



การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนโดยใช้การสำรวจระยะไกล  
แบบไฮเปอร์สเปกตรัล  
Estimating Leaf Area Index of Tropical Mangrove by  
Hyperspectral Remote Sensing

กิตติศักดิ์ เรืองกระโทก  
Kittisak Reongkratog

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Science in Technology and Environmental Management  
Prince of Songkla University

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์      การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนโดยใช้การสำรวจระยะไกลแบบ  
ไฮเปอร์สเปกตรัล

ผู้เขียน                นายกิตติศักดิ์ เรืองกระโทก

สาขาวิชา              เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก**

**คณะกรรมการสอบ**

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระพงศ์ เกิดสิน)

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พันธ์ ทองชุมนุม)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระพงศ์ เกิดสิน)

.....กรรมการ  
(ดร.สิริวรรณ รวมแก้ว)

.....กรรมการ  
(ดร.วิโรจน์ ละอองมณี)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการ  
สิ่งแวดล้อม

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระพงศ์ เกิดสิน)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นายกิตติศักดิ์ เรืองกระโทก)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายกิตติศักดิ์ เรืองกระโทก)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนโดยใช้การสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล
ผู้เขียน	นายกิตติศักดิ์ เรืองกระโทก
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2559

### บทคัดย่อ

ป่าชายเลนเป็นหนึ่งในทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศและสังคม ทำหน้าที่ช่วยปกป้องชายฝั่งทะเลจากคลื่นกัดเซาะชายฝั่ง เป็นถิ่นที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ แหล่งอนุบาลสัตว์น้ำ เป็นแหล่งอาหารของมนุษย์ จากประโยชน์ที่มากมายจึงส่งผลให้การตรวจสอบติดตามป่าชายเลนมีความสำคัญมาก โดยงานวิจัยนี้ทำการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนซึ่งเป็นดัชนีที่สามารถบ่งบอกถึงสถานะต่าง ๆ ของพืช อาทิเช่น สุขภาพของพืช ความหนาแน่นของพืชแบบจำลองที่ดีที่สุดจะถูกนำไปสร้างแผนที่ดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนธรรมชาติที่มีพันธุ์พืชป่าชายเลนหลายสายพันธุ์และความหนาแน่นของเรือนยอดสูง (LAI = 2.94 - 4.97  $m^2/m^2$ ) ณ บริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต โดยอาศัยข้อมูลการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลและการวิเคราะห์การถดถอยมาหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ผิวใบและดัชนีพืชพรรณ 10 ชนิด จากผลการศึกษาแบบจำลองทั้ง 51 แบบจำลอง วิธีการถดถอยซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ดีที่สุด คือ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.694 และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.292 ตารางเมตรต่อตารางเมตร และมีค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการพยากรณ์เท่ากับ 3.94 ตารางเมตรต่อตารางเมตร ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงขีดความสามารถของภาพถ่ายดาวเทียมแบบไฮเปอร์สเปกตรัลในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนที่มีความหลากหลายของชนิดพันธุ์พืชและความหนาแน่นเรือนยอดสูง และนอกจากนี้ผู้วิจัยหวังว่าขั้นตอนและกระบวนการต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาป่าชายเลนบริเวณอื่นหรือนำไปใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการป่าชายเลนต่อไป

**คำสำคัญ:** การสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล, EO-1/Hyperion, ป่าชายเลน, ดัชนีพื้นที่ผิวใบ, ดัชนีพืชพรรณ

**Thesis Title** Estimating Leaf Area Index of Tropical Mangrove by Hyperspectral Remote Sensing  
**Author** Mr. Kittisak Reongkratog  
**Major Program** Technology and Environmental Management  
**Academic** 2016

### ABSTRACT

Mangroves are the part of the coastal ecosystem. They are very important ecosystems and society. A well-recognized benefit of mangrove forests is their fundamental role in coastal protection from erosion the nurturing of the juvenile, as well as the food source. Therefore, the investigation and monitoring of mangroves thus become a very important. This study is aimed to estimate the Leaf Area Index (LAI) of the tropical mangroves by hyperspectral remote sensing data. The hyperspectral satellite image (i.e., EO-1 Hyperion) was used to create the models for estimates the LAI of dense (LAI = 2.94 - 4.97 m<sup>2</sup>/ m<sup>2</sup>) and diverse species of mangrove forest at Pa Khlok Bay, Phuket province. The regressions analysis was used to find the relationship between dependent variable (LAI) and independent variables (i.e., the selected of 10 vegetation indices). From 51 model, the results showed that the Support Vector Machine method provided the highest accuracy for estimated the LAI (R-square = 0.657, RMSE = 0.292 m<sup>2</sup>/ m<sup>2</sup>) and the averaged of estimated LAI was 3.94 m<sup>2</sup>/ m<sup>2</sup>. This study shows the capability of the hyperspectral data in LAI estimation of dense and diversity of mangroves application. We hope that the methodology presented in this research can be used as a guideline for study in other area or can be used for mangrove forest management in the future.

**Keywords:** Remote Sensing, Hyperspectral, EO-1/Hyperion, Tropical Mangrove Forest, Leaf Area Index, Vegetation Index

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนโดยใช้การสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลฉบับนี้ มีอาจสำเร็จลุล่วงไปได้ถ้าหากขาด ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระพงศ์ เกิดสิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาและมอบโอกาสในการเพิ่มความรู้ในด้านต่าง ๆ ผู้เขียนจึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.พันธ์ ทองชุมนุม ประธานกรรมการสอบ ดร.สิริวรรณ รวมแก้ว และ ดร.วิโรจน์ ละอองมณี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ ในการแก้ไขข้อบกพร่องในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนถูกต้องเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยและทุนในการศึกษาระดับปริญญาโท และขอกราบขอบพระคุณหัวหน้าสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 23 จังหวัดภูเก็ต ที่อนุเคราะห์เจ้าหน้าที่ ตลอดจนข้อมูลสำหรับการเก็บข้อมูลการสำรวจภาคสนามสำหรับวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ตทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้และความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการศึกษา

ขอขอบพระคุณพี่และเพื่อนนักศึกษาปริญญาโท คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ตทุกท่าน สำหรับความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านการเรียน การดำเนินงานวิจัย ตลอดจนการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติ พี่น้อง คณาจารย์ทุกท่าน เพื่อนสนิทมิตรสหายที่คอยสนับสนุนไม่ว่าจะเป็นยามทุกข์หรือยามสุขและคอยเป็นกำลังใจจนผู้เขียนให้สามารถพัฒนาความสามารถ พัฒนาตนเองในด้านต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น จนสามารถบรรลุเป้าหมายที่ตั้งใจไว้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	(5)
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการรูป	(13)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(15)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	5
2.1 ความหมายของป่าชายเลน	5
2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อโครงสร้างป่าชายเลน	5
2.3 ความสำคัญและประโยชน์ของป่าชายเลน	7
2.4 ทรัพยากรป่าชายเลนจังหวัดภูเก็ต	7
2.5 พันธุ์ไม้และลักษณะโครงสร้างป่าชายเลนในจังหวัดภูเก็ต	8
2.6 ดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index)	9
2.7 ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index)	10
2.7.1 Simple Ratio	11
2.7.2 Normalized Difference Vegetation Index	12
2.7.3 Enhanced Vegetation Index	12
2.7.4 Soil-Adjusted Vegetation Index	13
2.7.5 Vegetation Atmospherically Resistant Index	13



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.6 Chlorophyll Index	14
2.7.7 Ratio Vegetation Index	14
2.7.8 Hyperspectral Two-Band Vegetation Index	15
2.8 การอิมตัวของสัญญาณ	15
2.9 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Earth Observing-1/Hyperion (EO-1/Hyperion)	16
2.10 การถดถอยซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine Regression)	16
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	21
3.1 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย	21
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	23
3.3 พื้นที่การศึกษา	23
3.4 การลงสำรวจภาคสนาม	24
3.4.1 การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม PLEIADES	26
3.4.2 การจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน	28
3.4.3 การวางแผนก่อนการสำรวจภาคสนาม	29
3.4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม	29
3.5 การสร้างแบบจำลองและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในการประมาณค่า ดัชนีพื้นที่ผิวใบ	32
3.5.1 การเตรียมข้อมูลและปรับแก้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม EO-1/ Hyperion	34
3.5.2 การคัดเลือกและการคำนวณดัชนีพืชพรรณ	35
3.5.3 การสร้างแบบจำลองการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ	36
3.5.4 การตรวจสอบความถูกต้องแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ	39
3.5.5 การสร้างแผนที่ดัชนีพื้นที่ผิวใบ	40

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัย</b>	41
<b>4.1 ผลการสำรวจภาคสนาม</b>	41
<b>4.2 ผลการสร้างแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน</b>	44
4.2.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย	45
4.2.2 การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง	49
4.2.3 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน	60
4.2.4 วิธีการถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน	61
4.2.5 วิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน	62
<b>4.3 แผนที่ดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน</b>	63
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	65
<b>5.1 อภิปรายและสรุปผลการวิจัย</b>	65
5.1.1 แบบจำลองดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน	65
5.1.2 ภาพถ่ายดาวเทียมแบบไฮเปอร์สเปกตรัลกับการศึกษาดัชนีพื้นที่ผิวใบในป่าชายเลนที่มีความหนาแน่นเรือนยอดสูง	66
<b>5.2 ข้อเสนอแนะ</b>	66
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	68
<b>ภาคผนวก</b>	73
<b>ภาคผนวก ก ค่าดัชนีพืชพรรณ</b>	74
<b>ภาคผนวก ข แบบจำลองการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ</b>	79
<b>ภาคผนวก ค การสำรวจภาคสนาม</b>	84
<b>ประวัติผู้เขียน</b>	86

## รายการตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	พื้นที่ที่มีสภาพเป็นป่าชายเลนในจังหวัดภูเก็ต ปี พ.ศ. 2552	8
ตารางที่ 2.2	รายชื่อชนิดพันธุ์ไม้ป่าชายเลนในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต	9
ตารางที่ 2.3	คุณลักษณะดาวเทียม Earth Observing-1/Hyperion	16
ตารางที่ 3.1	คุณลักษณะของภาพถ่ายดาวเทียม PLEIADES	26
ตารางที่ 3.2	ช่วงคลื่นทั้ง 155 ช่วงคลื่นที่มีความเสถียรต่อการศึกษาพืชทางการเกษตร	34
ตารางที่ 3.3	สมการของดัชนีพืชพรรณ	35
ตารางที่ 3.4	สมการการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง	37
ตารางที่ 4.1	ข้อมูลภาคสนาม	42
ตารางที่ 4.2	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจและค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย	45
ตารางที่ 4.3	ช่วงคลื่นที่ใช้ในการคำนวณดัชนีพื้นที่ผิวใบ	46
ตารางที่ 4.4	ความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	47
ตารางที่ 4.5	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจและค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเอกซ์โพเนนเชียล	49
ตารางที่ 4.6	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจและค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบลอการิทึม	52
ตารางที่ 4.7	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจและค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียล	54
ตารางที่ 4.8	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจและค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพาวเวอร์	57
ตารางที่ 4.9	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจและค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน	60

## รายการตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 4.10	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่ารากของค่าตลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน	61
ตารางที่ 4.11	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่ารากของค่าตลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน	62
ตาราง ก	ดัชนีพีชพรรณ	75
ตาราง ข	แบบจำลองการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ	80

## รายการรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	แผนที่แสดงตำแหน่งของป่าชายเลนทั่วโลก	6
รูปที่ 2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคลื่นกับองค์ประกอบต่าง ๆ ในใบพืช	10
รูปที่ 2.3	ลักษณะการคัดแยกข้อมูล 2 ชนิดด้วยวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน	17
รูปที่ 3.1	ขั้นตอนการวิจัยโดยรวม	22
รูปที่ 3.2	แผนที่ป่าชายเลนอ่าวป่าคลอก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต	24
รูปที่ 3.3	ขั้นตอนการวิจัย (ขั้นตอนการสำรวจภาคสนาม)	25
รูปที่ 3.4	แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม PLEIADES ที่ผ่านการปรับแก้ความผิดพลาดเชิงรังสี	27
รูปที่ 3.5	แผนที่การจำแนกการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน โดยวิธีการจำแนกแบบ K-Mean	28
รูปที่ 3.6	การวางแผนตัวอย่างในการเก็บข้อมูลภาคสนาม (ก.) และตำแหน่งของการเก็บภาพถ่ายเรือนยอด (Hemispherical) ใน 1 แปลงตัวอย่าง (ข.)	29
รูปที่ 3.7	จุดกึ่งกลางของเลนส์ (Optical Center) และฟังก์ชันการฉาย (Projection Function)	30
รูปที่ 3.8	ภาพถ่ายเรือนยอด (Hemispherical) ที่ผ่านการสกัดข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้อง (ก.) และภาพถ่ายเรือนยอด (Hemispherical) ที่ผ่านการจำแนกโดยโปรแกรม CAN-EYE V 6.1 (ข.)	31
รูปที่ 3.9	Difference GPS	32
รูปที่ 3.10	ขั้นตอนการวิจัย (การสร้างแบบจำลองและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ)	33
รูปที่ 3.11	เปรียบเทียบค่าการสะท้อนของพืชจากภาพถ่ายดาวเทียม EO-1/ Hyperion ก่อนการปรับแก้และหลังการปรับแก้	34
รูปที่ 4.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม	47

## รายการรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเอกซ์โพเนนเชียลกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม	50
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างจากการวิเคราะห์การถดถอยแบบลอการิทึมกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม	53
รูปที่ 4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างจากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียลกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม	55
รูปที่ 4.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างจากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพาร์วอร์กับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม	58
รูปที่ 4.6	กราฟค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่ใช้ดัชนี RVI เป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง	59
รูปที่ 4.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการเลือกตัวแปรโดยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม	60
รูปที่ 4.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วนกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม	62
รูปที่ 4.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม	63
รูปที่ 4.10	แผนที่ดัชนีพื้นที่ผิวใบ	64
รูป ค	การสำรวจภาคสนาม	85

### สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

CI	ดัชนี Chlorophyll Index
EVI	ดัชนี Enhanced Vegetation Index
HTBVI	ดัชนี Hyperspectral Two-Band Vegetation Index
LAI	ดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index)
NDVI	ดัชนี Normalized Difference Vegetation Index
RVI	ดัชนี Ratio Vegetation Index
SAVI	ดัชนี Soil-Adjusted Vegetation Index
SR	ดัชนี Simple Ratio
VARI	ดัชนี Vegetation Atmospherically Resistant Index
VI	ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index)

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

จังหวัดภูเก็ตเป็น 1 ใน 77 จังหวัดทางภาคใต้ของประเทศไทย มีสถานที่ท่องเที่ยวทางธรรมชาติที่มีชื่อเสียงในระดับโลก ซึ่งเป็นที่รู้จักในเรื่องของหาดทรายที่สวยงาม น้ำทะเลใส ท้องทะเลที่งดงาม ดังคำขวัญประจำจังหวัด “ไข่มุกอันดามัน สวรรค์เมืองใต้ หาดทรายสีทอง สองวีรสตรี บารมีหลวงพ่อแช่ม” ในปี ค.ศ. 2015 มีนักท่องเที่ยวเข้ามาท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ตจำนวน 12,520,769 คน ทำรายได้ให้กับจังหวัดภูเก็ต มูลค่า 313,005.6 ล้านบาท (สำนักงานสถิติจังหวัดภูเก็ต, 2559) เนื่องจากจำนวนนักท่องเที่ยวที่มาท่องเที่ยวจำนวนมาก จึงส่งผลให้ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างมากเพื่อสนองความต้องการของนักท่องเที่ยวโดยปราศจากการบริหารจัดการที่เหมาะสม ทำให้ทรัพยากรดังกล่าวเสื่อมโทรมลงและส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่มีบทบาทต่อห่วงโซ่อาหารในทะเลตั้งแต่ชายฝั่งและทะเลลึก (สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน, 2550)

ป่าชายเลนนั้นก็เป็นหนึ่งในทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศและสังคม ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเล ริมฝั่ง แม่น้ำ ลำคลอง ปากอ่าว ระหว่างชายฝั่งถึงบริเวณที่น้ำเค็มขึ้นสูงสุด ในสภาพที่เป็นดินเลนหรือดินเลนปนทราย ทำหน้าที่ ช่วยปกป้องชายฝั่งทะเลจากคลื่นกัดเซาะชายฝั่ง เป็นถิ่นที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ แหล่งอนุบาลสัตว์น้ำ เป็นแหล่งอาหารของมนุษย์ และกักเก็บคาร์บอน (McLeod, *et al.*, 2011; Siikamäki, *et al.*, 2012 และ Twilley, *et al.*, 1992) ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วป่าชายเลนจะกักเก็บคาร์บอน 3-4 ครั้ง ซึ่งมากกว่าป่าอื่น ๆ ในภูมิภาคเขตร้อนด้วยกัน (Donato, *et al.*, 2011) เช่น ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำ Negombo ในชายฝั่งตะวันตกของประเทศศรีลังกา มีศักยภาพของปริมาณในการกักเก็บคาร์บอนประมาณ 12 ตันต่อเฮกตาร์ต่อปี ซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณของคาร์บอนที่ถูกปล่อยออกมาจากการสันดาปของน้ำมันดีเซลจำนวน 19,357 ลิตร หรือของน้ำมันเบนซิน 22,212 ลิตร (Perera and Amarasinghe, 2016) และนอกจากนี้ไม้จากป่าชายเลนสามารถนำมาใช้ในการเผาถ่าน การทำเฟอร์นิเจอร์ เสาค้ำยัน ไม้ค้ำยันและกลั่นเอาสารเคมีที่มีประโยชน์ เช่น กรดน้ำส้ม แทนนิน น้ำมันดิบและแอลกอฮอล์



การสำรวจระยะไกล เป็นเทคโนโลยีที่นิยมนำมาใช้ในการสำรวจตรวจสอบทรัพยากรต่าง ๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นป่าไม้ แร่ พื้นที่การเกษตร และทรัพยากรทางธรรมชาติอื่น ๆ โดยการสำรวจระยะไกลนั้นสามารถช่วยลดระยะเวลาและต้นทุนในการลงพื้นที่สำรวจภาคสนาม ดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index, LAI) เป็นหนึ่งในตัวแปรที่สามารถตรวจวัดได้จากการสำรวจระยะไกล นิยมนำมาใช้ในการตรวจสอบความอุดมสมบูรณ์ของพืช เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อชั้นบรรยากาศ (Atmosphere) และชีวมณฑล (Biosphere) ทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศกับชีวมณฑล (Bonan, 1993) และยังมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ความสามารถในการให้ผลผลิตและกระบวนการผลิตของป่า เพราะผลผลิตสุทธิของหมู่ไม้มักมีความสัมพันธ์ไปทางเดียวกับค่ามวลชีวภาพและดัชนีพื้นที่ผิวใบ (พงษ์ศักดิ์ สหนาฟู, 2538) การตรวจวัดค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลสามารถตรวจวัดได้จากการนำดัชนีพืชพรรณ เช่น ดัชนี Simple Ratio ดัชนี Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) หรือดัชนีพืชพรรณอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง มาหาความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม แล้วนำแบบจำลองที่ได้จากการหาความสัมพันธ์มาประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ แต่ในการใช้ดัชนีพืชพรรณนั้นประสบปัญหาการอิ่มตัวของสัญญาณ (Saturates) ในพืชที่มีความหนาแน่นของเรือนยอดสูง (Tucker, 1977 และ Robert *et al.*, 2004) อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวได้ถูกแก้โดยการใช้ดัชนีพืชพรรณแบบไฮเปอร์สเปกตรัล (Hyperspectral Vegetation Index) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นแคบ (Narrowband Vegetation Index) เป็นดัชนีพืชพรรณที่ใช้ช่วงคลื่นที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 10 นาโนเมตร (Roberts, *et al.*, 2016) ได้จากข้อมูลการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล เช่น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม EO-1/Hyperion เครื่องสเปกโตรเรดิโอมิเตอร์ ซึ่งในปี ค.ศ. 2004 งานวิจัยเรื่อง Narrow band vegetation indices overcome the saturation problem in biomass estimation ของ Mutanga และ Skidmore ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นแคบ โดยทำการเปรียบเทียบการใช้ดัชนีพืชพรรณ Normalized Difference Vegetation Index แบบช่วงคลื่นกว้างและแบบช่วงคลื่นแคบ ในการประมาณค่าชีวมวลของหญ้า *Cenchrus Ciliaris* ที่มีความหนาแน่นของเรือนยอดสูง พบว่าดัชนีพืชพรรณ NDVI แบบมาตรฐานทั่วไปที่ใช้ในการตรวจสอบคลอโรฟิลล์ โดยใช้ช่วงคลื่นสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ มีประสิทธิภาพในการประมาณค่าชีวมวลต่ำ ( $R^2 = 0.22$ ) ดัชนีพืชพรรณ MNDVIs ที่ถูกพัฒนามาจาก NDVI โดยการผสมช่วงแคบของช่วงคลื่นอินฟราเรดสั้น และช่วงคลื่นขอบสีแดง (Red Edge Band) พบว่ามีประสิทธิภาพในการประมาณค่าชีวมวลของดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นแคบดีกว่าดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นกว้าง ( $R^2 = 0.77$ )

งานวิจัยนี้ได้สังเกตเห็นถึงความสำคัญของป่าชายเลนจึงทำการศึกษาการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบซึ่งเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของป่าชายเลนบริเวณอ่าวปากคลอง จังหวัดภูเก็ต ที่มีความหนาแน่นของเรือนยอดสูงและมีหลายชนิดพันธุ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำมาใช้ในการ

สร้างแผนที่ดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน ณ บริเวณอ่าวปากคลอง จังหวัดภูเก็ต โดยใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล ซึ่งเป็นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่มีรายละเอียดเชิงคลื่นสูง (Hyperspectral) มาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยในรูปแบบต่าง ๆ

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างแผนที่ดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน ณ บริเวณอ่าวปากคลอง จังหวัดภูเก็ต โดยอาศัยเทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อสร้างแผนที่ดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน บริเวณอ่าวปากคลองจังหวัดภูเก็ต ซึ่งเป็นป่าธรรมชาติที่มีพืชป่าชายเลนหลายชนิดพันธุ์และมีความหนาแน่นของเรือนยอดสูง โดยใช้ข้อมูลดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นแคบ (Narrow Band Vegetation Index) ที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม EO-1/Hyperion

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยสามารถนำมาใช้ในการติดตามป่าชายเลน บริเวณอ่าวปากคลอง จังหวัดภูเก็ต เช่น การติดตามความอุดมสมบูรณ์ของป่าชายเลน การตรวจสอบการบุกรุกของป่าชายเลน

1.4.2 สามารถนำเทคนิคและกระบวนการศึกษาดัชนีพื้นที่ผิวใบป่าชายเลนโดยอาศัยเทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล จากงานวิจัยนี้ไปใช้ในพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณอื่น

1.4.3 เป็นข้อมูลสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการทรัพยากรป่าชายเลน เช่น กรมป่าไม้ กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ศูนย์อนุรักษ์ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง และหน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัย หรือใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการป่าชายเลน

## 1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 ดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index) หมายถึง เป็นผลรวมของพื้นที่ผิวของใบไม้ทั้งหมดในด้านใดด้านหนึ่งเพียงด้านเดียวต่อหน่วยพื้นที่

1.5.2 ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index) หมายถึง ดัชนีพืชพรรณเกิดจากการรวมของช่องสัญญาณหรือช่วงคลื่นซึ่งจะอยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายลักษณะต่าง ๆ ของพืช

## บทที่ 2

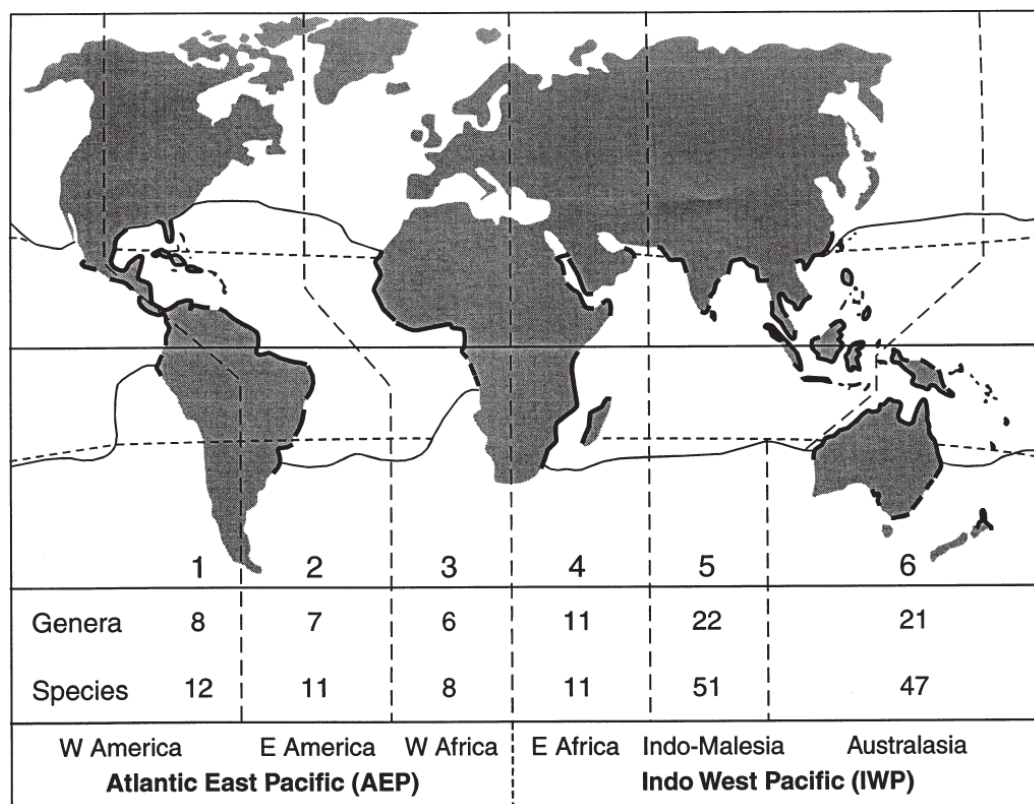
### การตรวจเอกสาร

#### 2.1 ความหมายของป่าชายเลน

ป่าชายเลน (Mangrove forest หรือ Intertidal forest) คือ กลุ่มสังคมพืชที่ขึ้นอยู่บริเวณชายฝั่งทะเล ริมฝั่ง แม่น้ำ ลำคลอง ปากอ่าว ระหว่างชายฝั่งถึงบริเวณที่น้ำเค็มขึ้นสูงสุด ในสภาพที่เป็นดินเลนหรือดินเลนปนทราย (สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน, 2552 และ Alongi, 2002) อยู่ในภูมิภาคเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน (Giri, *et al.*, 2011) ในปี ค.ศ. 2000 พื้นที่ป่าชายเลนทั่วโลกมีเนื้อที่ประมาณ 137,760 ตารางกิโลเมตร ใน 118 ประเทศ บริเวณละติจูด 30 องศาเหนือ และ 30 องศาใต้ พันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ค้นพบทั่วโลกมีทั้งหมด 9 ตระกูล (Order) 20 วงศ์ (Families) 27 สกุล (Genera) และมีมากกว่า 70 สายพันธุ์ (Species) (Spalding, *et al.*, 1997) เป็นไม้ไม่ผลัดใบ (Evergreen Species) พันธุ์ไม้ที่มีความสำคัญและมีจำนวนมากที่สุดในป่าชายเลน คือ ไม้โกงกาง เนื่องจากไม้โกงกางเป็นพืชที่มีจำนวนมากที่สุดในป่าชายเลนจึงส่งผลให้ป่าชายเลนมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ป่าโกงกาง

#### 2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อโครงสร้างป่าชายเลน

องค์ประกอบและเหตุปัจจัยทางด้านกายภาพและด้านเคมีที่ส่งผลต่อโครงสร้างของป่าชายเลนและลักษณะของพันธุ์พืช เช่น ลักษณะของภูมิประเทศชายฝั่ง เนื่องจากลักษณะของดินในพื้นที่ป่าชายเลน เป็นดินเลนที่เกิดจากการสะสมของตะกอน ตะกอนของสารแขวนลอยที่ไหลมากับแม่น้ำ และการสลายตัวของสารอินทรีย์ ภูมิอากาศเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช เช่น กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช การเปิดปิดของปากใบ ภูมิอากาศที่พบป่าชายเลนและป่าชายเลนสามารถอาศัยอยู่ได้ในภูมิภาคเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน ลักษณะของน้ำขึ้นน้ำลงและความเค็มของน้ำเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการแบ่งเขตของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลนและการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน



รูปที่ 2.1 แผนที่แสดงตำแหน่งของป่าชายเลนทั่วโลก (Alongi, 2002)

จากรูปที่ 2.1 เส้นสีดำเข้มตามชายฝั่งของภูมิภาค แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของป่าชายเลนทั่วโลก โดยแบ่งเป็น 2 โซนใหญ่ ๆ คือ โซน Atlantic East Pacific (AEP) และโซน Indo West Pacific (IWP) ซึ่งแต่ละโซนใหญ่จะถูกแบ่งออกเป็นโซนย่อย โดยโซน Atlantic East Pacific (AEP) ประกอบไปด้วยโซนย่อย 3 โซนย่อย คือ W America E America และ W Africa และโซน Indo West Pacific (IWP) ประกอบด้วยโซนย่อย 3 โซนย่อย คือ E Africa Indo-Malesia และ Australasia จากป่าชายเลนการกระจายตัวในบริเวณพื้นที่ชายฝั่งของภูมิภาคเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน ซึ่งในแต่ละโซนนั้นแสดงให้เห็นถึงจำนวนของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่แตกต่างกัน ซึ่งหมายความว่าลักษณะของความแตกต่างของปัจจัยต่าง ๆ ที่แตกต่างกันส่งผลต่อความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ป่าชายเลน

### 2.3 ความสำคัญและประโยชน์ของป่าชายเลน

ป่าชายเลนมีประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมและช่วยสนับสนุนในการดำรงชีพของมนุษย์ ทำหน้าที่เป็นแนวปราการทางธรรมชาติ เพื่อช่วยปกป้องชายฝั่งทะเลจากคลื่นกัดเซาะชายฝั่ง กรองสิ่งปฏิกูล สารพิษต่าง ๆ ที่มาจากแม่น้ำบนบกก่อนปล่อยลงสู่ทะเล เป็นถิ่นที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ แหล่งอนุบาลสัตว์น้ำ เป็นแหล่งอาหารของมนุษย์ และกักเก็บปริมาณคาร์บอน (McLeod, *et al.*, 2011; Siikamäki, *et al.*, 2012 และ Twilley, *et al.*, 1992) ใน 1 ปี ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำ Negombo (350 เฮกตาร์) ในชายฝั่งตะวันตกของประเทศศรีลังกา สามารถลดปริมาณคาร์บอนได้ถึง 4,143 ตัน ซึ่งเทียบเท่ากับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการสันดาปด้วยน้ำมันดีเซล 6,779,000 ลิตร หรือจากน้ำมันเบนซินปริมาณ 7,779,000 ลิตร และความสามารถของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนประมาณ 12 ตันต่อเฮกตาร์ต่อปี ซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณของคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากการสันดาปของน้ำมันดีเซลจำนวน 19,357 ลิตร หรือของน้ำมันเบนซิน 22,212 ลิตร (Perera and Amarasinghe, 2016) และนอกจากนี้ไม้ในป่าชายเลนนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น การทำเฟอร์นิเจอร์ เสาเข็ม ไม้ค้ำยัน การเผาถ่านเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหาร และกลั่นสารเคมีที่มนุษย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ เช่น แอลกอฮอล์ กรดน้ำส้ม แทนนิน น้ำมันดิบ

### 2.4 ทรัพยากรป่าชายเลนจังหวัดภูเก็ต

จังหวัดภูเก็ต เป็นเกาะใหญ่ที่สุดของประเทศไทย ตั้งอยู่ทางฝั่งทะเลด้านตะวันตกของภาคใต้ในน่านน้ำทะเลอันดามัน มหาสมุทรอินเดีย มีพื้นที่รวมกันทั้งหมดประมาณ 543 ตารางกิโลเมตร ที่ตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 7 องศา 45 ลิปดา - 8 องศา 15 ลิปดาเหนือ และเส้นแวงที่ 98 องศา 15 ลิปดา - 98 องศา 40 ลิปดาตะวันออก ประกอบด้วยเกาะใหญ่และเกาะบริวารอีก 32 เกาะ โดยตัวเกาะใหญ่มีความยาวจากเหนือจดใต้ประมาณ 48.7 กิโลเมตร มีความกว้างจากตะวันออกไปตะวันตกประมาณ 21.3 กิโลเมตร จากการจำแนกเขตการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ป่าชายเลน ปี พ.ศ. 2552 ของจังหวัดภูเก็ต มีพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด 19.72 ตารางกิโลเมตร หรือ 12,327.42 ไร่ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พื้นที่ที่มีสภาพเป็นป่าชายเลนในจังหวัดภูเก็ต ปี พ.ศ. 2552

สถานที่	เนื้อที่	
	ตร.กม	ไร่
อ.ถลาง	12.59	7,869.43
ต.เกาะนาคาใหญ่	0.19	121.80
ต.เทพกระษัตรี	2.35	1,470.38
ต.ป่าคลอก	6.85	4,281.17
ต.ไม้ขาว	2.62	1,634.80
ต.ศรีสุนทร	0.58	361.28
อ.เมืองภูเก็ต	7.13	4,457.99
เกาะมะพร้าว	0.64	400.50
ต.เกาะแก้ว	0.35	218.19
ต.ฉลอง	0.04	22.05
ต.ตลาดเหนือ	0.12	77.13
ต.ตลาดใหญ่	0.08	47.93
ต.รัษฎา	5.91	3,692.19
<b>รวม</b>	<b>19.72</b>	<b>12,327.42</b>

## 2.5 พันธุ์ไม้และลักษณะโครงสร้างป่าชายเลนในจังหวัดภูเก็ต

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ได้สำรวจสถานภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินป่าชายเลนในเขตป่าสงวนแห่งชาติและนอกเขตป่าสงวนแห่งชาติ พบว่าจังหวัดภูเก็ตมีพันธุ์ไม้ป่าชายเลน 11 ชนิด มีความหนาแน่นเฉลี่ยรวมเท่ากับ 240.77 ต้นต่อไร่ ความโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยรวมเท่ากับ 11.54 เซนติเมตร และความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 7.92 เมตร โกงกางใบเล็กเป็นพันธุ์ไม้ที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์ และความถี่สัมพัทธ์มากที่สุดถึงร้อยละ 53.22 และร้อยละ 19.21 แต่ความเด่นสัมพัทธ์น้อยกว่าลำแพน มีความเด่นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 9.95 โครงสร้างป่าชายเลนจังหวัดภูเก็ตมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย คือ โกงกางใบเล็กเป็นพันธุ์ไม้ที่มีความเด่นมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ โปรงแดง แสมดำ และตะบูนขาว ตามลำดับ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2551)

ตารางที่ 2.2 รายชื่อชนิดพันธุ์ไม้ป่าชายเลนในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2551)

ที่	ชนิด	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์
1	โกงกางใบเล็ก	<i>Rhizophora apiculata</i> Bl.	Rhizophoraceae
2	โกงกางใบใหญ่	<i>Rhizophora mucronata</i> Poir.	Rhizophoraceae
3	ตะบูนขาว	<i>Xylocarpus granatum</i> Koen.	Meliaceae
4	ตะบูนดำ	<i>Xylocarpus moluccensis</i> Roem.	Meliaceae
5	ถั่วขาว	<i>Bruguiera cylindrical</i> Bl.	Rhizophoraceae
6	ถั่วดำ	<i>Bruguiera parviflora</i> Wight & Arn.ex Griff	Rhizophoraceae
7	โปรงแดง	<i>Ceriops tagal</i> (Perr.) C.B. Rob.	Rhizophoraceae
8	พังกาหัวสุมดอกขาว	<i>Thespesia sexangula</i> Poir.	Malvaceae
9	พังกาหัวสุมดอกแดง	<i>Thespesia populnea</i> (L.) Soland.ex <i>Correa</i>	Malvaceae
10	แสมทะเล	<i>Avicennia marina</i> (Forsk.) Vierh.	Avicenniaceae
11	ทองนกไข่ทะเล	<i>Heritiera littoralis</i> Ait.	Sterculiaceae

## 2.6 ดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index)

ดัชนีพื้นที่ผิวใบเป็นผลรวมของพื้นที่ผิวของใบไม้ทั้งหมดในดาด้านใดด้านหนึ่งเพียงด้านเดียว ต่อหน่วยพื้นที่ (Jensen, 2007 และ Green, *et al.*, 1997) เป็นดัชนีที่มีความเกี่ยวข้องกับพืชโดยตรง เช่น การเจริญเติบโต การแลกเปลี่ยนของก๊าซในชั้นบรรยากาศ ชีวมวล ผลผลิตของพืช (Jensen and Binford, 2004) ซึ่งมีวิธีการวัดค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมี 2 วิธี ดังนี้

1) วิธีการประมาณโดยตรง (Direct Methods) เป็นวิธีที่แม่นยำมากที่สุด แต่เป็นวิธีที่ใช้เวลา และแรงงานสูง เป็นการเก็บรวบรวมใบจากต้นไม้มารวบรวมโดยตรง (Destructive Sampling) หรือใช้วิธีเก็บใบไม้ด้วยตาข่าย (Litter Fall Trap) ในช่วงที่ใบร่วง ซึ่งใช้ได้เฉพาะไม้ผลัดใบ จากนั้นวิเคราะห์ดัชนีพื้นที่ใบด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก หาคความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งและพื้นที่ใบ

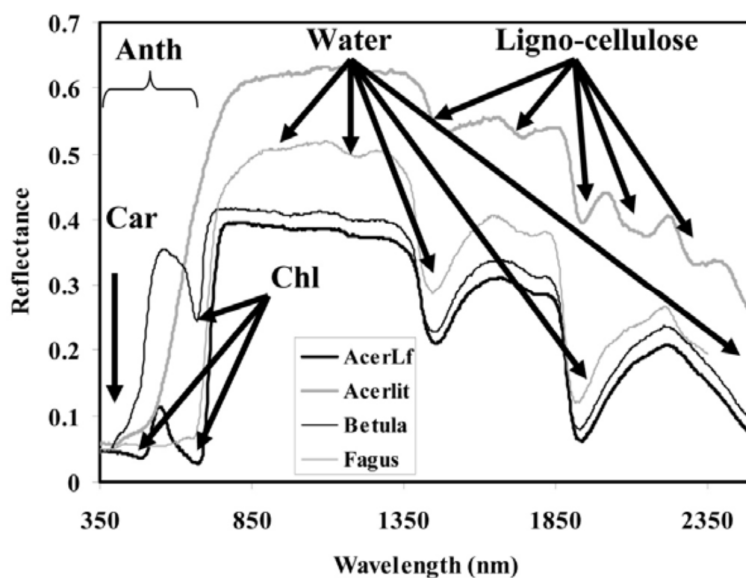
2) วิธีการประมาณโดยอ้อม (Indirect Methods) ซึ่งที่นิยมใช้กัน คือ วิธีการอาศัยแสง (Optical Method) สามารถวัดโดยอาศัยหลักการวัดแสงที่ส่องผ่านทรงพุ่ม โดยใช้อุปกรณ์แบบ



อาศัยแสงมาใช้ ลักษณะการคำนวณ เป็นการคำนวณพื้นที่ที่แสงส่องผ่านลงมาจากใบในบริเวณเรือนยอด และใช้หลักการทางสถิติคำนวณการกระจายตัวของใบ แล้วคำนวณกลับเพื่อบอกค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบต่อไป (วิโรจน์ ละอองมณี, 2554) สามารถใช้ได้ทั้งการวิเคราะห์ช่องว่างของทรงพุ่ม (Gap Fraction) เช่น การใช้ LAI-2000 และการวิเคราะห์การกระจายของขนาดช่องในทรงพุ่ม (Gap Size Distribution) โดยการใช้ TRAC และ Hemispherical Photography

## 2.7 ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index)

ดัชนีพืชพรรณ เป็นการรวมกันของค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวดั้งแต่สองตัวขึ้นไป โดยออกแบบมาเพื่อตรวจสอบโดยเน้นคุณสมบัติเฉพาะต่าง ๆ ของพืช และเพื่ออธิบายความสำคัญระหว่างการดูดซับพลังงานแสงของพันธุ์พืชกับปริมาณความหนาแน่นของพืชพรรณ หรือปัจจัยอื่น ๆ เช่น ดัชนีพื้นที่ผิวใบ มวลชีวภาพของพืช



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคลื่นกับองค์ประกอบต่าง ๆ ในใบพืช เช่น แคโรทีนอยด์ (Car) แอนโทไซยานิน (Anth) คลอโรฟิลล์ (Chl) น้ำและสารประกอบลิกนินและเซลลูโลส (Water and Ligno-Cellulose absorptions) ของต้นไม้ชนิดที่แก่เต็มที่ (Betula) ต้นเบิร์ช (Fagus) และต้นเมเปิ้ลที่มีสุขภาพดีกับต้นไม้ที่แก่เต็มที่ (AcerLf, Acerlit) (Roberts, *et al.*, 2016)

หากเปรียบเทียบลักษณะของสูตรโครงสร้างของดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นแคบกับดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นกว้างนั้นแทบไม่มีความแตกต่าง ซึ่งความแตกต่างระหว่างดัชนีพืชพรรณทั้ง 2 ชนิด คือ ความกว้างของช่วงคลื่น โดยดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นแคบใช้ช่วงคลื่นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 นาโนเมตร (nm) ซึ่งมีความกว้างของช่วงคลื่นแคบกว่าช่วงคลื่นที่ใช้ในดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นกว้าง ดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นแคบใช้กับภาพถ่ายแบบไฮเปอร์สเปกตรัลที่มีความถี่ของช่วงคลื่นมาก นอกจากนี้ดัชนีพืชพรรณนั้นได้ถูกออกแบบมาเพื่อเน้นย้ำถึงสถานที่ของพรรณไม้ วัดปริมาณ และคุณภาพขององค์ประกอบของการสังเคราะห์แสงในพืช โดยใช้คุณสมบัติการสะท้อนแสงของพืชเพื่ออธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคลื่นกับองค์ประกอบต่าง ๆ ในใบพืช (รูปที่ 2.2) เช่น ช่วงคลื่นอินฟราเรดสั้น (Short Wave Infrared) ตั้งแต่ 1500 ถึง 1800 และ 2000 ถึง 2350 นาโนเมตร ถูกนำไปใช้ในการตรวจสอบสารประกอบลิกนินและเซลลูโลส และสารประกอบอื่น ๆ ในใบพืช เช่น แคโรทีนอยด์ แอนโทไซยานิน คลอโรฟิลล์ ถูกดูดซับโดยช่วงคลื่นที่มองเห็น (Visible) และช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) จากลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคลื่นกับพืชสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในพื้นที่การเกษตรหรือป่าไม้ ซึ่งช่วยในการเข้าถึงของข้อมูลของพืชและช่วยวางแผนวิเคราะห์ ในการปลูกพืชได้ดียิ่งขึ้น โดยดัชนีพืชพรรณที่ใช้ในงานวิจัยมี 8 ชนิด 10 รูปแบบดังนี้

### 2.7.1 Simple Ratio (SR)

ดัชนี SR เป็นดัชนีพืชพรรณที่ได้รับความนิยมใช้กันแพร่หลายในการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณของค่ามวลชีวภาพและค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ ค่าดัชนีสัดส่วนธรรมดาได้ใช้ประโยชน์จากความสัมพันธ์แบบผกผันของการดูดกลืนในช่วงคลื่นสีแดง และค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ของเรือนยอดของพืชที่มีสุขภาพดี (Cohen, 1991) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ค่าที่ได้จากสมการจะมีตั้งแต่ 0 จนถึงค่าอนันต์

$$SR = \frac{R_{NIR}}{R_{Red}} \quad (1)$$

เมื่อ	SR	คือ	ค่าดัชนี Simple Ratio
	$R_{NIR}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Band)
	$R_{Red}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดง (Red Band)

### 2.7.2 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Rouse, *et al.* (1974) ได้พัฒนาดัชนี NDVI และดัชนีดังกล่าวนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง (Jensen, 2007) เพราะสามารถใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของพืชในช่วงเวลาระหว่างฤดูกาลและในช่วงแต่ละปีได้ ใช้ประมาณค่ามวลชีวภาพและค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบในสังคมพืชได้ดี ในการคำนวณใช้ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มาคำนวณมีรูปแบบสมการดังนี้

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red}} \quad (2)$$

เมื่อ	NDVI	คือ	ค่าดัชนี Normalized Difference Vegetation Index
	$R_{NIR}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Band)
	$R_{Red}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดง (Red Band)

### 2.7.3 Enhanced Vegetation Index (EVI)

ดัชนี EVI ได้รับการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสัญญาณของพืชให้มีความไวต่อการตรวจสอบค่าชีวมวลและค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบในระดับภูมิภาค โดยดัชนี EVI เพิ่มค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นสีฟ้า เพื่อแก้ปัญหาที่ได้รับจากสัญญาณพื้นผิวดินและลดปัญหาที่เกิดจากชั้นบรรยากาศ (Huete, *et al.*, 1997)

$$EVI = \frac{2.5 \times (R_{NIR} - R_{Red})}{R_{NIR} + 6 \times R_{Red} - 7.5 \times R_{Blue} + 1} \quad (3)$$

เมื่อ	EVI	คือ	ค่าดัชนี Enhanced Vegetation Index
	$R_{NIR}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Band)
	$R_{Red}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดง (Red Band)
	$R_{Blue}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีฟ้า (Blue Band)

#### 2.7.4 Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)

ดัชนี SAVI เป็นดัชนีที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการลดผลกระทบจากสัญญาณพื้นดิน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4 (Huete, 1988)

$$SAVI = \left[ \frac{(R_{NIR} - R_{Red})}{(R_{NIR} + R_{Red} + L)} \right] \times (1 + L) \quad (4)$$

เมื่อ	SAVI	คือ	ค่าดัชนี Soil-Adjusted Vegetation Index
	$R_{NIR}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Band)
	$R_{Red}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดง (Red Band)
	L	คือ	ค่าปรับแก้ของดิน มีค่าตั้งแต่ 0-1

#### 2.7.5 Vegetation Atmospherically Resistant Index (VARI)

ดัชนี VARI มีพื้นฐานมาจากดัชนี Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) ซึ่งเป็นดัชนีที่ถูกต่อยอดมาจากดัชนี Normalized Difference Vegetation Index โดยดัชนี Vegetation Atmospherically Resistant Index ใช้ในการพยากรณ์สิ่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับพืช (Vegetation Fraction : VF) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5 และ 6 (Gitelson, *et al.*, 2002)

$$VARI_{Green} = \frac{R_{Green} - R_{Red}}{R_{Green} + R_{Red} + R_{Blue}} \quad (5)$$

$$VARI_{Red\ Edge} = \frac{(R_{Red\ Edge} - 1.7 \times (R_{Red})) + 0.7 \times (R_{Blue})}{(R_{Red\ Edge} - 2.3 \times (R_{Red})) + 1.3 \times (R_{Blue})} \quad (6)$$

เมื่อ	$VARI_{Green}$	คือ	ค่าดัชนี Vegetation Atmospherically Resistant Index ที่ใช้ช่วงคลื่นสีเขียว (Green Band)
	$VARI_{Red\ Edge}$	คือ	ค่าดัชนี Vegetation Atmospherically Resistant Index ที่ใช้ช่วงคลื่นขอบสีแดง (Red Edge Band)
	$R_{Green}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีเขียว (Green Band)
	$R_{Red}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดง (Red Band)
	$R_{Red\ Edge}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นขอบสีแดง (Red Edge Band)
	$R_{Blue}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีฟ้า (Blue Band)

### 2.7.6 Chlorophyll Index (CI)

ดัชนี CI เป็นดัชนีที่สร้างมาจากแนวคิดในการสร้างแบบจำลองโดยใช้ช่วงคลื่น 3 ช่วงคลื่น เพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบคลอโรฟิลล์ในใบไม้ หรือ ต้นไม้และพืชการเกษตร สามารถคำนวณได้จากสมการ 7 และ 8 (Gitelson, *et al.*, 2006)

$$CI_{\text{Green}} = \frac{R_{\text{NIR}}}{R_{\text{Green}}} - 1 \quad (7)$$

$$CI_{\text{Red Edge}} = \frac{R_{\text{NIR}}}{R_{\text{Red Edge}}} - 1 \quad (8)$$

เมื่อ	CI	คือ	ค่าดัชนี Chlorophyll Index
	$R_{\text{NIR}}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Band)
	$R_{\text{Green}}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีเขียว (Green Band)
	$R_{\text{Red Edge}}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นขอบสีแดง (Red Edge Band)

### 2.7.7 Ratio Vegetation Index (RVI)

ดัชนี RVI เป็นดัชนีพืชพรรณที่ใช้สมการในรูปแบบสัดส่วนอย่างง่ายถูกใช้ครั้งแรกโดย Jordan (1969) ในการศึกษาการตรวจวัดดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าเขตร้อน พบว่าที่อัตราส่วนของคลื่นแสงที่ความยาวคลื่นที่ 0.800 ไมโครเมตร และ 0.675 ไมโครเมตร สามารถใช้ในการตรวจสอบดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าได้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 9

$$RVI = \frac{R_{\lambda 1}}{R_{\lambda 2}} \quad (9)$$

เมื่อ	RVI	คือ	ค่าดัชนี Ratio Vegetation Index
	$R_{\lambda 1}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นที่ 1
	$R_{\lambda 2}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นที่ 2

### 2.7.8 Hyperspectral Two-Band Vegetation Index (HTBVI)

ดัชนี HTBVI เป็นดัชนีที่ช่วยในการคัดเลือกช่วงคลื่นที่มีจำนวนมากในข้อมูลการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล เพื่อนำไปใช้ในแบบจำลองต่างที่เกี่ยวข้องกับชีวฟิสิกส์ หรือใช้เป็นตัวแปรต่าง ๆ ในชีวเคมีในพืช โดยลักษณะโครงสร้างของสมการมีความคล้ายคลึงกับดัชนี NDVI โดยแตกต่างการใช้ช่วงคลื่นในการคำนวณซึ่งมีรูปแบบการคำนวณดังสมการที่ 10 (Thenkabail, 2002)

$$\text{HTBVI} = \frac{R_{\lambda_1} - R_{\lambda_2}}{R_{\lambda_1} + R_{\lambda_2}} \quad (10)$$

เมื่อ	HTBVI	คือ	ค่าดัชนี Hyperspectral Two-Band Vegetation Index
	$R_{\lambda_1}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นที่ 1
	$R_{\lambda_2}$	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นที่ 2

## 2.8 การอิมตัวของสัญญาณ

ปัญหาการอิมตัวของสัญญาณในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ เป็นปัญหาที่พบในการสร้างแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของพืชที่มีความหนาแน่นของเรือนยอดสูง โดยปัญหาดังกล่าวจะส่งผลให้เมื่อถึงจุดๆหนึ่งของค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจะทำให้แบบจำลองที่สร้างไม่สามารถพยากรณ์ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบได้ กล่าวคือไม่ว่าเราจะเพิ่มค่าการสะท้อนมากขึ้นเท่าไรดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการพยากรณ์จะมีค่าเท่าเดิมไม่เพิ่มขึ้นตามค่าการสะท้อนที่ใส่เพิ่มเข้ามา เช่น การใช้ดัชนี NDVI ที่ใช้ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้จะประสบปัญหาดังกล่าวเมื่อดัชนีพื้นที่ผิวใบตั้งแต่ 2-3 ตารางเมตรต่อตารางเมตร (Franklin, *et al.*, 1991)

## 2.9 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Earth Observing-1/Hyperion (EO-1/Hyperion)

ภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion เป็นข้อมูลที่ได้จากกล้องถ่ายภาพ Hyperion ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม EO-1 ของประเทศสหรัฐอเมริกา นิยมเรียกชื่อว่าภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Hyperion ทำการบันทึกข้อมูลที่มีความกว้างช่วงคลื่น 10 นาโนเมตร (nm) ใน 1 ช่วงคลื่น ต่อเนื่องติดต่อกันไปตั้งแต่ 356 ถึง 2,578 นาโนเมตร ครอบคลุมข้อมูลในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น อินฟราเรดใกล้ และอินฟราเรดคลื่นสั้น จำนวน 242 ช่วงคลื่น และมีความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ 30 × 30 เมตร มีคุณลักษณะดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะดาวเทียม Earth Observing-1/Hyperion (NASA EO-1 Briefing Materials)

คุณลักษณะดาวเทียม Earth Observing-1/Hyperion	
Sensor	Hyperion
Spatial	30 m
Spectral	242
Radiometric	16 Bit
Visible Bands	35
Near Infrared Bands	35
Short Wave Infrared	172
Band Widths	10 nm
Frequency of Revisit (Days)	16

## 2.10 การถดถอยซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine Regression)

การถดถอยซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีนเป็นวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่องจักร (Machine Learning Method) สามารถใช้สำหรับการคัดเลือกข้อมูล (Feature Selection) การวิเคราะห์ถดถอย (Regression) และการจำแนกข้อมูล (Classification) และถ้าการจำแนกไม่เป็นแบบเส้นตรงวิธีซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีนจะใช้ แบบจำลอง Kernel-based เพื่อสร้างระนาบสมมุติที่เรียกว่า ไฮเปอร์เพลน

(Hyperplane) ที่ไม่เป็นเส้นตรงในการตัดแยกข้อมูล ในกรณีการจำแนกเส้นตรงนั้นสามารถอธิบายขั้นตอนในการทำงานดังนี้

ในกรณีการจำแนกข้อมูล 2 ชนิด สมมติให้  $(Y_i, X_i)$  โดยที่  $i = 1, 2, 3, \dots, N$  ซึ่ง  $N$  คือจำนวนของข้อมูล โดยที่  $Y_i$  คือ ข้อมูลตัวแปรตามในตำแหน่งที่  $i$  มีค่า  $+1$  และ  $-1$  และ  $X_i$  คือ เวกเตอร์ของข้อมูลตัวแปรอิสระ ในขั้นตอนแรกวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนจะสร้างระนาบด้วยใช้สมการเส้นตรงที่เรียกว่า ไฮเปอร์เพลน (สมการที่ 11) เพื่อแยกข้อมูลทั้ง 2 ชนิด แสดงดังรูปที่ 2.3)

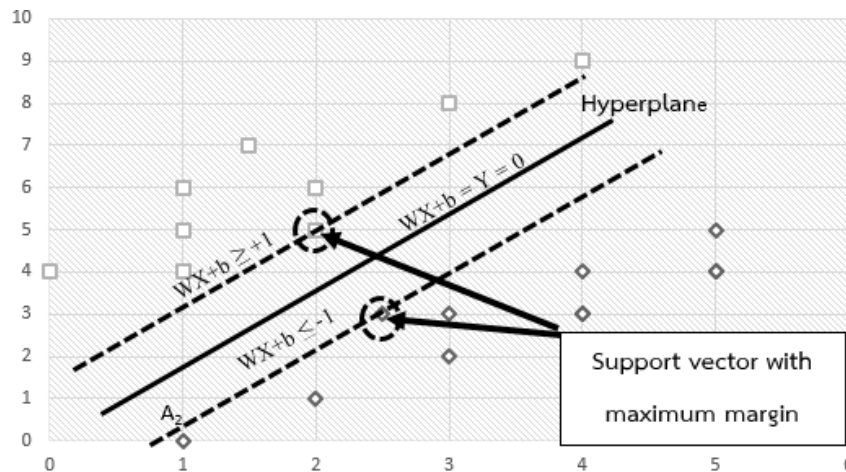
$$WX + b = 0 \quad (11)$$

$$WX + b \leq 1 \quad (12)$$

$$WX + b \geq 1 \quad (13)$$

เมื่อ  $W$  และ  $b$  คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า

หลังจากนั้นวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนจะสร้างเส้นขอบอีก 2 เส้น และขยายออกจากเส้นไฮเปอร์เพลนไปเรื่อย ๆ จนสัมผัสกับขอบของข้อมูลทั้ง 2 ชนิด (เส้น  $A_1$  และ  $A_2$ ) โดยจุดที่เส้นขอบชนกับจุดข้อมูลจะถูกเรียกว่า ซัพพอร์ตเวกเตอร์ ในที่นี้ข้อมูล  $Y$  มีค่า  $+1$  และ  $-1$  เพราะฉะนั้นสมการของเส้นขอบทั้ง 2 จะมีเขียนได้ดังสมการที่ 12 และ 13 ต่อมาจะวัดระยะห่างระหว่างไฮเปอร์เพลนและเส้นขอบทั้ง 2 ด้าน โดยไฮเปอร์เพลนที่มีระยะห่างระหว่างเส้นขอบมากที่สุดจะถูกเลือกเป็นไฮเปอร์เพลนที่ดีที่สุดในการใช้จำแนกข้อมูลและใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลที่สนใจ



รูปที่ 2.3 ลักษณะการตัดแยกข้อมูล 2 ชนิดด้วยวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Bajwa and Kulkarni, 2012)



## 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศุริยะ สถาพร,สาพิศ ดิลกสัมพันธ์ และภาณุมาศ ลาดपालะ (2547) การศึกษาความผันแปรตามฤดูกาลของดัชนีพื้นที่เรือนยอดและการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของป่าดิบแล้งและป่าเบญจพรรณ ทำการศึกษาบริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา และสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง จังหวัดกาญจนบุรี ทำการศึกษาดัชนีพื้นที่เรือนยอดใช้วิธีการถ่ายภาพการปกคลุมของเรือนยอด ในแปลงถาวร 100 x 100 ตารางเมตร ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2546 ถึงเดือนพฤษภาคม 2547 และทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม Hemiview 2.1 พบว่าดัชนีพื้นที่เรือนยอดของป่าดิบแล้งมีค่าสูงสุดในเดือนตุลาคม (3.09) และมีค่าต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ (2.50) มีค่าความเข้มแสงสัมพัทธ์ของป่าดิบแล้งมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าสูงสุดในเดือนกรกฎาคม (ร้อยละ 20.58) และมีค่าต่ำสุดในเดือนพฤศจิกายน (ร้อยละ 15.62) สำหรับป่าเบญจพรรณพบว่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมีค่าสูงสุดในเดือนตุลาคม (2.67) และมีค่าต่ำสุดในเดือนมีนาคม (1.46) ค่าความเข้มแสงสัมพัทธ์ มีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม (ร้อยละ 44.71) และมีค่าต่ำสุดในเดือนพฤศจิกายน (ร้อยละ 15.39) โดยความผันแปรของดัชนีพื้นที่เรือนยอดและความเข้มแสงสัมพัทธ์ของป่าเบญจพรรณมีมากกว่าในป่าดิบแล้ง

Bulcock and Jewitt (2010) ศึกษาการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบโดยใช้การสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล บริเวณตอนกลางของแอฟริกาใต้ ในการศึกษาใช้ภาพถ่ายดาวเทียม EO-1/ Hyperion และดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นแคบ (Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) และ Vogelmann Index 1 ในการประมาณค่าพื้นที่ผิวใบของต้นสน (Eucalyptus) ต้นปาล์ม (Pinus) และต้นอะเคเซีย (Acacia) จากผลการศึกษาพบว่าดัชนีพืชพรรณแบบ Vogelmann Index 1 มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ ซึ่งมีความ RMSE เท่ากับ 0.7 และ ค่าดัชนีพืชพรรณแบบ NDVI และ SAVI มีความแม่นยำในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้นปาล์มที่มีอายุ 12 ปี

Brogea and Leblanc (2001) ศึกษาการใช้ค่าการสะท้อนของพืชจากภาพถ่ายดาวเทียมแบบบอร์ด์แบนด์และแบบไฮเปอร์สเปกตรัลร่วมกับ PROSPECT+SAIL model โดยใช้ดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นกว้างกับช่วงคลื่นแคบ ในการตรวจสอบขีดความสามารถในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Hemispherical Photography) จากการศึกษาพบว่าดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นแคบมีความสามารถในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบดีกว่าการใช้ดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นแบบกว้างและพบว่าดัชนีพืชพรรณ SAVI2 มีความถูกต้องในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบสูงสุด

Mutanga and Skidmore (2004) ได้ศึกษาการประเมินความสามารถของดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นแคบสำหรับการประมาณค่าชีวมวลของหญ้า *Cenchrus Ciliaris* ที่มีความหนาแน่นของเรือนยอดสูง ในการศึกษาใช้ดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นแคบ 3 ชนิด คือ Modified Normalized Difference Vegetation Index (MNDVI), Simple Ratio (SR) และ Transformed Vegetation Index (TVI) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการนำช่วงคลื่น 2 ช่วงคลื่นในระหว่าง 350 นาโนเมตร และ 2500 นาโนเมตร มาผสมกัน และประเมินช่วงคลื่นในตำแหน่งขอบแดง (Red Edge) ในการประมาณค่ามวลชีวภาพของพืชที่มีเรือนยอดปกคลุมหนาแน่น จากการศึกษาพบว่า NDVI แบบมาตรฐานทั่วไป ที่ใช้ในการตรวจสอบคลอโรฟิลล์ โดยใช้ช่วงคลื่นสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ มีประสิทธิภาพในการประมาณค่าชีวมวลต่ำ ( $R^2 = 0.26$ ) ดัชนี MNDVIs ที่ถูกพัฒนามาจาก NDVI โดยการผสมช่วงคลื่นแคบของช่วงคลื่นสั้นและช่วงคลื่นขอบสีแดง (Red Edge) พบว่ามีประสิทธิภาพในการประมาณค่าชีวมวล ( $R^2 = 0.77$ ) จากดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นแคบ NDVIs 20 ชนิด ที่มีค่า  $R^2$  สูงสุดและดัชนี SR มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุด รองลงมา คือ ดัชนีพืชพรรณ NDVI แบบช่วงคลื่นแคบและดัชนีพืชพรรณ TVI ตามลำดับ

Nguy-Robertson, *et al.* (2014) ศึกษาการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบโดยใช้ดัชนีพืชพรรณในการตรวจสอบคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ กับการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวใบสำหรับพืชต่างชนิด และสร้างอัลกอริทึมที่สามารถประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของพืชทั้ง 4 ชนิด (ข้าวโพด ถั่วเหลือง มันฝรั่ง และข้าวสาลี) ได้อย่างถูกต้อง โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการศึกษามีดังนี้ 1) ประมาณค่า ดัชนีพื้นที่ผิวใบของข้าวโพดและถั่วเหลือง และนำอัลกอริทึมที่ได้จากนำไปใช้กับการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของมันฝรั่งและข้าวสาลี 2) สร้างอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพเพื่อในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของพืชแต่ละชนิดโดยไม่สนใจปัจจัยของพืชแต่ละชนิด 3) หาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม จากการศึกษาพบว่าการใช้ข้อมูลการสะท้อนของภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดช่วงคลื่นสูงในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบในช่วงคลื่นสีเขียว (530-570 นาโนเมตร) และช่วงคลื่นสีแดง (700-725 นาโนเมตร) โดยใช้ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index) และดัชนีคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll Index) มีประสิทธิภาพในการสร้างอัลกอริทึมในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ และมีค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบน้อย

Perera and Amarasinghe (2016) ในงานวิจัยเรื่อง Atmospheric carbon removal capacity of a mangrove ecosystem in a micro-tidal basin estuary in Sri Lanka วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือ การอธิบายลักษณะของป่าชายเลน ณ บริเวณปากแม่น้ำ Negombo ซึ่งการพิจารณาความสามารถในการกำจัดก๊าซคาร์บอนในชั้นบรรยากาศและการกักเก็บคาร์บอนในส่วนต่าง ๆ ของพืชเหนือพื้นดินและใต้พื้นดิน บริเวณพื้นที่ป่าชายเลน ณ บริเวณดังกล่าวมีลักษณะเป็นป่า

ปลูกและป่าธรรมชาติ ป่าชายเลนทั้ง 2 ชนิด มีความหลากหลายของโครงสร้าง และสายพันธุ์พืชสูง การบ่งบอกถึงลักษณะการเจริญเติบโตของป่าชายเลนทั้งแบบกึ่งธรรมชาติและแบบธรรมชาติ ใช้ความสัมพันธ์ Allometric ในการคำนวณการเพิ่มขึ้นของชีวมวล ความแตกต่างในการเพิ่มขึ้นของการสะสมของซากพืชซากสัตว์ ชีวมวลบนพื้นดินและใต้ดินและผลผลิตสุทธิของป่าชายเลนทั้ง 2 ชนิดนั้นไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นการอธิบายลักษณะการเพิ่มขึ้นของการสะสมของซากพืชซากสัตว์ ชีวมวล และผลผลิตสุทธิของป่าชายเลนทั้ง 2 ชนิด สามารถอธิบายร่วมกันได้ อัตราเฉลี่ยของซากพืชในป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำ Negombo เท่ากับ  $802 \pm 25 \text{ gm}^{-2}\text{y}^{-1}$  (กรัมต่อตารางเมตรต่อปี) อัตราเฉลี่ยของชีวมวลเหนือพื้นดินเท่ากับ  $1213 \pm 95 \text{ gm}^{-2}\text{y}^{-1}$  และการเพิ่มขึ้นของชีวมวลใต้พื้นดินคิดเป็น  $267 \pm 18 \text{ gm}^{-2}\text{y}^{-1}$  ดังนั้นค่าเฉลี่ยของผลผลิตสุทธิของป่าชายเลนมีค่าเท่ากับ  $2282 \pm 125 \text{ gm}^{-2}\text{y}^{-1}$  ผลผลิตสุทธิของป่าชายเลนแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการลด โดยมีแนวโน้มการลดจากน้ำไปทางพื้นดิน ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความหนาแน่นและดัชนีพื้นที่ผิวใบ จากการศึกษาความสัมพันธ์ทางสถิติ จะพบได้จากโครงสร้างของพันธุ์ไม้ ผลผลิตสุทธิของป่าชายเลนและอัตราการสะสมของคาร์บอนอินทรีย์ของป่าชายเลน ศักยภาพของปริมาณในการกักเก็บคาร์บอนประมาณ 12 ตันต่อเฮกตาร์ต่อปี ซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณของคาร์บอนที่ถูกปล่อยออกมาจากการสันดาปของน้ำมันดีเซลจำนวน 19,357 ลิตร หรือของน้ำมันเบนซิน 22,212 ลิตร และความสามารถของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนประมาณ 12 ตันต่อเฮกตาร์ต่อปี ซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณของคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากการสันดาปของน้ำมันดีเซลจำนวน 19,357 ลิตร หรือของน้ำมันเบนซิน 22,212 ลิตร

Wu, *et al*, (2010) ได้ทดลองใช้ดาวเทียม EO-1/Hyperion โดยใช้ความยาวคลื่นช่วงขอบแดง (Red Edge) 705 และ 750 นาโนเมตร มาใช้ในการคำนวณหาค่าดัชนีพืชพรรณ ในการศึกษาใช้แปลงทดลองเท่ากับ 30 แปลงในการเก็บค่า Chlorophyll Content และค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ ผลการทดลองสามารถประมาณค่าต่าง ๆ ได้สำเร็จ โดยค่า Root Mean Square Error (RMSE) ของค่า Chlorophyll Content และดัชนีพื้นที่ผิวใบมีค่าอยู่ระหว่าง 7.20 – 10.49 และ 0.55– 0.77 ตามลำดับ การใช้ดัชนีพืชพรรณ Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index /Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index (MCARI/OSAVI<sub>705</sub>) และ Chlorophyll Content ให้ค่า RMSE ที่ต่ำกว่า (7.19) และ MCARI<sub>2705</sub> มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบเท่ากับ 0.55

## บทที่ 3

### วิธีการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยเรื่องการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนโดยใช้การสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล แบ่งกระบวนการดำเนินงานออกเป็น 2 ช่วงดังนี้ 1) การสำรวจภาคสนาม 2) การสร้างแบบจำลองและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 3.1

#### 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม PLEIADES บันทึกเมื่อวันที่ 21 มิถุนายน พ.ศ. 2556

3.1.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม EO-1/Hyperion บันทึกเมื่อวันที่ 22 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557

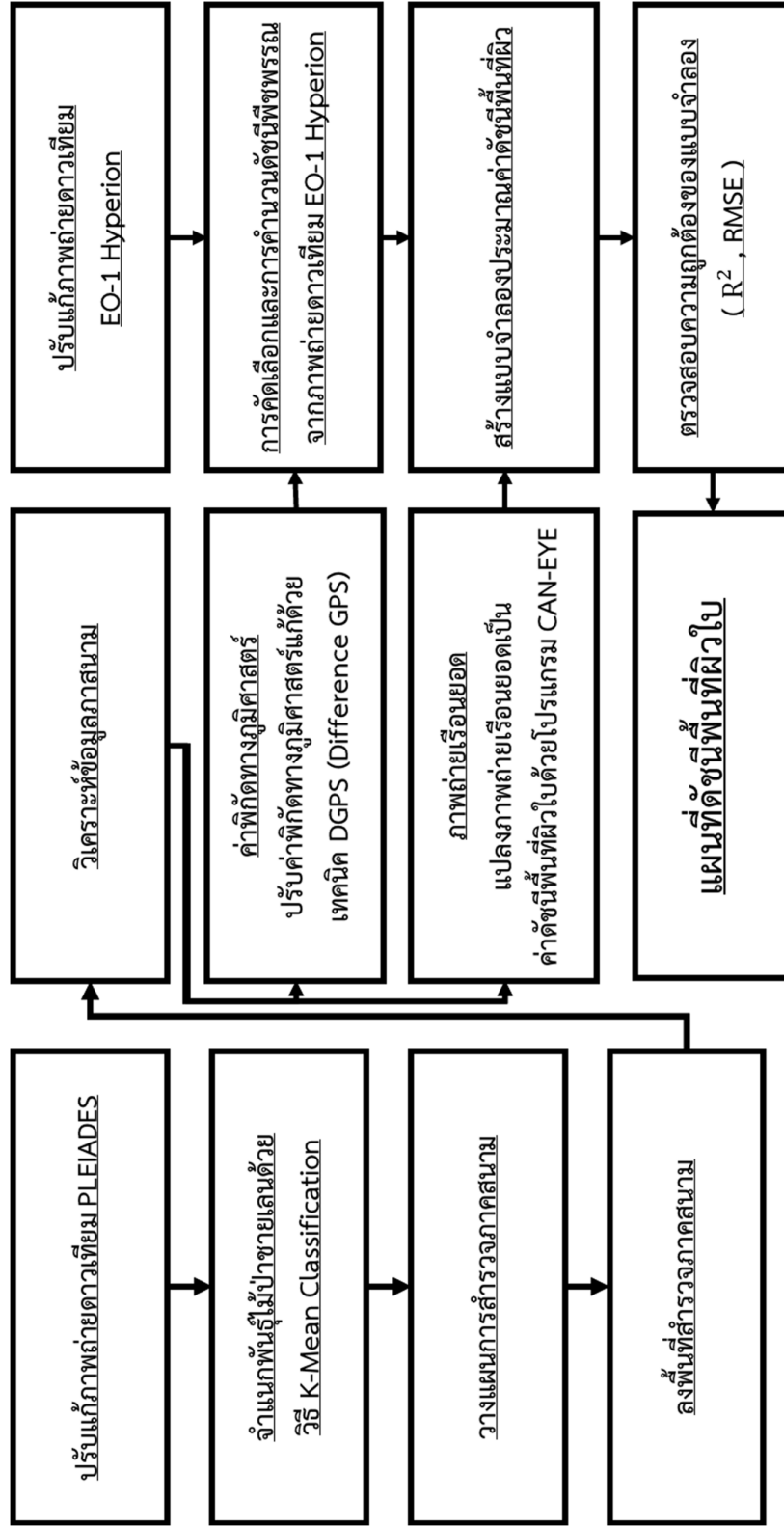
3.1.3 ภาพถ่ายออร์โธรีซิเชิงเลข มาตรฐาน 1:4000 จังหวัดภูเก็ต (กรมแผนที่ดิน, 2545)

3.1.4 ข้อมูลทรัพยากรป่าชายเลนจังหวัดภูเก็ต (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2551 และกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2555)

3.1.5 ภาพถ่ายเรือนยอดของป่าชายเลนในบริเวณพื้นที่ศึกษา (ได้จากการสำรวจภาคสนามเมื่อวันที่ 28 เมษายน พ.ศ. 2557, วันที่ 6-9 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 และ วันที่ 11-12 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 )

3.1.6 ข้อมูลค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ของแปลงเก็บข้อมูลตัวอย่าง (ได้จากการสำรวจภาคสนามเมื่อวันที่ 28 เมษายน พ.ศ. 2557, วันที่ 6-9 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 และ วันที่ 11-12 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 )

3.1.7 มาตรฐานน้ำ่านน้ำไทย แม่น้ำเจ้าพระยา – อ่าวไทย - ทะเลอันดามัน ประจำปี พ.ศ. 2557 (กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ, 2557)



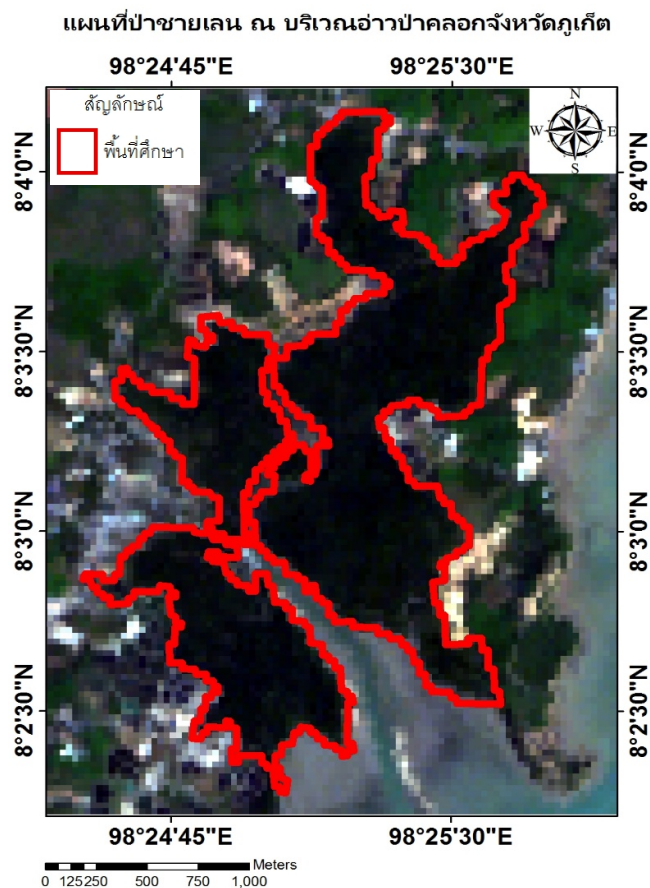
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการวิจัยโดยรวม

### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.2.1 เครื่องรับสัญญาณค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์แบบพกพา (GPS)
- 3.2.2 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล
- 3.2.3 เลนส์ตาปลา (Fish Eye Lens)
- 3.2.4 ขาตั้งกล้อง
- 3.2.5 เชือก
- 3.2.6 เข็มทิศ
- 3.2.7 โปรแกรม CAN-EYE V 6.1
- 3.2.8 โปรแกรมประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม
- 3.2.9 แบบบันทึกข้อมูลการสำรวจภาคสนาม
- 3.2.10 คอมพิวเตอร์

### 3.3 พื้นที่การศึกษา

พื้นที่การศึกษาคือ พื้นที่ป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลอก ตำบลป่าคลอก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต มีพื้นที่ป่าชายเลนประมาณ 2.3 ตารางกิโลเมตร ประกอบไปด้วยพันธุ์ไม้ป่าชายเลนหลักคือ ไม้โกงกางใบเล็ก โปรงแดง แสมดำและตะปุ่นขาว ตามลำดับ ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ละติจูด (Latitude) ที่ 8 องศา 3 ลิปดา 60 พิลิปดา ถึง 8 องศา 2 ลิปดา 26 พิลิปดา เหนือ และลองจิจูด (Longitude) ที่ 98 องศา 25 ลิปดา 39 พิลิปดา ถึง 98 องศา 25 ลิปดา 3 พิลิปดา ตะวันออก แสดงดังรูปที่ 3.2

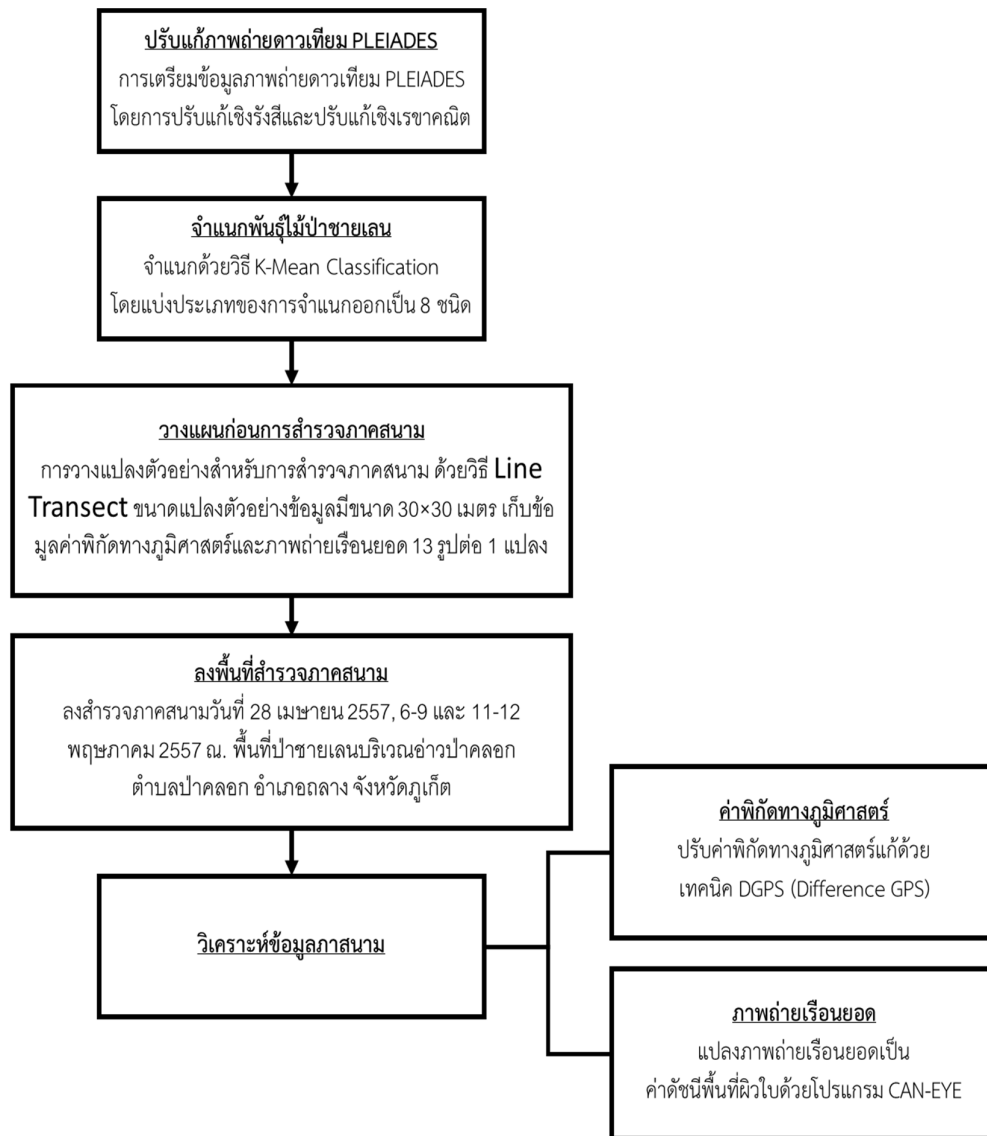


รูปที่ 3.2 แผนที่ป่าชายเลนอ่าวป่าคลอก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต

### 3.4 การลงสำรวจภาคสนาม

การสำรวจภาคสนามเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่องานวิจัย โดยดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษาเป็นข้อมูลที่มีความจำเป็นต่อการสร้างแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ ประกอบด้วยพื้นที่ศึกษาเป็นป่าชายเลนซึ่งมีปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจจะส่งผลต่อการเก็บข้อมูลเช่น น้ำขึ้น น้ำลง ลักษณะพื้นที่ สภาพภูมิอากาศ จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนก่อนการลงสำรวจภาคสนามเพื่อให้ได้ข้อมูลดัชนีพื้นที่ผิวใบที่สมบูรณ์ถูกต้องตามกระบวนการเก็บดัชนีพื้นที่ผิวใบและประหยดงบประมาณและค่าใช้จ่ายให้มากที่สุด โดยขั้นตอนการลงสำรวจภาคสนามประกอบด้วย การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม PLEIADES การจำแนกพื้นที่ป่าชายเลน การวางแผนก่อนการสำรวจภาคสนาม และการ

วิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการนำมาซึ่งข้อมูลดัชนีพื้นที่ผิวใบแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการวิจัย (ขั้นตอนการสำรวจภาคสนาม)



### 3.4.1 การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม PLEIADES

ดาวเทียม PLEIADES เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรสัจชาติฝรั่งเศสที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง (2 เมตร) บันทึกข้อมูลช่วงคลื่นเดี่ยวหรือภาพขาว-ดำ และแบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral) ตั้งแต่ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (Visible) ถึงช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near-Infrared) (ตารางที่ 3.1) สำหรับงานวิจัยนี้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม PLEIADES จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการวางแผนก่อนการลงสำรวจภาคสนาม ซึ่งถูกใช้ในการวางแผนการระบุตำแหน่งพื้นที่ในการเก็บค่าพิกัดภูมิศาสตร์และภาพถ่ายเรือนยอด ซึ่งขั้นตอนการนำภาพถ่ายดาวเทียม PLEIADES มาใช้นั้นจะประกอบไปด้วยขั้นตอนการปรับแก้ความผิดพลาดเชิงรังสี (Radiometric Correction) การปรับแก้ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) และการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน

**ตารางที่ 3.1** คุณลักษณะของภาพถ่ายดาวเทียม PLEIADES

ระบบบันทึกข้อมูล	ช่องสัญญาณ	ช่วงคลื่น
multispectral	B0	430 - 550 nm (Blue)
	B1	500 - 620 nm (Green)
	B2	590 - 710 nm (Red)
	B3	740 - 940 nm (Near - Infrared)
panchromatic	P	470 - 830 nm (Black and White)

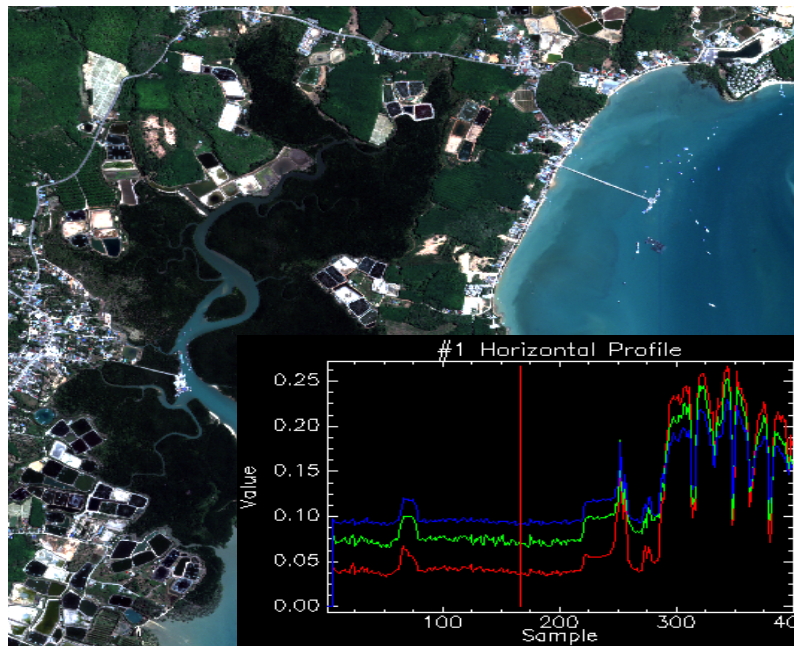
ขั้นตอนการปรับแก้ความผิดพลาดเชิงรังสี (Radiometric Correction) ของภาพถ่ายดาวเทียม PLEIADES แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนซึ่งจะประกอบไปด้วยขั้นตอนการแปลงค่า Digital Number เป็นค่าการแผ่รังสีของวัตถุ (Radiance) โดยใช้สมการที่ 14 และขั้นตอนที่ 2 การแปลงค่าแผ่รังสีของวัตถุเป็นค่าการสะท้อนของวัตถุ (Reflectance) โดยใช้สมการที่ 15 เมื่อดำเนินกระบวนการปรับแก้ความผิดพลาดเชิงรังสีจนมาถึงขั้นตอนสุดท้าย ค่าการสะท้อนของแต่ละแบนด์ของภาพถ่ายดาวเทียมจะมีค่าการสะท้อนตั้งแต่ 0-1 แสดงดังรูป 3.4

$$L_b(p) = \frac{DC(p)}{GAIN(b)} + BIAS(b) \quad (14)$$

เมื่อ	$L_b(p)$	คือ ค่าการแผ่รังสีของวัตถุ (Radiance)
	$DC(p)$	คือ Digital Number
	$GAINS(b)$	คือ ค่า gain ของแต่ละแบนด์
	$BIAS(b)$	คือ ค่า bias ของแต่ละแบนด์

$$\rho_b(p) = \frac{\pi L_b(p)}{E_0(b) \cos(\theta_s)} \quad (15)$$

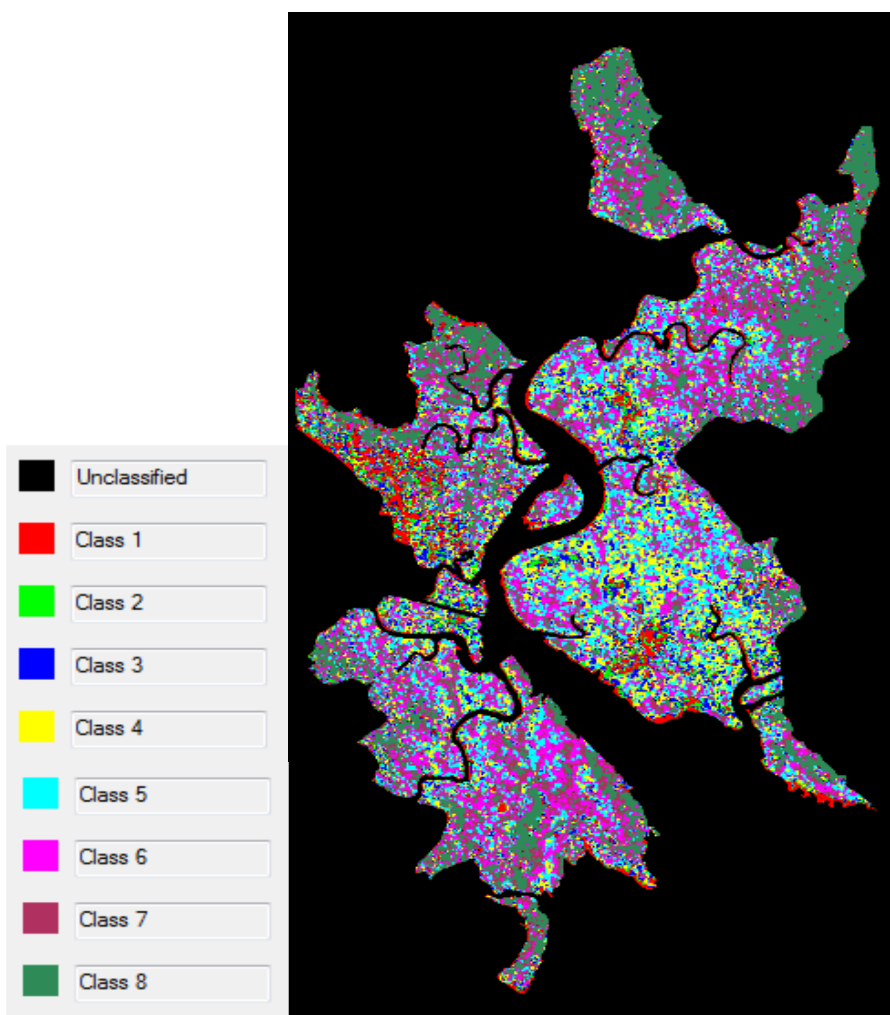
เมื่อ	$\rho_b(p)$	คือ ค่าการสะท้อนของวัตถุ (Reflectance)
	$L_b(p)$	คือ ค่าการแผ่รังสีของวัตถุ (Radiance)
	$E_0$	คือ ค่าพลังงานจากแสงอาทิตย์
	$\theta_s$	คือ solar zenith angle ( $90^\circ - \text{Elevation angle}$ )



รูปที่ 3.4 แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม PLEIADES ที่ผ่านการปรับแก้ความผิดพลาดเชิงรังสี

### 3.4.2 การจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน

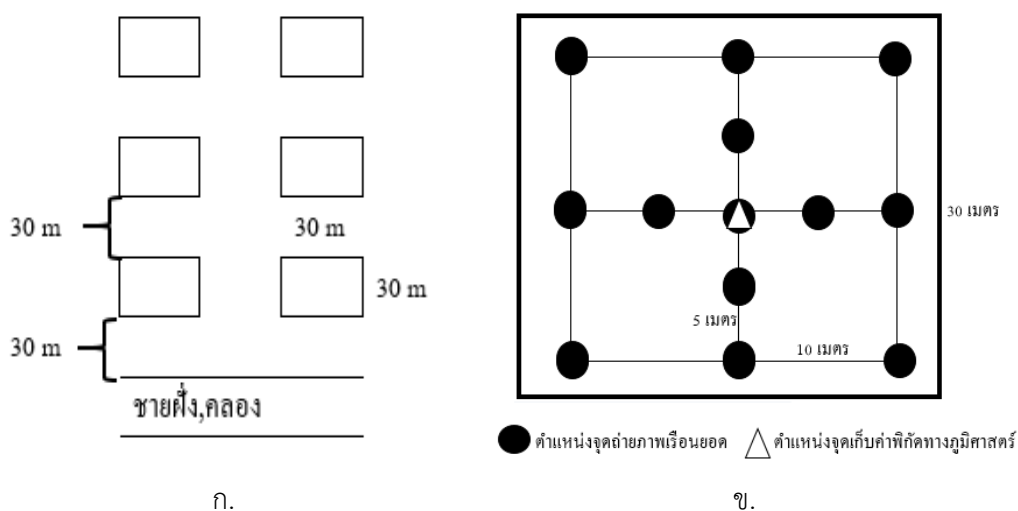
ในกระบวนการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนจะทำการสกัดขอบเขตพื้นที่ศึกษาจากภาพถ่ายดาวเทียม PLEIADES ที่ผ่านการปรับแก้ทั้งเชิงคลื่นและเชิงเรขาคณิต โดยอ้างอิงพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณพื้นที่ศึกษาจากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2552 ของกรมพัฒนาที่ดิน จากนั้นทำการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนโดยวิธีการจำแนกแบบ K-Mean ซึ่งเป็นการจำแนกแบบไม่กำกับดูแล (Unsupervised Classification) และกำหนดจำนวนกลุ่มประเภทข้อมูลที่ต้องการจำแนก 8 ชนิด ซึ่งเป็น 2 เท่าของพันธุ์ไม้เด่น (Dominant species) (Green, *et al.*, 2005) ที่พบในบริเวณพื้นที่การศึกษา โดยพืชป่าชายเลนที่ค้นพบมีดังนี้ โกงกางใบเล็ก แสมดำ โปรงแดง และตะบูนขาว (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2551) แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนที่การจำแนกการจำแนกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน โดยวิธีการจำแนกแบบ K-Mean

### 3.4.3 การวางแผนก่อนการสำรวจภาคสนาม

การวางแผนตัวอย่างสำหรับการสำรวจภาคสนาม การวางแผนตัวอย่างใช้วิธี Line Transect ซึ่งการกำหนดตำแหน่งการวางแผนจะกำหนดจากข้อมูลภาพจากดาวเทียมที่ทำการจำแนกข้อมูลพันธุ์ไม้ของป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษา โดยให้การแปลงตัวอย่างครอบคลุมและกระจายทั่วพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณพื้นที่ศึกษา วิธีการวาง Line Transect จะวางให้ตั้งฉากกับชายฝั่งหรือคลอง และเว้นระยะห่างจากชายฝั่งหรือคลอง 30 เมตร หลังจากนั้นทำการวางแผนการเก็บตัวอย่างข้อมูลขนาด 30x30 เมตร สำหรับการวางแผนในตำแหน่งถัดไป จะเว้นระยะห่างระหว่างแปลง 30 เมตร (รูปที่ 3.6 ก.) เพื่อให้สอดคล้องกับจุดภาพของภาพถ่ายดาวเทียม EO-1/ Hyperion การเก็บค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์จะเก็บบริเวณกลางแปลงตัวอย่างและการเก็บภาพถ่ายเรือนยอด จะทำการเก็บทั้งหมด 13 รูปต่อ 1 แปลง (Pfeifer and Gonsamo, 2015) ซึ่งลักษณะของตำแหน่งการเก็บภาพเรือนยอดและค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์มีลักษณะดังรูปที่ 3.6 ข.



รูปที่ 3.6 การวางแผนตัวอย่างในการเก็บข้อมูลภาคสนาม (ก.) และตำแหน่งของการเก็บภาพถ่ายเรือนยอด (Hemispherical) ใน 1 แปลงตัวอย่าง (ข.)

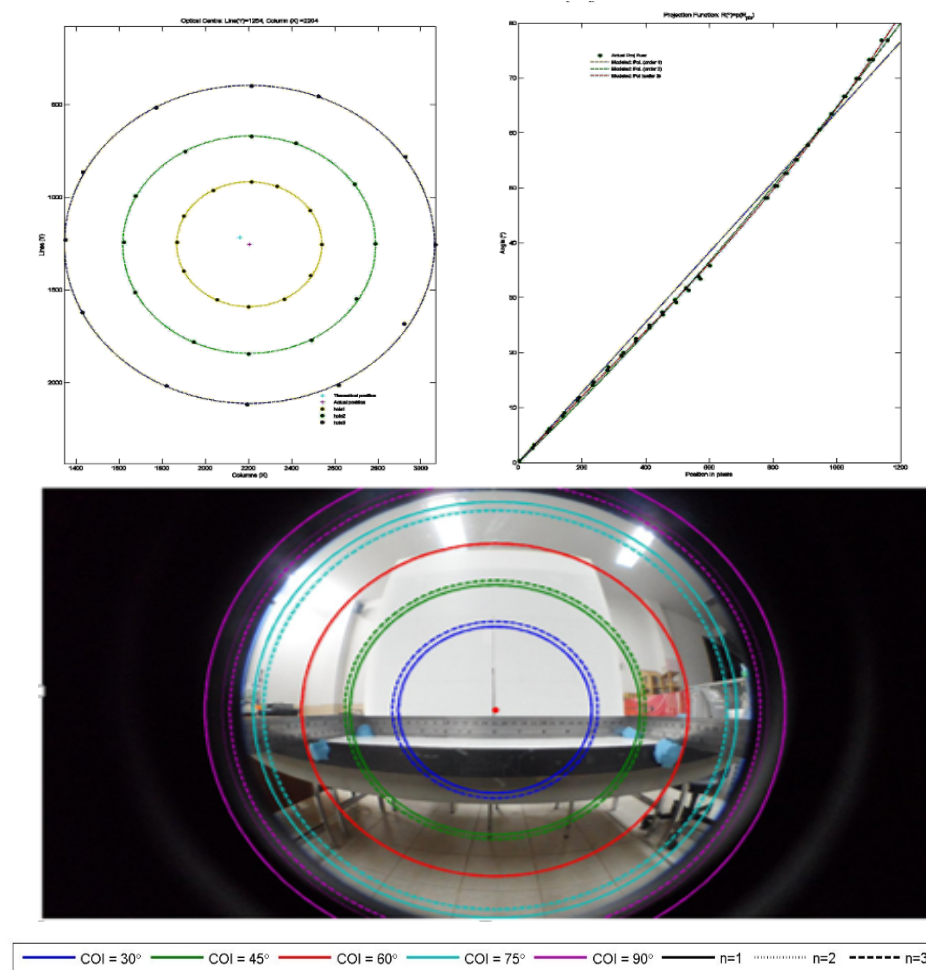
### 3.4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม

ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นขั้นตอนการเตรียมตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์ค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การแปลงข้อมูลภาพถ่ายเรือนยอดให้อยู่ในรูปของดัชนีพื้นที่ผิวน้ำ และการเก็บและปรับแก้ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์โดยวิธีการ Difference GPS (DGPS) โดยมีกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลดังหัวข้อต่อไปนี้

1) การแปลงข้อมูลภาพถ่ายเรื่อนยอดให้อยู่ในรูปของดัชนีพื้นที่ผิวใบ

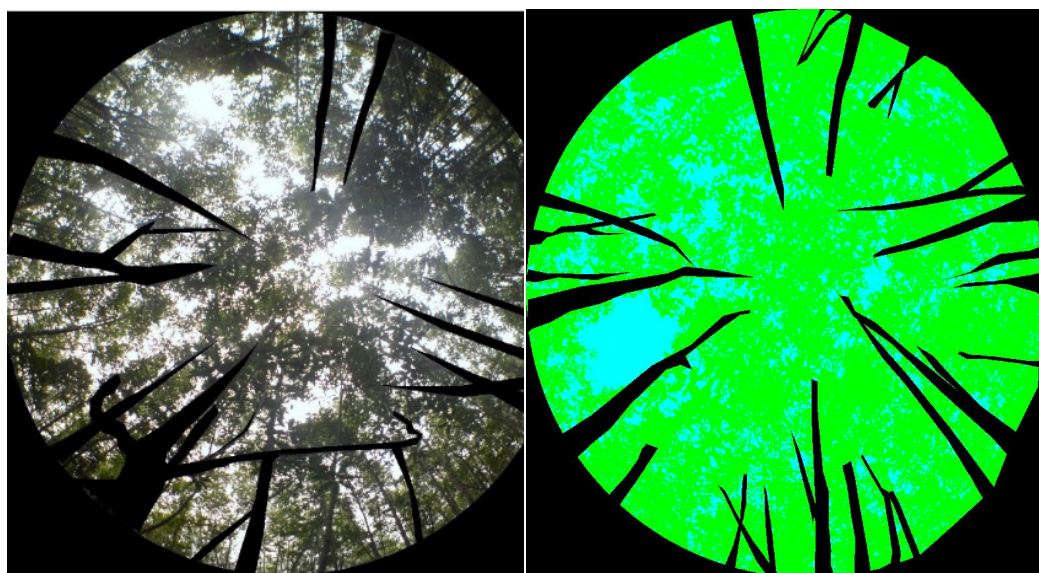
โปรแกรม CAN-EYE V 6.1 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อแสดงคุณลักษณะต่าง ๆ ของเรื่อนยอดพีช (Canopy) จากภาพถ่าย โปรแกรมถูกพัฒนาโดยห้องปฏิบัติการ EMMAH ของสถาบันวิจัยทางเกษตรกรรมแห่งชาติประเทศฝรั่งเศส (Weiss and Baret, 2010) โดยขั้นตอนในการวิเคราะห์ของโปรแกรมแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ดังนี้

1.1) ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ เป็นขั้นตอนในการตรวจสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ของเลนส์ตาปลาและกล้อง เพื่อหาจุดกึ่งกลางของเลนส์ (Optical Center) และฟังก์ชันการฉาย (Projection Function) ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์และประมวลผล แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 จุดกึ่งกลางของเลนส์ (Optical Center) และฟังก์ชันการฉาย (Projection Function)

1.2) เป็นขั้นตอนการสกัดข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องออกจากภาพถ่ายเรณอยอด เช่น ลำต้น กิ่งไม้ และอื่น ๆ ในเบื้องต้นโปรแกรมจะนำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1.1 นำมาสกัดข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องออกบางส่วน ในส่วนที่โปรแกรมไม่ได้สกัดออก ผู้ใช้โปรแกรมจำเป็นต้องสกัดออกด้วยตนเองโดยโปรแกรมจะให้ผู้ใช้สร้างชั้นข้อมูลที่ทำหน้าที่เสมือนหน้ากากเพื่อสกัดข้อมูลที่ไม่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ออก แสดงดังรูปที่ 3.8 ก.



ก.

ข.

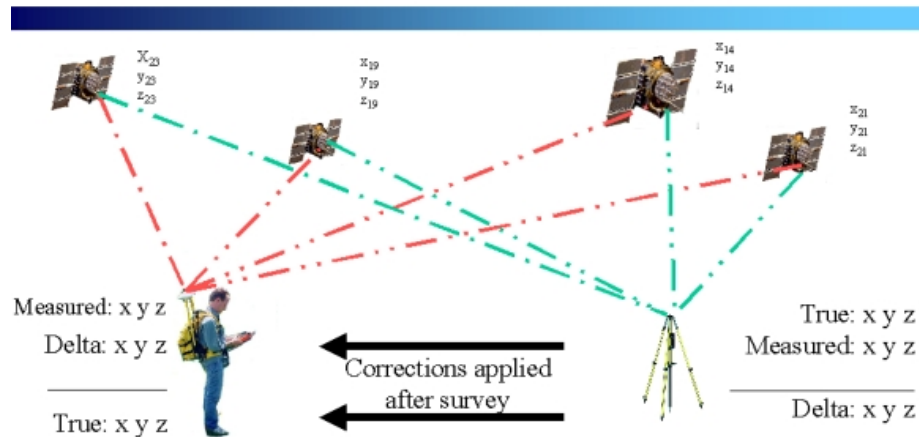
รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายเรณอยอด (Hemispherical) ที่ผ่านการสกัดข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้อง (ก.) และภาพถ่ายเรณอยอด (Hemispherical) ที่ผ่านการจำแนกโดยโปรแกรม CAN-EYE V 6.1 (ข.)

1.3) ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพและแสดงผล เมื่อผ่านขั้นตอนที่ 1.2 โปรแกรมจะทำการจำแนกภาพถ่ายเรณอยอดออกเป็น 2 ชนิด คือ พื้นที่ท้องฟ้าและพื้นที่เรณอยอด แสดงดังรูปที่ 3.8 ข. หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบและแสดงผลค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

2) การเก็บและปรับแก้ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์โดยเทคนิค Difference GPS (DGPS)

เทคนิค Difference GPS (DGPS) เป็นการเก็บค่าพิกัดโดยใช้เครื่องกำหนดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ 2 เครื่อง วัดไปยังดาวเทียมชุดเดียวกันพร้อม ๆ กัน โดยมีหลักการว่าความคาดเคลื่อนใด ๆ ที่มีต่อสัญญาณ GPS จะมีขนาดเหมือนกันสำหรับเครื่องรับสัญญาณที่อยู่ห่างกันไม่เกิน 500 กิโลเมตร หากเก็บค่าพิกัดในจุดที่ทราบค่าพิกัดสามารถคำนวณค่าพิกัดโดยการเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ทราบค่า ทำให้ความถูกต้องทางตำแหน่งอยู่ในระดับ 1-3 เมตร (สมศักดิ์ เอื้ออัสฌมาสัย, 2556 )

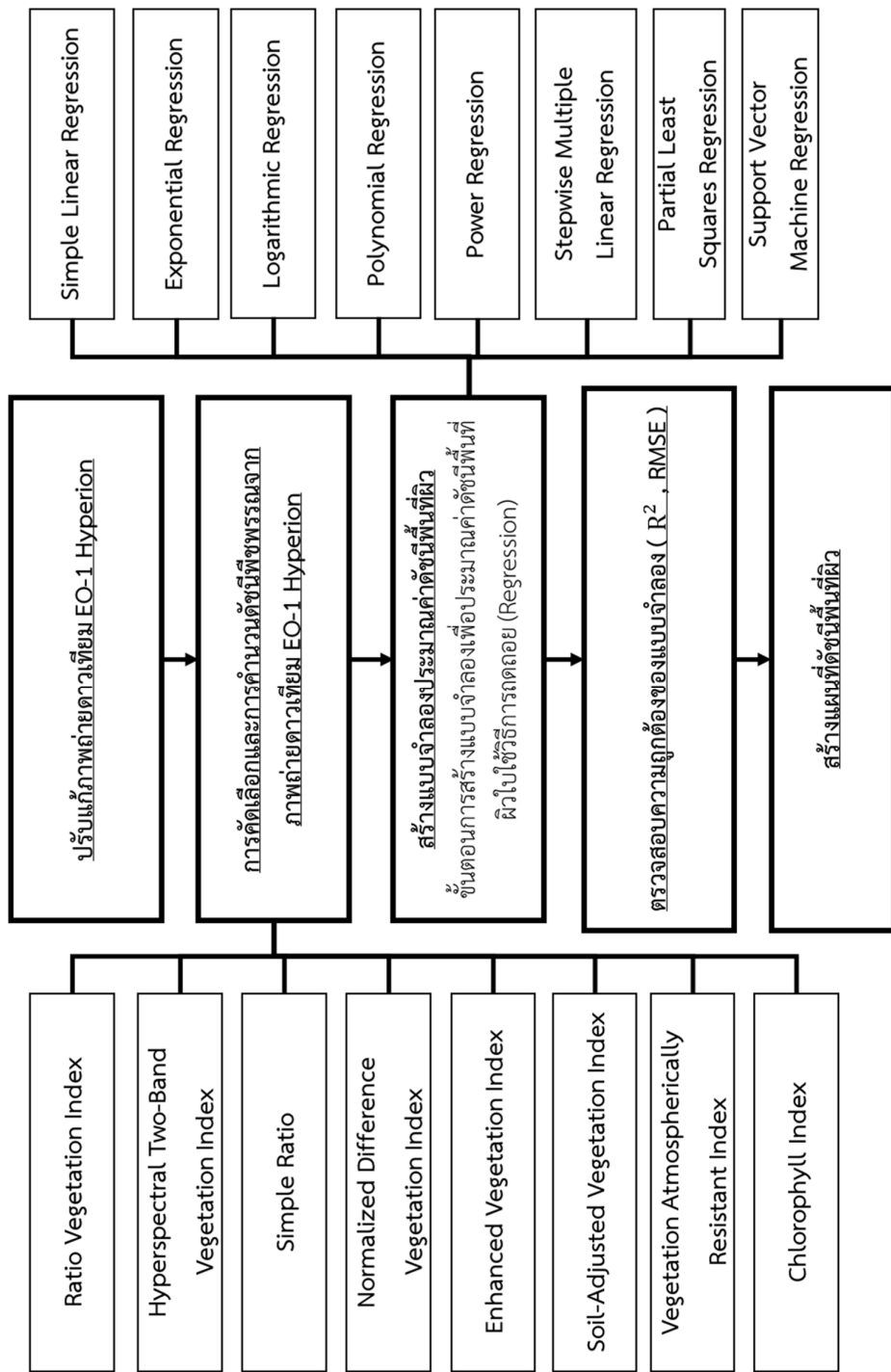
## Differential GPS



รูปที่ 3.9 Difference GPS (อ้างอิงจาก <https://nl.wikipedia.org/wiki/DGPS#/media/File:Dgps1.jpg>, วันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2560)

### 3.5 การสร้างแบบจำลองและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

ขั้นตอนการสร้างและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบเป็นหนึ่งในขั้นตอนที่มีความสำคัญ โดยขั้นตอนดังกล่าวจะนำข้อมูลดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และข้อมูลดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม EO-1/Hyperion มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการถดถอยในรูปแบบต่าง ๆ และสุดท้ายแบบจำลองที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจมากที่สุด และรากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่มีค่าน้อยที่สุดจะถูกนำมาสร้างแผนที่ดัชนีพื้นที่ผิวใบในบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยขั้นตอนการสร้างและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบประกอบด้วยเตรียมข้อมูลและปรับแก้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม EO-1/Hyperion การคัดเลือกดัชนีพืชพรรณและการคำนวณดัชนีพื้นที่ผิวใบ การสร้างแบบจำลองการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ การตรวจสอบความถูกต้องแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ และการสร้างแผนที่ดัชนีพื้นที่ผิวใบ แสดงดังรูปที่ 3.10

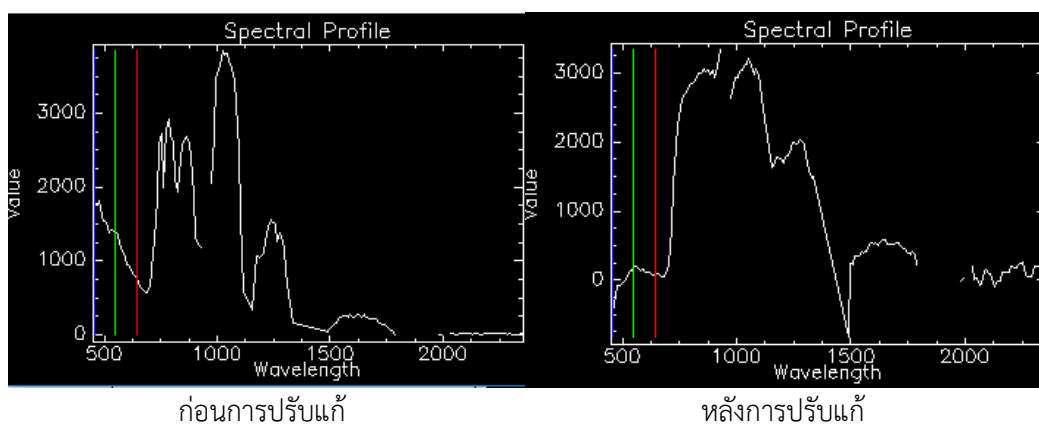


รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการวิจัย (การสร้างแบบจำลองและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพืชผล)



### 3.5.1 การเตรียมข้อมูลและปรับแก้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม EO-1/ Hyperion ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนดังนี้

1) การปรับแก้ความผิดพลาดเชิงรังสี และการปรับแก้เชิงชั้นบรรยากาศ (Radiometric Correction and Atmospheric Correction) ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม EO-1/ Hyperion ใช้ช่วงคลื่นจำนวน 155 ช่วงคลื่นจากจำนวนทั้งหมด 242 ช่วงคลื่น (Datt, *et al.*, 2003) ดังตารางที่ 3.2 จากนั้นใช้วิธีการ de-streaking เพื่อกำจัดริ้วรอยในแนวตั้ง (Vertical striping) ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม EO-1/ Hyperion ต่อมาทำการปรับแก้ชั้นบรรยากาศด้วยแบบจำลอง Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH) ซึ่งใช้พื้นฐานแบบจำลองการถ่ายเทรังสีของชั้นบรรยากาศแบบ MODTRAN-4 ซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์เพื่อการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของพื้นผิวโลกและชั้นบรรยากาศอย่างแม่นยำ หลังจากการทำการปรับแก้ดังกล่าวจะได้ข้อมูลการสะท้อน (Reflectance) แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เปรียบเทียบค่าการสะท้อนของพีชจากภาพถ่ายดาวเทียม EO-1/ Hyperion ก่อนการปรับแก้และหลังการปรับแก้

ตารางที่ 3.2 ช่วงคลื่นทั้ง 155 ช่วงคลื่นที่มีความเสถียรต่อการศึกษาพีชทางการเกษตร (Datt, *et al.*, 2003)

ช่วงคลื่น	แบนด์	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
VNIR	10 - 57	447.9 – 925.9
SWIR	81- 97	952.9 – 1114.3
	101 - 119	1154.7 – 1336.2
	134 -164	1487.6 – 1790.2
	182 - 221	1971.8 – 2365.2

2) การปรับแก้ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) เป็นการแก้ไขความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตที่เกิดขึ้นของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อให้ได้ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ตรงกับพื้นที่จริง ลักษณะของการปรับแก้ที่ผู้วิจัยเลือกใช้การปรับแก้โดยกำหนดระบบตำแหน่งทางภูมิศาสตร์เป็นแบบ UTM โชน 47N โดยอาศัยจุดควบคุม 7 จุด อ้างอิงค่าพิกัดตำแหน่งจากภาพถ่ายออร์โธรีซิซิงเลขของจังหวัดภูเก็ตที่ถูกบันทึกในปี 2545 ของกรมพัฒนาที่ดินกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ประเทศไทย โดยหลังการปรับแก้มีความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยไม่เกิน 1 พิกเซล (pixel)

### 3.5.2 การคัดเลือกและการคำนวณดัชนีพืชพรรณ

การคัดเลือกดัชนีพืชพรรณมาใช้ในการศึกษานั้น ผู้วิจัยเลือกดัชนีพืชพรรณที่ไม่กำหนดช่วงคลื่นอย่างชัดเจนเพราะการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม EO-1/Hyperion ที่มีจำนวนช่วงคลื่นมากให้มีประสิทธิภาพสูงสุดจำเป็นต้องใช้ข้อมูลช่วงคลื่นให้มากที่สุดเท่าที่จะสามารถใช้ได้ และเลือกดัชนีพืชพรรณที่นิยมใช้ในการศึกษาวิจัยในงานวิจัยต่าง ๆ ที่มีเนื้อหาใกล้เคียงกับหัวข้อวิจัย เช่น SR, NDVI, EVI, SAVI ข้อมูลดัชนีพืชพรรณได้มาการนำช่วงคลื่นต่าง ๆ ในภาพถ่ายดาวเทียม EO-1/Hyperion มาคำนวณตามรูปแบบของสมการดัชนีพืชพรรณในแต่ละชนิด การตัดสินใจเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมนั้นตัดสินใจจากการนำช่วงคลื่นทั้ง 155 ช่วงคลื่น มาคำนวณตามเงื่อนไขของแต่ละดัชนีพืชพรรณและนำมาหาความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยวิธีการถดถอยอย่างง่าย หากช่วงคลื่นใดที่ถูกนำมาคำนวณดัชนีพืชพรรณ นำไปหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการถดถอยอย่างง่าย และได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากที่สุด ช่วงคลื่นดังกล่าวจะถูกใช้ในการคำนวณดัชนีพืชพรรณเพื่อสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์ถดถอยในรูปแบบอื่น ๆ ต่อไป

### ตารางที่ 3.3 สมการของดัชนีพืชพรรณ

ดัชนีพืชพรรณ	สมการ
RVI	$\frac{R_{\lambda 1}}{R_{\lambda 2}}$
HTVBI	$\frac{R_{\lambda 1} - R_{\lambda 2}}{R_{\lambda 1} + R_{\lambda 2}}$
SR	$\frac{R_{\lambda 1(NIR)}}{R_{\lambda 2(Red)}}$
NDVI	$\frac{R_{\lambda 1(NIR)} - R_{\lambda 2(Red)}}{R_{\lambda 1(NIR)} + R_{\lambda 2(Red)}}$

ตารางที่ 3.3 สมการของดัชนีพืชพรรณ (ต่อ)

ดัชนีพืชพรรณ	สมการ
EVI	$\frac{2.5 \times (R_{\lambda 1(\text{NIR})} - R_{\lambda 2(\text{Red})})}{R_{\lambda 1(\text{NIR})} + 6 \times R_{\lambda 2(\text{Red})} - 7.5 \times R_{\lambda 3(\text{Blue})} + 1}$
SAVI	$\left[ \frac{(R_{\lambda 1(\text{NIR})} - R_{\lambda 2(\text{Red})})}{(R_{\lambda 1(\text{NIR})} + R_{\lambda 2(\text{Red})} + L)} \right] \times (1 + L)$
VARI <sub>Green</sub>	$\frac{R_{\lambda 1(\text{Green})} - R_{\lambda 2(\text{Red})}}{R_{\lambda 1(\text{GREEN})} + R_{\lambda 2(\text{Red})} + R_{\lambda 3(\text{Blue})}}$
VARI <sub>Red Edge</sub>	$\frac{(R_{\lambda 1(\text{Red Edge})} - 1.7(R_{\lambda 2(\text{Red})}) + 0.7(R_{\lambda 3(\text{Blue})}))}{(R_{\lambda 1(\text{Red Edge})} - 2.3(R_{\lambda 2(\text{Red})}) + 1.3(R_{\lambda 3(\text{Blue})}))}$
Cl <sub>Green</sub>	$\frac{R_{\lambda 1(\text{NIR})}}{R_{\lambda 2(\text{Green})}} - 1$
Cl <sub>Red Edge</sub>	$\frac{R_{\lambda 1(\text{NIR})}}{R_{\lambda 2(\text{Red Edge})}} - 1$

### 3.5.3 การสร้างแบบจำลองการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

ในขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ การวิเคราะห์การถดถอยที่ใช้ในงานวิจัยมี 9 ชนิด ประกอบไปด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหาวเวอร์ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเอกซ์โพเนนเชียล วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียล วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบลอการิทึม การถดถอยเชิงเส้นพหุ การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน การถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน และการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

#### 1) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ 1 ตัวและตัวแปรตาม 1 ตัว (พรสิน สุภวาลย์, 2556) เพื่อนำมาใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณและดัชนีพื้นที่ผิวใบ โดยตัวแปรอิสระ คือ ดัชนีพืชพรรณ และตัวแปรตาม คือ ดัชนีพื้นที่ผิวใบ มีจุดประสงค์หลักในการเพื่อใช้หาสมการในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบและหาช่วงคลื่นที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการคำนวณดัชนีพืชพรรณ

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (16)$$

เมื่อ	Y	คือ	ค่าของตัวแปรตาม
	$\beta_0$ และ $\beta_1$	คือ	ค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า
	x	คือ	ค่าของตัวแปรอิสระ
	$\varepsilon$	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อน

## 2) การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Regression)

การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรงของตัวแปรอิสระ 1 ตัวและตัวแปรตาม 1 ตัว (พรสิน สุภวาลย์, 2556) เพื่อนำมาใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณและดัชนีพื้นที่ผิวใบ โดยรูปแบบของการวิเคราะห์ถดถอยไม่เชิงเส้นที่ใช้ในงานวิจัยมี 4 ชนิด คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพาวเวอร์ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเอกซ์โพเนนเชียล วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียล และวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบลอการิทึม

### ตารางที่ 3.4 สมการการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง

การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง	สมการ
Exponential Regression	$Y = \beta_0 e^{\beta_1 x}$ (17)
Logarithmic Regression	$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x)$ (18)
Polynomial Regression	$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2$ (19)
Power Regression	$Y = \beta_0 x^{\beta_1}$ (20)

เมื่อ	Y	คือ	ค่าของตัวแปรตาม
	$\beta_0$ และ $\beta_1$	คือ	ค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า
	x	คือ	ค่าของตัวแปรอิสระ

### 3) การถดถอยเชิงเส้นพหุ (Multiple Linear Regression)

การถดถอยเชิงเส้นพหุ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระหลายตัว และตัวแปรตาม 1 ตัว (พรลีน สุภวาลัย, 2556) เพื่อนำมาใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณและดัชนีพื้นที่ผิวใบ โดยตัวแปรอิสระ คือ ดัชนีพืชพรรณ และตัวแปรตาม คือ ดัชนีพื้นที่ผิวใบ มีจุดประสงค์หลักในการเพื่อใช้หาแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k + \varepsilon \quad (21)$$

เมื่อ	Y	คือ	ค่าของตัวแปรตาม
	$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$	คือ	ค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า
	$x_1, x_2, \dots, x_k$	คือ	ค่าของตัวแปรอิสระ
	$\varepsilon$	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อน

### 4) การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (Stepwise Multiple Linear Regression)

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (Stepwise Multiple Linear Regression) เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระ เพื่อให้ได้สมการที่ใช้ในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบโดยใช้ตัวแปรอิสระน้อยที่สุดและได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจมากที่สุด โดยทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาในสมการทีละตัว และทดสอบว่าตัวแปรอิสระที่เข้ามาทุกครั้งที่มีการนำตัวแปรอิสระใหม่เข้าไปในสมการ ซึ่งหากพบว่าตัวแปรอิสระที่เพิ่มเข้าไบนั้นไม่ได้ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตัวแปรอิสระตัวนั้นจะถูกกำจัดออกจากสมการ (ทรงศักดิ์ ภูสีอ่อน, 2554)

### 5) การถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Squares Regression)

การถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Squares Regression) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นของกลุ่มตัวแปรอิสระและกลุ่มตัวแปรตาม โดยในที่นี้ค่าดัชนีพืชพรรณเป็นตัวแปรอิสระ จะถูกแปลงเป็นตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า องค์ประกอบวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Squares factor: PLS Factor) ซึ่งวิธีการแปลงนั้นเหมือนกับวิธี Principal Component Analysis (PCA) (Geladi and Kowalski, 1986) ซึ่งวิธีการแปลงนั้นจะเป็นการลดตัวแปรโดยการรวมตัวแปรอิสระหลายตัวให้อยู่ในองค์ประกอบเดียวกันหลังจากการแปลงข้อมูลแล้ว ข้อมูล PLS Factor จะถูกนำมาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม คือ ดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยการถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน

#### 6) การถดถอยซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine Regression)

การถดถอยซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine Regression) เป็นวิธีการที่ใช้เครื่องจักรในการเรียนรู้ ซึ่งวิธีการดังกล่าวเหมาะกับข้อมูลที่มีจำนวนมาก วิธีการถดถอยซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีนมีพื้นฐานจากการจำแนกข้อมูลแบบซัพพอร์ทเวกเตอร์ โดยมีเป้าหมายเพื่อทำการแยกข้อมูล ซึ่งในที่นี้ข้อมูลดัชนีพื้นที่ผิวใบจะถูกแยก 2 ชุด ซึ่งวิธีซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีนจะทำการสร้างระนาบสมมุติที่เรียกว่า ไฮเปอร์เพลน (Hyperplane) ที่ระหว่างข้อมูลดัชนีพื้นที่ผิวใบทั้งสองชุดเพื่อแยกข้อมูลทั้งสองให้ออกจากกัน หลังจากนั้นวิธีซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีนจะสร้างเส้นขอบ 2 เส้น โดยเส้นขอบเส้นที่ 1 จะอยู่บริเวณขอบของข้อมูลชนิดที่ 1 และเส้นขอบเส้นที่ 2 จะอยู่บริเวณขอบของข้อมูลชนิดที่ 2 โดยมีเงื่อนไขว่าระยะห่างระหว่างไฮเปอร์เพลนกับเส้นขอบทั้ง 2 เส้นนั้นจะต้องมีค่ามากที่สุดและต้องขนานกับไฮเปอร์เพลน เมื่อได้ตามเงื่อนไขดังกล่าวจึงนำสมการของไฮเปอร์เพลนมาในการพยากรณ์ (Smola and Schölkopf, 2004)

#### 3.5.4 การตรวจสอบความถูกต้องแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

หลังจากได้แบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ กระบวนการขั้นตอนต่อไป คือ การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง วิธีทางสถิติที่นำมาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง คือ วิธีรากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) และ ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination:  $R^2$ ) เมื่อได้แบบจำลองที่มีค่าของรากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุดและค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจมากที่สุดแบบจำลองดังกล่าว นั้นจะถูกนำไปสร้างแผนที่ดัชนีพื้นที่ผิวใบในขั้นตอนต่อไป

##### 1) วิธีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination: $R^2$ )

ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ เป็นค่าที่บ่งบอกระดับความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง -1.0 ถึง +1.0 โดยค่าที่อยู่ใกล้ -1.0 กับ +1.0 มากที่สุด ถือว่ามีความสัมพันธ์กันมาก และถ้าหากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ มีค่าเท่ากับ 0 หมายความว่า ตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 22 และ 23

$$R^2 = \frac{(\sum XY - N\bar{X}\bar{Y})^2}{(\sum X^2 - N\bar{X}^2)(\sum Y^2 - N\bar{Y}^2)} \quad (22)$$

$$R^2 = \frac{(N\sum XY - (\sum X)(\sum Y))^2}{(N\sum X^2 - (\sum X)^2)(N\sum Y^2 - (\sum Y)^2)} \quad (23)$$

เมื่อ  $R^2$  คือ สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ

$X$  คือ ตัวแปรอิสระ

$Y$  คือ ตัวแปรตาม

2) วิธีรากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) การตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้วิธีรากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) เป็นการวัดค่าความแตกต่างของข้อมูลจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งถ้าหากค่า RMSE น้อย แสดงว่าค่าที่ประมาณค่าจากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง ค่า RMSE สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 24

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (24)$$

เมื่อ  $RMSE$  คือ รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

$n$  คือ จำนวนข้อมูล

$\hat{y}_i$  คือ ค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการประมาณ

$y_i$  คือ ตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการวัด

### 3.5.5 การสร้างแผนที่ดัชนีพื้นที่ผิวใบ

หลังจากขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ แบบจำลองที่ให้ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่มีค่าน้อยที่สุดจะถูกนำมาสร้างแผนที่ดัชนีพื้นที่ผิวใบในบริเวณพื้นที่ศึกษา

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

งานวิจัยเรื่องการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนโดยใช้การสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล เริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลภาคสนามซึ่งประกอบไปด้วย ข้อมูล ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ ข้อมูลภาพถ่ายเร็นนอยด ข้อมูลจำนวนพีชป่าชายเลนต่อ 1 แปลง และชนิดพันธุ์พีชป่าชายเลนในบริเวณพื้นที่ศึกษา จากนั้นทำการปรับแก้และเตรียมข้อมูลภาคสนามเพื่อนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองซึ่งได้แก่ ข้อมูล ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากข้อมูลภาพถ่ายเร็นนอยดที่ถูกแปลงโดยโปรแกรม CAN-EYE ข้อมูล ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ปรับแก้ด้วยเทคนิค DGPS และข้อมูลดัชนีพีชพรรณที่ได้จากการนำค่าสะท้อนมาคำนวณตามรูปแบบของสมการดัชนีพีชพรรณ ต่อมานำข้อมูลดัชนีพีชพรรณและข้อมูลดัชนีพื้นที่ผิวใบมาหาความสัมพันธ์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง (วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพาวเวอร์ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเอกซ์โพเนนเชียล วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียล และวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบลอการิทึม) การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน การถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน และการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน ซึ่งมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการสำรวจภาคสนาม

ป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลอก ตำบลป่าคลอก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ละติจูด (Latitude) ที่ 8 องศา 3 ลิปดา 60 พิลิปดา ถึง 8 องศา 2 ลิปดา 26 พิลิปดา เหนือ และลองจิจูด (Longitude) ที่ 98 องศา 25 ลิปดา 39 พิลิปดา ถึง 98 องศา 25 ลิปดา 3 พิลิปดา ตะวันออก ลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลวันที่ 28 เมษายน พ.ศ. 2557, วันที่ 6-9 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 และวันที่ 11-12 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 จากผลการสำรวจภาคสนามพบพันธุ์ไม้ป่าชายเลนทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata* Bl.) โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata* Poir.)



ตะบูนขาว (*Xylocarpus granatum* Koen.) ตะบูนดำ (*Xylocarpus moluccensis* Roem.) ถั่วขาว (*Bruguiera cylindrical* Bl.) ถั่วดำ (*Bruguiera parviflora* Wight & Arn.ex Griff) และโปรงแดง (*Ceriops tagal* (Perr.) C.B. Rob. ) โกงกางใบเล็ก (9652 ต้น) เป็นพันธุ์ไม้ที่มีความเด่นมากที่สุด รองลงมา คือ โปรงแดง (3664 ต้น) โกงกางใบใหญ่ (373 ต้น) ตะบูนขาว (282 ต้น) ถั่วดำ (187 ต้น) และตะบูนดำ (12 ต้น) ตามลำดับ จากตารางที่ 4.1 ลักษณะของพืชที่อาศัยอยู่ในแปลงตัวอย่างทั้ง 50 แปลงนั้น จะประกอบไปด้วยพันธุ์ไม้ตระกูลโกงกาง ต้นโปรงแดง เป็นหลัก และมีพันธุ์ไม้ป่าชายเลนอื่น ๆ ปะปนอยู่เล็กน้อย มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ 2.94 - 4.97 ตารางเมตรต่อตารางเมตร ดังตารางที่ 4.1 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.89 ตารางเมตรต่อตารางเมตร

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลภาคสนาม

ที่	ค่าพิกัด		ดัชนีพื้นที่ ผิวใบ	จำนวนต้นไม้					
	ตะวันออก	เหนือ		โกงกาง ใบเล็ก	โปรง แดง	ตะบูน ขาว	โกงกาง ใบใหญ่	ตะบูน ดำ	ถั่ว ดำ
1	435917.8	890106.1	3.00	500	10	1	-	-	-
2	435932.1	890045.1	3.29	363	126	1	-	-	-
3	435948.6	889989.3	3.74	385	144	1	-	-	-
4	436344.9	891204.3	4.02	133	220	2	-	-	-
5	436344.2	891146.4	3.84	136	142	30	12	12	-
6	436408.3	891196.4	4.97	154	108	2	-	-	-
7	436408.0	891145.9	4.58	121	218	1	13	-	-
8	436388.4	891083.7	4.92	151	103	-	-	-	-
9	436034.0	891376.4	4.16	106	37	23	-	-	4
10	436055.1	891431.5	4.26	-	19	16	54	-	6
11	436066.4	891503.8	3.90	53	20	29	-	-	7
12	435813.4	890641.7	4.38	119	368	-	2	-	-
13	435886.6	890638.2	4.00	530	20	-	-	-	-
14	435940.9	890630.3	3.50	277	114	-	-	-	-
15	435814.3	890708.5	4.13	297	10	1	-	-	-

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลภาคสนาม (ต่อ)

ที่	ค่าพิกัด		ดัชนีพื้นที่ ผิวใบ	จำนวนต้นไม้					
	ตะวันออก	เหนือ		โกกาท ใบเล็ก	โปรง แดง	ตะปุน ขาว	โกกาท ใบใหญ่	ตะปุน ดำ	ถั่ว ดำ
16	435880.0	890711.4	3.63	281	21	-	-	-	-
17	435954.4	890725.4	4.26	271	36	-	9	-	-
18	436021.9	890511.4	3.40	265	145	1	-	-	-
19	436082.8	890505.5	3.94	182	53	1	-	-	-
20	435739.5	890378.2	3.68	191	167	2	-	-	-
21	436080.4	889077.4	3.57	107	27	3	-	-	-
22	436027.2	889060.3	4.19	161	120	-	1	-	-
23	435962.0	889029.9	4.96	139	-	5	22	-	-
24	436068.4	889137.7	3.64	222	24	1	15	-	-
25	436009.3	889104.1	4.55	147	60	2	4	-	-
26	435957.7	889077.5	4.48	158	27	2	-	-	15
27	435862.5	889383.3	3.33	265	29	-	12	-	-
28	435806.9	889361.5	3.31	201	21	-	29	-	-
29	435834.2	889447.7	3.44	179	71	3	20	-	-
30	435776.6	889411.6	3.23	240	39	1	18	-	-
31	435658.9	889526.2	3.92	285	75	-	48	-	-
32	435580.2	889528.2	3.86	382	30	9	-	-	-
33	435534.2	889500	3.97	247	9	3	13	-	-
34	435389.1	889586.6	3.91	235	54	16	24	-	-
35	435786.7	889341.2	3.54	130	50	19	-	-	-
36	435445.8	889836.9	4.07	147	110	34	-	-	-
37	436070.0	890283.9	4.54	112	120	8	18	-	-
38	436048.1	890227.7	4.66	170	122	9	-	-	2
39	436089.0	890234.7	4.17	147	32	18	1	-	-
40	436065.9	889613.2	3.34	132	45	3	-	-	-

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลภาคสนาม (ต่อ)

ที่	ค่าพิกัด		ดัชนีพื้นที่ ผิวน้ำ	จำนวนต้นไม้					
	ตะวันออก	เหนือ		โกกาท ใบเล็ก	โปรง แดง	ตะปุน ขาว	โกกาท ใบใหญ่	ตะปุน ดำ	ถั่ว ดำ
42	436168.2	889670.6	4.07	62	12	3	-	-	75
43	436103.5	889565.2	3.85	91	30	1	-	-	78
44	436151.0	889600.6	3.37	105	11	-	-	-	-
45	436206.1	889644.8	3.01	150	62	-	-	-	-
46	436244.6	890828.2	3.97	133	108	-	-	-	-
47	436240.9	890759.7	3.79	183	96	-	10	-	-
48	436244.3	890693.6	4.11	157	61	9	4	-	-
49	436499.3	890802.3	3.50	136	29	19	-	-	-
50	436487.8	890744.3	3.89	143	87	-	44	-	-

#### 4.2 ผลการสร้างแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำของป่าชายเลน

จำนวนของแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำมีทั้งหมด 51 แบบจำลอง หากแยกออกตามการวิเคราะห์ถดถอยสามารถแบ่งออกเป็น 9 รูปแบบดังนี้ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Linear Simple Regression) การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง [แบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Regression) แบบพหุนาม (Polynomial Regression) แบบลอการิทึม (Logarithmic Regression) แบบพาวเวอร์ (Power Regression)] การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (Stepwise Multiple Linear Regression) วิธีการถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Squares Regression) และวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine Regression) โดยให้ดัชนีพืชพรรณเป็นตัวแปรอิสระและค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำเป็นตัวแปรตาม ซึ่งมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

#### 4.2.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายจำนวนของแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบไม้ทั้งหมด 10 แบบจำลอง แยกตามดัชนีพืชพรรณทั้ง 10 ชนิด ซึ่งประกอบไปด้วยดัชนี RVI ดัชนี HTVBI ดัชนี SR ดัชนี NDVI ดัชนี EVI ดัชนี SAVI ดัชนี  $VARI_{Green}$  ดัชนี  $VARI_{Red\ Edge}$  ดัชนี  $CI_{Green}$  และดัชนี  $CI_{Red\ Edge}$  โดยมีผลการศึกษาดังตารางที่ 4.2 และมีกราฟแสดงแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ดังรูปที่ 4.1

**ตารางที่ 4.2** ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

อันดับ	ดัชนีพืชพรรณ	คำย่อ	R <sup>2</sup>	RMSE
<b>การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย</b>				
1	Ratio Vegetation Index	RVI	0.344	0.402
2	Hyperspectral Two-Band Vegetation Index	HTVBI	0.343	0.402
3	Simple Ratio	SR	0.157	0.455
4	Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	0.136	0.461
5	Enhanced Vegetation Index	EVI	0.159	0.455
6	Soil-Adjusted Vegetation Index	SAVI	0.136	0.461
7	Vegetation Atmospherically Resistant Index	$VARI_{Green}$	0.145	0.459
8	Vegetation Atmospherically Resistant Index	$VARI_{Red\ Edge}$	0.158	0.455
9	Chlorophyll Induces	$CI_{Green}$	0.067	0.479
10	Chlorophyll Induces	$CI_{Red\ Edge}$	0.157	0.455

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงช่วงคลื่นที่ใช้คำนวณดัชนีพืชพรรณและนำไปหาความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ผิวใบโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย ซึ่งช่วงคลื่นที่ถูกใช้ในแบบจำลองที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากที่สุดของแต่ละดัชนีพืชพรรณจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณดัชนีพืชพรรณ เพื่อใช้เป็นตัวแปรอิสระในการสร้างแบบจำลองโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยในรูปแบบอื่น ๆ ต่อไป และช่วงคลื่นที่ถูกใช้ในการคำนวณดัชนีพืชพรรณของแต่ละดัชนีแสดงดังตารางที่ 4.3

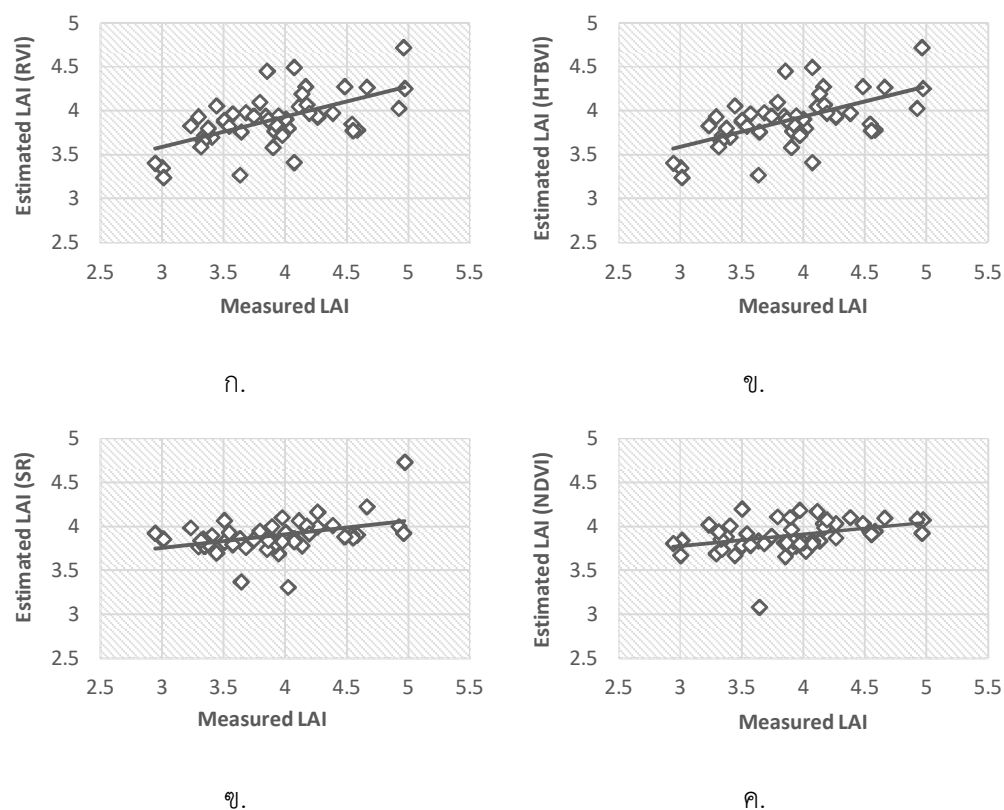
ตารางที่ 4.3 ช่วงคลื่นที่ใช้ในการคำนวณดัชนีพื้นที่ผิวใบ

ดัชนีพืชพรรณ	ความยาวคลื่นที่ 1	ความยาวคลื่นที่ 2	ความยาวคลื่นที่ 3
	$\lambda_1$ (nm)	$\lambda_2$ (nm)	$\lambda_3$ (nm)
RVI	1618.27 <sub>(SWIR)</sub>	1628.81 <sub>(SWIR)</sub>	-
HTBVI	1628.81 <sub>(SWIR)</sub>	1618.27 <sub>(SWIR)</sub>	-
SR	1013.3 <sub>(NIR)</sub>	721.9 <sub>(RE)</sub>	-
NDVI	854.18 <sub>(NIR)</sub>	721.9 <sub>(RE)</sub>	-
EVI	874.53 <sub>(NIR)</sub>	711.72 <sub>(RE)</sub>	498.04 <sub>(B)</sub>
SAVI	854.18 <sub>(NIR)</sub>	721.9 <sub>(RE)</sub>	-
VARI <sub>Green</sub>	508.22 <sub>(G)</sub>	701.55 <sub>(RE)</sub>	447.17 <sub>(B)</sub>
VARI <sub>Red Edge</sub>	701.55 <sub>(RE)</sub>	650.67 <sub>(R)</sub>	447.17 <sub>(B)</sub>
CI <sub>Green</sub>	1013.3 <sub>(NIR)</sub>	528.57 <sub>(G)</sub>	-
CI <sub>Red Edge</sub>	1013.3 <sub>(NIR)</sub>	721.90 <sub>(RE)</sub>	-

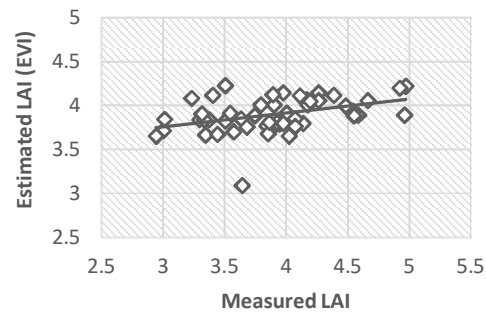
จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 แสดงให้เห็นถึงช่วงคลื่นที่ถูกใช้ในการดัชนีพืชพรรณ โดยในการวิเคราะห์หัตถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย โดยดัชนีที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจมากที่สุด คือ ดัชนี RVI ซึ่งใช้ช่วงคลื่นในช่วงคลื่นอินฟราเรดสั้น ซึ่งช่วงคลื่นดังกล่าวนี้มีความสัมพันธ์กับเป็นช่วงคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับสารประกอบลิกนินและเซลลูโลสในใบของพืช (Roberts, *et al.*, 2016) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเนื้อเยื่อพืชโดยพบในส่วนของผนังเซลล์ทำให้ผนังเซลล์พืชแข็งแรง นอกจากนี้ในดัชนีพืชพรรณที่ใช้ช่วงคลื่นสีแดงเป็นองค์ประกอบในการคำนวณ เช่น ดัชนี SR ดัชนี NDVI ดัชนี EVI และดัชนี SAVI ในการคัดเลือกช่วงคลื่นสีแดงนั้นผู้วิจัยได้ใช้ช่วงคลื่นขอบสีแดงร่วมกับช่วงคลื่นสีแดงพบว่าช่วงคลื่นขอบสีแดงเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจที่มากกว่าช่วงคลื่นสีแดงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mutanga และ Skidmore ในปี ค.ศ. 2004 ได้รายงานว่าดัชนีพืชพรรณ MNDVIs ที่ถูกพัฒนามาจาก NDVI โดยการผสมช่วงคลื่นแคบของช่วงคลื่นอินฟราเรดสั้นและช่วงคลื่นขอบสีแดง (Red Edge Band) พบว่ามีประสิทธิภาพในการประมาณค่าชีวมวลของดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นแคบดีกว่าดัชนีพืชพรรณแบบช่วงคลื่นกว้าง

ตารางที่ 4.4 ความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ดัดแปลงจาก Roberto, *et al.*, 2016)

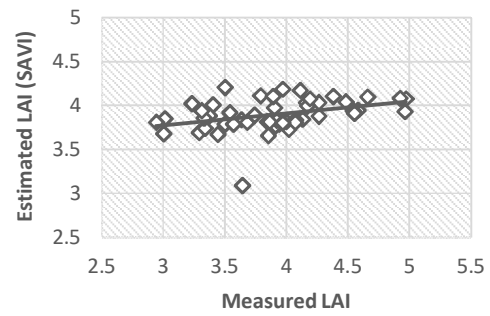
ช่วงคลื่น	คำย่อ	ความยาวคลื่น( $\mu\text{m}$ )	ความยาวคลื่น(nm)
ช่วงคลื่นสีฟ้า	B	0.446 - 0.500	446 - 500
ช่วงคลื่นสีเขียว	G	0.500 - 0.578	500 - 578
ช่วงคลื่นสีแดง	R	0.620 - 0.700	620 - 700
ช่วงคลื่นขอบสีแดง	RE	0.680 - 0.740	680 - 740
ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้	NIR	0.750 - 1.300	750 - 1300
ช่วงคลื่นอินฟราเรดสั้น	SWIR	1.3000 - 2.577	1300 - 2577



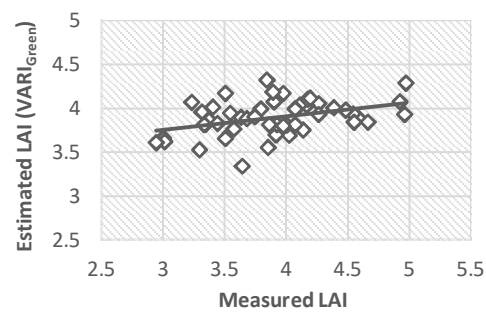
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ( ก. ดัชนี RVI ข.ดัชนี HTBVI ค.ดัชนี SR ด. ดัชนี NDVI)



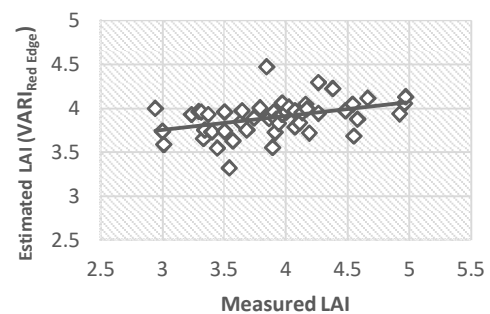
ค.



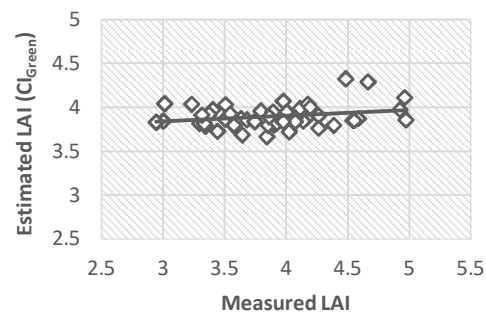
ข.



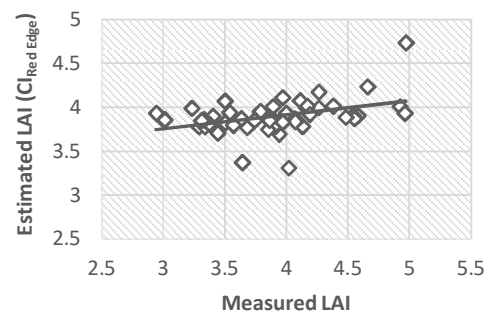
ง.



จ.



ฉ.



ช.

รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ( ค.ดัชนี EVI ข.ดัชนี SAVI ง.  $VARI_{Green}$  จ.ดัชนี  $VARI_{Red\ Edge}$  ฉ.ดัชนี  $CI_{Green}$  ช.ดัชนี  $CI_{Red\ Edge}$  ) (ต่อ)

#### 4.2.2 การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง

การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงประกอบไปด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเอกซ์โพเนนเชียล วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบลอการิทึม วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียล และวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพาวเวอร์ มีแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบทั้งหมด 36 แบบจำลอง

##### 1) วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเอกซ์โพเนนเชียล

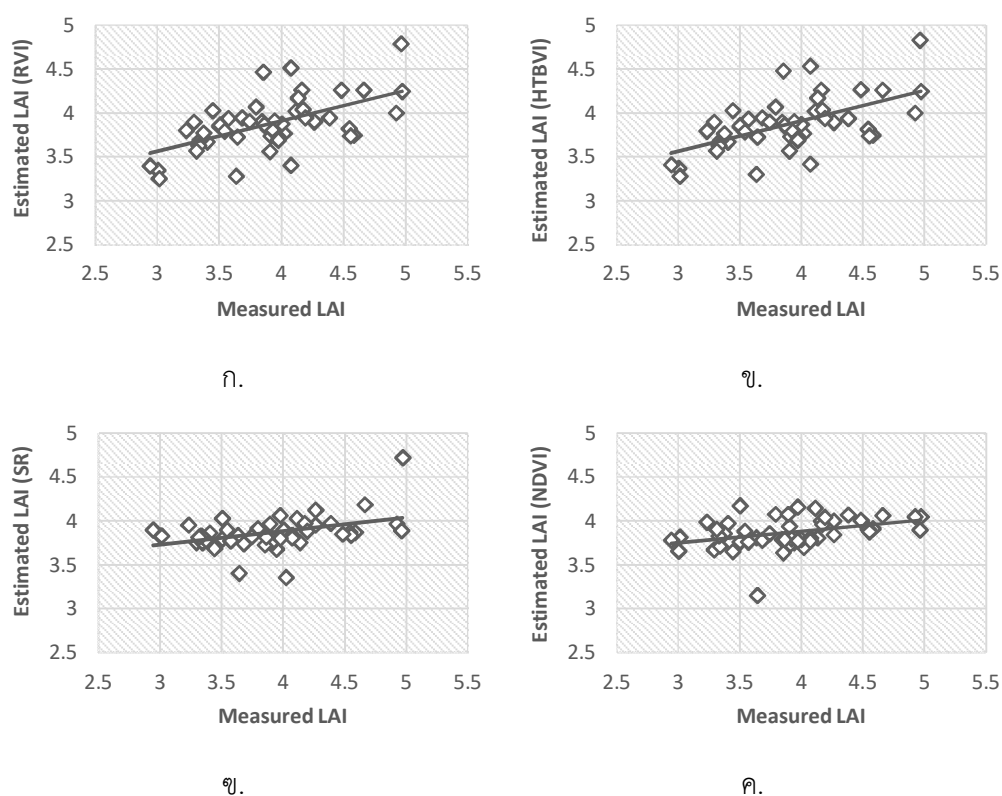
การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเอกซ์โพเนนเชียลจำนวนของแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมีทั้งหมด 10 แบบจำลองแยกตามดัชนีพืชพรรณทั้ง 10 ชนิด ซึ่งประกอบไปด้วยดัชนี RVI ดัชนี HTVBI ดัชนี SR ดัชนี NDVI ดัชนี EVI ดัชนี SAVI ดัชนี  $VARI_{Green}$  ดัชนี  $VARI_{Red\ Edge}$  ดัชนี  $CI_{Green}$  และดัชนี  $CI_{Red\ Edge}$  โดยมีผลการศึกษาดังตารางที่ 4.5

**ตารางที่ 4.5** ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเอกซ์โพเนนเชียล

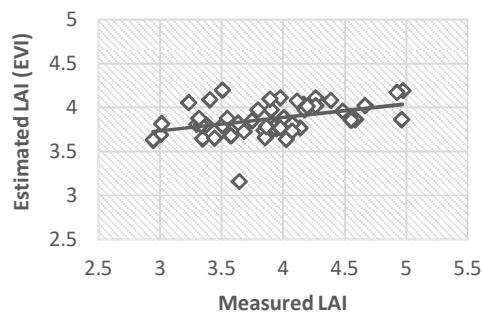
อันดับ	ดัชนีพืชพรรณ	คำย่อ	R <sup>2</sup>	RMSE
<b>วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเอกซ์โพเนนเชียล</b>				
1	Ratio Vegetation Index	RVI	0.351	0.403
2	Hyperspectral Two-Band Vegetation Index	HTVBI	0.349	0.404
3	Simple Ratio	SR	0.136	0.454
4	Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	0.131	0.460
5	Enhanced Vegetation Index	EVI	0.151	0.454
6	Soil-Adjusted Vegetation Index	SAVI	0.131	0.760
7	Vegetation Atmospherically Resistant Index	$VARI_{Green}$	0.146	0.460
8	Vegetation Atmospherically Resistant Index	$VARI_{Red\ Edge}$	0.156	0.456
9	Chlorophyll Induces	$CI_{Green}$	0.057	0.479
10	Chlorophyll Induces	$CI_{Red\ Edge}$	0.142	0.573



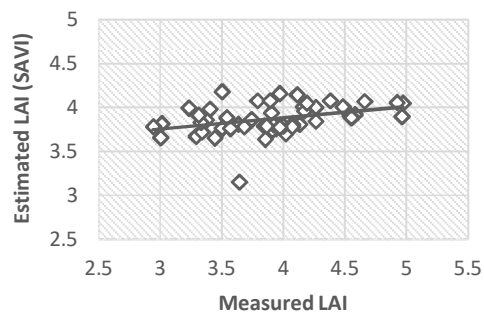
จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเอกซ์โพเนนเชียลโดยแบบจำลองที่ดีที่สุด 3 อันดับแรกโดยยึดจากแบบจำลองที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจมากที่สุดและมีค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุดคือแบบจำลองที่ใช้ดัชนี RVI รองลงมา คือ ดัชนี HTVBI และ ดัชนี  $VARI_{Red\ Edge}$  ตามลำดับ และมีกราฟแสดงแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเอกซ์โพเนนเชียลกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ดังรูปที่ 4.2



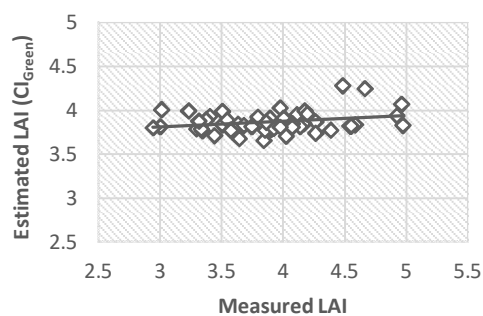
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเอกซ์โพเนนเชียลกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ( ก. ดัชนี RVI ข.ดัชนี HTVBI ข.ดัชนี SR ค. ดัชนี NDVI)



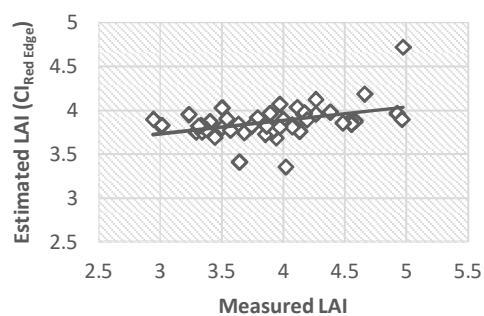
ค.



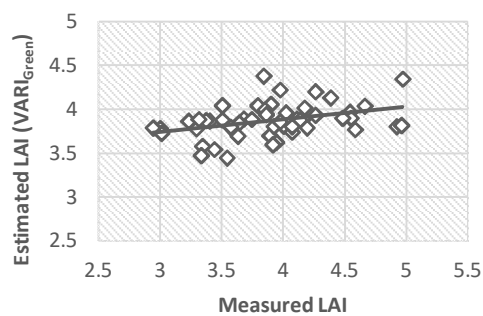
ข.



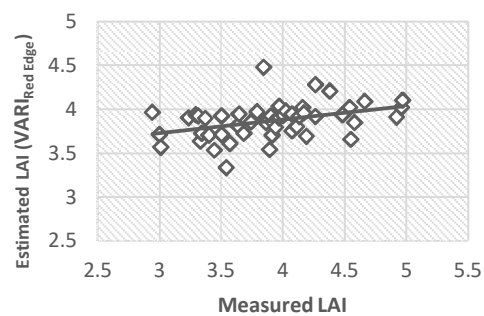
ง.



จ.



ฉ.



ช.

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบ  
 เอกซ์โพเนนเชียลกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม (ค.ดัชนี EVI ข.ดัชนี SAVI ง.  $VARI_{Green}$  จ.ดัชนี  
 $VARI_{Red\ Edge}$  ฉ.ดัชนี  $CI_{Green}$  ช.ดัชนี  $CI_{Red\ Edge}$ ) (ต่อ)

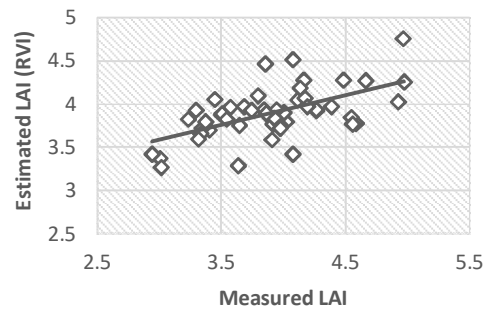
## 2) วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบลอการิทึม

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบลอการิทึมมีจำนวนของแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบไม้ทั้งหมด 8 แบบจำลองแยกตามดัชนีพืชพรรณทั้ง 8 ชนิด ซึ่งประกอบไปด้วยดัชนี RVI ดัชนี SR ดัชนี NDVI ดัชนี EVI ดัชนี SAVI ดัชนี  $VARI_{Red\ Edge}$  ดัชนี  $CI_{Green}$  และดัชนี  $CI_{Red\ Edge}$  โดยมีผลการศึกษาดังตารางที่ 4.6

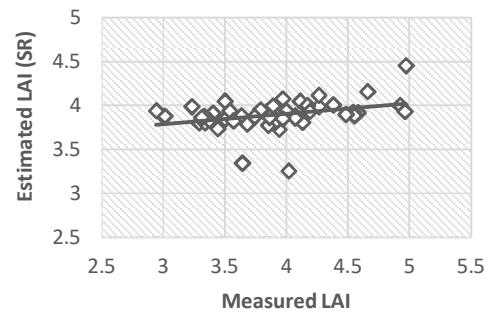
**ตารางที่ 4.6** ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบลอการิทึม

อันดับ	ดัชนีพืชพรรณ	คำย่อ	R <sup>2</sup>	RMSE
<b>วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบลอการิทึม</b>				
1	Ratio Vegetation Index	RVI	0.343	0.402
2	Simple Ratio	SR	0.118	0.466
3	Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	0.117	0.466
4	Enhanced Vegetation Index	EVI	0.138	0.460
5	Soil-Adjusted Vegetation Index	SAVI	0.117	0.466
6	Vegetation Atmospherically Resistant Index	$VARI_{Red\ Edge}$	0.159	0.455
7	Chlorophyll Induces	$CI_{Green}$	0.030	0.488
8	Chlorophyll Induces	$CI_{Red\ Edge}$	0.064	0.480

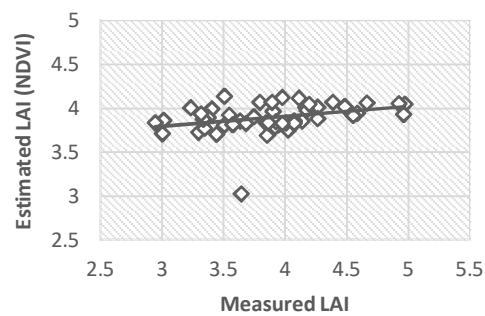
จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเอกซ์โพเนนเชียลโดยแบบจำลองที่ดีที่สุด 3 อันดับแรกโดยยึดจากแบบจำลองที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจมากที่สุดและมีค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุดคือแบบจำลองที่ใช้ดัชนี RVI รองลงมา ดัชนี  $VARI_{Red\ Edge}$  และ EVI ตามลำดับ และมีกราฟแสดงแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบไม้ที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบลอการิทึมกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ดังรูปที่ 4.3



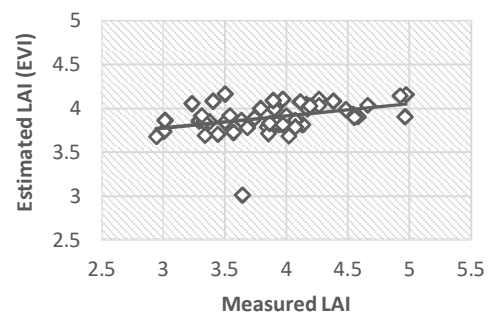
ก.



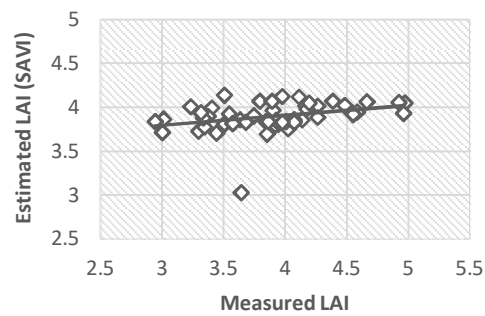
ข.



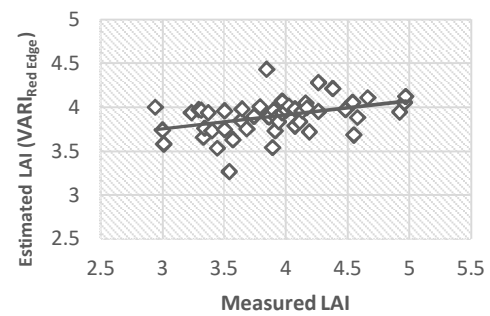
ค.



ค.

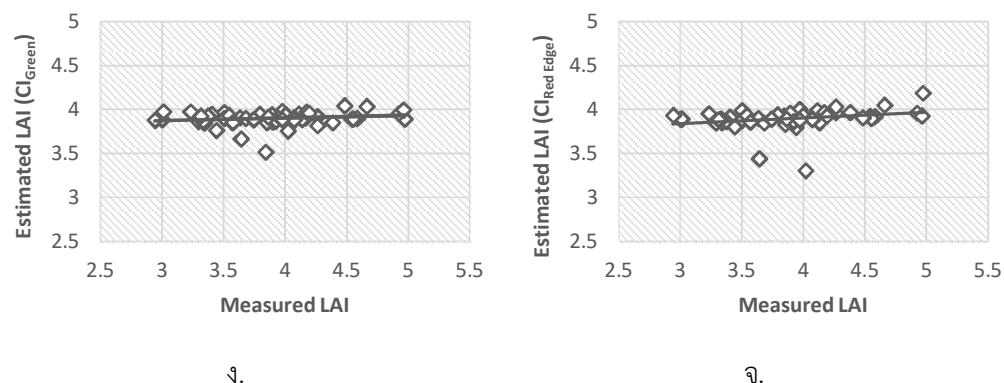


ค.



ง.

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างจากการวิเคราะห์การถดถอยแบบลอการิทึมกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ( ก. ดัชนี RVI ข. ดัชนี SR ค. ดัชนี NDVI ค. ดัชนี EVI ค. ดัชนี SAVI ง. ดัชนี  $VARI_{Red\ Edge}$  )



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างจากการวิเคราะห์การถดถอยแบบลอการิทึมกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม (ง.ดัชนี  $CI_{Green}$  จ.ดัชนี  $CI_{Red Edge}$ ) (ต่อ)

### 3) วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียล

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียลจำนวนของแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมีทั้งหมด 10 แบบจำลอง แยกตามดัชนีพืชพรรณทั้ง 10 ชนิด ซึ่งประกอบไปด้วยดัชนี RVI ดัชนี HTVBI ดัชนี SR ดัชนี NDVI ดัชนี EVI ดัชนี SAVI ดัชนี  $VARI_{Green}$  ดัชนี  $VARI_{Red Edge}$  ดัชนี  $CI_{Green}$  และดัชนี  $CI_{Red Edge}$  โดยมีผลการศึกษาดังตารางที่ 4.7

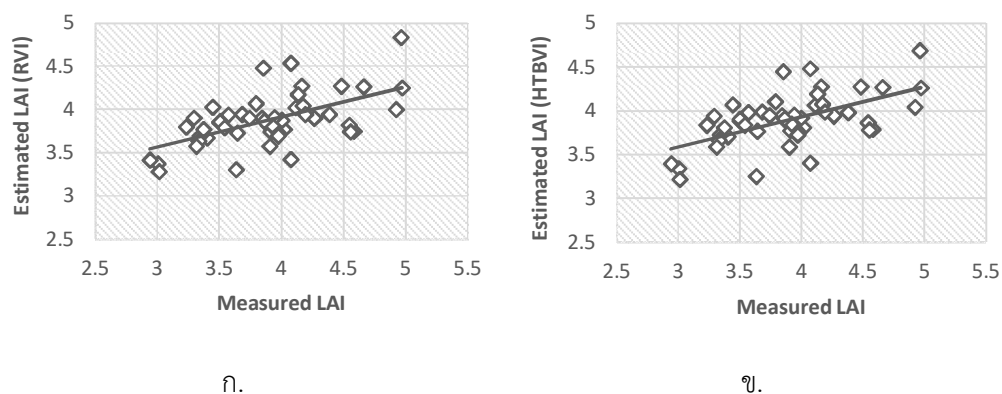
ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียล

อันดับ	ดัชนีพืชพรรณ	คำย่อ	$R^2$	RMSE
<b>วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียล</b>				
1	Ratio Vegetation Index	RVI	0.344	0.402
2	Hyperspectral Two-Band Vegetation Index	HTVBI	0.344	0.402
3	Simple Ratio	SR	0.193	0.445
4	Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	0.158	0.455
5	Enhanced Vegetation Index	EVI	0.182	0.448
6	Soil-Adjusted Vegetation Index	SAVI	0.158	0.455

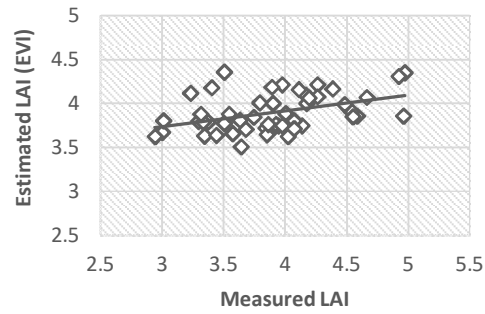
ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสนใจและค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียล (ต่อ)

อันดับ	ดัชนีพืชพรรณ	คำย่อ	R <sup>2</sup>	RMSE
วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียล				
7	Vegetation Atmospherically Resistant Index	VARI <sub>Green</sub>	0.145	0.459
8	Vegetation Atmospherically Resistant Index	VARI <sub>Red Edge</sub>	0.160	0.454
9	Chlorophyll Induces	CI <sub>Green</sub>	0.086	0.474
10	Chlorophyll Induces	CI <sub>Red Edge</sub>	0.193	0.445

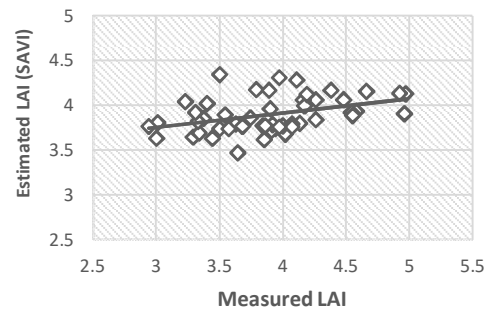
จากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียลโดยแบบจำลองที่ดีที่สุด 3 อันดับแรกโดยยึดจากแบบจำลองที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสนใจมากที่สุดและมีค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ แบบจำลองที่ใช้ดัชนี RVI รองลงมา คือ ดัชนี HTVBI และ ดัชนี SR ตามลำดับ และมีกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียลกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนามดังรูปที่ 4.4



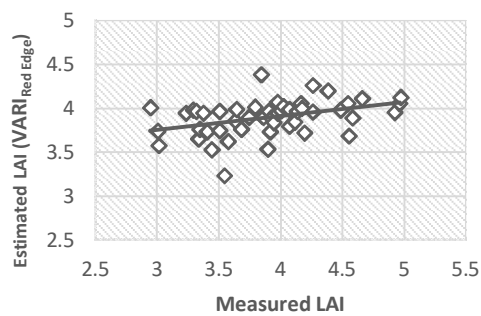
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างจากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียลกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ( ก. ดัชนี RVI ข.ดัชนี HTVBI)



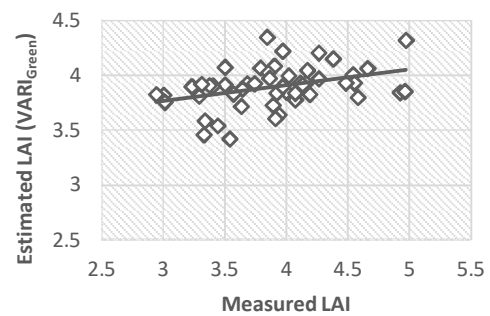
ค.



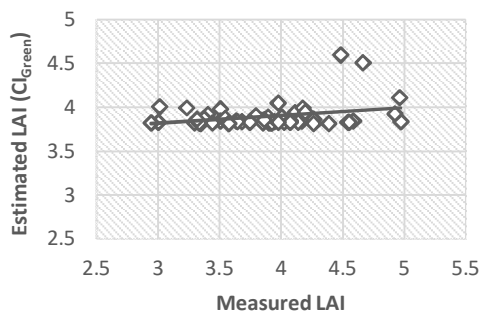
ข.



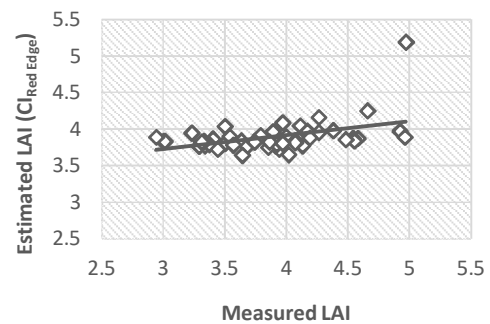
ง.



จ.



ฉ.



ช.

รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างจากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียลกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม (ค.ดัชนี EVI ข.ดัชนี SAVI ง.ดัชนี  $VARI_{Red\ Edge}$  จ.ดัชนี  $VARI_{Green}$  ฉ.ดัชนี  $CI_{Green}$  ช.ดัชนี  $CI_{Red\ Edge}$ ) (ต่อ)

#### 4) วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพาร์วอร์

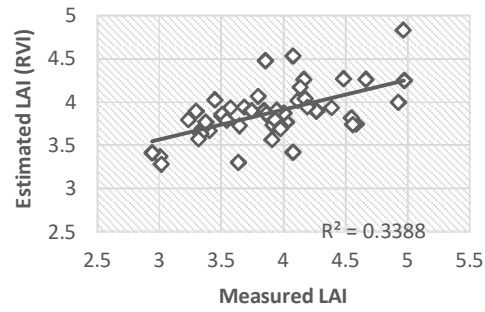
การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพาร์วอร์มีจำนวนของแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบทั้งหมด 8 แบบจำลอง แยกตามดัชนีพืชพรรณทั้ง 8 ชนิด ซึ่งประกอบไปด้วยดัชนี RVI ดัชนี SR ดัชนี NDVI ดัชนี EVI ดัชนี SAVI ดัชนี  $VARI_{Red\ Edge}$  ดัชนี  $CI_{Green}$  และดัชนี  $CI_{Red\ Edge}$  โดยมีผลการศึกษาดังตารางที่ 4.8

**ตารางที่ 4.8** ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพาร์วอร์

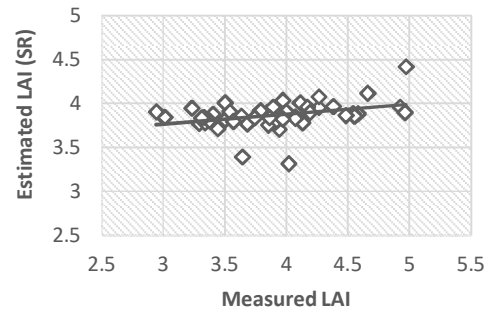
อันดับ	ดัชนีพืชพรรณ	คำย่อ	R <sup>2</sup>	RMSE
<b>วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพาร์วอร์</b>				
1	Ratio Vegetation Index	RVI	0.349	0.404
2	Simple Ratio	SR	0.101	0.464
3	Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	0.112	0.465
4	Enhanced Vegetation Index	EVI	0.132	0.459
5	Soil-Adjusted Vegetation Index	SAVI	0.112	0.465
6	Vegetation Atmospherically Resistant Index	$VARI_{Red\ Edge}$	0.148	0.456
7	Chlorophyll Induces	$CI_{Green}$	0.023	0.489
8	Chlorophyll Induces	$CI_{Red\ Edge}$	0.054	0.479

จากตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพาร์วอร์ โดยแบบจำลองที่ดีที่สุด 3 อันดับแรก โดยยึดจากแบบจำลองที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจมากที่สุดและมีค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ แบบจำลองที่ใช้ดัชนี RVI รองลงมา คือ ดัชนี  $VARI_{Red\ Edge}$  และ ดัชนี EVI ตามลำดับ และมีกราฟแสดงแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเอกซ์โพเนนเชียลกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ดังรูปที่ 4.5

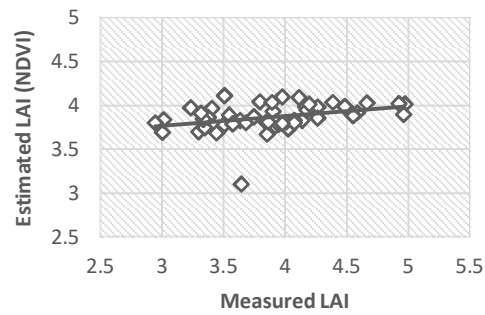




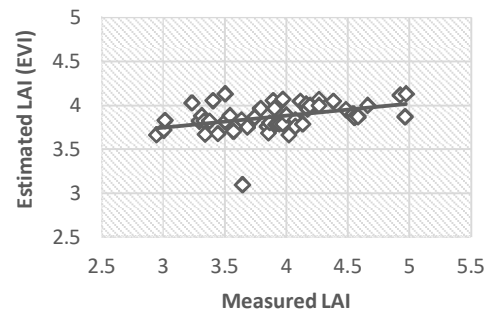
ก.



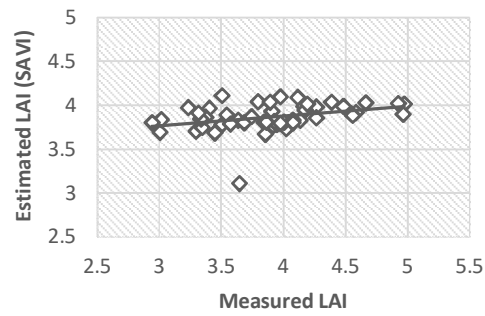
ข.



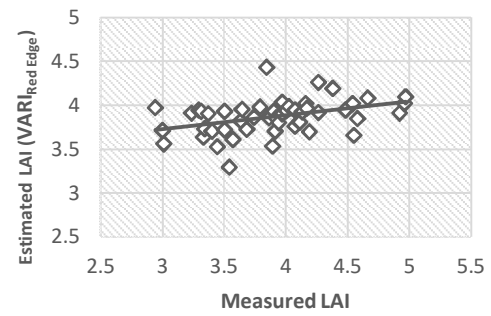
ค.



ค.

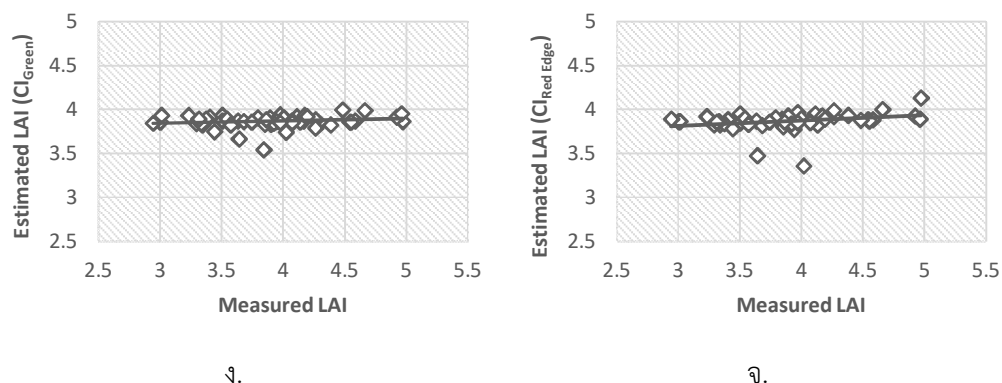


ค.



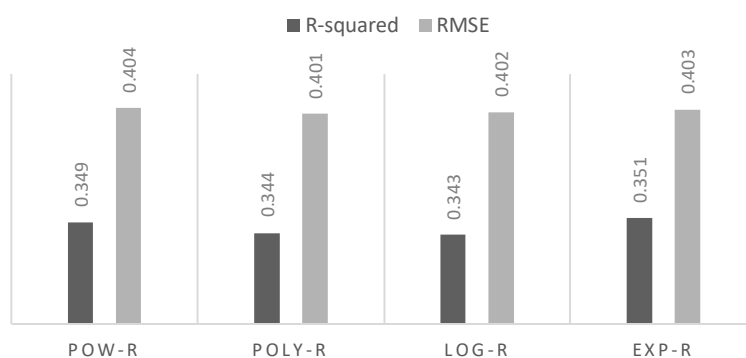
ง.

รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างจากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม (ก. ดัชนี RVI ข. ดัชนี HTVBI ค. ดัชนี SR ค. ดัชนี NDVI ค. ดัชนี EVI ง. ดัชนี SAVI)



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างจากการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม (ง.ดัชนี CI<sub>Green</sub> จ.ดัชนี CI<sub>Red Edge</sub>) (ต่อ)

จากแบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง ทั้ง 36 แบบจำลอง แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเอกซ์โพเนนเชียลเป็นวิธีการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากที่สุด รองลงมา คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลิโนเมียล และวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบลอการิทึม ตามลำดับ โดยแบบจำลองที่ใช้ดัชนี RVI เป็นตัวแปรอิสระ เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดในทุก ๆ วิธีของการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงโดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากที่สุดและมีรากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.6



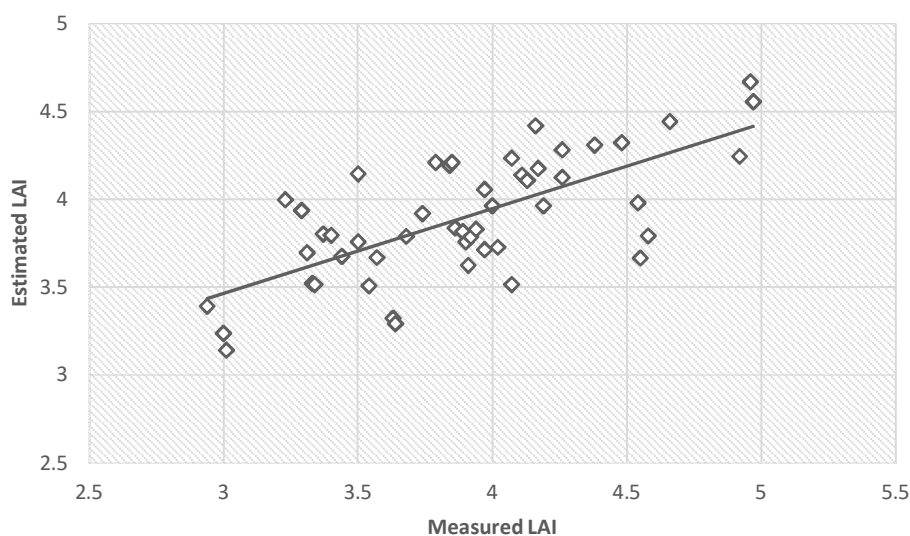
รูปที่ 4.6 กราฟค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่ใช้ดัชนี RVI เป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง [POW-R (วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ), POLY-R (วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลิโนเมียล), LOG-R (วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบลอการิทึม), EXP-R (วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเอกซ์โพเนนเชียล)]

#### 4.2.3 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน จากการศึกษาพบว่าตัวแปรอิสระที่ถูกคัดเลือกจากกระบวนการดังกล่าวจาก 10 ตัวแปรอิสระ ซึ่งประกอบไปด้วยดัชนี RVI ดัชนี HTVBI ดัชนี SR ดัชนี NDVI ดัชนี EVI ดัชนี SAVI ดัชนี  $VARI_{Green}$  ดัชนี  $VARI_{Red\ Edge}$  ดัชนี  $CI_{Green}$  และดัชนี  $CI_{Red\ Edge}$  เหลือเพียงแค่ 3 ตัวแปร คือ ดัชนี RVI และ ดัชนี EVI และดัชนี  $VARI_{Red\ Edge}$  โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย แสดงดังตารางที่ 4.9 และมีกราฟแสดงแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนามดังรูปที่ 4.7

**ตารางที่ 4.9** ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน

อันดับ	ดัชนีพืชพรรณ	คำย่อ	R <sup>2</sup>	RMSE
<b>วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน</b>				
1	Ratio Vegetation Index ,Enhanced Vegetation Index and Vegetation Atmospherically Resistant Index (red edge)	RVI,EVI, $VARI_{Red\ Edge}$	0.483	0.356



**รูปที่ 4.7** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการเลือกตัวแปรโดยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม

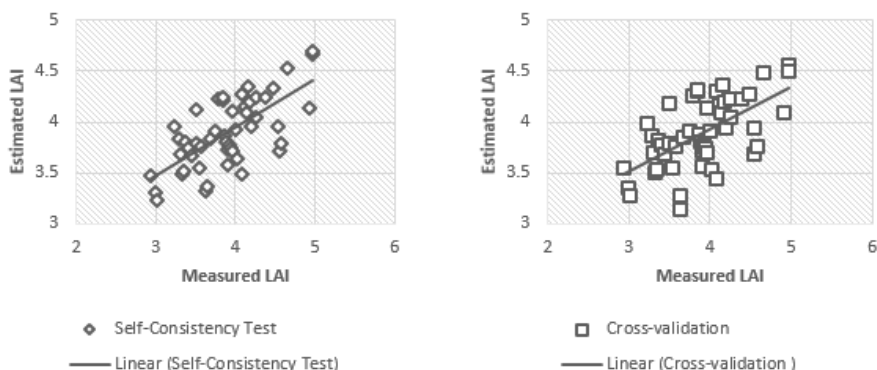
#### 4.2.4 วิธีการถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน

วิธีการถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วนเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นของกลุ่มตัวแปรอิสระ(ดัชนี RVI ดัชนี HTVBI ดัชนี SR ดัชนี NDVI ดัชนี EVI ดัชนี SAVI ดัชนี VARI<sub>Green</sub> ดัชนี VARI<sub>Red Edge</sub> ดัชนี CI<sub>Green</sub> และดัชนี CI<sub>Red Edge</sub>) และกลุ่มตัวแปรตาม (ดัชนีพื้นที่ผิวใบ) หลังจากนั้นดัชนีพืชพรรณจะถูกแปลงเป็นตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า องค์ประกอบวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน ในที่นี้มี 10 องค์ประกอบ โดยองค์ประกอบที่ 2 ถูกนำมาหาความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ผิวใบ ด้วยการถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วนจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากที่สุดแสดงดังตารางที่ 4.10

**ตารางที่ 4.10** ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน

อันดับ	ดัชนีพืชพรรณ	คำย่อ	R <sup>2</sup>	RMSE
<b>วิธีการวิเคราะห์การถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน</b>				
1	All Vegetation Indices (2 Components) ( Self-Consistency Test )	All VIs	0.471	0.360
2	All Vegetation Indices (2 Components) (Cross-validated)	All VIs	0.360	0.397

ลักษณะของการแบ่งข้อมูลเพื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ถูกสร้างด้วยวิธีการถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน มี 2 วิธี คือ วิธี Self-Consistency Test ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่ใช้ข้อมูลในการสร้างแบบจำลองและข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลองเป็นข้อมูลเดียวกันเพื่อดูแนวโน้มของแบบจำลอง และวิธีที่ 2 คือ วิธี Cross-validation วิธีดังกล่าวจะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นหลายส่วนโดยแต่ละส่วนมีข้อมูลเท่ากัน หลังจากนั้นข้อมูลหนึ่งส่วนที่ถูกแบ่งไว้จะถูกใช้เป็นตัวทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองทำวนไปจนครบจำนวนข้อมูลที่แบ่งไว้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ในขั้นตอนของการแบ่งข้อมูลด้วยวิธี Cross-validation ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 10 ส่วนเท่า ๆ กัน (10-fold Cross-validation) มีกราฟแสดงแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วนกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนามของทั้ง 2 วิธี แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด บางส่วนกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม

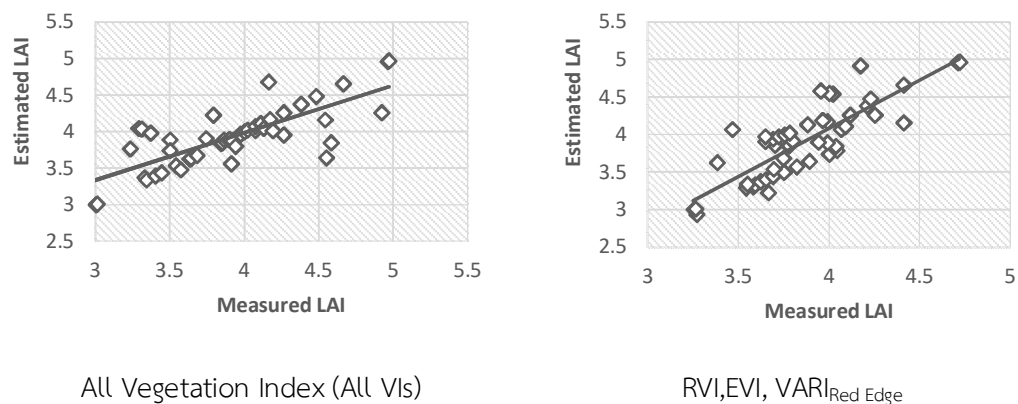
#### 4.2.5 วิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

วิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นของกลุ่มตัวแปรอิสระ (ดัชนี RVI ดัชนี HTVBI ดัชนี SR ดัชนี NDVI ดัชนี EVI ดัชนี SAVI ดัชนี  $VARI_{Green}$  ดัชนี  $VARI_{Red\ Edge}$  ดัชนี  $CI_{Green}$  และดัชนี  $CI_{Red\ Edge}$ ) และกลุ่มตัวแปรตาม (ดัชนีพื้นที่ผิวใบ) โดยแบบจำลองในวิธีดังกล่าวมีทั้งหมด 2 แบบจำลอง แบ่งออกเป็นแบบจำลองที่ใช้ดัชนีพืชพรรณที่ถูกเลือกจากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน 1 แบบจำลอง และแบบจำลองที่ใช้ดัชนีพืชพรรณทั้ง 10 ชนิด 1 แบบจำลอง มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.11 และลักษณะการกระจายตัวและแนวโน้มของความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนและดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการลงสำรวจภาคสนาม แสดงดังรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.11 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

อันดับ	ดัชนีพืชพรรณ	คำย่อ	R <sup>2</sup>	RMSE
<b>วิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน</b>				
1	Ratio Vegetation Index ,Enhanced Vegetation Index and Vegetation Atmospherically Resistant Index (red edge) (Cross-validated)	$VARI_{Red\ Edge}$	0.607	0.312
2	All Vegetation Indices (Cross-validated)	All VIs	0.694	0.292

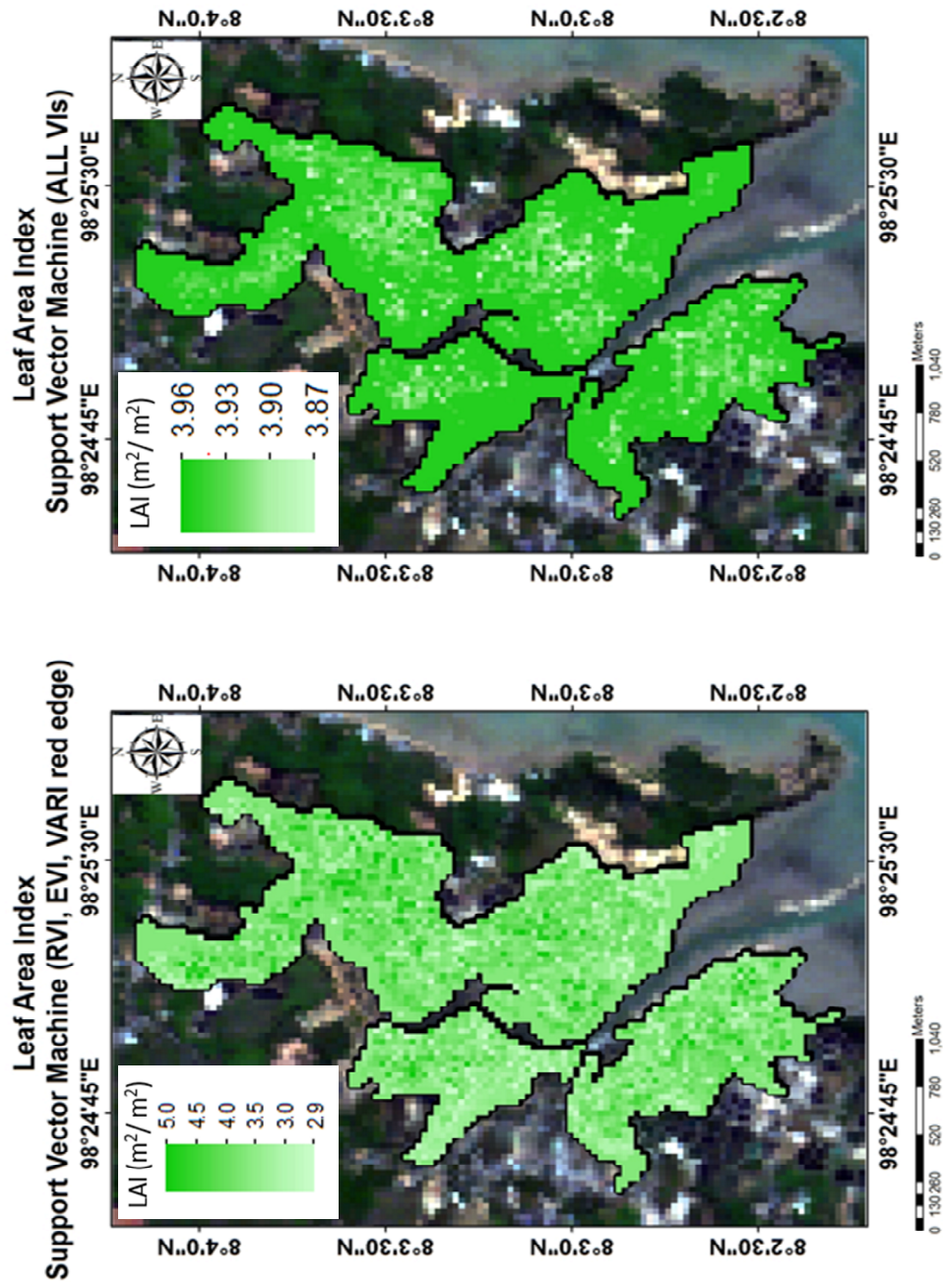
วิธี Cross-validation เป็นขั้นตอนการแบ่งข้อมูลเพื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ถูกสร้างด้วยวิธีการถดถอยซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน ซึ่งในขั้นตอนการแบ่งข้อมูล Cross-validation นี้แบ่งข้อมูลออกเป็น 10 ส่วนเท่ากัน (10 k-fold cross-validation) โดยแบ่งออกเป็นข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลอง 9 ส่วน และอีก 1 ส่วน แบ่งไว้ทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง หลังจากนั้นทำซ้ำจนครบจำนวนข้อมูลที่ได้แบ่งไว้



**รูปที่ 4.9** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน กับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม

#### 4.3 แผนที่ดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน

จากแบบจำลองทั้ง 51 แบบจำลอง วิธีการวิเคราะห์ถดถอยที่ดีที่สุด คือ วิธีการวิเคราะห์ถดถอยวิธีการถดถอยซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน แบบจำลองที่มีค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ แบบจำลองที่ใช้ดัชนีพีชพรรณทั้ง 10 ชนิด โดยมีค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.292 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.694 และมีค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ผิวใบจากการประมาณค่าด้วยแบบจำลองดังกล่าวเท่ากับ 3.94 ตารางเมตรต่อตารางเมตร รองลงมา คือ แบบจำลองที่ใช้ดัชนี RVI ดัชนี EVI และดัชนี VARI<sub>Red Edge</sub> ที่ได้มาจากการคัดเลือกตัวแปรอิสระด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.607 ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยเท่ากับ 0.312 และมีค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ผิวใบจากการประมาณค่าด้วยแบบจำลองเท่ากับ 3.84 ตารางเมตรต่อตารางเมตร



รูปที่ 4.10 แผนที่ดัชนีพื้นที่สีเขียว

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนโดยใช้การสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน ณ บริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต โดยอาศัยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม EO-1/Hyperion ซึ่งเป็นข้อมูลการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล ร่วมกับข้อมูลดัชนีพื้นที่ผิวใบจากการสำรวจภาคสนาม สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

#### 5.1 อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

##### 5.1.1 แบบจำลองดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน

ความสามารถของการวิเคราะห์ถดถอยในรูปแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยเรื่องการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนโดยใช้การสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล พบว่าแบบจำลองที่ถูกสร้างด้วยวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบจำลองที่สร้างจากวิธีการวิเคราะห์ถดถอยอื่น ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย โดยแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ดีที่สุดคือ แบบจำลองที่สร้างจากวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนโดยใช้ดัชนีพืชพรรณทั้ง 10 ชนิด ที่ได้ระบุในตารางที่ 3.3 มีค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด (0.292) จากการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยแบบจำลองดังกล่าวพบว่า ณ พื้นที่ป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต มีดัชนีพื้นที่ผิวใบเฉลี่ยเท่ากับ 3.94 ตารางเมตรต่อตารางเมตร

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน ณ บริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต



5.1.2 ภาพถ่ายดาวเทียมแบบไฮเปอร์สเปกตรัลกับการศึกษาดัชนีพื้นที่ผิวใบในป่าชายเลนที่มีความหนาแน่นเรือนยอดสูง

จากการศึกษาพบว่าภาพถ่ายดาวเทียม EO-1/Hyperion เป็นภาพถ่ายดาวเทียมแบบไฮเปอร์สเปกตรัลมีประสิทธิภาพในการสร้างแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบในพื้นที่ศึกษาที่ดีในระดับหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของจุดภาพของภาพถ่ายดาวเทียมที่มีขนาด 30 × 30 เมตร กับพื้นที่ศึกษาดังกล่าวมีการปะปนของพันธุ์พืชป่าชายเลนสูง จึงเสี่ยงไม่ได้ที่จะส่งผลให้ค่าการสะท้อนของพื้นที่ศึกษามีการผสมของการสะท้อนของพืชป่าชายเลนหลายชนิด เนื่องด้วยปัญหาดังกล่าวอาจส่งผลต่อความสามารถในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนลดลง แต่ด้วยจำนวนของช่วงคลื่นที่มีมากจึงส่งผลให้การคำนวณดัชนีพืชพรรณมีความยืดหยุ่นสูงซึ่งเป็นข้อดีที่ช่วยเสริมให้ผู้วิจัยสามารถออกแบบวิธีการและสร้างแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบได้ดีในระดับหนึ่ง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การสำรวจภาคสนาม ควรตรวจสอบลักษณะของพื้นที่ที่สำรวจก่อนการสำรวจภาคสนามอย่างละเอียด เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการสำรวจภาคสนามและหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา ดังกล่าว เช่น สภาพภูมิอากาศ น้ำขึ้น น้ำลง และอื่น ๆ

2) หากนำวิธีการศึกษาในงานวิจัยนี้ไปใช้ในการประมาณดัชนีพื้นที่ผิวใบในป่าชายเลนบริเวณอื่น ในการศึกษาครั้งต่อไปการเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียม EO-1/Hyperion ควรเลือกพื้นที่ศึกษาในพื้นที่ป่าชายเลนที่เป็นลักษณะของป่าปลูก เพื่อลดปัญหาของการปะปนของค่าการสะท้อนของพันธุ์พืชป่าชายเลน

3) ในพื้นที่ป่าชายเลนที่มีความหลากหลายของพันธุ์ไม้สูง ในการศึกษาครั้งต่อไปควรนำภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงร่วมกับภาพถ่ายที่มีความละเอียดของช่วงคลื่นสูงมาทำการรวม (Fusion) หรือใช้ภาพถ่ายดาวเทียมแบบไฮเปอร์สเปกตรัมที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง เพื่อทำการแก้ไขปัญหาการปะปนของค่าการสะท้อนของพันธุ์พืชป่าชายเลนใน 1 จุดภาพ

4) การเลือกดัชนีพืชพรรณเพื่อนำมาใช้กับข้อมูลการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัล เพื่อให้ได้ประโยชน์อย่างสูงสุด ควรเลือกใช้ดัชนีพืชพรรณที่ระบุช่วงคลื่นเป็นแบบกว้าง เช่น ดัชนี Ratio Vegetation Index ดัชนี Normalized Difference Vegetation Index ดัชนี Enhanced Vegetation Index เพราะการใช้การสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลที่มีช่วงคลื่นจำนวนมากให้มีประสิทธิภาพสูงสุดจำเป็นต้องใช้ข้อมูลช่วงคลื่นให้มากที่สุดเท่าที่จะสามารถใช้ได้

## เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2551). *ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรป่าชายเลน จังหวัดภูเก็ต*, สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, กรุงเทพฯ.
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2555). *พื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดภูเก็ต*, สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, กรุงเทพฯ.
- ศุริยะ สถาพร, สาทิศ ดิลกสัมพันธ์, และ ภาณุมาศ ลาดपालะ. (2547). “ความผันแปรตามฤดูกาลของดัชนีพื้นที่เรือนยอด และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของป่าดิบแล้ง และป่าเบญจพรรณ.” *เอกสารการประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ*, โรงแรมมารวย การ์เด้น กรุงเทพฯ: 16–17 สิงหาคม 2547.
- พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬุ. (2538). *ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้*, คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พรสิน สุภาวาลัย. (2556). *การวิเคราะห์การถดถอย*, โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร, กรุงเทพฯ
- วิโรจน์ ละอองมณี. (2554). “เทคนิคการสำรวจระยะไกลเพื่อการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพสวนป่าชายเลน.”, *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต*, สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทรงศักดิ์ ภูสีอ่อน. (2554). *การประยุกต์ใช้ SPSS วิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย*, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม
- สมศักดิ์ เอื้ออัมมาลัย. (2556). *วิศวกรรมสำรวจ*, วรณกวี, ปทุมธานี
- สำนักงานสถิติจังหวัดภูเก็ต. (2559). “บทที่ 17 สถิติการท่องเที่ยวและกีฬา.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ [http://phuket.nso.go.th/images/new/interest\\_stat/provincial\\_stat\\_report/2559/chapter17\\_59.pdf](http://phuket.nso.go.th/images/new/interest_stat/provincial_stat_report/2559/chapter17_59.pdf). (วันที่เข้าถึง 1 มิถุนายน 2559)
- สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2552). *พื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทย ฉบับปรับปรุงใหม่*, โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.
- Alongi, D. M. (2002). “Present state and future of the world's mangrove forests.” *ENVIRON CONSERV*, 29(03), 331-349.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Bajwa, S.G. and Kulkarni, S.S. (2012). *Hyperspectral data mining*, CRC Press, Boca Raton
- Bonan, G. B. (1993). "Importance of leaf area index and forest type when estimating photosynthesis in boreal forests." *REMOTE SENS ENVIRON*, 43(3), 303-314.
- Broge, N. H., and Leblanc, E. (2001). "Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density." *REMOTE SENS ENVIRON*, 76(2), 156-172
- Bulcock, H. H., and Jewitt, G. P. W. (2010). "Spatial mapping of leaf area index using hyperspectral remote sensing for hydrological applications with a particular focus on canopy interception." *HYDROL EARTH SYST SC*, 14(2), 383-392.
- Cohen, W. (1991). "Response of vegetation indices to changes in three measures of leaf water stress." *PHOTOGRAMM ENG REM S*, 57, 195 – 202.
- Datt, B., McVicar, T. R., Van Niel, T. G., Jupp, D. L., and Pearlman, J. S. (2003). "Preprocessing EO-1 Hyperion hyperspectral data to support the application of agricultural indexes." *IEEE T GEOSCI REMOTE*, 41(6), 1246-1259.
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., and Kanninen, M. (2011). "Mangroves among the most carbon-rich forests in the Tropics." *NAT GEOSCI*, 4(5), 293-297.
- Franklin, J., Prince, S. D., Strahler, A. H., Hanan, N. P., and Simonett, D. S. (1991). "Reflectance and transmission properties of West African savanna trees from ground radiometer measurements." *INT J REMOTE SENS*, 12(6), 1369-1385.
- Geladi, P. and Kowalski, B.R. (1986). "Partial least-squares regression: a tutorial." *Analytica chimica acta*, 185, 1-17.
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Stark, R., and Rundquist, D. (2002). "Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction." *REMOTE SENS ENVIRON*, 80(1), 76-87.
- Gitelson, A. A., Keydan, G. P., and Merzlyak, M. N. (2006). "Three-band model for noninvasive estimation of chlorophyll, carotenoids, and anthocyanin contents in higher plant leaves." *GEOPHYS RES LETT*, 33(11).

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., and Duke, N. (2011). "Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data." *GLOBAL ECOL BIOGEOGR*, 20(1), 154-159.
- Green, E. P., Mumby, P. J., Edwards, A. J., and Clark, C. D. (2005). *Remote sensing handbook for tropical coastal management.*, UNESCO, Paris.
- Green, E. P., Mumby, P. J., Edwards, A. J., Clark, C. D., and Ellis, A. C. (1997). "Estimating Leaf Area Index of Mangroves from Satellite Data." *Aquatic Botany*, 58, 11-19.
- Huete, A. R. (1988). "A soil-adjusted vegetation index (SAVI)." *REMOTE SENS ENVIRON*, 25(3), 295-309.
- Huete, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K., and Van Leeuwen, W. J. D. A. (1997). "A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS." *REMOTE SENS ENVIRON*, 59(3), 440-451.
- Jensen, J. R. (2007). *Remote sensing of environment: An earth resource perspective.* 2nd ed, Prentice-Hall., New Jersey
- Jensen, R., and Binford, M. (2004). "Measurement and Comparison of Leaf Area Index Estimators Derived from Satellite Remote Sensing Techniques." *INT J REMOTE SENS*, 4251-4265.
- Jordan, C. F. (1969). "Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor." *Ecology*, 50(4), 663-666.
- Mutanga, O., & Skidmore, A. K. (2004). "Narrow band vegetation indices overcome the saturation problem in biomass estimation." *INT J REMOTE SENS*, 25(19), 3999-4014.
- Mcleod, E., Chmura, G.L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C.M., Lovelock, C.E., Schlesinger, W.H. and Silliman, B.R., (2011). "A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>." *FRONT ECOL ENVIRON*, 9(10), 552-560.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Nguy-Robertson, A.L., Peng, Y., Gitelson, A.A., Arkebauer, T.J., Pimstein, A., Herrmann, I., Karnieli, A., Rundquist, D.C. and Bonfil, D.J., (2014). “Estimating green LAI in four crops: Potential of determining optimal spectral bands for a universal algorithm.” *AGR FOREST METEOROL*, 192, 140-148.
- Perera, K. A. R. S., & Amarasinghe, M. D. (2016). “Atmospheric carbon removal capacity of a mangrove ecosystem in a micro-tidal basin estuary in Sri Lanka.” *ATMOS ENVIRON*, 134, 121-128.
- Pfeifer, M. and Gonsamo, A., (2015). “Manual to measure and model leaf area index and its spatial variability on local and landscape scale.” (Online) Available on [https://figshare.com/articles/Manual\\_to\\_measure\\_and\\_model\\_leaf\\_area\\_index\\_and\\_its\\_spatial\\_variability\\_on\\_local\\_and\\_landscape\\_scale/928254](https://figshare.com/articles/Manual_to_measure_and_model_leaf_area_index_and_its_spatial_variability_on_local_and_landscape_scale/928254) (1 March 2014)
- Roberto, C., Lorenzo, B., Michele, M., Micol, R., and Cinzia, P. (2016). “10 Optical Remote Sensing of Vegetation Water Content.” *Hyperspectral remote sensing of vegetation*, 227.
- Roberts, D. A., Roth, K. L., and Perroy, R. L. (2016). “14 Hyperspectral Vegetation Indices.” *Hyperspectral remote sensing of vegetation*, 309.
- Rouse Jr, J., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W. (1974). “Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS.” *NASA special publication*, 351, 309.
- Siikamäki, J., Sanchirico, J.N. and Jardine, S.L., (2012). “Global economic potential for reducing carbon dioxide emissions from mangrove loss.” *P NATL ACAD SCI USA*, 109(36), 14369-14374.
- Smola, A. J., and Schölkopf, B. (2004). “A tutorial on support vector regression.” *STAT COMPUT*, 14(3), 199-222.
- Spalding, M., Blasco, F. and Field, C. (1997) *World Mangrove Atlas*. The International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa Japan
- Thenkabail, P. S., Smith, R. B., and De Pauw, E. (2002). “Evaluation of narrowband and broadband vegetation indices for determining optimal hyperspectral wavebands for agricultural crop characterization.” *PHOTOGRAMM ENG REM S*, 68(6), 607-622.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Thenkabail, P. S., Lyon, J. G., Huete, A. (2016). *Hyperspectral remote sensing of vegetation*, CRC Press, Boca Raton
- Tucker, C. J. (1979). "Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation." *REMOTE SENS ENVIRON*, 8(2), 127-150
- Twilley, R.R., Chen, R.H. and Hargis, T., (1992). "Carbon sinks in mangroves and their implications to carbon budget of tropical coastal ecosystems." *Water Air & Soil Pollution*, 64(1), 265-288.
- Weiss, M., and Baret, F. (2010). "CAN-EYE USER MANUAL" (Online) A available on <https://www6.paca.inra.fr/can-eye/Documentation/Documentation> (24 February 2017)
- Wu, C., Han, X., Niu, Z., and Dong, J. (2010). "An evaluation of EO-1 hyperspectral Hyperion data for chlorophyll content and leaf area index estimation." *INT J REMOTE SENS*, 31(4), 1079-1086.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก  
ดัชนีพืชพรรณ

ตารางภาคผนวก ก ดัชนีพืชพรรณ

LAI	NDVI	SR	RVI	EVI	SAVI	HTBVI	CI <sub>Green</sub>	CI <sub>Red Edge</sub>	VARI <sub>Green</sub>	VARI <sub>Red Edge</sub>
2.94	0.360435	2.197197	1.033333	0.609664	0.540566	-0.01639	19.51402	1.197197	-0.32222	0.4791
3	0.333333	2.081509	1.040323	0.633109	0.499937	-0.01976	21.42276	1.081509	-0.3239	0.441561
3.01	0.367715	2.080468	1.055249	0.681861	0.551509	-0.02688	44.14286	1.080468	-0.34399	0.419842
3.23	0.403304	2.293974	0.977352	0.771316	0.604883	0.011454	43.01563	1.293974	-0.29698	0.470029
3.29	0.336377	1.942795	0.964	0.679197	0.504505	0.01833	18.02837	0.942795	-0.32615	0.474935
3.31	0.386616	2.06156	1.008993	0.705573	0.579864	-0.00448	28.84158	1.06156	-0.28992	0.473313
3.33	0.370253	2.081402	1	0.677907	0.555327	0	18.03804	1.081402	-0.4355	0.42984
3.34	0.346566	1.945643	0.991987	0.614136	0.519781	0.004023	15.33557	0.945643	-0.39847	0.444142
3.37	0.375553	1.994034	0.980952	0.67793	0.563264	0.009615	30.09302	0.994034	-0.29322	0.469468
3.4	0.400627	2.147125	0.994444	0.784307	0.600873	0.002786	35.85897	1.147125	-0.29618	0.440634
3.44	0.332321	1.828615	0.947459	0.617833	0.498439	0.026979	7.736715	0.828615	-0.41112	0.414172
3.5	0.439599	2.423077	0.971193	0.823372	0.659316	0.014614	42	1.423077	-0.23713	0.473166
3.5	0.355476	2.02507	0.969231	0.674271	0.533154	0.015625	24.06897	1.02507	-0.29237	0.442091
3.54	0.381922	2.206091	0.978003	0.706015	0.57282	0.011121	30.46465	1.206091	-0.44727	0.380915
3.57	0.355905	1.98021	0.959058	0.627422	0.533805	0.020899	15.85263	0.98021	-0.319	0.42612
3.63	0.365969	2.097959	1.051376	0.683936	0.548895	-0.02504	24.7	1.097959	-0.3562	0.457098

ตารางภาคผนวก ก ดัชนีพืชพรรณ (ต่อ)

LAI	NDVI	SR	RVI	EVI	SAVI	HTBVI	CI <sub>Green</sub>	CI <sub>Red Edge</sub>	VARI <sub>Green</sub>	VARI <sub>Red Edge</sub>
3.64	0.214383	1.291425	0.986587	0.401806	0.321538	0.006752	3.466934	0.291425	-0.30423	0.476008
3.68	0.360208	1.928184	0.957875	0.647605	0.540254	0.021515	23.11864	0.928184	-0.2879	0.443719
3.74	0.376962	2.066004	0.963489	0.695912	0.565381	0.018595	20.88722	1.066004	-0.28903	0.463282
3.79	0.420621	2.229846	0.94235	0.743106	0.630853	0.02968	34.61644	1.229846	-0.23794	0.480315
3.84	0.361963	2.192308	0.963235	0.652805	0.542612	0.018727	0.993007	1.192308	-0.13111	0.548322
3.85	0.329361	1.896787	0.895904	0.620352	0.493984	0.054905	16.23602	0.896787	-0.25298	0.46417
3.86	0.361637	2.063405	0.96831	0.668594	0.542395	0.0161	26.98131	1.063405	-0.27104	0.462435
3.89	0.419865	2.319166	0.97456	0.786134	0.629724	0.012884	33.02353	1.319166	-0.35317	0.414941
3.9	0.392519	2.046736	1.009464	0.74185	0.588712	-0.00471	17.03268	1.046736	-0.23284	0.473341
3.91	0.350967	1.960274	0.985533	0.661042	0.526392	0.007286	18.875	0.960274	-0.39088	0.440299
3.92	0.364061	1.999332	0.976059	0.667465	0.546034	0.012116	18.82119	0.999332	-0.31698	0.462012
3.94	0.355251	1.815864	0.9625	0.662127	0.532816	0.019108	22.96262	0.815864	-0.38179	0.45436
3.97	0.435787	2.485714	0.986928	0.792496	0.653593	0.006579	47.33333	1.485714	-0.18091	0.488917
3.97	0.35905	2.037698	0.991611	0.663122	0.538519	0.004212	20.69718	1.037698	-0.29855	0.469853
4	0.361257	2.203428	0.967347	0.707746	0.54182	0.016598	32.98851	1.203428	-0.31501	0.473997
4.02	0.343054	1.192897	0.98125	0.610887	0.514513	0.009464	7.032609	0.192897	-0.26327	0.481211

ตารางภาคผนวก ก ดัชนีพืชพรรณ (ต่อ)

LAI	NDVI	SR	RVI	EVI	SAVI	HTBVI	CI <sub>Green</sub>	CI <sub>Red Edge</sub>	VARI <sub>Green</sub>	VARI <sub>Red Edge</sub>
4.07	0.366024	2.090909	1.03268	0.683495	0.548972	-0.01608	25.16514	1.090909	-0.3385	0.475655
4.07	0.359702	2.042077	0.890196	0.650892	0.539476	0.058091	20.31776	1.042077	-0.3186	0.448356
4.11	0.433245	2.429017	0.948365	0.780759	0.649796	0.026502	37.925	1.429017	-0.28663	0.455294
4.13	0.366304	1.954444	0.930085	0.663265	0.549391	0.036224	21.36752	0.954444	-0.29146	0.472577
4.16	0.405897	2.301075	0.919225	0.765062	0.60877	0.042088	25.24528	1.301075	-0.28675	0.486676
4.17	0.396671	2.327969	0.94599	0.741467	0.594938	0.027754	43.02899	1.327969	-0.24685	0.478294
4.19	0.414048	2.182865	0.958271	0.757872	0.621006	0.021309	38.89474	1.182865	-0.32238	0.438787
4.26	0.405617	2.301561	0.964539	0.793087	0.608351	0.018051	28.17708	1.301561	-0.27397	0.471698
4.26	0.373078	2.587321	0.963303	0.760263	0.559513	0.018692	11.64912	1.587321	-0.18642	0.522568
4.38	0.419549	2.338083	0.95858	0.782567	0.629205	0.021148	15.71296	1.338083	-0.20896	0.511899
4.48	0.406418	2.123125	0.919087	0.737388	0.609556	0.042162	75.85714	1.123125	-0.28571	0.475298
4.54	0.386008	2.15816	0.97451	0.714025	0.578947	0.01291	21.91603	1.15816	-0.26071	0.486934
4.55	0.380906	2.100697	0.984985	0.697254	0.571303	0.007564	22.03472	1.100697	-0.28591	0.433655
4.58	0.388183	2.16035	0.984127	0.699909	0.582209	0.008	24.11864	1.16035	-0.33026	0.461767
4.66	0.418268	2.683943	0.919822	0.759388	0.627309	0.041763	72.36111	1.683943	-0.24005	0.495939
4.92	0.415339	2.320201	0.95092	0.814086	0.622933	0.025157	36.40541	1.320201	-0.31659	0.470849

ตารางภาคผนวก ก ดัชนีพืชพรรณ (ต่อ)

LAI	NDVI	SR	RVI	EVI	SAVI	HTBVI	CI <sub>Green</sub>	CI <sub>Red Edge</sub>	VARI <sub>Green</sub>	VARI <sub>Red Edge</sub>
4.96	0.384392	2.194662	0.860697	0.700077	0.576519	0.074866	51.75472	1.194662	-0.31266	0.487014
4.97	0.41434	3.501289	0.921305	0.822039	0.621392	0.040959	22.62609	2.501289	-0.14211	0.497868

ภาคผนวก ข  
แบบจำลองการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

ตารางภาคผนวก ข แบบจำลองการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

Vegetation Indices	Abbreviations	R <sup>2</sup>	R	RMSE	Equation
Linear simple Regression					
Ratio Vegetation Index	RVI	0.343908	0.586437	0.402	$y = -7.6147x + 11.276$
Normalized Difference Index	HTVBI	0.3429	0.585577	0.402	$y = 14.664x + 3.661$
Simple Ratio	SR	0.157002	0.396234	0.455	$y = 0.616x + 2.5784$
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	0.135718	0.368399	0.461	$y = 4.9602x + 2.0253$
Enhanced Vegetation Index	EVI	0.157851	0.397305	0.455	$y = 2.6885x + 2.0129$
Soil-Adjusted Vegetation Index	SAVI	0.135681	0.368348	0.461	$y = 3.3068x + 2.0256$
Vegetation Atmospherically Resistant Index	VARI <sub>Green</sub>	0.144458	0.380076	0.459	$y = 2.9339x + 4.7659$
Vegetation Atmospherically Resistant Index	VARI <sub>Red Edge</sub>	0.160429	0.400536	0.455	$y = -14.702x + 13.947$
Chlorophyll Induces	CI <sub>Green</sub>	0.066625	0.258118	0.479	$y = 0.0088x + 3.6566$
Chlorophyll Induces	CI <sub>Red Edge</sub>	0.157002	0.396234	0.455	$y = 0.616x + 3.1944$
Exponential Regression					
Ratio Vegetation Index	RVI	0.3514	0.59279	0.402944	$y = 26.358e^{-1.981x}$
Normalized Difference Index	HTVBI	0.349	0.590762	0.40369	$y = 3.6358e^{3.8071x}$
Simple Ratio	SR	0.1359	0.368646	0.453794	$y = 2.8189e^{0.1475x}$
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	0.1305	0.361248	0.460498	$y = 2.4103e^{1.2517x}$

ตารางภาคผนวก ข แบบจำลองการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (ต่อ)

Vegetation Indices	Abbreviations	R <sup>2</sup>	R	RMSE	Equation
Exponential Regression					
Enhanced Vegetation Index	EVI	0.1511	0.388716	0.454362	$y = 2.4054e^{0.6769x}$
Soil-Adjusted Vegetation Index	SAVI	0.1305	0.361248	0.760153	$y = 2.4105e^{0.8345x}$
Vegetation Atmospherically Resistant Index	VARI <sub>Green</sub>	0.1462	0.382361	0.459567	$y = 4.8406e^{0.7595x}$
Vegetation Atmospherically Resistant Index	VARI <sub>Red Edge</sub>	0.1459	0.381969	0.453763	$y = 45.53e^{-3.608x}$
Chlorophyll Induces	CI <sub>Green</sub>	0.0566	0.237908	0.47939	$y = 3.6513e^{0.0021x}$
Chlorophyll Induces	CI <sub>Red Edge</sub>	0.1359	0.368646	0.572931	$y = 3.2669e^{0.1475x}$
Logarithmic Regression					
Ratio Vegetation Index	RVI	0.3428	0.585491	0.40188	$y = -7.325\ln(x) + 3.6611$
Normalized Difference Index	HTVBI	-	-	-	
Simple Ratio	SR	0.1178	0.34322	0.465643	$y = 1.1138\ln(x) + 3.0617$
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	0.1167	0.341614	0.465931	$y = 1.5483\ln(x) + 5.4143$
Enhanced Vegetation Index	EVI	0.1378	0.371214	0.460324	$y = 1.602\ln(x) + 4.4762$
Soil-Adjusted Vegetation Index	SAVI	0.1167	0.341614	0.465938	$y = 1.5481\ln(x) + 4.7866$
Vegetation Atmospherically Resistant Index	VARI <sub>Green</sub>	-	-	-	
Vegetation Atmospherically Resistant Index	VARI <sub>Red Edge</sub>	0.1629	0.403609	0.453573	$y = -10.22\ln(x) + 0.0076$



ตารางภาคผนวก ข แบบจำลองการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (ต่อ)

Vegetation Indices	Abbreviations	R <sup>2</sup>	R	RMSE	Equation
Logarithmic Regression					
Chlorophyll Induces	CI <sub>Green</sub>	0.0296	0.172047	0.488364	$y = 0.1216\ln(x) + 3.5156$
Chlorophyll Induces	CI <sub>Red Edge</sub>	0.0644	0.253772	0.479534	$y = 0.3446\ln(x) + 3.8686$
Polynomial Regression					
Ratio Vegetation Index	RVI	0.3442	0.586686	0.401453	$y = -3.7623x^2 - 0.3466x + 7.7715$
Normalized Difference Index	HTVBI	0.3442	0.586686	0.401468	$y = -27.538x^2 + 15.728x + 3.6618$
Simple Ratio	SR	0.1928	0.43909	0.445417	$y = 0.3276x^2 - 0.8708x + 4.2267$
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	0.1579	0.397366	0.454918	$y = 23.462x^2 - 11.488x + 4.8596$
Enhanced Vegetation Index	EVI	0.1821	0.426732	0.448356	$y = 6.8667x^2 - 6.4012x + 4.974$
Soil-Adjusted Vegetation Index	SAVI	0.1579	0.397366	0.454934	$y = 10.426x^2 - 7.6551x + 4.8586$
Vegetation Atmospherically Resistant Index	VARI <sub>Green</sub>	0.1449	0.380657	0.458427	$y = -1.568x^2 + 2.0198x + 4.6392$
Vegetation Atmospherically Resistant Index	VARI <sub>Red Edge</sub>	0.1901	0.436005	0.446172	$y = 247.95x^2 - 356.98x + 132.01$
Chlorophyll Induces	CI <sub>Green</sub>	0.0863	0.293769	0.473915	$y = 0.0002x^2 - 0.0054x + 3.8556$
Chlorophyll Induces	CI <sub>Red Edge</sub>	0.1928	0.43909	0.445417	$y = 0.3276x^2 - 0.2157x + 3.6834$

ตารางภาคผนวก ข แบบจำลองการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (ต่อ)

Vegetation Indices	Abbreviations	R <sup>2</sup>	R	RMSE	Equation
Power Regression					
Ratio Vegetation Index	RVI	0.3489	0.590678	0.403706	$y = 3.6359x^{-1.902}$
Normalized Difference Index	HTVBI	-	-		-
Simple Ratio	SR	0.1011	0.317962	0.464108	$y = 3.1674x^{0.2656}$
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	0.1116	0.334066	0.464955	$y = 5.6628x^{0.3896}$
Enhanced Vegetation Index	EVI	0.1318	0.363043	0.459101	$y = 4.472x^{0.4031}$
Soil-Adjusted Vegetation Index	SAVI	0.1116	0.334066	0.464971	$y = 4.8354x^{0.3896}$
Vegetation Atmospherically Resistant Index	VARI <sub>Green</sub>	-	-		-
Vegetation Atmospherically Resistant Index	VARI <sub>Red Edge</sub>	0.1481	0.384838	0.453165	$y = 1.4884x^{-2.507}$
Chlorophyll Induces	CI <sub>Green</sub>	0.0233	0.152643	0.489168	$y = 3.5429x^{0.0278}$
Stepwise Multiple Linear Regression					
Ratio Vegetation Index ,Enhanced Vegetation Index and Vegetation Atmospherically Resistant Index (Red Edge)	RVI,EVI, VARI <sub>Red Edge</sub>	0.483	0.694	0.356	$y = -6.251(RVI) + 1.819(EVI) + 4.115(VARI_{Red\ Edge}) + 6.772$

ภาคผนวก ค  
การสำรวจภาคสนาม



รูปภาคผนวก ค การสำรวจภาคสนาม

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายกิตติศักดิ์ เรืองกระโทก

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5730220002

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ภูมิสารสนเทศสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต	2556

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

กิตติศักดิ์ เรืองกระโทก, และ วีระพงศ์ เกิดสิน. (2559). “การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลเพื่อการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน”, *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 40*, ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา: 20-21 ตุลาคม 2559.