

การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน
โดยใช้การสำรวจระยะไกล กรณีศึกษา อ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต

**Estimation of Above Ground Biomass and Leaf Area Index of Tropical Mangrove
by Remote Sensing: A Case Study of Paklok Bay, Phuket Province**

สุรเชษฐ์ ปิ่นแก้ว

Surachet Pinkaew

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
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**

2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ _____

(ดร.วิระพงษ์ เกิดสิน)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ _____

(นายสุรเชษฐ์ ปิ่นแก้ว)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ _____

(นายสุรเชษฐ์ ปิ่นแก้ว)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน โดยใช้การสำรวจระยะไกล ภูมิศึกษา อ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต
ผู้เขียน	นายสุรเชษฐ์ ปิ่นแก้ว
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการสร้างแบบจำลองในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน บริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต โดยอาศัยเทคนิคทางด้านการสำรวจระยะไกลร่วมกับการสำรวจภาคสนาม ซึ่งค่าการสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นของข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 และค่าดัชนีพืชพรรณถูกนำมาใช้เป็นตัวแปรต้นของการวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ การถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน และโครงข่ายประสาทเทียม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า วิธีโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ตัวแปรที่ได้จากการคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนเป็นตัวแปรต้น ในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ($R^2 = 0.344$, $RMSE = 6.897$) และดัชนีพื้นที่ผิวใบ ($R^2 = 0.364$, $RMSE = 0.393$) มีความถูกต้องมากที่สุด โดยจากแบบจำลองดังกล่าวพบว่าในพื้นที่ศึกษามีค่าเฉลี่ยของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินประมาณ 5.180 kg/m^2 หรือคิดเป็น 51.801 ton/ha และมีค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ผิวใบประมาณ $0.834 \text{ m}^2/\text{m}^2$ หรือคิดเป็น $8,338 \text{ ha/ha}$ ทั้งนี้ค่าการสะท้อนจากช่วงคลื่น Yellow (B4), Red Edge (B6) และ Near-IR1 (B7) ซึ่งเป็นช่วงคลื่นแบบมัลติสเปกตรัลที่มีเพิ่มขึ้นในข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ที่ดีกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (P-value < 0.05) แต่มีความสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (P-value > 0.05) จากการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ยังมีความถูกต้องค่อนข้างต่ำ เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีชนิดพันธุ์ไม้ที่หลากหลายและมีความหนาแน่นของเรือนยอดที่สูง ดังนั้นการศึกษาในอนาคตควรมีการปรับปรุงวิธีการ เพื่อให้ได้การประมาณค่าที่มีความถูกต้องมากขึ้น ทั้งนี้ผู้วิจัยหวังว่าวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะนำมาใช้เป็นแนวทางในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนในพื้นที่อื่นๆ หรือนำมาใช้ในการวิจัยต่อยอดเพื่อใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรป่าชายเลนอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

คำสำคัญ: ป่าชายเลน มวลชีวภาพ ดัชนีพื้นที่ผิวใบ การสำรวจระยะไกล โครงข่ายประสาทเทียม
อ่าวป่าคลอก

Thesis Title	Estimation of Above Ground Biomass and Leaf Area Index of Tropical Mangrove by Remote Sensing: A Case Study of Paklok Bay, Phuket Province
Author	Mr. Surachet Pinkaew
Major Program	Technology and Environmental Management
Academic	2014

ABSTRACT

The study aim to tested model for estimation of Above Ground Biomass (AGB) and Leaf Area Index (LAI) of tropical mangroves using remote sensing techniques with assisted by field survey data. The spectral bands of WorldView-2 imagery and vegetation indices were used as variables of Multiple Linear Regression (MLR), Stepwise Multiple Regression (SMR) and Artificial Neural Networks (ANNs) for estimate the ABG and LAI of tropical mangrove at Paklok bay, Phuket province. The results showed that ANNs with the selected bands from SMR are provided the highest accuracy for estimation ABG ($R^2 = 0.344$, RMSE = 6.897) and LAI ($R^2 = 0.364$, RMSE = 0.393). The best model were used to estimated AGB and LAI of the area. As a result, the ABG is 5.180 kg/m² or 51.801 ton/ha and LAI is 0.834 m²/m² or 8,338 ha/ha. In addition, The new bands of WorldView-2 imagery including Yellow Band (B4), Red Edge Band (B6) and Near-IR1 Band (B7) can provided a good correlation with the AGB (P-value < 0.05) but there are relatively low correlation with the LAI (P-value > 0.05) of tropical mangrove at Paklok bay that has more species and height density canopy. Although, the results possessed quite low accuracy caused by the mixed of several species and high density of the canopy in the study area, so its need to be improved the estimation methods in future studies. However, we hope that the methodology presented in this study can be used as a guideline for study in other area or can be used for mangrove forest management.

Keywords: Mangrove, Biomass, Leaf Area Index, Remote Sensing, Artificial Neural Networks, Paklok bay

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	(5)
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการรูป	(12)
สัญลักษณ์ย่อและคำย่อ	(15)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	5
2.1 ความหมายและความสำคัญของป้าชายเลน	5
2.2 ทรัพยากรป่าชายเลนจังหวัดภูเก็ต	6
2.3 มวลชีวภาพ	8
2.4 ดัชนีพื้นที่ผิวใบ	8
2.5 ดัชนีพืชพรรณ	10
2.6 การถอดรอยเชิงเส้นแบบพหุ	12
2.7 โครงข่ายประสาทเทียม	12
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	18
3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย	19
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	19
3.3 พื้นที่ศึกษา	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2	21
3.5 การปรับแก้ข้อมูลภาพจากดาวเทียม	23
3.6 การเตรียมข้อมูลก่อนการสำรวจภาคสนาม	26
3.7 การสำรวจภาคสนาม	30
3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล	31
3.9 การสร้างแบบจำลองในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวน้ำ	37
3.10 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง	39
บทที่ 4 ผลและบทวิจารณ์ผลการวิจัย	42
4.1 ผลการสำรวจภาคสนาม	42
4.2 การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2	52
4.3 การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำของป่าชายเลนจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2	74
4.4 การวิเคราะห์ตัวแปรจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ที่ใช้สำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวน้ำของป่าชายเลน	97
4.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวน้ำของป่าชายเลน	99
บทที่ 5 บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	102
5.1 สรุปผลการวิจัย	102
5.2 ข้อเสนอแนะ	105
เอกสารอ้างอิง	106
ภาคผนวก	113
ภาคผนวก ก การสำรวจภาคสนาม	114
ภาคผนวก ข ค่าการสะท้อนและดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2	117
ภาคผนวก ค ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนจากข้อมูลภาคสนามและการประมาณค่าจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2	126

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ง ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนจากข้อมูลภาคสนามและการประมาณค่าจาก ข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2	132
ประวัติผู้เขียน	138

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายชื่อชนิดพันธุ์ไม้ป่าชายเลนในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต	6
3.1 คุณลักษณะของดาวเทียม PLEIADES	21
3.2 คุณลักษณะของดาวเทียม WorldView-2	22
3.3 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของมวลไม้ในแต่ละพันธุ์ไม้ของป่าชายเลนที่พบในพื้นที่ศึกษา	32
3.4 รูปแบบการแทนค่าในสมการดัชนีพืชพรรณ โดยใช้ข้อมูลช่วงคลื่นของข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2	36
4.1 ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม พื้นที่ป่าชายเลน บริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต	43
4.2 รูปแบบตัวแปรและแบบจำลองสำหรับการประมาณค่า	53
4.3 รูปแบบสมการจากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและการประเมินประสิทธิภาพจากการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน	55
4.4 รูปแบบสมการจากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนและการประเมินประสิทธิภาพจากการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน	57
4.5 รูปแบบสมการจากวิธีโครงสร้างประสาทเทียมและการประเมินประสิทธิภาพจากการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน	69
4.6 รูปแบบสมการจากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและการประเมินประสิทธิภาพจากการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ	76
4.7 รูปแบบสมการจากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนและการประเมินประสิทธิภาพจากการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ	78
4.8 รูปแบบสมการจากวิธีโครงสร้างประสาทเทียมและการประเมินประสิทธิภาพจากการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ	91
4.9 ค่าสัมประสิทธิ์และประสิทธิภาพของแบบจำลองจากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนที่ใช้สำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน	97
4.10 ค่าสัมประสิทธิ์และประสิทธิภาพของแบบจำลองจากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนที่ใช้สำหรับการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ	98

รายการรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนที่แสดงพื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดภูเก็ต	7
3.1 ขั้นตอนการวิจัย	18
3.2 พื้นที่ศึกษาริเวณป่าชายเลน อ่าวป่าคลอก ตำบลป่าคลอก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต	20
3.3 การกันขอบเขตของป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษา	27
3.4 การจำแนกข้อมูลกลุ่มของป่าชายเลนจากข้อมูลภาพจากดาวเทียมในพื้นที่ศึกษา	28
3.5 การสุ่มจุดเก็บข้อมูลตัวอย่าง	29
3.6 การวางแผนสำรวจแบบเส้นตรง (Line Transect) ในการสำรวจภาคสนาม	30
3.7 ตำแหน่งเก็บข้อมูลในแปลงตัวอย่าง	31
3.8 การปรับแก้กล้องถ่ายภาพเลนส์ตาปลาโดยใช้โปรแกรม CAN-EYE 6.3.13	34
3.9 ขั้นตอนการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบโดยใช้โปรแกรม CAN-EYE 6.3.13	35
3.10 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล	37
3.11 ลักษณะโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม	39
4.1 การแบ่งสัดส่วนของแปลงตัวอย่างจากพันธุ์ไม้เด่น	51
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 1	58
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 2	59
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 3	60
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 4	61
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 5	62
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 6	63

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 7	64
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 8	65
4.10 โครงถ่ายประสาทเทียม 8-8-1 สำหรับประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลน	66
4.11 โครงถ่ายประสาทเทียม 4-10-1 สำหรับประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลน	67
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีโครงถ่ายประสาทเทียมโดยใช้ค่าการสะท้อน 8 ช่วงคลื่นเป็นตัวแปรต้น กับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม	70
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีโครงถ่ายประสาทเทียมโดยใช้ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 5 เป็นตัวแปรต้น กับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม	71
4.14 แผนที่การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2	73
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 1	79
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 2	80
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 3	81
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 4	82
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 5	83

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 6	84
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 7	85
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 8	86
4.23 โครงข่ายประสาทเทียม 8-8-1 สำหรับประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน	87
4.24 โครงข่ายประสาทเทียม 3-12-1 สำหรับประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน	88
4.25 โครงข่ายประสาทเทียม 7-9-1 สำหรับประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน	89
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ค่าการสะท้อน 8 ช่วงคลื่นเป็นตัวแปรต้น กับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม	92
4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 5 เป็นตัวแปรต้น กับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม	93
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 6 และ 8 เป็นตัวแปรต้น กับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม	94
4.29 แผนที่การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2	96

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ป่าชายเลนเป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศชายฝั่งในแถบเขตร้อน (Tomlinson, 1995; Hogarth, 2007) โดยมีพื้นที่ครอบคลุมประมาณร้อยละ 75 ของชายฝั่งในแถบเขตร้อน (Spalding, *et al.*, 1997) ป่าชายเลนมีผลดีต่อระบบนิเวศหลากหลายประเด็น เช่น ช่วยป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งจากคลื่นและคลื่นพายุซัดฝั่ง ช่วยดักตะกอน บำบัดน้ำเสียก่อนลงสู่ทะเล เป็นแหล่งห่วงโซ่อาหารบริเวณปากแม่น้ำ และเป็นแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำ (Barbier and Sathiratai, 2004; Hogarth, 2007; Linneweber and de Lacerda, 2002; Lugo and Snedaker, 1974) นอกจากนี้ป่าชายเลนยังมีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ เช่น เป็นอาหาร ใช้ไม้ทำฟืน ไม้ซุงหรือไม้แปรรูป และการผลิตกรดจากเปลือกไม้ (Tannin) (สนิท อักษรแก้ว, 2541) แต่เป็นที่น่าเสียดายว่าป่าชายเลนมีการลดลงอย่างน่าวิตกกังวลเนื่องจากการขยายตัวของการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์ การเจริญรุ่งเรืองของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และผลกระทบจากคลื่นทะเล (Tidal wave) และพายุคลื่นแรง (Storm surge) (Barbier and Sathiratai, 2004; Linneweber and de Lacerda, 2002)

พื้นที่ป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคอก จังหวัดภูเก็ต เป็นพื้นที่ป่าชายเลนที่อุดมสมบูรณ์ และเป็นแหล่งทรัพยากรทางชายฝั่งที่สำคัญแห่งหนึ่งของจังหวัดภูเก็ต รวมถึงยังเป็นพื้นที่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก ซึ่งพื้นที่ชายฝั่งของจังหวัดภูเก็ตถูกผลักดันให้เป็นแหล่งท่องเที่ยว ส่งผลให้เกิดการบุกรุกและทำลายป่าชายเลน เพื่อนำมาสร้างแหล่งท่องเที่ยว ทำเทียบเรือ และการทำงานกึ่ง (โชติ ถาวร, 2554) จึงทำให้ป่าชายเลนที่มีความสำคัญทางด้านทรัพยากรชายฝั่งถูกทำลายไป ดังนั้นจึงมีความต้องการที่จะเฝ้าติดตาม (Monitor) โครงสร้าง (Structure) และการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต (Dynamics) เพื่อใช้ในการวางแผนการจัดการและอนุรักษ์ป่าชายเลน โดยข้อมูลที่มีความละเอียดและเป็นปัจจุบันของแผนที่พื้นที่ป่าชายเลนเป็นข้อมูลหนึ่งที่มีความสำคัญที่จะใช้ในการวางแผนการจัดการและอนุรักษ์ระบบนิเวศป่าชายเลน การสำรวจระยะไกลเป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็ว ให้ข้อมูลที่มีความสม่ำเสมอและครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง

สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่อง (สรรคใจ กลิ่นดาว, 2550) ซึ่งเหมาะสมกับการจัดการและเฝ้าติดตามการเปลี่ยนแปลงของป่าชายเลน เพราะป่าชายเลนมีพื้นที่ครอบคลุมเป็นบริเวณกว้างและสามารถเข้าถึงได้ยาก ในขณะที่การสำรวจโดยวิธีภาคพื้นดินสามารถทำได้ยุ่งยาก ต้องใช้เวลาและงบประมาณสูง (Held, *et al.*, 2003)

ค่ามวลชีวภาพ (Biomass) และดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index: LAI) มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการให้ผลผลิตและกระบวนการผลิตของป่า เนื่องจากผลผลิตสุทธิของหมู่ไม้มักมีความสัมพันธ์ไปทางเดียวกับค่ามวลชีวภาพและดัชนีพื้นที่ผิวใบ (พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬุ, 2538) นอกจากนี้ค่ามวลชีวภาพและดัชนีพื้นที่ผิวใบเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในการอธิบายระบบภูมิอากาศ และเป็นตัวแปรที่ใช้ในหลายแบบจำลอง เช่น การแลกเปลี่ยนพลังงานกับชั้นบรรยากาศ (Bacour, *et al.*, 2002) วัฏจักรคาร์บอนและแบบจำลองทางด้านอุทกวิทยา (Weiss and Baret, 1999) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการศึกษาวิธีการประมาณค่ามวลชีวภาพและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าไม้ให้มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพ โดยจากการศึกษางานวิจัยด้านความสัมพันธ์ของตัวแปรทางวิทยาของป่าไม้ พบว่าค่าดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index) มีความสัมพันธ์ที่ดีกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Gong, *et al.*, 2003; Green, *et al.*, 1997; Jensen and Binford, 2004; Kovacs, *et al.*, 2004; Kovacs, *et al.*, 2009; Law and Waring, 1994; Propastin and Kappas, 2009; Running, *et al.*, 1986; Spanner, *et al.*, 1990) และมีความสัมพันธ์ที่ดีกับการกักเก็บคาร์บอนหรือค่ามวลชีวภาพ (นวลปราง นวลอุไร, 2548; สุรเชษฐ์ สีแดง, 2551; Madugundu, *et al.*, 2008) ซึ่งมีการหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression: MLR) และโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANNs) โดยใช้ค่าการสะท้อน (Reflectance) ของข้อมูลภาพจากดาวเทียมในการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ และเป็นตัวแปรในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดังกล่าว

อย่างไรก็ตามการประมาณค่ามวลชีวภาพและดัชนีพื้นที่ผิวใบในกรณีที่โครงสร้างป่ามีความหนาแน่นและมีเรือนยอดปกคลุมสูง มักพบปัญหาการอิ่มตัวของสัญญาณ (Saturation) ของดัชนีพืชพรรณ (Fassnacht, *et al.*, 1997; Gao, *et al.*, 2000; Li, *et al.*, 2007; Mutanga and Skidmore, 2004) ส่งผลให้การประมาณค่ามีความผิดพลาด จึงมีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยใช้ข้อมูลไฮเปอร์สเปกตรัล (Hyperspectral) ในช่วงคลื่น Red Edge ซึ่งสามารถแก้ปัญหาการอิ่มตัวของสัญญาณได้ (Mutanga and Skidmore, 2004) ปัจจุบันข้อมูลมัลติสเปกตรัล (Multispectral) ของข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 มีช่วงคลื่นที่เพิ่มขึ้นจากข้อมูลมัลติสเปกตรัลทั่วไป โดยมีช่วงคลื่น ได้แก่ Coastal, Blue, Green, Yellow, Red, Red Edge, Near-IR1 และ Near-IR2 ซึ่งจะใช้อ้างอิงข้อมูลดังกล่าวในงานวิจัยนี้

ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งทดสอบการสร้างแบบจำลองในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน บริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต โดยใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง (High Spatial Resolution Satellite) และมีข้อมูลของช่วงคลื่นแบบมัลติสเปกตรัลที่เพิ่มขึ้นจากช่วงคลื่นทั่วไป ซึ่งจะใช้ค่าการสะท้อน (Reflectance) ในแต่ละช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index) ที่ได้จากการสะท้อนของข้อมูลภาพจากดาวเทียมกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม นำมาหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression: MLR) การถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน (Stepwise Multiple Regression) และโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANNs) และเลือกวิธีในการประมาณค่าที่มีความถูกต้องมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบการสร้างแบบจำลองในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน บริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต โดยอาศัยเทคนิคทางด้านการสำรวจระยะไกลจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) สร้างและทดสอบแบบจำลองในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน บริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต โดยใช้ค่าการสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นร่วมกับค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม
- 2) ข้อมูลภาพจากดาวเทียมที่ใช้ เป็นข้อมูลภาพที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง (High Spatial Resolution)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถนำข้อมูลที่ได้ใช้ในการบริหารจัดการป่าชายเลนอย่างมีประสิทธิภาพ
- 2) สามารถนำขั้นตอนและวิธีการที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ ไปใช้กับพื้นที่อื่นๆ ที่มีระบบนิเวศที่ใกล้เคียงกันได้

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

- 1) การสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) หมายถึง ศาสตร์และศิลป์ของการได้มาซึ่งข้อมูลของวัตถุหรือพื้นที่ โดยผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์บันทึกปฏิสัมพันธ์ระหว่างวัตถุและพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ติดบนยานพาหนะหรือยานสำรวจ ซึ่งปราศจากการสัมผัสวัตถุนั้นโดยตรง จากนั้นทำการตีความและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้
- 2) มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above Ground Biomass) หมายถึง มวลทุกส่วนของพืชที่อยู่เหนือพื้นดินหรือมวลทุกส่วนของพืชยกเว้นส่วนที่อยู่ใต้พื้นดินต่อหน่วยพื้นที่
- 3) ดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index) หมายถึง เป็นผลรวมของพื้นที่ผิวของใบไม้ทั้งหมดในด้านใดด้านหนึ่งเพียงด้านเดียวต่อหน่วยพื้นที่

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ความหมายและความสำคัญของป่าชายเลน

ป่าชายเลน (Mangrove Forest) หมายถึง สังคมพืชหลากหลายชนิดพันธุ์ที่ขึ้นอยู่บริเวณนอกสุดของชายฝั่งทะเล ปากแม่น้ำ หรืออ่าว ในแถบเขตร้อน (Tropical Region) (สนิท อักษรแก้ว, 2541; Tomlinson, 1995; Hogarth, 2007) เป็นบริเวณที่มีระดับน้ำทะเลท่วมถึงในช่วงเวลาน้ำขึ้นสูงสุด ซึ่งสังคมพืชเหล่านั้นจะขึ้นอยู่ตามดินเลนหรือดินเลนปนทราย พันธุ์ไม้ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ไม้ไม่ผลัดใบ ใบเขียวตลอดทั้งปี (Evergreen Species) มีลักษณะทางสรีรวิทยาและความต้องการทางนิเวศที่คล้ายคลึงกัน พันธุ์ไม้ที่สำคัญคือ ไม้สกุล โกงกาง (*Rhizophora*) และพบไม้สกุลอื่นๆ ขึ้นปะปนกัน (สุรเชษฐ์ สีแดง, 2551; Du, 1962; Huberman, 1959)

ป่าชายเลนมีความสำคัญสำหรับบริเวณแถบชายฝั่ง รวมถึงมีประโยชน์และคุณค่าต่อระบบนิเวศและมนุษย์ในหลากหลายประเด็น เช่น ทางด้านสิ่งแวดล้อม ป่าชายเลนมีความสำคัญทางด้านสิ่งแวดล้อมและมีคุณค่าต่อแนวชายฝั่งทะเล โดยเป็นฉากกำบังหรือแนวป้องกันภัยธรรมชาติ ป้องกันพายุ ป้องกันการกัดเซาะของชายฝั่ง เป็นแหล่งหลบซ่อนและแหล่งอนุบาลของสัตว์น้ำ ช่วยดักตะกอน กรองของเสียและขยะบริเวณชายฝั่ง (Barbier and Sathiratai, 2004; Hogarth, 2007; Linneweber and de Lacerda, 2002; Lugo and Snedaker, 1974) และป่าชายเลนมีส่วนสำคัญในการเป็นแหล่งให้อากาศบริสุทธิ์ โดยปล่อยก๊าซออกซิเจนออกสู่บรรยากาศ และช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามแนวชายฝั่ง (วิพัทธ์ จินตนา, และคณะ, 2540)

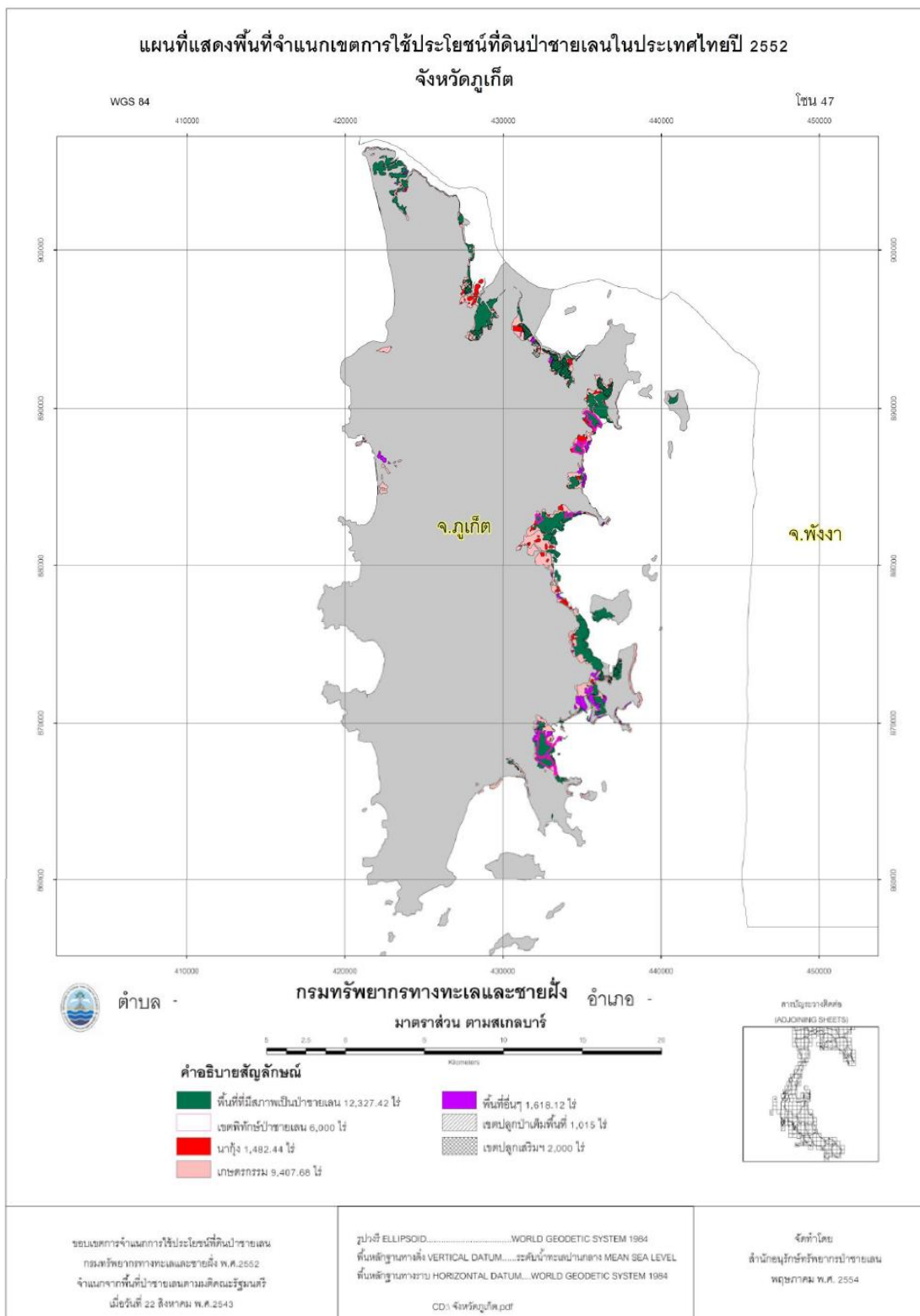
ป่าชายเลนยังมีคุณค่าต่อทางด้านเศรษฐกิจทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยในสวนคุณค่าทางเศรษฐกิจในด้านการป่าไม้ ได้ใช้ไม้ทำฟืน เผาถ่าน ทำเสาเข็ม เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งการเผาถ่านไม้ป่าชายเลน ทำให้เกิดผลพลอยได้กับด้านอุตสาหกรรมคือ ได้ของเหลวและก๊าซชนิดที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ เช่น กรดน้ำส้ม น้ำมันดินไม้ และเมทิลแอลกอฮอล์ สำหรับด้านการประมง เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย แหล่งอาหาร และแหล่งอนุบาลตัวอ่อนของสัตว์น้ำ อันส่งผลต่อทางด้านเศรษฐกิจอย่างมีคุณค่า (สนิท อักษรแก้ว, 2541; สุรเชษฐ์ สีแดง, 2551)

2.2 ทรัพยากรป่าชายเลนจังหวัดภูเก็ต

จังหวัดภูเก็ตมีพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด 12,327.42 ไร่ (รูปที่ 2.1) โดยแบ่งเป็นพื้นที่ป่าชายเลนในอำเภอเมือง 4,457.99 ไร่ และพื้นที่ป่าชายเลนในอำเภอถลาง 7,869.43 ไร่ ลักษณะดินของป่าชายเลนส่วนมากเป็นดินเหนียวปนทราย (Sandy Clay) ดินเหนียว (Clay) และดินทราย (Sand) ซึ่งจากข้อมูลการสำรวจป่าชายเลนของจังหวัดภูเก็ต พบพันธุ์ไม้ป่าชายเลนทั้งหมด 13 ชนิด (ตารางที่ 2.1) มีความหนาแน่นเฉลี่ยรวมเท่ากับ 240.77 ต้นต่อไร่ ความโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยรวมเท่ากับ 11.54 cm และความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 7.92 m โครงสร้างป่าชายเลนจังหวัดภูเก็ตมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย โดยชนิดพันธุ์ไม้ที่มีความเด่นมากที่สุดคือ โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) รองลงมา ได้แก่ โปรงแดง (*Ceriops tagal*) แสมดำ (*Avicennia officinalis*) และตะบูนขาว (*Xylocarpus granatum*) (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2555)

ตารางที่ 2.1 รายชื่อชนิดพันธุ์ไม้ของป่าชายเลนในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2552)

ลำดับที่	ชนิด	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์
1	โกงกางใบเล็ก	<i>Rhizophora apiculata</i>	Rhizophoraceae
2	โกงกางใบใหญ่	<i>Rhizophora mucronata</i>	Rhizophoraceae
3	ตะบูนขาว	<i>Xylocarpus granatum</i>	Meliaceae
4	ตะบูนดำ	<i>Xylocarpus moluccensis</i>	Meliaceae
5	ตาคุ่มทะเล	<i>Excoecaria agallocha</i>	Euphorbiaceae
6	ตีนเป็ดทะเล	<i>Cerbera odllam</i>	Apocynaceae
7	ถั่วขาว	<i>Bruguiera cylindrical</i>	Rhizophoraceae
8	ถั่วดำ	<i>Bruguiera parviflora</i>	Rhizophoraceae
9	โปรงแดง	<i>Ceriops tagal</i>	Rhizophoraceae
10	ลำแพน	<i>Sonneratia ovata</i>	Sonneratiaceae
11	แสมขาว	<i>Avicennia alba</i>	Avicenniaceae
12	แสมดำ	<i>Avicennia officinalis</i>	Avicenniaceae
13	หอนไก่ทะเล	<i>Heritiera littoralis</i>	Sterculiaceae



รูปที่ 2.1 แผนที่แสดงพื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดภูเก็ต (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2555)

2.3 มวลชีวภาพ

มวลชีวภาพ (Biomass) คือ มวลของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในระบบนิเวศต่อหน่วยพื้นที่ สำหรับงานวิจัยที่กล่าวถึงพืช หมายถึง มวลของทุกส่วนของต้นไม้ ทั้งลำต้น ใบ ราก ดอก และผล โดยทั่วไปนิยามวัดเป็นน้ำหนักแห้ง มวลชีวภาพมีความสำคัญในการศึกษาผลผลิตของป่า และการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนออกไซด์ของพืชกับชั้นบรรยากาศ ซึ่งพืชสามารถกักเก็บคาร์บอนไว้ในเนื้อไม้ประมาณร้อยละ 40 - 45 ของน้ำหนักแห้ง (Hogarth, 2007) การหามวลชีวภาพของพืชทำได้ 2 วิธี คือ

1) วิธีการตัดฟันต้นไม้ (Harvest Method) เป็นวิธีการตัดต้นไม้ทุกต้นในพื้นที่แล้วนำไปอบแห้ง จากนั้นชั่งหาน้ำหนักแห้ง และคำนวณค่ามวลชีวภาพ โดยคำนวณจากผลรวมของน้ำหนักแห้งทั้งหมดต่อขนาดพื้นที่ ดังสมการ

$$\text{มวลชีวภาพ} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งทั้งหมด}}{\text{พื้นที่}}$$

2) วิธีเลือกตัดฟันเฉพาะไม้ตัวอย่าง (Allometric Method) เป็นวิธีการตัดต้นไม้บางส่วนเฉพาะที่เป็นตัวอย่างแล้วนำน้ำหนักของพืชมาหาความสัมพันธ์กับส่วนต่างๆ ของพืช วิธีการนี้ทำให้ไม่จำเป็นต้องตัดฟันต้นไม้ทั้งหมดในพื้นที่

งานวิจัยนี้จะอาศัยสมการที่ได้จากวิธีการแบบ Allometric ที่ใช้ในการคำนวณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลน

2.4 ดัชนีพื้นที่ผิวใบ

ดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index) เป็นผลรวมของพื้นที่ผิวของใบไม้ทั้งหมดในดาดไม้ด้านหนึ่งเพียงด้านเดียวต่อหน่วยพื้นที่ (Jensen, 2007) โดยวิธีการวัดค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมี 2 วิธี คือ

1) วิธีการประมาณโดยตรง ซึ่งเป็นวิธีที่แม่นยำมากที่สุด แต่เป็นวิธีที่ใช้เวลา และแรงงานสูง โดยทำการเก็บรวบรวมใบจากต้นไม้มาวิเคราะห์โดยตรง (Destructive Sampling) หรือใช้วิธีเก็บด้วยโครงตาข่าย (Litter Fall Trap) ในช่วงที่ใบร่วง ซึ่งใช้ได้เฉพาะไม้ผลัดใบ จากนั้นวิเคราะห์ดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก และหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งกับพื้นที่ใบ

2) วิธีการประมาณโดยอ้อม ซึ่งที่นิยมใช้กันคือ วิธีการอาศัยแสง (Optical Method) สามารถวัดโดยอาศัยหลักการวัดแสงที่ส่องผ่านเรือนยอด โดยใช้อุปกรณ์แบบอาศัยแสงมาใช้สามารถใช้ได้ทั้งการวิเคราะห์ช่องว่างของเรือนยอด (Gap Fraction) เช่น การใช้ LAI-2000 และการวิเคราะห์การกระจายของขนาดช่องในเรือนยอด (Gap Size Distribution) เช่น การใช้ TRAC (Tracing Radiation and Architecture of Canopies) และเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา (Hemispherical Photography) (Chen, *et al.*, 1997)

เทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลาเป็นวิธีการหนึ่งในการศึกษาดัชนีพื้นที่ผิวใบ โดยถ่ายภาพเรือนยอดจากพื้นดินขึ้นไปบนท้องฟ้าในแนวตั้งด้วยเลนส์ตาปลา (Fish Eye Lens) ที่สามารถรับภาพได้ 180 องศา ซึ่งภาพถ่ายเรือนยอดที่ได้สามารถวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น GLA (Gap Light Analyzer) (Frazer, *et al.*, 1999) โปรแกรม CAN-EYE (Weiss and Baret, 2010) ซึ่งกระบวนการในการวิเคราะห์ภาพจะเกี่ยวกับการแปลภาพให้อยู่ในตำแหน่งที่มีพิกัดและมุม การจำแนกส่วนที่เป็นใบพืชหรือเรือนยอดออกจากส่วนที่เป็นช่องว่างหรือท้องฟ้า และการคำนวณการกระจายความสว่างของท้องฟ้า จากนั้นใช้ข้อมูลดังกล่าวในการประมาณค่าของแสงที่ส่องผ่านเรือนยอดหรือคำนวณโครงสร้างเรือนยอด การเปิดกว้างของเรือนยอด ดัชนีพื้นที่ผิวใบ และการกระจายของแสงในเรือนยอด (เจษฎา โสภารัตน์, 2552; Frazer, *et al.*, 1999)

ความแม่นยำของการใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลาในระบบดิจิทัลขึ้นอยู่กับคุณภาพของภาพดิจิทัล ที่สามารถปรับได้ด้วยการเพิ่มความละเอียดของภาพ และการถ่ายภาพภายใต้สภาพท้องฟ้าคงที่สม่ำเสมอ เนื่องจากสภาพบรรยากาศเป็นอิทธิพลหลักของการประมาณดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา การถ่ายจำเป็นต้องทำในสภาพที่ไม่มีเมฆบัง และท้องฟ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ทั้งนี้เทคนิคดังกล่าวเป็นการถ่ายภาพเรือนยอดของต้นไม้แนวตั้งภายใต้เรือนยอด ดังนั้นการซ้อนกันของใบและกิ่งเป็นกลุ่ม (Clumping) อาจเป็นอีกปัจจัยหลักที่จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประมาณดัชนีพื้นที่ผิวใบ มีผลทำให้ค่าที่ได้ต่ำกว่าค่าจริง (เจษฎา โสภารัตน์, 2552)

2.5 ดัชนีพืชพรรณ

ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices) เป็นเทคนิคแบบง่ายสำหรับใช้เพื่อสกัดสารสนเทศเชิงปริมาณของปริมาณพืชพรรณหรือความเป็นสีเขียว (Greenness) ในแต่ละจุดภาพของข้อมูลภาพ ดัชนีพืชพรรณจะเกี่ยวข้องกับสารสนเทศเชิงคลื่นของ 2 ช่วงคลื่นหรือมากกว่า โดยช่วงคลื่นหนึ่งจะเป็นข้อมูลจากความยาวคลื่นช่วงแสงสีแดง ซึ่งคลอโรฟิลล์ของพืชสีเขียวจะดูดกลืนพลังงาน และอีกช่วงคลื่นหนึ่งจะเป็นข้อมูลจากความยาวคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Band: NIR) ที่พืชพรรณไม่ดูดกลืนพลังงานแต่จะเกิดการกระเจิงจากโครงสร้างของใบ การรวมข้อมูลจาก 2 ช่วงคลื่น จะช่วยเพิ่มสัญญาณของพืชพรรณและลดอิทธิพลของสิ่งที่มีใช้พืชพรรณให้น้อยที่สุด สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เลือกดัชนีพืชพรรณที่ใช้ในการประมาณค่า ดังต่อไปนี้

2.5.1 ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)

Rouse, *et al.*, (1974) ได้พัฒนาค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ขึ้นเป็นค่าดัชนีพืชพรรณที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง (Jensen, 2007) เพราะสามารถใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของพืชในช่วงเวลาระหว่างฤดูกาลและในช่วงแต่ละปีได้ รวมถึงใช้ประมาณค่ามวลชีวภาพและค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบในสังคมพืชได้ดี และการใช้งานไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลอย่างอื่นประกอบ เช่น ข้อมูลชุดดิน ข้อมูลปรับแก้ค่าต่างๆ ที่ทำให้ต้องเสียเวลาในเก็บข้อมูลเพิ่มเติม สำหรับการคำนวณใช้ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ มีรูปแบบสมการดังนี้

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

เมื่อ	NDVI	คือ ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์
	NIR	คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Band)
	R	คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดง (Red Band)

2.5.2 ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (Soil-Adjusted Vegetation Index: SAVI)

Huete (1988) ได้พัฒนาดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ โดยนำเสนอ ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน เพื่อแก้ปัญหาค่าสะท้อนพลังงานแสงของดิน ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้

$$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} (1 + L)$$

เมื่อ	SAVI	คือ ค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน
	NIR	คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Band)
	R	คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดง (Red Band)
	L	คือ ค่าการปกคลุมของพืช โดยมีค่าเป็น 0 สำหรับพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมหนาแน่น และมีค่าเป็น 1 สำหรับพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมเบาบาง

2.5.3 ดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (Enhanced Vegetation Index: EVI)

Huete, *et al.* (2002) ได้พัฒนาค่าดัชนีเน้นภาพพืชพรรณขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาการตอบสนองของการสะท้อนพลังงานแสงจากดินและบรรยากาศ ซึ่งมีรายงานว่าค่าดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ มีคุณสมบัติที่มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมากกว่าค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ (Matsushita, *et al.*, 2007; Waring, *et al.*, 2006) และจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการใช้ค่าดัชนีเน้นภาพพืชพรรณเป็นค่าในการประมาณค่ามวลชีวภาพของป่าฝนเขตร้อนภายในประเทศออสเตรเลีย (Clark, *et al.*, 2011) ซึ่งดัชนีเน้นภาพพืชพรรณจะมีความไวของค่าพารามิเตอร์ในพื้นที่ที่มีใบปกคลุมหนาแน่นมากกว่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ (Huete, *et al.*, 2002) โดยมีรูปแบบสมการดังนี้

$$EVI = G \times \frac{NIR - R}{NIR + (C_1 \times R - C_2 \times B) + L}$$

เมื่อ	EVI	คือ ค่าดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ
	G	คือ ค่าระดับของพลังงาน (Grain Factor)
	NIR	คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Band)
	R	คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดง (Red Band)
	B	คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (Blue Band)
	C ₁ , C ₂	คือ ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับค่าฝุ่นละอองในบรรยากาศ
	L	คือ ค่าปรับแก้สำหรับดิน
		การกำหนดค่าสำหรับพื้นที่ทั่วไป มีค่า L = 1, C ₁ = 6, C ₂ = 7.5 และ G = 2.5 โดยค่า EVI จะอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 โดยทั่วไปพืชสีเขียวจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 - 0.8

2.6 การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ

การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression: MLR) เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) หรือตัวแปรเกณฑ์ (Criterion Variable) จำนวน 1 ตัว กับตัวแปรอิสระ (X) หรือตัวแปรพยากรณ์ หรือตัวแปรทำนาย (Predictor Variable) ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ซึ่งตัวแปรทั้งสองประเภทนี้มีความสัมพันธ์กันในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง (บุญชม ศรีสะอาด, 2541) โดยเป็นเทคนิคทางสถิติที่อาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรมาใช้ในการทำนาย

จากหลักการของการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุที่ใช้ตัวแปรอิสระหลายตัวในการทำนายตัวแปรตาม ทำให้ตัวแปรอิสระบางตัวที่ไม่มีส่วนในการอธิบายการผันแปรต่อตัวแปรตามไม่มีความสำคัญต่อสมการ จึงมีวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระ เพื่อให้ได้สมการพยากรณ์ที่ดีที่สุด (ประยูรศรี บุตรแสนคม, 2555) ซึ่งวิธีการคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสมนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ การเลือกตัวแปรโดยวิธีเพิ่มตัวแปร (Forward Selection) การเลือกตัวแปรโดยวิธีลดตัวแปร (Backward Elimination) และการเลือกตัวแปรโดยวิธีเพิ่มตัวแปรอิสระแบบขั้นตอน (Stepwise Regression)

2.7 โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANNs) เป็นวิธีการที่ถูกจำลองมาจากโครงสร้างของสมองมนุษย์ สามารถทำการเรียนรู้ชุดข้อมูลได้ทั้งแบบมีผู้สอน (Supervised Learning) และแบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) (ลิตา จาริก, 2555; วิชาดา เวทย์ประสิทธิ์ และ พรพิมล ณ นคร, 2548) โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยชั้นของข้อมูลเบื้องต้น 3 ชั้น คือ ชั้นนำเข้าข้อมูล (Input Layer) ชั้นซ่อนหรือชั้นแฝง (Hidden Layer) และชั้นผลลัพธ์ (Output Layer)

ขั้นตอนการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อข้อมูลนำเข้า (Input Data) ถูกส่งผ่านเข้าไปในชั้นซ่อน ภายในชั้นนี้จะทำหน้าที่ประมวลผลโดยการรวมข้อมูลนำเข้ากับค่า

น้ำหนัก (Weight) และส่งผ่านฟังก์ชันแปลงค่า (Transfer Function) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ (Output) ออกมา (รสกร ด่านกุล, 2546) ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของโครงข่ายประสาทเทียมตามความซับซ้อนหรือจำนวนชั้นของนิวรอนในชั้นซ่อน เช่น โครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่าย (Single Layer Neural Network) เป็นโครงข่ายที่มีชั้นซ่อนเพียงชั้นเดียว โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layered Perceptron: MLP) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่นิยมใช้มากที่สุดและพบว่ามีความแม่นยำสามารถทำงานที่มีความซับซ้อนมากๆ ได้ หรืออาจกล่าวได้ว่าสามารถประยุกต์ใช้ได้กับงานเกือบทุกประเภท โดยมีข้อแม้ว่าต้องมีจำนวนชั้นและจำนวนนิวรอนที่เหมาะสม (ภัทรารุติ แสงศิริ, และคณะ, 2552) วิธีการที่ใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น วิธีหนึ่งที่นิยมใช้คือ วิธีการแพร่กระจายย้อนกลับ (Back Propagation Algorithm) เป็นวิธีที่ใช้เพื่อปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อระหว่างโหนดให้เหมาะสม

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นวลปราง นวลอุไร (2548) ได้ศึกษาเปรียบเทียบค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำ มวลชีวภาพ และปริมาณคาร์บอนสะสมที่อยู่เหนือพื้นดินของระบบบึงเวศป่า จากการสำรวจด้านป่าไม้ และการสำรวจระยะไกลบริเวณอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน โดยใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียม Landsat 5 TM และใช้วิธีการประมาณค่าโดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำและมวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากการสำรวจภาคสนามกับข้อมูลค่าการสะท้อนและดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) ผลการศึกษาพบว่าจากการแบ่งประเภทป่าออกเป็น 4 ประเภท คือ ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง และป่าดิบชื้น สำหรับค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำของป่าทั้ง 4 ประเภท มีความสัมพันธ์กับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Band) มากที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.875, 0.745, 0.843 และ 0.874 ตามลำดับ สำหรับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าเต็งรัง มีความสัมพันธ์กับช่วงคลื่นสีแดง (Red Band) มากที่สุด โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.665 ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าเบญจพรรณ มีความสัมพันธ์กับดัชนีพืชพรรณ Green Vegetation Index (GVI) มากที่สุด โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.705 และค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบแล้งและป่าดิบชื้น มีความสัมพันธ์กับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ มากที่สุด โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.735 และ 0.703 ตามลำดับ ต่อมาได้ทำการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและค่าการกักเก็บคาร์บอนจากสมการที่ดีที่สุดของแต่ละป่า

สำหรับป่าดิบชื้นมีปริมาณมวลชีวภาพมากที่สุดประมาณ 336.07 t/ha รองลงมาคือ ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณและป่าเต็งรัง ซึ่งมีปริมาณมวลชีวภาพประมาณ 207.70, 68.53 และ 58.62 t/ha ตามลำดับ และพบว่าป่าดิบชื้นมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมากที่สุดเท่ากับ 168.04 t/ha C รองลงมา ได้แก่ ป่าดิบแล้งป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 103.85, 34.26 และ 29.31 t/ha C ตามลำดับ

สุรเชษฐ์ สีแดง (2551) ศึกษาการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของ ป่าชายเลน บริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ ด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกล โดยใช้ข้อมูลภาพจาก ดาวเทียม Landsat 5 TM และใช้ค่ามวลชีวภาพรวมในการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน พันธุ์ไม้เด่นที่ศึกษา ได้แก่ โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) โปรงแดง (*Ceriops tagal*) และถั่วขาว (*Bruguiera cylindrical*) ซึ่งมีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์มี 2 รูปแบบ คือ วิธีการวิเคราะห์ การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) และวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน (Stepwise Multiple Regression) โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นได้ทำการหาความสัมพันธ์ ระหว่างค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การ ตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.896 สำหรับวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนได้ทำการหาความสัมพันธ์ ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบและค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิว โลกที่แท้จริงในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ ช่วงคลื่นที่ 2 (Green Band), ช่วงคลื่นที่ 3 (Red Band), ช่วงคลื่นที่ 4 (Near Infrared Band) และค่าดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย (Simple Subtraction: IR-R), การหารแบบง่าย (Simple Ratio: IR/R), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Transformed Vegetation Index (TVI) และ Green Vegetation Index (GVI) โดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันดี พบว่าค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมีความสัมพันธ์ที่ดีกับค่า ดัชนีพืชพรรณแบบการหารแบบง่าย ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.572 และสำหรับค่าการกักเก็บคาร์บอน เหนือพื้นดินมีความสัมพันธ์ที่ดีกับค่าดัชนีพืชพรรณแบบการหารแบบง่ายและ NDVI ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.783 ซึ่งเป็นสมการสำหรับการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลน ที่ดีที่สุด โดยได้ค่าประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน เท่ากับ 71.10 t/ha C

วิโรจน์ ละอองมณี (2554) ได้ศึกษาการใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกลเพื่อการ ประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพสวนป่าชายเลน ณ ศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบกบางปู จังหวัด สมุทรปราการ พันธุ์ไม้ที่ศึกษาคือ แสมทะเล (*Avicennia marina*) โดยใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียม ได้แก่ QuickBird MS, Thaichote MS & PAN (THEOS), ALOS AVNIR-2 และ ALOS PALSAR และใช้วิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ 2 วิธีการ คือ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear

Regression Analysis) โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ผิวใบกับดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Simple Ratio (SR), Soil Adjust Vegetation Index (SAVI), Tasseled Cap Transformed Green Vegetation Index (TCT-GVI) และ Enhanced Vegetation Index (EVI) พบว่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมีความสัมพันธ์ที่ดีกับค่าดัชนีพืชพรรณ TCT-GVI มากที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดกันใจ (R^2) เท่ากับ 0.824 และความสัมพันธ์รองลงมากับค่าดัชนีพืชพรรณ EVI และ NDVI มีค่า R^2 เท่ากับ 0.817 และ 0.810 ตามลำดับ สำหรับการหาความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 รูปแบบ พบว่ามีความสัมพันธ์ที่ดีกับดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการประมาณค่าโดยดัชนีพืชพรรณ EVI มากที่สุด มีค่า R^2 เท่ากับ 0.542 และความสัมพันธ์รองลงมากับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากดัชนีพืชพรรณ NDVI และ TCT-GVI มีค่า R^2 เท่ากับ 0.499 และ 0.461 ตามลำดับ และสำหรับวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุได้ประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน โดยผลการหาความสัมพันธ์ที่ให้ค่าดีที่สุดคือ ความสัมพันธ์ของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม ALOS AVNIR-2 และค่าพลังงานสะท้อนในช่วงคลื่นไมโครเวฟจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม ALOS PALSAR โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.878 และมีค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) เท่ากับ 0.718

Atzberger, *et al.* (2003) ศึกษาการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบและปริมาณคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll Content) โดยใช้ Spectroradiometer วัดค่าการสะท้อนในระดับผิวใบของข้าวสาลีฤดูหนาว (Winter Wheat) ที่ความสูง 1.5 m จากพื้นดิน จากนั้นทำการซัดตัวอย่างซ้ำ (Resampling) ให้มีค่าศูนย์กลางความถี่เหมือนกับ Hymap โดยเทคนิคที่ใช้ในการประมาณประกอบด้วยวิธีการถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน (Partial Least Square Regression) การวิเคราะห์การถดถอยองค์ประกอบหลัก (Principal Component Regression) และการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน (Stepwise Multiple Regression) โดยมีการสรุปว่าการวิเคราะห์การถดถอยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนสามารถประมาณได้ดีที่สุดตามมาด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน

Davishzadeh, *et al.* (2008) ได้ทำการศึกษาดัชนีพื้นที่ผิวใบ Leaf Chlorophyll Content (LCC) และ Canopy Chlorophyll Content (CCC) บริเวณทุ่งหญ้าที่มีลักษณะของพืชแตกต่างกัน (Heterogeneous) ของ Mediterranean โดยใช้ GER 3700 Spectroradiometer ศึกษาค่า NDVI, SAVI2 และ Red Edge Inflection Point (REIP) ซึ่งหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดแบบเป็นขั้นตอน (Stepwise Least Square Regression) และการวิเคราะห์

การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน (Partial Least Square Regression) จากการทดลองสรุปว่าการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ และ Canopy Chlorophyll Content โดยใช้ดัชนีพืชพรรณสามารถประมาณค่าได้ดี ยกเว้นกรณี Leaf Chlorophyll Content ไม่มีวิธีไหนสามารถประมาณค่าได้ และเมื่อพิจารณาการวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพในการประมาณค่าต่างๆ ได้ดีขึ้น โดยเฉพาะวิธีการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วน

Jensen and Binford (2004) ได้ศึกษาการวัดและเปรียบเทียบการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากเทคนิคการสำรวจระยะไกล พื้นที่ศึกษาบริเวณป่าสนในที่ราบชายฝั่งทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของสหรัฐอเมริกา โดยใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียม Landsat TM และใช้วิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ 2 วิธี คือ วิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression) และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) พบว่าวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ผิวใบกับค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่ 1 - 5 และ 7 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.832 และมีค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) เท่ากับ 0.863 และหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ผิวใบกับดัชนีพืชพรรณในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ Simple Ratio (SR), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil Adjust Vegetation Index (SAVI) และ Green Vegetation Index (TCT-GVI) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ผิวใบกับดัชนีพืชพรรณ SR ให้ความถูกต้องมากกว่าดัชนีพืชพรรณรูปแบบอื่น โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 0.751 และสำหรับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ข้อมูลนำเข้าคือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่ 1 - 5 และ 7 ทำการหาความสัมพันธ์และประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ พบว่ามีค่า RMSE เท่ากับ 0.672 ซึ่งสรุปได้ว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเป็นวิธีการที่เหมาะสมและให้ค่าความถูกต้องที่ดีที่สุด

Kovacs, *et al.* (2004) ได้นำข้อมูลภาพจากดาวเทียม IKONOS มาใช้ประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ ในป่าชายเลนเสื่อมโทรมที่ประเทศเม็กซิโก ซึ่งมีพันธุ์ไม้ป่าชายเลนขึ้นอยู่ 2 ชนิด คือ *Rhizophora mangle* และ *Laguncularia racemosa* โดยทำการสำรวจข้อมูลภาคสนามจำนวน 124 แปลง แบ่งเป็นข้อมูลใช้สำหรับการสอน 56 แปลง ข้อมูลทดสอบ 68 แปลง โดยแต่ละแปลงแยกเป็นขนาดกว้าง 8 m และ 15 m หาความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ผิวใบกับดัชนีพืชพรรณ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) และ Simple Ratio (SR) ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) ได้ผลการศึกษาคือ กรณีแปลงขนาด 8 m ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.72 และ 0.73 ตามลำดับ และกรณีแปลงขนาด 15 m ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.70 และ 0.73 ตามลำดับ โดยการทดสอบ F-test ปรากฏว่าผลที่ได้จากดัชนีพืชพรรณ SR และ NDVI ไม่มีความแตกต่างกันจากผลการศึกษาทั้งสองขนาดแปลงตัวอย่าง

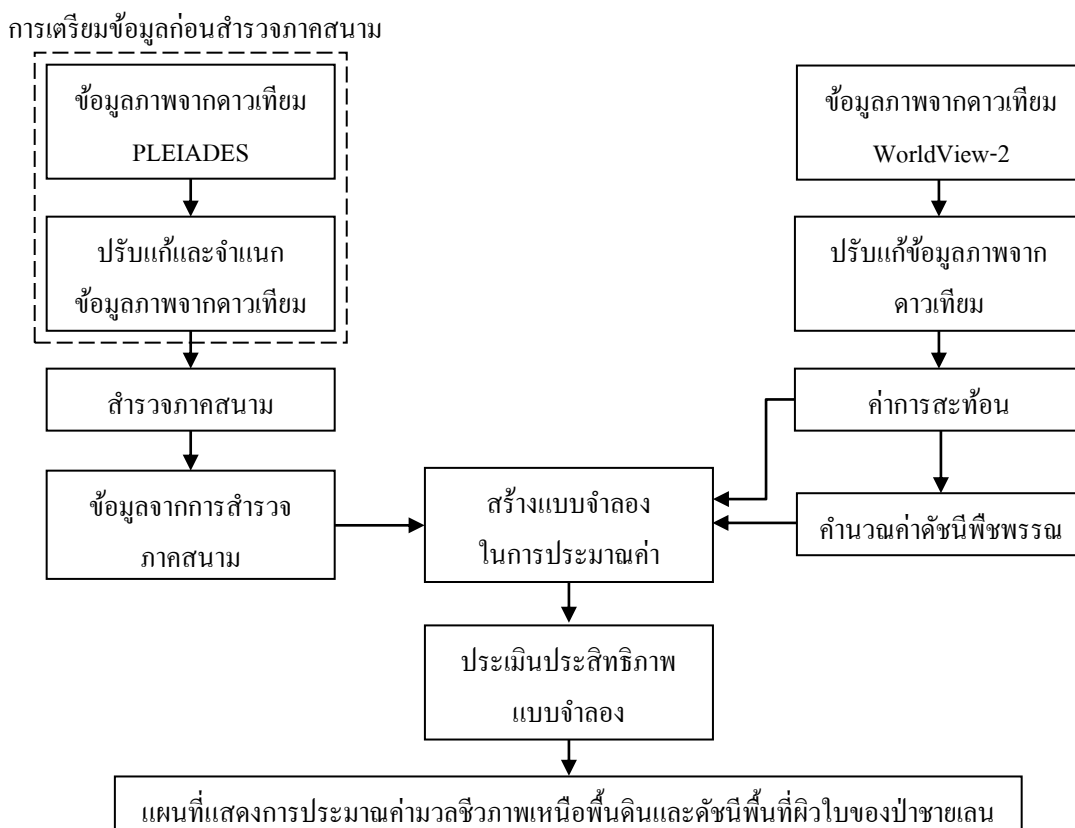
Kovacs, *et al.* (2009) ได้ทำการศึกษาการหาค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนในประเทศเม็กซิโก โดยทำการสำรวจข้อมูลภาคสนามจำนวน 225 แปลง กระจายทั่วพื้นที่ป่าชายเลนชนิด *Avicennia germinans* โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) และ Simple Ratio (SR) ที่ได้จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม QuickBird ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.63 และ 0.68 ตามลำดับ

Li, *et al.* (2007) ได้ทำการศึกษารูปแบบการวิเคราะห์สำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพของพื้นที่ป่าชายเลนในภาคใต้ของจีน พันธุ์ไม้ที่ศึกษา ได้แก่ กลุ่มไม้ลำพูและลำแพน (*Sonneratiaceae*) เหงือกปลาหมอ ดอกม่วง (*Acanthus ilicifolius*) เล็บมือ นาง (*Aegiceras corniculatum*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) และรังกะแท้ (*Kandelia candel*) โดยทำการเปรียบเทียบการใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียม LANDSAT TM กับ RADARSAT สำหรับการใช้อ้างอิงข้อมูลภาพจากดาวเทียม LANDSAT TM ได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพกับค่าดัชนีพืชพรรณ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ด้วยวิธี Regression model ซึ่งมีหลายแบบจำลองคือ แบบเส้นตรง แบบเอกซ์โพเนนเชียล และแบบโพลิโนเมียลกำลังสอง ในส่วนของการใช้อ้างอิงข้อมูลภาพจากดาวเทียม RADARSAT ได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพกับค่าการสะท้อนที่ได้จากข้อมูลภาพ (Backscatter) ด้วย Analytical Model ผลการศึกษาพบว่าค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพจากดาวเทียมระบบ LANDSAT TM เกิดปัญหาจุดอ้อมตัวของสัญญาณที่ระดับค่ามวลชีวภาพต่ำมาก โดยได้กล่าวว่า Optical Remote Sensing มีข้อเสียในการใช้ประมาณค่ามวลชีวภาพเนื่องจากมีปัญหาค่าจุดอ้อมตัวของสัญญาณ แต่การใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียม RADARSAT ในการประมาณค่ามวลชีวภาพสามารถปรับปรุงค่า Root Mean Square Error ได้ และสรุปว่าการใช้ Analytical Model ของข้อมูลภาพจากดาวเทียม RADARSAT สามารถประมาณค่ามวลชีวภาพได้ดีขึ้น

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการสร้างแบบจำลองในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน โดยใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียมที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง ได้แก่ ข้อมูลภาพจากดาวเทียม PLEIADES ใช้สำหรับการเตรียมข้อมูลก่อนออกภาคสนาม และข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองโดยหาความสัมพันธ์กับข้อมูลภาคสนามที่ได้จากการเก็บข้อมูลในพื้นที่ศึกษา ณ ช่วงเวลาใกล้เคียงกัน และมีการตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อหาแบบจำลองในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนที่มีความถูกต้องมากที่สุด ซึ่งมีขั้นตอนการวิจัยดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการวิจัย

3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

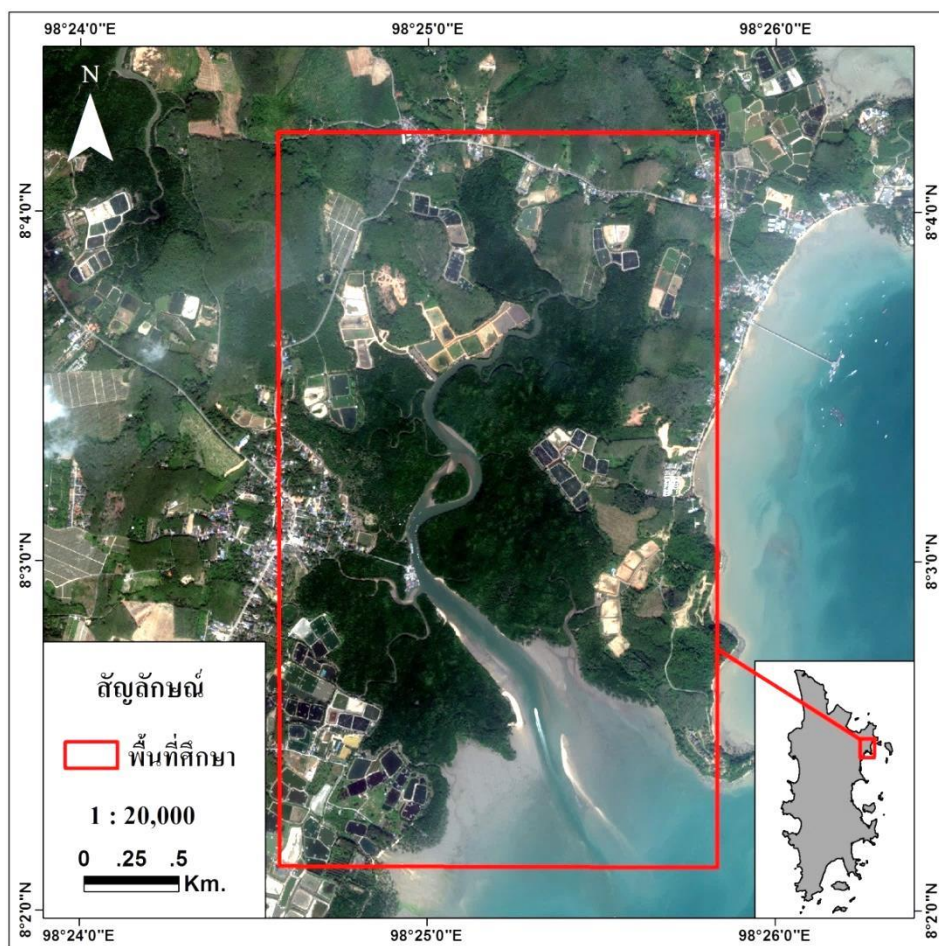
- 1) ข้อมูลภาพจากดาวเทียม PLEIADES บันทึกภาพเมื่อวันที่ 21 มิถุนายน พ.ศ. 2556
- 2) ข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 บันทึกภาพเมื่อวันที่ 27 ธันวาคม พ.ศ. 2556
- 3) แผนที่ภาพถ่ายออร์โธรีโธซีเชิงเลข มาตราส่วน 1:4,000 จังหวัดภูเก็ต (กรมพัฒนาที่ดิน)
- 4) แผนที่แสดงพื้นที่จำแนกเขตการใช้ประโยชน์ที่ดินป่าชายเลนในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2552 จังหวัดภูเก็ต (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง)
- 5) มาตรฐานน้ำ น่านน้ำไทย แม่น้ำเจ้าพระยา-อ่าวไทย-ทะเลอันดามัน ประจำปี พ.ศ. 2557 (กรมอุทกศาสตร์)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบพกพา
- 2) เชือกไนลอน สำหรับการวางแปลงศึกษา
- 3) เทปวัดเส้นรอบวงของต้นไม้
- 4) เข็มทิศ
- 5) กล้องถ่ายภาพดิจิทัล
- 6) เลนส์ตาปลา (Fish Eye Lens)
- 7) ขาดั่งกล้องถ่ายภาพ
- 8) แบบบันทึกข้อมูลการสำรวจภาคสนาม
- 9) โปรแกรมประมวลผลข้อมูลภาพจากดาวเทียม
- 10) โปรแกรม CAN-EYE 6.3.13

3.3 พื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลอก ตำบลป่าคลอก อำเภอดงยาง จังหวัดภูเก็ต ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของจังหวัดภูเก็ต โดยบริเวณที่ศึกษามีพื้นที่ประมาณ 2.792 km² ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ ละติจูด (Latitude) ที่ 8° 4' 3" N ถึง 8° 2' 1" N และ ลองจิจูด (Longitude) ที่ 98° 24' 35" E ถึง 98° 25' 42" E (รูปที่ 3.2) ลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบฝนเมืองร้อนมีลมพัดผ่านตลอดเวลา อากาศอบอุ่นและชุ่มชื้นตลอดปี ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แถบบริเวณดังกล่าวมีเพียง 2 ฤดู คือ ฤดูฝน (เริ่มเดือนพฤษภาคม - เดือนตุลาคม) และฤดูร้อน (เริ่มเดือนพฤศจิกายน - เดือนเมษายน)



รูปที่ 3.2 พื้นที่ศึกษาระบบนิเวศป่าชายเลน อ่าวป่าคลอก ตำบลป่าคลอก อำเภอดงยาง จังหวัดภูเก็ต

3.4 ข้อมูลภาพจากดาวเทียม

3.4.1 ข้อมูลภาพจากดาวเทียม PLEIADES

ดาวเทียม PLEIADES เป็นดาวเทียมที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่สูง (High Spatial Resolution Satellite) ของประเทศฝรั่งเศส มีลักษณะการโคจรที่สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun Synchronous) การโคจรของดาวเทียมจะโคจรในแนวเหนือและใต้ของขั้วโลกโดยอยู่สูงจากพื้นโลกประมาณ 694 km สามารถบันทึกข้อมูลได้ 2 ระบบ คือ ระบบบันทึกข้อมูลแบบช่วงคลื่นเดี่ยวหรือภาพขาว - ดำ (Panchromatic) และระบบบันทึกข้อมูลแบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral) โดยรายละเอียดของดาวเทียมแสดงดังตารางที่ 3.1

ข้อมูลภาพจากดาวเทียม PLEIADES สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลภาพที่บันทึกเมื่อวันที่ 21 มิถุนายน พ.ศ. 2556 ซึ่งได้บันทึกข้อมูลภาพครอบคลุมบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยจะใช้ข้อมูลภาพดังกล่าวสำหรับการเตรียมข้อมูลก่อนการสำรวจภาคสนาม

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะของดาวเทียม PLEIADES (Astrium GEO-Information Services, 2012)

คุณลักษณะ	รายละเอียด
ระบบบันทึกข้อมูลแบบ Panchromatic	
- ความละเอียดภาพ	0.70 m
- ความยาวคลื่น	Black and White: 470 - 830 nm
ระบบบันทึกข้อมูลแบบ Multispectral	
- ความละเอียดภาพ	2.00 m
- ความยาวคลื่น	Band 0 (Blue): 430 - 550 nm
	Band 1 (Green): 500 - 620 nm
	Band 2 (Red): 590 - 710 nm
	Band 3 (Near-IR): 740 - 940 nm
ความกว้างของภาพ	20 km

3.4.2 ข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2

ดาวเทียม WorldView-2 เป็นดาวเทียมที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่สูง (High Spatial Resolution Satellite) ของประเทศสหรัฐอเมริกา มีลักษณะการ โคจรที่สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun Synchronous) สามารถบันทึกข้อมูลได้ 2 ระบบ คือ ระบบบันทึกข้อมูลแบบช่วงคลื่นเดี่ยวหรือภาพขาว - ดำ (Panchromatic) และระบบบันทึกข้อมูลแบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral) โดยรายละเอียดของดาวเทียมแสดงดังตารางที่ 3.2

ข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลภาพที่บันทึกเมื่อวันที่ 27 ธันวาคม พ.ศ. 2556 ซึ่งได้บันทึกข้อมูลภาพครอบคลุมบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยจะใช้ข้อมูลภาพดังกล่าวสำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบ

ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะของดาวเทียม WorldView-2 (DigitalGlobe, 2013)

คุณลักษณะ	รายละเอียด		
ระบบบันทึกข้อมูลแบบ Panchromatic			
- ความละเอียดภาพ	0.46 m		
- ความยาวคลื่น	Black and White:	450 - 800	nm
ระบบบันทึกข้อมูลแบบ Multispectral			
- ความละเอียดภาพ	1.84 m*		
- ความยาวคลื่น	Band 1 (Coastal):	400 - 450	nm
	Band 2 (Blue):	450 - 510	nm
	Band 3 (Green):	510 - 580	nm
	Band 4 (Yellow):	585 - 625	nm
	Band 5 (Red):	630 - 690	nm
	Band 6 (Red Edge):	705 - 745	nm
	Band 7 (Near-IR1):	770 - 895	nm
	Band 8 (Near-IR2):	860 - 1040	nm
ความกว้างของภาพ	16.4 km		

หมายเหตุ *ข้อมูลภาพในการวิจัย มีการปรับความละเอียดภาพจาก 1.84 m เป็น 2 m ปรับแก้โดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

3.5 การปรับแก้ข้อมูลภาพจากดาวเทียม

การนำข้อมูลภาพจากดาวเทียม ไปใช้ในการวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ทำการปรับแก้ข้อมูลภาพจากดาวเทียม (Pre-processing) โดยมีการปรับแก้ความผิดพลาดของข้อมูลทั้งในเชิงเรขาคณิต (Geometric) และเชิงรังสี (Radiometric) เพื่อให้มีความถูกต้องและตรงตามความเป็นจริง ซึ่งมีขั้นตอนการปรับแก้ข้อมูลภาพจากดาวเทียมดังนี้

3.5.1 การปรับแก้ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction)

การปรับแก้ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิต เป็นการปรับแก้การบิดเบือนของตำแหน่งในภาพ โดยเกิดจากสาเหตุ 1) ความผิดพลาดของการโคจร 2) ลักษณะของการวางตัวของดาวเทียมขณะทำการบันทึกข้อมูล 3) การหมุนรอบตัวเองของโลก 4) การโค้งตัวของเปลือกโลก 5) การเคลื่อนตัวของเครื่องตรวจจับบางชนิดของดาวเทียม 6) ความกว้างของมุมมองของอุปกรณ์วัดสำหรับเก็บข้อมูลในดาวเทียม 7) ความผันแปรของเพดานบิน และ 8) ความเร็วของดาวเทียม ลักษณะเฉพาะตัวของพื้นที่ที่ทำการตรวจวัด ซึ่งการปรับแก้จะอาศัยจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point: GCP) ในระบบพิกัดกริด UTM ของแผนที่ภาพถ่ายหรือภาพถ่ายที่มีค่าพิกัดที่ถูกต้องแล้ว มาใช้ในการอ้างอิง เพื่อปรับแก้พิกัดหรือตำแหน่งของพื้นที่ศึกษาให้สอดคล้องกับตำแหน่งบนพื้นผิวโลก

ข้อมูลภาพจากดาวเทียม PLEIADES และ WorldView-2 ที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ทำการปรับแก้ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิตจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) เรียบร้อยแล้ว ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้ง โดยใช้แผนที่ภาพถ่ายออร์โธรีโธกราฟิกเชิงเลข มาตรฐานส่วน 1:4,000 จังหวัดภูเก็ต ของกรมแผนที่ดิน ซึ่งตรวจสอบจากการกำหนดจุดที่มีลักษณะเด่นทั้งในแผนที่และข้อมูลภาพจากดาวเทียม เช่น จุดตัดถนน มุมของตึกหรือบ้านเรือน เพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อน โดยกำหนดจุดทั้งหมด 6 จุด กระจายครอบคลุมข้อมูลภาพจากดาวเทียม ผลของการตรวจสอบ พบว่ามีค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ของข้อมูลภาพจากดาวเทียม PLEIADES และ WorldView-2 เท่ากับ 0.321 m และ 0.317 m ตามลำดับ

3.5.2 การปรับแก้ความผิดพลาดเชิงรังสี (Radiometric Correction)

การปรับแก้ความผิดพลาดเชิงรังสีหรือเชิงคลื่น เป็นการปรับแก้อิทธิพลของกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศหรือมาจากความบกพร่องของเครื่องรับสัญญาณ รวมถึงความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากมุมของดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดความพรางมัว มีเส้นปะปน (Strip หรือ Noise) ปรากฏในข้อมูลภาพ โดยการปรับแก้ความผิดพลาดเชิงรังสีจะใช้วิธีการแปลงข้อมูลค่าเลขหลัก (Digital Number: DN) ของข้อมูลภาพจากดาวเทียมให้เป็นข้อมูลค่าการสะท้อนจริงจากพื้นผิวโลก (Reflectance) ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

1) การแปลงค่าข้อมูลเลขหลัก (Digital Number: DN) เป็นค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่น (Spectral Radiance)

การแปลงค่าข้อมูลเลขหลักเป็นค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่นของข้อมูลภาพจากดาวเทียม PLEIADES สามารถแปลงโดยการนำค่า Gain และ Bias ที่ได้จากข้อมูล Metadata ของข้อมูลภาพจากดาวเทียมในแต่ละช่วงคลื่น นำมาแทนค่าลงในสมการที่ 1 ซึ่งมีรูปแบบสมการในการแปลงค่าดังต่อไปนี้ (Astrium GEO-Information Services, 2012)

$$L_{\lambda} = \frac{DN}{Gain} + Bias \quad (1)$$

เมื่อ	L_{λ}	คือ ค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่น (Spectral Radiance) ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$)
	DN	คือ ค่าเลขหลักของข้อมูลภาพจากดาวเทียม
	Gain	คือ ค่า Gain จากข้อมูล Metadata ของแต่ละช่วงคลื่น
	Bias	คือ ค่า Offset ที่วัดจากระบบตรวจวัด

การแปลงค่าข้อมูลเลขหลักเป็นค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่นของข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 สามารถแปลงโดยการนำค่า K_{Band} และ $\Delta\lambda_{Band}$ ที่ได้จากข้อมูล Metadata ของข้อมูลภาพจากดาวเทียมในแต่ละช่วงคลื่น นำมาแทนค่าลงในสมการที่ 2 ซึ่งมีรูปแบบสมการในการแปลงค่าดังต่อไปนี้ (Updike and Comp, 2010)

$$L_{\lambda_{Pixel, Band}} = \frac{K_{Band} \times q_{Pixel, Band}}{\Delta\lambda_{Band}} \quad (2)$$

เมื่อ	$L_{\lambda_{\text{Pixel, Band}}}$	คือ ค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่น (Spectral Radiance) ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)
	K_{Band}	คือ ค่า Absolute Radiometric Calibration Factor ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)
	$q_{\text{Pixel, Band}}$	คือ ค่าหลักเลข (DN)
	$\Delta\lambda_{\text{Band}}$	คือ ค่า Effective Bandwidth (μm)

2) การแปลงค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่น (Spectral Radiance) เป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Reflectance)

การแปลงค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่นเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงของข้อมูลภาพจากดาวเทียม PLEIADES สามารถแปลงโดยนำค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่น (L_{λ}) ที่ได้จากสมการที่ 1 ค่ามุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับพื้นผิวโลก ($\text{COS}(\theta_s)$) และค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (ESUN_{λ}) ที่คำนวณได้จากข้อมูล Metadata ของข้อมูลภาพจากดาวเทียม นำมาแทนค่าลงในสมการที่ 3 ซึ่งมีรูปแบบสมการในการแปลงค่าดังต่อไปนี้ (Astrium GEO-Information Services, 2012)

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \times L_{\lambda}}{\text{ESUN}_{\lambda} \times \text{COS}(\theta_s)} \quad (3)$$

เมื่อ	ρ_{λ}	คือ ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Spectral Radiance) ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)
	L_{λ}	คือ ค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่น (Spectral Radiance) ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)
	ESUN_{λ}	คือ ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)
	θ_s	คือ 90 - มุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับพื้นผิวโลก
	π	คือ ตัวปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์

การแปลงค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่นเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงของข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 สามารถแปลงโดยนำค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่น ($L_{\lambda_{\text{Pixel, Band}}}$) ที่ได้จากสมการที่ 2 ค่ามุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับพื้นผิวโลก ($\text{COS}(\theta_s)$) ค่าระยะห่างจากดวงอาทิตย์ถึงโลก (d_{ES}) และค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ($\text{ESUN}_{\lambda_{\text{Band}}}$) ที่คำนวณได้จากข้อมูล Metadata ของข้อมูลภาพจากดาวเทียม นำมาแทนค่าลงในสมการที่ 4 ซึ่งมีรูปแบบสมการในการแปลงค่าดังต่อไปนี้ (Updike and Comp, 2010)

$$\rho_{\lambda_{\text{Pixel, Band}}} = \frac{L_{\lambda_{\text{Pixel, Band}}} \times d_{\text{ES}}^2 \times \pi}{\text{ESUN}_{\lambda_{\text{Band}}} \times \text{COS}(\theta_s)} \quad (4)$$

เมื่อ	$\rho_{\lambda_{\text{Pixel, Band}}}$	คือ ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Reflectance) ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)
	$L_{\lambda_{\text{Pixel, Band}}}$	คือ ค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่น (Spectral Radiance) ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)
	d_{ES}	คือ ค่าระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์
	$\text{ESUN}_{\lambda_{\text{Band}}}$	คือ ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)
	θ_s	คือ 90 - มุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับพื้นผิวโลก
	π	คือ ตัวปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์

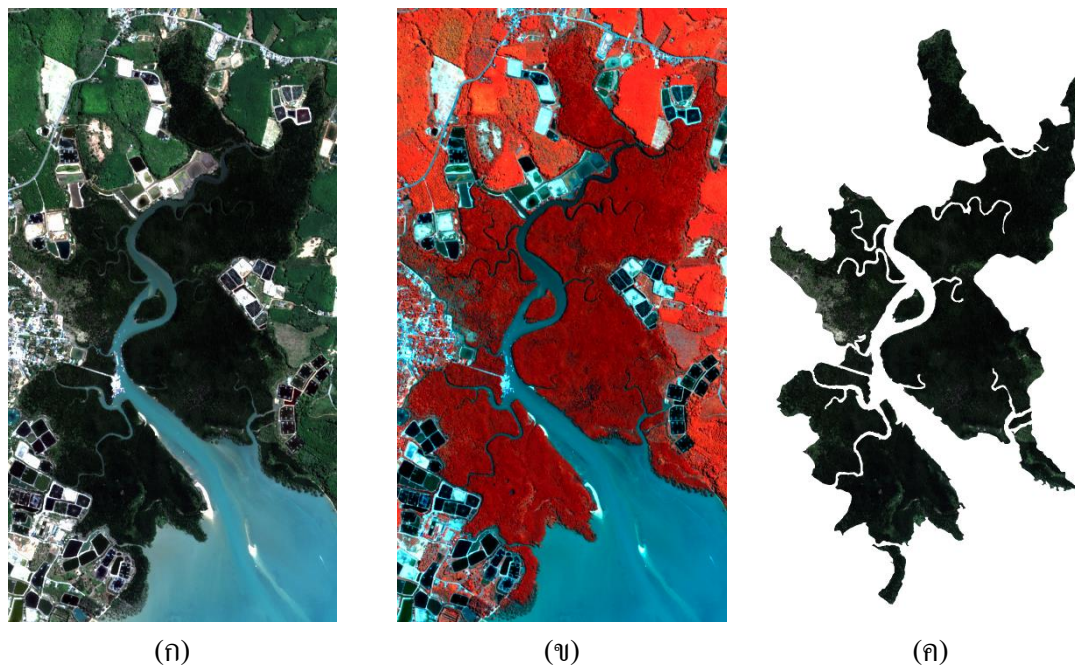
3.6 การเตรียมข้อมูลก่อนการสำรวจภาคสนาม

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการเตรียมข้อมูลเบื้องต้นก่อนการสำรวจภาคสนาม โดยทำการหาขอบเขตและจำแนกกลุ่มของป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการออกภาคสนาม ซึ่งข้อมูลภาพที่นำมาใช้ในขั้นตอนนี้เป็นข้อมูลภาพจากดาวเทียม PLEIADES ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) เท่ากับ 2 m โดยขั้นตอนการเตรียมข้อมูลก่อนการสำรวจภาคสนาม มีดังนี้

3.6.1 การกันขอบเขตพื้นที่ป่าชายเลนของข้อมูลภาพจากดาวเทียม

การกันขอบเขตของข้อมูลภาพ (Image Masking) สำหรับงานวิจัยนี้ ดำเนินการเพื่อหาขอบเขตของป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษา และกันข้อมูลอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องออกจากกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลแผนที่แสดงพื้นที่จำแนกเขตการใช้ประโยชน์ที่ดินป่าชายเลนในประเทศไทยปี พ.ศ. 2552 จังหวัดภูเก็ตของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการหาขอบเขตของป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษา และทำการแก้ไขให้สอดคล้องกับพื้นที่ปัจจุบัน เนื่องจากพื้นที่ป่าชายเลนมีขอบเขตที่ชัดเจน จึงสามารถกันขอบเขตของพื้นที่ด้วยวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสายตา (Visual Interpretation) หรือใช้วิธีการนำข้อมูลภาพจากดาวเทียมมาผสมสีเท็จ

(False Color Composite) ร่วมในการแก้ไขขอบเขตได้ ซึ่งการผสมสีเท็จจะสามารถแบ่งแยกพื้นที่ป่าชายเลนได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 3.3



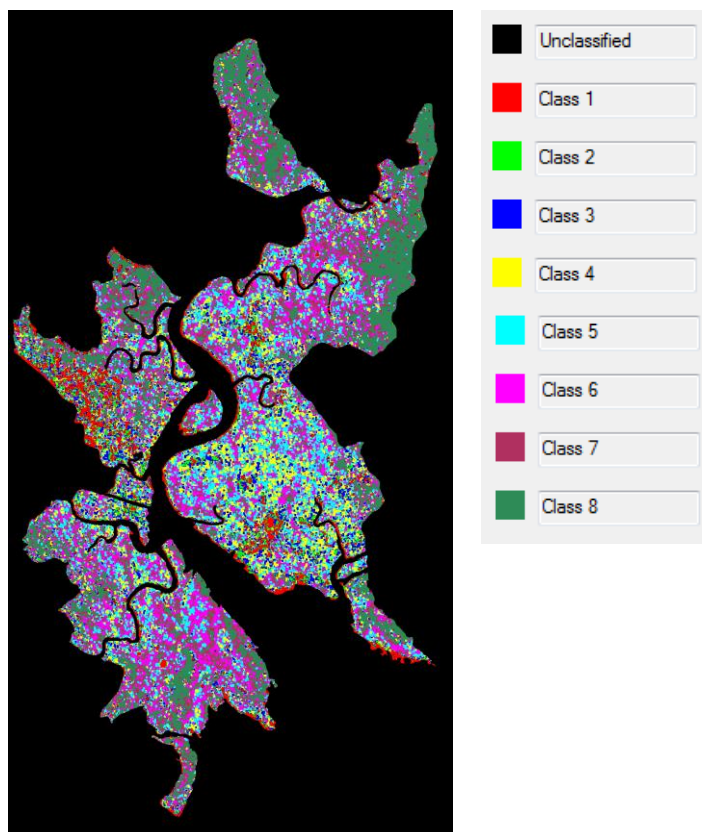
รูปที่ 3.3 การกันขอบเขตของป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษา (ก) การผสมสีจริงของข้อมูลภาพจากดาวเทียม (ข) การผสมสีเท็จของข้อมูลภาพจากดาวเทียม (ค) ขอบเขตพื้นที่ป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษาที่ได้จากการกันขอบเขต

3.6.2 การจำแนกข้อมูลกลุ่มของป่าชายเลนจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม

เมื่อดำเนินการกันขอบเขตของข้อมูลภาพและได้พื้นที่ป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษาแล้ว จะทำการจำแนกข้อมูลกลุ่มของป่าชายเลนโดยใช้วิธีการจำแนกข้อมูลแบบไม่กำกับดูแล (Unsupervised Classification) ซึ่งเป็นวิธีการจำแนกข้อมูลเชิงภาพโดยอัตโนมัติ ด้วยการจัดกลุ่มเชิงสถิติ (Statistical Grouping หรือ Clustering) ที่ใช้คุณสมบัติทางแสง (Spectral Pattern) ของวัตถุต่างๆ บนพื้นผิวโลกหรือบริเวณพื้นที่ศึกษาที่สะท้อนมายังระบบการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing System) โดยที่ผู้วิเคราะห์ไม่ทราบสภาพลักษณะภูมิประเทศตลอดจนวัตถุที่ปกคลุมบนพื้นผิวของพื้นที่บริเวณนั้นมาก่อน และการจำแนกประเภทนี้จะต้องกำหนดจำนวนกลุ่มประเภทข้อมูลไว้ล่วงหน้า โดยงานวิจัยนี้จะกำหนดจำนวนกลุ่มประเภทข้อมูลเป็น 2 เท่าของพันธุ์ไม้เด่น (Dominant Species) ที่พบในพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดภูเก็ตซึ่งมี 4 ชนิด คือ โกงกางใบเล็ก

(*Rhizophora apiculata*) โปรงแดง (*Ceriops tagal*) แสมคำ (*Avicennia officinalis*) และตะบูนขาว (*Xylocarpus granatum*) โดยไม่ได้สนใจว่ากลุ่มข้อมูลที่ทำกรจำแนกนั้นเป็นป่าชายเลนสายพันธุ์ใด เนื่องจากขั้นตอนนี้ใช้เพื่อการออกแบบการสำรวจภาคสนาม และเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมทุกสายพันธุ์เท่านั้น

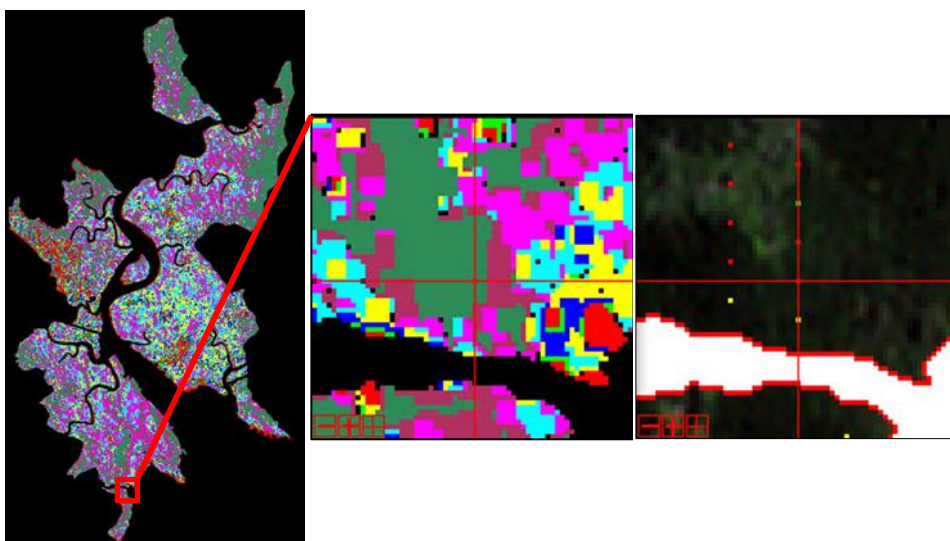
การใช้เทคนิคการจำแนกประเภทข้อมูลแบบไม่กำกับดูแลในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีตัวจำแนกการจัดกลุ่มโดยเรียงลำดับ (Sequential Clustering Classifier) หรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า K-Mean Clustering ซึ่งวิธีนี้จะดำเนินการประมวลผล 2 รอบ โดยรอบแรกโปรแกรมจะอ่านค่าความสว่างที่ละจุดภาพและสร้างกลุ่มของจุดภาพในปริภูมิสถานะเชิงรังสี แล้วคำนวณค่าความสว่างเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มจุดภาพ และในรอบที่สองโปรแกรมจะพิจารณาจุดภาพแต่ละจุดว่าควรเป็นสมาชิกของกลุ่มจุดภาพใด ซึ่งจะดำเนินการทีละจุดและต่อเนื่องกันเป็นลำดับ โดยใช้ระยะทางที่สั้นที่สุดถึงค่าความสว่างเฉลี่ยของกลุ่มจุดภาพที่ได้ดำเนินการจัดกลุ่มไว้แล้วในรอบแรกเป็นเกณฑ์ ผลของการจำแนกกลุ่มของป่าชายเลนจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การจำแนกข้อมูลกลุ่มของป่าชายเลนจากข้อมูลภาพจากดาวเทียมในพื้นที่ศึกษา

3.6.3 การสุ่มจุดเก็บข้อมูลตัวอย่าง

เมื่อได้การจำแนกข้อมูลกลุ่มของป่าชายเลน จากนั้นผู้วิจัยจะทำการสุ่มจุดเก็บข้อมูลตัวอย่างในเบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางในการเข้าเก็บข้อมูลในพื้นที่ โดยการสุ่มจุดตัวอย่างจะใช้วิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้น (Stratified Random Sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างจากข้อมูลที่มีจำนวนมากและมีความแตกต่างกันระหว่างหน่วยสุ่มที่สามารถจำแนกออกเป็นชั้นภูมิ (Stratum) หรือชั้น (Class) ซึ่งจากข้อมูลภาพจากดาวเทียมที่ได้ทำการจำแนกเป็นกลุ่มของป่าชายเลน สามารถใช้วิธีดังกล่าวในการสุ่มจุดตัวอย่าง โดยสุ่มจากชั้นต่างๆ ที่ได้จำแนกในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน และทำการสุ่มจุดตัวอย่างในแนวเส้นตรงตามวิธีการสำรวจแบบเส้นตรง (Line Transect) ให้ครอบคลุม และกระจายทั่วพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณพื้นที่ศึกษา อย่างไรก็ตามการเลือกจุดเก็บข้อมูลในการสำรวจภาคสนามขึ้นอยู่กับความยากง่ายของการเข้าถึงในแต่ละจุดของพื้นที่ศึกษา โดยขั้นตอนนี้เป็นเพียงแนวทางเบื้องต้นในการวางแผนการออกภาคสนาม ตัวอย่างการสุ่มจุดเก็บข้อมูลตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.5

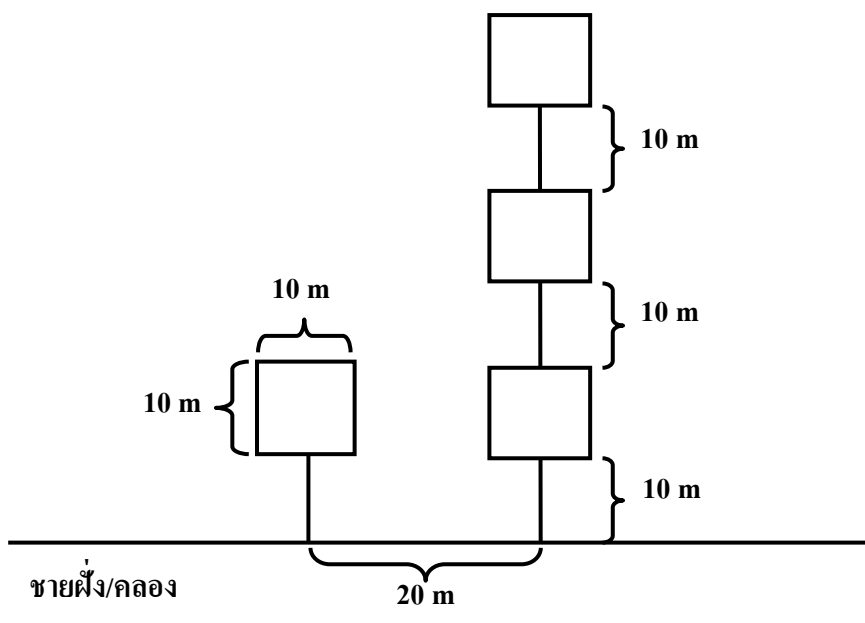


รูปที่ 3.5 การสุ่มจุดเก็บข้อมูลตัวอย่าง

3.7 การสำรวจภาคสนาม

3.7.1 การวางแผนสำหรับการสำรวจภาคสนาม

การวางแผนจะใช้วิธีการสำรวจแบบเส้นตรง (Line Transect) โดยวางเส้นแนวตั้งฉากกับชายฝั่งหรือคลอง ซึ่งจะเริ่มวางแผนห่างจากชายฝั่งหรือขอบคลองประมาณ 10 m จากนั้นวางแผนตัวอย่างขนาด 10×10 m สำหรับการวางแผนในจุดถัดไป จะมีระยะห่างระหว่างขอบแปลงประมาณ 10 m เพื่อให้สอดคล้องกับขนาดของจุดภาพของข้อมูลภาพจากดาวเทียม และระยะห่างระหว่างเส้นสำรวจ (Line) ประมาณ 20 m ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การวางแผนสำรวจแบบเส้นตรง (Line Transect) ในการสำรวจภาคสนาม

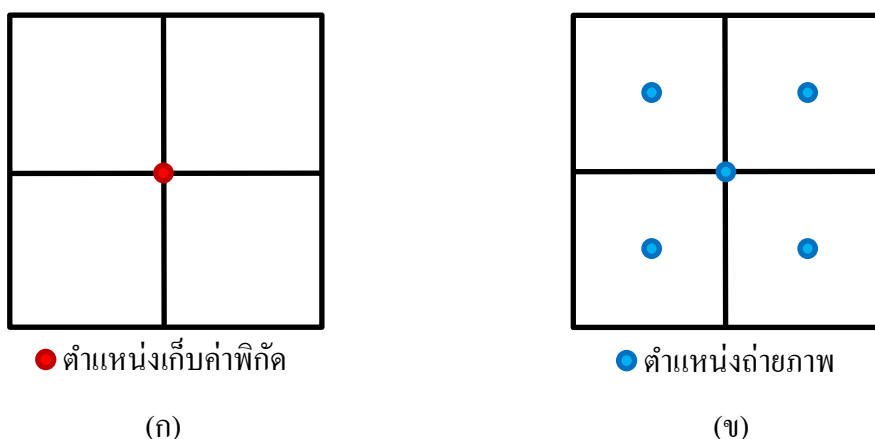
3.7.2 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

1) การเก็บค่าพิกัดของแปลงตัวอย่าง โดยใช้วิธี Differential Global Positioning System (DGPS) และอ้างอิงค่าพิกัดจากหมุดหลักฐานของกรมที่ดิน ที่ตั้งอยู่บริเวณที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต ซึ่งวิธีการนี้มีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งไม่เกิน 5 m (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2552) สำหรับการเก็บค่าพิกัด จะใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

จีทีเอสแบบพกพา โดยบันทึกค่าในระบบพิกัดกริดแบบยูทีเอ็ม (Universal Transverse Mercator: UTM) และทำการเก็บค่าพิกัด ณ จุดกึ่งกลางของแปลงตัวอย่างแต่ละแปลง ดังรูปที่ 3.7

2) การเก็บข้อมูลสำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงตัวอย่าง โดยทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับสูงเพียงอก (Diameter at Breast Height: DBH) หรือระดับความสูง 130 cm จากพื้นดิน พร้อมทั้งบันทึกชนิดพันธุ์ของต้นไม้แต่ละต้น และทำการเก็บข้อมูลเฉพาะต้นไม้ที่มีความสูงประมาณ 250 cm ขึ้นไป

3) การเก็บข้อมูลสำหรับการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวของแปลงตัวอย่าง โดยทำการถ่ายภาพเรื้อนยอดด้วยเลนส์ตาปลา (Fish Eye Lens) จากใต้ต้นไม้ในลักษณะมุมเงยในแนวตั้ง ตามเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา (Hemispherical Photography) และทำการถ่ายภาพภายในแปลงตัวอย่างแต่ละแปลงจำนวน 5 จุด ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ตำแหน่งเก็บข้อมูลในแปลงตัวอย่าง (ก) ตำแหน่งเก็บค่าพิกัด (ข) ตำแหน่งการถ่ายภาพ

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

ภายหลังจากการสำรวจภาคสนามและเก็บข้อมูลต่างๆ ของต้นไม้ในพื้นที่ศึกษา โดยจะนำข้อมูลที่ได้นำมาทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อคำนวณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวของแต่ละแปลงตัวอย่าง และนำค่าการสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ซึ่งเป็นข้อมูล ณ ช่วงเวลาใกล้เคียงกันกับการสำรวจภาคสนาม แล้วนำมาคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ โดยมีวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ดังต่อไปนี้

3.8.1 การคำนวณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบ

เมื่อได้ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม จะทำการคำนวณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแต่ละแปลง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การคำนวณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากข้อมูลการสำรวจภาคสนาม

การคำนวณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนสำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สมการ Allometric แบบสามัญ (Common Allometric) ในงานวิจัยของ Komiyama, *et al.* (2005) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (Diameter at Breast Height: DBH) และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของมวลไม้ในแต่ละชนิดพันธุ์ ดังสมการที่ 5

$$\text{Above Ground Biomass} = 0.251 \times \rho \times D^{2.46} \quad (5)$$

เมื่อ Above Ground Biomass คือ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ (kg)
 D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ระดับความสูงเพียงอก (1.30 m)
 ρ คือ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของมวลไม้ในแต่ละพันธุ์ โดยมีค่าดังตารางที่ 3.3

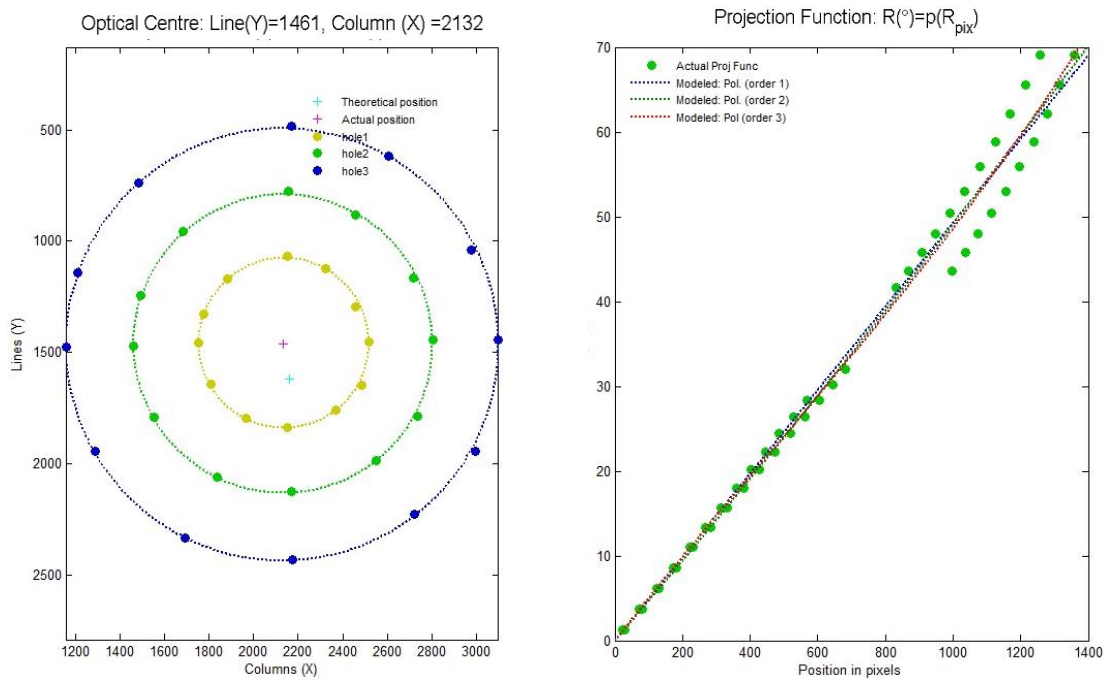
ตารางที่ 3.3 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของมวลไม้ในแต่ละพันธุ์ไม้ของป่าชายเลนที่พบในพื้นที่ศึกษา (Komiyama, *et al.*, 2005; Jachowski, *et al.*, 2013)

ชนิดพันธุ์	ρ (Mean ± SD)
โกงกางใบเล็ก (<i>Rhizophora apiculata</i>)	0.770 ± 0.093
โกงกางใบใหญ่ (<i>Rhizophora mucronata</i>)	0.701 ± 0.033
ตะบูนขาว (<i>Xylocarpus granatum</i>)	0.528 ± 0.048
ตะบูนดำ (<i>Xylocarpus moluccensis</i>)	0.531 ± 0.010
โปรงแดง (<i>Ceriops tagal</i>)	0.746 ± 0.012
พังกาหัวสุ่มดอกแดง (<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>)	0.669 ± 0.121
แสมขาว (<i>Avicennia alba</i>)	0.506 ± 0.016
ถั่วดำ (<i>Bruguiera parviflora</i>)	0.626 ± 0.031

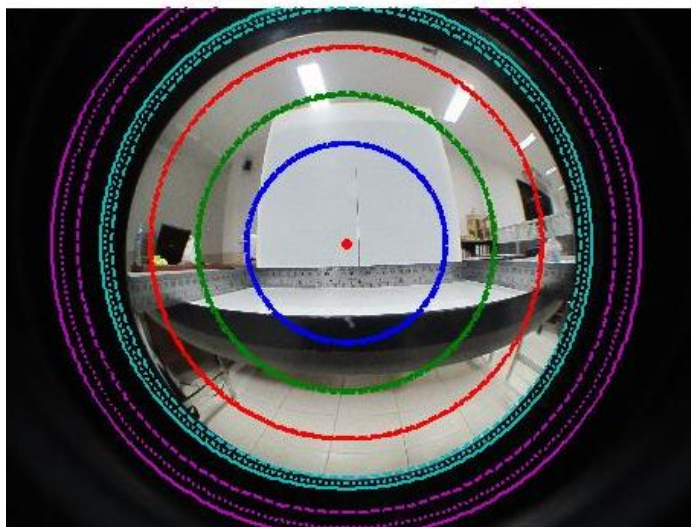
2) การคำนวณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากข้อมูลการสำรวจภาคสนาม

จากการเก็บข้อมูลภาพถ่ายเรือนยอดที่ใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา (Hemispherical Photography) ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม CAN-EYE 6.3.13 ในการคำนวณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ โดยโปรแกรมจะคำนวณพื้นที่การส่องผ่านของแสง จากนั้นจะคำนวณค่าเฉลี่ยจากข้อมูลภาพถ่ายเรือนยอดทั้ง 5 ภาพของแต่ละแปลงตัวอย่าง และคำนวณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยวิธีการวิเคราะห์ช่องว่างของเรือนยอด (Gap Faction)

วิธีการจากคู่มือการใช้ โปรแกรม CAN-EYE Version 6.1 (Weiss and Baret, 2010) ก่อนเข้าสู่การวิเคราะห์ภาพและการคำนวณค่า จะต้องทำการปรับแก้หรือการสอบเทียบ (Calibration) เพื่อหาจุดกึ่งกลางของเลนส์ (Optical Center) และฟังก์ชันการฉาย (Projection Function) ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์และประมวลผล (รูปที่ 3.8) จากนั้นนำข้อมูลภาพถ่ายเรือนยอดมาประมวลผลในโปรแกรม CAN-EYE ทำการกันข้อมูล (Mask) ส่วนที่ไม่ต้องการออก เช่น ลำต้น กิ่ง ราก ในขั้นตอนถัดมา ทำการกำหนดค่าการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายเรือนยอด (Classify) เพื่อจำแนกระหว่างส่วนของพื้นที่ที่มีใบปกคลุมกับพื้นที่การส่องผ่านของแสงหรือท้องฟ้าออกจากกัน และขั้นตอนสุดท้าย โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์และประมวลผลการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากข้อมูลภาพถ่ายเรือนยอดที่นำเข้าไปในวิธีดังกล่าว (รูปที่ 3.9)



IMG_0033.JPG(Image Size: Y=3240, X=4320)



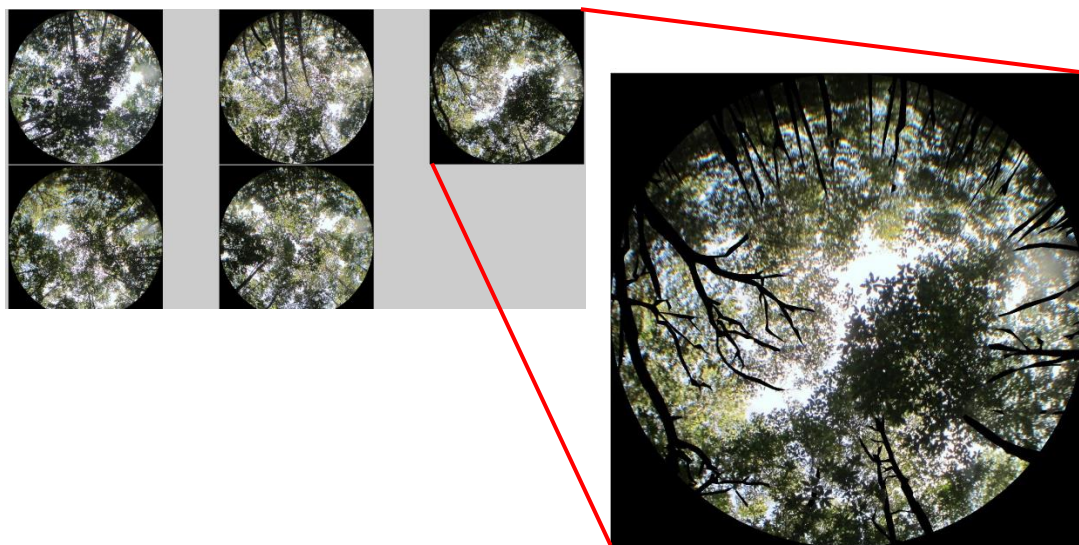
— COI = 30° — COI = 45° — COI = 60° — COI = 75° — COI = 90° — n=1 n=2 - - - n=3

$$R^{\circ} = P_1(R_{pix}) + P_2(R_{pix})^2 + P_3(R_{pix})^3$$

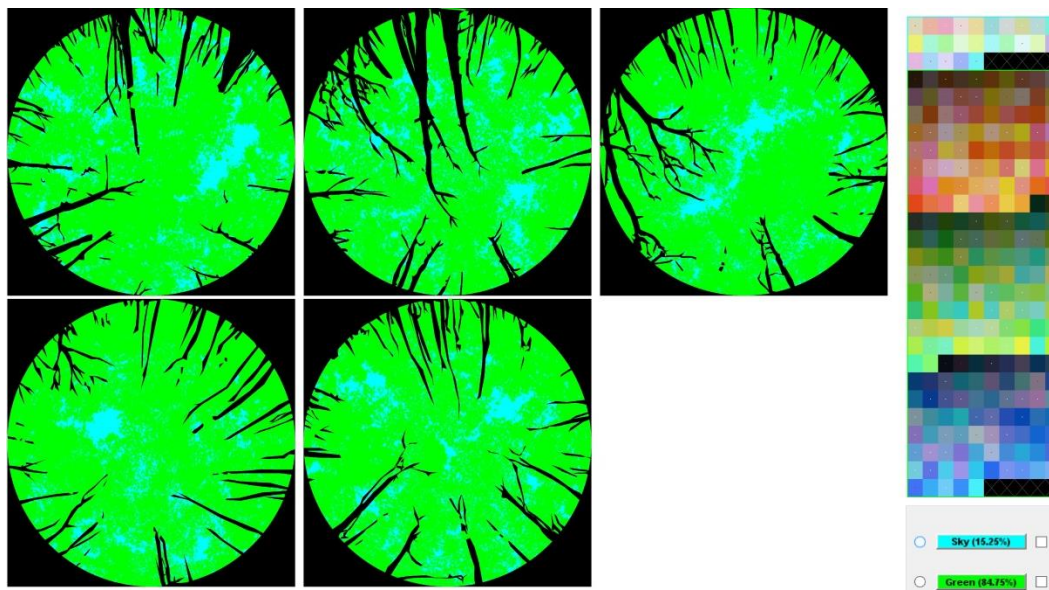
		P_1	P_2	P_3	RMSE(ฐ)
1	n = 1	0.04929151...	0		0 2.41304513...
2	n = 2	0.04675724...	2.41096533...		0 2.36172244...
3	n = 3	0.05090344...	-8.3418425...	6.10106447...	2.32994009...

รูปที่ 3.8 การปรับแก้กล้องถ่ายภาพเลนส์ตาปลาโดยใช้โปรแกรม CAN-EYE 6.3.13

Mask



Classify



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบโดยใช้โปรแกรม CAN-EYE 6.3.13

3.8.2 การคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ

การคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณสำหรับงานวิจัยนี้ ได้เลือกการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ 3 วิธีการ ได้แก่ ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (Soil-Adjusted Vegetation Index: SAVI) และดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (Enhanced Vegetation Index: EVI) โดยจะใช้ข้อมูลช่วงคลื่นของข้อมูลภาพ

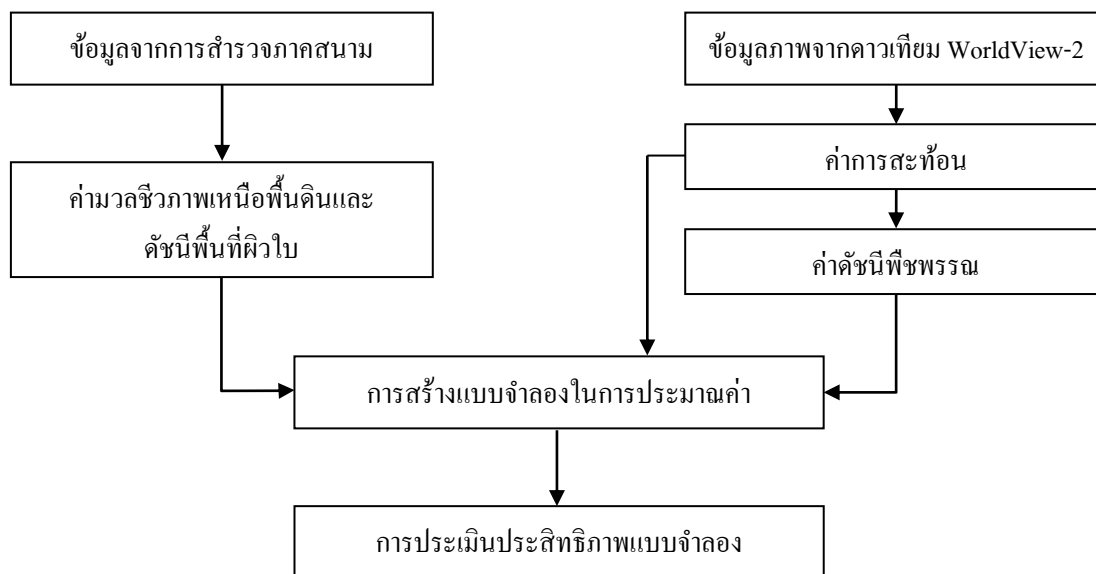
จากดาวเทียม WorldView-2 ในการคำนวณตามสมการแต่ละวิธีการ โดยแบ่งการคำนวณเป็น 2 ชุดตามช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Band) ทั้งช่วงคลื่นที่ 7 และช่วงคลื่นที่ 8 โดยมีรายละเอียดการแทนค่าสมการดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 รูปแบบการแทนค่าในสมการดัชนีพืชพรรณ โดยใช้ข้อมูลช่วงคลื่นของข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2

รูปแบบสมการ	การแทนค่าสมการ
ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)	
$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$	$NDVI1 = \frac{B7 - B5}{B7 + B5} \quad (6)$
	$NDVI2 = \frac{B8 - B5}{B8 + B5} \quad (7)$
ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (Soil-Adjusted Vegetation Index: SAVI)	
$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + 0.5} (1 + 0.5)$	$SAVI1 = \frac{B7 - B5}{B7 + B5 + 0.5} (1 + 0.5) \quad (8)$
	$SAVI2 = \frac{B8 - B5}{B8 + B5 + 0.5} (1 + 0.5) \quad (9)$
ดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (Enhanced Vegetation Index: EVI)	
$EVI = 2.5 \times \frac{NIR - R}{NIR + ((6 \times R) - (7.5 \times B)) + 1}$	$EVI1 = 2.5 \times \frac{B7 - B5}{B7 + ((6 \times B5) - (7.5 \times B2)) + 1} \quad (10)$
	$EVI2 = 2.5 \times \frac{B8 - B5}{B8 + ((6 \times B5) - (7.5 \times B2)) + 1} \quad (11)$

หมายเหตุ NIR (Near Infrared Band), R (Red Band), B (Blue Band), B2 (Band 2: Blue), B5 (Band 5: Red), B7 (Band 7: Near-IR1), B8 (Band 8: Near-IR2)

3.9 การสร้างแบบจำลองในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบ



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

การสร้างแบบจำลองในการประมาณค่า จะใช้ข้อมูลค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม กับข้อมูลค่าการสะท้อนแต่ละช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากค่าการสะท้อนของข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 (รูปที่ 3.10) โดยแบ่งเป็นข้อมูลการฝึกฝน (Training Data) ร้อยละ 70 และข้อมูลการทดสอบ (Testing Data) ร้อยละ 30 จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลตามวิธีดังต่อไปนี้

3.9.1 การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression: MLR)

การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุเป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม กับข้อมูลการสะท้อนแต่ละช่วงคลื่นและดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม โดยมีรูปแบบสมการ ดังสมการที่ 12

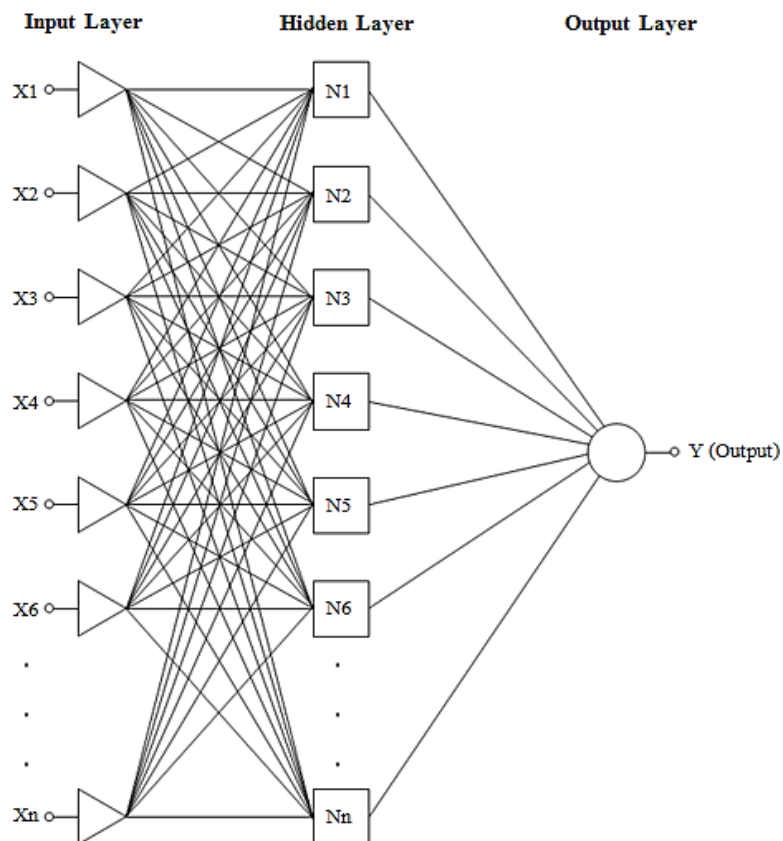
$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_nX_n \quad (12)$$

เมื่อ	Y	คือ ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม
	$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$	คือ ค่าการสะท้อนแต่ละช่วงคลื่น และค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2
	a	คือ ค่าที่เส้นสมการถดถอยตัดแกน y (y -intercept)
	$b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$	คือ สัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Coefficient of Regression)

การประมาณค่าด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของงานวิจัยนี้ จะทำการประมาณค่าจากตัวแปรค่าการสะท้อนแต่ละช่วงคลื่นกับค่าดัชนีพืชพรรณใน 2 ลักษณะ คือ การประมาณค่าที่เลือกใช้ตัวแปรโดยไม่คำนึงถึงการมีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวแปรตาม และการประมาณค่าที่เลือกใช้ตัวแปรด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน (Stepwise Multiple Regression) ซึ่งเป็นวิธีการเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวแปรตาม โดยพิจารณาจากค่า P -value หากตัวแปรใดมีระดับนัยสำคัญมากกว่าค่าที่กำหนด (P -value > 0.05) จะตัดตัวแปรนั้นออกจากสมการ และหากตัวแปรใดมีระดับนัยสำคัญน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนด (P -value \leq 0.05) จะเลือกตัวแปรนั้นอยู่ในสมการ

3.9.2 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANNs)

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม กับค่าการสะท้อนแต่ละช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layered Perceptron: MLP) ที่มีลักษณะโครงสร้างประกอบด้วยชั้นข้อมูลนำเข้า (Input Layer) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และชั้นผลลัพธ์ (Output Layer) (รูปที่ 3.11) โดยในชั้นข้อมูลนำเข้าได้กำหนดตัวแปรต้นหรือตัวแปรนำเข้า (Input) เป็น 2 ชุด คือ 1) ตัวแปรค่าการสะท้อน 8 ช่วงคลื่น และ 2) ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนของแบบจำลองที่มีความถูกต้องมากที่สุด สำหรับชั้นผลลัพธ์ได้กำหนดตัวแปรตาม (Output) คือ ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และในส่วนของชั้นซ่อนจะทำหน้าที่ในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองเพื่อหาจำนวนโหนดของชั้นซ่อนที่เหมาะสม รวมถึงการกำหนดค่าควบคุมต่างๆ ที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในวิธีโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความถูกต้องมากที่สุด



รูปที่ 3.11 ลักษณะโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

3.10 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

เมื่อได้แบบจำลองในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบ จึงได้กำหนดการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลของแบบจำลอง หรือสมการที่ให้การประมาณค่าได้ถูกต้องมากที่สุด โดยทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาดทางสถิติ (Error statistics) จากวิธีการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.10.1 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R Square, R^2)

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็นค่าที่บ่งบอกว่า แบบจำลองหรือสมการที่ใช้ประมาณค่า มีความสามารถในการอธิบายความผันผวน (Variation) ของตัวแปรตามได้มากน้อยเพียงใดหรือตัวแปรอิสระในแบบจำลองอธิบายตัวแปรตามได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 13 และสมการที่ 14 ดังนี้

$$R^2 = \frac{(\sum XY - N\bar{X}\bar{Y})^2}{(\sum X^2 - N\bar{X}^2)(\sum Y^2 - N\bar{Y}^2)} \quad (13)$$

หรือ

$$R^2 = \frac{(N \sum XY - (\sum X)(\sum Y))^2}{(N \sum X^2 - (\sum X)^2)(N \sum Y^2 - (\sum Y)^2)} \quad (14)$$

เมื่อ	R^2	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ มีค่าระหว่าง 0 - 1
	N	คือ จำนวนข้อมูล
	X	คือ ตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ
	Y	คือ ตัวแปรตาม

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจยังมีค่าใกล้ 1 มากเท่าใด แสดงว่า สามารถอธิบายค่าของตัวแปรตามได้ดี เนื่องจากตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันมาก แต่ถ้ามีค่าใกล้ 0 แสดงว่า สมการถดถอยสามารถอธิบายค่าของตัวแปรตามได้ไม่ดีหรือกล่าวโดยสรุปได้ว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันน้อย

อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ มีจุดอ่อนคือ การคำนวณดังกล่าวอยู่ในรูปร้อยละ กล่าวคือ ตัวหารนั้นมีค่าคงที่ แต่ตัวเศษมีค่าลดลง ดังนั้นการเพิ่มตัวแปรอิสระในสมการทำให้ตัวเศษลดลง เป็นผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้ตัวแปรอิสระที่เพิ่มเข้าไปใหม่ อาจจะไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามเลยก็ได้ ซึ่งการเพิ่มตัวแปรใหม่เข้าไป ทำให้สมการถดถอยมีประสิทธิภาพ (Efficient) ลดลง จึงมีการปรับค่าให้ถูกต้องมากขึ้น โดยเรียกวิธีการนี้ว่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบปรับแก้ (Adjusted Coefficient of Determination: Adjusted R-Square, Adj. R^2) ในทางทฤษฎีการเพิ่มตัวแปรอิสระแบบไม่จำกัด ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 1 Adjusted R-Squares หรือ \bar{R}^2 ซึ่งเป็นวิธีการทำให้ข้อบกพร่องนี้มีความถูกต้องด้วยการปรับทั้งตัวเศษและตัวส่วนด้วยค่าองศาอิสระ (Degrees of Freedom) ดังสมการที่ 15

$$\bar{R}^2 = 1 + \frac{N - 1}{N - K - 1} (R^2 - 1) \quad (15)$$

- เมื่อ \bar{R}^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบปรับแก้
 R^2 คือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
 N คือ จำนวนข้อมูล
 K คือ จำนวนตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ

3.10.2 ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE)

ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเป็นค่าสถิติที่ใช้วัดความแม่นยำของการประมาณ โดยจะใช้วัดค่าความแม่นยำหรือความเที่ยงตรงของการทำนาย (Predict) กับค่าที่ทำการวัดจริง (Measure) สำหรับงานวิจัยนี้ทำการคำนวณระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนจากการสำรวจภาคสนาม กับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนจากการประมาณค่าของแบบจำลองในรูปแบบต่างๆ ดังที่กล่าวไปแล้วในข้างต้น โดยมีรูปแบบการคำนวณดังสมการที่ 16

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (\hat{Y} - Y)^2}{N}} \quad (16)$$

- เมื่อ RMSE คือ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย
 \hat{Y} คือ ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนจากการประมาณค่าของแบบจำลอง
 Y คือ ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนจากการสำรวจภาคสนาม
 N คือ จำนวนข้อมูล

เกณฑ์การประเมินแบบจำลองหรือสมการที่มีความถูกต้องมากที่สุด จะทำการพิจารณาจากข้อมูลการทดสอบ (Testing Data) โดยวิเคราะห์ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย หรือ RMSE ที่มีค่าน้อยที่สุด จะถือเป็นแบบจำลองที่มีความถูกต้องมากที่สุด

บทที่ 4

ผลและบทวิจารณ์ผลการวิจัย

งานวิจัยการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน โดยใช้การสำรวจระยะไกล กรณีศึกษาอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต ซึ่งได้ดำเนินการตามขั้นตอนของงานวิจัยและมีผลการวิจัยอันประกอบด้วย ผลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม การวิเคราะห์ตัวแปรจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ที่ใช้สำหรับการประมาณค่า และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการประมาณค่า โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการสำรวจภาคสนาม

การสำรวจภาคสนามของงานวิจัยนี้ ได้ดำเนินการในระหว่างวันที่ 6 - 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 โดยวันแรกของการสำรวจภาคสนามห่างจากวันที่ทำการบันทึกข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 (27 ธันวาคม พ.ศ. 2556) เป็นระยะเวลา 41 วัน จากการสำรวจภาคสนามได้ทำการเก็บข้อมูลจากแปลงตัวอย่างทั้งสิ้น 91 แปลง ซึ่งแต่ละแปลงมีชนิดพันธุ์ไม้ของป่าชายเลนขึ้นปะปนกัน และพบชนิดพันธุ์ไม้จากแปลงตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 8 ชนิด ได้แก่ โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) ตะบูนขาว (*Xylocarpus granatum*) ตะบูนดำ (*Xylocarpus moluccensis*) โปรงแดง (*Ceriops tagal*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorhiza*) แสมขาว (*Avicennia alba*) และถั่วดำ (*Bruguiera parviflora*) เมื่อได้ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม จึงทำการคำนวณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแต่ละแปลงตัวอย่างโดยข้อมูลดังกล่าว แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม พื้นที่ป่าชายเลน บริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต

แปลงที่	ตำแหน่ง (UTM)		พันธุ์ไม้ที่พบ	พันธุ์ไม้เด่น	มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (kg/m ²)	ดัชนีพื้นที่ผิวใบ
	ตะวันออก	เหนือ				
1	435848	889736	Ra, Ct, Xg, Xm	Ct	14.752	2.980
2	435860	889752	Ra, Ct, Xg, Xm	Ct	17.702	4.370
3	435868	889792	Ra, Ct, Xg,	Ra	49.813	3.420
4	435874	889812	Ra, Ct, Xm	Ct	24.049	3.610
5	435876	889838	Ra, Rm, Ct	Ra, Rm	28.112	3.540
6	435780	890644	Ra, Ct	Ct	16.598	4.230
7	435812	890666	Ra, Ct	Ra, Ct	7.190	3.840
8	435832	890678	Ra, Ct	Ra	15.257	3.650
9	435802	890704	Ra, Ct	Ra	10.865	4.040
10	435780	890686	Ra, Ct	Ra	13.710	3.950
11	436136	890880	Ra, Ct	Ct	10.742	3.550
12	436132	890858	Ra, Ct	Ct	10.554	4.410

คำอธิบายชื่อย่อ Ra: *Rhizophora apiculata*, Rm: *Rhizophora mucronata*, Xg: *Xylocarpus granatum*, Xm: *Xylocarpus moluccensis*,
Ct: *Ceriops tagal*, Bg: *Bruguiera gymnorrhiza*, Aa: *Avicennia alba*, Bp: *Bruguiera parviflora*

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม พื้นที่ป่าชายเลน บริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต (ต่อ)

แปลงที่	ตำแหน่ง (UTM)		พันธุ์ไม้ที่พบ	พันธุ์ไม้เด่น	มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (kg/m ²)	ดัชนีพื้นที่ผิวใบ
	ตะวันออก	เหนือ				
13	436138	890840	Ra, Ct	Ra	17.803	3.590
14	436152	890934	Ra, Ct, Xg	Ra	42.793	3.480
15	436154	890958	Ra, Ct, Xg	Ra	12.634	3.310
16	436150	890976	Ra, Ct, Xg	Ra	14.519	3.550
17	436156	890992	Ra, Ct, Xg,	Ra	41.336	3.770
18	436200	890922	Ra, Ct	Ra	5.339	3.540
19	436188	890936	Ra, Ct	Ra	7.623	3.590
20	436192	890962	Ra, Ct, Xg	Ra	15.103	3.800
21	436190	890980	Ra, Rm, Ct, Xg	Ra	15.715	3.540
22	435910	890118	Ra, Xg, Xm	Ra	15.801	3.070
23	435906	890086	Ra, Ct	Ra	18.174	3.460
24	435910	890068	Ra, Rm	Ra	12.868	2.830

คำอธิบายชื่อย่อ Ra: *Rhizophora apiculata*, Rm: *Rhizophora mucronata*, Xg: *Xylocarpus granatum*, Xm: *Xylocarpus moluccensis*,
Ct: *Ceriops tagal*, Bg: *Bruguiera gymnorrhiza*, Aa: *Avicennia alba*, Bp: *Bruguiera parviflora*

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม พื้นที่ป่าชายเลน บริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต (ต่อ)

แปลงที่	ตำแหน่ง (UTM)		พันธุ์ไม้ที่พบ	พันธุ์ไม้เด่น	มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (kg/m ²)	ดัชนีพื้นที่ผิวใบ
	ตะวันออก	เหนือ				
25	435908	890046	Ra, Ct	Ra	13.172	3.700
26	435792	890070	Ra, Ct, Xg	Ra	10.619	3.770
27	435794	890052	Ra, Ct, Xg	Ra	15.247	3.440
28	435788	890032	Ra, Ct, Xg	Ra	9.088	3.800
29	435794	889998	Ra, Ct	Ra	14.430	3.650
30	436018	890224	Ra, Bp	Ra	28.735	2.850
31	436038	890224	Ra, Ct	Ra	31.483	3.370
32	436056	890228	Ra, Ct, Xg	Ra	19.615	3.360
33	436080	890224	Ra, Ct, Xg	Ra, Ct	20.583	3.770
34	436108	890222	Ra, Ct	Ra	13.489	2.670
35	436032	890258	Ra	Ra	30.079	2.030
36	436050	890254	Ra, Rm, Ct, Bp	Ra	18.836	2.850

คำอธิบายชื่อย่อ Ra: *Rhizophora apiculata*, Rm: *Rhizophora mucronata*, Xg: *Xylocarpus granatum*, Xm: *Xylocarpus moluccensis*, Ct: *Ceriops tagal*, Bg: *Bruguiera gymnorrhiza*, Aa: *Avicennia alba*, Bp: *Bruguiera parviflora*

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม พื้นที่ป่าชายเลน บริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต (ต่อ)

แปลงที่	ตำแหน่ง (UTM)		พันธุ์ไม้ที่พบ	พันธุ์ไม้เด่น	มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (kg/m ²)	ดัชนีพื้นที่ผิวใบ
	ตะวันออก	เหนือ				
37	436074	890254	Ra, Rm, Ct, Xg	Ra	22.518	2.710
38	436106	890254	Ra, Ct, Xg	Ra	10.479	3.110
39	436118	890238	Ra, Ct	Ra	9.935	2.920
40	435990	889276	Ra, Rm, Ct, Xg	Ra	10.866	2.940
41	435984	889264	Ct, Xg, Bp, Bg	Bp, Bg	17.104	3.280
42	435966	889256	Ra	Ra	7.879	2.540
43	435952	889238	Ra, Rm, Ct	Rm	12.508	3.460
44	435942	889224	Ra, Ct	Ra	18.043	3.300
45	435924	889208	Ra, Ct	Ra	8.358	3.090
46	435904	889194	Ra, Ct	Ra	21.077	3.730
47	435950	889292	Ra, Ct, Xg	Ra	17.853	3.480
48	435926	889286	Ra, Ct, Xg	Ra	11.057	4.070

คำอธิบายชื่อย่อ Ra: *Rhizophora apiculata*, Rm: *Rhizophora mucronata*, Xg: *Xylocarpus granatum*, Xm: *Xylocarpus moluccensis*,
Ct: *Ceriops tagal*, Bg: *Bruguiera gymnorrhiza*, Aa: *Avicennia alba*, Bp: *Bruguiera parviflora*

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม พื้นที่ป่าชายเลน บริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต (ต่อ)

แปลงที่	ตำแหน่ง (UTM)		พันธุ์ไม้ที่พบ	พันธุ์ไม้เด่น	มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (kg/m ²)	ดัชนีพื้นที่ผิวใบ
	ตะวันออก	เหนือ				
49	435928	889272	Ra, Ct	Ra	11.597	4.210
50	435892	889268	Ra, Ct	Ra	14.070	3.760
51	435970	889302	Ra, Ct	Ra	16.915	3.260
52	435982	889300	Ra, Rm, Ct	Ra	5.566	5.140
53	435750	889520	Ra, Ct, Xg, Bp	Ct	15.898	3.470
54	435756	889540	Ra, Ct, Xg, Bp	Ra	12.392	3.100
55	435736	889558	Ra, Xg, Bp	Ra	18.290	3.590
56	435728	889574	Ra, Rm, Ct, Xg	Ra	12.345	3.090
57	435730	889596	Ra, Ct	Ra	14.201	3.070
58	435720	889612	Ra, Rm, Ct	Ra, Ct	18.706	2.830
59	435704	889632	Ra, Ct, Xg	Ct	19.999	3.480
60	436330	890870	Ra, Ct	Ct	21.446	2.540

คำอธิบายชื่อย่อ Ra: *Rhizophora apiculata*, Rm: *Rhizophora mucronata*, Xg: *Xylocarpus granatum*, Xm: *Xylocarpus moluccensis*,
Ct: *Ceriops tagal*, Bg: *Bruguiera gymnorrhiza*, Aa: *Avicennia alba*, Bp: *Bruguiera parviflora*

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม พื้นที่ป่าชายเลน บริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต (ต่อ)

แปลงที่	ตำแหน่ง (UTM)		พันธุ์ไม้ที่พบ	พันธุ์ไม้เด่น	มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (kg/m ²)	ดัชนีพื้นที่ผิวใบ
	ตะวันออก	เหนือ				
61	436336	890888	Ra, Ct	Ct	17.974	3.820
62	436346	890906	Ra, Ct	Ra	21.549	3.530
63	436354	890920	Ra, Ct, Xg	Ra	24.666	4.070
64	436376	890932	Ra, Rm, Ct	Ra	31.530	4.550
65	436392	890944	Ra, Xg	Ra	42.074	4.240
66	436408	890958	Ra, Xg	Ra	29.388	4.270
67	436430	890962	Ra, Ct	Ra	44.096	3.640
68	436114	889520	Ra, Ct	Ra	11.590	2.720
69	436130	889522	Ra, Ct	Ra	9.475	4.510
70	436158	889528	Ra, Ct	Ra	15.911	2.490
71	436164	889524	Ra, Ct	Ra	10.816	3.260
72	436186	889532	Ra, Ct, Xg	Ct	46.480	3.690

คำอธิบายชื่อย่อ Ra: *Rhizophora apiculata*, Rm: *Rhizophora mucronata*, Xg: *Xylocarpus granatum*, Xm: *Xylocarpus moluccensis*, Ct: *Ceriops tagal*, Bg: *Bruguiera gymnorrhiza*, Aa: *Avicennia alba*, Bp: *Bruguiera parviflora*

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม พื้นที่ป่าชายเลน บริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต (ต่อ)

แปลงที่	ตำแหน่ง (UTM)		พันธุ์ไม้ที่พบ	พันธุ์ไม้เด่น	มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (kg/m ²)	ดัชนีพื้นที่ผิวใบ
	ตะวันออก	เหนือ				
73	436450	889700	Ra, Rm, Ct	Ra	19.112	3.240
74	436440	889724	Ra, Ct, Xg	Ra	15.431	3.040
75	436438	889740	Ra, Rm, Ct, Xg	Ra	16.595	3.570
76	435486	890718	Ra, Ct, Xg	Ra	14.717	3.590
77	435466	890722	Ra, Ct	Ra	10.945	4.020
78	435444	890712	Ra, Ct, Bp	Ra, Ct	9.155	3.410
79	435426	890716	Ra, Ct	Ct	13.935	4.590
80	435526	890676	Ra, Rm, Ct, Xg	Ra, Ct	16.425	4.570
81	435520	890668	Ra, Ct	Ra, Ct	12.936	3.920
82	435512	890644	Ra, Ct, Xg, Bp	Ra, Ct	28.530	4.090
83	435712	888374	Aa	Aa	15.766	2.200
84	435712	888394	Ra, Aa	Aa	72.513	2.070

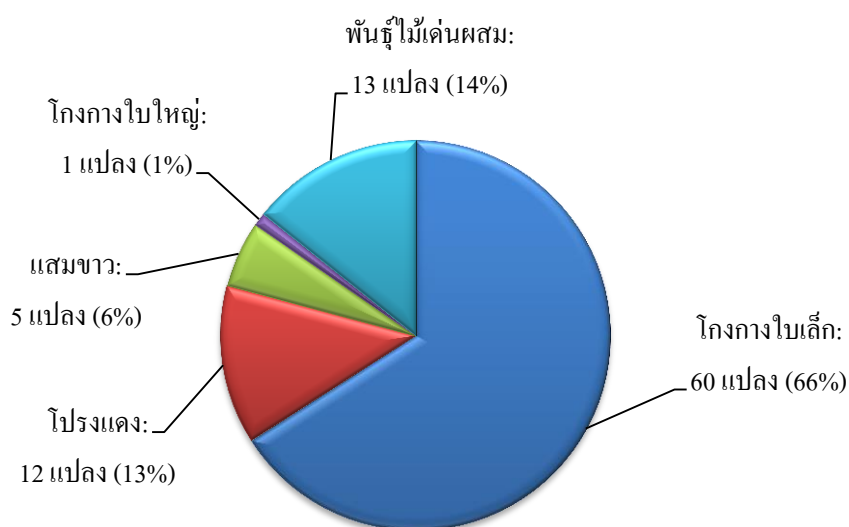
คำอธิบายชื่อย่อ Ra: *Rhizophora apiculata*, Rm: *Rhizophora mucronata*, Xg: *Xylocarpus granatum*, Xm: *Xylocarpus moluccensis*,
Ct: *Ceriops tagal*, Bg: *Bruguiera gymnorrhiza*, Aa: *Avicennia alba*, Bp: *Bruguiera parviflora*

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม พื้นที่ป่าชายเลน บริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต (ต่อ)

แปลงที่	ตำแหน่ง (UTM)		พันธุ์ไม้ที่พบ	พันธุ์ไม้เด่น	มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (kg/m ²)	ดัชนีพื้นที่ผิวใบ
	ตะวันออก	เหนือ				
85	435706	888410	Ra, Rm, Aa	Aa	20.954	1.780
86	435698	888426	Rm, Aa	Aa	15.116	1.790
87	435684	888436	Ra, Rm, Aa	Rm, Aa	19.680	2.170
88	435512	888094	Aa	Aa	33.273	1.680
89	435492	888106	Rm, Aa	Rm, Aa	14.181	2.360
90	435468	888104	Ra, Rm, Xm, Aa	Ra, Aa	7.041	3.930
91	435454	888102	Ra, Rm, Aa	Ra, Aa	36.699	4.420

คำอธิบายชื่อย่อ Ra: *Rhizophora apiculata*, Rm: *Rhizophora mucronata*, Xg: *Xylocarpus granatum*, Xm: *Xylocarpus moluccensis*,
Ct: *Ceriops tagal*, Bg: *Bruguiera gymnorrhiza*, Aa: *Avicennia alba*, Bp: *Bruguiera parviflora*

จากตารางที่ 4.1 พบว่าแปลงตัวอย่างแต่ละแปลงมีชนิดพันธุ์ไม้ของป่าชายเลนขึ้นปะปนกัน ทางผู้วิจัยจึงได้สรุปข้อมูลตามชนิดพันธุ์ไม้เด่นของแต่ละแปลง ประกอบด้วยแปลงที่มีพันธุ์ไม้เด่นเป็นชนิดพันธุ์ไม้โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) จำนวน 60 แปลง โปรงแดง (*Ceriops tagal*) จำนวน 12 แปลง แสมขาว (*Avicennia alba*) จำนวน 5 แปลง โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) จำนวน 1 แปลง และแปลงที่มีชนิดพันธุ์ไม้เด่นผสมหรือมีพันธุ์ไม้เด่นมากกว่า 1 ชนิด (Mixed) จำนวน 13 แปลง โดยมีสัดส่วนดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การแบ่งสัดส่วนจากพันธุ์ไม้เด่นของแต่ละแปลงตัวอย่าง

จากการสำรวจแปลงตัวอย่างและการแบ่งสัดส่วนจากพันธุ์ไม้เด่นของแต่ละแปลงตัวอย่าง สามารถบ่งบอกได้ว่า โกงกางใบเล็กและโปรงแดงเป็นพันธุ์ไม้เด่น (Dominant Species) ของพื้นที่ศึกษาและจากตารางที่ 4.1 ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากแปลงตัวอย่างทั้งหมด มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5.339 kg/m^2 และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 72.513 kg/m^2 สำหรับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากแปลงตัวอย่างทั้งหมด มีค่าต่ำสุดเท่ากับ $1.680 \text{ m}^2/\text{m}^2$ และมีค่าสูงสุดเท่ากับ $5.140 \text{ m}^2/\text{m}^2$

4.2 การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลน จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2

การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลน จากการสร้างแบบจำลองในการประมาณค่าโดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากการสำรวจภาคสนามกับข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ของข้อมูลฝึกฝน (Training Data) ซึ่งการนำข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามมาวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ตัดข้อมูลในส่วนของแปลงตัวอย่างที่มีชนิดพันธุ์ไม้เด่นผสม และตัดแปลงที่มีค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินผิดแปลกจากแปลงอื่นหรือตัดแปลงที่มีปัญหาต่อการวิเคราะห์ออก เนื่องจากอาจเกิดความผิดพลาดของการเก็บข้อมูลภาคสนาม ดังนั้นข้อมูลที่ใช้ในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนในงานวิจัยนี้ เป็นข้อมูลจากแปลงตัวอย่าง 77 แปลง และสำหรับข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 จะใช้ข้อมูลการสะท้อนแต่ละช่วงคลื่น และค่าดัชนีพืชพรรณรูปแบบที่ 1 และ 2 จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression: MLR) การถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน (Stepwise Multiple Regression: SMR) และโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANNs) โดยมีรายละเอียดของรูปแบบตัวแปรและแบบจำลองสำหรับการประมาณค่าด้วยวิธีการต่างๆ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 รูปแบบตัวแปรและแบบจำลองสำหรับการประมาณค่า

รูปแบบตัวแปร/แบบจำลอง	ตัวแปร/ค่าย่อ
ค่าการสะท้อน 8 ช่วงคลื่น	
Band 1: Coastal	B1
Band 2: Blue	B2
Band 3: Green	B3
Band 4: Yellow	B4
Band 5: Red	B5
Band 6: Red Edge	B6
Band 7: Near-IR1	B7
Band 8: Near-IR2	B8
ดัชนีพืชพรรณรูปแบบที่ 1 (Vegetation Index series1, VIs1)	
ตัวแปรในการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ แทนค่า Near Infrared Band ด้วย Band 7	NDVI1, SAVI1, EVI1
ดัชนีพืชพรรณรูปแบบที่ 2 (Vegetation Index series2, VIs2)	
ตัวแปรในการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ แทนค่า Near Infrared Band ด้วย Band 8	NDVI2, SAVI2, EVI2
แบบจำลองสำหรับการประมาณค่า	
● การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression)	
รูปแบบที่ 1: 8 ช่วงคลื่นเป็นตัวแปรต้น	MLR1
รูปแบบที่ 2: 8 ช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณรูปแบบที่ 1 เป็นตัวแปรต้น	MLR2
รูปแบบที่ 3: 8 ช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณรูปแบบที่ 2 เป็นตัวแปรต้น	MLR3
รูปแบบที่ 4: 8 ช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณทุกรูปแบบ เป็นตัวแปรต้น	MLR4
● การถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน (Stepwise Multiple Regression)	
รูปแบบที่ 5: 8 ช่วงคลื่นเป็นตัวแปรต้น	SMR1
รูปแบบที่ 6: 8 ช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณรูปแบบที่ 1 เป็นตัวแปรต้น	SMR2
รูปแบบที่ 7: 8 ช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณรูปแบบที่ 2 เป็นตัวแปรต้น	SMR3
รูปแบบที่ 8: 8 ช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณทุกรูปแบบ เป็นตัวแปรต้น	SMR4
● โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks)	
รูปแบบที่ 9: 8 ช่วงคลื่นเป็นตัวแปรต้น	ANNs
รูปแบบที่ 10: ตัวแปรต้นจากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนที่มีความถูกต้องมากที่สุด	ANNs-S

4.2.1 ผลการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนโดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน

สมการของแบบจำลองสำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนโดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (ตารางที่ 4.3) และการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน (ตารางที่ 4.4) เมื่อนำสมการที่ได้มาประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนได้ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบปรับแก้ (Adjusted Coefficient of Determination: Adj. R^2) และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) โดยทำการประเมินประสิทธิภาพจากข้อมูล 3 รูปแบบ ได้แก่ ข้อมูลฝึกฝน (Training Data) ข้อมูลทดสอบ (Testing Data) และข้อมูลทั้งหมดหรือข้อมูลรวม (All Data) ซึ่งได้ทำการประเมินประสิทธิภาพดังกล่าวจากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการประมาณค่าจากสมการกับข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม รายละเอียดดังตารางที่ 4.3 - 4.4 และในส่วนของการคัดเลือกตัวแปรจากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน มีผลดังนี้

1) รูปแบบที่ 5 (SMR1) มีตัวแปรถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการสำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน 4 ตัวแปร คือ Band 4 (Yellow), Band 5 (Red), Band 6 (Red Edge) และ Band 7 (Near-IR1)

2) รูปแบบที่ 6 (SMR2) มีตัวแปรถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการสำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน 4 ตัวแปร คือ Band 2 (Blue), Band 4 (Yellow), Band 6 (Red Edge) และ EVI1

3) รูปแบบที่ 7 (SMR3) มีตัวแปรถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการสำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน 3 ตัวแปร คือ Band 4 (Yellow), Band 6 (Red Edge) และ NDVI2

4) รูปแบบที่ 8 (SMR4) มีตัวแปรถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการสำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน 8 ตัวแปร คือ Band 4 (Yellow), Band 6 (Red Edge), NDVI1, NDVI2, SAVI1, SAVI2, EVI1 และ EVI2

ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการประมาณค่าจากสมการที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนกับข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามได้แสดงกราฟการกระจายตัวของข้อมูลดังกล่าวดังรูปที่ 4.2 - 4.9

ตารางที่ 4.3 รูปแบบสมการจากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและการประเมินประสิทธิภาพจากการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	ข้อมูลฝึกฝน			ข้อมูลทดสอบ			ข้อมูลรวม		
	(Training Data)			(Testing Data)			(All Data)		
	R ²	Adj. R ²	RMSE	R ²	Adj. R ²	RMSE	R ²	Adj. R ²	RMSE
การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression: MLR)									
รูปแบบที่ 1 (MLR1)									
AGB = -148.28+1894.81B1-2043.57B2+727.78B3+2727.42B4-1584.36B5 -1005.39B6+396.66B7-84.73B8									
0.253	0.239	8.519	0.244	0.208	7.897	0.250	0.240	8.338	
รูปแบบที่ 2 (MLR2)									
AGB = 316.32+2134.15B1-8108.36B2+1023.29B3+2821.01B4+2613.30B5 -1015.69B6+75.43B7-143.20B8-180.65NDVI1-861.88SAVI1 +672.74EVI1									
0.263	0.249	8.466	0.263	0.228	7.806	0.262	0.252	8.274	

หมายเหตุ AGB (Above Ground Biomass), B1 (Band 1: Coastal), B2 (Band 2: Blue), B3 (Band 3: Green), B4 (Band 4: Yellow), B5 (Band 5: Red), B6 (Band 6: Red Edge), B7 (Band 7: Near-IR1), B8 (Band 8: Near-IR2), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index)

ตารางที่ 4.3 รูปแบบสมการจากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและการประเมินประสิทธิภาพจากการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (ต่อ)

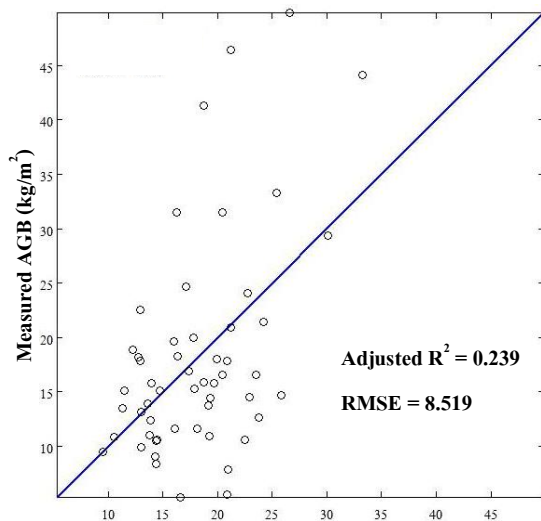
วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	ข้อมูลฝึกฝน			ข้อมูลทดสอบ			ข้อมูลรวม		
	(Training Data)			(Testing Data)			(All Data)		
	R ²	Adj. R ²	RMSE	R ²	Adj. R ²	RMSE	R ²	Adj. R ²	RMSE
การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression: MLR)									
รูปแบบที่ 3 (MLR3)									
$\text{AGB} = -275.50 + 1630.34B1 - 2582.80B2 + 643.13B3 + 2707.18B4 - 1706.04B5 - 985.80B6 + 389.28B7 + 2192.84B8 + 900.24\text{NDVI2} - 2664.73\text{SAVI2} + 89.09\text{EVI2}$									
0.265	0.251	8.450	0.245	0.209	7.913	0.259	0.249	8.293	
รูปแบบที่ 4 (MLR4)									
$\text{AGB} = -267.27 + 2197.65B1 - 2547.39B2 + 602.42B3 + 3337.47B4 + 427.80B5 - 1002.81B6 - 491.74B7 + 261.30B8 - 3567.91\text{NDVI1} + 3819.05\text{NDVI2} - 11219.37\text{SAVI1} + 14025.07\text{SAVI2} + 7805.84\text{EVI1} - 9197.99\text{EVI2}$									
0.330	0.317	8.071	0.144	0.103	8.505	0.276	0.266	8.203	

หมายเหตุ AGB (Above Ground Biomass), B1 (Band 1: Coastal), B2 (Band 2: Blue), B3 (Band 3: Green), B4 (Band 4: Yellow), B5 (Band 5: Red), B6 (Band 6: Red Edge), B7 (Band 7: Near-IR1), B8 (Band 8: Near-IR2), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index)

ตารางที่ 4.4 รูปแบบสมการจากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนและการประเมินประสิทธิภาพจากการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน

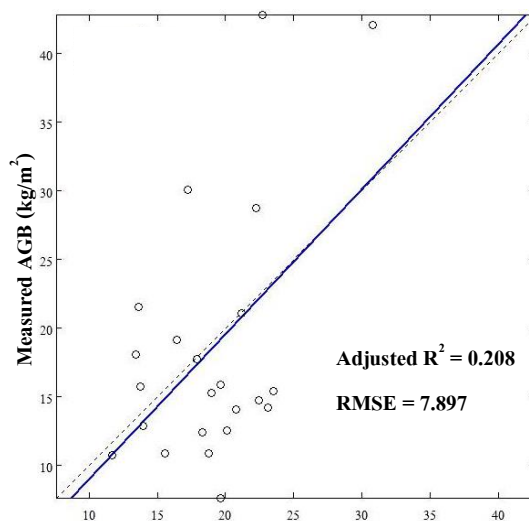
วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	ข้อมูลฝึกฝน			ข้อมูลทดสอบ			ข้อมูลรวม		
	(Training Data)			(Testing Data)			(All Data)		
	R ²	Adj. R ²	RMSE	R ²	Adj. R ²	RMSE	R ²	Adj.R ²	RMSE
การถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน (Stepwise Multiple Regression: SMR)									
รูปแบบที่ 5 (SMR1)									
AGB = -58.38+2727.34B4-1606.70B5-913.52B6+344.40B7	0.193	0.177	8.858	0.221	0.183	8.114	0.196	0.185	8.643
รูปแบบที่ 6 (SMR2)									
AGB = 57.64-2039.71B2+3367.28B4-1027.10B6+143.38EVI1	0.210	0.195	8.764	0.177	0.137	8.297	0.198	0.188	8.627
รูปแบบที่ 7 (SMR3)									
AGB = -121.61+1687.57B4-587.74B6+172.40NDVI2	0.147	0.131	9.106	0.158	0.118	8.372	0.148	0.136	8.893
รูปแบบที่ 8 (SMR4)									
AGB = -290.80+4068.40B4-1169.70B6-2871.00NDVI1+3425.80NDVI2 -10229.80SAVI1+12703.30SAVI2+6787.90EVI1-8219.30EVI2	0.283	0.269	8.349	0.070	0.026	9.046	0.214	0.204	8.563

หมายเหตุ AGB (Above Ground Biomass), B1 (Band 1: Coastal), B2 (Band 2: Blue), B3 (Band 3: Green), B4 (Band 4: Yellow), B5 (Band 5: Red), B6 (Band 6: Red Edge), B7 (Band 7: Near-IR1), B8 (Band 8: Near-IR2), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index)



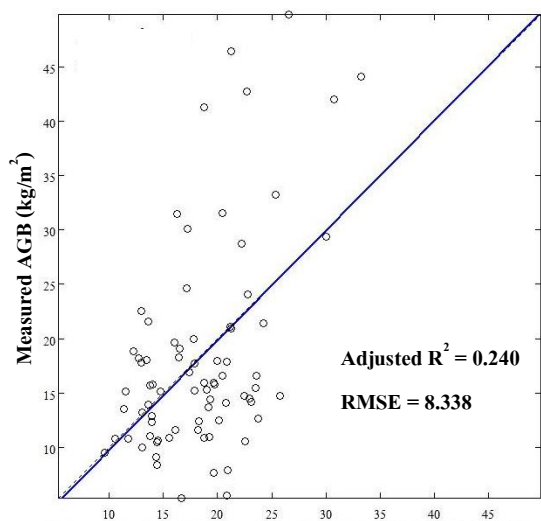
$$\text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = -148.28 + 1894.81B1 - 2043.57B2 \\ + 727.78B3 + 2727.42B4 - 1584.36B5 - 1005.39B6 + 396.66B7 \\ - 84.73B8$$

(ก)



$$\text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = -148.28 + 1894.81B1 - 2043.57B2 \\ + 727.78B3 + 2727.42B4 - 1584.36B5 - 1005.39B6 + 396.66B7 \\ - 84.73B8$$

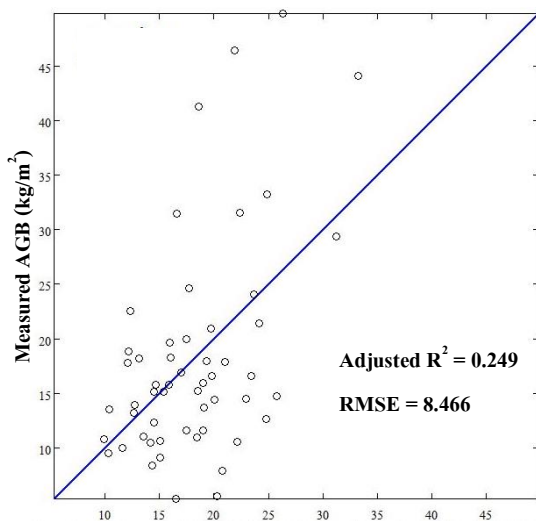
(ข)



$$\text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = -148.28 + 1894.81B1 - 2043.57B2 \\ + 727.78B3 + 2727.42B4 - 1584.36B5 - 1005.39B6 + 396.66B7 \\ - 84.73B8$$

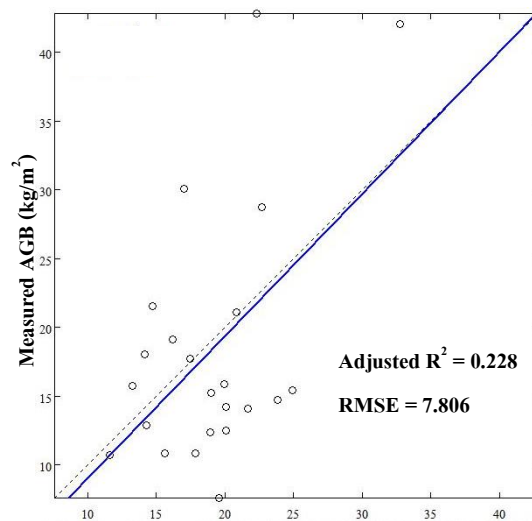
(ค)

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 1 (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม



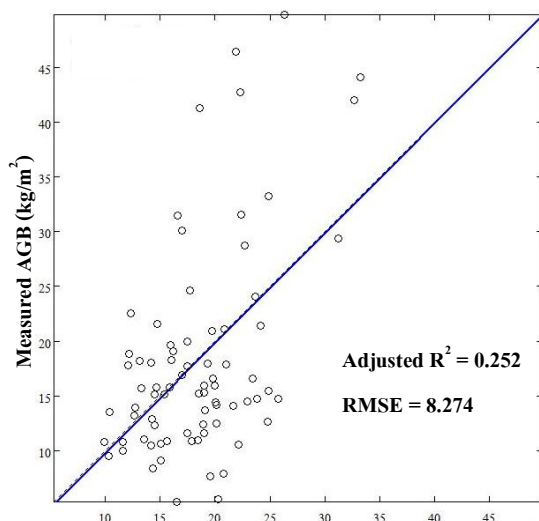
$$\text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = 316.32 + 2134.15B1 - 8108.36B2 \\ + 1023.29B3 + 2821.01B4 + 2613.30B5 - 1015.69B6 + 75.43B7 \\ - 143.20B8 - 180.65NDVI1 - 861.88SAVI1 + 672.74EVI1$$

(ก)



$$\text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = 316.32 + 2134.15B1 - 8108.36B2 \\ + 1023.29B3 + 2821.01B4 + 2613.30B5 - 1015.69B6 + 75.43B7 \\ - 143.20B8 - 180.65NDVI1 - 861.88SAVI1 + 672.74EVI1$$

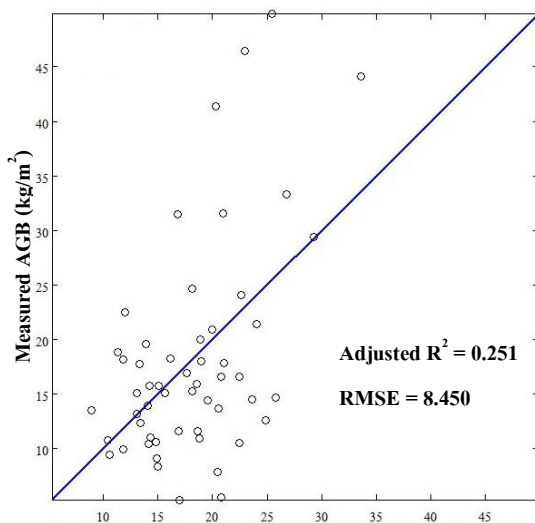
(ข)



$$\text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = 316.32 + 2134.15B1 - 8108.36B2 \\ + 1023.29B3 + 2821.01B4 + 2613.30B5 - 1015.69B6 + 75.43B7 \\ - 143.20B8 - 180.65NDVI1 - 861.88SAVI1 + 672.74EVI1$$

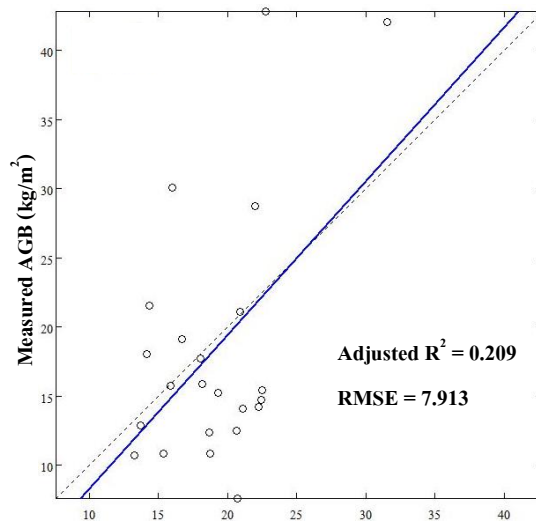
(ค)

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 2 (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม



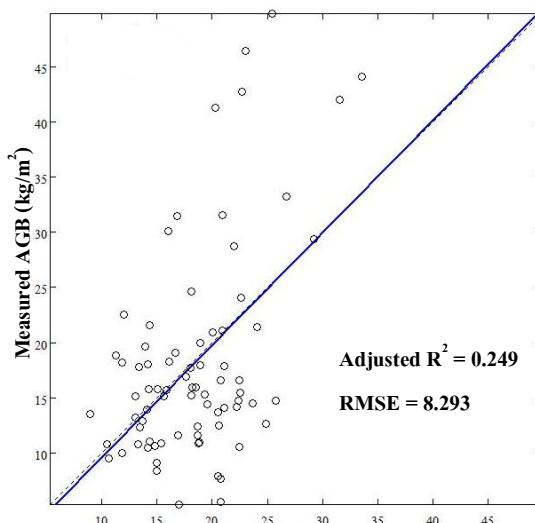
$$\begin{aligned} \text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = & -275.50+1630.34B1-2582.80B2 \\ & +643.13B3+2707.18B4-1706.04B5-985.80B6+389.28B7 \\ & +2192.84B8+900.24NDVI2-2664.73SAVI2+89.09EVI2 \end{aligned}$$

(ก)



$$\begin{aligned} \text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = & -275.50+1630.34B1-2582.80B2 \\ & +643.13B3+2707.18B4-1706.04B5-985.80B6+389.28B7 \\ & +2192.84B8+900.24NDVI2-2664.73SAVI2+89.09EVI2 \end{aligned}$$

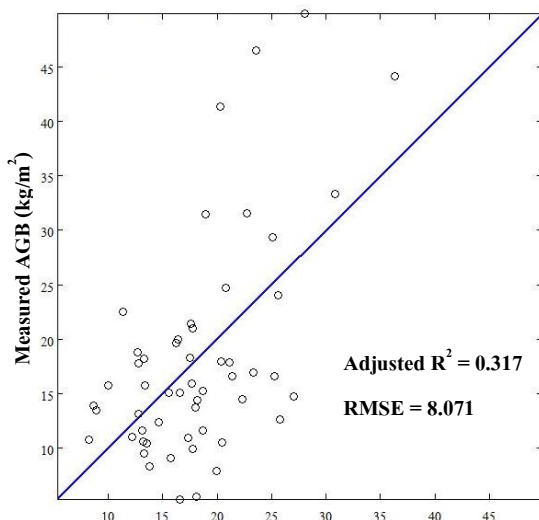
(ข)



$$\begin{aligned} \text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = & -275.50+1630.34B1-2582.80B2 \\ & +643.13B3+2707.18B4-1706.04B5-985.80B6+389.28B7 \\ & +2192.84B8+900.24NDVI2-2664.73SAVI2+89.09EVI2 \end{aligned}$$

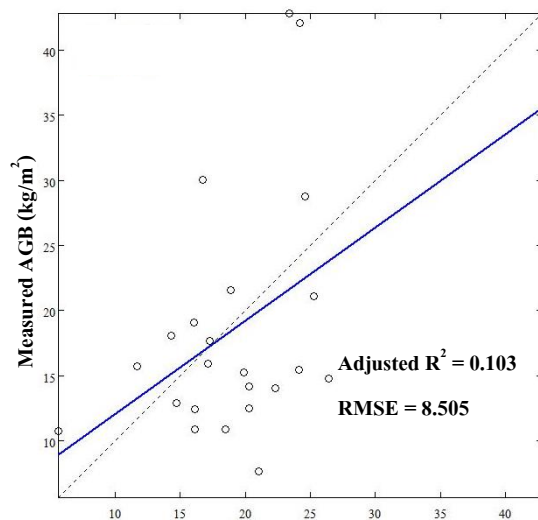
(ค)

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 3 (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม



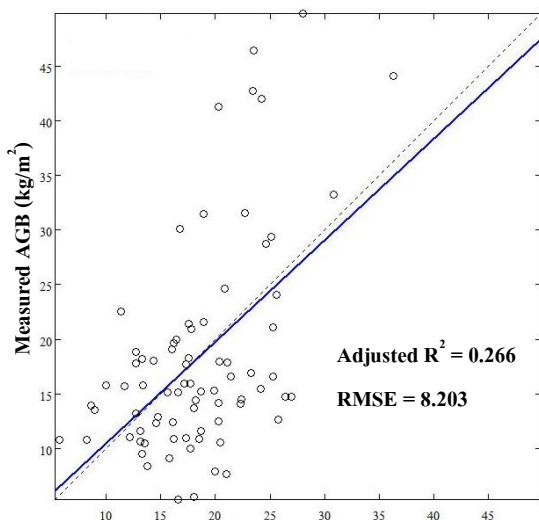
$$\begin{aligned} \text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = & -267.27+2197.65B1-2547.39B2 \\ & +602.42B3+3337.47B4+427.80B5-1002.81B6-491.74B7 \\ & +261.30B8-3567.91NDVI1+3819.05NDVI2-11219.37SAVI1 \\ & +14025.07SAVI2+7805.84EVI1-9197.99EVI2 \end{aligned}$$

(ก)



$$\begin{aligned} \text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = & -267.27+2197.65B1-2547.39B2 \\ & +602.42B3+3337.47B4+427.80B5-1002.81B6-491.74B7 \\ & +261.30B8-3567.91NDVI1+3819.05NDVI2-11219.37SAVI1 \\ & +14025.07SAVI2+7805.84EVI1-9197.99EVI2 \end{aligned}$$

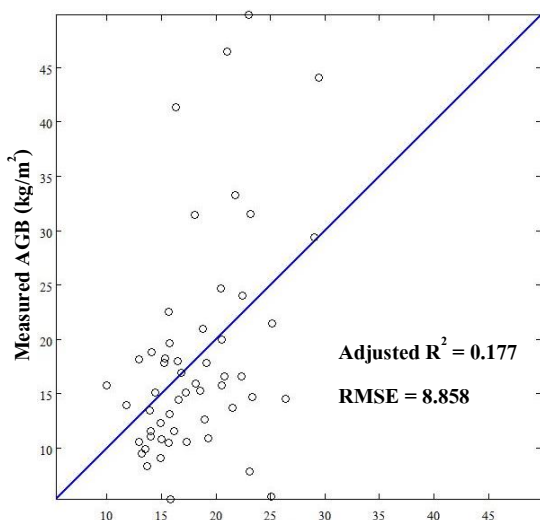
(ข)



$$\begin{aligned} \text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = & -267.27+2197.65B1-2547.39B2 \\ & +602.42B3+3337.47B4+427.80B5-1002.81B6-491.74B7 \\ & +261.30B8-3567.91NDVI1+3819.05NDVI2-11219.37SAVI1 \\ & +14025.07SAVI2+7805.84EVI1-9197.99EVI2 \end{aligned}$$

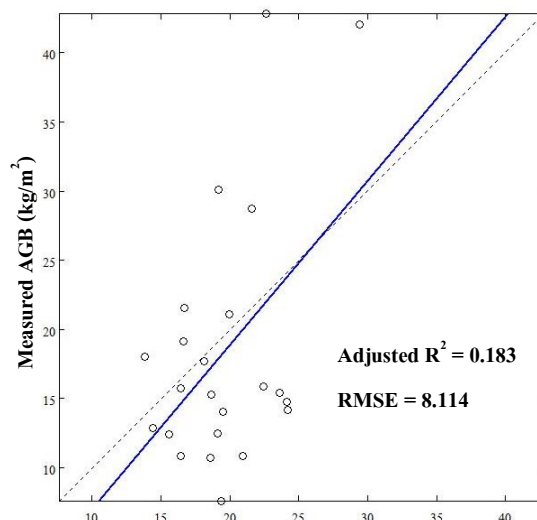
(ค)

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 4 (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม



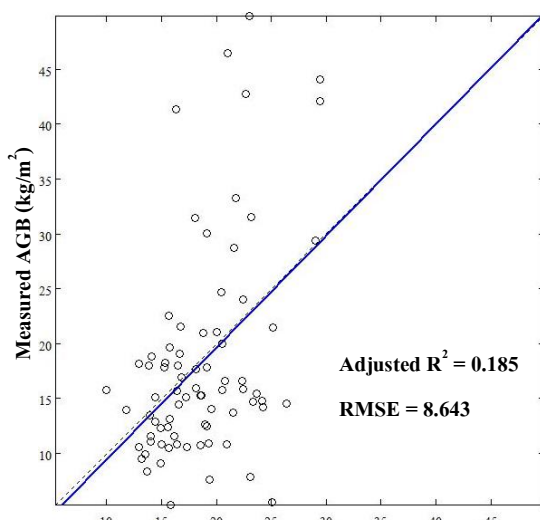
$$\text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = -58.38 + 2727.34B4 - 1606.70B5 - 913.52B6 + 344.40B7$$

(ก)



$$\text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = -58.38 + 2727.34B4 - 1606.70B5 - 913.52B6 + 344.40B7$$

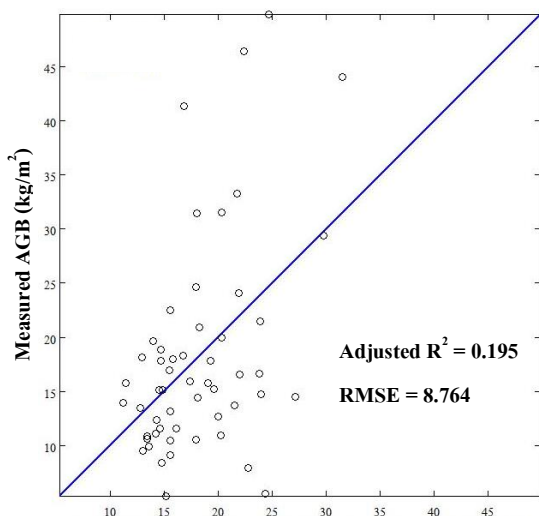
(ข)



$$\text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = -58.38 + 2727.34B4 - 1606.70B5 - 913.52B6 + 344.40B7$$

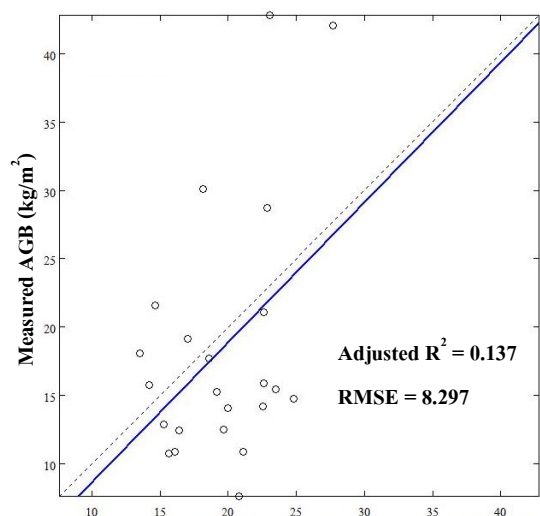
(ค)

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 5 (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม



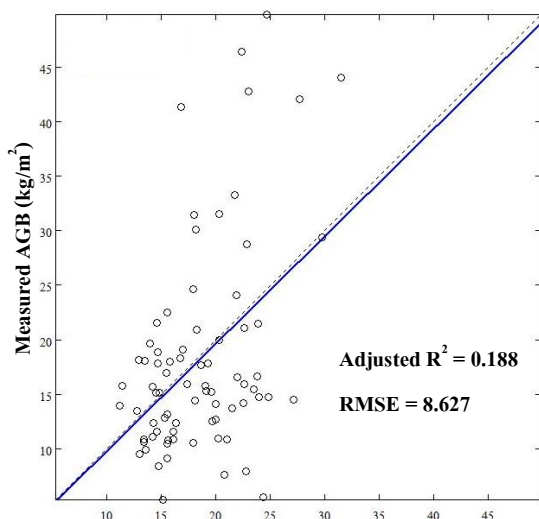
$$\text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = 57.64 - 2039.71B2 + 3367.28B4 - 1027.10B6 + 143.38EV11$$

(ก)



$$\text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = 57.64 - 2039.71B2 + 3367.28B4 - 1027.10B6 + 143.38EV11$$

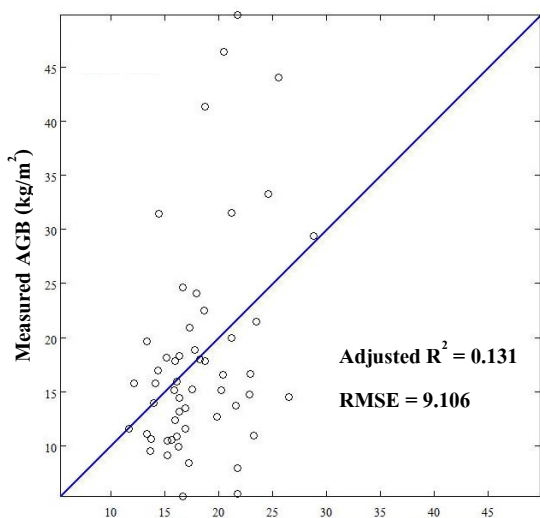
(ข)



$$\text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = 57.64 - 2039.71B2 + 3367.28B4 - 1027.10B6 + 143.38EV11$$

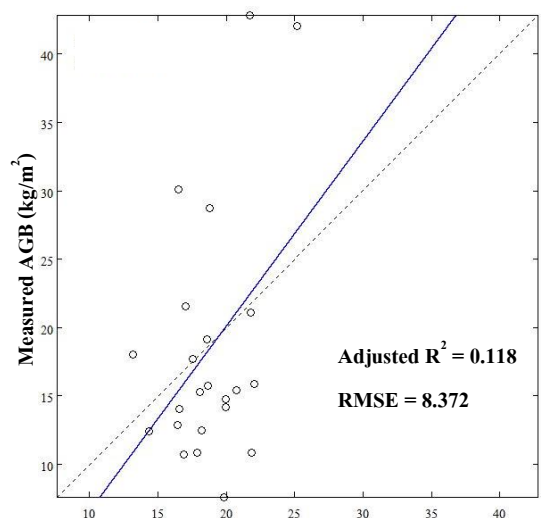
(ค)

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 6 (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม



$$\text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = -121.61 + 1687.57B4 - 587.74B6 + 172.40NDVI2$$

(ก)

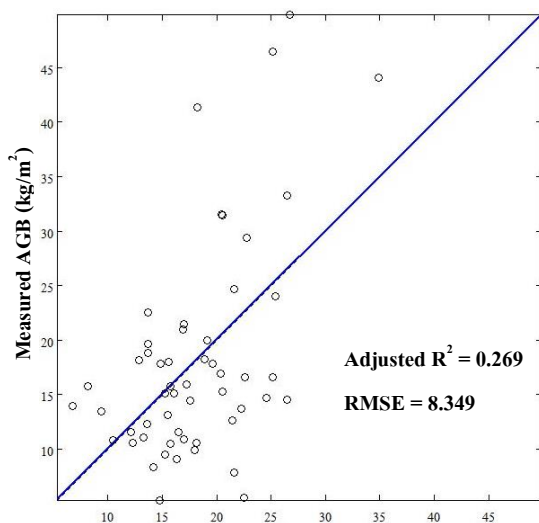


$$\text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = -121.61 + 1687.57B4 - 587.74B6 + 172.40NDVI2$$

(ข)

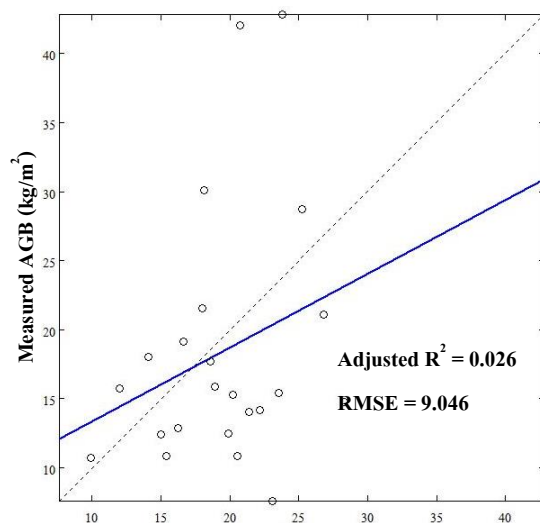
(ค)

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 7 (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม



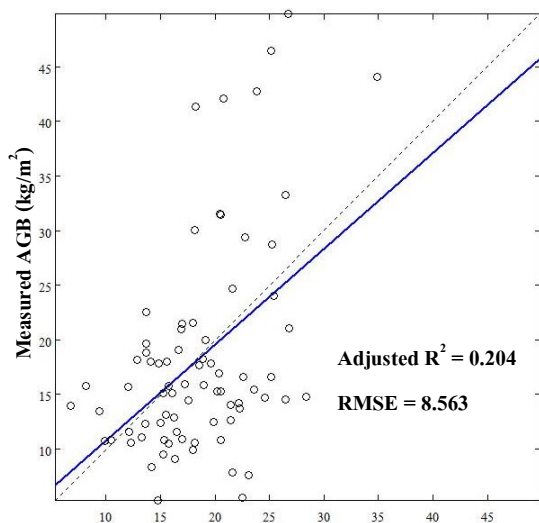
$$\text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = -290.80 + 4068.40B_4 - 1169.70B_6 \\ - 2871.00NDVI1 + 3425.80NDVI2 - 10229.80SAVI1 \\ + 12703.30SAVI2 + 6787.90EVI1 - 8219.30EVI2$$

(ก)



$$\text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = -290.80 + 4068.40B_4 - 1169.70B_6 \\ - 2871.00NDVI1 + 3425.80NDVI2 - 10229.80SAVI1 \\ + 12703.30SAVI2 + 6787.90EVI1 - 8219.30EVI2$$

(ข)



$$\text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)} = -290.80 + 4068.40B_4 - 1169.70B_6 \\ - 2871.00NDVI1 + 3425.80NDVI2 - 10229.80SAVI1 \\ + 12703.30SAVI2 + 6787.90EVI1 - 8219.30EVI2$$

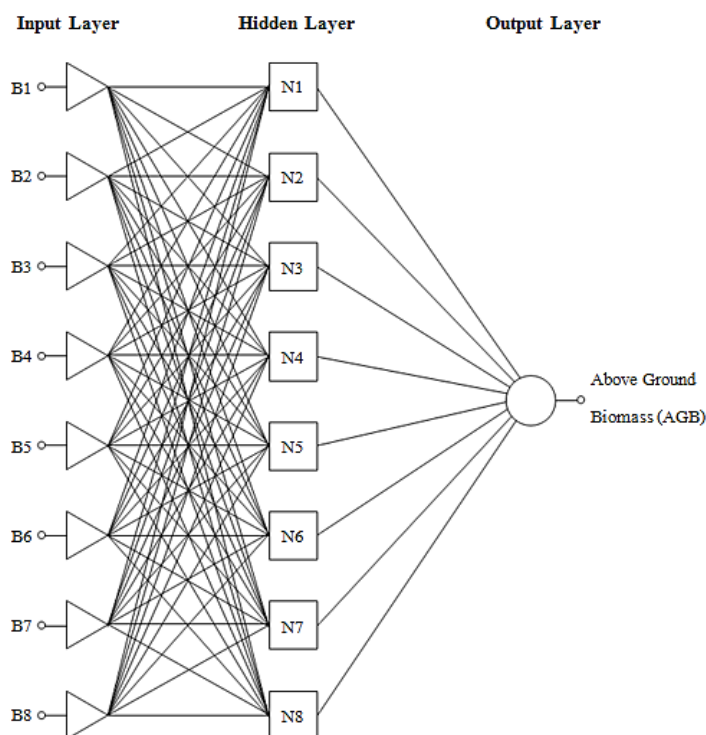
(ค)

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 8 (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม

4.2.2 ผลการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลน โดยใช้วิธี โครงข่ายประสาทเทียม

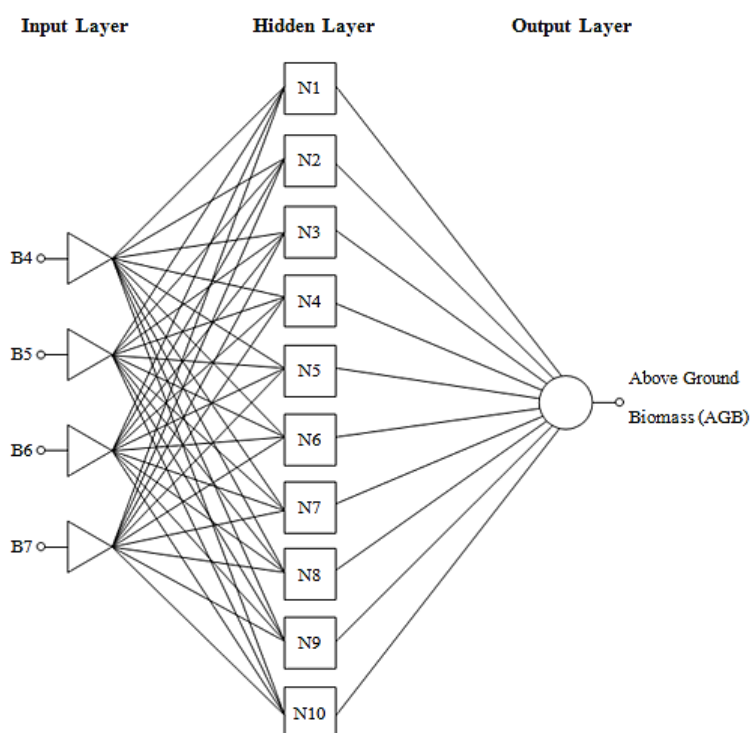
แบบจำลองสำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลน โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (ตารางที่ 4.5) จากผลการศึกษาเพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสม ในเบื้องต้นได้กำหนดฟังก์ชันการแปลง (Transfer Function) และวิธีการฝึกฝน (Training Method) ที่เหมาะสม ได้แก่ ชั้นซ่อนจะใช้ฟังก์ชันการแปลงแบบแทน-ซิกมอยด์ (Tan-Sigmoid Transfer Function) ส่วนชั้นผลลัพธ์ใช้ฟังก์ชันการแปลงแบบเชิงเส้น (Linear Transfer Function) และวิธีการฝึกฝนใช้วิธี Bayesian Regularization ซึ่งผู้วิจัยจะใช้ฟังก์ชันและวิธีการดังกล่าวในการหาโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมในการประมาณค่า และจากการแบ่งตัวแปรนำเข้าหรือตัวแปรต้นเป็น 2 รูปแบบ ได้โครงสร้างที่เหมาะสม ดังนี้

1) รูปแบบที่ 9 (ANNs) ใช้ข้อมูลค่าการสะท้อน 8 ช่วงคลื่นเป็นตัวแปรต้น โดยจากผลการศึกษาได้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมคือ โครงสร้าง 8-8-1 ซึ่งประกอบด้วย ชั้นข้อมูลนำเข้า (Input Layer) จำนวน 8 โหนด คือ ค่าการสะท้อนของข้อมูลภาพจากดาวเทียมทั้ง 8 ช่วงคลื่น ชั้นซ่อน (Hidden Layer) จำนวน 8 โหนด และชั้นผลลัพธ์ (Output Layer) จำนวน 1 โหนด คือ ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 โครงข่ายประสาทเทียม 8-8-1 สำหรับประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลน

2) รูปแบบที่ 10 (ANNs-S) ใช้ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนของแบบจำลองที่มีความถูกต้องมากที่สุดเป็นตัวแปรต้น โดยแบบจำลองที่มีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของข้อมูลทดสอบต่ำที่สุด จะเป็นแบบจำลองที่ถูกคัดเลือก ซึ่งจากผลของการประเมินประสิทธิภาพ จึงได้ตัวแปรของวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 5 (SMR1) เป็นตัวแปรต้น (RMSE = 8.114) ซึ่งมีตัวแปร ได้แก่ Band 4 (Yellow), Band 5 (Red), Band 6 (Red Edge) และ Band 7 (Near-IR1) และจากผลการศึกษาได้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมคือ โครงสร้าง 4-10-1 ซึ่งประกอบด้วยชั้นข้อมูลนำเข้า จำนวน 4 โหนด คือ ตัวแปรของวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 5 ทั้ง 4 ตัวแปร ชั้นซ่อนจำนวน 10 โหนด และชั้นผลลัพธ์ จำนวน 1 โหนด คือ ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม ดังรูปที่ 4.11



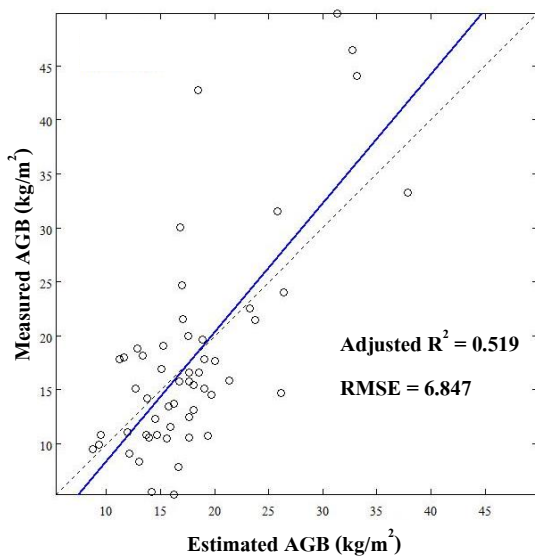
รูปที่ 4.11 โครงข่ายประสาทเทียม 4-10-1 สำหรับประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลน

จากโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 2 รูปแบบ เมื่อทำการสร้างแบบจำลองในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลน ได้ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบปรับแก้ และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย โดยทำการประเมินประสิทธิภาพจากข้อมูล 3 รูปแบบ ได้แก่ ข้อมูลฝึกฝน ข้อมูลทดสอบ และข้อมูลทั้งหมดหรือข้อมูลรวม ซึ่งได้ทำการประเมินประสิทธิภาพดังกล่าวจากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการประมาณค่าจากสมการกับข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม รายละเอียดดังตารางที่ 4.5 และสำหรับความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการประมาณค่าจากสมการที่ได้จากวิธี โครงข่ายประสาทเทียมกับข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม ได้แสดงกราฟการกระจายตัวของข้อมูลดังกล่าว ดังรูปที่ 4.12 - 4.13

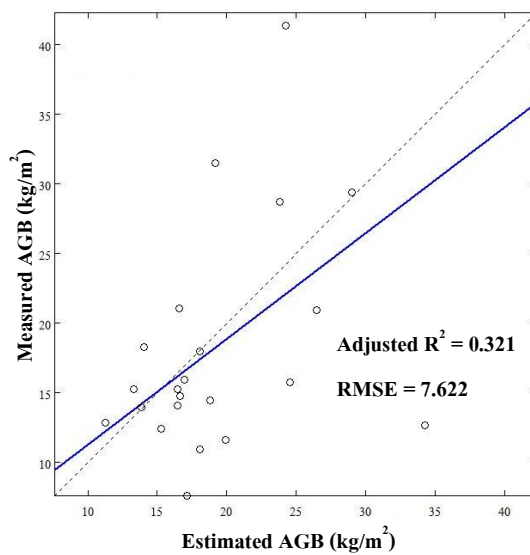
ตารางที่ 4.5 รูปแบบสมการจากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมและการประเมินประสิทธิภาพจากการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	ข้อมูลฝึกฝน			ข้อมูลทดสอบ			ข้อมูลรวม		
	(Training Data)			(Testing Data)			(All Data)		
	R ²	Adj. R ²	RMSE	R ²	Adj. R ²	RMSE	R ²	Adj. R ²	RMSE
โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks)									
รูปแบบที่ 9 (ANNs)									
8 ช่วงคลื่นเป็นตัวแปรต้น	0.528	0.519	6.847	0.352	0.321	7.622	0.460	0.453	7.087
รูปแบบที่ 10 (ANNs-S)									
ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 5 คือ B4, B5, B6 และ B7 เป็นตัวแปรต้น	0.481	0.471	7.661	0.444	0.417	6.897	0.421	0.413	7.441

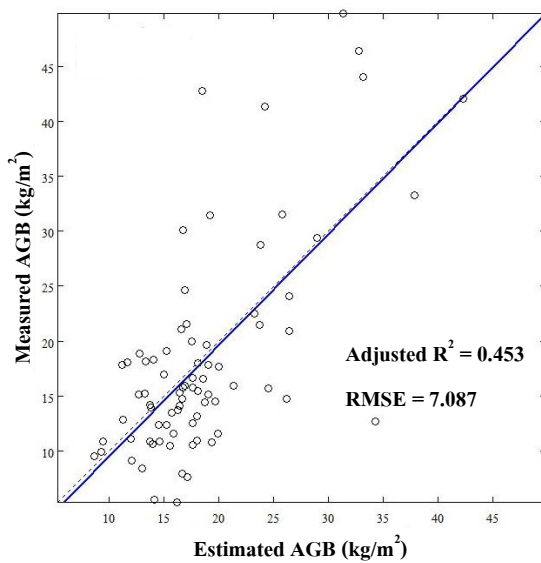
หมายเหตุ AGB (Above Ground Biomass), B1 (Band 1: Coastal), B2 (Band 2: Blue), B3 (Band 3: Green), B4 (Band 4: Yellow), B5 (Band 5: Red), B6 (Band 6: Red Edge), B7 (Band 7: Near-IR1), B8 (Band 8: Near-IR2), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index)



(ก)

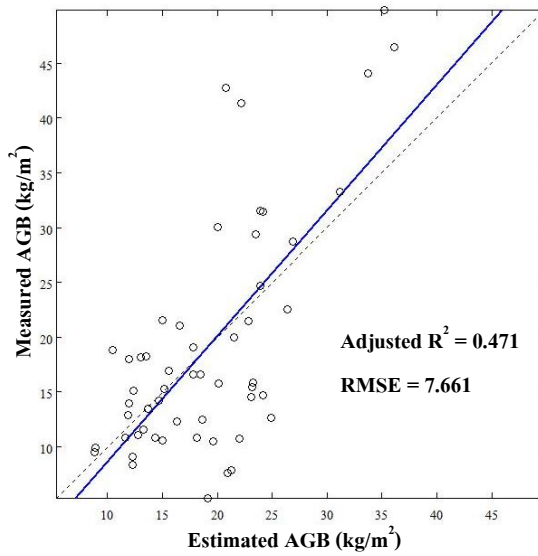


(ข)

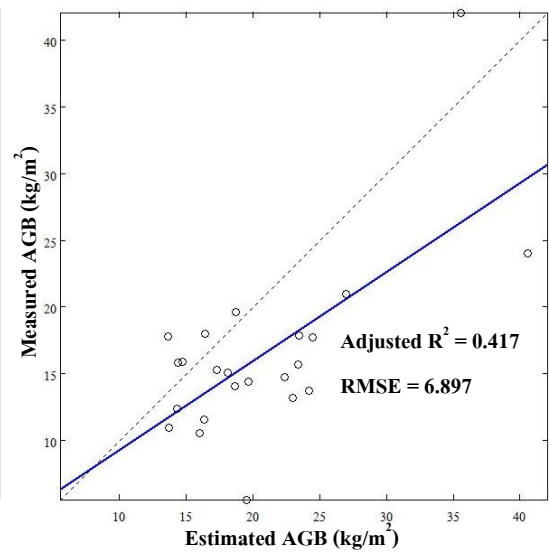


(ค)

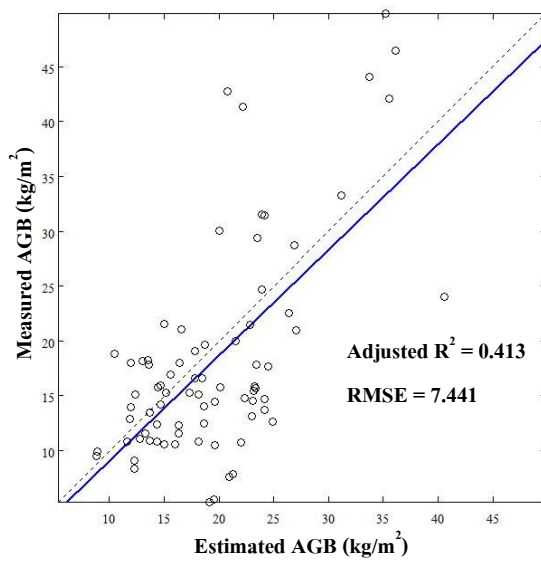
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้ค่าการสะท้อน 8 ช่วงคลื่นเป็นตัวแปรต้น กับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม



(ก)



(ข)



(ค)

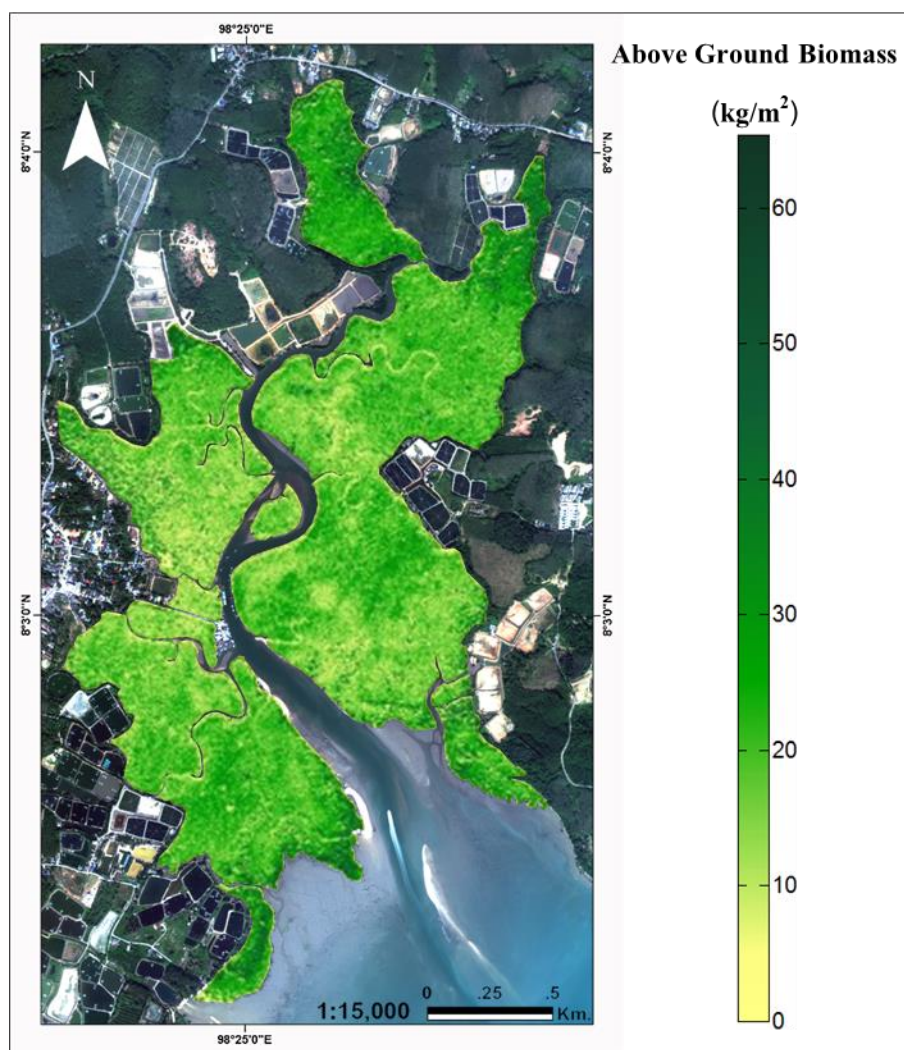
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 5 เป็นตัวแปรต้น กับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนาม (ก) ข้อมูลฝึกล้น (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม

4.2.3 การวิเคราะห์ผลการศึกษจากการสร้างแบบจำลองในประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลน

ผลการศึกษจากการสร้างแบบจำลองในประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนทั้งหมดจากตารางที่ 4.3 - 4.5 สำหรับข้อมูลทดสอบ แสดงให้เห็นว่าการสร้างสมการด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจค่อนข้างต่ำ และมีค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยค่อนข้างสูง ในขณะที่วิธีโครงข่ายประสาทเทียมสามารถปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจให้มีความเพิ่มขึ้น โดยการประมาณค่าด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 2 รูปแบบ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำลง

จากเกณฑ์การเลือกแบบจำลองที่มีความถูกต้องมากที่สุด โดยพิจารณาจากรากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของข้อมูลทดสอบ พบว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 5 เป็นตัวแปรต้น (รูปแบบที่ 10: ANNs-S) มีค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด (RMSE = 6.897) จึงสรุปได้ว่าวิธีการดังกล่าวมีความถูกต้องมากที่สุดและเหมาะสมในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคอก จังหวัดภูเก็ต และเมื่อนำแบบจำลองที่ได้มาใช้ในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.14

จากผลการศึกษาจึงแสดงให้เห็นว่าวิธีการแบบโครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนได้ดีกว่าวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน ซึ่งผลการศึกษาในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Muukkonen and Heiskanen (2005) และ Xie, *et al.* (2009) ที่ได้รายงานว่าการประมาณค่ามวลชีวภาพด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลการประมาณค่าได้ดีกว่าวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ดังนั้นวิธีการแบบโครงข่ายประสาทเทียมจึงมีความเหมาะสมกว่าวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน ในการนำมาใช้ประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลน



รูปที่ 4.14 แผนที่การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลองจังหวัดภูเก็ต จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2

เมื่อประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลองจังหวัดภูเก็ต ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 5 เป็นตัวแปรต้น พบว่าพื้นที่ป่าชายเลน 2.792 km² มีปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมดประมาณ 14,462,818 kg หรือคิดเป็น 5.180 kg/m² หรือ 51.801 ton/ha

4.3 การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2

การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน จากการสร้างแบบจำลองในการประมาณค่าโดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนามกับข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ของข้อมูลฝึกฝน ซึ่งการนำข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามมาวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ตัดข้อมูลในส่วนของแปลงตัวอย่างที่มีชนิดพันธุ์ไม้เด่นผสม และตัดแปลงที่มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบผิดปกติแตกต่างจากแปลงอื่นหรือตัดแปลงที่มีปัญหาต่อการวิเคราะห์ออก ดังนั้นข้อมูลที่ใช้สำหรับการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนในงานวิจัยนี้ เป็นข้อมูลจากแปลงตัวอย่าง 77 แปลง และสำหรับข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 จะใช้ข้อมูลการสะท้อนแต่ละช่วงคลื่น และค่าดัชนีพืชพรรณรูปแบบที่ 1 และ 2 จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ การถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน และโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีรายละเอียดของรูปแบบตัวแปรและแบบจำลองสำหรับการประมาณค่าด้วยวิธีการต่างๆ เช่นเดียวกับรูปแบบในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (ตารางที่ 4.2)

4.3.1 ผลการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน โดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน

สมการของแบบจำลองสำหรับการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนโดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (ตารางที่ 4.6) และการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน (ตารางที่ 4.7) เมื่อนำสมการที่ได้มาประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน ได้ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบปรับแก้ และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย โดยทำการประเมินประสิทธิภาพจากข้อมูล 3 รูปแบบ ได้แก่ ข้อมูลฝึกฝน ข้อมูลทดสอบ และข้อมูลทั้งหมด หรือข้อมูลรวม ซึ่งได้ทำการประเมินประสิทธิภาพดังกล่าวจากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการประมาณค่าจากสมการกับข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม รายละเอียดดังตารางที่ 4.6 - 4.7 และในส่วนของ การคัดเลือกตัวแปรจากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน มีผลดังนี้

1) รูปแบบที่ 5 (SMR1) มีตัวแปรถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการสำหรับการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ 3 ตัวแปร ได้แก่ Band 2 (Blue), Band 3 (Green) และ Band 7 (Near-IR1)

2) รูปแบบที่ 6 (SMR2) มีตัวแปรถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการ สำหรับการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำ 7 ตัวแปร คือ Band 2 (Blue), Band 3 (Green), Band 5 (Red), Band 7 (Near-IR1), NDVI1, SAVI1 และ EVI1

3) รูปแบบที่ 7 (SMR3) มีตัวแปรถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการ สำหรับการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำ 8 ตัวแปร ได้แก่ Band 2 (Blue), Band 3 (Green), Band 5 (Red), Band 6 (Red Edge), Band 8 (Near-IR2), NDVI2, SAVI2 และ EVI2

4) รูปแบบที่ 8 (SMR4) มีตัวแปรถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการ สำหรับการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำ 7 ตัวแปร เช่นเดียวกับรูปแบบที่ 6 ได้แก่ Band 2 (Blue), Band 3 (Green), Band 5 (Red), Band 7 (Near-IR1), NDVI1, SAVI1 และ EVI1

ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการประมาณค่าจากสมการที่ได้จากวิธีการ ถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนกับข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม ได้แสดงกราฟการกระจายตัวของข้อมูลดังกล่าวดังรูปที่ 4.15 - 4.22

ตารางที่ 4.6 รูปแบบสมการจากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและการประเมินประสิทธิภาพจากการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวยาเขียว

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	ข้อมูลฝึกฝน			ข้อมูลทดสอบ			ข้อมูลรวม		
	(Training Data)			(Testing Data)			(All Data)		
	R ²	Adj. R ²	RMSE	R ²	Adj. R ²	RMSE	R ²	Adj.R ²	RMSE
การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression: MLR)									
รูปแบบที่ 1 (MLR1)									
LAI = -6.85+46.48B1+108.89B2-200.03B3+82.31B4-14.59B5+20.75B6 +25.28B7-28.46B8	0.296	0.282	0.513	0.043	-0.002	0.739	0.181	0.170	0.589
รูปแบบที่ 2 (MLR2)									
LAI = 413.57-5.27B1-4992.38B2-181.40B3+66.77B4+3215.06B5 +18.92B6+504.71B7-21.28B8+90.69NDVII-1543.95SAVII +566.67EVI1	0.560	0.552	0.406	0.223	0.187	0.721	0.392	0.384	0.520

หมายเหตุ LAI (Leaf Area Index), B1 (Band 1: Coastal), B2 (Band 2: Blue), B3 (Band 3: Green), B4 (Band 4: Yellow), B5 (Band 5: Red), B6 (Band 6: Red Edge), B7 (Band 7: Near-IR1), B8 (Band 8: Near-IR2), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index)

ตารางที่ 4.6 รูปแบบสมการจากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและการประเมินประสิทธิภาพจากการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวยอด (ต่อ)

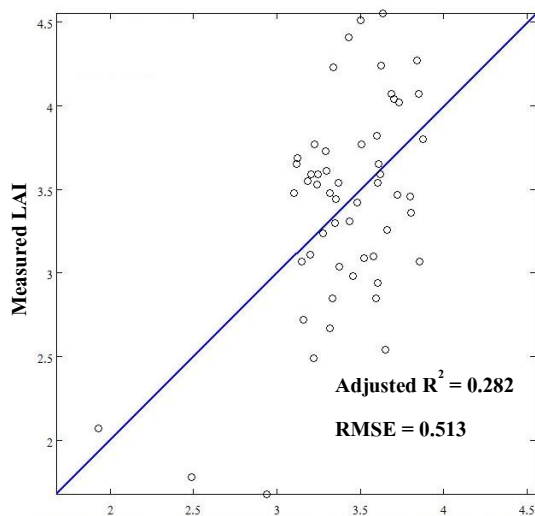
วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	ข้อมูลฝึกฝน			ข้อมูลทดสอบ			ข้อมูลรวม		
	(Training Data)			(Testing Data)			(All Data)		
	R ²	Adj. R ²	RMSE	R ²	Adj. R ²	RMSE	R ²	Adj.R ²	RMSE
การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression: MLR)									
รูปแบบที่ 3 (MLR3)									
LAI = 231.70-34.92B1-2782.02B2-209.35B3+52.96B4+1499.14B5	0.482	0.472	0.440	0.217	0.180	0.756	0.333	0.324	0.554
+23.30B6+14.68B7+727.72B8+139.02NDVI2-1416.08SAVI2									
+385.23EVI2									
รูปแบบที่ 4 (MLR4)									
LAI = 470.36+21.72B1-5696.57B2-164.10B3+79.76B4+4019.01B5	0.573	0.565	0.399	0.216	0.179	0.695	0.409	0.402	0.506
+16.12B6+876.30B7-780.04B8+167.63NDVI1-132.51NDVI2									
-2452.39SAVI1+1150.20SAVI2+856.61EVI1-253.91EVI2									

หมายเหตุ LAI (Leaf Area Index), B1 (Band 1: Coastal), B2 (Band 2: Blue), B3 (Band 3: Green), B4 (Band 4: Yellow), B5 (Band 5: Red), B6 (Band 6: Red Edge), B7 (Band 7: Near-IR1), B8 (Band 8: Near-IR2), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index)

ตารางที่ 4.7 รูปแบบสมการจากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนและการประเมินประสิทธิภาพจากการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

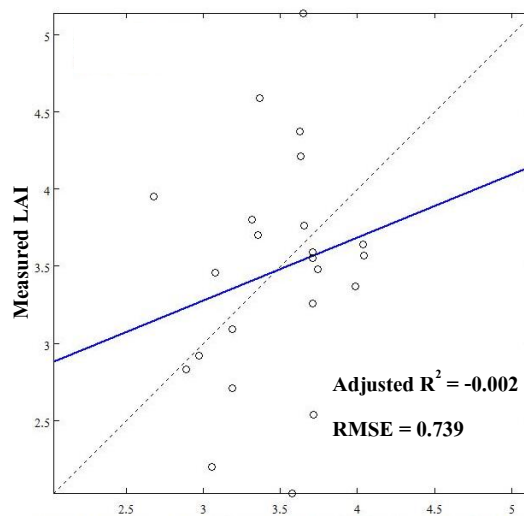
วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	ข้อมูลฝึกฝน (Training Data)			ข้อมูลทดสอบ (Testing Data)			ข้อมูลรวม (All Data)		
	R ²	Adj. R ²	RMSE	R ²	Adj. R ²	RMSE	R ²	Adj. R ²	RMSE
การถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน (Stepwise Multiple Regression)									
รูปแบบที่ 5 (SMR1)									
LAI = -2.52+99.31B2-96.61B3+10.46B7	0.242	0.228	0.532	0.049	0.003	0.711	0.166	0.155	0.591
รูปแบบที่ 6 (SMR2)									
LAI = 421.83-5133.35B2-96.60B3+3276.18B5+527.19B7+100.17NDVII -1598.31SAVII+577.58EVI1	0.525	0.516	0.421	0.210	0.172	0.746	0.358	0.349	0.539
รูปแบบที่ 7 (SMR3)									
LAI = 234.11-2862.62B2-171.57B3+1498.66B5+35.17B6+781.09B8 +145.27NDVI2-1466.75SAVI2+393.76EVI2	0.465	0.455	0.447	0.196	0.158	0.790	0.305	0.296	0.571
รูปแบบที่ 8 (SMR4)									
LAI = 421.83-5133.35B2-96.60B3+3276.18B5+527.19B7+100.17NDVII -1598.31SAVII+577.58EVI1	0.525	0.516	0.421	0.210	0.172	0.746	0.358	0.349	0.539

หมายเหตุ LAI (Leaf Area Index), B1 (Band 1: Coastal), B2 (Band 2: Blue), B3 (Band 3: Green), B4 (Band 4: Yellow), B5 (Band 5: Red), B6 (Band 6: Red Edge), B7 (Band 7: Near-IR1), B8 (Band 8: Near-IR2), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index)



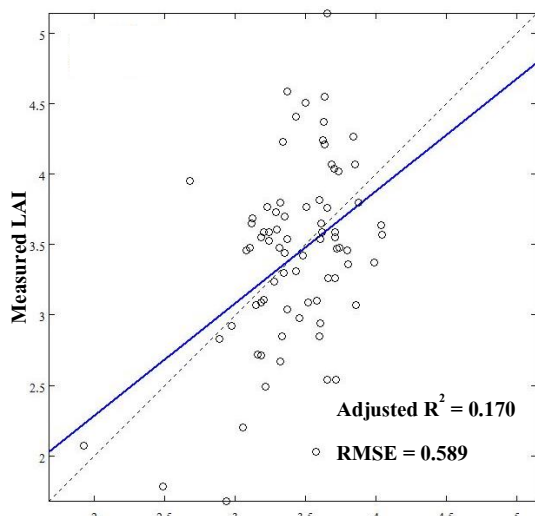
$$\text{Estimated LAI} = -6.85 + 46.48B1 + 108.89B2 - 200.03B3 \\ + 82.31B4 - 14.59B5 + 20.75B6 + 25.28B7 - 28.46B8$$

(ก)



$$\text{Estimated LAI} = -6.85 + 46.48B1 + 108.89B2 - 200.03B3 \\ + 82.31B4 - 14.59B5 + 20.75B6 + 25.28B7 - 28.46B8$$

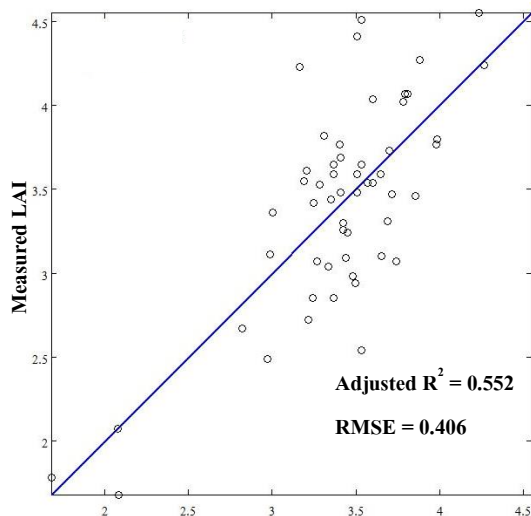
(ข)



$$\text{Estimated LAI} = -6.85 + 46.48B1 + 108.89B2 - 200.03B3 \\ + 82.31B4 - 14.59B5 + 20.75B6 + 25.28B7 - 28.46B8$$

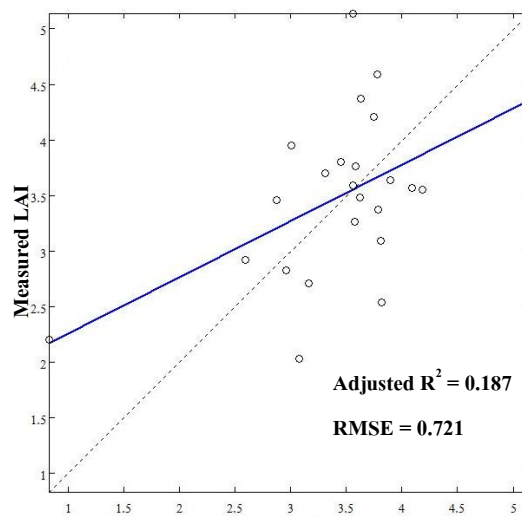
(ค)

รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 1 (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม



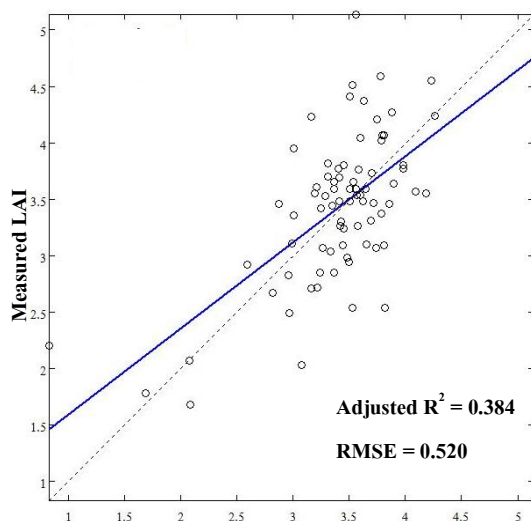
$$\text{Estimated LAI} = 413.57 - 5.27B1 - 4992.38B2 - 181.40B3 \\ + 66.77B4 + 3215.06B5 + 18.92B6 + 504.71B7 - 21.28B8 \\ + 90.69NDVII - 1543.95SAVII + 566.67EVI1$$

(ก)



$$\text{Estimated LAI} = 413.57 - 5.27B1 - 4992.38B2 - 181.40B3 \\ + 66.77B4 + 3215.06B5 + 18.92B6 + 504.71B7 - 21.28B8 \\ + 90.69NDVII - 1543.95SAVII + 566.67EVI1$$

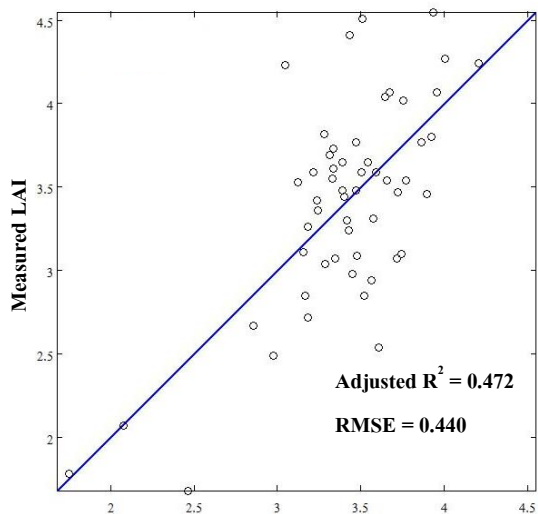
(ข)



$$\text{Estimated LAI} = 413.57 - 5.27B1 - 4992.38B2 - 181.40B3 \\ + 66.77B4 + 3215.06B5 + 18.92B6 + 504.71B7 - 21.28B8 \\ + 90.69NDVII - 1543.95SAVII + 566.67EVI1$$

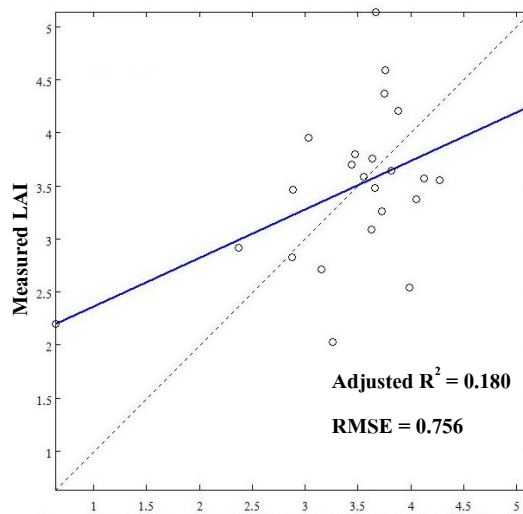
(ค)

รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 2 (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม



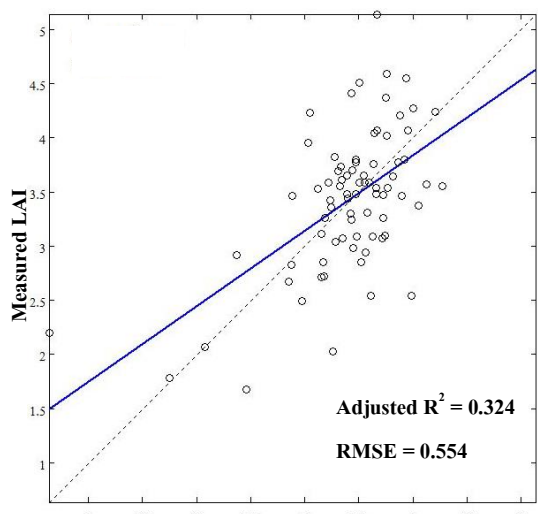
Estimated LAI = 231.70-34.92B1-2782.02B2-209.35B3
 +52.96B4+1499.14B5+23.30B6+14.68B7+727.72B8
 +139.02NDVI2-1416.08SAVI2+385.23EVI2

(ก)



Estimated LAI = 231.70-34.92B1-2782.02B2-209.35B3
 +52.96B4+1499.14B5+23.30B6+14.68B7+727.72B8
 +139.02NDVI2-1416.08SAVI2+385.23EVI2

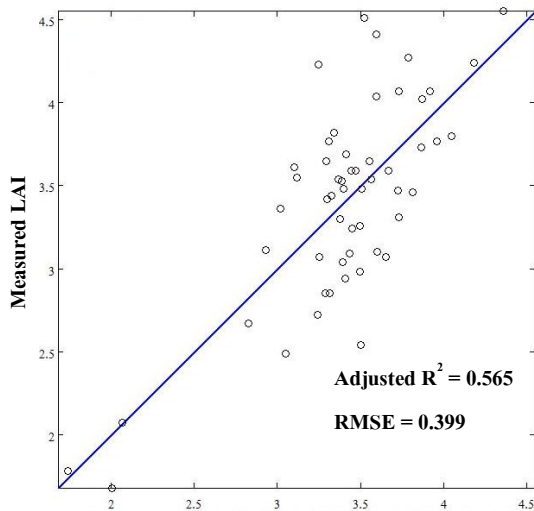
(ข)



Estimated LAI = 231.70-34.92B1-2782.02B2-209.35B3
 +52.96B4+1499.14B5+23.30B6+14.68B7+727.72B8
 +139.02NDVI2-1416.08SAVI2+385.23EVI2

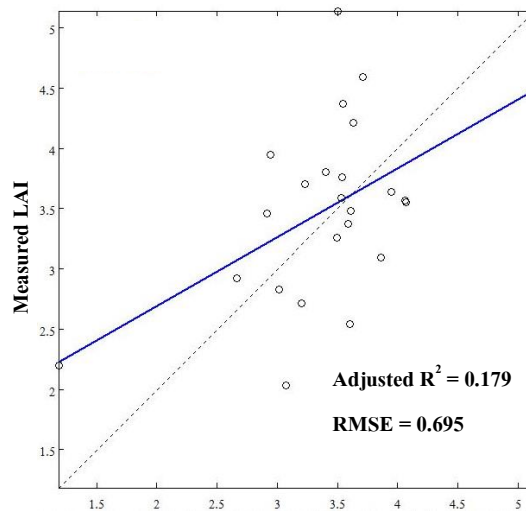
(ค)

รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 3 (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม



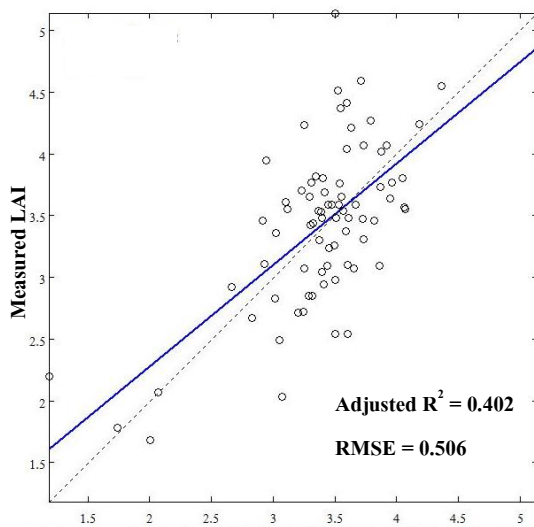
Estimated LAI = $470.36 + 21.72B1 - 5696.57B2 - 164.10B3$
 $+ 79.76B4 + 4019.01B5 + 16.12B6 + 876.30B7 - 780.04B8$
 $+ 167.63NDVI1 - 132.51NDVI2 - 2452.39SAVI1$
 $+ 1150.20SAVI2 + 856.61EVI1 - 253.91EVI2$

(ก)



Estimated LAI = $470.36 + 21.72B1 - 5696.57B2 - 164.10B3$
 $+ 79.76B4 + 4019.01B5 + 16.12B6 + 876.30B7 - 780.04B8$
 $+ 167.63NDVI1 - 132.51NDVI2 - 2452.39SAVI1$
 $+ 1150.20SAVI2 + 856.61EVI1 - 253.91EVI2$

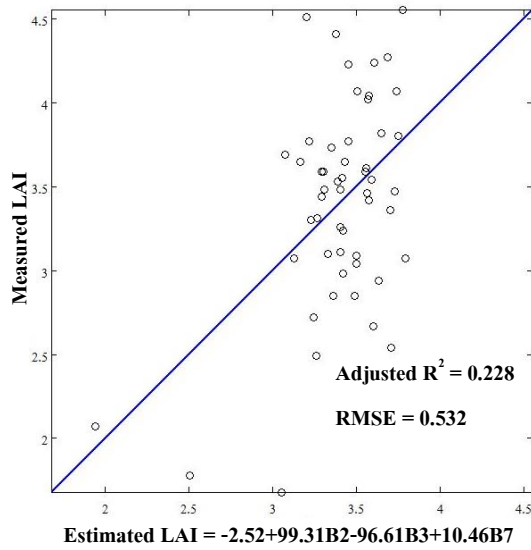
(ข)



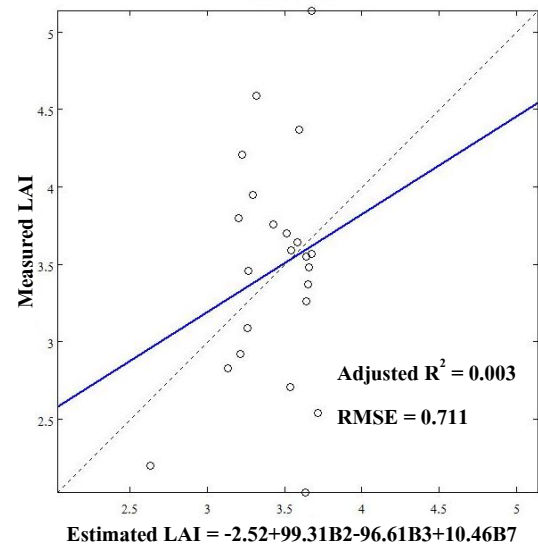
Estimated LAI = $470.36 + 21.72B1 - 5696.57B2 - 164.10B3$
 $+ 79.76B4 + 4019.01B5 + 16.12B6 + 876.30B7 - 780.04B8$
 $+ 167.63NDVI1 - 132.51NDVI2 - 2452.39SAVI1$
 $+ 1150.20SAVI2 + 856.61EVI1 - 253.91EVI2$

(ค)

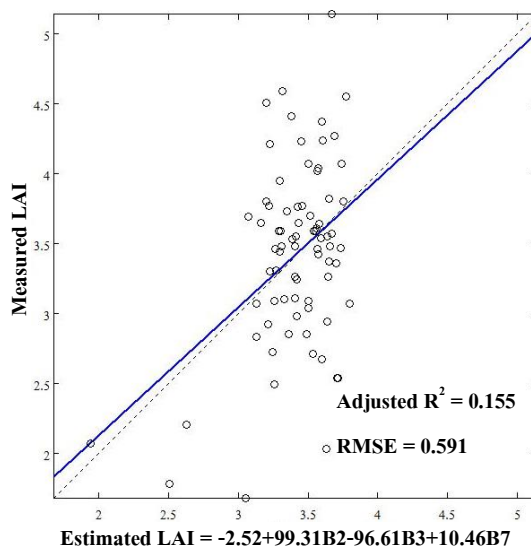
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 4 (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม



(ก)

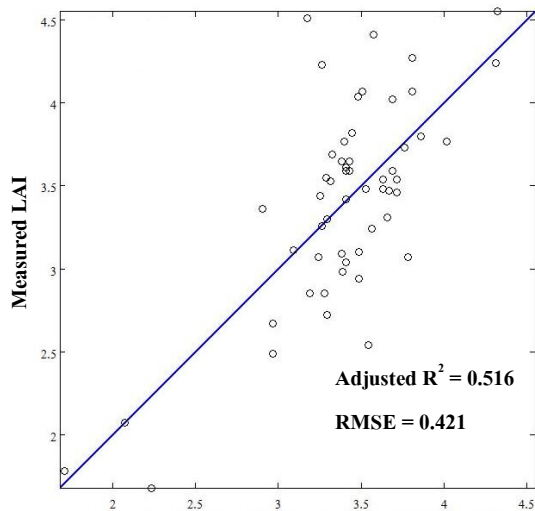


(ข)



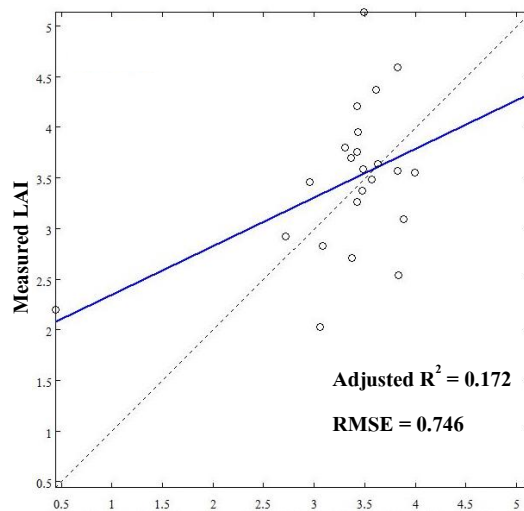
(ค)

รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 5 (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม



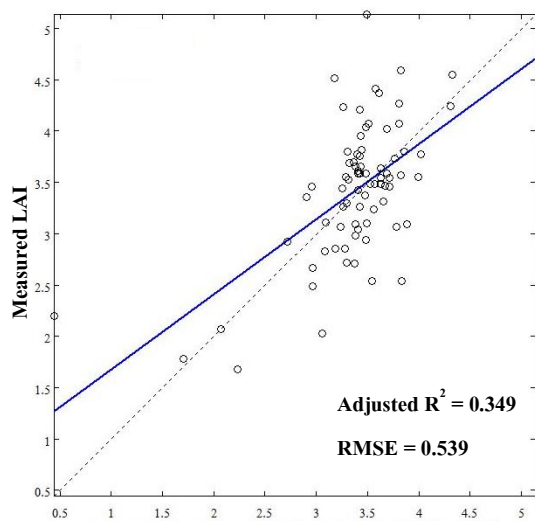
$$\text{Estimated LAI} = 421.83 - 5133.35B2 - 96.60B3 + 3276.18B5 \\ + 527.19B7 + 100.17NDVI1 - 1598.31SAVI1 + 577.58EVI1$$

(ก)



$$\text{Estimated LAI} = 421.83 - 5133.35B2 - 96.60B3 + 3276.18B5 \\ + 527.19B7 + 100.17NDVI1 - 1598.31SAVI1 + 577.58EVI1$$

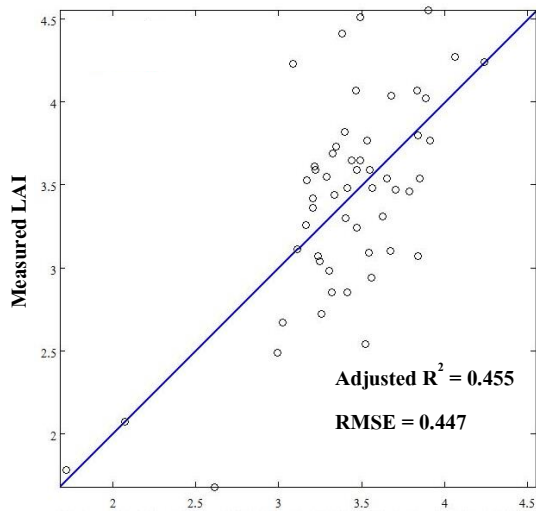
(ข)



$$\text{Estimated LAI} = 421.83 - 5133.35B2 - 96.60B3 + 3276.18B5 \\ + 527.19B7 + 100.17NDVI1 - 1598.31SAVI1 + 577.58EVI1$$

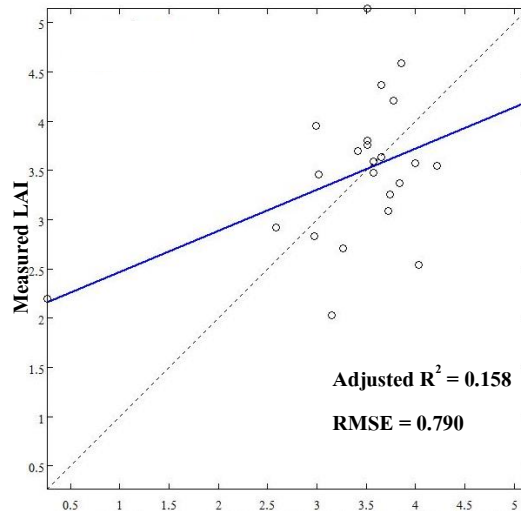
(ค)

รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 6 (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม



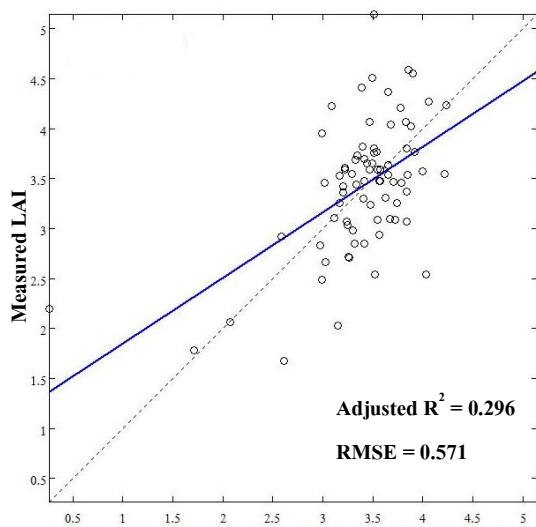
Estimated LAI = $234.11 - 2862.62B2 - 171.57B3 + 1498.66B5$
 $+ 35.17B6 + 781.09B8 + 145.27NDVI2 - 1466.75SAVI2$
 $+ 393.76EVI2$

(ก)



Estimated LAI = $234.11 - 2862.62B2 - 171.57B3 + 1498.66B5$
 $+ 35.17B6 + 781.09B8 + 145.27NDVI2 - 1466.75SAVI2$
 $+ 393.76EVI2$

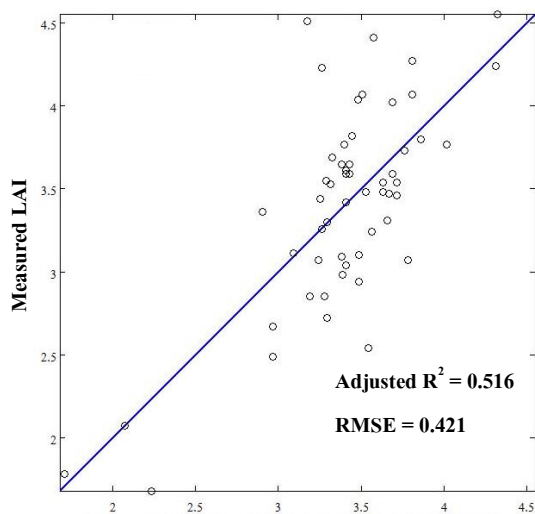
(ข)



Estimated LAI = $234.11 - 2862.62B2 - 171.57B3 + 1498.66B5$
 $+ 35.17B6 + 781.09B8 + 145.27NDVI2 - 1466.75SAVI2$
 $+ 393.76EVI2$

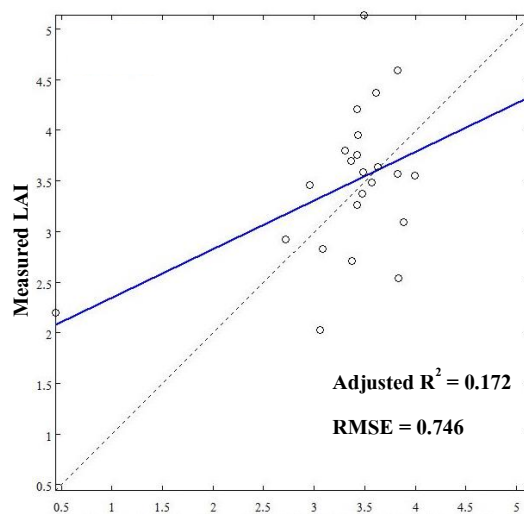
(ค)

รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 7 (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม



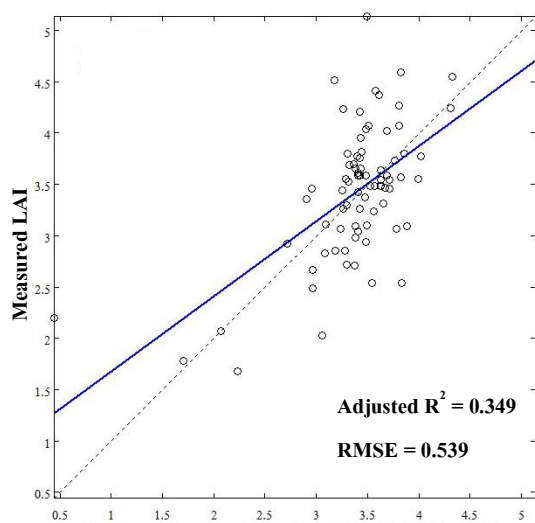
$$\text{Estimated LAI} = 421.83 - 5133.35B2 - 96.60B3 + 3276.18B5 \\ + 527.19B7 + 100.17NDVI1 - 1598.31SAVI1 + 577.58EVI1$$

(ก)



$$\text{Estimated LAI} = 421.83 - 5133.35B2 - 96.60B3 + 3276.18B5 \\ + 527.19B7 + 100.17NDVI1 - 1598.31SAVI1 + 577.58EVI1$$

(ข)



$$\text{Estimated LAI} = 421.83 - 5133.35B2 - 96.60B3 + 3276.18B5 \\ + 527.19B7 + 100.17NDVI1 - 1598.31SAVI1 + 577.58EVI1$$

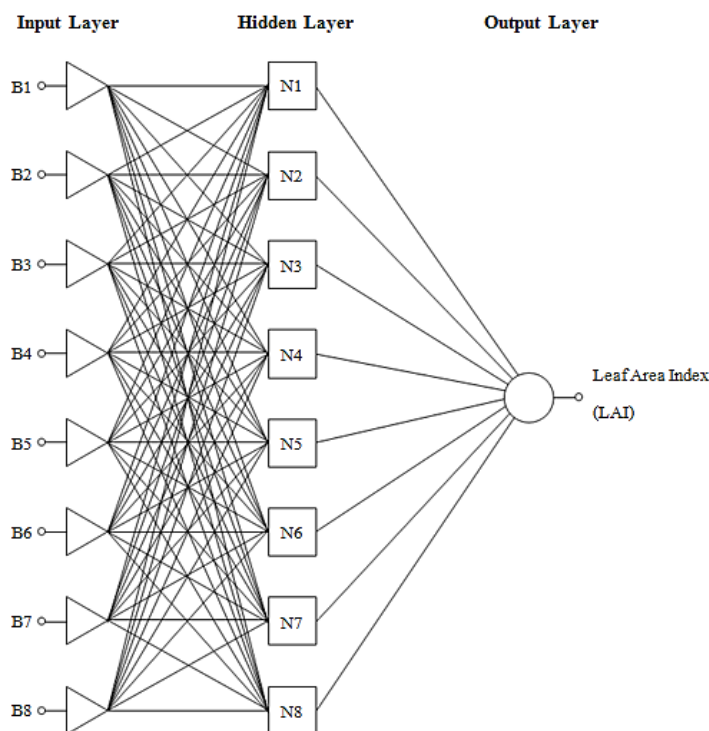
(ค)

รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม ในรูปแบบที่ 8 (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม

4.3.2 ผลการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนโดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม

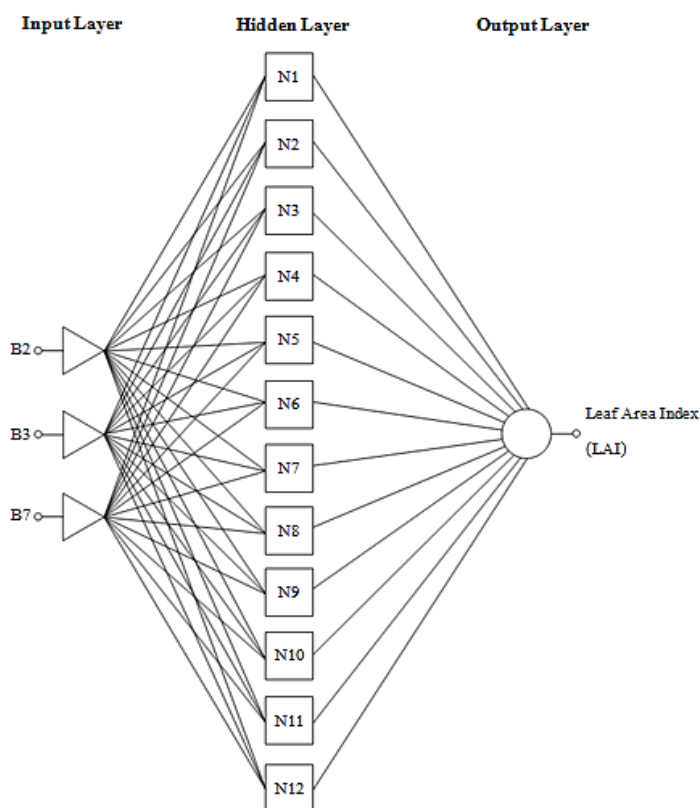
แบบจำลองสำหรับการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนโดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (ตารางที่ 4.8) จากผลการศึกษาเพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสม ในเบื้องต้นได้กำหนดฟังก์ชันการแปลง และวิธีการฝึกฝนที่เหมาะสม ได้แก่ ชั้นซ่อนจะใช้ฟังก์ชันการแปลงแบบแทน-ซิกมอยด์ ส่วนชั้นผลลัพธ์ใช้ฟังก์ชันการแปลงแบบเชิงเส้น และวิธีการฝึกฝนใช้วิธี Bayesian Regularization ซึ่งผู้วิจัยจะใช้ฟังก์ชันและวิธีการดังกล่าวในการหาโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมในการประมาณค่า และจากการแบ่งตัวแปรนำเข้าหรือตัวแปรต้นเป็น 3 รูปแบบ ได้โครงสร้างที่เหมาะสม ดังนี้

1) รูปแบบที่ 9 (ANNs) ใช้ข้อมูลค่าการสะท้อน 8 ช่วงคลื่นเป็นตัวแปรต้น โดยจากผลการศึกษาได้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมคือ โครงสร้าง 8-8-1 ซึ่งประกอบด้วยชั้นข้อมูลนำเข้า จำนวน 8 โหนด คือ ค่าการสะท้อนของข้อมูลภาพจากดาวเทียมทั้ง 8 ช่วงคลื่น ชั้นซ่อน จำนวน 8 โหนด และชั้นผลลัพธ์ จำนวน 1 โหนด คือ ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม ดังรูปที่ 4.23



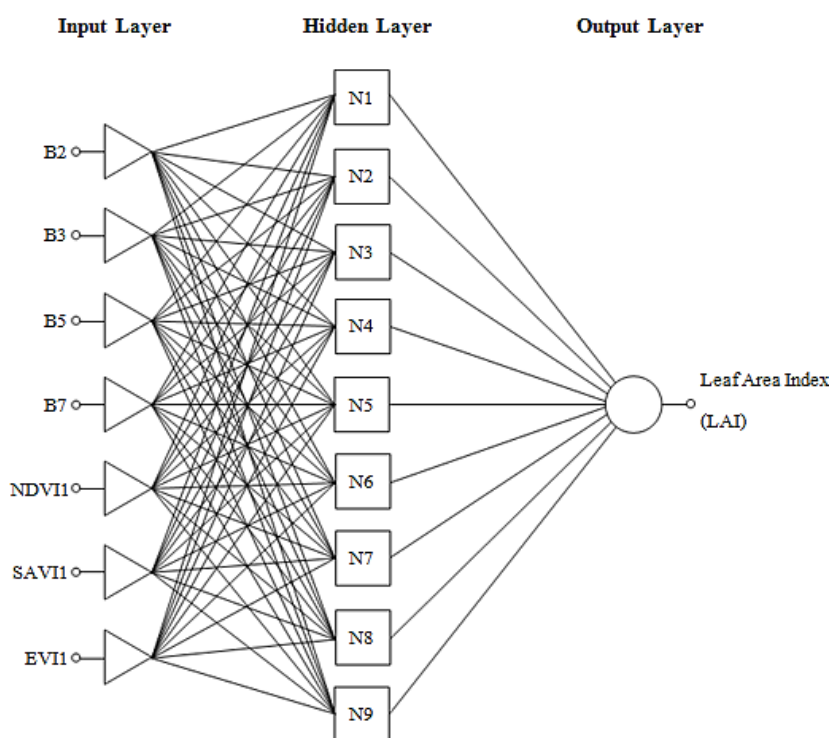
รูปที่ 4.23 โครงข่ายประสาทเทียม 8-8-1 สำหรับประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน

2) รูปแบบที่ 10 (ANNs-S) ใช้ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนของแบบจำลองที่มีความถูกต้องมากที่สุดเป็นตัวแปรต้น โดยแบบจำลองที่มีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของข้อมูลทดสอบต่ำที่สุด จะเป็นแบบจำลองที่ถูกคัดเลือก ซึ่งจากผลของการประเมินประสิทธิภาพ จึงได้ตัวแปรของวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 5 (SMR1) เป็นตัวแปรต้น (RMSE = 0.711) ซึ่งมีตัวแปร ได้แก่ Band 2 (Blue), Band 3 (Green) และ Band 7 (Near-IR1) จากผลการศึกษาได้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมคือ โครงสร้าง 3-12-1 ซึ่งประกอบด้วยชั้นข้อมูลนำเข้า จำนวน 3 โหนด คือ ตัวแปรของวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 5 ทั้ง 3 ตัวแปร ชั้นซ่อน จำนวน 12 โหนด และชั้นผลลัพธ์ จำนวน 1 โหนด คือ ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 โครงข่ายประสาทเทียม 3-12-1 สำหรับประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน

3) รูปแบบที่ 11 (ANNs-S2) เนื่องจากแบบจำลองรูปแบบที่ 10 (ANNs-S) มีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของข้อมูลทดสอบต่ำที่สุด (RMSE = 0.711) แต่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจค่อนข้างต่ำ ($R^2 = 0.049$) ผู้วิจัยจึงได้คัดเลือกแบบจำลองสำหรับประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบเพิ่มอีกหนึ่งรูปแบบ โดยเลือกตัวแปรจากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนของแบบจำลองที่มีความถูกต้องรองลงมาเป็นตัวแปรต้น ซึ่งพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย จึงได้ตัวแปรของวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 6 (SMR2) และรูปแบบที่ 8 (SMR4) ที่มีสมการแบบเดียวกันเป็นตัวแปรต้น (RMSE = 0.746) ซึ่งมีตัวแปร ได้แก่ Band 2 (Blue), Band 3 (Green), Band 5 (Red), Band 7 (Near-IR1), NDVI1, SAVI1 และ EVI1 จากผลการศึกษาได้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมคือ โครงสร้าง 7-9-1 ซึ่งประกอบด้วยชั้นข้อมูลนำเข้า จำนวน 7 โหนด คือ ตัวแปรของวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 6 และ 8 ทั้ง 7 ตัวแปร ชั้นซ่อน จำนวน 9 โหนด และชั้นผลลัพธ์ จำนวน 1 โหนด คือ ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม ดังรูปที่ 4.25



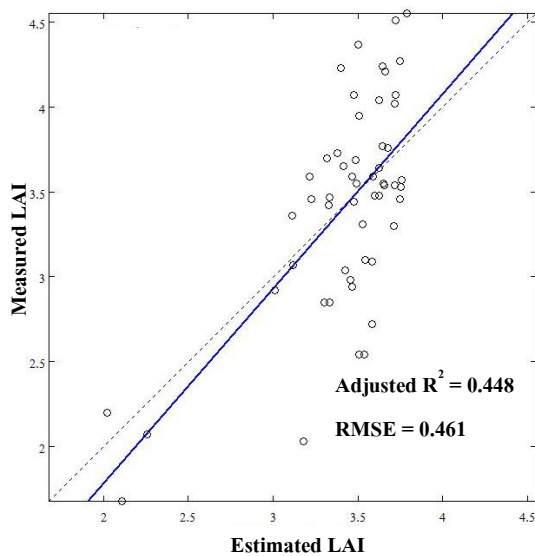
รูปที่ 4.25 โครงข่ายประสาทเทียม 7-9-1 สำหรับประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน

จากโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 3 รูปแบบ เมื่อทำการสร้างแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน ได้ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบปรับแก้ และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย โดยทำการประเมินประสิทธิภาพจากข้อมูล 3 รูปแบบ ได้แก่ ข้อมูลฝึกฝน ข้อมูลทดสอบ และข้อมูลทั้งหมดหรือข้อมูลรวม ซึ่งได้ทำการประเมินประสิทธิภาพดังกล่าวจากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการประมาณค่าจากสมการกับข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม รายละเอียดดังตารางที่ 4.8 และสำหรับความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการประมาณค่าจากสมการที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมกับข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม ได้แสดงกราฟการกระจายตัวของข้อมูลดังกล่าวดังรูปที่ 4.26 - 4.28

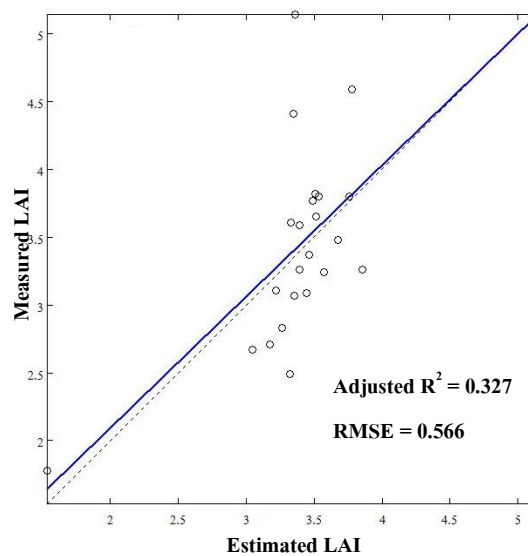
ตารางที่ 4.8 รูปแบบสมการจากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมและการประเมินประสิทธิภาพจากการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	ข้อมูลฝึกฝน			ข้อมูลทดสอบ			ข้อมูลรวม		
	(Training Data)			(Testing Data)			(All Data)		
	R ²	Adj. R ²	RMSE	R ²	Adj. R ²	RMSE	R ²	Adj. R ²	RMSE
โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks)									
รูปแบบที่ 9 (ANNs)									
8 ช่วงคลื่นเป็นตัวแปรต้น	0.458	0.448	0.461	0.358	0.327	0.566	0.418	0.410	0.495
รูปแบบที่ 10 (ANNs-S)									
ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 5 คือ B2, B3 และ B7 เป็นตัวแปรต้น	0.409	0.397	0.525	0.338	0.306	0.474	0.380	0.372	0.510
รูปแบบที่ 11 (ANNs-S2)									
ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 6 และรูปแบบที่ 8 คือ B2, B3, B5, B7, NDVI1, SAVI1 และ EVI1 เป็นตัวแปรต้น	0.433	0.422	0.535	0.364	0.334	0.393	0.411	0.403	0.497

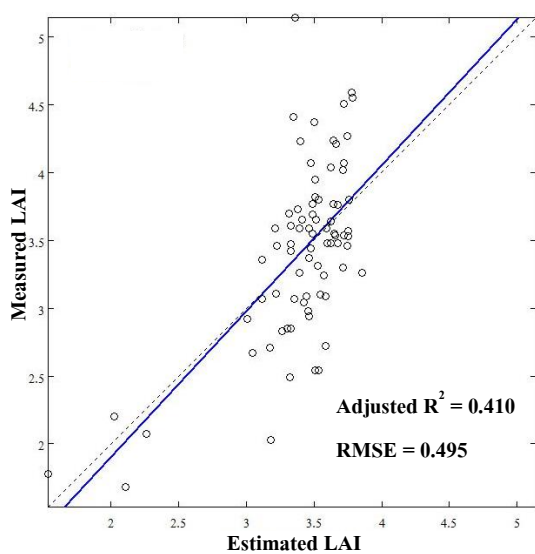
หมายเหตุ LAI (Leaf Area Index), B1 (Band 1: Coastal), B2 (Band 2: Blue), B3 (Band 3: Green), B4 (Band 4: Yellow), B5 (Band 5: Red), B6 (Band 6: Red Edge), B7 (Band 7: Near-IR1), B8 (Band 8: Near-IR2), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index)



(ก)

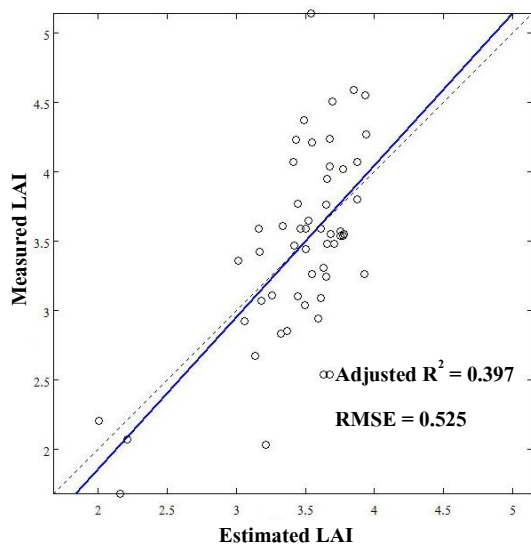


(ข)

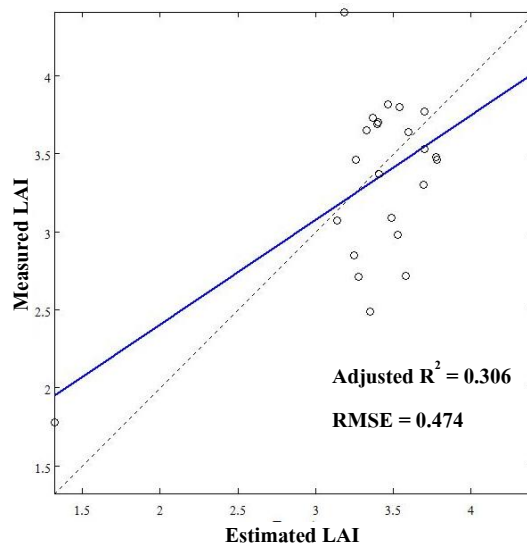


(ค)

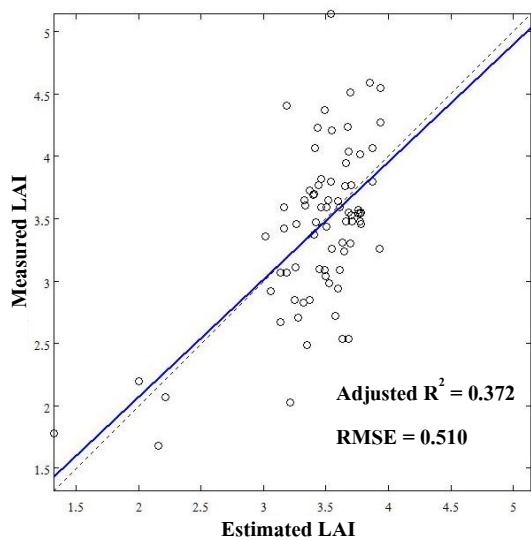
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้ค่าการสะท้อน 8 ช่วงคลื่นเป็นตัวแปรต้น กับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม



(ก)

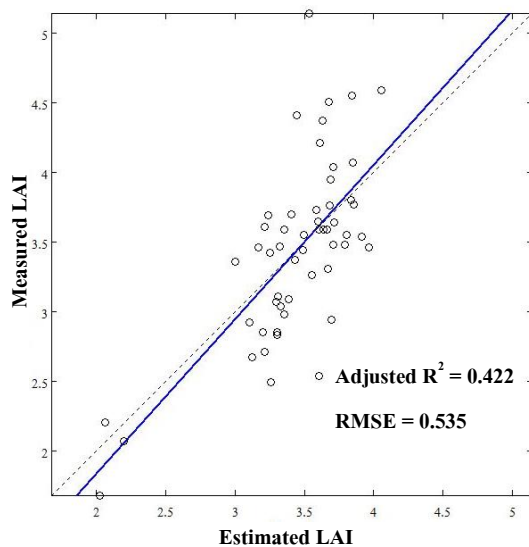


(ข)

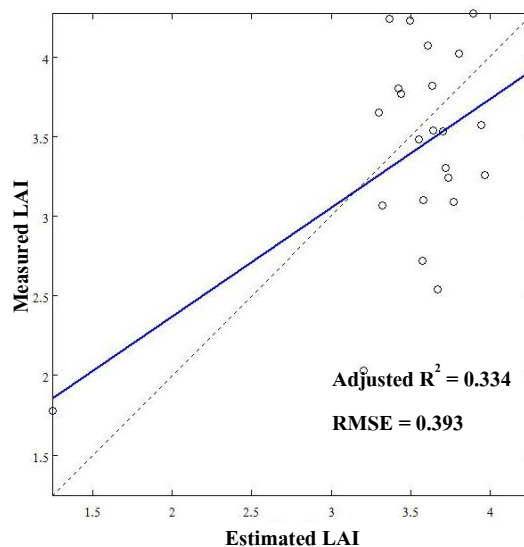


(ค)

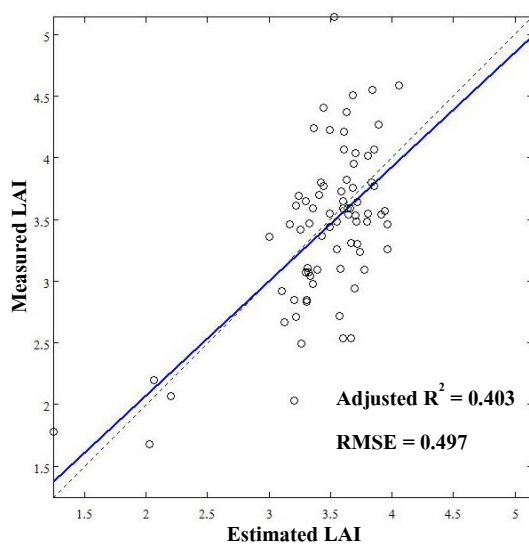
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 5 เป็นตัวแปรต้นกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม (ก) ข้อมูลฝึกฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม



(ก)



(ข)



(ค)

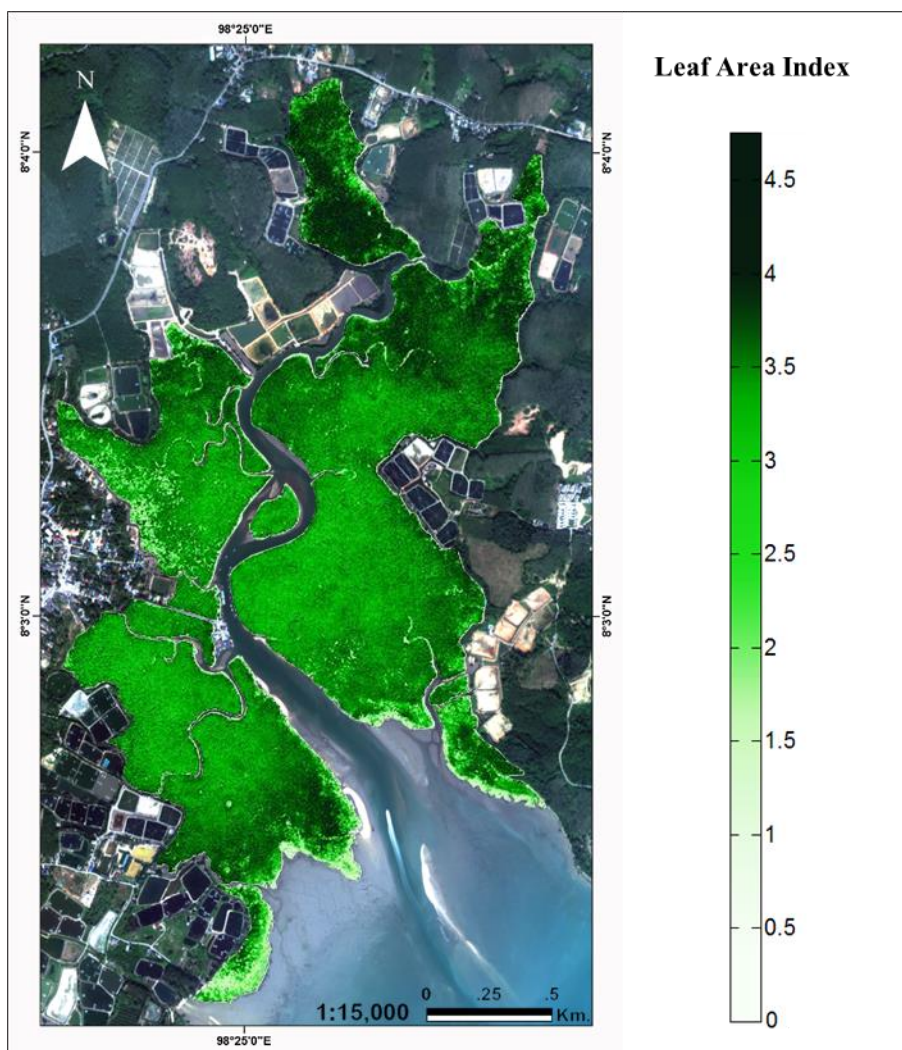
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 6 และ 8 เป็นตัวแปรต้น กับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากภาคสนาม (ก) ข้อมูลฝักฝน (ข) ข้อมูลทดสอบ (ค) ข้อมูลรวม

4.3.3 การวิเคราะห์ผลการศึกษจากการสร้างแบบจำลองในประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน

ผลการศึกษจากการสร้างแบบจำลองในประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนทั้งหมดจากตารางที่ 4.6 - 4.8 สำหรับข้อมูลทดสอบ แสดงให้เห็นว่าการสร้างสมการด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจค่อนข้างต่ำ และมีค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยค่อนข้างสูง ในขณะที่วิธีโครงข่ายประสาทเทียมสามารถปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจให้มีค่าเพิ่มขึ้น โดยการประมาณค่าด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 3 รูปแบบ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำลง

จากเกณฑ์การเลือกแบบจำลองที่มีความถูกต้องมากที่สุด โดยพิจารณาจากค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของข้อมูลทดสอบ พบว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 6 และ 8 เป็นตัวแปรต้น (รูปแบบที่ 11: ANNs-S2) มีค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด (RMSE = 0.393) จึงสรุปได้ว่าวิธีการดังกล่าวมีความถูกต้องมากที่สุดและเหมาะสมในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต และเมื่อนำแบบจำลองที่ได้มาใช้ในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.28

จากผลการศึกษาจึงแสดงให้เห็นว่าวิธีการแบบโครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนได้ดีกว่าวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน ซึ่งผลการศึกษาในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jensen and Binford (2004) ที่รายงานว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบได้ดีกว่าวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ เมื่อใช้จำนวนช่วงคลื่นที่ 1-5 และ 7 ของ Landsat TM เป็นข้อมูลนำเข้า ดังนั้นวิธีการแบบโครงข่ายประสาทเทียมจึงมีความเหมาะสมกว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน ในการนำมาใช้ประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน



รูปที่ 4.29 แผนที่การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2

เมื่อประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 6 และ 8 เป็นตัวแปรต้น พบว่าพื้นที่ป่าชายเลน 2.792 km^2 มีค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ผิวใบประมาณ $0.834 \text{ m}^2/\text{m}^2$ หรือ $8,338 \text{ ha/ha}$

4.4 การวิเคราะห์ตัวแปรจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ที่ใช้สำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน

จากการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน บริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต โดยโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนที่มีความถูกต้องมากที่สุด ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีเหมาะสมที่สุดในการประมาณค่า เมื่อพิจารณาจากค่า P-value ของตัวแปรจากตัวแปรนำเข้าหรือตัวแปรต้นที่ใช้วิธีดังกล่าว สามารถอธิบายได้ว่า

1) ตัวแปรต้นที่ใช้สำหรับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่มีความถูกต้องมากที่สุดคือ ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 5 (รูปแบบที่ 10: ANNs-S) ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 หรือกล่าวได้ว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นตัวแปรดังกล่าวจึงถูกคัดเลือกมาใช้ในการประมาณค่า (ตารางที่ 4.9)

ตารางที่ 4.9 ค่าสัมประสิทธิ์และประสิทธิภาพของแบบจำลองจากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนที่ใช้สำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน

	Coefficients	Standard Error	T Stat	P-value
Intercept	-58.380	30.330	-1.925	0.060
B4 (Yellow)	2727.340	964.860	2.827	0.007
B5 (Red)	-1606.700	772.530	-2.080	0.043
B6 (Red Edge)	-913.520	297.260	-3.073	0.003
B7 (Near-IR1)	344.400	120.730	2.853	0.006

เมื่อพิจารณาจากค่า P-value พบว่าตัวแปรค่าการสะท้อนในช่วงคลื่น Yellow (B4), Red Edge (B6) และ Near-IR1 (B7) มีค่า P-value ที่ต่ำกว่าตัวแปรอื่น ซึ่งบ่งบอกได้ว่าตัวแปรดังกล่าวมีความสัมพันธ์ที่ดีกับตัวแปรค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน อีกทั้งตัวแปรดังกล่าวเป็นค่าการสะท้อนจากช่วงคลื่นแบบมัลติสเปกตรัลของข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ซึ่งเป็นช่วงคลื่นที่เพิ่มขึ้นจากช่วงคลื่นแบบทั่วไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mutanga and Skidmore (2004) ที่รายงานว่า ช่วงคลื่น Red Edge มีความสัมพันธ์สูงกับมวลชีวภาพ ซึ่งเหมาะสมที่จะเป็นตัวแปรใน

การประมาณค่ามวลชีวภาพ ดังนั้นจากผลการศึกษาสามารถบ่งบอกได้ว่าค่าการสะท้อนในช่วงคลื่น Yellow, Red Edge และ Near-IR1 ที่เป็นช่วงคลื่นของข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 สามารถใช้ตัวแปรดังกล่าวในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนได้

2) ตัวแปรต้นที่ใช้สำหรับวิธี โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำที่มีความถูกต้องมากที่สุดคือ ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 6 และ 8 (รูปแบบที่ 11: ANNs-S2) ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 หรือกล่าวได้ว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นตัวแปรดังกล่าวจึงถูกคัดเลือกมาใช้ในการประมาณค่า (ตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธิ์และประสิทธิภาพของแบบจำลองจากวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนที่ใช้สำหรับการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำ

	Coefficients	Standard Error	T Stat	P-value
Intercept	421.830	81.880	5.152	0.000005
B2 (Blue)	-5133.350	1007.660	-5.094	0.000006
B3 (Green)	-96.600	47.210	-2.046	0.046470
B5 (Red)	3276.180	630.070	5.200	0.000004
B7 (Near-IR1)	527.190	170.470	3.093	0.003370
NDVI1	100.170	46.950	2.133	0.038260
SAVI1	-1598.310	344.610	-4.638	0.000029
EVI1	577.580	111.300	5.190	0.000005

เมื่อพิจารณาจากค่า P-value พบว่าตัวแปรค่าการสะท้อนในช่วงคลื่น Blue (B2) และ Red (B5) กับค่าดัชนีพืชพรรณ SAVI1 และ EVI1 มีค่า P-value ที่ต่ำกว่าตัวแปรอื่น ซึ่งบ่งบอกได้ว่าตัวแปรดังกล่าวมีความสัมพันธ์ที่ดีกับตัวแปรค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำ จากตัวแปรค่าการสะท้อนจากช่วงคลื่นแบบมัลติสเปกตรัลของข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ที่ถูกคัดเลือก พบว่าเป็นช่วงคลื่นทั่วไป โดยช่วงคลื่นที่เพิ่มขึ้นของข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ไม่ได้ถูกคัดเลือกเนื่องจากเป็นตัวแปรที่มีค่า P-value มากกว่า 0.05 หรือกล่าวได้ว่าเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจากผลการศึกษาจึงบ่งบอกได้ว่าค่าการสะท้อนจากช่วงคลื่นแบบมัลติสเปกตรัลที่เพิ่มขึ้นของข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 หากใช้ตัวแปรดังกล่าวในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำของป่าชายเลน อาจเกิดความผิดพลาดในการประมาณค่าได้

4.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน

จากผลการศึกษาการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต โดยโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนที่มีความถูกต้องมากที่สุด ซึ่งตัวแปรที่ถูกคัดเลือกเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันในการประมาณค่าที่มีความถูกต้องมากที่สุด แต่สำหรับแบบจำลองดังกล่าวพบว่าในข้อมูลทดสอบมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจค่อนข้างต่ำ (AGB: $R^2 = 0.444$, RMSE = 6.897; LAI: $R^2 = 0.364$, RMSE = 0.393) ซึ่งอาจจะบ่งบอกได้ว่าแบบจำลองมีความถูกต้องค่อนข้างต่ำ

จากการศึกษาและเปรียบเทียบผลการวิจัยของ Foody, *et al.* (2003) ที่ทำการศึกษาคาดการณ์ความสัมพันธ์ของมวลชีวภาพป่าเขตร้อน จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม Landsat TM พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นและดัชนีพืชพรรณ กับมวลชีวภาพ โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจค่อนข้างต่ำอยู่ระหว่าง 0.082 - 0.505 และได้กล่าวถึงข้อจำกัดในการประมาณค่ามวลชีวภาพและตัวแปรทางชีววิทยาที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของพืชที่แตกต่างกัน เช่น ดัชนีพื้นที่ผิวใบ ซึ่งอาจมีแนวโน้มที่จะเกิดข้อผิดพลาดจากความสัมพันธ์ของตัวแปรในการประมาณค่า รวมถึงความแตกต่างของชนิดพันธุ์ไม้ จึงแสดงให้เห็นว่าในป่าเขตร้อนหรือป่าที่มีความหลากหลายทางชนิดพันธุ์ไม้ มีผลต่อความสัมพันธ์ของตัวแปรในการประมาณค่า เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาพื้นที่ป่าชายเลนที่มีความหลากหลายทางชนิดพันธุ์ไม้ ซึ่งยากที่จะได้แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงจากการประมาณค่ารวมทุกชนิดพันธุ์ด้วยสมการเดียวกัน นอกจากนี้ Luther, *et al.* (2006) ยังได้กล่าวถึง ข้อสังเกตการประมาณค่ามวลชีวภาพด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกล ซึ่งมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าการประมาณค่า เช่น สภาพบรรยากาศ จุดภาพผสม (Mixed Pixels) การอิ่มตัวของข้อมูล (Data Saturation)

เมื่อศึกษางานวิจัยของ วิโรจน์ ละอองมณี (2554) ที่ใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกลเพื่อการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพสวนป่าชายเลน ณ ศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบกบางปู พบว่าแบบจำลองที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ มีความค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจค่อนข้างสูง ($R^2 = 0.878$) เนื่องจากมีการใช้ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นไมโครเวฟจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม ALOS PALSAR ซึ่งเป็นตัวแปรที่ทำให้ผลของการประมาณค่ามีความถูกต้องมากขึ้น และจากพื้นที่ศึกษาพบว่ามีความหลากหลายทางชนิดพันธุ์ไม้ของป่าชายเลนน้อย

และเป็นป่าปลูก โดยมีแสมทะเล (*Avicennia marina*) เป็นพันธุ์ไม้เด่น ซึ่งแตกต่างจากพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลอก ที่มีความหลากหลายทางชนิดพันธุ์ไม้ของป่าชายเลนและเป็นป่าธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์ ซึ่งมีป่าปลูกอยู่น้อย จากการวิเคราะห์สามารถบ่งบอกได้ว่างานวิจัยดังกล่าวมีลักษณะพื้นที่ศึกษาที่แตกต่างกัน รวมถึงมีชนิดพันธุ์ไม้ในพื้นที่ไม่หลากหลาย จึงทำให้มีความถูกต้องการประมาณค่ามวลชีวภาพที่สูงกว่า และอาจจะเปรียบเทียบผลกันได้ยาก

จากการวิเคราะห์เกี่ยวกับมวลชีวภาพของพืช พบว่าพืชจะจัดเก็บมวลชีวภาพไว้ในรูปของธาตุคาร์บอนในเนื้อไม้ (ชิงชัย วิริยะบัญชา, 2546) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า มวลชีวภาพของพืชส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในลำต้น ดังนั้นจากการใช้ข้อมูลการสะท้อนของข้อมูลภาพจากดาวเทียมมัลติสเปกตรัล (Multispectral) ส่วนใหญ่จะสะท้อนค่าของเรื่อหยอดหรือใบเป็นหลัก และไม่สามารถทะลุผ่านเรื่อหยอดของต้นไม้ได้ จึงเป็นข้อจำกัดของการประมาณค่ามวลชีวภาพ และจากงานวิจัยของ Carlson and Ripley (1997) ได้รายงานว่าพืชที่มีเรื่อหยอดเป็นลำดับชั้นและเป็นพุ่มซ้อนกันในพื้นที่ป่า เมื่อใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกล อาจเห็นเรื่อหยอดที่มีความหนาแน่นสูง ซึ่งไม่สัมพันธ์กับข้อมูลการถ่ายภาพเรื่อหยอดในการสำรวจภาคสนาม จึงเกิดการอิ่มตัวของดัชนีพื้นที่ผิวใบ (LAI Saturates) ซึ่งทำให้การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมีค่าสูง และจากงานวิจัยของ เจษฎา โสภารัตน์ (2552) ได้กล่าวไว้ว่าลักษณะการถ่ายภาพเรื่อหยอดของต้นไม้แนวตั้งภายใต้เรื่อหยอดที่มีการซ้อนกันของใบและกิ่งเป็นกลุ่ม อาจเป็นอีกปัจจัยที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ ด้วยเหตุดังกล่าวอาจทำให้การประมาณค่าเกิดความผิดพลาด และได้แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Kovacs, et al. (2004) ที่ศึกษาการประมาณดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนเสื่อมโทรมในประเทศเม็กซิโก พบว่าแบบจำลองที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น มีความค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจค่อนข้างสูง ($R^2 = 0.730$) จากการวิเคราะห์ผลของงานวิจัยพบว่าพื้นที่ศึกษามีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ป่าชายเลนน้อย และมีสภาพป่าที่เสื่อมโทรม ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่าพื้นที่ศึกษาอาจมีความหนาแน่นของเรื่อหยอดค่อนข้างต่ำ จึงทำให้มีความถูกต้องการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่สูงกว่า ซึ่งแตกต่างจากพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลอก ที่มีความหลากหลายทางชนิดพันธุ์ไม้และมีเรื่อหยอดเป็นลำดับชั้นปกคลุมอย่างหนาแน่น จึงอาจจะเปรียบเทียบผลของความถูกต้องได้ยาก

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน จึงบ่งบอกได้ว่าการประมาณค่าดังกล่าวด้วยข้อมูลภาพจากดาวเทียมแบบมัลติสเปกตรัลยังมีข้อจำกัด ซึ่งส่งผลให้การประมาณค่าเกิดความคลาดเคลื่อนได้ และจากผลของงานวิจัยนี้ได้เน้นย้ำให้เห็นถึงข้อดีของ

ข้อมูลจากดาวเทียมแบบมัลติสเปกตรัลที่มีปัญหาในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และดัชนีพื้นที่ผิวใบในพื้นที่ป่าที่มีความหลากหลายทางชนิดพันธุ์ไม้ และมีความหนาแน่นของเรือนยอดปกคลุมสูง ซึ่งผลที่ได้นี้ยังเป็นแนวทางในการพิจารณาการใช้ตัวแปรและการเลือกวิธีการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

บทที่ 5

บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลของงานวิจัยการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน โดยใช้การสำรวจระยะไกล กรณีศึกษาอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน โดยใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ร่วมกับจากการสำรวจภาคสนาม ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และทดสอบประสิทธิภาพเพื่อให้ได้แบบจำลองหรือสมการที่มีความถูกต้องมากที่สุดจากการวิจัยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลน

ผลจากการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต โดยใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ซึ่งจากการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองจากข้อมูลทดสอบ เมื่อพิจารณาจากค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่มีค่าต่ำที่สุด ได้แบบจำลองที่มีความถูกต้องมากที่สุดคือ แบบจำลองจากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 5 เป็นตัวแปรต้น (รูปแบบที่ 10: ANNs-S) ซึ่งมีตัวแปร ได้แก่ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่น Yellow (B4), Red (B5), Red Edge (B6) และ Near-IR1 (B7) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.344 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบปรับแก้เท่ากับ 0.417 และมีค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 6.897 เมื่อประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินด้วยวิธีดังกล่าวในพื้นที่ป่าชายเลนที่ศึกษา 2.792 km² โดยมีปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมดประมาณ 14,462,818 kg หรือมีค่าเฉลี่ยของปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 5.180 kg/m² หรือคิดเป็น 51.801 ton/ha

ดังนั้นจากผลดังกล่าวจึงสรุปได้ว่า วิธีการแบบโครงข่ายประสาทเทียม มีความเหมาะสมกว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน ในการนำมาใช้ประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต

5.1.2 การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน

ผลจากการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ซึ่งจากการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองจากข้อมูลทดสอบ เมื่อพิจารณาจากค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่มีค่าต่ำที่สุด ได้แบบจำลองที่มีความถูกต้องมากที่สุดคือ แบบจำลองจากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนในรูปแบบที่ 6 และ 8 เป็นตัวแปรต้น (รูปแบบที่ 11: ANNs-S2) ซึ่งมีตัวแปร ได้แก่ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่น Blue (B2), Green (B3), Red (B5) และ Near-IR1 (B7) กับดัชนีพืชพรรณ NDVI1, SAVI1 และ EVI1 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.364 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบปรับแก้เท่ากับ 0.334 และมีค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.393 เมื่อประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยวิธีดังกล่าว ในพื้นที่ป่าชายเลนที่ศึกษา 2.792 km² โดยมีค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ผิวใบประมาณ 0.834 m²/m² หรือคิดเป็น 8,338 ha/ha

ดังนั้นจากผลดังกล่าวจึงสรุปได้ว่า วิธีการแบบโครงข่ายประสาทเทียม มีความเหมาะสมกว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอน ในการนำมาใช้ประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต

5.1.3 การวิเคราะห์ตัวแปรจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2

การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนบริเวณอ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณแบบเป็นขั้นตอนที่มีความถูกต้องมากที่สุด ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีเหมาะสมที่สุดในการประมาณค่า จากการพิจารณาผลการคัดเลือกตัวแปรในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรค่าการสะท้อนจากช่วงคลื่นแบบมัลติสเปกตรัลของข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ซึ่งมีช่วงคลื่นที่เพิ่มขึ้นจากช่วงคลื่นแบบทั่วไป ได้แก่ ตัวแปรค่าการสะท้อนในช่วงคลื่น Yellow (B4), Red Edge (B6) และ Near-IR1 (B7) ส่วนการคัดเลือกตัวแปรใน

การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ ตัวแปรค่าการสะท้อนในช่วงคลื่น Yellow (B4) และ Red Edge (B6) ไม่ถูกคัดเลือกไปใช้ในการประมาณค่า ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลค่าการสะท้อนจากช่วงคลื่นแบบมัลติสเปกตรัลของข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ซึ่งมีช่วงคลื่นที่เพิ่มขึ้นจากช่วงคลื่นในดาวเทียมยุคเก่า สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้เป็นตัวแปรสำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนได้ เนื่องจากตัวแปรดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินค่อนข้างสูง ($P\text{-value} < 0.05$) แต่ไม่ควรนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้เป็นตัวแปรสำหรับการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน ด้วยสาเหตุที่ตัวแปรดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบค่อนข้างต่ำ ($P\text{-value} > 0.05$) จึงอาจเกิดความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าได้ แต่อย่างไรก็ตาม ผลจากการศึกษาขึ้นอยู่กับเทคนิคและตัวแปรที่ร่วมในการประมาณค่า รวมถึงลักษณะทางกายภาพของป่าชายเลนในแต่ละพื้นที่ ซึ่งอาจมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการประมาณค่าอาจจะได้ผลที่แตกต่างกันได้

5.1.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบจำลอง

แบบจำลองในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน มีความถูกต้องค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจเป็นผลจากลักษณะทางกายภาพของป่าชายเลน และลักษณะของพื้นที่ศึกษาซึ่งประกอบด้วยชนิดพันธุ์ไม้ที่หลากหลาย จึงเป็นความยากในการสร้างแบบจำลองที่จะใช้สำหรับประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของพื้นที่ด้วยสมการเดียว และด้วยลักษณะของการสะสมมวลชีวภาพของต้นไม้ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ที่ลำต้น จึงอาจเกิดความผิดพลาดในการประมาณค่าได้ ในงานวิจัยต่อไปอาจจะแก้ไขโดยใช้เทคนิคด้านการสำรวจระยะไกลแบบ Synthetic Aperture Radar (SAR) ที่สามารถทะลุผ่านเรือนยอดร่วมกับการสำรวจระยะไกลแบบหลายช่วงคลื่น สำหรับการสร้างแบบจำลองการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบเมื่อสังเกตลักษณะเรือนยอดของป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษาจากข้อมูลการสำรวจระยะไกล เรือนยอดมีความหนาแน่นค่อนข้างสูง จึงอาจเกิดการอ้อมตัวของสัญญาณทำให้การประมาณค่าเกิดความผิดพลาดได้ และด้วยลักษณะใบของต้นไม้แต่ละชนิดพันธุ์แตกต่างกันอาจมีค่าการสะท้อนที่แตกต่างกัน ในงานต่อไปอาจจะทำการแยกลักษณะของใบเพื่อทำการประมาณค่าในระดับชนิดพันธุ์ โดยอาจใช้การสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลร่วมกับข้อมูลการสำรวจระยะไกลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง เพื่อให้ได้การประมาณค่าที่มีประสิทธิภาพและถูกต้องมากยิ่งขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การเลือกสมการ Allometric ที่ใช้ในการคำนวณค่ามวลชีวภาพในแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกันไปตามค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของมวลไม้ในแต่ละชนิดพันธุ์ของป่าชายเลน ซึ่งอาจมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ทำให้ผลการศึกษาในพื้นที่อื่นๆ อาจได้ผลที่แตกต่างกันได้

2) การสำรวจภาคสนามควรเลือกช่วงเวลาให้เหมาะสมกับพื้นที่ ซึ่งในแต่ละพื้นที่อาจมีความแตกต่างกันทั้งทางลักษณะภูมิประเทศและทางสภาพอากาศรวมถึงระดับการขึ้นลงของน้ำ เนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสำรวจภาคสนามและเก็บข้อมูล

3) จุดการสำรวจภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลสำหรับงานวิจัยนี้ค่อนข้างมีจำนวนน้อย เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษาสามารถเข้าถึงได้ยาก ประกอบกับมีระยะเวลาในการศึกษาที่จำกัดจึงทำให้มีจุดเก็บข้อมูลน้อย ดังนั้นการศึกษาต่อไปควรมีการวางแผนการเข้าเก็บข้อมูลที่ดีเพื่อให้ได้จุดสำรวจเพิ่มขึ้น ซึ่งการเก็บข้อมูลได้ครอบคลุมและมีจำนวนจุดสำรวจที่เพิ่มขึ้นอาจจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการประมาณค่าดีขึ้น

4) การเลือกชนิดข้อมูลภาพจากดาวเทียมควรเลือกให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา และควรใช้ข้อมูลภาพในช่วงระยะเวลาเดียวกับการสำรวจภาคสนามเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องตรงตามช่วงเวลาเดียวกัน

5) การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลน หากจะทำการศึกษาระดับชนิดพันธุ์ไม่ควรเลือกใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลที่มีความละเอียดเชิงคลื่นสูงเพื่อแยกชนิดพันธุ์ไม้ได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น

6) การถ่ายภาพเร็นดixonควรใช้ระยะเวลาการถ่ายรวมถึงลักษณะการถ่ายภาพในรูปแบบเดียวกันและเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสม เช่น สภาพท้องฟ้าคงที่สม่ำเสมอ ไม่สว่างจ้าหรือมืดจนเกินไป เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า แต่อย่างไรก็ตามการถ่ายภาพเร็นดixonของต้นไม้แนวตั้งภายใต้เร็นดixonที่มีการซ้อนกันของใบและกิ่งเป็นกลุ่ม อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าได้

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2552). *ความหลากหลายทางชีวภาพในป่าชายเลนอ่าวพังงา*, โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพมหานคร.
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2555). *พื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดภูเก็ต*, สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, กรุงเทพมหานคร.
- กรมอุทกศาสตร์. (2557). *มาตรฐานน้ำ น่านน้ำไทย แม่น้ำเจ้าพระยา-อ่าวไทย-ทะเลอันดามัน พ.ศ. 2557*, กรมอุทกศาสตร์, กองทัพเรือ, กรุงเทพมหานคร.
- คิตา จาริก. (2555). การพยากรณ์ราคายางพาราโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม, การศึกษาปัญหาพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ, คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ, เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- เจษฎา โสภารัตน์. (2552). “การใช้ภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 เพื่อประเมินดัชนีพื้นที่ใบของยางพารา กรณีศึกษา อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา.”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพืชศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2552). *ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์: ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System: GPS)*, สำนักงานพัฒนาอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), กรุงเทพมหานคร.
- ชิงชัย วิริยะบัญชา. (2546). “คู่มือการประมาณมวลชีวภาพของหญ้าไม้.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ www.dnp.go.th/development/Biomass.pdf (วันที่ 27 พฤศจิกายน 2556).
- โชติ ถาวร. (2554). “องค์กรชุมชนในการจัดการป่าชายเลน อ่าวป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต.”, *เอกสารการประชุมทางวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัย มสช.วิจัย ประจำปี 2554*, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช: 8 เมษายน 2554.
- นวลปราง นวลอุไร. (2548). “การเปรียบเทียบค่าดัชนี พื้นที่ใบ มวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่เหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่าไม้จากการสำรวจด้านป่าไม้และการรับรู้จากระยะไกล บริเวณอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ประเทศไทย.”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสัตววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2541). *วิธีการทางสถิติสำหรับการวิจัย*, สำนักพิมพ์สุวีริยาสาส์น, กรุงเทพมหานคร.
- ประยูรศรี บุตรแสนคม. (2555). “การคัดเลือกตัวแปรพยากรณ์เข้าในสมการถดถอยพหุคูณ.” *วารสารการวัดผลการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 17(1), 43-60.

- พงษ์ศักดิ์ สหุนาฟู. (2538). *ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้*, คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- ภัทรารุณี แสงศิริ, สจีมาจ ณ วิเชียร และพยุง มีสัง. (2552). “การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดตัวแปรข้อมูลเข้าที่เหมาะสม สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมระหว่างเทคนิคการเลือกตัวแปรแบบถอยหลังทีละขั้น และการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบเพื่อพยากรณ์กลุ่มข้อมูลโรคมะเร็ง.” *เอกสารการประชุมทางวิชาการระดับชาติ ด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 5 ปี 2009*, มหาวิทยาลัยมหาวิทาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ: 22-23 พฤษภาคม 2552.
- รศกร ดำนกุล. (2546). “การใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Backpropagation ในการพยากรณ์อัตราการไหลของรายวัน: กรณีศึกษาแม่น้ำปราจีนบุรี.”, *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*.
- วิพัทธ์ จินตนา, โนบุทากะ มนจิ, ทาเกชิ ฮิราโน, ฮาโมทานิ เคน, และ สมศักดิ์ พิริโยธา. (2540). “การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของป่าชายเลน ในช่วงฤดูแล้ง.” *รายงานการสัมมนา ระบบนิเวศป่าชายเลนแห่งชาติ*, 10, 1-2.
- วิภาดา เวทย์ประสิทธิ์ และ พรพิมล ณ นคร. (2548). “การลดตัวแปรข้อมูลเข้าสำหรับการพยากรณ์ฝนโดยใช้ โครงข่ายประสาทเทียม.”, *เอกสารการประชุมทางวิชาการ The Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE2005)*, มหาวิทยาลัยบูรพา: 17-18 พฤศจิกายน 2548.
- วิโรจน์ ละอองมณี. (2554). “เทคนิคการสำรวจระยะไกลเพื่อการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพสวนป่าชายเลน.”, *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*.
- สนิท อักษรแก้ว. (2541). *ป่าชายเลน นิเวศวิทยาและการจัดการ*, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- สรรค์ใจ กลิ่นดาว. (2550). *การสำรวจจากระยะไกล : การประมวลผลภาพเชิงเลขเบื้องต้น*. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร.
- สุรเชษฐ์ สีแดง. (2551). “การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลน บริเวณเกาะล้านตา จังหวัดกระบี่ ด้วยเทคนิคการรับรู้ระยะไกล.”, *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการป่าไม้, คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*.

- Astrium GEO-Information Services. (2012). "Pléiades Imagery - User Guide." (Online) Available on <http://blackbridge.com/geomatics/upload/airbus/Pleiades%20User%20Guide.pdf>. (25 August 2013).
- Atzberger, C., Jarmer, T., Kötz, B., Schlerf, M., and Werner, W. (2003). "Spectroradiometric Determination of Wheat Bio-physical Variables Comparison of Different Empirical-statistical Approaches." In *Remote Sensing in Transitions, Proc. 23rd EARSeL symposium*, 23, 2-5.
- Bacour, C., Jacquemoud, S., Tourbier, Y., Dechambre, M., and Frangi, J. P. (2002). "Design and analysis of numerical experiments to compare four canopy reflectance models." *Remote Sens. Environ.*, 79(1), 72-83.
- Barbier, E., and Sathirathai, S. (2004). *Shrimp Farming and Mangrove Loss in Thailand*, Edward Elgar Publishing, Inc., USA.
- Carlson, T. N., and Ripley, D. A. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sens. Environ.*, 62(3), 241-252.
- Chen, J. M., Rich, P. M., Gower, S. T., Norman, J. M., and Plummer, S. (1997). "Leaf area index of boreal forests: theory, techniques, and measurements." *J. Geophys. Res. Atmos. (1984-2012)*, 102(D24), 29429-29443.
- Clark, M. L., Roberts, D. A., Ewel, J. J., and Clark, D. B. (2011). "Estimation of tropical rain forest aboveground biomass with small-footprint lidar and hyperspectral sensors." *Remote Sens. Environ.*, 115(11), 2931-2942.
- Darvishzadeh, R., Skidmore, A., Schlerf, M., Atzberger, C., Corsi, F., and Cho, M. (2008). "LAI and Chlorophyll Estimation for a Heterogeneous Grassland Using Hyperspectral Measurements." *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 63, 409-426.
- DigitalGlobe. (2013). "WorldView-2 DATA SHEET." (Online) Available on https://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DG_WorldView2_DS_PROD.pdf. (9 January 2014).
- Du, L. V. (1962). *Ecology and Silviculture of Mangrove*, Yale University, USA.
- Fassnacht, K. S., Gower, S. T., MacKenzie, M. D., Nordheim, E. V., and Lillesand, T. M. (1997). "Estimating the leaf area index of north central Wisconsin forests using the Landsat Thematic Mapper." *Remote Sens. Environ.*, 61(2), 229-245.

- Foody, G. M., Boyd, D. S., and Cutler, M. E. (2003). "Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions." *Remote Sens. Environ.*, 85(4), 463-474.
- Frazer, G. W., Canham, C. D., and Lertzman, K. P. (1999). "Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation." (Online) Available on <http://rem-main.rem.sfu.ca/forestry/downloads/Files/GLAV2UsersManual.pdf>. (28 October 2013).
- Gao, X., Huete, A. R., Ni, W., and Miura, T. (2000). "Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination." *Remote Sens. Environ.*, 74(3), 609-620.
- Gong, P., Pu, R., Biging, G. S., and Larrieu, M. R. (2003). "Estimation of Forest Leaf Area Index Using Vegetation Indices Derived from Hyperion Hyperspectral Data." *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 41, 1355-1362.
- 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." *Aquat. Bot.*, 58, 11-19.
- Held, A., Ticehurst, C., Lymburner, L., and Williams, N. (2003). "High resolution mapping of tropical mangrove ecosystems using hyperspectral and radar remote sensing." *Int. J. Remote Sens.*, 24, 2739-2759.
- Hogarth, P. J. (2007). *The biology of mangroves and seagrasses*. Oxford University Press, USA.
- Huberman, M. A. (1959). "Mangrove Silviculture." *Unasylva*, 13(4), 188-195.
- Huete, A. R. (1988). "A soil-adjusted vegetation index (SAVI)." *Remote Sens. Environ.*, 25(3), 295-309.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., and Ferreira, L. G. (2002). "Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices." *Remote Sens. Environ.*, 83(1), 195-213.
- Jachowski, N. R., Quak, M. S., Friess, D. A., Duangnamon, D., Webb, E. L., and Ziegler, A. D. (2013). "Mangrove biomass estimation in Southwest Thailand using machine learning." *Appl. Geogr.*, 45, 311-321.

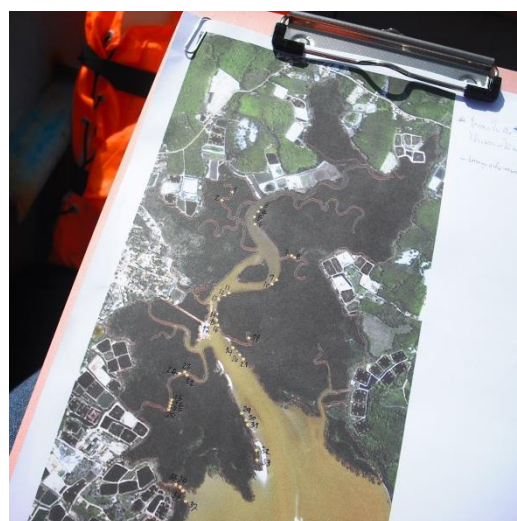
- Jensen, R., and Binford, M. (2004). "Measurement and Comparison of Leaf Area Index Estimators Derived from Satellite Remote Sensing Techniques." *Int. J. Remote Sens.*, 4251-4265.
- Jensen, J. R. (2007). *Remote sensing of environment: An earth resource perspective*, Pearson Education India, USA.
- Komiyama, A., Pongpam, S., and Kato, S. (2005). "Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves." *J. Trop. Ecol.*, 21, 471-477.
- Kovacs, J., Flores-Verdugo, F., Wang, J., and Aspden, L. (2004). "Estimating leaf area index of a degraded mangrove forest using high spatial resolution satellite data." *Aquat. Bot.*, 80, 13-22.
- Kovacs, J., King, J., De Santiago, F., and Flores-Verdugo, F. (2009). "Evaluating the condition of a mangrove forest of the Mexican Pacific based on an estimated leaf area index mapping approach." *Environ. Monit. Assess.*, 157, 137-149.
- Law, B. E., and Waring, R. H. (1994). "Remote Sensing of Leaf Area Index and Radiation Intercepted by Understory Vegetation." *Ecol. Appl.*, 272-279.
- Li, X., Yeh, A., Wang, S., Liu, K., Liu, X., Qian, J., and Chen, X. (2007). "Regression and analytical models for estimating mangrove wetland biomass in South China using Radarsat images." *Int. J. Remote Sens.*, 28, 5567-5582.
- Linneweber, V., and de Lacerda, L. D. (2002). *Mangrove Ecosystems: Function and Management*. Springer Science and Business Media, New York.
- Lugo, A. E., and Snedaker, S. C. (1974). "The ecology of mangroves." *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 5, 39-64.
- Luther, J. E., Fournier, R. A., Piercey, D. E., Guindon, L., and Hall, R. J. (2006). "Biomass mapping using forest type and structure derived from Landsat TM imagery." *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 8(3), 173-187.
- Madugundu, R., Nizalapur, V., and Jha, C. S. (2008). "Estimation of LAI and above-ground biomass in deciduous forests: Western Ghats of Karnataka, India." *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 10(2), 211-219.

- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., and Qiu, G. (2007). "Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest." *Sensors*, 7(11), 2636-2651.
- Mutanga, O., and Skidmore, A. K. (2004). "Narrow band vegetation indices overcome the saturation problem in biomass estimation." *Int. J. Remote Sens.*, 25(19), 3999-4014.
- Muukkonen, P., and Heiskanen, J. (2005). "Estimating biomass for boreal forests using ASTER satellite data combined with standwise forest inventory data." *Remote Sens. Environ.*, 99(4), 434-447.
- Propastin, P., and Kappas, M. (2009). "Integration of Landsat ETM Plus Data with Field Measurements for Mapping Leaf Area Index in the Grasslands of Central Kazakhstan." *GISci. Remote Sens.*, 46, 212-231.
- Rouse, J. W., Haas, R.H., Schell, J. A., and Deering, D. W. (1974). "Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS." *Proceeding of Third Earth Resource Technology Satellite -1 Symposium, Greenbell: NASASP-351*, Pace Flight Center , Washington D. C.:10-14 December.1974
- Running, S. W., Peterson, D. L., Spanner, M. A., and Teuber, K. B. (1986). "Remote Sensing of Coniferous Forest Leaf Area." *Ecology*, 67, 273-276.
- Spalding, M., Blasco, F., and Field, C. (1997). *World mangrove atlas*, International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa.
- Spanner, M. A., Pierce, L. L., Peterson, D. L., and Running, S. W. (1990). "Remote Sensing of Temperate Coniferous Forest Leaf Area Index. The Influence of Canopy Closure, Understory Vegetation and Background Reflectance." *Int. J. Remote Sens.*, 11, 95-111.
- Tomlinson, P. B. (1995). *The Botany of Mangroves*. Cambridge University Press, USA.
- Updike, T., and Comp, C. (2010). "Radiometric Use of WorldView-2 Imagery." (Online) Available on http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/Radiometric_Use_of_WorldView-2_Imagery%20%281%29.pdf. (20 March 2014).
- Waring, R. H., Coops, N. C., Fan, W., & Nightingale, J. M. (2006). "MODIS enhanced vegetation index predicts tree species richness across forested ecoregions in the contiguous USA." *Remote Sens. Environ.*, 103(2), 218-226.

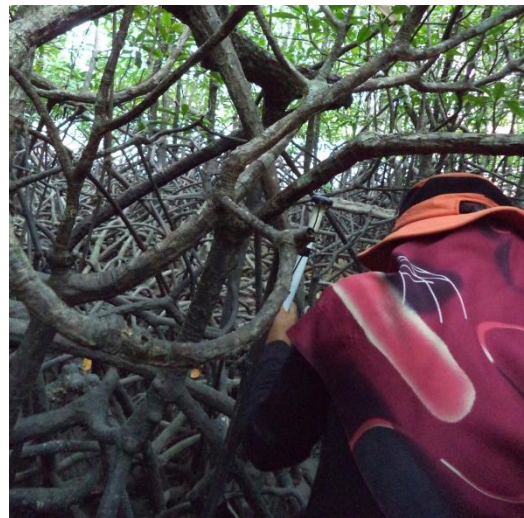
- Weiss, M., and Baret, F. (1999). "Evaluation of canopy biophysical variable retrieval performances from the accumulation of large swath satellite data." *Remote Sens. Environ.*, 70(3), 293-306.
- Weiss, M., and Baret, F. (2010). "CAN-EYE V6.1 User Manual." (Online) Available on <http://www6.paca.inra.fr/can-eye/content/download/3011/30456/file/CAN-EYE%20User%20Manual.pdf>. (18 November 2013).
- Xie, Y., Sha, Z., Yu, M., Bai, Y., and Zhang, L. (2009). "A comparison of two models with Landsat data for estimating above ground grassland biomass in Inner Mongolia, China." *Ecol. Model.*, 220(15), 1810-1818.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การสำรวจภาคสนาม



รูปภาคผนวก ก การสำรวจภาคสนาม



รูปภาคผนวก ก การสำรวจภาคสนาม (ต่อ)

ภาคผนวก ข

ค่าการสะท้อนและดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2

ตารางภาคผนวก ข ค่าการสะท้อนและดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2

แปลง ที่	ตำแหน่ง (UTM)		ค่าการสะท้อน									ดัชนีพืชพรรณ					
	ตะวันออก	เหนือ	Band									NDVI		SAVI		EVI	
			1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	1	2	1	2	
1	435848	889736	0.159	0.137	0.111	0.083	0.068	0.148	0.296	0.214	0.627	0.519	0.396	0.281	0.845	0.617	
2	435860	889752	0.160	0.136	0.108	0.080	0.069	0.144	0.292	0.215	0.616	0.512	0.388	0.279	0.809	0.596	
3	435868	889792	0.160	0.133	0.105	0.078	0.066	0.138	0.291	0.219	0.632	0.538	0.395	0.293	0.821	0.624	
4	435874	889812	0.159	0.135	0.108	0.077	0.066	0.137	0.297	0.211	0.637	0.525	0.402	0.281	0.852	0.613	
5	435876	889838	0.160	0.138	0.114	0.085	0.069	0.179	0.361	0.265	0.678	0.585	0.470	0.351	0.982	0.755	
6	435780	890644	0.162	0.137	0.112	0.085	0.071	0.157	0.308	0.238	0.626	0.542	0.405	0.311	0.841	0.659	
7	435812	890666	0.163	0.138	0.112	0.086	0.070	0.165	0.321	0.240	0.643	0.549	0.423	0.315	0.894	0.684	
8	435832	890678	0.162	0.139	0.116	0.088	0.074	0.168	0.319	0.236	0.624	0.524	0.412	0.301	0.851	0.637	
9	435802	890704	0.162	0.138	0.111	0.084	0.071	0.156	0.297	0.224	0.615	0.520	0.391	0.290	0.828	0.628	
10	435780	890686	0.161	0.141	0.117	0.085	0.075	0.148	0.302	0.227	0.600	0.502	0.387	0.283	0.810	0.608	
11	436136	890880	0.162	0.143	0.121	0.090	0.076	0.183	0.345	0.254	0.640	0.541	0.439	0.322	0.927	0.702	
12	436132	890858	0.162	0.137	0.115	0.085	0.074	0.166	0.331	0.240	0.635	0.530	0.426	0.306	0.857	0.630	

ตารางภาคผนวก ข ค่าการสะท้อนและดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 (ต่อ)

แปลง ที่	ตำแหน่ง (UTM)		ค่าการสะท้อน								ดัชนีพืชพรรณ					
	ตะวันออก	เหนือ	Band								NDVI		SAVI		EVI	
			1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	1	2	1	2
13	436138	890840	0.161	0.138	0.114	0.086	0.073	0.168	0.323	0.240	0.630	0.533	0.418	0.308	0.862	0.650
14	436152	890934	0.163	0.139	0.113	0.086	0.073	0.157	0.312	0.235	0.620	0.524	0.405	0.300	0.845	0.641
15	436154	890958	0.166	0.142	0.118	0.090	0.077	0.158	0.295	0.221	0.585	0.483	0.375	0.271	0.783	0.580
16	436150	890976	0.163	0.142	0.115	0.088	0.074	0.148	0.288	0.224	0.592	0.504	0.372	0.282	0.801	0.621
17	436156	890992	0.165	0.141	0.116	0.088	0.077	0.163	0.310	0.235	0.602	0.506	0.394	0.292	0.812	0.614
18	436200	890922	0.163	0.139	0.111	0.082	0.072	0.147	0.291	0.216	0.602	0.498	0.381	0.273	0.801	0.591
19	436188	890936	0.162	0.139	0.117	0.088	0.075	0.165	0.316	0.238	0.615	0.519	0.405	0.300	0.829	0.627
20	436192	890962	0.164	0.143	0.116	0.086	0.075	0.161	0.318	0.230	0.619	0.509	0.408	0.289	0.872	0.636
21	436190	890980	0.164	0.144	0.119	0.089	0.078	0.168	0.323	0.245	0.613	0.519	0.409	0.305	0.862	0.660
22	435910	890118	0.159	0.133	0.109	0.080	0.068	0.152	0.286	0.210	0.614	0.510	0.382	0.274	0.781	0.572
23	435906	890086	0.159	0.135	0.112	0.081	0.068	0.159	0.302	0.227	0.633	0.540	0.404	0.301	0.842	0.642
24	435910	890068	0.159	0.136	0.114	0.084	0.070	0.161	0.303	0.229	0.623	0.530	0.400	0.297	0.825	0.628

ตารางภาคผนวก ข ค่าการสะท้อนและดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 (ต่อ)

แปลง ที่	ตำแหน่ง (UTM)		ค่าการสะท้อน								ดัชนีพืชพรรณ					
	ตะวันออก	เหนือ	Band								NDVI		SAVI		EVI	
			1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	1	2	1	2
25	435908	890046	0.158	0.136	0.109	0.079	0.068	0.148	0.294	0.218	0.625	0.526	0.394	0.287	0.827	0.618
26	435792	890070	0.160	0.136	0.111	0.081	0.069	0.150	0.284	0.208	0.610	0.503	0.379	0.269	0.792	0.577
27	435794	890052	0.160	0.137	0.113	0.084	0.070	0.155	0.296	0.218	0.616	0.512	0.391	0.280	0.817	0.602
28	435788	890032	0.159	0.136	0.111	0.082	0.068	0.151	0.278	0.205	0.608	0.503	0.373	0.266	0.790	0.579
29	435794	889998	0.159	0.134	0.109	0.080	0.067	0.145	0.281	0.207	0.613	0.509	0.377	0.271	0.786	0.577
30	436018	890224	0.159	0.134	0.107	0.080	0.066	0.145	0.293	0.214	0.633	0.529	0.397	0.285	0.833	0.614
31	436038	890224	0.159	0.136	0.107	0.080	0.067	0.147	0.295	0.208	0.629	0.511	0.396	0.272	0.834	0.590
32	436056	890228	0.159	0.135	0.109	0.079	0.066	0.162	0.327	0.235	0.663	0.560	0.438	0.316	0.912	0.678
33	436080	890224	0.158	0.132	0.105	0.078	0.065	0.146	0.300	0.228	0.642	0.554	0.407	0.308	0.837	0.647
34	436108	890222	0.159	0.135	0.110	0.081	0.067	0.164	0.319	0.247	0.652	0.572	0.426	0.331	0.888	0.705
35	436032	890258	0.159	0.136	0.111	0.081	0.068	0.159	0.323	0.235	0.651	0.549	0.429	0.311	0.893	0.666
36	436050	890254	0.159	0.136	0.110	0.083	0.068	0.160	0.296	0.229	0.625	0.526	0.394	0.287	0.827	0.618

ตารางภาคผนวก ข ค่าการสะท้อนและดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 (ต่อ)

แปลง ที่	ตำแหน่ง (UTM)		ค่าการสะท้อน								ดัชนีพืชพรรณ					
	ตะวันออก	เหนือ	Band								NDVI		SAVI		EVI	
			1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	1	2	1	2
37	436074	890254	0.158	0.134	0.107	0.078	0.065	0.146	0.291	0.225	0.633	0.549	0.395	0.303	0.832	0.652
38	436106	890254	0.158	0.136	0.111	0.081	0.069	0.155	0.309	0.226	0.634	0.531	0.409	0.296	0.846	0.626
39	436118	890238	0.159	0.136	0.117	0.087	0.072	0.183	0.338	0.262	0.650	0.570	0.439	0.342	0.889	0.707
40	435990	889276	0.162	0.139	0.114	0.087	0.073	0.165	0.320	0.246	0.627	0.541	0.414	0.317	0.862	0.674
41	435984	889264	0.162	0.140	0.111	0.083	0.072	0.122	0.228	0.174	0.521	0.417	0.292	0.206	0.639	0.461
42	435966	889256	0.162	0.139	0.112	0.084	0.071	0.154	0.312	0.235	0.628	0.534	0.409	0.304	0.862	0.657
43	435952	889238	0.163	0.139	0.111	0.084	0.073	0.147	0.289	0.213	0.598	0.490	0.376	0.267	0.790	0.575
44	435942	889224	0.161	0.139	0.114	0.084	0.072	0.151	0.281	0.202	0.593	0.475	0.368	0.252	0.780	0.550
45	435924	889208	0.161	0.137	0.111	0.084	0.072	0.150	0.281	0.215	0.593	0.499	0.368	0.273	0.764	0.579
46	435904	889194	0.161	0.136	0.112	0.085	0.072	0.157	0.302	0.234	0.615	0.530	0.395	0.301	0.806	0.628
47	435950	889292	0.162	0.137	0.109	0.080	0.069	0.137	0.273	0.204	0.598	0.495	0.364	0.262	0.776	0.572
48	435926	889286	0.161	0.137	0.113	0.085	0.073	0.166	0.316	0.228	0.626	0.515	0.410	0.290	0.842	0.611

ตารางภาคผนวก ข ค่าการสะท้อนและดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 (ต่อ)

แปลง ที่	ตำแหน่ง (UTM)		ค่าการสะท้อน								ดัชนีพืชพรรณ					
	ตะวันออก	เหนือ	Band								NDVI		SAVI		EVI	
			1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	1	2	1	2
49	435928	889272	0.162	0.138	0.115	0.086	0.073	0.162	0.301	0.211	0.608	0.484	0.391	0.263	0.810	0.561
50	435892	889268	0.162	0.138	0.112	0.083	0.071	0.148	0.291	0.208	0.609	0.493	0.383	0.265	0.807	0.574
51	435970	889302	0.163	0.139	0.109	0.081	0.069	0.134	0.255	0.184	0.573	0.452	0.338	0.228	0.738	0.513
52	435982	889300	0.161	0.140	0.116	0.087	0.073	0.167	0.333	0.248	0.641	0.546	0.431	0.320	0.902	0.688
53	435750	889520	0.160	0.136	0.108	0.081	0.066	0.150	0.301	0.230	0.639	0.553	0.406	0.309	0.865	0.674
54	435756	889540	0.162	0.137	0.114	0.085	0.073	0.161	0.309	0.222	0.618	0.506	0.401	0.281	0.825	0.593
55	435736	889558	0.159	0.135	0.113	0.084	0.071	0.162	0.314	0.235	0.630	0.534	0.411	0.304	0.832	0.629
56	435728	889574	0.160	0.137	0.110	0.081	0.068	0.154	0.297	0.221	0.628	0.530	0.397	0.291	0.841	0.634
57	435730	889596	0.161	0.138	0.115	0.087	0.073	0.178	0.360	0.268	0.664	0.573	0.462	0.349	0.942	0.729
58	435720	889612	0.159	0.135	0.110	0.082	0.069	0.156	0.312	0.219	0.636	0.520	0.413	0.285	0.849	0.603
59	435704	889632	0.159	0.137	0.108	0.080	0.065	0.133	0.256	0.197	0.593	0.502	0.348	0.259	0.763	0.582
60	436330	890870	0.164	0.142	0.118	0.090	0.074	0.173	0.338	0.259	0.639	0.554	0.433	0.332	0.914	0.718

ตารางภาคผนวก ข ค่าการสะท้อนและดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 (ต่อ)

แปลง ที่	ตำแหน่ง (UTM)		ค่าการสะท้อน								ดัชนีพืชพรรณ					
	ตะวันออก	เหนือ	Band								NDVI		SAVI		EVI	
			1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	1	2	1	2
61	436336	890888	0.164	0.138	0.112	0.084	0.072	0.160	0.319	0.243	0.630	0.541	0.415	0.313	0.858	0.663
62	436346	890906	0.163	0.143	0.116	0.085	0.073	0.151	0.286	0.211	0.592	0.485	0.371	0.264	0.810	0.593
63	436354	890920	0.163	0.142	0.115	0.084	0.074	0.152	0.314	0.222	0.618	0.499	0.405	0.279	0.865	0.615
64	436376	890932	0.165	0.145	0.116	0.085	0.074	0.150	0.305	0.225	0.608	0.504	0.393	0.283	0.864	0.642
65	436392	890944	0.167	0.145	0.122	0.092	0.077	0.173	0.339	0.254	0.631	0.536	0.430	0.320	0.922	0.707
66	436408	890958	0.166	0.142	0.113	0.089	0.072	0.153	0.296	0.234	0.607	0.527	0.386	0.300	0.837	0.667
67	436430	890962	0.165	0.140	0.117	0.092	0.076	0.169	0.329	0.247	0.626	0.531	0.420	0.312	0.866	0.659
68	436114	889520	0.163	0.140	0.117	0.087	0.074	0.162	0.308	0.229	0.611	0.509	0.397	0.288	0.829	0.616
69	436130	889522	0.160	0.139	0.114	0.086	0.071	0.158	0.278	0.204	0.592	0.481	0.366	0.256	0.783	0.564
70	436158	889528	0.161	0.139	0.119	0.088	0.073	0.177	0.337	0.246	0.642	0.541	0.434	0.316	0.896	0.670
71	436164	889524	0.161	0.139	0.115	0.086	0.072	0.172	0.326	0.245	0.637	0.544	0.423	0.317	0.887	0.680
72	436186	889532	0.163	0.141	0.123	0.094	0.077	0.180	0.327	0.246	0.618	0.522	0.415	0.307	0.855	0.649

ตารางภาคผนวก ข ค่าการสะท้อนและดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 (ต่อ)

แปลง ที่	ตำแหน่ง (UTM)		ค่าการสะท้อน									ดัชนีพืชพรรณ					
	ตะวันออก	เหนือ	Band									NDVI		SAVI		EVI	
			1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	1	2	1	2	
73	436450	889700	0.161	0.137	0.111	0.082	0.071	0.147	0.286	0.217	0.603	0.508	0.376	0.279	0.790	0.598	
74	436440	889724	0.161	0.137	0.112	0.082	0.068	0.151	0.306	0.226	0.635	0.536	0.408	0.298	0.868	0.651	
75	436438	889740	0.162	0.137	0.107	0.083	0.070	0.143	0.279	0.210	0.598	0.498	0.369	0.268	0.779	0.581	
76	435486	890718	0.165	0.140	0.117	0.090	0.075	0.170	0.325	0.249	0.626	0.537	0.417	0.316	0.868	0.673	
77	435466	890722	0.163	0.137	0.107	0.083	0.068	0.145	0.271	0.217	0.597	0.521	0.362	0.284	0.774	0.619	
78	435444	890712	0.161	0.137	0.111	0.084	0.069	0.154	0.301	0.237	0.626	0.548	0.399	0.312	0.841	0.670	
79	435426	890716	0.163	0.138	0.109	0.081	0.071	0.136	0.256	0.192	0.564	0.458	0.335	0.237	0.711	0.514	
80	435526	890676	0.161	0.137	0.107	0.081	0.068	0.140	0.285	0.224	0.613	0.533	0.381	0.295	0.812	0.643	
81	435520	890668	0.160	0.137	0.109	0.082	0.070	0.155	0.317	0.237	0.637	0.542	0.417	0.310	0.871	0.663	
82	435512	890644	0.160	0.137	0.111	0.081	0.070	0.161	0.342	0.250	0.661	0.564	0.448	0.330	0.932	0.706	
83	435712	888374	0.172	0.157	0.132	0.105	0.098	0.140	0.224	0.158	0.393	0.236	0.230	0.120	0.498	0.266	
84	435712	888394	0.172	0.155	0.128	0.103	0.100	0.105	0.135	0.110	0.150	0.046	0.072	0.020	0.153	0.044	

ตารางภาคผนวก ข ค่าการสะท้อนและดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 (ต่อ)

แปลง ที่	ตำแหน่ง (UTM)		ค่าการสะท้อน								ดัชนีพืชพรรณ					
	ตะวันออก	เหนือ	Band								NDVI		SAVI		EVI	
			1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	1	2	1	2
85	435706	888410	0.169	0.151	0.128	0.099	0.089	0.141	0.233	0.174	0.446	0.321	0.262	0.166	0.564	0.365
86	435698	888426	0.174	0.160	0.136	0.113	0.109	0.137	0.185	0.157	0.258	0.180	0.143	0.093	0.297	0.196
87	435684	888436	0.167	0.143	0.116	0.090	0.076	0.143	0.260	0.206	0.549	0.463	0.331	0.250	0.718	0.555
88	435512	888094	0.169	0.146	0.121	0.093	0.081	0.147	0.264	0.208	0.532	0.441	0.326	0.242	0.705	0.535
89	435492	888106	0.168	0.146	0.119	0.093	0.083	0.121	0.188	0.144	0.387	0.266	0.204	0.124	0.443	0.275
90	435468	888104	0.165	0.143	0.111	0.085	0.076	0.116	0.196	0.147	0.443	0.319	0.234	0.147	0.518	0.333
91	435454	888102	0.166	0.146	0.125	0.096	0.083	0.181	0.348	0.255	0.616	0.511	0.428	0.309	0.881	0.653

ภาคผนวก ค

**คำมวลิ่วภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนจากข้อมูลภาคสนามและการประมาณค่า
จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2**

ตารางภาคผนวก ค ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนจากข้อมูลภาคสนามและการประมาณค่าจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2

แปลง ที่	ตำแหน่ง (UTM)		มวลชีวภาพ จากภาคสนาม (kg/m ²)	มวลชีวภาพจากการประมาณค่า (kg/m ²)									
	ตะวันออก	เหนือ		รูปแบบ 1 (MLR1)	รูปแบบ 2 (MLR2)	รูปแบบ 3 (MLR3)	รูปแบบ 4 (MLR4)	รูปแบบ 5 (SMR1)	รูปแบบ 6 (SMR2)	รูปแบบ 7 (SMR3)	รูปแบบ 8 (SMR4)	รูปแบบ 9 (ANNs)	รูปแบบ 10 (ANNs-S)
1	435848	889736	14.752	22.428	23.861	22.416	26.402	24.159	24.810	19.954	28.326	16.657	22.353
2	435860	889752	17.702	17.887	17.444	18.042	17.276	18.139	15.623	16.917	18.570	20.005	24.481
3	435868	889792	49.813	26.598	26.304	25.475	28.043	23.014	20.783	19.818	26.706	31.325	35.178
4	435874	889812	24.049	22.742	23.673	22.641	25.625	22.405	14.191	18.639	25.348	26.394	40.553
5	435780	890644	16.598	23.561	23.392	22.474	25.264	22.375	15.299	16.428	25.142	17.647	17.795
6	435832	890678	15.257	18.970	18.999	19.322	19.890	18.649	22.827	18.806	20.208	16.439	17.302
7	435802	890704	10.865	15.534	15.646	15.358	16.140	16.424	18.174	16.494	15.363	13.713	14.298
8	435780	890686	13.710	19.182	19.053	20.529	18.011	21.494	21.074	21.846	22.243	16.245	24.164
9	436136	890880	10.742	11.719	11.579	13.290	5.662	18.576	13.522	13.184	9.878	19.341	21.967
10	436132	890858	10.554	22.505	22.168	22.466	20.435	17.277	19.978	16.568	18.118	17.603	16.015
11	436138	890840	17.803	12.958	12.033	13.353	12.724	15.215	22.587	22.072	14.813	11.170	13.603
12	436152	890934	42.793	22.684	22.327	22.737	23.396	22.625	22.566	19.929	23.803	18.489	20.739
13	436154	890958	12.634	23.772	24.798	24.863	25.790	18.976	27.711	25.197	21.466	34.241	24.927
14	436150	890976	14.519	22.905	22.954	23.632	22.340	26.388	17.021	18.612	26.490	19.665	23.091
15	436156	890992	41.336	18.737	18.632	20.279	20.253	16.315	23.515	20.740	18.243	24.235	22.209
16	436200	890922	5.339	16.639	16.476	16.966	16.565	15.805	14.645	16.994	14.771	16.189	19.112

ตารางภาคผนวก ค ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนจากข้อมูลภาคสนามและการประมาณค่าจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 (ต่อ)

แปลง ที่	ตำแหน่ง (UTM)		มวลชีวภาพ จากภาคสนาม (kg/m ²)	มวลชีวภาพจากการประมาณค่า (kg/m ²)									
	ตะวันออก	เหนือ		รูปแบบ 1 (MLR1)	รูปแบบ 2 (MLR2)	รูปแบบ 3 (MLR3)	รูปแบบ 4 (MLR4)	รูปแบบ 5 (SMR1)	รูปแบบ 6 (SMR2)	รูปแบบ 7 (SMR3)	รูปแบบ 8 (SMR4)	รูปแบบ 9 (ANNs)	รูปแบบ 10 (ANNs-S)
17	436188	890936	7.623	19.660	19.550	20.736	21.008	19.378	18.617	17.561	23.105	17.127	20.970
18	436192	890962	15.103	14.763	15.355	15.626	16.540	17.215	19.154	18.031	15.203	19.024	18.095
19	436190	890980	15.715	13.762	13.280	15.843	11.667	16.422	16.112	17.856	11.997	24.510	23.359
20	435910	890118	15.801	13.985	14.662	14.222	9.993	9.918	19.651	18.217	8.145	16.716	14.396
21	435906	890086	18.174	12.748	13.088	11.842	13.300	12.938	22.587	21.805	12.824	13.354	13.040
22	435910	890068	12.868	13.951	14.254	13.717	14.703	14.405	23.056	21.700	16.226	11.284	11.827
23	435908	890046	13.172	13.002	12.625	13.033	12.731	15.723	16.395	14.336	15.471	18.014	22.982
24	435792	890070	10.619	14.445	15.056	14.808	13.145	12.913	24.665	21.785	12.242	13.957	14.979
25	435794	890052	15.247	17.901	18.498	18.132	18.705	18.568	21.943	17.926	20.541	13.291	15.157
26	435788	890032	9.088	14.339	15.087	14.937	15.760	14.914	23.777	22.974	16.298	12.067	12.234
27	435794	889998	14.430	19.348	20.018	19.589	18.167	16.524	21.489	21.561	17.584	18.771	19.621
28	436018	890224	28.735	22.257	22.719	21.998	24.597	21.603	14.678	15.931	25.239	23.810	26.835
29	436038	890224	31.483	16.271	16.539	16.840	18.949	18.020	19.997	19.820	20.517	19.186	24.110
30	436056	890228	19.615	15.995	15.895	13.900	16.192	15.709	16.800	18.770	13.676	18.888	18.710
31	436108	890222	13.489	11.352	10.355	8.913	8.918	13.918	15.145	16.670	9.346	15.707	13.712
32	436032	890258	30.079	17.246	17.008	16.032	16.735	19.154	14.564	15.882	18.104	16.779	20.038

ตารางภาคผนวก ค ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนจากข้อมูลภาคสนามและการประมาณค่าจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 (ต่อ)

แปลง ที่	ตำแหน่ง (UTM)		มวลชีวภาพ จากภาคสนาม (kg/m ²)	มวลชีวภาพจากการประมาณค่า (kg/m ²)									
	ตะวันออก	เหนือ		รูปแบบ 1 (MLR1)	รูปแบบ 2 (MLR2)	รูปแบบ 3 (MLR3)	รูปแบบ 4 (MLR4)	รูปแบบ 5 (SMR1)	รูปแบบ 6 (SMR2)	รูปแบบ 7 (SMR3)	รูปแบบ 8 (SMR4)	รูปแบบ 9 (ANNs)	รูปแบบ 10 (ANNs-S)
33	436050	890254	18.836	12.245	12.179	11.290	12.693	14.058	11.441	12.137	13.635	12.823	10.476
34	436074	890254	22.518	12.946	12.275	12.011	11.371	15.632	12.947	15.144	13.669	23.278	26.339
35	436106	890254	10.479	14.425	14.128	14.166	13.491	15.653	15.536	16.350	15.705	15.590	19.593
36	436118	890238	9.935	13.015	11.584	11.858	17.740	13.509	13.435	13.713	17.962	9.270	8.888
37	435990	889276	10.866	18.762	17.871	18.745	18.509	20.958	15.546	15.210	20.538	14.653	18.148
38	435966	889256	7.879	20.947	20.779	20.502	19.925	23.042	18.070	16.365	21.615	16.658	21.276
39	435952	889238	12.508	20.103	20.088	20.630	20.311	19.117	13.967	13.384	19.880	17.597	18.647
40	435942	889224	18.043	13.398	14.184	14.159	14.338	13.816	12.827	16.921	14.080	11.643	11.908
41	435924	889208	8.358	14.382	14.297	14.955	13.737	13.637	15.574	15.255	14.165	12.996	12.267
42	435904	889194	21.077	21.147	20.817	20.922	25.279	19.988	13.561	16.275	26.818	16.575	16.563
43	435950	889292	17.853	20.882	21.008	21.087	21.127	19.148	22.769	21.751	19.639	19.055	23.417
44	435926	889286	11.057	13.764	13.496	14.326	12.174	14.026	14.777	17.221	13.275	11.978	12.755
45	435928	889272	11.597	16.105	17.472	16.909	13.123	14.017	19.284	18.754	12.071	15.872	13.235
46	435892	889268	14.070	20.798	21.641	21.112	22.301	19.491	14.234	13.364	21.420	16.461	18.638
47	435970	889302	16.915	17.405	16.992	17.611	23.287	16.818	14.606	11.687	20.378	15.048	15.559
48	435982	889300	5.566	20.850	20.305	20.763	18.046	25.037	15.505	14.398	22.491	14.140	19.548

ตารางภาคผนวก ค ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนจากข้อมูลภาคสนามและการประมาณค่าจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 (ต่อ)

แปลง ที่	ตำแหน่ง (UTM)		มวลชีวภาพ จากภาคสนาม (kg/m ²)	มวลชีวภาพจากการประมาณค่า (kg/m ²)									
	ตะวันออก	เหนือ		รูปแบบ 1 (MLR1)	รูปแบบ 2 (MLR2)	รูปแบบ 3 (MLR3)	รูปแบบ 4 (MLR4)	รูปแบบ 5 (SMR1)	รูปแบบ 6 (SMR2)	รูปแบบ 7 (SMR3)	รูปแบบ 8 (SMR4)	รูปแบบ 9 (ANNs)	รูปแบบ 10 (ANNs-S)
49	435750	889520	15.898	19.659	19.929	18.196	17.139	22.407	24.399	21.775	18.918	21.321	23.223
50	435756	889540	12.392	18.286	18.947	18.673	16.123	15.589	16.763	16.366	14.975	15.279	14.319
51	435736	889558	18.290	16.382	16.004	16.126	17.529	15.296	14.328	15.938	18.877	14.050	13.536
52	435728	889574	12.345	13.917	14.502	13.415	14.602	14.941	20.299	21.189	13.604	14.508	16.287
53	435730	889596	14.201	23.094	20.107	22.222	20.313	24.195	15.786	18.239	22.206	13.728	14.699
54	435704	889632	19.999	17.818	17.446	18.917	16.429	20.522	17.958	16.645	19.137	17.532	21.512
55	436330	890870	21.446	24.204	24.163	24.071	17.573	25.130	20.338	21.209	16.938	23.755	22.815
56	436336	890888	17.974	19.922	19.305	18.943	20.355	16.455	29.742	28.839	15.583	18.073	16.407
57	436346	890906	21.549	13.617	14.743	14.345	18.906	16.708	31.483	25.549	17.987	17.051	15.009
58	436354	890920	24.666	17.146	17.741	18.100	20.818	20.423	16.100	16.907	21.574	16.933	23.876
59	436376	890932	31.530	20.420	22.373	20.942	22.715	23.137	17.360	16.154	20.397	25.781	23.927
60	436392	890944	42.074	30.776	32.730	31.553	24.226	29.392	13.444	16.130	20.731	42.258	35.572
61	436408	890958	29.388	30.072	31.211	29.266	25.108	29.044	22.352	20.510	22.770	28.975	23.521
62	436430	890962	44.096	33.229	33.256	33.564	36.327	29.465	21.970	20.406	34.845	33.178	33.761
63	436114	889520	11.590	18.181	19.024	18.659	18.649	16.184	23.943	22.820	16.443	19.900	16.322
64	436130	889522	9.475	9.563	10.271	10.585	13.282	13.158	20.250	23.225	15.228	8.701	8.781

ตารางภาคผนวก ค ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าชายเลนจากข้อมูลภาคสนามและการประมาณค่าจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 (ต่อ)

แปลง ที่	ตำแหน่ง (UTM)		มวลชีวภาพ จากภาคสนาม (kg/m ²)	มวลชีวภาพจากการประมาณค่า (kg/m ²)									
	ตะวันออก	เหนือ		รูปแบบ 1 (MLR1)	รูปแบบ 2 (MLR2)	รูปแบบ 3 (MLR3)	รูปแบบ 4 (MLR4)	รูปแบบ 5 (SMR1)	รูปแบบ 6 (SMR2)	รูปแบบ 7 (SMR3)	รูปแบบ 8 (SMR4)	รูปแบบ 9 (ANNs)	รูปแบบ 10 (ANNs-S)
65	436158	889528	15.911	18.719	18.980	18.532	17.684	18.145	11.188	13.957	17.236	16.935	14.695
66	436164	889524	10.816	10.506	9.904	10.437	8.236	14.996	19.065	14.139	10.415	9.429	11.638
67	436186	889532	46.480	21.232	21.936	22.989	23.533	21.025	18.292	17.323	25.155	32.773	36.111
68	436450	889700	19.112	16.458	16.176	16.676	16.031	16.652	14.853	20.272	16.659	15.279	17.838
69	436440	889724	15.431	23.533	24.901	22.517	24.159	23.618	21.709	24.602	23.549	18.079	23.153
70	436438	889740	16.595	20.430	19.784	20.786	21.385	20.776	19.591	17.539	22.553	18.542	18.449
71	435486	890718	14.717	25.794	25.764	25.798	26.997	23.363	17.956	15.629	24.531	26.166	24.182
72	435466	890722	10.945	19.269	18.438	18.834	17.330	19.314	18.057	14.423	16.988	18.055	13.689
73	435426	890716	13.935	13.586	12.676	14.072	8.589	11.756	14.664	17.757	6.767	13.855	11.908
74	435712	888374	15.766	19.702	15.861	15.038	13.366	20.511	23.870	23.486	15.776	17.602	20.107
75	435706	888410	20.954	21.227	19.706	20.006	17.765	18.749	13.043	13.628	16.896	26.464	27.002
76	435698	888426	15.116	11.466	14.487	13.033	15.590	14.412	27.100	26.489	16.094	12.709	12.343
77	435512	888094	33.273	25.379	24.868	26.766	30.846	21.781	15.534	18.627	26.456	37.808	31.127

ภาคผนวก ง

ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนจากข้อมูลภาคสนามและการประมาณค่าจาก
ข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2

ตารางภาคผนวก ง ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนจากข้อมูลภาคสนามและการประมาณค่าจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2

แปลง ที่	ตำแหน่ง (UTM)		ดัชนีพื้นที่ ผิวใบจาก ภาคสนาม	ดัชนีพื้นที่ผิวใบจากการประมาณค่า										
	ตะวันออก	เหนือ		รูปแบบ 1 (MLR1)	รูปแบบ 2 (MLR2)	รูปแบบ 3 (MLR3)	รูปแบบ 4 (MLR4)	รูปแบบ 5 (SMR1)	รูปแบบ 6 (SMR2)	รูปแบบ 7 (SMR3)	รูปแบบ 8 (SMR4)	รูปแบบ 9 (ANNs)	รูปแบบ 10 (ANNs-S)	รูปแบบ 11 (ANNs-S2)
1	435848	889736	2.980	3.454	3.484	3.450	3.500	3.421	3.386	3.303	3.386	3.455	3.528	3.354
2	435860	889752	4.370	3.628	3.628	3.750	3.542	3.596	3.612	3.655	3.612	3.504	3.488	3.633
3	435868	889792	3.420	3.479	3.249	3.236	3.300	3.575	3.409	3.205	3.409	3.326	3.166	3.252
4	435874	889812	3.610	3.298	3.207	3.338	3.102	3.561	3.411	3.217	3.411	3.329	3.336	3.216
5	435780	890644	4.230	3.338	3.165	3.045	3.250	3.451	3.264	3.088	3.264	3.401	3.432	3.494
6	435832	890678	3.650	3.609	3.534	3.545	3.553	3.433	3.384	3.491	3.384	3.514	3.519	3.602
7	435802	890704	4.040	3.701	3.603	3.647	3.598	3.574	3.484	3.678	3.484	3.622	3.678	3.706
8	435780	890686	3.950	2.677	3.004	3.029	2.942	3.296	3.433	2.993	3.433	3.507	3.657	3.689
9	436136	890880	3.550	3.711	4.181	4.271	4.071	3.639	3.997	4.214	3.997	3.489	3.683	3.495
10	436132	890858	4.410	3.431	3.509	3.431	3.596	3.379	3.576	3.385	3.576	3.345	3.183	3.444
11	436138	890840	3.590	3.617	3.505	3.591	3.471	3.557	3.408	3.549	3.408	3.392	3.463	3.604
12	436152	890934	3.480	3.741	3.620	3.659	3.609	3.655	3.572	3.571	3.572	3.597	3.658	3.794
13	436154	890958	3.310	3.435	3.690	3.576	3.732	3.269	3.658	3.627	3.658	3.529	3.633	3.670
14	436150	890976	3.550	3.186	3.190	3.329	3.116	3.414	3.290	3.290	3.290	3.647	3.782	3.806
15	436156	890992	3.770	3.504	3.979	3.864	3.962	3.456	4.017	3.915	4.017	3.647	3.443	3.855
16	436200	890922	3.540	3.604	3.602	3.657	3.565	3.590	3.632	3.655	3.632	3.718	3.772	3.913

ตารางภาคผนวก ง ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนจากข้อมูลภาคสนามและการประมาณค่าจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 (ต่อ)

แปลง ที่	ตำแหน่ง (UTM)		ดัชนีพื้นที่ ผิวใบจาก ภาคสนาม	ดัชนีพื้นที่ผิวใบจากการประมาณค่า										
	ตะวันออก	เหนือ		รูปแบบ 1 (MLR1)	รูปแบบ 2 (MLR2)	รูปแบบ 3 (MLR3)	รูปแบบ 4 (MLR4)	รูปแบบ 5 (SMR1)	รูปแบบ 6 (SMR2)	รูปแบบ 7 (SMR3)	รูปแบบ 8 (SMR4)	รูปแบบ 9 (ANNs)	รูปแบบ 10 (ANNs-S)	รูปแบบ 11 (ANNs-S2)
17	436188	890936	3.590	3.243	3.647	3.505	3.669	3.307	3.691	3.472	3.691	3.463	3.504	3.640
18	436192	890962	3.800	3.876	3.983	3.922	4.046	3.752	3.861	3.841	3.861	3.762	3.873	3.836
19	436190	890980	3.540	3.368	3.571	3.769	3.365	3.590	3.716	3.850	3.716	3.653	3.756	3.644
20	435910	890118	3.070	3.148	3.740	3.716	3.654	3.130	3.783	3.838	3.783	3.352	3.182	3.296
21	435906	890086	3.460	3.080	2.871	2.881	2.912	3.267	2.959	3.022	2.959	3.224	3.260	3.171
22	435910	890068	2.830	2.890	2.957	2.878	3.011	3.134	3.080	2.977	3.080	3.263	3.321	3.304
23	435908	890046	3.700	3.354	3.309	3.442	3.232	3.514	3.366	3.417	3.366	3.318	3.402	3.410
24	435792	890070	3.770	3.226	3.402	3.470	3.311	3.218	3.396	3.535	3.396	3.489	3.700	3.440
25	435794	890052	3.440	3.351	3.349	3.398	3.325	3.295	3.252	3.337	3.252	3.475	3.501	3.491
26	435788	890032	3.800	3.318	3.451	3.470	3.401	3.200	3.308	3.513	3.308	3.531	3.537	3.423
27	435794	889998	3.650	3.119	3.365	3.390	3.294	3.166	3.431	3.440	3.431	3.412	3.327	3.302
28	436018	890224	2.850	3.595	3.368	3.521	3.290	3.490	3.277	3.414	3.277	3.331	3.371	3.202
29	436038	890224	3.370	3.986	3.783	4.055	3.585	3.649	3.476	3.843	3.476	3.464	3.407	3.431
30	436056	890228	3.360	3.803	3.003	3.244	3.021	3.702	2.903	3.206	2.903	3.114	3.015	3.000
31	436108	890222	2.670	3.319	2.821	2.854	2.829	3.601	2.965	3.023	2.965	3.048	3.139	3.124
32	436032	890258	2.030	3.575	3.077	3.260	3.075	3.633	3.061	3.153	3.061	3.178	3.213	3.204

ตารางภาคผนวก ง ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนจากข้อมูลภาคสนามและการประมาณค่าจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 (ต่อ)

แปลง ที่	ตำแหน่ง (UTM)		ดัชนีพื้นที่ ผิวใบจาก ภาคสนาม	ดัชนีพื้นที่ผิวใบจากการประมาณค่า										
	ตะวันออก	เหนือ		รูปแบบ 1 (MLR1)	รูปแบบ 2 (MLR2)	รูปแบบ 3 (MLR3)	รูปแบบ 4 (MLR4)	รูปแบบ 5 (SMR1)	รูปแบบ 6 (SMR2)	รูปแบบ 7 (SMR3)	รูปแบบ 8 (SMR4)	รูปแบบ 9 (ANNs)	รูปแบบ 10 (ANNs-S)	รูปแบบ 11 (ANNs-S2)
33	436050	890254	2.850	3.332	3.241	3.169	3.317	3.364	3.190	3.319	3.190	3.301	3.250	3.306
34	436074	890254	2.710	3.186	3.165	3.155	3.200	3.533	3.376	3.266	3.376	3.172	3.274	3.217
35	436106	890254	3.110	3.201	2.989	3.155	2.929	3.408	3.093	3.112	3.093	3.218	3.259	3.311
36	436118	890238	2.920	2.975	2.595	2.371	2.661	3.213	2.718	2.584	2.718	3.009	3.058	3.107
37	435990	889276	2.940	3.602	3.495	3.565	3.406	3.636	3.486	3.562	3.486	3.464	3.594	3.697
38	435966	889256	2.540	3.651	3.532	3.607	3.503	3.707	3.545	3.522	3.545	3.508	3.634	3.603
39	435952	889238	3.460	3.798	3.858	3.897	3.816	3.566	3.718	3.789	3.718	3.749	3.782	3.962
40	435942	889224	3.300	3.347	3.426	3.420	3.376	3.227	3.294	3.405	3.294	3.712	3.695	3.718
41	435924	889208	3.090	3.188	3.812	3.627	3.859	3.261	3.886	3.726	3.886	3.585	3.611	3.390
42	435904	889194	3.730	3.292	3.698	3.334	3.866	3.351	3.763	3.344	3.763	3.380	3.369	3.585
43	435950	889292	3.480	3.317	3.409	3.387	3.396	3.405	3.527	3.416	3.527	3.676	3.709	3.707
44	435926	889286	4.070	3.850	3.794	3.955	3.731	3.505	3.507	3.833	3.507	3.476	3.415	3.852
45	435928	889272	4.210	3.633	3.746	3.878	3.634	3.227	3.428	3.776	3.428	3.660	3.547	3.610
46	435892	889268	3.760	3.652	3.586	3.635	3.537	3.428	3.424	3.515	3.424	3.677	3.650	3.683
47	435970	889302	3.260	3.658	3.423	3.183	3.497	3.404	3.261	3.165	3.261	3.858	3.927	3.553
48	435982	889300	5.140	3.651	3.560	3.668	3.505	3.673	3.494	3.514	3.494	3.362	3.542	3.533

ตารางภาคผนวก ง ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนจากข้อมูลภาคสนามและการประมาณค่าจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 (ต่อ)

แปลง ที่	ตำแหน่ง (UTM)		ดัชนีพื้นที่ ผิวใบจาก ภาคสนาม	ดัชนีพื้นที่ผิวใบจากการประมาณค่า										
	ตะวันออก	เหนือ		รูปแบบ 1 (MLR1)	รูปแบบ 2 (MLR2)	รูปแบบ 3 (MLR3)	รูปแบบ 4 (MLR4)	รูปแบบ 5 (SMR1)	รูปแบบ 6 (SMR2)	รูปแบบ 7 (SMR3)	รูปแบบ 8 (SMR4)	รูปแบบ 9 (ANNs)	รูปแบบ 10 (ANNs-S)	รูปแบบ 11 (ANNs-S2)
49	435750	889520	3.470	3.719	3.714	3.724	3.724	3.732	3.671	3.707	3.671	3.331	3.417	3.324
50	435756	889540	3.100	3.580	3.652	3.741	3.603	3.331	3.488	3.672	3.488	3.544	3.445	3.578
51	435736	889558	3.590	3.206	3.366	3.217	3.447	3.292	3.428	3.221	3.428	3.215	3.164	3.358
52	435728	889574	3.090	3.521	3.440	3.479	3.437	3.502	3.383	3.544	3.383	3.443	3.487	3.773
53	435730	889596	3.070	3.854	3.267	3.346	3.251	3.795	3.241	3.237	3.241	3.119	3.136	3.323
54	435704	889632	3.480	3.104	3.506	3.470	3.510	3.311	3.632	3.563	3.632	3.624	3.773	3.553
55	436330	890870	2.540	3.717	3.821	3.983	3.600	3.717	3.830	4.029	3.830	3.536	3.679	3.669
56	436336	890888	3.820	3.600	3.310	3.280	3.342	3.652	3.444	3.399	3.444	3.506	3.464	3.634
57	436346	890906	3.530	3.242	3.283	3.123	3.386	3.387	3.315	3.168	3.315	3.752	3.702	3.704
58	436354	890920	4.070	3.684	3.809	3.671	3.920	3.741	3.810	3.468	3.810	3.720	3.874	3.611
59	436376	890932	4.550	3.636	4.234	3.934	4.361	3.776	4.326	3.905	4.326	3.786	3.936	3.840
60	436392	890944	4.240	3.624	4.265	4.209	4.182	3.605	4.311	4.240	4.311	3.645	3.675	3.365
61	436408	890958	4.270	3.841	3.882	4.004	3.788	3.690	3.809	4.063	3.809	3.747	3.939	3.893
62	436430	890962	3.640	4.039	3.892	3.812	3.948	3.582	3.628	3.658	3.628	3.625	3.596	3.716
63	436114	889520	2.720	3.158	3.216	3.181	3.244	3.246	3.295	3.257	3.295	3.583	3.578	3.574
64	436130	889522	4.510	3.502	3.531	3.507	3.521	3.204	3.176	3.494	3.176	3.724	3.699	3.679

ตารางภาคผนวก ง ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนจากข้อมูลภาคสนามและการประมาณค่าจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 (ต่อ)

แปลง ที่	ตำแหน่ง (UTM)		ดัชนีพื้นที่ ผิวใบจาก ภาคสนาม	ดัชนีพื้นที่ผิวใบจากการประมาณค่า										
	ตะวันออก	เหนือ		รูปแบบ 1 (MLR1)	รูปแบบ 2 (MLR2)	รูปแบบ 3 (MLR3)	รูปแบบ 4 (MLR4)	รูปแบบ 5 (SMR1)	รูปแบบ 6 (SMR2)	รูปแบบ 7 (SMR3)	รูปแบบ 8 (SMR4)	รูปแบบ 9 (ANNs)	รูปแบบ 10 (ANNs-S)	รูปแบบ 11 (ANNs-S2)
65	436158	889528	2.490	3.218	2.970	2.976	3.052	3.260	2.968	2.991	2.968	3.320	3.350	3.262
66	436164	889524	3.260	3.711	3.579	3.726	3.491	3.642	3.425	3.738	3.425	3.390	3.547	3.965
67	436186	889532	3.690	3.123	3.411	3.311	3.416	3.072	3.325	3.326	3.325	3.486	3.396	3.241
68	436450	889700	3.240	3.275	3.448	3.428	3.448	3.421	3.563	3.473	3.563	3.576	3.648	3.740
69	436440	889724	3.040	3.371	3.334	3.286	3.394	3.501	3.408	3.247	3.408	3.423	3.495	3.332
70	436438	889740	3.570	4.043	4.089	4.126	4.059	3.672	3.828	4.000	3.828	3.754	3.756	3.944
71	435486	890718	3.590	3.712	3.559	3.549	3.531	3.543	3.483	3.579	3.483	3.589	3.612	3.663
72	435466	890722	4.020	3.733	3.785	3.756	3.871	3.569	3.689	3.885	3.689	3.714	3.771	3.803
73	435426	890716	4.590	3.367	3.781	3.755	3.711	3.315	3.820	3.859	3.820	3.780	3.849	4.053
74	435712	888374	2.200	3.055	0.833	0.637	1.183	2.629	0.440	0.271	0.440	2.024	2.006	2.062
75	435712	888394	2.070	1.929	2.075	2.075	2.067	1.941	2.071	2.075	2.071	2.260	2.214	2.198
76	435706	888410	1.780	2.489	1.685	1.749	1.742	2.507	1.706	1.717	1.706	1.537	1.323	1.248
77	435512	888094	1.680	2.937	2.084	2.462	2.007	3.053	2.232	2.615	2.232	2.108	2.160	2.028