

ความแม่นยำของเครื่องหยั่งความลึกต้นทุนต่ำในการวัดอุณหภูมิผิวน้ำ กรณีศึกษาทะเลสาบสงขลา ตอนล่าง

Accuracy of Low-Cost Depth Sounding Device for Sea Surface Temperature: A Case Study of Songkhla Lake.

ภูวิศ กัมตัน^{1,*} ต่อลาก การปลื้มจิต² พรนราณ์ บุญราศรี³ ธงยุทธ แก้วจำรัส⁴ รจนา คุณพูล⁵ และ วรรัตน์ รัตนพันธ์⁶

^{1,2,3,5,6} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

⁴ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

*Corresponding author; E-mail address: mrphuwisa.k@rmutsv.ac.th

บทคัดย่อ

แผนที่อุณหภูมิผิวน้ำ เป็นตัวในการช่วยระบุพื้นที่ที่มีอุณหภูมิเหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละชนิด ซึ่งอุณหภูมิส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโต และสุขภาพของสัตว์น้ำ จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบและวางแผนการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในแต่ละบริเวณพื้นที่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อป้องกันการเกิดสถานการณ์ “ปลาน็อคน้ำ (Fish kill)” ซึ่งเกิดจากการขาดออกซิเจนของปลาในน้ำอย่างรุนแรง จนทำให้ปลาตายได้คราวละมาก ๆ ในระยะเวลาสั้น การสร้างแผนที่สามารถจัดทำได้จากข้อมูลจากดาวเทียม และการวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม นอกจากนี้การทำแผนที่อุณหภูมิผิวน้ำสามารถจัดทำร่วมกันกับแผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำได้แบบทันทีทันใด โดยการประยุกต์ใช้เครื่องหยั่งความลึกต้นทุนต่ำ (Low-cost Echo Sounder) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความแม่นยำของเครื่องหยั่งความลึกต้นทุนต่ำ และใช้เครื่องมือดังกล่าวในการจัดทำแผนที่การกระจายตัวของอุณหภูมิผิวน้ำในพื้นที่ศึกษา โดยเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเครื่องหยั่งความลึกกับค่ามาตรฐานที่ได้จากเทอร์มิสเตอร์อ้างอิง ผลการทดสอบพบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.194°C และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (RMSE95) เท่ากับ 0.776°C ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO) ที่กำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีความแม่นยำในระดับที่ยอมรับได้ แม้ว่าเครื่องมือดังกล่าวไม่ได้ออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับการจัดทำแผนที่อุณหภูมิผิวน้ำ นอกจากนี้ ผลการศึกษายังพบว่า อุณหภูมิผิวน้ำมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับความลึก และชั้นตะกอนของน้ำ

คำสำคัญ: แผนที่อุณหภูมิผิวน้ำ, แผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำ, ปลาน็อคน้ำ, เครื่องหยั่งความลึกต้นทุนต่ำ

Abstract

The Sea Surface Temperature (SST) map serves as a tool to identify areas with suitable water temperatures for cultivating different aquatic species. Temperature directly influences the growth, health, and reproduction of marine organisms. Therefore, it is essential to monitor and plan aquaculture

activities in specific areas to maximize efficiency and prevent the occurrence of "fish kill," which results from severe oxygen depletion in the water, causing large-scale fish mortality within a short period. The SST map can be created using satellite data combined with field data analysis. Furthermore, it can be integrated with bathymetric maps in real time through the application of low-cost echo sounders. The objective of this study is to assess the accuracy of low-cost echo sounders and use them to map the distribution of sea surface temperatures in the study area. This was achieved by comparing the measurements obtained from the echo sounder with reference thermometer values. The results indicated that the standard deviation (SD) was 0.194°C and the root mean square error at a 95% confidence level (RMSE95) was 0.776°C. These results conform to the World Meteorological Organization (WMO) standards, which specify that the allowable error should not exceed $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$. This demonstrates that the instrument used in this study provides acceptable accuracy, even though it was not specifically designed for creating SST maps. Additionally, the study found that the sea surface temperature has a significant correlation with water depth and sediment layers.

Keywords: sea surface temperature, Bathymetry map, Fish Kill, Low-cost echo sounders

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (ตอนล่าง) เริ่มได้รับผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศของโลกที่กำลังเปลี่ยนแปลง เช่น ปรากฏการณ์เอลนีโญ-ลานีญา ดังจะเห็นได้จากการเกิดอุทกภัย หรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำ ส่งผลกระทบแก่เกษตรกรในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะกับเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาในกระชัง มักประสบปัญหาโดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และความชื้นของน้ำอย่างรวดเร็วหลังฝนตก หรือน้ำจากทะเลสาบตอนบนไหลลงมา ส่งผลให้ถูกปลาหรือปลาที่ปล่อยใหม่

ตลอดจนปลาที่เลี้ยงกันแบบหนาแน่นตาย เนื่องจากปลาปรับตัวไม่ทัน คือ “ปลาน็อคน้ำ (Fish kill)” เกิดจากการขาดออกซิเจนของปลาในน้ำอย่างรุนแรง จนทำให้ปลาตายได้คราวละมาก ๆ ในระยะเวลาสั้น ซึ่งความสูญเสียอาจจะสูงถึง 100% ภายในเวลา 24 ชั่วโมง สาเหตุที่ทำให้เกิดปลาน็อคน้ำ เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำโดยฉับพลันเมื่อเกิดฝนตกลงมา อากาศร้อนจัด หรือกระแสน้ำไหลมาอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว เป็นหนึ่งในปัญหาที่เกิดขึ้นกับเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาเป็นอย่างมาก [1, 2]

การจัดทำแผนที่อุณหภูมิผิวน้ำ (Sea Surface Temperature) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษาการกระจายตัวและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำบริเวณต่าง ๆ อีกทั้งแผนที่อุณหภูมิผิวน้ำเป็นชุดเครื่องมือพื้นฐานที่สามารถแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะในด้านการควบคุมการเติบโตและสุขภาพของสัตว์น้ำทางเศรษฐกิจ ทั้งนี้การจัดทำแผนที่อุณหภูมิผิวน้ำสามารถจัดทำไปพร้อม ๆ กับการสำรวจเพื่อทำแผนที่ภูมิประเทศใต้ผิวน้ำได้ และสามารถจัดทำได้หลายวิธี เช่น การสำรวจหยั่งน้ำโดยตรง การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) การใช้ภาพถ่ายดาวเทียม [3] ในระดับภูมิภาคซึ่งบางครั้งสามารถใช้ภาพถ่ายดาวเทียมใช้ในการสำรวจได้ [4] และในพื้นที่ที่มีการจำกัดการเข้าถึงเนื่องจากความลึกตื้น หรือพื้นที่อนุรักษ์ทางทะเล [5] แม้ว่าจะมีการศึกษาเกี่ยวกับการสำรวจระยะไกลสามารถช่วยให้ครอบคลุมพื้นที่ที่มากกว่าการใช้วิธีการดั้งเดิม คือแบบโซนาร์ แต่วิธีการที่กล่าวตั้งแต่ข้างต้น มีปัญหาในการสำรวจจากระยะไกลเนื่องจากถูกจำกัดด้วยความขุ่นของน้ำ และมีความหนาแน่นของเมฆ ซึ่งผลลัพธ์ที่สามารถนำมาวิเคราะห์ต่อได้ส่วนใหญ่จะมีการสำรวจ ณ วันที่สภาพอากาศไม่มีเมฆและลักษณะของน้ำมีความขุ่นจึงจะสามารถหยั่งความลึกและวัดอุณหภูมิด้วยวิธีดังกล่าวได้ [6]

ทั้งนี้การทำแผนที่อุณหภูมิผิวน้ำสามารถจัดทำร่วมกันกับแผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำได้ ซึ่งข้อมูลความลึกและอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ โดยการประยุกต์ใช้เครื่องนำทางในการเดินเรือ หรือเครื่องหยั่งความลึกต้นทุนต่ำ (Low-cost Sounder) แบบความถี่เดียว (Single-Beam Echo Sounder : SBES) ยี่ห้อ Garmin รุ่น GPSMAP 585 PLUS ร่วมกับเทคนิคทางด้านการสำรวจทางอุทกศาสตร์เพื่อการบูรณาการให้ตอบโจทย์ในทุกมิติของการพัฒนาพื้นที่ [7] ดังนั้นการศึกษานี้มุ่งประยุกต์ใช้เครื่องหยั่งความลึกต้นทุนต่ำในการจัดทำแผนที่อุณหภูมิผิวน้ำและแผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำ [8] บริเวณทะเลสาบสงขลา ตอนล่าง เพื่อนำไปสู่การพัฒนาพื้นที่อย่างยั่งยืน และการพัฒนาทางด้านการสำรวจทางอุทกศาสตร์ [9] อีกทั้งช่วยเสริมสร้างความพร้อมในการเผชิญกับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในอนาคตอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อจัดทำแผนที่อุณหภูมิผิวน้ำ และแผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำบริเวณทะเลสาบสงขลา ตอนล่าง จังหวัดสงขลา

1.2.2 เพื่อประเมินความถูกต้องของเครื่องหยั่งความลึกต้นทุนต่ำ ในการตรวจวัดอุณหภูมิผิวน้ำ

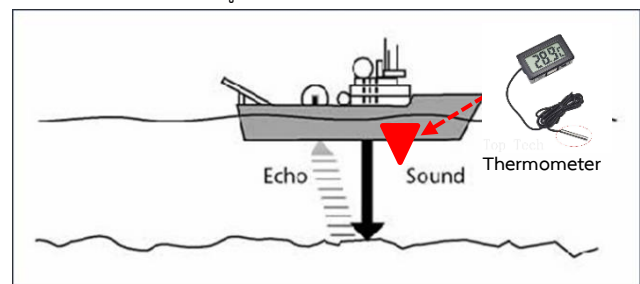
1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้เครื่องหยั่งความลึกต้นทุนต่ำ หรือ เครื่องหาปลาของชาวประมง (Low-Cost Echo Sounders) ในการจัดทำแผนที่อุณหภูมิผิวน้ำ (Sea Surface Temperature: SST) และ แผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำ (Bathymetry Map) โดยเลือกพื้นที่ศึกษาใน ทะเลสาบสงขลา ตอนล่าง

ขอบเขตการศึกษาครอบคลุม (1) การทดสอบอุปกรณ์ ตามมาตรฐานองค์การอุตุนิยมวิทยาสากล (2) การจัดทำแผนที่แสดงอุณหภูมิผิวน้ำและลักษณะภูมิประเทศใต้น้ำ

1.4 การทดสอบอุปกรณ์ในงานวิจัย

ในการศึกษานี้ ได้ทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวน้ำที่วัดได้จากเครื่องหยั่งความลึกต้นทุนต่ำกับค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดยทำการวัดอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทั้งนี้ การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างใช้สมการของ ทาโร ยามาเน่ (Yamane) [10] เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลที่ได้รับมีความแม่นยำ และสามารถใช้เป็นตัวแทนของประชากรได้อย่างเหมาะสม มาตรฐานขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO) กำหนดว่าความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ต้นทุนต่ำ เช่น เครื่องวัดอุณหภูมิจากเรือประมงหรือเซ็นเซอร์ทั่วไปไม่ควรเกิน $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ดังนั้น ผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่ได้จากเครื่องหยั่งความลึกต้นทุนต่ำกับค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ จะถูกวิเคราะห์โดยพิจารณาความแตกต่างของค่าที่วัดได้ตามมาตรฐานดังกล่าว การเปรียบเทียบนี้นำเสนอใน รูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

1.5 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.5.1 เครื่องหยั่งความลึกคลื่นความถี่เดียว ยี่ห้อ Garmin รุ่น GPSMAP 585 Plus ดังรูปที่ 2

1.5.2 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)

1.5.3 เรือที่ใช้ในการสำรวจ

1.5.4 คอมพิวเตอร์ และซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ เช่น ArcGIS, AutoCAD Civil3D



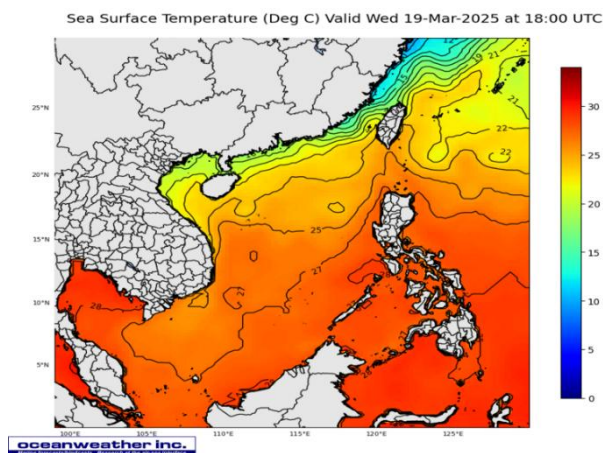
Low cost echo sounders

รูปที่ 2 Low-Cost Depth Sounders and GNSS Receiver

2. ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 Sea Surface Temperature Map - SST Map

แผนที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea Surface Temperature Map : SST Map) เป็นแผนที่ที่แสดงข้อมูลอุณหภูมิบริเวณผิวน้ำทะเลในช่วงเวลาหรือพื้นที่ต่าง ๆ โดยค่าที่นำเสนอส่วนใหญ่จะเป็น “อุณหภูมิเฉลี่ย” ในช่วงเวลาหนึ่ง (รายวัน รายสัปดาห์ รายเดือน) หรืออุณหภูมิในเวลาจริง (Real-time) จุดประสงค์หลักของการสร้างแผนที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเล คือ เพื่อทำความเข้าใจและติดตามสถานะของทะเล/มหาสมุทรในหลาย ๆ มิติ ไม่ว่าจะเป็นสมุทรศาสตร์ การพยากรณ์อากาศ การประมง และการวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางทะเล การจัดทำแผนที่อุณหภูมิผิวน้ำสามารถจัดทำได้หลายแบบ เช่น ข้อมูลดาวเทียม ข้อมูลจากการเก็บภาคสนาม ในทางวิศวกรรมสำรวจการจัดทำแผนที่อุณหภูมิผิวน้ำสามารถนำไปศึกษาความสัมพันธ์หลายแขนง เช่น อุณหภูมิผิวน้ำกับความลึก การประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นต้น



รูปที่ 3 อุณหภูมิทะเลรายวัน วันที่ 19 มีนาคม 2568 [11]

2.2 หลักการใช้คลื่นเสียงในการหาลึก (Echo sounder)

การหาลึกความลึกด้วย ระบบเสียงสะท้อน (Echo Sounder) เป็นวิธีการวัดค่าความลึกทางอ้อม โดยอาศัยหลักการวัดระยะเวลาการเดินทางของคลื่นเสียงที่ถูกส่งลงไปในน้ำและสะท้อนกลับมายังตัวรับสัญญาณ อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาลึกความลึกมีหลายประเภท เช่น Single Beam Echo Sounder (SBES), Multi-Beam Echo Sounder (MBES) และ Side Scan

Sonar โดยค่าความลึกสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 1 สำหรับงานวิจัยนี้ เลือกใช้ เครื่องหาลึกความลึกแบบลำคลื่นเดียว (Single-Beam Echo Sounder: SBES) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและเหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา [12]

$$\text{Depth} = \frac{1}{2} * v * t \quad (1)$$

เมื่อ

Depth	คือ ความลึก
v	คือ ความเร็วเสียงใต้น้ำ
t	คือ ระยะเวลาเดินทางของคลื่นเสียง

2.3 มาตรฐานขั้นต่ำสำหรับการสำรวจเพื่อทำแผนที่ความลึกใต้น้ำ

การสำรวจทางอุทกศาสตร์ หรือการทำแผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำ (Bathymetry Survey) ของประเทศไทยได้มีการอ้างอิงมาตรฐานการสำรวจทางอุทกศาสตร์สากล IHO S-44 (International Hydrographic Organization Standards for Hydrographic Surveys) โดยมีหน่วยงานกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ได้อ้างอิงมาตรฐานนี้มาใช้งาน และในการวิจัยนี้ได้อ้างอิงตามมาตรฐานดังกล่าว ในหัวข้อ CHAPTER 7 TABLE 2 - Other Minimum Standards for Safety of Navigation Surveys) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและตรวจสอบค่าความถูกต้อง ก่อนที่จะนำไปจัดสร้างแผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำ สมการที่ (2) [13]

$$\text{TVU}_{\max}(d) = \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad (2)$$

เมื่อ

- a คือ ส่วนของความไม่แน่นอนที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามความลึก
- b คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ที่แทนส่วนของความไม่แน่นอนที่เปลี่ยนแปลงตามความลึก
- d คือ ความลึกที่ได้จากการหาลึก

2.4 ปลาน็อคน้ำ (Fish Kill)

เป็นหนึ่งในปัญหาที่เกิดขึ้นกับเกษตรกรผู้เลี้ยงปลา ในฤดูร้อน และฤดูฝน ซึ่งปลาน็อคน้ำ (Fish kill) คือ การขาดออกซิเจนของปลาในน้ำ อย่างรุนแรง จนทำให้ปลาตายได้คราวละมาก ๆ ในระยะเวลาสั้น ซึ่งความสูญเสียอาจจะสูงถึง 100% ภายในเวลา 24 ชั่วโมง อาจเกิดขึ้นได้ทั้งในปลาที่เลี้ยงในบ่อดิน และกระชังในแหล่งน้ำธรรมชาติ ขณะที่ปลาที่เลี้ยงในกระชังมักเกิดขึ้นในช่วงที่มีน้ำหลาก การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน หรือสีน้ำขุ่นที่มีการเบียดของสารอินทรีย์ปริมาณสูงไหลเข้ามาในแหล่งเลี้ยงปลา สาเหตุที่ทำให้เกิดปลาน็อคน้ำมีดังนี้



รูปที่ 4 ปริมาณออกซิเจนรอบวันในบ่อเลี้ยงปลา [18]

2.3.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยฉับพลัน เมื่อเกิดฝนตกลงมาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ปลาที่เลี้ยงอย่างหนาแน่นปรับตัวไม่ทัน

2.3.2 การขาดอากาศ มักเกิดร่วมกับภาวะเกิดสารพิษเพราะการเน่าของสิ่งมีชีวิต การหมักของตะกอน ซึ่งเกิดจากการ ชุบน้ำของแหล่งน้ำทำให้การสังเคราะห์แสงของพืชน้ำน้อยลง หรือเกิดจากฝนตกหนักมีการชะล้างของเสียจากผิวดินลงสู่ แม่น้ำก็จะทำให้เกิดการใช้ออกซิเจนจำนวนมากของของเสียเหล่านั้น [1]

2.5 การประมาณค่าในช่วง (Interpolation) [14]

การวิเคราะห์พื้นผิว (Surface analysis) เป็นการวิเคราะห์การกระจายของค่าตัวแปรหนึ่งซึ่งเปรียบเสมือนเป็นมิติที่ 3 ของข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีค่าพิกัดตามแนวแกน X และ Y ส่วนตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์เป็นค่า Z ที่มีการกระจายตัวครอบคลุมทั้งพื้นที่ ในการศึกษานี้จะกำหนดให้เป็นค่าอุณหภูมิของผิวน้ำ มีทั้งหมด 7 วิธี ได้แก่ IDW, Kriging, Spline, Triangular Irregular Network (TIN), Topo raster, Trend และ Natural ซึ่งแต่ละวิธีการประมาณค่าในช่วงมีความเหมาะสมแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่และลักษณะของข้อมูล

ACTIVE LOG 065

Properties Graph Notes References

ACTIVE LOG 065

Statistics

Select multiple points to view statistics or click here for summary

In...	De...	L...	L...	L...	Leg ...	Time	Position	Temperature
56	1.3 m	2...	0...	5...	22.9°...	31/1/...	N7° 09.338' E100° 37.676'	25.3 °C
57	1.3 m	1...	0...	5...	21.2°...	31/1/...	N7° 09.339' E100° 37.676'	25.3 °C
58	1.3 m	1...	0...	5...	18.8°...	31/1/...	N7° 09.340' E100° 37.676'	25.3 °C
59	1.3 m	1...	0...	5...	17.5°...	31/1/...	N7° 09.341' E100° 37.677'	25.3 °C
60	1.3 m	1...	0...	5...	16.6°...	31/1/...	N7° 09.341' E100° 37.677'	25.3 °C
61	1.3 m	2...	0...	5...	15.4°...	31/1/...	N7° 09.342' E100° 37.677'	25.3 °C
62	1.2 m	2...	0...	5...	14.2°...	31/1/...	N7° 09.343' E100° 37.677'	25.2 °C
63	1.2 m	2...	0...	5...	12.4°...	31/1/...	N7° 09.344' E100° 37.677'	25.2 °C
64	1.2 m	2...	0...	5...	12.0°...	31/1/...	N7° 09.344' E100° 37.678'	25.2 °C
65	1.3 m	2...	0...	5...	10.2°...	31/1/...	N7° 09.345' E100° 37.678'	25.2 °C
66	1.2 m	2...	0...	6...	9.3° t...	31/1/...	N7° 09.346' E100° 37.678'	25.2 °C
67	1.2 m	2...	0...	6...	9.0° t...	31/1/...	N7° 09.347' E100° 37.678'	25.2 °C
68	1.2 m	2...	0...	6...	8.2° t...	31/1/...	N7° 09.348' E100° 37.678'	25.2 °C
69	1.2 m	2...	0...	6...	8.9° t...	31/1/...	N7° 09.349' E100° 37.678'	25.2 °C
70	1.2 m	2...	0...	6...	9.1° t...	31/1/...	N7° 09.349' E100° 37.678'	25.2 °C
71	1.2 m	2...	0...	6...	10.3°...	31/1/...	N7° 09.350' E100° 37.679'	25.2 °C
72	1.2 m	2...	0...	6...	10.4°...	31/1/...	N7° 09.351' E100° 37.679'	25.2 °C
73	1.2 m	2...	0...	6...	11.2°...	31/1/...	N7° 09.352' E100° 37.679'	25.2 °C
74	1.2 m	2...	0...	6...	12.4°...	31/1/...	N7° 09.353' E100° 37.679'	25.2 °C
75	1.2 m	2...	0...	6...	13.4°...	31/1/...	N7° 09.353' E100° 37.679'	25.2 °C
76	1.2 m	2...	0...	6...	14.6°...	31/1/...	N7° 09.354' E100° 37.679'	25.2 °C
77	1.2 m	2...	0...	6...	14.6°...	31/1/...	N7° 09.355' E100° 37.680'	25.2 °C
78	1.2 m	2...	0...	6...	15.9°...	31/1/...	N7° 09.356' E100° 37.680'	25.2 °C

รูปที่ 5 ตัวอย่างข้อมูลตำแหน่งทางราบ ความลึก และค่าอุณหภูมิ

2.6 การหาขนาดกลุ่มตัวอย่างในการทดสอบอุปการณ [10]

ใช้หลักทางสถิติมาประยุกต์ในการหาจำนวนจุดทดสอบตัวอย่างทางสถิติของทอไร ยามาเน่ ดังสมการที่ 3 และหาค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นการสรุปผล

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (3)$$

เมื่อ

n เป็นขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N เป็นขนาดของประชากร

e เป็นความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่า (0.05 หรือ 0.01)

2.7 มาตรฐานองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก

องค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO) ได้กำหนดมาตรฐานและแนวทางสำหรับการวัดอุณหภูมิผิวน้ำ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำและสอดคล้องกันทั่วโลก ซึ่งหลักการวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเลการวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเลใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensors) ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระดับที่เหมาะสม และค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเลขึ้นอยู่กับประเภทของอุปกรณ์และความต้องการของการใช้งาน เครื่องหึงความลึกต้นทุนต่ำความแม่นยำของเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งมักอยู่ในช่วง $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ถึง $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และการรังวัดแบบ Remote Sensing (ดาวเทียม) ความแม่นยำอยู่ในช่วง $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ถึง $\pm 1^{\circ}\text{C}$ เช่น ดาวเทียม MODIS หรือ Sentinel-3 [15] การวัดอุณหภูมิผิวน้ำและการสอบเทียบเครื่องมือมักจะกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนเพื่อความ

แม่นยำในการวัด โดยค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้จะแตกต่างกันตามประเภทของอุปกรณ์และมาตรฐานที่ใช้ อ้างอิงจาก WMO ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 Standards for low-cost equipment in measuring sea surface temperature (SST)

Parameter	Low-Cost Device Standard	Reference/Notes
Accuracy	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ to $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	Less precise than high-end equipment but suitable for preliminary assessments.
Durability	Moderate	Designed to withstand basic marine conditions (e.g., saltwater, sunlight).
Calibration Frequency	More frequent than high-end devices	Requires regular calibration to maintain reliability.
Communication	Simple data logging or Bluetooth/GSM	Limited to cost-effective and practical methods for data collection.
Deployment Depth	0–10 meters	Typically used in shallow water or surface measurements.

3. ขั้นตอนวิธีการศึกษา

วิธีการศึกษาในส่วนนี้ จะแบ่งเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ 1. การทดสอบอุปกรณ์ ตามมาตรฐานองค์กรอุทกนิยามวิทยาสากล 2. การจัดทำแผนที่อุณหภูมิผิวน้ำ และแผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำ โดยใช้พื้นที่บริเวณทะเลสาบสงขลา ตอนล่าง

3.1 การทดสอบอุปกรณ์

ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการทดสอบอุปกรณ์ หรือเครื่องหยั่งความลึกต้นทุนต่ำ (Low-Cost Echo Sounder) ทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิผิวน้ำ (Water Thermometer) ทำการติดตั้ง ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดยให้ตัวทรานสดิวเซอร์หยั่งความลึก และตัวเทอร์โมมิเตอร์ลึกลงไปจากผิวน้ำ 0.500 เมตร หรือ 50 เซนติเมตร (ระดับน้ำขึ้น-ลง) ตรวจวัดจำนวน 24 ชั่วโมง โดยบันทึกข้อมูล ทุก 5 นาที เพื่อหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) รูปที่ 5 และคำนวณหากลุ่มตัวอย่างในการคำนวณจากสมการยามานะ

ตารางที่ 2 การบันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาที จำนวน 24 ชั่วโมง

Time	Water Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Echo sounder ($^{\circ}\text{C}$)	Difference ($^{\circ}\text{C}$)
00.00	26.00	26.00	0
00.05	26.00	26.30	0.3
00.10	26.00	26.20	0.2
00.15	26.00	26.60	0.6
00.20	26.01	26.5	0.49
00.25	26.02	26.5	0.48
00.30	26.02	26.7	0.68
00.35	26.02	26.5	0.48
To..	...	...	...
24.00	26.10	27.00	0.9

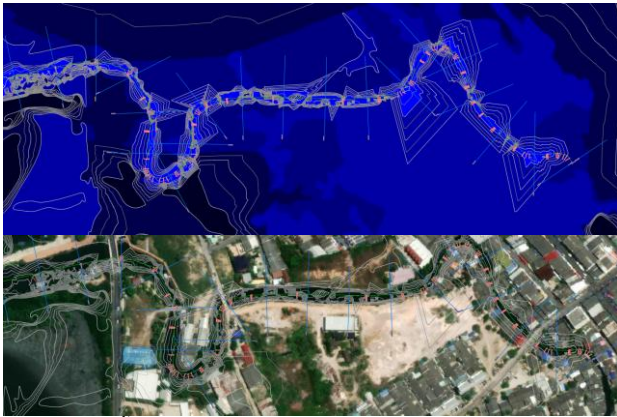


รูปที่ 6 การติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิผิวน้ำ กับตัวทรานสดิวเซอร์ และก่อนที่จะทำการลงสำรวจ ต้องมีการวัดสอบอุปกรณ์กับไม้เมตร หรือไม้ระดับ (Staff) ก่อนทุกครั้ง เพื่อเป็นการตรวจสอบระดับความลึกเบื้องต้น

3.2 การสำรวจเพื่อสร้างแผนที่

เครื่องหยั่งความลึกต้นทุนต่ำเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ช่วยเก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำอย่างเป็นระบบและครอบคลุมพื้นที่สำรวจ โดยสามารถบันทึกตำแหน่งทางราบ ความลึก เวลา และอุณหภูมิของผิวน้ำ ข้อมูลที่ได้รับสามารถนำมาประมวลผลเพื่อจัดทำ แผนที่อุณหภูมิผิวน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการวิเคราะห์ลักษณะทางสมุทรศาสตร์ของพื้นที่ นอกจากนี้ ข้อมูลความลึกยังสามารถใช้ในการจัดทำ แผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำ เพื่อช่วยให้เข้าใจลักษณะทางกายภาพของแหล่งน้ำที่สำรวจได้อย่างครบถ้วน

อย่างไรก็ตาม เครื่องหยั่งความลึกต้นทุนต่ำนี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการนำทางในการเดินเรือ ไม่ใช่เครื่องมือสำหรับการรังวัดโดยตรง ทั้งนี้มีการศึกษาทดสอบความถูกต้องของเครื่องมือในการหยั่งความลึก ซึ่งผลการทดสอบพบว่าอยู่ในระดับที่น่าพอใจและเป็นไปตามมาตรฐานของ องค์การอุทกศาสตร์สากล (IHO) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% [8]



รูปที่ 7 เส้นชั้นความสูงและแบบจำลองสามมิติ ของปากคลองสำโรง [8]

4. ผลลัพธ์และการวิเคราะห์ผล

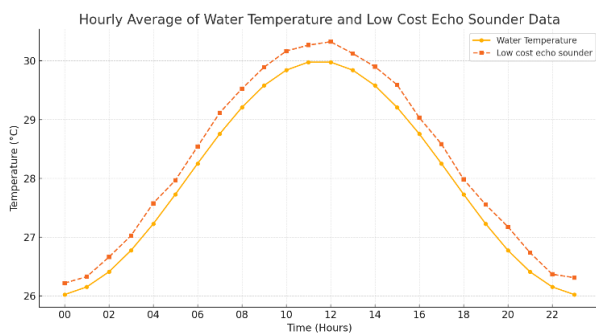
4.1 ผลการทดสอบอุปกรณ์

จากการทดสอบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยบันทึกค่าทุก ๆ 5 นาที ณ ตำแหน่งเดียวกัน เมื่อคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างตามสมการที่ 3 ของทาร์ ยามาเน่

$$n = \frac{288}{1 + (288 * 0.005^2)}$$

$$n = 285$$

นอกจากนี้ จากการคำนวณค่าทางสถิติพบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.194°C และ ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE95) เท่ากับ 0.776°C ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดโดย องค์การอุตุนิยมวิทยาสากล (WMO) อย่างไรก็ดี ควรพิจารณาว่า เครื่องวัดอุณหภูมิไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อการวัดอุณหภูมิโดยเฉพาะ ดังนั้น ควรพิจารณาคุณสมบัติและข้อจำกัดของอุปกรณ์ก่อนนำไปใช้งานเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและมาตรฐานการทำแผนที่อุณหภูมิผิวน้ำ



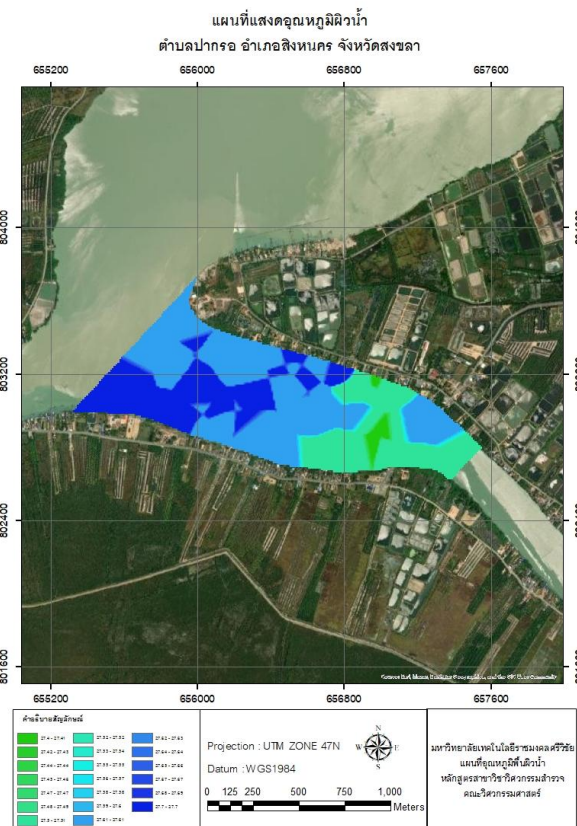
รูปที่ 8 กราฟเส้น (Line Chart) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง

4.2 การจัดทำแผนที่อุณหภูมิผิวน้ำ และแผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำ

การจัดทำแผนที่ทั้งสองสามารถใช้ข้อมูลจากการสำรวจรังวัดเพียงครั้งเดียว โดยการบันทึกตำแหน่งทางราบ ความลึก เวลา และอุณหภูมิของผิวน้ำ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลและจัดทำแผนที่ขึ้น ซึ่งจากข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจ อุณหภูมิผิวน้ำมักจะแตกต่างกันมากนัก แต่จะมีข้อแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในจุดที่มีความลึกตื้นที่ต่างกัน โดยอุณหภูมิผิวน้ำในทะเลสาบจะลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในฤดูร้อนที่อุณหภูมิผิวน้ำเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน การเปลี่ยนแปลงนี้สัมพันธ์กับขนาดของทะเลสาบ, การไหลเวียนของน้ำ, และชนิดของตะกอนใต้น้ำที่มีผลต่อการกระจายความร้อนและการแยกชั้นน้ำอย่างสำคัญ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการสร้างแผนที่และการวิเคราะห์คุณสมบัติทางน้ำในทะเลสาบ



(ก) ตัวอย่างแผนที่ภูมิประเทศใต้น้ำ ทะเลสาบสงขลาตอนล่าง



(ข) ตัวอย่างแผนที่อุณหภูมิผิวน้ำ ทะเลสาบสงขลาตอนล่าง

รูปที่ 9 ตัวอย่างการจัดทำแผนที่

5. บทสรุป

5.1 สรุปผลการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความแม่นยำของเครื่องหยั่งความลึกดินทุนต่ำ และจัดทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิผิวน้ำในพื้นที่ศึกษา โดยดำเนินการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์กับค่ามาตรฐานที่ได้จากเทอร์โมมิเตอร์อ้างอิง ผลการทดสอบพบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.194°C และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (RMSE95) เท่ากับ 0.776°C ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดโดยองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization: WMO) ที่กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์มีความแม่นยำในระดับที่ยอมรับได้ แม้อุปกรณ์ดังกล่าวจะไม่ได้ออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับการจัดทำแผนที่อุณหภูมิผิวน้ำก็ตาม

จากการศึกษาสรุปได้ว่า ค่าอุณหภูมิผิวน้ำมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับความลึกของน้ำในพื้นที่ศึกษา โดยพบว่าในบริเวณที่มีระดับน้ำตื้น (ขอบตลิ่ง หรือปากน้ำ) ค่าอุณหภูมิผิวน้ำมีแนวโน้มสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่มีน้ำลึก ซึ่งเป็นผลมาจากการที่น้ำตื้นได้รับพลังงานจากแสงแดดโดยตรงและสามารถถ่ายเทความร้อนได้น้อยกว่าในชั้นลึก ในขณะที่บริเวณที่มีน้ำลึกกว่า จะมีการผสมกันของน้ำ และการถ่ายเทความร้อนในแนวตั้งมากขึ้น ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิผิวน้ำลดลง

นอกจากนี้ ความสัมพันธ์ดังกล่าวยังสอดคล้องกับลักษณะของชั้นตะกอนในบริเวณนั้น โดยพื้นที่ที่มีน้ำตื้นมักจะมีตะกอนขนาดเล็ก เช่น โคลนหรือทรายละเอียด ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับและกักเก็บความร้อนได้ดีกว่า ในขณะที่พื้นที่น้ำลึกซึ่งมักเป็นบริเวณที่มีการเคลื่อนที่ของน้ำสูง ตะกอนที่สะสมจะมีลักษณะหยาบกว่าและมีผลต่อการสะท้อนพลังงานจากแสงอาทิตย์มากกว่า ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำอย่างมีนัยสำคัญ [16, 17]

5.2 อภิปรายผล

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า แม้ว่าเครื่องหยั่งความลึกดินทุนต่ำจะไม่ได้ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการวัดอุณหภูมิผิวน้ำ แต่ค่าความคลาดเคลื่อนที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ WMO แสดงถึงศักยภาพในการใช้งานภาคสนามได้อย่างเหมาะสม อุปกรณ์ดังกล่าวจึงเป็นทางเลือกที่คุ้มค่าสำหรับงานวิจัยหรืองานสำรวจเบื้องต้นในพื้นที่ห่างไกลหรือมีข้อจำกัดด้านงบประมาณ

และการที่อุณหภูมิผิวน้ำมีแนวโน้มลดลงตามความลึก บ่งชี้ถึงบทบาทของกระบวนการทางฟิสิกส์และสมุทรศาสตร์ เช่น การถ่ายเทความร้อน การผสมของน้ำ และการสะท้อนพลังงานจากพื้นตะกอน ความสอดคล้องระหว่างลักษณะตะกอนและค่าอุณหภูมิยังช่วยยืนยันว่า ปัจจัยของลักษณะตะกอนได้ผิวน้ำมีอิทธิพลต่อคุณภาพของข้อมูลอุณหภูมิที่วัดได้อย่างมีนัยสำคัญ

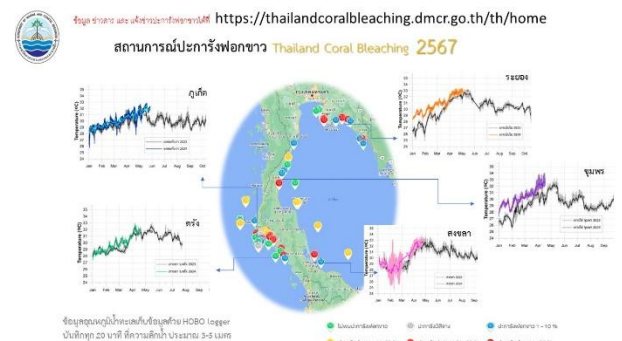
นอกจากนี้ การใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่ทรงประสิทธิภาพ ซึ่ง

ช่วยเพิ่มคุณค่าของข้อมูลจากอุปกรณ์ดินทุนต่ำให้สามารถใช้งานวางแผนและติดตามสิ่งแวดล้อมได้ในระดับที่น่าเชื่อถือ

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ภาคสนามเพียงอย่างเดียวอาจมีข้อจำกัดด้านความครอบคลุมในเชิงพื้นที่และเวลา ดังนั้นการบูรณาการข้อมูลจากแหล่งอื่น เช่น ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำจากดาวเทียม หรือข้อมูลจากทุ่นตรวจวัดอัตโนมัติ จะช่วยเพิ่มมุมมองในการวิเคราะห์ และสามารถใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบ (cross-validation) เพื่อประเมินความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ดินทุนต่ำ

2. จากข้อเท็จจริงที่ว่าเครื่องหยั่งความลึกดินทุนต่ำสามารถให้ข้อมูลที่แม่นยำเพียงพอ การนำอุปกรณ์ลักษณะนี้ไปใช้ในพื้นที่ชุมชนหรือแหล่งทรัพยากรทางน้ำในท้องถิ่นจะช่วยให้เกิดการติดตามคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่องในระดับพื้นที่ เช่น ในอ่าวเล็ก แหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง หรือคลองชุมชน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากหน่วยงานท้องถิ่นหรือชาวประมงสามารถเข้าถึงและใช้งานอุปกรณ์ได้ด้วยตนเอง จะเป็นการส่งเสริมการมีส่วนร่วมในการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน และสามารถตอบสนองต่อเหตุการณ์ผิดปกติ เช่น น้ำเสียหรือน้ำอุ่นผิดปกติ ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ตัวอย่างเช่น ปะการังฟอกขาว [19]



รูปที่ 10 อุณหภูมิผิวน้ำทะเลโดยเฉลี่ยฝั่งอ่าวไทยในปี 2567 สูงกว่าปี 2566 ประมาณ $1-2^{\circ}\text{C}$

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ หลักสูตรวิชาวิศวกรรมสำรวจ สาขาวิศวกรรมโยธา และผู้บริหาร ท่านรองศาสตราจารย์สุรสิทธิ์ ระวีวงศ์ คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่กรุณานำเสนอให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ และขอบคุณนักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ที่ช่วยลงมือ ลงแรงในการเก็บข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้เอกสารอ้างอิง

- [1] สุชาติ จารุขันธ์ดำรง. ปลาน้ำจืด ภัยร้ายจากฤดูฝน. ศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิภพทองอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. เข้าถึงได้จาก: <http://www.pikunthong.com.a28.readyplanet.net/>. 24 พฤศจิกายน 2567.
- [2] ผู้จัดการออนไลน์. ร้อนจัดกระทบผู้เลี้ยงปลากะพงในทะเลสาบสงขลา หวั่นตายยกกระชัง. เข้าถึงได้จาก:

- <https://mgonline.com/south/detail/9670000038719>. 5
พ.ศ. พศจิกายน 2567.
- [3] Entwistle, N., G. Heritage, and D. Milan. 2018. Recent remote sensing applications for hydro and morphodynamic monitoring and modelling. *Earth Surface Processes and Landforms* 43: 2283–2291.
- [4] Entwistle, N., G. Heritage, and D. Milan. 2018. Recent remote sensing applications for hydro and morphodynamic monitoring and modelling. *Earth Surface Processes and Landforms* 43: 2283–2291.
- [5] Kulawiak, M., and A. Chybicki. 2018. Application of web-GIS and Geovisual analytics to monitoring of seabed evolution in South Baltic Sea coastal areas. *Marine Geodesy* 41 (4): 405–426. <https://doi.org/10.1080/01490419.2018.1469557>.
- [6] Kachelreiss, D., M. Wegmann, M. Gollock, and N. Pettorelli. 2014. The application of remote sensing for marine protected area management. *Ecological Indicators* 36: 169–177.
- [7] Kearns, T.A., and J. Breman. (2010). Bathymetry—The art and science of seafloor Modelling for modern applications. *ESRIpress*: 1–36.
- [8] ภูวิศะ กัมตัน, ถิรวัฒน์ บรรณกุลพิพัฒน์, พรนราณ์ บุญราศรี, และ รจนา คุณพูล. การศึกษาความลึกร่องน้ำด้วยเครื่องซาวเดอร์ สำหรับใช้ค้นหาตำแหน่งของปลาที่ติดตั้งร่วมกับเครื่องรับสัญญาณ ดาวเทียมต้นทุนต่ำ พื้นที่ศึกษาทะเลสาบสงขลา จังหวัดสงขลา , การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28: ปีที่ 28 (2023): เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28 พ.ศ. 2566.
- [9] Zheng, Z., Jiang, S., & Zeng, W. (2022). Comparing measurement correction of echo sounder in shallow-water area. *Acta Geophysica*, 70(4), 1677-1686.
- [10] จำนวนกลุ่มตัวอย่าง Taro Yamane. (2017). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://greedisgoods.com/taro-yamane> (วันที่สืบค้นข้อมูล : 13 มกราคม 2568).
- [11] แผนที่อุณหภูมิน้ำทะเล. (2025). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.thaiwater.net/weather/sea>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 20 มีนาคม 2568).
- [12] ภูวิศะ กัมตัน, ถิรวัฒน์ บรรณกุลพิพัฒน์, พรนราณ์ บุญราศรี, และ รจนา คุณพูล. (2566).การศึกษาความลึกร่องน้ำด้วยเครื่องซาวเดอร์สำหรับใช้ค้นหาตำแหน่งของปลาที่ติดตั้งร่วมกับเครื่องรับสัญญาณ ดาวเทียมต้นทุนต่ำ พื้นที่ศึกษาทะเลสาบสงขลา จังหวัดสงขลา, ความท้าทายด้านวิศวกรรมโยธาหลังการระบาดใหญ่. การประชุมวิชาการ วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28. ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.
- [13] IHO. (2008). Standards for hydrographic surveys. 5th ed. Monaco, Monaco: International Hydrographic Bureau.
- [14] การประมาณค่าช่วง (Interpolation). (2556). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:<https://databasegis.blogspot.com/2014/02/interpolation.html> (วันที่สืบค้นข้อมูล : 14 มกราคม 2568).
- [15] มาตรฐานองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก. (2019). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://wmo.int/about-wmo/history-of-imo-and-wmo>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 14 มกราคม 2568).
- [16] Widdows, J., & Brinsley, M. (2002). Impact of biotic and abiotic processes on sediment dynamics and the consequences to the structure and functioning of the intertidal zone. *Journal of sea Research*, 48(2), 143-156.
- [17] Papadopoulos, N., Kontoes, C., & Chrysoulakis, N. (2021). High-resolution sea surface temperature mapping using satellite data and spatial interpolation methods: A case study in the Aegean Sea. *Remote Sensing*, 13(24), 5103. <https://doi.org/10.3390/rs13245103>.
- [18] Partners of AQUADAPT-Thailand. (2025). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://aquadapt.org/partners-thailand/> (วันที่สืบค้นข้อมูล : 22 มีนาคม 2568).
- [19] โครงการพัฒนาระบบประเมินการเกิดปะการังฟอกขาว กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2024). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://thailandcoralbleaching.dmcg.go.th> วันที่สืบค้นข้อมูล 22 มีนาคม 2568).