



รายงานการวิจัย

การศึกษาการกระจายและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
ภายในบ่อดิน

The Study of Distribution and Variation of Temperature
in Earthen Pond

นฤทธิ กลุ่มพงษ์	Narit Klompong
นิคม อ่อนสี	Nikom Onsri
จันทรา อ้อยเอ็ง	Jantra Uieng
เอนก สาระอินทร์	Aneak Sawain

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

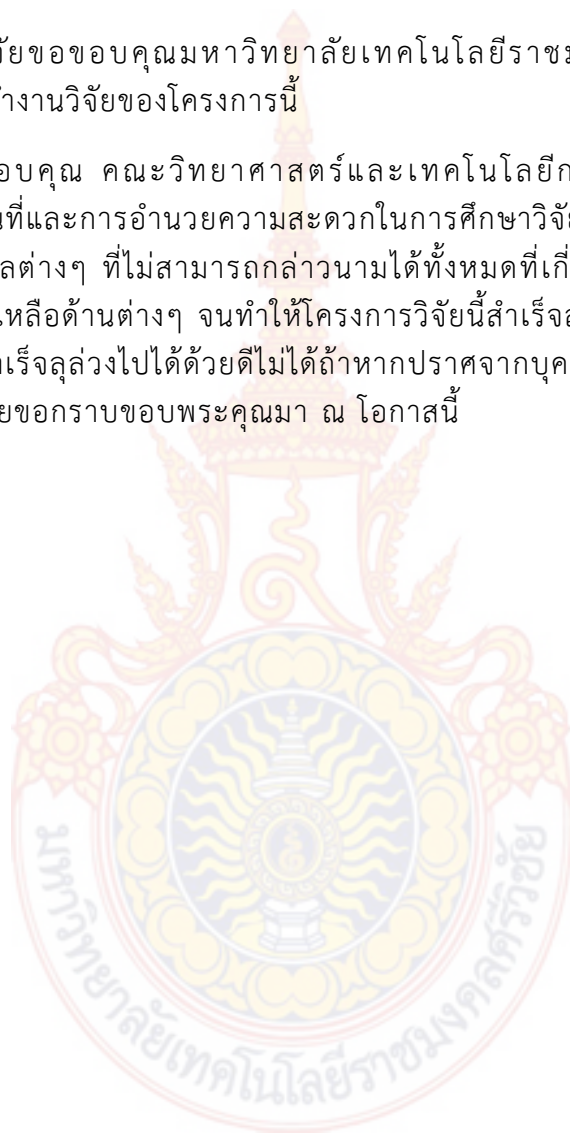
ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณแผ่นดินประจำปี ๒๕๕๙

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2559 เป็นงานวิจัยพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ เพื่อประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางการประมง

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ได้ให้การสนับสนุนในการทำงานวิจัยของโครงการนี้

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมงสำหรับความอนุเคราะห์ สถานที่และการอำนวยความสะดวกในการศึกษาวิจัยของโครงการ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บุคคลต่างๆ ที่ไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยนี้ และให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ จนทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี สุดท้ายนี้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีไม่ได้ถ้าหากปราศจากบุคคลและหน่วยงานดังกล่าวข้างต้น คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้



นฤทธิ์ กล่อมพงษ์
นิคม อ่อนสี
จันทรา อู๋ยเอ็ง
เอนก สวระอินทร์

มิถุนายน 2561

การศึกษาการกระจายและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ภายในบ่อดิน

นฤทธิ กล่อมพงษ์^{1*} นิคม อ่อนสี² จันทรา อ้อยเอ็ง¹ และเอนก สภาวะอินทร์³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการกระจายและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดินสำหรับกักเก็บน้ำเพื่อใช้ประโยชน์เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ บ่อดินมีเนื้อที่ประมาณ 1.73 ไร่ ความกว้าง 41.35 เมตร ความยาว 66.95 เมตร และมีความลึก 2 เมตร น้ำในบ่อเป็นน้ำเค็มมีความลึกเฉลี่ยของน้ำประมาณ 1.5 เมตร ตรวจวัดข้อมูลอุณหภูมิและดินด้านล่างของบ่อดินที่ระดับความลึก ทุกๆ 0.3 เมตร ตรงบริเวณกลางบ่อ รวมทั้งได้ศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของบ่อดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 31.37 - 43.60 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกของน้ำ ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยของดินด้านล่างบ่อมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยมากเมื่อมีระดับความลึกของดินเพิ่มขึ้น การศึกษาปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการกระจายและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน พบว่าค่าปริมาณรังสีอาทิตย์ที่บ่อดินได้รับส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดินเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นค่าปริมาณรังสีอาทิตย์จึงเป็นปัจจัยของกระบวนการถ่ายเทพลังงานของบ่อดิน อุณหภูมิแวดล้อมบริเวณบ่อดินมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของบ่อดิน บ่อดินจึงมีการสูญเสียค่าพลังงานความร้อนให้แก่บรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์แปรผกผันกับอุณหภูมิของบ่อดิน การเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วลมมีความสัมพันธ์ในลักษณะเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน อัตราเร็วลมจึงแปรผันตรงกับอุณหภูมิบ่อดิน

คำสำคัญ: อุณหภูมิน้ำ อุณหภูมิดิน บ่อดิน

¹อาจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตรัง

²อาจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตรัง

³อาจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตรัง

The Study of Distribution and Variation of Temperature in Earthen Ponds

Narit Klompong^{1*}, Nikom Onsri², Jantra Uieng¹ and Aneak Sawain³

Abstract

The main aim of this research is to study of distribution and the variation of temperature in earthen pond for aquaculture of 2,768 m² in saline water with a depth of about 1.5 m. The pond temperatures were measured in the center of pond for each 0.3-meter depth. Furthermore, the climatic factors which were effect to temperature variation of the earthen pond were studied. The results from this study showed that pond temperature was in the range of 31.37-43.60 °C. The average water temperature increases with the depth of the pond while the soil temperature below the pond was slightly different. In addition, it was found that the pond temperature varied with the intensity of the solar radiation intensity. So, it was a main factor of heat transfer mechanism of the pond. The ambient temperature is lower than the pond temperature; as a result, the pond loosed energy to the atmosphere. The wind speed changes in the same way as the pond temperature; moreover, it was dependent on pond temperature. While, relative humidity was inversely proportional to pond temperature.

Keywords: Water Temperature, Soil Temperature, Earthen Ponds

¹Lecturer, Department of Physical Science, Faculty of Science and Fisheries Technology, RMUTSV, Trang.

²Lecturer, Department of Marine Science, Faculty of Science and Fisheries Technology, RMUTSV, Trang.

³Lecturer, Department of Environment, Faculty of Science and Fisheries Technology, RMUTSV, Trang.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	22
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	22
บทที่ 2 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	23
2.1 สํารวจพื้นที่.....	23
2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	24
2.3 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือ.....	27
2.4 การศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	30
บทที่ 3 ผลการวิจัย.....	31
3.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน.....	31
3.2 การกระจายอุณหภูมิของบ่อดินตามแนวตั้ง.....	32
3.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณค่ารังสีอาทิตย์.....	33
3.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแวดล้อม.....	34
3.5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์.....	35
3.6 การเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็วลม.....	35
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	37
4.1 สรุปผลของการวิจัย.....	37
4.2 ข้อเสนอแนะ.....	38
เอกสารอ้างอิง.....	39
ภาคผนวก.....	41

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 : ความจุความร้อนจำเพาะของสารที่อุณหภูมิห้องและที่ความดันบรรยากาศ.....	4
ตารางที่ 1.2 : ค่าทางสถิติการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดินช่วงเวลาตั้งแต่วันที่ 12 ก.ค. - 4 ต.ค. 59.....	32
ตารางที่ ผ.1 : ข้อมูลสภาพแวดล้อมของบ่อดิน ของวันที่ 31 ก.ค. 59.....	41
ตารางที่ ผ.2 : ข้อมูลอุณหภูมิของบ่อดิน ของวันที่ 31 ก.ค. 59.....	42



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 :	บ่อดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....2
ภาพที่ 1.2 :	กระบวนการถ่ายเทพลังงานความร้อนของบ่อดินในตอนกลางวันและกลางคืน.....3
ภาพที่ 1.3 :	การเปลี่ยนแปลงค่ารังสีที่ผิวบรรยากาศโลกตลอดทั้งปี.....8
ภาพที่ 1.4 :	รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบต่างๆ ก) ระนาบในแนวระดับและ ข) ระนาบเอียง11
ภาพที่ 1.5 :	เครื่องวัดรังสีรวมแบบโฟโตโวลตาอิก.....13
ภาพที่ 1.6 :	กราฟของการตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของเครื่องวัดรังสีรวมแบบโฟโตโวล ตาอิก.....14
ภาพที่ 1.7 :	เครื่องวัดรังสีรวมแบบเทอร์โมโพล์ที่ผลิตโดยบริษัทคิปป์แอนด์โซเนนซ์.....14
ภาพที่ 1.8 :	กราฟแสดงการตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของเครื่องวัดรังสีรวมแบบเทอร์โม โพล์.....15
ภาพที่ 1.9 :	เครื่องบันทึกสัญญาณบนกระดาษกราฟของบริษัทโยโกกาวา (Yokogawa).....17
ภาพที่ 1.10 :	เครื่องบันทึกข้อมูลเชิงตัวเลข.....18
ภาพที่ 2.1 :	บ่อดินที่ศึกษาเป็นบ่อเก็บน้ำเพื่อใช้ประโยชน์สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....23
ภาพที่ 2.2 :	อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติใช้เก็บข้อมูลระยะยาว.....24
ภาพที่ 2.3 :	เซนเซอร์วัดความเข้มรังสีอาทิตย์พร้อมเครื่องแปลงสัญญาณ.....25
ภาพที่ 2.4 :	เซนเซอร์วัดปริมาณความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิแวดล้อม.....25
ภาพที่ 2.5 :	เซนเซอร์วัดอัตราเร็วลมติดตั้งที่ระดับความสูง 10 เมตร.....26
ภาพที่ 2.6 :	สายเทอร์โมคัปเปิ้ลสำหรับติดตั้งในบ่อเพื่อวัดอุณหภูมิของบ่อดิน.....26
ภาพที่ 2.7 :	เสาเหล็กสำหรับติดตั้งเซนเซอร์วัดสภาพแวดล้อม.....27
ภาพที่ 2.8 :	ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ลตอนน้ำในบ่อเพื่อวัดค่าอุณหภูมิของบ่อดิน.....27
ภาพที่ 2.9 :	ติดตั้งเซนเซอร์วัดความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่ระดับความสูง 2 เมตร.....28
ภาพที่ 2.10 :	สถานีวัดสภาพแวดล้อมต่างๆ.....28
ภาพที่ 2.11 :	ตู้ควบคุมระบบภายในมีระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์.....29
ภาพที่ 2.12 :	การติดตั้งอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิของบ่อดินและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง.....29
ภาพที่ 3.1 :	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดินในช่วงวันที่ 12 ก.ค. - 4 ต.ค. 2559.....31
ภาพที่ 3.2 :	การกระจายอุณหภูมิตามแนวตั้งของบ่อดินที่ระดับความลึกของน้ำและดินด้านล่าง32
ภาพที่ 3.3 :	การกระจายและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน.....33
ภาพที่ 3.4 :	อิทธิพลปริมาณค่ารังสีอาทิตย์ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน.....34
ภาพที่ 3.5 :	อิทธิพลอุณหภูมิแวดล้อมต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน.....34
ภาพที่ 3.6 :	อิทธิพลความชื้นสัมพัทธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน.....35
ภาพที่ 3.7 :	อิทธิพลอัตราความเร็วลมต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน.....36

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

บ่อดิน (Earthen Ponds) เป็นสถานที่ที่มนุษย์ใช้สำหรับเก็บกักน้ำเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านต่างๆ มากมาย เช่น เพื่อการประปา เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และเพื่อการเพาะปลูก เป็นต้น ดังนั้นกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในบ่อจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงพลังงานซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfers) ของบ่อ ทั้งการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ที่ทำให้เกิดการรับและคายพลังงานความร้อนของบ่อดิน

พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นกับบ่อสามารถพิจารณาได้จากการกระจายและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในและอุณหภูมิดินภายในบ่อ อุณหภูมิในบ่อเป็นปัจจัยสำคัญหลายอย่างในการกำหนดทิศทางกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในบ่อ อุณหภูมิในบ่อมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ทางตรงคือเมื่ออุณหภูมิในบ่อสูงขึ้น กิจกรรมต่างๆ ในการดำรงชีวิตก็สูงขึ้น เช่น การหายใจ การกินและย่อยอาหาร เป็นต้น เมื่ออุณหภูมิต่ำลงกิจกรรมเหล่านั้นก็ลดลง ทางอ้อมคืออุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้พืชประเภทต่างๆ เช่น สาหร่ายจัดศัตรูพืชและสาหร่ายชนิดอื่นมีความรุนแรงขึ้น เนื่องจากกระบวนการสร้างและสลายสูงขึ้น ทำให้สาหร่ายถูกดูดซึมเข้าร่างกายสัตว์น้ำได้มากขึ้น นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในบ่อยังทำให้สิ่งแวดล้อมในบ่อเปลี่ยนแปลงไปด้วย หากอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจนลดลง หากอุณหภูมิสูงเกินไปทำให้สัตว์ต่างๆ พืชน้ำ และแพลงตอนพืชขาดออกซิเจนได้ อุณหภูมิในบ่อสูงเกินไปทำให้สัตว์เลื้อยคลานเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิในบ่อและสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัย หากแหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วก็จะเป็นอันตรายกับสัตว์น้ำได้ อุณหภูมิในบ่อยังมีผลต่อขบวนการย่อยอาหาร การหายใจ การสืบพันธุ์ และการเคลื่อนไหว การกินอาหาร การเจริญเติบโตภายในร่างกายของสัตว์น้ำอีกด้วย รวมถึงอุณหภูมิในบ่อเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากต่อระยะเวลาพักของไข่ปลา เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นไข่จะฟักเป็นตัวเร็วขึ้น และในทางตรงกันข้ามเมื่ออุณหภูมิลดลง ไข่ปลาที่ฟักเป็นตัวช้าลง และยังมีผลต่อปฏิกิริยาต่างๆ ของจุลินทรีย์ในน้ำที่มีประโยชน์และโทษต่อสัตว์น้ำและมนุษย์อีกด้วย โดยปกติปลาในเขตร้อนอาศัยอยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 25-32 องศาเซลเซียส ปลาไม่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของอุณหภูมิได้ ปกติการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในบ่อต้องเปลี่ยนช้าๆ ไม่ควรเกิน 3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในบ่อมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิในดินด้านล่างของบ่อซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำเนินชีวิตและกิจกรรมต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตที่ผิวดินด้านล่าง ได้แก่ จุลินทรีย์ พยาธิ สาหร่าย และหญ้าใต้น้ำ เป็นต้น นอกจากนี้แล้วยังมีการประยุกต์ใช้น้ำและดินด้านล่างของบ่อดินที่มีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำเพื่อเป็นแหล่งรับความร้อนในเครื่องระบายความร้อนต่างๆ

จากความสำคัญของอุณหภูมิในและดินหลายๆ ด้านต่อกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตและการประยุกต์ไปใช้ประโยชน์ทางด้านวิศวกรรม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการกระจายของอุณหภูมิในและดินตามระดับความลึกของน้ำและดินภายในบ่อ รวมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในและดินในช่วงเวลาระหว่างวัน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์และต่อยอดงานวิจัยอื่นๆ ต่อไปอีกด้วย

1.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

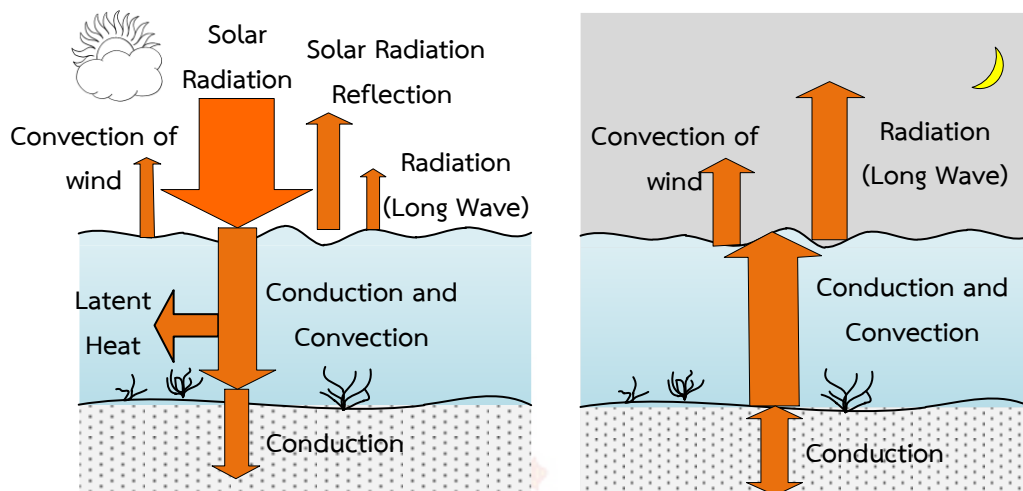
บ่อดินสำหรับใช้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีหลากหลายรูปแบบและมีขนาดแตกต่างกัน แต่โดยส่วนใหญ่นิยมชุดเป็นรูปสี่เหลี่ยมมีหลายขนาดเพื่อความเหมาะสมในการเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละชนิด บ่อดินจะมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานตลอดเวลา ตั้งแต่รายวันจนถึงรายปี เนื่องจากจากพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานตั้งต้นมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในตัวเอง ฤดูกาลที่ต่างกันทำให้พลังงานแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป บ่อดินมีการรับพลังงานเข้ามาและคายพลังงานออกไปในรูปของพลังงานความร้อน การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงโดยอาศัยกลไกของกระบวนการถ่ายเทความร้อนได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี นอกจากนี้บ่อดินยังอาศัยกลไกเก็บกักพลังงานความร้อนหรือการสะสมพลังงานความร้อนอยู่ในรูปของความร้อนแฝง



ภาพที่ 1.1 บ่อดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ในช่วงระยะเวลาวันหนึ่งๆ กระบวนการถ่ายเทความร้อนและสะสมพลังงานความร้อนของบ่อดินมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงนั้นมีกลไกการถ่ายเทความร้อนที่ต่างกันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือในช่วงกลางวันและกลางคืน ในตอนกลางวันบ่อดินได้รับพลังงานความร้อนมาจากการแผ่รังสีอาทิตย์ บางส่วนถูกสะท้อนกลับไปยังท้องฟ้า ส่วนที่เหลือถ่ายเทความร้อนลงสู่บ่อด้านล่างผ่านน้ำในบ่อดิน น้ำในบ่อดูดกลืนพลังงานบางส่วนเก็บไว้ในรูปความร้อนแฝงพร้อมทั้งเกิดการเคลื่อนที่โมเลกุลของน้ำเนื่องจากกระบวนการพาความร้อน รวมทั้งเกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังโมเลกุลของน้ำใกล้เคียงด้วยการนำความร้อน รังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านมายังดินด้านล่างของบ่อหากมีพลังงานความร้อนเพียงพอก็จะเกิดกระบวนการนำความร้อนจากดินด้านบนสู่ดินด้านล่าง ในตอนกลางคืนบ่อดินจะคายความร้อนออกสู่แวดล้อม จากตอนกลางวันน้ำในบ่อและดินด้านล่างของบ่อได้กักเก็บพลังงานความร้อนเอาไว้ในรูปความร้อนแฝงเมื่ออุณหภูมิน้ำที่สูงกว่าอุณหภูมิ

แวดล้อมทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นด้วยกระบวนการพาความร้อนที่ผิวจากลม กระบวนการแผ่รังสีคลื่นยาวที่ผิวน้ำ แสดงดังภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 กระบวนการถ่ายเทพลังงานความร้อนของบ่อดินในตอนกลางวันและกลางคืน

1.2.1 ความร้อน

ความร้อน (Heat) เป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่มีความสามารถในการถ่ายโอนระหว่างระบบหรือมวลใดๆ กับสิ่งแวดล้อม เมื่อมีระดับอุณหภูมิแตกต่างกัน และสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปแบบอื่นได้ ดังนั้นความร้อนจึงมีหน่วยเช่นเดียวกับพลังงาน คือ จูล (J)

1) ความจุความร้อน

ความจุความร้อน (Heat capacity, C) คือความร้อนที่ทำให้สารทั้งหมดที่กำลังพิจารณามีอุณหภูมิเปลี่ยนไปหนึ่งหน่วย โดยสถานะไม่เปลี่ยน

ให้ปริมาณความร้อน ΔQ แก่วัตถุ ทำให้อุณหภูมิของวัตถุเปลี่ยนไป ΔT ดังนั้นถ้าอุณหภูมิของวัตถุเปลี่ยนไป 1 หน่วย ใช้ความร้อน C คือ

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad (1.1)$$

เมื่อความจุความร้อนมีหน่วยเป็น จูลต่อเคลวิน (J/K)

ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Capacity, c) คือความร้อนที่ทำให้สาร (วัตถุ) มวลหนึ่งหน่วยมีอุณหภูมิเปลี่ยนไปหนึ่งองศาเคลวิน คือ

$$c = \frac{\Delta Q}{m\Delta T} \quad (1.2)$$

เมื่อความจุความร้อนจำเพาะของสารมีหน่วยเป็น จูลต่อกิโลกรัม-เคลวิน (J/kg-K) นั่นคือ เมื่อสารมวล m มีอุณหภูมิเพิ่มจาก T_1 เป็น T_2 และความจุความร้อนจำเพาะมีค่าคงตัว ความร้อนที่สารได้รับ คือ

$$Q = CA\Delta T = mc\Delta T \quad (1.3)$$

ตารางที่ 1.1 ความจุความร้อนจำเพาะของสารที่อุณหภูมิห้องและที่ความดันบรรยากาศ

วัสดุ	ความจุความร้อนจำเพาะของสาร (J/kg-K)
อะลูมิเนียม	900
ทองแดง	390
เหล็ก	450
ตะกั่ว	130
ปรอท	140
หินอ่อน	860
เอทานอล	2,500
น้ำ	4,186
ร่างกายมนุษย์	3,500

2) ความร้อนแฝง

ความร้อนแฝง (Latent Heat) คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุเปลี่ยนสถานะโดยอุณหภูมิคงที่

ความร้อนแฝงจำเพาะ (Specific Latent Heat, L) คือ ความร้อนที่ทำให้สาร มวลหนึ่งหน่วยเปลี่ยนสถานะไปจนหมด เช่น น้ำ ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ความร้อนที่ทำให้ น้ำแข็ง 1 กิโลกรัม อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หลอมเหลวกลายเป็นน้ำหมดที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส จะใช้ความร้อน 333 กิโลจูล

ดังนั้น ความร้อนแฝงจำเพาะของการหลอมเหลวของน้ำ คือ L_f

$$L_f = 333 \quad \text{kJ/kg}$$

และที่ความดัน 1 บรรยากาศ ความร้อนที่ทำให้ น้ำ 1 กิโลกรัม อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส กลายเป็นไอน้ำหมดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะใช้ความร้อน 2,256 กิโลจูล

ดังนั้น ความร้อนแฝงจำเพาะของการกลายเป็นไอของน้ำ คือ L_v

$$L_v = 2,256 \quad \text{kJ/kg}$$

นั่นคือ ถ้าให้ Q คือ ความร้อนที่ทำให้สาร (วัตถุ) มวล m เปลี่ยนสถานะหมดคือ

$$Q = mL \quad (1.4)$$

1.2.2 การถ่ายโอนความร้อน

การถ่ายโอนความร้อนคือการถ่ายโอนพลังงานที่เกิดขึ้นในระบบเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ จากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ที่ระบุว่า พลังงานไม่สามารถถูกสร้างขึ้นใหม่

หรือถูกทำลายให้สูญหายไปได้แต่สามารถเปลี่ยนรูปได้” ดังนั้นระหว่างการทำงานของระบบหรือกระบวนการหนึ่งๆ จะสามารถเขียนได้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานรวมในระบบ (ΔE_{sys}) ไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงจะมีค่าเท่ากับความแตกต่างระหว่างพลังงานรวมที่เข้าสู่ระบบ (E_{in}) และพลังงานรวมที่ออกจากระบบ (E_{out})

$$\Delta E_{\text{sys}} = E_{\text{in}} - E_{\text{out}} \quad (1.5)$$

การถ่ายโอนความร้อนในระบบใดๆ กับสิ่งแวดล้อมมี 3 กลไก ด้วยกันคือ

1) การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อนเป็นการส่งผ่านความร้อนโดยอาศัยตัวกลางที่ไม่มีการเคลื่อนที่ ความร้อนจะส่งผ่านในระดับโมเลกุลของตัวกลางเอง เช่น องค์กรประกอบของดินที่เป็นของแข็ง น้ำที่อยู่ในช่องของดินก็นำความร้อนได้ อนุภาคมีการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างกันโดยอนุภาคที่มีพลังงานสูงกว่าจะถ่ายเทพลังงานให้แก่อนุภาคที่มีพลังงานต่ำกว่า อัตราการถ่ายเทความร้อน (q) โดยการนำ เป็นไปตามกฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (Fourier's Law of Conduction) โดยพิจารณาในกรณีหนึ่งมิติได้ดังนี้

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1.6)$$

เมื่อ k คือ ค่าสภาพการนำความร้อน (W/mK)

x คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน (m)

เขียนสมการ (1.6) ใหม่ในรูปของฟลักซ์ความร้อน (q'') ได้เป็น

$$q'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (1.7)$$

ที่จริงแล้วฟลักซ์ความร้อน (q'') เป็นเวกเตอร์ รูปแบบทั่วไปของกฎการนำความร้อนของฟูเรียร์เขียนเป็น

$$\mathbf{q}'' = -k \nabla T = -k \left(\hat{i} \frac{\partial T}{\partial x} + \hat{j} \frac{\partial T}{\partial y} + \hat{k} \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (1.8)$$

เมื่อ ∇T คือ เกรเดียนต์อุณหภูมิ (Temperature Gradient)

2) การพาความร้อน (Convection)

เป็นการส่งผ่านความร้อนโดยอาศัยตัวกลางที่มีการเคลื่อนที่ ตัวกลางดังกล่าวนี้คือของไหล (Fluid) นั้นเอง เมื่อของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันก็จะมี การแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนระหว่างของไหลกับวัตถุ การพาความร้อนมี 2 ลักษณะคือ การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection) กับ การพาความร้อนแบบบังคับ (Force Convection)

สมการสำหรับหาอัตราการพาความร้อนที่ผิวน้ำจะเป็นไปตามกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling) ดังนี้

$$q = h_c A (T_a - T_{\text{sur}}) \quad (1.9)$$

เมื่อ h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2k)
สมการ (9) เขียนใหม่ให้ในรูปฟลักซ์ความร้อน (q'') และวงจรความร้อนได้

$$q'' = \frac{(T_a - T_{sur})}{1/h_c} \quad (1.10)$$

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยลมจึงขึ้นอยู่กับความเร็วลม (v) ที่ไหลผ่าน จากสมการ

$$h_c = 2.8 + 3v \quad (1.11)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วลม (m/s)
ความเร็วลมนั้นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดในแต่ละชั่วโมง แต่ละวัน แต่ละเดือน แต่ละปี หรือแม้แต่ละฤดูกาล นอกเหนือจากนี้ความเร็วลมยังขึ้นอยู่กับพื้นที่ในแต่ละบริเวณอีกด้วย

3) การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การถ่ายเทความร้อนที่ไม่อาศัยตัวกลางในการถ่ายเทพลังงานเรียกว่า การแผ่รังสีความร้อน การแผ่รังสีเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงชั้นระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมของสาร พลังงานของการแผ่รังสีถูกส่งออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ การแผ่รังสีของพื้นโลกในตอนกลางวัน และการแผ่รังสีของวัตถุร้อน เป็นต้น

รังสีความร้อนที่ผิวใดๆ สามารถแผ่ออกไปได้มีค่ามากที่สุดนั้นเป็นไปตามกฎของสเตฟาน-โบลทซ์มันต์ (Stefan-Boltzman Law) ดังนั้นวัตถุดำ (Black Body) มีอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีเป็น

$$q = \sigma AT^4 \quad (1.12)$$

เมื่อ q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)
 σ คือ ค่าคงที่สเตฟาน-โบลทซ์มันต์ ($5.669 \times 10^{-8} W/m^2K^4$)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่านได้ (m^2)
 T คือ อุณหภูมิของวัตถุดำ (K)
การแผ่รังสีของวัตถุเทาที่มีสมการดังนี้

$$q = \epsilon \sigma AT^4 \quad (1.13)$$

เมื่อ ϵ คือ ค่าสภาพการแผ่รังสีของวัตถุเทา
เมื่อเขียนสมการ (1.13) ใหม่ในรูปของฟลักซ์ความร้อน (Heat Flux, q'') ได้เป็น

$$q'' = \epsilon \sigma T^4 \quad (1.14)$$

เมื่อ q'' คือ ฟลักซ์ความร้อน (W/m^2)
ดังนั้น การแผ่รังสีความร้อนจากผิวน้ำไปยังอากาศมีสมการเป็น

$$q'' = \epsilon \sigma (T_{sur}^4 - T_s^4) \quad (1.15)$$

ในหลายกรณีอัตราการแผ่รังสีความร้อนสุทธิมักเขียนอยู่ในภาพที่สะดวกกว่าคือ

$$q'' = h_r (T_{\text{sur}} - T_s) \quad (1.16)$$

เมื่อ T_{sur} คือ อุณหภูมิของผิวน้ำ (K)

T_s คือ อุณหภูมิของท้องฟ้า (K)

h_r คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

โดยที่

$$h_r = \varepsilon\sigma(T_{\text{sur}} + T_s)(T_{\text{sur}}^2 - T_s^2) \quad (1.17)$$

และ

$$T_s = 0.0552T_a^{1.5} \quad (1.18)$$

เมื่อ T_a คือ อุณหภูมิแวดล้อม (K)

1.2.3 รังสีอาทิตย์

พลังงานตั้งต้นของบ่อดินที่ได้รับมานั้นมาจากพลังงานแสงอาทิตย์หรือรังสีอาทิตย์ ดังนั้นความรู้ทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์จึงมีความสำคัญมาก ความสัมพันธ์ระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ทำให้ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่โลกได้รับเปลี่ยนไปก่อให้เกิดเหตุการณ์ต่างๆ บนโลก รวมถึงตำแหน่งของบ่อดินบนโลกก็เช่นกัน จะทำให้พลังงานที่บ่อดินได้รับเปลี่ยนไปด้วย

1) ความสัมพันธ์ระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์

โลกมีการโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี โดยใช้เวลา 1 ปี ในการโคจรครบ 1 รอบ ทำให้ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี มีระยะห่างน้อยสุดที่ 1.471×10^{11} เมตรในช่วงฤดูหนาว (21 ธ.ค.) และระยะห่างมากที่สุดที่ 1.521×10^{11} เมตรในช่วงฤดูร้อน (21 มิ.ย.) ระยะห่างเฉลี่ยตลอดทั้งปี (D_0) เป็น 1.496×10^{11} เมตร แกนของโลกทำมุม 23.45° กับแกนสุริยวิถี และยังมีค่าที่สำคัญอื่นอีกดังนี้

ดวงอาทิตย์แผ่รังสีออกมาทุกทิศทางในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โลกซึ่งมีรัศมี 6.37×10^3 กิโลเมตร โคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นรูปวงรีโดยมีระยะทางเฉลี่ย 1.49×10^8 กิโลเมตร ร้อยละ 98 ของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบรรยากาศชั้นนอกมีความยาวคลื่นตั้งแต่อัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet: $0.25\text{-}0.4 \mu\text{m}$) ช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นได้ (Visible: $0.4\text{-}0.7 \mu\text{m}$) ไปจนกระทั่งช่วงความยาวคลื่นใต้แดงหรืออินฟราเรด (Infrared: $0.7\text{-}3.0 \mu\text{m}$) ส่วนที่เหลือของรังสีอาทิตย์จะเป็นช่วงความยาวคลื่นสั้นได้แก่ อัลตราไวโอเล็ตไกล (Far Ultraviolet) รังสีแกมมา (Gamma Rays) และรังสีเอกซ์ (X-Rays) รวมทั้งช่วงความยาวคลื่นยาวได้แก่ ช่วงความยาวคลื่นใต้แดงไกล หรือ อินฟราเรดไกล (Far Infrared) และคลื่นวิทยุ (Radio Waves)

ละติจูด (Latitude, ϕ) คือมุมระหว่างเส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางโลกไปยังตำแหน่งที่พิจารณากับระนาบศูนย์สูตรโดยมีค่าตั้งแต่ -90° ถึง 90° ($-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$) ทิศเหนือมีค่าเป็นบวก และทิศใต้มีค่าเป็นลบ

เดคลิเนชัน (Declination, δ) คือมุมระหว่างตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตอนเที่ยง สุริยวิถีกับระนาบศูนย์สูตร มีค่าระหว่าง -23.45° - 23.45° โดยทิศเหนือมีค่าเป็นบวก ทิศใต้มีค่าเป็นลบเช่นกัน สามารถคำนวณได้จากสมการ

มุมชั่วโมง (Hour Angle, ω) คือมุมพื้นฐานที่ใช้บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์จาก เอมริเดียนท้องถิ่นไปทางตะวันออกหรือตะวันตก มีค่าเป็นลบในช่วงเวลาก่อนเที่ยงสุริยะและเป็นบวก หลังเที่ยงสุริยะ โดยมีค่า 15° ต่อหนึ่งชั่วโมง

มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar Altitude Angle, α_s) คือมุมระหว่างลำรังสีอาทิตย์กับระนาบพื้นดิน สามารถคำนวณได้จากสมการ

มุมอะซิมูทดวงอาทิตย์ (Solar Azimuth Angle, γ_s) คือ มุมระหว่างเส้นเงาของลำรังสีอาทิตย์กับทิศใต้ โดยกำหนดให้วัดจากทิศใต้ ทางทิศตะวันตกมีค่าเป็นบวก ทางทิศตะวันออกมีค่าเป็นลบ และมีค่าเป็นศูนย์ที่ทิศใต้ มีค่าระหว่าง -180° - 180°

มุมเซนิท (Zenith Angle, θ_z) คือมุมระหว่างลำรังสีอาทิตย์กับเส้นตั้งฉากกับระนาบพื้นดิน

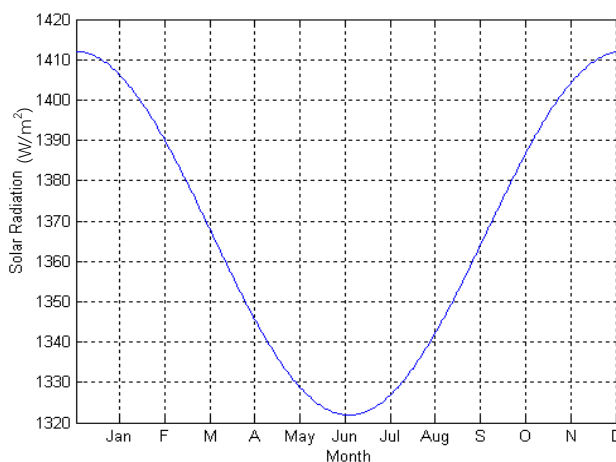
2) การเปลี่ยนแปลงค่ารังสีที่ผิวบรรยากาศโลก

ปริมาณเฉลี่ยของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบตั้งฉากกับพื้นที่หนึ่งหน่วยบนผิวบรรยากาศของโลก ที่ระยะห่างเฉลี่ยตลอดปีจากโลกถึงดวงอาทิตย์ เรียกว่า ค่าคงที่รังสีอาทิตย์ (Solar Constant, G_{sc}) มีค่าเป็น 1367 วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

การเปลี่ยนแปลงค่ารังสีที่ผิวบรรยากาศของโลกนั้นมาจาก 2 สาเหตุคือ การเปลี่ยนแปลงของค่ารังสีที่ปลดปล่อยจากดวงอาทิตย์แต่มีค่าน้อยมากและการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงค่ารังสีที่ผิวบรรยากาศของโลก เขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

$$G_{on} = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \quad (1.19)$$

เมื่อ G_{on} คือรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบตั้งฉากกับผิวบรรยากาศของโลก (W/m^2)



ภาพที่ 1.3 การเปลี่ยนแปลงค่ารังสีที่ผิวบรรยากาศโลกตลอดทั้งปี

3) รังสีอาทิตย์ในแนวราบที่ผิวบรรยากาศโลก

ที่เวลาใดๆ สามารถหาค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบเหนือบรรยากาศได้จากความสัมพันธ์

$$G_o = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] (\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta) \quad (1.20)$$

เมื่อ G_o คือรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบเหนือบรรยากาศ (W/m^2)

4) การประมาณค่ารังสีบนพื้นโลก

เมื่อรังสีอาทิตย์ที่ผิวบรรยากาศโลกผ่านเข้ามาถึงชั้นบรรยากาศโลกจะมีบางส่วนถูกสะท้อนกลับไปยังอวกาศ บางส่วนถูกดูดกลืนโดยอากาศและไอน้ำ และบางส่วนก็มีการกระเจิงโดยโมเลกุลไอน้ำ อากาศเบา และฝุ่นละออง ส่วนของรังสีที่มาถึงพื้นโลกโดยไม่เปลี่ยนแปลงทิศทางเรียกว่า รังสีตรง (Direct or Beam Radiation) รังสีถูกกระเจิงที่มาถึงพื้นโลกเรียกว่า รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) ดังนั้นรังสีรวม (Global Radiation) สามารถคำนวณได้จากผลรวมของรังสีทั้งสอง

5) การประมาณค่ารังสีรายวัน

รังสีรวมรายวันบนพื้นราบมีความสัมพันธ์กับรังสีนอกบรรยากาศโลกและชั่วโมงที่มีแดดในแต่ละวัน ดังสมการ

$$H = H_o \left[a + b \left(\frac{S}{N} \right) \right] \quad (1.21)$$

เมื่อ H คือ ค่ารังสีรวมรายวันบนพื้นราบ (MJ/m^2day)

H_o คือ ค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (MJ/m^2day)

S คือ ชั่วโมงที่มีแดด (h)

N คือ ความยาวของวันเฉลี่ย (h)

a, b คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยในแต่ละพื้นที่

การประมาณค่ารังสีรวมรายวันนั้นค่อนข้างยาก เนื่องจากมีหลายๆ ปัจจัยที่ทำให้ค่ารังสีรายวันไม่แน่นอน ดังนั้นการประมาณค่ารังสีรวมรายวันจึงเปลี่ยนมาใช้ในการประมาณค่าเฉลี่ยรังสีรวมรายวันแทน โดยหาค่าเฉลี่ยของในแต่ละเดือน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยชั่วโมงที่มีแดดรายเดือน

$$\bar{H} = \bar{H}_o \left[a + b \left(\frac{\bar{S}}{\bar{N}} \right) \right] \quad (1.22)$$

เมื่อ \bar{H} คือ ค่าเฉลี่ยรายเดือนของรังสีรวมรายวันบนพื้นราบ (MJ/m^2day)

\bar{S} คือ ค่าเฉลี่ยชั่วโมงที่มีแดดรายเดือน (h)

\bar{N} คือ ความยาวของวันเฉลี่ยรายเดือน (h)

a, b คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในแต่ละพื้นที่

โดยที่ค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (\bar{H}_o) คำนวณได้จาก

$$\bar{H}_o = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \times \left(\cos \phi \cos \delta \cos \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta \right) \quad (1.23)$$

เมื่อ G_{sc} คือ ค่าคงที่รังสีอาทิตย์ (W/m^2)

ϕ คือ มุมละติจูด (องศา)

δ คือ มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (องศา)

ω_s คือ มุมดวงอาทิตย์ขึ้น (องศา) โดย $\omega_s = \cos^{-1}(\tan \phi \tan \delta)$

ความยาวของวันเฉลี่ยรายเดือนและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยสามารถคำนวณได้จาก

$$\bar{N} = \frac{2}{5} \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (1.24)$$

$$\left. \begin{aligned} a &= 0.10 + 0.24 \left(\frac{\bar{S}}{\bar{N}} \right) \\ b &= 0.38 + 0.08 \left(\frac{\bar{S}}{\bar{N}} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1.25)$$

6) การประมาณค่ารังสีรายชั่วโมง

ค่าเฉลี่ยรายเดือนของรังสีรวมรายชั่วโมงมีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยรายเดือนของรังสีรวมรายวันดังนี้

$$\bar{I} = r \bar{H} \quad (1.26)$$

โดยที่

$$r = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \left[\frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s} \right]$$

$$a = a_1 + a_2 \sin(\omega_s - 1.047)$$

$$b = b_1 + b_2 \sin(\omega_s - 1.047)$$

เมื่อ \bar{I} คือ ค่าเฉลี่ยรายเดือนของรังสีรวมรายชั่วโมงบนพื้นราบ ($MJ/m^2/day$)

\bar{H} คือ ค่าเฉลี่ยรายเดือนของรังสีรวมรายวันบนพื้นราบ ($MJ/m^2/day$)

ω_s คือ มุมดวงอาทิตย์ขึ้น (องศา)

a_1, a_2, b_1, b_2 คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยในแต่ละพื้นที่

7) ประเภทของการวัดรังสีอาทิตย์

โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งการวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ตามลักษณะของการใช้ข้อมูลได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

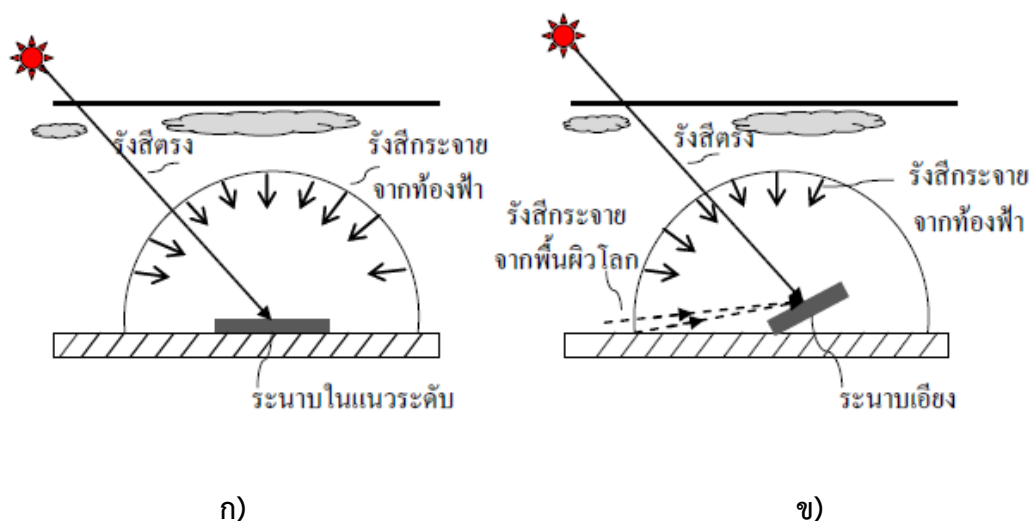
การวัดความเข้มรังสีอาทิตย์เฉพาะงาน การวัดรังสีอาทิตย์ดังกล่าวจะใช้ประกอบในการศึกษาสมรรถนะของระบบที่ใช้รังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน เช่น เซลล์สุริยะ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ และระบบอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์ เป็นต้น การศึกษาดังกล่าวจำเป็นต้องรู้ค่า

ความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่อุปกรณ์เหล่านั้นได้รับ โดยจะติดตั้งอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีอาทิตย์ไว้ในบริเวณที่ตั้งของอุปกรณ์ และทำการวัดระยะสั้น เช่น 1-30 วันในบางกรณีอาจทำการวัดระยะยาวเป็นปี เพื่อติดตามผลการทำงานของระบบ เช่น การวัดรังสีอาทิตย์ในโรงไฟฟ้าพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ปอนไฟฟ้าเข้าเครือข่ายสายส่ง เป็นต้น

การวัดรังสีอาทิตย์ระยะยาว โดยทั่วไปการวัดรังสีระยะยาวจะดำเนินการที่สถานีอุตุนิยมวิทยาต่างๆ โดยพิจารณาว่ารังสีอาทิตย์เป็นตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาตัวหนึ่ง ซึ่งจะต้องทำการวัดอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ นอกจากการวัดตามสถานีอุตุนิยมวิทยาแล้ว ในบางประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา มีการจัดตั้งเครือข่ายสถานีวัดรังสีอาทิตย์แยกออกมาจากการวัดตามสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วไป ทั้งนี้เพื่อใช้ข้อมูลในงานด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม สำหรับจำนวนและความหนาแน่นของสถานีในแต่ละประเทศจะแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับความพร้อมด้านงบประมาณในการจัดหาอุปกรณ์วัดและการบำรุงรักษาตลอดจนการเห็นความสำคัญและความต้องการข้อมูลรังสีอาทิตย์ในประเทศนั้นๆ

8) ชนิดของรังสีอาทิตย์ที่จะทำการวัด

รังสีอาทิตย์ที่เดินทางผ่านบรรยากาศโลกจะถูกองค์ประกอบต่างๆ ของบรรยากาศดูดกลืนและกระเจิง และส่วนที่เหลือจะเดินทางต่อมาถึงพื้นผิวโลก และถูกพื้นผิวโลกดูดกลืนบางส่วน โดยส่วนที่เหลือจะกระเจิงผ่านบรรยากาศออกไปสู่อวกาศ เรียกรังสีอาทิตย์ที่พุ่งตรงจากดวงอาทิตย์มายังพื้นผิวโลกว่ารังสีตรงและเรียกรังสีที่ถูกกระเจิงโดยโมเลกุลอากาศ ฝุ่นละอองและเมฆ ว่ารังสีกระเจิง ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระเจิงจะเรียกว่ารังสีรวม โดยกรณีของระนาบในแนวระดับ (ภาพที่ 1.4ก) สามารถเขียนผลรวมของรังสีที่ตกกระทบได้ดังสมการ (1.27) สำหรับกรณีระนาบเอียง ซึ่งจะมีส่วนของรังสีกระเจิงจากพื้นผิวโลกด้วย (ภาพที่ 1.4ข) จะเขียนได้ดังสมการ (1.28)



ภาพที่ 1.4 รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบต่างๆ ก) ระนาบในแนวระดับและ ข) ระนาบเอียง (เสริม, 2556)

กรณีระนาบในแนวระดับ

$$\dot{I} = \dot{I}_n \cos \theta_z + \dot{I}_{d,sky} \quad (1.27)$$

กรณีระนาบเอียง

$$\dot{I} = \dot{I}_n \cos \theta_z + \dot{I}_{d,sky} + \dot{I}_{d,ground} \quad (1.28)$$

- เมื่อ \dot{I} คือ รังสีรวมบนระนาบในแนวระดับ (W/m^2)
 \dot{I}_n คือ รังสีตรงบนระนาบตั้งฉากกับทิศทางของรังสี (W/m^2)
 $\dot{I}_{d,sky}$ คือ รังสีกระจายจากท้องฟ้า (W/m^2)
 $\dot{I}_{d,ground}$ คือ รังสีกระจายจากพื้นผิวโลก (W/m^2)

ในงานแต่ละอย่างจะใช้ข้อมูลรังสีอาทิตย์แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ในงานด้านระบบพลังงานรังสีอาทิตย์แบบรวมแสง (solar concentrating system) จะต้องการข้อมูลรังสีตรง ทั้งนี้เพราะระบบดังกล่าวจะใช้ประโยชน์จากรังสีตรง สำหรับระบบที่ใช้ประโยชน์จากรังสีรวม เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์สุริยะ ระบบทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ และระบบอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์ ผู้ออกแบบระบบดังกล่าวต้องการข้อมูลรังสีรวม นอกจากนี้การแปลงข้อมูลรังสีรวมบนระนาบในแนวระดับให้เป็นค่ารังสีรวมบนระนาบเอียง จำเป็นต้องใช้ข้อมูลรังสีกระจายบนระนาบในแนวระดับ ดังนั้นการวัดรังสีอาทิตย์ จึงแบ่งได้เป็นการวัดรังสีตรงรังสีกระจาย และรังสีรวม โดยการวัดรังสีดังกล่าวต้องใช้อุปกรณ์วัดที่แตกต่างกัน

9) เครื่องมือสำหรับวัดรังสีอาทิตย์

ในงานวิจัยนี้จะขอกล่าวถึงเครื่องวัดรังสีรวมเท่านั้น เครื่องวัดรังสีรวมเป็นอุปกรณ์พื้นฐานในงานด้านพลังงานรังสีอาทิตย์ ในอดีตที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์ได้ทำการพัฒนาเครื่องวัดรังสีรวมขึ้นมาหลายแบบ โดยแบบหลักๆ มีดังนี้

9.1) เครื่องวัดรังสีรวมแบบโรบิตซ์ (Robitzsch pyranometer)

เครื่องวัดแบบนี้จะมีแผ่นรับรังสีเป็นโลหะ 2 แผ่น โดยแผ่นหนึ่งทาสีขาว และอีกแผ่นหนึ่งทาสีดำ เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบแผ่นรับรังสีทั้งสอง แผ่นสีดำจะดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้มากกว่าแผ่นสีขาว ทำให้แผ่นสีดำขยายตัวมากกว่าแผ่นสีขาว แรงที่เกิดจากการขยายตัวดังกล่าวจะใช้ขับเคลื่อนปากกาให้บันทึกสัญญาณลงบนกระดาษซึ่งเคลื่อนที่ด้วยระบบโซลารัม สัญญาณที่บันทึกได้สามารถแปลงกลับมาเป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ได้โดยการสอบเทียบกับอุปกรณ์ที่สามารถวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ได้โดยตรง ลักษณะของเครื่องวัดรังสีรวมแบบโรบิตซ์ ข้อดีของเครื่องวัดรังสีรวมแบบนี้คือ ทำงานได้โดยไม่ใช้ไฟฟ้า จึงสามารถติดตั้งใช้งานในสถานที่ที่ไม่มีแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ แต่ก็มีข้อด้อยคือ ผลการวัดมีความคลาดเคลื่อนสูง ทั้งนี้เพราะการทำงานของเครื่องจะขึ้นกับอุณหภูมิแวดล้อมซึ่งโดยทั่วไปเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และการขยายตัวของแผ่นรับรังสีไม่สามารถตอบสนองการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วของความเข้มรังสีอาทิตย์ได้ นอกจากนี้ข้อมูลที่บันทึกได้แต่ละวันจะเป็นกราฟช่วงสั้น ซึ่งไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของรังสีอาทิตย์ช่วงสั้นอันเกิดจากเมฆได้ ค่าที่ได้จากการวัด

จะหาได้จากการรวมพื้นที่ใต้กราฟและแปลงกลับมาเป็นค่ารังสีรายวันซึ่งจะมีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 10-30 เครื่องวัดรังสีรวมแบบโรบิตซ์นิยมใช้วัดรังสีอาทิตย์ในยุคแรก ก่อนที่จะมีการประดิษฐ์เครื่องวัดแบบใช้หลักการทางไฟฟ้าในทศวรรษที่ 1960 อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังมีการใช้งานเครื่องวัดแบบนี้ในสถานีอุตุนิยมวิทยาบางแห่งในประเทศกำลังพัฒนา

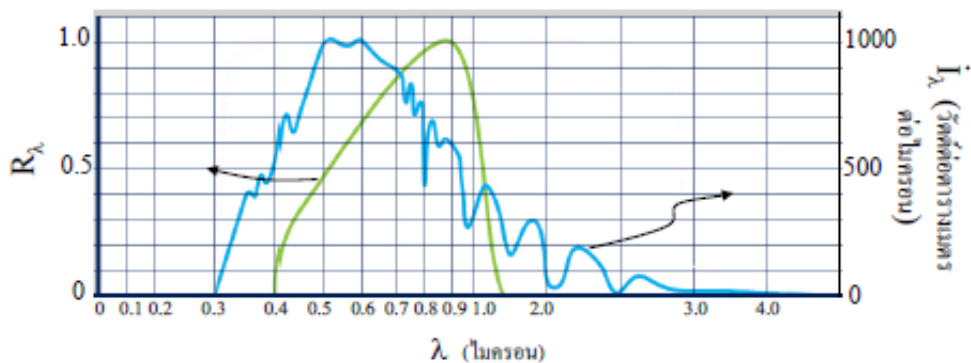
9.2) เครื่องวัดรังสีรวมแบบโฟโตโวลตาอิก (photovoltaic pyranometer)

เนื่องจากสารกึ่งตัวนำที่มีรอยต่อแบบพีเอ็น (P-N junction) จะเกิดศักย์ไฟฟ้าเมื่อมีรังสีอาทิตย์ตกกระทบ ดังนั้นจึงได้มีการนำสารดังกล่าวมาใช้เป็นเซนเซอร์ของเครื่องวัดรังสีรวม (ภาพที่ 1.5) โดยเครื่องวัดจะประกอบด้วยตัวรับรังสีที่เป็นแผ่นกระจายรังสีด้านบน และมีสารกึ่งตัวนำอยู่ด้านล่าง เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบแผ่นดังกล่าว รังสีอาทิตย์จะถูกกระจายผ่านลงมาตกบนสารกึ่งตัวนำและเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ค่ากระแสที่ได้นี้สามารถแปลงให้เป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยอาศัยการสอบเทียบกับเครื่องวัดรังสีอาทิตย์มาตรฐาน เนื่องจากการเกิดกระแสไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำนี้เป็นไปตามหลักการโฟโตโวลตาอิก ดังนั้นจึงเรียกเครื่องวัดรังสีรวมแบบนี้ว่า เป็นแบบโฟโตโวลตาอิก



ภาพที่ 1.5 เครื่องวัดรังสีรวมแบบโฟโตโวลตาอิก

โดยทั่วไปเครื่องวัดรังสีรวมแบบโฟโตโวลตาอิกจะมีการตอบสนองต่อรังสีอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ในช่วงประมาณ 0.4-1.1 ไมครอน (ภาพที่ 1.6) ซึ่งแคบกว่าช่วงความยาวคลื่นของสเปกตรัมรังสีรวม ทำให้ไม่สามารถวัดรังสีอาทิตย์ได้ครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นกว้าง (0.3-3.0 ไมครอน) นอกจากนี้การตอบสนองของเครื่องวัดต่อรังสีอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ มีค่าไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัด อย่างไรก็ตามเครื่องวัดนี้มีราคาไม่แพง



ภาพที่ 1.6 กราฟของการตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของเครื่องวัดรังสีรวมแบบโฟโตโวลตาอิก (เสริม, 2556)

9.3) เครื่องวัดรังสีรวมแบบเทอร์โมไพล์ (thermopile pyranometer)

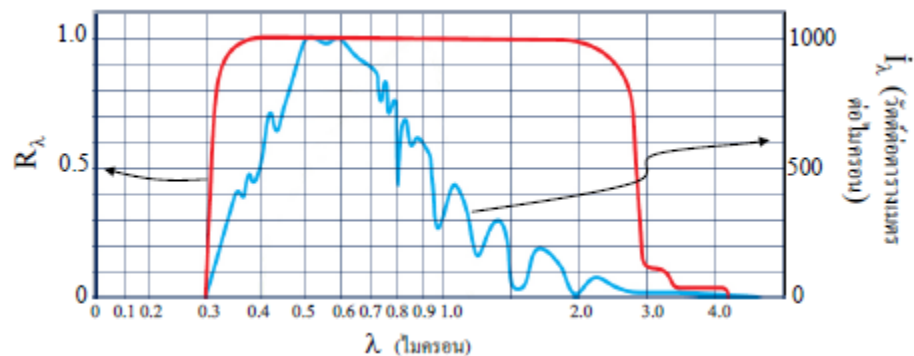
เครื่องวัดรังสีอาทิตย์แบบนี้จะมีตัวรับรังสีที่ทำด้วยเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) จำนวนมากที่ต่อกันแบบอนุกรมซึ่งเรียกว่า เทอร์โมไพล์ (thermopile) โดยมีแผ่นรับรังสีสีดำปิดด้านบน เพื่อไม่ให้อุณหภูมิของตัวรับรังสีตกกระทบเทอร์โมไพล์โดยตรง และมีโดมแก้วครอบด้านบนเพื่อป้องกันตัวรับรังสีจากฝนหรือสิ่งสกปรก เครื่องวัดรังสีรวมแบบนี้โดยทั่วไปจะมีลักษณะตามภาพที่ 1.7



ภาพที่ 1.7 เครื่องวัดรังสีรวมแบบเทอร์โมไพล์ที่ผลิตโดยบริษัทคิปป์แอนด์โซเนนซ์ (เสริม, 2556)

เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบแผ่นรับรังสีของเครื่องวัดรังสีรวมแบบเทอร์โมไพล์ แผ่นดังกล่าวจะถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นไปยังเทอร์โมไพล์ ทำให้เทอร์โมไพล์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะ

ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วของเทอร์โมโพล์ค่าของศักย์ไฟฟ้างกล่าวสามารถนำมาคำนวณเป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ได้โดยการสอบเทียบกับเครื่องวัดรังสีอาทิตย์มาตรฐาน ข้อดีของเครื่องวัดรังสีรวมแบบเทอร์โมโพล์คือ สามารถตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่ในช่วง 0.3-3.0 ไมครอน ได้เท่ากัน (ภาพที่ 1.8) นอกจากนี้ยังสามารถทำงานโดยไม่ขึ้นกับสภาพแวดล้อมมากนัก และมีความละเอียดถูกต้องในการวัดค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามเครื่องวัดแบบนี้มีราคาแพง



ภาพที่ 1.8 กราฟแสดงการตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของเครื่องวัดรังสีรวมแบบเทอร์โมโพล์ (เสริม, 2556)

10) สมบัติของเครื่องวัดรังสีอาทิตย์

ในการใช้เครื่องวัดรังสีรวมและรังสีตรง ผู้ใช้จำเป็นต้องรู้สมบัติของเครื่องวัดดังกล่าวโดยสมบัติทั่วไปมีดังนี้

สภาพตอบสนอง (responsivity) หรือสภาพไวรังสี (sensitivity) เครื่องวัดรังสีรวมและเครื่องวัดรังสีตรงภาคสนามส่วนใหญ่จะให้สัญญาณออกมาเป็นศักย์ไฟฟ้า ในหน่วยโวลต์ เราต้องทำการแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้ให้เป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร โดยการหารค่าศักย์ไฟฟ้าด้วยค่าสภาพตอบสนองในหน่วยโวลต์ต่อวัตต์ต่อตารางเมตรซึ่งได้จากการสอบเทียบเครื่องวัดดังกล่าวกับเครื่องวัดมาตรฐาน โดยทั่วไปค่าสภาพตอบสนองของเครื่องวัดรังสีอาทิตย์จะมีการเปลี่ยนแปลงหลังจากการใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง กรณีของการใช้งานตามสถานีวัดรังสีอาทิตย์ซึ่งต้องการทำการวัดรังสีอาทิตย์อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนานหลายปี ต้องทำการสอบเทียบเครื่องวัดเพื่อหาค่าสภาพตอบสนองที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง โดยเครื่องวัดที่ดีสภาพตอบสนองต้องเปลี่ยนแปลงต่อปีน้อย

การตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ (spectral response) โดยทั่วไปเครื่องวัดรังสีรวมและเครื่องวัดรังสีตรงจะสามารถวัดรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นหนึ่ง โดยเครื่องวัดที่ดีต้องสามารถวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ครอบคลุมในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (0.3-3.0 ไมครอน) ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นของพลังงานส่วนใหญ่ของรังสีอาทิตย์และจะต้องตอบสนองต่อรังสีอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นต่างๆ ในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวได้เท่ากัน

สภาพเชิงเส้น (linearity) ตามที่กล่าวไปแล้วว่าในการวัดรังสีรวมและรังสีตรง เครื่องวัดจะให้สัญญาณออกมาเป็นค่าศักย์ไฟฟ้า ซึ่งจะต้องนำมาแปลงให้เป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์

กรณีของเครื่องวัดรังสีอาทิติย์ที่ดี ค่าความเข้มรังสีอาทิติย์จะต้องแปรตามศักย์ไฟฟ้าแบบเชิงเส้น ในช่วงระหว่างความเข้มต่ำสุดถึงความเข้มสูงสุดที่เครื่องวัดสามารถวัดได้ เราเรียกกราฟการแปรค่าระหว่างความเข้มรังสีอาทิติย์และศักย์ไฟฟ้าว่าสภาพเชิงเส้นของเครื่องวัด โดยเครื่องวัดที่ดี การแปรค่าดังกล่าวต้องเป็นเส้นตรง

การขึ้นต่ออุณหภูมิ (temperature dependence) โดยทั่วไปเครื่องวัดรังสีอาทิติย์จะต้องใช้งานกลางแจ้งซึ่งมีอุณหภูมิอากาศแวดล้อมเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีผลต่อสมรรถนะของเครื่องวัด ทำให้ค่าที่วัดได้ขึ้นกับอุณหภูมิด้วย โดยการขึ้นกับอุณหภูมินี้จะบอกในรูปของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

เวลาของการตอบสนอง (response time) เครื่องวัดรังสีอาทิติย์โดยทั่วไป เมื่อเริ่มรับรังสีอาทิติย์จะไม่สามารถให้สัญญาณออกมาทันที แต่สัญญาณที่ได้จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential) โดยจะบอกความสามารถหรือความเร็วในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีอาทิติย์ในรูปของเวลาการตอบสนอง ซึ่งให้เป็นเวลาที่ใช้ในการเพิ่มขึ้นของสัญญาณจากค่าที่ต่ำสุดจนถึงค่าร้อยละ 95 ของสัญญาณสูงสุด ซึ่งมีหน่วยเป็นวินาที โดยเครื่องวัดรังสีอาทิติย์ที่ดีจะต้องมีเวลาการตอบสนองสั้น

การตอบสนองต่อมุมตกกระทบ (cosine response) สมบัติด้านการตอบสนองต่อมุมตกกระทบจะใช้ในกรณีเครื่องวัดรังสีรวม โดยไม่ใช้กับกรณีของเครื่องวัดรังสีตรง ทั้งนี้เพราะเครื่องวัดรังสีตรงนั้นรังสีอาทิติย์จะตกกระทบตั้งฉากกับตัวรับรังสีตลอดเวลา แต่กรณีของเครื่องวัดรังสีรวมมุมตกกระทบของรังสีอาทิติย์บนเครื่องวัดจะเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน เมื่อรังสีอาทิติย์ในส่วนที่เป็นรังสีตรงตกกระทบเป็นมุมใดๆ เราสามารถแปลงค่าที่วัดได้ให้มาอยู่ในระนาบในแนวระดับ โดยการคูณค่ารังสีให้ตกกระทบบนระนาบตั้งฉากกับทิศของรังสีด้วยค่าโคไซน์ (cosine) ของมุมตกกระทบบนระนาบของเครื่องวัด จะเห็นว่าการแปลงค่าดังกล่าวขึ้นกับโคไซน์ของมุมตกกระทบ แต่เครื่องวัดทั่วไปจะไม่ตอบสนองแบบโคไซน์ทุกมุมโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มุมตกกระทบค่ามากๆ ซึ่งจะทำให้ผลการวัดที่มุมดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อน เครื่องวัดที่ดีจะต้องมีการตอบสนองต่อมุมตกกระทบแปรค่าใกล้เคียงกับการแปรค่าของโคไซน์ของมุมตกกระทบ

11) การบันทึกข้อมูลรังสีอาทิติย์

โดยทั่วไปเครื่องวัดรังสีอาทิติย์จะให้สัญญาณออกมาในรูปศักย์ไฟฟ้า ซึ่งจำเป็นต้องมีอุปกรณ์บันทึกสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ โดยเครื่องบันทึกสัญญาณแบบต่างๆ มีดังนี้

เครื่องอินทิเกรเตอร์ (integrater) เครื่องมือดังกล่าวจะรับสัญญาณศักย์ไฟฟ้าจากเครื่องวัดรังสีอาทิติย์และแปลงให้เป็นความเข้มรังสีอาทิติย์โดยการหารด้วยค่าสภาพตอบสนองของเครื่องวัดซึ่งเราจะต้องป้อนค่าให้กับเครื่องอินทิเกรเตอร์ จากนั้นเครื่องอินทิเกรเตอร์จะทำการอินทิเกรตค่าพลังงานของรังสีอาทิติย์ตามช่วงเวลาที่ต้องการ เช่น ในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งจะได้รังสีรายชั่วโมงในหน่วยจุลต่อตารางเมตร แล้วจะทำการพิมพ์ค่าออกมาหรือส่งต่อค่าที่ได้เข้าคอมพิวเตอร์ที่ต่อพ่วงกับเครื่องอินทิเกรเตอร์

เครื่องบันทึกสัญญาณบนกระดาษกราฟ (chart recorder) เครื่องบันทึกสัญญาณแบบนี้ (ภาพที่ 1.9) จะบันทึกค่าศักย์ไฟฟ้าจากเครื่องวัดรังสีอาทิติย์ลงบนกระดาษกราฟที่

เคลื่อนที่ซึ่งเราสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของความเข้มรังสีอาทิตย์ในรอบวันได้กราฟที่ได้นี้จะต้องนำมาอ่านค่าศักย์ไฟฟ้าที่ขณะเวลาใดๆ แล้วนำมาหารด้วยค่าสภาพตอบสนองของเครื่องวัด ซึ่งจะได้ค่าความเข้มรังสีในขณะนั้นๆ ในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตรนอกจากนี้ยังสามารถวัดพื้นที่ใต้กราฟในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงโดยใช้เครื่องหาพื้นที่แล้วแปลงเป็นค่าพลังงานของรังสีอาทิตย์ซึ่งจะทำให้ได้ค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมงในหน่วยจูลต่อตารางเมตรถ้านำค่าดังกล่าวมารวมกันทั้งวันก็จะได้ค่ารังสีรายวัน ในปัจจุบันมีบริษัทผลิตเครื่องบันทึกสัญญาณลักษณะเดียวกันกับเครื่องบันทึกสัญญาณบนกระดาษกราฟ แต่จะแสดงภาพของกราฟบนจอโดยไม่ต้องใช้กระดาษกราฟซึ่งจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดหากระดาษกราฟ และหมึกสำหรับบันทึกข้อมูล



ภาพที่ 1.9 เครื่องบันทึกสัญญาณบนกระดาษกราฟของบริษัทโยโกกาวา (Yokogawa) (เสริม, 2556)

เครื่องบันทึกข้อมูลเชิงตัวเลข (data logger) เครื่องบันทึกข้อมูลแบบนี้ (ภาพที่ 1.10) จะรับสัญญาณศักย์ไฟฟ้าจากเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอก (analog) แล้วทำการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล (digital) จากนั้นจะบันทึกสัญญาณลงในหน่วยความจำทันทีหรือทำการเฉลี่ยสัญญาณก่อนแล้วจึงทำการบันทึกค่าเฉลี่ย ผู้ใช้สามารถตั้งโปรแกรมให้เครื่องรับสัญญาณในอัตราที่ต้องการได้ เช่น รับสัญญาณทุกๆ 1 วินาที เป็นต้น สัญญาณที่บันทึกในหน่วยความจำของเครื่องสามารถถ่ายโอนเข้าไปยังแผ่นดิสก์ หรือเข้าสู่คอมพิวเตอร์ได้



ภาพที่ 1.10 เครื่องบันทึกข้อมูลเชิงตัวเลข

การบันทึกข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตปัจจุบันเครือข่ายอินเทอร์เน็ตครอบคลุมพื้นที่ทางเศรษฐกิจส่วนใหญ่ของโลกเครือข่ายดังกล่าวสามารถส่งผ่านข้อมูลดิจิทัลจากคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งไปสู่อีกเครื่องหนึ่งที่อยู่ในเครือข่ายได้ ดังนั้นเราจึงสามารถส่งข้อมูลรังสีอาทิตย์จากสถานีวัดไปยังศูนย์ข้อมูลรังสีอาทิตย์ โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และทำการบันทึกข้อมูลลงในฮาร์ดดิสก์ (harddisk) ของคอมพิวเตอร์ที่ศูนย์ฯ ได้

1.2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ali (2013) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้นสำหรับจำลองค่าอุณหภูมิผิวน้ำของบ่อดินจากอุณหภูมิอากาศในช่วงต่างๆ โดยอาศัยข้อมูลอุณหภูมิหน้า-อากาศในปี 2005-2009 พารามิเตอร์ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ทั้งสองประมาณค่าจากข้อมูลระยะยาว 5 ปีของอุณหภูมิหน้าและอากาศซึ่งใช้วิธีวิเคราะห์จากค่ากำลังสองน้อยสุด การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหน้ารายวัน รายสัปดาห์ และรายเดือนสามารถทำนายได้ถูกต้องแม่นยำจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงเส้น ผลการวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิหน้า-อากาศรายวันสูงกว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิหน้า-อากาศรายสัปดาห์และรายเดือน อุณหภูมิหน้าจากการวัดและการจำลองมีความสัมพันธ์กัน วิธีการที่ใช้ในการพัฒนาภายใต้การจำลองอุณหภูมิผิวน้ำในบ่อดินขนาดเล็กจากอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลาต่างๆ ที่ประยุกต์ใช้เพื่อเป็นประโยชน์จากการขาดหายของข้อมูลอุณหภูมิหน้า และสามารถนำไปประมาณค่าการระเหยของน้ำและวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่ออุณหภูมิหน้าของบ่อดินในประเทศอินเดีย

Lamoureux, Tiersch and Hall (2006) สร้างแบบจำลองควบคุมอุณหภูมิและความร้อนของบ่อดินเพื่อทำนายอุณหภูมิบ่อดินสำหรับเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและเพื่อกำหนดขนาดของกลไกการถ่ายโอนพลังงานที่มีผลต่อการได้รับหรือสูญเสียพลังงานของบ่อดินสำหรับเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แบบจำลองแก้ปัญหาสมการอนุพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นอันดับหนึ่งโดยใช้ระเบียบวิธีรุงคงคุดตาอันดับสี่และมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลนำเข้า ผลข้อมูลที่ได้เป็นอุณหภูมิบ่อดินที่ทำนายเปรียบเทียบความถูกต้องกับค่าของอุณหภูมิบ่อดินที่วัดได้จริงจากน้ำในบ่อดินที่สถานีวิจัยเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แบบจำลองคณิตศาสตร์ได้ทำนายอุณหภูมิของบ่อดินที่ไม่มีการสูญเสียความร้อนผิดพลาดไป 0.7 องศาเซลเซียส และบ่อดินที่มีการสูญเสียความร้อนผิดพลาดไป 2.6 องศาเซลเซียส ความผันผวนของอัตราการไหลของน้ำอุ่นทำให้มีความคลาดเคลื่อนเพิ่มสูงขึ้นในการทำนายอุณหภูมิบ่อดิน พลังงานสำคัญของบ่อดินที่ไม่มีการสูญเสียความร้อนเป็นรังสีคลื่นยาวของบ่อดินและรังสีคลื่นยาวท้องฟ้า ในบางช่วงเวลามีรังสีอาทิตย์คิดเป็นร้อยละ 49 ของการถ่ายโอนพลังงานทั้งหมดให้แก่บ่อดินที่ไม่มีการสูญเสียความร้อนสำหรับบ่อดินที่มีการสูญเสียความร้อนกลไกการถ่ายโอนพลังงานที่สำคัญคือ รังสีคลื่นยาวของบ่อดิน รังสีคลื่นยาวของท้องฟ้า ความร้อนพื้นดิน-น้ำที่เติม และพลังสะสมในน้ำที่ปล่อยออกไป ในบางช่วงเวลามีรังสีอาทิตย์คิดเป็นร้อยละ 50 และน้ำอุ่นที่เติมเข้ามาร้อยละ 60 ของการถ่ายโอนพลังงานทั้งหมดให้แก่บ่อดินที่มีการสูญเสียความร้อน

Khater, Ali and Mohamed (2017) ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิน้ำต่อลักษณะเพศและการเจริญเติบโตของปลานิล ทำการทดลองแยกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษาเลี้ยงปลานิลที่มีอุณหภูมิ 25 30 และ 35 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 1 2 3 และ 4 สัปดาห์ เพื่อวิเคราะห์อัตราการตาย อัตราส่วนทางเพศ และน้ำหนักของปลานิล ส่วนที่สองเป็นการประเมินอัตราการเจริญเติบโตและการรอดชีวิตของปลานิล ผลที่ได้พบว่าอัตราส่วนเพศผู้และอัตราการตายเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาที่เลี้ยง น้ำหนักของปลานิลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามอุณหภูมิและเวลาที่เลี้ยง ปลานิลที่เลี้ยงในอุณหภูมิและช่วงเวลาเลี้ยงที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำหนักและอัตราเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ในขณะที่อัตราแลกเนื้อลดลง

Sun and Chen (2009) ได้ศึกษาผลกระทบของปริมาณการให้อาหารและอุณหภูมิน้ำที่ 21 27 และ 33 องศาเซลเซียส ต่อการเจริญเติบโต การขับถ่ายของเสีย การขับถ่ายไนโตรเจน และสมดุลพลังงาน ของปลาช่อนทะเล การขับถ่ายของเสียและการขับถ่ายไนโตรเจนมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญจากการให้อาหารและอุณหภูมิน้ำ เมื่อการให้อาหารและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้การขับถ่ายของเสียและการขับถ่ายไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ประสิทธิภาพในการดูดซึมอาหารมีการเปลี่ยนแปลงน้อยในช่วงที่ทดลอง ปลาช่อนทะเลเติบโตเร็วที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เมื่อให้อาหารตอนที่อิ่ม แต่อัตราการเจริญเติบโตมีค่าเท่ากับหรือดีกว่าที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส และอัตราการเจริญเติบโตมีค่าต่ำที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส

Glasser, Mikolajczyk, Jalabert, Baroiller and Breton (2004) ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิตามแนวการสืบพันธุ์ในช่วงการวางไข่ของปลาเกาซึ่งเป็นปลากินหญ้าทะเล ในเมืองไอวอรีโคสต์ (Ivory Coast) ที่มีอุณหภูมิ 26-31 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าพลังงานความร้อนที่เปลี่ยนไปเล็กน้อยทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้รังไข่ตอบสนองต่ออุณหภูมินี้ ทำให้ระบบการสืบพันธุ์

ของปลากินหญ้าทะเลถูกรบกวนมีผลต่อการวางไข่ของปลา ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นความสำคัญของการควบคุมอุณหภูมิจากการวางไข่ของปลากินหญ้าเพื่อให้แน่ใจว่ามีอัตราการตกไข่สูง

Culberson and Piedrahita (1996) ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอุณหภูมิและการละลายน้ำของออกซิเจนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งคุณสมบัติที่เหมาะสมของอุณหภูมิและการละลายน้ำของออกซิเจนเป็นสิ่งสำคัญมากในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทำให้มีความเข้าใจเรื่องบ่อถึงวิธีการสร้าง การจัดการทางกายภาพของสิ่งมีชีวิตเพื่อจะได้เตรียมความพร้อมให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมสำหรับสิ่งมีชีวิตที่มีการเพาะเลี้ยงต่อไป ในการศึกษาทางด้านภาคสนามสามารถให้ข้อมูลคุณสมบัติของการละลายน้ำในสถานที่เดียว การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่เชื่อถือได้เพื่อทำนายอุณหภูมิและการละลายน้ำของออกซิเจน โดยการเปลี่ยนแปลงมีความหลากหลายที่เริ่มกับข้อมูลทางภูมิศาสตร์และบรรยากาศที่เหมาะสมในท้องถิ่น ข้อดีของแบบจำลองนี้คือการลดลงของความต้องการข้อมูลเมื่อเทียบกับรุ่นก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองได้ลดความวุ่นวายของข้อมูลที่มาจากแบบจำลองสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้รับ สุดท้ายแบบจำลองได้ดำเนินการจำลองผลเชิงปริมาณกับอุณหภูมิและความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เปลี่ยนตามความลึกและความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช

พัชรารัตน์, นิวุฒิ, ชนกันต์, จงกล และหลุยส์ (2557) ฤดูกาล อากาศและสภาพภูมิอากาศมีผลต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ บทความนี้เป็นการรวบรวมผลกระทบของสภาพอากาศและฤดูกาลต่อคุณภาพน้ำและสัตว์น้ำ รวมถึงการใช้แบบจำลองเพื่อทำความเข้าใจกลไกระบบนิเวศในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ การศึกษาอธิบายถึงอิทธิพลของสภาพอากาศและฤดูกาลที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำในบ่ออุณหภูมิน้ำ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และแอมโมเนีย ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตรารอด และความเสี่ยงในการเกิดโรค แบบจำลองระบบนิเวศในบ่อสามารถใช้เป็นเครื่องมือเพื่อสร้างความเข้าใจและคาดการณ์การตอบสนองต่อความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในบ่อ เพื่อเสนอทางเลือกในการจัดการที่เป็นประโยชน์ต่อการรักษาสุขภาพคุณภาพน้ำที่เหมาะสม

Ali and Caguan (2007) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความใสของน้ำ อุณหภูมิน้ำ และค่าออกซิเจนละลายในน้ำของบ่อดินที่ใช้เลี้ยงปลา โดยทำการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ถดถอยเพื่อประเมินความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านั้น ผลการศึกษาในช่วงความใส อุณหภูมิ และออกซิเจนละลายสำหรับการเลี้ยงปลานิล พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยจากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าความใสของน้ำ อุณหภูมิน้ำ และค่าออกซิเจนละลายในน้ำของบ่อดินที่ใช้เลี้ยงปลาไม่มีความสัมพันธ์กัน

มะลิวัลย์ และ สรวิต (2555) ได้ศึกษาบ่อดินสำหรับเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีระบบนิเวศซับซ้อน โดยเกิดปฏิกิริยาทั้งในดินและมวลน้ำ รวมทั้งมีกระบวนการทางชีวภาพที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงรูปของสารประกอบไนโตรเจนหลายกระบวนการที่เกิดขึ้น ไนโตรเจนเป็นสารอาหารที่สำคัญของสัตว์น้ำที่ได้รับจากอาหารที่สัตว์น้ำบริโภคและยังมีบทบาทหลักในกระบวนการชีวธรณีเคมีในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ การหมุนเวียนไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจึงขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนจากรูปที่มีพิษต่อสัตว์น้ำ คือแอมโมเนียและไนไตรต์ไปเป็นรูปที่ไม่มีพิษและถูกกำจัดออกจากบ่อในรูปของก๊าซไนโตรเจน การสะสมสารประกอบไนโตรเจนสามารถพบได้ทั้งบริเวณดินก้นบ่อและมวลน้ำ โดยที่สารอาหารในดินตะกอนก้นบ่อจะช่วยเร่งการทำงานของแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับวัฏ

จักรโนโตรเจน งานวิจัยได้อธิบายถึงกระบวนการทางชีวภาพที่มีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจน ซึ่งความเข้าใจเกี่ยวกับแบคทีเรียที่มีเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ นี้อธิบายว่ามีบทบาทสำคัญสำหรับเพิ่มผลผลิตของสัตว์น้ำ พร้อมทั้ง ช่วยลดผลกระทบของกิจกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่อสภาวะแวดล้อมได้อีกด้วย

ชานาญ แป้นจาก (2544) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการทำความเย็นด้วยอากาศในระบบท่อฝังใต้สระน้ำ เพื่อใช้ลดอุณหภูมิอากาศในโรงเรือนเพาะปลูก เมื่อนำแบบจำลองมาศึกษาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการทำความเย็น พบว่าควรใช้สระน้ำขนาด 10 ตารางกิโลเมตร ระดับน้ำลึก 5 เมตร มีค่าประสิทธิผลของการแลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับร้อยละ 80 อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเท่ากับ 33 องศาเซลเซียส อุณหภูมิใต้สระน้ำเท่ากับ 23 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ทางออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาการทำความเย็นในช่วง 06.00-18.00 น. พบว่าสามารถลดอุณหภูมิในโรงเรือนได้อยู่ในช่วง 25.5-27.5 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชในโรงเรือน

นฤทธิ์ กล่อมพงษ์ และคณะ (2549) ได้ศึกษาการกระจายและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินภายใต้สภาวะเงื่อนไขภูมิอากาศธรรมชาติของจังหวัดพัทลุง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้ดินเป็นแหล่งรับความร้อนให้กับเครื่องปรับอากาศเพื่อเพิ่มค่าให้กับระบบ โดยทำการวัดอุณหภูมิดินที่ระดับพื้นผิวและระดับความลึก 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 และ 3.0 เมตร ตามลำดับ และทำการวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิและความชื้นอากาศแวดล้อมรวมทั้งความเร็วและทิศทางลม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิดินพื้นผิวมีค่าเปลี่ยนแปลงตามความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยมีค่าสูงสุด 35 องศาเซลเซียส และมีค่าต่ำสุด 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิดินมีการแกว่งกวัดน้อยในช่วงความลึก 1.5-2.5 เมตร และที่ ระดับความลึก 2.0 เมตร เป็นระดับที่เหมาะสมในการใช้เป็นแหล่งรับความร้อนเนื่องจากดินมีอุณหภูมิต่ำ

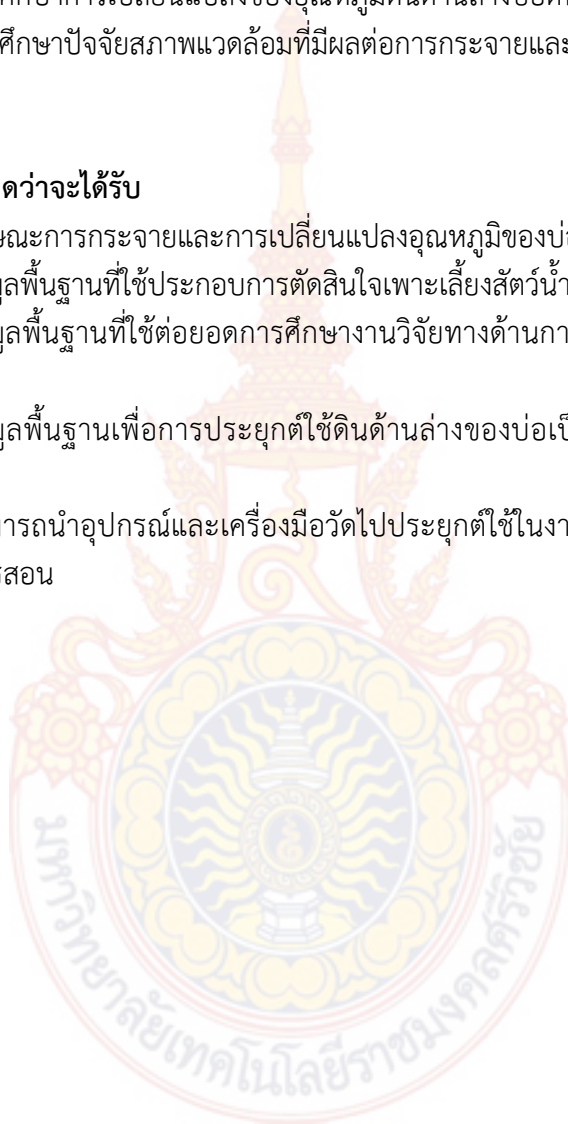
นฤทธิ์ กล่อมพงษ์ และคณะ (2552) ได้จำลองแบบเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนในดินภายใต้สภาพแวดล้อมทางภาคใต้ของประเทศไทยเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้สำหรับการทำความเย็นโดยใช้ดินเป็นแหล่งรับความร้อน โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อนผ่านกลไกทั้ง 3 กลไกแบบ 3 มิติ ซึ่งอาศัยระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่องแบบไม่ชัดแจ้ง และใช้โปรแกรม MATLAB สำหรับการแก้สมการเชิงเส้นด้วยระเบียบวิธีการกำจัดแบบเกาส์-ไซเดล ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลองดังกล่าวสามารถทำนายค่าอุณหภูมิได้ใกล้เคียงกับผลการทดลอง โดยมีค่า RMSE ที่ระดับผิวดินเท่ากับร้อยละ 16.9 ที่ระดับความลึก 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 และ 3.0 เมตร เท่ากับร้อยละ 15.3 9.7 11.6 12.0 11.5 และ 9.8 โดยอุณหภูมิดินมีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะในช่วงระดับความลึก 0-0.75 เมตร ที่ระดับความลึกมากกว่านี้อุณหภูมิดินมีค่าคงที่เท่ากับ 27.1 องศาเซลเซียส ที่บริเวณผิวดินอุณหภูมิมีค่าสูงสุด 36.1 องศาเซลเซียส ณ เวลา 15.15 น. และมีค่าต่ำสุด 20.6 องศาเซลเซียส ณ เวลา 7.00 น. ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดินพบว่า ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ และสภาพการนำความร้อนของดินมีการแปรผกผันกับแอมพลิจูดการแกว่งของอุณหภูมิดินโดยเฉพาะบริเวณที่ผิวดิน ส่วนค่าสภาพการดูดกลืนรังสี ค่าสภาพการแผ่รังสี และค่าสัมประสิทธิ์ของความร้อนแฝงมีผลต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิดินต่ำและสูงสุด

1.3 วัตถุประสงค์

- 1.3.1 เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิน้ำที่ระดับความลึกต่างๆ ของน้ำในบ่อดิน
- 1.3.2 เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิดินที่ระดับความลึกต่างๆ ของดินด้านล่างบ่อดิน
- 1.3.3 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำในบ่อดินช่วงเวลาต่างๆ ตลอดวัน
- 1.3.4 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดินด้านล่างบ่อดินช่วงเวลาต่างๆ ตลอดวัน
- 1.3.5 เพื่อศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการกระจายและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจากบ่อดิน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ลักษณะการกระจายและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากบ่อดิน
- 1.4.2 ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ประกอบการตัดสินใจเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในบ่อดิน
- 1.4.3 ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ต่อยอดการศึกษางานวิจัยทางด้านการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในบ่อดิน
- 1.4.4 ข้อมูลพื้นฐานเพื่อการประยุกต์ใช้ดินด้านล่างของบ่อเป็นแหล่งรับความร้อนเพื่อต่อยอดงานวิจัยต่อไป
- 1.4.5 สามารถนำอุปกรณ์และเครื่องมือวัดไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยอื่นๆ ที่นักวิจัยชำนาญารวมทั้งการเรียนการสอน



บทที่ 2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยได้ศึกษาการกระจายและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน โดยทำการวัดค่าอุณหภูมิของน้ำภายในบ่อดินและวัดค่าอุณหภูมิดินด้านล่างของบ่อดิน รวมทั้งศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิของบ่อดิน ได้แก่ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม รั้งสีอาทิตย์ ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราเร็วลม ดังนั้นการเลือกบ่อดินและการติดตั้งเครื่องมือวัดค่าปริมาตรต่างๆ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

2.1 สํารวจพื้นที่

สำรวจพื้นที่บ่อดินเพื่อการศึกษาโดยเลือกบ่อดินสำหรับประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งเป็นบ่อเก็บน้ำเพื่อการเลี้ยงกุ้ง ตั้งอยู่ในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ละติจูด 7.53 องศาเหนือ ลองจิจูด 99.31 องศาตะวันออก น้ำในบ่อเป็นน้ำเค็มมีความลึกของน้ำประมาณ 1.5 เมตร เป็นบ่อดินที่ระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยและที่ไม่มีปัจจัยอื่นๆ ภายนอกมารบกวนที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ บ่อดินมีเนื้อที่ประมาณ 1.73 ไร่ ความกว้าง 41.35 เมตร ความยาว 66.95 เมตร และมีความลึก 2 เมตร แสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 บ่อดินที่ศึกษาเป็นบ่อเก็บน้ำเพื่อใช้ประโยชน์สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.2.1 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (CONTROLLER/DATA RECORDER MultiCon CMC-99/141) ที่ใช้เก็บข้อมูลระยะยาวจำนวน 2 เครื่อง แสดงดังภาพที่ 2.2

- อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติเพื่อใช้บันทึกข้อมูลอุณหภูมิของบ่อดินจำนวน ช่องสัญญาณเข้า 8 ช่องสัญญาณ
- อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติเพื่อใช้บันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อมจำนวน ช่องสัญญาณเข้า 6 ช่องสัญญาณ



ภาพที่ 2.2 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติใช้เก็บข้อมูลระยะยาว

2.2.2 เซนเซอร์วัดความเข้มรังสีอาทิตย์ (Pyranometer Model: Solarimeter CR100 KIMO) สามารถวัดค่าความเข้มรังสีได้ในช่วง 0-1,300 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยมีความยาวคลื่นของสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ 400-1,100 นาโนเมตร แสดงดังภาพที่ 2.3

2.2.3 เซนเซอร์วัดปริมาณความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิแวดล้อม (KIMO Model: temperature and humidity transmitter TH 100) แสดงดังภาพที่ 2.4

- เซนเซอร์วัดปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สามารถวัดค่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วงร้อยละ 0-100 มีค่าความละเอียดร้อยละ 0.1
- เซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิแวดล้อมสามารถวัดค่าอุณหภูมิแวดล้อมได้ในช่วง 0-50 องศาเซลเซียส มีค่าความละเอียด 0.1 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 2.3 เซนเซอร์วัดความเข้มรังสีอาทิตย์พร้อมเครื่องแปลงสัญญาณ



ภาพที่ 2.4 เซนเซอร์วัดปริมาณความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิแวดล้อม

2.2.4 เซนเซอร์วัดอัตราเร็วลม (Wind Speed Sensor Anemometer Three Cups Aluminium Alloyed Current Output 4-20mA) สามารถวัดค่าอัตราเร็วลมได้ 0-30 เมตรต่อวินาที มีค่าความละเอียด 0.1 เมตรต่อวินาที และมีค่าความแม่นยำร้อยละ 3 แสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 เซนเซอร์วัดอัตราเร็วลมติดตั้งที่ระดับความสูง 10 เมตร

2.2.5 สายเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเค (Thermocouple Type “K” Model: WRHK 1054082 5L8 M) แสดงดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.6 สายเทอร์โมคัปเปิ้ลสำหรับติดตั้งในบ่อเพื่อวัดอุณหภูมิของบ่อดิน

2.2.6 ตู้ควบคุมระบบสำหรับบรรจุอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติ อุปกรณ์แปลงสัญญาณ และระบบไฟฟ้า

2.2.7 เสาสำหรับติดตั้งอุปกรณ์การวัดเป็นเสาเหล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว มีระดับความสูง 10 เมตร



ภาพที่ 2.7 เสาเหล็กสำหรับติดตั้งเซนเซอร์วัดสภาพแวดล้อม

2.3 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือ

2.3.1 ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ลเพื่อวัดค่าอุณหภูมิผิวน้ำ และที่ระดับความลึก 0.3 0.6 0.9 1.2 และ 1.5 (ผิวดินด้านล่างของบ่อ) เมตร วัดอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 0.3 และ 0.6 เมตร ตรงบริเวณกลางบ่อโดยมีเสาบอกระดับน้ำ แสดงดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.8 ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ลต่อน้ำในบ่อเหลือน้อยเพื่อวัดค่าอุณหภูมิของบ่อดิน

2.3.2 ติดตั้งเสาสูง 10 เมตร บริเวณใกล้เคียงบ่อดินที่ทำการศึกษ เพื่อติดตั้งเซนเซอร์วัดสภาพแวดล้อม โดยมีฐานเสาขนาด 50 x 50 x50 เซนติเมตร และมีสายยึดโยง 3 ด้าน

2.3.3 ติดตั้งเซนเซอร์วัดความชื้นของรังสีอาทิตย์ที่ระดับความสูง 2 เมตร จากพื้นดิน



ภาพที่ 2.9 ติดตั้งเซนเซอร์วัดความชื้นของรังสีอาทิตย์ที่ระดับความสูง 2 เมตร

2.3.4 ติดตั้งเซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิแวดล้อมที่ระดับความสูง 1.5 เมตร

2.3.5 ติดตั้งเซนเซอร์วัดความเร็วที่ระดับความสูง 10 เมตร



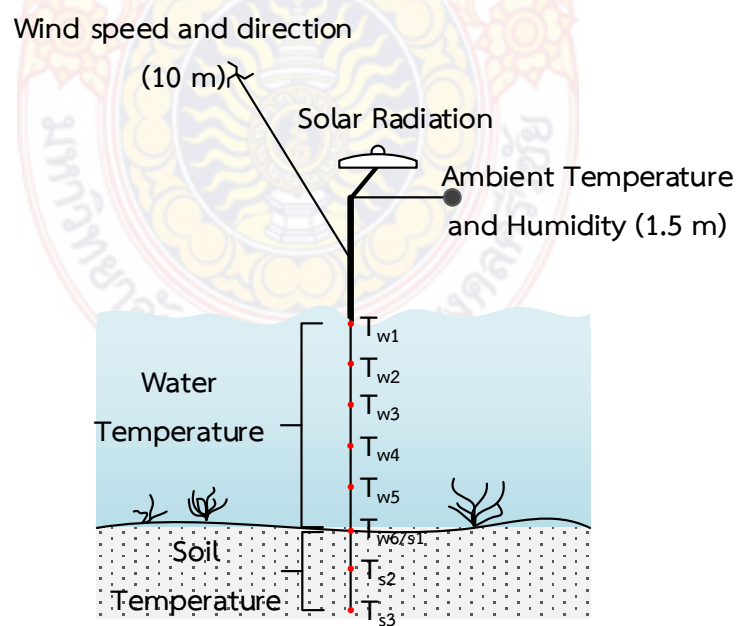
ภาพที่ 2.10 สถานที่วัดสภาพแวดล้อมต่างๆ

2.3.6 ติดตั้งตู้ควบคุมระบบพร้อมระบบไฟฟ้า อุปกรณ์บันทึกข้อมูล และอุปกรณ์แปลงสัญญาณก่อนต่อสายสัญญาณเข้าเครื่องบันทึกอัตโนมัติ



ภาพที่ 2.11 ตู้ควบคุมระบบภายในมีระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์

2.3.7 นำสายสัญญาณจากเซนเซอร์วัดต่างๆ มาต่อเชื่อมกับอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ทำการบันทึกค่าข้อมูล ทุกๆ 10 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 2.12 การติดตั้งอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิของบ่อดินและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง

2.4 การศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูล

2.4.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดินที่ระดับความลึกต่างๆ ในช่วงเวลาที่ได้ทำการทดลอง โดยนำข้อมูลจากการบันทึกทุกๆ 10 นาที มาหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในชั่วโมงนั้นๆ ที่ต้องการศึกษา

$$T = \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{N} \quad (2.1)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิของบ่อดินในชั่วโมงที่ศึกษา ($^{\circ}\text{C}$)

T_i คือ อุณหภูมิของบ่อดินทุกๆ 10 นาที ($^{\circ}\text{C}$)

N คือ จำนวนข้อมูลในชั่วโมงที่ศึกษา (ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6)

2.4.2 ศึกษาการกระจายอุณหภูมิของบ่อดินตามระดับความลึก และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแนวตั้ง

$$X = \sum_{i=1}^N \frac{X_i}{N} \quad (2.2)$$

เมื่อ X คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของบ่อดิน ณ ตำแหน่งระดับความลึกต้องศึกษา

X_i คือ อุณหภูมิของบ่อดินในชั่วโมงที่ศึกษา

N คือ จำนวนข้อมูลที่ศึกษา (ซึ่งมีค่าเท่ากับ 24)

2.4.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้แก่ อัตราเร็ว อุณหภูมิแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณรังสีอาทิตย์ โดยนำข้อมูลที่บันทึกได้ทุกๆ 10 นาที มาหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลในชั่วโมงนั้นๆ

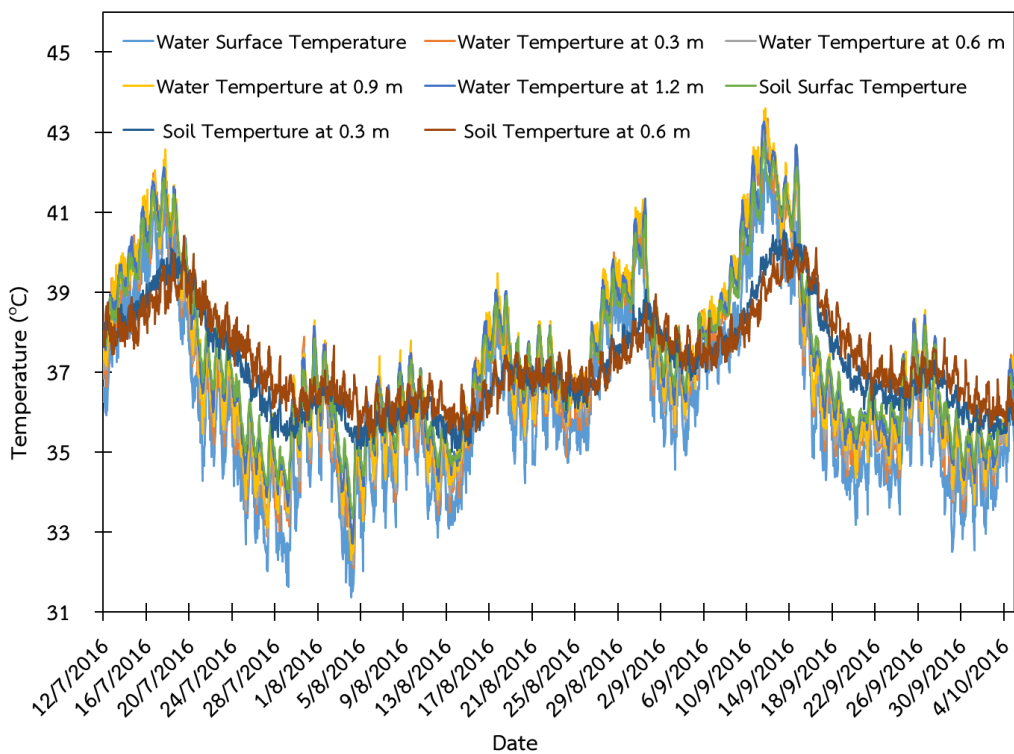
2.4.4 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลสภาพแวดล้อมแต่ปัจจัย ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงและการกระจายของอุณหภูมิบ่อดิน

บทที่ 3 ผลการวิจัย

ผลศึกษาการกระจายและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดินสำหรับกักเก็บน้ำเพื่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ตำแหน่งละติจูด 7.53 องศาเหนือ ลองจิจูด 99.31 องศาตะวันออก บ่อดินมีเนื้อที่ประมาณ 1.73 ไร่ ความกว้าง 41.35 เมตร ความยาว 66.95 เมตร และมีความลึก 2 เมตร น้ำในบ่อเป็นน้ำเค็มมีความลึกเฉลี่ยของน้ำประมาณ 1.5 เมตร ทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 12 ก.ค. - 4 ต.ค. 2559 โดยบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำและดินภายในบ่อ รวมทั้งค่าสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการกระจายและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน

3.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน

พบว่าอุณหภูมิในบ่อดินมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาแสดงดังภาพที่ 3.1 และมีอุณหภูมิสูงซึ่งมีค่าอุณหภูมิน้ำเฉลี่ย 36.95 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 31.37-43.60 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิต่ำสุด 31.37 องศาเซลเซียส ที่บริเวณผิวน้ำ และมีอุณหภูมิสูงสุด 43.60 องศาเซลเซียส ที่ระดับความลึก 0.9 เมตร ของน้ำในบ่อดิน อุณหภูมิดินด้านล่างใต้น้ำของบ่อดินมีค่าอุณหภูมิดินเฉลี่ย 37.26 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 33.35-42.77 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิต่ำสุด 33.35 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิสูงสุด 42.77 องศาเซลเซียส ที่บริเวณผิวดินใต้น้ำ



ภาพที่ 3.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดินช่วงเวลาวันที่ 12 ก.ค. - 4 ต.ค. 2559

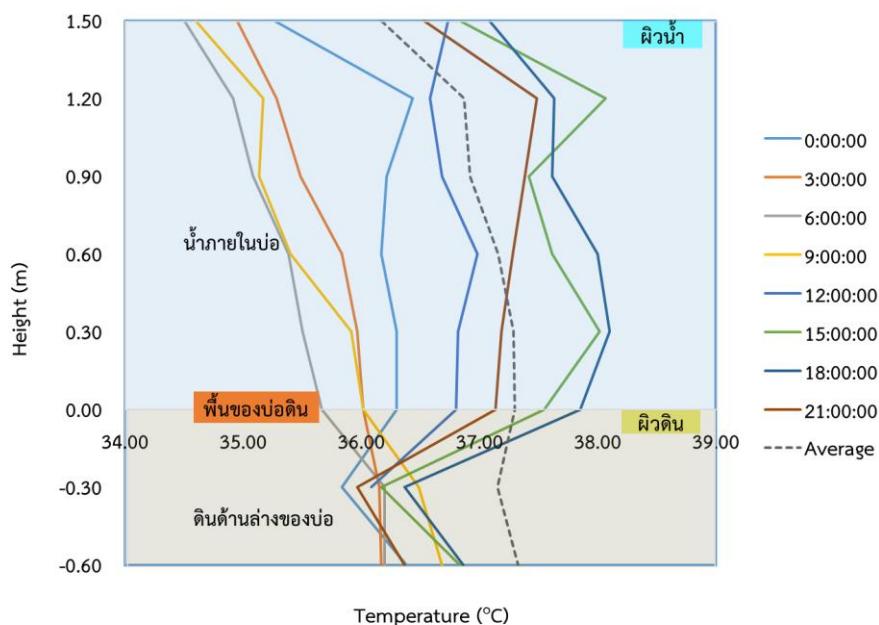
ตาราง 3.1 ค่าทางสถิติการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดินช่วงเวลาตั้งแต่วันที่ 12 ก.ค. - 4 ต.ค. 59

ค่าทางสถิติ	อุณหภูมิ ผิวน้ำ	อุณหภูมิ น้ำ (0.3 m)	อุณหภูมิ น้ำ (0.6 m)	อุณหภูมิ น้ำ (0.9 m)	อุณหภูมิ น้ำ (1.2 m)	อุณหภูมิ ผิวดิน ด้านล่าง	อุณหภูมิ ดิน ด้านล่าง (0.3 m)	อุณหภูมิ ดิน ด้านล่าง (0.6 m)
ค่าต่ำสุด	31.37	32.10	32.18	32.30	32.70	33.35	35.00	35.35
ค่าสูงสุด	42.50	43.33	43.48	43.60	43.26	42.77	40.53	40.40
ค่าเฉลี่ย	36.17	36.87	36.92	37.16	37.29	37.30	37.15	37.33
ค่า SD	2.14	2.17	2.18	2.17	2.03	1.89	1.28	1.07

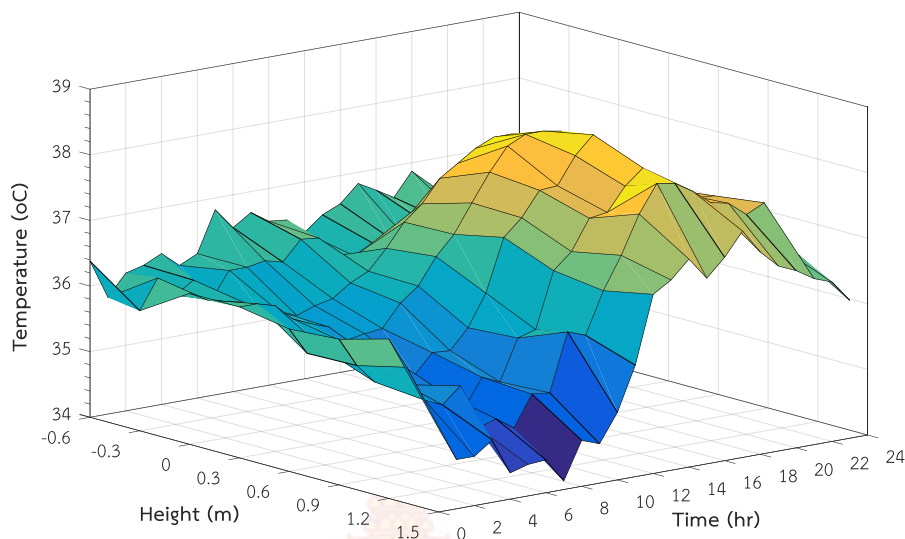
จากตารางที่ 3.1 พบว่าการวิเคราะห์การกระจายข้อมูลอุณหภูมิของบ่อดินพบว่าอุณหภูมิน้ำในบ่อดินที่ระดับความลึก 0 (ผิวน้ำ) 0.3 0.6 0.9 1.2 และ 1.5 เมตร มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.14 2.17 2.18 2.17 2.03 และ 1.89 ตามลำดับ อุณหภูมิผิวดินด้านล่างของที่ระดับความลึก 0 (ผิวดินด้านล่าง) 0.3 และ 0.6 เมตร มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.89 1.28 และ 1.07 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าอุณหภูมิของผิวดินด้านล่างของบ่อ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย

3.2 การกระจายอุณหภูมิของบ่อดินตามแนวตั้ง

เมื่อวิเคราะห์การกระจายของอุณหภูมิตามแนวตั้งของบ่อดินที่ระดับความลึกต่างๆ ของน้ำและดินภายในบ่อ พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในบ่อดินมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวดินด้านล่างบ่อ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกของน้ำ ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวดินด้านล่างบ่อมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยมากมีระดับความลึกของดินเพิ่มขึ้น แสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 การกระจายอุณหภูมิตามแนวตั้งของบ่อดินที่ระดับความลึกของน้ำและดินด้านล่าง

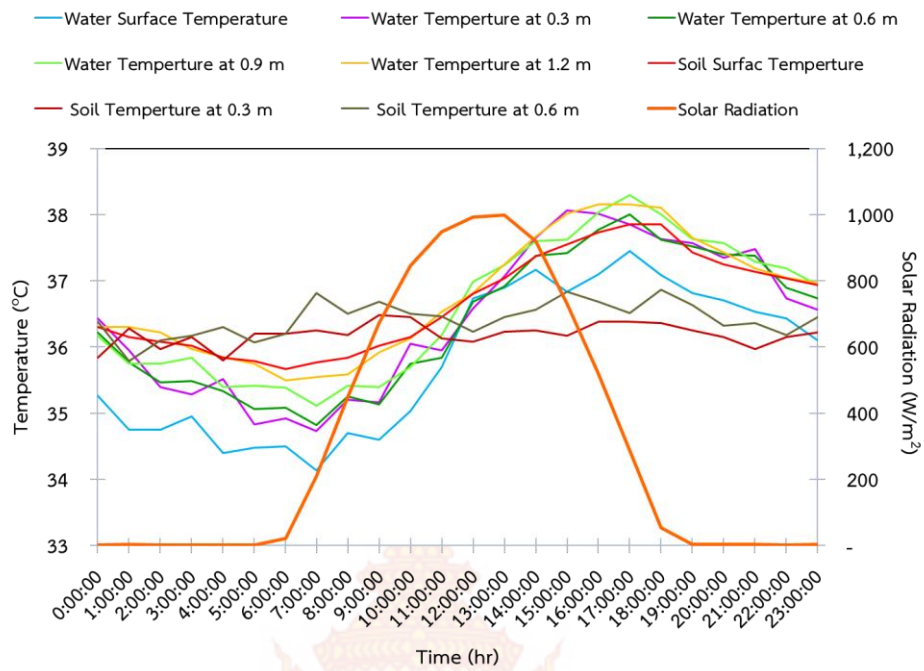


ภาพที่ 3.3 การกระจายและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน

ภาพที่ 3.3 แสดงการกระจายและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดินในวันที่ 31 ก.ค. 59 ซึ่งเป็นวันที่มีอากาศแจ่มใส ท้องฟ้าปลอดโปร่งมีเมฆปกคลุมน้อย อุณหภูมิของบ่อดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 34.13 -38.30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของบ่อดินมีค่าต่ำในช่วงเวลา 6.00-9.00 น. บริเวณผิวน้ำ และอุณหภูมิมีค่าสูงอยู่ในช่วงเวลา 15.00 – 18.00 น. ในช่วงระดับความลึกใกล้กับผิวดินด้านล่างบริเวณก้นบ่อ

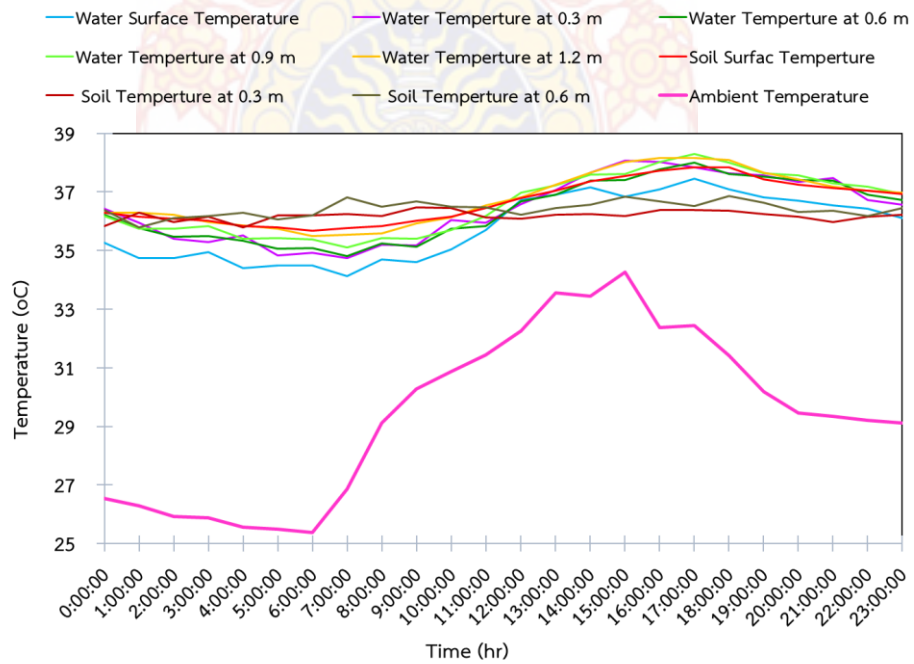
3.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณค่ารังสีอาทิตย์

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่ารังสีอาทิตย์ของวันที่ 31 ก.ค. 59 ซึ่งเป็นวันที่มีเมฆปกคลุมน้อย ปริมาณรังสีอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เวลา 6.00-18.00 น. โดยที่ปริมาณรังสีอาทิตย์มีค่าสูงอยู่ในช่วงเวลา 11.00-14.00 น. มีปริมาณค่าสูงสุด 999.12 วัตต์ต่อตารางเมตร ณ เวลา 13.00 น. เมื่อบ่อดินได้รับปริมาณรังสีอาทิตย์มาในตอนเช้าทำให้อุณหภูมิของน้ำและดินด้านล่างของบ่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและอุณหภูมิลดลงเมื่อปริมาณรังสีอาทิตย์มีค่าน้อย ตั้งแต่เวลา 17.00 น. จนไปถึงของตอนเช้าของวันถัดไป แสดงดังภาพที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณรังสีอาทิตย์ที่บ่อดินได้รับส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดินเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นค่าปริมาณรังสีอาทิตย์จึงเป็นปัจจัยของกระบวนการถ่ายเทพลังงานของบ่อดิน



ภาพที่ 3.4 อิทธิพลปริมาณค่ารังสีอาทิตย์ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน

3.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแวดล้อม

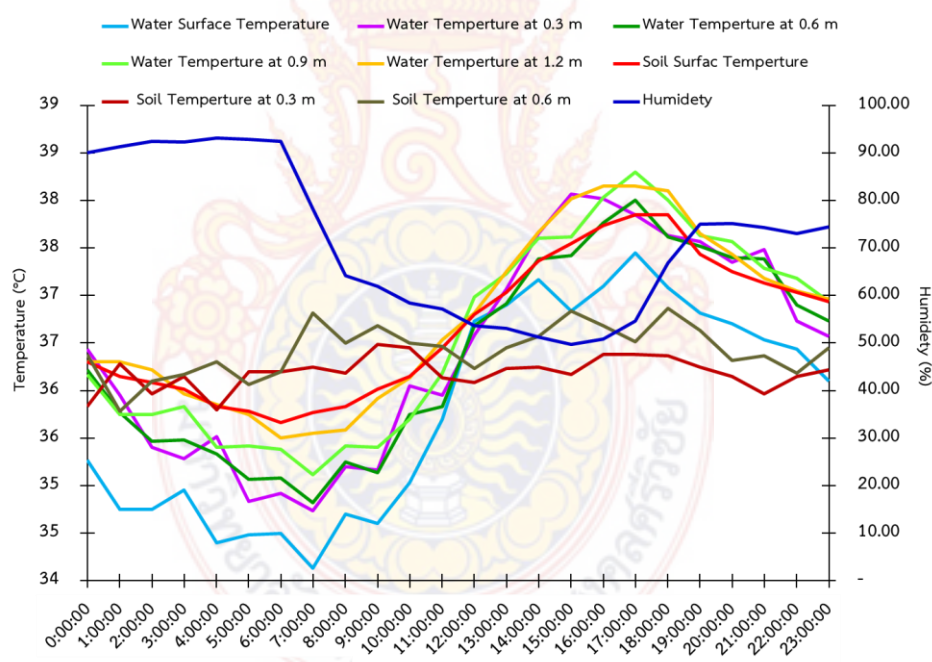


ภาพที่ 3.5 อิทธิพลอุณหภูมิแวดล้อมต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน

จากภาพที่ 3.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแวดล้อมตลอดทั้งวันเปรียบเทียบการการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน พบว่าอุณหภูมิแวดล้อมบริเวณบ่อดินมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของบ่อดิน อยู่ 6-7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแวดล้อมบริเวณบ่อดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 25.38-34.27 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแวดล้อมมีค่าต่ำในช่วงเวลา 4.00-6.00 น. และมีค่าสูงในช่วงเวลา 15.00-18.00 น. ซึ่งมีค่าของอุณหภูมิแวดล้อมที่ต่ำกว่าอุณหภูมิของบ่อดินตลอดทั้งวัน แสดงให้เห็นว่าบ่อดิน มีการสูญเสียค่าพลังงานความร้อนให้แก่บรรยากาศตลอดเวลา

3.5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์บริเวณบ่อดินพบว่าในตอนกลางวัน ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่าในตอนกลางคืน ในตอนเช้าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วและมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในตอนเย็น ในช่วงเวลากลางคืนความชื้นสัมพัทธ์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก การเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์มีลักษณะการแปรผกผันกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงจะทำให้อุณหภูมิของบ่อดินเพิ่มขึ้น

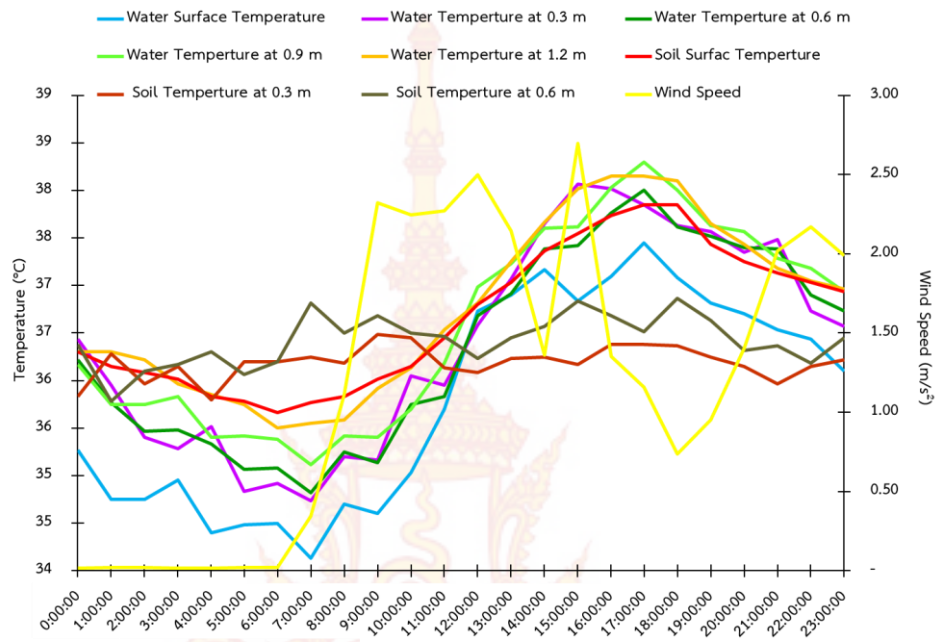


ภาพที่ 3.6 อิทธิพลความชื้นสัมพัทธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน

3.6 การเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วลม

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วลมบริเวณบ่อดินพบว่าอัตราเร็วลมมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ในช่วงเช้าเริ่มต้นตั้งแต่วเวลา 6.00 น. และจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลา 9.00 น. และจะมีค่าสูง ในช่วงเที่ยงและบ่าย หลังจากนั้นอัตราเร็วลมค่อยๆ ลดลงไปจนถึงกลางดึก และในช่วงหลังเที่ยงคืน อัตราเร็วมีการเปลี่ยนแปลงน้อยและมีค่าต่ำมาก การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเมื่อมี

พลังงานความร้อนเกิดขึ้นจากรังสีอาทิตย์ทำให้อัตราเร็วลมเพิ่มสูงขึ้น จากนั้นไม่นานอุณหภูมิของบ่อดินจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นเวลา 7.00 น. ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วลมมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน อัตราเร็วลมจึงแปรผันตรงกับอุณหภูมิบ่อดิน



ภาพที่ 3.7 อิทธิพลอัตราความเร็วลมต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน

บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลของการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการกระจายและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดินสำหรับกักเก็บน้ำเพื่อใช้ประโยชน์เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ที่ตำแหน่งละติจูด 7.53 องศาเหนือ ลองจิจูด 99.31 องศาตะวันออก บ่อดินมีเนื้อที่ประมาณ 1.73 ไร่ ความกว้าง 41.35 เมตร ความยาว 66.95 เมตร และมีความลึก 2 เมตร น้ำในบ่อเป็นน้ำเค็มมีความลึกเฉลี่ยของน้ำประมาณ 1.5 เมตร ทำการตรวจวัดค่าข้อมูลอุณหภูมิและดินด้านล่างของบ่อดินที่ระดับความลึก ทุกๆ 0.3 เมตร ตรงบริเวณกลางบ่อ ติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ผิวน้ำ ที่ระดับความลึก 0.3 0.6 0.9 1.2 และ 1.5 (ผิวดิน) เมตร ติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิดินด้านล่างของบ่อ ที่ระดับความลึก 0.3 และ 0.6 เมตร และติดตั้งเซนเซอร์วัดสภาพแวดล้อม รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราเร็วลม บันทึกข้อมูลทุกๆ 10 นาที ตั้งแต่วันที่ 12 ก.ค. - 4 ต.ค. 2559 วิเคราะห์ข้อมูลการกระจายและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน และอิทธิพลของปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการกระจายและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน

การศึกษากการกระจายและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดินพบว่าอุณหภูมิของบ่อดินมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดยเฉพาะอุณหภูมิของน้ำในบ่อดิน อุณหภูมิของบ่อดินมีค่าสูงในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 31.37 - 43.60 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิดินด้านล่างใต้น้ำของบ่อดินมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย อุณหภูมิของบ่อดินมีค่าต่ำอยู่ในช่วงเวลา 6.00-9.00 น. บริเวณผิวน้ำ และอุณหภูมิมียุคค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 15.00 - 18.00 น. ที่ระดับความลึกใกล้กับผิวดินด้านล่างบริเวณก้นบ่อ การกระจายของอุณหภูมิตามแนวตั้งของบ่อดินที่ระดับความลึกต่างๆ ของน้ำและดินภายในบ่อ พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในบ่อดินมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของดินด้านล่างบ่อ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกของน้ำ ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยของดินด้านล่างบ่อมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยมากมีระดับความลึกของดินเพิ่มขึ้น

การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการกระจายและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน ปริมาณรังสีอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา 6.00-18.00 น. โดยที่ปริมาณรังสีอาทิตย์มีค่าสูงอยู่ในช่วงเวลา 11.00-14.00 น. บ่อดินได้รับปริมาณรังสีอาทิตย์มาในตอนเช้าทำให้อุณหภูมิของน้ำและดินด้านล่างของบ่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และอุณหภูมิลดลงเมื่อปริมาณรังสีอาทิตย์มีค่าน้อย ตั้งแต่เวลา 17.00 น. จนไปถึงของตอนเช้าของวันถัดไป ค่าปริมาณรังสีอาทิตย์ที่บ่อดินได้รับส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดินเป็นอย่างดี ดังนั้นค่าปริมาณรังสีอาทิตย์จึงเป็นปัจจัยของกระบวนการถ่ายเทพลังงานของบ่อดิน อุณหภูมิแวดล้อมบริเวณบ่อดินมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของบ่อดินอยู่ 6-7 องศาเซลเซียส บ่อดินจึงมีการสูญเสียค่าพลังงานความร้อนให้แก่บรรยากาศตลอดเวลา ความชื้นสัมพัทธ์บริเวณบ่อดินมีลักษณะการแปรผกผันกับอุณหภูมิของบ่อดิน ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงทำให้อุณหภูมิของบ่อดินเพิ่มขึ้น อัตราเร็วลมบริเวณบ่อดินมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อได้รับพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ เช่นเดียวกับอุณหภูมิของบ่อดิน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วลมมีความสอดคล้องในทิศทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน อัตราเร็วลมจึงแปรผันตรงกับอุณหภูมิบ่อดิน

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 ควรมีการศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ บ่อดินเพิ่มเติม เช่น ค่าความเค็ม ค่าความขุ่น ค่าออกซิเจนละลาย ปริมาณน้ำฝน รวมทั้งความเป็น กรด-เบส ของน้ำภายในบ่อ

4.2.2 ควรมีการเก็บข้อมูลระยะยาว อย่างน้อย 1 ปี เพื่อให้ครอบคลุมทุกฤดูกาล ทำให้ สามารถนำไปจัดการวางแผนการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้อย่างเหมาะสม ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในงาน ด้านการประมง

4.2.3 ควรมีการพัฒนาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิและ ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อประเมินการลงทุนในอนาคตได้



บรรณานุกรม

- ชำนาญ เป็นจาก. 2544. การทำความเย็นด้วยระบบฝังท่อใต้สระน้ำในโรงเรือนเพาะปลูกแบบพลาสติกใส. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ (เทคโนโลยีพลังงาน), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- มะลิ หุ่นสม. 2551. **ปรากฏการณ์ถ่ายโอนโมเมนตัม ความร้อน และมวลชั้นพื้นฐาน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- มะลิวัลย์ คุตะโค และ สรวิศ เผ่าทองสุข. 2555. บทบาทของกระบวนการทางชีวภาพต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในบ่อดินสำหรับเลี้ยงสัตว์น้ำ. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 30(3): 103-112.**
- นฤทธิ์ กล่อมพงษ์ และจอมภพ แววศักดิ์. 2552. การจำลองแบบ 3 มิติเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนในดินภายใต้สภาพแวดล้อมทางภาคใต้ของประเทศไทย, ใน **การประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 8**. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงราย
- นฤทธิ์ กล่อมพงษ์, จอมภพ แววศักดิ์, มาริษา มะหิ และสุวิทย์ เพชรห้วยลึก. 2549 การกระจายและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินภายใต้สภาวะเงื่อนไขภูมิอากาศธรรมชาติของจังหวัดพัทลุง, ใน **การประชุมการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ
- พัชรราวลัย ศรียะศักดิ์, นิวุฒิ หวังชัย, ชนกันต์ จิตมณัส, จงกล พรมยะ และหุยส์ เลอเบล. 2557. ผลกระทบจากสภาพอากาศและฤดูกาลต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ. **วารสารวิจัย มข. 19(5): 743-751.**
- เสริม จันทร์ฉาย. 2556. **รังสีอาทิตย์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. เพชรเกษมพรีนติ้ง, นครปฐม.
- Ali, s. 2013. Estimation of surface water temperature in small recharge pond from air temperature. **Indian Journal of Soil Conservation 41(1): 1 -7.**
- Ali, M. H. and Cagauan, A. G. 2007. Relationships between secchi disk visibility Bangladesh. **Journal of Fisheries Research 11(1): 45-50.**
- Culberson, S.D. and Piedrahita, R.H. (1996). Aquaculture pond ecosystem model: temperature and dissolved oxygen prediction - mechanism and application **Ecological Modelling 89: 231-258**
- Glasser, F., Mikolajczyk, T., Jalabert, B., Baroiller, J.-F. and Breton, B. 2004. **General and Comparative Endocrinology 136: 171-179**
- Khater, EG., Ali, SA. and Mohamed, WE. 2017. Effect of Water Temperature on Masculinization and Growth of Nile Tilapia Fish. **Journal of Aquaculture Research & Development 8(9): 507.**

- Lamoureux, J., Tiersch, T. R. and Hall, S. G. 2006. Pond heat and temperature regulation (PHATR): Modeling temperature and energy balances in earthen outdoor aquaculture ponds. **Aquacultural Engineering** 34: 103–116.
- Sun L. and Chen H. 2009. Effects of ration and temperature on growth, fecal production, nitrogenous excretion and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). **Aquaculture**. 292:197–206



ภาคผนวก

ตารางที่ ผ.1 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของบ่อดิน ของวันที่ 31 ก.ค. 59

วันเวลา	ปริมาณรังสีอาทิตย์ (W/m ²)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อัตราเร็วลม (m/s)	อุณหภูมิ แวดล้อม (°C)
0:00:00	2.48	90.00	0.02	26.53
1:00:00	2.68	91.36	0.02	26.30
2:00:00	2.61	92.38	0.02	25.92
3:00:00	2.41	92.25	0.02	25.88
4:00:00	2.44	93.19	0.02	25.57
5:00:00	2.42	92.92	0.02	25.48
6:00:00	22.11	92.39	0.02	25.38
7:00:00	209.73	78.19	0.35	26.87
8:00:00	449.47	64.16	1.11	29.12
9:00:00	672.01	61.92	2.32	30.27
10:00:00	846.34	58.49	2.25	30.87
11:00:00	948.19	57.18	2.27	31.43
12:00:00	993.19	53.70	2.50	32.25
13:00:00	999.12	53.14	2.15	33.55
14:00:00	919.26	51.22	1.36	33.43
15:00:00	730.36	49.65	2.70	34.27
16:00:00	518.52	50.90	1.35	32.38
17:00:00	288.48	54.67	1.16	32.45
18:00:00	53.84	66.82	0.74	31.42
19:00:00	2.94	74.95	0.95	30.18
20:00:00	3.06	75.18	1.40	29.47
21:00:00	2.65	74.32	2.02	29.35
22:00:00	2.45	73.05	2.17	29.20
23:00:00	2.99	74.44	1.99	29.12
Average	319.99	71.52	1.20	29.45
Max	999.12	93.19	2.70	34.27
Min	2.41	49.65	0.02	25.38

ตารางที่ ผ.2 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบ่อดิน ของวันที่ 31 ก.ค. 59

เวลา	T _{ws}	T _{w1}	T _{w2}	T _{w3}	T _{w4}	T _{ss}	T _{s1}	T _{s2}	T _{av}
0:00:00	35.27	36.43	36.22	36.17	36.30	36.30	35.83	36.38	36.08
1:00:00	34.75	35.95	35.77	35.75	36.30	36.15	36.28	35.78	35.70
2:00:00	34.75	35.40	35.47	35.75	36.22	36.08	35.97	36.10	35.52
3:00:00	34.95	35.28	35.48	35.83	35.97	36.02	36.15	36.17	35.50
4:00:00	34.40	35.52	35.33	35.40	35.85	35.83	35.80	36.30	35.30
5:00:00	34.48	34.83	35.07	35.42	35.75	35.78	36.20	36.07	35.11
6:00:00	34.50	34.92	35.08	35.38	35.50	35.67	36.20	36.20	35.08
7:00:00	34.13	34.73	34.82	35.12	35.55	35.77	36.25	36.82	34.87
8:00:00	34.70	35.20	35.25	35.42	35.58	35.83	36.18	36.50	35.23
9:00:00	34.60	35.17	35.13	35.40	35.92	36.02	36.48	36.68	35.24
10:00:00	35.03	36.05	35.75	35.70	36.13	36.15	36.45	36.50	35.73
11:00:00	35.70	35.95	35.83	36.18	36.53	36.45	36.13	36.47	36.04
12:00:00	36.73	36.58	36.68	36.98	36.82	36.80	36.08	36.23	36.76
13:00:00	36.90	37.07	36.92	37.23	37.25	37.03	36.23	36.45	37.07
14:00:00	37.17	37.65	37.38	37.60	37.67	37.37	36.25	36.57	37.49
15:00:00	36.83	38.07	37.42	37.62	38.02	37.55	36.17	36.83	37.59
16:00:00	37.10	38.02	37.77	38.03	38.15	37.73	36.38	36.68	37.81
17:00:00	37.45	37.85	38.00	38.30	38.15	37.85	36.38	36.52	37.95
18:00:00	37.08	37.63	37.62	38.00	38.10	37.85	36.37	36.87	37.69
19:00:00	36.82	37.57	37.52	37.63	37.65	37.43	36.25	36.63	37.44
20:00:00	36.70	37.35	37.40	37.57	37.43	37.25	36.15	36.32	37.29
21:00:00	36.53	37.48	37.38	37.28	37.18	37.13	35.97	36.37	37.17
22:00:00	36.43	36.73	36.90	37.18	37.05	37.03	36.15	36.18	36.86
23:00:00	36.10	36.57	36.73	36.93	36.97	36.93	36.22	36.45	36.66

- เมื่อ T_{ws} คือ อุณหภูมิผิวน้ำ (°C)
 T_{w1} คือ อุณหภูมิน้ำที่ระดับความลึก 0.3 เมตร (°C)
 T_{w2} คือ อุณหภูมิน้ำที่ระดับความลึก 0.6 เมตร (°C)
 T_{w3} คือ อุณหภูมิน้ำที่ระดับความลึก 0.9 เมตร (°C)
 T_{w4} คือ อุณหภูมิน้ำที่ระดับความลึก 1.2 เมตร (°C)
 T_{ss} คือ อุณหภูมิน้ำที่ระดับความลึก 1.5 เมตร หรือ ผิวดินด้านล่างของบ่อ (°C)
 T_{s1} คือ อุณหภูมิดินด้านล่างที่ระดับความลึก 0.3 เมตร (°C)
 T_{s2} คือ อุณหภูมิดินด้านล่างที่ระดับความลึก 0.6 เมตร (°C)
 T_{av} คือ อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)