

การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบและการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกล  
แบบไฮเปอร์สเปกตรัล

นายวีระพงศ์ เกิดสิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2556  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

HYPERSPECTRAL REMOTE SENSING TECHNIQUES FOR LEAF AREA INDEX  
ESTIMATION AND MANGROVE DISCRIMINATION

Mr. Werapong Koedsin

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Survey Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบและการจำแนกพันธุ์ไม้ป่า  
ชายเลนด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์  
สเปกตรัล

โดย

นายวีระพงศ์ เกิดสิน

สาขาวิชา

วิศวกรรมสำรวจ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร. ชัยโชค ไวกาษา

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. บรรเจิด พละการ)

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

..... กรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. อธิติ ตริสิริสัตยวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร. เขาวลิต ศิลปทอง)

วีระพงศ์ เกิดสิน : การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบและการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน ด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล (HYPERSPECTRAL REMOTE SENSING TECHNIQUES FOR LEAF AREA INDEX ESTIMATION AND MANGROVE DISCRIMINATION) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ. ดร. ชัยโชค ไวกาษา, 104 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์สองประเด็นหลักๆ คือ เพื่อหาชนิดของข้อมูลและวิธีการที่เหมาะสมในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนที่มีความหนาแน่นของเรือนยอดสูง และการจำแนกป่าชายเลนในระดับสายพันธุ์ด้วยข้อมูลภาพแบบไฮเปอร์สเปกตรัลโดยอาศัยการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมด้วยวิธีการ Sequential Forward Selection และขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยพื้นที่ศึกษาคือ ป่าชายเลนบริเวณแหลมตะลุมพุก อ. ปากพนัง จ. นครศรีธรรมราช

จากผลการศึกษาในประเด็นการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบสามารถสรุปได้ว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนให้ค่าความถูกต้องในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ โดยมีค่าค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย เท่ากับ 0.192 และ 0.337 ในกรณีภาพถ่าย Hyperion และ ALI ตามลำดับ นอกจากนี้ข้อมูลภาพแบบไฮเปอร์สเปกตรัลให้ผลการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบได้ดีกว่าข้อมูลภาพแบบหลายช่วงคลื่นโดยสามารถปรับปรุงค่าความถูกต้อง 43%

งานวิจัยนี้เป็นครั้งแรกที่สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลภาพไฮเปอร์สเปกตรัลสามารถจำแนกป่าชายเลนในระดับสายพันธุ์ได้เมื่อร่วมกับเทคนิคการคัดเลือกช่วงคลื่นแบบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมทำให้สามารถจำแนกป่าชายเลนจำนวน 5 สายพันธุ์เด่นได้อย่างถูกต้อง โดยวิธีการดังกล่าวปรับปรุงค่าความถูกต้องโดยรวมจาก 87% เป็น 92% อย่างไรก็ตามผลการทดลองยังมีความสับสนระหว่างโกกางใบเล็ก และโกกางใบใหญ่ โดยผู้วิจัยคาดหวังว่าวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้กับการจำแนกระดับสายพันธุ์กับพื้นที่อื่นๆ ได้

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ.....ลายมือชื่อนิติต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา ..2556.....

# # 5271827021 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORDS: Leaf Area Index / Hyperspectral Data / Mangrove Mapping  
 WERAPONG KOEDSIN: HYPERSPECTRAL REMOTE SENSING  
 TECHNIQUES FOR LEAF AREA INDEX ESTIMATION AND MANGROVE  
 DISCRIMINATION. ADVISOR: CHAICHOKE VAIPHASA, Ph.D., 104 pp.

The objective of this research are two main issues, the first is to find the suitable data type (i.e. EO-1 Hyperion and EO-1 ALI) and the appropriate method to estimate Leaf Area Index (LAI) of dense canopy mangrove. Another issue is the classification of tropical mangrove at species level by band selection methods. The study site is at the Talumpuk cape, Pak Phanang District, Nakorn Sri Thammarat Province, Thailand

In the first issue, the results suggest that the Partial Least Square Regression (PLSR) improved the accuracy compared with other methods. The Root Mean Square Error (RMSE) of PLSR methods are 0.192 and 0.337 when used the Hyperion and ALI respectively. Moreover, the hyperspectral data helped improve RMSE 43% compared multispectral data when used PLSR.

This study demonstrated the capability of the hyper-dimensional remote sensing data for discriminating diversely-populated tropical mangrove species. It was found that five different tropical mangrove species were correctly classified. The Genetic Algorithm based bands selection helped improve the overall accuracy from 86% to 92% despite the remaining confusion between the two members of the Rhizophoraceae family and the pioneer species.

Department : SURVEY ENGINEERING..... Student's Signature .....

Field of Study : SURVEY ENGINEERING..... Advisor's Signature .....

Academic Year : 2013.....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร.ชัยโชค ไวกาษา อาจารย์ที่ปรึกษาอันเป็นที่เคารพรัก ที่ให้โอกาสที่ไม่สามารถหาจากที่ไหน ให้ความรู้และแนวคิด เทคนิควิธีการ การนำเสนอมุมมองต่างๆ รวมทั้งวิธีการเขียนบทความวิจัย การปฏิสัมพันธ์กับผู้วิจารณ์ (Reviewer) บทความวิจัย ทั้งหมดนี้ ถือเป็นความรู้ที่มีคุณค่ายิ่ง

ขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ที่ให้กำลังใจและไถ่ถามอยู่เสมอ ขอขอบคุณ คุณพ่อสมนึก และคุณแม่พวงศ์ ธารานุสรณ์ ที่คอยดูแลภรรยาและลูกชายแทนข้าพเจ้าในขณะที่ลาศึกษา ขอขอบคุณ คุณสุนทรี เกิดสิน ภรรยาที่คอยให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือในทุกๆ อย่าง ขอขอบคุณลูกชายสุดที่รัก เด็กชายวงศร์พี เกิดสิน ที่ทำให้มีกำลังใจในการที่จะเรียนให้จบ

ขอขอบคุณ รศ. ดร.บรรเจิด พละการ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศ.ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์ รศ.ดร.อิทธิ ตรีสิริสัตยวงศ์ กรรมการสอบ และ ดร.เชาวลิต ศิลปทอง กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัยจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่กรุณาให้คำแนะนำพร้อมทั้งแนวคิดที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ ที่ให้ความรู้อันมีคุณค่า

ขอขอบพระคุณ ร.ศ.ดร. พันธุ์ ทองชุมนุญ หัวหน้าอันเป็นที่รักและเคารพเพียงที่ให้โอกาสในการศึกษาต่อ ขอขอบคุณ คุณณกร วัฒนกิจ คุณภาณุ อุทัยศรี ที่ช่วยเหลือในการทำกระดาษหลายๆ อย่างในขณะที่ข้าพเจ้าอยู่ภูเก็ท ขอขอบคุณ คุณ ธันวา สัจจาพิทักษ์วงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลการออกภาคสนาม ขอขอบคุณมิตรภาพของพี่น้องๆ นิสิต ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่าน สำหรับน้ำใจและความช่วยเหลือที่มีให้กันเสมอในยามที่ต้องการ

ขอขอบคุณหัวหน้าและเจ้าหน้าที่สถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 44 ที่อนุเคราะห์เรือในการออกสำรวจภาคสนาม อีกทั้งเป็นกำลังสำคัญในการเก็บข้อมูลภาคสนามอีกด้วย ขอขอบคุณ USGS ที่อนุเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาอาจารย์และบุคลากรสำหรับสถาบันอุดมศึกษาในเขตพัฒนาเฉพาะกิจจังหวัดชายแดนภาคใต้ (ทุนปริญญาเอกในประเทศ) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาและการทำวิจัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 ค่าดัชนีพืชพรรณ .....	8
2.2 ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ.....	9
2.3 คุณลักษณะของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษา.....	11
2.4 การสุ่มแบบแบ่งชั้น (Stratified Random Sampling) .....	14
2.5 การวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน.....	14
2.6 Spectral Angle Mapper.....	19
2.7 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม.....	20
2.8 Sequential Forward Selection (SFS) .....	28
2.9 การตรวจสอบผลการจำแนก (Classification Accuracy Assessment).....	29
บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
3.1 งานวิจัยที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับตัวแปรทางชีววิทยา ของพืช.....	32
3.2 งานวิจัยเปรียบเทียบระหว่างการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยข้อมูลแบบ	

หลายช่วงคลื่นกับข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัล.....	33
3.3 งานวิจัยที่ใช้เทคนิคต่างๆกับข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัลเพื่อทำการปรับปรุงการ ประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำ.....	35
3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านกรจำแนกป่าชายเลน	38
บทที่ 4 วิธีดำเนินการศึกษา.....	41
4.1 พื้นที่ศึกษา.....	41
4.2 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษา.....	42
4.3 การเก็บข้อมูลภาคสนาม.....	43
4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	46
4.5 การทดสอบทางสถิติ.....	53
บทที่ 5 ผลการศึกษา	54
5.1 ผลการศึกษาการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำ.....	54
5.2 ผลการศึกษาการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน.....	64
บทที่ 6 อภิปรายผล สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	74
6.1 อภิปรายผลการศึกษา.....	74
6.2 สรุปผลการศึกษา.....	78
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	80
รายการอ้างอิง.....	81
ภาคผนวก.....	93
ภาคผนวก ก ข้อมูลภาคสนามดัชนีพื้นที่ผิวน้ำ.....	92
ภาคผนวก ข โค้ด Matlab การหาค่า $R^2$ สูงสุด.....	97
ภาคผนวก ค โค้ด Matlab ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม.....	99
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	104



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงลักษณะบางประการของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion.....	12
2.2	แสดงรายละเอียดช่วงคลื่นของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion.....	12
2.3	แสดงลักษณะบางประการของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ ALI.....	13
2.4	แสดงคุณลักษณะบางประการของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ ALI.....	13
2.5	แสดงค่าศูนย์กลางของความยาวช่วงคลื่น (CWL) ในแต่ละBand ของ ALI เปรียบเทียบกับ Band ของ Hyperion.....	14
2.6	ค่าความเหมาะสมและความน่าจะเป็นในการถูกเลือกของโครโมโซม.....	24
2.7	แสดงเมตริกซ์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ได้จากการจำแนกและข้อมูล อ้างอิง.....	29
4.1	ชนิดพันธุ์ไม้เด่น 5 ชนิดที่พบในป่าชายเลนแหลมตะลุมพุก.....	41
4.2	แสดงจำนวนแปลงตัวอย่างในแต่ละชนิดพันธุ์ไม้.....	45
5.1	ผลการทดลองการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียวแบบต่างๆ เมื่อใช้ NDVI แบบช่วงคลื่นกว้างของภาพถ่ายระบบ Hyperion.....	55
5.2	ผลการทดลองการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียวแบบต่างๆ เมื่อใช้ SR แบบ ช่วงคลื่นกว้างของภาพถ่ายระบบ Hyperion.....	55
5.3	ผลการทดลองการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียวแบบต่างๆ เมื่อใช้ NDVI แบบช่วงคลื่นกว้างของภาพถ่าย ALI.....	57
5.4	ผลการทดลองการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียวแบบต่างๆ เมื่อใช้ SR แบบ ช่วงคลื่นกว้างของภาพถ่าย ALI.....	57
5.5	ผลการทดลองการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียวแบบต่างๆ เมื่อใช้ NDVI แบบช่วงคลื่นแคบ.....	59
5.6	ผลการทดลองการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียวแบบต่างๆ เมื่อใช้ SR แบบ ช่วงคลื่นแคบ.....	60
5.7	แสดงค่า RMSE ของแบบจำลองที่ดีที่สุดในแต่ละวิธีการ.....	63
5.8	แสดงช่วงคลื่นที่ถูกคัดเลือกทั้ง 30 โครโมโซมกรณีขนาดโครโมโซมเท่ากับ 7.....	65
5.9	แสดงช่วงคลื่นที่ถูกคัดเลือกทั้ง 30 ช่วงคลื่นด้วยวิธีการ SFS.....	67

5.10	เปรียบเทียบค่าความถูกต้องในการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนของข้อมูลทดสอบระหว่างกรณีใช้ช่วงคลื่นที่ผ่านการคัดเลือกด้วยขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) กับ การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยวิธีการ SFS (Sequential Forward Selection).....	68
5.11	(a) แสดงค่าสถิติพื้นฐานของค่าความถูกต้องที่ได้จากทั้งสองวิธีการ (b) แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าความถูกต้องในการจำแนกทั้งสองวิธีการ.....	71
5.12	แสดงเมตริกซ์ความคลาดเคลื่อนกรณีใช้ (a) ขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรมและ (b) SFS (Sequential Forward Selection).....	72

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงการวัดค่ารัศมีของเรือนยอดต้นไม้.....	10
2.2	แสดงความสัมพันธ์การวิเคราะห์ด้วย การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่ง ส่วน.....	16
2.3	แสดงการทำ Cross-validation เพื่อเลือกจำนวนองค์ประกอบ.....	19
2.4	แสดงตัวอย่างของเวกเตอร์ $\bar{t}$ และ $\bar{r}$ เมื่อพิจารณาช่วงคลื่น 3 ช่วงคลื่น.....	19
2.5	แสดงลักษณะของโครโมโซม.....	21
2.6	ผังงานแสดงขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม.....	22
2.7	โครโมโซมยาว 8 บิต ให้แทนคำตอบที่ประกอบไปด้วยตัวแปร $X_1$ และ $X_2$ .....	23
2.8	ตัวอย่างโครโมโซมที่ถูกเข้ารหัสเป็นชื่อของช่วงคลื่นจากภาพถ่ายดาวเทียม.....	23
2.9	แสดงการคัดเลือกโดยใช้วงล้อรูเล็ต.....	25
2.10	แสดงการคัดเลือกโดยใช้ Stochastic Universal Sampling.....	26
2.11	แสดงการไขว้เปลี่ยนแบบกระจาย.....	27
2.12	แสดงการกลายพันธุ์.....	27
2.13	แสดงตัวอย่างการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย SFS.....	28
4.1	แสดงพื้นที่ศึกษาบริเวณแหลมตะดุมพุก อ. ปากพนัง จ. นครศรีธรรมราช.....	42
4.2	แสดงค่าการสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นของป่าชายเลนในแต่ละสายพันธุ์.....	46
4.3	แสดงขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล.....	47
4.4	แผนภาพแสดงการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน.....	49
4.5	ผังงานแสดงการหาขนาดโครโมโซมที่เหมาะสม.....	51
4.6	ผังงานการจำแนกโดยใช้ Sequential Forward Selection.....	53
5.1	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ช่วงคลื่นต่างๆ เมื่อใช้ (a) NDVI and (b) SR แบบช่วงคลื่นกว้างในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำด้วยการวิเคราะห์การ ถดถอยแบบพหุนามกำลังสอง.....	56
5.2	แสดงผลการทำนายค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำจากแบบจำลองพหุนามกำลังสองเมื่อใช้ ค่า (a) NDVI และ (b) SR ที่ได้จากภาพถ่ายระบบ Hyperion และ (c) NDVI และ (d) SR จากภาพถ่ายระบบ ALI.....	58

5.3	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดคลื่นใจที่ช่วงคลื่นต่างๆ เมื่อใช้ (a) NDVI and (b) SR แบบช่วงคลื่นแคบในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบ พหุนามกำลังสอง.....	60
5.4	แสดงผลการทำนายค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากแบบจำลอง พหุนามกำลังสอง เมื่อใช้ค่า (a) NDVI ช่วงคลื่นแคบ และ (b) SR ช่วงคลื่นแคบ ที่ได้จากภาพถ่ายระบบ Hyperion.....	61
5.5	แสดงผลการทำนายค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน เมื่อ (a) การสร้างแบบจำลอง และ (b) เป็นการทดสอบแบบจำลอง ของภาพถ่ายระบบ Hyperion และ (c) การสร้างแบบจำลอง (d) เป็นการทดสอบแบบจำลอง ของภาพถ่ายระบบ ALI.....	63
5.6	แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความถูกต้องโดยรวมในการจำแนกที่ขนาดโครโมโซมต่างๆ.....	64
5.7	แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการแบ่งกลุ่มช่วงคลื่นที่ได้จากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและ SFS.....	70
5.8	แสดงผลการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนเมื่อ (a) ใช้การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมจำนวน 7 ช่วงคลื่น (b) ใช้จำนวนช่วงคลื่นทั้งหมดในการจำแนก โดยในส่วนที่ไม่ใช่ป่าชายเลนและพื้นที่นอกขอบเขตพื้นที่ศึกษาจะแสดงเป็นสีขาวดำ.....	73

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ป่าชายเลนเป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศชายฝั่งในแถบเขตร้อนที่มีความสำคัญยิ่ง (Tomlinson, 1995; Hogarth, 2007) มีบทบาทในการรักษาสมดุลของธาตุอาหารและความสมบูรณ์ของชายฝั่งทะเล ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความสมบูรณ์ของทรัพยากรประมง เป็นแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำ ช่วยในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนก่อนลงสู่ทะเล การหมุนเวียนของธาตุอาหารในบริเวณป่าชายเลนส่งผลให้คุณภาพน้ำทะเลอยู่ในเกณฑ์ดี การกักตะกอนของป่าชายเลนช่วยลดอัตราการกัดเซาะชายฝั่ง (Lugo and Snedaker, 1974; Hogarth, 2007; Alongi, 2002; Linneweber, 2002; Barbier and Sathirathai, 2004) นอกจากนี้มนุษย์ยังใช้ประโยชน์จากส่วนต่างๆ ของป่าชายเลนอีกมากมาย เช่น เป็นอาหาร ไม้ทำฟืน ไม้แปรรูป และ การผลิตกรดจากเปลือกไม้ (tannin) เป็นต้น (Hamilton and Snedaker, 1984; FAO, 2007) ถึงแม้ว่าป่าชายเลนจะมีเนื้อที่เพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับป่าบก อย่างไรก็ตามป่าชายเลนมีความสำคัญมากเนื่องจากเป็นระบบนิเวศที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสูง เป็นแหล่งรวมของสังคมพืช สัตว์น้ำและสัตว์บกมากมายหลายชนิด นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์กับระบบนิเวศหญ้าทะเลและแนวปะการัง ดังนั้นป่าชายเลนจึงเป็นระบบนิเวศที่มีคุณค่ามหาศาล (สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน 2552) เป็นที่น่าเสียดายที่ป่าชายเลนมีการลดลงอย่างน่าวิตกกังวล เนื่องจากการขยายตัวในการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์ การเจริญรุ่งเรืองของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ผลกระทบจากคลื่นทะเลและพายุคลื่นแรง และการนำมาใช้โดยไม่ได้ปลูกทดแทน (Ellison and Farnsworth, 1996; Farnsworth and Ellison, 1997; Linneweber, 2002; Barbier and Sathirathai, 2004; Alongi, 2009) การอนุรักษ์ป่าชายเลนที่ถูกคุกคามเหล่านี้จึงกลายเป็นความสำคัญสำหรับองค์การภาครัฐและเอกชนทั่วโลก (Linneweber, 2002; Barbier and Sathirathai, 2004; Giesen, Cochran, and Scholten 2006) ความถูกต้องและข้อมูลที่เป็นปัจจุบันของการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต (dynamics) และข้อมูลความหลากหลายของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน เป็นสิ่งที่จำเป็นในการจัดการและการอนุรักษ์ป่าชายเลน (Kairo, Kivyatu, and Koedam 2002; Heumann, 2011) อย่างไรก็ตามการสำรวจภาคสนามในป่าชายเลนที่สามารถเข้าถึงได้ยากต้องใช้เวลาและแรงงานในการสำรวจสูง เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ เพราะเป็นวิธีการที่ไม่ทำลายตัวอย่าง ลด

ระยะเวลาและแรงงานในการสำรวจ (Jensen and Binford, 2004; Jongschaap, 2006; Fang and Kuusk, 2003)

ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index; LAI) มีความสำคัญอย่างยิ่งในการวิเคราะห์ความสามารถในการให้ผลผลิตและกระบวนการผลิตของป่า เนื่องจากผลผลิตสุทธิของหญ้าไม่มีความสัมพันธ์ไปทางเดียวกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (พงษ์ศักดิ์ สหนาฟู 2538) นอกจากนี้ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในการอธิบายระบบภูมิอากาศและเป็นตัวแปรที่ใช้ในหลายแบบจำลอง เช่น การแลกเปลี่ยนพลังงานกับชั้นบรรยากาศ (Bacour et al. 2002) วัฏจักรคาร์บอนและแบบจำลองทางด้านอุทกวิทยา (Weiss and Baret 1999) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการศึกษาวิธีการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนให้มีความถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ

วิธีการสำรวจระยะไกลที่ได้รับความนิยมในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ คือ การหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานกับค่าดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index) เพื่อนำสมการดังกล่าวมาประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่า ซึ่งค่าดัชนีพืชพรรณที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่หลายดัชนี เช่น ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI) ค่าดัชนีสัดส่วนธรรมดา (Simple Ratio; SR) ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (Soil Adjusted Vegetation Index; SAVI) ค่าดัชนีตำแหน่งขอบแดง (Red Edge Positioning; REP) เป็นต้น มีหลายงานวิจัยได้สรุปว่าค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์ที่ดีกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Kovacs et al. 2004; Green et al. 1997; Gong P. et al. 2003; Kovacs et al. 2009; Propastin and Kappas 2009; Jensen and Binford 2004; Running et al. 1986; Law and Waring 1994; Spanner et al. 1990) อย่างไรก็ตามมีการศึกษาวิจัยที่พบว่าการนำค่าดัชนีพืชพรรณมาใช้ประมาณค่าตัวแปรทางชีววิทยาของป่านั้นไม่ประสบความสำเร็จไปเสียทั้งหมด เนื่องจากปัญหาและอุปสรรคต่างๆ เช่น ปัญหาจากสัญญาณพื้นหลัง (Gao et al. 2000; Gong et al. 2003) ปัญหาสัญญาณอิ่มตัว (Saturation) (Fassnacht et al. 1997; Gao et al. 2000; Hurcom and Harrison 1998; Li et al. 2007; Mutanga and Skidmore 2004; Thenkabail and De Pauw, 2000) ปัญหาผลกระทบจากชั้นบรรยากาศ (Myneni and Asrar 1994) เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่ปัญหาที่เกิดขึ้นจะเป็นผลมาจากการอิ่มตัวของค่าดัชนีพืชพรรณมากกว่ากรณีอื่นๆ เพื่อที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวหลายงานวิจัยได้นำเทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบไฮเพอร์สเปกตรัล (Hyperspectral Remote Sensing) มาใช้หา ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบและค่าตัวแปรทางชีววิทยาอื่นๆของพืช เนื่องจากเทคนิคการสำรวจระยะไกล

แบบไฮเปอร์สเปกตรัลมีจำนวนช่วงคลื่นที่มากกว่าเทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral Remote Sensing) โดยมีหลายงานวิจัยยืนยันว่าเทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ผิวใบหรือค่าตัวแปรทางชีววิทยาอื่นๆของพืช กับค่าดัชนีพืชพรรณดีกว่าผลที่ได้จากการใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลแบบหลายช่วงคลื่น (Lee et al. 2004; Mutanga and Skidmore 2004; Pu et al. 2005; Rao et al. 2006; Thenkabail et al. 2004) อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่กล่าวมายังมีน้อยมากที่กล่าวถึงการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนโดยใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล โดยเฉพาะกับป่าชายเลนที่มีความหลากหลายทางสายพันธุ์ และมีค่าความหนาแน่นของเรือนยอดสูง ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการอ้อมตัวของค่าดัชนีพืชพรรณ

ในการใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรทางชีววิทยาของพืชมีการนำเสนอการใช้งานดัชนีพืชพรรณช่วงคลื่นแคบ (narrow bands vegetation indices) ซึ่งสามารถปรับปรุงการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับดัชนีพืชพรรณแบบเดิม (Blackburn, 1998; Cho, Skidmore, and Sobhan, 2009; Darvishzadeh et al., 2008; Elvidge and Chen 1995; Gong, Pu, and Miller, 1992; Lee, 2004; Mutanga and AK Skidmore, 2004; Schlerf, Atzberger, and Hill, 2005; Thenkabail, Smith, and De Pauw 2000; Thenkabail et al., 2004; Zhao et al. 2007) และมีการใช้เทคนิคการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน (Stepwise Multiple Linear Regression) ซึ่งใช้จำนวนช่วงคลื่นมากกว่าดัชนีพืชพันธุ์ที่ใช้เพียงสองช่วงคลื่นเท่านั้น (e.g. Atzberger et al. 2003; Atzberger et al. 2010; Darvishzadeh et al. 2008; De Jong, Pebesma, and Lacaze 2003; Curran 1989) อย่างไรก็ตามในการใช้การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณนั้น มักมีปัญหारेื่อง กลุ่มของตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน (Multicollinearity) (P. J. Curran 1989; De Jong, Pebesma, and Lacaze 2003; Bastien, Vinzi, and Tenenhaus 2005) ซึ่งมักเกิดจากจำนวนค่าจากการสังเกต (Observation) มีจำนวนน้อยกว่าจำนวนตัวแปรอิสระ (นี่คือจำนวนช่วงคลื่น) (Curran, 1989; Curran, Dungan, and Peterson, 2001; Nguyen and Lee, 2006) โดยมีการนำเสนอวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยองค์ประกอบหลัก (Principal Component Regression: PCR) และ การวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน (Partial Least Square Regression: PLS) ซึ่งเหมาะสำหรับข้อมูลที่มีปัญหากลุ่มของตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน (Atzberger et al., 2003) มีหลายงานวิจัยการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน มาใช้ในการประมาณค่าตัวแปรทางชีววิทยาของพืช (Atzberger et

al., 2003; Atzberger et al., 2010; Cho, Skidmore, and Sobhan, 2009; Hansen and Schjoerring, 2003) อย่างไรก็ตามยังไม่มียานวิจัยใดทดสอบการถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนที่มีความหลากหลายสายพันธุ์

นอกจากประเด็นของการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบแล้ว การจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนมีความสำคัญต่อการศึกษาโครงสร้างและการเปลี่ยนแปลงของป่าชายเลนซึ่งเป็นข้อมูลหนึ่งที่มีความสำคัญในการนำไปเป็นข้อมูลในการวางแผนการจัดการและอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน วิธีการระบุหรือจำแนกพันธุ์ไม้ของป่าชายเลนซึ่งมีพื้นที่กว้างสามารถทำได้โดยการออกภาคสนามสำรวจนั้นกระทำได้ยุ่งยาก ต้องใช้เวลาและงบประมาณสูง การสำรวจระยะไกลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงและความหลากหลายของป่าชายเลน โดยที่ให้ความสำคัญกับความละเอียด รวดเร็ว และความถูกต้องของข้อมูลดังกล่าว (Kairo et al., 2002; Heumann, 2011) จากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยพบว่าการสำรวจระยะไกลแบบหลายช่วงคลื่นประกอบด้วยเทคนิคแบบธรรมดาเป็นข้อมูลที่สำคัญในการตรวจสอบพื้นที่ปกคลุมและการเปลี่ยนแปลงของป่าชายเลน (e.g., Ramsey and Jensen, 1996; Gao, 1998; Green et al., 1998; Sulong et al., 2002; Zharikov et al., 2005; Dahdouh-Guebas et al., 2006; Everitt et al., 2007; Conchedda, Durieux, and Mayaux 2008) อย่างไรก็ตามข้อมูลและเทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบเก่าไม่เพียงพอในการศึกษาระบบนิเวศน์และความหลากหลายของป่าชายเลน เนื่องจากขาดความละเอียดเชิงพื้นที่ และ จำนวนช่วงคลื่นไม่เพียงพอ (Ramsey and Jensen, 1996; Gao, 1999; Sulong et al., 2002; Demuro and Chisholm, 2003; Held et al., 2003; Wang, Sousa, and Gong, 2004; Wang, Sousa, Gong, et al., 2004; Neukermans et al., 2008) ดังนั้นจึงมีความต้องการตัวรับรู้ (Sensor) สมัยใหม่ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ และมีจำนวนช่วงคลื่นที่มากขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาป่าชายเลนที่ละเอียดมากขึ้น (Gao, 1999; Sulong et al., 2002; Wang, Sousa, Gong, et al., 2004; Vaiphasa et al., 2005; Neukermans et al., 2008; Xin, Liangpei, and Le 2009)

การสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลเป็นหนึ่งในตัวรับรู้สมัยใหม่ที่มีจำนวนช่วงคลื่นตั้งแต่ช่วงคลื่นที่มองเห็น (Visible) อินฟราเรดใกล้ (Near-Infrared) อินฟราเรดกลาง (Middle Infrared) และช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal Infrared) ต่อเนื่องกันนับร้อยช่วงคลื่น (Chang, 2007) จากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยพบว่าเคยมีงานวิจัยที่ใช้การสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลในการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน (Demuro and Chisholm, 2003;



Held et al., 2003; Hirano et al., 2003; Vaiphasa et al., 2005; Vaiphasa, Skidmore, et al., 2007; D'ORIO et al., 2007; Wang and Sousa, 2009) แต่เป็นที่น่าเสียดายที่ไม่มีงานวิจัยใด ยืนยันความสามารถในการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนด้วยการใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลแบบ ไฮเปอร์สเปกตรัลที่ได้จากดาวเทียม ซึ่งที่ผ่านมามีงานวิจัยที่สามารถจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนใน ระดับห้องปฏิบัติการ (Vaiphasa et al., 2005; Vaiphasa, Skidmore, et al., 2007; Wang and Sousa, 2009) และระดับอากาศยาน ( Hirano et al. 2003; Held et al. 2003) มีเพียง Demuro และ Chrisholm (2003) ที่ใช้ภาพถ่ายไฮเปอร์สเปกตรัลที่ได้จากดาวเทียมในการทำการศึกษาการ จำแนกป่าชายเลนที่ระดับพันธุ์ไม้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวในพื้นที่ศึกษามีพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ไม่ใช่เขตร้อน (non-tropical mangroves ) เพียง 2 ชนิดเท่านั้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นทำการศึกษาคือ ทำการศึกษาการ จำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนและ ประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน บริเวณแหลมตะดุมพุก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งมีความหลากหลายทางสายพันธุ์ของป่าชายเลน และมี ค่าความหนาแน่นของเรือนยอดสูง โดยในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบนั้นจะใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลจากภาพถ่ายดาวเทียม EO-1 Hyperion เปรียบเทียบกับ ค่าประมาณที่ได้จากการสำรวจระยะไกลแบบหลายช่วงคลื่นที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม EO-1 Advance Land Image (ALI) โดยจะทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากเทคนิคในการประมาณค่า ดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียว (Univariate Regression) การ วิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน (Partial Least Square Regression) ในส่วน ของการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนด้วยข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัลที่ได้จากดาวเทียมนั้น โดยค่า ความถูกต้องการจำแนกที่ได้จากการคัดเลือกช่วงคลื่น (Bands Selection) แบบขั้นตอนวิธีเชิง พันธุกรรมและ Sequential Forward Selection จะถูกนำมาทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่ม ตัวอย่างด้วย T-Test

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เปรียบเทียบการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนระหว่าง การสำรวจระยะไกลแบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral Remote Sensing) กับการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล (Hyperspectral Remote Sensing)

### 1.2.2 จำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนด้วยการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล โดยอาศัยการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสม

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยนี้แบ่งขอบเขตการศึกษาเป็นสองส่วน คือ การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน และการจำแนกป่าชายเลนในระดับสายพันธุ์ ป่าชายเลนบริเวณ แหยม ตะลุมนุ๊ก อ. ปากพนัง จ. นครศรีธรรมราช ซึ่งทั้งสองส่วนเป็นการศึกษาที่แยกจากกันอย่างชัดเจน ทั้งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและวันเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยรายละเอียดของขอบเขตในแต่ละส่วนมีดังนี้

### 1.3.1 การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

จะทำการเปรียบเทียบผลการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม EO-1 Hyperion และ EO-1 ALI ซึ่งเทคนิคการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะประกอบด้วย การวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียวและการวิเคราะห์การถดถอยแบบหลายตัวแปรแบบวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน แต่ละเทคนิคจะถูกเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม EO-1 Hyperion และ EO-1 ALI ด้วยตัวแปรทางสถิติ ( $R^2$  และ RMSE)

### 1.3.2 การจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน

ในงานวิจัยส่วนนี้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม EO-1 Hyperion การจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนด้วยวิธีการจำแนกแบบ Spectral Angle Mapper โดยก่อนการจำแนกจะผ่านกระบวนการเลือกลักษณะเด่น (Feature Selection) เพื่อหาช่วงคลื่นที่เหมาะสมด้วยวิธีการ Sequential Forward Selection และวิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) โดยค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy: OA) จากวิธีการทั้งสองจะถูกทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean Comparison) โดยการเปรียบเทียบการกำหนดพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอยู่นอกเหนือขอบเขตของงานวิจัยนี้

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงเทคนิคและวิธีการที่เหมาะสมในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนที่มีความหนาแน่นของเรือนยอดสูง
- 1.4.2 ทราบถึงความสามารถในการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลร่วมกับเทคนิคการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสม
- 1.4.3 เป็นข้อมูลสำหรับนักวิชาการ นักวิจัยและนักจัดการทรัพยากรป่าชายเลนในการตัดสินใจเลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและเทคนิค วิธีการที่เหมาะสม หรือนำความรู้ที่ได้ไปทำการวิจัยต่อยอด

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ค่าดัชนีพืชพรรณ

##### 2.1.1 ค่าดัชนีสัดส่วนธรรมดา (Simple Ratio, SR)

ค่าดัชนีสัดส่วนธรรมดาเป็นดัชนีพืชพรรณที่ได้รับความนิยมใช้กันแพร่หลายในการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณของค่ามวลชีวภาพและค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ เนื่องจากในการคำนวณไม่ต้องการข้อมูลอย่างอื่นประกอบในการใช้งาน เช่นข้อมูลชุดดิน และข้อมูลในการปรับแก้ค่าต่างๆ เป็นต้น ทำให้ไม่ต้องเสียเวลาในเก็บข้อมูลเพิ่ม ค่าดัชนีสัดส่วนธรรมดาได้ใช้ประโยชน์จากความสัมพันธ์แบบผกผันของการดูดกลืนในช่วงคลื่นสีแดงของคลอโรฟิลล์ และมีการสะท้อนที่มากขึ้นในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ของเรือนยอดของพืชที่มีสุขภาพดี (Cohen, 1991) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.1) ค่าที่ได้จากสมการจะมีตั้งแต่ 0 จนถึงค่าอนันต์

$$SR = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{Red}} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $\rho_{NIR}$  คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Band)

$\rho_{Red}$  คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดง (Red Band)

##### 2.1.2 ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ เป็นค่าดัชนีพืชพรรณอีกค่าหนึ่ง ที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง (Jensen, 2007) เพราะสามารถใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของพืชในช่วงเวลาระหว่างฤดูกาลและในช่วงแต่ละปีได้ ใช้ปริมาณค่ามวลชีวภาพและค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบในสังคมพืชได้ดี และในการใช้งานไม่ต้องการข้อมูลอย่างอื่นประกอบ เช่น ข้อมูลชุดดินและข้อมูลปรับแก้ค่าต่างๆ ซึ่งทำให้ไม่ต้องเสียเวลาในเก็บข้อมูลเพิ่ม ในการคำนวณจะใช้ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มาคำนวณเหมือนกับค่าดัชนีสัดส่วนธรรมดา

เพียงแต่มีการตัดแปลงสมการขึ้นมาใหม่ ดังสมการที่ (2.2) ค่าของค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ที่ได้จากการคำนวณจะเป็นจำนวนจริงที่สามารถมีค่าได้ตั้งแต่  $-1.0$  ถึง  $+1.0$

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \quad (2.2)$$

### 2.1.3 ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์แบบช่วงคลื่นแคบ (Narrow-Bands NDVI) และค่าดัชนีสัดส่วนธรรมชาติแบบช่วงคลื่นแคบ (Narrow-Bands SR)

โดยปกติแล้วดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์และค่าดัชนีสัดส่วนธรรมชาติจะใช้ช่วงคลื่นสีแดงและอินฟราเรดใกล้ในการคำนวณ แต่การคำนวณในแบบช่วงคลื่นแคบนั้นจะเป็นการเลือกเอาช่วงคลื่นใด ๆ ก็ตามของตัวรับรู้มาแทนช่วงคลื่นสีแดงและอินฟราเรดใกล้ในสมการคำนวณแบบเดิม โดยในการเลือกช่วงคลื่นนั้นจะทำการสลับทุกช่วงคลื่นที่เป็นไปได้แทนลงในสมการโดยจะเลือกช่วงคลื่นที่ให้ค่า  $R^2$  สูงสุดในการประมาณค่าตัวแปรทางชีววิทยา

$$NDVI_{Narrow} = \frac{\rho_{\lambda_1} - \rho_{\lambda_2}}{\rho_{\lambda_1} + \rho_{\lambda_2}} \quad (2.3)$$

$$SR_{Narrow} = \frac{\rho_{\lambda_1}}{\rho_{\lambda_2}} \quad (2.4)$$

โดยที่  $\rho_{\lambda_1}$  และ  $\rho_{\lambda_2}$  คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่ 1 และช่วงคลื่นที่ 2 ตามลำดับ

## 2.2 ค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำ

ค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำ คือ ผลรวมของพื้นที่ผิวน้ำของใบไม้ทั้งหมดด้านใดด้านหนึ่งเพียงด้านเดียว ต่อหน่วยพื้นที่ป่า (Jensen, 2007) โดยทั่วไปวิธีการวัดค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำมี 2 วิธีคือ

1) วิธีทางตรง จะใช้การตัดต้นไม้ออกมาจากพื้นที่แล้วนำใบไม้ที่ได้มาวัดหาพื้นที่จากนั้นทำการหารด้วยพื้นที่ศึกษา

2) วิธีการทางอ้อม จะเป็นการนำเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ มาใช้ประมาณค่า เช่น ใช้เลนส์ตาปลา (Fish Eye Len) ที่มีมุมกว้าง 180 องศา ติดกับกล้องถ่ายภาพแล้วถ่ายภาพเรือนยอดปกคลุมจากบนพื้นดิน (ชลิตา ศรีรัตดา, 2548) แล้วทำการแปรภาพคำนวณเป็นสัดส่วนเรือนยอดปกคลุมต่อพื้นที่ด้วยโปรแกรมทางด้านการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล หรือใช้เครื่องมือในการประมาณค่าแบบอิเล็กทรอนิกส์ เช่น LAI-2000 วางไว้ใต้เรือนยอด เครื่องมือนี้จะทำการวัดแสงที่ส่องผ่านช่องว่างของเรือนยอดผ่านลงมายังเครื่องวัดเพื่อทำการคำนวณ อย่างไรก็ตามเครื่องมือประเภทนี้มีข้อเสียคือไม่สามารถแยกแยะต้นไม้ที่ตายแล้วจากต้นไม้ที่มีชีวิตอยู่ได้ (Kovac et al., 2004)

อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ข้อมูลการออกภาคสนามค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากงานวิจัยของ ธันวาท ศักจาทัทษ์วงศ์ (2552) ซึ่งใช้วิธีคำนวณพื้นที่ผิวใบจากการคำนวณพื้นที่ผิวใบโดยประมาณโดยที่ไม่มีการตัดต้นไม้ ดังสมการที่ (5)

$$LAI = \frac{\sum_{i=1}^n LA_i}{Area} \quad (2.5)$$

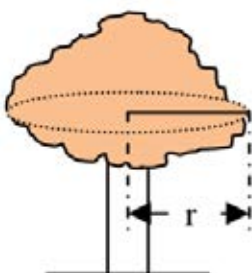
$$LA_i = \pi r^2 \quad (2.6)$$

เมื่อ  $\sum_{i=1}^n LA_i$  คือ ผลรวมค่าพื้นที่ผิวใบของต้นไม้ทุกต้นในแปลงตัวอย่าง

$n$  คือ จำนวนต้นทั้งหมด (นับเฉพาะต้นที่สูงกว่า 2.5 เมตร)

$r$  คือ รัศมีของเรือนยอดของต้นไม้โดยทำการวัดจากด้านที่ยาวที่สุดจากลำต้นจนถึงวงขอบเรือนยอดดังภาพที่ 2.1

Area คือ พื้นที่ของแปลงตัวอย่าง (ในงานวิจัยนี้มีขนาด 30 x 30 ตารางเมตร)



ภาพที่ 2.1 แสดงการวัดค่ารัศมีของเรือนยอดต้นไม้

วิธีการดังกล่าวอาจไม่ได้แสดงถึงค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่แท้จริง ดังนั้นค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จึงไม่สามารถใช้อ้างอิงเป็นค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของพื้นที่ศึกษาได้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยของ ธันวา สัจจาพิทักษ์วงศ์ (2552) และงานวิจัยนี้ ต้องการเพียงศึกษาแนวโน้มความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ผิวใบกับข้อมูลและเทคนิคที่ได้จากการสำรวจระยะไกลแบบต่างๆ ของป่าชายเลนที่มีความหลากหลายสายพันธุ์และมีความหนาแน่นของเรือนยอดซึ่งเป็นสาเหตุการเกิดปัญหาสัญญาณอิมิตัว เพื่อหาเทคนิควิธีการที่เหมาะสมต่อไป

## 2.3 คุณลักษณะของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษา

### 2.3.1 ภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion

ภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion เป็นข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัลชนิดหนึ่งที่ทำการบินที่ข้อมูลและจัดเก็บเป็นช่วงคลื่นที่แคบๆ ต่อเนื่องติดต่อกัน (Narrow Bands) ภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion เป็นข้อมูลที่ได้จากกล้องถ่ายภาพ Hyperion ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม EO-1 ของประเทศสหรัฐอเมริกา นิยมเรียกชื่อว่าภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion ทำการบินที่ข้อมูลที่ความกว้างช่วงคลื่น 10 nm ใน 1 ช่วงคลื่น ต่อเนื่องติดต่อกันไปตั้งแต่ 356 -2578 นาโนเมตร ครอบคลุมข้อมูลในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น,อินฟราเรดใกล้ และอินฟราเรดคลื่นสั้นจำนวนทั้งหมด 242 ช่วงคลื่น (ไม่สามารถใช้งานได้ทั้งหมดทั้ง 242 ช่วงคลื่น) ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.2 มีการโคจรกลับมาถ่ายซ้ำที่เดิม (Revisit) ทุกๆ 16 วัน ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะบางประการของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion (ที่มา EO-1, USGS, 2010)

Spectral bands	242 bands (356-2575 nm)
Bandwidth	10 nm
Repeat cycle	16 days
Pixel size	30 m
Land Area per Image	7.7 x 42 หรือ 7.7 x 185 ตารางกิโลเมตร
Satellite	EO-1

ตารางที่ 2.2 แสดงรายละเอียดช่วงคลื่นของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion (ที่มา EO-1, USGS, 2010)

	Band No.	ความยาวคลื่น (nm)	สถานะ
Visible-NIR	1-7	356-417	ไม่มีสัญญาณ
	8-55	426-895	มีสัญญาณ
	56-57	913-926	มีสัญญาณ (overlaps กับ SWIR 77-78)
	58-70	936-1058	ไม่มีสัญญาณ
	71-76	852-902	ไม่มีสัญญาณ
Shortwave infrared	77-78	912-923	มีสัญญาณ ( overlaps กับ VNIR 56-57)
	79-224	933-2396	มีสัญญาณ
	225-242	2406-2578	ไม่มีสัญญาณ



### 2.3.2 ภาพถ่ายดาวเทียมระบบ ALI

ภาพถ่ายดาวเทียมระบบ ALI เป็นภาพถ่ายดาวเทียมแบบหลายช่วงคลื่น ชนิดหนึ่งที่ได้จากกล้องถ่ายภาพ ALI ที่ติดตั้งบนดาวเทียม EO-1 และทำการบันทึกสัญญาณจำนวน 10 ช่วงคลื่น ที่ไม่ต่อเนื่องกัน ดังตารางที่ 2.4 โดยที่เวลาและสถานที่ในการถ่ายภาพตรงกันกับกล้องถ่ายภาพ Hyperion เนื่องจากอยู่บนดาวเทียมดวงเดียวกัน โดยมีค่าศูนย์กลางของความยาวช่วงคลื่น (Spectral Center Wavelengths, CWL) ในแต่ละช่วงคลื่นเมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.3 แสดงลักษณะบางประการของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ ALI (ที่มา EO-1, USGS, 2010)

Spectral bands	10 bands
Repeat cycle	16 days
Land Area per Image	37 x 42 หรือ 37x185 ตารางกิโลเมตร
Satellite	EO-1

ตารางที่ 2.4 แสดงคุณลักษณะบางประการของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ ALI (ที่มา EO-1, USGS, 2010)

Band	Wavelength (nm)	Spatial Resolution(m)
MS-1	433- 453	30 x 30
MS-1'	450- 510	30 x 30
MS-2	525- 625	30 x 30
MS-3	630- 690	30 x 30
MS-4	775- 805	30 x 30
MS-4'	845- 890	30 x 30
MS-5	1200- 1300	30 x 30
MS-5'	1550- 1750	30 x 30
MS-7	2080- 2350	30 x 30
Panchromatic	480- 690	10 x 10

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าศูนย์กลางของความยาวช่วงคลื่น (CWL) ในแต่ละ Band ของ ALI เปรียบเทียบกับ Band ของ Hyperion (ที่มา EO-1, USGS, 2010)

ALI Band No.	CWL (nm)	Hyperion Band No.	CWL (nm)	Range
MS-1'	441.6	10	447.17	VNIR
MS-1	484.8	14	487.87	VNIR
MS-2	567.2	22	569.27	VNIR
MS-3	660	31	660.85	VNIR
MS-4	790	44	793.13	VNIR
MS-4'	865.6	51	864.35	VNIR
MS-5	1244.4	110	1245.36	SWIR
MS-5'	1640.1	149	1638.81	SWIR
MS-7	2225.7	207	2224.03	SWIR

## 2.4 การสุ่มแบบแบ่งชั้น (Stratified Random Sampling)

เป็นการสุ่มตัวอย่างประชากรแบบแบ่งกลุ่มประชากรออกเป็นกลุ่มย่อย (Subgroup or Strata) บนพื้นฐานของตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตาม การแบ่งประชากรเป็นพวกหรือชั้น โดยยึดหลักในการจัดแบ่งกลุ่มแต่ละกลุ่มให้มีความเป็นเอกพันธ์ (Homogeneous) มากที่สุดหรืออาจกล่าวได้ว่า ในกลุ่มเดียวกันจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันตามกลุ่มย่อยของตัวแปร แต่จะแตกต่างกันระหว่างชั้นมากที่สุด จากนั้นจึงทำการสุ่มจากแต่ละชั้นขึ้นมาทำการศึกษา โดยใช้สัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างประชากรที่สุ่มขึ้นมาเท่ากัน หรือไม่เท่ากันก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม

## 2.5 การวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน

การวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน เป็นวิธีการหนึ่งในการวิเคราะห์การถดถอยแบบหลายตัวแปร (Multivariate Regression) นิยมใช้เพื่อลดตัวแปรอิสระ (Independent Variables) ที่มีจำนวนหลายตัวที่มีสภาพเกิดสหสัมพันธ์ (Correlation) กันเองระหว่างตัวแปรอิสระในระดับค่อนข้างสูง (multi-collinear) ให้กลายเป็นตัวแปรแฝง (Latent

Variables) บางที่เรียกองค์ประกอบ หรือ ปัจจัย (Components or Factors) ซึ่งมีความสัมพันธ์การตั้งฉาก (Orthogonal) และมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม (Dependent Variables) มากที่สุด ปัจจุบันการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในสาขาการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อการคำนวณทางเคมี (Chemometrics or computational chemistry) (Geladi and Kowalski; 1986)

การวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน มีความคล้ายกับการวิเคราะห์การถดถอยองค์ประกอบหลัก โดยต่างกันตรงที่การวิเคราะห์การถดถอยองค์ประกอบหลักจะใช้เพียงตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบหลักเท่านั้น ส่วนการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนจะมีการใช้ทั้งตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาตัวแปรใหม่ที่มีค่าความแปรปรวนร่วมสูงสุดกับตัวแปรตาม (Li et al. 2008)

โดยในการวิเคราะห์ทั้งหมดในที่นี้ถือว่าข้อมูลทั้งตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีการทำกระบวนการก่อนการประมวลผล (Preprocessing) โดยข้อมูลอยู่ในรูปค่าเฉลี่ยกึ่งกลาง (Mean Center)

$$x_{ij\_m\_center} = x_{ij} - \bar{x}_i \quad (2.7)$$

เมื่อ  $i$  คือ ดัชนีที่แสดงถึงตำแหน่งของแถวในเมตริกซ์

$j$  คือ ดัชนีที่แสดงถึงตำแหน่งของคอลัมน์ในเมตริกซ์

$x$  คือ ค่าของตัวแปรต้น (ในงานวิจัยนี้คือค่าการสะท้อนแต่ละช่วงคลื่น)

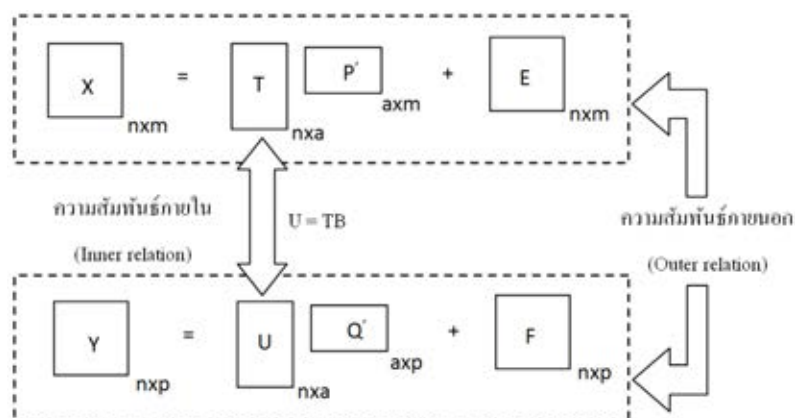
### 2.5.1 การวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนด้วยขั้นตอนวิธี NIPALS

การวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนเป็นการทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุกับตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นโดยตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นมีความสัมพันธ์ภายใน (Inner relation) กับตัวแปรอิสระผ่านทางเมตริกซ์คะแนนของตัวแปรอิสระ ในการทำการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนจะมีลักษณะที่คล้ายกับการทำการวิเคราะห์การถดถอยองค์ประกอบหลัก โดยแตกต่างกันตรงที่การวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนนั้นนำค่าตัวแปรตามมาทำการหาองค์ประกอบด้วย โดยตัวแปรอิสระและตัวแปรตามสามารถเขียนอยู่ในรูปของเมตริกซ์คะแนนและเมตริกซ์ถ่วงน้ำหนักได้ดังนี้

$$X = TP^T + E \quad (2.8)$$

$$Y = UQ^T + F = TBQ^T + F \quad (2.9)$$

โดยที่  $X$  และ  $Y$  คือเมตริกซ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ตามลำดับซึ่งตัวแปรอิสระสามารถเขียนอยู่ในรูปของ เมตริกซ์คะแนน  $T$  เมตริกซ์ถ่วงน้ำหนัก  $P$  และ เมตริกซ์ค่าความผิดพลาด (Error Matrix)  $E$  เช่นเดียวกัน กับตัวแปรตาม ( $Y$ ) จะได้เมตริกซ์คะแนน  $U$  เมตริกซ์ถ่วงน้ำหนัก  $Q$  และเมตริกซ์ค่าความผิดพลาด  $F$  ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์การวิเคราะห์ด้วยการถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน (ดัดแปลงจาก Li et al. 2008)

จากภาพที่ 2.2

$a$  คือ จำนวนองค์ประกอบ

$n$  คือ จำนวนค่าสังเกต

$m$  คือ จำนวนตัวแปรอิสระ

$t_a$  คือ เวกเตอร์คะแนนของตัวแปรอิสระมีมิติเท่ากับ  $n \times 1$

$T$  คือ เมตริกซ์คะแนนของตัวแปรอิสระมีมิติเท่ากับ  $n \times a$

$p_a^T$  คือ เวกเตอร์ถ่วงน้ำหนักของตัวแปรอิสระมีมิติเท่ากับ  $1 \times m$

$P$  คือ เมตริกซ์ถ่วงน้ำหนักของตัวแปรอิสระมีมิติเท่ากับ  $a \times m$

$X$  คือ เมตริกซ์ตัวแปรอิสระมีมิติเท่ากับ  $n \times m$

จากภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์ภายในและเวกเตอร์คะแนนของตัวแปรตามสามารถเขียนอยู่ในรูป

$$u_h = b_h t_h \quad (2.10)$$

$$b_h = \frac{u_h^T t_h}{t_h^T t_h} \quad (2.11)$$

โดยการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนในงานวิจัยนี้จะใช้แบบขั้นตอนวิธี NIPALS ซึ่งมีหลักการคือ การหาเวกเตอร์  $X$  เริ่มต้นจากนั้นจะทำการลบออกจากค่า  $E$  โดยจะทำซ้ำจนครบจำนวนองค์ประกอบหลักที่กำหนดโดยผู้ใช้ รายละเอียดของขั้นตอนดังกล่าวมีดังนี้

เริ่มต้นโดยให้

$$E_0 = X, \quad F_0 = Y \quad (2.12)$$

$$E_h = E_{h-1} - t_h p_h^T \quad (2.13)$$

$$F_h = F_{h-1} - b_h t_h q_h^T \quad (2.14)$$

จากนั้นจะเป็นกระบวนการทำซ้ำ โดยมีขั้นตอนดังนี้

- (1) สุ่มค่า  $u_{start}$  จาก  $Y$  ( $u_{start} = y_j$ )
  - (2)  $w^T = \frac{u^T E_h}{u^T u}$
  - (3)  $w_{new}^T = \frac{w_{old}^T}{\|w_{old}^T\|}$  (normalization)
  - (4)  $t = \frac{E_h w}{w^T w}$
  - (5)  $q^T = \frac{t^T F_h}{t^T t}$
  - (6)  $q_{new}^T = \frac{q_{old}^T}{\|q_{old}^T\|}$  (normalization)
  - (7)  $u = \frac{F_h q}{q^T q}$
  - (8) ตรวจสอบเงื่อนไขการลู่เข้า โดยเปรียบเทียบค่า  $t$  ในขั้นตอนที่ 4 กับ  $t$  ในรอบก่อนหน้าถ้าเท่ากันหรือแตกต่างกันไม่เกินค่าที่กำหนดให้ทำขั้นตอนที่ 9 ไม่เช่นนั้นให้ซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2
- หมายเหตุ** ถ้าตัวแปรตามมีแค่ตัวแปรเดียวจาก 5-7 ไม่จำเป็นต้องทำซ้ำ
- (9)  $p^T = \frac{t^T E_h}{t^T t}$

$$(10) \quad p_{new}^T = \frac{p_{old}^T}{\|p_{old}^T\|}$$

$$(11) \quad t_{new} = \frac{t_{old}}{\|t_{old}\|}$$

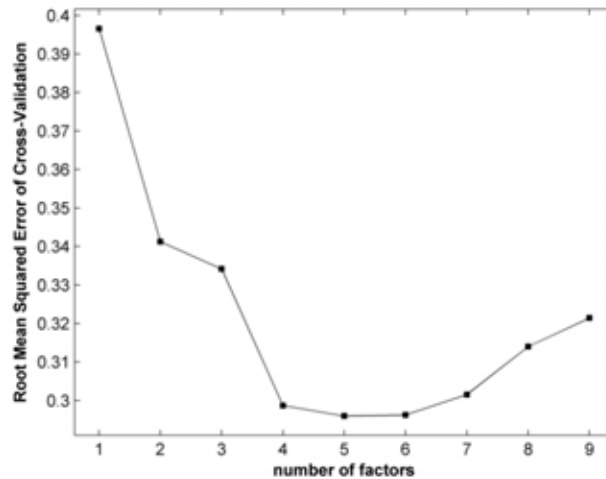
$$(12) \quad w_{new}^T = \frac{w_{old}^T}{\|p_{old}^T\|}$$

$$(13) \quad b = \frac{u^T t}{t^T t}$$

ในการเลือกจำนวนองค์ประกอบหลักนั้นนิยมใช้วิธีการ Leave-One-Out Cross Validation เพื่อหาจำนวนองค์ประกอบหลักที่เหมาะสมซึ่งให้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error) ของการ Cross-Validation (Root Mean Square Error of Cross-Validation: RMSECV) มีค่าน้อยที่สุด (Geladi and Kowalski, 1986) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.15) โดยส่วนใหญ่ข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็นสองชุด คือ ชุดข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) และ ชุดข้อมูลในการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) โดยข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองจะถูกนำมาทำกระบวนการ Leave-One-Out Cross Validation โดยโปรแกรมจะทำการทดสอบค่าองค์ประกอบตั้งแต่ 1 องค์ประกอบจนถึงค่าองค์ประกอบสูงสุดที่กำหนดซึ่งแต่ละค่าองค์ประกอบจะถูกคำนวณค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของการ Cross-Validation ตัวอย่างดังภาพที่ 2.3 โดยที่แกนตั้งคือค่าค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยในแต่ละองค์ประกอบ (แกนนอน) จากนั้นก็ทำการเลือกค่าองค์ประกอบที่มีค่า RMSECV มีค่าต่ำสุด

$$RMSECV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (2.15)$$

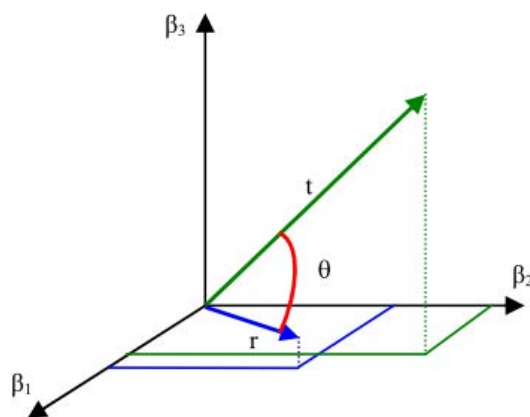
เมื่อ  $\hat{y}_i$  คือ ค่าตัวแปรตามที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างแบบจำลอง  
 $y_i$  คือค่าตัวแปรตามได้จากการทำนายของแบบจำลองตัวที่  $i$   
 $n$  คือจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการทำ Cross-Validation



ภาพที่ 2.3 แสดงการทำ Cross-validation เพื่อเลือกจำนวนองค์ประกอบ

## 2.6 Spectral Angle Mapper

เป็นวิธีการที่หนึ่งที่นิยมนำมาจำแนกสิ่งปกคลุมดิน โดยใช้การสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล โดยมีหลักการทำงานคือ ทำการเปรียบเทียบสเปกตรัมของจุดภาพที่ไม่ทราบชนิดสิ่งปกคลุมดิน กับสเปกตรัมอ้างอิง โดยค่าการสะท้อนสเปกตรัมของแต่ละจุดภาพสามารถเขียนอยู่ในรูปของเวกเตอร์จำนวน  $n$  มิติโดยที่  $n$  คือ จำนวนช่วงคลื่นที่นำมาใช้ในการจำแนก โดยค่าการสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่น คือขนาดในองค์ประกอบในแกนนั้นๆ



ภาพที่ 2.4 แสดงตัวอย่างของเวกเตอร์  $\vec{t}$  และ  $\vec{r}$  เมื่อพิจารณาช่วงคลื่น 3 ช่วงคลื่น ( $\beta_1, \beta_2$  and  $\beta_3$ )

พิจารณาภาพที่ 2.4 ซึ่ง  $\vec{t}$  คือเวกเตอร์ของจุดภาพที่ไม่ทราบชนิดสิ่งปกคลุมดิน และ  $\vec{r}$  คือ เวกเตอร์แสดงค่าการสะท้อนเฉลี่ยของชนิดสิ่งปกคลุมดินอ้างอิง ในขณะที่  $\beta_1, \beta_2$  และ  $\beta_3$  คือ ช่วงคลื่นที่นำมาใช้ในการจำแนก ส่วนมุม  $\theta$  คือ มุมระหว่างเวกเตอร์  $\vec{t}$  และ  $\vec{r}$  หากใช้คุณสมบัติการคูณเวกเตอร์ (vector dot product) จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\vec{t} \cdot \vec{r} &= |\vec{t}| |\vec{r}| \cos \theta \\ \cos \theta &= \frac{\vec{t} \cdot \vec{r}}{|\vec{t}| |\vec{r}|} \\ \theta &= \cos^{-1} \left( \frac{\vec{t} \cdot \vec{r}}{|\vec{t}| |\vec{r}|} \right)\end{aligned}\quad (2.16)$$

หากพิจารณาจำนวนมิติเท่ากับ  $n$  มิติ ซึ่งเท่ากับจำนวนช่วงคลื่น โดย  $\vec{t} \cdot \vec{r}$  จะมีค่าเท่ากับ  $\sum_{i=1}^n t_i r_i$  เนื่องจากการคูณเวกเตอร์จะมีค่าเท่ากับผลรวมของขนาดเวกเตอร์ในแกนเดียวกันมาคูณกัน ส่วน  $|\vec{t}| = \sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2}$  และ  $|\vec{r}| = \sqrt{\sum_{i=1}^n r_i^2}$  ดังนั้นจากสมการที่ 2.16 สามารถเขียนได้เป็น

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{\sum_{i=1}^n t_i r_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n r_i^2}} \right)\quad (2.17)$$

โดยในการจำแนกจะทำการเปรียบเทียบค่ามุมของสเปกตรัม ( $\theta$ ) เมื่อเวกเตอร์ของจุดภาพไม่ทราบชนิดสิ่งปกคลุมดินเทียบกับแต่ละเวกเตอร์อ้างอิง ค่ามุมของสเปกตรัมที่เทียบกับเวกเตอร์อ้างอิงใดที่มีค่าน้อยที่สุด จุดภาพดังกล่าวจะเป็นสมาชิกของกลุ่มชนิดเวกเตอร์อ้างอิงนั้น

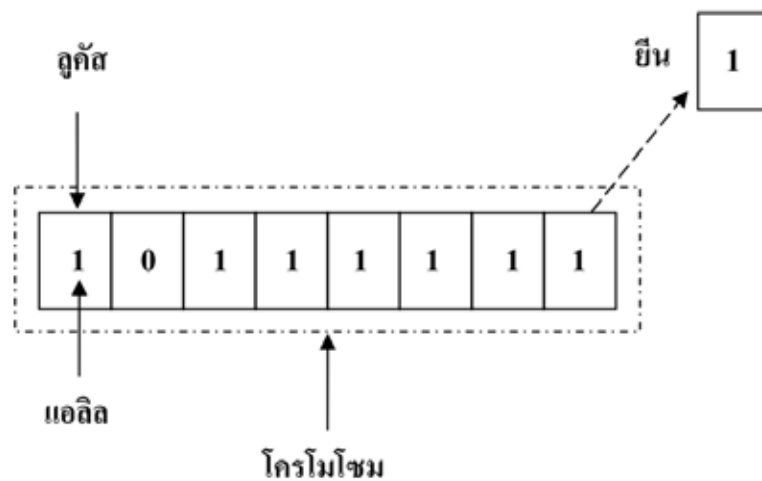
## 2.7 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม หรือ เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) เป็นวิธีการหนึ่งในการค้นหาและแก้ปัญหาเพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solutions) ได้รับการพัฒนาโดยการจำลองวิธีการมาจากกระบวนการทางพันธุกรรม (Holland, 1975) สำหรับหลักการ



ของวิธีการนี้คือ สิ่งมีชีวิตทั้งหลายมีทั้งส่วนที่ดีและส่วนที่ไม่ดี ซึ่งลักษณะที่ดีต่อการดำรงชีวิตจะได้รับการสนับสนุนให้มีการถ่ายทอดพันธุกรรมจากบรรพบุรุษสู่รุ่นลูกหลาน โดยวิธีการนี้ข้อมูลจะถูกเข้ารหัสที่เรียกว่าโครโมโซมซึ่งจะมีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจากบรรพบุรุษสู่รุ่นลูกหลาน โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) หรือฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) ที่สอดคล้องกับปัญหาเพื่อพิจารณาค่าความเหมาะสม (Fitness Value) ของโครโมโซมที่มีต่อปัญหา ในการสืบทอดสู่รุ่นลูกจะใช้ตัวดำเนินการทางพันธุกรรมมากระทำกับโครโมโซมจนได้โครโมโซมรุ่นใหม่ที่มีความเหมาะสมต่อปัญหามากขึ้น และจะทำซ้ำจนกระทั่งได้โครโมโซมที่แทนคำตอบที่ถูกต้องหรือมีความเหมาะสมที่สุดกับปัญหา

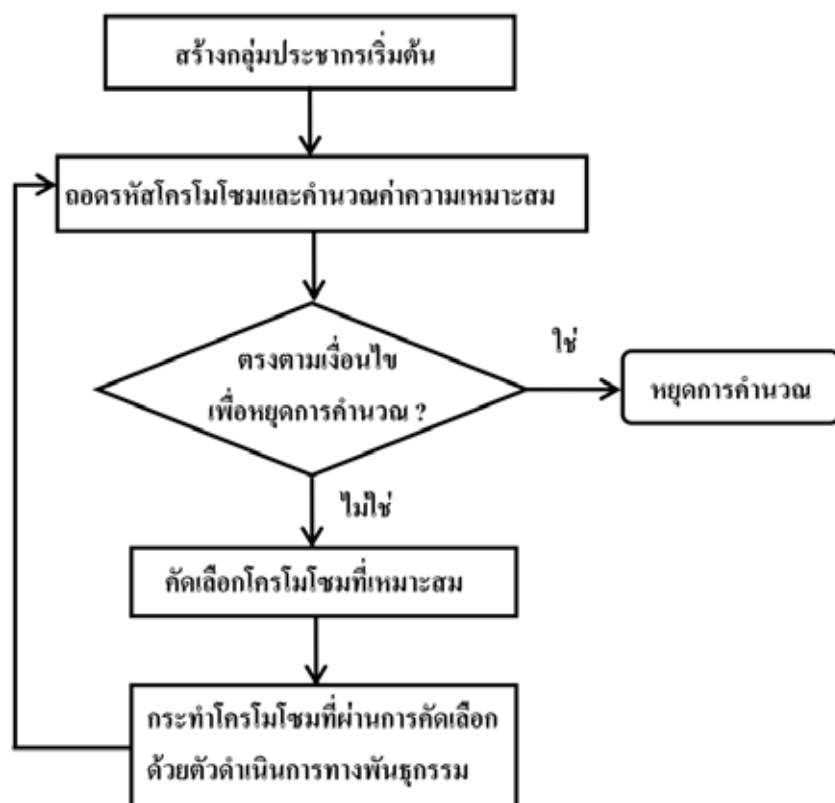
เนื่องจากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นกระบวนการที่เลียนแบบกลไกการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ดังนั้นจะเกี่ยวข้องกับคำศัพท์เฉพาะทางชีววิทยาเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนี้ กระบวนการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะเริ่มต้นด้วยการสุ่มเซตผลเฉลยที่เกิดจากการเข้ารหัสโดยใช้สายของตัวอักษร (String) ซึ่งเทียบได้กับโครโมโซม ซึ่งโครโมโซมเหล่านี้จะประกอบด้วยส่วนประกอบย่อยคือ ตัวอักษร (Character) แทน ยีน (Gene) โดยบริเวณที่อยู่ของยีนบนโครโมโซม คือ ลูคัส (Locus) และสถานะของยีนที่อยู่บนโครโมโซมเรียกว่าแอลลีล (Allele) ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แสดงลักษณะของโครโมโซม

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย (Goldberg, 1989) แสดงดังผังงาน(Flow Chart) ในภาพที่ 2.6 ซึ่งสามารถอธิบายเป็นขั้นตอนดังนี้

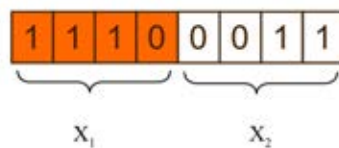
1. สร้างกลุ่มของโครโมโซมเริ่มต้นโดยการสุ่ม ตามจำนวนของขนาดประชากร (Population Size) ซึ่งผู้ใช้เป็นผู้กำหนด
2. ถอดรหัสโครโมโซมทุกโครโมโซมเพื่อให้ได้ตัวแปรจริงของปัญหา
3. นำตัวแปรจริงของปัญหาที่ได้มาคำนวณค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมจากฟังก์ชันความเหมาะสมที่กำหนด
4. สร้างประชากรรุ่นใหม่จากประชากรรุ่นเก่าด้วยวิธีการคัดเลือก (Selection) โดยพิจารณาจากค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม
5. นำประชากรที่ผ่านการคัดเลือกมากระทำด้วยตัวดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic Operators) อันได้แก่ การไขว้เปลี่ยน (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นต้น
6. ทำตามขั้นตอนที่ 2 ถึง 5 จนกระทั่งเข้าสู่ค่าตอบของปัญหาหรือเท่ากับจำนวนรอบที่กำหนดไว้ ซึ่งจำนวนรอบของขั้นตอนที่ 2 ถึง 5 เรียกว่าหนึ่งรุ่นของการคำนวณ (Generations)



ภาพที่ 2.6 ผังงานแสดงขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

### 2.7.1 การเข้ารหัสโครโมโซม

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นการคำนวณในปริภูมิของตัวแปรที่เกิดจากการเข้ารหัสตัวแปรเพื่อใช้แทนคำตอบของปัญหา โดยทั่วไปรูปแบบของรหัสมักจะอยู่ในรูปแบบเลขฐานสอง ซึ่งโครโมโซมที่ใช้แทนคำตอบของปัญหาแต่ละปัญหาประกอบไปด้วยเซตของยีน 0 หรือ 1 ส่วนความยาวของโครโมโซมส่วนใหญ่จะถูกกำหนดตามความต้องการซึ่งมักจะขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา โดยตัวอย่างของโครโมโซมที่เป็นเลขฐานสองแสดงดังภาพที่ 2.7 ซึ่งจากรูปสามารถถอดรหัสตัวแปรได้เป็น  $X_1 = 14$  และ  $X_2 = 3$



ภาพที่ 2.7 โครโมโซมยาว 8 บิต ใช้แทนคำตอบที่ประกอบไปด้วยตัวแปร  $X_1$  และ  $X_2$

อย่างไรก็ตามในบางปัญหาโดยเฉพาะทางด้านการสำรวจระยะไกลที่มีการนำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมาใช้ในการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมในกระบวนการจำแนก โครโมโซมอาจประกอบไปด้วยชื่อของช่วงคลื่นดังภาพที่ 2.8

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

ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างโครโมโซมที่ถูกเข้ารหัสเป็นชื่อของช่วงคลื่นจากภาพถ่ายดาวเทียม

โดยการถอดรหัสโครโมโซมสามารถทำได้โดยการนำค่าการสะท้อนพลังงานในแต่ละช่วงคลื่นในโครโมโซมมาคำนวณค่าความเหมาะสมด้วยฟังก์ชันความเหมาะสม ตัวอย่างเช่น B2 คือ รูปแบบการเข้ารหัสโครโมโซมซึ่งมีตัวแปรจริงที่จะนำมาคำนวณหาความเหมาะสม คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่น B2 เป็นต้น

### 2.7.2 การประเมินความเหมาะสม (Fitness Evaluation)

การประเมินความเหมาะสมแต่ละโครโมโซมสามารถทำได้โดยการถอดรหัสโครโมโซมมาเป็นค่าของตัวแปรจริงของปัญหานั้น จากนั้นแทนตัวแปรจริงที่ได้ลงในฟังก์ชันความเหมาะสม โดยฟังก์ชันความเหมาะสมขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานกำหนดขึ้นให้สอดคล้องกับปัญหา เช่น การคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการจำแนกสิ่งปกคลุมดินนั้นอาจใช้ค่าความถูกต้องโดยรวมในการจำแนกเป็นค่าความเหมาะสม (Fitness Value) ดังนั้นเมื่อเราทำการถอดรหัสโครโมโซมจาก

ภาพที่ 2.8 โดยนำค่าการสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นของข้อมูลในการสอน (Training Data) มาใช้เป็นข้อมูลในการจำแนก จากนั้นทำการคำนวณค่าความถูกต้องโดยรวมของการจำแนกของข้อมูลในการสอน โดยหากรูปแบบการรวมตัวกันของช่วงคลื่นในโครโมโซมนั้นมีค่าความถูกต้องโดยรวมมากก็จะถือว่ามีความเหมาะสมมากและในทางกลับกันหากความถูกต้องโดยรวมออกมามีค่าน้อยก็จะถือว่ามีความเหมาะสมน้อย นั่นเอง

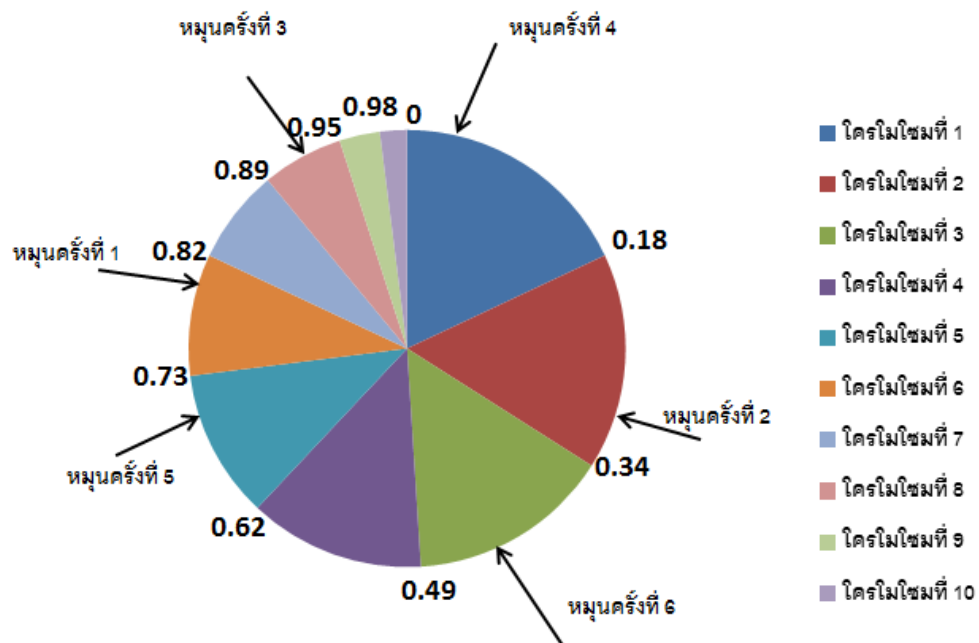
### 2.7.3 การคัดเลือก (ดัดแปลงจาก Pohlheim, 2012)

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะสนับสนุนให้โครโมโซมที่เหมาะสมให้สามารถสืบทอดไปยังรุ่นต่อไปโดยใช้กระบวนการคัดเลือก โครโมโซมใดที่มีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีควมน่าจะเป็นในการถูกเลือกมากกว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อย เทคนิคที่นิยมใช้ได้แก่ การคัดเลือกชนิดวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel Selection) เทคนิคนี้มีลักษณะที่เปรียบเทียบกับวงล้อรูเล็ตที่มีพื้นที่แต่ละช่องไม่เท่ากัน โดยพื้นที่ของช่องสอดคล้องกับค่าความเหมาะสมที่เป็นเปอร์เซ็นต์ของแต่ละโครโมโซม ทำให้โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากมีโอกาสที่จะถูกเลือกมาก โดยโอกาสที่จะถูกเลือกของโครโมโซมแต่ละตัวหาได้จากอัตราส่วนของค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัวกับค่าความเหมาะสมรวมของโครโมโซมทุกตัว ตัวอย่างเช่น มีโครโมโซมเท่ากับ 10 ตัว แต่ละตัวมีค่าความเหมาะสมและความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกดังตารางที่ 2.6 โดยความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกของแต่ละโครโมโซมสามารถคำนวณได้จาก นำค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมหารด้วยค่าความเหมาะสมรวมของทุกโครโมโซม

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าความเหมาะสมและความน่าจะเป็นในการถูกเลือกของโครโมโซม

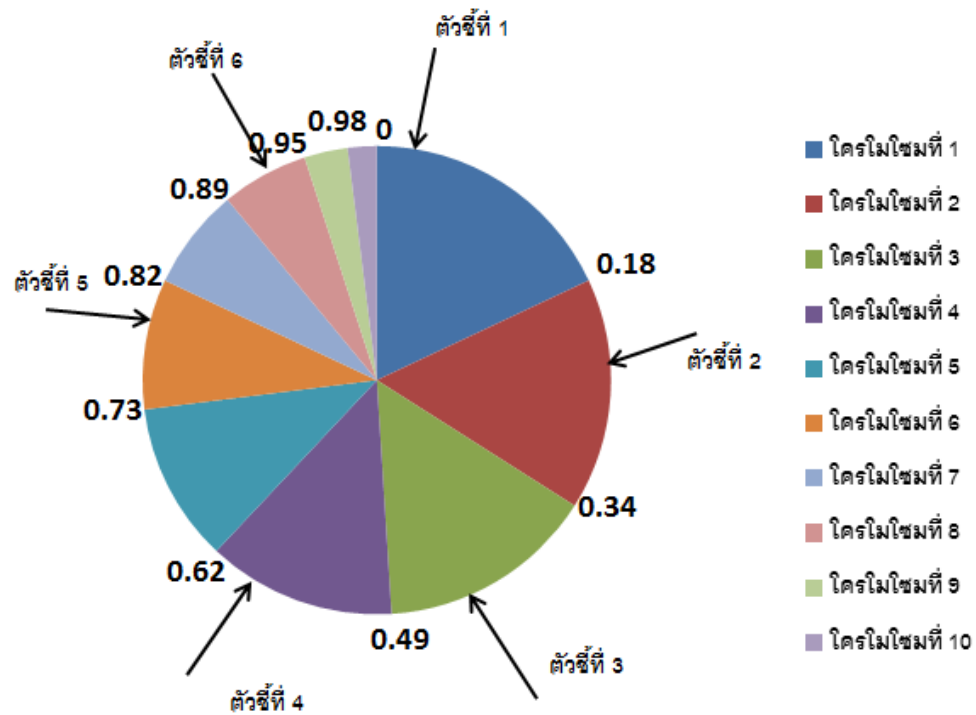
โครโมโซมตัวที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าความเหมาะสม	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2
ความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือก	0.18	0.16	0.15	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.03	0.02

จากนั้นทำการสุ่มจุดเริ่มต้นการหมุน เช่น เริ่มหมุนจากโครโมโซมตัวที่ 1 ทำการสุ่มค่าจาก 0 ถึง 1 เท่ากับจำนวนที่ต้องการ เช่น ต้องการหมุน 6 ครั้งก็จะได้ค่ามา 6 ค่าเช่น 0.80, 0.31, 0.94, 0.04, 0.69, 0.45 ก็จะได้โครโมโซมที่ถูกเลือกคือ โครโมโซมตัวที่ 1, 2, 3, 5, 6, 9 ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 แสดงการคัดเลือกโดยใช้วงล้อรูเล็ต

การคัดเลือกอีกวิธีการที่ได้รับความนิยมและถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ Stochastic Universal Sampling เป็นวิธีการที่ไม่มีความลำเอียง (Bias) และมีการกระจายต่ำ (minimum spread) (Zalzala and Fleming, 1997; Mitchell, 1998) เริ่มต้นวิธีการคัดเลือกจะคล้ายกับวิธีการวงล้อรูเล็ตคือทำการคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือกของแต่ละโครโมโซม โดยความน่าจะเป็นของทุกโครโมโซมทุกตัวรวมกันจะเท่ากับ 1 โดยสามารถสร้างเป็นรูปวงล้อเหมือนภาพที่ 2.9 แตกต่างกันในวิธีการแบบ Stochastic Universal Sampling จะมีตัวชี้ (Pointer) ที่มีระยะห่างระหว่างตัวชี้เท่าๆ กัน โดยระยะห่างแต่ละตัวชี้จะสามารถคำนวณได้จาก  $1/NPointer$  เมื่อ  $NPointer$  คือ จำนวนตัวชี้หรือจำนวนโครโมโซมที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น ต้องการคัดเลือกโครโมโซมจำนวน 6 โครโมโซม ช่องว่างระหว่างตัวชี้จะมีค่าเท่ากับ  $1/6$  ซึ่งมีค่าประมาณ 0.167 จากนั้นทำการสุ่มตำแหน่งของตัวชี้แรกที่มีค่าอยู่ระหว่าง  $[0, 0.167]$  เช่น 0.1 ดังนั้นจะได้ตำแหน่งตัวชี้ทั้ง 6 ตำแหน่งดังนี้ 0.1, 0.267, 0.434, 0.601, 0.768 และ 0.935 ตามลำดับ ซึ่งมีโครโมโซมที่ถูกเลือกคือ โครโมโซมที่ 1, 2, 3, 4, 6, 8 ตามลำดับดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 แสดงการคัดเลือกโดยใช้ Stochastic Universal Sampling

#### 2.7.4 การไขว้เปลี่ยน

การไขว้เปลี่ยนโครโมโซมทางพันธุศาสตร์ จะเกิดขึ้นจากการผสมพันธุ์โดยโครโมโซมพ่อจับตัวกับโครโมโซมแม่เพื่อรวมโครโมโซม แล้วไขว้เปลี่ยนโครโมโซมกันทำให้เกิดโครโมโซมลูกขึ้นมาใหม่ซึ่งขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนำหลักการนี้มาใช้ในการสร้างคำตอบใหม่ที่ต้องการ โดยสุ่มคู่โครโมโซมที่ได้รับการคัดเลือกจากกระบวนการคัดเลือก ซึ่งโครโมโซมคู่นี้เรียกว่าโครโมโซมพ่อแม่ จากนั้นจะมีการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ ซึ่งจะได้เป็นโครโมโซมลูก และใช้กระบวนการเดียวกันนี้กับโครโมโซมที่เหลือจนได้จำนวนโครโมโซมครบตามจำนวนประชากรเดิม โดยทั่วไปการไขว้เปลี่ยนจะไม่จำเป็นที่จะเกิดกับทุกคู่โครโมโซม ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความเป็นไปได้หรือเปอร์เซ็นต์ในการเกิดการไขว้เปลี่ยน (Crossover Probability) ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมใช้ค่าอยู่ระหว่าง 70 – 90 เปอร์เซ็นต์โดยหากไม่เกิดการไขว้เปลี่ยนจะทำให้โครโมโซมลูกที่ได้จะมีลักษณะเหมือนกับโครโมโซมพ่อแม่ทุกประการ ในส่วนของวิธีการไขว้เปลี่ยนมีหลากหลายวิธีการแต่ในงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีการไขว้เปลี่ยนแบบกระจาย (Scattered) โดยขั้นแรกจะมีการสุ่มค่าเลขฐานสอง (0 กับ 1) จำนวนเท่ากับขนาดของโครโมโซม โดยที่โครโมโซมลูกที่ได้จะเป็นการนำค่าจากโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ตัวที่ 1 หากค่าที่สุ่มประจำบิดเป็น 1

และได้จากโครโมโซมตัวพ่อแม่ตัวที่ 2 หากค่าประจำบิตมีค่าเป็น 0 ตัวอย่างการไขว้เปลี่ยนแสดงดังภาพที่ 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	โครโมโซมลูก

ภาพที่ 2.11 แสดงการไขว้เปลี่ยนแบบกระจาย

### 2.7.5 การกลายพันธุ์

การกลายพันธุ์เป็นตัวดำเนินการหนึ่งที่ใช้สร้างโครโมโซมใหม่จากโครโมโซมเดิมตัวหนึ่ง ซึ่งจะส่งผลให้โครโมโซมตัวใหม่ถูกเปลี่ยนแปลงค่าของยีนไปบางยีน ดังภาพที่ 2.11 บริเวณที่เกิดการกลายพันธุ์ คือ ตำแหน่งยีนที่ 4 ของโครโมโซม โอกาสของการกลายพันธุ์จะถูกกำหนดโดยความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (Mutation Probability) ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ที่ 0 – 0.1 คือ 0 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ การกลายพันธุ์ถึงแม้จะมีโอกาสในการเกิดน้อยเมื่อเทียบกับการไขว้เปลี่ยนแต่ก็เป็นตัวดำเนินการหนึ่งที่สามารถสร้างโครโมโซมที่มีความเหมาะสมกว่าประชากรรุ่นพ่อแม่ได้

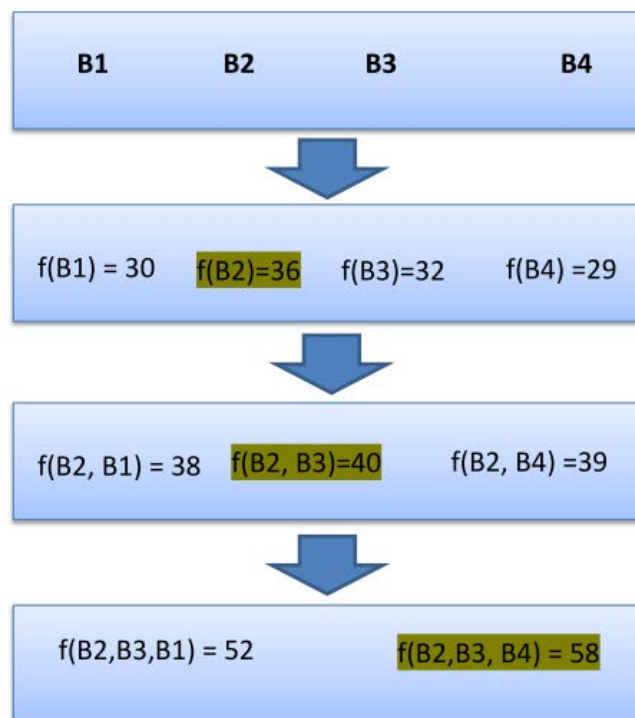
B2	B43	B56	B79	B89	B106	B152	B220	ก่อนกลายพันธุ์
B2	B43	B56	B79	B100	B106	B152	B220	หลังกลายพันธุ์

ภาพที่ 2.12 แสดงการกลายพันธุ์

## 2.8 Sequential Forward Selection (SFS)

การคัดเลือกลักษณะเด่นแบบ Sequential Forward Selection ถูกเลือกนำมาใช้ในการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมเพื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคัดเลือกแบบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยวิธีการ Sequential Forward Selection จะทำการเริ่มต้นจากเซตว่าง (ในที่นี้คือเซตของช่วงคลื่น) จากนั้นจะทำการเพิ่มช่วงคลื่นที่ให้ค่าจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective Function) มากที่สุด โดยจะมีการทำซ้ำจนกว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าค่าจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์เปลี่ยนแปลงน้อยกว่าค่าที่กำหนด โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ Bhattacharyya distance (Somol and Pudil, 2002)

จากภาพที่ 2.13 เป็นตัวอย่างการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยวิธีการ SFS โดยมีช่วงคลื่น 4 ช่วงคลื่น (B1-B4) โดย  $f$  คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีค่ามากแสดงถึงความเหมาะสมมากโดยกระบวนการคัดเลือกจะทำตามลำดับจนครบจำนวน Feature ที่ผู้ใช้กำหนดหรืออาจจะเท่ากับจำนวนมากที่สุดที่เป็นไปได้ โดยตัวเลขที่ทำการไฮไลต์ คือ ช่วงคลื่นที่มีฟังก์ชันที่ให้ค่าความเหมาะสมสูงสุดในแต่ละรอบ



ภาพที่ 2.13 แสดงตัวอย่างการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย SFS



## 2.9 การตรวจสอบผลการจำแนก (Classification Accuracy Assessment)

ในงานวิจัยนี้ใช้การตรวจสอบผลจากการจำแนกป่าชายเลนด้วยวิธี เมตริกซ์ความคลาดเคลื่อน (Error Matrices or Confusion Matrices) (Congalton and Green, 2008) โดยนำผลการจำแนก (Classification data) เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงที่ได้จากภาคสนาม (Reference data) แสดงเป็นตารางความผิดพลาดโดยมีค่าอ้างอิงอยู่ในแนวตั้ง และผลจากการจำแนกที่จุดภาพเดียวกันนั้นอยู่ในแนวนอน ดังตารางที่ 2.7 โดยค่าที่อยู่ในแนวทแยงของเมตริกซ์จะแสดงถึงจำนวนจุดภาพที่จำแนกได้อย่างถูกต้องในแต่ละชั้นข้อมูลประเภทสิ่งปกคลุมดิน ส่วนค่าที่ไม่ได้อยู่ในแนวทแยงเรียกว่าความคลาดเคลื่อนที่ละไว้ (Error of Omission)

ตารางที่ 2.7 แสดงเมตริกซ์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ได้จากการจำแนกและข้อมูลอ้างอิง

	1	2	3	$k$	$n_{i+}$
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  $i$  โดยข้อมูลอ้างอิงเป็นชั้นข้อมูลที่  $j$

$n_{ii}$  แทนจำนวนจุดภาพที่ถูกจำแนกตรงกับข้อมูลอ้างอิงที่  $i$

$n_{i+}$  แทนจำนวนจุดภาพที่ถูกจำแนกเป็นชั้นข้อมูลที่  $i$  ทั้งหมด

$n_{+j}$  แทนจำนวนจุดภาพทั้งหมดของข้อมูลอ้างอิงในชนิดชั้นข้อมูลที่  $j$

$n$  แทนจำนวนจุดภาพทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณ

โดยการตรวจสอบผลการจำแนกที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้สามารถแบ่งออกเป็น

### 2.9.1 ค่าความถูกต้องโดยรวม

เป็นค่าที่แสดงถึงความถูกต้องโดยรวมในทุกชั้นข้อมูลของการจำแนก สามารถคำนวณได้จากผลรวมของจำนวนจุดภาพที่สามารถจำแนกได้ถูกต้องหารด้วยจำนวนจุดภาพทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณ ดังสมการที่ 2.18

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n} \times 100 \quad (2.18)$$

### 2.9.2 ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's Accuracy)

แสดงถึงความน่าจะเป็นของข้อมูลบนพื้นดิน (ข้อมูลอ้างอิง) จะถูกจำแนกเป็นชั้นข้อมูลนั้นๆ โดยในการคำนวณความถูกต้องแยกออกเป็นแต่ละชั้นข้อมูล ซึ่งสามารถคำนวณได้จากจำนวนจุดภาพที่สามารถจำแนกได้ถูกต้องในชั้นข้อมูลอ้างอิงนั้นๆ หารด้วยจำนวนจุดภาพของข้อมูลอ้างอิงในชั้นนั้น

$$\text{Producer's Accuracy} = \frac{n_{ii}}{n_{+j}} \times 100 \quad (2.19)$$

### 2.9.3 ค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (User's Accuracy)

แสดงถึงความน่าจะเป็นของแต่ละจุดภาพที่จะถูกจำแนก ได้ถูกต้องตรงกับข้อมูลอ้างอิง การคำนวณความถูกต้องถูกพิจารณาเป็นแต่ละชั้นข้อมูล โดยสามารถคำนวณได้จากจำนวนจุดภาพที่สามารถจำแนกได้ถูกต้องในชั้นข้อมูลอ้างอิงนั้นๆ หารด้วยจำนวนจุดภาพทั้งหมดที่จำแนกได้ในชั้นนั้น

$$\text{User's Accuracy} = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \times 100 \quad (2.20)$$

#### 2.9.4 ค่าสัมประสิทธิ์ kappa

ค่าความถูกต้องโดยรวมนั้นได้คำนวณจากจำนวนจุดภาพที่จำแนกได้อย่างถูกต้องนั้นไม่ได้นำค่าความคลาดเคลื่อนที่ละไว้มาคำนวณ ค่าสัมประสิทธิ์ kappa เป็นค่าที่แสดงถึงความถูกต้องในการจำแนกหนึ่งที่ได้รับคามนิยมนำมาใช้อีกค่าหนึ่ง โดย kappa ใช้เป็นตัวชี้วัดในการยอมรับผลระหว่างค่าที่ได้จากการทำนาย (ผลจากการจำแนก) กับค่าจริง (ข้อมูลอ้างอิง) หรือเป็นการตรวจสอบว่าผลการจำแนกที่ใช้ เมตริกซ์ความคลาดเคลื่อนนั้นเป็นตัวแทนที่มีนัยสำคัญหรือดีกว่าผลที่ได้จากการสุ่มมากน้อยแค่ไหน โดยค่า Kappa สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.21) โดยค่าที่ได้จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1

$$K = \frac{\left| n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+j} \right|}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+j}} \quad (2.21)$$

## บทที่ 3

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1 งานวิจัยที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับตัวแปรทางชีววิทยาของพืช

3.1.1 Green et al., (1997) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์จากภาพถ่ายดาวเทียมระบบ SPOT XS กับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบในป่าชายเลนที่หมู่เกาะ Turk and Caicos, British West Indies. ซึ่งมีพันธุ์ไม้ชายเลนอยู่ 3 ชนิด คือ *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* และ *Avicennia germinans* โดยใช้แบบจำลองความสัมพันธ์เชิงเส้นในการศึกษาความสัมพันธ์ ทำการเก็บข้อมูลจากแปลงตัวอย่างจำนวน 29 แปลง พบว่าค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษามีค่าตั้งแต่ 0.8 - 7.0 และค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์กับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นและได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) = 0.74 และได้ทำแผนที่เพื่อใช้ประมาณค่า LAI ในพื้นที่ศึกษาโดยเปรียบเทียบค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่วัดได้จากในพื้นที่ป่าชายเลนกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการประมาณค่า พบว่าแผนที่มีความถูกต้องสูงถึง 88 % ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

3.1.2 Hurcom and Harrison (1998) พบว่าการใช้ค่าดัชนีพืชพรรณหาความสัมพันธ์กับตัวแปรทางชีววิทยาไม่ประสบความสำเร็จ เพราะไม่สามารถนำมาใช้ศึกษาสังคมพืชที่เรือนยอดหนาแน่นได้ เนื่องจากเกิดปัญหาจุดอิมตัวของสัญญาณโดยได้ทดลองใช้เครื่อง Spectroradiometer ( bandwidth 2-5 nm ) กับป่ากึ่งแห้งแล้ง (semi-arid) ในพื้นที่ศึกษาประเทศสเปน (มีพันธุ์ไม้ 2 ชนิด) และพื้นที่ศึกษาประเทศโปรตุเกส (มีพันธุ์ไม้ 5 ชนิด) แล้วพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์กับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ มีความสัมพันธ์กันต่ำ โดยสรุปผลการทดลองว่าเป็นเพราะระดับชั้นเรือนยอดที่มีหลายระดับมีผลต่อเรือนยอดปกคลุมของป่า และพืชขึ้นอยู่ค่อนข้างใกล้ชิดกัน

3.1.3 Kovac et al., (2004) นำภาพถ่ายดาวเทียมระบบ IKONOS มาใช้ประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ ในป่าชายเลนเสื่อมโทรมที่ประเทศเม็กซิโก ซึ่งมีพันธุ์ไม้ชายเลนขึ้นอยู่ 2 ชนิด *Rhizophora mangle* และ *Laguncularia racemosa* โดยทำการสำรวจข้อมูลภาคสนามจำนวน 124 แปลงแบ่งเป็นข้อมูลใช้สำหรับการสอน 56 แปลง ข้อมูลทดสอบ 68 แปลง โดยแต่ละแปลงแยกเป็นขนาดกว้าง 8 และ 15 เมตร หาความสัมพันธ์ของค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์

แมลไลซ์ และ ดัชนีสัดส่วนธรรมชาติ กับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบโดยกรณีแปลงขนาด 8 เมตรให้ค่า  $R^2$  เป็น 0.72 และ 0.73 ตามลำดับส่วนกรณีแปลงขนาด 15 เมตรให้ค่า  $R^2$  เป็น 0.70 และ 0.73 ตามลำดับโดยการทดสอบ F-test ปรากฏว่าผลที่ได้จากดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ และ ดัชนีสัดส่วนธรรมชาติไม่มีความแตกต่างกันทั้งสองขนาดแปลงตัวอย่าง

3.1.4 Kovac et al., (2009) ได้ทำการศึกษาการหาค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนในประเทศเม็กซิโก โดยทำการสำรวจข้อมูลภาคสนามจำนวน 225 แปลงกระจายทั่วพื้นที่ป่าชายเลนชนิด *avicennia germinans* โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่าง ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ และดัชนีพืชพรรณสัดส่วนธรรมชาติที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม QuickBird ซึ่งได้ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.63 และ 0.68 ตามลำดับ

### 3.2 งานวิจัยเปรียบเทียบระหว่างการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยข้อมูลแบบหลายช่วงคลื่นกับข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัล

3.2.1 Lee et al., (2004) ศึกษาเปรียบเทียบการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบระหว่างเทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลกับการสำรวจระยะไกลแบบหลายช่วงคลื่นโดยใช้ AVIRIS กับ Landsat ETM+ กับ row-crop agriculture, tall grass prairie, mixed hardwood-conifer forest และ boreal conifer โดยใช้ ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ในการประมาณค่า นอกจากนี้ยังใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกอล (Canonical Correlation Analysis) กับข้อมูลที่ทำกรเลือกช่วงคลื่นจาก AVIRIS จากเทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์การถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ จำนวน 23 ช่วงคลื่น, และจำนวน 7 ช่วงคลื่นแรกจาก 23 ช่วงคลื่น, 10 ช่วงคลื่นจากการทำการวิเคราะห์หองค์ประกอบหลัก การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกอลกับ Landsat ETM+ และข้อมูลจำลอง Landsat ETM+, MODIS จากข้อมูล AVIRIS โดยผลการศึกษารูปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการเลือกช่วงคลื่น 23 ช่วงคลื่นสามารถประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบได้ดีที่สุดและข้อมูล ETM+ จริงๆ ให้ผลดีกว่า ETM+ ที่ได้จากการจำลองช่วงคลื่นจาก AVIRIS และการใช้ ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบไม่ประสบผลสำเร็จ

3.2.2 Schlerf et al., (2005) เปรียบเทียบตัวแปรทางชีววิทยาของป่าสนที่สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ระหว่างข้อมูลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลและข้อมูลแบบหลายช่วงคลื่นโดยใช้ภาพถ่าย HyMap และทำการทำการสุ่มภาพใหม่เป็นช่วงคลื่นของ Landsat TM โดยข้อมูลแบบหลายช่วงคลื่นจะใช้ดัชนีพืชพรรณ Simple Ratio (SR) , Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Perpendicular Vegetation Index (PVI), Transform Soil-Adjusted Vegetation Index (TSAVI), Mid-infrared Vegetation Index (MVI), Greenness Vegetation Index (GVI) ข้อมูลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลจะใช้ดัชนีพืชพรรณช่วงคลื่นแคบ (Narrow Bands) แบบ RVI, PVI และ Red Edge Inflection Point (REIP) โดยนำค่าดัชนีต่างๆ มาวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงกับจำนวนข้อมูล 40 แปลงตัวอย่างโดยทำการ Leave One Out Cross-Validation มีการสรุปผลการศึกษาว่าการทำการวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงของข้อมูลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลสามารถประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบและ ค่า crown volume ได้ดีกว่าข้อมูลแบบหลายช่วงคลื่น ในขณะที่ข้อมูลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลดัชนีพืชพรรณที่มีการใช้ข้อมูลความชันของเส้นดินสามารถให้ค่าการประมาณที่ดีกว่ากรณี SR และ NDVI

3.2.3 Thenkabail , Smith and Pauw (2000) ได้ทดลองใช้ข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัลโดยใช้ Spectroradiometer จำนวน 490 ช่วงคลื่น ระหว่าง 350 – 1050 นาโนเมตร เปรียบเทียบภาพถ่ายดาวเทียมระบบ LANDSAT 5 TM ศึกษาพืชผลผลิตการเกษตร 5 ชนิด คือ มันฝรั่ง ถั่วเหลือง ข้าวโพด ฝ้าย และทานตะวัน โดยทำการทดสอบตัวทำนายสามชนิดคือ Optimum Multiple Narrow Band Reflectance (OMNBR) ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ และ ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (soil-adjusted vegetation indices) โดยกรณี OMNBR ซึ่งใช้ stepwise regression นั้นเกิดการ over-fitting เนื่องจากจำนวนช่วงคลื่นที่ใช้มีมากเมื่อเทียบกับจำนวนค่าสังเกต ในส่วนของ ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ และ ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ได้ทำการหาช่วงคลื่นที่เหมาะสมโดยจับคู่ช่วงคลื่นทุกแบบที่เป็นไปได้ระหว่าง 350 – 1050 นาโนเมตร ที่ให้  $R^2$  มีค่าสูงสุด โดยจากการทดลองพบว่าความสัมพันธ์ของค่าดัชนีพืชพรรณกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบและค่ามวลชีวภาพที่ได้จากช่วงคลื่นแคบ (Narrow band) สูงกว่าความสัมพันธ์ที่ได้ช่วงคลื่นกว้าง (Broad band) ในพืชทั้ง 5 ชนิด

### 3.3 งานวิจัยที่ใช้เทคนิคต่าง ๆ กับข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัลเพื่อทำการปรับปรุงการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

3.3.1 Atzberger et al. (2003) ศึกษาการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบและปริมาณคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll Content) โดยใช้ Spectroradiometer วัดค่าการสะท้อนในระดับผิวใบของข้าวสาลีฤดูหนาว (Winter Wheat) ที่ความสูง 1.5 เมตรจากพื้นดิน จากนั้นทำการซักรหัสตัวอย่างซ้ำ (resampling) ให้มีค่าศูนย์กลางความถี่เหมือนกับ Hymap โดยเทคนิคที่ใช้ในการประมาณประกอบด้วยการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน (PLSR) การวิเคราะห์การถดถอยองค์ประกอบหลัก (PCR) และการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน (SMLR) โดยมีการสรุปว่าการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนสามารถประมาณได้ดีที่สุดตามมาด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน

3.3.2 Cho et al., (2007) ทำการศึกษาการใช้งานเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนเปรียบเทียบกับประมาณโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบตัวแปรเดียว (Univariate linear regression) ซึ่งใช้ ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างนอร์มัลไลซ์ (NDVI) และตำแหน่งขอบแดง (REP) ในการทำการประมาณค่ามวลชีวภาพของทุ่งหญ้า/สมุนไพร (grass/herb) โดยใช้ภาพถ่ายจาก Hymap ในการวิเคราะห์จะแบ่งข้อมูลมวลชีวภาพที่ได้จากการสำรวจภาคสนามเป็น 2 ชุด คือ ชุดข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (Calibration data set) จำนวน 30 ค่า และชุดข้อมูลในการทดสอบแบบจำลอง (Test data set) จำนวน 12 ค่า ผลการทดลองจากการวิเคราะห์การถดถอยจากค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างนอร์มัลไลซ์ซึ่งคำนวณจากช่วงคลื่น 740 และ 771 นาโนเมตร ให้ค่า SEP (standard error of prediction) เท่ากับ  $264 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  ซึ่งมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับผลการทดลองจากการวิเคราะห์การถดถอยจากค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างนอร์มัลไลซ์ทั่วไปซึ่งใช้ช่วงความยาวคลื่น 665 และ 801 นาโนเมตรซึ่งได้ค่า SEP เท่ากับ  $331 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  ในขณะที่การประมาณค่ามวลชีวภาพโดยการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนให้ค่า SEP อยู่ในช่วง 149 ถึง  $256 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  ซึ่งมีค่าต่ำกว่ากรณีใช้ ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างนอร์มัลไลซ์ และตำแหน่งขอบแดง จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนเป็นทางเลือกที่ดีกว่าการใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบตัวแปรเดียว

3.3.3 Davishzadeh et al., (2008) ได้ทำการศึกษาดัชนีพื้นที่ผิวใบ Leaf chlorophyll content (LCC) และ Canopy Chlorophyll content (CCC) ของทุ่งหญ้าที่มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous) ของ Mediterranean โดยใช้ GER 3700 spectroradiometer ในการศึกษาใช้ NDVI, SAVI2, red edge inflection point (REIP), การวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยสุด stepwise (Stepwise Least Square Regression) และการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน (Partial Least Square Regression) โดยจากการทดลองสรุปว่า การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ และ Canopy Chlorophyll content โดยใช้ดัชนีพืชพรรณสามารถประมาณค่าได้ดี ยกเว้นกรณี Leaf chlorophyll content ไม่มีวิธีไหนสามารถประมาณค่าได้ และเมื่อพิจารณาการวิเคราะห์ที่ใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression) สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพในการประมาณค่าต่างๆ ได้ดีขึ้น โดยเฉพาะวิธีการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยสุดแบ่งส่วน

3.3.4 Jensen and Binford (2004) ใช้ดาวเทียม Landsat TM ทำการหาค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ โดยทำการเปรียบเทียบกรณีที่ใช้ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ดัชนีพืชพรรณสัดส่วนธรรมชาติและ ดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณ (Greenness Vegetation Index: GVI) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression: MLR) และ โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANNs) โดยสองกรณีหลังได้ใช้ช่วงคลื่นที่ 1-5 และ 7 ในการสร้างแบบจำลอง ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบได้ละเอียดที่สุด

3.3.5 Li et al., (2007) ได้ทำการศึกษาป่าชายเลนที่ประเทศจีนโดยทำการทดลองเปรียบเทียบใช้ภาพถ่ายดาวเทียมระบบ LANDSAT TM กับ RADARSAT โดยทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพันธ์ผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์กับค่ามวลชีวภาพหลายแบบจำลองคือ แบบเส้นตรง แบบเอกโพเนนเชียล และ แบบโพลิโนเมียลกำลังสอง ในส่วนของ RADARSAT ได้แบ่งออกเป็นสองกรณี คือ การใช้ค่าการสะท้อนกลับมาทำการหาความสัมพันธ์ และ กรณีใช้แบบวิเคราะห์แบบจำลอง (Analytical Model) ซึ่งทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ของการสะท้อนของเรือนยอดของพืช และพื้นดินด้วยวิธีขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ผลการทดลองพบว่าค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมระบบ LANDSAT TM เกิดปัญหาจุดอิมพัลส์ของสัญญาณที่ระดับค่ามวลชีวภาพต่ำมาก โดยได้กล่าวว่า Optical Remote Sensing มีข้อเสียในการใช้ประมาณค่ามวลชีวภาพเนื่องจากมีปัญหาจุดอิมพัลส์ของสัญญาณแต่การใช้ RADARSAT ในการประมาณค่ามวลชีวภาพสามารถปรับปรุงค่า Root Mean Square Error ได้



และสรุปว่าการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมทำให้สามารถแยกการสะท้อนระหว่างการสะท้อนจากเรือนยอดของพืช และการสะท้อนของพื้นดินได้ ทำให้สามารถประมาณค่ามวลชีวภาพได้ดีขึ้น

3.3.6 Li et al., (2008) ทำการศึกษาการใช้งาน ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ร่วมกับการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน เรียกว่า GA-PLS เพื่อทำการประมาณค่า Equivalent Water Thickness (EWT) ที่ระดับใบ และเรือนยอดโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการเลือกช่วงคลื่น แล้วนำช่วงคลื่นดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน โดยข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา EWT ระดับใบนั้นจะใช้ชุดข้อมูล LOPEX ส่วนระดับเรือนยอดนั้นใช้การจำลองค่าจากแบบจำลอง PROSPECT และ SAILH และจากภาพถ่าย AVIRIS ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า GA-PLS มีความสามารถในการหาค่า EWT ทั้งในระดับใบและระดับเรือนยอด คือมีค่า RMSE ต่ำและ  $R^2$  มีค่าสูง และผลการทดลองสนับสนุนว่า GA-PLS สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ AVIRIS, Hyperion และ Hymap เพื่อทำการหาค่า EWT

3.3.7 Mutanga and Skidmore (2004) ได้ทดลองใช้ข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัลที่ได้จากเครื่อง Spectroradiometer มาศึกษาการประมาณค่ามวลชีวภาพของหญ้าที่ปลูกในเรือนกระจก พบว่า ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ที่ได้ในช่วง Red edge จากข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัลให้ความสัมพันธ์กับ ค่ามวลชีวภาพสูงกว่าค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ตามปกติ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าคลอโรฟิลล์ของพืชดูดกลืนช่วงคลื่นสีแดงกับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ไว้ในปริมาณมาก ทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ที่ได้ตามปกติมีความสัมพันธ์กับค่ามวลชีวภาพต่ำ ( $R^2 = 0.26$ ) และได้สรุปว่าที่ระดับความหนาแน่นของเรือนยอดปกคลุมสูง ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์จากในช่วง red edge จากข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัลจะให้ความถูกต้องในการประมาณค่ามวลชีวภาพมากกว่าการใช้ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ปกติ เนื่องจากค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ปกติมีข้อจำกัดคือจะเกิดปัญหาจุดอิมิตัวของสัญญาณ ทำให้ใช้ประมาณค่ามวลชีวภาพหรือค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบไม่ได้ในพื้นที่ที่มีเรือนยอดปกคลุมสูง

3.3.8 Wu et al., (2010) ได้ทดลองใช้ดาวเทียม EO-1 Hyperion โดยใช้ความยาวคลื่นช่วงขอบแดง (Red Edge) 705 และ 750 นาโนเมตรมาใช้ในการคำนวณหาค่าดัชนีพืชพรรณ ในการศึกษาใช้แปลงทดลองเท่ากับ 30 แปลงในการเก็บค่า Chlorophyll content และค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ ผลการทดลองสามารถประมาณค่าต่างๆ ได้สำเร็จ โดยค่า Root Mean Square Error (RMSE) อยู่ระหว่าง 7.20 – 10.49  $\mu\text{g cm}^{-2}$  สำหรับ Chlorophyll content และค่า RMSE

อยู่ระหว่าง  $0.55-0.77 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$  สำหรับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ นอกจากนี้ดัชนีที่ใช้ 3 ช่วงคลื่นในการคำนวณ ได้แก่ Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index /Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index (MCARI/OSAVI<sub>705</sub>) สำหรับค่า Chlorophyll content ให้ค่า RMSE ที่ต่ำกว่าคือ  $7.19 \mu\text{g cm}^{-2}$  และ MCARI<sub>2705</sub> สำหรับดัชนีพื้นที่ผิวใบเท่ากับ  $0.55 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$

### 3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางการจำแนกป่าชายเลน

3.4.1 Demuro and Chisholm (2003) ทำการศึกษาการจำแนกพื้นที่ชุ่มน้ำชายฝั่งทะเล (Coastal Wetland) บริเวณปากแม่น้ำ Minnamurra New South Wales ซึ่งประกอบไปด้วยพืช temperate mangrove saltmarsh และ casuarinas forests โดยใช้จำนวนแปลงตัวอย่างขนาด  $30\text{m} \times 30\text{m}$  จำนวน 11 แปลง ในการศึกษาใช้ภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion จำนวน 198 ช่วงคลื่นและทำการลดจำนวนมิติ (dimension) ด้วยวิธี Minimum Noise Fraction (MNF) และทำการจำแนกแบบกำกับดูแลด้วยเทคนิค Spectral Angle Mapper ให้ผลการจำแนกโดยรวมอยู่ที่ 66.39 เปอร์เซ็นต์ และค่า kappa เท่ากับ 0.61

3.4.2 Held et al., (2003) ทำการศึกษาการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล (CASI) ร่วมกับการสำรวจระยะไกลแบบเรดาร์ (AIRSAR) ผลการทดลองที่ใช้ Maximum Likelihood Classification (MLC) สำหรับ AIRSAR และ CASI เท่ากับ 57.9 และ 71.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในส่วนการทดลองที่ใช้ AIRSAR ร่วมกับ CASI นั้นใช้ MLC, Neural Network (NN) และ Hierarchical Neural Network (HNN) ให้ความถูกต้องในการจำแนก 76.5, 61.8 และ 79.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ งานวิจัยนี้สรุปว่า MLC สามารถใช้งานได้ดี และ HNN สามารถให้ความถูกต้องในการจำแนกดีกว่าแบบ NN

3.4.3 Hirano et al., (2003) ทำการศึกษาการแยกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน โดยใช้ Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) ซึ่งมีจำนวน 224 ช่วงคลื่นมีความกว้างของแต่ละช่วงคลื่น 0.01 ไมโครเมตร และมีความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ 20 เมตร โดยป่าชายเลนประกอบด้วย Black, Red และ White Mangrove และป่าไม้ที่อยู่บริเวณเกาะ (Tree Island) อื่นๆ โดยข้อมูลพันธุ์ไม้ที่ใช้ในการนำมาจำแนกใช้ฐานข้อมูล GIS ของ Center for Remote Sensing and Mapping Science (CRMS) ซึ่งเป็นแผนที่อัตราส่วน 1:40,000 โดยใช้เทคนิค Minimum Noise Fraction เพื่อทำการลดจำนวนช่วงคลื่นที่นำมาทำการจำแนก และใช้

เทคนิค Spectral Angle Mapper ในโปรแกรม ENVI ในการจำแนก ซึ่งให้ผลการจำแนกตั้งแต่ 40 – 100 % ขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ไม้

3.4.4 Vaiphasa et al., (2005) ได้ทำการศึกษาการจำแนกป่าชายเลนจำนวน 16 พันธุ์จากป่าชายเลนบริเวณอ่าวสละวี จังหวัดชุมพร ประเทศไทย โดยทำการเก็บใบไม้ของแต่ละพันธุ์ มาทำการหาค่าการสะท้อนของคลื่นในช่วงต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ Spectroradiometer จำนวน 2151 ช่วงคลื่น ตั้งแต่ 350-2500 นาโนเมตร ทำการทดสอบความแตกต่างของการสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นของแต่ละพันธุ์ไม้ป่าชายเลน ด้วย ANOVA แบบทางเดียวและทดลองการแยกออกจากกันของ สเปกตรัมระหว่างพันธุ์ไม้ด้วยระยะทาง Jeffries-Matusita (J-M Distance) โดยผลการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวน 1941 ช่วงคลื่นที่สะท้อนแตกต่างกัน และที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนช่วงคลื่น 477 ช่วงคลื่น นอกจากนี้ ระยะ J-M ที่ทำการคำนวณทุกคู่พันธุ์ไม้สามารถแยกกันได้ยกเว้นคู่ที่ประกอบด้วยตระกูล *Rhizophoraceae* (ถั่วขาว: *B. cylindrica*, พังกาหัวสุม: *B. gymnorrhiza*, ถั่วดำ: *B. parviflora*, ไปรงแดง: *C. tagal*, โกงกางใบเล็ก: *R. apiculata* และ โกงกางใบใหญ่: *R. mucronata*) ซึ่งมีสเปกตรัมที่คล้ายกัน

3.4.5 Vaiphasa et al., (2006) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการรวมเอาข้อมูล นิเวศวิทยา (Ecological Data) มาช่วยในการจำแนกป่าชายเลนระดับพันธุ์ไม้ บริเวณแหลม ตะลุมพุก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม ASTER และทำการจำแนกด้วยวิธีความคล้ายคลึงมากที่สุด (Maximum Likelihood Classification) ซึ่งให้ความถูกต้อง 76.04 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการวิเคราะห์หลังการจำแนก(Post-Classification) แบบ Bayesian Expert System โดยใช้ข้อมูล pH ให้ความถูกต้องเพิ่มขึ้นประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ เป็น 88.21 เปอร์เซ็นต์

3.4.6 Vaiphasa et al., (2007) ทำการศึกษการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) มาใช้ในการเลือกช่วงคลื่น (Bands Selection) ในกรณีที่มีมิติของข้อมูลสูง ซึ่งในงานวิจัยคือมีจำนวนช่วงคลื่น 2151 ช่วงคลื่น โดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะทำการเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการทำการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนจำนวน 16 พันธุ์ไม้ ผลจากการวิจัย ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการจำแนกป่าชายเลนระดับพันธุ์ไม้ ได้ดี อยู่ในช่วงคลื่น 513, 717, 1263, 1385, 1489 และ 1669 นาโนเมตร นอกจากนี้ช่วงคลื่นดังกล่าวยังมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติของสรีรวิทยา- เคมี (Physio-Chemical) ของพืช

3.4.7 Wang et al., (2009) ทำการศึกษาการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ประเทศ Panama บริเวณชายฝั่ง Caribbean ซึ่งมีพันธุ์ไม้เด่นคือ *Avicennia germinans*, *Languncularia racemosa* และ *Rhizophora mangle* โดยใช้ Spectroradiometer ความละเอียดสูงช่วงคลื่นระหว่าง 350 -2500 นาโนเมตร ในการวัดค่าการสะท้อนของใบในแต่ละพันธุ์ในห้องปฏิบัติการ ทำการหาช่วงคลื่นที่สามารถแยกได้ทั้ง 3 พันธุ์ไม้จากการวิเคราะห์ ANOVA และ Linear Discriminate Analysis (LDA) โดยผลการทดลองสรุปว่าความยาวคลื่นที่สามารถแยกพันธุ์ไม้ของป่าชายเลนทั้งสามออกจากกันคือ 780, 790, 800, 1480, 1530 และ 1550 นาโนเมตร

## บทที่ 4

### วิธีดำเนินการวิจัย

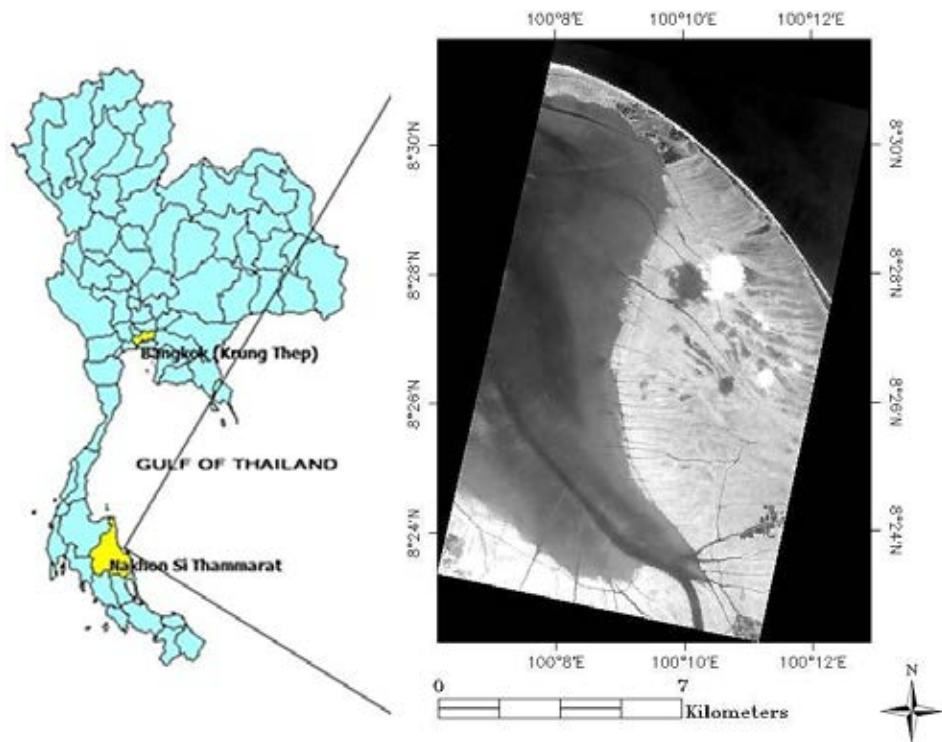
#### 4.1 พื้นที่ศึกษา

ป่าชายเลนบริเวณแหลมตะลุมพุก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช (ละติจูด  $8^{\circ} 31'$  to  $8^{\circ} 22'$  N, ลองจิจูด  $100^{\circ} 6'$  to  $100^{\circ} 12'$  E) ภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณแหลมแสดงดังภาพที่ 4.1 มีลักษณะเป็นสังคมพืชที่ขึ้นปกคลุมทั่วพื้นที่ของแหลมตะลุมพุก ทางด้านตะวันออกของแหลมเป็นชายหาดยาวตลอดแหลม ในขณะที่ด้านตะวันตกจะเป็นพื้นที่ป่าชายเลนประมาณ 56.8 ตารางกิโลเมตร ประกอบด้วยพันธุ์ไม้เด่น (Dominant species) จำนวน 5 ชนิดแสดงดังตารางที่ 4.1 ลักษณะทางธรณีสัณฐานเป็นตะกอนทับถมสะสมมาเป็นเวลานานจากแม่น้ำทางใต้ของแหลมและจากอิทธิพลของน้ำทะเลขึ้นลงทางทิศตะวันออกและทิศเหนือ อย่างไรก็ตามหลังจากมีการสร้างเขื่อนเมื่อเดือนตุลาคม 2542 ตะกอนทับถมหลักไม่ได้มีอิทธิพลมาจากแม่น้ำปากพนังอีกต่อไปเพราะจะมีการปิดเขื่อนเพื่อใช้น้ำสำหรับการเกษตรในพื้นที่ตอนบนของกลุ่มน้ำปากพนัง (Vaiphasa, Boer, et al., 2007) พื้นที่ศึกษามีสภาพภูมิอากาศแบบเขตร้อนประกอบด้วย 2 ฤดูกาลในหนึ่งปี คือฤดูร้อนในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเมษายน และในฤดูฝนจะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม (วิโรจน์ ธีรนาทร. 2543)

โดยลักษณะและรายละเอียดเพิ่มเติมของป่าชายเลนสายพันธุ์ไม้ที่อยู่ในพื้นที่ศึกษานี้สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน (2552)

ตารางที่ 4.1 แสดงชนิดพันธุ์ไม้เด่น 5 ชนิดที่พบในป่าชายเลนแหลมตะลุมพุก

ชื่อภาษาไทย	ชื่อวิทยาศาสตร์ (Scientific name)	ชื่อวงศ์ (Family)	ชื่อย่อที่ใช้ในงานวิจัย
โกงกางใบเล็ก	<i>Rhizophora apiculata</i> Bl.	RHIZOPHORACEAE	RA
โกงกางใบใหญ่	<i>Rhizophora mucronata</i> Poir.	RHIZOPHORACEAE	RM
ถั่วขาว	<i>Bruguiera parviflora</i> Bl.	RHIZOPHORACEAE	BP
แสมขาว	<i>Avicennia alba</i> Bl.	AVICENNIACEAE	AA
แสมทะเล	<i>Avicennia marina</i> (Forsk.) Vierh.	AVICENNIACEAE	AM



ภาพที่ 4.1 แสดงพื้นที่ศึกษาบริเวณแหลมตะลุมพุก อ. ปากพนัง จ. นครศรีธรรมราช (Koedsin and Vaiphasa 2013)

## 4.2 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษา

### 4.2.1 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ศึกษาการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Hyperion และ ALI ซึ่งติดตั้งอยู่บนดาวเทียม EO-1 บันทึกภาพเมื่อ 15 กรกฎาคม 2550 โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม ASTER บันทึกภาพเมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน 2547 มาทำการจำแนกชนิดสิ่งปกคลุมดิน เพื่อทำการวางแผนในการออกสำรวจภาคสนาม (ธันวา สัจจาพิทักษ์วงศ์, 2552) โดยภาพถ่ายดาวเทียมทั้งสามได้ทำการกำหนดพิกัดภูมิศาสตร์ (Geo-referencing) ระบบพื้นหลักฐานอ้างอิง World Geodetic System 1984 (WGS 1984) ระบบพิกัดแบบ Universal Transverse Mercator (UTM) Zone 47 North ก่อนการประมวลผลเพื่อประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยวิธีการต่างๆ ภาพถ่ายดาวเทียม Hyperion และ ALI จะมีการทำการปรับแก้ข้อมูลชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Correction) ด้วยโปรแกรม

ATCOR 3 ซึ่งใช้แบบจำลองการถ่ายเทรังสีของชั้นบรรยากาศ (Radiative Transfer) แบบ MODTRAN-4 โดยหลังการทำการปรับแก้แล้วภาพถ่าย Hyperion จะเหลือจำนวน ช่วงคลื่นในการประมวลผล 167 ช่วงคลื่น

#### 4.2.2 ภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ศึกษาการจำแนกป่าชายเลน

ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Hyperion บันทึกภาพเมื่อ 29 มิถุนายน 2553 โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้จำนวนช่วงคลื่น 155 ช่วงคลื่นจากจำนวนทั้งหมด 242 ช่วงคลื่น (Datt et al., 2003) จากนั้นใช้ขั้นตอนวิธีการ de-streaking เพื่อกำจัดริ้วในแนวตั้ง (Vertical striping) ของข้อมูล Hyperion การปรับแก้ข้อมูลชั้นบรรยากาศด้วยแบบจำลอง Fast Line of Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercube (FLAASH) ในโปรแกรม ENVI ซึ่งใช้พื้นฐานแบบจำลองการถ่ายเทรังสีของชั้นบรรยากาศแบบ MODTRAN-4 โดยภาพถ่ายดาวเทียมดังกล่าวได้ทำการกำหนดพิกัดภูมิศาสตร์ ระบบพิกัดอ้างอิง แบบ WGS 1984 ระบบพิกัด UTM Zone 47 North

### 4.3 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

เนื่องจากในงานวิจัยนี้แบ่งเป็นสองส่วน คือ การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ และการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน โดยในส่วนการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในงานวิจัยของ ธันวาท ศักจาทัทภักษ์วงศ์ (2552) ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงรายละเอียดในการเก็บข้อมูลภาคสนามเพื่อสำรวจพันธุ์ไม้ป่าชายเลนเท่านั้น ซึ่งมีการสำรวจภาคสนามช่วงเดือนกุมภาพันธ์ และ มีนาคม 2554 โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) ทำการถ่ายภาพค่าพิกัดจากหมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหารเลขที่ 3367 ซึ่งตั้งอยู่ในสำนักงานโครงการชลประทานที่ 15 อำเภอปากพนัง มาสู่หมุดชั่วคราวที่บ้านพักของผู้วิจัยซึ่งอยู่ใกล้กับพื้นที่ศึกษา
- 2) ใช้ข้อมูลการเลือกแปลงตัวอย่างจากงานวิจัยของ ธันวาท ศักจาทัทภักษ์วงศ์ (2552) ซึ่งเป็นข้อมูลภาพถ่าย ASTER ที่ผ่านการจำแนกด้วยวิธีจำแนกแบบไม่ควบคุม (Unsupervised Classification แบบ K-Mean) เป็นจำนวน 15 cluster ใช้วิธีการวางแผนเลือกแปลงตัวอย่างแบบการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นและใช้วิธี Line Transect ในการเลือกแปลงตัวอย่างซึ่งเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับสภาพป่าที่มี

ต้นไม้ขึ้นแน่นทึบ ( Bullock ,1999)โดยมีการวางแผนแปลงตัวอย่างครอบคลุม 15 Cluster ประมาณ 500 แปลง

- 3) ทำการออกเรือสำรวจร่วมกับเจ้าหน้าที่จากสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 44 ถึงความเป็นไปได้ในการเข้าถึงแปลงตัวอย่างโดยคัดเลือกแปลงตัวอย่างที่สามารถเข้าได้ง่ายและครอบคลุมทุก cluster ซึ่งเหลือประมาณ 100 แปลง
- 4) ใช้เรือออกสำรวจเข้าหาแปลงตัวอย่าง โดยใช้เครื่องมือรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส (ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก) โดยล่องเรือไปตามแนวคลอง และยึดค่าทิศเหนือและค่าทิศตะวันออกที่อ่านได้จากเครื่องมือรับสัญญาณจีพีเอสเป็นหลักในการเข้าหาแปลงตัวอย่าง เมื่อพบแนวทิศเหนือหรือทิศตะวันออกของค่าพิกัดแปลงตัวอย่างแล้วทำการหยุดเรือ แล้วใช้เข็มทิศในตัวเครื่องมือรับสัญญาณจีพีเอส ถึงทิศทางที่จะเข้าสู่แปลงตัวอย่าง ใช้เชือกในล่อนยาว 30 เมตร วัดระยะทางจากขอบแม่น้ำ(เริ่มวัดเมื่อห่างจากขอบพอประมาณ)สู่ตำแหน่งจุดกึ่งกลางแปลงตัวอย่าง
- 5) เมื่อพบตำแหน่งจุดกึ่งกลางแปลงตัวอย่างแล้ว ทำการวางแผนขนาด 30 X 30 ตารางเมตร นับจำนวนแยกเป็นแต่ละสายพันธุ์ของต้นไม้ทุกต้นในแปลงที่มีความสูงมากกว่า 2.5 เมตร
- 6) บันทึกค่าจุดกึ่งกลางแปลงตัวอย่างโดยมีการปรับแก้ความถูกต้องโดยใช้หลักการ DGPS (Differential GPS) ซึ่งใช้เครื่องมือรับสัญญาณจีพีเอส แบบพกพา จำนวน 2 เครื่อง เรียกว่า Pseudorange-based Difference GPS ซึ่งวิธีนี้ให้ความถูกต้องทางตำแหน่งไม่เกิน 5 เมตร (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2552)

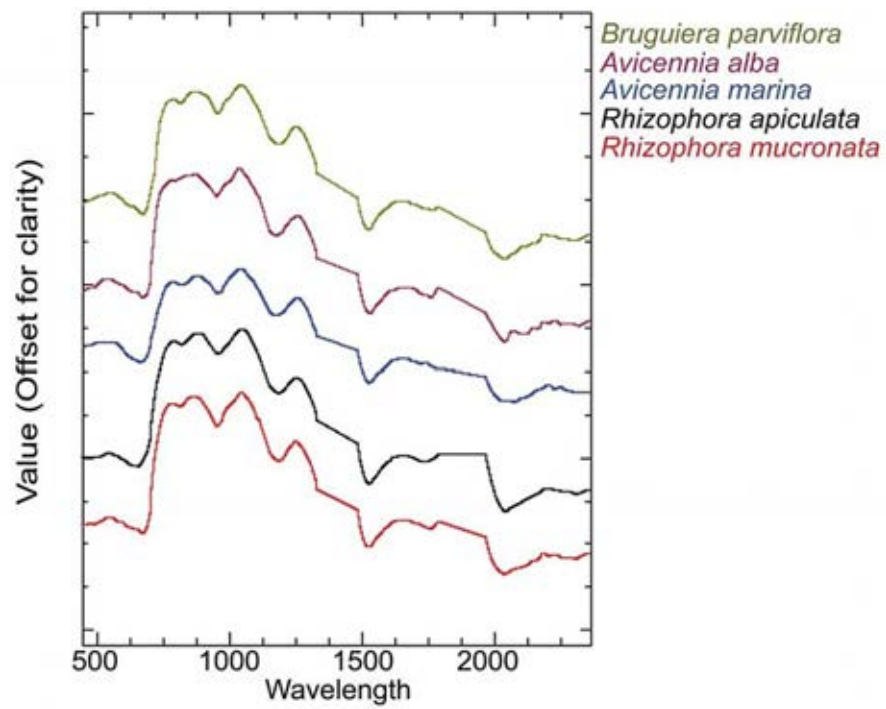
อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยข้อมูลที่ได้จากภาคสนามมีไม่มากพอจึงใช้เทคนิคการ grow ในโปรแกรม ENVI 4.7 โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากภาคสนาม ได้ดังตารางที่ 4.2



ตารางที่ 4.2 แสดงจำนวนแปลงตัวอย่างในแต่ละชนิดพันธุ์ไม้

ชื่อพันธุ์ไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	จำนวน แปลง	Training Data	Testing Data
โกกวางใบเล็ก	<i>Rhizophora apiculata</i> Bl.	31	51	51
โกกวางใบใหญ่	<i>Rhizophora mucronata</i> Poir.	11	38	38
แสมขาว	<i>Bruguiera parviflora</i> Bl.	13	30	30
ถั่วดำ	<i>Avicennia alba</i> Bl.	12	38	38
แสมทะเล	<i>Avicennia marina</i> (Forsk.) Vierh.	12	44	44
<b>รวม</b>		<b>79</b>	<b>201</b>	<b>201</b>

เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาเฉลี่ยแต่ละช่วงคลื่นแยกตามสายพันธุ์จะได้กราฟค่าการสะท้อนดังภาพที่ 4.2 โดยที่ในแนวแกน y ไม่ได้แสดงถึงความหมายทางกายภาพใดๆ เป็นเพียงการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของการสะท้อนของแต่ละสายพันธุ์เท่านั้น

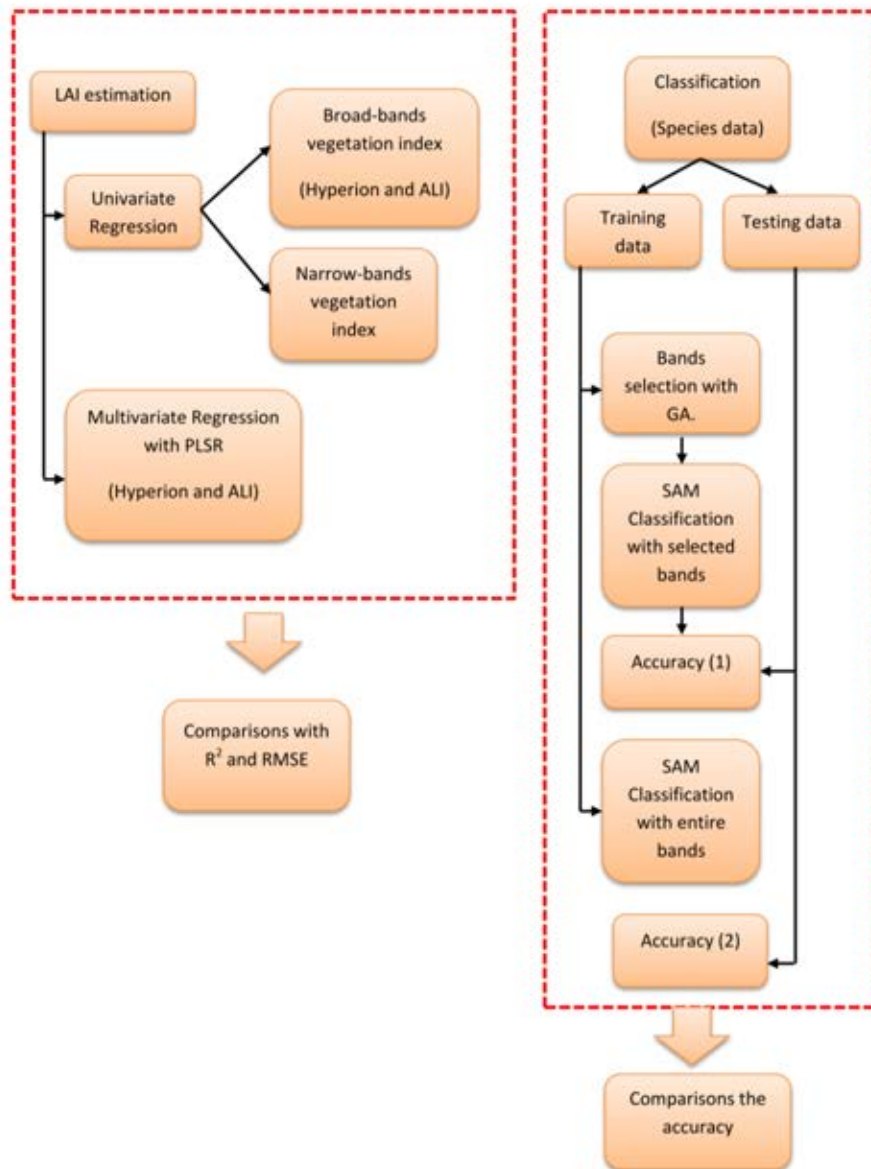


ภาพที่ 4.2 แสดงค่าการสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นของป่าชายเลนในแต่ละสายพันธุ์ (Koedsin and Vaiphasa 2013)

#### 4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้สามารถแสดงรายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ได้ดัง

ภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 แสดงขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

โดยรายละเอียดของแต่ละส่วนมีดังนี้

#### 4.4.1 การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

การวิเคราะห์ข้อมูลการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบได้ทำการสุ่มเพื่อแบ่งข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามจำนวน 31 แปลงตัวอย่างออกเป็นข้อมูลในการสอน (training) 22

แปลง และข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบจำนวน 9 แปลง โดยในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจะแบ่งเป็น 2 วิธีการใหญ่ๆ การวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียว และ การวิเคราะห์การถดถอยหลายตัวแปร โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 4.4.1.1 Broad bands Vegetation Index

วิธีการนี้จะใช้ค่าการสะท้อนพลังงานจากภาพถ่ายดาวเทียม Hyperion และ ALI มาหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ผิวใบกับดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์และดัชนีสัดส่วนธรรมดา แต่เนื่องด้วย Hyperion และ ALI ไม่ได้มีช่วงคลื่นสีแดงและอินฟราเรดใกล้เพียงช่วงคลื่นเดียวดังนั้นจึงมีการทำการเลือกช่วงคลื่นที่ให้ค่าการประมาณดัชนีพื้นที่ผิวใบได้ดีที่สุด (ให้ค่า  $R^2$  สูงสุด) โดยกรณี Hyperion ได้ทำการสลับคู่ช่วงคลื่น Band28-Band33 ซึ่งเป็นช่วงคลื่นสีแดง และ Band42-Band74 ซึ่งอยู่ในช่วงอินฟราเรดใกล้ ในขณะที่ภาพถ่าย ALI จะทำการสลับค่าระหว่าง MS-3 กับ MS-3' ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นสีแดง และ MS-4 กับ MS-4' ซึ่งเป็นช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

#### 4.4.1.2 Narrow Bands Vegetation Index

วิธีการนี้จะใช้ค่าการค่าสะท้อนพลังงานจากภาพถ่ายดาวเทียม Hyperion และ ALI มาหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ผิวใบกับดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์และดัชนีสัดส่วนธรรมดาแบบช่วงคลื่นแคบซึ่งจะแตกต่างกับกรณี Broad bands Vegetation Index ซึ่งจำกัดช่วงคลื่นสีแดงและอินฟราเรดใกล้เท่านั้น โดยในกรณี Narrow Bands Vegetation Index นั้นจะทำการสลับคู่ช่วงคลื่นทุกช่วงคลื่นที่เป็นไปได้แทนลงในสูตรการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ค่าดัชนีสัดส่วนธรรมดา โดยจะทำการเลือกคู่ช่วงคลื่นที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบสูงสุด

โดยทั้งสองกรณี แบบจำลองที่ใช้ในการประมาณค่าดัชนีพืชพรรณประกอบด้วย เส้นตรง (Linear Function) โพลีโนเมียลกำลังสอง (2-degree Polynomial) ลอการิทึม (Logarithm Function) เอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Function) และฟังก์ชันยกกำลัง (Power Function) ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$LAI = a(VI) + b \quad (4.1)$$

$$LAI = a(VI)^2 + b(VI) + c \quad (4.2)$$

$$LAI = a \ln(VI) + b \quad (4.3)$$

$$LAI = ae^{b(VI)} \quad (4.4)$$

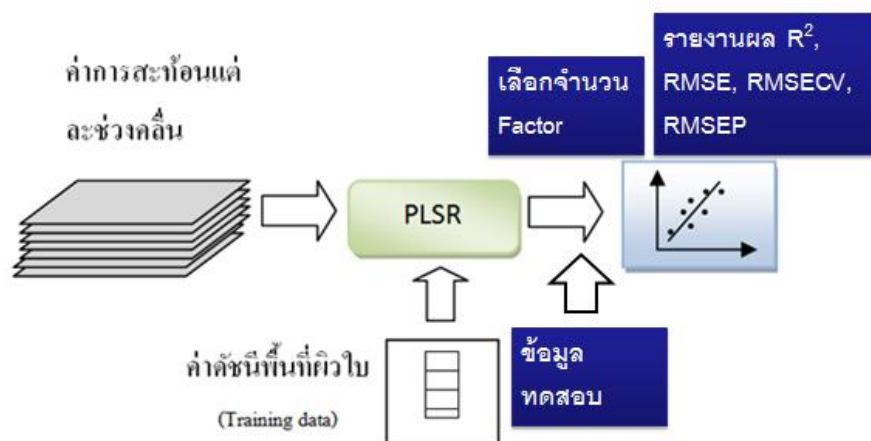
$$LAI = a(VI)^b \quad (4.5)$$

เมื่อ  $a$ ,  $b$  และ  $c$  คือค่าคงที่

$VI$  คือ ค่าดัชนีพืชพรรณ

#### 4.4.1.3 การวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน (PLSR)

ในการทำการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน จะทำการนำเอาช่วงคลื่นทั้งหมดของ Hyperion และ ALI (จำนวน 167 และ 9 ช่วงคลื่นตามลำดับ) มาทำการวิเคราะห์ดังภาพที่ 4.4 โดยก่อนทำการประมวลผลการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนจะมีแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปค่าเฉลี่ยกึ่งกลาง จากนั้นจะทำการแปลงข้อมูลตัวแปรต้นและตัวแปรตามให้ตัวแปรแต่ละตัวมีการตั้งฉากซึ่งกันโดยจำนวนตัวแปรดังกล่าวเรียกว่าจำนวนองค์ประกอบ (Factor) ซึ่งตัวแปรต้นจะต้องมีค่าความแปรปรวนร่วมกับตัวแปรตามมากที่สุด โดยจำนวนองค์ประกอบสามารถหาได้จากการทำ Cross-validation ซึ่งจะใช้จำนวนองค์ประกอบที่ให้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด (รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถศึกษาได้จากบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.5)



ภาพที่ 4.4 แผนภาพแสดงการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน

โดยในการทำการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม TOMCAT Toolbox 1.01 (Daszykowski et al. 2007) ซึ่งทำงานบนโปรแกรม MATLAB

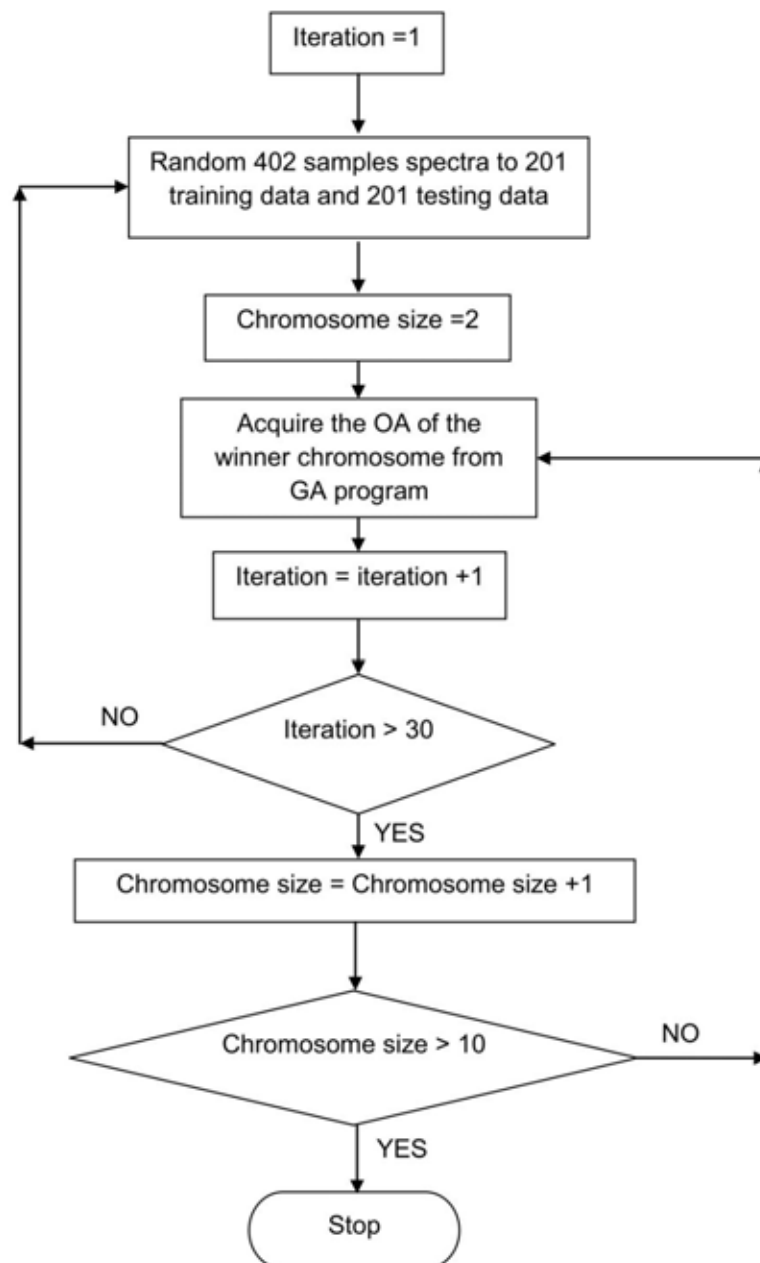
#### 4.4.2 การจำแนกป่าชายเลนในระดับสายพันธุ์

ในการจำแนกป่าชายเลนในระดับสายพันธุ์นั้นจะมีการเปรียบเทียบระหว่างการใช้เทคนิคการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและวิธีการ Sequential Forward Selection

##### 4.4.2.1 การจำแนกป่าชายเลนด้วยเทคนิคการคัดเลือกช่วงคลื่นแบบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการจำแนกป่าชายเลนในระดับสายพันธุ์ด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยเทคนิควิธีการเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถปรับขนาดของโครโมโซม (จำนวนช่วงคลื่น) ได้อย่างอิสระตามผู้ใช้งานกำหนด ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของโครโมโซมเพื่อทำการหาขนาดโครโมโซมหรือจำนวนช่วงคลื่นที่เหมาะสมโดยมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตั้งแต่ 2 ถึง 9 ช่วงคลื่นซึ่งรายละเอียดสามารถเขียนเป็นผังงานได้ดังภาพที่ 4.5 ซึ่งเป็นผังงานแสดงขั้นตอนการหาขนาดโครโมโซมที่เหมาะสมรวมถึงการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการจำแนกป่าชายเลนในระดับสายพันธุ์ที่ขนาดโครโมโซมต่างๆ

เพื่อเป็นการยืนยันผลที่ได้จากการทดลองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของโครโมโซมจะมีการสุ่มข้อมูลตัวอย่างจากจำนวน 402 ตัวอย่างออกเป็นข้อมูลในการสอน 201 ข้อมูล และข้อมูลในการทดสอบ 201 ข้อมูลใหม่ทุกๆครั้งเป็นจำนวน 30 รอบต่อหนึ่งการเปลี่ยนแปลงขนาดของโครโมโซม เมื่อสุ่มตัวอย่างเรียบร้อยแล้วจะผ่านสู่กระบวนการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมโดยแต่ละโครโมโซมจะถูกนำมาใช้ในการจำแนกเพื่อหาค่าความเหมาะสมซึ่งในที่นี้ใช้ค่าความถูกต้องในการจำแนกโดยรวมของข้อมูลที่ใช้สอน ในแต่ละรอบ (ใน 30 รอบ) โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากที่สุดจะถูกรายงานและนำมาหาค่าความถูกต้องในการจำแนกจากข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ จากนั้นทำการเฉลี่ยค่าความถูกต้องโดยรวมของข้อมูลทดสอบในแต่ละขนาดโครโมโซมเพื่อทำการเปรียบเทียบและหาขนาดโครโมโซมที่เหมาะสมต่อไป



ภาพที่ 4.5 ผังงานแสดงการหาขนาดโครโมโซมที่เหมาะสม (Koedsin and Vaiphasa 2013)

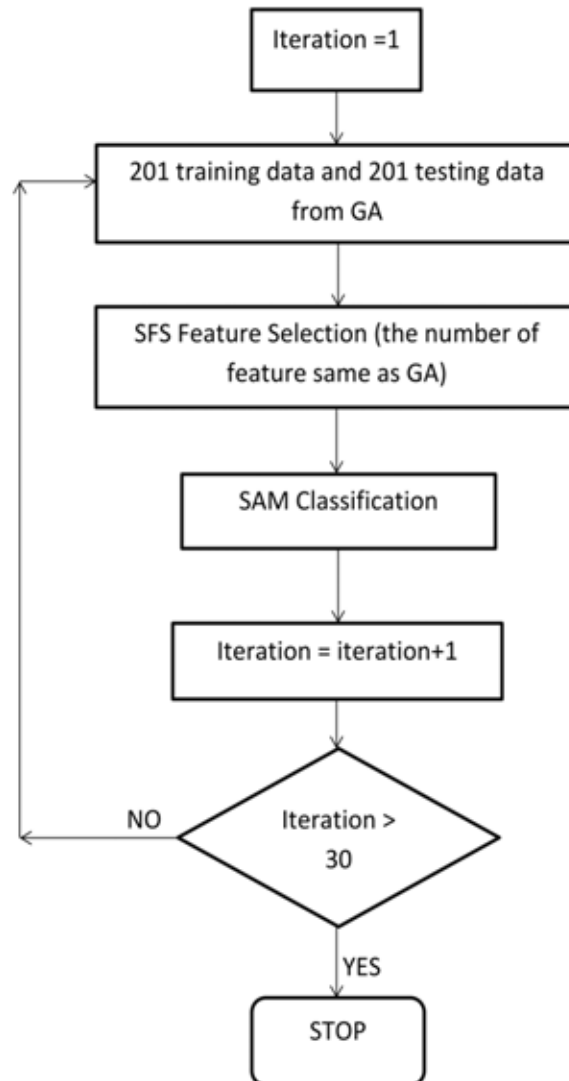
เมื่อสามารถเลือกขนาดโครโมโซมที่เหมาะสมได้แล้ว ค่าความถูกต้องในการจำแนกของข้อมูลทดสอบทั้ง 30 ค่าที่ได้ในขั้นตอนที่ผ่านมาจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำแนกด้วยจำนวนช่วงคลื่นทั้งหมดโดยจะใช้ T-test ในการทดสอบความแตกต่างซึ่งจะเสนอรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

ในส่วนของรายละเอียดขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีดังนี้ ใช้การเข้ารหัสโครโมโซมแบบตรง คือ ใช้ชื่อช่วงคลื่นโดยตรง (รายละเอียดเพิ่มเติมกรุณาดู บทที่ 2) จำนวนประชากร(จำนวนโครโมโซม) เท่ากับ 500 โครโมโซม กำหนดจำนวนรุ่น (generation) สูงสุดเท่ากับ 150 รุ่น (รอบการทำซ้ำ) การไขว้เปลี่ยนแบบกระจาย (รายละเอียดเพิ่มเติมกรุณาดู บทที่ 2) และมีอัตราการไขว้เปลี่ยน 80 เปอร์เซ็นต์ ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์เป็น 1 เปอร์เซ็นต์ และใช้วิธีการคัดเลือกแบบ Stochastic Universal Sampling โดยมีค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม คือ ค่าความถูกต้องโดยรวมในการจำแนกแบบ Spectral Angle Mapper ของข้อมูลในการสอน และขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรมจะหยุดทำงานถ้าค่าความเหมาะสมดังกล่าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงต่อเนื่องกัน 10 รุ่น มีการทำซ้ำจนครบ 150 รุ่นแล้ว

#### 4.4.2.2 การจำแนกป่าชายเลนด้วยเทคนิคการคัดเลือกช่วงคลื่นแบบ Sequential Forward Selection

จากภาพที่ 4.6 จะเห็นว่าลักษณะการทำงานจะคล้ายคลึงกับวิธีการจำแนกโดยการเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเพียงแต่เปลี่ยนเป็นการเลือกช่วงคลื่นด้วย Sequential Forward Selection เพื่อทำการเปรียบเทียบกันจึงกำหนดจำนวนช่วงคลื่นที่คงที่เท่ากับจำนวนช่วงคลื่นที่ใช้กับขั้นตอนวิธีพันธุกรรมและเพื่อให้ผลการเปรียบเทียบที่ไม่มีความลำเอียงข้อมูลที่ใช้สอนและใช้ทดสอบนั้นจะเป็นชุดเดียวกันที่ใช้กับขั้นตอนวิธีพันธุกรรมซึ่งจะมีข้อมูลทั้งหมดจำนวน 30 ชุดข้อมูล





ภาพที่ 4.6 ผังงานการจำแนกโดยใช้ Sequential Forward Selection

#### 4.5 การทดสอบทางสถิติ

ค่าความถูกต้องจากการจำแนกจากทั้งสองวิธีการจะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่มีความสัมพันธ์กัน (dependent T-Test) โดยมีสมมติฐานว่าง (Null Hypothesis)  $H_0 : \mu_1 = \mu_2$  และมีสมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis)  $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

## บทที่ 5

### ผลการศึกษา

#### 5.1 ผลการศึกษาการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

##### 5.1.1 การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากดัชนีพืชพรรณแบบธรรมดา

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion และ ALI จะถูกนำมาคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์และค่าดัชนีพืชพรรณสัดส่วนธรรมดา เพื่อใช้ในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

โดยในกรณีของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion จะใช้ช่วงคลื่น B21 (630.3 *nm*) - B27(691.4 *nm*) แทนช่วงคลื่นสีแดง และ B35 (772.8 *nm*)- B47(894.9 *nm*) แทนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ สาเหตุที่ใช้ช่วงคลื่นดังกล่าวเนื่องจากมีความสอดคล้องกับช่วงคลื่นสีแดงและอินฟราเรดใกล้ของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ ALI จากนั้นทำการสลับคู่ช่วงคลื่นเท่ากับจำนวนคู่ที่จะเป็นไปได้เพื่อเลือกคู่ช่วงคลื่นสีแดงและอินฟราเรดใกล้ที่ให้ค่า  $R^2$  สูงที่สุดจากการวิเคราะห์การถดถอยแบบต่างๆ ทั้ง 5 แบบจำลอง (คือ เส้นตรง พหุนามกำลังสอง ลอการิทึม เอกซ์โพเนนเชียล และฟังก์ชันยกกำลัง) โดยคู่ช่วงคลื่นที่ให้ค่า  $R^2$  ในแต่ละแบบจำลอง และค่า RMSE แสดงดังตารางที่ 5.1 และ 5.2

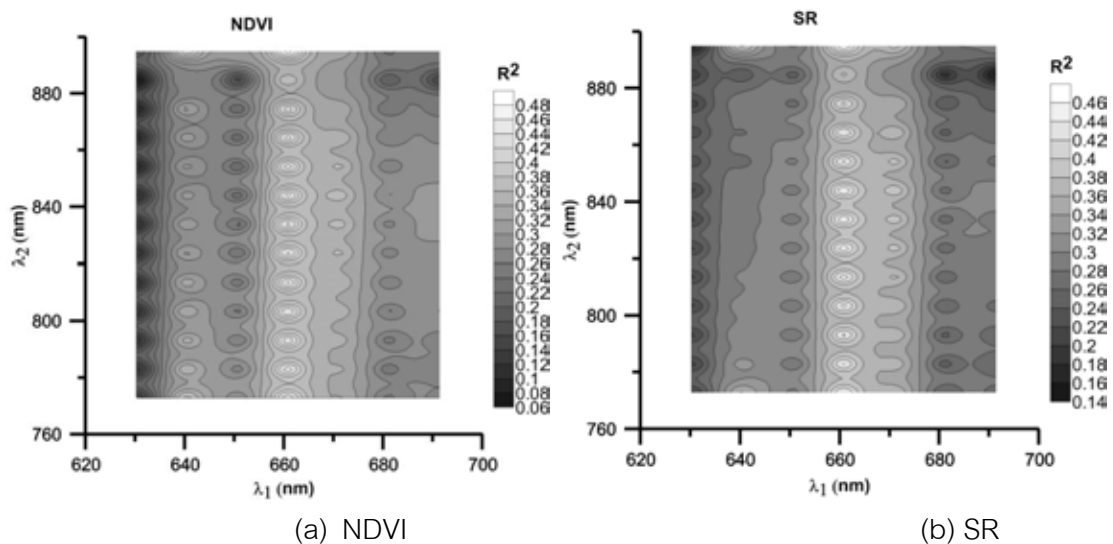
ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียวแบบต่างๆ เมื่อใช้ NDVI แบบช่วงคลื่นกว้างของภาพถ่ายระบบ Hyperion

Mathematical model	Red/NIR (nm)	Equation	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	RMSE
Linear	671/844	LAI = 3.109NDVI - 1.217	0.308	0.284	0.391
2- Degree Polynomial	660.8/844	LAI = 27.073NDVI <sup>2</sup> - 33.862NDVI + 11.053	0.472	0.434	0.342
Logarithm	671/844	LAI = 1.917ln(NDVI) + 1.648	0.287	0.262	0.397
Exponential	640.5/772.8	LAI = 0.0138e <sup>5.357NDVI</sup>	0.351	0.329	0.390
Power	640.5/772.8	LAI = 2.1617NDVI <sup>3.5581</sup>	0.325	0.302	0.395

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียวแบบต่างๆ เมื่อใช้ SR แบบช่วงคลื่นกว้างของภาพถ่ายระบบ Hyperion

Mathematical model	Red/NIR (nm)	Equation	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	RMSE
Linear	660.8/844	LAI = 0.167SR - 0.262	0.423	0.404	0.357
2- Degree Polynomial	660.8/844	LAI = 0.018SR <sup>2</sup> - 0.100SR + 0.6429	0.460	0.421	0.346
Logarithm	660.8/844	LAI = 1.019ln(SR) - 1.048	0.356	0.334	0.377
Exponential	640.5/772.8	LAI = 0.1754e <sup>0.197SR</sup>	0.369	0.348	0.388
Power	640.5/772.8	LAI = 0.057SR <sup>1.321</sup>	0.371	0.350	0.386

ตัวอย่างกราฟแสดงค่า  $R^2$  ในแต่ละคู่ช่วงคลื่นที่ใช้ในการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์และค่าดัชนีพืชพรรณสัดส่วนธรรมดา ในกรณีแบบจำลองพหุนามกำลังสองซึ่งให้ค่า  $R^2$  สูงที่สุดและ RMSE ต่ำที่สุด (ดูตารางที่ 5.1 และ 5.2 ประกอบ) สามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคลื่นทั้งสองช่วงคลื่นกับค่า  $R^2$  ได้ดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ช่วงคลื่นต่างๆ เมื่อใช้ (a) NDVI and (b) SR แบบช่วงคลื่นกว้างในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุนามกำลังสอง

ในกรณีภาพถ่ายดาวเทียมระบบ ALI นั้นเนื่องจากมีช่วงคลื่นสีแดง คือ MS-3 และมีช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้สองช่วง คือ MS-4 และ MS-4' ดังนั้นจึงทำการสลั้คู่ช่วงคลื่นที่เป็นไปได้ ในการคำนวณค่า NDVI และ SR เพื่อนำมาประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบต่อไป โดยผลที่ให้ค่า  $R^2$  สูงสุดในกรณีทั้ง NDVI และ SR คือ ช่วงคลื่น MS-3 (660 nm) แทนช่วงคลื่นสีแดงและ MS-4 (790 nm) แทนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ตามลำดับทั้ง 5 แบบจำลอง ผลการทดลองแต่ละของแต่ละแบบจำลองแสดง ดังตารางที่ 5.3 ตารางที่ 5.4

ตาราง 5.3 ผลการทดลองการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียวแบบต่างๆ เมื่อใช้ NDVI แบบช่วงคลื่นกว้างของภาพถ่าย ALI

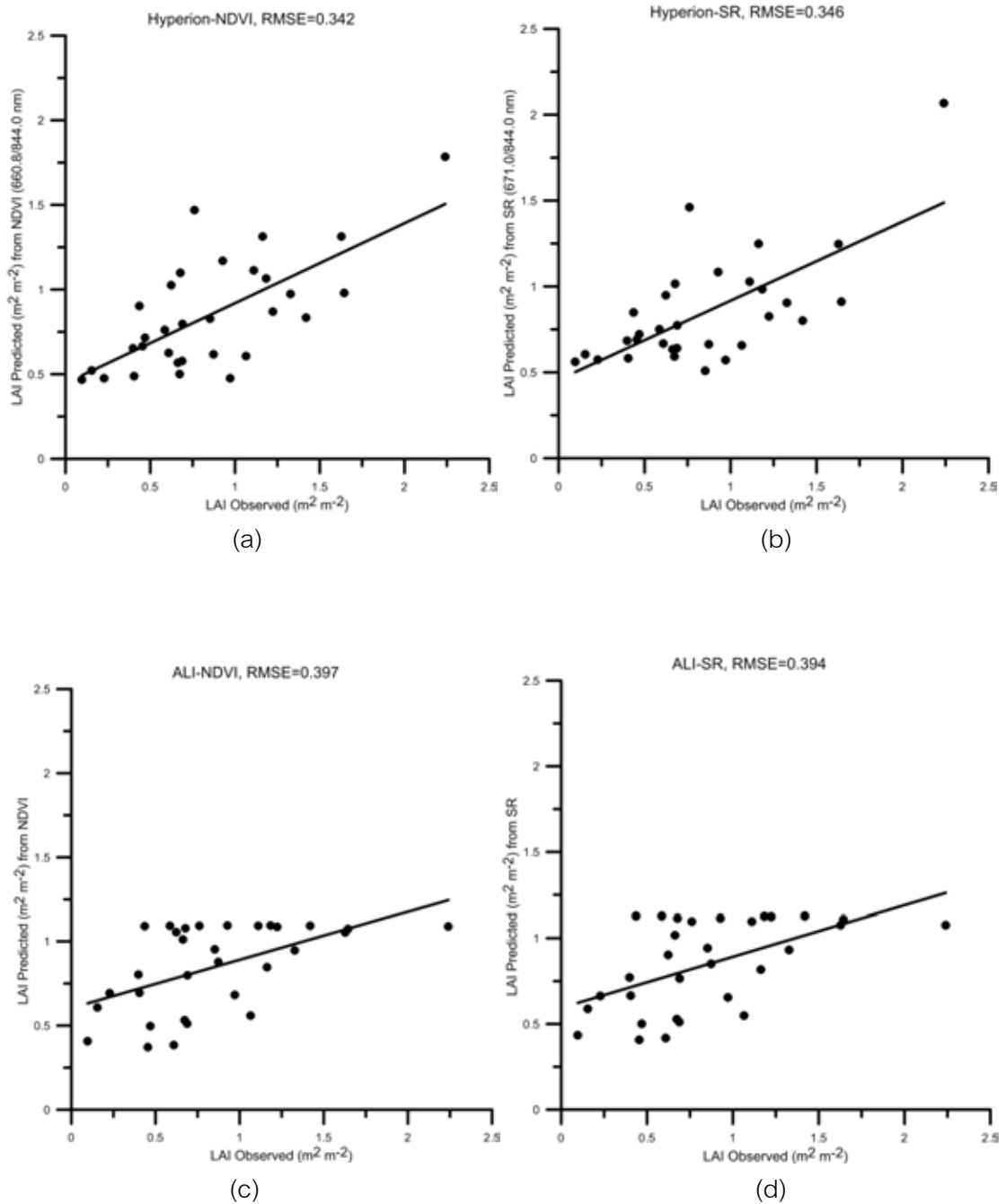
Mathematical model	Equation	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	RMSE
Linear	LAI = 3.399NDVI -1.158	0.258	0.232	0.405
2 -Degree Polynomial	LAI = -21.9NDVI <sup>2</sup> + 29.33NDVI - 8.725	0.286	0.235	0.397
Logarithm	LAI = 2.022ln(NDVI) + 1.929	0.264	0.239	0.403
Exponential	LAI = 0.038e <sup>4.954NDVI</sup>	0.269	0.244	0.426
Power	LAI = 3.432NDVI <sup>2.960</sup>	0.279	0.254	0.422

ตาราง 5.4 ผลการทดลองการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียวแบบต่างๆ เมื่อใช้ SR แบบช่วงคลื่นกว้างของภาพถ่าย ALI (แกน Y คือ LAI และแกน X คือ SR.)

Mathematical model	Equation	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	RMSE
Linear	LAI = 0.252SR -0.1664	0.228	0.202	0.413
2 -Degree Polynomial	LAI = -0.1877SR <sup>2</sup> + 1.827SR -3.315	0.298	0.248	0.394
Logarithm	LAI = 1.068ln(SR) - 0.6146	0.248	0.222	0.408
Exponential	LAI = 0.164e <sup>0.363SR</sup>	0.233	0.207	0.438
Power	LAI = 0.085SR <sup>1.550</sup>	0.257	0.231	0.430

โดยผลการทดลองที่ให้ค่า R<sup>2</sup> สูงสุด และ ให้ค่า RMSE น้อยที่สุด ทั้งกรณีภาพถ่ายระบบ Hyperion และ ALI คือ สมการพหุนามกำลังสอง ซึ่งนำมาแสดงผลเป็นกราฟ

ระหว่างค่าค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนาม (แกน X) กับที่ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากแบบจำลอง (แกน Y) ดังภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 แสดงผลการทำนายค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากแบบจำลองพหุนามกำลังสองเมื่อใช้ค่า (a) NDVI และ (b) SR ที่ได้จากภาพถ่ายระบบ Hyperion และ (c) NDVI และ (d) SR จากภาพถ่ายระบบ ALI

### 5.1.2 การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นแคบ (Narrow Bands Vegetation Index)

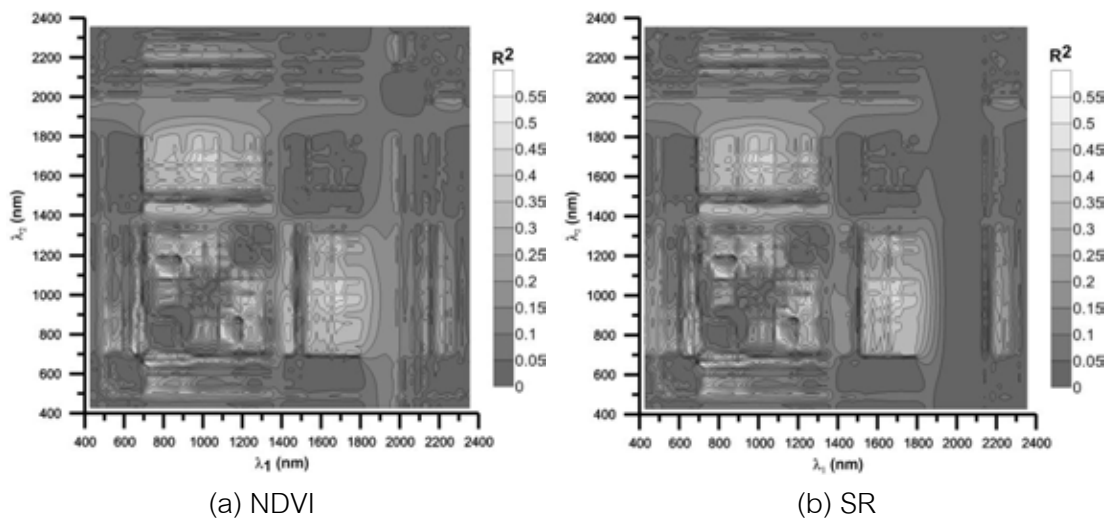
ทุกช่วงคลื่นทั้ง 167 ช่วงคลื่นของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion จะถูกนำมาจับคู่เพื่อคำนวณค่า NDVI และ SR ช่วงคลื่นแคบ (Narrow Band Vegetation Index) ซึ่งมีจำนวนวิธีการในการสลับคู่เท่ากับ  $167 \times 166 = 27,722$  วิธี โดยจะเลือกคู่ช่วงคลื่นที่ให้ค่า  $R^2$  สูงสุดจากการทำการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียวทั้ง 5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยแต่ละแบบจำลองและค่า  $R^2$  สูงสุดในช่วงคลื่นดังกล่าว ค่า  $R^2$  แบบปรับค่า (Adjusted  $R^2$ ) และค่า RMSE แสดงดังตารางที่ 5.5 และ ตารางที่ 5.6 โดยตัวอย่างกราฟแสดงค่า  $R^2$  ในแต่ละคู่ช่วงคลื่นของแบบจำลองพหุนามกำลังสองสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.3

ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียวแบบต่างๆ เมื่อใช้ NDVI แบบช่วงคลื่นแคบ

Mathematical model	$\lambda_1 / \lambda_2$ (nm)	Equation	$R^2$	Adjusted $R^2$	RMSE
Linear	993.2/ 1275.7	$LAI = 11.165NDVI - 0.827$	0.552	0.537	0.315
2 -Degree Polynomial	993.2/ 1275.7	$LAI = 95.259 NDVI^2 - 16.284x + 1.054$	0.581	0.551	0.304
Logarithm	1275.7/993.2	$LAI = 1.524\ln(NDVI) + 3.775$	0.529	0.513	0.323
Exponential	1063.8/1255.5	$LAI = 0.055e^{18.428NDVI}$	0.644	0.632	0.356
Power	1063.8/1255.5	$LAI = 96.268NDVI^{2.460}$	0.699	0.689	0.337

ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียวแบบต่างๆ เมื่อใช้ SR แบบช่วงคลื่นแคบ

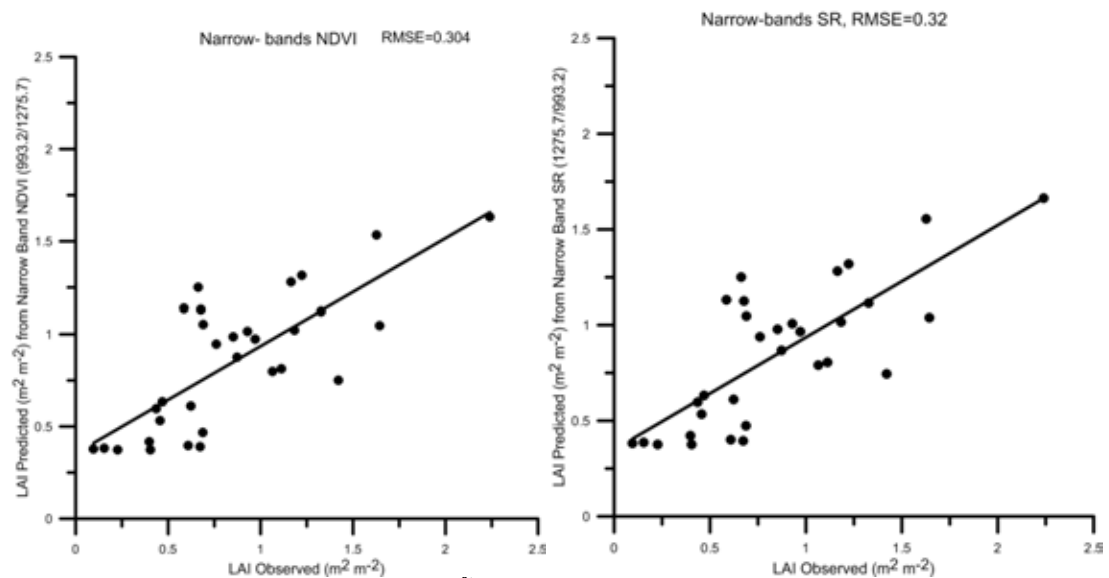
Mathematical model	$\lambda_1 / \lambda_2$ (nm)	Equation	$R^2$	Adjusted $R^2$	RMSE
Linear	1275.7/993.2	$LAI = 4.107SR - 4.721$	0.560	0.545	0.312
2 -Degree Polynomial	1275.7/993.2	$LAI = 11.623SR^2 + 27.123SR + 16.169$	0.586	0.557	0.302
Logarithm	1275.7/993.2	$LAI = 5.469\ln(SR) - 0.8066$	0.554	0.538	0.314
Exponential	1063.8/1255.5	$LAI = 6057.030e^{-11.96SR}$	0.657	0.646	0.350
Power	1063.8/1255.5	$LAI = 0.056SR^{-9.025}$	0.642	0.629	0.356



ภาพที่ 5.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสัมพันธ์ที่ช่วงคลื่นต่างๆ เมื่อใช้ (a) NDVI and (b) SR แบบช่วงคลื่นแคบในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวดินด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบ พหุนามกำลังสอง



จากตารางที่ 5.5 และตารางที่ 5.6 จะเห็นว่าแบบจำลองพหุนามกำลังสองให้ค่า RMSE ที่ต่ำที่สุดซึ่งแบบจำลองดังกล่าวสามารถแสดงเป็นกราฟระหว่างค่าค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับที่ค่าค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากแบบจำลองดังภาพที่ 5.4



ภาพที่ 5.4 แสดงผลการทำนายค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากแบบจำลอง พหุนามกำลังสอง เมื่อใช้ค่า (a) NDVI ช่วงคลื่นแคบ และ (b) SR ช่วงคลื่นแคบ ที่ได้จากภาพถ่ายระบบ Hyperion

#### 5.1.4 การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน

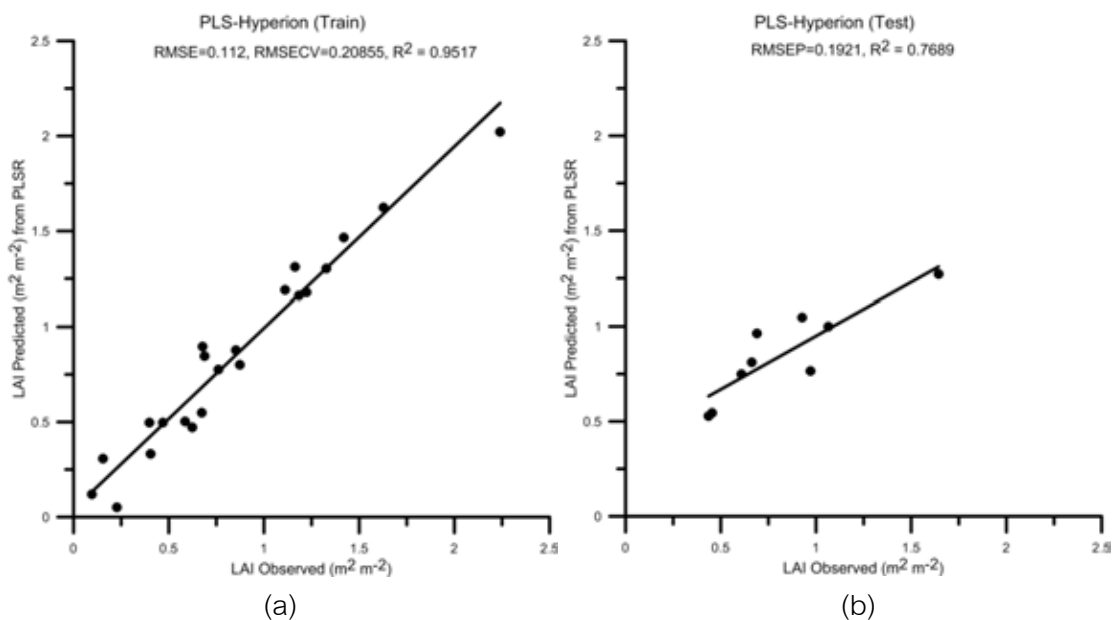
ภาพถ่ายดาวเทียมในระบบ Hyperion จำนวนช่วงคลื่นทั้งหมด 167 ช่วงคลื่นถูกนำมาทำการวิเคราะห์ การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนโดยจากการทดลองได้องค์ประกอบหลัก (Factor) เท่ากับ 7 ซึ่งให้ค่า RMSECV ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.20855 และ ค่า RMSEP เท่ากับ 0.1921 โดยกราฟแสดงค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากแบบจำลองด้วยการถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนและค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามแสดง ดังภาพที่ 5.5 (a) และ 5.5 (b)

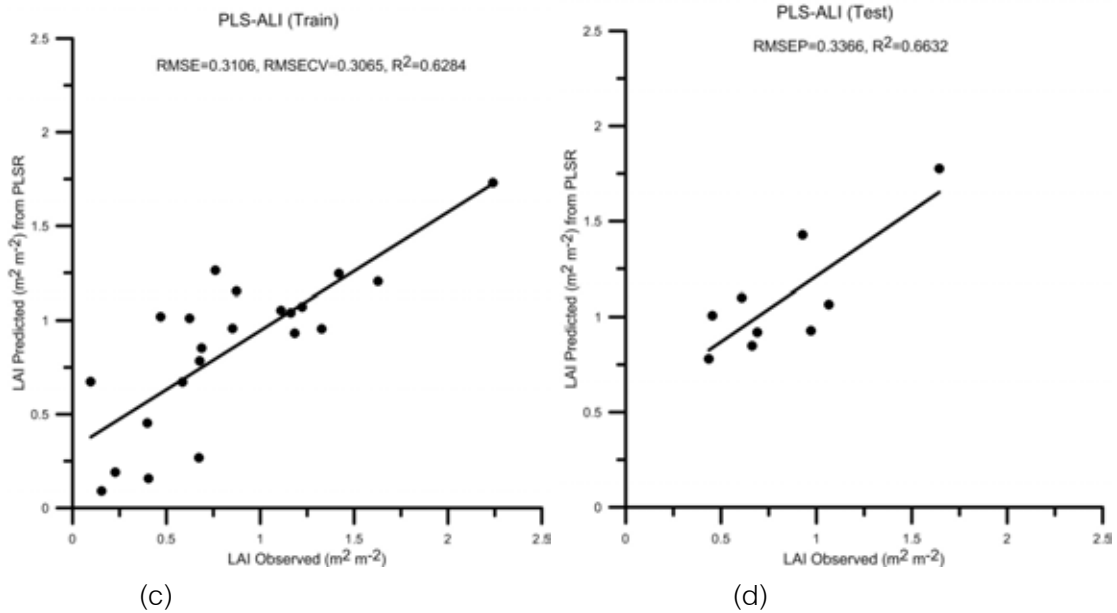
เช่นเดียวกับภาพถ่ายดาวเทียมในระบบ Hyperion ช่วงคลื่นทั้งหมดของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ ALI จำนวน 9 ช่วงคลื่นถูกนำมาทำการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสอง

น้อยที่สุดแบ่งส่วนโดยผลการทดลองได้องค์ประกอบหลักเท่ากับ 8 โดยซึ่งให้ค่า RMSECV ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.3065 และ ค่า RMSEP = 0.3366 1921 โดยกราฟแสดงค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากแบบจำลองด้วยการถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนและค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามแสดง ในกรณีภาพถ่ายดาวเทียมระบบ ALI แสดง ดังภาพที่ ที่ 5.5 (c) และ 5.5 (d)

ซึ่งจากภาพที่ 5.4 และ ภาพที่ 5.5 แสดงให้เห็นว่าทั้ง RMSECV และ RMSEP ของภาพถ่ายระบบ Hyperion มีค่าต่ำกว่าผลการทดลองที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมระบบ ALI

อย่างไรก็ตามเพื่อให้ข้อมูลที่ชัดเจน แบบจำลองที่ดีที่สุดในแต่ละวิธีการได้ถูกนำมาแสดงเปรียบเทียบดังตารางที่ 5.7 ซึ่งจากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า RMSE ในกรณีใช้วิธี PLSR ทั้งกรณีภาพถ่ายระบบ Hyperion และ ALI มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ





ภาพที่ 5.5 แสดงผลการทำนายค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน เมื่อ (a) การสร้างแบบจำลอง และ (b) เป็นการทดสอบแบบจำลอง ของภาพถ่ายระบบ Hyperion และ (c) การสร้างแบบจำลอง (d) เป็นการทดสอบแบบจำลอง ของภาพถ่ายระบบ ALI

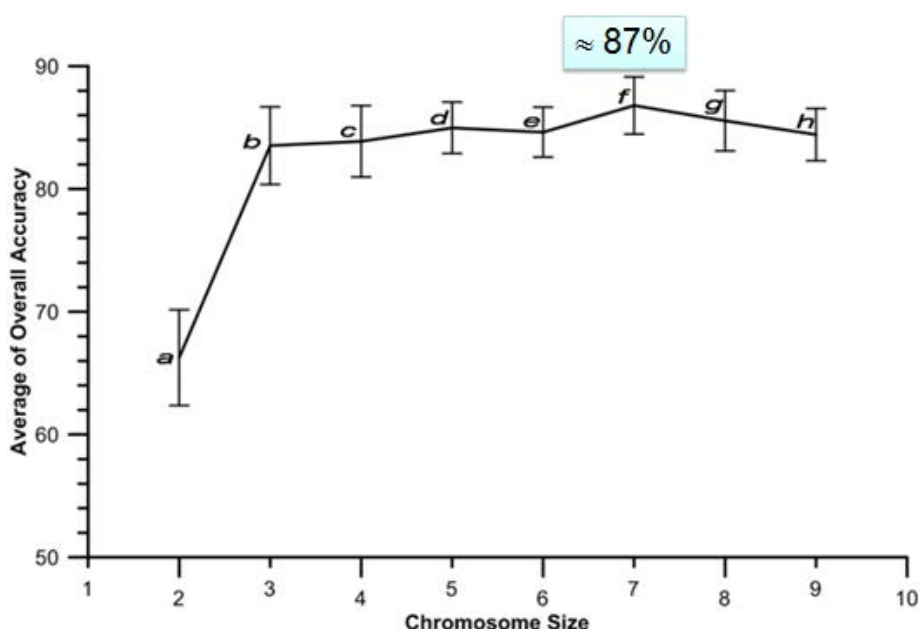
ตารางที่ 5.7 แสดงค่า RMSE ของแบบจำลองที่ดีที่สุดในแต่ละวิธีการ

วิธีการในแต่ละภาพถ่ายดาวเทียม	RMSE
Hyperion	
● NDVI (Broad Bands)	0.342
● SR (Broad Bands)	0.346
● NDVI (Narrow Bands)	0.304
● SR (Narrow Bands)	0.320
● PLSR	<u>0.192</u>
ALI	
● NDVI	0.397
● SR	0.394
● PLSR	<u>0.337</u>

## 5.2 ผลการศึกษาการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน

### 5.2.1 ขนาดของโครโมโซมที่เหมาะสมและการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

ในส่วนนี้จะเป็นการหาจำนวนช่วงคลื่นที่เหมาะสมโดย โปรแกรมขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถกำหนดขนาดของโครโมโซม(ในที่นี้คือ จำนวนช่วงคลื่นที่จะใช้ในการจำแนกป่าชายเลน) ได้อย่างอิสระตามที่คุณใช้งานเป็นผู้กำหนด ดังนั้นจึงมีการทดลองเพื่อหาขนาดของโครโมโซมที่เหมาะสมโดยเปลี่ยนขนาดโครโมโซมตั้งแต่ 2 ถึง 9 โดยโปรแกรมจะทำการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมที่สุดตามขนาดของโครโมโซม เป็นจำนวน 30 ครั้งในแต่ละขนาดโครโมโซม (สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมในหัวข้อ 4.4.2.1) โดยค่าความถูกต้องโดยรวมเฉลี่ยของข้อมูลทดสอบในแต่ละขนาดโครโมโซมแสดงดังภาพที่ 5.6 โดยเส้นในแนวตั้งแต่ละจุดคือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการจำแนกทั้ง 30 รอบ จากกราฟดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าขนาดโครโมโซมตั้งแต่ 3 ถึง 9 (กรณี  $b$  ถึง  $h$ ) มีค่าค่อนข้างคงที่ อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าที่ขนาดโครโมโซมเท่ากับ 7 มีค่าความถูกต้องโดยรวมสูงที่สุด ดังนั้นในการศึกษานี้จะใช้ขนาดโครโมโซมเท่ากับ 7 (กรณี  $f$  มีค่าเฉลี่ยความถูกต้องโดยรวม 87%)



ภาพที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความถูกต้องโดยรวมในการจำแนกที่ขนาดโครโมโซมต่างๆ

เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการสอนในแต่ละรอบทั้ง 30 รอบเป็นข้อมูลที่แตกต่างกัน ดังนั้นช่วงคลื่นที่ผ่านการคัดเลือกอาจมีความแตกต่างกัน ในกรณีขนาดโครโมโซมเท่ากับ 7 (จุด  $f$  ในภาพที่ 5.6) ช่วงคลื่นที่ถูกคัดเลือกในแต่ละรอบทั้ง 30 รอบสามารถแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 5.8 ซึ่งโครโมโซมของรอบที่ 9 ซึ่งประกอบด้วยช่วงคลื่น 549 nm, 712 nm, 732 nm, 1034 nm, 1235 nm, 2073 nm, และ 2083 nm ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมของข้อมูลทดสอบที่มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 92% (กรุณาดูข้อมูลตาราง 5.8 ตั๋วหน้า)

ตารางที่ 5.8 แสดงช่วงคลื่นที่ถูกคัดเลือกทั้ง 30 โครโมโซมกรณีขนาดโครโมโซมเท่ากับ 7 (เมื่อ OA คือ ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy))

Runs	Bands (nm)							OA- train	OA- Test
	1	2	3	4	5	6	7		
1	488	569	732	983	1034	1245	1790	93	91
2	478	579	732	773	1064	1094	1679	94	86
3	478	579	722	732	1094	1558	2063	93	88
4	569	732	742	824	1023	1760	2063	93	85
5	468	590	732	824	1064	1235	1336	93	88
6	478	569	732	1034	1084	1094	1518	92	89
7	478	579	732	773	1034	1094	1790	92	86
8	468	579	742	824	1064	1235	1760	94	86
9	549	712	732	1034	1235	2073	2083	94	92
10	478	529	539	732	1094	1528	2093	92	88
11	478	579	732	1034	1094	1770	2093	95	88
12	579	732	103	1235	1518	1548	2032	94	89
13	468	518	579	732	1094	1710	1790	91	90
14	468	488	559	732	1034	1094	2083	93	87
15	478	732	104	1165	1225	1548	1588	96	84
16	478	488	712	732	1034	1094	2184	96	87
17	478	569	732	1044	1094	2093	2234	95	88
18	518	569	732	1034	1054	1276	1296	93	86
19	579	712	732	834	1044	2184	2214	92	86

Runs	Bands (nm)							OA- train	OA- Test
	1	2	3	4	5	6	7		
20	529	579	712	732	824	1054	1760	92	86
21	478	579	712	773	915	1064	1094	92	83
22	539	569	712	732	1044	1235	1548	94	90
23	457	478	712	732	773	854	1094	95	86
24	478	518	732	824	1225	1336	2073	93	84
25	478	712	732	793	1266	1498	1528	93	83
26	559	732	824	1044	1165	1760	2093	91	88
27	457	569	722	732	742	773	1034	92	87
28	488	529	712	773	824	844	1235	94	82
29	498	518	712	732	1034	1094	2305	93	86
30	579	742	983	1034	1054	1195	2083	93	88

### 5.2.2 ผลการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยวิธีการ SFS (Sequential Forward Selection)

ในการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วย SFS นั้นจะถูกจำกัดจำนวนช่วงคลื่นเป็น 7 ช่วงคลื่น เท่ากับจำนวนช่วงคลื่นที่ได้จากผลการทดลองการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยข้อมูลที่ใช้ในการสอนและการทดสอบที่นำมาใช้ในกรณี SFS จะเป็นชุดเดียวกันกับที่ใช้กับ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมทั้ง 30 ชุดข้อมูล โดยผลการคัดเลือกช่วงคลื่นทั้ง 30 รอบแสดงดังตารางที่ 5.9 จากตารางดังกล่าวจะเห็นว่ารอบที่ 26 ซึ่งประกอบด้วยช่วงคลื่น 498 nm, 529 nm, 569 nm, 732 nm, 773 nm, 1094 nm และ 2163 nm ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมที่มีค่ามากที่สุดในการ จำแนกมีค่าเท่ากับ 87% (กรุณาดูข้อมูลตาราง 5.9 ดัชนี)

ตารางที่ 5.9 แสดงช่วงคลื่นที่ถูกคัดเลือกทั้ง 30 ช่วงคลื่นด้วยวิธีการ SFS (เมื่อ OA คือ ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy))

Runs	Bands (nm)							OA	Kappa
	1	2	3	4	5	6	7	Test	Test
1	468	539	641	834	1094	1972	2103	67	0.58
2	559	590	641	773	1094	2032	2163	78	0.72
3	447	529	539	579	824	834	2163	74	0.68
4	498	529	569	641	702	773	1094	84	0.80
5	569	579	702	732	834	844	1094	85	0.81
6	498	529	539	579	641	773	2204	80	0.74
7	447	539	569	732	834	1094	2204	83	0.79
8	498	529	569	732	834	1094	2163	86	0.82
9	498	539	569	732	773	1034	1094	87	0.83
10	447	498	569	732	773	1094	2163	85	0.81
11	498	529	569	732	773	1094	2032	86	0.82
12	498	529	569	732	773	1094	2163	86	0.82
13	447	498	539	569	773	1094	2163	83	0.79
14	498	529	569	732	773	963	1034	81	0.76
15	498	529	569	641	773	1094	2204	83	0.78
16	498	539	569	702	732	834	1094	84	0.80
17	529	569	641	702	732	773	2204	81	0.76
18	539	569	641	732	773	1094	2204	83	0.79
19	447	529	539	569	641	773	2163	76	0.69
20	447	529	569	641	732	773	2204	82	0.77
21	447	498	529	569	732	834	1094	84	0.79
22	529	590	641	732	773	1094	2204	86	0.82
23	498	569	702	732	773	1094	2204	86	0.82
24	447	539	569	641	732	773	1023	81	0.76
25	447	529	539	569	641	773	1094	84	0.79
26	498	529	569	732	773	1094	2163	87	0.84
27	447	498	539	641	732	834	1094	84	0.80

Runs	Bands (nm)							OA	Kappa
	1	2	3	4	5	6	7	Test	Test
28	447	539	569	641	773	834	2163	71	0.64
29	498	529	569	641	773	1094	2032	84	0.79
30	498	559	579	641	773	1094	2204	85	0.81

โดยเพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบ ผลการจำแนกที่ได้จากการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรมและ SFS ถูกนำมาเปรียบเทียบดังตารางที่ 5.10 ซึ่งตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยวิธีการ SFS ทั้ง 30 ชุดข้อมูลมีรอบการทดลองใดที่ให้ค่าความถูกต้องมากกว่าการจำแนกด้วยช่วงคลื่นที่ได้จากการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยวิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

ตารางที่ 5.10 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องในการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนของข้อมูลทดสอบระหว่างกรณีใช้ช่วงคลื่นที่ผ่านการคัดเลือกด้วยขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) กับ การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยวิธีการ SFS (Sequential Forward Selection) โดยที่ OA คือ ค่าความถูกต้องโดยรวม ส่วน K คือ ค่าสัมประสิทธิ์ Kappa

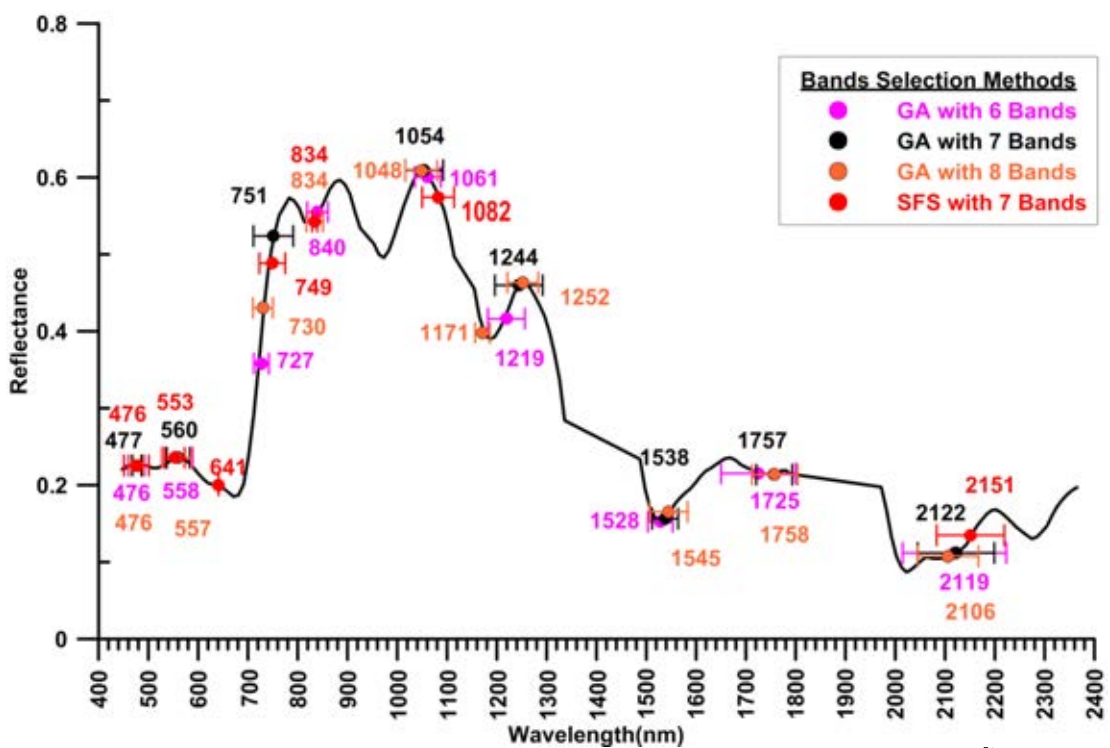
Runs	OA		K	
	GA	SFS	GA	SFS
1	91	67	0.88	0.58
2	86	78	0.82	0.72
3	88	74	0.84	0.68
4	85	84	0.81	0.80
5	88	85	0.84	0.81
6	89	80	0.86	0.74
7	86	83	0.82	0.79
8	86	86	0.82	0.82
9	92	87	0.90	0.83
10	88	85	0.85	0.81



Runs	OA		K	
	GA	SFS	GA	SFS
11	88	86	0.85	0.82
12	89	86	0.86	0.82
13	90	83	0.87	0.79
14	87	81	0.84	0.76
15	84	83	0.79	0.78
16	87	84	0.84	0.80
17	88	81	0.85	0.76
18	86	83	0.82	0.79
19	86	76	0.82	0.69
20	86	82	0.82	0.77
21	83	84	0.79	0.79
22	90	86	0.87	0.82
23	86	86	0.82	0.82
24	84	81	0.80	0.76
25	83	84	0.79	0.79
26	88	87	0.85	0.84
27	87	84	0.84	0.80
28	82	71	0.77	0.64
29	86	84	0.82	0.79
30	88	85	0.84	0.81

จากตารางที่ 5.8 และ 5.9 เมื่อนำแต่ละช่วงคลื่นที่ถูกคัดเลือกทั้ง 30 รอบซึ่งมีจำนวนช่วงคลื่นที่สามารถซ้ำกันได้ 210 มาทำการจัดกลุ่ม โดยพิจารณาให้มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละกลุ่มน้อยที่สุดทั้งกรณีที่ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (กรณีขนาดโครโมโซมเท่ากับ 6 , 7 และ 8 ช่วงคลื่น) และ SFS โดยแสดงร่วมกับกราฟการสะท้อนเฉลี่ยของป่าชายเลนดังภาพที่ 5.7 ซึ่งในกรณีการคัดเลือกช่วงคลื่นแบบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (กรณีขนาดโครโมโซม

เท่ากับ 7) สามารถแบ่งออกเป็น 8 กลุ่มย่อยประกอบด้วย ช่วงคลื่นมองเห็น ( $477 \pm 9$  และ  $560 \pm 23$  nm), อินฟราเรดใกล้ ( $751 \pm 40$ ,  $1054 \pm 38$  และ  $1244 \pm 48$  nm) อินฟราเรดกลาง ( $1538 \pm 26$ ,  $1757 \pm 36$  และ  $2122 \pm 77$  nm) ตามลำดับ (ตัวเลขด้านหลังเครื่องหมาย  $\pm$  คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ในขณะที่ SFS นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 7 กลุ่มย่อยประกอบด้วย ช่วงคลื่นมองเห็น ( $476 \pm 25$  nm,  $553 \pm 20$  nm and  $641 \pm 0$ ) และอินฟราเรด ( $749 \pm 26$  nm,  $834 \pm 5$  nm,  $1082 \pm 32$  nm, and  $2151 \pm 68$  nm) ตามลำดับ โดยจาก ภาพที่ 5.7 จะเห็นว่าช่วงคลื่น 476 nm และ 834 nm ของ SFS ตรงกับผลลัพธ์การจัดกลุ่มของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมกรณี ขนาดโครโมโซมเท่ากับ 8



ภาพที่ 5.7 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการแบ่งกลุ่มช่วงคลื่นที่ได้จากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและ SFS (Koedsin and Vaiphasa 2013)

### 5.2.3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการจำแนกทางสถิติ

จากตาราง 5.10 ค่าความถูกต้องของการจำแนกจากทั้งสองวิธีการจะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่มีความสัมพันธ์กัน (Dependent T-Test) ซึ่งได้ผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบดังกล่าวสรุปได้ว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ซึ่งเป็นการยืนยันว่าผลการจำแนกที่ได้จากการคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยวิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรมให้ผลการทดลองที่มีความถูกต้องในการจำแนกมากกว่าการจำแนกด้วยช่วงคลื่นที่ได้จากการคัดเลือกด้วยวิธีการ SFS

ตารางที่ 5.11 (a) แสดงค่าสถิติพื้นฐานของค่าความถูกต้องที่ได้จากทั้งสองวิธีการ (b) แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าความถูกต้องในการจำแนกทั้งสองวิธีการ

(a)				
Statistics	GA		SFS	
	OA	K	OA	K
Average	87	0.83	82	0.77
Standard Deviation	2	0.03	5	0.06
Maximum	92	0.90	87	0.84
Minimum	82	0.77	67	0.58

(b)			
Accuracy Assessment	t	df	P-value
OA	5.170	29	0.000
K	5.170	29	0.000

### 5.2.4 ผลการจำแนกภาพถ่าย

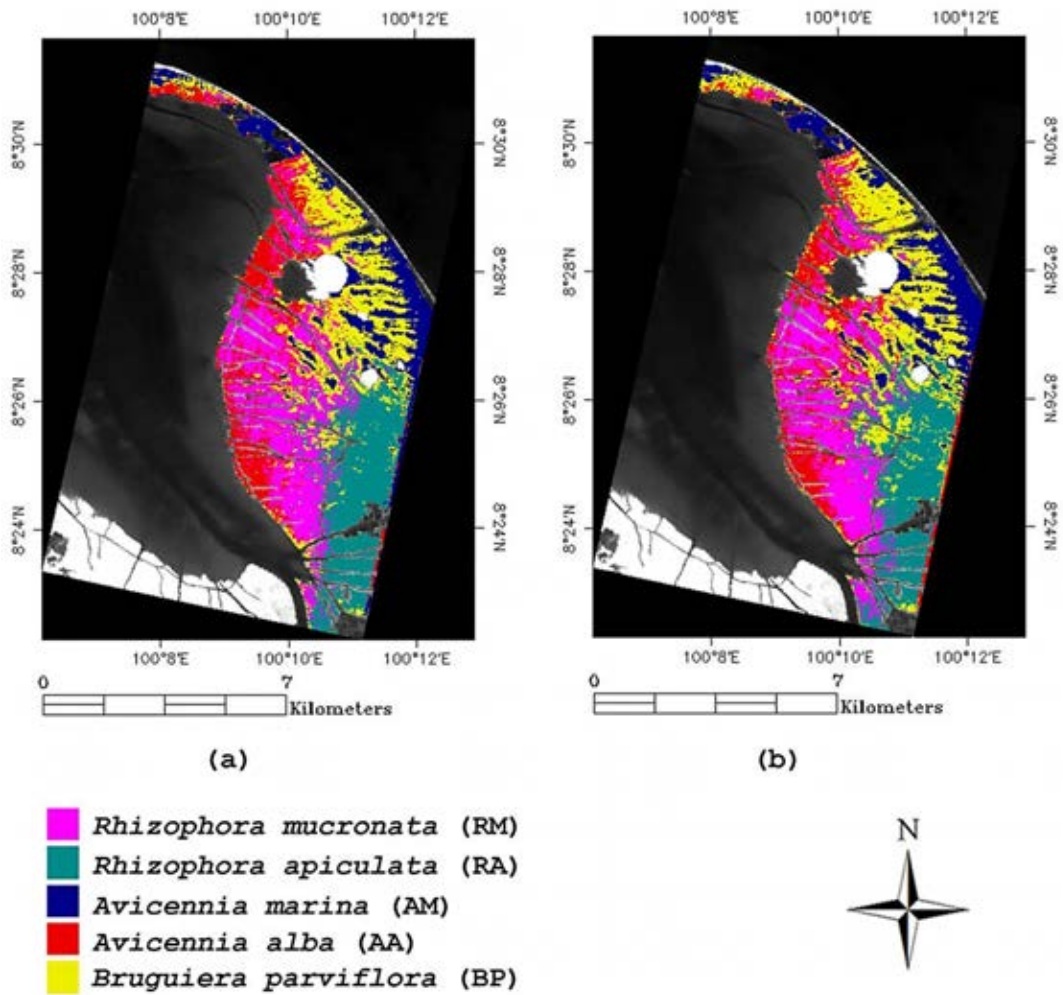
ในส่วนนี้จะแสดงผลการทดลองการจำแนกเฉพาะกรณีที่ทำให้ผลการจำแนกสูงสุดในแต่ละวิธีการเท่านั้น (ค่าสูงสุดในตารางที่ 5.9 และ 5.10) โดยที่เมตริกซ์ความคลาดเคลื่อนของทั้งสองแสดงดังตารางที่ 5.12 ซึ่งจากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าค่าความถูกต้องโดยรวมของข้อมูลทดสอบได้ถูกปรับปรุงจาก 87% เป็น 92% เมื่อใช้การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีเชิง

พันธุกรรม เช่นเดียวกันกับค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (User's Accuracy) และค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's Accuracy) โดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแทน SFS นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่าง โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*, RA) และ โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*, RM) มีน้อยลงด้วย (โปรดดูตัวเลขที่เน้นในตารางที่ 5.12) อย่างไรก็ตามถึงแม้ค่าความถูกต้องโดยรวมมีค่ามากขึ้น แต่ค่าความถูกต้องของผู้ผลิตกรณีแสมทะเล (*Avicennia marina*, AM) และค่าความถูกต้องของผู้ใช้งานกรณี แสมขาว (*Avicennia alba*, AA) มีค่าลดลง ส่วนแผนที่ที่ได้จากการจำแนกทั้งสองสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.8 โดยที่ก้อนกลมสีขาวซึ่งอยู่กลางป่าชายเลนคือก้อนเมฆซึ่งถูกกันออกจากการจำแนก และในส่วนที่ไม่ใช่ป่าชายเลนและนอกพื้นที่ศึกษาจะแสดงเป็นสีขาวดำ

ตารางที่ 5.12 แสดงเมตริกซ์ความคลาดเคลื่อนกรณีผู้ใช้ (a) ขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรมและ (b) SFS (Sequential Forward Selection)

<b>(a)</b>								
Class	RM	RA	AM	AA	BP	Total	Producer's Accuracy	User's Accuracy
RM	34	3	0	1	0	38	89	89
RA	3	43	0	0	1	47	84	91
AM	0	0	43	0	0	43	98	100
AA	1	3	1	29	1	35	97	83
BP	0	2	0	0	36	38	95	95
<b>Total</b>	38	51	44	30	38	<b>201</b>		

<b>(b)</b>								
Class	RM	RA	AM	AA	BP	Total	Producer's accuracy	User's accuracy
RM	26	8	0	0	0	34	68	76
RA	8	42	0	1	1	52	82	80
AM	0	0	44	0	1	45	100	97
AA	4	0	0	27	0	31	90	87
BP	0	1	0	2	36	39	94	92
<b>Total</b>	38	51	44	30	38	<b>201</b>		



ภาพที่ 5.8 แสดงผลการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนเมื่อ (a) ใช้การคัดเลือกช่วงคลื่นด้วยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมจำนวน 7 ช่วงคลื่น (b) ใช้จำนวนช่วงคลื่นทั้งหมดในการจำแนก โดยในส่วนที่ไม่ใช่ป่าชายเลนและพื้นที่นอกขอบเขตพื้นที่ศึกษาจะแสดงเป็นสีขาวดำ (Koedsin and Vaiphasa 2013)

## บทที่ 6

### อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการอภิปรายผลการวิจัย สรุปผลการวิจัยในประเด็นต่างๆ ข้อจำกัดในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยหรือเทคนิควิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์ในอนาคต

เนื่องด้วยงานวิจัยนี้มีการวิจัยในสองส่วน คือ การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน และการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนในระดับสายพันธุ์ ซึ่งการศึกษาในเรื่องดังกล่าวได้กระทำแยกกันอย่างชัดเจน ซึ่งจะได้แยกส่วนการอภิปรายและสรุปผลการทดลองแยกออกจากกัน

#### 6.1 อภิปรายผลการศึกษา

##### 6.1.1 การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบป่าชายเลน

จากผลการทดลองการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนในบริเวณแหลมตะลุมพุก อำเภอ ปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ในกรณีที่ใช้ดัชนีพืชพรรณแบบธรรมดาทั้งสองกรณีคือ ภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion และระบบ ALI ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้ (Adjusted  $R^2$ ) อยู่ในเกณฑ์ต่ำ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.262 – 0.434 และ 0.202 – 0.254 ในกรณีภาพถ่ายระบบ Hyperion และ ALI ตามลำดับ (ดูตารางที่ 5.1 -5.4 ประกอบ) ซึ่งสาเหตุส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากข้อมูลที่ได้จากแปลงตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองมีค่อนข้างน้อย (ในที่นี้คือ 31 แปลงตัวอย่าง) (ธัญวรา สัจจาพิทักษ์วงศ์ 2552) อย่างไรก็ตามถึงแม้จะมีข้อจำกัดดังกล่าว ก็เห็นได้อย่างชัดเจนว่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้มีค่ามากขึ้นเมื่อเปลี่ยนจากดัชนีพืชพรรณแบบธรรมดาคือ ดัชนีพืชพรรณช่วงคลื่นแคบ (Narrow-Band Vegetation Index) มาใช้ในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน ซึ่งวิธีการดังกล่าวก็มีข้อจำกัดเรื่องจำนวนตัวอย่างเช่นเดียวกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.513 -0.689 ซึ่งผลการทดลองที่จากงานวิจัยนี้ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Atzberger et al. (2003), Thenkabail, Smith, and De Pauw (2000), Cho et al. (2007) และ Darvishzadeh et al. (2008) ที่ได้สรุปไว้ว่าดัชนีพืชพรรณช่วงคลื่นแคบที่ได้จากภาพถ่ายไฮเปอร์สเปกตรัลสามารถประมาณค่าสมบัติทางชีวฟิสิกส์ (Bio-physical Variable) ของพืชได้ดีกว่าผลที่ได้ดัชนีพืชพรรณแบบดั้งเดิม

จากผลการทดลองในกรณีใช้ตัวแปรเดียวในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบนั้น (ดูตารางที่ 5.1 -5.4 ประกอบ) หากพิจารณาแบบจำลองที่เป็นเส้นตรงในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน ทั้งกรณีดัชนีพืชพรรณแบบธรรมดาและดัชนีพืชพรรณช่วงคลื่นแคบนั้น จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้มีค่าน้อยกว่าแบบจำลองแบบอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับค่า RMSE ที่มีค่ามากกว่าแบบจำลองอื่นๆ ด้วยเช่นกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองแบบเส้นตรงไม่เหมาะสมในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนที่มีความหนาแน่นของเรือนยอดสูง ซึ่งอาจจะมีผลมาจากปัญหาการอิ่มตัวของสัญญาณ (Saturation Problem) (Mutanga and Skidmore 2004; Hurcom and Harrison 1998; Fassnacht et al. 1997)

เมื่อทำการเปรียบเทียบการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากหลายๆ วิธีการในงานวิจัยนี้ ซึ่งได้แสดงไว้ดังตารางที่ 5.7 ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนด้วยวิธีการการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนทั้งกรณีภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion และ ALI ให้ผลการทดลองที่ดีกว่าการใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรเดียว ซึ่งใช้ค่าการสะท้อนเพียงสองช่วงคลื่นในการคำนวณ ในขณะที่การวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนนั้นสามารถใช้จำนวนช่วงคลื่นที่มากกว่าสองช่วงคลื่น (ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งาน) นำมาวิเคราะห์หองค์ประกอบที่เหมาะสมในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cho et al. (2007) และ Darvishzadeh et al. (2008)

ในขณะที่หากทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ระหว่างกรณีข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัล (ในที่นี้คือภาพถ่ายระบบ Hyperion) กับข้อมูลแบบหลายช่วงคลื่น (ในที่นี้คือภาพถ่ายระบบ ALI) ดังตารางที่ 5.7 จะเห็นว่าผลการทดลองที่ได้จากข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัลมีความสามารถในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนได้ดีกว่าข้อมูลแบบหลายช่วงคลื่น

การวิจัยนี้ในส่วนของ การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบถึงแม้จะใช้ข้อมูลจากงานวิจัยของ ธันวา สัจจาพิทักษ์วงศ์ (2552) อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้มีส่วนที่แตกต่างในส่วนก่อนการประมวลผล เช่น การทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศ การใช้ดัชนีพืชพรรณช่วงคลื่นแคบ และวิธีการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน มาใช้ในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบเป็นต้น ซึ่งผลการทดลองในงานวิจัยนี้สามารถให้ความถูกต้องในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบสูงกว่าความถูกต้องจากงานวิจัยของ ธันวา สัจจาพิทักษ์วงศ์ (2552) ซึ่งให้ค่า  $R^2$  อยู่ที่ 0.12- 0.28 เท่านั้น

ถึงแม้ว่าค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการศึกษานี้ไม่สามารถนำไปอ้างอิงเป็นค่าตัวแปรทางชีววิทยาของพื้นที่ศึกษาป่าชายเลนบริเวณแหลมตะลุมพุก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราชได้ เนื่องจากค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้คำนวณโดยใช้แบบจำลองรูปร่างกลมของเรือนยอดของต้นไม้ โดยไม่ได้ทำการวัดพื้นที่ผิวใบไม้ทั้งหมดในแปลงตัวอย่างแต่ผลสรุปถึงวิธีการในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการทดลองนี้สามารถนำไปใช้ได้

### 6.1.2 การจำแนกป่าชายเลน

จากการทบทวนวรรณกรรมในปัจจุบันพบว่ามียุทธศาสตร์งานวิจัยทางการสำรวจระยะไกลพยายามจะจำแนกและสร้างแผนที่ป่าชายเลนในระดับสายพันธุ์ (Green et al. 2000; Held et al. 2003; Demuro and Chisholm 2003; Neukermans et al. 2008; Kamal and Phinn 2011; Hirano, Madden, and Welch 2003) อย่างไรก็ตามความพยายามดังกล่าวยังไม่สามารถสรุปได้ว่าสามารถจำแนกป่าชายเลนในระดับสายพันธุ์ได้ โดยที่ Held et al. (2003) อาจเป็นงานวิจัยแรกที่สามารถสรุปได้แต่เป็นที่น่าเสียดายที่ภาพถ่ายไฮเปอร์สเปกตรัลของพื้นที่ศึกษามีเมฆปกคลุม ในขณะที่ Green et al. (2000), Demuro and Chisholm (2003) Kamal and Phinn (2011) และ Hirano, Madden, and Welch (2003) ก็ไม่สามารถสรุปได้เสียทีเดียวเนื่องจากป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษามีแค่ 2-3 สายพันธุ์เท่านั้น ส่วน Neukermans et al. (2008) ก็มีประเด็นปัญหาเรื่องการใช้งานเครื่องมือรับสัญญาณจีพีเอสที่มีค่าความถูกต้องต่ำกว่าค่าความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพถ่ายดาวเทียมที่ทำการศึกษาดังนั้นงานวิจัยนี้ถือว่าเป็นครั้งแรกที่สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัลบนดาวเทียมร่วมกับเทคนิคการคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรมสามารถจำแนกป่าชายเลนในระดับสายพันธุ์จำนวน 5 สายพันธุ์ได้ โดยข้อสรุปนี้สามารถยืนยันได้จากผลการทดลองในตารางที่ 5.12 ซึ่งค่าความถูกต้องในการจำแนกที่ได้จากงานวิจัยนี้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับเมื่อจำแนกในระดับสายพันธุ์ของหน่วยงานสำรวจทางธรณีวิทยาสหรัฐอเมริกา (United States Geological Survey, USGS) (Anderson et al. 1976) นอกจากนี้การที่มีการสุ่มข้อมูลในการสอนและทดสอบออกเป็น 30 ชุดข้อมูลทำให้มั่นใจได้ว่าผลการทดลองที่ออกมาไม่มีความลำเอียงและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น



ถึงแม้ว่าผลการจำแนกที่ได้จะมีค่าความถูกต้องสูงถึง 92% แต่การแยกระหว่าง โกงกางใบเล็ก ( *Rhizophora apiculata*, RA) และ โกงกางใบใหญ่ ( *Rhizophora mucronata*, RM) ก็ยังคงไม่สามารถแยกกันได้ดี ซึ่งการสับสนระหว่างสเปกตรัมของทั้งสองสอดคล้องกับ ผลการวิจัยที่ผ่านมา (Vaiphasa et al. 2005; Vaiphasa, Skidmore, and Deboer 2006 ) อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าโกงกางใบเล็กและโกงกางใบใหญ่จะมีค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นต่างๆ ใกล้เคียงกันมาก (ดูภาพที่ 4.2 ประกอบ) หากพิจารณาถึงขนาดใบจะมีความหยาบ (Texture) ที่แตกต่างกัน ความแตกต่างนี้ น่าจะสามารถนำมาใช้แก้ปัญหาได้ในงานวิจัยต่อๆ ไป ในขณะที่ ความสับสนระหว่าง โกงกางใบเล็ก โกงกางใบใหญ่และพันธุ์ไม้เบิกนำ เช่น แสมขาว สามารถแสดงถึงพื้นที่ศึกษาจริงๆ ที่มีการนำโกงกางไปปลูกในพื้นที่ใกล้ๆ กับบริเวณอ่าว ซึ่งเป็นบริเวณที่มี แสมขาวอยู่และเป็นพันธุ์ไม้เบิกนำซึ่งทำให้เกิดความสับสนดังกล่าวเกิดขึ้น

การคัดเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมด้วยเทคนิคขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรมสามารถปรับปรุงค่าความถูกต้องโดยรวมจาก 87% เป็น 92 % นั้น อาจมีผลมาจากตำแหน่งของช่วงคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางชีวเคมีของพืชประกอบด้วย รงควัตถุของใบ (leaf pigments) (Williams and Norris 1987; P. J. Curran 1989; Elvidge 1990; Kumar et al. 2001) คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ (chlorophylls and carotenoid) (Jensen 2007; Curran 1989; Elvidge 1990; Menon and Neelakantan 1992; Basak, Das, and Das 1996; Das et al. 2002) โครงสร้างภายในของใบพืช (Jensen 2007; Curran 1989; Kumar et al. 2001) ปริมาณของช่องว่างอากาศระหว่างเซลล์ของใบพืช (volumes of intercellular air spaces) (Williams and Norris 1987; Curran 1989; Kumar et al. 2001; Jensen 2007) ปริมาณทางชีวเคมีของใบ (foliar biochemical contents) (Curran 1989; Kumar et al. 2001; Jensen 2007) และปริมาณน้ำในใบพืช (Ceccato et al. 2001; Yuan, Sun, and Niu 2010 ) โดยช่วงคลื่นที่ได้จากงานวิจัยนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Schmidt and Skidmore (2003) Adam and Mutanga (2009) และ Adam et al. (2012) ซึ่งศึกษาพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ ในขณะที่ Sequential Forward Selection ช่วงคลื่นผ่านการคัดเลือก ดังตารางที่ 5.9 ค่อนข้างจะมีการกระจุกตัวไม่ได้กระจายไปในตำแหน่งช่วงคลื่นที่มีความสำคัญต่อพืชดังที่กล่าวมาข้างต้น ตัวอย่างเช่นช่วงคลื่นที่ผ่านการเลือกครั้งที่ 26 (Runs 26) ที่ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมสูงสุดเป็นต้น ซึ่งมีช่วงคลื่นที่ค่อนข้างใกล้กันมาก (498 nm, 529 nm, and 569 nm) อย่างไรก็ตามหลังจากการทำการรวมกลุ่มโดยคำนึงถึงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานให้น้อยที่สุดนั้น (ภาพที่ 5.7) ช่วงคลื่นที่ได้มีความใกล้เคียงกับช่วงคลื่นที่ผ่านการจัดกลุ่มด้วยขั้นตอนเชิงพันธุกรรมซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่งานวิจัยนี้มีการสุ่มข้อมูลที่

แตกต่างกัน 30 ชุดข้อมูลทำให้ Sequential Forward Selection สามารถเอาชนะค่าต่ำสุดท้องถิ่น (Local Minima) ได้

เนื่องด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นมีความยืดหยุ่นในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (Goldberg 1989; Siedlecki and Sklansky 1989; Mitchell 1998; Fidelis, Lopes, and Freitas 2000; Bandyopadhyay and Pal 2001; Vaiphasa, Skidmore, et al. 2007) เช่นการกำหนดวิธีการเข้ารหัส ขนาดของประชากร อัตราการไขว้เปลี่ยน วิธีการคัดเลือก และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนฟังก์ชันความเหมาะสมจากค่าความถูกต้องโดยรวมที่ได้จากการจำแนก Spectral Angle Mapper เป็น ค่าความถูกต้องจากการจำแนกวิธีการอื่นๆ หรือแม้แต่จะเป็นการเปลี่ยนจากค่าความถูกต้องโดยรวมเป็นค่าสัมประสิทธิ์ kappa เป็นต้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้อาจมีผลต่อวิวัฒนาการ (Evolution) เช่น จำนวนรอบและเวลาในการเรียนรู้ เป็นต้น อย่างไรก็ตามด้วยความความแข็งแรงของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะยังคงให้ผลลัพธ์ที่คล้ายคลึงกัน (Goldberg 1989) และผลกระทบดังกล่าวอยู่นอกเหนือจากขอบเขตของงานวิจัยนี้

แม้ว่าในงานวิจัยนี้การออกเก็บข้อมูลภาคสนามในกรณีการจำแนกป่าชายเลนได้กระทำหลังจากมีการถ่ายภาพ 8 เดือนแต่องค์ประกอบของป่าชายเลนคือโดยทั่วไปมีความยืดหยุ่นต่อการรบกวนและการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติ (Alongi 2008)

## 6.2 สรุปผลการศึกษา

### 6.2.1 สรุปผลการวิจัยการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

จากวิธีการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบนั้นวิธีการแบบการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนให้ค่าความถูกต้องในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนบริเวณแหลมตะลุมพุก อ.ปากพนัง จ. นครศรีธรรมราชได้ดีที่สุด โดยมีค่าค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย เท่ากับ 0.192 และ 0.337 ในกรณีภาพถ่าย Hyperion และ ALI ตามลำดับ (ดูตารางที่ 5.7ประกอบ) ซึ่งข้อสรุปนี้อาจมีผลมาจากการที่วิธีการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนใช้จำนวนช่วงคลื่นที่มากกว่าซึ่งเมื่อเทียบกับวิธีการการวิเคราะห์

การถอดแบบตัวแปรเดียวแล้วจะเห็นว่ามีการใช้ช่วงคลื่นเพียงสองช่วงคลื่นในการคำนวณดัชนีพืชพรรณเท่านั้น

จากผลการทดลองการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบการวิเคราะห์การถอดแบบตัวแปรเดียวนั้นสมการเส้นตรงจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดลึนใจที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อื่นๆ ทำให้สามารถสรุปว่าสมการเส้นตรงไม่เหมาะสมต่อการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าที่มีความหนาแน่นของเรือนยอดสูง

ในขณะที่ประเด็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนของข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัลกับข้อมูลแบบหลายช่วงคลื่นนั้น สรุปได้ว่า ข้อมูลภาพแบบไฮเปอร์สเปกตรัลให้ผลการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนได้ดีกว่าข้อมูลภาพแบบหลายช่วงคลื่น โดยสามารถปรับปรุงค่าความถูกต้องให้มีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้ข้อมูลแบบหลายช่วงคลื่น 43% (ค่าค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยจาก 0.337 เป็น 0.192 ในกรณีใช้วิธีการวิเคราะห์การถอดแบบวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน)

## 6.2.2 สรุปผลการวิจัยการจำแนกป่าชายเลนในระดับสายพันธุ์

งานวิจัยนี้เป็นครั้งแรกที่สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลภาพไฮเปอร์สเปกตรัลสามารถจำแนกป่าชายเลนในระดับสายพันธุ์ได้เมื่อร่วมกับเทคนิคการคัดเลือกช่วงคลื่นแบบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมทำให้สามารถจำแนกป่าชายเลนจำนวน 5 สายพันธุ์เด่นได้อย่างถูกต้อง โดยวิธีการดังกล่าวสามารถปรับปรุงค่าความถูกต้องโดยรวมจาก 87% เป็น 92% อย่างไรก็ตามผลการทดลองยังมีความสับสนระหว่างโกงกางใบเล็ก และโกงกางใบใหญ่และพันธุ์ไม้เบิกนำชนิดอื่นเช่น แสมขาว โดยผู้วิจัยคาดหวังว่าวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้กับการจำแนกระดับสายพันธุ์กับพื้นที่อื่นๆ ได้

### 6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 จำนวนแปลงตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยมีจำนวนน้อยซึ่งอาจทำให้ผลการวิจัยออกมาไม่มีความถูกต้องมากนักโดยเฉพาะการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ ในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีแปลงตัวอย่างมากกว่านี้

6.3.2 ในงานวิจัยนี้ทำให้สรุปได้ว่าในกรณีที่พื้นที่ศึกษามีความหนาแน่นของเรือนยอดสูง การใช้หลายช่วงคลื่นในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบนั้นให้ผลดีกว่าการใช้ดัชนีพืชพรรณที่ใช้เพียงสองช่วงคลื่น ดังนั้นจึงควรมีการทดสอบเทคนิคการเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการนำมาประมาณค่าร่วมกับเทคนิคอื่นๆ ที่สามารถใช้หลายช่วงคลื่น เช่น โครงข่ายประสาทเทียม Support Vector Machine เป็นต้น

6.3.3 ในการแก้ปัญหาความสับสนของค่าการสะท้อนระหว่างโงก่างใบเล็กกับโงก่างใบใหญ่ อาจใช้ค่าความหยาบของใบที่แตกต่างกันมาช่วยในการจำแนก

6.3.4 พังค์ชันความเหมาะสมของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถกำหนดแบบหลายเกณฑ์ (multi-criteria) ในคราวเดียวกันได้ซึ่งอาจเหมาะสมกับการนำไปใช้ในกรณีการแยกระหว่างโงก่างใบเล็กและโงก่างใบใหญ่

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

เฉลิมชนม์ สติระพจน์. ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System: GPS). ใน

ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์, หน้า 218-235. กรุงเทพมหานคร:

สำนักงานพัฒนาอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552.

ชลิตา ศรีลัดดา. อิทธิพลของโครงสร้างเรือนยอดต่อการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติ

ในสวนป่าชายเลน อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต.

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548.

วิโรจน์ ธีรนาถ. คู่มือศึกษาระบบนิเวศป่าชายเลน อ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช.

กรุงเทพมหานคร: ส่วนวิจัยเศรษฐกิจและพัฒนากิจการป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้

กรมป่าไม้, 2543.

ธัญญา สัจจาพิทักษ์วงศ์. การใช้ค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากเทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์

สเปกตรัลเพื่อศึกษาตัวแปรทางชีววิทยาของป่าชายเลน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต

, สาขาวิชาการระบบสารสนเทศปริภูมิทางวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะ

วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬุ. ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้.

กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,

2538.

สำนักอนุรักษ์ป่าชายเลน. พันธุ์ไม้ป่าชายเลนในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุม

สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, 2552.

### ภาษาอังกฤษ

Adam, E. M.; Mutanga, O.; Rugege, D.; and Ismail, R. Discriminating the Papyrus

Vegetation (*Cyperus Papyrus* L.) and Its Co-existent Species Using Random

Forest and Hyperspectral Data Resampled to HYMAP. International Journal of

Remote Sensing 33 (January 2012): 552–569.

Adam, E.; and Mutanga, O. Spectral Discrimination of Papyrus Vegetation (*Cyperus*

*Papyrus* L.) in Swamp Wetlands Using Field Spectrometry. ISPRS Journal of

Photogrammetry and Remote Sensing 64 (November 2009): 612–620.

Alongi, D. M. Present State and Future of the World's Mangrove Forests. Environmental

- Conservation 29 (2002): 331–349.
- Alongi, D. M. Mangrove Forests: Resilience, Protection from Tsunamis, and Responses to Global Climate Change. Estuarine, Coastal and Shelf Science 76 (January 2008): 1–13.
- Alongi, D.M. The Energetics of Mangrove Forests. 1<sup>st</sup> ed. New York , USA: Springer, 2009.
- Anderson, J. R.; Hardy, E. H.; Roach, J. T.; and Whitmer, R. E. A Land Use Sensor and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensing Data. Geological Survey Professional Paper 964 (1976): 1-28.
- Atzberger, C.; Guerif, M., Baret, F.; and Werner, W. Comparative Analysis of Three Chemometric Techniques for the Spectroradiometric Assessment of Canopy Chlorophyll Content in Winter Wheat. Computers and Electronics in Agriculture 73 (August 2010): 165–173.
- Atzberger, C., Jarmer, T., Kötz , B., Schlerf, M., and Werner, W. Spectroradiometric Determination of Wheat Bio-physical Variables Comparison of Different Empirical-statistical Approaches.” In Remote Sensing in Transitions, Proc. 23<sup>rd</sup> EARSeL symposium, pp. 2–5. Belgium, 2003.
- Bacour, C.; Jacquemoud, S.; Tourbier, Y.; Dechambre, M.; and Frangi, J. P. Design and Analysis of Numerical Experiments to Compare Four Canopy Reflectance Models. Remote Sensing of Environment 79 (January 2002): 72–83.
- Bandyopadhyay, S.; and Pal, S. K. Pixel Classification Using Variable String Genetic Algorithms with Chromosome Differentiation. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 39 (February 2001): 303–308.
- Barbier, E.; and Sathirathai, S. Shrimp Farming and Mangrove Loss in Thailand. illustrated edition. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing, 2004.
- Basak, U.; Das, A.; and Das, P. Chlorophylls, Carotenoids, Proteins and Secondary Metabolites in Leaves of 14 Species of Mangrove. Bulletin of Marine Science 58 (May 1996): 654–659.
- Bastien, P.; Vinzi, V. E.; and Tenenhaus, M. PLS Generalised Linear Regression.

- Computational Statistics & Data Analysis 48 (January 2005): 17–46.
- Blackburn, G. Quantifying Chlorophylls and Carotenoids at Leaf and Canopy Scales: An Evaluation of Some Hyperspectral Approaches. Remote Sensing of Environment 66 (December 1998): 273–285.
- Ceccato, P.; Flasse, S., Tarantola, S.; Jacquemoud, S.; and Grégoire, J.M. Detecting Vegetation Leaf Water Content Using Reflectance in the Optical Domain. Remote Sensing of Environment 77 (July 2001): 22–33.
- Chang, C. I. Hyperspectral Data Exploitation: Theory and Applications. 1<sup>st</sup> ed. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley-Interscience, 2007.
- Cho, M.; Skidmore, A.; Corsi, F.; van Wieren, S.; and Sobhan, I. Estimation of Green Grass/herb Biomass from Airborne Hyperspectral Imagery Using Spectral Indices and Partial Least Squares Regression. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 9 (December 2007): 414–424.
- Cho, M.; Skidmore, A.; and Sobhan, I. Mapping Beech (*Fagus Sylvatica* L.) Forest Structure with Airborne Hyperspectral Imagery.” International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 11 (June 2009): 201–211.
- Cohen, W B. Response of Vegetation Indexes to Changes in 3 Measures of Leaf Water-Stress. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 57 (1991): 195–202.
- Conchedda, G.; Durieux, L.; and Mayaux, P. An Object-based Method for Mapping and Change Analysis in Mangrove Ecosystems. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 63 (September 2008): 578–589.
- Congalton, R. G.; and Green, K. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices, 2<sup>nd</sup> ed. CRC Press, 2008.
- Curran, P. J. 1989. “Remote Sensing of Foliar Chemistry.” Remote Sensing of Environment 30 (3): 271–278.
- Curran, P.; Dungan, J.; and Peterson, D. Estimating the Foliar Biochemical Concentration of Leaves with Reflectance Spectrometry Testing the Kokaly and Clark Methodologies. Remote Sensing of Environment 76 (June 2001): 349–359.
- Dahdouh-Guebas, F.; Verheyden, A.; Kairo, J. G.; Jayatissa, L. P.; and Koedam, N.

- Capacity Building in Tropical Coastal Resource Monitoring in Developing Countries: A Re-appreciation of the Oldest Remote Sensing Method. International Journal of Sustainable Development & World Ecology 13 (February 2006): 62–76.
- Darvishzadeh, R.; Skidmore, A.; Schlerf, M.; Atzberger, C.; Corsi, F.; and Cho, M. LAI and Chlorophyll Estimation for a Heterogeneous Grassland Using Hyperspectral Measurements. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 63 (July 2008): 409–426.
- Das, A., Parida, A., Basak, U., and Das, P. Studies on Pigments, Proteins and Photosynthetic Rates in Some Mangroves and Mangrove Associates from Bhitarkanika, Orissa. Marine Biology 141 (September 2002): 415–422.
- Daszykowski, M.; Serneels, S.; Kaczmarek, K.; Van Espen, P.; Croux, C.; and Walczak, B. TOMCAT: A MATLAB Toolbox for Multivariate Calibration Techniques. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 85 (February 2007): 269–277.
- Datt, B.; McVicar, T. R.; Van Niel, T. G.; Jupp, D. L.; and Pearlman, J. S. Preprocessing EO-1 Hyperion Hyperspectral Data to Support the Application of Agricultural Indexes. IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing, 41 (June 2003): 1246–1259.
- De Jong, S.; Pebesma, E.; and Lacaze, B. Above-ground Biomass Assessment of Mediterranean Forests Using Airborne Imaging Spectrometry: The DAIS Peyne Experiment. International Journal of Remote Sensing 24 (April 2003): 1505–1520.
- Demuro, M.; and Chisholm, L. Assessment of Hyperion for Characterizing Mangrove Communities. In Proceedings of the 12<sup>th</sup> JPL AVIRIS Airborne Earth Science Workshop, pp. 18-23. Pasadena, CA, USA, 2003.
- Ellison, A. M.; and Farnsworth, E. J. 1996. Anthropogenic Disturbance of Caribbean Mangrove Ecosystems: Past Impacts, Present Trends, and Future Predictions. Biotropica (1996): 549–565.
- Elvidge, C.D. Visible and Near Infrared Reflectance Characteristics of Dry Plant Materials. International Journal of Remote Sensing 11 (1990): 1775–1795.



- Elvidge, C.; and Chen, Z. Comparison of Broad-band and Narrow-Band Red and Near-Infrared Vegetation Indexes. Remote Sensing of Environment 54 (October 1995): 38–48.
- Everitt, J. H.; Yang, C.; Summy, K. R.; Judd, F. W.; and Davis, M. R. Evaluation of Color-Infrared Photography and Digital Imagery to Map Black Mangrove on the Texas Gulf Coast. Journal of Coastal Research 231 (January 2007): 230–235.
- Fang, H.; Liang, S.; and Kuusk, A. Retrieving Leaf Area Index Using a Genetic Algorithm with a Canopy Radiative Transfer Model. Remote Sensing of Environment 85 (May 2003): 257–270.
- FAO. The World's Mangroves 1980-2005. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 2007.
- Farnsworth, E. J.; and Ellison, A. M. The Global Conservation Status of Mangroves. Ambio 26 (September 1997): 328–334.
- Fassnacht, K. S.; Gower, S. T.; MacKenzie, M. D.; Nordheim, E. V.; and Lillesand, T. M. Estimating the Leaf Area Index of North Central Wisconsin Forests Using the Landsat Thematic Mapper. Remote Sensing of Environment 61 (August 1997): 229–245.
- Fidelis, M. V.; Lopes, H. S.; and Freitas, A. A. 2000. Discovering Comprehensible Classification Rules with a Genetic Algorithm. In Proceedings of the 2000 Congress on Evolutionary Computation, pp. 805 –810. La Jolla, California, USA. 2000.
- Gao, J. A Comparative Study on Spatial and Spectral Resolutions of Satellite Data in Mapping Mangrove Forests. International Journal of Remote Sensing 20 (January 1999): 2823–2833.
- Gao, J. A Hybrid Method Toward Accurate Mapping of Mangroves in a Marginal Habitat from SPOT Multispectral Data. International Journal of Remote Sensing 19 (January 1998): 1887–1899.
- Gao, X.; Huete, A.; Ni, W.; and Miura, T. Optical-biophysical Relationships of Vegetation Spectra Without Background Contamination. Remote Sensing of Environment

- 74 (December 2000): 609–620.
- Geladi, P., & Kowalski, B. R.. Partial Least-squares Regression: a Tutorial. Analytica Chimica Acta 185 (1986): 1–17.
- Giesen, W.; Cochran, S.; and Scholten, L. Mangrove Guidebook for Southeast Asia. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bangkok, Thailand: Regional Office for Asia and the Pacific, 2006.
- Goldberg, D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. 1<sup>st</sup> ed. USA: Addison-Wesley Professional. 1989.
- Gong, P.; Pu, R.; Biging, G. S.; and Larrieu, M. R. Estimation of Forest Leaf Area Index Using Vegetation Indices Derived from Hyperion Hyperspectral Data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 41 ( June 2003): 1355–1362.
- Gong, P.; Pu, R.; and Miller, J. R. Correlating Leaf Area Index of Ponderosa Pine with Hyperspectral CASI Data. Canadian Journal of Remote Sensing 18 (1992): 275–282.
- Green, E. P.; Clark, C. D.; Mumby, P. J.; Edwards, A. J.; and Ellis, A. C. Remote Sensing Techniques for Mangrove Mapping. International Journal of Remote Sensing 19 (1998): 935–956.
- Green, Edmund P.; Mumby, P. J.; Edwards, A. J.; Clark, C. D.; and Ellis, A. C.. Estimating Leaf Area Index of Mangroves from Satellite Data. Aquatic Botany 58 (July 1997): 11–19.
- Green, Edmund P.; Mumby, P. J.; Edwards, A. J.; and Clark, C. D. Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management. UNESCO. 2000.
- Hamilton, L. S, and S. C Snedaker. Handbook for Mangrove Area Management. 1984.
- Hansen, P. M.; and Schjoerring, J. K. Reflectance Measurement of Canopy Biomass and Nitrogen Status in Wheat Crops Using Normalized Difference Vegetation Indices and Partial Least Squares Regression. Remote Sensing of Environment 86 (August 2003): 542–553.
- Held, A.; Ticehurst, C.; Lymburner, L.; and Williams, N. High Resolution Mapping of Tropical Mangrove Ecosystems Using Hyperspectral and Radar Remote

- Sensing. International Journal of Remote Sensing 24 (2003): 2739–2759.
- Heumann, B. W. Satellite Remote Sensing of Mangrove Forests: Recent Advances and Future Opportunities. Progress in Physical Geography 35 (February 2011): 87–108.
- Hirano, A.; Madden, M.; and Welch, R. Hyperspectral Image Data for Mapping Wetland Vegetation. Wetlands 23 (2003): 436–448.
- Hogarth, P.J. The Biology of Mangroves and Seagrasses. New York, USA: Oxford University Press 2007.
- Holland, J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. USA: University of Michigan press. 1975
- Hurcom, S.; and Harrison, A. R. The NDVI and Spectral Decomposition for Semi-arid Vegetation Abundance Estimation. International Journal of Remote Sensing 19 (1998): 3109–3125.
- Jensen, J. R. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. 2<sup>nd</sup> ed. USA: Prentice Hall Series in Geographic Information Science, 2007.
- Jensen, R.; and Binford, M. Measurement and Comparison of Leaf Area Index Estimators Derived from Satellite Remote Sensing Techniques. International Journal of Remote Sensing (October 2004): 4251–4265.
- Jongschaap, R. Run-time Calibration of Simulation Models by Integrating Remote Sensing Estimates of Leaf Area Index and Canopy Nitrogen. EUROPEAN Journal of Agronomy 24 (May 2006): 316–324.
- Kairo, J. G.; Kiviyatu, B.; and Koedam, N. Application of Remote Sensing and GIS in the Management of Mangrove Forests Within and Adjacent to Kiunga Marine Protected Area, Lamu, Kenya. Environment, Development and Sustainability 4 (2002): 153–166.
- Kamal, M.; and Phinn, S. Hyperspectral Data for Mangrove Species Mapping: A Comparison of Pixel-Based and Object-Based Approach. Remote Sensing 3 (October 2011): 2222–2242.
- Koedsin, W.; and Vaiphasa, C. Discrimination of Tropical Mangroves at the Species

- Level with EO-1 Hyperion Data. Remote Sensing 5 (July 2013): 3562–3582.
- Kovacs, J.; Flores-Verdugo, F.; Wang, J.; and Aspden, L. Estimating Leaf Area Index of a Degraded Mangrove Forest Using High Spatial Resolution Satellite Data. Aquatic Botany 80 (September 2004): 13–22.
- Kovacs, J.; King, J.; de Santiago, F.; and Flores-Verdugo, F. 2009. Evaluating the Condition of a Mangrove Forest of the Mexican Pacific Based on an Estimated Leaf Area Index Mapping Approach. Environmental Monitoring and Assessment 157 (1-4) (October 2009): 137–149.
- Kumar, L.; Schmidt, K.; Dury, S.; and Skidmore, A. Imaging Spectrometry and Vegetation Science. In Van der Meer, F., de Jong, (eds), Imaging Spectrometry: Basic Principles and Prospective Applications, pp. 1-52. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- Law, B. E., and Waring, R. H. Remote Sensing of Leaf Area Index and Radiation Intercepted by Understory Vegetation. Ecological Applications (1994): 272–279.
- Lee, K. S.; Cohen, W. B.; Kennedy, R. E.; Maiersperger, T. K.; and Gower, S. T. Hyperspectral Versus Multispectral Data for Estimating Leaf Area Index in Four Different Biomes. Remote Sensing of Environment 91 (June 2004): 508–520.
- Li, L.; Cheng, Y.; Ustin, S.; Hu, X.; and Riano, D. Retrieval of Vegetation Equivalent Water Thickness from Reflectance Using Genetic Algorithm (GA)-partial Least Squares (PLS) Regression. Advances in Space Research 41 (2008): 1755–1763.
- Li, L.; Ustin, S. L.; and Riano, D. Retrieval of Fresh Leaf Fuel Moisture Content Using Genetic Algorithm Partial Least Squares (GA-PLS) Modeling. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 4 (April 2007): 216–220.
- Linneweber, V. Mangrove Ecosystems: Function and Management. 1<sup>st</sup> ed. New York, USA: Springer, 2002.
- Lugo, A. E.; and Snedaker, S. C. The Ecology of Mangroves. Annual Review of Ecology and Systematics 5 (1974): 39–64.
- Menon, G. G.; and Neelakantan, B. Chlorophyll and Light Attenuation from the Leaves of Mangrove Species of Kali Estuary. Indian Journal of Marine Sciences 21 (1992):

13–16.

Mitchell, M. An Introduction to Genetic Algorithms. Cambridge, Massachusetts, USA: The MIT Press, 1998.

Mutanga, O.; and Skidmore, A. Narrow Band Vegetation Indices Overcome the Saturation Problem in Biomass Estimation. International Journal of Remote Sensing 25 (October 2004): 3999–4014.

Myneni, R., and Asrar, G. Atmospheric Effects and Spectral Vegetation Indexes. Remote Sensing of Environment 47 (March 1994): 390–402.

Neukermans, G.; Dahdouh-Guebas, F.; Kairo, J. G.; and Koedam, N. Mangrove Species and Stand Mapping in Gazi Bay (Kenya) Using Quickbird Satellite Imagery. Journal of Spatial Science 53 (2008): 75–86.

Nguyen, H.; and Lee, B. Assessment of Rice Leaf Growth and Nitrogen Status by Hyperspectral Canopy Reflectance and Partial Least Square Regression. European Journal of Agronomy 24 (May 2006): 349–356.

Pohlheim, H. 2012. Evolutionary Algorithms 3 Selection. [Online]. (n.d.). Available from: <http://www.geatbx.com/docu/algindex-02.html>. [ 2010, April 5]

Propastin, P.; and Kappas, M. Integration of Landsat ETM Plus Data with Field Measurements for Mapping Leaf Area Index in the Grasslands of Central Kazakhstan. GIScience & Remote Sensing 46 (June 2009): 212–231.

Pu, R.; Yu, Q.; Gong, P.; and Biging, G. EO-1 Hyperion, ALI and Landsat 7 ETM+ Data Comparison for Estimating Forest Crown Closure and Leaf Area Index. International Journal of Remote Sensing 26 (February 2005): 457–474.

Ramsey, E. W.; and Jensen, J. R. Remote Sensing of Mangrove Wetlands: Relating Canopy Spectra to Site-specific Data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 62 (1996): 939–948.

Rao, N.; Garg, P.; and Hosh, S. Estimation and Comparison of Leaf Area Index of Agricultural Crops Using IRS LISS-III and EO-1 Hyperion Images. Photonirvachak-Journal of the Indian Society of Remote Sensing 34 (March 2006): 69–78.

- Running, S. W.; Peterson, D. L.; Spanner, M. A.; and Teuber, K. B. Remote Sensing of Coniferous Forest Leaf Area. Ecology 67 (1986): 273–276.
- Schlerf, M.; Atzberger, C.; and Hill, J. Remote Sensing of Forest Biophysical Variables Using HyMap Imaging Spectrometer Data. Remote Sensing of Environment 95 (March 2005): 177–194.
- Schmidt, K. S.; and Skidmore, A. K. Spectral Discrimination of Vegetation Types in a Coastal Wetland. Remote Sensing of Environment 85 (April 2003): 92–108.
- Siedlecki, W.; and Sklansky, J. A Note on Genetic Algorithms for Large-scale Feature Selection. Pattern Recognition Letters 10 (1989): 335–347.
- Somol, P.; and Pudil, P. Feature Selection Toolbox. Pattern Recognition 35 (2002): 2749–2759.
- Spanner, M. A.; Pierce, L. L.; Peterson, D. L.; and Running, S. W. Remote Sensing of Temperate Coniferous Forest Leaf Area Index. The Influence of Canopy Closure, Understory Vegetation and Background Reflectance. International Journal of Remote Sensing 11 (1990): 95–111.
- Sulong, I., Mohd-Lokman, H., Mohd-Tarmizi, K., & Ismail, A. Mangrove Mapping Using Landsat Imagery and Aerial Photographs: Kemaman District, Terengganu, Malaysia. Environment, Development and Sustainability 4 (2002): 135–152.
- Thenkabail, P.S.; Enclona, E.; Ashton, M.; Legg, C.; and De Dieu, M. 2004. Hyperion, IKONOS, ALI, and ETM Plus Sensors in the Study of African Rainforests. Remote Sensing of Environment 90 (March 2004): 23–43.
- Thenkabail, P. S.; Smith, R. B.; and De Pauw, E. Hyperspectral Vegetation Indices and Their Relationships with Agricultural Crop Characteristics. Remote Sensing of Environment 71 (2000): 158–182.
- Tomlinson, P. B. The Botany of Mangroves. USA: Cambridge University Press, 1995.
- Vaiphasa, C.; Boer, W. F.; Skidmore, A. K.; Panitchart, S.; Vaiphasa, T.; Bamrongrugs, N.; and Santitamnont, P. Impact of Solid Shrimp Pond Waste Materials on Mangrove Growth and Mortality: a Case Study from Pak Phanang, Thailand. Hydrobiologia 591 (October 2007): 47–57.

- Vaiphasa, C.; Ongsomwang, S.; Vaiphasa, T.; and Skidmore, A. K. Tropical Mangrove Species Discrimination Using Hyperspectral Data: A Laboratory Study. Estuarine, Coastal and Shelf Science 65 (October 2005): 371–379.
- Vaiphasa, C.; Skidmore, A.; and Deboer, W. A Post-classifier for Mangrove Mapping Using Ecological Data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 61 (October 2006): 1–10.
- Vaiphasa, C.; Skidmore, A. K.; de Boer, W. F.; and Vaiphasa, T. A Hyperspectral Band Selector for Plant Species Discrimination. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 62 (August 2007): 225–235.
- Wang, L; Sousa, W. P.; and Gong, P. 2004. Integration of Object-based and Pixel-based Classification for Mapping Mangroves with IKONOS Imagery. International Journal of Remote Sensing 25 (December 2004): 5655–5668.
- Wang, L; Sousa, W. P.; Gong, P.; and Biging, G. S. Comparison of IKONOS and QuickBird Images for Mapping Mangrove Species on the Caribbean Coast of Panama. Remote Sensing of Environment 91 (June 2004): 432–440.
- Wang, L.; and Sousa, W. Distinguishing Mangrove Species with Laboratory Measurements of Hyperspectral Leaf Reflectance. International Journal of Remote Sensing 30 (2009): 1267–1281.
- Weiss, M.; and Baret, F. Evaluation of Canopy Biophysical Variable Retrieval Performances from the Accumulation of Large Swath Satellite Data. Remote Sensing of Environment 70 (December 1999): 293–306.
- Williams, P.; and Norris, K. Near-infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. USA: American Association of Cereal Chemists, 1987.
- Xin H.; Liangpei Z.; and Le W. Evaluation of Morphological Texture Features for Mangrove Forest Mapping and Species Discrimination Using Multispectral IKONOS Imagery. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 6 (July 2009): 393–397.
- Yuan, J.; Sun, K.; and Niu, Z. Vegetation Water Content Estimation Using Hyperion Hyperspectral Data. In Geoinformatics, 2010 18<sup>th</sup> International Conference,

pp.1–5.Chaina, 2010.

Zalzala, A. M. S.; and Fleming, P. J. Genetic Algorithms in Engineering Systems. The UK: Institution of Engineering and Technology, 1997.

Zhao, D.; Huang, L.; Li, J.; and Qi, J. A Comparative Analysis of Broadband and Narrowband Derived Vegetation Indices in Predicting LAI and CCD of a Cotton Canopy. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 62 (May 2007): 25–33.

Zharikov, Y.; Skilleter, G. A.; Loneragan, N. R.; Taranto, T.; and Cameron, B. E. Mapping and Characterising Subtropical Estuarine Landscapes Using Aerial Photography and GIS for Potential Application in Wildlife Conservation and Management. Biological Conservation 125 (September 2005): 87–100.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ข้อมูลภาคสนามดัชนีพื้นที่ฉิวใบ

ตารางผนวกที่ ก 1 แสดงข้อมูลภาคสนามของดัชนีพื้นที่ผิวใบ

plots	Map X	Map Y	LAI	species	Category
1	629561.2	929212.3	1.163823	โก่งกางใบเล็ก	สอน
2	629501.2	929212.3	1.327361	โก่งกางใบเล็ก	สอน
3	629471.2	929302.3	0.971069	ถั่วดำ	ทดสอบ
4	629471.2	929272.3	0.872667	โก่งกางใบเล็ก	สอน
5	629501.2	929272.3	0.468622	โก่งกางใบเล็ก	สอน
6	629501.2	929302.3	0.455532	โก่งกางใบเล็ก	ทดสอบ
7	629531.2	929302.3	0.608249	โก่งกางใบเล็ก	ทดสอบ
8	629621.2	930112.3	0.852595	โก่งกางใบเล็ก	สอน
9	629981.2	935632.3	0.585559	โก่งกางใบเล็ก	สอน
10	630011.2	935632.3	0.436438	โก่งกางใบเล็ก	ทดสอบ
11	629081.2	932872.3	1.419829	แสมขาว	สอน
12	630491.2	932332.3	1.223793	โก่งกางใบเล็ก	สอน
13	630461.2	932332.3	0.677503	โก่งกางใบเล็ก	สอน
14	631301.2	928402.3	0.623957	โก่งกางใบเล็ก	สอน
15	629471.2	928642.3	2.240135	โก่งกางใบเล็ก	สอน
16	630161.2	929452.3	0.76009	โก่งกางใบเล็ก	สอน

plots	Map X	Map Y	LAI	species	Category
17	629381.2	929542.3	1.627837	โก่งกางใบเล็ก	สอน
18	630791.2	930292.3	1.184313	แสมขาว	สอน
19	630791.2	931252.3	0.663227	โก่งกางใบเล็ก	ทดสอบ
20	628481.2	928612.3	1.643511	โก่งกางใบเล็ก	ทดสอบ
21	629951.2	928552.3	0.928517	โก่งกางใบเล็ก	ทดสอบ
22	630401.2	929602.3	1.111777	โก่งกางใบเล็ก	สอน
23	633401.2	932992.3	0.227347	แสมขาว	สอน
24	633371.2	932992.3	0.405057	แสมขาว	สอน
25	632621.2	934642.3	0.672582	แสมขาว	สอน
26	632591.2	934642.3	0.154357	แสมขาว	สอน
27	632141.2	935752.3	0.687906	แสมขาว	สอน
28	632111.2	935752.3	1.064793	แสมขาว	ทดสอบ
29	632801.2	934462.3	0.689407	แสมขาว	ทดสอบ
30	632921.2	933892.3	0.096866	แสมขาว	สอน
31	633431.2	933142.3	0.397936	แสมขาว	สอน

ภาคผนวก ข  
โค้ด Matlab การหาค่า  $R^2$  สูงสุด

```

clc
clear all
data = csvread('lai_3lp_167b.csv'); %read data from CSV file
Y = data(:,1);
bands=data(:,2:end);
bands_size=size(bands);
Y_size=size(Y);
Y_row_size=Y_size(1,1);
bands_nums=bands_size(1,2);
R2=zeros(bands_nums*bands_nums,1);
red_band=zeros(bands_nums*bands_nums,1);
nir_band=zeros(bands_nums*bands_nums,1);
i=0;
max_r2=0;
NDVI=zeros(Y_row_size,bands_nums*bands_nums);

for red=1:bands_nums
    for nir=1:bands_nums
        i=i+1;
        NDVI(:,i)=(bands(:,nir)-
bands(:,red))./(bands(:,nir)+bands(:,red));%NDVI table, contians the
all avaiiable case of NDVI
        X_temp=(bands(:,nir)-bands(:,red))./(bands(:,nir)+
bands(:,red));%NDVI in each case for use in R2 calculated,
[a, b, r2, r, k2] = lin_reg(X_temp, Y);
        R2(i,1)=r2;
        red_band(i,1)=red;
        nir_band(i,1)=nir;
        if R2(i,1)>max_r2
            max_r2=R2(i,1);
            red_max=red;
            nir_max=nir;
            NDVI_col_index =i;
        end
    end
end

end

fprintf('\n')
fprintf('#####\n')
fprintf('#####\n')
fprintf('Program to find Red-NDVI band pair which give the maximum R2
of Linear Regression\n');
fprintf('By Mr. Werapong KOEDSIN, 2010\n')
fprintf('#####\n');
fprintf('#####\n');
fprintf('\n');
fprintf('maximum R2 = %.4f\n',max_r2);
fprintf('Red band for calculated =%d\n', red_max);
fprintf('NIR band for calculated =%d\n', nir_max);
fprintf('NDVI tables Column index =%d\n', NDVI_col_index);

```

ภาคผนวก ค  
โค้ด Matlab ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

## โปรแกรม run.m

```

% program GA-SAMC V1.2 (2010)
% bands selection by Genetic Algorithm for Spectral Angle Mapper
% classification
%by Mr. Werapong KOEDSIN
%E-mail: goedsin@gmail.com
clc
clear all
[x,fval]=ga_samc;
x
x_sort=sort(x)
fprintf('Where x is the best Chromosome\n');
train_acc=100-fval;
fprintf('Training Overall Accuracy=%.4f\n',train_acc);
fprintf('##### For testing Results #####\n');
test_acc=get_accuracy(x);
fprintf('Testing Overall Accuracy =%.4f\n',test_acc);

```

## โปรแกรม ga\_samc.m

```

function [x,fval] = ga_samc
clc
clear all
% Fitness function and number of variables
%fitnessFcn = @(x) norm(x);
numberOfVariables = 6; %change the number of variables(bands)
here!!!!
numberOfBands=155; %change the number of all image's bands here!!!!
% If decision variables are bounded provide a bound e.g, LB and UB.
LB = 1*ones(1,numberOfVariables);
UB = numberOfBands*ones(1,numberOfVariables);
Bound = [LB;UB]; % If unbounded then Bound = []

% Create an options structure to be passed to GA
% Three options namely 'CreationFcn', 'MutationFcn', and
% 'PopInitRange' are required part of the problem.
options =
gaoptimset('CreationFcn',@int_pop,'MutationFcn',@int_mutation, ...

'PopInitRange',Bound,'Display','iter','StallGenL',40,'StallTimeLimit',
,120,'Generations',100, ...

'PopulationSize',1000,'PlotFcns',{@gaplotbestf,@gaplotbestindiv});
options;

%[x,fval] = ga(fitnessFcn,numberOfVariables,options);
[x,fval] = ga(@fitness_samc,numberOfVariables,options);
%-----
% Mutation function to generate childrens satisfying the range and
integer
% constraints on decision variables.
function mutationChildren =

```



```

int_mutation(parents,options,GenomeLength, ...
    FitnessFcn,state,thisScore,thisPopulation)
shrink = .01;
scale = 1;
scale = scale - shrink * scale *
state.Generation/options.Generations;
range = options.PopInitRange;
lower = range(1,:);
upper = range(2,:);
scale = scale * (upper - lower);
mutationPop = length(parents);
% The use of ROUND function will make sure that childrens are
integers.
mutationChildren = repmat(lower,mutationPop,1) + ...
    round(repmat(scale,mutationPop,1) .*
rand(mutationPop,GenomeLength));
% End of mutation function
%-----
function Population = int_pop(GenomeLength,FitnessFcn,options)

totalpopulation = sum(options.PopulationSize);
range = options.PopInitRange;
lower= range(1,:);
span = range(2,:) - lower;
% The use of ROUND function will make sure that individuals are
integers.
Population = repmat(lower,totalpopulation,1) + ...
    round(repmat(span,totalpopulation,1) .*
rand(totalpopulation,GenomeLength));
% End of creation function

```

### โปรแกรม get\_class.m

```

function class = get_class(row_t,class_t,ref_class)
%this functions use for get class type in SAM classification
%row_t is the row of testing matrix
%class_t is the matrix of testing class (reflectance of each pixel
of
%testing data) such as class_t = class1_t (eg. kk_bg_test)
%ref_class is the mean of all class ROI
%example to use
%class= get_class(12,class1_t,ref_class)
%where 12 is row 12 of testing data in class1_t and calculate angle
btw.
%this data to ref_class

size_class=size(ref_class);
nums_class=size_class(1);
min_angle=3;
for i=1:nums_class;% dummy variable for training or ref. class
%row_t=1; %row of testing class
    ti=class_t(row_t,:);
    ri=ref_class(i,:);
    tr=ti.*ri;
    sum tr=sum(tr);

```

```

t_sq=ti.*ti;
r_sq=ri.*ri;
frac=sqrt(sum(t_sq)*sum(r_sq));
angle(i)=acos(sum_tr/frac);
if angle(i)<min_angle
    min_angle=angle(i);
    class=i;
end
end

```

### โปรแกรม get\_accuracy.m

```

function z=get_accuracy(x)
%This function use for claculation the overall accuracy of
classification
%which specific bands number(x)
%class1_t to class5_t restore the testing data each class
num_class=5;
confusion_m=zeros(num_class,num_class);
total_sample=0;
class1_t=csvread('1/class1_t1.csv');
class2_t=csvread('1/class2_t1.csv');
class3_t=csvread('1/class3_t1.csv');
class4_t=csvread('1/class4_t1.csv');
class5_t=csvread('1/class5_t1.csv');
%ref_train=csvread('2/ref_class2.csv');
#####read training data #####
class1_tr=csvread('1/class1_tr1.csv');
class2_tr=csvread('1/class2_tr1.csv');
class3_tr=csvread('1/class3_tr1.csv');
class4_tr=csvread('1/class4_tr1.csv');
class5_tr=csvread('1/class5_tr1.csv');
%ref_train=csvread('2/ref_class2.csv');
%calculate reference class of training data
ref_train(1,:)=mean(class1_tr);
ref_train(2,:)=mean(class2_tr);
ref_train(3,:)=mean(class3_tr);
ref_train(4,:)=mean(class4_tr);
ref_train(5,:)=mean(class5_tr);
#####

n_temp=size(x);
n=n_temp(1,2);%nums of bands selection from chromosome
%selection bands with chromosome x from whole bands
for i=1:n
    class_1(:,i)=class1_t(:,x(i));
    class_2(:,i)=class2_t(:,x(i));
    class_3(:,i)=class3_t(:,x(i));
    class_4(:,i)=class4_t(:,x(i));
    class_5(:,i)=class5_t(:,x(i));
    ref_class(:,i)=ref_train(:,x(i));
end

#####for testing class 1 #####
c=1; % dmy variable for specific class !! Change code here!!

```

```

row_temp=size(class_1); % Change code here!!
row_t=row_temp(1,1);
total_sample=total_sample+row_t;
for d=1:row_t
    class=get_class(d,class_1,ref_class);
    confusion_m(class,c)=confusion_m(class,c)+1;
end
#####for testing class 2 #####
c=2; % dummy variable for specific class !! Change code here!!
row_temp=size(class_2);% Change code here!!
row_t=row_temp(1,1);
total_sample=total_sample+row_t;
for d=1:row_t
    class=get_class(d,class_2,ref_class);
    confusion_m(class,c)=confusion_m(class,c)+1;
end
#####for testing class 3 #####
c=3; % dummy variable for specific class !! Change code here!!
row_temp=size(class_3); % Change code here!!
row_t=row_temp(1,1);
total_sample=total_sample+row_t;
for d=1:row_t
    class=get_class(d,class_3,ref_class);
    confusion_m(class,c)=confusion_m(class,c)+1;
end
#####for testing class 4 #####
c=4; % dummy variable for specific class !! Change code here!!
row_temp=size(class_4); % Change code here!!
row_t=row_temp(1,1);
total_sample=total_sample+row_t;
for d=1:row_t
    class=get_class(d,class_4,ref_class);
    confusion_m(class,c)=confusion_m(class,c)+1;
end
#####for testing class 5 #####
c=5; % dummy variable for specific class !! Change code here!!
row_temp=size(class_5); % Change code here!!
row_t=row_temp(1,1);
total_sample=total_sample+row_t;
for d=1:row_t
    class=get_class(d,class_5,ref_class);
    confusion_m(class,c)=confusion_m(class,c)+1;
end
confusion_m
z=(sum(diag(confusion_m))/total_sample)*100.0;
kappa(confusion_m);
end

```

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวีระพงศ์ เกิดสิน เกิดเมื่อวันที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช

### ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ศึกษาศาสตร์) เมื่อปี พ.ศ. 2545 จาก คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต
- สำเร็จการศึกษาหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ เมื่อปี พ.ศ. 2548 จาก คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

### ประวัติการทำงาน

- (พ.ศ. 2548) อาจารย์สังกัด วิทยาลัยชุมชนภูเก็ต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต
- (พ.ศ. 2548 - ปัจจุบัน) อาจารย์สังกัดคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต
- (พ.ศ. 256) รักษาการในตำแหน่งรองคณบดีฝ่ายวิจัยและบัณฑิตศึกษา คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต

### ผลงานตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการ

วีระพงศ์ เกิดสิน ชัยโชค ไวกาษา และ ธันวาท สัจจาพิทักษ์วงศ์. การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบป่าชายเลนด้วยการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล. วารสารสมาคมสำรวจระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย 11 (พฤษภาคม - สิงหาคม 2553), 26-36.

Chotikarn, P.; Koedsin, W.; Phongdara, B.; and Aiyarak, P. Low Cost Submarine Robot. Songklanakarin Journal Science and Technology 32 (2010), 513-518.

Koedsin, W.; and Vaiphasa, C. Discrimination of Tropical Mangroves at the Species Level with EO-1 Hyperion Data. Remote Sensing 5 (July 2013): 3562–3582.