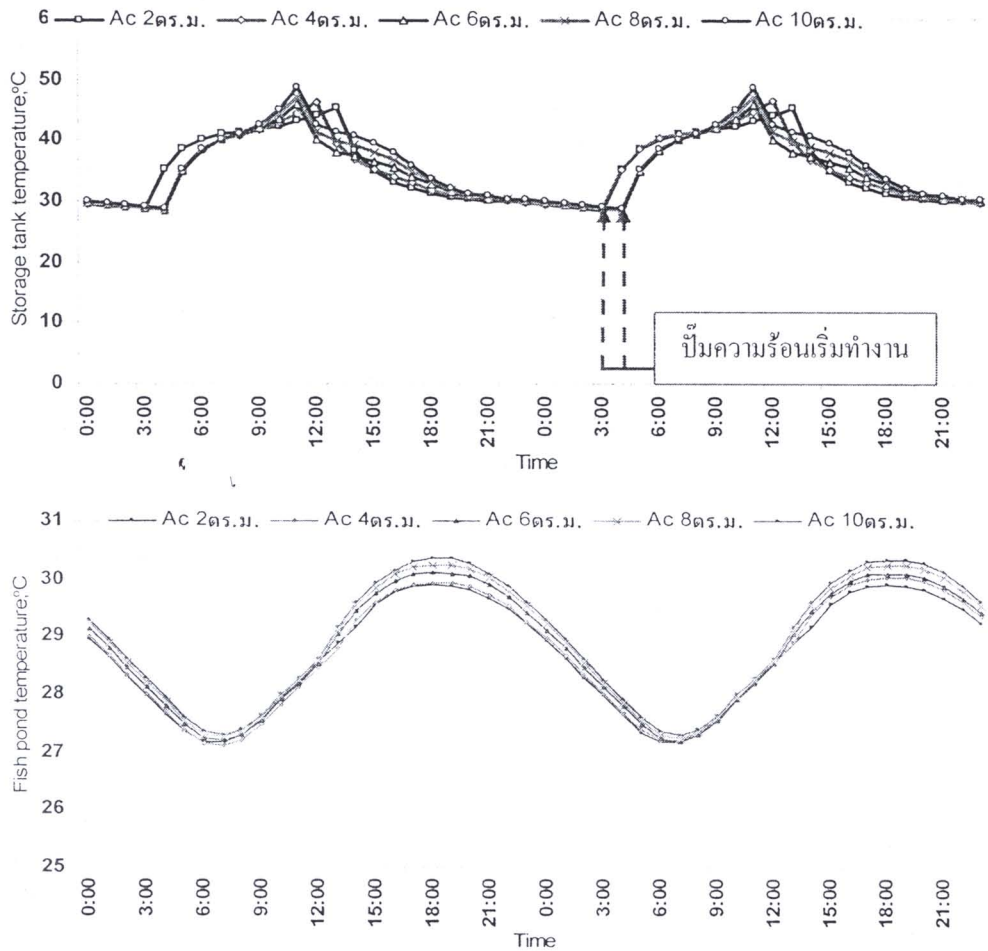
รูปที่ 4.18 ค่าอุณหภูมิน้ำในบ่อปลาที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Tp_model) และค่าอุณหภูมิน้ำในบ่อปลาที่ได้จากการทดลอง (Tp_exp) ของวันที่ 18-24 กุมภาพันธ์ 2553

จากรูปที่ 4.17 และ 4.18 พบว่าค่าอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำที่ป้อนให้กับบ่อเลี้ยงปลา และค่าอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบ ดังนั้นถือว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำนายพฤติกรรมของระบบได้ จึงได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสมโดยเลือกขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาด 2 , 4 , 6 , 8 และ 10 m^2 ตามลำดับ ผลของการจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเลือกขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสมจะกล่าวในหัวข้อ 4.2.5

4.2.5 ผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการเลือกขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายพฤติกรรมของระบบเพื่อหาขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสมต่อระบบ ใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาของจังหวัดเชียงใหม่ และใช้ขั้นตอนการคำนวณดังรูปที่ 4.16 เพื่อหาอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำและอุณหภูมิของน้ำในบ่อปลาตลอดทั้งปี ซึ่งผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.19

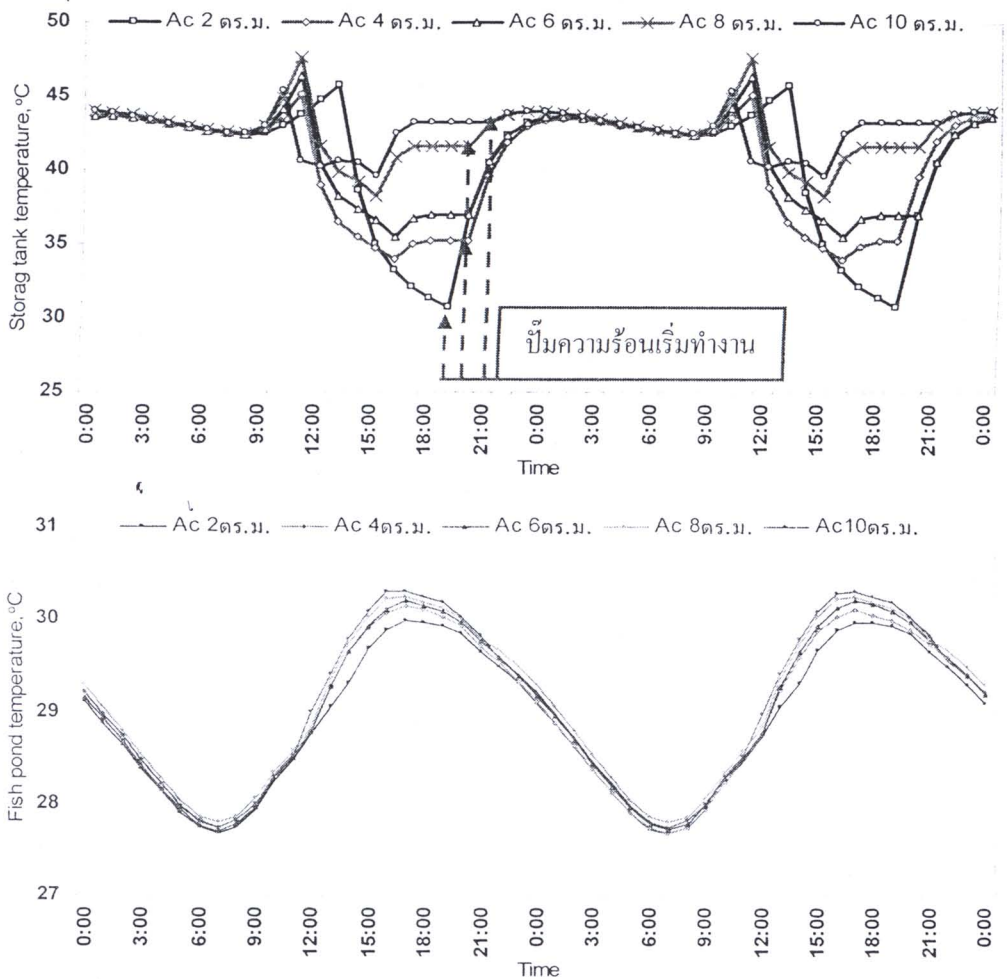




รูปที่ 4.19 ค่าอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำและอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ได้จากแบบจำลองทาง

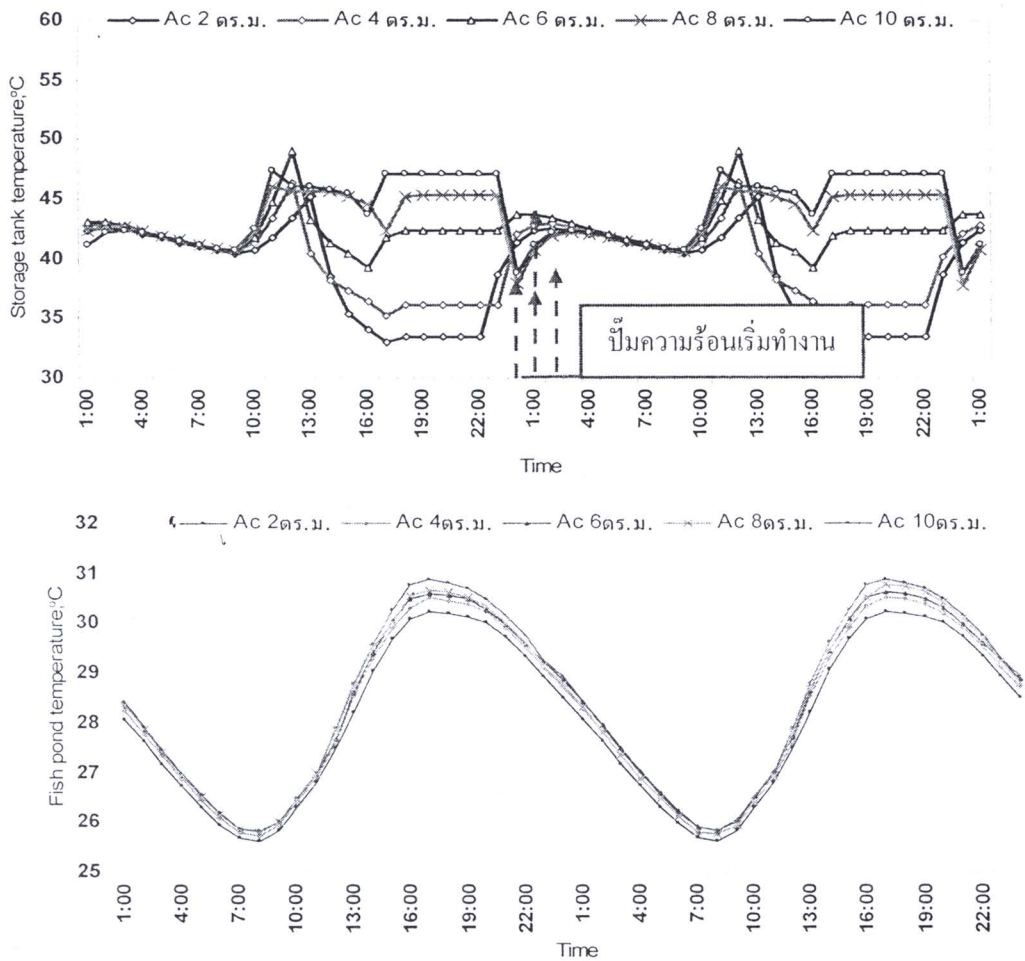
คณิตศาสตร์ที่ขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 2, 4, 6, 8 และ 10 m^2 ตามลำดับ ของเดือนสิงหาคม

จากรูปที่ 4.19 พบว่าในช่วงเวลากลางวัน เมื่อน้ำในถังเก็บน้ำได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์จนทำให้มีอุณหภูมิตามที่กำหนด (มากกว่าหรือเท่ากับ 45°C) น้ำในถังเก็บน้ำจะมีการป้อนความร้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ในช่วงเวลากลางคืนน้ำในถังเก็บน้ำไม่ได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แต่ยังได้รับความร้อนเสริมจากปั๊มความร้อน จากเส้นปะในรูปที่ 4.19 พบว่าการทำงานของปั๊มความร้อนที่ขนาดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 2, 4, 6, 8 และ 10 m^2 จะเริ่มทำงานที่เวลาต่างกันคือ ที่ขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 2 และ 4 m^2 ปั๊มความร้อนจะเริ่มทำงานที่เวลา 02:00 น. ที่ขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 6, 8, และ 10 m^2 ปั๊มความร้อนจะเริ่มทำงานที่เวลา 04:00 น. และจากรูปที่ 4.19 รูปล่าง พบว่าอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลามีค่ามากขึ้นเมื่อขนาดของตัวเก็บรังสีใหญ่ขึ้นเพราะที่ขนาดของตัวเก็บรังสีใหญ่ขึ้นสามารถให้ความร้อนแก่บ่อปลาได้มากขึ้น



รูปที่ 4.20 ค่าอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำและอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 2, 4, 6, 8 และ 10 m^2 ตามลำดับ ของเดือนตุลาคม

จากรูปที่ 4.20 พบว่าในช่วงเวลากลางวัน เมื่อน้ำในถังเก็บน้ำได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์จนทำให้มีอุณหภูมิตามที่กำหนดแล้ว น้ำในถังเก็บน้ำจะมีการป้อนความร้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ในช่วงเวลากลางคืนน้ำในถังเก็บน้ำจะได้รับความร้อนเสริมจากปั๊มความร้อน จากเส้นปะในรูปที่ 4.20 พบว่าการทำงานของปั๊มความร้อนที่ขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 2 m^2 ปั๊มความร้อนจะเริ่มทำงานที่เวลา 19:00 น. ที่ขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 4, 6, และ 8 m^2 ปั๊มความร้อนจะเริ่มทำงานที่เวลา 20:00 น. และที่ขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 10 m^2 ปั๊มความร้อนจะเริ่มทำงานที่เวลา 21:00 น. และจากรูปที่ 4.20 รูปล่าง พบว่าอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลามีค่ามากขึ้นเมื่อขนาดของตัวเก็บรังสีใหญ่ขึ้นเพราะที่ขนาดของตัวเก็บรังสีใหญ่ขึ้นจะสามารถผลิตความร้อนให้กับบ่อเลี้ยงปลาได้มากขึ้น



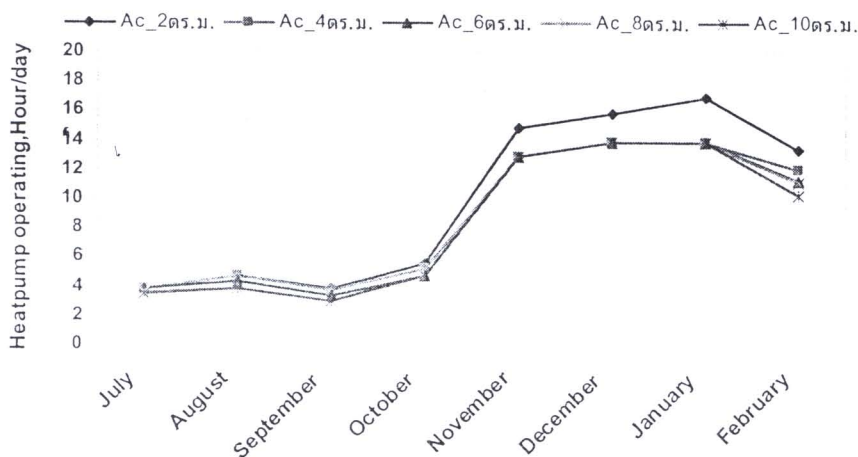
รูปที่ 4.21 ค่าอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำและอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ได้จากแบบจำลองทาง

คณิตศาสตร์ที่ขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 2, 4, 6, 8 และ 10 m^2 ตามลำดับ ของเดือนกุมภาพันธ์

จากรูปที่ 4.21 พบว่าในช่วงเวลากลางวัน เมื่อน้ำในถังเก็บน้ำได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์จนทำให้มีอุณหภูมิตามที่กำหนดแล้ว น้ำในถังเก็บน้ำจะมีการป้อนความร้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ในช่วงเวลากลางคืนน้ำในถังเก็บน้ำจะได้รับความร้อนเสริมจากปั๊มความร้อน จากเส้นปะในรูปที่ 4.21 พบว่าการทำงานของปั๊มความร้อนที่ขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 2 m^2 ปั๊มความร้อนจะเริ่มทำงานที่เวลา 21:30 น. ที่ขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 4 และ 6 m^2 ปั๊มความร้อนจะเริ่มทำงานที่เวลา 22:30 น. และที่ขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 8 และ 10 m^2 ปั๊มความร้อนจะเริ่มทำงานที่เวลา 23:30 น. และจากรูปที่ 4.21 รูปล่าง พบว่าอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลามีค่ามากขึ้นเมื่อขนาดของตัวเก็บรังสีใหญ่ขึ้นเพราะที่ขนาดของตัวเก็บรังสีใหญ่ขึ้นจะสามารถผลิตความร้อนให้กับบ่อเลี้ยงปลาได้มากขึ้น

จากรูปที่ 4.19-4.20 สามารถสรุปได้ว่า การที่ปั๊มความร้อนทำงานที่เวลาต่างกันเมื่อพื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เปลี่ยนไป เพราะเมื่อพื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีขนาดเพิ่มขึ้นความสามารถในการผลิตความร้อนเพื่อที่จะป้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลาจะมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเพียงพอที่จะทำให้อุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลามีค่าตามที่กำหนดไว้การรับความร้อนเสริมจากปั๊มความร้อนในเวลากลางคืนก็จะน้อยลง

ชั่วโมงในการทำงานของระบบปั๊มความร้อนในแต่ละเดือนสามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.22 ชั่วโมงการทำงานต่อวันของปั๊มความร้อนในแต่ละเดือนที่ขนาดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 2, 4, 6, 8 และ 10 m² ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.23 ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าการทำงานของปั๊มความร้อนในช่วงฤดูหนาว (เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์) จะมีชั่วโมงการทำงานที่มากกว่าช่วงฤดูฝน (เดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม) เพราะในฤดูหนาวอุณหภูมิในเวลากลางคืนจะมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับฤดูฝน ทำให้ในเวลากลางคืนเกิดการสูญเสียความร้อนสู่อากาศโดยรอบมากกว่าฤดูฝน เพื่อที่จะทำให้อุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลาไม่ลดลงเร็วเกินไป จึงต้องใช้ความร้อนเสริมจากปั๊มความร้อนมากขึ้นตามไปด้วย

การทำงานของปั๊มความร้อนในฤดูฝนจะอยู่ที่ประมาณ 4-6 ชั่วโมงต่อวัน และการทำงานของปั๊มความร้อนในฤดูหนาวจะอยู่ที่ประมาณ 12-15 ชั่วโมงต่อวัน เมื่อพื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ใหญ่ขึ้นจะผลิตความร้อนให้กับน้ำในบ่อเลี้ยงปลามากขึ้นและรับความร้อนเสริมจากปั๊มความร้อนน้อยลง ชั่วโมงการทำงานของปั๊มความร้อนก็จะน้อยลง แต่ที่พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใหญ่ขึ้นจะมีการลงทุนสูงขึ้นแต่จะใช้ไฟฟ้าจากปั๊มความร้อนน้อยลง ซึ่งเงินลงทุนกับค่าไฟฟ้าที่ได้จะนำไปวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป