

การจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนเขตร้อน โดยใช้ข้อมูลพริสมาไฮเปอร์สเปกตรัล
กรณีศึกษาบริเวณแหลมตะลุมพุก ประเทศไทย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Tropical mangrove species classification using PRISMA hyperspectral data:
A case study in Talumpuk cape, Thailand



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Survey Engineering

Department of Survey Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนเขตร้อน โดยใช้ข้อมูลพริสมาไฮเปอร์สเปกตรัล กรณีศึกษาบริเวณแหลมตะลุมพุก ประเทศไทย
โดย	น.ส.ศุภนิดา เมืองกเสมอ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ชัยโชค ไวกาษา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.กฤษฎาณ อินทร์ตัน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ชัยโชค ไวกาษา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร.กฤษฎาณ อินทร์ตัน)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพงศ์ เกิดสิน)

ศุภนิดา เมืองกเสม : การจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนเขตร้อน โดยใช้ข้อมูลพริสมาไฮเปอร์สเปกตรัล กรณีศึกษาบริเวณแหลมตะลุมพุก ประเทศไทย. (Tropical mangrove species classification using PRISMA hyperspectral data: A case study in Talumpuk cape, Thailand) อ.ที่ปรึกษาหลัก : อ. ดร.ชัยโชค ไวกาษา, อ.ที่ปรึกษา
ร่วม : อ. ดร.กฤษญาณ อินทร์ตัน

ป่าชายเลนที่ใกล้สูญพันธุ์ภายใต้บัญชีแดงระบบนิเวศขององค์การระหว่างประเทศเพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ (IUCN Red List of Ecosystems) เป็นหนึ่งในปัญหาร้ายแรงที่สุดของระบบนิเวศชายฝั่งของโลก ความกังวลนี้จำเป็นต้องมีการติดตามระบบนิเวศป่าชายเลนและความหลากหลายทางสายพันธุ์ ภาพถ่ายดาวเทียมระบบไฮเปอร์สเปกตรัลที่มีความยาวคลื่นหลายร้อยช่วงคลื่นสามารถนำมาใช้จำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนได้ ดาวเทียม PRISMA ถูกพัฒนาและส่งขึ้นโคจรซึ่งเป็นดาวเทียมสังเกตการณ์โลกดวงใหม่ภายใต้โครงการสาธิตเทคโนโลยีขององค์การอวกาศอิตาลี (Italian Space Agency) ที่ปัจจุบันยังไม่มี การนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมดังกล่าวมาใช้จำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนในพื้นที่แหลมตะลุมพุกมาก่อน งานวิจัยนี้จึงเป็นการทดสอบประสิทธิภาพข้อมูล PRISMA ไฮเปอร์สเปกตรัลเพื่อจำแนกป่าชายเลนบริเวณแหลมตะลุมพุก อำเภอปากน้ำ จังหวัดนครศรีธรรมราชเป็นครั้งแรก ในการจำแนกใช้การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย genetic algorithm (GA) และ sequential maximum angle convex cone (SMACC) ร่วมกับตัวจำแนกแบบ spectral angle mapper (SAM) เพื่อเลือกความถูกต้องมากที่สุด ทั้งนี้ผลการจำแนกจากการคัดเลือกช่วงคลื่นทั้งสองแบบและการใช้แถบสเปกตรัมทั้งหมดของ PRISMA จะถูกนำมาเปรียบเทียบโดยใช้ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) และใช้ค่าสถิติการทดสอบ dependent sample t-test ผลการศึกษาพบว่า การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA สามารถปรับปรุงค่าความถูกต้องในการจำแนกเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 80.72 เป็นร้อยละ 81.93 เมื่อเทียบกับการใช้แถบสเปกตรัมทั้งหมด ผลลัพธ์นี้จึงพิสูจน์ถึงประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA ในการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนได้อย่างชัดเจน

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6272085621 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORD: PRISMA hyperspectral data, remote sensing, classification, mangrove,
species composition

Supphanida Muangkasem : Tropical mangrove species classification using
PRISMA hyperspectral data: A case study in Talumpuk cape, Thailand. Advisor:
CHAICHOKE VAIPHASA, Ph.D. Co-advisor: Kritchayan Intarat, Ph.D.

Endangered mangroves under the IUCN Red List of Ecosystems are one of the most severe issues of the world's coastal ecosystems. This concern required the necessary monitoring for mangrove ecosystems and their diversity. Hyperspectral satellite imagery is associated with hundreds of wavelengths can be used to categorize mangrove species. Therefore, this is an excellent opportunity for a new earth observation hyperspectral satellite, PRISMA, delivered by the Italian Space Agency. Currently, PRISMA information has not been previously used for mangrove species classification in Talumpuk cape. This experiment launched the first-time examination of applying PRISMA hyperspectral on mangroves species categorization in Talumpuk cape, Pak Phanang District, Nakhon Si Thammarat Province. In the classification, two spectral band selectors, genetic algorithm (GA) and sequential maximum angle convex cone (SMACC), were associated with the spectral angle mapper (SAM) classifier to determine the most satisfactory hyperspectral band set. Classifications from those two selectors and entire bands were compared using overall accuracy and dependent sample t-test. The result revealed that the GA band selection could improve the classification accuracy from 80.72% to 81.93% compared to the entire band combination. This outcome undoubtedly proves the performance of PRISMA imagery's application on mangrove species classification.

Field of Study: Survey Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2021

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชัยโชค ไวกาษา และ อาจารย์ ดร.กฤษณญาณ อินทร์ตัน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทั้งสองท่านอันเป็นที่เคารพ ที่ให้โอกาส ความรู้ แนวคิดและเทคนิคการทำวิทยานิพนธ์รวมถึงนำเสนอมุมมองเพื่อแก้ไขอุปสรรคในการวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างราบรื่น ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้การสนับสนุนในทุกด้านและให้กำลังใจมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณ ศ.ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำพร้อมทั้งแนวคิดที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วีระพงศ์ เกิดสิน กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลภาคสนามในการศึกษาและคำแนะนำเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่าน ที่ให้ความรู้อันทรงคุณค่า ขอขอบพระคุณ ดร.ธีรพงศ์ ปานบุญยืน ที่ได้พัฒนาและกรุณาให้ความอนุเคราะห์โค้ด genetic algorithm เป็นภาษา python ขอขอบคุณหัวหน้าและเจ้าหน้าที่สถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 15 และ 44 นครศรีธรรมราช กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ที่ให้ความอนุเคราะห์บุคลากรและเรือสำหรับการเก็บข้อมูลภาคสนาม งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต ขอขอบคุณการสนับสนุนทุนวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศุภนิดา เมืองกเสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion.....	4
2.2 ภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA.....	5
2.3 spectral angle mapper	9
2.4 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม.....	10
2.4.1 การเข้ารหัสโครโมโซม	12
2.4.2 การประเมินความเหมาะสม.....	13
2.4.3 การคัดเลือก.....	13
2.4.4 การไขว้เปลี่ยน.....	15
2.4.5 การกลายพันธุ์.....	16

2.5 sequential maximum angle convex cone	17
2.6 การตรวจสอบผลการจำแนก (Classification accuracy assessment).....	18
2.6.1 ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy).....	19
2.6.2 ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer’s Accuracy).....	19
2.6.3 ค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (User’s Accuracy).....	19
2.6.4 ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาแฮท (Kappa hat coefficient, Kappa)	20
2.6.5 ค่าสถิติการทดสอบ	20
บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกป้ายชายเลนด้วยการรับรู้จากระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล	21
3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกพันธุ์ไม้โดยใช้ข้อมูลพริสมาไฮเปอร์สเปกตรัล	22
บทที่ 4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	23
4.1 พื้นที่ศึกษา.....	23
4.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและการประมวลผลภาพจากดาวเทียม PRISMA.....	24
4.3 การเก็บข้อมูลภาคสนาม	33
4.4 การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม.....	35
4.5 การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย sequential maximum angle convex cone	36
4.6 การทดสอบทางสถิติ.....	37
บทที่ 5 ผลการศึกษา.....	39
5.1 ผลการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม	39
5.2 ผลการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย sequential maximum angle convex cone.....	41
5.3 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการจำแนกทางสถิติ	42
5.4 ผลการจำแนกภาพถ่าย	43
บทที่ 6 อภิปรายและสรุปผลการวิจัย	47

6.1 อภิปรายผลการวิจัย	47
6.2 สรุปผลการวิจัย	49
6.3 ข้อเสนอแนะ	50
บรรณานุกรม.....	2
ประวัติผู้เขียน.....	9



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1	คุณลักษณะของดาวเทียมระบบ Hyperion ดัดแปลงจาก Middleton et al. (2013)..	4
ตารางที่ 2-2	ช่วงคลื่นของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion (Koedsin, 2013).....	4
ตารางที่ 2-3	คุณลักษณะสำคัญของภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA ดัดแปลงจาก ASI (2020a).....	6
ตารางที่ 2-4	รายละเอียดผลิตภัณฑ์จาก PRISMA ดัดแปลงจาก Loizzo et al. (2019).....	8
ตารางที่ 2-5	เปรียบเทียบไฮเปอร์สเปกตรัลเซนเซอร์ ดัดแปลงจาก Vangi et al. (2021).....	8
ตารางที่ 2-6	ค่าความเหมาะสมและความน่าจะเป็นของการเลือกโครโมโซม	13
ตารางที่ 2-7	เมทริกซ์ค่าคลาดเคลื่อน.....	18
ตารางที่ 4-1	Constraint on field of view (ASI, 2020b).....	24
ตารางที่ 4-2	คุณลักษณะภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA Level 1 ดัดแปลงจาก Vangi et al. (2021).....	26
ตารางที่ 4-3	รายละเอียดของผลิตภัณฑ์จากภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA Level 1	26
ตารางที่ 4-4	การตั้งค่าพารามิเตอร์ของภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA Level 1	27
ตารางที่ 4-5	ช่วงคลื่นจาก Hyperspectral cubes ของภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA	27
ตารางที่ 4-6	จำนวนตัวอย่างชุดข้อมูลการสอนและชุดข้อมูลการทดสอบต่อสายพันธุ์.....	34
ตารางที่ 5-1	เปรียบเทียบค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy, OA) แต่ละขนาดโครโมโซม (Chromosome sizes) ตั้งแต่ 4 ถึง 13 (จำนวนช่วงคลื่น) โดยใช้การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm, GA).....	39
ตารางที่ 5-2	เปรียบเทียบค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy, OA) และสัมประสิทธิ์แคปปาแฮท (Kappa hat coefficient, Kappa) ของการจำแนกระหว่างการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย genetic algorithm (GA) และ sequential maximum angle convex cone (SMACC).....	41
ตารางที่ 5-3	ค่าสถิติพื้นฐานของค่าความถูกต้องที่ได้จากทั้งสองวิธีการ	43
ตารางที่ 5-4	ผลการทดสอบระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าความถูกต้องในการจำแนกทั้งสองวิธีการ.....	43
ตารางที่ 5-5	เมทริกซ์ความคลาดเคลื่อน (a) คัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA (OA ร้อยละ 81.93).....	44

ตารางที่ 5-6 เมทริกซ์ความคลาดเคลื่อน (b) คัดเลือกช่วงคลื่นด้วย SMACC (OA ร้อยละ 78.92) .. 44

ตารางที่ 5-7 เมทริกซ์ความคลาดเคลื่อน (c) สเปกตรัมทั้งหมดของ PRISMA (OA ร้อยละ 80.72).. 44



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2-1 Pushbroom operating concept (ASI, 2020a).....	5
ภาพที่ 2-2 PRISMA hyperspectral and multispectral imaging system (ASI, 2020a)	6
ภาพที่ 2-3 Hypercube image scheme (ASI, 2020a).....	8
ภาพที่ 2-4 มุมระหว่าง t (สเปกตรัมเป้าหมาย) และ r (สเปกตรัมอ้างอิง) โดยใช้ n ช่วงคลื่นจำแนก .	9
ภาพที่ 2-5 ลักษณะของโครโมโซม.....	11
ภาพที่ 2-6 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม	12
ภาพที่ 2-7 โครโมโซมยาว 8 บิต.....	12
ภาพที่ 2-8 โครโมโซมที่ถูกเข้ารหัส (ชื่อของช่วงคลื่นจากภาพถ่ายดาวเทียม)	13
ภาพที่ 2-9 การคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต.....	14
ภาพที่ 2-10 การคัดเลือกแบบ stochastic universal sampling	15
ภาพที่ 2-11 การไขว้เปลี่ยนแบบกระจาย	16
ภาพที่ 2-12 การกลายพันธุ์.....	16
ภาพที่ 2-13 สเปกตรัมสุดท้ายของพืชที่ถูกคัดเลือกจากชุดข้อมูล AVIRIS (Gruninger et al., 2004)	17
ภาพที่ 4-1 (a) ป่าชายเลนบริเวณแหลมตะลุมพุก (b) ภาพผสมสีเท็จข้อมูลพริสมาไฮเปอร์สเปกตรัล บันทึกภาพเมื่อวันที่ 11 พฤษภาคม 2564	23
ภาพที่ 4-2 Create order.....	25
ภาพที่ 4-3 Order status	25
ภาพที่ 4-4 ค่าการสะท้อนของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน 5 สายพันธุ์.....	34
ภาพที่ 4-5 ผังงานการหาขนาดโครโมโซมที่เหมาะสม ดัดแปลงจาก Koedsin & Vaiphasa (2013)	35
ภาพที่ 4-6 ผังงานแสดงการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย SMACC	37
ภาพที่ 4-7 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล.....	38

ภาพที่ 5-1 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุด (Maximum overall accuracy) และค่าความถูกต้องโดยรวมเฉลี่ย (Average overall accuracy) ของการจำแนกที่ขนาดโครโมโซม 4 ถึง 13 40

ภาพที่ 5-2 ผลการจำแนกป่าชายเลน (a) ใช้การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA จำนวน 9 ช่วงคลื่น (OA ร้อยละ 81.93) (b) ใช้แถบสเปกตรัมทั้งหมดของภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA (OA ร้อยละ 80.72). 45

ภาพที่ 5-3 (a) การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA เพิ่มความถูกต้องของคลาสโกกทางใบใหญ่ได้มากกว่าการจำแนกด้วยแถบสเปกตรัมทั้งหมดของ PRISMA (b) ผลการจำแนกต้นกล้วยดำที่ปะปนกับต้นแส้มทะเลได้รับการปรับปรุงเพิ่มขึ้นเมื่อใช้การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA..... 46



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ป่าชายเลนจัดเป็นสังคมพืชเขตร้อนประกอบด้วยพันธุ์ไม้ไม่ผลัดใบที่มีใบเขียวชอุ่มตลอดปี (Evergreen species) พบในบริเวณดินเลนน้ำกร่อยและมีน้ำทะเลท่วมถึงอย่างสม่ำเสมอ (Friis & Burt, 2020; Collins *et al.*, 2021; Da Silva *et al.*, 2021) ป่าชายเลนสร้างความหลากหลายทางชีวภาพเพราะเป็นแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนและที่อยู่อาศัยของสัตว์หลายชนิด ช่วยรักษาคุณภาพของระบบนิเวศชายฝั่งทำหน้าที่ดูดซับสิ่งปนเปื้อนและสารมลพิษไม่ให้ไหลลงสู่ทะเล เป็นฉากรักษาภัยธรรมชาติตลอดจนแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญของโลก (Murugan & Anandhi, 2016; Adame *et al.*, 2020; Fauzi *et al.*, 2020; Intarat & Vaiphasa, 2020; Bai *et al.*, 2021) อย่างไรก็ตามในช่วงเวลาที่ผ่านมาพบว่าป่าชายเลนถูกคุกคามจากการให้สัมปทานกับเอกชน การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และการรุกรานของชนิดพันธุ์ต่างถิ่น (Invasive alien species) ทั้งยังเผชิญกับปรากฏการณ์ ENSO ที่มีผลต่อความแปรปรวนของระดับน้ำทะเล (Vaiphasa *et al.*, 2007a; Chakraborty, 2019; Sievers *et al.*, 2020; Constance *et al.*, 2021; Halder *et al.*, 2021a; Hickey *et al.*, 2021; Mahmood *et al.*, 2021; Thuy *et al.*, 2021) ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้ป่าชายเลนต้องปรับตัวทางสรีรวิทยาเพื่อให้อยู่รอดได้ในสภาพแวดล้อมที่แปรผันได้ ส่วนพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ปรับตัวไม่ได้จึงเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ (Basyuni *et al.*, 2019) ด้วยเหตุดังกล่าวองค์การภาครัฐและเอกชนทั่วโลกจึงพยายามเร่งฟื้นฟูและอนุรักษ์พื้นที่ป่าชายเลนอย่างต่อเนื่อง (Vaiphasa *et al.*, 2007a, as cited in Cochard, 2017; Sievers *et al.*, 2020; Mahmood *et al.*, 2021; Singh *et al.*, 2021; Thuy *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2021) ทำให้ข้อมูลการจำแนกป่าชายเลนระดับสายพันธุ์จึงมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการศึกษาโครงสร้างและการเปลี่ยนแปลงของป่าชายเลน อันนำไปสู่การกำหนดแผนยุทธศาสตร์เพื่ออนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลนอย่างยั่งยืน (Vaiphasa, 2006, as cited in McLeod & Salm, 2006) ในขณะเดียวกันป่าชายเลนมีการเปลี่ยนแปลงเชิงพลวัตทำให้เสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ จึงจำเป็นต้องศึกษาโครงสร้างป่าตามหลักการของ IUCN Red List of Ecosystems (Sievers *et al.*, 2020) การจำแนกป่าชายเลนจึงนิยมใช้เทคนิคการรับรู้จากระยะไกลเป็นหลักเพื่อตรวจสอบความหลากหลายของชนิดพันธุ์ (Vaiphasa *et al.*, 2005; Vaiphasa *et al.*, 2006; Vaiphasa *et al.*, 2007b; Koedsin & Vaiphasa, 2013; Intarat, 2018; Xia *et al.*, 2020; Halder *et al.*, 2021b)

การจำแนกป่าชายเลนระดับสายพันธุ์มีการเก็บตัวอย่างใบของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนแต่ละชนิด มาหาค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นภายในห้องปฏิบัติการ (Leaf spectral measurements) โดยใช้เทคนิคการรับรู้จากระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล (Vaiphasa *et al.*, 2005) เมื่อต้องการลดทอนช่วงคลื่นที่มีมิติสูงจึงนำกระบวนการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมที่สัมพันธ์กับคุณลักษณะทางสรีรเคมีของพืช (Physio-chemical characteristics of plants) (Vaiphasa *et al.*, 2007b) ต่อมามีการนำภาพถ่ายดาวเทียมระบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral imaging system) เพื่อจำแนกป่าชายเลนที่มีความหลากหลายของสายพันธุ์ โดยใช้ข้อมูลด้านนิเวศวิทยา (Ecological data) มาช่วยจำแนก (Vaiphasa *et al.*, 2006) ระยะเวลาไฮเปอร์สเปกตรัลเซนเซอร์มีวิวัฒนาการที่ทันสมัยขึ้น จึงเริ่มมีการนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion ที่มีช่วงคลื่นต่อเนื่องกันหลายร้อยช่วงคลื่น มาจำแนกป่าชายเลนระดับสายพันธุ์ร่วมกับการใช้อัลกอริทึมหลายรูปแบบเพื่อเพิ่มความถูกต้องของการจำแนก (Koedsin & Vaiphasa, 2013; Wong & Fung, 2014; Salghuna & Pillutla, 2017; Kumar *et al.*, 2019; He *et al.*, 2020; Wan *et al.*, 2020)

ดาวเทียมสังเกตการณ์โลกดวงใหม่ถูกพัฒนาและส่งขึ้นโคจรซึ่งเปิดตัวเมื่อวันที่ 22 มีนาคม พ.ศ. 2562 (Launched on orbit) ที่มีชื่อว่าดาวเทียม PRISMA (Precursore Iperspettrale della Missione Applicativa) ซึ่งจัดเป็นภารกิจใหม่ล่าสุดภายใต้โครงการสาธิตเทคโนโลยีขององค์การอวกาศอิตาลี PRISMA เป็นดาวเทียมที่ใช้ไฮเปอร์สเปกตรัลเซนเซอร์ร่วมกับกล้องถ่ายภาพขาว-ดำ (Panchromatic camera) (Loizzo *et al.*, 2018; Loizzo *et al.*, 2019) จึงทดแทนดาวเทียมระบบ Hyperion ที่ถูกปลดประจำการไปแล้วเมื่อวันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2560 (Jing *et al.*, 2019) เป็นที่แน่นอนว่ายังไม่เคยมีงานวิจัยที่นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA มาจำแนกป่าชายเลนบริเวณแหลมตะลุมพุกมาก่อน จึงเป็นเรื่องน่าสนใจสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพในการจำแนกป่าชายเลนที่ได้จากข้อมูลพรিসมาไฮเปอร์สเปกตรัล

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การจำแนกป่าชายเลนในระดับสายพันธุ์ด้วยตัวจำแนกแบบ SAM (Koedsin & Vaiphasa, 2013) โดยใช้ทดสอบกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA บริเวณแหลมตะลุมพุก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยใช้เทคนิคการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm) ซึ่งเคยได้ทดลองไว้ในขนาดโครโมโซมที่ 2 ถึง 9 (Koedsin & Vaiphasa, 2013) แต่ในงานวิจัยนี้ได้เปลี่ยนขนาดของโครโมโซมใหม่โดยทดลองใช้ขนาดโครโมโซมตั้งแต่ 4 ถึง 13 จากนั้นใช้เทคนิคการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย SMACC ก่อนนำข้อมูลภาพไปจำแนกแบบ SAM และตรวจสอบ overall accuracy (OA) พร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างด้วย dependent sample t-test อย่างไรก็ตามการเลือกใช้วิธีการจำแนกป่าชายเลนที่ปรากฏอยู่ในงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion กับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อจำแนกปาชายเลนด้วยเทคนิคการรับรู้จากระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล โดยอาศัยการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพข้อมูลพริสมาไฮเปอร์สเปกตรัลเพื่อจำแนกปาชายเลนบริเวณแหลมตะลุมพุก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราชเป็นครั้งแรก ในการจำแนกใช้เทคนิคการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA และ SMACC ร่วมกับตัวจำแนก SAM เพื่อเลือกชุดสเปกตรัมที่พึงพอใจมากที่สุด โดยผลการจำแนกจากการคัดเลือกช่วงคลื่นทั้งสองแบบและการใช้แถบสเปกตรัมทั้งหมดของ PRISMA จะถูกนำมาเปรียบเทียบกันโดยใช้ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) และค่าสถิติการทดสอบ dependent sample t-test

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงประสิทธิภาพของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA ที่ใช้จำแนกปาชายเลน
- 1.4.2 เป็นข้อมูลให้สำนักจัดการทรัพยากรป่าชายเลนตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่า

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion

ภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion เป็นข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัลชนิดหนึ่งที่ทำการบินทีกและจัดเก็บข้อมูลเป็นช่วงคลื่นแคบ ๆ ยาวต่อเนื่องกัน (Narrow band) เป็นข้อมูลที่ได้จากกล้องถ่ายภาพ Hyperion ซึ่งติดตั้งบนดาวเทียม EO-1 ของประเทศสหรัฐอเมริกานิยมเรียกชื่อว่าภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion ทำการบินทีกข้อมูลที่มีความกว้างช่วงคลื่น 10 นาโนเมตรใน 1 ช่วงคลื่นต่อเนื่องกันตั้งแต่ 356 – 2578 นาโนเมตร โดยครอบคลุมข้อมูลในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น อินฟราเรดใกล้และอินฟราเรดคลื่นสั้นทั้งหมด 242 ช่วงคลื่น ซึ่งจะโคจรกลับมาถ่ายซ้ำที่เดิม (Revisit) ในทุก ๆ 16 วัน (Koedsin, 2013) (ตารางที่ 2-1)

ตารางที่ 2-1 คุณลักษณะของดาวเทียมระบบ Hyperion ดัดแปลงจาก Middleton *et al.* (2013)

Feature	Description
Spectral Bands	242 Bands (356 - 2575 nm)
Bandwidth	10 nm
Repeat cycle	16 days
Spatial Resolution/ Swath Width	30 m/ 7.7 km
Land Area per Image	7.7 x 42 หรือ 7.7 x 185 ตารางกิโลเมตร
Satellite	EO-1

ตารางที่ 2-2 ช่วงคลื่นของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion (Koedsin, 2013)

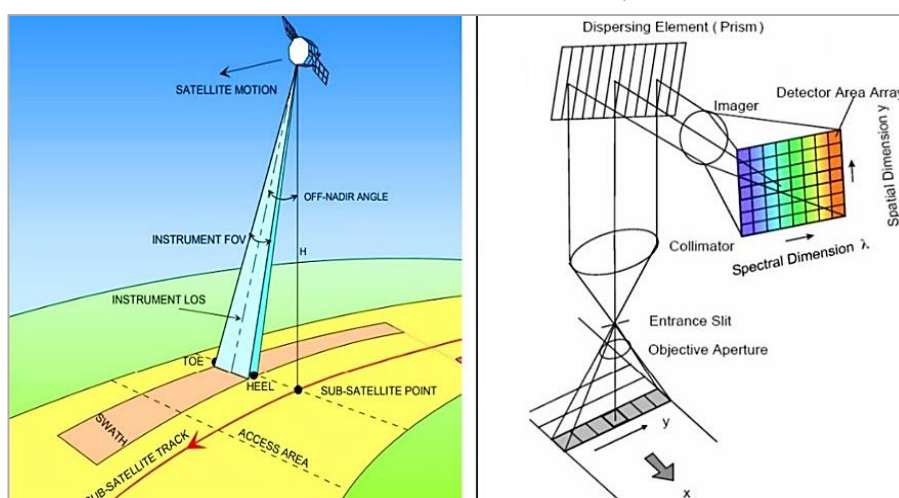
Radiation type of wavelength	Band No.	ความยาวคลื่น (nm)	สถานะ
Visible-NIR	1 - 7	356 - 417	ไม่มีสัญญาณ
	8 - 55	426 - 895	มีสัญญาณ
	56 - 57	913 - 926	มีสัญญาณ
			Overlap
			SWIR 77 - 78
	58 - 70	936 - 1058	ไม่มีสัญญาณ
	71 - 76	852 - 902	ไม่มีสัญญาณ

ตารางที่ 2-2 (ต่อ) ช่วงคลื่นของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion (Koedsin, 2013)

Radiation type of wavelength	Band No.	ความยาวคลื่น (nm)	สถานะ
Shortwave infrared	77 - 78	912 - 923	มีสัญญาณ
			Overlap
			VNIR 56 - 57
	79 - 224	933 - 2396	มีสัญญาณ
	225 - 242	2406 - 2578	ไม่มีสัญญาณ

2.2 ภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA

PRISMA (Precursore Iperspettrale della Missione Applicativa) เป็นดาวเทียมได้รับการสนับสนุนภายใต้โครงการสาธิตเทคโนโลยีขององค์การอวกาศอิตาลี (Italian Space Agency, ASI) เปิดตัวเมื่อวันที่ 22 มีนาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นดาวเทียมสังเกตการณ์โลกขนาดเล็กที่เกิดจากความร่วมมือของ 5 องค์การหลัก ได้แก่ องค์การ PRISMA, ASI, NASA, LEONARDO และ Planetek Italia ภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA มีค่า swath 30 กิโลเมตร (ภาพที่ 2-1) โดยใช้ไฮเปอร์สเปกตรัลเซนเซอร์ร่วมกับกล้องถ่ายภาพขาว-ดำ (Panchromatic camera) ความละเอียด high spectral resolution เซนเซอร์ทั้งสองบันทึกข้อมูลที่มีความกว้างช่วงคลื่นไม่เกิน 12 นาโนเมตรใน 1 ช่วงคลื่นต่อเนื่องกัน ตั้งแต่ 400 – 2500 นาโนเมตร โดยสามารถถ่ายภาพครอบคลุมช่วงคลื่นที่ตามองเห็น อินฟราเรดใกล้ และอินฟราเรดคลื่นสั้นทั้งหมด 240 ช่วงคลื่น (Loizzo *et al.*, 2019) (ภาพที่ 2-2) มีช่วงคลื่นทับซ้อน (Overlap) ระหว่างความยาวคลื่น 920 นาโนเมตร และ 1010 นาโนเมตร ทั้งนี้หากพิจารณาที่ hyperspectral cubes จำนวน 239 ช่วงคลื่น จะแสดงค่า ground sampling distance 30 เมตร และ spectral resolution โดยเฉลี่ยน้อยกว่า 10 นาโนเมตร (Pepe *et al.*, 2020) (ตารางที่ 2-3)



ภาพที่ 2-1 Pushbroom operating concept (ASI, 2020a)



ภาพที่ 2-2 PRISMA hyperspectral and multispectral imaging system (ASI, 2020a)

ตารางที่ 2-3 คุณสมบัติสำคัญของภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA ดัดแปลงจาก ASI (2020a)

Feature	Description
Orbit altitude reference	615 km
Swath	30 km
Field of View (FOV)	2.77°
Instantaneous FOV	48 mrad
Ground Sampling Distance	Hyperspectral: 30 m; PAN: 5 m
Spatial Pixels	Hyperspectral: 1000; PAN: 6000
Pixel Size	Hyperspectral: 30 x 30 μm; PAN: 6.5 x 6.5 μm
Spectral Range	VNIR: 400-1010 nm (66 bands) SWIR: 920-2500 nm (173 bands) PAN: 400-700 nm
Signal-to-noise ratio	VNIR: > 160 (450 at 650 nm) SWIR: > 100 (> 360 at 1550 nm) PAN: > 240
Spectral Calibration Accuracy	± 0.1 nm
Spectral Sampling Interval (SSI)	≤ 12 nm
Spectral Width	≤ 12 nm
Cross-Track Variation of Centre	< +/- 0.1 SSI
Wavelength (Smile)	

ตารางที่ 2-3 (ต่อ) คุณสมบัติสำคัญของภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA ดัดแปลงจาก ASI (2020a)

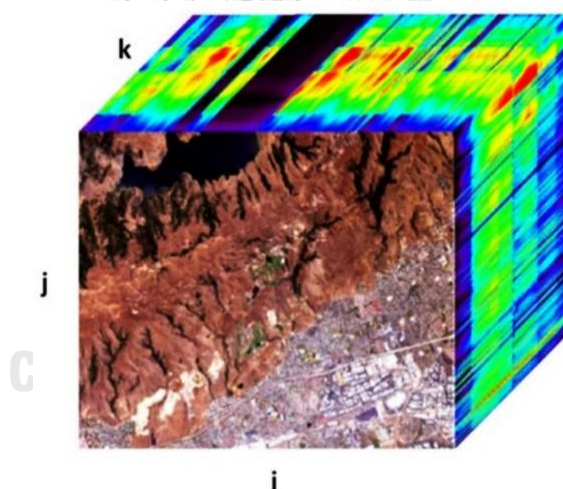
Feature	Description
Spatial registration of spectral sampling (incl. Keystone)	≤ 0.1 pixel
Spectral Calibration Accuracy	+/- 0.1 nm
Radiometric Quantization	12 bits ($2^{12} = 4,096$)
VNIR SNR (Nominal)	> 200: 1
SWIR SNR (Nominal)	> 100: 1
PAN SNR (Nominal)	> 240: 1
Absolute Radiometric Accuracy (Nominal)	Better than 5%
Aperture Diameter	210 mm
MTF@ Nyquist Frequency (Nominal)	VNIR / SWIR along track > 0.18 VNIR / SWIR across track > 0.34 PAN along track > 0.1 PAN across track > 0.2
Cooling System	Passive Radiator
Repeat cycle	29 days (450 orbits)
Relook time	< 7 days
Lifetime	5 years

PRISMA มีรอบการโคจรซ้ำประมาณ 29 วัน (ตารางที่ 2-3) ส่งผลให้สามารถตรวจจับวัตถุที่อยู่ห่างไกลได้ 1,000 กิโลเมตรต่อการส่งสัญญาณในครั้งเดียว (Single pass) จึงลดระยะเวลาของการรีโหลดภาพน้อยกว่า 1 สัปดาห์ทั้งยังรับ downlink และจัดเก็บภาพถ่ายดาวเทียมถาวรได้ตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน สำหรับขั้นตอนการถ่ายภาพส่งถ่ายได้ระหว่างเส้นละติจูดที่ 70° S ถึง 70° N และเส้นลองจิจูดที่ 180° W ถึง 180° E (Loizzo *et al.*, 2019) โดยสามารถเลือกเป็นภาพถ่ายขนาดมาตรฐาน spot mode 30 × 30 กิโลเมตร หรือภาพถ่ายขนาด strip mode 30 × 60 กิโลเมตร ถึงความยาวสูงสุดที่ 1800 กิโลเมตร (Vangi *et al.*, 2021) ภาพส่งถ่ายในสถานะ completed (The image screening has shown good quality) จะถูกจัดเก็บอยู่ใน catalog พร้อมสำหรับการดาวน์โหลด (ตารางที่ 2-4) ใช้เวลารอภาพภายหลังการ submitted order ประมาณ 2 นาที

ตารางที่ 2-4 รายละเอียดผลิตภัณฑ์จาก PRISMA ดัดแปลงจาก Loizzo *et al.* (2019)

Product	Description
Level 0 (HYP/PAN)	Formatted data product with appended metadata, including ancillary and file formatting information (Archived data).
Level 1 (HYP/PAN)	Radiometrically corrected and calibrated radiance data in physical units.
Level 2B	Geolocated at Ground Spectral Radiance Product (HYP/PAN).
Level 2C	Geolocated At-surface Reflectance Product (HYP/PAN).
Level 2D	Geocoded version of the level 2c products (HYP/PAN).

PRISMA L1 และ L2 เป็นไฟล์ประเภท HDF5 format ของชุดข้อมูล cube format (3D dataset) ประกอบด้วย (1) **i** คือ cross-track direction (2) **j** คือ along track direction และ (3) **k** คือ smaller (VIS) to larger (SWIR) wavelength (ASI, 2020a) (ภาพที่ 2-3)



ภาพที่ 2-3 Hypercube image scheme (ASI, 2020a)

ตารางที่ 2-5 เปรียบเทียบไฮเปอร์สเปกตรัลเซนเซอร์ ดัดแปลงจาก Vangi *et al.* (2021)

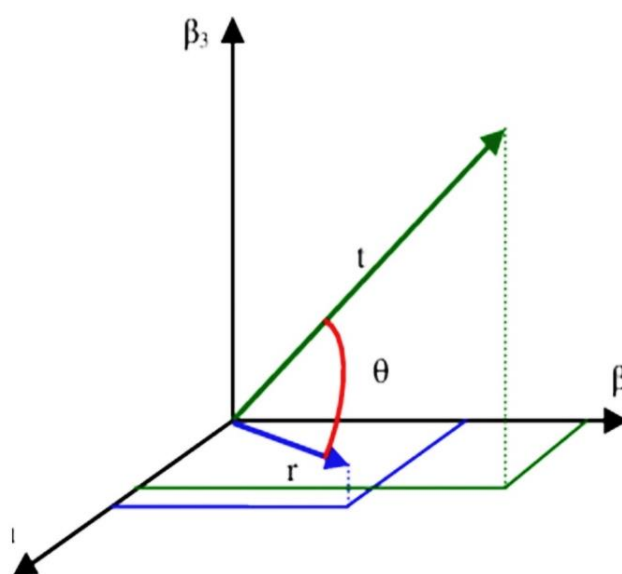
Sensor	Spatial Resolution (m)	Number of Bands	Swath (km)	Spectral Range (nm)	Spectral Resolution	Launch
PRISMA (Italy)	30	240	30	400-2500	10	2019
Hyperion EO-1 (USA)	30	196	7.5	427-2395	10	2000
CHRIS PROBA (ESA)	25	19	17.5	200-1050	1.25-11	2001

ตารางที่ 2-5 (ต่อ) เปรียบเทียบไฮเปอร์สเปกตรัลเซนเซอร์ ดัดแปลงจาก Vangi *et al.* (2021)

Sensor	Spatial Resolution (m)	Number of Bands	Swath (km)	Spectral Range (nm)	Spectral Resolution	Launch
HypIRI VSWIR (USA)	60	210	145	380-2500	10	2020
EnMAP HIS (Germany)	30	200	30	420-1030	5-10	-
TianGong-1 (China)	10 (VNIR) 20 (SWIR)	128	10	400-2500	10 (VNIR) 23 (SWIR)	2011
HISUI (Japan)	30	185	30	400-2500	10 (VNIR) 12.5 (SWIR)	2019
SHALOM (Italy-Israel)	10	275	30	400-2500	10	2021
HypXIM (France)	8	210	145-600	400-2500	10	2022

2.3 spectral angle mapper

spectral angle mapper (SAM) เป็นหนึ่งในวิธีการที่นิยมนำมาใช้เพื่อจำแนกสิ่งปกคลุมดินโดยอาศัยเทคนิคการรับรู้จากระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล มีหลักการสำคัญเพื่อเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมของจุดภาพที่ยังไม่ทราบชนิดของสิ่งปกคลุมดินกับสเปกตรัมอ้างอิง โดยค่าการสะท้อนสเปกตรัมของแต่ละจุดภาพสามารถเขียนอยู่ในรูปเวกเตอร์จำนวน n มิติ เมื่อ n คือจำนวนช่วงคลื่นที่ต้องการจำแนกส่วนค่าการสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นถูกกำหนดเป็นขนาดองค์ประกอบของแกนนั้น ๆ (ภาพที่ 2-4)



ภาพที่ 2-4 มุมระหว่าง t (สเปกตรัมเป้าหมาย) และ r (สเปกตรัมอ้างอิง) โดยใช้ n ช่วงคลื่นจำแนก

หากพิจารณาภาพที่ 2-4 โดยที่ \vec{t} คือ เวกเตอร์ของจุดภาพที่ไม่ทราบชนิดสิ่งปกคลุมดินและ \vec{r} คือ เวกเตอร์แสดงค่าการสะท้อนเฉลี่ยของชนิดสิ่งปกคลุมดินอ้างอิง ในขณะที่ i, β และ β_3 แทน ช่วงคลื่นที่นำมาใช้ในการจำแนก โดยมีมุม θ เป็นมุมระหว่างเวกเตอร์ \vec{t} และ \vec{r} และเมื่อใช้คุณสมบัติของดอทเวกเตอร์ (Vector dot product) ร่วมด้วยจะได้ว่า

$$\vec{t} \cdot \vec{r} = |\vec{t}| |\vec{r}| \cos \theta \quad (2-1)$$

$$\cos \theta = \frac{\vec{t} \cdot \vec{r}}{|\vec{t}| |\vec{r}|} \quad (2-2)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{\vec{t} \cdot \vec{r}}{|\vec{t}| |\vec{r}|} \right) \quad (2-3)$$

กำหนดให้จำนวนช่วงคลื่นเท่ากับ n มิติ โดยที่ $\vec{t} \cdot \vec{r}$ มีค่าเท่ากับ $\sum_{i=1}^n t_i r_i$ ทั้งนี้เนื่องจากการดอทเวกเตอร์ให้ผลรวมของขนาดเวกเตอร์ในแกนเดียวกันมาคูณต่อกันดังนั้น $|\vec{t}| = \sqrt{\sum_{i=0}^n t_i^2}$ และ $|\vec{r}| = \sqrt{\sum_{i=0}^n r_i^2}$ ส่งผลให้สมการ (2-3) เขียนใหม่ได้ดังนี้

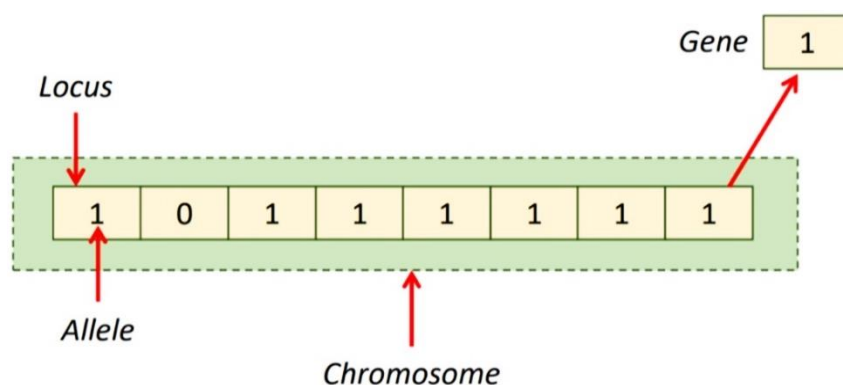
$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i r_i}{\left(\sqrt{\sum_{i=0}^n t_i^2} \right) \left(\sqrt{\sum_{i=0}^n r_i^2} \right)} \right) \quad (2-4)$$

สำหรับการจำแนกจะเปรียบเทียบค่ามุมของสเปกตรัม (θ) โดยนำเวกเตอร์ของจุดภาพที่ไม่ทราบชนิดสิ่งปกคลุมดินมาทำการเทียบแต่ละเวกเตอร์อ้างอิง ค่ามุมของสเปกตรัมที่เทียบกับเวกเตอร์อ้างอิงใดมีค่าน้อยที่สุดจุดภาพดังกล่าวจะถูกกำหนดให้เป็นสมาชิกของกลุ่มชนิดเวกเตอร์อ้างอิงนั้น (Rashmi *et al.*, 2014)

2.4 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมหรือ genetic algorithm (GA) เป็นหนึ่งในวิธีการค้นหาและแก้ปัญหาเพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุด (Optimal solutions) โดยพัฒนาการจำลองนี้มาจากหลักการของกระบวนการทางพันธุกรรม (Holland, 1975) สำหรับหลักการกล่าวว่ามีชีวิตทั้งหลายมีทั้งส่วนดีและไม่ดีซึ่งลักษณะที่ดีต่อการดำรงชีวิตจะได้รับการสนับสนุนให้มีการถ่ายทอดพันธุกรรมจากบรรพบุรุษสู่รุ่นลูกหลาน วิธีการนี้มีลักษณะการทำงานผ่านการนำข้อมูลเข้ารหัสเรียกว่า

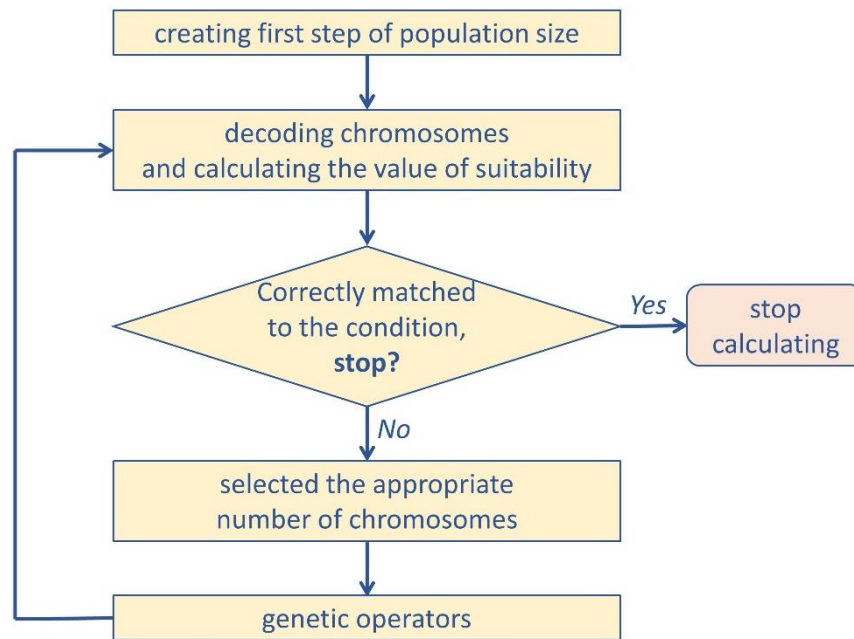
โครโมโซมโดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) หรือฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness function) ที่สอดคล้องกับความเหมาะสมของโครโมโซมและปัญหาเพื่อพิจารณาค่าความเหมาะสมของโครโมโซมในการสืบทอดสู่รุ่นลูก งานวิจัยนี้ใช้ตัวดำเนินการทางพันธุกรรมมากระทำกับโครโมโซมจนได้โครโมโซมรุ่นใหม่ที่มีความเหมาะสมต่อปัญหามากขึ้นและทำซ้ำกระทั่งได้โครโมโซมที่เป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือมีความเหมาะสมมากที่สุด



ภาพที่ 2-5 ลักษณะของโครโมโซม

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นกระบวนการเลียนแบบกลไกวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต เริ่มต้นด้วยการสุ่มเซตผลเฉลยจากการเข้ารหัสโดยใช้สายของตัวอักษร (String) ซึ่งเทียบได้กับโครโมโซมที่ประกอบด้วยส่วนประกอบย่อยเป็นตัวอักษร (Character) แทนยีน (Gene) และบริเวณของยีนที่อยู่บนโครโมโซมเรียกว่า Locus ส่วนสถานะของยีนบนโครโมโซมเรียกว่า Allele (ภาพที่ 2-5) เขียนเป็นผังงาน (Flowchart) 6 ขั้นตอน (ภาพที่ 2-6) (Goldberg, 1989)

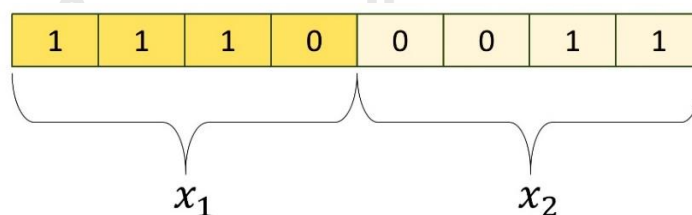
- 1) สร้างกลุ่มของโครโมโซมโดยเริ่มต้นจากการสุ่มจำนวนประชากร (Population size)
- 2) ถอดรหัสโครโมโซมของทุกโครโมโซมเพื่อให้ได้ตัวแปรจริงของปัญหา
- 3) นำตัวแปรจริงของปัญหามาคำนวณค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมด้วยฟังก์ชันความเหมาะสมที่กำหนด
- 4) สร้างกลุ่มประชากรรุ่นใหม่จากประชากรรุ่นก่อนหน้าด้วยวิธีการคัดเลือกโดยพิจารณาจากค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม
- 5) กลุ่มประชากรที่ผ่านการคัดเลือกจะถูกนำมากระทำต่อด้วย genetic operators เช่น การไขว้เปลี่ยน (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นต้น
- 6) ทำตามขั้นตอนที่ 2 ถึง 5 จนกระทั่งมีค่าลู่เข้าสู่คำตอบของปัญหาหรือเท่ากับจำนวนรอบที่กำหนด โดยที่จำนวนรอบในขั้นตอนที่ 2 ถึง 5 เรียกว่าหนึ่งรุ่นของการคำนวณ (Generations)



ภาพที่ 2-6 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

2.4.1 การเข้ารหัสโครโมโซม

คำนวณในปริภูมิของตัวแปรจากการเข้ารหัสตัวแปรเพื่อแทนคำตอบของปัญหาที่มีรูปแบบของรหัสเป็นเลขฐานสอง โดยโครโมโซมที่ใช้แทนคำตอบในแต่ละปัญหาประกอบด้วยเซตของยีน 0 หรือ 1 ส่วนความยาวของโครโมโซมจะถูกกำหนดตามความต้องการโดยขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา ตัวอย่างของโครโมโซมที่เป็นเลขฐานสอง (ภาพที่ 2-7) ถอดรหัสตัวแปรได้เป็น $X_1 = 14$ และ $X_2 = 3$



ภาพที่ 2-7 โครโมโซมยาว 8 บิต

เทคนิคการรับรู้จากระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลพบว่ามีการใช้ GA เพื่อคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมต่อกระบวนการจำแนกโดยเรียกเป็นชื่อช่วงคลื่น (ภาพที่ 2-8) การถอดรหัสโครโมโซมทำได้โดยการนำค่าการสะท้อนพลังงานของแต่ละช่วงคลื่นในโครโมโซมมาคำนวณค่าความเหมาะสมด้วยฟังก์ชันความเหมาะสม เช่น B2 แสดงรูปแบบการเข้ารหัสโครโมโซมซึ่งมีตัวแปรจริงที่ถูกนำมาคำนวณหาความเหมาะสม คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่น B2 เป็นต้น

B2	B43	B56	B79	B89	B106	B152	B220
----	-----	-----	-----	-----	------	------	------

ภาพที่ 2-8 โครโมโซมที่ถูกเข้ารหัส (ชื่อของช่วงคลื่นจากภาพถ่ายดาวเทียม)

2.4.2 การประเมินความเหมาะสม

การประเมินความเหมาะสม (Fitness evaluation) แต่ละโครโมโซมสามารถทำได้โดยการถอดรหัสโครโมโซมมาเป็นค่าตัวแปรจริงของปัญหา จากนั้นแทนตัวแปรจริงที่ได้ในฟังก์ชันความเหมาะสมโดยฟังก์ชันความเหมาะสมที่เลือกขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานกำหนดขึ้นให้สอดคล้องกับปัญหา เช่น การคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการจำแนกสิ่งปกคลุมดินอาจใช้ค่าความถูกต้องโดยรวมของการจำแนกเป็นค่าความเหมาะสม (Fitness value) ดังนั้นเมื่อทำการถอดรหัสโครโมโซม (ภาพที่ 2-8) จึงนำค่าการสะท้อนของแต่ละช่วงคลื่นจากข้อมูลการสอน (Training samples) มาใช้เป็นข้อมูลในการจำแนกก่อนคำนวณค่าความถูกต้องโดยรวมของการจำแนกข้อมูลการสอน ทั้งนี้หากพบจำนวนช่วงคลื่นในโครโมโซมมีค่าความถูกต้องโดยรวมมากแสดงว่าให้ค่าความเหมาะสมมาก ในทางกลับกันหากความถูกต้องโดยรวมมีค่าน้อยแสดงว่าให้ค่าความเหมาะสมน้อย

2.4.3 การคัดเลือก

การคัดเลือกเป็นกระบวนการของการถ่ายทอดโครโมโซมที่เหมาะสมไปยังรุ่นลูก ดังนั้นหากโครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีแนวโน้มจะเป็นในการถูกเลือกมากกว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อย สำหรับการคัดเลือกที่นิยมใช้เป็นการคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต (Roulette wheel selection) มีลักษณะเทียบได้กับวงล้อรูเล็ตซึ่งมีพื้นที่ของช่องไม่เท่ากันโดยสอดคล้องกับค่าความเหมาะสมคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแต่ละโครโมโซม ทำให้โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากมีโอกาสที่จะถูกเลือกมากกว่า ดังนั้นโอกาสที่โครโมโซมแต่ละตัวจะถูกเลือกหาได้จากอัตราส่วนค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัวกับค่าความเหมาะสมรวมของโครโมโซมทุกตัว

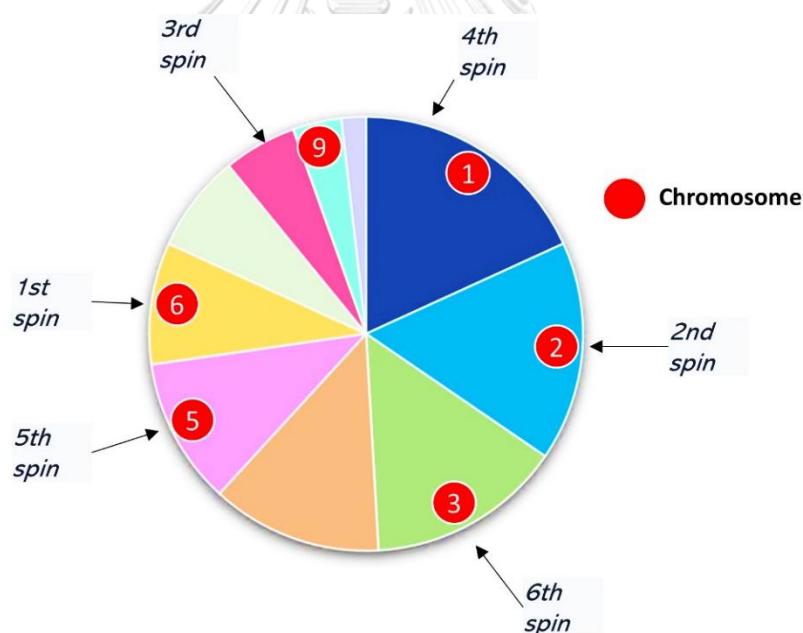
ตารางที่ 2-6 ค่าความเหมาะสมและแนวโน้มจะเป็นของการเลือกโครโมโซม

โครโมโซมตัวที่	ค่าความเหมาะสม	ความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือก
1	2.0	0.18
2	1.8	0.16
3	1.6	0.15
4	1.4	0.13
5	1.2	0.11

ตารางที่ 2-6 (ต่อ) ค่าความเหมาะสมและความน่าจะเป็นของการเลือกโครโมโซม

โครโมโซมตัวที่	ค่าความเหมาะสม	ความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือก
6	1.0	0.09
7	0.8	0.07
8	0.6	0.06
9	0.4	0.03
10	0.2	0.02

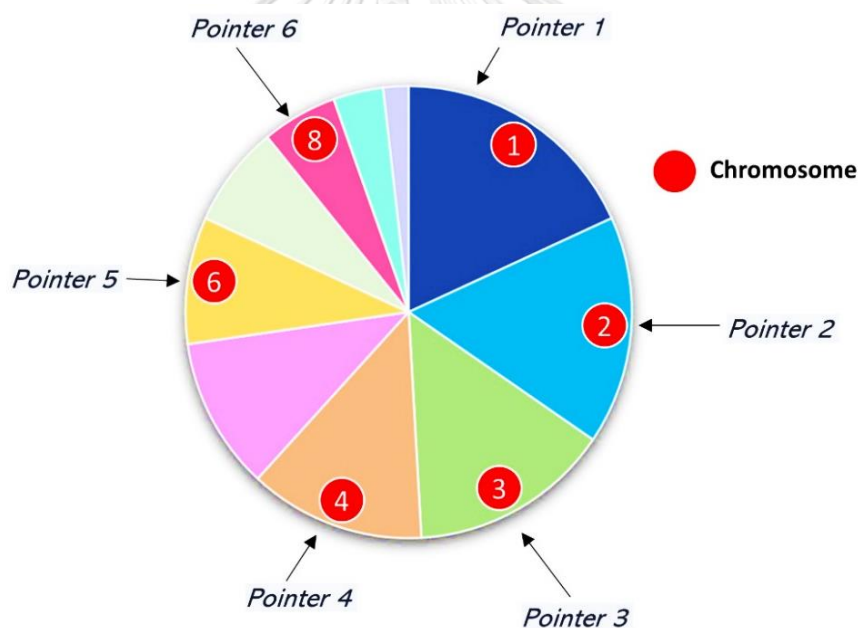
ตัวอย่างการคัดเลือกโครโมโซมเท่ากับ 10 ตัว โดยที่โครโมโซมแต่ละตัวมีค่าความเหมาะสมและความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือก (ตารางที่ 2-6) ทั้งนี้ความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกของแต่ละโครโมโซมสามารถคำนวณได้จากค่าความเหมาะสมในแต่ละโครโมโซมหารด้วยค่าความเหมาะสมรวมของโครโมโซมทุกตัว ดัดแปลงจาก (Galinier & Hao, 1999; Chiong *et al.*, 2012)



ภาพที่ 2-9 การคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต

การสุ่มจุดเริ่มต้นการหมุนเริ่มจากหมุนโครโมโซมตัวที่ 1 ทำการสุ่มค่าจาก 0 ถึง 1 เท่ากับจำนวนที่ต้องการ เช่น ต้องการหมุน 6 ครั้งจะได้ 6 ค่า ประกอบด้วย 0.80, 0.31, 0.94, 0.04, 0.69 และ 0.45 ซึ่งโครโมโซมที่ถูกเลือกเป็นโครโมโซมตัวที่ 1, 2, 3, 5, 6, 9 (ภาพที่ 2-9) ส่วนการคัดเลือกอีกวิธีที่ได้รับความนิยมและนำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการคัดเลือกแบบ stochastic universal

sampling (SUS) ซึ่งเป็นวิธีการคัดเลือกที่ไม่มีความลำเอียง (Bias) และมีการกระจายต่ำ (Minimum spread) (Zalzala & Fleming, 1997; Mitchell, 1998) เริ่มต้นคัดเลือกด้วยวิธีการที่คล้ายคลึงกับการคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต โดยคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือกของแต่ละโครโมโซมเมื่อความน่าจะเป็นของโครโมโซมทุกตัวรวมกันเท่ากับ 1 จึงสร้างเป็นรูปวงล้อ (ภาพที่ 2-9) ส่วนการคัดเลือกแบบ SUS มีตัวชี้ (Pointer) ที่มีระยะห่างระหว่างตัวชี้เท่ากันโดยระยะห่างของแต่ละตัวชี้คำนวณได้จาก $1/N\text{Pointer}$ เมื่อ $N\text{Pointer}$ คือ จำนวนโครโมโซมที่ต้องการแสดงถึงการคัดเลือก เช่น คัดเลือกโครโมโซมจำนวน 6 โครโมโซม ช่องว่างระหว่างตัวชี้จะมีค่าเท่ากับ $1/6$ (ค่าประมาณ 0.167) จากนั้นจึงสุ่มตำแหน่งของตัวชี้แรกที่มีค่าอยู่ระหว่าง $[0, 0.167]$ เช่น 0.1 จะได้ตำแหน่งตัวชี้ทั้ง 6 ตำแหน่งประกอบด้วย 0.1, 0.267, 0.434, 0.601, 0.768 และ 0.935 ตามลำดับ ดังนั้นโครโมโซมที่ถูกเลือกจึงเป็นโครโมโซมตัวที่ 1, 2, 3, 4, 6, 8 (ภาพที่ 2-10)



ภาพที่ 2-10 การคัดเลือกแบบ stochastic universal sampling

2.4.4 การไขว้เปลี่ยน

โครโมโซมทางพันธุศาสตร์มีการไขว้เปลี่ยนที่เกิดขึ้นจากการผสมพันธุ์โดยโครโมโซมตัวพ่อจับกับโครโมโซมตัวแม่เพื่อรวมโครโมโซมแล้วไขว้เปลี่ยนกันทำให้เกิดโครโมโซมลูกขึ้นมาใหม่ GA นำหลักการนี้มาใช้ในการสร้างคำตอบใหม่ที่ต้องการโดยสุ่มคู่โครโมโซมที่ได้รับการคัดเลือกจากกระบวนการคัดเลือกเรียกว่าโครโมโซมพ่อแม่ จากนั้นจึงแลกเปลี่ยนยีนต่อกันได้เป็นโครโมโซมลูกและ

ใช้กระบวนการนี้กับโครโมโซมที่เหลือจนกระทั่งได้จำนวนโครโมโซมครบตามจำนวนประชากรเดิม โดยทั่วไปแล้วการไขว้เปลี่ยนไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นกับทุกคู่โครโมโซมขึ้นอยู่กับค่าความเป็นไปได้หรือเปอร์เซ็นต์ในการไขว้เปลี่ยน (Crossover probability) นิยมใช้ค่าอยู่ระหว่าง 70% ถึง 90% หากไม่เกิดการไขว้เปลี่ยนจะทำให้โครโมโซมลูกมีลักษณะเหมือนกับโครโมโซมพ่อแม่ทุกประการ งานวิจัยนี้เลือกใช้การไขว้เปลี่ยนแบบกระจาย (Scattered) ชั้นแรกสุ่มค่าเลขฐานสอง (0 กับ 1) จำนวนเท่ากับขนาดโครโมโซม โดยโครโมโซมลูกที่ได้จะเป็นการนำค่าจากโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ตัวที่ 1 หากค่าที่สุ่มประจำบิตเป็น 1 และได้จากโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ตัวที่ 2 หากค่าประจำบิตเป็น 0 (ภาพที่ 2-11)

1	1	0	0	1	0	0	0	เวกเตอร์ที่ได้จากการสุ่ม
B12	B23	B42	B58	B69	B98	B108	B156	โครโมโซมรุ่นพ่อแม่ 1
B2	B43	B56	B79	B89	B106	B152	B220	โครโมโซมรุ่นพ่อแม่ 2
B12	B23	B56	B79	B69	B106	B152	B220	โครโมโซมรุ่นลูก

ภาพที่ 2-11 การไขว้เปลี่ยนแบบกระจาย

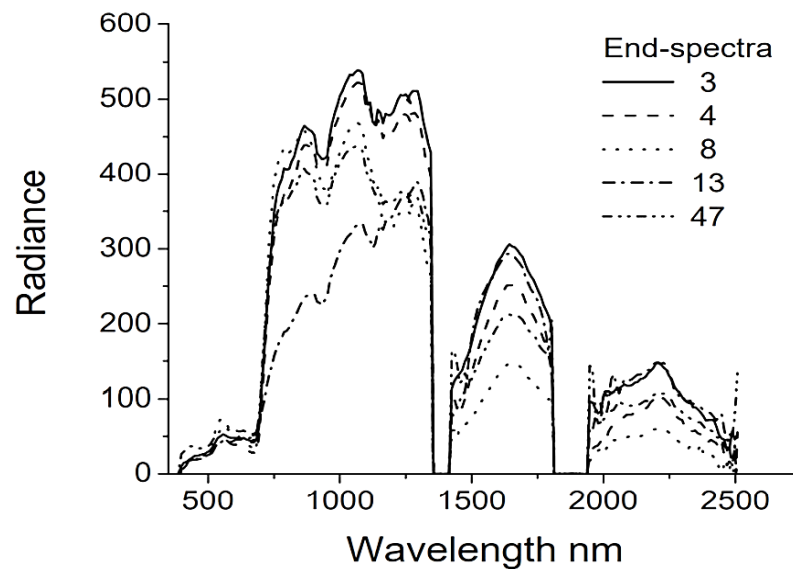
2.4.5 การกลายพันธุ์

การกลายพันธุ์เป็นตัวดำเนินการหนึ่งที่สร้างโครโมโซมใหม่จากโครโมโซมเดิมส่งผลให้โครโมโซมตัวใหม่ถูกเปลี่ยนค่าไปบางยีน (ภาพที่ 2-12) บริเวณที่เกิดการกลายพันธุ์เป็นตำแหน่งลูกคัสที่ 5 ของโครโมโซม โดยโอกาสกลายพันธุ์จะถูกกำหนดด้วยความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ (Mutation probability) อยู่ที่ 0.0 – 0.1 คือ 0% ถึง 10% แม้ว่าการกลายพันธุ์จะมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการไขว้เปลี่ยนแต่นับว่าเป็นตัวดำเนินการหนึ่งที่สามารถสร้างโครโมโซมที่มีความเหมาะสมมากกว่าประชากรรุ่นพ่อแม่ได้

B2	B43	B56	B79	B89	B106	B152	B220	ก่อนกลายพันธุ์
B2	B43	B56	B79	B100	B106	B152	B220	หลังกลายพันธุ์

ภาพที่ 2-12 การกลายพันธุ์

2.5 sequential maximum angle convex cone



ภาพที่ 2-13 สเปกตรัมสุดท้ายของพืชที่ถูกคัดเลือกจากชุดข้อมูล AVIRIS (Gruninger *et al.*, 2004)

sequential maximum angle convex cone (SMACC) มีลักษณะการทำงานเพื่อสกัดหา endmembers โดยใช้แบบจำลองรูปกรวยนูนให้ผลลัพธ์ที่มีค่าประมาณมากแต่มีความแม่นยำน้อยเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสม (Band-selection) ของข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัล SMACC มีข้อจำกัดในการระบุสเปกตรัมของสมาชิกภาพสุดท้ายจึงได้กำหนดจุดสุดท้ายเพื่อใช้สำหรับจำลองรูปกรวยนูนจากนั้นฉายภาพเฉียงกับกรวยที่มีอยู่เพื่อให้ได้สมาชิกรุ่นถัดไป เมื่อจำนวนของกรวยเพิ่มขึ้นจึงรวมเป็น endmember ชุดใหม่ กระบวนการนี้จะทำซ้ำจนกว่าการฉายภาพจะพบ endmember ที่กำหนดไว้กล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า SMACC จะค้นหาจุดภาพที่สว่างที่สุดในภาพก่อน จากนั้นจึงค้นหาจุดภาพถัดไปที่มีความแตกต่างจากจุดภาพก่อนหน้ามากที่สุด โดยทำซ้ำจนกว่าจะพบจุดภาพที่เคยค้นหาไปแล้วหรือพบจำนวน endmembers ที่ระบุไว้ในทางคณิตศาสตร์ SMACC ใช้การขยายรูปกรวยนูนต่อไปนี้สำหรับสเปกตรัมในแต่ละจุดภาพ (Endmember) แสดงดังสมการที่ 2-5 (Gruninger *et al.*, 2004; Thompson *et al.*, 2010)

$$H(c, i) = \sum_k^N R(c, k)A(k, j) \quad (2-5)$$

- เมื่อ H แทนการขยายรูปกรวยนูนสำหรับสเปกตรัมของแต่ละจุดภาพ
 i แทนดัชนีของจุดภาพ
 j, k แทนดัชนี endmember จาก 1 ถึงความยาวส่วนขยาย N

- R แทนเมทริกซ์ที่มีสเปกตรัม endmember เป็นคอลัมน์
 C แทนดัชนีช่องสเปกตรัม
 A แทนเมทริกซ์เศษส่วนของแต่ละ endmember j และ k ในแต่ละจุดภาพ

2.6 การตรวจสอบผลการจำแนก (Classification accuracy assessment)

การตรวจสอบผลการจำแนกด้วยเมทริกซ์ค่าคลาดเคลื่อน (Confusion matrix) กระทำเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำแนกโดยเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลผลลัพธ์และข้อมูลอ้างอิง (Congalton & Green, 2008)

ตารางที่ 2-7 เมทริกซ์ค่าคลาดเคลื่อน

		Reference data				
		1	2	3	k	n_{i+}
Classification data	1	n_{11}	n_{12}	n_{13}	n_{1k}	n_{1+}
	2	n_{21}	n_{22}	n_{23}	n_{2k}	n_{2+}
	3	n_{31}	n_{32}	n_{33}	n_{3k}	n_{3+}
	k	n_{k1}	n_{k2}	n_{k3}	n_{kk}	n_{k+}
	n_{+j}	n_{+1}	n_{+2}	n_{+3}	n_{+k}	n

เมื่อ i, j แทนดัชนีชั้นข้อมูลในแถวและคอลัมน์ตามลำดับ

k แทนจำนวนชั้นข้อมูลทั้งหมด

n_{ij} แทนจำนวนจุดภาพที่ถูกจำแนกเป็นชั้นข้อมูลที่ i โดยข้อมูลอ้างอิงเป็นชั้นที่ j

n_{ii} แทนจำนวนจุดภาพที่ถูกจำแนกตรงกับข้อมูลอ้างอิงที่ i

n_{i+} แทนจำนวนจุดภาพที่ถูกจำนวนเป็นชั้นข้อมูลที่ i ทั้งหมด

n_{+j} แทนจำนวนจุดภาพทั้งหมดของข้อมูลอ้างอิงในชนิดชั้นข้อมูลที่ j

n แทนจำนวนจุดภาพทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณ

ตรวจสอบผลการจำแนกด้วยเมทริกซ์ค่าคลาดเคลื่อนโดยนำผลการจำแนก (Classification data) เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงจากการเก็บข้อมูลภาคสนาม (Reference data) แสดงเป็นตารางความผิดพลาดโดยมีค่าอ้างอิงอยู่ในแนวตั้งและผลจากการจำแนกจุดภาพเดียวกันนั้นอยู่ในแนวนอน

ค่าที่อยู่ในแนวทแยงของเมทริกซ์แสดงถึงจำนวนจุดภาพที่จำแนกได้อย่างถูกต้องในแต่ละชั้นข้อมูลของประเภทสิ่งปกคลุมดิน ส่วนค่าที่ไม่ได้อยู่ในแนวทแยงเรียกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ละไว้ (Error of omission) (ตารางที่ 2-7)

2.6.1 ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy)

ค่าความถูกต้องโดยรวมเป็นการวัดค่าที่แสดงถึงความถูกต้องโดยรวมของผลลัพธ์ในทุกชั้นข้อมูลที่ได้จากการจำแนกและข้อมูลภาคสนาม สามารถคำนวณได้จากผลรวมของจำนวนจุดภาพที่สามารถจำแนกถูกต้องหารด้วยจำนวนจุดภาพทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณแสดงดังสมการที่ 2-6

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n} \times 100 \quad (2-6)$$

2.6.2 ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's Accuracy)

ค่าความถูกต้องของผู้ผลิตใช้ตรวจสอบความน่าจะเป็นของผลลัพธ์ที่จำแนกได้ตรงกับข้อมูลภาคสนาม (คลาสอ้างอิง) เพื่อประโยชน์ด้านการวิเคราะห์ความถูกต้องของการจำแนกโดยการคำนวณความถูกต้องจำเป็นต้องแยกข้อมูลออกกันอย่างชัดเจนในแต่ละชั้นข้อมูล สามารถคำนวณได้จากจำนวนจุดภาพที่จำแนกได้ถูกต้องในชั้นข้อมูลอ้างอิงนั้น ๆ หารด้วยจำนวนจุดภาพข้อมูลอ้างอิงในชั้นนั้นทั้งหมดแสดงดังสมการที่ 2-7

$$\text{Producer's Accuracy} = \frac{n_{ii}}{n_{+j}} \times 100 \quad (2-7)$$

2.6.3 ค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (User's Accuracy)

ค่าความถูกต้องของผู้ใช้แสดงถึงความน่าจะเป็นของแต่ละจุดภาพที่จำแนกได้ถูกต้องตรงกับข้อมูลอ้างอิง การคำนวณความถูกต้องจะพิจารณาเป็นชั้นข้อมูลโดยคำนวณจากจำนวนจุดภาพที่จำแนกได้ถูกต้องในชั้นข้อมูลอ้างอิงนั้น ๆ หารด้วยจำนวนจุดภาพทั้งหมดที่จำแนกได้ในชั้นนั้นแสดงดังสมการที่ 2-8

$$\text{User's Accuracy} = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \times 100 \quad (2-8)$$

2.6.4 ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาแฮท (Kappa hat coefficient, Kappa)

ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาแฮทเป็นค่าความถูกต้องโดยรวมจากการคำนวณจำนวนจุดภาพที่จำแนกได้ถูกต้องโดยไม่นำค่าความคลาดเคลื่อนที่ละไว้มาคำนวณ เป็นความถูกต้องของการจำแนกที่ได้รับความนิยมใช้เป็นตัวชี้วัดเพื่อยอมรับค่าที่ได้จากการทำนาย (ผลการจำแนก) กับค่าจริง (ข้อมูลอ้างอิง) หรือใช้เพื่อตรวจสอบว่าผลการจำแนกด้วยเมตริกซ์ความคลาดเคลื่อนเป็นตัวแทนที่มีนัยสำคัญ หรือดีกว่าผลที่ได้จากการสุ่มมากน้อยเพียงใดมีค่าที่ตั้งตั้งแต่ 0 ถึง 1 แสดงดังสมการที่ 2-9

$$K = \frac{|n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+j}|}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+j}} \quad (2-9)$$

2.6.5 ค่าสถิติการทดสอบ

ผลลัพธ์สุดท้ายของการจำแนกด้วยกลุ่มตัวอย่างเดียวกันแต่เลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ต่างกันนำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่มีการแจกแจงแบบปกติด้วย dependent sample t-test โดยกำหนดให้สมมติฐานหลัก $H_0: \mu_1 = \mu_2$ (ค่าไม่มีความแตกต่าง) สมมติฐานรอง $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ (ค่ามีความแตกต่าง) โดยที่ H_0 จะถูกปฏิเสธเมื่อ $t \geq t_{\alpha/2}$ เมื่อ $\alpha/2$ คือระดับความเชื่อมั่นทางสถิติค่า t แบบ 2 ทาง มีองศาอิสระเป็นค่าอนันต์ ดังสมการที่ 2-10 (Wilkerson, 2008; Koedsin & Vaiphasa, 2013; Gerald, 2018)

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{(n \sum D^2 - (\sum D)^2)}{n-1}}} \quad (2-10)$$

มี $df = N - 1$

เมื่อ D แทนผลต่างระหว่างข้อมูลแต่ละคู่

n แทนจำนวนคู่ของข้อมูล

บทที่ 3

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกป่าชายเลนด้วยการรับรู้จากระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล

3.1.1 Vaiphasa *et al.* (2005) จำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนจำนวน 16 ชนิด บริเวณอ่าวสวี จังหวัดชุมพร ประเทศไทย ด้วยการเก็บใบไม้ของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนแต่ละสายพันธุ์นำมาหาค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ spectroradiometer จำนวน 2151 ช่วงคลื่น ตั้งแต่ 350 – 2500 นาโนเมตร จากนั้นทดสอบความแตกต่างของการสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนด้วย ANOVA แบบทางเดียวและทดลองแยกสเปกตรัมระหว่างพันธุ์ไม้ออกจากกันด้วย Jeffries-Matusita (J-M Distance) ผลการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95.00 พบว่าช่วงคลื่นจำนวน 1941 ช่วงคลื่นมีค่าการสะท้อนแตกต่างกัน ในขณะที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99.00 พบ 477 ช่วงคลื่นมีค่าการสะท้อนแตกต่างกัน โดยระยะ J-M ที่คำนวณในทุกคู่พันธุ์ไม้สามารถแยกออกจากกันอย่างชัดเจนยกเว้นวงศ์ RHIZOPHORACEAE เช่น ถั่วขาว, พังกาหัวสุม, ถั่วดำ, โปรงแดง, โกงกางใบเล็กและโกงกางใบใหญ่ซึ่งมีสเปกตรัมที่คล้ายคลึงกันมาก

3.1.2 Vaiphasa *et al.* (2006) ศึกษาการใช้ข้อมูลนิเวศวิทยา (Ecological data) มาช่วยจำแนกป่าชายเลนในระดับสายพันธุ์ บริเวณแหลมตะลุมพุก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม ASTER จำแนกด้วยวิธี maximum likelihood classification (MLC) พบว่าให้ค่าความถูกต้องโดยรวมร้อยละ 76.04 เมื่อวิเคราะห์หลังการจำแนก (Post-classification) ด้วย Bayesian Expert System โดยใช้ข้อมูล pH สามารถปรับปรุงค่าความถูกต้องโดยรวมเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 12.00 ให้ค่าความถูกต้องสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 88.21

3.1.3 Vaiphasa *et al.* (2007b) ศึกษาการใช้เทคนิคการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมด้วย genetic algorithm (GA) เพื่อคัดเลือกช่วงคลื่น (Band-selection) ของข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัลทั้งหมด 2151 ช่วงคลื่น ก่อนนำไปจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนจำนวน 16 ชนิด ผลการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA พบว่ามี 6 ช่วงคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการจำแนกป่าชายเลน ประกอบด้วยความยาวคลื่น 513 nm, 717 nm, 1263 nm, 1385 nm, 1489 nm และ 1669 nm สอดคล้องกับคุณลักษณะทางสรีรเคมีของพืช (Physio-chemical characteristics of plants)

3.1.4 Koedsin & Vaiphasa (2013) ศึกษาการจำแนกป่าชายเลนบริเวณแหลมตะลุมพุก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม EO-1 ระบบ Hyperion โดยอาศัยการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมด้วย sequential forward selection (SFS) และ genetic algorithm (GA) พบว่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระบบไฮเปอร์สเปกตรัลสามารถจำแนกป่าชายเลนได้

เมื่อใช้ร่วมกับการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA และจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน 5 สายพันธุ์เด่นได้อย่างถูกต้อง ได้แก่ โกงกางใบใหญ่, โกงกางใบเล็ก, แสมทะเล, แสมขาวและถั่วดำ โดยปรับปรุงค่าความถูกต้องรวมเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 87.00 เป็นร้อยละ 92.00 อย่างไรก็ตามยังคงประสบกับปัญหาการจำแนกโกงกางใบเล็กและโกงกางใบใหญ่ที่ไม่สามารถแยกความแตกต่างกันได้ชัดเจน

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกพันธุ์ไม้โดยใช้ข้อมูลพริสมาไฮเปอร์สเปกตรัล

3.2.1 Pepe *et al.* (2020) ศึกษาเรื่องการประเมินประสิทธิภาพของภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA hyperspectral cubes เพื่อตรวจสอบพันธุ์พืชที่ไม่สังเคราะห์แสง (Non-photosynthetic vegetation, NPV) ในพื้นที่เกษตรกรรม โดยใช้การจำแนกเชิงวัตถุ (Object-based classification) เพื่อแยกแยะความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์ตลอดจนตรวจสอบลักษณะเฉพาะของสเปกตรัมขนาด 2.1 ไมโครเมตรต่อการดูดซับของ NPV ทั้งนี้ทำการดึงข้อมูลเชิงคลื่นที่บ่งบอกถึงลักษณะเฉพาะของ NPV จากภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA ตรวจสอบและจำแนก NPV ด้วยแบบจำลอง absorption band diagnostic ของเซลล์โลสใน NPVs ผลการศึกษาพบว่าข้อมูลพริสมาไฮเปอร์สเปกตรัลมีศักยภาพตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และหากต้องการปรับใช้กับพื้นที่ศึกษาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นพบว่าการสุ่มตัวอย่างชีวมวลก่อนการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของข้อมูลพริสมาไฮเปอร์สเปกตรัลในการแยกแยะความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์ได้ชัดเจนมากขึ้น

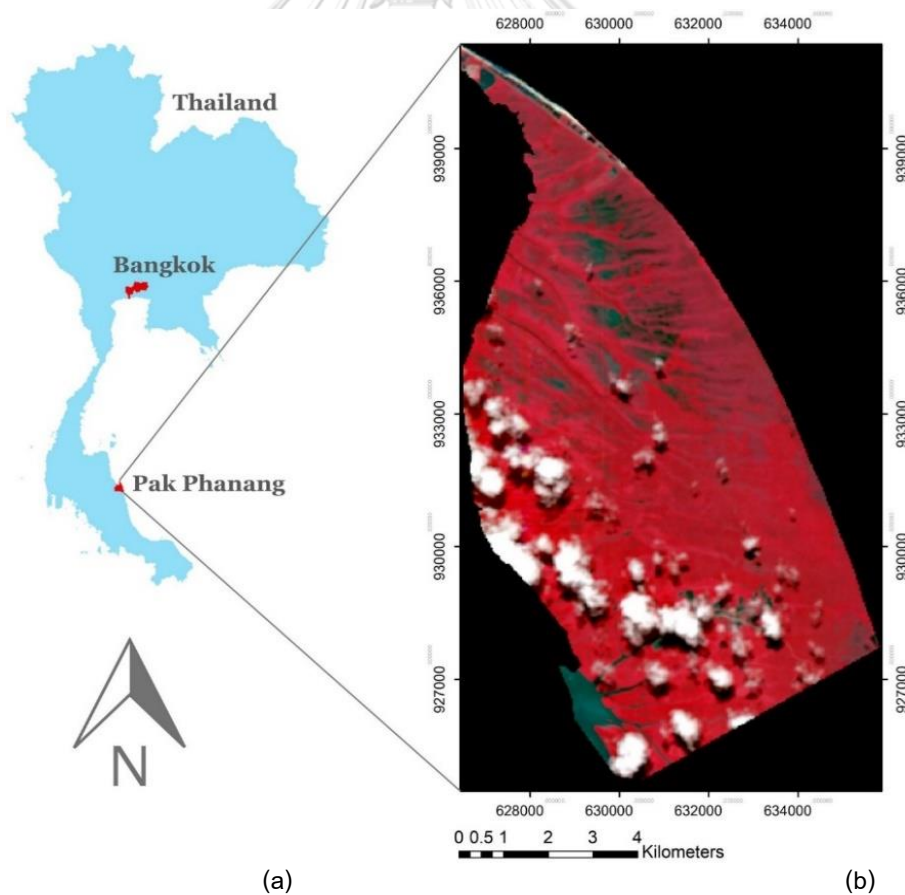
3.2.2 Vangi *et al.* (2021) เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างไฮเปอร์สเปกตรัลเซนเซอร์ของดาวเทียม PRISMA และ Sentinel-2 (Multi-spectral instrument, MSI) เพื่อจำแนกชนิดป่าที่มีความแตกต่างกันด้วยการทดสอบประสิทธิภาพของ spectral signatures พบว่าไฮเปอร์สเปกตรัลเซนเซอร์ที่ติดตั้งบนดาวเทียม PRISMA ตรวจสอบภาพในแถบสเปกตรัมได้ 240 ช่วงคลื่นต่อเนื่องตั้งแต่ช่วงคลื่น 400 – 2500 นาโนเมตร โดยมี spectral resolution น้อยกว่า 12 นาโนเมตร แม้ว่าขนาดไฟล์ภาพจะมีความซับซ้อนแต่กลับส่งผลต่อการจำแนกที่ละเอียดมากขึ้น ผลการศึกษายังพบด้วยว่าการใช้ข้อมูลพริสมาไฮเปอร์สเปกตรัลสามารถปรับปรุงค่าความถูกต้องของการจำแนกป่าไม้ 2 ชนิดเพิ่มขึ้นเป็น 40% ประกอบด้วย coniferous และ broadleaves และปรับปรุงค่าความถูกต้องในการจำแนกป่าไม้ 5 ชนิดเพิ่มขึ้นเป็น 102%

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 พื้นที่ศึกษา

ป่าชายเลนบริเวณแหลมตะลุมพุก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ได้รับการตั้งเป็นเขตห้ามล่าสัตว์ป่าแหลมตะลุมพุกตามพระราชบัญญัติสงวนและคุ้มครองสัตว์ป่า พ.ศ. 2503 มีพื้นที่ 56.73 ตารางกิโลเมตร ตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์ละติจูด $8^{\circ} 31'$ เหนือ และลองจิจูด $100^{\circ} 9'$ ตะวันออก (ภาพที่ 4-1) ครอบคลุม 2 ตำบลในอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ได้แก่ ตำบลปากพนังฝั่งตะวันออกและตำบลแหลมตะลุมพุก โดยทับซ้อนกับเขตป่าสงวนแห่งชาติ 2 ส่วน ได้แก่ (1) เขตป่าสงวนแห่งชาติป่าปลายแหลมตะลุมพุก และ (2) เขตป่าสงวนแห่งชาติป่าเลนปากพนังฝั่งตะวันออกและป่าเลนเกาะไชย (MOAC, 1965; Khamprakop, 1975; Teeratanatorn, 2000)



ภาพที่ 4-1 (a) ป่าชายเลนบริเวณแหลมตะลุมพุก (b) ภาพผสมสีเท็จข้อมูลพริสมาไฮเปอร์สเปกตรัล บันทึกภาพเมื่อวันที่ 11 พฤษภาคม 2564

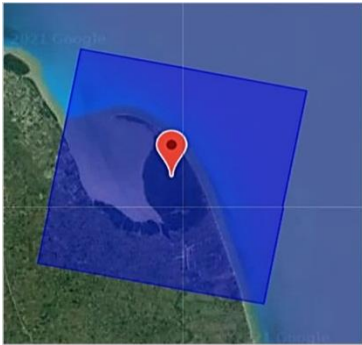
แหลมตะลุมพุกมีลักษณะภูมิอากาศเขตร้อน (Tropical climate) แบ่งเป็น 2 ฤดูกาลต่อปี ประกอบด้วยฤดูร้อนอยู่ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายนและฤดูฝนจะได้รับอิทธิพลมาจากลมมรสุม ส่วนลักษณะทางด้านธรณีสัณฐานพบว่าเกิดการทับถมของตะกอนสะสมเป็นเวลานานจากแม่น้ำทางทิศใต้ โดยได้รับอิทธิพลมาจากปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลงของระดับน้ำทะเลทางทิศตะวันออกและทิศเหนือของแหลมตะลุมพุก (Vaiphasa *et al.*, 2006) ป่าชายเลนบริเวณแหลมตะลุมพุกมีพันธุ์ไม้ป่าชายเลน 11 วงศ์ 23 ชนิด โดยเป็นพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่โดดเด่น (Dominant mangrove species) ทั้งสิ้น 5 สายพันธุ์ ประกอบด้วย โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*, RM) โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*, RA) แสมทะเล (*Avicennia marina*, AM) แสมขาว (*Avicennia alba*, AA) และถั่วดำ (*Bruguiera parviflora*, BP) (Koedsin & Vaiphasa, 2013)

4.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและการประมวลผลภาพจากดาวเทียม PRISMA

ข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัลที่ใช้ในงานวิจัยมาจากภาพถ่ายจากดาวเทียม PRISMA ครอบคลุมพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณแหลมตะลุมพุก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช สัปดาห์วันที่ 5 พฤษภาคม 2564 เวลา 07.35 น. (ตามเวลาของประเทศอิตาลี) ในระบบพิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด 8.4446 N และลองจิจูด 100.1825 E สัปดาห์เป็น spot image 30 × 30 กิโลเมตร start epoch: 6/5/2564 เวลา 12.00 น. และ stop epoch: 13/5/2564 เวลา 12.00 น. กำหนดให้ look angle min/max เท่ากับ -20.7 และ 20.7 ตามลำดับ (ตารางที่ 4-1)


ตารางที่ 4-1 Constraint on field of view (ASI, 2020b)

Latitude degrees	Maximum roll angle (absolute value)
[0, 25]	20.7
[30, 40]	18.0
[45, 55]	14.9
[60, 65]	10.7
[70, 85]	7.3



#3751 COMPLETED		DAILY ACQUIRABLE QUOTA: 5.0	
VALIDITY TIME RANGE			
Start epoch: 6/5/2021 12:00		Stop epoch: 13/5/2021 12:00	
AREA OF INTEREST			
Spot image: 30 x 30 km			Quota: 1
Longitude [deg]	Latitude [deg]	Cloud Coverage [%]	
100.1825050	8.4446150	100.00	
LookAngle Min	LookAngle Max	MinSunZenithAngle	MaxSunZenithAngle
-20.7000000	20.7000000	.0000000	70.0000000
Pak Phanang, Nakhon Si Thammarat province, Thailand			
Contextual Processing Order			
None			

ภาพที่ 4-2 Create order



History
5/5/21 7:35 AM Order 3751 SUBMITTED.
5/5/21 3:41 PM PR 7138 ACCEPTED. Request not geometrically feasible
5/9/21 3:02 PM PR 7138 SCHEDULED. Programming Request planned into the mission plan
5/10/21 3:45 PM PR 7138 UPLINKED. The request has been correctly loaded on board
5/11/21 2:58 PM PR 7138 COMPLETED. The image screening has shown good quality
5/11/21 2:58 PM Order 3751 COMPLETED.

ภาพที่ 4-3 Order status จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภายหลังจากการส่งถ่ายภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA ได้ทำการบันทึกข้อมูลภาพเมื่อวันที่ 11 พฤษภาคม 2564 cloud coverage ร้อยละ 6.04 สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ภาพถ่าย Level 1 (ตารางที่ 4-2) โดยพิจารณาที่ hyperspectral cubes (VNIR cube และ SWIR cube) เป็นสำคัญ ปรับแก้ข้อมูลชั้นบรรยากาศด้วยแบบจำลอง MODTRAN-4 และ Fast Line of Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercube (FLAASH) ในโปรแกรม ENVI 5.6 (E-Contract No. E21-0076 สัญญาเลขที่ 003/2564) (L3HARRIS, 2021) โดยเลือกใช้ช่วงคลื่นจำนวน 170 ช่วงคลื่น (ตารางที่ 4-5) จากช่วงคลื่นทั้งหมด 240 ช่วงคลื่นของภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA (Loizzo *et al.*, 2018) และ de-streaking เพื่อกำจัดริ้วในแนวตั้ง (Vertical striping) พร้อมทั้งกำหนดพิกัดภาพถ่ายด้วยระบบพื้นหลักฐานอ้างอิงแบบ World Geodetic System 1984 (WGS84) ระบบพิกัด UTM Zone 47 North ก่อนนำข้อมูลภาพไปจำแนก

ตารางที่ 4-2 คุณลักษณะภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA Level 1 ดัดแปลงจาก Vangi *et al.* (2021)

Feature	Description
Available product	Top-of-Atmosphere Spectral Radiance Cloud mask Sun-glint Mask Calibration and characterization data used Classification Mask
Inventory date/ Sun zenith angle	2021-05-11 08:32:26.972Z/ 23.974°
Orbit altitude reference/ Swath	615 km/ 30 km
Ground Sampling Distance	Hyperspectral: 30 m; Panchromatic: 5 m
Spatial pixels	Hyperspectral:1000; Panchromatic: 6000
Pixel size	Hyperspectral: 30 x 30 μm Panchromatic: 6.5 x 6.5 μm
Spectral range	VNIR: 400-1010 nm (66 bands) SWIR: 920-2500 nm (173 bands) PAN: 400-700 nm
Spectral width	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 12 nm
Spectral calibration accuracy	± 0.1 nm
Radiometric quantization	12 bits

ตารางที่ 4-3 รายละเอียดของผลิตภัณฑ์จากภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA Level 1

Feature	Description
Product Start Time	2021-05-11 03:45:00.926Z
Product Stop Time	2021-05-11 03:45:05.236Z
File Type	PRS_L0_EO
Sensor Mode	HYP/PAN
Cloud coverage	6.03649
Inventory date	2021-05-11 08:32:26.972Z
Archived	True

ตารางที่ 4-4 การตั้งค่าพารามิเตอร์ของภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA Level 1

Feature	Description
Processing	L1
Panchromatic Channel	Enabled
VNIR Channel	Enabled
SWIR Channel	Enabled
Spatial grouping 1...10	1
GCP use	Enabled
Band Selection or Binning	Bin
VNIR band selection b1-b2, b3-b4, ...	4-66
SWIR band selection b1-b2, b3-b4, ...	1-170
Index of binning value 1...10	1

ตารางที่ 4-5 ช่วงคลื่นจาก Hyperspectral cubes ของภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA

Radiation type of wavelength	Band No.	ความยาวคลื่น (nm)	สถานะ
VNIR: 411-972 nm (62 bands)	2	411	มีสัญญาณ
	3	419	VNIR 2 -16
	4	426	
	5	434	
	6	441	
	7	449	
	8	456	
	9	463	
	10	470	
	11	478	
	12	485	
	13	492	
	14	500	
	15	507	
	16	515	

ตารางที่ 4-5 (ต่อ) ช่วงคลื่นจาก Hyperspectral cubes ของภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA

Radiation type of wavelength	Band No.	ความยาวคลื่น (nm)	สถานะ
VNIR: 411-972 nm (62 bands)	17	522	มีสัญญาณ
	18	530	VNIR 17 - 45
	19	538	
	20	546	
	21	554	
	22	562	
	23	571	
	24	579	
	25	587	
	26	596	
	27	605	
	28	614	
	29	623	
	30	632	
	31	641	
	32	650	
	33	660	
	34	669	
	35	679	
	36	689	
	37	699	
	38	708	
	39	719	
	40	729	
	41	739	
	42	749	
	43	760	
	44	770	
	45	780	

ตารางที่ 4-5 (ต่อ) ช่วงคลื่นจาก Hyperspectral cubes ของภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA

Radiation type of wavelength	Band No.	ความยาวคลื่น (nm)	สถานะ
VNIR: 411-972 nm (62 bands)	46	791	มีสัญญาณ
	47	801	VNIR 46 -60
	48	812	
	49	823	
	50	833	
	51	844	
	52	855	
	53	865	
	54	876	
	55	887	
	56	897	
	57	908	
	58	919	
	59	929	
60	939		
	61	951 (951.3615)	มีสัญญาณ
	62	962	Overlap
	63	972	SWIR 4 - 6
SWIR: 951-2335 nm (108 bands)	4	951 (951.0114)	มีสัญญาณ
	5	959	Overlap
	6	969	VNIR 61 - 63
	7	978	มีสัญญาณ
	8	988	SWIR 7 - 14
	9	998	
	10	1008	
	11	1017	
	12	1028	
	13	1037	
	14	1047	

ตารางที่ 4-5 (ต่อ) ช่วงคลื่นจาก Hyperspectral cubes ของภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA

Radiation type of wavelength	Band No.	ความยาวคลื่น (nm)	สถานะ
SWIR: 951-2335 nm (108 bands)	15	1057	มีสัญญาณ
	16	1067	SWIR 15 - 56
	17	1078	
	18	1088	
	19	1099	
	20	1109	
	21	1120	
	22	1131	
	23	1141	
	24	1152	
	25	1163	
	26	1174	
	27	1185	
	28	1196	
	29	1207	
	30	1217	
	31	1228	
	32	1240	
	33	1250	
	34	1262	
	35	1273	
	36	1284	
	37	1295	
	38	1306	
	39	1317	
	40	1328	
	41	1338	
	55	1491	
	56	1501	

ตารางที่ 4-5 (ต่อ) ช่วงคลื่นจาก Hyperspectral cubes ของภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA

Radiation type of wavelength	Band No.	ความยาวคลื่น (nm)	สถานะ
SWIR: 951-2335 nm (108 bands)	57	1512	มีสัญญาณ
	58	1523	SWIR 57 - 85
	59	1533	
	60	1544	
	61	1554	
	62	1565	
	63	1575	
	64	1585	
	65	1595	
	66	1606	
	67	1616	
	68	1626	
	69	1636	
	70	1646	
	71	1656	
	72	1666	
	73	1677	
	74	1687	
	75	1697	
	76	1706	
	77	1716	
	78	1726	
	79	1736	
	80	1745	
	81	1755	
	82	1765	
	83	1774	
	84	1784	
	85	1793	

ตารางที่ 4-5 (ต่อ) ช่วงคลื่นจาก Hyperspectral cubes ของภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA

Radiation type of wavelength	Band No.	ความยาวคลื่น (nm)	สถานะ
SWIR: 951-2335 nm (108 bands)	112	2035	มีสัญญาณ
	113	2044	SWIR 112-140
	114	2052	
	115	2061	
	116	2069	
	117	2077	
	118	2086	
	119	2094	
	120	2102	
	121	2110	
	122	2118	
	123	2127	
	124	2135	
	125	2143	
	126	2151	
	127	2159	
	128	2167	
	129	2175	
	130	2183	
	131	2190	
132	2198		
133	2206		
134	2214		
135	2222		
136	2229		
137	2237		
138	2245		
139	2252		
140	2260		

ตารางที่ 4-5 (ต่อ) ช่วงคลื่นจาก Hyperspectral cubes ของภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA

Radiation type of wavelength	Band No.	ความยาวคลื่น (nm)	สถานะ
SWIR: 951-2335 nm (108 bands)	141	2268	มีสัญญาณ
	142	2275	SWIR 141-150
	143	2283	
	144	2290	
	145	2298	
	146	2305	
	147	2312	
	148	2320	
	149	2327	
	150	2335	

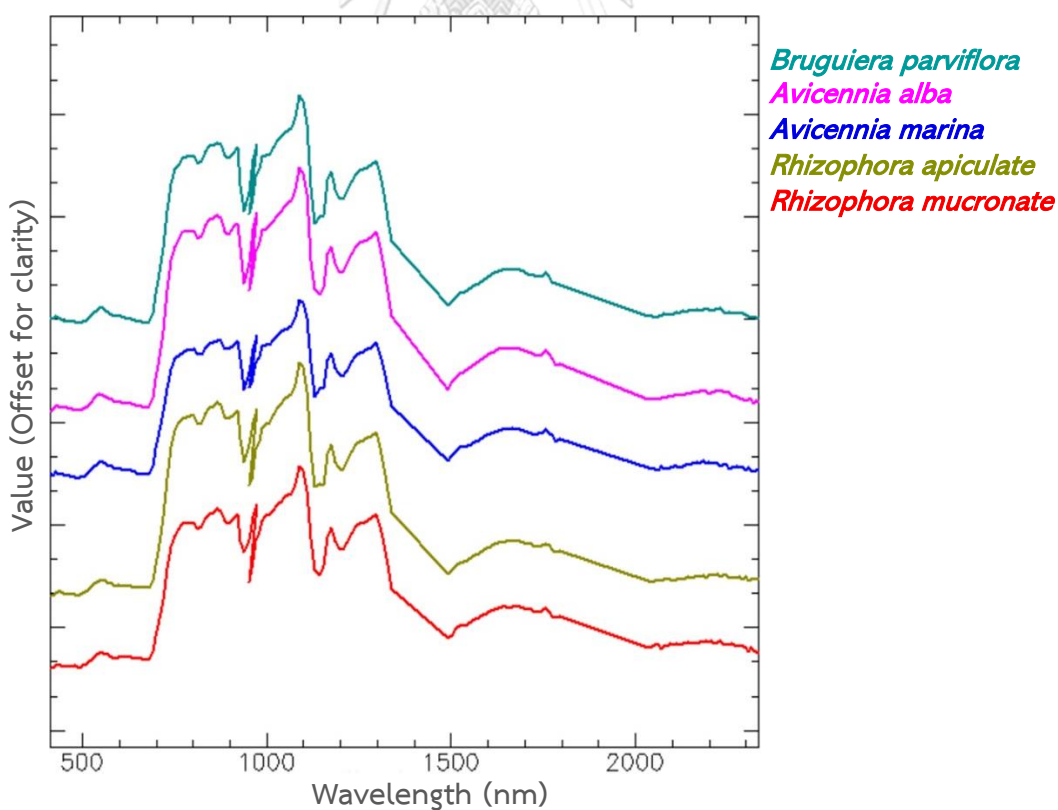
4.3 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

ดำเนินการเก็บข้อมูลภาคสนามในเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคม พ.ศ. 2554 โดยวางแผนขนาด 30 × 30 เมตร เลือกข้อมูลในแปลงทดสอบจำนวน 100 แปลง โดยในแต่ละแปลงบันทึกพันธุ์ไม้ที่มีความสูงเกิน 2.5 เมตร จากนั้นจึงนำข้อมูลพันธุ์ไม้ในแต่ละแปลงทั้งหมดมาจัดกลุ่มด้วยเทคนิค grow อีกครั้ง ซึ่งอ้างอิงจากพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่โดดเด่น 5 สายพันธุ์ที่พบในพื้นที่ศึกษา ข้อมูลภาคสนามที่บันทึกได้มีช่วงเวลาห่างจากวันที่บันทึกภาพถ่ายดาวเทียม EO-1 Hyperion ประมาณ 8 เดือน (ภาพถ่ายดาวเทียมถูกบันทึกเมื่อวันที่ 29 มิถุนายน 2553) (Koedsin & Vaiphasa, 2013) ต่อมางานวิจัยของ Intarat (2018) ได้ลงสำรวจภาคสนามใหม่เพิ่มเติมในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 เพื่อเก็บข้อมูลและตรวจสอบความถูกต้อง จากการศึกษาของ Vaiphasa *et al.* (2006); Koedsin & Vaiphasa (2013); Intarat (2018) พบว่าในช่วงเวลาบันทึกภาพถ่ายดาวเทียมจนถึงการเก็บข้อมูลภาคสนามพันธุ์ไม้ป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษามีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติ (Panapitukkul *et al.*, 1998) เนื่องจากบริเวณแหลมตะลุมพุกเป็นป่าปลูกและพื้นที่ป่าอนุรักษ์ รวมถึงมีประชาชนตั้งถิ่นฐานอยู่ด้วย ทั้งยังถูกกำหนดขอบเขตอย่างชัดเจนไม่ให้เกิดมีการบุกรุกส่งผลให้ป่าชายเลนมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างต่ำ จึงนำข้อมูลภาคสนามจาก Koedsin & Vaiphasa (2013) มาปรับปรุง (ตารางที่ 4-6) โดยใช้ร่วมกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA Level 1

ตารางที่ 4-6 จำนวนตัวอย่างชุดข้อมูลการสอนและชุดข้อมูลการทดสอบต่อสายพันธุ์

ชื่อพันธุ์ไม้ป่าชายเลน	Mangroves Species	Training Samples	Testing Samples
โกงกางใบใหญ่	<i>Rhizophora mucronata</i> (RM)	38	33
โกงกางใบเล็ก	<i>Rhizophora apiculata</i> (RA)	51	27
แสมทะเล	<i>Avicennia marina</i> (AM)	44	44
แสมขาว	<i>Avicennia alba</i> (AA)	30	30
ถั่วดำ	<i>Bruguiera parviflora</i> (BP)	38	32
Total		201	166

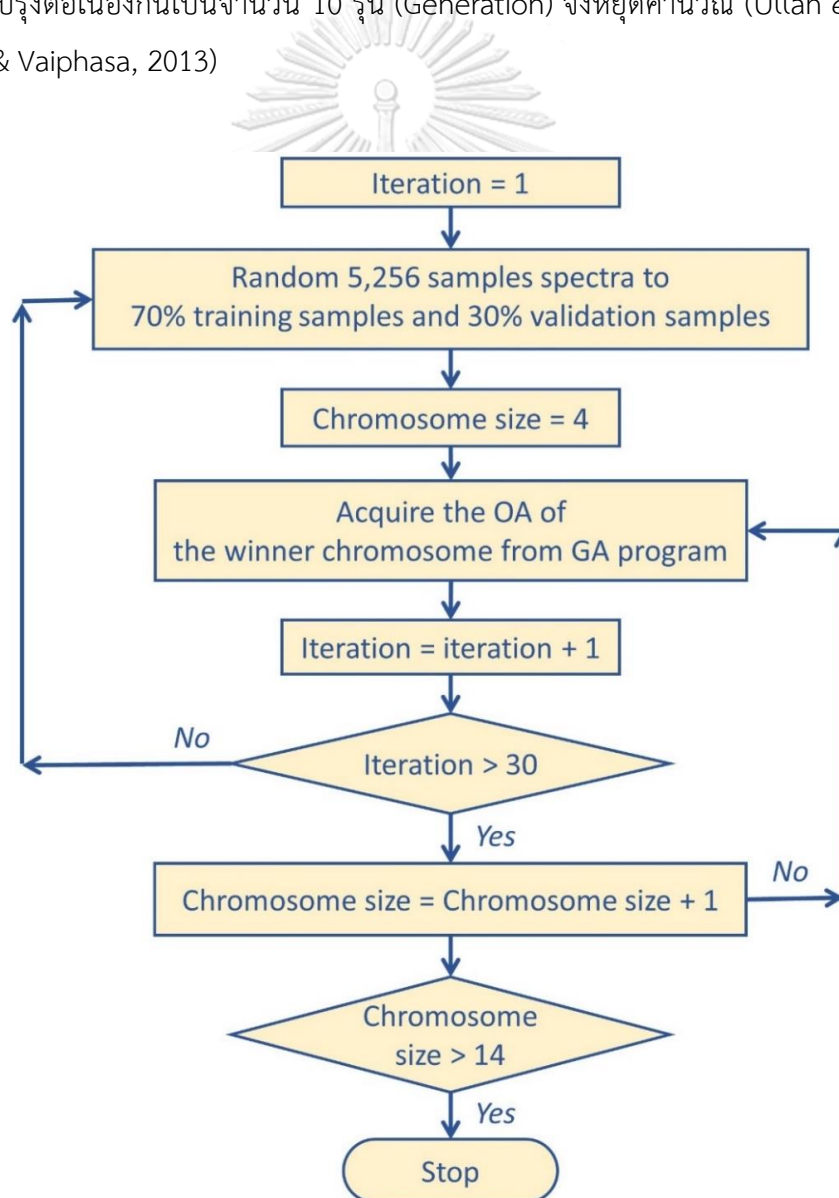
ชุดข้อมูลพันธุ์ไม้ป่าชายเลนถูกนำมาเฉลี่ยแต่ละช่วงคลื่นแยกตามสายพันธุ์จะได้กราฟแสดงค่าการสะท้อน (Spectral profiles) จากข้อมูลพริสมาไฮเปอร์สเปกตรัลจำนวน 170 ช่วงคลื่น ตั้งแต่ความยาวช่วงคลื่น 411 – 2335 นาโนเมตร โดยที่แนวแกน y เปรียบเทียบความคล้ายคลึงจากการสะท้อนของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน 5 สายพันธุ์ (ภาพที่ 4-4)



ภาพที่ 4-4 ค่าการสะท้อนของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน 5 สายพันธุ์

4.4 การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมหรือ GA เป็นวิธีการค้นหาจุดที่เหมาะสมที่สุด (Optimal solutions) ในการแก้ปัญหาที่มีลักษณะการทำงานผ่านการนำข้อมูลเข้ารหัสเรียกว่าโครโมโซมโดยใช้ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness function) ที่สอดคล้องกับปัญหาเพื่อพิจารณาค่าความเหมาะสม (Fitness value) ของโครโมโซม จากนั้นใช้ตัวดำเนินการทางพันธุกรรมมากระทำกับโครโมโซมจนกระทั่งได้โครโมโซมรุ่นใหม่ที่ดีขึ้นเรื่อยๆ หากพบว่าเป็นคำตอบที่เหมาะสมกับปัญหามากที่สุดโดยพิจารณาจากค่าความถูกต้องโดยรวมของข้อมูลการสอน (Training samples) ที่จำแนกด้วย SAM แต่ละขนาดโครโมโซม เมื่อค่าความถูกต้องเกินร้อยละ 85.00 หรือค่าความถูกต้องไม่ถูกปรับปรุงต่อเนื่องกันเป็นจำนวน 10 รุ่น (Generation) จึงหยุดคำนวณ (Ullah *et al.*, 2012; Koedsin & Vaiphasa, 2013)

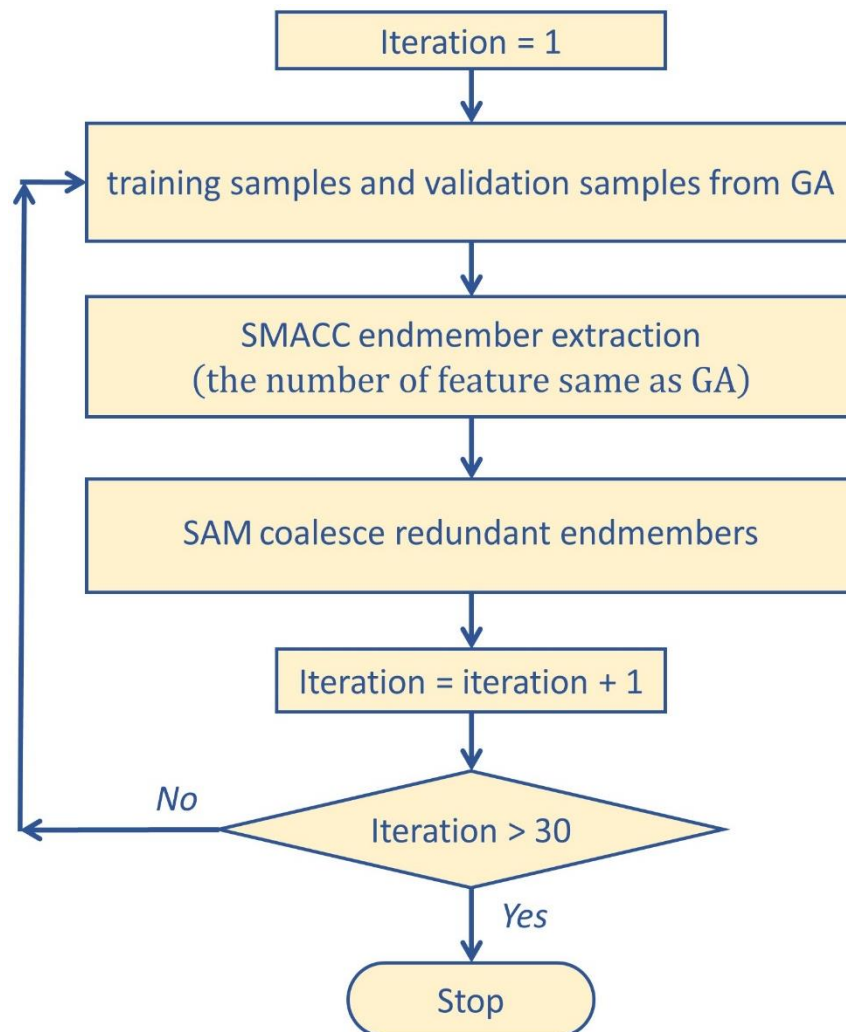


ภาพที่ 4-5 ผังงานการหาขนาดโครโมโซมที่เหมาะสม ดัดแปลงจาก Koedsin & Vaiphasa (2013)

เนื่องด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถปรับขนาดของโครโมโซมได้อย่างอิสระและมีความยืดหยุ่นสำหรับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ (Mitchell, 1998; Bandyopadhyay & Pal, 2001; Vaiphasa *et al.*, 2007b; Ullah *et al.*, 2012; Koedsin & Vaiphasa, 2013; Wirsansky, 2020) งานวิจัยนี้จึงทดลองเปลี่ยนขนาดของโครโมโซมตั้งแต่ 4 ถึง 13 เพื่อหาขนาดโครโมโซมหรือจำนวนช่วงคลื่นที่เหมาะสมที่สุดในการจำแนกป่าชายเลนระดับสายพันธุ์ โดยสุ่มตัวอย่างข้อมูลการสอนจำนวน 5,256 ข้อมูล (ทั้งหมด 30 ชุด) แบ่งเป็นข้อมูลการสอนโมเดล (Training samples) ร้อยละ 70.00 และข้อมูลการตรวจสอบโมเดล (Validation samples) ร้อยละ 30.00 ด้วยการสุ่มแบบเลือกลำดับชั้นภูมิ (Stratified random sampling) (Wan *et al.*, 2020) พร้อมทั้งกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบให้จำนวนประชากร (Population) เท่ากับ 10 และจำนวนรุ่นสูงสุดเท่ากับ 30 (รอบการทำซ้ำ) โดยใช้การคัดเลือกแบบ stochastic universal sampling (Jannoud *et al.*, 2022) โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากที่สุดจะถูกรายงาน จากนั้นจึงหาค่าความถูกต้องของการจำแนกจากข้อมูลทดสอบ (Testing samples) เพื่อใช้เปรียบเทียบหาขนาดของโครโมโซมที่เหมาะสมต่อไป (ภาพที่ 4-5)

4.5 การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย sequential maximum angle convex cone

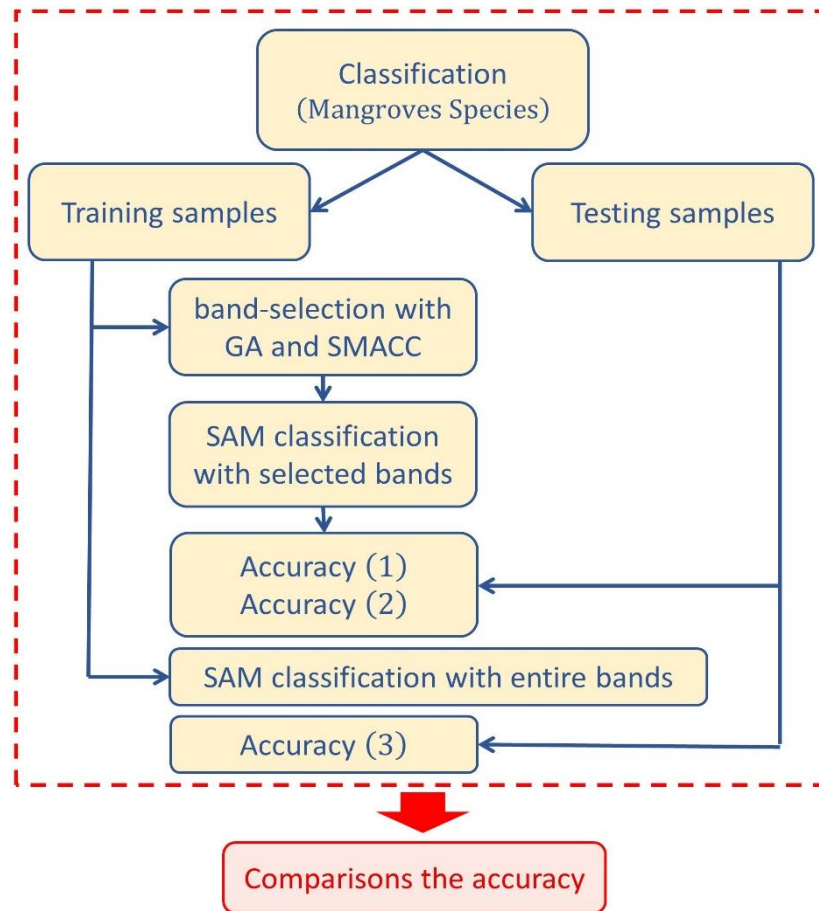
การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย SMACC มีลักษณะการทำงานเพื่อสกัดหา endmembers โดยใช้แบบจำลองรูปกรวยนูน ให้ผลลัพธ์ที่มีค่าประมาณมากแต่มีความแม่นยำน้อยเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสม (Band-selection) ของข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัล (Gruninger *et al.*, 2004; Thompson *et al.*, 2010) ดังนั้นเพื่อให้ผลการเปรียบเทียบที่ได้ไม่มีความลำเอียง (Bias) จึงกำหนดจำนวนช่วงคลื่นให้เท่ากับจำนวนช่วงคลื่นที่ใช้ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม พร้อมทั้งกำหนดข้อมูลการสอนและข้อมูลทดสอบให้เป็นข้อมูลชุดเดียวกันทั้งหมด 30 ชุด (Koedsin & Vaiphasa, 2013) (ภาพที่ 4-6)



ภาพที่ 4-6 ฟังงานแสดงการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย SMACC

4.6 การทดสอบทางสถิติ

ผลลัพธ์สุดท้ายของการจำแนกป่าชายเลน (ค่า OA และ Kappa) ด้วยตัวจำแนกแบบ SAM ภายหลังจากคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA และ SMACC ถูกนำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่มีการแจกแจงแบบปกติด้วย dependent sample t-test กำหนดให้สมมติฐานหลัก $H_0: \mu_1 = \mu_2$ (ค่าไม่มีความแตกต่าง) และสมมติฐานรอง $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ (ค่ามีความแตกต่าง) โดยที่ H_0 จะถูกปฏิเสธเมื่อ $t \geq t_{\alpha/2}$ เมื่อ $\alpha/2$ คือระดับความเชื่อมั่นทางสถิติค่า t แบบ 2 ทาง มีองศาอิสระเป็นค่าอนันต์ (Wilkerson, 2008; Koedsin & Vaiphasa, 2013; Gerald, 2018) (ภาพที่ 4-7)



ภาพที่ 4-7 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล



บทที่ 5

ผลการศึกษา

5.1 ผลการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

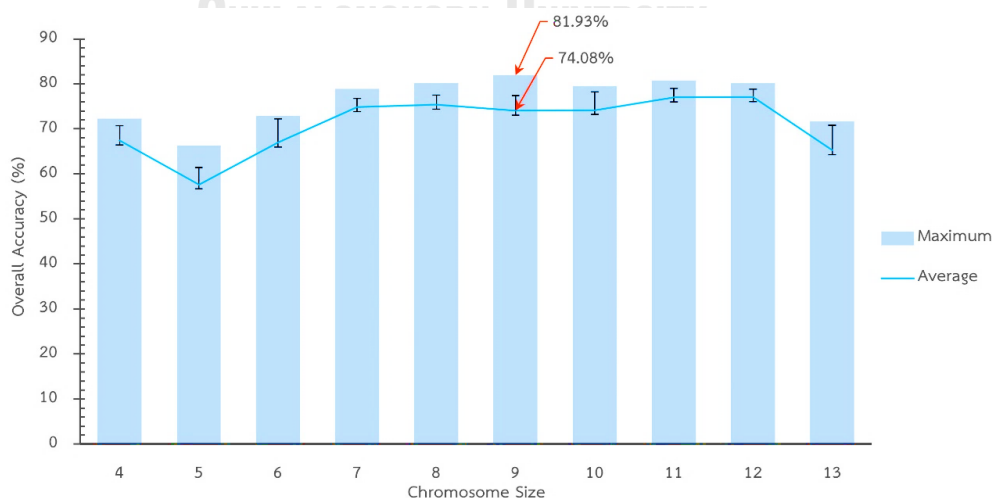
จากการทดลองหาขนาดของโครโมโซมตั้งแต่ 4 ถึง 13 เพื่อคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมจำนวน 30 ครั้งในแต่ละขนาดโครโมโซม พบว่าค่าความถูกต้องโดยรวมเฉลี่ยของข้อมูลทดสอบแต่ละขนาดโครโมโซมเท่ากับร้อยละ 67.47, ร้อยละ 57.67, ร้อยละ 66.99, ร้อยละ 74.86, ร้อยละ 75.38, ร้อยละ 74.08, ร้อยละ 74.18, ร้อยละ 77.02, ร้อยละ 77.06 และร้อยละ 65.32 ตามลำดับ (ตารางที่ 5-1) โดยกรณีขนาดโครโมโซมเท่ากับ 9 ให้ค่าความถูกต้องโดยรวม (OA) ของข้อมูลทดสอบมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 81.93 (ตารางที่ 5-2) ได้แก่ ช่วงคลื่น 434 nm, 500 nm, 614 nm, 876 nm, 1163 nm, 1726 nm, 2052 nm, 2086 nm และ 2214 nm สามารถรายงานค่าความเหมาะสมของโครโมโซมอยู่ที่ร้อยละ 99.00

ตารางที่ 5-1 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy, OA) แต่ละขนาดโครโมโซม (Chromosome sizes) ตั้งแต่ 4 ถึง 13 (จำนวนช่วงคลื่น) โดยใช้การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm, GA)

Overall accuracy of chromosome sizes (%)										
Runs	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	61.4458	55.4217	60.8434	70.4819	72.8916	68.0723	66.8675	74.6988	75.3012	54.8193
2	68.6747	60.2410	70.4819	76.5060	77.1084	75.9036	79.5181	77.7108	77.7108	68.0723
3	70.4819	57.2289	68.6747	74.6988	76.5060	74.6988	75.9036	78.3133	77.7108	66.2651
4	71.6867	66.2651	68.6747	75.3012	74.0964	71.6867	74.6988	75.9036	76.5060	68.6747
5	62.0482	49.3976	55.4217	71.0843	75.3012	73.4940	67.4699	74.6988	74.6988	51.2048
6	71.0843	61.4458	71.0843	74.0964	75.3012	72.2892	74.6988	77.7108	77.7108	66.8675
7	66.8675	53.6145	70.4819	75.9036	76.5060	76.5060	77.1084	78.9157	78.9157	63.8554
8	69.8795	58.4337	71.6867	75.3012	75.3012	74.6988	77.1084	78.9157	78.9157	68.6747
9	71.0843	59.6386	68.6747	75.3012	72.8916	69.8795	72.2892	76.5060	77.7108	68.0723
10	63.8554	55.4217	60.8434	75.9036	75.3012	75.3012	72.8916	75.7576	78.9157	54.8193
11	66.8675	59.0361	70.4819	75.3012	77.7108	78.3133	78.9157	80.7229	80.1205	68.6747
12	72.2892	64.4578	72.8916	74.0964	73.4940	71.6867	71.6867	78.3133	78.3133	63.2530
13	71.6867	63.2530	72.8916	76.5060	76.5060	73.4940	76.5060	78.3133	78.3133	66.8675
14	69.2771	59.6380	66.2651	74.0964	74.6988	71.6867	73.4940	75.3012	74.6988	67.4699

ตารางที่ 5-1 (ต่อ) เปรียบเทียบค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy, OA) แต่ละขนาดโครโมโซม (Chromosome sizes) ตั้งแต่ 4 ถึง 13 (จำนวนวงคลื่น) โดยใช้การคัดเลือกวงคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm, GA)

Overall accuracy of chromosome sizes (%)										
Runs	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
15	61.4458	57.2289	59.6386	72.2892	72.2892	72.8916	71.0843	72.2892	72.8916	63.2530
16	68.0723	62.0482	68.0723	78.9157	80.1205	76.5060	75.9036	79.5181	78.9157	69.2771
17	66.2651	56.0241	59.0361	72.2892	79.5181	77.7108	74.0964	74.6988	74.6988	63.2530
18	65.6627	56.0241	65.6627	73.4940	72.2892	70.4819	70.4819	74.6988	75.9036	65.0602
19	68.0723	58.4337	70.4819	77.1084	76.5060	78.3133	78.3133	80.1205	78.3133	68.6747
20	68.6747	55.4217	63.2530	78.3133	79.5181	81.9277	78.3133	77.1084	77.7108	69.8795
21	65.0602	55.4217	71.0843	74.0964	74.6988	75.9036	71.6867	77.7108	78.3133	62.0482
22	68.0723	54.8193	71.6867	74.6988	75.9036	75.3012	77.7108	78.3133	77.7108	68.6747
23	65.0602	60.8434	65.6627	74.6988	72.8916	73.4940	73.4940	75.3012	74.6988	69.8795
24	66.8675	59.6386	66.8675	76.5060	76.5060	80.1205	78.3133	78.3133	77.7108	71.0843
25	69.2771	53.0120	69.2771	75.9036	74.6988	72.2892	77.1084	77.7108	77.7108	68.0723
26	69.2771	57.8313	69.2771	76.5060	75.9036	71.6867	78.9157	78.9157	78.9157	69.2771
27	68.0723	58.4337	66.8675	75.3012	74.6988	72.8916	74.6988	77.1084	75.9036	71.6867
28	63.8554	53.6145	69.2771	71.6867	72.2892	67.4699	68.0723	74.0964	74.9064	55.4217
29	62.0482	52.4096	52.4096	75.3012	74.0964	74.6988	63.2530	75.3012	74.6988	57.2289
30	71.0843	55.4217	71.6867	74.0964	75.9036	72.8916	74.6988	77.7108	77.1084	69.2771
Average	67.4699	57.6707	66.9880	74.8594	75.3815	74.0763	74.1767	77.0233	77.0551	65.3213



ภาพที่ 5-1 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุด (Maximum overall accuracy) และค่าความถูกต้องโดยรวมเฉลี่ย (Average overall accuracy) ของการจำแนกที่ขนาดโครโมโซม 4 ถึง 13

5.2 ผลการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย sequential maximum angle convex cone

ผลการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย SMACC ถูกจำกัดจำนวนช่วงคลื่นไว้เป็น 9 ช่วงคลื่นเท่ากับจำนวนช่วงคลื่นที่ได้จากผลการทดลองด้วยวิธี GA ทั้งยังใช้ข้อมูลการสอนและข้อมูลทดสอบที่เป็นชุดเดียวกันกับข้อมูลที่ใช้ในวิธี GA พบว่าในกรณีขนาดโครโมโซมเท่ากับ 9 ได้แก่ ช่วงคลื่น 426 nm, 546 nm, 770 nm, 1088 nm, 1174 nm, 1250 nm, 1295 nm, 1523 nm และ 1755 nm ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมเฉลี่ยของข้อมูลทดสอบเท่ากับร้อยละ 68.47 และค่าความถูกต้องโดยรวมของข้อมูลทดสอบที่มีค่ามากที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 78.92 (ตารางที่ 5-2)

ตารางที่ 5-2 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy, OA) และสัมประสิทธิ์แคปปาแฮท (Kappa hat coefficient, Kappa) ของการจำแนกระหว่างการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย genetic algorithm (GA) และ sequential maximum angle convex cone (SMACC)

Runs	Overall accuracy (%)		Kappa hat coefficient	
	GA	SMACC	GA	SMACC
1	68.0723	64.4578	0.5936	0.5489
2	75.9036	71.0843	0.6956	0.6339
3	74.6988	71.6867	0.6807	0.6424
4	71.6867	74.6988	0.6426	0.6802
5	73.4940	56.0241	0.6626	0.4440
6	72.2892	76.5060	0.6508	0.7029
7	76.5060	72.8916	0.7027	0.6579
8	74.6988	74.0964	0.6809	0.6721
9	69.8795	74.0964	0.6200	0.6726
10	75.3012	62.0482	0.6861	0.5193
11	78.3133	69.8795	0.7255	0.6199
12	71.6867	78.9157	0.6435	0.7336
13	73.4940	77.1084	0.6656	0.7101
14	71.6867	68.0723	0.6428	0.5952
15	72.8916	60.2410	0.6562	0.4961
16	76.5060	73.4940	0.7037	0.6654
17	77.7108	59.6386	0.7167	0.4897

ตารางที่ 5-2 (ต่อ) เปรียบเทียบค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy, OA) และสัมประสิทธิ์แคปปาแฮท (Kappa hat coefficient, Kappa) ของการจำแนกระหว่างการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย genetic algorithm (GA) และ sequential maximum angle convex cone (SMACC)

Runs	Overall accuracy (%)		Kappa hat coefficient	
	GA	SMACC	GA	SMACC
18	70.4819	66.8675	0.6267	0.5813
19	78.3133	69.2771	0.7253	0.6115
20	81.9277	60.8434	0.7712	0.5056
21	75.9036	67.4699	0.6950	0.5872
22	75.3012	70.4819	0.6880	0.6268
23	73.4940	65.6627	0.6654	0.5657
24	80.1205	69.8795	0.7482	0.6186
25	72.2892	69.2771	0.6497	0.6115
26	71.6867	70.4819	0.6423	0.6265
27	72.8916	66.2651	0.6579	0.5737
28	67.4699	63.2530	0.5863	0.5326
29	74.6988	56.6265	0.6790	0.4518
30	72.8916	72.8916	0.6580	0.6566

5.3 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการจำแนกทางสถิติ

ค่าความถูกต้องของการจำแนกจากการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA และ SMACC ถูกนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างด้วย dependent sample t-test โดยผลการทดสอบสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก $H_0: (0.6721 - 0.6011) = 0.0710$ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99.00 ($p\text{-value} < 0.001$) (ตารางที่ 5-4) จึงเป็นการยืนยันได้ว่าการจำแนกที่ได้จากการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA ให้ผลการทดลองที่มีความถูกต้องสูงกว่าการจำแนกจากการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย SMACC

ตารางที่ 5-3 ค่าสถิติพื้นฐานของค่าความถูกต้องที่ได้จากทั้งสองวิธีการ

Statistics	GA		SMACC	
	OA	Kappa	OA	Kappa
Average	74.08	0.67	68.47	0.60
Standard Deviation	3.29	0.04	6.00	0.08
Maximum	81.93	0.77	78.92	0.73
Minimum	67.47	0.59	56.02	0.44

ตารางที่ 5-4 ผลการทดสอบระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าความถูกต้องในการจำแนกทั้งสองวิธีการ

Accuracy Assessment	ค่าสถิติการทดสอบ t (ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99)	จำนวนองศาอิสระ (DF)	p-value
Overall Accuracy	4.286	29	0.000
Kappa hat coefficient	4.328	29	0.000

5.4 ผลการจำแนกภาพถ่าย

ผลการจำแนกและเมทริกซ์ความคลาดเคลื่อนเฉพาะกรณีที่ทำให้ผลการจำแนกสูงสุดของการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA (ตารางที่ 5-5) การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย SMACC (ตารางที่ 5-6) และการใช้แถบสเปกตรัมทั้งหมดของภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA 170 ช่วงคลื่น (ตารางที่ 5-7) พบว่าปรับปรุงค่าความถูกต้องโดยรวมเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 80.72 เป็นร้อยละ 81.93 เมื่อใช้การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA ซึ่งเป็นความถูกต้องที่เพิ่มขึ้นจากคลาสของต้นโกกวางใบใหญ่และต้นถั่วดำ (ภาพที่ 5-3) เพราะความแตกต่างของปริมาณเม็ดสีใบป่าชายเลน เช่น คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์และลิกนิน ความแตกต่างจากความหนาของเนื้อเยื่อคลอโรฟิลล์ ทำให้ค่าการสะท้อนในช่วงความยาวคลื่น 350 nm ถึง 700 nm รวมทั้งแถบสเปกตรัม NIR และ SWIR ของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนในวงศ์ RHIZOPHORACEAE มีความแตกต่างกันระดับสายพันธุ์ (Manjunath, 2013, as cited in Prasad & Gnanappazham, 2014) เป็นผลให้ช่วงคลื่น 434 nm, 500 nm, 614 nm, 876 nm, 1163 nm, 1726 nm, 2052 nm, 2086 nm และ 2214 nm อาจเป็นช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการจำแนกต้นโกกวางใบใหญ่และต้นถั่วดำออกจากพันธุ์ไม้ชนิดอื่นได้ อย่างไรก็ตามค่าความถูกต้องโดยรวมลดลงเป็นร้อยละ 78.92 เมื่อใช้การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย SMACC

ตารางที่ 5-5 เมทริกซ์ความคลาดเคลื่อน (a) คัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA (OA ร้อยละ 81.93)

		ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม					ผลรวม	ความถูกต้อง ของผู้ใช้ (ร้อยละ)	ความถูกต้อง ของผู้ผลิต (ร้อยละ)
		RM	RA	AM	AA	BP			
		ผลการจำแนกกรณี (a)	RM	29	7	0			
	RA	1	14	0	2	0	17	82.35	51.85
	AM	1	1	44	1	3	50	88.00	100.00
	AA	1	2	0	27	7	37	72.97	90.00
	BP	1	3	0	0	22	26	84.62	68.75
	ผลรวม	33	27	44	30	32	166		

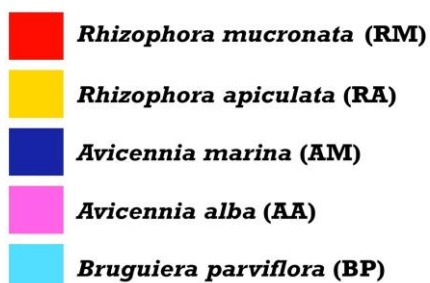
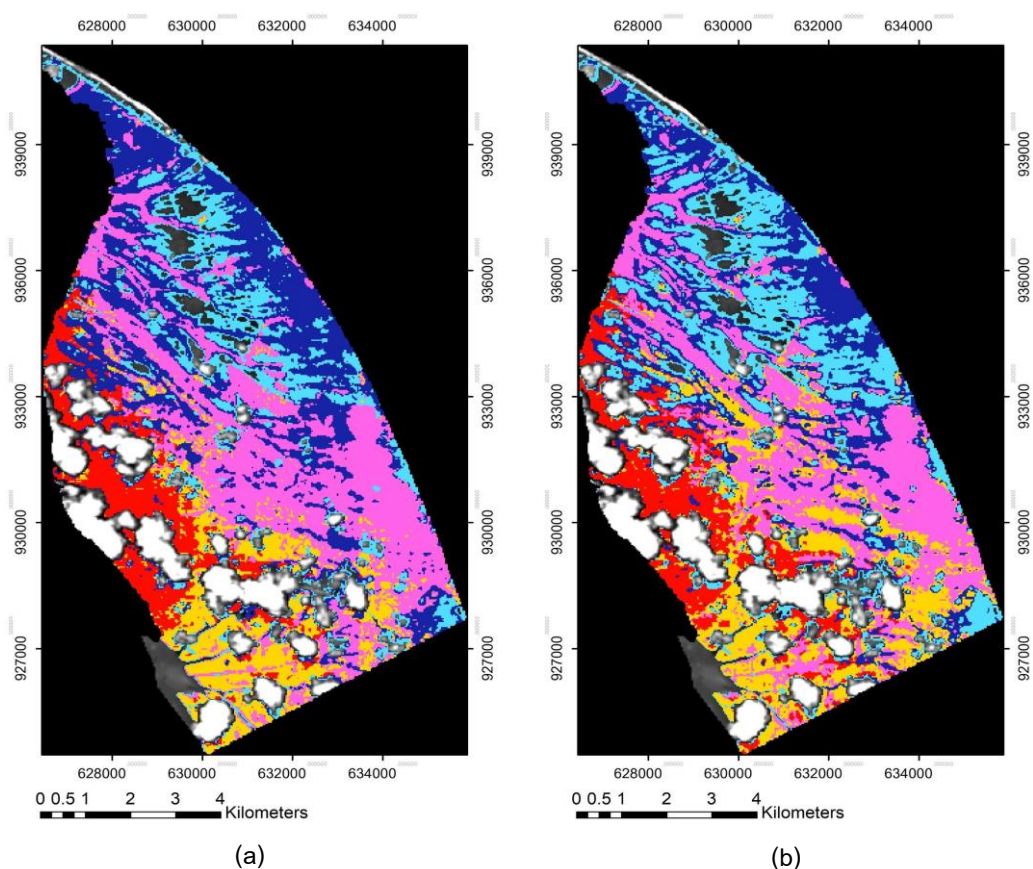
ตารางที่ 5-6 เมทริกซ์ความคลาดเคลื่อน (b) คัดเลือกช่วงคลื่นด้วย SMACC (OA ร้อยละ 78.92)

		ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม					ผลรวม	ความถูกต้อง ของผู้ใช้ (ร้อยละ)	ความถูกต้อง ของผู้ผลิต (ร้อยละ)
		RM	RA	AM	AA	BP			
		ผลการจำแนกกรณี (b)	RM	29	8	0			
	RA	2	14	0	2	1	19	73.68	51.85
	AM	0	1	40	1	5	47	85.11	90.91
	AA	0	2	0	27	5	34	79.41	90.00
	BP	2	2	4	0	21	29	72.41	65.63
	ผลรวม	33	27	44	30	32	166		

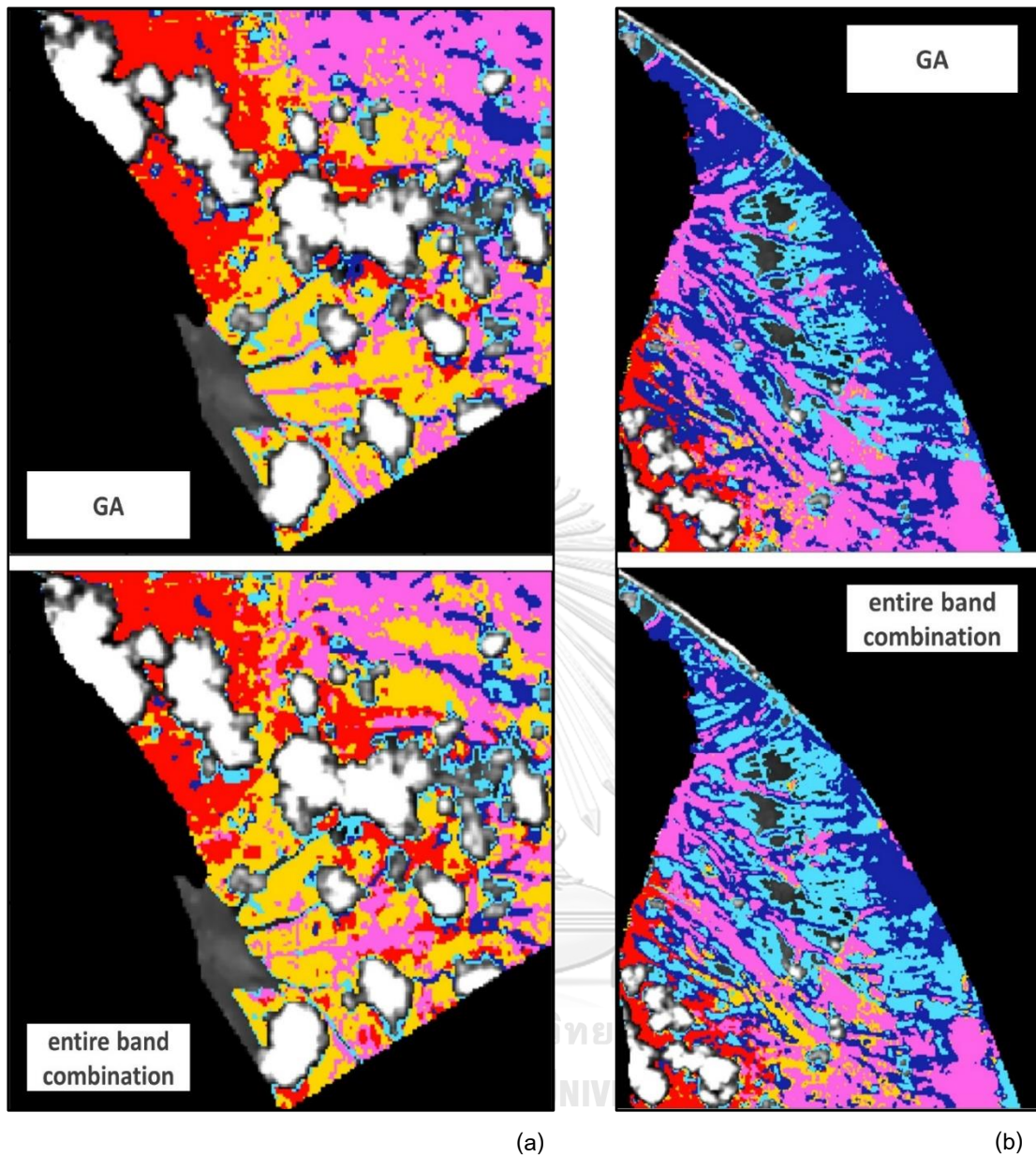
ตารางที่ 5-7 เมทริกซ์ความคลาดเคลื่อน (c) สเปกตรัมทั้งหมดของ PRISMA (OA ร้อยละ 80.72)

		ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม					ผลรวม	ความถูกต้อง ของผู้ใช้ (ร้อยละ)	ความถูกต้อง ของผู้ผลิต (ร้อยละ)
		RM	RA	AM	AA	BP			
		ผลการจำแนกกรณี (c)	RM	26	8	0			
	RA	3	14	0	0	0	17	82.35	51.85
	AM	2	1	44	0	5	52	84.62	100.00
	AA	0	1	0	29	6	36	80.56	96.67
	BP	2	3	0	1	21	27	77.78	65.63
	ผลรวม	33	27	44	30	32	166		

ความลำเอียงของผลการจำแนกเกิดขึ้นเมื่อใช้การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยอัลกอริทึมที่ต่างกัน ทั้งนี้ค่าความถูกต้องของผู้ใช้และค่าความถูกต้องของผู้ผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากเปลี่ยนการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย SMACC เป็นการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA เช่นเดียวกันกับการใช้ GA ทดแทนการใช้สเปกตรัมทั้งหมดของ PRISMA เพียงอย่างเดียวจะมีผลโดยรวมของการจำแนกที่ดีกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแยกความแตกต่างระหว่างโกงกางใบเล็กและโกงกางใบใหญ่ที่ได้รับการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามแม้ว่าการใช้ GA จะสามารถปรับปรุงค่าความถูกต้องโดยรวมเพิ่มขึ้นจากเดิม แต่กลับพบว่าค่าความถูกต้องของผู้ผลิตและค่าความถูกต้องของผู้ใช้กรณีผสมขาวมีค่าลดลง



ภาพที่ 5-2 ผลการจำแนกป่าชายเลน (a) ใช้การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA จำนวน 9 ช่วงคลื่น (OA ร้อยละ 81.93) (b) ใช้แถบสเปกตรัมทั้งหมดของภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA (OA ร้อยละ 80.72)



ภาพที่ 5-3 (a) การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA เพิ่มความถูกต้องของคลาสโก่งกางใบใหญ่ได้มากกว่าการจำแนกด้วยแถบสเปกตรัมทั้งหมดของ PRISMA (b) ผลการจำแนกต้นถั่วดำที่ปะปนกับต้นแส้มทะเลได้รับการปรับปรุงเพิ่มขึ้นเมื่อใช้การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA

บทที่ 6

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

6.1 อภิปรายผลการวิจัย

การทดสอบข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัลภายในห้องปฏิบัติการพบว่าช่วงคลื่น 350 nm ถึง 2500 nm มีประสิทธิภาพต่อการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนเขตร้อนในประเทศไทย (Vaiphasa *et al.*, 2005) โดยมีช่วงคลื่น 720 nm, 1277 nm, 1415 nm และ 1644 nm ที่ไม่สามารถจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนในวงศ์ RHIZOPHORACEAE ได้อย่างชัดเจน (Vaiphasa *et al.*, 2006) อย่างไรก็ตามพบว่า การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA ช่วยเพิ่มความถูกต้องของการจำแนกเมื่อใช้ชุดสเปกตรัมที่มีความยาวช่วงคลื่น 513 ± 19 nm, 717 ± 16 nm, 1263 ± 23 nm, 1385 ± 27 nm, 1489 ± 21 nm และ 1669 ± 25 nm (Vaiphasa *et al.*, 2007b) ในการจำแนกป่าชายเลนบริเวณแหลมตะลุมพุกโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion ร่วมกับเทคนิคการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยวิธี GA พบว่าช่วงคลื่น 549 nm, 712 nm, 732 nm, 1034 nm, 1235 nm, 2073 nm และ 2083 nm เหมาะสมในการจำแนกโกงกางใบใหญ่, โกงกางใบเล็ก, แสมทะเล, แสมขาวและถั่วดำ โดยให้ค่าความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 92.00 (Koedsin & Vaiphasa, 2013)

การจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนเขตร้อนในงานวิจัยนี้ได้แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA (Hyperspectral cubes) โดยใช้ช่วงคลื่นทั้งหมด 170 ช่วงคลื่นเพื่อจำแนกป่าชายเลนในระดับสายพันธุ์ โดยหากลดจำนวนช่วงคลื่นเหลือ 9 ช่วงคลื่น ประกอบด้วยช่วงคลื่น 434 nm, 500 nm, 614 nm, 876 nm, 1163 nm, 1726 nm, 2052 nm, 2086 nm และ 2214 nm โดยอาศัยเทคนิคการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมด้วย GA พบว่าสามารถจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน 5 สายพันธุ์เด่นได้อย่างถูกต้องและปรับปรุงค่าความถูกต้องโดยรวมเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 80.72 เป็นร้อยละ 81.93 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเป็นที่ยอมรับตรงตามการสำรวจของหน่วยงานสำรวจทางธรณีวิทยาสหรัฐอเมริกา (United States Geological Survey, USGS) (Anderson, 1976) แต่ไม่สามารถจำแนกโกงกางใบเล็กและโกงกางใบใหญ่ได้ชัดเจน (ตารางที่ 5-5) เนื่องจากค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นมีความใกล้เคียงกันมาก (Vaiphasa *et al.*, 2005; Vaiphasa *et al.*, 2006; Koedsin & Vaiphasa, 2013) นอกจากนี้ยังพบว่าพฤติกรรมของโกงกางทั้งสองสายพันธุ์ดังกล่าวอยู่รวมกันเป็นกลุ่มโดยมีต้นแสมขาวขึ้นปะปนกับต้นโกงกางบริเวณดินทราย ทำให้เกิดความสับสนเชิงคลื่นในการจำแนกแสมขาวด้วยเช่นกัน ส่วนแสมทะเลที่สามารถแยกความแตกต่างกับไม้สกุลโกงกาง (*Rhizophora* spp.) และพันธุ์ไม้เบิกนำชนิดอื่นได้อย่างชัดเจน อาจเนื่องมาจากแสมทะเลมีค่าการสะท้อนที่ต่ำกว่าพันธุ์ไม้ป่าชายเลนชนิดอื่นในทุกแถบสเปกตรัม โดยเฉพาะแถบสเปกตรัม NIR (ความ

ยาวคลื่น 700 nm ถึง 900 nm) บ่งชี้ถึงความเข้มข้นของเม็ดสีคลอโรฟิลล์ในใบแสมทะเลที่มีมากกว่าพันธุ์ไม้เบิกนำชนิดอื่น (Arfan *et al.*, 2015; Kumar *et al.*, 2019; Zulfa *et al.*, 2021)

ผลการจำแนกป่าชายเลนโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA ร่วมกับเทคนิคการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมด้วย GA ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 81.93 เนื่องจาก GA มีความยืดหยุ่นในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สอดคล้องกับวิวัฒนาการ เช่น การกำหนดขนาดของประชากร วิธีการเข้ารหัสโครโมโซม วิธีการคัดเลือก อัตราการไขว้เปลี่ยนตลอดจนความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ (Mitchell, 1998; Bandyopadhyay & Pal, 2001; Vaiphasa *et al.*, 2007b; Ullah *et al.*, 2012; Koedsin & Vaiphasa, 2013; Wirsansky, 2020) ส่งผลให้ช่วงคลื่นที่คัดเลือกสัมพันธ์กับคุณลักษณะทางสรีรเคมีของพืช (Vaiphasa *et al.*, 2007b) ชุดสเปกตรัมของงานวิจัยนี้อยู่ระหว่างความยาวคลื่น 350 nm ถึง 2500 nm มีประสิทธิภาพต่อการจำแนกป่าชายเลนสอดคล้องกับงานวิจัยของ Vaiphasa *et al.* (2005) และเมื่อใช้ GA คัดเลือกชุดคำตอบจะได้ผลลัพธ์บางช่วงคลื่นใกล้เคียงกับงานวิจัยในพื้นที่ศึกษาเดียวกัน ได้แก่ ช่วงคลื่น 2052 nm และ 2086 nm จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA เทียบกับช่วงคลื่น 2073 nm และ 2083 nm จากภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion (Koedsin & Vaiphasa, 2013) แต่เมื่อนำผลการจำแนกไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Koedsin & Vaiphasa (2013) ซึ่งปรับปรุงค่าความถูกต้องโดยรวมได้มากถึงร้อยละ 92.00 ทั้งนี้เป็นผลมาจากตำแหน่งช่วงคลื่นของภาพถ่ายดาวเทียมที่ไม่สัมพันธ์กับข้อมูลภาคสนาม เนื่องจากช่วงเวลาการเก็บข้อมูลภาคสนามห่างจากวันที่บันทึกภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA ประมาณ 10 ปี พันธุ์ไม้ป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษาที่มีความยืดหยุ่นต่อการรบกวนและการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติ (Panapitukkul *et al.*, 1998; Ghosh *et al.*, 2016; Halder *et al.*, 2021b) อย่างไรก็ตามเหตุผลที่งานวิจัยนี้มีการวัดและประเมินด้วยวิธีการดังกล่าวเพื่อต้องการทดสอบประสิทธิภาพการจำแนกจากภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA ด้วยข้อมูลภาคสนามที่จัดเก็บไว้ประมาณ 10 ปี โดยทดสอบกับการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA และ SMACC ร่วมกับตัวจำแนก SAM

สำหรับงานวิจัยของ Kumar *et al.* (2019) นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion จำนวน 151 ช่วงคลื่นจำแนกป่าชายเลนชุดฉบับจำนวน 7 สายพันธุ์ โดยทดสอบกับตัวจำแนก support vector machines (SVM), minimum distance (MD) และ SAM พบว่าการจำแนกด้วย SVM ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมมากถึงร้อยละ 99.08 การจำแนกด้วย MD ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมร้อยละ 95.63 และหากใช้ตัวจำแนกแบบ SAM จะให้ค่าความถูกต้องโดยรวมร้อยละ 88.51 ในงานวิจัยของ Wan *et al.* (2020) ได้นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion และข้อมูล GF-5 ไฮเปอร์สเปกตรัลจำแนกป่าชายเลนจำนวน 6 สายพันธุ์ โดยทดสอบกับตัวจำแนกแบบ SVM และ random forests (RF) พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จาก RF ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมสูงกว่า SVM ในทุกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาทดสอบอยู่ที่ร้อยละ 86.82 และร้อยละ 78.94 เมื่อใช้ภาพถ่าย

ดาวเทียมระบบ Hyperion ส่วนข้อมูล GF-5 ไฮเปอร์สเปกตรัลให้ค่าความถูกต้องโดยรวมร้อยละ 87.12 และร้อยละ 78.94 งานวิจัยของ Hati *et al.* (2021) เปรียบเทียบผลการจำแนกป่าชายเลนที่มีความซับซ้อนของสายพันธุ์ 24 ชนิด โดยใช้ตัวจำแนก K-means ร่วมกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral imaging system) และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระบบไฮเปอร์สเปกตรัล ประกอบด้วย Sentinel-2, Landsat 8 OLI และ Hyperion ผลการทดสอบพบว่าภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 81.98 ส่วน Sentinel-2 และ Landsat 8 OLI ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมเพียงร้อยละ 79.81 และร้อยละ 76.42 ตามลำดับ ในงานวิจัยของ Li *et al.* (2021) จำแนกป่าชายเลน 7 สายพันธุ์เด่น โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระบบหลายช่วงคลื่น WorldView-3, ข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัล HSI และ LiDAR ทดสอบกับตัวจำแนก convolutional neural network (CNN), SVM และ RF พบว่าผลการจำแนกด้วย CNN ให้ค่าความถูกต้องมากที่สุดในทุกข้อมูลภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัล HSI ความละเอียดเชิงพื้นที่ระดับ high resolution จะให้ค่าความถูกต้องโดยรวมสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 82.00 ในขณะที่ข้อมูลจาก LiDAR และ WorldView-3 ให้ค่าความถูกต้องของการจำแนกร้อยละ 80.00 และร้อยละ 78.00 อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ข้อมูล HSI ร่วมกับ LiDAR จะสามารถปรับปรุงค่าความถูกต้องได้มากถึงร้อยละ 88.00

ดังนั้นหากต้องการเพิ่มความถูกต้องของการจำแนกจึงแนะนำว่าควรเก็บข้อมูลภาคสนามให้ใกล้เคียงกับช่วงเวลาการถ่ายภาพตลอดจนใช้การวัดผลด้วยวิธีอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น การเปรียบเทียบกับภาพประเมินภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูงด้วยสายตามนุษย์หรือสุ่มสำรวจภาคสนามบางส่วน (Wan *et al.*, 2018; Wan *et al.*, 2020; Shen *et al.*, 2022) และเลือกใช้การจำแนกแบบ SVM RF หรือ CNN (Kumar *et al.*, 2019; Wan *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2021) ให้เหมาะสมกับลักษณะการกระจายตัวของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนในแต่ละพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้การใช้ฮาร์ดแวร์ที่มีศักยภาพสูงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ GA โดยสอดคล้องกับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่มากขึ้น (Vaiphasa *et al.*, 2007b; Ullah *et al.*, 2012) สู่การปรับปรุงผลการคัดเลือกช่วงคลื่นของ PRISMA ประกอบกับได้รับความอนุเคราะห์ฮาร์ดแวร์จาก Chulalongkorn University Technology Center (Chula UTC) AI Academy เพื่อทดลองใช้ artificial intelligence (AI) ตัวใหม่ ๆ ในการประมวลผล

6.2 สรุปผลการวิจัย

การใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA สามารถจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน 5 สายพันธุ์เด่นได้อย่างถูกต้อง เมื่อนำมาใช้ร่วมกับเทคนิคการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมด้วย GA จะช่วยปรับปรุงค่าความถูกต้องโดยรวมได้สูงกว่าและจำแนกพันธุ์ไม้ที่มีความสับสนเชิงคลื่นออกจากกันได้

ดีกว่าหากเปรียบเทียบกับวิธีการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย SMACC อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย GA มีความยืดหยุ่นในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ซึ่งมีผลต่อวิวัฒนาการ เช่น เวลาและจำนวนรอบในการเรียนรู้โมเดล อีกทั้งข้อมูลภาคสนามที่นำมาใช้มีระยะเวลาห่างจากวันที่บันทึกภาพถ่ายดาวเทียม 10 ปี แต่องค์ประกอบของป่าชายเลนมีความยืดหยุ่นต่อเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติซึ่งข้อจำกัดดังกล่าวอยู่เหนือขอบเขตของงานวิจัยนี้ จึงแนะนำว่าหากเลือกใช้วิธีการจำแนกแบบ SVM การจำแนกแบบ RF หรือการจำแนกแบบ CNN ตลอดจนทดลองใช้ AI ตัวใหม่ ๆ ในการประมวลผล พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับวิธีการประเมินภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูงด้วยสายตามนุษย์หรือเลือกกลุ่มสำรวจภาคสนามบางส่วน จะช่วยปรับปรุงผลการจำแนกให้มีความถูกต้องมากขึ้น ดังนั้นการทดสอบประสิทธิภาพข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม PRISMA ครั้งนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นของการประยุกต์ใช้ข้อมูลพริสมาไฮเปอร์สเปกตรัลเพื่อจำแนกพืชระดับสายพันธุ์ในพื้นที่อื่น ๆ ได้

6.3 ข้อเสนอแนะ

- 6.3.1 ควรเก็บข้อมูลภาคสนามให้ใกล้เคียงกับช่วงเวลาการถ่ายภาพ
- 6.3.2 ควรทดสอบกับตัวจำแนกอื่น ๆ ซึ่งเป็นที่ยอมรับว่าให้ผลการจำแนกที่มีประสิทธิภาพ เช่น support vector machines, random forests, convolutional neural network
- 6.3.3 ควรทดลองใช้ AI ตัวใหม่เข้ามาช่วยในการจัดการข้อมูล
- 6.3.4 ควรใช้ฮาร์ดแวร์ที่มีศักยภาพสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ GA โดยสอดคล้องกับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่มากขึ้น ซึ่งสามารถปรับปรุงผลการคัดเลือกช่วงคลื่นของภาพถ่ายดาวเทียมระบบไฮเปอร์สเปกตรัลที่นำมาใช้งาน
- 6.3.5 ควรทดลองนำเทคนิคการจำแนกที่เสนอในงานวิจัยนี้มาใช้ร่วมกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระบบหลายช่วงคลื่น โดยเพิ่มเติมจากการทดสอบกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระบบไฮเปอร์สเปกตรัลเพียงอย่างเดียว เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผลการจำแนกที่ได้ระหว่างการเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Narrow band และ Broad band



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

- Adame, M. F., Connolly, R. M., Turschwell, M. P., Lovelock, C. E., Fatoyinbo, T., Lagomasino, D., Goldberg, L. A., Holdorf, J., Friess, D. A., & Sasmith, S. D. (2021). Future carbon emissions from global mangrove forest loss. *Global change biology*, 27(12), 2856-2866.
- Anderson, J. R. (1976). *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data*. (Vol. 964). US Government Printing Office.
- Arfan, A., Toriman, M., Maru, R., & Sukri Nyompa, U. (2015). Reflectance characteristic of mangrove species using spectroradiometer HR-1024 in Suppa Coast, Pinrang, South Sulawesi, Indonesia. *Asian Journal of Applied Sciences*, 3(5).
- ASI. (2020a). *PRISMA Products Specification Document Issue 2.3*. Retrieved January 22, 2021, from <http://prisma.asi.it/missionselect/>
- ASI. (2020b). *PRISMA User Manual Issue 1.2*. Retrieved January 22, 2021, from <http://prisma.asi.it/missionselect/>
- Bai, J., Meng, Y., Gou, R., Lyu, J., Dai, Z., Diao, X., Zhang, H., Luo, Y., Zhu, X., & Lin, G. (2021). Mangrove diversity enhances plant biomass production and carbon storage in Hainan island, China. *Functional Ecology*, 35(3), 774-786.
- Bandyopadhyay, S., & Pal, S. K. (2001). Pixel classification using variable string genetic algorithms with chromosome differentiation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(2), 303-308.
- Basyuni, M., Nainggolan, S., Qurrahman, T., Hasibuan, P., Sumaiyah, S., Sumardi, S., Siregar, E., & Nuryawan, A. (2019). Effect of Salt and Fresh Water Concentration on Polyisoprenoid Content in *Bruguiera cylindrica* Seedlings. *Open access Macedonian journal of medical sciences*, 7(22), 3803-3806.
- Chakraborty, S. K. (2019). Bioinvasion and Environmental Perturbation: Synergistic Impact on Coastal-Mangrove Ecosystems of West Bengal, India. In *Impacts of Invasive Species on Coastal Environments*. (pp. 171-245). Cham: Springer.
- Chiong, R., Weise, T., & Michalewicz, Z. (2012). *Variants of evolutionary algorithms for real-world applications* (Vol. 2). Springer.
- Cochard, R. (2017). Coastal water pollution and its potential mitigation by vegetated wetlands: An overview of issues in Southeast Asia. *Redefining Diversity & Dynamics of Natural Resources Management in Asia, Volume 1*, 189-230.
- Collins, D., Nguyen, V., Ta, T., Mao, L., Ishii, Y., Kitagawa, H., Nakashima, R., Vo, T., & Tamura, T. (2021). Sedimentary evolution of a delta-margin mangrove in Can Gio, northeastern Mekong

- River delta, Vietnam. *Marine Geology*, 433, 106417.
- Congalton R.G. & Green K. (2008) *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. CRC Press.
- Constance, A., Haverkamp, P. J., Bunbury, N., & Schaepman-Strub, G. (2021). Extent change of protected mangrove forest and its relation to wave power exposure on Aldabra Atoll. *Global Ecology and Conservation*, 27, e01564.
- Da Silva, M. F., Cruz, M. V., Vidal Júnior, J. D. D., Zucchi, M. I., Mori, G. M., & De Souza, A. P. (2021). Geographical and environmental contributions to genomic divergence in mangrove forests. *Biological Journal of the Linnean Society*, 132(3), 573-589.
- Fauzi, N. F. M., Min, T. H., & Hashim, A. M. (2020). Assessment of Mangrove Replanting Site at Kg Tanjung Kepah, Lekir, Perak. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 549, 012054.
- Friis, G., & Burt, J. A. (2020). Evolution of mangrove research in an extreme environment: Historical trends and future opportunities in Arabia. *Ocean & Coastal Management*, 195, 105288.
- Galinier, P., & Hao, J.-K. (1999). Hybrid evolutionary algorithms for graph coloring. *Journal of combinatorial optimization*, 3(4), 379-397.
- Gerald, B. (2018). A brief review of independent, dependent and one sample t-test. *International Journal of Applied Mathematics and Theoretical Physics*, 4(2), 50-54.
- Ghosh, M. K., Kumar, L., & Roy, C. (2016). Mapping long-term changes in mangrove species composition and distribution in the Sundarbans. *Forests*, 7(12), 305.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning*. (1st ed). USA: Addison-Wesley Professional.
- Gruninger, J.H., Ratkowski, A.J., & Hoke, M.L. (2004). The sequential maximum angle convex cone (SMACC) endmember model. In *Algorithms and technologies for multispectral, hyperspectral, and ultraspectral imagery X*. (pp. 1-14). International Society for Optics and Photonics.
- Halder, N.K., Merchant, A., Misbahuzzaman, K., Wagner, S., & Mukul, S.A. (2021a). Why some trees are more vulnerable during catastrophic cyclone events in the Sundarbans mangrove forest of Bangladesh? *Forest Ecology and Management*, 490, 119117.
- Halder, S., Samanta, K., Das, S., & Pathak, D. (2021b). Monitoring the inter-decade spatial-temporal dynamics of the Sundarban mangrove forest of India from 1990 to 2019. *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101718.
- Hati, J.P., Samanta, S., Chaube, N.R., Misra, A., Giri, S., Pramanick, N., Gupta, K., Majumdar, S.D., Chanda, A. & Mukhopadhyay, A. (2021). Mangrove classification using airborne hyperspectral AVIRIS-NG and comparing with other spaceborne hyperspectral and multispectral data. *The*

- Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24, 273-81.
- He, Z., Shi, Q., Liu, K., Cao, J., Zhan, W., & Cao, B. (2020). Object-oriented mangrove species classification using hyperspectral data and 3-D siamese residual network. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 17(12), 2150-2154.
- Hickey, S., Radford, B., Callow, J., Phinn, S., Duarte, C. M., & Lovelock, C. (2021). ENSO feedback drives variations in dieback at a marginal mangrove site. *Scientific reports*, 11(1), 1-9.
- Holland, J.H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. USA: University of Michigan press.
- Intarat, K. (2018). *Remote sensing technique for mangrove studies: Tropical mangrove species classification with convolutional neural network and tropical mangrove tree biomass modelling with terrestrial laser scanner* [Thesis, Chulalongkorn]. Chulalongkorn University.
- Intarat, K., & Vaiphasa, C. (2020). Modeling Mangrove Above-Ground Biomass Using Terrestrial Laser Scanning Techniques: A Case Study of the *Avicennia marina* Species in the Bang Pu District, Thailand. *International Journal of Geoinformatics*, 16(2), 53-62.
- Jannoud, I., Jaradat, Y., Masoud, M. Z., Manasrah, A., & Alia, M. (2022). The Role of Genetic Algorithm Selection Operators in Extending WSN Stability Period: A Comparative Study. *Electronics*, 11(1), 28.
- Jing, X., Leigh, L., Helder, D., Pinto, C. T., & Aaron, D. (2019). Lifetime absolute calibration of the EO-1 Hyperion sensor and its validation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57(11), 9466-9475.
- Khamprakop, S. (1975). *Ministerial Regulation No. 732 (B.E. 2518)*. Retrieved March 12, 2022, from http://old.forest.go.th/nakhonsithammarat_12/dmdocuments/S1008.pdf. (in Thai)
- Koedsin, W. (2013). *Hyperspectral remote sensing techniques for leaf area index estimation and mangrove discrimination* [Thesis, Chulalongkorn]. Chulalongkorn University.
- Koedsin, W., & Vaiphasa, C. (2013). Discrimination of tropical mangroves at the species level with EO-1 Hyperion data. *Remote Sensing*, 5(7), 3562-3582.
- Kumar, T., Mandal, A., Dutta, D., Nagaraja, R., & Dadhwal, V. K. (2019). Discrimination and classification of mangrove forests using EO-1 Hyperion data: A case study of Indian Sundarbans. *Geocarto International*, 34(4), 415-442.
- L3HARRIS. (2021). ENVI 5.6. 1025 W. NASA Boulevard Melbourne, FL 32919. Licence No. E21-0076
- Li, Q., Wong, F.K.K. & Fung, T. (2021). Mapping multi-layered mangroves from multispectral, hyperspectral, and LiDAR data. *Remote Sensing of Environment*, 258, 112403.
- Loizzo, R., Daraio, M., Guarini, R., Longo, F., Lorusso, R., Dini, L., & Lopinto, E. (2019). Prisma Mission Status and Perspective. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*, 4503-4506.
- Loizzo, R., Guarini, R., Longo, F., Scopa, T., Formaro, R., Facchinetti, C., & Varacalli, G. (2018). Prisma:

- The Italian hyperspectral mission. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS* 175-178.
- Mahmood, H., Ahmed, M., Islam, T., Uddin, M. Z., Ahmed, Z. U., & Saha, C. (2021). Paradigm shift in the management of the Sundarbans mangrove forest of Bangladesh: Issues and challenges. *Trees, Forests and People*, 5, 100094.
- Manjunath, K., Kumar, T., Kundu, N., & Panigrahy, S. (2013). Discrimination of mangrove species and mudflat classes using in situ hyperspectral data: a case study of Indian Sundarbans. *GIScience & remote sensing*, 50(4), 400-417.
- McLeod, E., & Salm, R. V. (2006). *Managing mangroves for resilience to climate change* (Vol.64). Gland, Switzerland: World Conservation Union (IUCN).
- Middleton, E. M., Ungar, S. G., Mandl, D. J., Ong, L., Frye, S. W., Campbell, P. E., Landis, D. R., Young, J. P., & Pollack, N. H. (2013). The earth observing one (EO-1) satellite mission: Over a decade in space. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6(2), 243-256.
- Mitchell, M. (1998). *An Introduction to Genetic Algorithms*. USA: The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- MOAC. (1965). *Ministerial Regulation No. 63 (B.E. 2508)*. Retrieved March 12, 2022, from http://old.forest.go.th/nakhonsithammarat_12/dmdocuments/S1003_63_2508.pdf. (in Thai)
- Murugan, S., & Anandhi, D. U. (2016). An overview of crustacean diversity in mangrove ecosystem. In: Chakravarthy A., *Arthropod Diversity and Conservation in the Tropics and Sub-tropics*. (pp. 81-99). Singapore: Springer.
- Panapitukkul, N., Duarte, C., Thampanya, U., Kheowwongsri, P., Srichai, N., Geertz-Hansen, O., Terrados, J., & Boromthanasri, S. (1998). Mangrove colonization: mangrove progression over the growing Pak Phanang (SE Thailand) mud flat. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47(1), 51-61.
- Pepe, M., Pompilio, L., Gioli, B., Busetto, L., & Boschetti, M. (2020). Detection and classification of Non-Photosynthetic Vegetation from PRISMA hyperspectral data in croplands. *Remote Sensing*, 12(23), 3903.
- Prasad, K.A., & Gnanappazham, L. (2014). Discrimination of mangrove species of Rhizophoraceae using laboratory spectral signatures. In *2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*. (pp. 2906-2909). IEEE.
- Rashmi, S., Addamani, S., Venkat, S., & Ravikiran, S. (2014). Spectral Angle Mapper Algorithm for Remote Sensing Image Classification. *IJSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 1(4).
- Salghuna, N., & Pillutla, R. (2017). Mapping Mangrove Species Using Hyperspectral Data: A Case Study

- of Pichavaram Mangrove Ecosystem, Tamil Nadu. *Earth Systems and Environment*, 1(2), 1-12.
- Shen, X., Zhang, Z., Zhai, C., & Li, R. (2022). A Meta-Analysis of the Overall Accuracy of Extent and Species of the Coastal Mangroves. *Beijing Da Xue Xue Bao*, 58(1), 135-146.
- Sievers, M., Chowdhury, M. R., Adame, M. F., Bhadury, P., Bhargava, R., Buelow, C., Friess, D. A., Ghosh, A., Hayes, M. A., & McClure, E. C. (2020). Indian Sundarbans mangrove forest considered endangered under Red List of Ecosystems, but there is cause for optimism. *Biological Conservation*, 251, 108751.
- Singh, M., Griaud, C., & Collins, C. M. (2021). An evaluation of the effectiveness of protected areas in Thailand. *Ecological Indicators*, 125, 107536.
- Teeratanatorn, W. (2000). *Mangroves of Pak Phanang Bay*. Bangkok: Royal Forest Department. (in Thai)
- Thompson, D. R., Mandrake, L., Gilmore, M. S., & Castano, R. (2010). Superpixel endmember detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(11), 4023-4033.
- Thuy, T. D., Tuan, V. Q., & Nam, P. K. (2021). Does the devolution of forest management help conserve mangrove in the Mekong Delta of Viet Nam? *Land Use Policy*, 106, 105440.
- Ullah, S., Groen, T. A., Schlerf, M., Skidmore, A. K., Nieuwenhuis, W., & Vaiphasa, C. (2012). Using a genetic algorithm as an optimal band selector in the mid and thermal infrared (2.5–14 μm) to discriminate vegetation species. *Sensors*, 12(7), 8755-8769.
- Vaiphasa, C. (2006). *Remote sensing techniques for mangrove mapping*. Wageningen University and Research.
- Vaiphasa, C., De Boer, W., Skidmore, A., Panitchart, S., Vaiphasa, T., Bamrongrugs, N., & Santitamnont, P. (2007a). Impact of solid shrimp pond waste materials on mangrove growth and mortality: a case study from Pak Phanang, Thailand. *Hydrobiologia*, 591(1), 47-57.
- 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(1-2), 371-379.
- Vaiphasa, C., Skidmore, A. K., & de Boer, W. F. (2006). A post-classifier for mangrove mapping using ecological data. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 61(1), 1-10.
- Vaiphasa, C., Skidmore, A.K., de Boer, W.F., & Vaiphasa, T. (2007b) A hyperspectral band selector for plant species discrimination. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62(3), 225-235.
- Vangi, E., D'Amico, G., Francini, S., Giannetti, F., Lasserre, B., Marchetti, M., & Chirici, G. (2021). The new hyperspectral satellite PRISMA: Imagery for forest types discrimination. *Sensors*, 21(4), 1182.

- Wan, L., Lin, Y., Zhang, H., Wang, F., Liu, M., & Lin, H. (2020). GF-5 Hyperspectral Data for Species Mapping of Mangrove in Mai Po, Hong Kong. *Remote Sensing*, 12(4), 656.
- Wan, L., Zhang, H., Wang, T., Li, G., & Lin, H. (2018). Mangrove species discrimination from very high resolution imagery using gaussian markov random field model. *Wetlands*, 38(5), 861-874.
- Wang, Y., Chao, B., Dong, P., Zhang, D., Yu, W., Hu, W., Ma, Z., Chen, G., Liu, Z., & Chen, B. (2021). Simulating spatial change of mangrove habitat under the impact of coastal land use: Coupling MaxEnt and Dyna-CLUE models. *Science of The Total Environment*, 788, 147914.
- Wilkerson, S. (2008). Application of the Paired t-test. *XULAnEXUS*, 5(1), 7.
- Wiransky, E. (2020). *Hands-on genetic algorithms with Python: applying genetic algorithms to solve real-world deep learning and artificial intelligence problems*. Packt Publishing Ltd.
- Wong, F. K., & Fung, T. (2014). Combining EO-1 Hyperion and Envisat ASAR data for mangrove species classification in Mai Po Ramsar Site, Hong Kong. *International Journal of Remote Sensing*, 35(23), 7828-7856.
- Xia, J., Yokoya, N., & Pham, T. D. (2020). Probabilistic mangrove species mapping with multiple-source remote-sensing datasets using label distribution learning in Xuan Thuy National Park, Vietnam. *Remote Sensing*, 12(22), 3834.
- Zalzala, A. M. S., & Fleming, P. J. (1997). Genetic Algorithms in Engineering Systems. *The UK: Institution of Engineering and Technology*.
- Zulfa, A., Norizah, K., Hamdan, O., Faridah-Hanum, I., Rhyma, P., & Fitrianto, A. (2021). Spectral signature analysis to determine mangrove species delineation structured by anthropogenic effects. *Ecological Indicators*, 130, 108148



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวศุภนิดา เมืองกเสม
วัน เดือน ปี เกิด	28 ธันวาคม 2539
สถานที่เกิด	จังหวัดนราธิวาส
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษา ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนวิทยาศาสตร์ จุฬารณราชวิทยาลัย สตูล เมื่อปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาหลักสูตร ปริญญาศิลปศาสตรบัณฑิต (ภูมิศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับ 1 เมื่อปีการศึกษา 2561 จากคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	534 ถนนประชาวิวัฒน์ ซอย 17/11 ตำบลสุโหงโกลก อำเภอสุโหงโกลก จังหวัดนราธิวาส 96120
ผลงานตีพิมพ์	Muangkasem, S., Vaiphasa, C., & Intarat, K. (2022). Tropical mangrove species classification using PRISMA hyperspectral data: A case study in Talumpuk cape, Thailand. BURAPHA SCIENCE JOURNAL, 27(3). (in Thai)