การสำรวจพรรณไม้ในป่าชายเลนและการประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากดาวเทียม เพื่อการสร้างแผนที่ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำเวฬุ อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี

A Survey of Mangrove Species and the Application of Satellite Remote Sensing Data for Mangrove Mapping at the Welu Estuary, Khlung District, Chanthaburi Province

ณัฐ สุขอึ้ง[1]* อนุกูล บูรณประทีปรัตน์[2] และ วิชญา กันบัว[2]
[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
[2]ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
Nat Suk-ueng[1]* Anukul Buranaprathepprat[2] and Vichaya Gunbua[2]
[1]Biological Science Program, Faculty of Science, Burapha University
[2]Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University

บทคัดย่อ

จากการที่พื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทยถูกบุกรุกเป็นจำนวนมากทำให้ต้องมีการฟื้นฟูป่าชายเลนอย่างเร่งด่วนซึ่งต้องการข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีความถูกต้องสูง จึงเป็นที่มาของการวิจัยในครั้งนี้ที่มีจุดประสงค์เพื่อสำรวจพันธุ์ไม้ป่าชายเลนและประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากดาวเทียมเพื่อผลิตแผนที่กลุ่มพืชพรรณป่าชายเลนเพื่อการอนุรักษ์ พื้นที่ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำเวฬุภายใต้ความดูแลของสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2 อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี ถูกเลือกเป็นพื้นที่ศึกษาเนื่องจากมีความอุดมสมบูรณ์และความหลากหลายทางชีวภาพสูง อย่างไรก็ตามยังมีพื้นที่ป่าชายเลนที่ต้องการการฟื้นฟูเป็นจำนวนมาก พืชพรรณป่าชายเลนที่ได้จากการสำรวจมีทั้งหมด 26 ชนิด และจากการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต พบว่าสามารถจำแนกพืชพรรณป่าชายเลนได้ 4 ชนิด ได้แก่ ไม้โกงกางใบเล็ก ไม้ตาตุ่มทะเล ไม้ฝาดดอกขาว และไม้ฝาดดอกแดง ความถูกต้องรวมของผลการจำแนกข้อมูลมีเพียงร้อยละ 34 เกิดจากการแทรกตัวของไม้โกงกางใบเล็กที่ขึ้นกระจายครอบคลุมพื้นที่ศึกษา การผสมกันของค่าการสะท้อนของไม้โกงกางใบเล็กและไม้ชนิดพันธุ์อื่นเป็นเหตุให้ความถูกต้องของผลการจำแนกมีค่าต่ำ แนวทางการปรับปรุงอาจทำได้โดยการใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่มีหลายช่วงคลื่นพิเศษ (Hyperspectral band) หรือข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่มีหลายช่วงคลื่น (Multispectral band) แต่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ที่สูงกว่าโดยพิจารณาปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยงข้องร่วมด้วย

คำสำคัญ : การสำรวจระยะไกล ดาวเทียมไทยโชต การจำแนกพืชพรรณป่าชายเลน จังหวัดจันทบุรี

***Corresponding author.** E-mail: nsukung@gmail.com

Abstract

Mangrove forests in Thailand were seriously encroached for human uses, resulting in rapid mangrove area deterioration. This requires urgent rehabilitation and high accurate spatial data to support. The objective of this research is to do the survey of mangrove species and apply satellite remote sensing for mangrove mapping and conservation. Mangrove forest areas in the Welu estuary under responsibility of Mangrove Resource Development Station 2, Khlung district, Chanthaburi province is chosen as the study site due to high species abundant and biodiversity. Fragment mangrove areas of this study site, however, strongly needs rehabilitation. Twenty-six mangrove species were identified in the field survey. THEOS imageries were digitally classified and resulted to 4 mangrove classes, namely *Rhizophora apiculata, Excoecaria agallocha, Lumnitzera racemosa* and *Lumnitzera littorea*. Overall mapping accuracy is only 34 percent because of Rhizophora apiculata scattered distribution over the study area. Mixed reflectances of *Rhizophora apiculata* and other mangrove species lead to low accuracy on classification. Using hyperspectral satellite or high spatial resolution images coupled with environmental data may help to improve mangrove type mapping.

Keywords : Remote sensing, THEOS satellite, Mangrove classification, Chanthaburi province

บทนำ

ป่าชายเลนเป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่มีคุณค่าอย่างมากต่อระบบนิเวศชายฝั่ง และการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ เช่น เป็นแหล่งบำบัดน้ำเสียตามธรรมชาติ แหล่งอนุบาลสัตว์น้ำ วัตถุดิบในการทำถ่านไม้ ป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งทะเล เป็นที่กำบังลมและคลื่น และแหล่งของพืชสมุนไพรที่ใช้ในการรักษาโรค (สนิท อักษรแก้ว, 2541) ในปัจจุบันพื้นที่ป่าชายเลนทั่วโลกมีประมาณ 96.9 ล้านไร่ ลดลงจาก ปี พ.ศ. 2523 ถึง 20.6 ล้านไร่ พื้นที่ป่าชายเลนในเขตร้อน (Tropical region) และกึ่งเขตร้อน (Subtropical region) โดยเฉพาะในภูมิภาคเอเชียมีการลดลงมากกว่าภูมิภาคอื่นอย่างชัดเจน เนื่องจากมนุษย์ได้เปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนเพื่อใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การสร้างสาธารณูปโภค และการท่องเที่ยว เป็นต้น (FAO, 2007) พื้นที่ป่าชายเลนของประเทศไทยส่วนใหญ่ได้ถูกบุกรุกเพื่อใช้ประโยชน์ในการทำนากุ้งเป็นจำนวนมาก ในปี พ.ศ. 2504 ประเทศไทยมีพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด ประมาณ 2.3 ล้านไร่ (ธงชัย จารุพพัฒน์, 2541) แต่จากข้อมูลของสำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลนในปี พ.ศ. 2547 พบว่าพื้นที่ป่าชายเลนที่สมบูรณ์ของประเทศไทยลดลงเหลืออยู่เพียง 1.5 ล้านไร่ เท่านั้น จากการสำรวจโดยกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งในปี พ.ศ. 2543 พบว่าพื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทยส่วนใหญ่มีการปรับเปลี่ยนพื้นที่เป็นนากุ้ง 466,500 ไร่ และป่าชายเลนที่เป็นพื้นที่ทิ้งร้าง 42,800 ไร่ สำหรับจังหวัดจันทบุรีมีพื้นที่ป่าชายเลนที่ถูกใช้ประโยชน์เป็นพื้นที่นากุ้งถึง 93,600 ไร่ และพื้นที่ทิ้งร้าง 12,000 ไร่ (สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน, 2543) โดยเฉพาะพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำเวฬุซึ่งครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่เขตอำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี ถึงตำบลแสนตุ้ง และตำบลท่าโสม อำเภอเขาสมิง จังหวัดตราด มีพื้นที่รวมทั้งหมด 156,250 ไร่ ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่ป่าชายเลนถึง 100,000 ไร่ แต่จากข้อมูลของสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม ปี พ.ศ. 2534 แสดงให้เห็นว่ามีพื้นที่ป่าชายเลนที่มีความสมบูรณ์เหลืออยู่เพียง 9,000 ไร่ (คิดเป็นร้อยละ 9 ของพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด) พื้นที่ป่าชายเลนอีกจำนวน 91,000 ไร่ ได้ถูกเปลี่ยนเป็นนากุ้งและพื้นที่ป่าเสื่อมโทรม ปัจจุบันพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำเวฬุที่อยู่ในเขตป่าสงวนแห่งชาติบางส่วนได้รับการฟื้นฟูแล้วและบางส่วนอยู่ในระหว่างการดำเนินการ (สถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2 และ สถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 3, ม.ป.ป.) อย่างไรก็ดี ยังคงมีพื้นที่ป่าชายเลนอีกเป็นจำนวนมากที่อยู่ในสภาวะเสื่อมโทรม

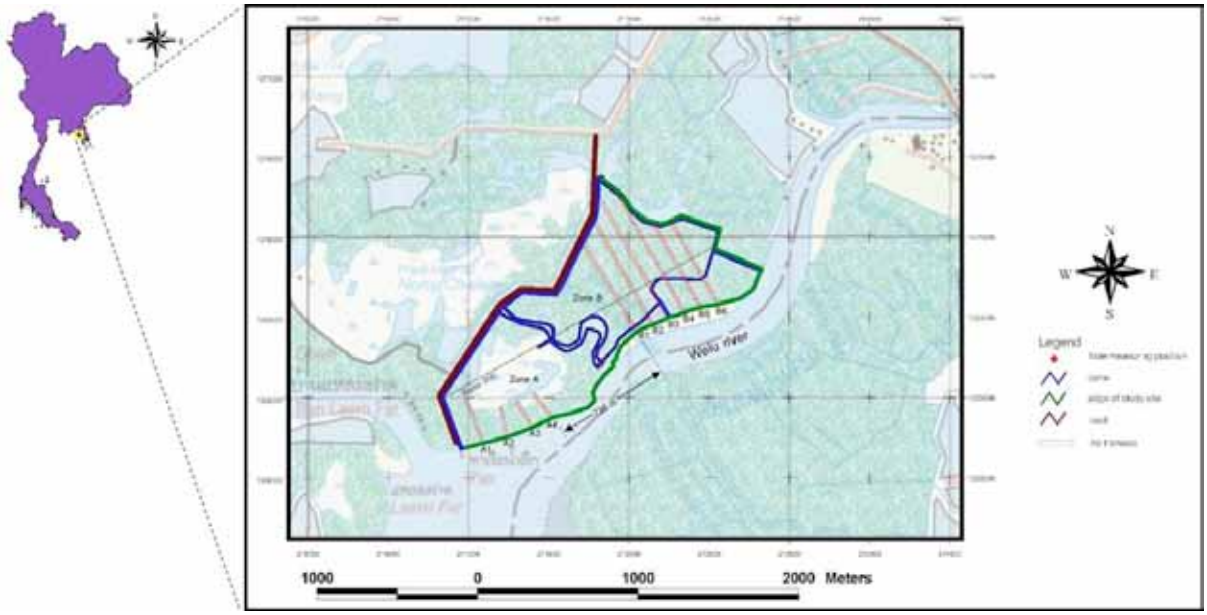
การสำรวจระยะไกล (Remote sensing) ได้เข้ามามีบทบาทในการเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจพื้นที่ป่าชายเลนในบริเวณกว้างได้หลายช่วงเวลา (Lillesand *et al*., 2004) มีความสำคัญต่อการช่วยในการฟื้นฟูและจัดการป่าชายเลนในการใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในพื้นที่ป่าชายเลน (Walters *et al*., 2008) ข้อมูลที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์และตรวจสอบเป็นอย่างดีแล้วสามารถนำมาแทนที่การสำรวจภาคสนามในพื้นที่ป่าชายเลนซึ่งมีความยากลำบาก สิ้นเปลืองเวลาและงบประมาณมาก (อัปสรสุดา ศิริพงศ์ และคณะ, 2544) มีความรวดเร็วในการติดตามตรวจสอบประหยัดเวลาและงบประมาณ นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพในการจำแนกพืชพรรณป่าชายเลนออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ เช่น กลุ่มไม้ *Rhizophora mangle* กลุ่มไม้ *Laguncularia racemosa* และกลุ่มไม้ป่าชายเลนที่ตาย (Dead mangrove) (Kovacs *et al*., 2005) รวมทั้งยังสามารถจำแนกกลุ่มไม้แสมขาว (*Avicennia alba*) กลุ่มไม้แสมทะเล (*Avicennia marina*) กลุ่มไม้แสมดำ (*Avicennia officinalis*) กลุ่มไม้ถั่วดำ (*Bruguiera parviflora*) กลุ่มไม้โกงกาง ใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) กลุ่มไม้โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) และ กลุ่มไม้ลำพู (*Sonneratia caseolaris*) (Vaiphasa *et al*., 2006)

พื้นที่ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำเวฬุภายใต้ความดูแลของสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2 อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี ถูกเลือกเป็นพื้นที่ศึกษาด้วยความสำคัญเนื่องจากเป็นเขตที่ได้รับการส่งเสริมให้เป็นแหล่งศึกษาทางนิเวศวิทยาและธรรมชาติ ซึ่งแต่เดิมมีความอุดมสมบูรณ์และมีความหลากหลายทางชีวภาพสูง แต่ปัจจุบันมีพื้นที่เสื่อมโทรมเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากที่ต้องการการฟื้นฟู การวิจัยครั้งนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อการสำรวจพันธุ์ไม้ป่าชายเลนและประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากดาวเทียมเพื่อผลิตแผนที่กลุ่มพืชพรรณป่าชายเลนในพื้นที่บริเวณนี้สำหรับใช้เป็นฐานข้อมูลเพื่อประโยชน์ในการฟื้นฟูและการจัดการพื้นที่ป่าชายเลนในภาคตะวันออกอย่างยั่งยืนต่อไป

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาบริเวณปากแม่น้ำเวฬุภายในสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2 บ้านท่าสอน อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี (ภาพที่ 1) มีพื้นที่ทั้งหมด 838 ไร่ อยู่ในตำแหน่งระหว่าง 1368000-1371000 องศาเหนือ และ 210000-213000 องศาตะวันออก ในระบบพิกัด UTM (Universal Transverse Mercator) กริดโซน 48P ตามระบบพิกัดมูลฐาน (Global Datum) WGS 84 (World Geodetic System 1984)



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาและแนวสำรวจบริเวณปากแม่น้ำเวฬุ อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี

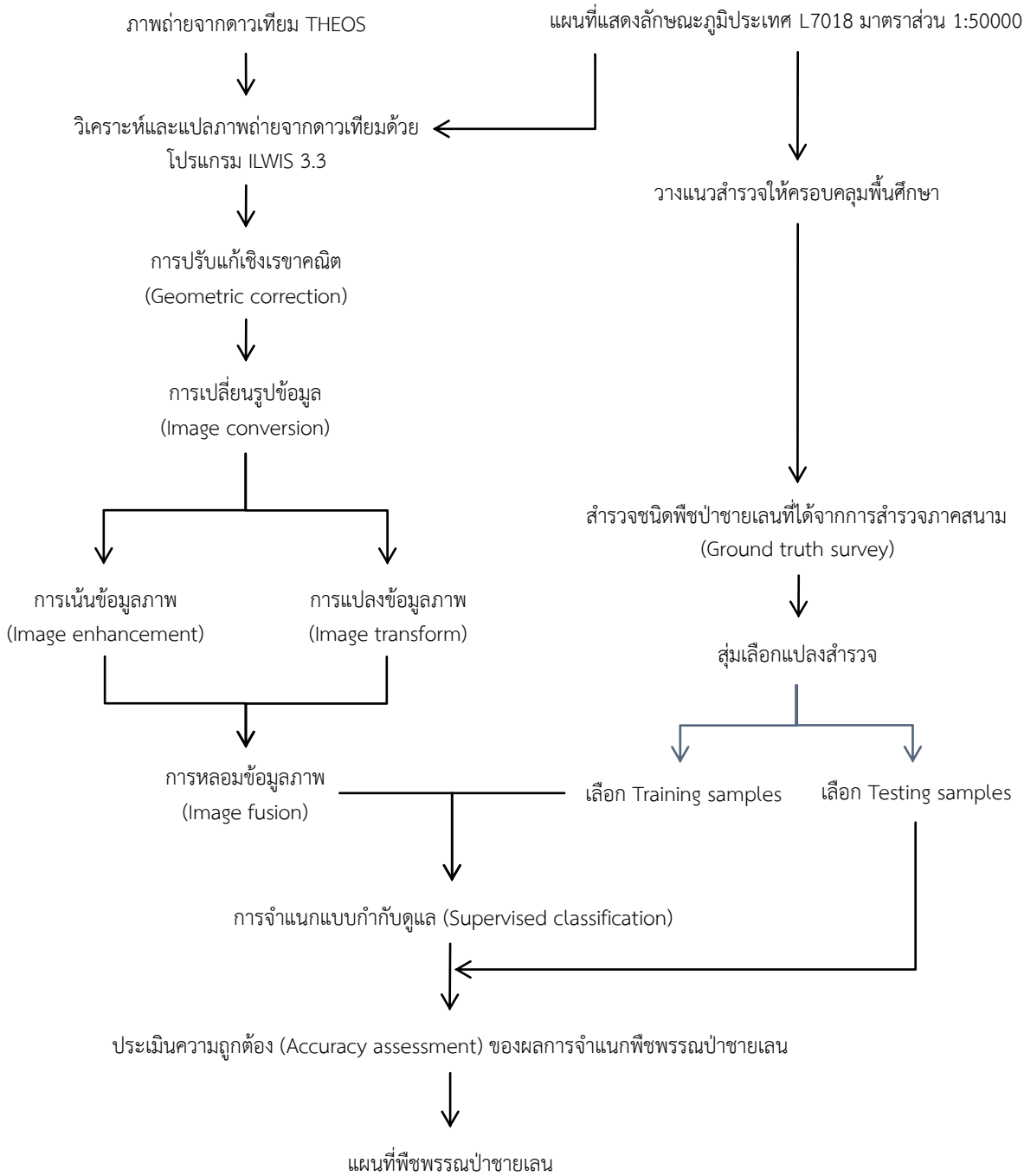
2. การสำรวจข้อมูลภาคสนามและการวางแปลงศึกษา

กำหนดพื้นที่ศึกษาที่ใช้เป็นตัวแทนของพืชพรรณป่าชายเลนจากแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1:50000 ลำดับชุด L 7018 ระวาง 5334I ภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต ระบบ Multispectral และระบบ Panchromatic บันทึกเมื่อวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2552 อย่างละ 1 ภาพ จากนั้นวางแนวสำรวจโดยวิธี Line transect กระจายครอบคลุมพื้นที่ศึกษา (ภาพที่ 1) เพื่อตรวจสอบพื้นที่ตามตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้ในแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศ แปลงศึกษาในแต่ละแนวสำรวจมีพื้นที่ขนาด 15 x 15 เมตร (นิพิท ศรีสุวรรณ และคณะ, 2543; วิจารณ์ มีผล, 2548) และสุ่มเลือกแปลงศึกษาแบบแบ่งสุ่ม (Stratified random sampling) ตามสังคมพืชแต่ละชนิดให้ครอบคลุมตลอดแนวสำรวจ (วิภูษิต มัณฑะจิตร, 2540; ปัสสี ประสมสินธ์, 2548; Sutherland, 1996; Krebs, 1999) จำนวนแปลงศึกษา (Sampling sites) ที่ได้จากการสุ่มแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ใช้เป็นพื้นที่ตัวอย่าง (Training samples) และส่วนที่ 2 ใช้เป็นพื้นที่ตรวจสอบ (Testing samples) เก็บข้อมูลชนิดพันธุ์ไม้ใหญ่ในทุกแปลงศึกษา ได้แก่ รายชื่อชนิดพันธุ์ไม้ใหญ่โดยอ้างอิงจากหนังสือพรรณไม้ป่าชายเลนในประเทศไทย (สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน, 2552) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (ชิงชัย วิริยะบัญชา และกันตินันท์ ผิวสอาด, 2545) ความสูงและตำแหน่งของไม้ใหญ่

3. การประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในการจัดทำแผนที่พืชพรรณป่าชายเลน

ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชตระบบ Multispectral 4 ช่วงคลื่น และระบบ Panchromatic 1 ช่วงคลื่น อย่างละ 1 ภาพ ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (Geo-Informatics and Space Technology Development Agency; GISTDA) และแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศได้รับการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม ILWIS 3.3 ตามแผนการวิจัยที่แสดงไว้ในภาพที่ 2

ใช้วิธี Image to Image Registration ในการใส่พิกัดในข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมโดยเปรียบเทียบข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมกับจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points; GCPs) บนแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศที่ผ่านการปรับแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric correction) แล้ว จากนั้นจัดข้อมูลใหม่หรือเปลี่ยนขนาดจุดภาพ (Resampling) เพื่อให้ภาพถ่ายจากดาวเทียมและแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศมีขนาดจุดภาพที่เหมือนกัน (Thu & Populus, 2007) แล้วตัดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา หลังจากข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมได้รับการปรับแก้เชิงเรขาคณิตแล้ว กระบวนการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากดาวเทียมขั้นต่อไป ได้แก่ เน้นข้อมูลภาพ แปลงข้อมูลภาพ หลอมข้อมูลภาพ จำแนกประเภทข้อมูลแบบกำกับดูแล และประเมินความถูกต้องของผลการจำแนกพืชพรรณป่าชายเลน (สุรภี อิงคากุล,



ภาพที่ 2 แผนการวิจัยในการจัดทำแผนที่พืชพรรณป่าชายเลน

2548; สรรค์ใจ กลิ่นดาว, 2550; ประสาร อินทเจริญ และ อนุกูล บูรณประทีปรัตน์, 2553)

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

1. การสำรวจพรรณไม้ป่าชายเลน

จากการสำรวจพื้นที่ศึกษาในภาคสนามเบื้องต้น พบว่าพื้นที่ศึกษามีเนื้อที่รวมทั้งหมด 838 ไร่ ในการวิจัยครั้งนี้แบ่งการสำรวจพืชพรรณป่าชายเลนออกเป็น 2 พื้นที่สำรวจ (zone) ได้แก่ zone A และ zone B ผลจากการวาง Line transect กระจายทั่วทั้งพื้นที่ศึกษามีทั้งหมด 10 แนวสำรวจ 298 แปลง แนวสำรวจใน zone A มี 4 แนวสำรวจ ได้แก่ แนวสำรวจ A1 A2 A3 และ A4 และแนวสำรวจใน zone B มี 6 แนวสำรวจ ได้แก่ แนวสำรวจ B1 B2 B3 B4 B5 และ B6 (ภาพที่ 1)

ผลจากการเลือกแปลงศึกษาแบบแบ่งสุ่มตามสังคมพืช แต่ละชนิดทำให้แนวสำรวจใน zone A ถูกสุ่มเลือกแปลงศึกษา 4 แปลง ในแต่ละแนวสำรวจ และในแนวสำรวจ zone B ถูกสุ่มเลือกแปลงศึกษา 10 แปลง ในแต่ละแนวสำรวจ จากการสำรวจในพื้นที่ศึกษาทั้งหมดพบไม้ใหญ่ 26 ชนิด โดยในพื้นที่สำรวจ A พบไม้ใหญ่ 18 ชนิด และพื้นที่สำรวจ B พบไม้ใหญ่ 25 ชนิด ไม้ใหญ่แต่ละชนิดมีความสูงเฉลี่ยและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยแตกต่างกันไปตามชนิดพืชป่าชายเลน ชนิดพืชที่ปรากฏในแต่ละแปลงศึกษาแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชนิดและขนาดของไม้ใหญ่ในแต่ละแปลงศึกษา

ชนิดพืช	ความสูงเฉลี่ย (เมตร)	DBH เฉลี่ย (เซนติเมตร)	แปลงศึกษาที่พบชนิดพืช
ไม้โกงกางใบเล็ก	9.9	7.5	ทุกแปลงศึกษา (ยกเว้นแปลง B32 และ B610)
ไม้โกงกางใบใหญ่	8.3	9.4	A21 B41 และ B51
ไม้ตะบูนขาว	9.8	15.7	A13 A22 A32 A41 A42 B11 B23 B31 B32 B34 B35 B36 B43 B53 และ B512
ไม้ตะบูนดำ	11.9	25.4	A22 B33 B43 และ B53
ไม้ตาตุ่มทะเล	8.6	10.5	A13 A15 A110 A22 A32 A42 A44 B111 B132 B23 B213 B31 B32 B34 B36 B313 B328 B43 B415 B422 B53 B511 B512 B514 B516 B66 B610 และ B612
ไม้ถั่วขาว	5.6	5.6	B621
ไม้ถั่วดำ	9.6	8.7	A22 B213 B226 B244 และ B421
ไม้ปอทะเล	5.7	8.4	A32 B127 B131 B313 และ B41
ไม้โปรงแดง	6.5	5.9	A22 และ B524
ไม้ฝาดดอกขาว	6.2	5.7	A13 A110 A211 A32 A38 B121 B125 B128 B516 B523 B69 B621 และ B622
ไม้ฝาดดอกแดง	7.6	8	B111 B127 B210 B213 B226 B238 B244 B313 B328 B329 B49 B415 B421 B422 B424 B516 B69 B610 B612 และ B621
ไม้พังกา-ถั่วขาว	5.2	5.3	B125
ไม้พังกาหัวสุมดอกขาว	8.5	6.7	A13 A32 B127 B132 B53 และ B57
ไม้พังกาหัวสุมดอกแดง	7.4	7.7	A22 A42 B31 B32 B33 B34 B35 และ B63
ไม้โพธิ์ทะเล (ก้านยาว)	6.9	8.3	A42 และ B32
ไม้โพรงนก	7.4	7	B612 และ B615
ไม้มังคะ	11.4	6.6	A32 และ B125
ไม้มะคะ	11.2	10.5	B511
ไม้ลำพู	12.5	15.2	B31 B34 B51 และ B61
ไม้ลำแพน	7.2	6.5	B244
ไม้สนทะเล	14.7	11	A42
ไม้เสม็ดขาว	9.7	5.9	B125 และ B424
ไม้แสมขาว	14	17.1	A11 A21 A22 A41 B11 B35 B51 และ B61
ไม้แสมดำ	11.8	14.8	A41 A42 B11 B31 B32 B57 และ B61
ไม้หงอนไก่ทะเล	6.3	11.8	A15 A32 A34 A44 B23 B36 B49 B415 B610 B612 และ B615
ไม้หลุมพอทะเล	8.6	13.7	A22 A34 B125 B127 B128 B23 B32 B36 B66 และ B615

ใน zone A ตั้งแต่ริมน้ำถึงกลางพื้นที่ (0-135 เมตร) พืชป่าชายเลนที่พบ ได้แก่ ไม้โกงกางใบเล็ก ไม้ตะบูนขาว ไม้พังกา-หัวสุมดอกขาว และไม้แสมขาว เป็นต้น ถัดเข้ามาด้านในพบไม้โกงกางใบเล็ก ไม้ตาตุ่มทะเล และไม้ฝาดดอกขาว ส่วนใน zone B ตั้งแต่ริมน้ำถึงกลางพื้นที่ (0-300 เมตร) พืชป่าชายเลนที่พบ ได้แก่ ไม้โกงกางใบใหญ่ ไม้โกงกางใบเล็ก ไม้ตาตุ่มทะเล ไม้แสมขาว ไม้ตะบูนขาว ไม้โปรงแดง และไม้พังกาหัวสุมดอกแดง เป็นต้น ถัดจากป่าด้านนอกเข้ามาตั้งแต่กลางพื้นที่จนถึงป่าด้านในพบไม้โกงกางใบเล็ก ไม้ฝาดดอกขาว ไม้พังกา-ถั่วขาว และไม้เสม็ดขาว เป็นต้น ความหลากหลายของพืชพรรณป่าชายเลนที่พบในพื้นที่ศึกษาอาจเป็นเพราะสภาพพื้นที่ศึกษามีร่องน้ำทั้งที่เกิดจากการขุดและเกิดตามธรรมชาติกระจายอยู่โดยรอบพื้นที่ศึกษารวมทั้งพืชป่าชายเลนมีความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น ปัจจัยทางเคมีกายภาพของดิน ความเค็มของน้ำในดิน และความถี่ของน้ำทะเลท่วมถึง เป็นต้น (สนิท อักษรแก้ว, 2541; Berger *et al*., 2008; Krauss *et al*., 2008) ทำให้ลักษณะโครงสร้างป่าชายเลนมีความแตกต่างกันไป โดยเฉพาะไม้โกงกางใบเล็กที่สามารถขึ้นตามริมร่องน้ำและปรับตัวตามสภาพสิ่งแวดล้อมในป่าชายเลนได้ดี (Aksornkoae, 1976) ทำให้ไม้โกงกางใบเล็กเป็นพืชเด่นที่ขึ้นกระจายครอบคลุมพื้นที่ศึกษา

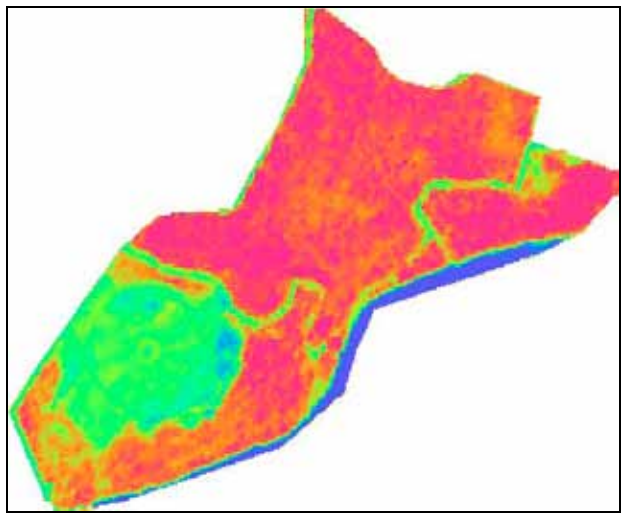
2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต

จากการวางแปลงให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาปรากฏว่าจำนวนแปลงศึกษามีทั้งหมด 76 แปลง แปลงศึกษา 38 แปลง ที่ได้จากการสุ่มแบบแบ่งสุ่มในแนวสำรวจ A1 A3 B1 B3 และ B5 เป็นพื้นที่ตัวอย่างซึ่งใช้ทำแผนที่พืชพรรณป่าชายเลนผ่านกระบวนการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากดาวเทียม และแปลงศึกษา 38 แปลง ที่ได้จากการสุ่มแบบแบ่งสุ่มในแนวสำรวจ A2 A4 B2 B4 และ B6 เป็นพื้นที่ตรวจสอบซึ่งใช้ประเมินความถูกต้องของการจำแนกพืชพรรณป่าชายเลน

นำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชตมาทำการตัดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา จากนั้นใส่พิกัดในแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศโดยใช้กระบวนการ Georeferencing แบบ Georeference Corners จากนั้นใส่พิกัดในข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมทั้งระบบ Panchromatic และ Multispectral ซึ่งต้องมีค่า RMS error น้อยกว่า 0.5 เมตรแล้วใช้ค่า Georeference ของแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศในการจัดข้อมูลใหม่ให้กับภาพถ่ายจากดาวเทียม จากนั้นตัดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมทั้งสองระบบให้ครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ศึกษา ก่อนนำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชตเข้าสู่กระบวนการปรุงแต่งข้อมูลในขั้นตอนต่อไป

ทำการเน้นข้อมูลภาพ (Image enhancement) ด้วยวิธีการสร้างฮิสโทแกรม (Histogram) โดยใช้การขยายข้อมูลแบบเส้นตรง (Linear contrast stretch) ให้กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมระบบ Multispectral แบนด์ 1 (Blue) ซึ่งตัดค่าการสะท้อนพลังงาน (Digital Number; DN) ที่มีค่ามากกว่า 15 แบนด์ 2 (Green) ตัดค่า DN ที่มีค่าน้อยกว่า 3 และมากกว่า 20 แบนด์ 3 (Red) ตัดค่า DN ที่มีค่าน้อยกว่า 2 และมากกว่า 15 และแบนด์ 4 (Near-infrared) ตัดค่า DN ที่มีค่าน้อยกว่า 9 และมากกว่า 121 พบว่าพืชพรรณป่าชายเลนเห็นได้เด่นชัดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมระบบ Multispectral ในแบนด์ที่ไม่ได้เน้นข้อมูลภาพโดยใช้การขยายข้อมูลแบบเส้นตรง

ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมแบนด์ 3 และแบนด์ 4 ที่ได้จากผลของการเน้นข้อมูลภาพระบบโดยใช้การขยายข้อมูลแบบเส้นตรงมาทำการแปลงข้อมูลภาพ (Image transformation) โดยใช้ดัชนีความแตกต่างมาตรฐานของพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI) ซึ่งผลจากการทำ NDVI พบว่าพืชพรรณป่าชายเลน (สีส้มและสีชมพู) มีค่า DN สูง (ค่า DN มีค่าเป็นบวก) ส่วนแหล่งน้ำและพื้นดินมีค่า DN ต่ำมาก (ค่า DN มีค่าเป็นลบ) ซึ่งแหล่งน้ำมีค่า DN เท่ากับ -1 และพื้นดินมีค่า DN มากกว่า -1 (ภาพที่ 3)



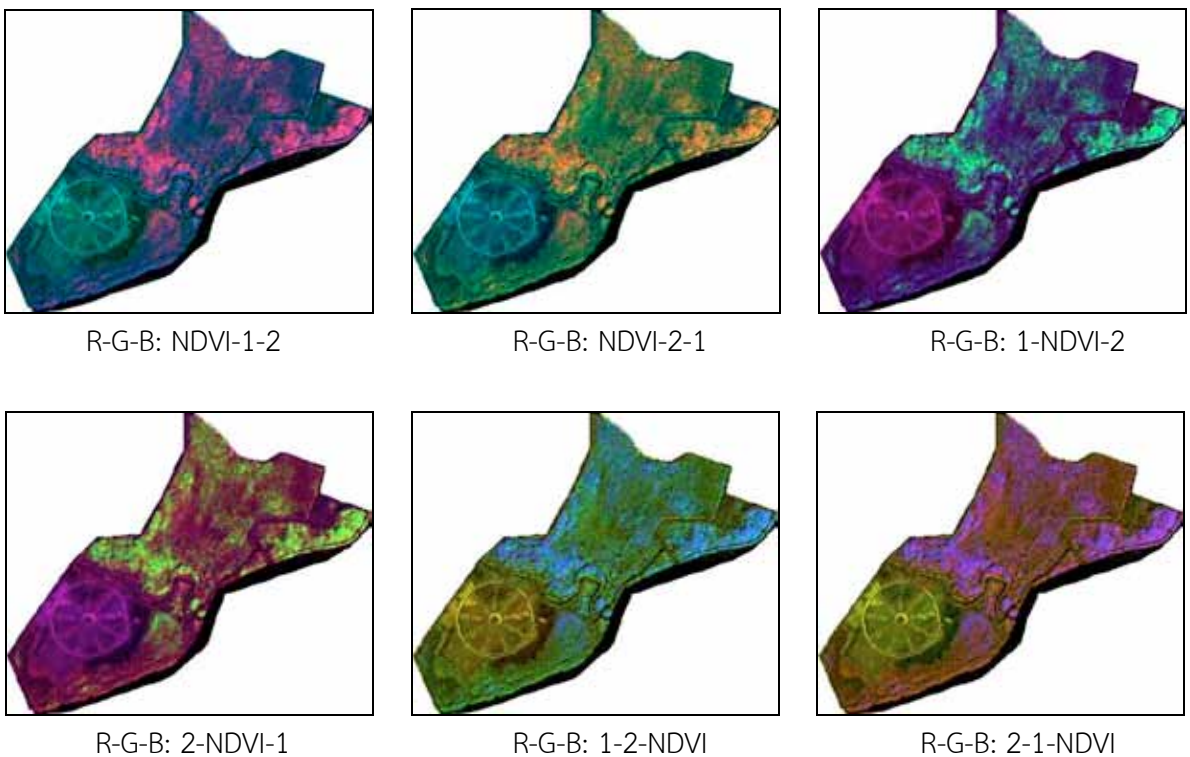
ภาพที่ 3 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชตที่ได้จากการทำ NDVI ระหว่างแบนด์ 3 และ แบนด์ 4 ที่ได้จากการการเน้นข้อมูลภาพโดยใช้การขยายข้อมูลแบบเส้นตรง

หลอมข้อมูลภาพ (Image fusion) โดยใช้เทคนิค Hue Saturation Intensity (HSI) ในการแปลงข้อมูลภาพสีผสมเท็จ

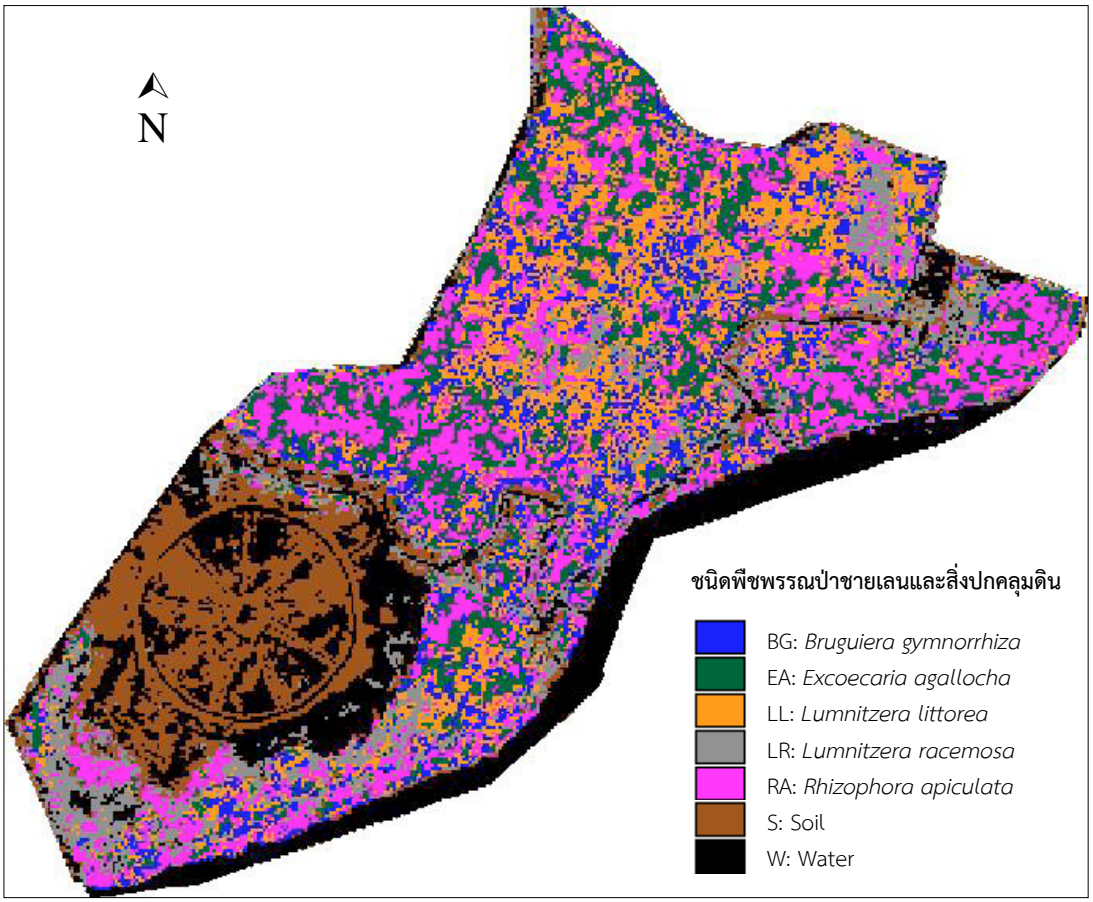
(RGB Transformation) ที่ได้จากการทำ NDVI โดยค่า I แทนรายละเอียดเชิงพื้นที่ (Panchromatic) ส่วนค่า H และ S แทนรายละเอียดเชิงคลื่นของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ผลจากการนำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ได้จากการแทนค่าความสว่างของแบนด์ Panchromatic ในแบนด์ 1 แบนด์ 2 และ NDVI ที่ได้จากการเน้นข้อมูลภาพโดยการขยายข้อมูลแบบเส้นตรง แล้วแปลงข้อมูลภาพที่ได้เป็นข้อมูลภาพสีผสมเท็จ (R-G-B) พบว่าข้อมูลภาพสีผสมเท็จที่ผสม NDVI ในช่วงคลื่นสีแดง ผสมแบนด์สีเขียวในช่วงคลื่นสีเขียว และผสมแบนด์สีน้ำเงินในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (R-G-B: NDVI-2-1) สามารถจำแนกพืชพรรณ ป่าชายเลนได้เป็นกลุ่มใหญ่ๆ (สีส้มและสีเขียว) พืชป่าชายเลนในเขตสีส้มเป็นไม้โกงกางใบเล็กและไม้ตาตุ่มทะเลขึ้นอยู่ร่วมกัน ส่วนกลุ่มพืชป่าชายเลนในเขตสีเขียวเป็นไม้ฝาดดอกขาว ไม้ฝาดดอกแดง และไม้พังกาหัวสุมดอกแดงขึ้นอยู่ร่วมกัน (ภาพที่ 4)

ผลจากการนำข้อมูลภาพที่ได้เป็นข้อมูลภาพสีผสมเท็จ (R-G-B: NDVI-2-1) ที่ได้จากกระบวนการหลอมข้อมูลภาพเข้าสู่การจำแนกประเภทแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) โดยใช้ตัวจำแนกแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (Maximum likelihood classifier) พบว่าจำแนกพืชพรรณป่าชายเลนได้ 5 ประเภท (ภาพที่ 5) ได้แก่ กลุ่มไม้โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*: RA) กลุ่มไม้ตาตุ่มทะเล (*Excoecaria agallocha*: EA) กลุ่มไม้ฝาดดอกขาว (*Lumnitzera racemosa*: LR) กลุ่มไม้ฝาดดอกแดง (*Lumnitzera littorea*: LL) และกลุ่มไม้พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*: BG)

การประเมินความถูกต้องของการจำแนก (Accuracy assessment) จากการสร้างเมทริกซ์ ความคลาดเคลื่อนด้วยการนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณความถูกต้องในแต่ละจุดภาพด้วยการพิจารณาความเหมือนหรือความแตกต่างของชนิดพืชพรรณป่าชายเลนในจุดภาพที่ตำแหน่งเดียวกันโดยเปรียบเทียบระหว่างผลของการจำแนกชนิดพืชพรรณป่าชายเลนที่ได้จากการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์กับผลของการจำแนกชนิดพืชพรรณป่าชายเลนที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม พบว่าไม้โกงกางใบเล็กมีความถูกต้องของจุดภาพมากที่สุดซึ่งจุดภาพที่เหมือนกันมี 43 จุดภาพ จากจำนวนจุดภาพที่เป็นไม้โกงกางใบเล็กทั้งหมด 148 จุดภาพ ซึ่งมี 105 จุดภาพ ที่จำแนกไม้โกงกางใบเล็กผิดเป็นไม้ตาตุ่มทะเล (27 จุดภาพ) ไม้ฝาดดอกขาว (15 จุดภาพ) ไม้ฝาดดอกแดง (38 จุดภาพ) และ



ภาพที่ 4 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ได้จากการแทนค่าความสว่างของ Panchromatic band ในแบนด์ 1 แบนด์ 2 และ NDVI ที่ได้จากการเน้นข้อมูลภาพโดยใช้การขยายข้อมูลแบบเส้นตรง แล้วแปลงข้อมูลภาพที่ได้เป็นข้อมูลภาพสีผสมเท็จ



ภาพที่ 5 ผลการจำแนกพืชพรรณป่าชายเลนแบบกำกับดูแลโดยใช้ตัวจำแนกแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด; กลุ่มไม้โกงกางใบเล็ก (RA) กลุ่มไม้ตาตุ่มทะเล (EA) กลุ่มไม้ฝาดดอกขาว (LR) กลุ่มไม้ฝาดดอกแดง (LL) และกลุ่มไม้พังกาหัวสุมดอกแดง (BG)

ไม้พังกาหัวสุมดอกแดง (25 จุดภาพ) ความถูกต้องของจุดภาพรองลงมาเป็นไม้ฝาดดอกแดง (7 จุดภาพ) ไม้ตาตุ่มทะเล (5 จุดภาพ) และไม้ฝาดดอกขาว (5 จุดภาพ) ตามลำดับ ส่วนไม้พังกาหัวสุมดอกแดง ไม่มีความถูกต้อง (ตารางที่ 2) เนื่องจากไม้โกงกางใบเล็กมีการกระจายครอบคลุมทั้งพื้นที่ศึกษาทำให้ค่าการสะท้อนแสงในแต่ละจุดภาพแสดงค่าการสะท้อนแสงของไม้โกงกางใบเล็กแต่ในความเป็นจริง จุดภาพนั้นมีกลุ่มไม้ชนิดอื่นขึ้นปกคลุมอยู่ในส่วนของไม้ตาตุ่มทะเล ไม้ฝาดดอกขาว และไม้ฝาดดอกแดง ที่จำแนกได้นั้นเพราะจุดภาพนั้นมีไม้ตาตุ่มทะเล หรือไม้ฝาดดอกขาว หรือไม้ฝาดดอกแดง เป็นชนิดพันธุ์เด่นซึ่งมีที่อยู่อาศัยที่เฉพาะในจุดภาพนั้น

ตารางที่ 2 ข้อมูลพืชพรรณป่าชายเลนในเมทริกซ์ความคลาดเคลื่อน

	แผนที่ระวางที่ถูกประเมิน (Testing data set)						
แผนที่อ้างอิง (Classification data)	60	โกงกางใบเล็ก	ตาตุ่มทะเล	ฝาดดอกขาว	ฝาดดอกแดง	พังกาหัวสุมดอกแดง	รวม
	โกงกางใบเล็ก	43	0	1	2	0	46
	ตาตุ่มทะเล	27	5	0	3	0	35
	ฝาดดอกขาว	15	2	5	5	0	27
	ฝาดดอกแดง	38	0	0	7	0	45
	พังกาหัวสุมดอกแดง	25	0	1	0	0	26
	รวม	148	7	7	17	0	179

ผลของการประเมินความถูกต้องรวมของการจำแนกข้อมูลพืชพรรณป่าชายเลน พบว่าความถูกต้องรวมของการจำแนกข้อมูลพืชพรรณป่าชายเลนคิดเป็นร้อยละ 34 ซึ่งมีจุดภาพที่จำแนกชนิดพืชพรรณป่าชายเลนได้ถูกต้องรวม 60 จุดภาพ ประกอบด้วยไม้โกงกางใบเล็ก 43 จุดภาพ ไม้ตาตุ่มทะเล 5 จุดภาพ ไม้ฝาดดอกขาว 5 จุดภาพ และไม้ฝาดดอกแดง 7 จุดภาพ ไม้โกงกางใบเล็กมีความถูกต้องรวมสูงที่สุดโดยมีจุดภาพที่เป็นไม้โกงกางใบเล็กทั้งหมด 46 จุดภาพ ซึ่งในแผนที่อ้างอิงจำแนกไม้โกงกางใบเล็กได้ถูกต้อง 43 จุดภาพ หรือคิดเป็นร้อยละ 94 ส่วนที่เหลืออีก 3 จุดภาพ (คิดเป็นเป็นร้อยละ 7) เป็นความคลาดเคลื่อนที่ละไว้ซึ่งมีการจำแนกผิดโดยจำแนกไม้โกงกางใบเล็กเป็นไม้ฝาดดอกขาว จำนวน 1 จุดภาพ และไม้ฝาดดอกแดง จำนวน 2 จุดภาพ ส่วนความคลาดเคลื่อนที่รวมไว้ของไม้โกงกางใบเล็กคิดเป็นร้อยละ 71 ซึ่งมี 105 จุดภาพ ที่จำแนกไม้โกงกางใบเล็กผิดเป็นไม้ตาตุ่มทะเล (27 จุดภาพ) ไม้ฝาดดอกขาว (15 จุดภาพ) ไม้ฝาดดอกแดง (38 จุดภาพ) และไม้พังกาหัวสุมดอกแดง (25 จุดภาพ) รองลงมาเป็นไม้ฝาดดอกขาวมีความถูกต้องรวมร้อยละ 19 ไม้ฝาดดอกแดงมีความถูกต้องรวมร้อยละ 16 และไม้ตาตุ่มทะเลมีความถูกต้องรวมร้อยละ 14 (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ความถูกต้องรวมของการจำแนกข้อมูลพืชพรรณป่าชายเลน

ประเภทสิ่งปกคลุมดิน	ความคลาดเคลื่อนที่ละไว้ (%)	ความคลาดเคลื่อนที่รวมไว้ (%)	ความถูกต้องรวม (%)
โกงกางใบเล็ก	(3/46)x100 = 7	(105/148)x100 = 71	(43/46)x100 = 94
ตาตุ่มทะเล	(30/35)x100 = 86	(2/7)x100 = 29	(5/35)x100 = 14
ฝาดดอกขาว	(22/27)x100 = 82	(2/7)x100 = 29	(5/27)x100 = 19
ฝาดดอกแดง	(38/45)x100 = 84	(10/17)x100 = 59	(7/45)x100 = 16
พังกาหัวสุมดอกแดง	(26/26)x100 = 100	0	0
รวม	(119/179) = 67	(119/179) = 67	(60/179) = 34

การใช้เทคนิคด้านการสำรวจระยะไกลที่ได้จากภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชตสามารถจำแนกพืชพรรณป่าชายเลนออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ ไม้โกงกางใบเล็ก ไม้ตาตุ่มทะเล ไม้ฝาดดอกขาว และไม้ฝาดดอกแดง เนื่องจากกลุ่มไม้ป่าชายเลนดังกล่าวมีเขตที่อยู่อาศัยที่แน่นอน แต่ความถูกต้องรวมของการจำแนกข้อมูลพืชพรรณป่าชายเลนยังอยู่ในระดับต่ำ (ร้อยละ 34) เพราะในการสำรวจพื้นที่ศึกษาพบไม้โกงกางใบเล็กขึ้นกระจายครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทำให้ค่าการสะท้อนแสงในแต่ละจุดภาพแสดงค่าการสะท้อนแสงของไม้โกงกางใบเล็กเป็นส่วนใหญ่ แต่ในความเป็นจริงจุดภาพนั้นมีกลุ่มไม้ชนิดอื่นขึ้นปกคลุมอยู่ด้วยสาเหตุเนื่องมาจากข้อจำกัดเกี่ยวกับรายละเอียดเชิงคลื่น (Spectral resolution) และรายละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) ของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชตไม่สูงพอที่จะจำแนกชนิดของพืชพรรณป่าชายเลนได้อย่างชัดเจนจึงส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของแผนที่ป่าชายเลน (Schmidt *et al*., 2004; Vaiphasa *et al*., 2005; Vaiphasa *et al*., 2006; Govender *et al*., 2007)

แนวทางในการปรับปรุงความถูกต้องของผลการจำแนกพืชพรรณป่าชายเลนอาจทำได้โดยการใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่มีหลายช่วงคลื่นพิเศษ (Hyperspectral band) เช่น ดาวเทียม TERRA ระบบ ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission & Reflection Radiometer) เนื่องจากมีช่วงคลื่นที่แคบซึ่งแสดงค่าการสะท้อนแสงของพืชพรรณป่าชายเลนแต่ละชนิด (Vaiphasa *et al*., 2005) หรือใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่มีหลายช่วงคลื่นและมีรายละเอียดเชิงพื้นที่สูง เช่น ดาวเทียม IKONOS ดาวเทียม QuickBird และดาวเทียม WorldView-2 เป็นต้น ร่วมกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีความสัมพันธ์กับพืชพรรณป่าชายเลน (Vaiphasa *et al*., 2006; Saleh, 2007)

การประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากดาวเทียมเพื่อผลิตแผนที่กลุ่มพืชพรรณป่าชายเลนในพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำเวฬุ อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี สามารถนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลเพื่อประโยชน์ในการฟื้นฟูและการจัดการพื้นที่ป่าชายเลนในภาคตะวันออกอย่างยั่งยืนได้เนื่องจากการนำกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากดาวเทียมสามารถจำแนกพืชพรรณป่าชายเลนออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ซึ่งเป็นประโยชน์ในการสำรวจและการจัดการพื้นที่ป่าชายเลน (Green *et al*., 2000) รวมทั้งใช้เป็นแนวทางในการศึกษานิเวศวิทยาและความหลากหลายของป่าชายเลน เช่น ติดตามการเปลี่ยนแปลงของความมากมายของชนิดพันธุ์ (species richness) และศึกษากระบวนการทดแทนของ

ระบบนิเวศ (Sobhan, 2007) นอกจากนี้ยังสามารถนำมาแทนที่การสำรวจภาคสนามในพื้นที่ป่าชายเลนเพื่อทำให้มีความรวดเร็วในการติดตามตรวจสอบ ประหยัดเวลาและงบประมาณ (อัปสรสุดา ศิริพงศ์ และคณะ, 2544; Govender *et al*., 2007)

สรุปผลการวิจัย

ในการสำรวจพรรณไม้ป่าชายเลนในพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำเวฬุ อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี มีทั้งหมด 26 ชนิด และจากการวิเคราะห์และแปลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต พบว่าสามารถจำแนกพืชพรรณป่าชายเลนได้ 4 ชนิด ได้แก่ ไม้โกงกางใบเล็ก ไม้ตาตุ่มทะเล ไม้ฝาดดอกขาว และไม้ฝาดดอกแดง แต่ความถูกต้องรวมของการจำแนกข้อมูลพืชพรรณป่าชายเลนมีเพียงร้อยละ 34 เพราะไม้โกงกางใบเล็กขึ้นกระจายครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ทำให้ค่าการสะท้อนแสงในแต่ละจุดภาพแสดงผลการจำแนกเป็นไม้โกงกางใบเล็กเป็นส่วนใหญ่ และความคลาดเคลื่อนในการจำแนกที่เกิดขึ้นนี้อาจเป็นผลมาจากการที่ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชตมีรายละเอียดเชิงคลื่นและรายละเอียดเชิงพื้นที่ไม่สูงเพียงพอสำหรับการจำแนกพืชพรรณป่าชายเลนได้อย่างชัดเจน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2553 และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากรของสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2 อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี ทุกท่านในความอนุเคราะห์และสนับสนุนที่พักและการเดินทางเข้าไปในพื้นที่ป่าชายเลน คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. นภาพร เลียดประถม อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา อาจารย์ ดร. กาญจนา หริ่มเพ็ง อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา คุณคำรณ เลียดประถม หัวหน้าโครงการพัฒนาป่าชุมชน บ้านอ่างเอ็ด และคุณน้ำบุษย์ โคสารคุณ เจ้าหน้าที่อุทยานแห่งชาติน้ำตกพลิ้ว รวมทั้งนิสิตคณะเทคโนโลยีทางทะเลและนิสิตคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ทุกท่านที่ช่วยในการสำรวจพื้นที่ป่าชายเลน เก็บข้อมูลและจำแนกชนิดพืชป่าชายเลนทำให้การวิจัยประสบผลสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

ชิงชัย วิริยะบัญชา และ กันตินันท์ ผิวสอาด. (2545). การประมาณผลผลิตด้านปริมาตรของลำต้นและมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่าไม้สัก. ใน *รายงานการประชุมการป่าไม้ ประจำปี 2545 "ศักยภาพของป่าไม้ต่อการฟื้นฟูเศรษฐกิจไทย" กรมป่าไม้ 16-17 กันยายน 2545* (หน้า 61-82). กรุงเทพฯ: กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

ธงชัย จารุพพัฒน์. (2541). *สถานการณ์ป่าชายเลนของประเทศไทยในช่วงระยะเวลา 35 ปี (พ.ศ. 2504-2539)*. กรุงเทพฯ: กรมป่าไม้.

นิพิท ศรีสุวรรณ เสาวภา อังสุภานิช และ สมศักดิ์ มณีพงศ์. (2543). โครงสร้างป่าไม้ฝาดดอกขาวในทะเลสาบสงขลา. ใน *การสัมมนาระบบนิเวศป่าชายเลนแห่งชาติ ครั้งที่ 11 โรงแรมตรังพลาซ่า จังหวัดตรัง 9-12 กรกฎาคม 2543* (หน้า I-4). กรุงเทพฯ: กองโครงการและประสานงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ประสาร อินทเจริญ และ อนุกูล บูรณประทีปรัตน์. (2553). *โทรสัมผัสเพื่อการจัดการทรัพยากรทางน้ำ (Remote Sensing for Aquatic Resources Management)*. ชลบุรี: ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. เอกสารการสอน.

ปัสสี ประสมสินธ์. (2548). *เทคนิคการสุ่มตัวอย่างในการสำรวจทรัพยากรป่าไม้*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาการจัดการป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิจารณ์ มีผล. (2548). *คู่มือการศึกษาลักษณะโครงสร้างของป่าชายเลน*. กรุงเทพฯ: สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน.

วิภูษิต มัณฑะจิตร. (2540). *การวิเคราะห์สถิติและการออกแบบการทดลอง (ทางวาริชศาสตร์)*. ชลบุรี: ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

สถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2 และ สถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 3. (ม.ป.ป.). *ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำเวฬุ*.

สนิท อักษรแก้ว. (2541). *ป่าชายเลน...นิเวศวิทยาและการจัดการ*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สรรค์ใจ กลิ่นดาว. (2550) *การสำรวจจากระยะไกล: การประมวลผลภาพเชิงเลขเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

สุรภี อิงคากุล. (2548). *การวิเคราะห์ข้อมูลระยะไกล*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน. (2543). *การใช้ประโยชน์ที่ดินในขอบเขตการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลน พ.ศ. 2543*. วันที่ค้นข้อมูล 9 พฤศจิกายน 2552, เข้าถึงได้จาก http://mang.dmcr.go.th/ mgzone43.php

สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน. (2552). *พันธุ์ไม้ป่าชายเลนในประเทศไทย (ฉบับปรับปรุงใหม่)*. กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

อัปสรสุดา ศิริพงศ์ ศุภิชัย ตั้งใจตรง และ ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ์. (2544). *การเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมของฝั่งทะเลหลังการปลูกป่าชายเลน ที่ตำบลปูยู อำเภอเมือง จังหวัดสตูล โดยรีโมทเซนซิ่ง*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Aksornkoae, S. (1976). Structure of mangrove forest at Amphoe Khlung Changwat Chantaburi, *Thailand. Forest Research Bulletin, 38*, 1-42.

Berger, U., Rivera-Monroy, V., Doyle, T.W., Dahdouh-Guebas, F., Duke, N.C., Fontalvo-Herazo, M.L., Hildenbrandt, H., Koedam, N., Mehlig, U., Piou, C. & Twilley, R.R. (2008). Advances and limitations of individual-based models to analyze and predict dynamics of mangrove forests. *Aquatic Botany*, 1-15.

FAO. (2007). *The World's Mangroves 1980-2005*. Italy: Food and Agriculture Organization of The United Nations.

Govender, M., Chetty, K. & Bulcock, H. (2007). A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies. *Water SA, 33*(2), 145-151.

Green, E.P., Mumby, P.J., Edwards, A.J. & Clark, C.D. (2000). *Remote sensing handbook for tropical coastal management*. France: UNESCO Publishing.

Kovacs, J.M., Wang, J. & Flores-Verdugo, F. (2005). Mapping mangrove leaf area index at the species level using IKONOS and LAI-2000 sensors for the Agua Brava Lagoon, Mexican Pacific. *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 62*, 377-384.

Krauss, K.W., Lovelock, C.E., McKee, K.L., Lopez-Hoffman, L., Ewe, S.M.L. & Sousa, W.P. (2008). Environmental drivers in mangrove establishment and early development: A review. *Aquatic Botany*, 1-23.

Krebs, C.J. (1999). *Ecological Methodology*. (2nd ed.). California: Addison Wesley Longman Inc.

Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. & Chipman, J.W. (2004). *Remote sensing and image interpretation*. (5th ed.). United States of America: John Wiley & Sons.

Saleh, M.A. (2007). Assessment of mangrove vegetation on Abu Minqar Island of the Red Sea. *Journal of Arid Environments. 68*. 331-336.

Schmidt, K.S., Skidmore, A.K., Kloosterman, E.H., Van Oosten, H., Kumar, L. & Jansen, J.A.M. (2004). Mapping coastal vegetation using an expert system and hyperspectral imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 70*(6), 703-715.

Sobhan, I. (2007). *Species discrimination from a hyperspectral perspective*. Doctoral dissertation, Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation (PE&RC). Wageningen University, The Netherlands.

Sutherland, W.J. (1996). *Ecological Census Techniques*. New York: Cambridge University Press.

Thu, P.M. & Populus, J. (2007). Status and changes of mangrove forest in Mekong Delta: Case study in Tra Vinh, Vietnam. *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 71*, 98-109.

Vaiphasa, C., Ongsomwang, S., Vaiphasa, T. & Skidmore, A.K. (2005). Tropical mangrove species discrimination using hyperspectral data: A laboratory study. *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 65*, 371-379.

Vaiphasa, C., Skidmore, A.K. & De Boer, W.F. (2006). A post-classifier for mangrove mapping using ecological data. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 61*, 1-10.

Walters, B.B., Rönnbäck, P., Kovacs, J.M., Crona, B., Hussain, S.A., Badola, R., Primavera, J.H., Barbier, E. & Dahdouh-Guebas, F. (2008). Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forest: A review. *Aquatic Botany*, 1-17.