

การจำแนกภูมินิเวศชะวากทะเล: ความเข้าใจพื้นฐานของ  
ชะวากทะเลแม่น้ำตรังและการใช้งานของมนุษย์

Landscape Ecological Classification of the Estuary: A  
Fundamental Understanding for Trang River Estuary and Human Use

รับบทความ	10/10/2022
แก้ไขบทความ	31/10/2022
ยอมรับบทความ	02/11/2022

ญาณิศา ปิยะกมลนิรันดร์ ดนัย ทายตะคุ

ภาควิชาภูมิสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Yanisa Piyakamolnirun, Danai Thaitakoo

Department of Landscape Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University

yanisa.piy@gmail.com, danaithai@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างความเข้าใจพื้นฐานของภูมินิเวศชะวากทะเล (estuary) โดยอธิบายจากทฤษฎีภูมินิเวศ จำแนกเป็นโครงสร้างภูมินิเวศ และเพื่อเป็นแนวทางการจำแนกภูมินิเวศชะวากทะเลซึ่งมีเงื่อนไขแตกต่างจากภูมินิเวศประเภทอื่น และนำไปสู่การวางแผนการจัดการภูมินิเวศชะวากทะเลต่อไป โดยวิธีการเปรียบเทียบทฤษฎีการจำแนกภูมินิเวศชะวากทะเล และสังเคราะห์แนวทางการจำแนกชะวากทะเลเพื่อประยุกต์ใช้กับชะวากทะเลแม่น้ำตรัง และการวิเคราะห์โครงสร้างภูมินิเวศชะวากทะเลแม่น้ำตรังซึ่งสัมพันธ์กับการใช้งานพื้นที่ของมนุษย์ โดยใช้เครื่องมือการรับรู้ระยะไกล ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) และการจำแนกข้อมูลภาพเชิงวัตถุ

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างภูมินิเวศชะวากทะเล แบ่งเป็น โครงสร้างสิ่งปกคลุมผิวดินเชิงวัฒนธรรม (Cultural Land Cover: CLC) โครงสร้างถิ่นที่อยู่ชะวากทะเล (Estuarine Habitats: EH) และโครงสร้างถิ่นที่อยู่พื้นที่สูง (Upland Habitats: UH) โดยโครงสร้างภูมินิเวศเรียงตัวแบบซ้อนทับ และแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของโครงสร้างภูมินิเวศชะวากทะเลกับการใช้งานพื้นที่ของมนุษย์ โดยการเลือกที่ตั้งเมืองให้ความสำคัญกับตำแหน่ง การเข้าถึง และสภาพภูมิประเทศ เนื่องจากปากแม่น้ำชะวากทะเลเป็นพื้นที่เกิดพายุพัดสูงทำให้ยากต่อการใช้งานพื้นที่ของมนุษย์ แต่พื้นที่เลยจากขอบเขตการเกิดน้ำขึ้นน้ำลงจะมีลักษณะเป็นพื้นที่ลุ่มจึงมีการใช้งานเป็นเกษตรกรรมและหมู่บ้าน ส่วนพื้นที่ภูเขาสูงจะเป็นป่า อุทกพลวัตจึงเป็นทั้งประโยชน์และข้อจำกัดของภูมินิเวศชะวากทะเล

คำสำคัญ: การจำแนกภูมินิเวศ ชะวากทะเล การใช้งานของมนุษย์ แม่น้ำตรัง กั้นตัง

## Abstract

This research aims to, first, provide a fundamental understanding of Trang River Estuary and Human Use by compare and analyze the literature reviews and classify the structure of estuary landscape. Second, to serve as a guide for landscape estuary classification in tropical climate and lead to estuary management plan in the future. This study compares the estuary classification method and synthesizes the guideline for Trang River Estuary application. The structures of estuary landscape are integrated by remote sensing data, the geographic information system: GIS, and object-based image analysis. After that we investigate the relation of the estuary landscape structures and human use.

The structures of estuary landscape are categorized to Cultural Land Cover (CLC), Estuarine Habitats (EH), and Upland Habitats (UH). The results show correlation of estuary landscape structures and human use. Illustrated by the series of estuary landscape section, the settlement of urban values the location, accessibility, and landform. The mouth of Trang River has high hydrodynamic that is different for human uses. Surrouned areas with fewer hydrodynamic are used for agriculture and small villages. Therefore, Hydrodynamic has both benefits and challenges for estuary landscape.

**keywords:** *Landscape Ecological Classification, Estuary, Human Use, Trang River, Kantang*

## บทนำ

ชะวากทะเลเป็นภูมิภาคที่เชื่อมต่อระหว่างผืนดินและทะเล จึงมีความซับซ้อนของระบบนิเวศทำให้เกิดผลผลิตทางนิเวศสูง และนำไปสู่การใช้พื้นที่บริการเพื่อการดำรงชีพและการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์ เช่น การประมง เป็นแหล่งทรัพยากรสำหรับการก่อสร้าง เป็นแหล่งระบายน้ำ (Kennish, 2019; McLusky & Elliott, 2004) เมื่อมนุษย์ต้องการใช้ภูมิภาคชะวากทะเลจึงทำการปรับเปลี่ยนพื้นที่และก่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกต่อมนุษย์ เช่น การเปลี่ยนพื้นที่ชุ่มน้ำเป็นพื้นที่เกษตรกรรม การสร้างพื้นที่นันทนาการและโครงสร้างพื้นฐาน เช่น สะพาน ทำนบกั้นน้ำ และท่าเรือ (McLusky & Elliott, 2004) ชะวากทะเลจึงกลายเป็นพื้นที่เมืองและอุตสาหกรรมซึ่งเป็นพื้นที่รับน้ำเสีย (Kennish, 2019) เป็นเส้นทางหลักในการเดินทางทางน้ำ จึงต้องการทางน้ำและมีการขุดลอกเป็นประจำ กิจกรรมเหล่านี้ถูกต้องตามกฎหมายและต้องมีใบอนุญาตในการทำ การให้ประโยชน์ที่หลากหลายทำให้ชะวากทะเลมีผู้ใช้ที่หลากหลาย ทั้งชาวประมง พนักงานโรงงาน ลูกเรือขนส่ง นักเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และชาวสวนชาวไร่ นอกจากนี้ยังมีสิ่งมีชีวิตอื่นที่อาศัยอยู่ในชะวากทะเล เช่น นกและปลาที่มีการอพยพตามฤดูกาล (McLusky & Elliott, 2004; Wolanski & McLusky, 2011)

ปัญหาของภูมิภาคชะวากทะเลข้างต้น เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของจำนวนประชากรและโครงสร้างพื้นฐานที่มนุษย์สร้างขึ้น ดังนั้น เพื่อค้นหาแนวทางการแก้ไขปัญหาและนำไปสู่คุณภาพชีวิตที่ดีของผู้อยู่อาศัย จึงเริ่มจากการทำความเข้าใจภูมิภาคชะวากทะเล โดยงานวิจัยนี้ใช้วิธีการจำแนกภูมิภาค ซึ่งเป็นพื้นฐานในการวิจัยและการวิเคราะห์ เพื่อค้นหาแนวทางการจัดการภูมิภาค เนื่องจากวิธีการจำแนกภูมิภาคเป็นการสร้างกรอบอ้างอิงเพื่อการสื่อสารและสามารถนำไปสู่ความเข้าใจภูมิภาค (Brabyn, 2009) โดยใช้ทฤษฎีการรับรู้ระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) เป็นเครื่องมือเพื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้าง พลวัต และการใช้งานพื้นที่ของมนุษย์ และสังเคราะห์แนวทางการจำแนกภูมิภาคชะวากทะเลโดยประยุกต์ใช้ในบริบทประเทศไทย ซึ่งเป็นภูมิภาคเขตร้อน และผลการวิจัยสามารถใช้อ้างอิงเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการวางแผนเพื่อศึกษาพื้นที่ชะวากทะเลต่อไป

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างความเข้าใจพื้นฐานของภูมิภาคชะวากทะเล โดยอธิบายจากทฤษฎีภูมิภาค จำแนกเป็นโครงสร้างภูมิภาค
2. เพื่อเป็นแนวทางการจำแนกภูมิภาคชะวากทะเลซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีเงื่อนไขแตกต่างจากภูมิภาคประเภทอื่น และนำไปสู่การวางแผนการจัดการภูมิภาคชะวากทะเลต่อไป

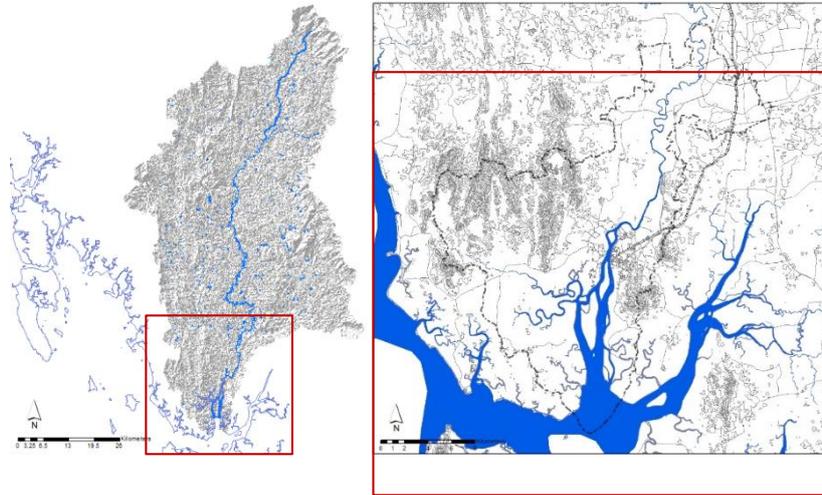
## คำถามการวิจัย

1. ภูมิภาคชะวากทะเลสามารถจำแนกได้อย่างไรบ้าง
2. การจำแนกภูมิภาคชะวากทะเลแม่น้ำตรงสัมพันธ์กับการใช้งานพื้นที่ของมนุษย์อย่างไร

## ขอบเขตการวิจัย

พื้นที่ศึกษาชะวากทะเลแม่น้ำตรง เป็นพื้นที่พืดพาและสะสมตะกอนของกลุ่มแม่น้ำตรง ชะวากทะเล (estuary) มาจากภาษาละติน aestuarium ซึ่งหมายถึง ส่วนที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงในแม่น้ำ (Wolanski & McLusky, 2011) โดยสมัยใหม่มักนิยมใช้ชะวากทะเล หมายถึง ส่วนล่างของแม่น้ำที่เกิดปฏิสัมพันธ์จากระบบการของแม่น้ำและทะเล โดยผู้เขียนบางท่าน จะจำกัดขอบเขตชะวากทะเลโดยการรูล้ำของความเค็ม (Fairbridge, 1980; Pritchard, 1967) และบางท่านจำกัดขอบเขตโดยอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง ดังนั้นด้วยข้อจำกัดทางข้อมูลในพื้นที่ชะวากทะเลแม่น้ำตรง จึงได้ทำการจำกัดขอบเขตโดยใช้พื้นที่ป่าชายเลนเป็นตัวบ่งชี้ถึงขอบเขตชะวากทะเล เนื่องจากป่าชายเลนเป็นสังคมพืชพันธุ์ที่บ่งบอกถึงลักษณะความเค็มและการเกิดน้ำขึ้นน้ำลงอย่างสม่ำเสมอ (Day Jr et al., 1989) ประกอบกับขอบเขตลุ่มน้ำย่อยจากการวิเคราะห์ทางอุทกวิทยาด้วยข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (FABDEM) และการใช้งานพื้นที่อย่างหนาแน่นบริเวณเทศบาลเมืองกันตัง และบริเวณ

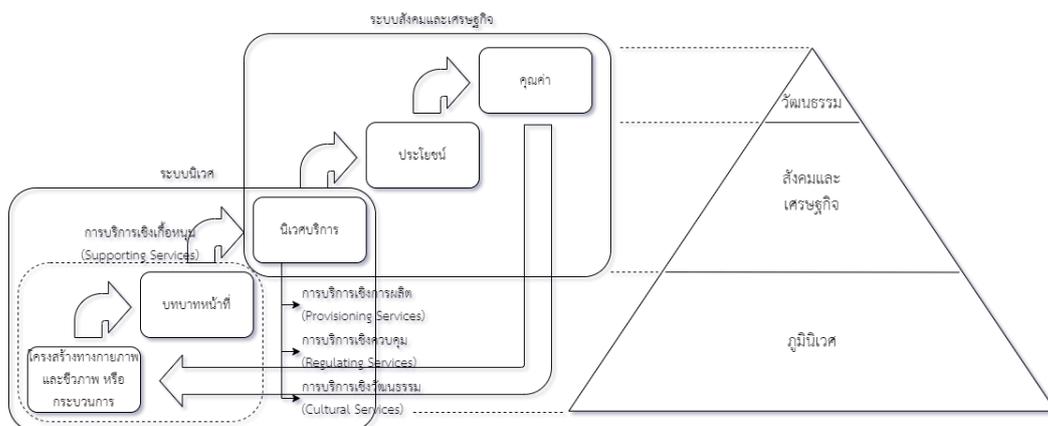
เมืองตรัง โดยงานวิจัยนี้ได้สืบค้นจากข้อมูลเก่าสุดที่สามารถอ้างอิงได้ คือ แผนที่ L708 ปี ค.ศ. 1963 และข้อมูลใหม่สุดที่สามารถอ้างอิงกับข้อมูลชุดอื่นได้ คือ ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 8 ปี ค.ศ. 2018 ซึ่งตรงกับปีรวบรวมข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (FABDEM) และแผนที่ L7018 ปี ค.ศ. 2009 (หรือ ปี ค.ศ. 1997 ตามข้อจำกัดทางข้อมูล)



ภาพ 1 แสดงขอบเขตการวิจัย พื้นที่ศึกษากลุ่มแม่น้ำตรัง และชะวากทะเลแม่น้ำตรัง  
ที่มา: ดัดแปลงจาก FABDEM (Hawker et al., 2022)

### กรอบแนวคิดในการวิจัย

ภูมินิเวศเป็นกรอบแนวคิดในการทำความเข้าใจชะวากทะเล เนื่องจากเป็นทฤษฎีซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ของระบบนิเวศในเชิงพื้นที่แบบองค์รวม (Naveh & Lieberman, 1990) สามารถอธิบายพื้นฐานของระบบ (Zonneveld, 1982) เป็นโครงสร้าง บทบาทหน้าที่ และการเปลี่ยนแปลง (Forman & Godron, 1986) ระบบภูมินิเวศเป็นวงจรไม่รู้จบ กล่าวคือ บทบาทหน้าที่ในอดีตจะสร้างโครงสร้างในปัจจุบัน โครงสร้างปัจจุบันจะสร้างบทบาทหน้าที่ในปัจจุบัน และบทบาทหน้าที่ในปัจจุบันจะสร้างโครงสร้างในอนาคต (Forman & Godron, 1986) และมีเครื่องมือปฏิบัติในการแจกแจงและวิเคราะห์อย่างชัดเจน (Turner & Gardner, 2015) โดยประกอบด้วยทฤษฎีนิเวศบริการ (Corvalán & Hales, 2005) ซึ่งแบ่งเป็น การบริการเชิงการผลิต (provisioning services) การบริการเชิงควบคุม (regulating services) การบริการเชิงวัฒนธรรม (cultural services) และการบริการเชิงเกื้อหนุน (supporting services) และระบบการจำแนกนิเวศบริการ (Haines-Young & Potschin, 2012) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์กับการใช้งานพื้นที่ของมนุษย์



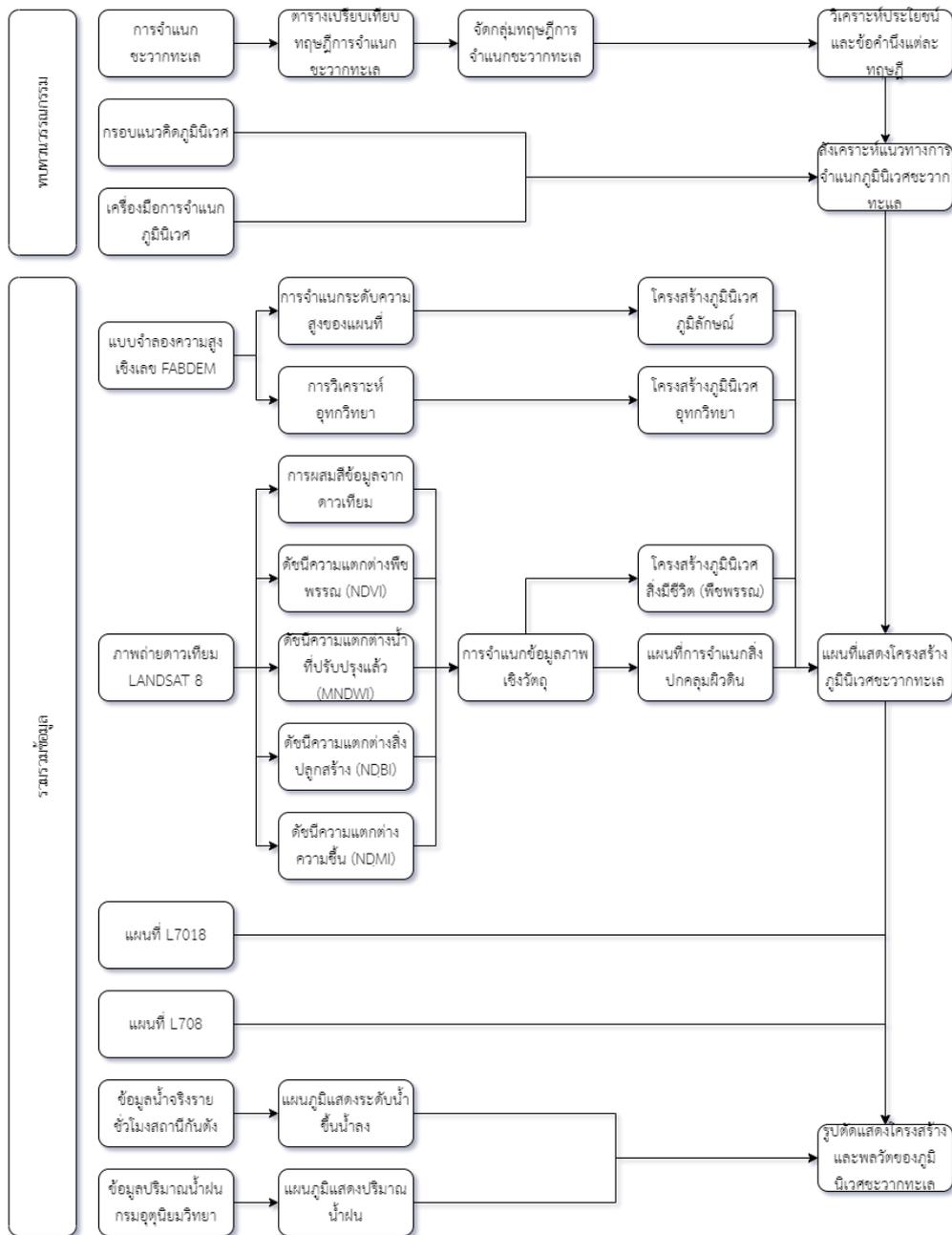
ภาพ 2 แสดงกรอบแนวคิดการวิจัย

ที่มา: ดัดแปลงจาก CICES (Haines-Young & Potschin, 2012) และ (วรเมธ ศรีวนาลักษณ์ และ ดนัย ทายตะคุ, 2019)

### ระเบียบวิธีวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัยในการสร้างความเข้าใจพื้นฐานของภูมิเนเวศ และการจำแนกภูมิเนเวศชะวาททะเล วิธีการวิจัยจึงแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยมีรายละเอียดวิธีการดังแผนภาพต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์และเปรียบเทียบทฤษฎีการจำแนกภูมิเนเวศชะวาททะเล และสังเคราะห์แนวทางการจำแนกชะวาททะเลเพื่อประยุกต์ใช้กับชะวาททะเลแม่น้ำตรัง
2. การวิเคราะห์และจำแนกภูมิเนเวศชะวาททะเลแม่น้ำตรังซึ่งสัมพันธ์กับการใช้งานพื้นที่ของมนุษย์ โดยใช้เครื่องมือการรับรู้ระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) ในการจัดการข้อมูล และจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินด้วยการจำแนกข้อมูลภาพเชิงวัตถุ (object-based image analysis) ด้วยโปรแกรม eCognition และเปรียบเทียบการใช้งานพื้นที่ของมนุษย์กับภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 8 ปี ค.ศ. 2018 แผนที่ L7018 ปี ค.ศ. 2009 (หรือ ปี ค.ศ. 1997 ตามข้อจำกัดทางข้อมูล) และแผนที่ L708 ปี ค.ศ. 1963



ภาพ 3 แผนภาพแสดงระเบียบวิธีวิจัย

## การจำแนกภูมินิเวศชะวากทะเล

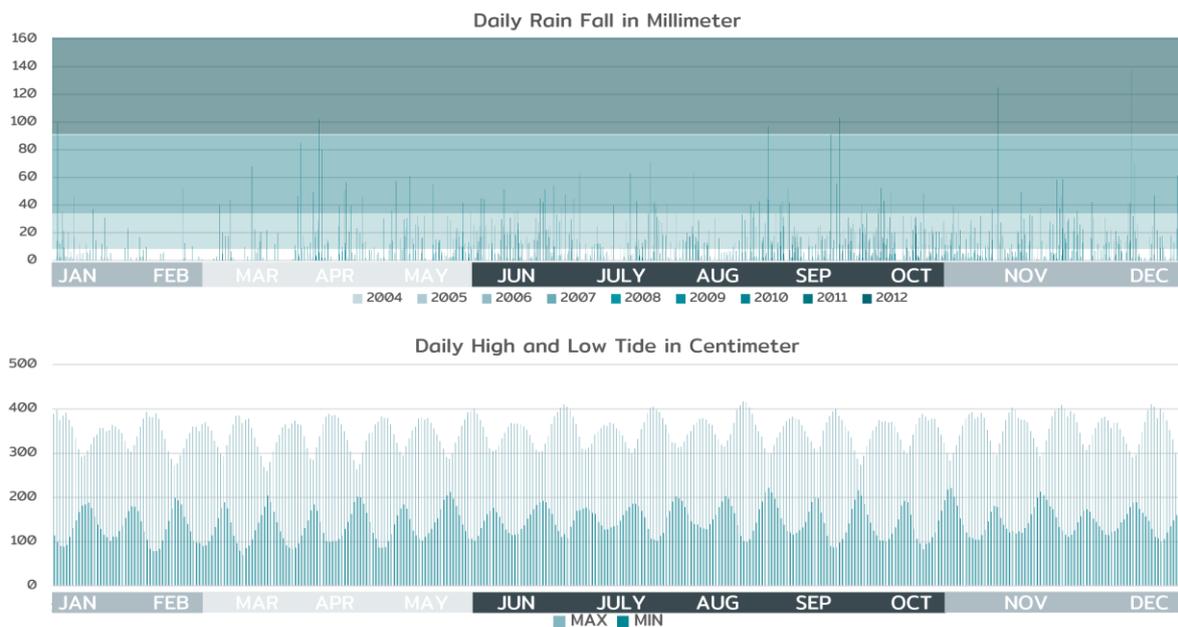
ชะวากทะเล เป็นภูมินิเวศซึ่งประกอบด้วยปัจจัยทางกายภาพ ปัจจัยทางชีวภาพ และมนุษย์ (Zonneveld, 1995) การจำแนกชะวากทะเลแรกเริ่มจะจำแนกโดยลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทางธรณีสัณฐาน (geomorphology) (Pritchard, 1967) ลักษณะทางภูมิศาสตร์ (physiography) (Fairbridge, 1980) ลักษณะทางอุทกพลวัต การหมุนเวียนน้ำ (Pritchard, 1967) การผสมและแบ่งชั้นของน้ำจืดและน้ำเค็ม (Stommel & Farmer, 1952) และความสัมพันธ์ของการหมุนเวียนกับการแบ่งชั้นของน้ำจืดและน้ำเค็ม (stratification) (Hansen & Rattray Jr, 1966) ความเค็ม (IUBS, 1959) น้ำขึ้นน้ำลง การสะสมของตะกอน และการไหลของพลังงานในระบบนิเวศ (Odum & Copeland, 1974) วิธีการจำแนกอันหลากหลายของชะวากทะเล ทำให้เห็นถึงความซับซ้อนของโครงสร้างภูมินิเวศชะวากทะเล กล่าวคือ รูปแบบและกระบวนการที่เกิดขึ้นในชะวากทะเล

## ชะวากทะเลแม่น้ำตราง

ชะวากทะเลแม่น้ำตราง เป็นชะวากทะเลซึ่งมีคุณค่าสำคัญทางนิเวศวิทยา โดยขึ้นทะเบียนเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับนานาชาติ (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2542) และมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกับมนุษย์จากการใช้เป็นเส้นทางคมนาคม รวมถึงมีการตั้งชุมชนริมฝั่งแม่น้ำและได้อาศัยแม่น้ำเป็นเส้นทางในการทำการค้า (คณะกรรมการฝ่ายประมวลเอกสารและจดหมายเหตุในคณะกรรมการอำนวยการจัดงานเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว, 2544)

ภูมินิเวศชะวากทะเลเกิดจากอุทกพลวัต (hydrodynamic) เป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมกระบวนการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางธรณีสัณฐาน ทางชีวภาพ และทางเคมี (Day Jr et al., 1989) อุทกพลวัตของชะวากทะเลประกอบด้วย น้ำฝน น้ำทะเล และคลื่นลม (McLusky, 1989)

นิเวศบริการของชะวากทะเล เป็นแหล่งวัตถุดิบและอาหาร (provisioning services) แนวป้องกันชายฝั่งทะเล ป้องกันการกัดเซาะ บำบัดน้ำ ทำให้น้ำสะอาด (regulating services) การประมง การท่องเที่ยว นันทนาการ การศึกษา และการวิจัย (cultural services) (Barbier et al., 2011) ด้วยความอุดมสมบูรณ์เหล่านี้ ทำให้มนุษย์ใช้งานพื้นที่และเปลี่ยนแปลงของชะวากทะเลแม่น้ำตราง โดยการสร้างท่าเรือ การขุดลอก การปลูกยางพารา เป็นต้น



ภาพ 4 แผนภูมิแสดงอุทกพลวัต ปริมาณน้ำฝน และระดับน้ำขึ้นน้ำลง  
ที่มา: ดัดแปลงจากกรมอุตุนิยมวิทยา (2555) และ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ (2561)

## ผลการวิจัย

### 1. การวิเคราะห์และเปรียบเทียบทฤษฎีการจำแนกภูมิเนเวศชะวาททะเล

การจำแนกชะวาททะเลเป็นเครื่องมือในการจัดการทรัพยากรชายฝั่งและทะเล เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่ง จำนวนประชากร การเปลี่ยนแปลงและผลกระทบเกิดขึ้นในระบบนิเวศชะวาททะเลทั่วโลก (Kennish, 1986) เพื่อที่จะค้นหาแนวทางการรักษาและจัดการชะวาททะเล จึงจำแนกที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตในชะวาททะเลและสิ่งปกคลุมผิวดิน โดยการซ้อนทับข้อมูลปัจจัยทางกายภาพ ชีวภาพ และมนุษย์ (McHarg, 1992; Ndubisi, 2002) การเปรียบเทียบทฤษฎีการจำแนกภูมิเนเวศชะวาททะเลสามารถจัดกลุ่มเป็น แนวทางการจำแนกโดยโครงสร้างแนวทางการจำแนกโดยกระบวนการ และแนวทางการจำแนกโดยปัญหา ดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงการวิเคราะห์และเปรียบเทียบทฤษฎีการจำแนกภูมิเนเวศชะวาททะเล (Anderson, 1976; Burgess et al., 2004; Cowardin, 1979; Hume et al., 2007; Kutcher, Garfield, & Walker, 2008)

ปี ค.ศ.	ชื่อ	เป้าหมาย	โครงสร้าง	ต้นกำเนิด	ประโยชน์	ข้อคำนึง	การจัดกลุ่ม
1979	Cowardin et al.	อธิบายถิ่นที่อยู่อาศัยทางนิเวศ	ลำดับชั้น	The U.S. Fish and Wildlife Service	เป็นแนวคิดพื้นฐานในการจำแนก และนำไปสู่การจำแนกรูปแบบอื่น	1) ต้องมีการเก็บข้อมูลโดยผู้เชี่ยวชาญ 2) ต้องพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับพื้นที่และวัตถุประสงค์	จำแนกโดยโครงสร้าง
1976	Anderson et al.	จำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินโดยเครื่องมือการรับรู้ระยะไกล	ลำดับชั้น	the U.S. Geological Survey (U.S.G.S.)	เป็นแนวคิดพื้นฐานในการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน และได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย	1) ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเครื่องมือการรับรู้ระยะไกล 2) เป็นแนวทางการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินแบบภาพรวม ไม่เฉพาะเจาะจงพื้นที่	จำแนกโดยโครงสร้าง
2004	Classification Framework for Coastal Systems (Burgess et al., 2004)	วินิจฉัยสาเหตุของการเสื่อมโทรมทางชีวภาพ	หลากหลายตัวแปรและไม่ลำดับชั้น	EPA	สามารถบ่งชี้ปัญหาได้อย่างเฉพาะเจาะจง	1) ต้องการรายละเอียดของข้อมูลทางสถิติมาก 2) ใช้ความเชี่ยวชาญในการเก็บข้อมูลและการจำแนก	จำแนกโดยปัญหา
2007	Estuary Environment Classification (Hume et al., 2007)	เพื่อจำแนกชะวาททะเลในประเทศนิวซีแลนด์	ลำดับชั้น	New Zealand	1) สามารถประยุกต์ใช้ได้หลายระดับพื้นที่ 2) เป็นตัวอย่างที่ดีของการจำแนกความหลากหลายชะวาททะเล	1) ต้องการข้อมูลหลายระดับพื้นที่ 2) ความซับซ้อนในการจำแนกเนื่องจากใช้กระบวนการ	จำแนกโดยกระบวนการ
2008	Kutcher et al.	สร้างมาตรฐานถิ่นที่อยู่อาศัยเพื่อการเก็บข้อมูลและทำแผนที่พื้นที่ชายฝั่ง	ลำดับชั้นและไม่ลำดับชั้น	NERRS, Coastal Zone Management Act, US	1) ผสมผสานระบบการจำแนกที่ได้รับการยอมรับของ Cowardin (1979) และ Anderson (1976) 2) ระบบในการเก็บข้อมูลสามารถใช้ได้จริง	1) ระบบทั้งสองแยกกันอย่างชัดเจน 2) ในการเก็บข้อมูลต้องใช้ความเชี่ยวชาญมาก	จำแนกโดยโครงสร้าง

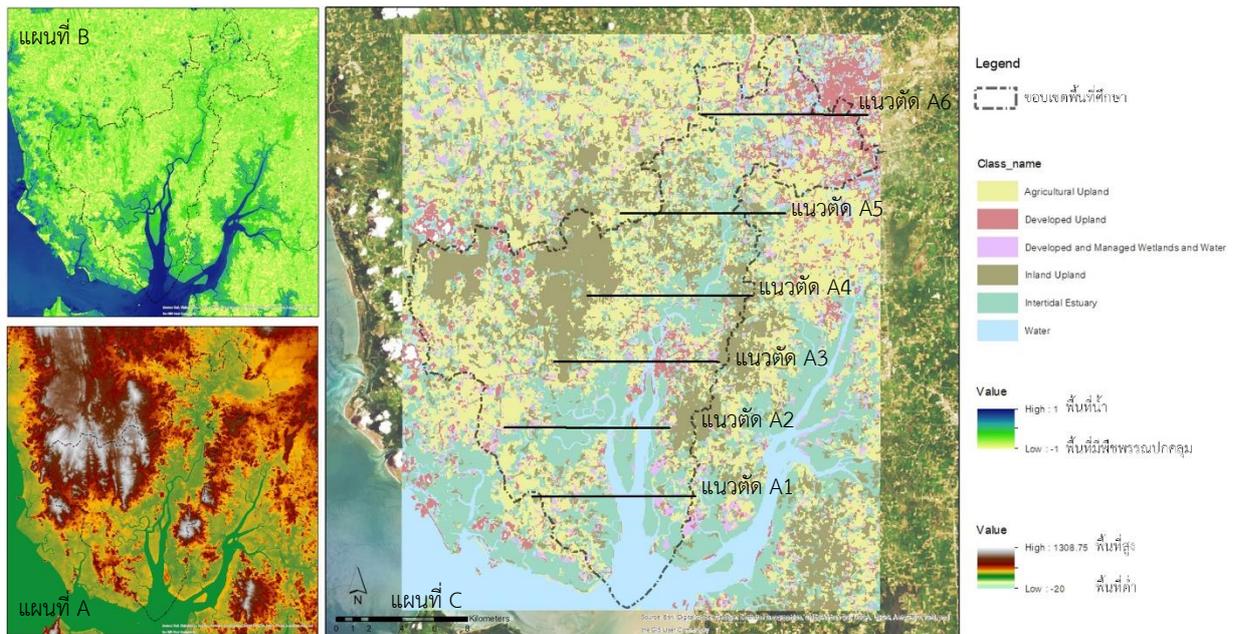
วิธีการจำแนกแต่ละแบบเพื่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน โดยงานวิจัยนี้จำแนกโดยกรอบแนวคิดภูมิเนเวศเป็นพื้นฐานเพื่อนำไปสู่การวางแผนการจัดการภูมิเนเวศชะวาททะเล จึงใช้แนวทางการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินและที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตในชะวาททะเล โดย NERRS (Kutcher, Garfield, & Walker, 2008) และมีการปรับเปลี่ยนรายละเอียดเพื่อให้เข้ากับบริบทประเทศไทย ซึ่งมีภูมิอากาศเขตร้อนจะมีข้อคำนึงถึงเพิ่มเติม ดังนี้



3. การวิเคราะห์และจำแนกโครงสร้างและพลวัตของภูมินิเวศชะวากทะเลแม่น้ำตรัง

ภูมินิเวศชะวากทะเลแม่น้ำตรังสามารถจำแนกโดยใช้องค์ประกอบทางภูมิลักษณะ อุทกวิทยา สิ่งมีชีวิต (พืชพันธุ์) และองค์ประกอบทางสังคมและวัฒนธรรม โดยภาพ 6 แผนที่ A แสดงองค์ประกอบทางภูมิลักษณะจากระดับความสูง สีขาวสูงมาก และสีเขียวเป็นพื้นที่ต่ำ ภาพ 6 แผนที่ B แสดงองค์ประกอบทางอุทกวิทยา และสิ่งมีชีวิตพืชพันธุ์ โดยสีน้ำเงินเข้มเป็นพื้นที่น้ำสีเขียวเข้มเป็นพื้นที่พืชพันธุ์ หนาแน่นและมีความชันสูง และสีเหลืองอ่อนเป็นพื้นที่พืชพันธุ์เดี่ยวความหนาแน่นต่ำ ใช้การซ้อนทับแผนที่ประกอบกับวิธีการจำแนกระดับความสูงของแผนที่ การผสมสีข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม และดัชนีความแตกต่างของพืชพันธุ์ (NDVI) ดัชนีความแตกต่างน้ำที่ปรับปรุงแล้ว (MNDWI) ดัชนีความแตกต่างสิ่งก่อสร้าง (NDBI) ดัชนีความแตกต่างความชื้น (NDMI) มาช่วยในการจำแนกข้อมูลภาพเชิงวัตถุเป็นภาพ 6 แผนที่ C แสดงภูมินิเวศชะวากทะเลแม่น้ำตรังซึ่งสามารถจำแนกเป็น 3 โครงสร้าง ได้แก่ CLC EH และ UH โดยโครงสร้าง CLC จะตั้งอยู่บนภูมิลักษณะที่สูงเหนือพื้นที่เกิดอุทกพลวัต และมีภูมิลักษณะเป็นกลุ่ม โครงสร้าง EH จะตั้งอยู่บนภูมิลักษณะที่ต่ำเป็นพื้นที่เกิดอุทกพลวัตสูง และโครงสร้าง UH จะตั้งอยู่บนภูมิลักษณะที่สูง อยู่เหนือพื้นที่เกิดอุทกพลวัต และมีความชันมาก

เนื่องจากข้อจำกัดทางข้อมูลของชะวากทะเลแม่น้ำตรัง งานวิจัยนี้จะไม่ลงรายละเอียดชนิดพืชพันธุ์ และสิ่งมีชีวิต แต่ใช้ลักษณะสังคมพืชในการจำแนกภูมินิเวศชะวากทะเล โดยการจำแนกโครงสร้างย่อยของภูมินิเวศชะวากทะเลแม่น้ำตรังทำได้ 5 โครงสร้าง ได้แก่ 1) พื้นที่พัฒนา (เมือง) 2) พื้นที่เกษตรกรรม 3) แหล่งน้ำที่มีการจัดการและพัฒนา 4) พื้นที่น้ำขึ้นน้ำลง และ 5) พื้นที่สูงในแผ่นดิน โดยขาดข้อมูลพื้นที่ต่ำกว่าระดับน้ำขึ้นน้ำลง และพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำขึ้นน้ำลง โครงสร้างย่อยทำให้เห็นรายละเอียดของภูมินิเวศชะวากทะเลแม่น้ำตรัง การเรียงตัวของโครงสร้างภูมินิเวศชะวากทะเลแสดงถึงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นขององค์ประกอบทางภูมินิเวศชะวากทะเลแบบซ้อนทับ (layer-cake model) (McHarg, 1992; Ndubisi, 2002) ซึ่งโครงสร้างภูมินิเวศชะวากทะเลเหล่านี้ แสดงให้เห็นถึงลักษณะเฉพาะและถิ่นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตในชะวากทะเล ทำให้เข้าใจถึงนิเวศบริการ (Corvalán & Hales, 2005) ของภูมินิเวศชะวากทะเล (Barbier et al., 2011) ซึ่งเป็นสิ่งบ่งบอกความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ และนำไปสู่การตั้งถิ่นฐานของมนุษย์ (Norton, 2006) ดังนั้นหากความสัมพันธ์ของโครงสร้างเสียไป นิเวศบริการก็จะเสียไปด้วย เพื่อวิเคราะห์และแสดงความสัมพันธ์ของโครงสร้างภูมินิเวศชะวากทะเลกับการใช้งานพื้นที่ของมนุษย์ จึงเลือกแนวตัดจากลักษณะโครงสร้างของภูมินิเวศชะวากทะเล คือ ระยะห่างจากทะเล ลักษณะภูมิประเทศ และความหนาแน่นของการใช้งานพื้นที่ เพื่อแสดงรูปแบบและเงื่อนไขการใช้งานพื้นที่ที่แตกต่างกัน



ภาพ 6 แสดงโครงสร้างภูมินิเวศชะวากทะเลแม่น้ำตรัง

ที่มา: FABDEM (Hawker et al., 2022) และ LANDSAT 8 (USGS, 2021)

4. การวิเคราะห์และเปรียบเทียบโครงสร้างและพลวัตของชะวากทะเลแม่น้ำตรังกับการใช้งานพื้นที่ของมนุษย์

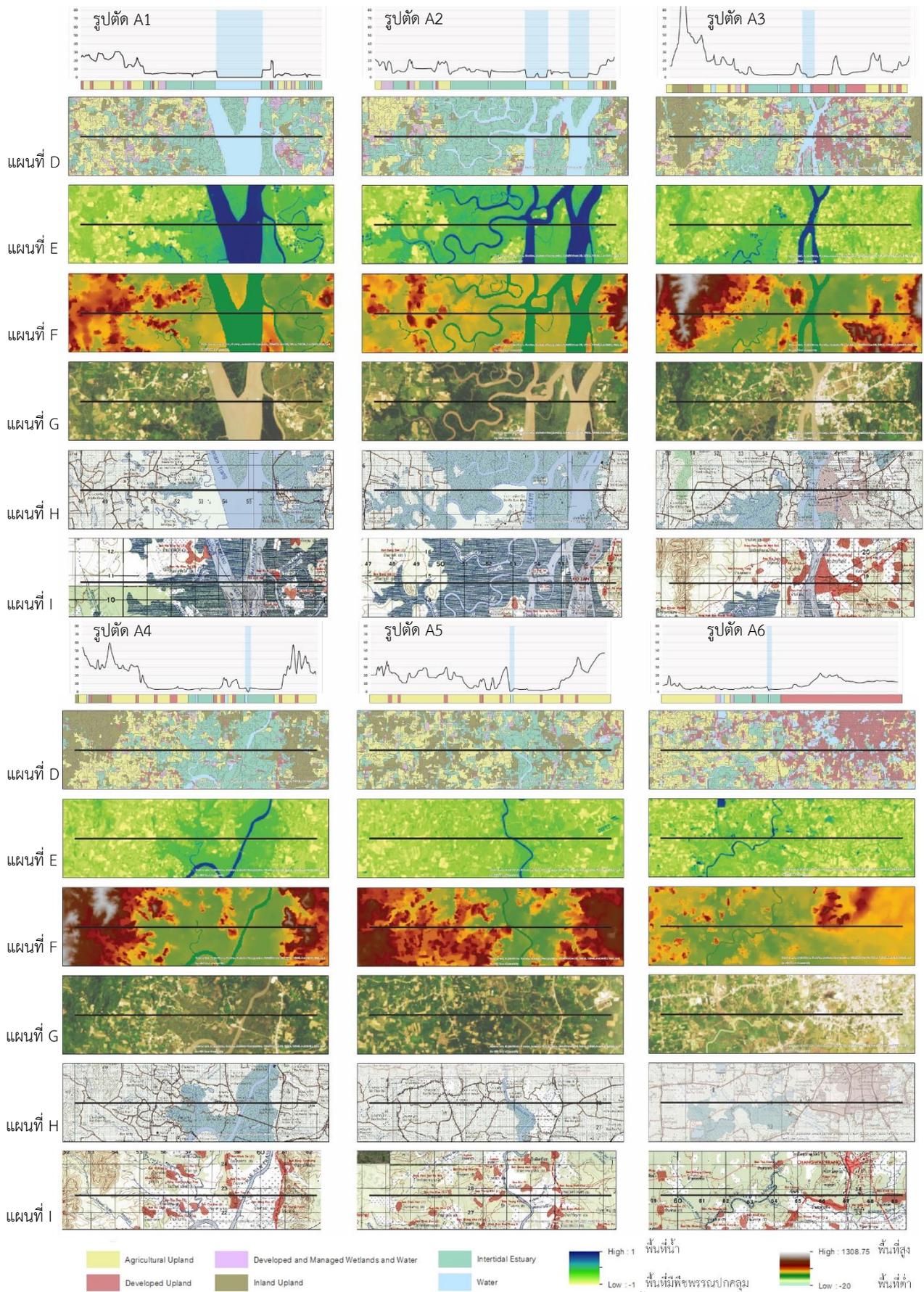
แนวตัด A1-6 เลือกจากลักษณะโครงสร้างของภูมิเนเวศชะวากทะเลที่สามารถบ่งบอกความสัมพันธ์ต่อการใช้งานพื้นที่ของมนุษย์ คือ 1) ระยะห่างจากทะเล จะบ่งบอกถึงตำแหน่งที่ตั้งและการเข้าถึงการใช้งานของมนุษย์ 2) ลักษณะภูมิประเทศ จะบ่งบอกถึงความสูงต่ำของพื้นที่และเงื่อนไขการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์ และ 3) ความหนาแน่นของการใช้งานพื้นที่ ความเป็นเมืองของเทศบาลเมืองกันตังและเมืองตรัง โดยเปรียบเทียบแผนที่และรูปตัดตัดภาพ 7 ประกอบด้วยโครงสร้างภูมิเนเวศทางสังคมและวัฒนธรรม (แผนที่ D) อุทกวิทยา (แผนที่ E) และภูมิลักษณะ (แผนที่ F) กับภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ปี ค.ศ. 2018 (แผนที่ G) แผนที่การใช้งานพื้นที่ของมนุษย์ L7018 ปี ค.ศ. 2009 และปี ค.ศ. 1997 ตามข้อจำกัดของข้อมูล (แผนที่ H) และแผนที่ L708 ปี ค.ศ. 1963 (แผนที่ I) โดยตัดจากฝั่งทะเลไปสู่แม่น้ำ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มแรกรูปตัด A1-A3 แสดงการตั้งถิ่นฐานของเมืองกันตัง และกลุ่มสองรูปตัด A4-A6 แสดงการตั้งถิ่นฐานของเมืองตรัง

รูปตัด A1 ส่วนปากแม่น้ำ จะเห็นว่าโครงสร้างภูมิเนเวศชะวากทะเลส่วนนี้ แม่น้ำขนาดกว้าง และพื้นที่เกิดน้ำขึ้นน้ำลงแผ่ขยายใหญ่ เป็นพื้นที่ป่าชายเลนหนาแน่น และถัดออกไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรมและหมู่บ้าน รูปตัด A2 ลึกลงจากปากแม่น้ำ เป็นส่วนชะวากทะเลที่แม่น้ำแตกเป็นสองสาย มีเกาะแก่งและแม่น้ำสายย่อยในพื้นที่เกิดน้ำขึ้นน้ำลง เป็นพื้นที่ชะวากทะเลแผ่ขยายกว้างที่สุด และเนื่องจากพื้นที่เกิดน้ำขึ้นน้ำลงเป็นพลวัตอย่างสม่ำเสมอจึงไม่สามารถอยู่อาศัยได้ รูปตัด A3 ตัดผ่านเมืองกันตัง โดยตัวเมืองตั้งติดกับแม่น้ำและอยู่ในพื้นที่ซึ่งอาจเกิดน้ำขึ้นน้ำลงเดิม แต่ด้วยการสร้างท่าเรือและเขื่อนกั้นน้ำทำให้พื้นที่เปลี่ยนแปลงไป จากระยะการเข้าถึงและเป็นช่วงที่แม่น้ำแผ่ขยายน้อยเนื่องจากมีภูเขา (ควน) มากัน จึงทำให้สามารถสร้างเมืองได้ แต่ด้วยพลวัตของชะวากทะเลทำให้เมืองไม่สามารถขยายได้มากนัก

รูปตัด A4 เป็นส่วนที่แม่น้ำเหลือเพียงสายหลักสายเดียว แต่ยังมีแผ่ขยายของพื้นที่เกิดน้ำขึ้นน้ำลงเป็นบริเวณกว้าง โดยถูกกั้นขอบเขตจากภูเขาสูง พื้นที่เชิงเขาก่อนถึงพื้นที่เกิดน้ำขึ้นน้ำลงจึงใช้ในการเกษตรกรรมและหมู่บ้าน รูปตัด A5 เป็นส่วนที่แม่น้ำตรังแผ่ขยายน้อยและความกว้างแม่น้ำไม่มาก พื้นที่โดยรอบใช้งานเป็นเกษตรกรรมและหมู่บ้าน รูปตัด A6 เป็นส่วนที่ห่างจากทะเลที่สุดที่คาดว่าได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงของชะวากทะเลจากการใช้ป่าชายเลนเป็นตัวบังชี และอยู่ใกล้เมืองตรัง โดยเมืองตรังตั้งอยู่บนพื้นที่สูง เมืองขยายตัวมาก และพื้นที่เกิดน้ำขึ้นน้ำลงแผ่ขยายน้อยรวมถึงมีการเปลี่ยนแปลงตลิ่งแม่น้ำ ป่าชายเลนบริเวณพื้นที่จึงเหลือน้อยจากการเปลี่ยนแปลงการใช้งานพื้นที่ของมนุษย์ พื้นที่โดยรอบใช้เป็นเกษตรกรรมเป็นหลัก เนื่องจากเป็นพื้นที่ลุ่มบริเวณกว้าง

ชุดรูปตัดแสดงให้เห็นถึงลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกันของชะวากทะเล โดยส่งผลต่อลักษณะการใช้งานพื้นที่ของมนุษย์ จากรูปตัดทั้ง 2 กลุ่ม ซึ่งแสดงการตั้งถิ่นฐานของเมืองกันตังและเมืองตรัง ทำให้เห็นถึงเงื่อนไขการเลือกที่ตั้งเมืองซึ่งให้ความสำคัญกับตำแหน่ง การเข้าถึง และสภาพภูมิประเทศ (เกียรติ จิวะกุล, 2556) โดยตำแหน่งการเข้าถึง ยิ่งใกล้ทะเล ยิ่งมีข้อจำกัดมาก เนื่องจากอุทกพลวัตของชะวากทะเล เมืองกันตังในกลุ่มแรกจะเป็นเมืองท่า เคยเป็นเมืองหลวงจังหวัดตรังในอดีต (คณะกรรมการฝ่ายประมวลเอกสารและจดหมายเหตุในคณะกรรมการอำนวยการจัดงานเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว, 2544) แต่ไม่สามารถขยายเมืองได้ ในทางตรงข้าม เมืองตรังในกลุ่มสองตั้งอยู่บนพื้นที่สูง ทำให้เมืองขยายตัวได้มากกว่า และพัฒนาพื้นที่ได้อย่างเต็มที่ โครงสร้างปากแม่น้ำชะวากทะเลเป็นพื้นที่เกิดพลวัตสูง ทำให้ยากต่อการใช้งานพื้นที่ของมนุษย์จึงมีการใช้งานพื้นที่น้อย แต่พื้นที่เหนือจากขอบเขตการเกิดน้ำขึ้นน้ำลงจะมีลักษณะเป็นพื้นที่ลุ่มจึงมีการใช้งานเป็นเกษตรกรรมและหมู่บ้าน และสุดท้ายพื้นที่ภูเขาสูงจะเป็นป่า นอกจากนี้หมู่บ้านที่อยู่อาศัยแต่ละพื้นที่จะแตกต่างกันตามแหล่งทรัพยากรที่ใกล้หมู่บ้าน เช่น ดินทะเลจะเป็นหมู่บ้านชาวประมง ดินป่าจากจะเป็นหมู่บ้านที่ทำเครื่องสาน โครงสร้างชะวากทะเลจึงส่งผลต่อการใช้งานมนุษย์ทั้งในแง่การตั้งถิ่นฐาน และในแง่สังคมและวัฒนธรรม

อุทกพลวัต เป็นลักษณะเด่นของภูมิเนเวศชะวากทะเล มีทั้งประโยชน์ที่ดึงดูดให้มนุษย์อยู่อาศัย ตั้งถิ่นฐานเป็นเมืองซึ่งเรียกว่า นิเวศบริการ (Corvalán & Hales, 2005) และข้อจำกัดที่ส่งผลต่อการใช้งานพื้นที่ของมนุษย์ การทำความเข้าใจเงื่อนไขของโครงสร้างภูมิเนเวศเหล่านี้ เป็นพื้นฐานความเข้าใจและนำไปสู่การวางแผนการจัดการภูมิเนเวศชะวากทะเลต่อไป



ภาพ 7 แสดงรูปตัดโครงสร้างภูมิเวศชวากทะเลแม่น้ำตริง

ที่มา: ดัดแปลงจาก FABDEM (Hawker et al., 2022), LANDSAT 8 (USGS, 2021), กรมแผนที่ทหาร (2506, 2552)

## การอภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์สามารถตอบคำถามการวิจัยได้ ดังนี้

1. ภูมินิเวศชะวากทะเลสามารถจำแนกได้หลายวิธี โดยแต่เดิมจะจำแนกตามลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะทางธรณีสัณฐาน (geomorphology) (Pritchard, 1967) ลักษณะทางภูมิศาสตร์ (physiography) (Fairbridge, 1980) ลักษณะทางอุทกพลวัต การหมุนเวียนน้ำ (Pritchard, 1967) การผสมและแบ่งชั้นของน้ำจืดและน้ำเค็ม (Stommel & Farmer, 1952) และความสัมพันธ์ของการหมุนเวียนกับการแบ่งชั้นของน้ำจืดและน้ำเค็ม (stratification) (Hansen & Rattray Jr, 1966) ความเค็ม (IUBS, 1959) น้ำขึ้นน้ำลง การสะสมของตะกอน และการไหลของพลังงานในระบบนิเวศ (Odum & Copeland, 1974)

ต่อมามีการพัฒนาโดยใช้ข้อมูลหลายองค์ประกอบในการจำแนก โดยแตกต่างตามวัตถุประสงค์การวิจัย เลือกให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการวิจัย ในงานวิจัยนี้ได้สรุปเป็นตาราง 1 และวิเคราะห์ประโยชน์และข้อค้ำนึ่งของแต่ละวิธีการจำแนกชะวากทะเล รวมถึงแนวทางการประยุกต์ใช้กับภูมินิเวศชะวากทะเลแม่น้ำตรัง โดยภูมิอากาศเขตร้อนจะมีข้อค้ำนึ่งถึงเพิ่มเติม ดังนี้

- 1.1. พลวัตและฤดูกาล หรือ อุทกพลวัต ส่งผลต่อความเค็มและความอุดมสมบูรณ์ทางนิเวศวิทยา ทำให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพของชะวากทะเล (Day Jr et al., 1989; McLusky, 1989; Wolanski & McLusky, 2011)
- 1.2. ป่าไม้และรายละเอียดชนิดพืชพันธุ์ (Hoanh et al., 2010)
- 1.3. ความหลากหลายและพันธุ์สิ่งมีชีวิต เช่น กุ้ง หอย ปู ปลา (Hoanh et al., 2010)

2. การจำแนกภูมินิเวศชะวากทะเลแม่น้ำตรัง สามารถจำแนกเป็น 3 โครงสร้างหลัก ได้แก่ สิ่งปกคลุมผิวดินเชิงวัฒนธรรม (Cultural Land Cover: CLC) ถิ่นที่อยู่ชะวากทะเล (Estuarine Habitats: EH) และถิ่นที่อยู่พื้นที่สูง (Upland Habitats: UH) จะเห็นได้ว่าการจำแนกโครงสร้างเหล่านี้มีเงื่อนไขที่สำคัญของชะวากทะเลคือ อุทกพลวัต (hydrodynamic) (Day Jr et al., 1989) เป็นตัวกำหนดโครงสร้างที่ทำให้เกิดคุณค่าและความหลากหลายของชะวากทะเล และการเรียงตัวของโครงสร้างภูมินิเวศชะวากทะเลทำให้เห็นถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางภูมินิเวศชะวากทะเลแบบซ้อนทับ (layer-cake model) (McHarg, 1992; Ndubisi, 2002) ซึ่งโครงสร้างภูมินิเวศชะวากทะเลเหล่านี้ เป็นลักษณะ เฉพาะและถิ่นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตในชะวากทะเล ทำให้เข้าใจถึงนิเวศบริการ (Corvalán & Hales, 2005) ของภูมินิเวศชะวากทะเล (Barbier et al., 2011) ซึ่งเป็นสิ่งบ่งบอกความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ และนำไปสู่การตั้งถิ่นฐานของมนุษย์ (Norton, 2006) ดังนั้นหากความสัมพันธ์ของโครงสร้างเสียไป นิเวศบริการก็จะเสียไปด้วย

โครงสร้างที่แตกต่างกันของชะวากทะเล ส่งผลต่อลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันของมนุษย์ โดยการตั้งถิ่นฐานของเมืองกันตั้งอยู่ใกล้ทะเล และเป็นเมืองท่า เคยเป็นเมืองหลวงจังหวัดตรังในอดีต (คณะกรรมการฝ่ายประมวลเอกสารและจดหมายเหตุในคณะกรรมการอำนวยการจัดงานเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว, 2544) แต่ไม่สามารถขยายเมืองได้ ในทางตรงข้ามการตั้งถิ่นฐานของเมืองตรัง ตั้งอยู่บนพื้นที่สูง ทำให้เมืองขยายตัวได้มากกว่าและพัฒนาพื้นที่ได้อย่างเต็มที่ แต่ไม่สามารถคมนาคมทางเรือได้ การเลือกที่ตั้งเมืองที่แตกต่างกันของสองเมืองแสดงให้เห็นถึงความสำคัญกับตำแหน่งการเข้าถึง และสภาพภูมิประเทศ (เกียรติ จิวะกุล, 2556) โดยตำแหน่งการเข้าถึง ยิงใกล้ทะเล ยังมีข้อจำกัดมาก เนื่องจากอุทกพลวัตของชะวากทะเล

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยฉบับนี้มีข้อจำกัดด้านข้อมูลทำให้ไม่สามารถจำแนกโครงสร้างภูมินิเวศชะวากทะเลได้ละเอียดมากนัก การจะนำแนวทางการจำแนกภูมินิเวศชะวากทะเลไปใช้ควรมีการเตรียมและเก็บข้อมูลเพื่อสร้างความเข้าใจได้อย่างชัดเจน โดยรายละเอียดในการเก็บข้อมูลและการจำแนกขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการวิจัยและการนำไปประยุกต์ใช้เป็นสำคัญ

## บรรณานุกรม

- กรมแผนที่ทหาร (Cartographer). (2506). *แผนที่มาตราส่วน 1 : 50,000 ชุด L 708*.
- กรมแผนที่ทหาร (Cartographer). (2552). *แผนที่มาตราส่วน 1 : 50,000 ชุด L 7018*.
- กรมอุตุนิยมวิทยา (Thai Meteorological Department). (2555). *ข้อมูลปริมาณน้ำฝน 2547-2555*. กรมอุตุนิยมวิทยา
- กองทัพเรือ (Hydrographic Department, Royal Thai Navy). (2561). *ข้อมูลน้ำจืดรายชั่วโมงสถานีกันตัง ปี 2560-2561*.
- เกียรติ จิวะกุล. (2556). แนวความคิดเกี่ยวกับรูปแบบการพัฒนาเมืองและโครงข่ายในภูมิภาคของไทย. ใน *ความคิด 8 ทศวรรษ สถาปัตยกรรมจุฬาฯ* (น. 446-450). กรุงเทพฯ: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คณะกรรมการฝ่ายประมวลเอกสารและจดหมายเหตุในคณะกรรมการอำนวยการจัดงานเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. (2544). *วัฒนธรรม พัฒนาการทางประวัติศาสตร์ เอกลักษณ์และภูมิปัญญา จังหวัดตรัง*. กรุงเทพฯ: กรมศิลปากร.
- วรมเช ศรีวานาลักษณ์ และ ดนัย ทายตะคุ. (2019). การวิเคราะห์โครงสร้าง และการเปลี่ยนแปลง พื้นที่ดินดอนสามเหลี่ยมแม่น้ำเจ้าพระยา. *Sarasatr*, 2(2), 242-255.
- สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. (2542). *ทะเบียนพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับนานาชาติ และระดับชาติของประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- Anderson, J. R. (1976). *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data* (Vol. 964). Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
- Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169-193.
- Brabyn, L. (2009). Classifying landscape character. *Landscape Research*, 34(3), 299-321.  
<https://doi.org/10.1080/01426390802371202>
- Burgess, R., Chancy, C., Campbell, D., Detenbeck, N., Engle, V., Hill, B., ... Norberg-King, T. (2004). *Classification framework for coastal systems*. Research Triangle Park, NC: U.S. Environmental Protection Agency.
- Corvalán, C. F., & Hales, S. (2005). *Ecosystems and human well-being: Health synthesis: A report of the millennium ecosystem assessment*. Retrieved from <http://ezproxy.car.chula.ac.th/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cot05085a&AN=chu.b1912142&site=eds-live>
- Cowardin, L. M. (1979). *Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States*. Bailey's Crossroads, VA: Fish and Wildlife Service, U.S. Department of the Interior.
- Day Jr, J. W., Hall, C. A., Kemp, W. M., & Yanez-Arancibia, A. (1989). *Estuarine ecology*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Fairbridge, R., & RW, F. (1980). The estuary: Its definition and geodynamic cycle. In Eric Olausson, & Ingemar Cato (Eds.), *Chemistry and biogeochemistry of estuaries* (pp.1-36). Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons.

- Forman, R. T. T., & Godron, M. (1986). *Landscape ecology*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2012). Common international classification of ecosystem services (CICES, Version 4.1). *European Environment Agency*, 33, 107.
- Hansen, D. V., & Rattray Jr, M. (1966). New dimensions in estuary classification. *Limnology and Oceanography*, 11(3), 319-326.
- Hawker, L., Uhe, P., Paulo, L., Sosa, J., Savage, J., Sampson, C., & Neal, J. (2022). A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed. *Environmental Research Letters*, 17(2), 024016.
- Hoanh, C. T., Szuster, B. W., Kam, S. P., Ismail, A. M., & Noble, A. D. (2010). *Tropical deltas and coastal zones: Food production, communities, and environment at the land-water interface*. Wallingford: CABI Publishing.
- Hume, T. M., Snelder, T., Weatherhead, M., & Liefing, R. (2007). A controlling factor approach to estuary classification. *Ocean & Coastal Management*, 50(11-12), 905-929.
- IUBS. (1959). Symposium for the classification of brackish waters, final resolution, the Venice system for the classification of marine waters according to salinity. *Archives for Oceanography and Limnology*, 11, 243-245.
- Kennish, M. J. (1986). *Ecology of estuaries: Volume 1: Physical and chemical aspects*. Raton, FL: CRC Press.
- Kennish, M. J. (2019). *Ecology of estuaries: Anthropogenic effects*. Raton, FL: CRC Press.
- Kutcher, T., Garfield, N., & Walker, S. (2008). *Habitat and land cover classification scheme for the National Estuarine Research Reserve System*. [N.p.]: The National Estuarine Research Reserve System (NERRS).
- McHarg, I. L. (1992). *Design with nature* (25th anniversary ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- McLusky, D. S. (1989). The estuarine environment. In *The estuarine ecosystem* (pp. 1-48). Dordrecht: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-7616-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-011-7616-3_1)
- McLusky, D. S., & Elliott, M. (2004). *The estuarine ecosystem: Ecology, threats and management*. Oxford: Oxford University Press.
- Naveh, Z., & Lieberman, A. S. (1990). *Landscape ecology: Theory and application* (Student edition. ed.). New York: Springer. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4757-4082-0>
- Ndubisi, F. (2002). *Ecological planning: A historical and comparative synthesis*. Charles Village, MD: Johns Hopkins University Press.
- Norton, W. (2006). *Cultural geography: Environments, landscapes, identities, inequalities* (2nd ed.). Oxford: Oxford University Press.
- Odum, H., & Copeland, B. (1974). A functional classification of the coastal systems of the United States. *Coastal Ecological Systems of the United States*, 1, 5-84.
- Pritchard, D. W. (1967). *What is an estuary: Physical viewpoint*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1969.3/24383>

- Stommel, H., & Farmer, H. G. (1952). *On The nature of estuarine circulation, Part I (Chapters 3 and 4)*. doi: 10.1575/1912/2032
- Turner, M. G., & Gardner, R. H. (2015). Introduction to landscape ecology and scale. In *Landscape ecology in theory and practice: Pattern and process* (pp. 1-32). Berlin: Springer.
- USGS. (2021). *Landsat 8 OLI/TIRS C1 level-1 data products* [Landsat data]. Retrieved from <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Wolanski, E., & McLusky, D. S. (2011). *Treatise on estuarine and coastal science*. Cambridge, MA: Academic Press.
- Zonneveld, I. S. (1982). Land(scape) ecology, a science or a state of mind. In S. P. Tjallingil & A. A. de Veer (Eds.), *Perspectives in landscape ecology* (pp. 312-313). Gelderland: Pudoc.
- Zonneveld, I. S. (1995). *Land ecology: An introduction to landscape ecology as a base for land evaluation, land management and conservation*. Amsterdam: SPB Academic.