

การสำรวจความลึกด้วยเรือสำรวจอัตโนมัติและการพัฒนาสมการ การติดตามปริมาตรน้ำต่อเนื่องด้วยดาวเทียม

Water Depth Mapping with Unmanned Surface Vehicle and Developing Equation for Continuously Tracking Water Volume using Satellite

ผู้โยธิน ทองย้อย ^{1,*} และ สรวิศ สุกเวทย์ ²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: yotin.th@ku.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ศึกษาและพัฒนาคำนวณความลึกของน้ำ โดยนำเทคนิคการทำให้แบบจำลองความลึกของน้ำ (Satellite Derived Bathymetry (SDB)) คำนวณความลึกของน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม มาร่วมกับ วิธีอัตราส่วนช่วงคลื่นแบบลอการิทึม (Log-Band Ratio Method) ใช้การเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงของน้ำในช่วงคลื่นที่ต่างกัน เพื่อนำมาสร้างแผนที่แสดงระดับความลึกของน้ำอย่างแม่นยำ เทียบกับฐานความลึกของน้ำจากการสำรวจด้วยเรืออัตโนมัติแบบ Single Beam โดยใช้เทคนิค Echo Sounder จากการศึกษาข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่วงคลื่นแบบลอการิทึม และข้อมูลความลึกของน้ำมาเปรียบเทียบแบบจำลองเชิงเส้น (Polynomial Degree 1) ผู้วิจัยพบว่าชุดข้อมูลอัตราส่วนคลื่นแบบลอการิทึม Band 2 (Blue) กับ Band 8 (Near Infrared (NIR)) ให้เส้นแนวโน้มที่ดีที่สุดมีความชันที่ต่ำและอยู่ในทิศทางเชิงบวก เมื่อนำมาคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่มีความยืดหยุ่นสูง Random Forest พบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.83 แสดงให้เห็นว่าการหาความลึกของน้ำจากข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 ด้วยวิธีการ SDB กับข้อมูลสำรวจมีความสอดคล้องกันสูง ดังนั้นจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนและบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ โดยไม่ต้องใช้การสำรวจภาคสนามโดยตรง

คำสำคัญ: เซ็นติเนล-2, การหาความลึกน้ำด้วยภาพถ่ายดาวเทียม, เรือสำรวจอัตโนมัติ, แบบจำลองที่มีความยืดหยุ่นสูง, วิธีอัตราส่วนคลื่นแบบลอการิทึม

Abstract

The objective of this research is to apply Sentinel-2 satellite imagery to estimate and develop a water depth calculation model. The research integrates the Satellite-Derived Bathymetry (SDB) technique with the Log-Band Ratio Method, which compares water reflectance at different

wavelengths to generate accurate water depth maps. The results were validated using in-situ depth measurements obtained from an autonomous survey vessel equipped with a single-beam echo sounder. By analyzing the relationship between the logarithmic band ratio and water depth using a first-degree polynomial regression model, the study found that the log-band ratio of Band 2 (Blue) and Band 8 (Near Infrared, NIR) provided the best trend, characterized by a low slope and a positive correlation. When further processed using a highly flexible Random Forest model, the coefficient of determination (R^2) reached 0.83, indicating a strong agreement between the satellite-derived depth estimations and field survey data. These findings suggest that Sentinel-2 satellite imagery, combined with the SDB approach, offers a reliable alternative for water depth estimation, reducing the need for direct field surveys. This method can be effectively applied to water resource planning and management, reducing the need for direct field surveys.

Keywords: Sentinel-2, Satellite Derived Bathymetry, Autonomous Survey Vessel, flexible Random Forest model, Log-Band Ratio Method

1. คำนำ

ทรัพยากรน้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีวิตและการพัฒนาเศรษฐกิจของมนุษย์ การจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็นในยุคที่ปัญหาน้ำท่วมและภัยแล้งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง การสำรวจความลึกของน้ำถือเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการวางแผนและจัดการทรัพยากรน้ำ ในทุกระดับ ปัจจุบันการสำรวจความลึกของแหล่งน้ำสามารถทำได้โดยใช้เทคโนโลยีเสียงสะท้อน (Echo Sounder Survey System) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระบบหลัก ได้แก่ ระบบหยั่งน้ำแบบลำคลื่นเดี่ยว (Single-

Beam Echo Sounder System: SBES) และระบบหยั่งน้ำแบบหลายลำคลื่น (Multi-Beam Echo Sounder System: MBES) ซึ่งวิธีการสำรวจด้วยเรือสำรวจแบบดั้งเดิมมีข้อจำกัดในด้านงบประมาณ บุคลากร และระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงาน แต่การสำรวจภาคสนามด้วยวิธีการดั้งเดิมนั้นมีต้นทุนสูงและใช้เวลานาน

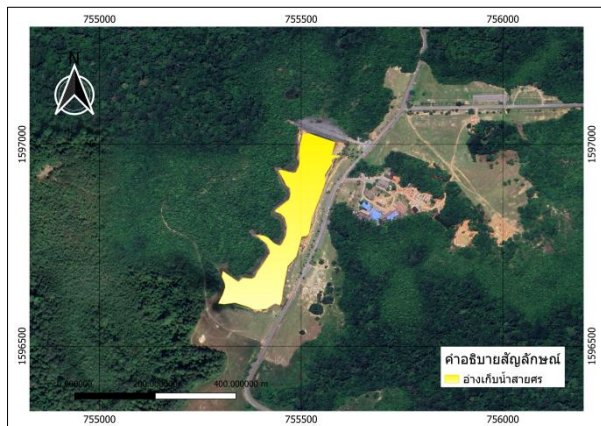
นอกจากนี้ การใช้ ข้อมูลจากดาวเทียม (Satellite Remote Sensing) เป็นอีกแนวทางที่สำคัญในการติดตามปริมาณน้ำอย่างต่อเนื่อง โดยสามารถวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 [1] ซึ่งมีความสามารถในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายหลายช่วงคลื่นและสามารถใช้ร่วมกับ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อคำนวณปริมาณน้ำในพื้นที่ต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ข้อมูลจากดาวเทียมมีข้อดีที่สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในระดับพื้นที่กว้างได้ และสามารถให้ข้อมูลที่ใกล้เคียงเวลาจริง (Near Real-time) ทำให้สามารถนำไปใช้สนับสนุนการบริหารจัดการน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการผสานเทคโนโลยีเรือสำรวจอัตโนมัติและการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมเพื่อพัฒนาสมการติดตามปริมาณน้ำอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่อื่น ๆ ต่อไป

2. พื้นที่และข้อมูลในการดำเนินการวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา

อ่างเก็บน้ำสายคร เป็นอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก มีความกว้างประมาณ 200-300 เมตร ตั้งอยู่ในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ตำบลหินตั้ง อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก เป็นอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อใช้อุปโภคบริโภคภายในอุทยานและเป็นแหล่งน้ำสำหรับสัตว์ป่า



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา อ่างเก็บน้ำสายคร

2.2 ข้อมูลในการดำเนินการวิจัย

2.2.1 ข้อมูลความลึกของน้ำจากการสำรวจภาคสนาม

การสำรวจความลึกของน้ำในงานวิจัยนี้ดำเนินการโดยใช้ ยานสำรวจผิวน้ำไร้คนขับ ติดตั้ง ระบบหยั่งน้ำแบบลำคลื่นเดี่ยว (Single-Beam Echo Sounder: SBES) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้หลักการสะท้อนของคลื่นเสียง (Echo Sounding) เพื่อวัดความลึกของแหล่งน้ำ



รูปที่ 2 เรือสำรวจอัตโนมัติ

2.2.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2

ดาวเทียม Sentinel-2A และ Sentinel-2B ซึ่งจัดทำโดย องค์การอวกาศยุโรป (European Space Agency: ESA) ถูกออกแบบให้มีความสามารถในการเก็บข้อมูลด้วยเทคโนโลยี Multispectral Instrument (MSI) ที่สามารถบันทึกภาพได้ถึง 13 ช่วงคลื่นสเปกตรัม ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่แถบแสงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ (Visible) ไปจนถึงแถบใกล้อินฟราเรด (Near Infrared) และแถบอินฟราเรดคลื่นสั้น (Shortwave Infrared) ข้อมูลที่ได้มีความละเอียดเชิงพื้นที่ในระดับต่าง

ตารางที่ 1 สรุปรายละเอียดภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2

Sentinel-2 images	Map sheet	UTC	Cloud percentage	Spatial resolution
11/11/2567	47PXX	03:00:00	16.9	10

3. หลักการและทฤษฎี

3.1 วิธีการหาความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite-Derived Bathymetry: SDB)

SDB (Satellite-Derived Bathymetry) คือ วิธีการหาความลึกของน้ำ โดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม แทนการใช้เครื่องมือตรวจวัดโดยตรง SDB ใช้ข้อมูลการสะท้อนของแสงจากพื้นท้องทะเลผ่านชั้นน้ำ ซึ่งแสงในแต่ละช่วงคลื่นจะถูกดูดกลืนและกระเจิงแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำ เทคนิคนี้อาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณและแปลงค่าการสะท้อนแสงเป็นค่าความลึกของน้ำ ซึ่งแบบจำลองที่นิยมใช้ ได้แก่ แบบจำลอง Lyzenga [2] (Linear Band Model) และแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log-Band Ratio Model หรือ Stumpf [3] Model)

โดยแบบจำลอง Lyzenga ใช้ความสัมพันธ์เชิงเส้นของแสงสะท้อนจากพื้นท้องทะเลผ่านชั้นน้ำ ขณะที่แบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่นอาศัยอัตราส่วนของค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันเพื่อประมาณค่าความลึกของน้ำ จากการศึกษาของหลายแหล่ง เช่น งานของ Stumpf พบว่าแบบจำลองอัตราส่วนสามารถให้ความแม่นยำสูงกว่าแบบ

เชิงเส้นของ Lyzenga โดยเฉพาะเมื่อใช้ในพื้นที่น้ำตื้นที่มีค่าความใสสูง ตัวอย่างเช่น บริเวณชายฝั่งเกาะฮาวายที่ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม IKONOS และข้อมูล LIDAR เพื่อเปรียบเทียบกัน ผลลัพธ์พบว่าความคลาดเคลื่อนของ SDB นั้นอยู่ในช่วง 10–15 เมตรในบางพื้นที่ ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับการวางแผนเบื้องต้น

งานของ Pennucci [4] ยังพบว่าการใช้แบบจำลองอัตราส่วนร่วมกับเทคนิค Machine Learning สามารถช่วยเพิ่มความแม่นยำของการประมาณความลึกได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในกรณีที่มีการผสมผสานข้อมูลจากหลายแหล่งร่วมกัน

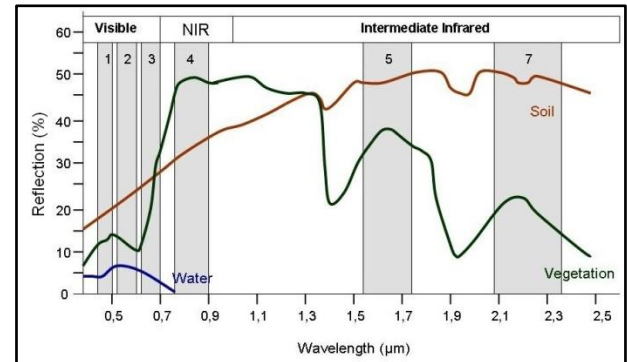
นอกจากงานวิจัยของชนตถพงศ์ [5] นี้ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 ร่วมกับแบบจำลอง Log-Band Ratio เพื่อประเมินความลึกในพื้นที่ทะเลตื้น 3 แห่งในอ่าวไทย ได้แก่ บริเวณทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา, เกาะสบบ้า-เกาะจินอก, และอ่าวชุมพร ผลลัพธ์ที่ได้จาก SDB มีความสอดคล้องสูงกับข้อมูลความลึกจาก Single Beam Echo Sounder โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่าง 0.86 ถึง 0.93 แสดงให้เห็นว่าการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประมาณค่าความลึกมีศักยภาพสูง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำวิธีการ Satellite-Derived Bathymetry (SDB) มาประยุกต์ใช้ในการหาความลึกของอ่างเก็บน้ำสายสร โดยเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 เนื่องจากเป็นข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย มีการอ้างอิงกับ มูลฐานทางราบ WGS84 และมีข้อมูลภาพถ่ายย้อนหลังอย่างต่อเนื่อง ซึ่งช่วยให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ได้

3.2 การวิเคราะห์ค่าการสะท้อนแสง (Reflectance Analysis)

ค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) [6] เป็นข้อมูลสำคัญในการวิเคราะห์คุณสมบัติของแหล่งน้ำผ่านภาพถ่ายดาวเทียม โดยค่าการสะท้อนแสงเป็นอัตราส่วนของพลังงานแสงที่พื้นผิวสะท้อนกลับเมื่อถูกแสงจากดวงอาทิตย์ตกกระทบ การวิเคราะห์ค่าการสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นของภาพถ่ายดาวเทียมจึงสามารถนำมาใช้ประเมินลักษณะเฉพาะของผิวน้ำได้ และที่สำคัญคือการประมาณระดับความลึกของน้ำในแหล่งน้ำตื้น ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการดูดกลืนและการกระเจิงของแสงในน้ำ (Light Attenuation) โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับแบบจำลองทางสถิติหรือดัชนีทางสเปกตรัม เช่น Log-Band Ratio หรือ Normalized Difference Water Index (NDWI) ทำให้สามารถคาดคะเนข้อมูลเชิงพื้นที่ด้านความลึกของน้ำได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น ซึ่งช่วงคลื่นที่นำมาวิเคราะห์ได้แก่ Band 2 (Blue) ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร Band 3 (Green) ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร Band 4 (Red) ที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร และ Band 8 (Near Infrared หรือ NIR) ที่ความยาวคลื่น 842 นาโนเมตร ตามรายละเอียดในตารางที่ 2 ซึ่งแสดงข้อมูลช่วงความยาวคลื่นของ Sentinel-2 ที่ใช้ในการคำนวณค่าดัชนีสะท้อนแสงค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นต่าง ๆ เป็นตัวบ่งชี้ถึงลักษณะพื้นผิวและคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ ซึ่งมีความสำคัญในการศึกษาสภาพแหล่งน้ำและการประเมินความลึกของน้ำในบริเวณที่สนใจ โดยข้อมูล Reflectance ที่ได้จากดาวเทียม Sentinel-2 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์

ในงานวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง และสามารถบันทึกค่าการสะท้อนแสงในหลายช่วงคลื่น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำตามแสดงรูปที่ 3 [7]



รูปที่ 3 การสะท้อนแสงของ น้ำ พืช และดิน

ตารางที่ 2 สรุปลายละเอียดช่วงคลื่นที่ได้จากดาวเทียม Sentinel-2

ช่วงคลื่น (Band)	ช่วงความยาวคลื่น (nm)	การประยุกต์ใช้
Band 2 (Blue)	490 nm	วิเคราะห์ตะกอนแขวนลอยในน้ำ
Band 3 (Green)	560 nm	ตรวจสอบคุณภาพน้ำ
Band 4 (Red)	665 nm	แยกแยะพืชพรรณและแหล่งน้ำ
Band 8 (NIR)	842 nm	ตรวจสอบปริมาณน้ำและความชื้น

3.3 แบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log-Band Ratio Model)

แบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น หรือ Log-Band Ratio Model เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณค่าความลึกของน้ำทะเลผ่านวิธีการ Satellite-Derived Bathymetry (SDB) โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกับความลึกของน้ำ

แบบจำลองนี้พัฒนาโดย Stumpf [3] ซึ่งใช้สมการเชิงลอการิทึมของอัตราส่วนค่าการสะท้อนแสงระหว่าง Band ของภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อคำนวณความลึกของน้ำ โดยสมการพื้นฐานของแบบจำลองดังแสดงในสมการที่ (1)

$$f(LBR) = m_1 \frac{\ln(nRw(\lambda_i))}{\ln(nRw(\lambda_j))} - m_0 \quad (1)$$

โดยที่ Z คือ ความลึกของน้ำ

Rw คือ ค่าการสะท้อนสเปกตรัมที่สังเกต

m_1 คือ ค่าคงที่ที่ได้จากการปรับเทียบกับข้อมูลความลึก

m_0 คือ ค่าชดเชยสำหรับความลึก 0 เมตร

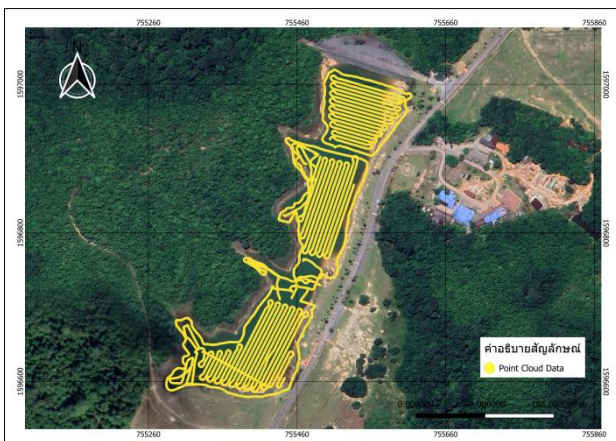
λ_i คือ ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (Band2)

λ_j คือ ช่วงคลื่นสีน้ำเขียว (Band3)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การสำรวจภาคสนามเก็บข้อมูลความลึกน้ำอ่างเก็บน้ำสายคร

การสำรวจภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลความลึกของน้ำในอ่างเก็บน้ำสายคร ดำเนินการโดยใช้ เรือสำรวจอัตโนมัติ (Unmanned Surface Vehicle) ที่ติดตั้ง เครื่องหยั่งความลึกด้วยคลื่นเสียง (Echo Sounder) สำหรับวัดค่าความลึกของน้ำ โดยมีการออกแบบแนวรั้ววัดในรูปแบบ Profile Survey และ Cross Section Survey ทั้งนี้ การตรวจวัดข้อมูลดำเนินการใน ระยะห่างทุก 1 เมตร (ทางราบ) ได้ผลลัพธ์ตามแสดงรูปที่ 4



รูปที่ 4 ข้อมูล Point Cloud ค่าความลึกน้ำ

4.2 รายละเอียดทางเทคนิคของการสำรวจด้วยเรืออัตโนมัติ

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลความลึกของน้ำจากพื้นที่ ศึกษาโดยใช้ เรือสำรวจอัตโนมัติ (Unmanned Surface Vehicle: USV) ของบริษัท CHC Navigation ซึ่งเป็นเรือไร้คนขับขนาดเล็กที่ออกแบบมา สำหรับการสำรวจทางน้ำในพื้นที่ ระบบนำทางของเรือประกอบด้วย เทคโนโลยี GNSS RTK ซึ่งสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมหลายระบบ ทำให้สามารถระบุตำแหน่งของแต่ละจุดเก็บข้อมูลได้อย่างแม่นยำในระดับ เซนติเมตร สำหรับการวัดความลึกของน้ำ เรือติดตั้ง D230 Single Beam Echo Sounder ซึ่งทำงานด้วยความถี่ 200 kHz สามารถวัดความลึกของน้ำ ได้ในช่วง 0.15 ถึง 200 เมตร โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.01 เมตร ของ ความลึก เรือสามารถควบคุมและเดินเรือแบบอัตโนมัติโดยกำหนดเส้นทาง ล่วงหน้าผ่านซอฟต์แวร์เฉพาะ และควบคุมความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 1 เมตรต่อวินาที ข้อมูลเหล่านี้มาใช้เป็นข้อมูลภาคสนาม (Ground Truth) เพื่อเปรียบเทียบและพัฒนาแบบจำลองความลึกจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2

4.3 เตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2

ในการศึกษานี้ ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2) โดยข้อมูล ดาวเทียมโหลดจากเว็บไซต์ <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/> และเลือกใช้ข้อมูลจากวันที่ 11 พฤศจิกายน 2567 ซึ่งเป็นวันที่ใกล้เคียงกับ การเก็บข้อมูลภาคสนามมากที่สุด เพื่อให้การเปรียบเทียบและวิเคราะห์ ข้อมูลมีความแม่นยำสูงสุด ข้อมูลภาพที่นำมาใช้ประกอบด้วย Band 2 (Blue): ช่วงความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร ใช้สำหรับตรวจสอบน้ำและ สภาพแวดล้อม, Band 3 (Green) ช่วงความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ใช้ สำหรับวิเคราะห์พืชพรรณและความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่, Band 4 (Red) ช่วงความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร เป็นส่วนสำคัญสำหรับการวิเคราะห์ค่า ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index) และ Band 8 (Near Infrared - NIR) ช่วงความยาวคลื่น 842 นาโนเมตร ใช้สำหรับการวิเคราะห์พืชพรรณและ น้ำ

4.4 การคำนวณค่าดัชนีผลต่างน้ำแบบนอร์มัลไลซ์ปรับปรุง (Modified Normalized Difference Water Index: MNDWI)

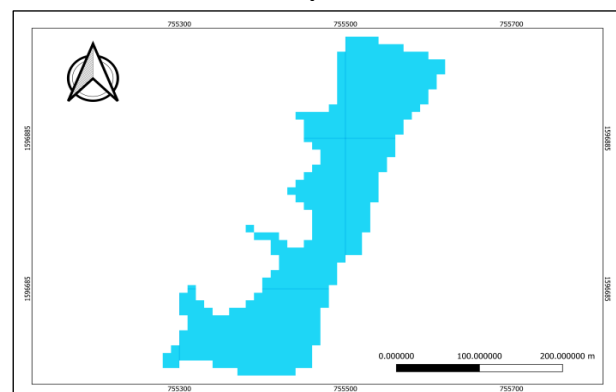
การคำนวณค่าดัชนีผลต่างน้ำแบบนอร์มัลไลซ์ปรับปรุง เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพในการจำแนกพื้นที่น้ำออกจากพื้นดินที่มีความชื้นสูง ดัชนีนี้ใช้ ข้อมูลเชิงสเปกตรัมโดยเน้นที่ค่าการสะท้อนของช่วง คลื่นแสงสีเขียว (Green band) และ อินฟราเรดย่านกลาง (MIR - Mid Infrared) เพื่อให้เกิดความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างพื้นที่น้ำและพื้นดิน ดังแสดงในสมการ ที่ (2)

$$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR} \quad (2)$$

โดยที่ $Green$ คือ คลื่นแสงสีเขียวภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 (Band 3)

MIR คือ อินฟราเรดย่านกลางภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 (Band 11)

ค่าที่ได้จากการคำนวณจะอยู่ในช่วง -1 ถึง +1 โดยค่าที่เป็น บวกจะบ่งชี้ถึงพื้นที่น้ำ ขณะที่ค่าลบหรือใกล้ศูนย์จะหมายถึงพื้นที่ดินหรือ โครงสร้างอื่น ๆ ได้ผลลัพธ์ตามแสดงรูปที่ 5



รูปที่ 5 การแยกพื้นที่น้ำและพื้นที่ดิน

4.5 ขอบเขตเชิงพื้นที่ (Bounding Box)

ขอบเขตเชิงพื้นที่ (Bounding Box) หมายถึง ขอบเขตที่กำหนดโดยค่าพิกัดของพื้นที่สี่เหลี่ยมที่ครอบคลุมวัตถุหรือชุดข้อมูลภูมิศาสตร์ ซึ่งใช้ในการ ตัด (Clip) ข้อมูลแรสเตอร์ หรือเลือกพื้นที่เฉพาะที่ต้องการนำมาวิเคราะห์ เพื่อให้การประมวลผลมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในการประมวลขอบเขตเชิงพื้นที่เพื่อสกัดกริดอ้างอิงคงที่ สำหรับคำนวณร่วมกับข้อมูลแรสเตอร์จากภาพถ่ายดาวเทียม

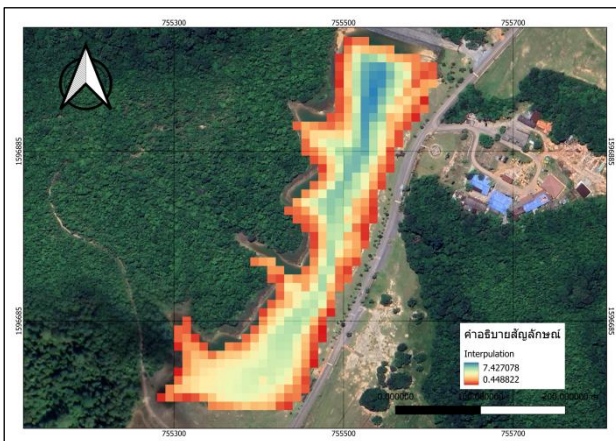
ตารางที่ 3 ขอบเขตเชิงพื้นที่ของข้อมูลที่ใช้ศึกษา

ค่า Extent	คำอธิบาย	ค่าพิกัด
Xmin	พิกัดลองจิจูดต่ำสุด (ด้านซ้าย)	755160.0
Xmax	พิกัดลองจิจูดสูงสุด (ด้านขวา)	755720.0
Ymin	พิกัดละติจูดต่ำสุด (ด้านล่าง)	1596550.0
Ymax	พิกัดละติจูดสูงสุด (ด้านบน)	1597040.0

4.6 แปลงข้อมูลความลึกจากการสำรวจด้วย Echo Sounder ด้วยเทคนิค IDW Interpolation

การประมวลผลข้อมูลด้วยเทคนิค IDW Interpolation [8] ความลึกเป็นกระบวนการที่ใช้แปลงข้อมูลจุดความลึก (Point Cloud) ที่ได้จากการสำรวจด้วย Echo Sounder ไปเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ที่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้ง่ายขึ้น โดยเทคนิค IDW Interpolation

ในการประมาณค่าระหว่างจุดเป็นการประมาณค่าที่ตำแหน่งที่ไม่มีข้อมูล โดยอาศัยค่าที่มีอยู่รอบๆ แล้วให้น้ำหนัก (weight) วิธีนี้ช่วยให้สามารถสร้างข้อมูลความลึกกึ่งกลางในรูปแบบของ Raster Grid ขนาด 10x10 เมตร ซึ่งช่วยให้สามารถวิเคราะห์แนวโน้มความลึกของน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพการ เมื่อประมวลผลเสร็จจะได้ผลลัพธ์ตามแสดงรูปที่ 6

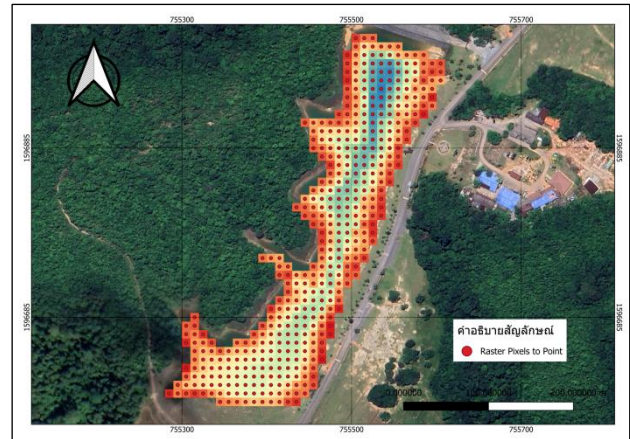


รูปที่ 6 ข้อมูลค่าความลึกน้ำ Raster Grid ขนาด 10x10 เมตร

4.7 กระบวนการแปลงข้อมูลจาก Raster เป็น Point Vector layer

เทคนิค Raster Pixels to Point เป็นกระบวนการแปลงข้อมูลจาก Raster ซึ่งประกอบด้วยเซลล์พิกเซลที่มีค่าคุณลักษณะ มาเป็นข้อมูลใน

รูปแบบ จุด (Point Vector) ที่แต่ละจุดแทนตำแหน่งกึ่งกลางของพิกเซล และมีค่าคุณลักษณะเดียวกันกับพิกเซลต้นฉบับ เพื่อให้สามารถนำค่าของแรสเตอร์ไปวิเคราะห์ กับข้อมูลความลึกจากการสำรวจที่ตำแหน่งเดียวกัน เมื่อประมวลผลเสร็จจะได้ผลลัพธ์ตามแสดงรูปที่ 7



รูปที่ 7 การแปลงข้อมูลจาก Raster เป็น Point Vector จัดทำ

4.8 การอ่านข้อมูลจากกริดดาวเทียมโดยใช้เทคนิค Sample Raster Values

Sample Raster Values เป็นเทคนิคที่ใช้ในการ ดึงค่าพิกเซลจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงแรสเตอร์ (Raster Data) มาบันทึกไว้ใน ตารางคุณลักษณะ (Attribute Table) ของเวกเตอร์จุด (Point Vector Layer) วิธีนี้ช่วยให้สามารถนำค่าการสะท้อนแสงของแถบคลื่นของ B2 (Blue), B3 (Green), B4 (Red) และ B8 (Near Infrared - NIR) ที่ตำแหน่งของจุดที่กำหนด

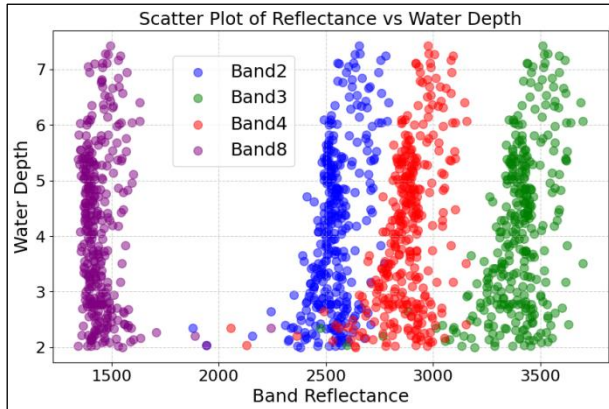
4.9 วิธีการเลือกพารามิเตอร์ในแบบจำลอง Random Forest

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำแบบจำลอง Random Forest มาใช้ในการประมาณค่าความลึกของน้ำจากค่าดัชนีอัตราส่วนเชิงลอการิทึม (Log-Band Ratio: LBR) ของข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 โดยได้กำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลองอ้างอิงตามค่ามาตรฐานของไลบรารี Scikit-learn (ไลบรารีมาตรฐานใน Python) ในเบื้องต้น ผู้วิจัยใช้ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น (default) เพื่อประเมินศักยภาพของแบบจำลอง ร่วมกับการแบ่งข้อมูลเป็นชุดฝึกและชุดทดสอบในอัตรา 80:20 จากนั้นจึงประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่า R^2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Log-Band Ratio และความลึกของน้ำ (Water Deep)

5. ผลการวิจัย

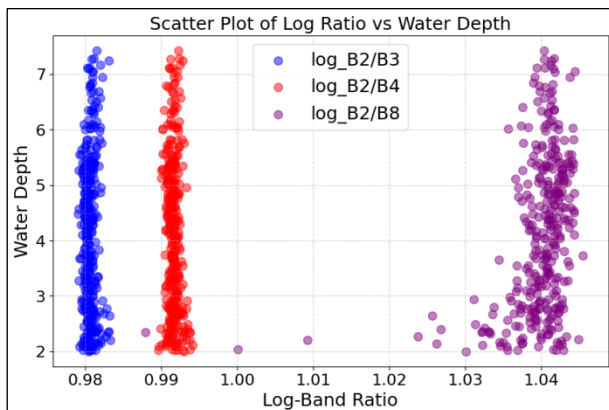
การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประเมินความลึกของน้ำโดยอาศัยภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ร่วมกับข้อมูลภาคสนามจากเรือสำรวจอัตโนมัติที่ติดตั้งระบบหยั่งความลึกแบบลำคลื่นเดี่ยว (Single-Beam Echo Sounder) ผ่านเทคนิค Satellite-Derived Bathymetry (SDB) โดยวิเคราะห์ค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่น Band 2, Band 3,

Band 4 และ Band 8 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมในวันที่ 11 พฤศจิกายน 2567 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) และความลึกของน้ำในพื้นที่ที่ศึกษา ในแถบความถี่ต่างๆ เพื่อประเมินลักษณะการสะท้อนแสงในแต่ละช่วงของความลึกน้ำ เป็นไปตามรูปที่ 8 สามารถวิเคราะห์หาความลึกของน้ำได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะ แถบ Band 8 และ Band 3



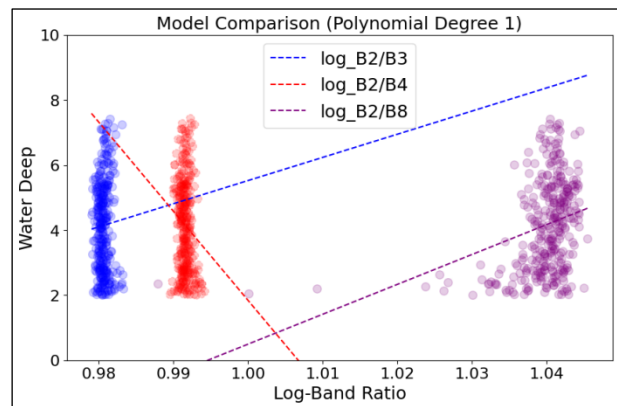
รูปที่ 8 ค่าการสะท้อนแสง (Reflectance)

ความสัมพันธ์ของการสะท้อนแสงในแถบคลื่นสเปกตรัม นำมาวิเคราะห์โดยเลือกใช้หลักการแบบจำลองอัตราส่วนคลื่น (Log-Band Ratio Method: LBR) พบว่าแบบจำลองอัตราส่วนคลื่นระหว่าง Band2/Band3 ข้อมูลแสดงการกระจุกตัวในช่วง Log-Band Ratio ประมาณ 0.98 ถึง 0.99 มีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างสม่ำเสมอกับความลึกของน้ำตั้งแต่ 2 ถึงประมาณ 6 เมตร และ แบบจำลองอัตราส่วนคลื่นระหว่าง Band 2 / Band 4 ข้อมูลกลุ่มนี้มีการกระจุกตัวในช่วง Log-Band Ratio ระหว่าง 0.98 ถึง 1.0 ความลึกของน้ำส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 2 - 4 เมตร และแบบจำลองอัตราส่วนคลื่นระหว่าง Band2/Band8 ข้อมูลกระจายตัวในช่วง Log-Band Ratio ระหว่าง 0.99 ถึงมากกว่า 1.04 มีการกระจายตัวกว้าง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความลึก 2 ถึง 7 เมตร สามารถสังเกตได้จากผลลัพธ์ตามแสดงรูปที่ 9



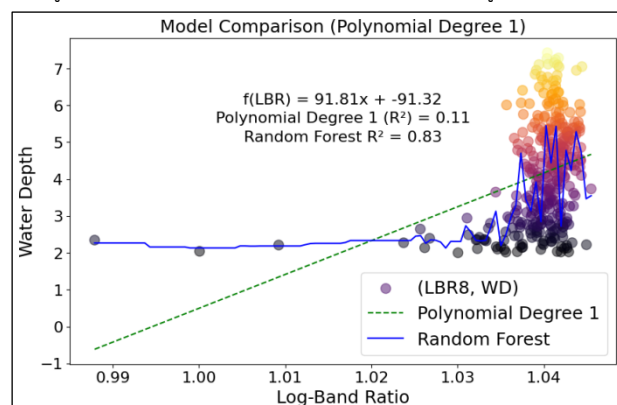
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Log-Band Ratio และความลึกของน้ำ (Water Deep)

เมื่อนำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่าง Log-Band Ratio และความลึกของน้ำ (Water Deep) มาเปรียบเทียบกับแบบจำลองเชิงเส้น (Polynomial Degree 1) พบว่า ชุดข้อมูลอัตราส่วนคลื่น (Log-Band Ratio) Band2/Band4 เส้นแนวโน้มมีความชันที่มากที่สุดในทิศทางเชิงลบ (มีค่าลดลงเมื่อ Log-Band Ratio เพิ่มขึ้น) ในทางกลับกัน ชุดข้อมูลอัตราส่วนคลื่น (Log-Band Ratio) Band2/Band เส้นแนวโน้มมีความชันที่ต่ำและอยู่ในทิศทางเชิงบวก (มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ Log-Band Ratio เพิ่มขึ้น) เหมาะสำหรับการวิเคราะห์พื้นที่ที่น้ำลึก โดยเฉพาะในช่วง Log-Band Ratio ที่กว้างกว่า (0.94 ถึง 1.04) ผลลัพธ์ตามแสดงรูปที่ 10



รูปที่ 10 เส้นแนวโน้มมีความชันแบบจำลองเชิงเส้น

ทั้งนี้ เมื่อนำชุดข้อมูลอัตราส่วน Band2/Band8 มาวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองที่มีความยืดหยุ่นสูงอย่าง Random Forest ซึ่งเป็นเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ผลลัพธ์ตามแสดงรูปที่ 11



รูปที่ 11 เส้นแนวโน้มมีความชัน แบบจำลองที่มีความยืดหยุ่นสูง

จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าแบบจำลองเชิงเส้นระดับหนึ่ง (Polynomial Degree 1) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) เท่ากับ 0.11 ขณะที่แบบจำลอง Random Forest ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.83 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า Random Forest มีความสามารถในการเรียนรู้และประมาณค่าความลึกของน้ำจากค่าดัชนี LBR ได้ดีกว่าแบบจำลองเชิงเส้นอย่างชัดเจน แสดงข้อมูลตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2)

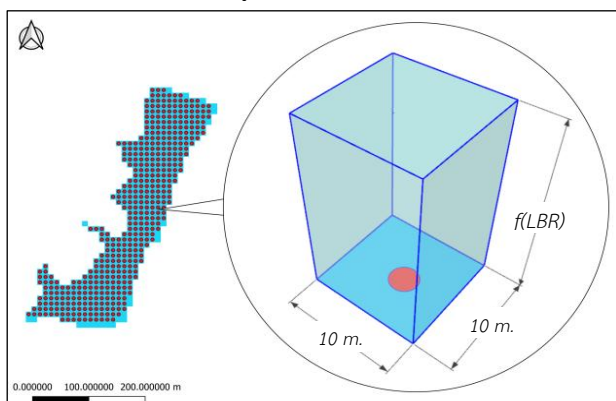
แบบจำลอง	ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R) อัตราส่วนคลื่น (Log-Band Ratio)		
	B2/B3	B2/B3	B2/B8
Polynomial Degree 1	0.00	0.02	0.11
Random Forest	-	-	0.83

จะเห็นได้ว่าแบบจำลอง Random Forest ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า Polynomial Degree 1 เนื่องจากข้อมูลการสะท้อนแสงจากดาวเทียม และค่าความลึกของน้ำมีความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรง โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยผลกระทบจากคุณลักษณะของน้ำที่แปรผัน ค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) ในแต่ละแหล่งน้ำอาจได้รับอิทธิพลจากตะกอน ความขุ่น ความใส สาหร่าย หรือสารอินทรีย์อื่น ๆ ซึ่งส่งผลต่อค่าดัชนี LBR และทำให้แบบจำลองที่ฝึกจากพื้นที่หนึ่งอาจไม่สามารถใช้งานได้กับทุกพื้นที่โดยตรง และแบบจำลองเชิงเส้นไม่สามารถเรียนรู้รูปแบบความซับซ้อนเหล่านี้ได้ดีเท่ากับ Random Forest ที่เป็นแบบจำลองเชิงกลุ่ม แต่ในงานวิจัยนี้ ยังคงเลือกใช้สมการเชิงเส้น ร่วมในการนำเสนอผลลัพธ์ด้วย เนื่องจากมีข้อดีในด้านความเรียบง่ายและการนำไปประยุกต์ใช้ในระดับปฏิบัติการ ทำให้สะดวกต่อการใช้งานโดยหน่วยงานภาครัฐหรือบุคลากรภาคสนามที่ต้องการประเมินค่าความลึกเบื้องต้นจากภาพถ่ายดาวเทียมโดยตรง จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีอัตราส่วนเชิงลอการิทึม (Log-Band Ratio: LBR) กับค่าความลึกของน้ำ พบว่าสามารถสร้างสมการเชิงเส้นในรูปแบบดังสมการที่ (3)

$$f(LBR) = (91.81 \times LBR) - 91.32 \quad (3)$$

โดยที่ $LBR = \ln(\text{Band 2}) / \ln(\text{Band 8})$

สมการดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อประมาณค่าความลึกและนำไปคำนวณปริมาตรน้ำ การคำนวณปริมาตรน้ำ โดยอ้างอิงจากพื้นที่ของแต่ละพิกเซลขนาด 10×10 เมตร โดยค่าความลึกในแต่ละพิกเซลได้จากการแปลงค่าการสะท้อนแสงผ่านฟังก์ชัน (Log-Band Ratio: LBR) ตามสมการที่ (3) ซึ่งสามารถนำไปใช้คำนวณปริมาตรน้ำรวมในแหล่งน้ำได้ โดยการรวมค่าปริมาตรของพิกเซลทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาตามแสดงรูปที่ 12 ได้ปริมาตรน้ำ 136,300 ลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 12 ปริมาตรน้ำในพื้นที่ของพิกเซลขนาด 10×10 เมตร

6. บทสรุปการวิจัย

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงการพัฒนาระบบการคำนวณความลึกของน้ำโดยอาศัยข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ร่วมกับผลการสำรวจภาคสนามด้วยเรือสำรวจอัตโนมัติ ที่ติดตั้งระบบหยั่งน้ำแบบคลื่นเสียง (Single-Beam Echo Sounder: SBES) โดยนำเทคนิคการคำนวณแบบ Satellite-Derived Bathymetry (SDB) ร่วมกับวิธี Log-Band Ratio (LBR) มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นกับค่าความลึกของน้ำ แบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่าง Band2 และ Band8 ($B2/B8$) ด้วยโมเดล Random Forest ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.83 ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำสูงในการพยากรณ์ความลึกน้ำจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

เมื่อคำนวณปริมาตรน้ำโดยใช้ข้อมูลความลึกจากแบบจำลองนี้ร่วมกับพื้นที่ของพิกเซลขนาด 10×10 เมตร พบว่าปริมาตรน้ำรวมของอ่างเก็บน้ำสายสร้อยอยู่ที่ประมาณ 136,300 ลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าจริงจากการสำรวจภาคสนามอยู่ที่ 154,900 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 18,600 ลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 12.01% ของปริมาตรน้ำจริง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนพิจารณาและวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความแตกต่าง ซึ่งสามารถอธิบายได้จากปัจจัยหลัก ความละเอียดของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตร ทำให้ 1 พิกเซลแทนพื้นที่ 100 ตารางเมตร ซึ่งอาจทำให้ค่าความลึกที่ใช้เป็นตัวแทนในแต่ละจุดเกิดการเฉลี่ยลักษณะพื้นที่โดยรอบ ส่งผลให้แบบจำลองตีความความลึกในจุดที่มีความลาดเอียงของท้องน้ำไม่แม่นยำเท่าการหยั่งลึกจากเรือภาคสนาม และผลกระทบจากสภาพแสงและความขุ่นของน้ำ

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองจากข้อมูลดาวเทียมสามารถประมาณค่าความลึกและปริมาตรน้ำได้ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงในระดับที่ยอมรับได้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรน้ำอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในพื้นที่ห่างไกลหรือมีข้อจำกัดด้านงบประมาณในการสำรวจภาคสนาม

7. ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจากการสำรวจในพื้นที่อ่างเก็บน้ำสายสร้อย แหล่งน้ำในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่มีลักษณะของน้ำค่อนข้างขุ่นและมีความตื้นปานกลาง ส่งผลให้สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าการสะท้อนแสงในแถบคลื่นต่าง ๆ มีความเหมาะสมกับแหล่งน้ำที่มีลักษณะทางกายภาพคล้ายกัน เช่น อ่างเก็บน้ำขนาดเล็กหรือขนาดกลางในพื้นที่ป่าเขา หรือบริเวณที่มีตะกอนแขวนลอยอยู่ในระดับหนึ่ง ดังนั้น สมการและแบบจำลองนี้มีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่แหล่งน้ำอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันในภูมิภาคใกล้เคียง

จากผลการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอเสนอแนวทางพัฒนาและต่อยอดการศึกษาในอนาคต ดังนี้

1. เพิ่มจำนวนและความหลากหลายของจุดข้อมูลภาคสนาม เพื่อให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้รูปแบบที่หลากหลายของแหล่งน้ำ ควรมีการเก็บข้อมูลความลึกจากหลายช่วงเวลาและหลากหลายพื้นที่ เช่น แหล่ง

น้ำที่มีความลึกต่างกัน พื้นน้ำขุ่น และน้ำใส เพื่อให้โมเดลมีความสามารถในการทำนายได้แม่นยำในพื้นที่ที่หลากหลายยิ่งขึ้น

2. รวมปัจจัยด้านคุณภาพน้ำและอุณหภูมิพื้นผิวร่วมในการวิเคราะห์ค่าความขุ่น ความใส หรืออุณหภูมิของน้ำอาจช่วยเพิ่มความแม่นยำของแบบจำลอง หากสามารถรวมข้อมูลเหล่านี้จากเซนเซอร์ภาคสนามหรือระบบสำรวจอื่น เช่น โดรนหรือดาวเทียมความละเอียดสูง

3. พัฒนาแอปพลิเคชันหรือระบบติดตามปริมาณน้ำอัตโนมัติควรต่อยอดงานวิจัยนี้เป็นระบบติดตามระดับน้ำและปริมาณน้ำ

4. ประยุกต์ใช้กับพื้นที่จริงในระดับจังหวัดหรือลุ่มน้ำเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโมเดลในระดับเชิงพื้นที่ขนาดใหญ่ และพิจารณาความเหมาะสมในการนำไปใช้ในระบบติดตามปริมาณน้ำระดับนโยบาย

เอกสารอ้างอิง

[1] European Space Agency (ESA). (2024). Sentinel-2 User Handbook. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi>
<https://doi.org/10.1080/01431168108948342>

[2] Lyzenga, D. R. (1981). Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data. *International Journal of Remote Sensing*, 2(1), 71–82.
<https://doi.org/10.1080/01431168108948342>

[3] Stumpf, R. P., Holderied, K., & Sinclair, M. (2003). Determination of water depth with high-resolution

satellite imagery over variable bottom types. *Limnology and Oceanography*, 48(1), 547–556.

[4] Pennucci, F., Poursanidis, D., Traganos, D., Chrysoulakis, N., & Reinartz, P. (2020). Assessment of Satellite-Derived Bathymetry Techniques in Shallow Waters: Machine Learning vs Empirical Models. *Remote Sensing*, 12(24), 4055. <https://doi.org/10.3390/rs12244055>

[5] ชนตพงศ์ เสื่องงามเอี่ยม. (2564). การหึงความลึกน้ำทะเลจากการรับรู้ระยะไกลในอ่าวไทยด้วยภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 8 (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย). สืบค้นจาก <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/5340>

[6] Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 893–903.

[7] SEOS. (2014). Spectral profiles of water, soil and vegetation in relation to the visible, near-infrared (NIR) and intermediate infrared regions of the electromagnetic spectrum. Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/Spectral-profiles-of-water-soil-and-vegetation-in-relation-to-the-visible-nearinfrared_fig1_301561646

[8] Gholami, V., & Darvishi, A. M. (2016). A comparison of interpolation methods for groundwater level in an arid region. *Environmental Earth Sciences*, 75, 829.