



การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา
โดยใช้การสำรวจระยะไกล กรณีศึกษา ตำบลป่าคลอก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต
**Estimation of Above Ground Biomass and Leaf Area Index of the Rubber
Plantations by Remote Sensing: A Case Study of Paklok sub-district,
Thalang district, Phuket Province**

กาญจนา ย่าเสน

Kanjana Yasen

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

ชื่อวิทยานิพนธ์	การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลง ยางพาราโดยใช้การสำรวจระยะไกล กรณีศึกษา ตำบลป่าคอก อำเภอดง จังหวัดภูเก็ต
ผู้เขียน	นางสาวกาญจนา ย่าเสน
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....

(ดร.วีระพงศ์ เกิดสิน)

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พันธ์ ทองชุมนุม)

.....กรรมการ

(ดร.วีระพงศ์ เกิดสิน)

.....กรรมการ

(ดร.รวี รัตนาคม)

.....กรรมการ

(ดร.วิโรจน์ ละอองมณี)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและ
การจัดการสิ่งแวดล้อม

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ _____

(ดร.วิระพงษ์ เกิดสิน)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ _____

(นางสาวกาญจนา ช่างแสน)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ _____

(นางสาวกาญจนา ช่างแสน)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราโดยใช้การสำรวจระยะไกล ภูมิศึกษา ตำบลป่าคลอก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต
ผู้เขียน	นางสาวกาญจนา ย่าเสน
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราโดยใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียมร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม ค่าการสะท้อนพลังงานและดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Worldview-2 นำมาใช้เป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนและโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา ในตำบลป่าคลอก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต ทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม 89 ชุด แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลในการสร้างแบบจำลอง 62 ชุด และข้อมูลในการทดสอบ 27 ชุด ผลการศึกษาพบว่า การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมมีความถูกต้องสูงสุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และมีค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.648 และ 0.257 ตามลำดับ โดยมีความวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพารา ในตำบลป่าคลอก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ตเท่ากับ 1.619 ton/ha และการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมให้ความถูกต้องสูงสุดเช่นเดียวกัน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และมีค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.793 และ 0.366 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา ในตำบลป่าคลอก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ตเท่ากับ 62.970 ha/ha ทั้งนี้ผู้วิจัยคาดหวังว่าขั้นตอนและวิธีการในการศึกษานี้จะสามารถเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นๆ ที่มีระบบนิเวศน์ใกล้เคียงกันได้

คำสำคัญ: ยางพารา มวลชีวภาพ ดัชนีพื้นที่ผิวใบ การสำรวจระยะไกล โครงข่ายประสาทเทียม

Thesis Title	Estimation of Above Ground Biomass and Leaf Area Index of the Rubber Plantations by Remote Sensing: A Case Study of Paklok sub-district, Thalang district, Phuket Province
Author	Miss Kanjana Yasen
Major Program	Technology and Environmental Management
Academic	2014

ABSTRACT

The objective of this study was to estimation the Above Ground Biomass (AGB) and Leaf Area Index (LAI) of the rubber plantations using remote sensing techniques with assisted by field survey data. The spectral bands and vegetation indices from WorldView-2 imagery were used as input variables of Multiple Linear Regression (MLR), Stepwise Multiple Regression (SMR) and Artificial Neural Networks (ANNs) for estimate the AGB and LAI of the rubber plantations at Paklok sub-district, Thalang district, Phuket Province. The 89 samples from field survey was divided by 62 for calibration and 27 for test data sets. The results showed that ANNs provided the highest accuracy for estimation of AGB by R^2 and RMSE are 0.648 and 0.257 respectively. The estimated of AGB of the rubber plantations at Paklok sub-district, Thalang district, Phuket Province by the model is 1.619 ton/ha. Likewise the AGB case, the ANNs provided the highest accuracy for estimation of LAI by R^2 and RMSE are 0.793 and 0.366 respectively. The estimated of LAI of the area by model is 62.970 ha/ha. We hope that the methodology presented in this study can be used as a guideline for study in other area.

Keywords: Rubber Tree, Biomass, Leaf Area Index, Remote Sensing, Artificial Neural Networks

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	(5)
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการรูป	(12)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(16)
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 ยางพารา (Para Rubber)	5
2.2 ค่ามวลชีวภาพของพืช (Biomass)	9
2.3 ดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index, LAI)	10
2.4 ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices)	12
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	18
3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย	19
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	19
3.3 พื้นที่ศึกษา	19
3.4 ข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2	21
3.5 การปรับแก้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเบื้องต้น	22
3.6 การสำรวจภาคสนามและการวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง	36
บทที่ 4 ผลและบทวิจารณ์ผลการวิจัย	39
4.1 ผลการสำรวจภาคสนาม	39
4.2 การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2	44
4.3 การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2	64
บทที่ 5 บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	81
5.1 สรุปผลการวิจัย	81
5.2 ข้อเสนอแนะ	82
เอกสารอ้างอิง	84
ภาคผนวก	88
ภาคผนวก ก การสำรวจภาคสนาม	89
ภาคผนวก ข ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ค่าดัชนีพืชพรรณ ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม	92
ภาคผนวก ค การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ในรูปแบบที่ 1 - รูปแบบที่ 8	99
ภาคผนวก ง การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ในรูปแบบที่ 9	108
ภาคผนวก จ การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ในรูปแบบที่ 10	113
ภาคผนวก ฉ การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ในรูปแบบที่ 1 - รูปแบบที่ 8	118

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราจากข้อมูล ภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ในรูปแบบที่ 9	126
ภาคผนวก ซ การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราจากข้อมูล ภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ในรูปแบบที่ 10	131
ประวัติผู้เขียน	136

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 คุณลักษณะของดาวเทียม WorldView-2	21
3.2 รูปแบบการแทนค่าสมการดัชนีพืชพรรณโดยใช้ข้อมูลช่วงคลื่นจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2	28
3.3 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง	30
3.4 วิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามกับข้อมูลค่าการสะท้อนแต่ละช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม	35
4.1 ข้อมูลมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ)	40
4.2 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน	45
4.3 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ	64

รายการรูป

รูปที่	หน้า
3.1	18
3.2	20
3.3	25
3.4	26
3.5	27
3.6	31
3.7	32
4.1	47
4.2	48
4.3	50
4.4	51
4.5	52
4.6	53

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนามกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนในรูปแบบที่ 5 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)	54
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนามกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนในรูปแบบที่ 6 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)	55
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนามกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนในรูปแบบที่ 7 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)	56
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนามกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนในรูปแบบที่ 8 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)	57
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนามกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 9 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)	58
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนามกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 10 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)	59
4.13 แผนที่มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 จากการประมาณค่าโดยสมการที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม	61
4.14 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layered Perceptron: MLP) ของรูปแบบที่ 9 สำหรับดัชนีพื้นที่ผิวใบ	66

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layered Perceptron: MLP) ของรูปแบบที่ 10 สำหรับดัชนีพื้นที่ผิวใบ	67
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุในรูปแบบที่ 1 ของข้อมูลฝักฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)	68
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุในรูปแบบที่ 2 ของข้อมูลฝักฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)	69
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุในรูปแบบที่ 3 ของข้อมูลฝักฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)	70
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุในรูปแบบที่ 4 ของข้อมูลฝักฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)	71
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนในรูปแบบที่ 5 ของข้อมูลฝักฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)	72
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนในรูปแบบที่ 6 ของข้อมูลฝักฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)	73
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนในรูปแบบที่ 7 ของข้อมูลฝักฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)	74
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนในรูปแบบที่ 8 ของข้อมูลฝักฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)	75

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 9 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)	76
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 10 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)	77
4.26 แผนที่ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ของยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมWorldView-2 จากการประมาณค่าโดยสมการที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม	79

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ยางพารา (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) เป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยและภูมิภาคอาเซียน ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกอันดับหนึ่งของโลก โดยมีพื้นที่ปลูกยาง 18.76 ล้านไร่ ข้อมูลการส่งออกยางดิบ ผลิตภัณฑ์ยางรวมทั้งอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ไม้อยางพาราทำรายได้ให้ประเทศ 687,972 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2553 ร้อยละ 38.77 ซึ่งมีมูลค่า 489,224 ล้านบาท (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2555)

สวนยางพาราในประเทศไทย เป็นแหล่งที่สำคัญของยางธรรมชาติและผลิตภัณฑ์ไม้ ทรัพยากรเหล่านี้จำเป็นต้องมีการจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ และกำหนดนโยบายที่เหมาะสม ซึ่งจำเป็นต้องมีข้อมูลที่เชื่อถือได้ ปัจจุบันการจะได้มาซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะต้องมีการลงเก็บข้อมูลในภาคสนามด้วยวิธีการสุ่มเก็บข้อมูล ซึ่งหากต้องการประเมินผลผลิตมวลรวมในพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ มักจะพบกับปัญหาของการขาดกำลังคนและงบประมาณที่ต้องใช้ในการสำรวจ (Suratman *et al.*, 2004) นอกจากนี้หากมีความจำเป็นในการสำรวจเพื่อทำการติดตามในทุกปีก็จะยิ่งประสบปัญหา ดังนั้นเทคนิคการสำรวจระยะไกลจึงมีบทบาทสำคัญในการสำรวจข้อมูล เนื่องจากสามารถทำการสำรวจได้อย่างรวดเร็ว และสามารถทำการสำรวจได้บ่อยครั้งและเหมาะสมกับพื้นที่ขนาดใหญ่

ยางพาราเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญในการช่วยดูดซับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอน (ดำรงค์ ศรีพระราม, และคณะ, 2554; สุจินต์ แม้นเหมือน, 2556) โดยการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมไว้ในรูปของมวลชีวภาพเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ค่ามวลชีวภาพมีความสำคัญอย่างยิ่งในการวิเคราะห์ความสามารถในการให้ผลผลิต ปริมาณการสะสมของคาร์บอนและกระบวนการผลิตของป่า เนื่องจากผลผลิตสุทธิของหมู่มักมีความสัมพันธ์ไปทางเดียวกับค่ามวลชีวภาพและดัชนีพื้นที่ผิวใบ (พงษ์ศักดิ์ สหุณาพ,

2538) นอกจากนี้ค่ามวลชีวภาพเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในการอธิบายระบบภูมิอากาศ และเป็นตัวแปรที่ใช้ในหลายแบบจำลอง เช่น การแลกเปลี่ยนพลังงานกับชั้นบรรยากาศ (Bacour *et al.*, 2002) วัฏจักรคาร์บอนและแบบจำลองทางด้านอุทกวิทยา (Weiss and Baret, 1999) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการศึกษาวิธีการประมาณค่ามวลชีวภาพและดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าไม้ให้มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

จากการตรวจเอกสารงานวิจัยทั้งภายในประเทศและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาด้านการประมาณค่ามวลชีวภาพและดัชนีพื้นที่ผิวใบของยางพาราโดยใช้การสำรวจระยะไกล พบว่ามีการศึกษาการใช้ข้อมูลดาวเทียม SPOT-5 (เจษฎา โสภารัตน์, 2552) เพื่อประมาณดัชนีพื้นที่ผิวใบของยางพาราในเขตพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ด้วยการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสงของช่วงคลื่นในรูปของดัชนีพืชพรรณ และค่าของดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการประมาณด้วยการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา และการใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม EO-1 Ali และ Hyperion สำหรับประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของยางพาราโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ผิวใบและดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ ในพื้นที่ตำบลธาตุ อำเภอยะรัง จังหวัดเลย (ศิวิลา แก้วปลั่ง และ โชคชัย ไวกาษา, 2556) และ การศึกษาการติดตามการขยายพื้นที่เพาะปลูกยางพารา (รัศมี สุวรรณวิระกำธร, และคณะ, 2555) บริเวณจังหวัดมุกดาหาร ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม THEOS ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการจำแนกพื้นที่ปลูกตามช่วงอายุได้ นอกจากนี้มีการสร้างแผนที่พื้นที่ปลูกยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (Li and Jefferson, 2012) จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM จะเห็นได้ว่างานวิจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ส่วนใหญ่จะเป็นการใช้เทคนิคการรับรู้ระยะไกลเข้ามาช่วยในการติดตามพื้นที่ปลูกหรือการแยกพื้นที่ยางพารา แต่มีการกล่าวถึงการประมาณค่ามวลชีวภาพและดัชนีพื้นที่ผิวใบของยางพารา โดยใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกลยังมีน้อยมาก

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้มีพื้นที่ศึกษาบริเวณตำบลปาดลอก อำเภอดง จังหวัดภูเก็ต ซึ่งเป็นพื้นที่หนึ่งที่อุดมไปด้วยทรัพยากรทางธรรมชาติ เอื้อประโยชน์แก่การเกษตรกรรมประชากรในตำบลปาดลอก ส่วนใหญ่จะประกอบอาชีพทางด้านเกษตร โดยพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่ปลูกยางพารา ซึ่งถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญระดับประเทศ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา ตำบลปาดลอก อำเภอดง จังหวัดภูเก็ต โดยใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียมที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่สูง (High Spatial Resolution Satellite) ร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม ซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression: MLR) การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอ (Stepwise Multiple Regression) และโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANNs) เพื่อหาความ

สัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนามกับค่าการสะท้อน (Reflectance) ในแต่ละช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม WorldView-2

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อสร้างและทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองสำหรับประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา ในพื้นที่ตำบลป่าคลอก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต โดยอาศัยเทคนิคทางการสำรวจระยะไกล

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) งานวิจัยนี้ทำการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองเพื่อประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา ตำบลป่าคลอก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต โดยอาศัยค่าสะท้อนพลังงานร่วมกับดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายของดาวเทียม

2) ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ซึ่งเป็นภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดเชิงพื้นที่สูง (High Spatial Resolution Satellite) บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 27 ธันวาคม พ.ศ. 2556

3) ช่วงเวลาที่ทำการศึกษาเลือกช่วงฤดูการกรีดยางของภาคใต้ฝั่งตะวันตก คือ ช่วงเดือนเมษายน - เดือนธันวาคม

4) ทำการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา โดยไม่มีการแยกสายพันธุ์ของยางพาราสำหรับงานวิจัยนี้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถนำขั้นตอนการศึกษาที่สร้างขึ้น ไปประยุกต์ใช้ในการประเมินมวลชีวภาพของยางพาราในพื้นที่อื่นที่มีระบบนิเวศน์ที่ใกล้เคียงกันได้
- 2) เป็นแนวทางสำหรับการวิจัยพืชเศรษฐกิจอื่นๆ ที่คล้ายกันในอนาคต

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

- 1) มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above Ground Biomass: AGB) คือ มวลทุกส่วนของต้นไม้ ทั้งลำต้น ใบ ดอกและผล นิยมวัดค่าออกมาในรูปของน้ำหนักสด (Fresh Weight) น้ำหนักแห้ง (Dry Weight) น้ำหนักปราศจากขี้เถ้า (Ash Free Dry Weight) น้ำหนักคาร์บอน (Carbon Weight) โดยคิดเป็นน้ำหนักต่อต้นหรือคิดเป็นน้ำหนักต่อพื้นที่
- 2) ดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index: LAI) คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวใบต่อพื้นที่ดินได้เรือนยอดปกคลุม
- 3) ยางพารา คือ พืชยืนต้นขนาดใหญ่เป็นพืชอยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis* Muell. Arg ซึ่งให้ผลผลิตออกมาในหลายรูปแบบ เช่น น้ำยางสด ยางแผ่น เศษยาง ผลิตภัณฑ์ไม้ ผลิตภัณฑ์ยางสำหรับยานพาหนะ ถุงมือยาง ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์และอื่นๆ
- 4) การสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) หมายถึง วิทยาศาสตร์ ศิลปศาสตร์และเทคโนโลยี ที่เกี่ยวข้องกับการได้รับข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่ หรือปรากฏการณ์ต่างๆ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องมือที่ดำเนินการ โดยไม่ต้องสัมผัสกับสิ่งต่างๆ เหล่านั้น

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ยางพารา (Para Rubber)

2.1.1 ประวัติและความสำคัญยางพารา

ยางพารา (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) เป็นพืชอยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae รวบรวมมาจากรัฐพารา ซึ่งเป็นเมืองท่าแห่งหนึ่งในแม่น้ำอะเมซอน ประเทศบราซิล ทวีปอเมริกาใต้ องค์การสากลระหว่างประเทศจึงยอมรับคำว่า ยางพารา (Para Rubber) ว่าเป็นตัวแทนของยางธรรมชาติ (Natural Rubber) ดังนั้นร้อยละ 99 ของยางธรรมชาติที่ปลูกเป็นพืชชนิดนี้ (กรมวิชาการ เกษตร, 2547)

การปลูกยางพาราในประเทศไทย พระยารัษฎานุประดิษฐ์ มหิศรภักดี (คอซิม บี ณ ระนอง) ได้นำยางพาราจากประเทศมาเลเซียมาปลูกมาปลูกที่อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง เป็นครั้งแรกประมาณปี พ.ศ. 2443 ต่อมาในปี พ.ศ. 2451 หลวงราชไมตรี (ปุม ปุณศรี) ได้นำพันธุ์ยางพาราไปปลูกในภาคตะวันออกเฉียงใต้เป็นครั้งแรกที่จังหวัดจันทบุรี (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

ยางพาราสามารถเจริญเติบโตได้ดีตั้งแต่ที่ราบไปจนถึงพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 200 m เติบโตได้ดีในพื้นที่มีฝนตกอย่างสม่ำเสมอตลอดปี และมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี 2,000 m และมีช่วงฝนตก 5 - 6 เดือน จึงมีการนำไปปลูกกระจายทั่วไปในเขตร้อน ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ สูงได้ถึง 40 m แต่ถ้าเป็นต้นที่เกิดจากการตัดตา มีความสูงเพียง 15 - 20 m (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

ยางพาราเป็นพรรณไม้ที่สามารถปลูกได้ดีในสภาพอากาศที่มีความชื้นสูง และดินมีความสมบูรณ์ในระดับดี จากการวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่สำหรับปลูกยางพารา พบว่าพื้นที่ที่มีความเหมาะสมมาก มีการกระจายอยู่ในพื้นที่ภาคใต้เป็นส่วนใหญ่ บางส่วนของพื้นที่ภาคกลาง ภาคตะวันตก ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนและภาคเหนือตอนบน พื้นที่ที่

มีความเหมาะสมปานกลาง มีการกระจายอยู่ในพื้นที่ภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคตะวันตกและบางส่วนของภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

ในปี พ.ศ. 2546 ทำให้ประเทศไทยได้เลื่อนฐานะจากการเป็นผู้นำเข้ามาเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกยางอันดับ 1 ของโลก ประมาณร้อยละ 89 ผลิตเพื่อการส่งออก ที่เหลือร้อยละ 11 ใช้ในอุตสาหกรรมภายในประเทศ โดยผลผลิตยางพาราที่เกษตรกรผลิตได้จะถูกนำไปแปรรูปเบื้องต้นเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง ผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้นและอื่นๆ วัตถุดิบจากอุตสาหกรรมยางบางส่วนถูกนำไปใช้ในประเทศ ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางชนิดต่างๆ เช่น ยางยานพาหนะ ถุงมือยาง ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์และอื่นๆ นอกจากนั้นส่งออกไปยังต่างประเทศสำหรับยางพาราแปรรูปเบื้องต้น ส่วนที่เหลือส่งออกในรูปยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้น และอื่นๆ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของยางพารา

ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่มีอายุยืนยาวหลายสิบปี เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis* Muell. Arg การแบ่งชั้นของยางพาราแบ่งออกได้ดังนี้

Division	Spermatophyta
Sub-division	Pteropsida
Class	Angiosperm
Sub-class	Dicotyledon
Order	Euphorbiales
Family	Euphorbiaceae
Genus	<i>Hevea</i>
Species	<i>brasiliensis</i>

ยางพารามีส่วนประกอบดังนี้

1) ราก (Root)

ยางพารามีราก 2 ชนิด คือ รากแก้ว (Primary Root) มีความยาวประมาณ 1.5 - 2 m ทำหน้าที่หาอาหารและยึดลำต้น และรากแขนง (Secondary Root หรือ Lateral Root) ซึ่งจะแผ่ไปได้ไกลถึง 20 m

2) ลำต้น (Stem)

ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นประเภทเนื้ออ่อน เมื่อโตเต็มที่จะมีความสูงประมาณ 25 - 30 m กิ่งแผ่จากลำต้นเป็นเส้นทแยงมุม เปลือกนอกมีสีค่อนข้างคล้ำ ได้เปลือกมีสีชมพูไปจนถึงสีแดงหรือสีม่วงอ่อน เปลือกหนาประมาณ 6.5 - 15 mm ต้นอ่อนมีเปลือกบางกว่าต้นแก่ ลำต้นยางพาราจะประกอบด้วยเนื้อไม้แข็ง (Pith) อยู่ตรงกลางลำต้น เนื้อไม้ (Wood) เป็นชั้นที่อยู่ถัดออกมา เยื่อเจริญ (Cambium) เป็นเนื้อเยื่อบางๆ อยู่รอบเนื้อไม้ มีหน้าที่สร้างความเจริญเติบโต เปลือกไม้ (Bark) อยู่ถัดจากเยื่อเจริญออกมาด้านนอกสุดเป็นส่วนสำคัญเพราะมีท่อน้ำยางอยู่ บริเวณส่วนนี้แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนนอกสุด (Epidermis) มีสีเขียวเมื่ออายุยังน้อย แต่เมื่ออายุมากเข้าจะกลายเป็นสีน้ำตาลและหนาขึ้น ส่วนกลางหรือส่วนที่เป็นเปลือกแข็ง และส่วนสุดท้ายคือ ส่วนในหรือส่วนที่เป็นเปลือกอ่อนเป็นส่วนที่มีท่อน้ำยางอยู่มาก โดยเฉพาะด้านในสุดของเปลือกที่ติดกับเยื่อเจริญจะยังมีท่อน้ำยางมากขึ้น การเจริญเติบโตของยางพาราในระยะแรกจะเจริญในทางสูงก่อน เมื่อเจริญเติบโตได้ระยะหนึ่งแล้วเซลล์จึงจะขยายตัวออกทางด้านข้าง ยางพาราที่มีการเจริญเติบโตตามปกติจะมีเส้นรอบวงของต้นยางขยายออกเพิ่มขึ้นปีละประมาณ 10 cm

3) ใบ (Leaf)

ใบเป็นใบประเภทใบรวมโดยทั่วๆ ไป 1 ก้านใบจะมีใบย่อย 3 ใบ แต่บางพันธุ์อาจมี 4 - 5 ใบ เช่น พันธุ์ RRIM 701, RRIM 703 และ PB 235 ลักษณะใบมีสีเขียวเป็นมัน เข้มหรือจางมากขึ้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ ใบยาวประมาณ 10 - 20 cm ใบมีหน้าที่หลักในการปรุงอาหารหายใจและคายน้ำ ใบยางจะแตกออกมาเป็นชั้นๆ เรียกว่า ฉัตร ระยะเวลาเริ่มแตกฉัตรจนถึงใบฉัตรนั้นแก่เต็มที่จะใช้เวลาประมาณ 2 - 3 เดือน ยางจะผลัดใบในฤดูแล้งของทุกปี ยกเว้นยางต้นเล็กที่ยังไม่แตกกิ่งก้านสาขาหรือมีอายุไม่ถึง 3 ปี จะไม่ผลัดใบ

4) ดอก (Flower)

ดอกทำหน้าที่ขยายพันธุ์ ดอกจะออกตามปลายกิ่งหลังจากที่ต้นยางผลัดใบ โดยออกพร้อมๆ กับใบยางที่แตกใหม่หรือออกหลังจากที่ยางแตกใบสมบูรณ์เต็มที่แล้ว ดอกมีลักษณะเป็นช่อ แต่ละช่อมีหลายกิ่งซึ่งจะมีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ด้วยกัน ดอกตัวเมียจะเห็นได้เด่นชัดเพราะอยู่ตรงปลายสุดของกิ่งหรือช่อและเป็นดอกที่มีขนาดใหญ่กว่าดอกตัวผู้ประมาณกว่าเท่าตัว โคนกลีบดอกมีสีเขียว เมื่อดอกบานจะเห็นรังไข่อยู่ภายในดอก เป็นสีเขียวอ่อน ตอนบนของรังไข่มีตุ่มสีขาว 3 ตุ่ม คือ พูรังไข่หรือเกสรตัวเมีย ส่วนดอกตัวผู้มีขนาดเล็กกว่าดอกตัวเมีย แต่มีจำนวนมากกว่าดอกตัวเมีย ดอกตัวผู้ประกอบด้วย กลีบดอกสีเหลือง 5 กลีบ เมื่อดอกบานจะเห็นก้านเกสรตัวผู้สีขาวมีละอองเกสรตัวผู้สีเหลืองจับอยู่โดยรอบ ดอกมีกลิ่นหอม ปกติยางจะออกดอกปีละ 2 ครั้ง โดยจะออกในราวเดือนกุมภาพันธ์ - มิถุนายน ครั้งหนึ่งและจะออกในเดือนสิงหาคม -

ตุลาคมอีกครั้งหนึ่ง การออกดอกครั้งแรกเป็นการออกดอกตามฤดูกาล ซึ่งจะให้ผลและเมล็ดมากกว่าการออกดอกครั้งที่สอง

5) ผล (Fruit)

ผลเกิดจากการผสมระหว่างเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย อย่างเป็นพืชที่มีการผสมเกสรแบบเปิด ดอกที่ผสมติดแล้วรังไข่จะขยายตัวออกซ้าๆ และจะโตเร็วขึ้นภายในระยะ 2 เดือน เมื่อผลมีอายุ 2.5 - 3 เดือนจะโตเต็มที่ ผลยางจะมีลักษณะเป็นพูโดยปกติจะมี 3 พู แต่อาจมี 4 - 5 พูก็ได้ แต่ละพูจะมีเมล็ดอยู่ภายใน ผลอ่อนจะมีสีเขียวแก่แล้วจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแข็ง แดกและร่วงหล่นมาเองเมื่อแก่จัด เมื่อโตเต็มที่จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4.5 - 5 cm ยาวประมาณ 4.5 cm ยางหนึ่งต้นจะให้ผลผลิตเฉลี่ย 50 ผลต่อปี

6) เมล็ด (Seed)

เมล็ดมีสีน้ำตาลลายขาวคล้ายสีเมล็ดละหุ่งยาวประมาณ 2 - 2.5 cm กว้างประมาณ 1.5 - 2.5 cm และหนัก 3.6 g เมล็ดยางเมื่อหล่นใหม่ๆ จะมีร้อยละความงอกสูงมาก แต่ร้อยละความงอกนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว ในสภาพปกติเมล็ดยางจะรักษาความงอกไว้ได้ประมาณ 20 วันเท่านั้น

7) ท่อน้ำยาง (Latex Vessel)

เป็นรูปทรงกระบอกเวียนไปตามลำต้นของยางจากซ้าต่ำไปขวงสูงรอบลำต้น (ยกเว้นยางพันธุ์ KRS 13 ที่มีท่อน้ำยางเวียนจากขวงไปซ้า) การเพิ่มจำนวนท่อน้ำยางเกิดจากการแบ่งตัวของเนื้อเยื่อเมื่อตัดเปลือกยางตามแนวหน้าตัด (Cross Section) จะเห็นรูปหน้าตัดของท่อน้ำยางเป็นรูปทรงกลมเรียงอยู่รอบแกนของลำต้นเป็นวงกลม หากตัดตามแนวนอนหรือตามลำต้นจะเห็นท่อน้ำยางเรียงอยู่เป็นแถวยาวๆ ถัดจากเนื้อเยื่อออกมาจนถึงเปลือกด้านนอก แต่ท่อน้ำยางจะมีความหนาแน่นมากที่สุดตรงบริเวณใกล้ๆ เนื้อเยื่อและจะค่อยๆ ลดน้อยลงในบริเวณเปลือกชั้นนอก ท่อน้ำยางที่มีขนาดใหญ่จะมีน้ำยางมากกว่าท่อน้ำยางเล็ก โดยทั่วไปต้นยางที่มีเปลือกหนามักจะมีจำนวนท่อน้ำยางมาก

8) น้ำยาง (Latex)

เป็นของเหลวสีขาวถึงขาวปนเหลืองขุ่นข้น อยู่ในท่อน้ำยางซึ่งเรียงตัวกันอยู่ในเปลือกของต้นยาง ในน้ำยางจะมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยางและน้ำยางจัดเป็นสินค้าทางการเกษตรที่สำคัญและสร้างรายได้ให้กับประเทศ โดยปกติยางพาราสามารถให้น้ำยางได้จนถึงอายุ 25 - 30 ปี

9) ทรงพุ่ม (Canopy)

ทรงพุ่มประกอบด้วยใบและกิ่งก้านสาขาที่ประกอบขึ้นเป็นหน่วยที่มีรูปทรงแตกต่างกันไปตามลักษณะพันธุ์ ทรงพุ่มจะตั้งเกิดกลุ่มใบเป็นกลุ่มๆ เรียงลำดับเป็นชั้นๆ อย่างชัดเจน ซึ่งแต่ละชั้นหรือแต่ละกลุ่มใบจะเรียกว่า ฉัตร (Whorl) ใบยางเป็นประเภทใบประกอบ (Compound Leaf) ซึ่งประกอบด้วยใบย่อย 3 ใบ ตรึงอยู่บนก้านใบ กิ่งก้านจะประกอบด้วยกิ่งขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นส่วนที่เจริญเติบโตเนื่องจากลำต้น 2 - 3 กิ่งเป็นหลัก ส่วนกิ่งที่แตกออกจากกิ่งหลักเรียกว่า กิ่งรอง ขนาดและมุมของการแตกกิ่งหลักและกิ่งรอง ทำให้ลักษณะและรูปทรงของทรงพุ่มแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงและความต้านทานลม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

2.2 คำมูลชีวภาพของพืช (Biomass)

Ovington (1962) ได้ให้ความหมายของมวลชีวภาพไว้ว่า ปริมาณของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในระบบนิเวศต่อหน่วยพื้นที่ดินในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งของสถานการณ์ใด ๆ โดยเฉพาะมวลชีวภาพอาจหาออกมาในรูปของน้ำหนักสด (Fresh Weight) น้ำหนักแห้ง (Dry Weight) น้ำหนักปราศจากขี้เถ้า (Ash Free Dry Weight) น้ำหนักคาร์บอน (Carbon Weight) ที่อาจมีหน่วยเป็น $g/1m^2$ หรือ $g/1ha$

Hogarth (2007) ได้ให้ความหมายของมวลชีวภาพไว้ว่า มวลของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในระบบนิเวศต่อหน่วยพื้นที่ โดยทั่วไปนิยมวัดเป็นน้ำหนักแห้ง มวลชีวภาพมีความสำคัญในการศึกษาผลผลิตของป่าและการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนออกไซด์ของพืชกับชั้นบรรยากาศ ซึ่งพืชสามารถกักเก็บคาร์บอนไว้ในเนื้อไม้ประมาณร้อยละ 40 - 45 ของน้ำหนักแห้ง โดยทั่วไปจะทำการหามวลชีวภาพได้ 2 วิธี คือ วิธีการทางตรงโดยการตัดพินต้นไม้และวิธีการทางอ้อมโดยการประมาณค่า

วิธีการทางตรงมี 2 วิธี

1) วิธีการตัดพินต้นไม้ (Harvest Method) กระทำโดยตัดต้นไม้อายุต้นในพื้นที่แล้วนำไปอบแห้งแล้วชั่งหาน้ำหนักแห้ง โดย

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

2) วิธีเลือกตัดฟันเฉพาะไม้ตัวอย่าง (Allometric Method) เป็นวิธีการตัดต้นไม้บางส่วนเฉพาะที่เป็นตัวอย่างแล้วนำน้ำหนักของพีชมาหาความสัมพันธ์กับส่วนต่างๆ ของพีช วิธีการนี้ทำให้ไม่จำเป็นต้องตัดฟันต้นไม้ทั้งหมดในพื้นที่

วิธีการทางอ้อม

วิธีการทางอ้อมโดยการประมาณค่ามวลชีวภาพจากส่วนต่างๆ ของต้นไม้ คือ ลำต้น กิ่ง ใบ และรากเป็นรายต้น และประมาณค่ามวลชีวภาพของแปลงตัวอย่างจากผลรวมของมวลชีวภาพรายต้น จากนั้นวิเคราะห์เป็นมวลชีวภาพต่อหน่วยพื้นที่ เช่น ton/rai หรือ ton/ha วิธีการนี้ทำให้ไม่ต้องตัดฟันต้นไม้ โดยในงานวิจัยนี้จะอาศัยสมการที่ได้จากวิธีการแบบ Allometric ที่ใช้ในการคำนวณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นยางพาราในงานวิจัยของประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ, และคณะ, 2553 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (Diameter at Breast Height, DBH) กับความสูงของต้นยางพารา ดังสมการที่ (1)

$$\text{มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (W}_T\text{)} = 0.0046 (\text{DBH}^2\text{H})^{1.2046} \quad (\text{Kg}) \quad (1)$$

เมื่อ DBH คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอกประมาณ 130 cm (cm)
H คือ ความสูง (m)

2.3 ดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index, LAI)

2.3.1 ความหมายและความสำคัญของดัชนีพื้นที่ผิวใบ

ดัชนีพื้นที่ผิวใบ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวใบต่อพื้นที่ดินใต้เรือนยอดปกคลุม ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมีความสำคัญอย่างยิ่งในการวิเคราะห์ความสามารถในการให้ผลผลิตของป่าและกระบวนการผลิตของป่า เนื่องจากผลผลิตสุทธิของหมู่ไม้มีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกับดัชนีพื้นที่ผิวใบ (นวลปราง นวลอุไร, 2548) โดยนักสรีระวิทยาและนักสร้างโมเดลในการคาดการณ์การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช นอกจากนี้ดัชนีพื้นที่ผิวใบยังเป็นตัวแปรที่สำคัญของพืช สัมพันธ์กับกระบวนการทางสรีระวิทยาของพืชหลายกระบวนการ เช่น การดูดกลืนแสงที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของทรงพุ่ม การหายใจ มีค่าขึ้นอยู่กับชนิด อายุ และสภาพแวดล้อม (เจษฎา โสภารัตน์, 2552)

2.3.2 การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบสามารถแบ่งได้ 2 วิธีหลัก คือ

1) วิธีการประมาณ โดยตรง เป็นวิธีที่แม่นยำมากที่สุด แต่เป็นวิธีที่ใช้เวลาและแรงงานสูง เก็บรวบรวมใบจากต้นไม้มาวีเคราะห์โดยตรง (Destructive Sampling) หรือใช้วิธีเก็บด้วยโครงตาข่าย (Litter Fall Trap) ในช่วงที่ใบร่วงซึ่งใช้ได้เฉพาะไม้ผลัดใบ จากนั้นวิเคราะห์ดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งและพื้นที่ผิวใบ

2) วิธีการประมาณ โดยอ้อม ซึ่งที่นิยมใช้กัน คือ วิธีการอาศัยแสง (Optical Method) สามารถวัดโดยอาศัยหลักการวัดแสงที่ส่องผ่านทรงพุ่ม โดยใช้อุปกรณ์แบบอาศัยแสงมาใช้สามารถใช้ได้ทั้งการวิเคราะห์ช่องว่างของทรงพุ่ม (Gap Fraction) เช่น การใช้ LAI-2000 และการวิเคราะห์การกระจายของขนาดช่องในทรงพุ่ม (Gap Size Distribution) เช่น การใช้ TRAC (Tracing Radiation and Architecture of Canopies) เทคนิคภาพถ่ายด้วยเลนส์ตาปลา (Hemispherical Photography)

เทคนิคภาพถ่ายด้วยเลนส์ตาปลาเป็นวิธีการหนึ่งในการศึกษาดัชนีพื้นที่ผิวใบและโครงสร้างของทรงพุ่ม รวมทั้งศึกษาการส่องผ่านของแสงภายในทรงพุ่ม โดยถ่ายภาพทรงพุ่มจากพื้นดินขึ้นไปบนท้องฟ้าในแนวตั้งด้วยเลนส์ตาปลา (Fish Eye Lens) ที่สามารถรับภาพได้ 180 องศา บันทึกขนาด รูปร่าง และตำแหน่งของช่องว่างของทรงพุ่ม ภาพถ่ายทรงพุ่มที่ได้สามารถวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กระบวนการในการวิเคราะห์ภาพจะเกี่ยวกับการแปลภาพให้อยู่ในตำแหน่งที่มีพิกัดและมุมแยกความแตกต่างระหว่างท้องฟ้ากับส่วนที่ไม่ใช่ท้องฟ้า จำแนกส่วนที่เป็น ใบพืชหรือทรงพุ่มออกส่วนที่เป็นท้องฟ้า คำนวณการกระจายความสว่างของท้องฟ้า การถ่ายภาพควรถ่ายในสภาพช่วงเย็นก่อนดวงอาทิตย์ตก หรือในสภาพท้องฟ้าไม่มีเมฆหรือควรมีเมฆปกคลุมสม่ำเสมอ จากนั้นใช้ข้อมูลดังกล่าวในการคำนวณประมาณแสงที่ส่องผ่านพุ่มหรือคำนวณโครงสร้างทรงพุ่ม การเปิดกว้างของทรงพุ่ม ดัชนีพื้นที่ผิวใบและการกระจายของแสงในทรงพุ่ม

การวิเคราะห์ดัชนีพื้นที่ผิวใบและโครงสร้างของทรงพุ่มด้วยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลาสามารถประยุกต์ใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น โปรแกรม CAN-EYE (Weiss and Baret, 2010) ซึ่งเป็นโปรแกรมประยุกต์บนระบบปฏิบัติการ Windows มีความสามารถในการแสดงและวิเคราะห์ภาพเพื่อคำนวณหาพื้นที่ผิวใบด้วยภาพถ่ายด้วยเลนส์ตาปลา

ความแม่นยำของการใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลาในระบบดิจิทัล ขึ้นอยู่กับคุณภาพของภาพดิจิทัลที่สามารถปรับได้ด้วยการเพิ่มความละเอียดของภาพ และการถ่ายภาพภายใต้สภาพท้องฟ้าคงที่สม่ำเสมอ เนื่องจากสภาพบรรยากาศเป็นอิทธิพลหลักของการประมาณดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา การถ่ายจำเป็นต้องถ่ายในสภาพที่

ไม่มีแสงจ้าและท้องฟ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ทั้งนี้เทคนิคดังกล่าวเป็นการถ่ายภาพทรงพุ่มของต้นไม้ในลักษณะแนวตั้งภายใต้ทรงพุ่ม ดังนั้นการซ้อนกันของใบและกิ่งเป็นกลุ่ม (Clumping) อาจเป็นอีกปัจจัยหลักที่จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประมาณดัชนีพื้นที่ผิวใบ มีผลทำให้ค่าที่ได้ต่ำกว่าค่าจริง (เจษฎา โสภารัตน์, 2552)

2.4 ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices)

ดัชนีพืชพรรณเป็นเทคนิคแบบง่ายสำหรับใช้เพื่อสกัดสารสนเทศเชิงปริมาณของปริมาณพืชพรรณหรือความเป็นสีเขียว (Greenness) ในแต่ละจุดภาพของข้อมูลภาพ ดัชนีพืชพรรณจะเกี่ยวข้องกับสารสนเทศเชิงคลื่นของ 2 แบนด์หรือมากกว่า โดยแบนด์หนึ่งจะเป็นข้อมูลจากความยาวคลื่นช่วงแสงสีแดง (RED) ซึ่งคลอโรฟิลล์ของพืชสีเขียวจะดูดกลืนพลังงานและอีกแบนด์หนึ่งจะเป็นข้อมูลจากความยาวคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) ที่พืชพรรณไม่ดูดกลืนพลังงานแต่จะเกิดการกระเจิงจากโครงสร้างของใบ การรวมข้อมูลจาก 2 แบนด์จะช่วยเพิ่มสัญญาณของพืชพรรณและลดอิทธิพลของสิ่งที่มีชี้นำพืชพรรณให้น้อยที่สุด

2.4.1 ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)

Rouse, *et al.* (1974) ได้พัฒนาค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ขึ้นเป็นค่าดัชนีพืชพรรณที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง (Jensen, 2007) เพราะสามารถใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของพืชในช่วงเวลาระหว่างฤดูกาลและในช่วงแต่ละปีได้ ใช้ประมาณค่ามวลชีวภาพและค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบในสังคมพืชได้ดี และในการใช้งานไม่ต้องการข้อมูลอย่างอื่นประกอบ เช่น ข้อมูลชุดดิน ข้อมูลปรับแก้ค่าต่างๆ ทำให้ต้องเสียเวลาในเก็บข้อมูลเพิ่มในการคำนวณใช้ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มาคำนวณ ดังสมการที่ (2)

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

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

2.4.2 ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (Soil-Adjusted Vegetation Index: SAVI)

Huete (1998) เสนอดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (SAVI) ซึ่งพัฒนาจากดัชนีพืชพรรณ NDVI เพื่อแก้ปัญหาการสะท้อนพลังงานแสงของดิน ดังสมการที่ (3)

$$SAVI = \frac{NIR-R}{NIR+R+L} (1+L) \quad (3)$$

โดยที่ L มีค่าเป็น 0 สำหรับพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมหนาแน่นและค่าเป็น 1 สำหรับพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมเบาบาง

2.4.3 ดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (Enhanced Vegetation Index: EVI)

Huete, *et al.* (1998) ได้พัฒนาค่าดัชนีเน้นภาพพืชพรรณขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาการตอบสนองของการสะท้อนพลังงานแสงจากดินและบรรยากาศ ซึ่งมีรายงานว่า ค่าดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (EVI) มีคุณสมบัติที่มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมากกว่าค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ (Waring, *et al.*, 2006; Matsushita, *et al.*, 2007; Jiang, *et al.*, 2008) และจากการรายงานการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า มีการใช้ค่า EVI เป็นค่าในการประมาณค่าชีวมวลของป่าฝนเขตร้อนภายในประเทศออสเตรเลีย (Clark, *et al.*, 2011) ซึ่ง EVI มีความไวของค่าพารามิเตอร์ในพื้นที่ปริมาณใบพืชที่สูงมากกว่าค่า NDVI (Huete, *et al.*, 2002) โดยมีความสัมพันธ์ ดังสมการที่ (4)

$$EVI = G \times \frac{NIR-R}{NIR+(C_1 \times R - C_2 \times B)+L} \quad (4)$$

เมื่อ

G	คือ	ค่าระดับของพลังงาน (Grain Factor)
NIR	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Band)
R	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดง (Red Band)
B	คือ	ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (Blue Band)
C1, C2	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับค่าฝุ่นละอองในบรรยากาศ
L	คือ	ค่าปรับแก้สำหรับดิน

สำหรับพื้นที่ทั่วไปใช้ L = 1, C1 = 6, C2 = 7.5 และ G = 2.5 โดยค่า EVI จะอยู่ในระหว่าง -1 ถึง 1 โดยทั่วไปพืชสีเขียวจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 - 0.8

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิวา แก้วปลั่ง และ ชัยโชค ไวกาษา (2556) ทำการเปรียบเทียบการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบของยางพารา ในพื้นที่ตำบลธาตุ อำเภอลำปาง จังหวัดเลย โดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม EO-1 ALI และ HYPERION เลือกลทดสอบด้วยดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ มาหาความสัมพันธ์ด้วยฟังก์ชันเลขยกกำลังเพื่อประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบของยางพารา โดยทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม 68 ชุด แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน คือ ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง และข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่าการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบของยางพาราจากภาพถ่ายดาวเทียม HYPERION ในกรณีของชุดข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองและชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.738 (RMSE = 0.089 $m^2 m^{-2}$) และ 0.624 (RMSE = 0.119 $m^2 m^{-2}$) ตามลำดับ ในส่วนภาพถ่าย ALI กรณีของชุดข้อมูลในการสร้างแบบจำลองและชุดข้อมูลทดสอบได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.582 (RMSE = 0.165 $m^2 m^{-2}$) และ 0.482 (RMSE = 0.280 $m^2 m^{-2}$) ตามลำดับ ซึ่งจากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบของยางพารา โดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม HYPERION สามารถประมาณได้ถูกต้องกว่าแบบมัลติสเปกตรัล

เจษฎา โสภารัตน์ (2552) ศึกษาการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 ประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของยางพาราในเขตพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ด้วยการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสงของช่วงคลื่นในรูปของดัชนีพืชพรรณ และค่าของดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากการประมาณด้วยการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา พบว่าดัชนี SAVI มีความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีสมการความสัมพันธ์แบบพาวเวอร์ และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด คือ $y = 757.27x^{3.2412}$ และ $R^2 = 0.652$ ตามลำดับ รองลงมา คือ ดัชนี SR และ MSR มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.0701x^{1.5366}$ ($R^2 = 0.651$) และ $y = 1619.2x^{3.0832}$ ($R^2 = 0.646$) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยดัชนีพื้นที่ใบสูงสุดในรอบปี และขนาดเส้นรอบวงลำต้นของยางพาราที่ระดับ 1.70 เมตร จากพื้นดิน มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดสูงสุด เท่ากับ 0.83

ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ, และคณะ (2553) ศึกษาศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้ 3 ชนิด ที่ปลูกอยู่แล้วในบริเวณศูนย์ศึกษารักษาพันธุ์ไม้เศรษฐกิจของกรมป่าไม้ จังหวัดสกลนคร ได้แก่ ไม้สักอายุ 22 ปี ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส อายุ 23 ปี และ ไม้ยางพาราอายุ 23 ปี ผลการศึกษาพบว่า ไม้ยางพารามีการเติบโตมวลชีวภาพรวมสูงสุด รองลงมา คือ ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส และ ไม้สัก ตามลำดับ โดยมีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ

150.98, 118.32 และ 27.46 ton/ha และมีมวลชีวภาพใต้พื้นดินคิดเป็นร้อยละ 33, 44 และ 43 ของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของคาร์บอนในมวลชีวภาพมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างชนิดไม้และส่วนต่างๆของต้นไม้ โดยความเข้มข้นของคาร์บอนเฉลี่ยในมวลชีวภาพของไม้ยางพารามีค่าสูงสุด รองลงมา คือ ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส และไม้สัก ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 49.90, 48.95 และ 46.60 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าไม้ยางพารามีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพสูงกว่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส และไม้สัก โดยมีการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 73.21, 56.97 และ 12.86 ton/ha ตามลำดับ ทั้งนี้ความแตกต่างของการกักเก็บคาร์บอนเป็นผลมาจากความแตกต่างของมวลชีวภาพมากกว่าความเข้มข้นของคาร์บอนในส่วนต่างๆ ของต้นไม้

ประเสริฐษา ญาดำ, และคณะ (2555) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณและช่วงอายุของยางพาราโดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม SMMS งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม SMMS ในการจำแนกอายุยางพาราโดยการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม SMMS ซึ่งให้บริการโดยไม่คิดมูลค่ากับข้อมูลพื้นที่ยางพาราที่ทราบอายุการปลูกโดยแบ่งอายุยางพาราเป็นช่วงที่ยังไม่ให้ผลผลิต (5 - 7 ปี) และช่วงที่ให้ผลผลิตแล้ว (มากกว่า 7 ปี) จากการศึกษาพบว่าข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม SMMS สามารถจำแนกช่วงอายุยางพาราได้โดยยางพาราที่มีอายุ 5 - 7 ปี และอายุมากกว่า 7 ปีมีค่าเฉลี่ยของ NDVI เท่ากับ 0.502 และ 0.828 ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการประมาณอายุยางพาราในพื้นที่ปลูกอื่นๆ ต่อไป

นวลปราง นวลอุไร (2548) ได้ศึกษาศักยภาพสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง และป่าดิบชื้นในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน โดยคำนวณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่าโดยใช้สมการแอลโลเมตรี และการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ มวลชีวภาพ และปริมาณคาร์บอนสะสมที่อยู่เหนือพื้นดินจากการรับรู้จากระยะไกล ทำการศึกษาโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat TM ในลักษณะดัชนีพืชพรรณในรูปแบบต่างๆ ข้อมูลที่ได้ทั้งจากภาคสนามและข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม นำมาหาความสัมพันธ์กันในรูปแบบของสมการความถดถอยแบบเส้นตรง ผลการศึกษาปรากฏว่าได้ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบในป่าเต็งรัง มีความสัมพันธ์กับช่วงคลื่น NIR มากที่สุด ($R^2 = 0.875$) และมวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดินมีความสัมพันธ์กับช่วงคลื่น RED มากที่สุด ($R^2 = 0.665$) ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบในป่าเบญจพรรณมีความสัมพันธ์กับช่วงคลื่น NIR มากที่สุด ($R^2 = 0.745$) และมวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดินมีความสัมพันธ์กับดัชนีพืชพรรณในรูปแบบ GVI มากที่สุด ($R^2 = 0.705$) ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบในป่าดิบแล้งมีความสัมพันธ์กับช่วงคลื่น NIR มากที่สุด ($R^2 = 0.843$) และมวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดินมี

ความสัมพันธ์กับช่วงคลื่น NIR มากที่สุด ($R^2 = 0.735$) และค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบในป่าดิบชื้นมีความสัมพันธ์กับช่วงคลื่น NIR มากที่สุด ($R^2 = 0.874$) และมวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดินมีความสัมพันธ์กับช่วงคลื่น NIR มากที่สุด ($R^2 = 0.703$) โดยมีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบและมวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดิน จากรูปแบบสมการที่ดีที่สุดของป่าแต่ละชนิดดังนี้ ป่าดิบชื้น มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบโดยเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 7.88 รองลงมาได้แก่ ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง และป่าเบญจพรรณ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.81, 3.38 และ 3.27 ตามลำดับ ขณะที่มวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดิน ป่าดิบชื้น มีค่าโดยเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 336.12 ton/ha รองลงมาได้แก่ ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณและป่าเต็งรัง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 207.70, 68.53 และ 58.63 ton/ha ตามลำดับ

Cho, *et al.* (2007) ทำการศึกษาการใช้งานเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนเปรียบเทียบกับการประมาณโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบตัวแปรเดียว (Univariate linear Regression) ซึ่งใช้ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างนอร์แมลไลซ์และตำแหน่งขอบแดง (REP) ในการทำการประมาณค่ามวลชีวภาพของทุ่งหญ้า/สมุนไพรรวมในการวิเคราะห์จะแบ่งข้อมูลมวลชีวภาพที่ได้จากการสำรวจภาคสนามเป็น 2 ชุด คือ ชุดข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Set) จำนวน 30 ค่า และชุดข้อมูลในการทดสอบแบบจำลอง (Test Data Set) จำนวน 12 ค่า ผลการทดลองจากการวิเคราะห์การถดถอยจากค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างนอร์แมลไลซ์ซึ่งคำนวณจากช่วงคลื่น 740 และ 771 nm ให้ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำนาย (Standard Error of Prediction, SEP) เท่ากับ 264 g m^{-2} ซึ่งมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับผลการทดลองจากการวิเคราะห์การถดถอยจากค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างนอร์แมลไลซ์ทั่วไป ซึ่งใช้ช่วงความยาวคลื่น 665 และ 801 nm ซึ่งได้ค่า SEP เท่ากับ 331 g m^{-2} ในขณะที่การประมาณค่ามวลชีวภาพโดยการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนให้ค่า SEP อยู่ในช่วง 149 ถึง 256 g m^{-2} ซึ่งมีค่าต่ำกว่ากรณีใช้ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างนอร์แมลไลซ์และตำแหน่งขอบแดง จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดแบ่งส่วนเป็นทางเลือกที่ดีกว่าการใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบตัวแปรเดียว

Jensen and Binford (2004) ใช้ดาวเทียม Landsat TM ทำการหาค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบโดยใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกลร่วมกับข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม โดยทำการเปรียบเทียบกรณีที่ใช้ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ดัชนีพืชพรรณสัดส่วนธรรมดาและ ดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณ (Greenness Vegetation Index: GVI) ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุและโครงข่ายประสาทเทียม โดยสองกรณีหลังได้ใช้ช่วงคลื่นที่ 1 - 5 และ 7 ในการสร้างแบบจำลอง ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมาณ

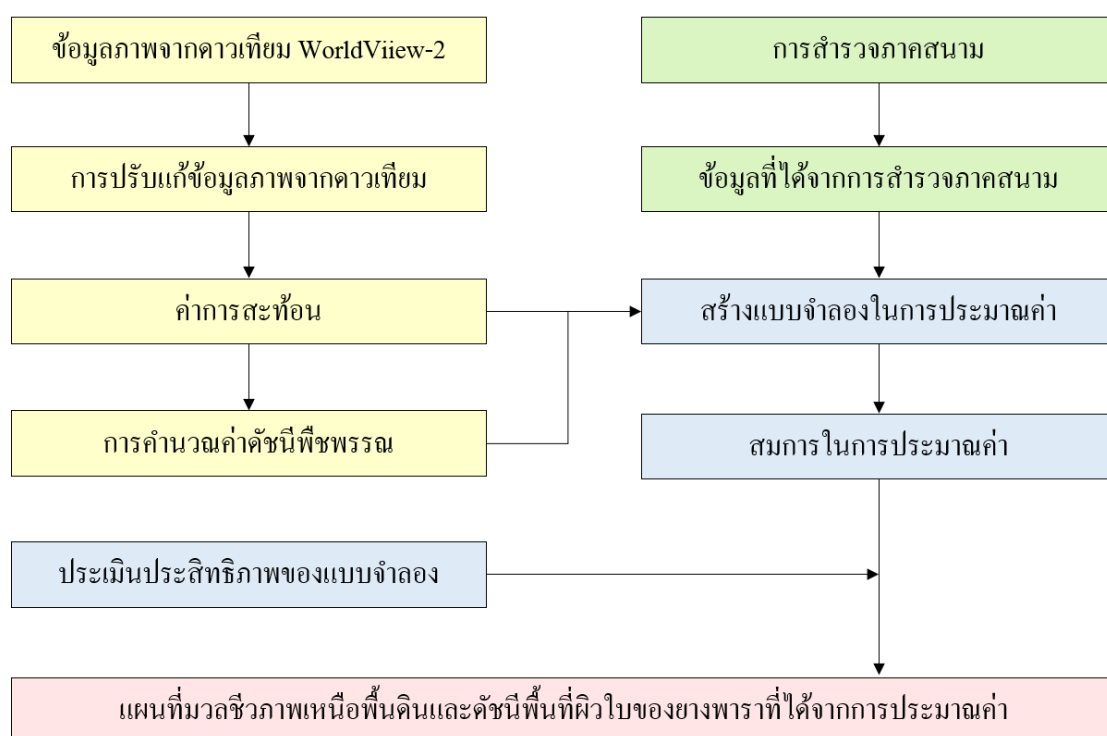
ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบได้ละเอียดที่สุด ซึ่งให้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 0.672

Heiskanen (2006) ทำการศึกษาการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้นไม้บนภูเขา ในประเทศฟินแลนด์ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในหลายระบบนิเวศ โดยใช้ข้อมูลดาวเทียม ASTER ทำการเก็บข้อมูลสนาม 128 จุด และใช้ความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรต่างๆ ป่าและข้อมูลจากดาวเทียม ASTER ทำการคำนวณโดยใช้การวิเคราะห์แบบ Linear and Non - Linear Regression Analysis ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพ ดัชนีพื้นที่ผิวใบและข้อมูลจากดาวเทียม ASTER พบว่าการประมาณค่ามวลชีวภาพโดยการวิเคราะห์แบบ Non-Linear Regression ให้ค่าที่ดีกว่า โดยมีค่าจากค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างนอร์แมลไลซ์ที่สูง ($r^2 = 0.85$) รองลงมา คือ ค่าจากดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ($R^2 = 0.83$) ส่วนการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ ผลจากการวิเคราะห์การถดถอยค่าจากค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างนอร์แมลไลซ์ ค่าความสัมพันธ์สูงที่สุดเช่นเดียวกัน ($R^2 = 0.83$) รองลงมา คือ ค่าจากดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน ($R^2 = 0.81$)

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

การศึกษานี้ทำการสร้างแบบจำลองในประมาณค่ามวลชีวภาพและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา โดยใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียมที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงร่วมกับข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม ในพื้นที่ตำบลป่าคลอก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต ณ ช่วงเวลาใกล้เคียงกัน มาเป็นข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลอง และมีการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองเพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา ซึ่งมีขั้นตอนของการศึกษาดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนของการศึกษา

3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1. ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 27 ธันวาคม พ.ศ. 2556

3.1.2. ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดภูเก็ต ปี พ.ศ. 2552 จากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

3.1.3. แผนที่ภาพถ่ายออร์โธรีซิเชิงเลข มาตรฐาน 1:4,000 จังหวัดภูเก็ต จากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบพกพา

3.2.2 เครื่องมือวัดความสูงของต้นไม้ (Clinometer)

3.2.3 เทปวัดเส้นรอบวงของต้นไม้

3.2.4 เชือกไนลอนสำหรับวางแปลงตัวอย่าง

3.2.5 เข็มทิศ

3.2.6 กล้องถ่ายภาพดิจิทัลพร้อมเลนส์ชนิดเลนส์ตาปลาและขาตั้งกล้องถ่ายภาพ

3.2.7 แบบบันทึกข้อมูลการสำรวจสนาม

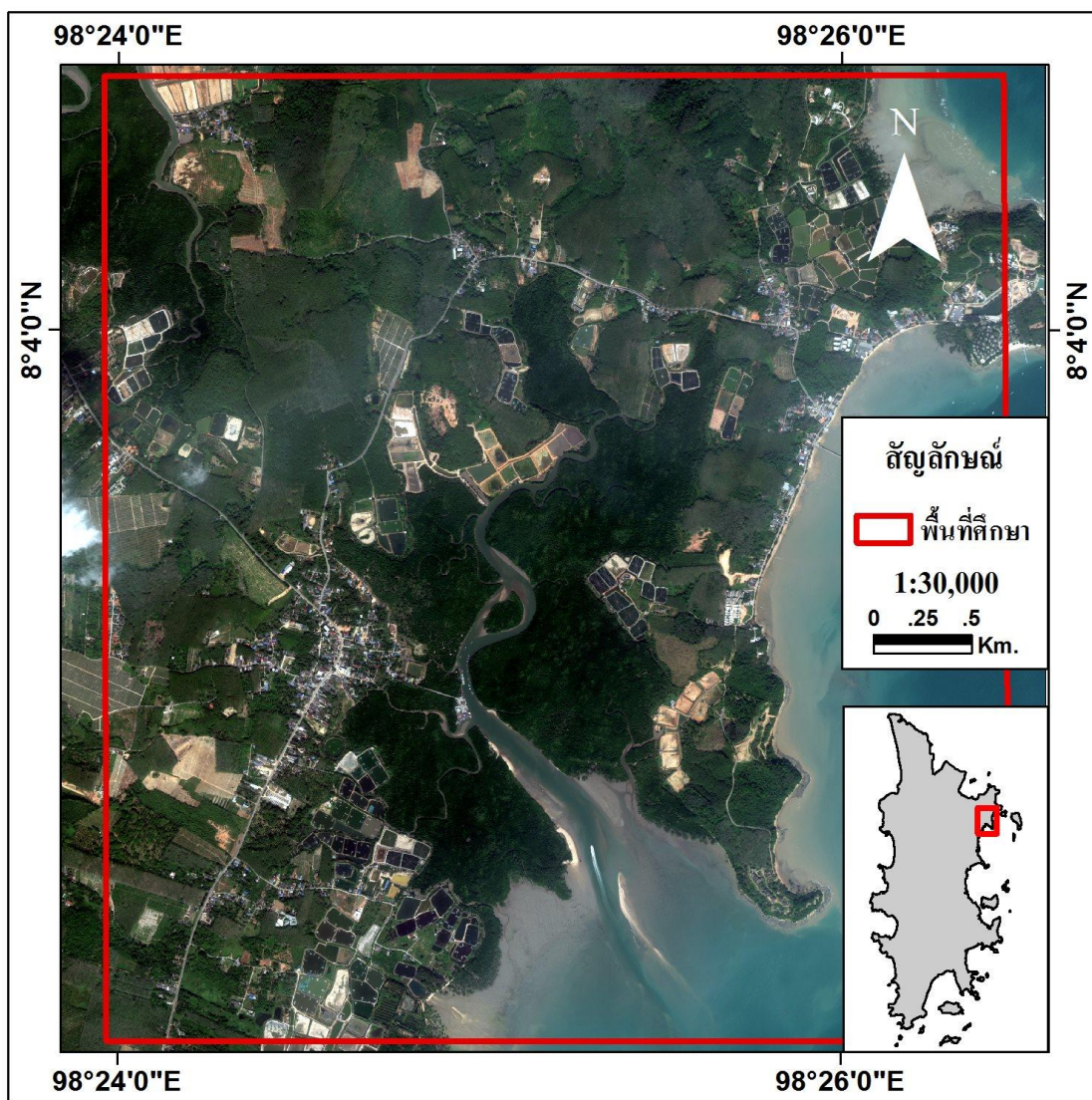
3.2.8 โปรแกรมประมวลผลข้อมูลภาพจากดาวเทียม

3.2.9 โปรแกรม CAN-EYE 6.3.13

3.3 พื้นที่ศึกษา

สำหรับงานวิจัยนี้ พื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่แปลงยางพาราตำบลป่าตอก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต (รูปที่ 3.2) ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของจังหวัดภูเก็ต โดยบริเวณพื้นที่ศึกษามีตำแหน่ง

ที่ตั้งประมาณ ละติจูด (Latitude) ที่ 8° 4' - 8° 1' N และลองจิจูด (Longitude) ที่ 98° 23' - 98° 26' E ดังรูปที่ 3.2 ลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบร้อนชื้น มี 2 ฤดู คือ ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่เดือนเมษายน - เดือนพฤศจิกายน และฤดูแล้ง เริ่มตั้งแต่เดือนธันวาคม - เดือนมีนาคม ซึ่งเป็นสภาพภูมิอากาศที่เอื้อต่อการปลูกยางพารา ดังนั้นพื้นที่การเกษตรของตำบลป่าคอกส่วนใหญ่จึงเป็นพื้นที่เพาะปลูกยางพารา โดยมีพื้นที่ประมาณ 7.223 km²



รูปที่ 3.2 พื้นที่ศึกษาแปลงยางพารา ตำบลป่าคอก อำเภอดง จังหวัดภูเก็ต

3.4 ข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2

ดาวเทียม WorldView-2 เป็นดาวเทียมที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่สูง (High Spatial Resolution Satellite) ของสหรัฐอเมริกา มีลักษณะการโคจรที่สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun Synchronous) ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลภาพที่บันทึกเมื่อวันที่ 27 ธันวาคม พ.ศ. 2556 ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับการสำรวจภาคสนาม

ดาวเทียม WorldView-2 สามารถบันทึกข้อมูลได้ 2 ระบบ คือ ระบบบันทึกข้อมูลแบบช่วงคลื่นเดียวหรือภาพขาว - ดำ (Panchromatic) และระบบบันทึกข้อมูลหลายช่วงคลื่น (Multispectral) โดยรายละเอียดพื้นฐานของดาวเทียม WorldView-2 แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของดาวเทียม WorldView-2 (DigitalGlobe, 2012)

คุณลักษณะภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2		
Sensor Resolution	Panchromatic:	0.46 m
	Multispectral:	1.84 m*
Sensor Bands (Panchromatic)	Black and White:	450-800 nm
	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
Swath Width	16.4 km. at Nadir	

หมายเหตุ *ข้อมูลภาพในการศึกษานี้ มีการปรับรายละเอียดจุดภาพ (Resampling) จาก 1.84 เมตร เป็น 2 เมตร ปรับแก้โดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

3.5 การปรับแก้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเบื้องต้น

การนำข้อมูลภาพจากดาวเทียมไปใช้ในการวิเคราะห์ ต้องมีการเตรียมความพร้อมของข้อมูลภาพถ่าย โดยการปรับแก้ความผิดพลาดของข้อมูลทั้งในเชิงเรขาคณิต (Geometric) และเชิงรังสี (Radiometric) เพื่อให้มีความถูกต้องตรงตามความเป็นจริงก่อนนำไปประมวลผลต่อไป ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

3.5.1 การปรับแก้ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction)

การปรับแก้ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิต เป็นการปรับแก้การบิดเบือนของตำแหน่งในภาพ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดของการโคจร ลักษณะของการวางตัวของดาวเทียมขณะทำการบันทึกตรวจวัดข้อมูล การหมุนรอบตัวเองของโลก การโค้งตัวของเปลือกโลก การเคลื่อนตัวของเครื่องตรวจวัดบางชนิดของดาวเทียม ความกว้างของสนามมุมมองของอุปกรณ์บันทึกข้อมูลในดาวเทียม ความผันแปรของเพดานบินและความเร็วของดาวเทียม ลักษณะเฉพาะตัวของพื้นที่ที่ทำการตรวจวัด ซึ่งการปรับแก้ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิตจะอาศัยจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point: GCP) ในระบบพิกัดกริดแบบยูทีเอ็ม (Universal Transverse Mercator: UTM) ของแผนที่ภาพถ่ายที่มีค่าพิกัดที่ถูกต้องแล้วมาใช้ในการอ้างอิง เพื่อปรับแก้พิกัดของพื้นที่ศึกษาให้ถูกต้องและตรงกับตำแหน่งบนพื้นผิวโลกมากที่สุด

สำหรับข้อมูลภาพจากภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้รับการปรับแก้ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิตจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) เรียบร้อยแล้ว ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้ง โดยใช้แผนที่ภาพถ่ายออร์โธรีโธจีเชิงเลข มาตราส่วน 1:4,000 จังหวัดภูเก็ต จากกรมแผนที่ดิน ซึ่งตรวจสอบจากการกำหนดจุดที่เห็นปรากฏได้ชัดเจน จำนวน 6 จุด เช่น แยกถนนตัดกัน มุมแปลงที่ดิน มุมของอาคาร หรือบ้านเรือนให้กระจายครอบคลุมพื้นที่ศึกษา จากการตรวจสอบความถูกต้องพบว่าค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) เท่ากับ 0.317 เมตร

3.5.2 การปรับแก้ความผิดพลาดเชิงรังสี (Radiometric Correction)

การปรับแก้ความผิดพลาดเชิงรังสีหรือเชิงคลื่น เป็นการปรับแก้ความผิดพลาดที่เกิดจากความบกพร่องของเครื่องรับสัญญาณ อิทธิพลของชั้นบรรยากาศ เช่น มุมตกกระทบของแสง หมอก คว้น และเมฆ การปรับแก้ความผิดพลาดเชิงรังสีจะใช้วิธีการแปลงข้อมูลค่าเลขหลัก (Digital Number: DN) ของข้อมูลภาพจากดาวเทียมไปเป็นข้อมูลค่าพลังงานที่สะท้อนจากพื้นผิวโลกที่แท้จริง (Reflectance) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

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

โดยนำค่า K_{Band} และ $\Delta\lambda_{\text{Band}}$ ที่ได้จากข้อมูล Metadata ของข้อมูลภาพจากดาวเทียมในแต่ละช่วงคลื่น มาแทนค่าลงในสมการที่ 1 ซึ่งรูปแบบสมการในการแปลงค่าของข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ดังนี้ (Updike and Comp, 2010)

$$L_{\lambda_{\text{Pixel,Band}}} = \frac{K_{\text{Band}} \times q_{\text{Pixel,Band}}}{\Delta\lambda_{\text{Band}}} \quad (1)$$

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

2) การแปลงค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่น (Spectral Radiance) เป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Reflectance)

โดยนำค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่น ($L_{\lambda_{\text{Pixel,Band}}}$) ที่ได้จากสมการที่ 1 และค่ามุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับพื้นผิวโลก ($\text{COS}(\theta_s)$) ค่าระยะห่างจากดวงอาทิตย์ถึงโลก (d_{ES}) และค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ($\text{ESUN}_{\lambda_{\text{band}}}$) มาแทนค่าลงในสมการที่ 2 ซึ่งมีรูปแบบสมการในการแปลงค่าของข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ดังต่อไปนี้ (Updike and Comp, 2010)

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

เมื่อ	ρ_λ	= ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Spectral Radiance) ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)
	$L_{\lambda_{\text{Pixel,Band}}}$	= ค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่น (Spectral Radiance) ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)
	d_{ES}	= ค่าระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์
	$ESUN_{\lambda_{\text{band}}}$	= ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)
	$\cos\theta_s$	= 90-มุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับพื้นผิวโลก
	π	= ตัวปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์

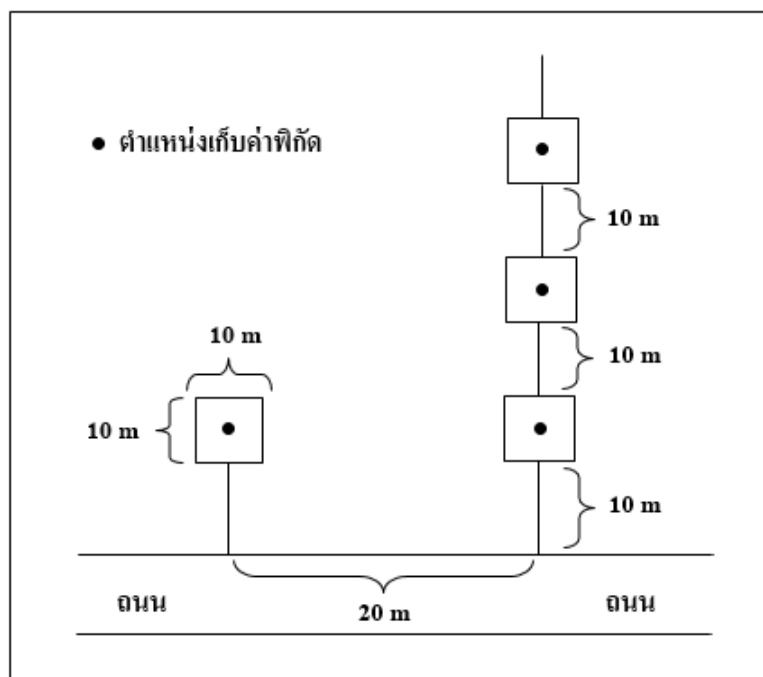
3.6 การสำรวจภาคสนามและการวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม

การศึกษานี้ได้ดำเนินการเตรียมข้อมูลเบื้องต้นก่อนการออกสำรวจภาคสนาม โดยทำการสุ่มจุดเก็บข้อมูลตัวอย่างในเบื้องต้นจากแผนที่อายุขางพารา บริเวณตำบลป่าคอก อำเภอดงหลวง จังหวัดสุโขทัย (Koedsin and Huete, 2015) ซึ่งเป็นพื้นที่เดียวกับการศึกษานี้ เพื่อเป็นแนวทางในการเข้าเก็บข้อมูลภาคสนามในพื้นที่ศึกษานี้

3.6.1 การสำรวจภาคสนาม

1) การวางแผนสำหรับการสำรวจภาคสนาม

การวางแผนจะใช้วิธีการสำรวจแบบเส้นตรง (Line Transect) โดยวางเส้นเชือกในแนวตั้งฉากกับถนน โดยจะเริ่มวางแผนตัวอย่างห่างจากขอบถนนประมาณ 10 m จากนั้นวางแผนตัวอย่างขนาด 10×10 m และมีระยะห่างระหว่างขอบแปลงประมาณ 10 m เพื่อให้สอดคล้องกับขนาดของจุดภาพของข้อมูลภาพจากดาวเทียม และระยะห่างระหว่างเส้นสำรวจ (Line) ประมาณ 20 m ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการวาง Line Transect ในการสำรวจภาคสนาม

3.6.2 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

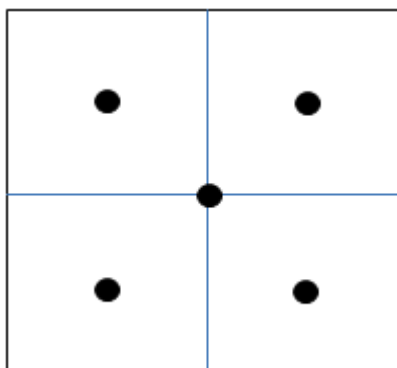
1) การเก็บข้อมูลอายุของพารา มีการสอบถามและบันทึกข้อมูลอายุของพารา เพื่อให้ได้ข้อมูลตัวอย่างครอบคลุมในทุกช่วงอายุ โดยเก็บข้อมูลตัวอย่างช่วงอายุของพาราออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงอายุของพาราอ่อน ก่อนอายุ 7 ปี ช่วงอายุของพาราหนุ่ม อายุ 7 - 15 ปี และช่วงอายุของพาราแก่ อายุตั้งแต่ 15 ปีขึ้นไป

2) การเก็บค่าพิกัดของแปลงตัวอย่าง ทำการเก็บค่าพิกัด ณ จุดกึ่งกลางของแปลงตัวอย่างแต่ละแปลง โดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบพกพา ซึ่งบันทึกค่าในระบบพิกัดกริดแบบยูทีเอ็ม (Universal Transverse Mercator: UTM) ในการเก็บค่าพิกัดของแปลงตัวอย่าง ใช้วิธี Differential Global Positioning System (DGPS) และอ้างอิงค่าพิกัดจากหมุดหลักฐานของกรมที่ดิน ที่ตั้งอยู่บริเวณที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต ซึ่งวิธีการนี้ทำให้การระบุตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 m (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2552)

3) การเก็บข้อมูลสำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงตัวอย่าง โดยทำการวัดความสูง (H) ของยางพาราทุกต้นในแปลงตัวอย่าง ด้วยเครื่องมือวัดความสูงของต้นไม้ (Clinometer) และวัดเส้นรอบวงของต้นไม้ที่ระดับความสูงเพียงอก (Girth at Breast Height: GBH) หรือระดับความสูง 130 cm จากพื้นดิน โดยใช้เทปสายวัด (แสดงดังภาคผนวก ก)

สำหรับนำไปใช้ในการคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (Diameter at Breast Height: DBH)

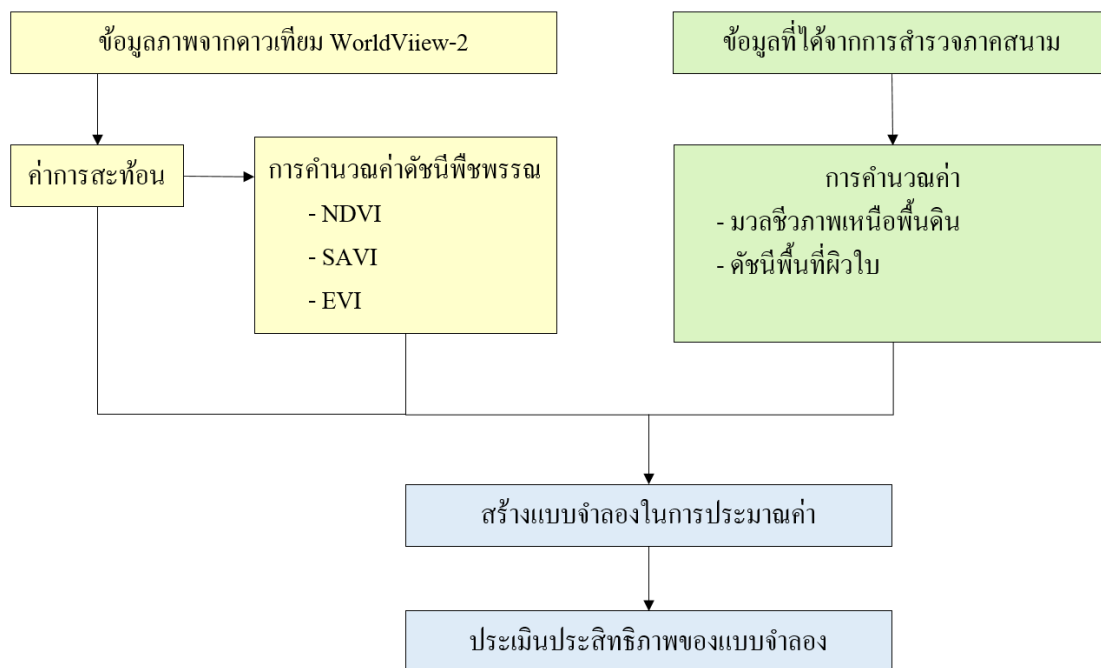
4) การเก็บข้อมูลสำหรับการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงตัวอย่าง โดยทำการถ่ายภาพเรือนยอดด้วยเลนส์ตาปลา (Fish Eye Lens) จากใต้ต้นไม้ขึ้นไปบนท้องฟ้าในแนวตั้ง ตั้งตามเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา (แสดงดังภาพผนวก ก) โดยถ่ายภาพในแปลงตัวอย่างแปลงละ 5 จุด ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งในการถ่ายภาพเรือนยอด

3.6.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อได้ข้อมูลต่างๆ ในพื้นที่ศึกษาจากการออกภาคสนามมาแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อประมาณค่ามวลชีวภาพและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

1) การคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ

การศึกษานี้ ได้เลือกการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณในรูปแบบต่างๆ จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม 3 รูปแบบ ได้แก่ ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (Soil-Adjusted Vegetation Index: SAVI) และดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (Enhanced Vegetation Index: EVI) โดยใช้ข้อมูลช่วงคลื่นของข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ในการคำนวณตามสมการ ซึ่งทางผู้วิจัยได้แบ่งการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณออกเป็น 2 ชุด ตามช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Band) ทั้งช่วงคลื่นที่ 7 (Near-IR1), และช่วงคลื่นที่ 8 (Near-IR2) โดยมีรูปแบบการแทนค่าสมการดังตารางที่ 3.2 (ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง และค่าดัชนีพืชพรรณ แสดงดังภาคผนวก ข)

ตารางที่ 3.2 รูปแบบการแทนค่าสมการดัชนีพืชพรรณ โดยใช้ข้อมูลช่วงคลื่นจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2

รูปแบบสมการ	สมการ
ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)	$\text{NDVI} = \frac{B7-B5}{B7+B5} \quad (3)$
	$\text{NDVI2} = \frac{B8-B5}{B8+B5} \quad (4)$
ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (Soil-Adjusted Vegetation Index: SAVI)	$\text{SAVI} = \frac{B7-B5}{B7+B5+0.5} (1+0.5) \quad (5)$
	$\text{SAVI2} = \frac{B8-B5}{B8+B5+0.5} (1+0.5) \quad (6)$
ดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (Enhanced Vegetation Index: EVI)	$\text{EVI} = 2.5 \times \frac{B7-B5}{B7+(6 \times B5 - 7.5 \times B2)+1} \quad (7)$
	$\text{EVI2} = 2.5 \times \frac{B7-B5}{B8+(6 \times B5 - 7.5 \times B2)+1} \quad (8)$

หมายเหตุ B2 คือ Band 2 (Blue), B5 คือ Band 5 (Red), B7 คือ Band 7 (Near-IR1), B8 คือ Band 8 (Near-IR2)

2) การคำนวณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน

นำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม มาทำการคำนวณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของพารา โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้สมการ Allometric ที่ได้จากงานวิจัยของประดิษฐ์ตรีพัฒนาสุวรรณ, และคณะ, 2553 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก และความสูงของต้นยางพารา ดังสมการที่ 9

$$\text{มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (W}_T\text{)} = 0.0046 (\text{DBH}^2\text{H})^{1.2046} \quad (\text{kg}) \quad (9)$$

เมื่อ DBH คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ที่ระดับความสูงเพียงอกประมาณ 130 cm (cm)

H คือ ความสูง (m)

การศึกษานี้ได้มีการเตรียมข้อมูลค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากสมการ Allometric ก่อนนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาสมการที่ดีที่สุดสำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน โดยทำการแบ่งข้อมูลค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนามออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกฝน (Train Data) และชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ (Test Data) จากนั้นนำมาวิเคราะห์สัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนามและข้อมูลการสะท้อนแต่ละช่วงคลื่นที่ได้จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ด้วยการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression: MLR) จากนั้นคำนวณหาค่าความผิดพลาดทางสถิติ (Error Statistics) ด้วยวิธีการของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์พบว่า ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ มีค่าเท่ากับ 15.115 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงมาก ดังตารางที่ 3.3

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงปรับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินให้อยู่ในรูปของลอการิทึม (Logarithm of Above Ground Biomass) และนำมาวิเคราะห์สัมพันธ์กับข้อมูลการสะท้อนแต่ละช่วงคลื่นที่ได้จากข้อมูลภาพจากดาวเทียมด้วยการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนพบว่า ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ มีค่าเท่ากับ 0.331 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยลง ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

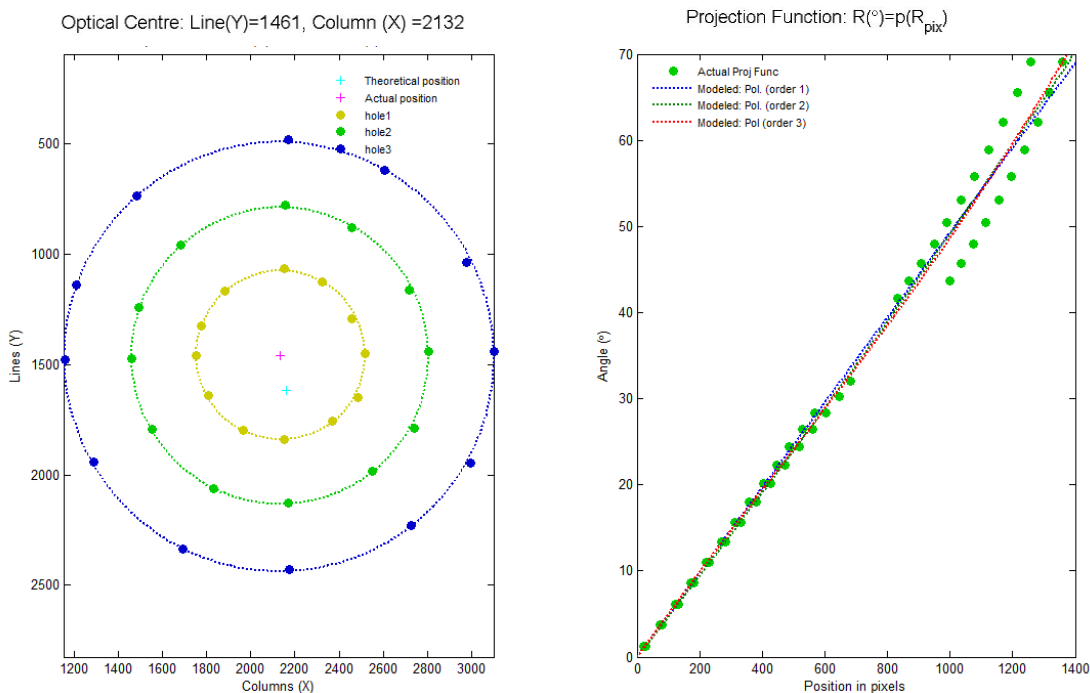
การวิเคราะห์ข้อมูล	ข้อมูลฝึกฝน		ข้อมูลทดสอบ
	R ²	Adj.R ²	RMSE
ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับข้อมูลการสะท้อน 8 ช่วงคลื่น			
AGB=100.64+205.31B8-2223.57B2+2528.92B3+522.68B4-660.90B5-63.29B6-454.76B7+203.87B7	0.474	0.395	15.115
ค่าลอการิทึมของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับข้อมูลการสะท้อน 8 ช่วงคลื่น			
AGB=4.654-0.753B1-58.483B2+53.753B3+22.487B4-13.341B5-0.120B6-11.224B7+3.332B8	0.596	0.536	0.331

จากตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบที่มีค่าน้อยที่สุดนั่นคือ ชุดข้อมูลค่าลอการิทึมของมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการวิเคราะห์ผลเพื่อหาสมการที่ดีที่สุดสำหรับใช้ประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราต่อไป ดังนั้นข้อมูลมวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่กล่าวอยู่ในบทที่ 4 และบทที่ 5 หมายถึง ข้อมูลที่อยู่ในรูปค่าลอการิทึมของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินนั่นเอง

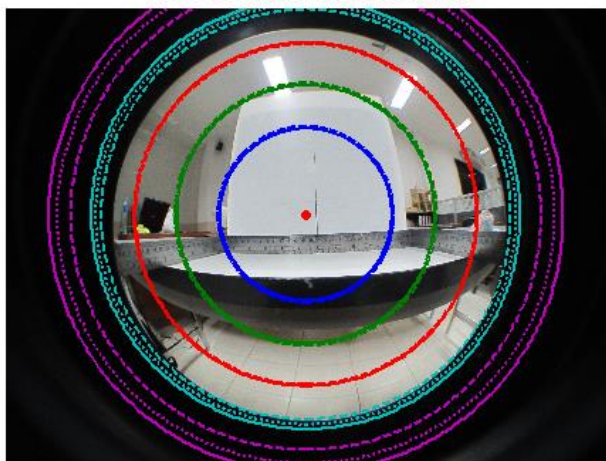
3) การคำนวณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

นำข้อมูลภาพถ่ายเร็นนยอคที่ใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลาที่ได้จากการสำรวจภาคสนามมาคำนวณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ ซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้ชุดโปรแกรม CAN-EYE ในการคำนวณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ โดยโปรแกรมสามารถคำนวณพื้นที่ว่างจากการส่องผ่านของแสงภายในทรงพุ่ม จากนั้นโปรแกรมจะหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลภาพถ่ายเร็นนยอคทั้ง 5 ภาพของแต่ละแปลงตัวอย่าง

ก่อนเข้าสู่กระบวนการการวิเคราะห์ภาพและการคำนวณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ จะต้องทำการปรับแก้หรือการสอบเทียบ (Calibration) ตามวิธีการในคู่มือการใช้โปรแกรม CAN-EYE Version 6.1 (Weiss and Baret, 2010) เพื่อหาจุดกึ่งกลางของเลนส์ (Optical Center) และฟังก์ชันการฉาย (Projection Function) ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์และประมวลผล แสดงดังรูปที่ 3.6

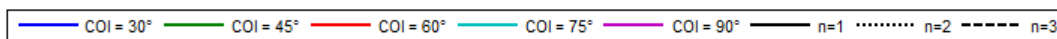


IMG_0033.JPG(Image Size: Y=3240, X=4320)



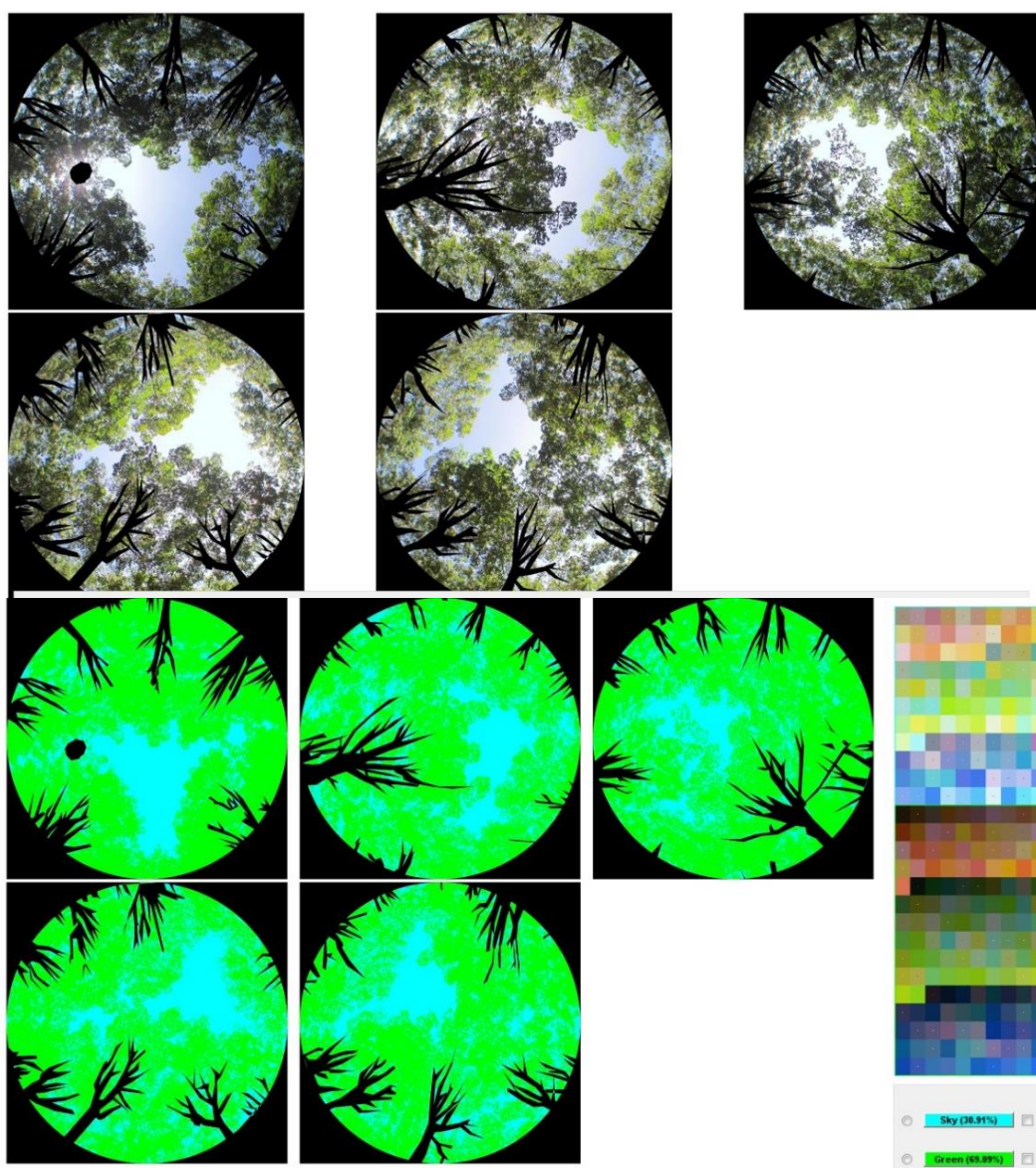
$$R^{\circ} = P_1(R_{pix}) + P_2(R_{pix})^2 + P_3(R_{pix})^3$$

		P_1	P_2	P_3	RMSE(๑)
1	n = 1	0.04929151...	0		0.241304513...
2	n = 2	0.04675724...	2.41096533...		0.236172244...
3	n = 3	0.05090344...	-8.3418425...	6.10106447...	2.32994009...



รูปที่ 3.6 การปรับแก้กล้องถ่ายภาพเลนส์ตาปลา

จากนั้นนำข้อมูลภาพถ่ายเรือนยอดทั้ง 5 ภาพของแต่ละแปลงตัวอย่าง มาประมวลผลในโปรแกรม CAN-EYE โดยเริ่มจากการทำการกันขอบเขตข้อมูล (Mask) ส่วนที่ไม่ต้องการออก เช่น ลำต้น และกิ่ง ขั้นตอนต่อมาทำการกำหนดค่าการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายเรือนยอด เพื่อจำแนกระหว่างส่วนของพื้นที่ที่มีใบปกคลุมกับส่วนของพื้นที่ที่มีการส่องผ่านของแสงหรือท้องฟ้าออกจากกัน และในขั้นตอนสุดท้ายโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์และประมวลผลค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากข้อมูลภาพถ่ายเรือนยอด แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การวิเคราะห์ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบโดยใช้โปรแกรม CAN-EYE

3.6.4 การสร้างแบบจำลองในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา

การสร้างแบบจำลองในการประมาณค่าจะใช้ข้อมูลค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม ร่วมกับข้อมูลค่าการสะท้อนแต่ละช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากค่าการสะท้อนของข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2 ซึ่งเป็นจุดภาพ (Pixel) บริเวณเดียวกันกับจุดเก็บตัวอย่างในภาคสนาม ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการปรับขนาดจุดภาพ (Resize data) เป็น 10 เมตร เพื่อให้สอดคล้องกับขนาดของแปลงตัวอย่างในภาคสนาม และทำการแบ่งข้อมูลค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกฝนร้อยละ 70 และชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบร้อยละ 30 จากนั้นนำมาวิเคราะห์สัมพัทธ์ตามวิธีการดังนี้

1) การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression: MLR)

เป็นวิธีการวิเคราะห์การถดถอย เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม กับข้อมูลค่าการสะท้อนแต่ละช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม โดยมีรูปแบบสมการ ดังสมการที่ 10

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_8X_8 \quad (10)$$

เมื่อ	Y	= ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม
	a	= ค่าที่เส้นสมการถดถอยตัดแกน y (y-intercept)
	b_1, b_2, b_3, b_8	= สัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Coefficient of Regression)
	X_1, X_2, X_3, X_8	= ค่าการสะท้อนแต่ละช่วงคลื่นกับค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม WorldView-2

นอกจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนามกับข้อมูลค่าการสะท้อนแต่ละช่วงคลื่น และค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพจากดาวเทียมได้เลือกใช้วิธีการถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (Stepwise Multiple Regression) เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระที่เหมาะสมในการสร้างสมการประมาณค่า โดยเลือกใช้

วิธีการเลือกตัวแปร โดยวิธีการเพิ่มตัวแปรอิสระแบบขั้นตอน ซึ่งเป็นวิธีการเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวแปรตาม ในการวิเคราะห์จะพิจารณาจากค่า p-value โดยพิจารณาตัวแปรที่มีค่า p-value มากที่สุด เปรียบเทียบกับระดับนัยสำคัญที่กำหนด (0.05) หากตัวแปรใดมีค่า p-value มากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด ($p\text{-value} > 0.05$) จะตัดตัวแปรนั้นออกจากสมการ และหากตัวแปรใดมีค่า p-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด ($p\text{-value} < 0.05$) ก็จะเลือกตัวแปรนั้นอยู่ในสมการ

การศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ วิธีการถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน และวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมรวมทั้งหมด 10 รูปแบบ แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 วิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามกับข้อมูลค่าการสะท้อนแต่ละช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม

วิธีการ	ตัวแปรตาม	ตัวแปรต้น
การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ		
รูปแบบที่ 1	ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน	ค่าการสะท้อนจำนวน 8 ช่วงคลื่น
รูปแบบที่ 2	ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน	ค่าการสะท้อนจำนวน 8 ช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ NDVI SAVI และ EVI
รูปแบบที่ 3	ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน	ค่าการสะท้อนจำนวน 8 ช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ NDVI2 SAVI2 และ EVI2
รูปแบบที่ 4	ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน	ค่าการสะท้อนจำนวน 8 ช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ NDVI NDVI2 SAVI SAVI2 EVI และ EVI2
การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน		
รูปแบบที่ 5	ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน	ค่าการสะท้อนจำนวน 8 ช่วงคลื่น
รูปแบบที่ 6	ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน	ค่าการสะท้อนจำนวน 8 ช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ NDVI NDVI2 SAVI SAVI2 EVI และ EVI2
รูปแบบที่ 7	ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน	ค่าการสะท้อนจำนวน 8 ช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ NDVI SAVI และ EVI
รูปแบบที่ 8	ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน	ค่าการสะท้อนจำนวน 8 ช่วงคลื่นและค่าดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ NDVI2 SAVI2 และ EVI2
โครงข่ายประสาทเทียม		
รูปแบบที่ 9	ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน	ค่าการสะท้อนจำนวน 8 ช่วงคลื่น
รูปแบบที่ 10	ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน	ตัวแปรต้นได้จากรูปแบบที่ดีที่สุดที่คัดเลือกโดยการถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน

ซึ่งในส่วนของดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราก็มีรูปแบบเช่นเดียวกัน โดยการเปลี่ยนตัวแปรตาม เป็นข้อมูลค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

2) โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANNs)

การศึกษานี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layered Perceptron: MLP) ซึ่งมีลักษณะ โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยชั้นของข้อมูลเบื้องต้น 3 ชั้น คือ ชั้นนำเข้าข้อมูล (Input Layer) ชั้นซ่อนหรือชั้นแฝง (Hidden Layer) และชั้นผลลัพธ์ (Output Layer) ซึ่งชั้นซ่อนใช้ฟังก์ชันการแปลงแบบแทน-ซิกมอยด์ (Tan-Sigmoid Transfer Function) ส่วนชั้นผลลัพธ์ใช้ฟังก์ชันการแปลงแบบเชิงเส้น (Linear Transfer Function) และวิธีการฝึกฝน (Training Method) ใช้วิธี Bayesian Regularization โดยใช้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ในการวัดค่าความผิดพลาดหลังจากที่ได้ทำการทดลองซ้ำหลายครั้ง โดยการปรับเปลี่ยนจำนวนนิวรอนในแต่ละชั้นซ่อนจากการลองผิดลองถูก (Trial and Error) เพื่อให้ได้ค่าจำนวนโหนดที่ดีที่สุด

3.7 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้จากการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา โดยการคำนวณหาค่าความผิดพลาดทางสถิติ (Error statistics) ซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) มีรายละเอียดดังนี้

3.7.1 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

เป็นค่าที่อธิบายว่า แบบจำลองหรือสมการที่ใช้ในการประมาณค่า มีความสามารถอธิบายความผันผวน (Variation) ของตัวแปรตามได้มากน้อยเพียงใด หรือตัวแปรอิสระในแบบจำลองอธิบายตัวแปรตามได้มากน้อยเพียงใด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 11 และสมการที่ 12 ดังนี้

$$R^2 = \frac{(\sum XY - N\bar{X}\bar{Y})^2}{(\sum X^2 - N\bar{X}^2)(\sum Y^2 - N\bar{Y}^2)} \quad (11)$$

หรือ

$$R^2 = \frac{(N \sum XY - (\sum X)(\sum Y))^2}{(N \sum X^2 - (\sum X)^2)(N \sum Y^2 - (\sum Y)^2)} \quad (12)$$

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

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจยังมีค่าใกล้ 1 มากเท่าใด แสดงว่าสามารถอธิบายค่าของตัวแปรตามได้ดี เนื่องจากตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันมาก แต่ถ้ามีค่าใกล้ 0 แสดงว่าสมการถดถอยสามารถอธิบายค่าของตัวแปรตามได้ไม่ดีหรือกล่าวโดยสรุปได้ว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันน้อย

อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจข้างต้นมีจุดอ่อนคือ การคำนวณดังกล่าวอยู่ในรูปร้อยละ กล่าวคือตัวหารนั้นมีค่าคงที่ แต่ตัวเศษมีค่าลดลง ดังนั้นการเพิ่มตัวแปรอิสระในสมการทำให้ตัวเศษลดลง เป็นผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าสูงขึ้น ทั้งที่ตัวแปรอิสระที่เพิ่มเข้าไปใหม่ อาจจะไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามก็ได้ ซึ่งการเพิ่มตัวแปรใหม่เข้าไปนั้นทำให้สมการถดถอยมีประสิทธิภาพ (Efficient) ลดลง จึงต้องมีการปรับค่าให้ถูกต้องมากขึ้น โดยเรียกวิธีการนี้ว่า การปรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Adjusted Coefficient of Determination: Adjusted R Square; Adjusted R^2 or Adj. R^2)

ในทางทฤษฎีการเพิ่มตัวแปรอิสระแบบไม่จำกัดค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 1 Adjusted R Squares หรือ \bar{R}^2 ซึ่งเป็นความพยายามทำให้ข้อบกพร่องนี้ให้ถูกต้องด้วยการปรับทั้งตัวเศษและตัวส่วนด้วยค่าองศาอิสระ (Degrees of Freedom) ดังสมการที่ 13

$$\bar{R}^2 = 1 + \frac{n-1}{n-k-1} (R^2-1) \quad (13)$$

เมื่อ	\bar{R}^2	คือ ค่าจากการปรับสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
	R^2	คือ สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ
	n	คือ จำนวนข้อมูล

k คือ จำนวนตัวแปรอิสระ

3.7.2 ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

เป็นค่าสถิติที่ใช้วัดความแม่นยำของการประมาณ โดยจะใช้วัดค่าความแม่นยำที่ตรงตรงของการทำนาย (Predict) กับค่าที่ทำการวัดจริง (Measured) ซึ่งในสำหรับงานวิจัยนี้ทำการคำนวณระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราจากการสำรวจภาคสนาม กับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราจากการประมาณค่าของแบบจำลองในรูปแบบต่างๆ ทั้งหมด 10 รูปแบบที่กล่าวไปแล้วในข้างต้น โดยคำนวณดังสมการที่ 14 ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะคำนวณค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนามกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum (\hat{y} - y)^2}{n}} \quad (14)$$

เมื่อ RMSE คือ รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

\hat{y} คือ ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของยางพาราที่ได้จากการประมาณค่า

y คือ ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

n คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้

การศึกษาครั้งนี้ แบบจำลองหรือสมการที่มีความถูกต้องเหมาะสมมากที่สุด จะพิจารณาจากชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบที่มีค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย หรือ RMSE น้อยที่สุด ซึ่งจะถือเป็นแบบจำลองที่มีความถูกต้องมากที่สุด

บทที่ 4

ผลและบทวิจารณ์ผลการวิจัย

การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา โดยใช้การรับรู้ระยะไกล ภูมิศึกษา ตำบลป่าคลอก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต ผลการศึกษา ประกอบด้วย ผลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และการจัดทำแผนที่ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบแปลงของยางพารา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลการสำรวจภาคสนาม

การศึกษานี้ได้ทำการสำรวจภาคสนาม ในระหว่างวันที่ 24 ถึง 26 ธันวาคม พ.ศ. 2556 และวันที่ 3 มกราคม พ.ศ. 2557 ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการสำรวจภาคสนาม เพราะอยู่ในช่วงฤดูกลางฤดู การเก็บข้อมูลภาคสนามได้ทำการบันทึกข้อมูลของยางพารา ได้แก่ อายุยาง ความสูงและเส้นรอบวงของต้นยางพาราในแปลงตัวอย่าง และถ่ายภาพทรงพุ่มของยางพาราในแปลงตัวอย่าง พร้อมทั้งใช้เครื่องกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก บันทึกจุด ณ ตำแหน่งที่มีการเก็บข้อมูลแปลงตัวอย่าง โดยทำการสำรวจภาคสนามทั้งสิ้น 89 จุด แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกฝน (Training Data) จำนวน 62 จุด และชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ (Testing Data) จำนวน 27 จุด ซึ่งผลการคำนวณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝักฝืน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		AGB (kg/m ²)	Logarithm of AGB (kg/m ²)	LAI
		ตะวันออก	เหนือ			
1	6	434900	891122	2.822	0.451	4.04
2	6	434900	891142	3.063	0.486	2.98
3	<7	433700	888202	3.246	0.511	1.34
4	<7	433600	888222	3.328	0.522	1.25
5	<7	433650	888242	3.642	0.561	1.76
6	6	434890	891082	3.792	0.579	2.94
7	6	434890	891062	4.003	0.602	2.62
8	<7	434880	888742	4.144	0.617	0.87
9	6	434880	891022	4.164	0.620	3.31
10	6	434880	891042	4.514	0.655	3.42
11	6	434880	890982	4.627	0.665	3.68
12	<7	434890	888782	4.738	0.676	1.16
13	6	434900	891102	5.125	0.710	2.92
14	<7	433690	888212	5.129	0.710	1.18
15	<7	433620	888252	5.404	0.733	1.66
16	<7	434910	888772	5.521	0.742	1.02
17	<7	433690	888232	5.644	0.752	1.25
18	6	434900	891162	6.327	0.801	4.13
19	<7	434870	888732	6.511	0.814	0.57
20	<7	434890	888802	6.602	0.820	1.60
21	<7	434900	888752	6.772	0.831	1.00
22	<7	434900	888732	7.583	0.880	0.76
23	10	434700	889662	9.963	0.998	1.00
24	7	434620	888962	10.822	1.034	1.50
25	10	434700	889632	11.390	1.057	1.25

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝักฝืน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		AGB (kg/m ²)	Logarithm of AGB (kg/m ²)	LAI
		ตะวันออก	เหนือ			
26	25	433700	888492	12.502	1.097	1.33
27	10	434670	889602	13.518	1.131	1.61
28	10	434650	889612	13.952	1.145	1.56
29	10	434630	889622	14.634	1.165	1.75
30	7	434860	888832	15.305	1.185	0.67
31	7	434550	889012	15.836	1.200	1.14
32	10	434680	889632	16.435	1.216	0.96
33	22	434620	890772	16.814	1.226	1.62
34	7	434590	889002	16.997	1.230	1.35
35	7	434830	888702	17.751	1.249	0.90
36	22	434610	890732	19.275	1.285	1.23
37	7	434610	888992	20.011	1.301	1.35
38	7	434830	888742	20.064	1.302	0.96
39	10	434670	889642	20.714	1.316	1.32
40	10	434710	889622	21.350	1.329	0.97
41	22	434630	890792	21.594	1.334	2.19
42	7	434570	889002	23.791	1.376	0.86
43	7	434850	888812	23.974	1.380	0.86
44	25	433770	888432	25.013	1.398	1.35
45	22	434640	890912	26.808	1.428	1.54
46	7	434840	888792	27.242	1.435	0.97
47	25	434030	888142	27.403	1.438	1.72
48	22	434650	890892	28.590	1.456	1.89
49	25	433780	888462	28.894	1.461	1.17
50	25	434000	888112	29.866	1.475	1.05

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝักฝืน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		AGB (kg/m ²)	Logarithm of AGB (kg/m ²)	LAI
		ตะวันออก	เหนือ			
51	7	434830	888812	30.881	1.490	0.81
52	7	434830	888682	31.309	1.496	1.16
53	25	433710	888452	36.716	1.565	1.75
54	25	433740	888472	37.518	1.574	1.24
55	7	434830	888722	37.647	1.576	0.72
56	22	434640	890842	41.842	1.622	1.70
57	25	434010	888152	45.529	1.658	1.75
58	25	433990	888152	45.701	1.660	1.16
59	25	433980	888122	54.494	1.736	1.31
60	25	433720	888482	54.639	1.738	1.17
61	25	433750	888432	55.961	1.748	1.42
62	25	433730	888442	59.977	1.778	1.56
63	<7	433630	888242	3.117	0.494	1.68
64	<7	433720	888232	3.398	0.531	1.65
65	<7	433640	888212	3.797	0.579	1.20
66	6	434880	891002	4.171	0.620	3.28
67	<7	433670	888242	5.051	0.703	1.44
68	<7	433630	888222	5.336	0.727	1.34
69	<7	434880	888772	5.937	0.774	0.82
70	<7	433670	888212	6.657	0.823	1.91
71	10	434720	889652	8.703	0.940	0.83
72	10	434680	889592	12.112	1.083	1.15
73	22	434640	890872	13.917	1.144	2.03
74	10	434700	889592	15.468	1.189	1.17
75	7	434860	888752	16.695	1.223	0.89

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝักฝืน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		AGB (kg/m ²)	Logarithm of AGB (kg/m ²)	LAI
		ตะวันออก	เหนือ			
76	7	434620	888982	18.995	1.279	1.02
77	7	434600	888962	20.464	1.311	1.31
78	22	434620	890752	20.933	1.321	1.22
79	7	434860	888802	23.842	1.377	1.22
80	7	434860	888772	25.557	1.408	0.87
81	25	433760	888472	28.027	1.448	1.16
82	25	434070	888132	29.769	1.474	1.78
83	22	434630	890812	34.285	1.535	2.04
84	7	434830	888772	37.002	1.568	0.83
85	22	434630	890822	37.727	1.577	2.12
86	25	434040	888102	46.899	1.671	1.63
87	25	434070	888092	55.484	1.744	2.05
88	25	433690	888462	57.548	1.760	1.68
89	25	434020	888092	61.433	1.788	1.67

4.2 การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม กับค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงของภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ของชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกฝน โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนและโครงข่ายประสาทเทียม รวมทั้งหมด 10 รูปแบบ ซึ่งให้แบบจำลองหรือสมการในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2

เมื่อนำแบบจำลองหรือสมการมาใช้ในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจากข้อมูลฝึกฝน ข้อมูลทดสอบ และข้อมูลทั้งหมด (All Data) ร่วมกับข้อมูลการประมาณค่าที่ได้จากสมการ มีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ ค่าประสิทธิภาพการตัดสินใจแบบปรับแก้ และค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (กรุณาดูตารางที่ 3.4 หน้า 35 ประกอบ)

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	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									
รูปแบบที่ 1	0.596	0.536	0.245	0.345	0.319	0.331	0.513	0.507	0.274
รูปแบบที่ 2	0.612	0.606	0.241	0.285	0.256	0.344	0.505	0.499	0.276
รูปแบบที่ 3	0.610	0.603	0.241	0.213	0.182	0.364	0.477	0.471	0.284
รูปแบบที่ 4	0.691	0.686	0.215	0.195	0.163	0.408	0.487	0.481	0.288
การถดถอยพหุนามแบบขั้นตอน									
รูปแบบที่ 5	0.578	0.571	0.251	0.411	0.387	0.313	0.523	0.517	0.271
รูปแบบที่ 6	0.684	0.679	0.026	0.211	0.180	0.318	0.491	0.485	0.286
รูปแบบที่ 7	0.586	0.579	0.249	0.372	0.347	0.321	0.517	0.512	0.272
รูปแบบที่ 8	0.589	0.582	0.248	0.331	0.304	0.338	0.500	0.494	0.275
โครงข่ายประสาทเทียม									
รูปแบบที่ 9	0.554	0.546	0.253	0.552	0.534	0.288	0.548	0.543	0.264
รูปแบบที่ 10	0.746	0.708	0.191	0.648	0.633	0.257	0.709	0.706	0.213

จากตารางที่ 4.2 วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ได้แก่ รูปแบบที่ 5 - รูปแบบที่ 8 ผลการศึกษาพบว่า

รูปแบบที่ 5 มีตัวแปรอิสระเพียง 3 ตัว คือ ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ช่วงคลื่น Band 2 (Blue), Band 3 (Green) และ Band 7 (Near-IR1) ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจและมีค่ารากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.411 และ 0.313 ตามลำดับ

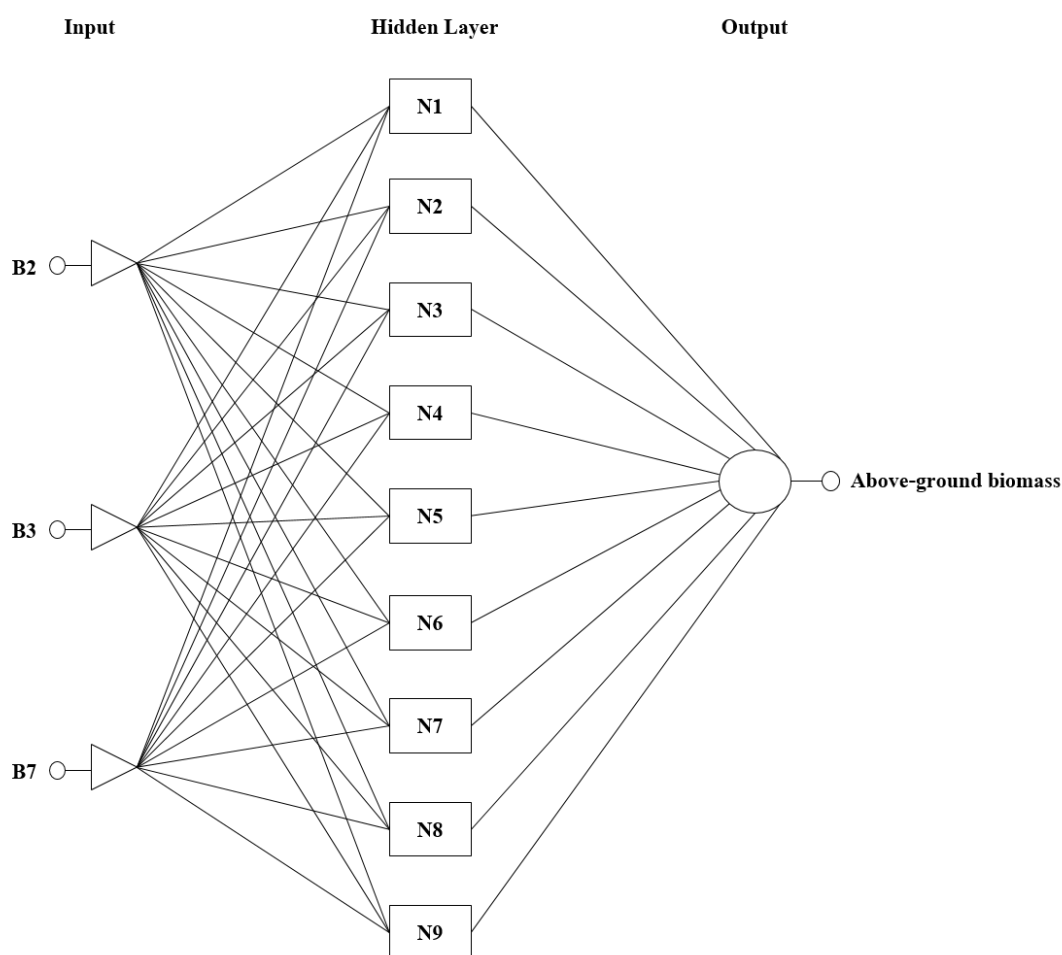
รูปแบบที่ 6 มีตัวแปรอิสระเพียง 11 ตัว คือ ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ช่วงคลื่น Band 2 (Blue), Band 3 (Green), Band 5 (Red), Band 7 (Near-IR1), Band 8 (Near-IR2), NDVI, NDVI2, SAVI, SAVI2, EVI และ EVI2 ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการ ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจและมีค่ารากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.211 และ 0.318 ตามลำดับ

รูปแบบที่ 7 มีตัวแปรอิสระเพียง 4 ตัว คือ ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ช่วงคลื่น Band 3 (Green), Band 5 (Red), NDVI, และ EVI ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการ ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจและมีค่ารากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.372 และ 0.321 ตามลำดับ

รูปแบบที่ 8 มีตัวแปรอิสระเพียง 5 ตัว คือ ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ช่วงคลื่น Band 3 (Green), Band 5 (Red), Band 7 (Near-IR1), Band 8 (Near-IR2), และ EVI2 ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการ ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจและมีค่ารากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.331 และ 0.338 ตามลำดับ

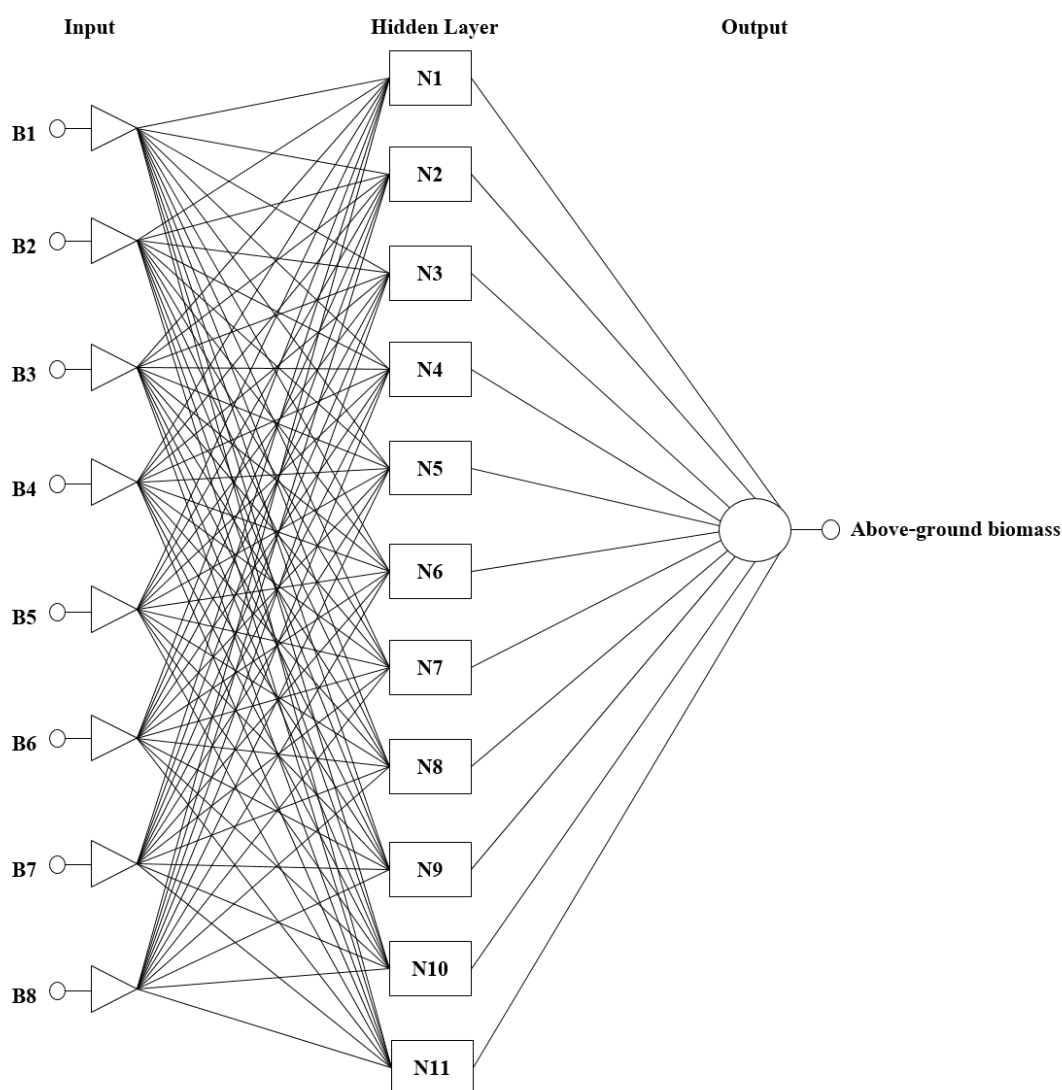
ซึ่งเห็นได้ว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ในรูปแบบที่ 5 - รูปแบบที่ 8 พบว่ารูปแบบที่ 5 มีค่ารากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด ดังนั้นจึงนำผลจากการคัดเลือกตัวแปรอิสระเพียง 3 ตัวที่ได้จากรูปแบบที่ 5 คือ ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ช่วงคลื่น Band 2 (Blue), Band 3 (Green) และ Band 7 (Near-IR1) เป็นตัวแปรนำเข้าของวิธีการ โครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 9 ต่อไป

สำหรับวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม ได้แก่ รูปแบบที่ 9 - รูปแบบที่ 10 ผลการศึกษาพบว่า รูปแบบที่ 9 มีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ ค่าประสิทธิภาพการตัดสินใจแบบปรับแก้และค่ารากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.522, 0.534 และ 0.288 ตามลำดับ โดยมีรูปแบบลักษณะโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 3 - 9 - 1 คือ มีชั้นข้อมูลนำเข้า 3 โหนด คือ ค่าการสะท้อนของข้อมูลภาพจากดาวเทียม 3 ช่วงคลื่น มีชั้นซ่อน จำนวน 9 โหนด และชั้นผลลัพธ์ จำนวน 1 โหนด คือ ค่ามวลชีวภาพที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layered Perceptron: MLP) ของรูปแบบที่ 9 สำหรับมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน

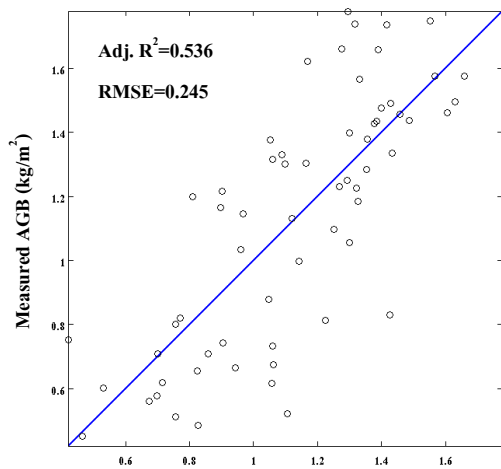
ส่วนรูปแบบที่ 10 ซึ่งใช้ค่าการสะท้อนทั้ง 8 ช่วงคลื่นเป็นตัวแปรนำเข้าของโครงข่ายประสาทเทียม ทำให้สามารถปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจให้ดีขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.648 ค่าประสิทธิภาพการตัดสินใจแบบปรับแก้เท่ากับ 0.633 ในขณะที่ค่ารากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยก็มีค่าลดลงซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.257 โดยมีรูปแบบลักษณะโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 8 - 11 - 1 คือ มีชั้นข้อมูลนำเข้า 8 โหนด คือ ค่าการสะท้อนของข้อมูลภาพจากดาวเทียมทั้ง 8 ช่วงคลื่น มีชั้นซ่อน จำนวน 11 โหนด และชั้นผลลัพธ์ จำนวน 1 โหนด คือ ค่ามวลชีวภาพที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layered Perceptron: MLP) ของรูปแบบที่ 10 สำหรับมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน

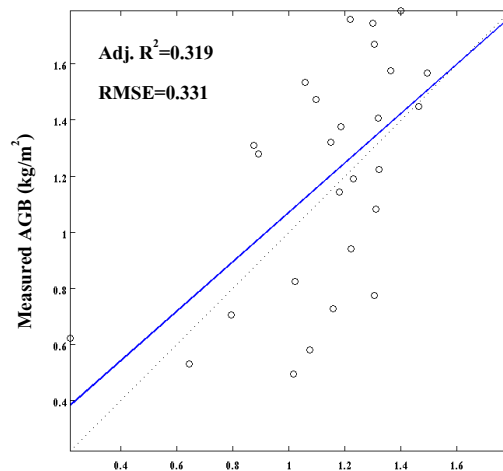
จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ และการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจค่าและมีค่ารากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการ โครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 10 โดยใช้ค่าการสะท้อนทั้ง 8 ช่วงคลื่นเป็นตัวแปรนำเข้าของโครงข่ายประสาทเทียม ทำให้สามารถปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจให้ดีขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.648 ค่าประสิทธิภาพตัดสินใจแบบปรับแก้เท่ากับ 0.633 ในขณะที่ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยก็มีค่าลดลง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.257

เมื่อนำค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม มาพล็อตกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์กับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 แสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.3 - 4.12 (ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ในรูปแบบที่ 1 - รูปแบบที่ 8 แสดงดังภาคผนวก ก ส่วนค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 9 แสดงดังภาคผนวก ง และรูปแบบที่ 10 แสดงดังภาคผนวก จ)



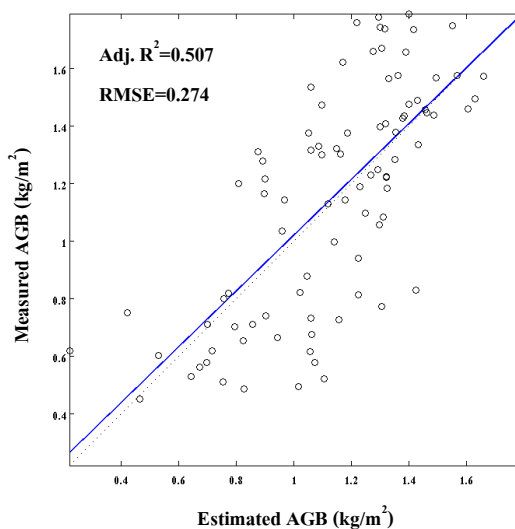
$$\begin{aligned} \text{Estimated AGB} = & 4.654 - 0.753B1 - 58.483B2 \\ & + 53.753B3 + 22.487B4 - 13.341B5 - 0.120B6 \\ & - 11.224B7 + 3.332B8 \quad (\text{kg/m}^2) \end{aligned}$$

(A)



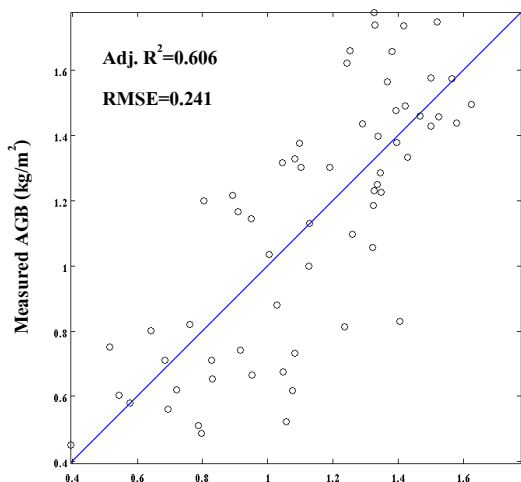
$$\begin{aligned} \text{Estimated AGB} = & 4.654 - 0.753B1 - 58.483B2 \\ & + 53.753B3 + 22.487B4 - 13.341B5 - 0.120B6 \\ & - 11.224B7 + 3.332B8 \quad (\text{kg/m}^2) \end{aligned}$$

(B)



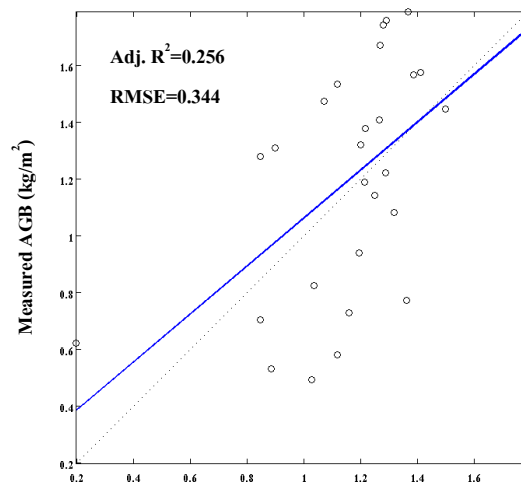
(C)

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนามกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุในรูปแบบที่ 1 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)



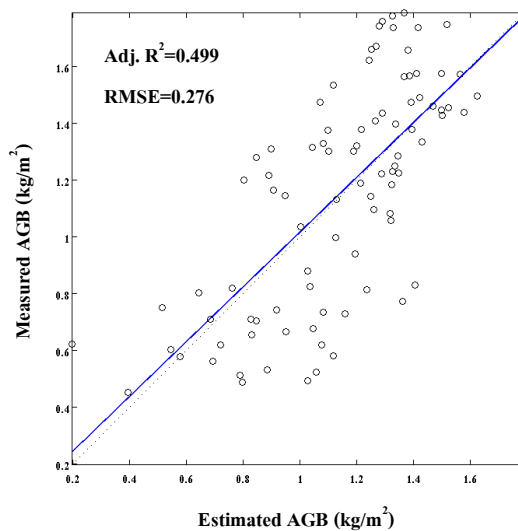
$$\begin{aligned} \text{Estimated AGB} = & -17.112 + 7.048B1 + 129.268B2 + 48.874B3 \\ & + 20.5289B4 - 133.685B5 - 3.493B6 + 14.942B7 + 5.495B8 \\ & + 23.596NDVI + 4.716SAVI - 24.704EVI \text{ (kg/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(A)



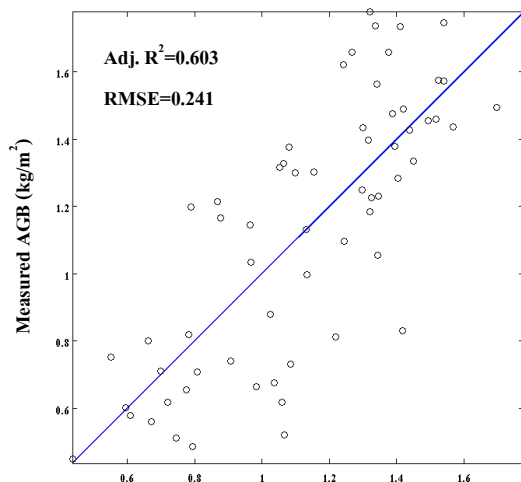
$$\begin{aligned} \text{Estimated AGB} = & -17.112 + 7.048B1 + 129.268B2 + 48.874B3 \\ & + 20.5289B4 - 133.685B5 - 3.493B6 + 14.942B7 + 5.495B8 \\ & + 23.596NDVI + 4.716SAVI - 24.704EVI \text{ (kg/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(B)



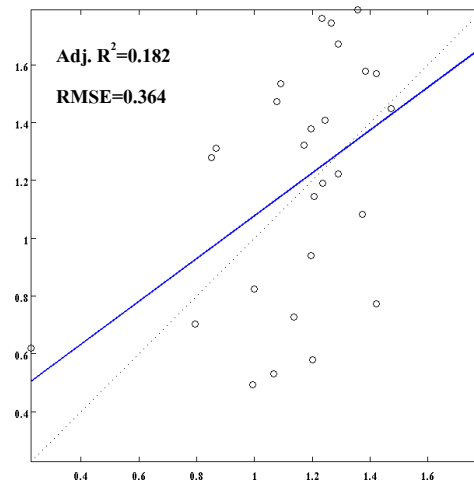
(C)

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนามกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุในรูปแบบที่ 2 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)



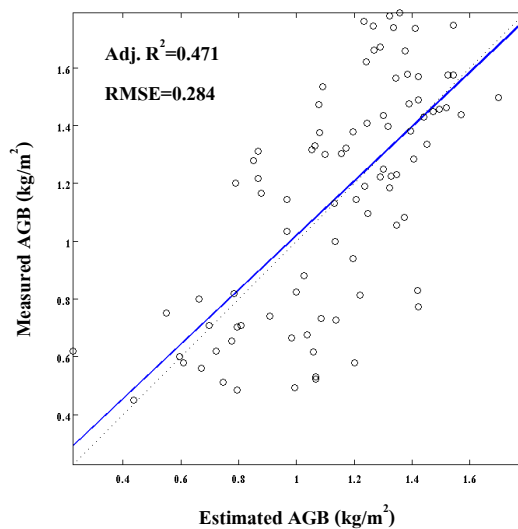
$$\begin{aligned} \text{Estimated AGB} = & -7.918 + 2.314B1 + 24.579B2 + 53.979B3 \\ & + 21.839B4 - 167.278B5 - 0.8468B6 - 11.555B7 + 134.582B8 \\ & + 43.482NDVI2 - 110.764SAVI2 - 13.102EVI2 \text{ (kg/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(A)



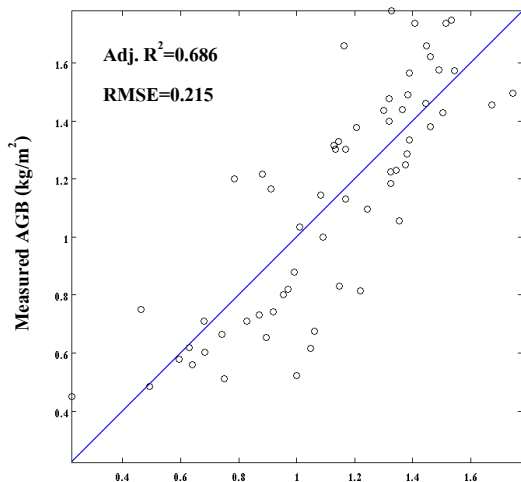
$$\begin{aligned} \text{Estimated AGB} = & -17.112 + 7.048B1 + 129.268B2 + 48.874B3 \\ & + 20.5289B4 - 133.685B5 - 3.493B6 + 14.942B7 + 5.495B8 \\ & + 23.596NDVI + 4.716SAVI - 24.704EVI \text{ (kg/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(B)



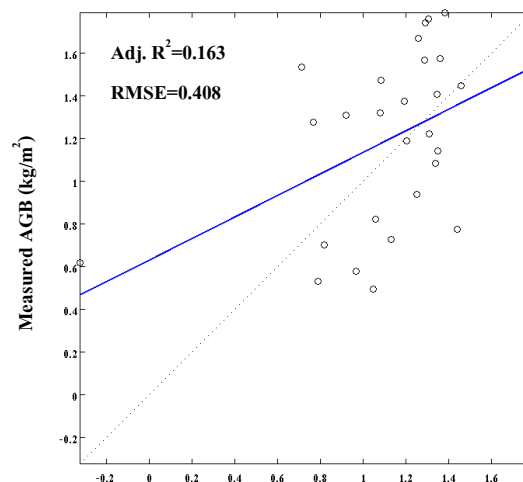
(C)

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนามกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุในรูปแบบที่ 3 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)



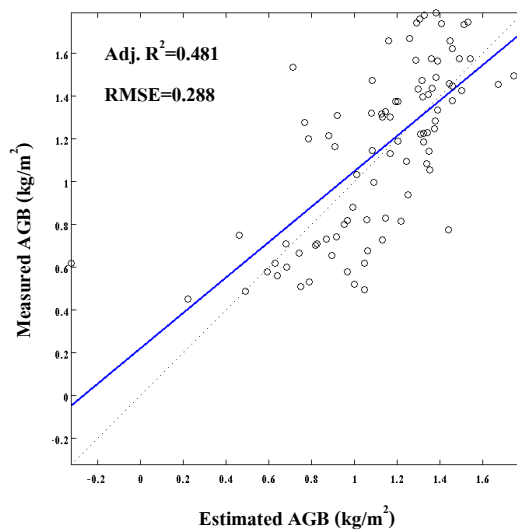
$$\begin{aligned} \text{Estimated AGB} = & -57.906 - 1.441B1 + 738.973B2 + 57.368B3 \\ & + 21.795B4 - 1001.140B5 - 5.302B6 - 474.143B7 + 930.596B8 \\ & - 164.510NDVI + 239.129NDVI2 + 1180.751SAVI \\ & - 1466.898SAVI2 - 358.926EVI + 300.747EVI2 \text{ (kg/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(A)



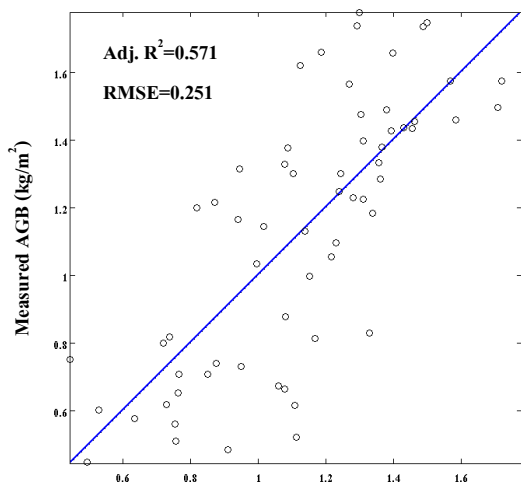
$$\begin{aligned} \text{Estimated AGB} = & -57.906 - 1.441B1 + 738.973B2 + 57.368B3 \\ & + 21.795B4 - 1001.140B5 - 5.302B6 - 474.143B7 + 930.596B8 \\ & - 164.510NDVI + 239.129NDVI2 + 1180.751SAVI \\ & - 1466.898SAVI2 - 358.926EVI + 300.747EVI2 \text{ (kg/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(B)



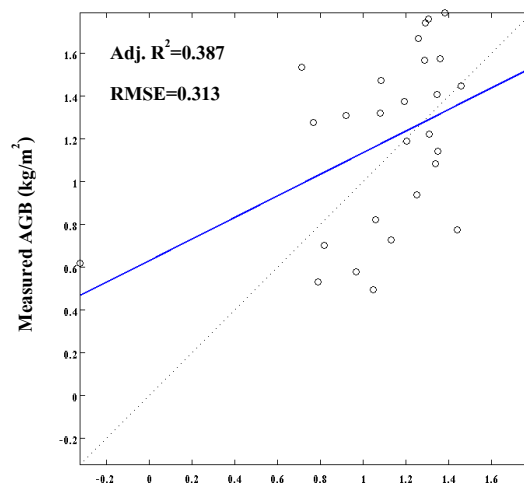
(C)

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนามกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุในรูปแบบที่ 4 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)



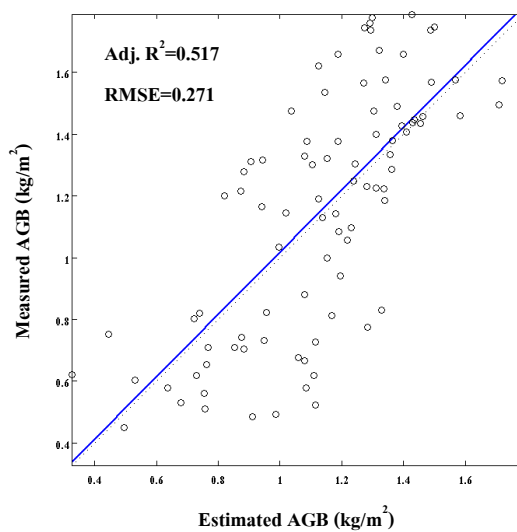
$$\text{Estimated AGB} = 4.05 - 50.867B2 + 57.733B3 - 8.945B7 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

(A)



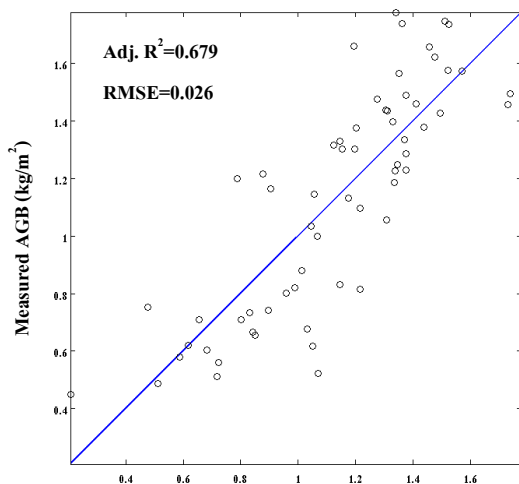
$$\text{Estimated AGB} = 4.05 - 50.867B2 + 57.733B3 - 8.945B7 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

(B)



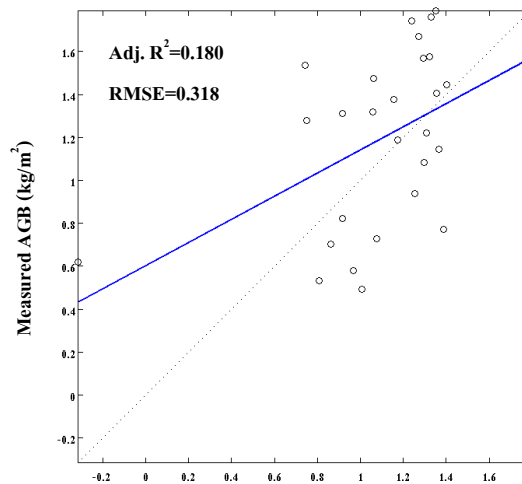
(C)

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนามกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนในรูปแบบที่ 5 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)



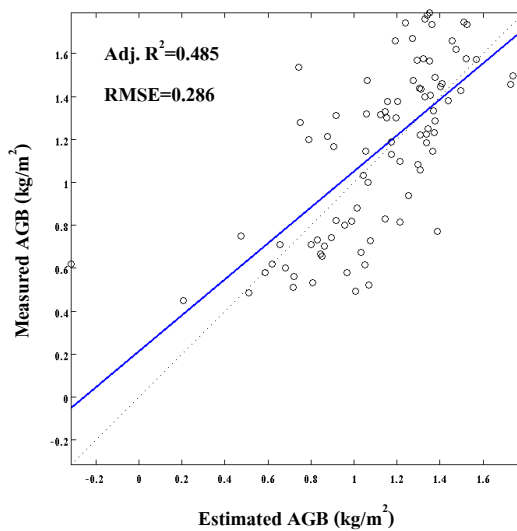
$$\begin{aligned} \text{Estimated AGB} = & -55.32+730.7B2+59.48B3-1010.04B5 \\ & -506.89B7+981.43B8-183.13NDVI+254.84NDVI2 \\ & +1197.57SAVI-1493.35SAVI2-345.92EVI \\ & +287.47EVI2 \text{ (kg/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(A)



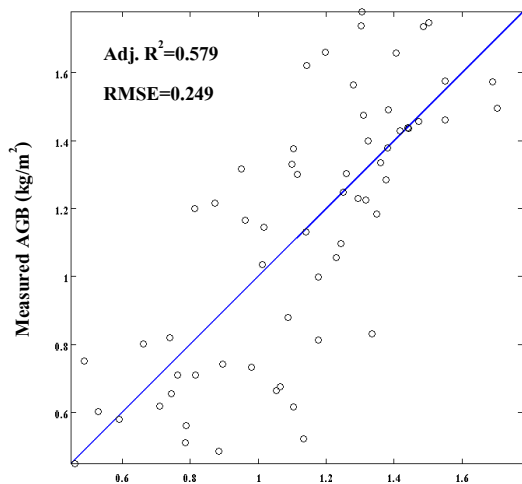
$$\begin{aligned} \text{Estimated AGB} = & -55.32+730.7B2+59.48B3-1010.04B5 \\ & -506.89B7+981.43B8-183.13NDVI+254.84NDVI2 \\ & +1197.57SAVI-1493.35SAVI2-345.92EVI \\ & +287.47EVI2 \text{ (kg/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(B)



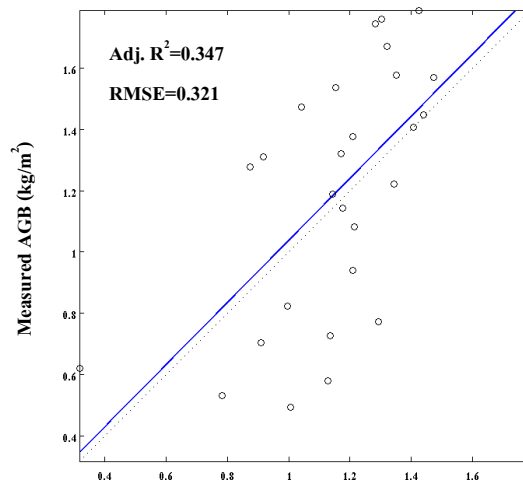
(C)

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนามกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนในรูปแบบที่ 6 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)



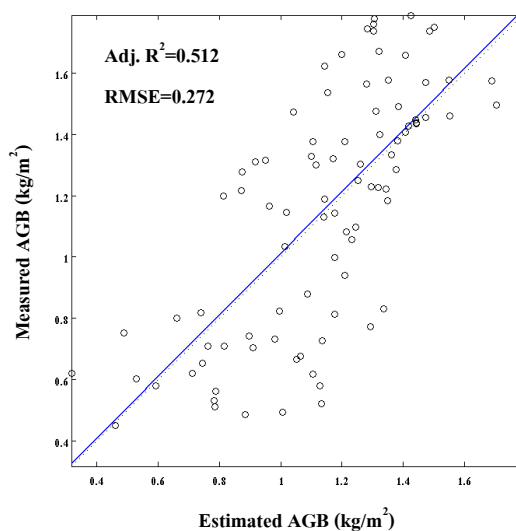
$$\text{Estimated AGB} = -1.613 + 55.224B3 - 33.277B5 \\ + 7.181NDVI - 7.081EVI \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

(A)



$$\text{Estimated AGB} = -1.613 + 55.224B3 - 33.277B5 \\ + 7.181NDVI - 7.081EVI \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

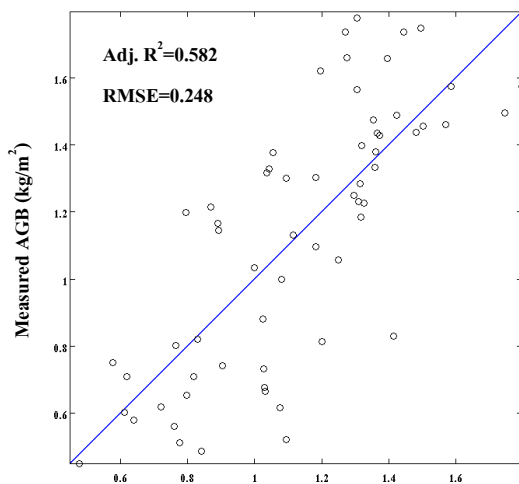
(B)



$$\text{Estimated AGB (kg/m}^2\text{)}$$

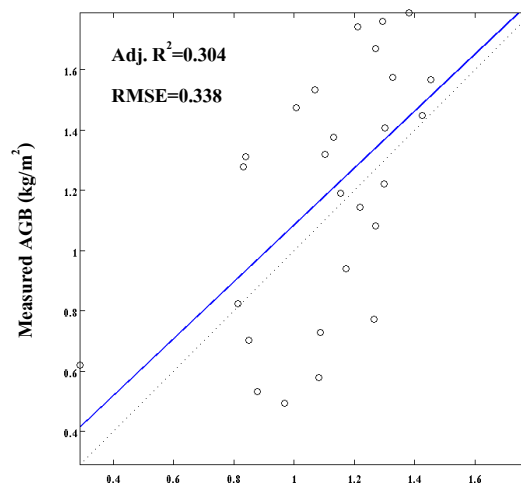
(C)

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนามกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนในรูปแบบที่ 7 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)



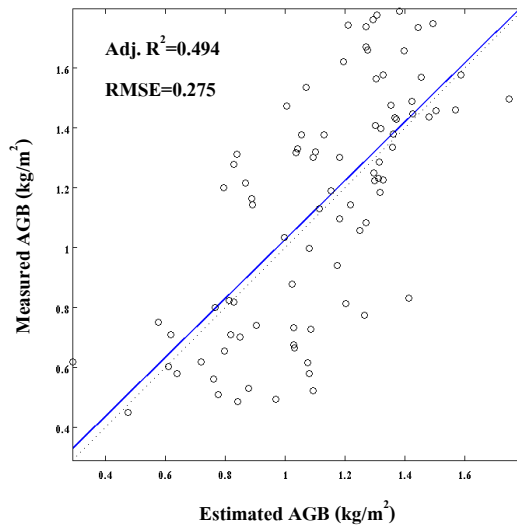
$$\text{Estimated AGB} = 1.641 + 59.002B3 - 72.713B5 - 13.603B7 + 30.339B8 - 8.195EVI2 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

(A)



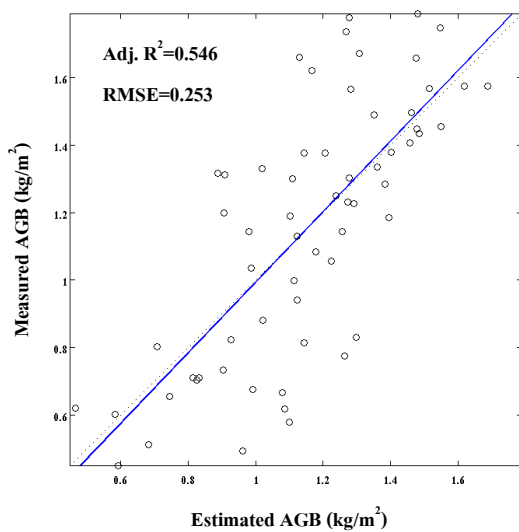
$$\text{Estimated AGB} = 1.641 + 59.002B3 - 72.713B5 - 13.603B7 + 30.339B8 - 8.195EVI2 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

(B)

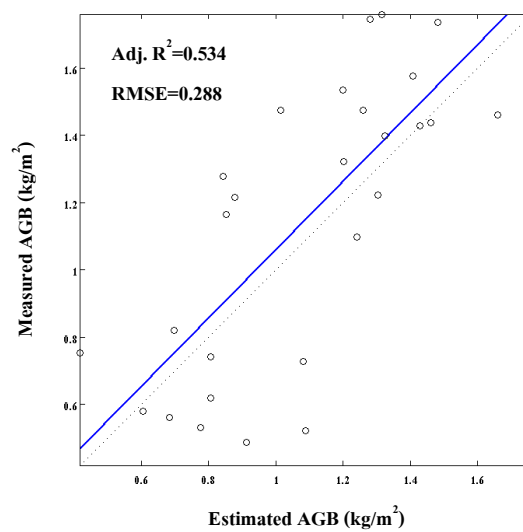


(C)

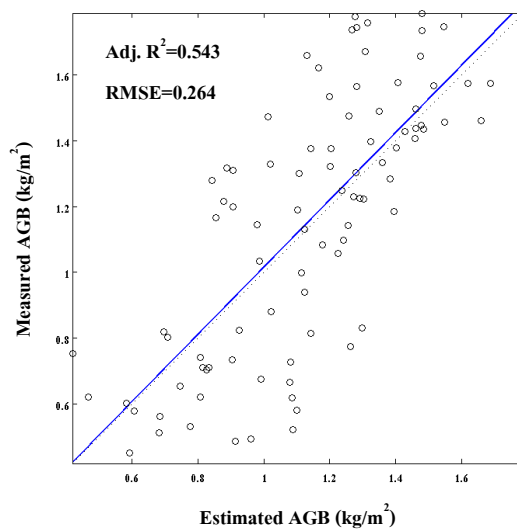
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนามกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนในรูปแบบที่ 8 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)



(A)

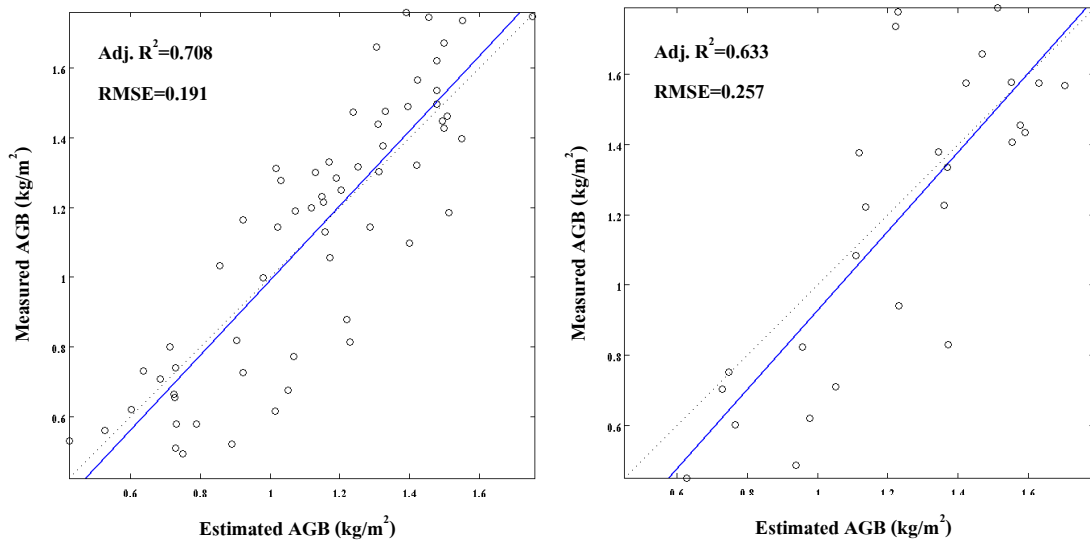


(B)



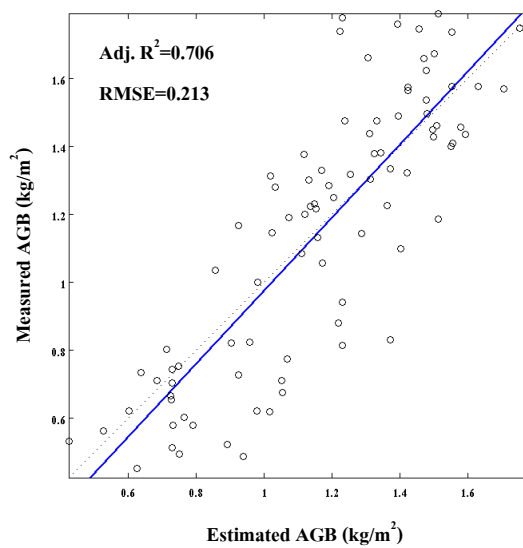
(C)

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนามกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีโครนชา่ยประสาทเทียมในรูปแบบที่ 9 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)



(A)

(B)

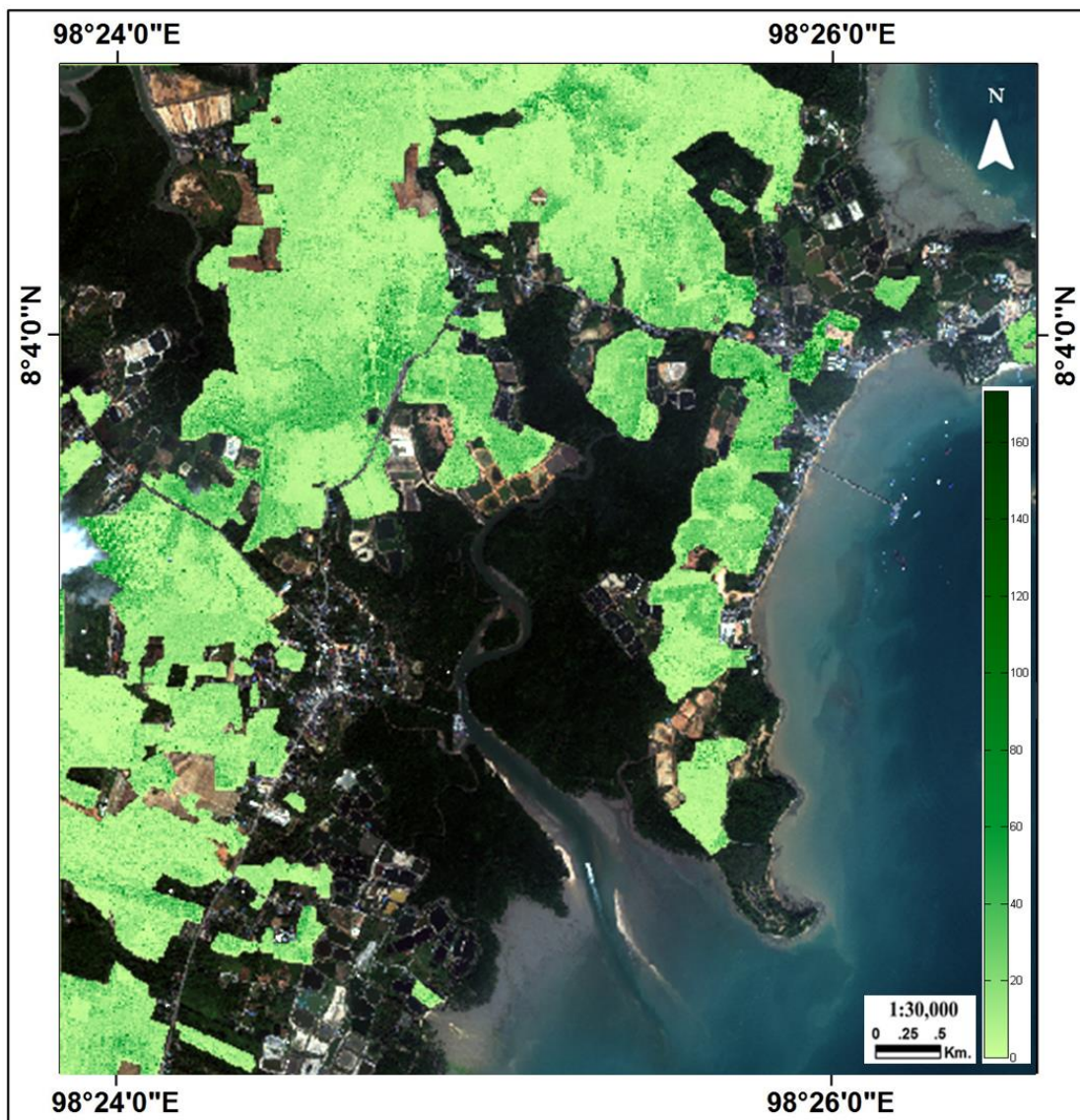


(C)

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากภาคสนามกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 10 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)

จากรูปที่ 4.3 - 4.12 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากภาคสนามกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากการประมาณค่า แสดงให้เห็นว่ารูปแบบที่ 10 ซึ่งเป็นวิธีการ โครงข่ายประสาทเทียม ให้ค่ารากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.257 ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงเลือกใช้แบบจำลองสมการรูปแบบที่ 10 ที่ได้จากวิธี โครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของพารา

เมื่อนำสมการรูปแบบที่ 10 ที่ได้จากวิธี โครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ด้วยโปรแกรมประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม แสดงผลดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แผนที่มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 จากการประมาณค่าโดยสมการที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม

จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.648 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบปรับแก้เท่ากับ 0.633 ซึ่งมีค่าที่ค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 มีความสัมพันธ์ระหว่างกันค่อนข้างสูง เมื่อนำสมการที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมมาประมาณค่าการสะสมมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 เทียบกับการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Muukkonen and Heiskanen, (2005) และ Xie, *et al.*, (2009) ที่ได้รายงานว่า การประมาณค่ามวลชีวภาพด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลการประมาณค่าได้ดีกว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ

ดังนั้นจากผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบที่ 10 โดยใช้ค่าการสะท้อนทั้ง 8 ช่วงคลื่นเป็นตัวแปรนำเข้า มีความเหมาะสมกว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ซึ่งผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์พบว่า ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 0.257 ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำมาก แสดงว่าปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ประมาณค่าได้นั้นมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างต่ำ ซึ่งมีปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ประมาณค่าได้ในพื้นที่ตำบลปากคลอง อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดสุรินทร์ เท่ากับ 1,169,431.015 kg หรือมีค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินเฉลี่ย 1.619 ton/ha

4.3 การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม กับค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงของภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ของข้อมูลฝึกฝน โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนและโครงข่ายประสาทเทียมรวมทั้ง 10 รูปแบบ ซึ่งให้แบบจำลองหรือสมการในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 เมื่อนำแบบจำลองหรือสมการมาใช้ในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจากข้อมูลฝึกฝน ข้อมูลทดสอบและข้อมูลทั้งหมด ร่วมกับข้อมูลการประมาณค่าที่ได้จากสมการมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ ค่าประสิทธิภาพการตัดสินใจแบบปรับแก้ และค่ารากของค่าความ

คลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ดังตารางที่ 4.3 (ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ในรูปแบบที่ 1 - รูปแบบที่ 8 แสดงดังภาคผนวก ฉ ส่วนค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธี โครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 9 แสดงดังภาคผนวก ช และรูปแบบที่ 10 แสดงดังภาคผนวก ซ)

ตารางที่ 4.3 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (กรุณาดูตารางที่ 3.4 หน้า 35 ประกอบ)

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	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									
รูปแบบที่ 1	0.679	0.631	0.464	0.409	0.385	0.518	0.602	0.598	0.481
รูปแบบที่ 2	0.730	0.726	0.425	0.396	0.372	0.502	0.649	0.645	0.450
รูปแบบที่ 3	0.723	0.719	0.430	0.399	0.375	0.905	0.644	0.640	0.453
รูปแบบที่ 4	0.743	0.739	0.415	0.410	0.387	0.508	0.658	0.654	0.445
การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน									
รูปแบบที่ 5	0.677	0.648	0.465	0.393	0.368	0.534	0.593	0.588	0.487
รูปแบบที่ 6	0.724	0.720	0.430	0.413	0.389	0.472	0.655	0.651	0.443
รูปแบบที่ 7	0.724	0.720	0.430	0.413	0.389	0.472	0.655	0.651	0.443
รูปแบบที่ 8	0.707	0.702	0.443	0.355	0.329	0.503	0.626	0.622	0.462
โครงข่ายประสาทเทียม									
รูปแบบที่ 9	0.852	0.849	0.289	0.793	0.784	0.366	0.825	0.823	0.315
รูปแบบที่ 10	0.887	0.870	0.266	0.769	0.760	0.400	0.833	0.831	0.312

จากตารางที่ 4.3 วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ได้แก่ รูปแบบที่ 5 - รูปแบบที่ 8 ผลการศึกษาพบว่า

รูปแบบที่ 5 มีตัวแปรอิสระเพียง 5 ตัว คือ ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ช่วงคลื่น Band 1 (Coastal), Band 2 (Blue), Band 4 (Yellow), Band 5 (Red), และ Band 8 (Near-IR2) ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจและมีการากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.393 และ 0.534 ตามลำดับ

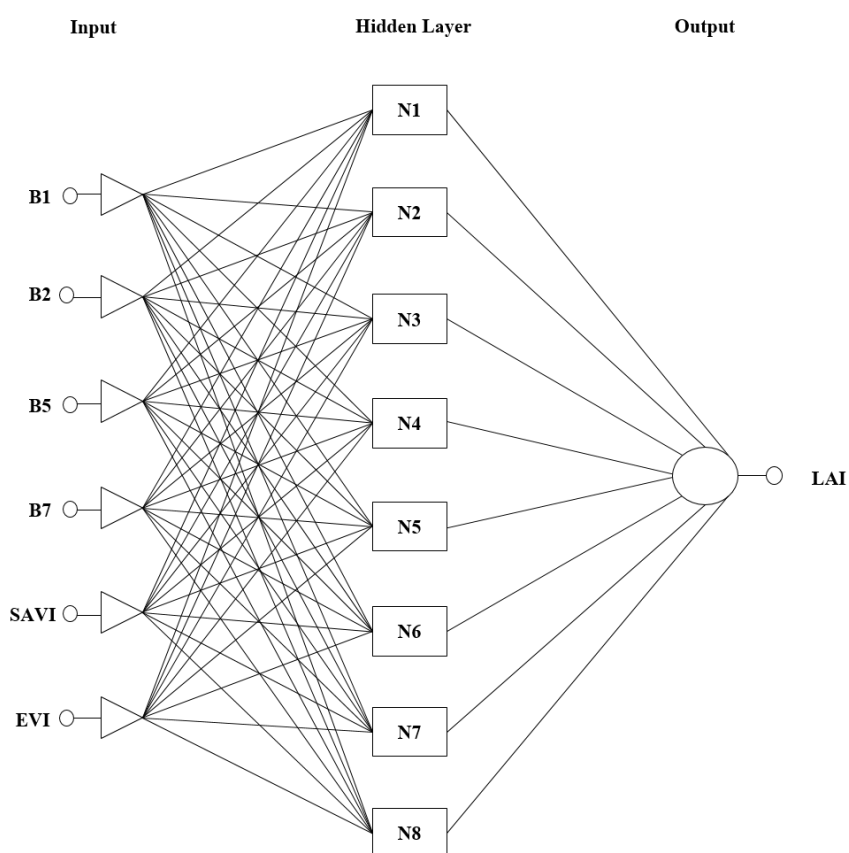
รูปแบบที่ 6 มีตัวแปรอิสระเพียง 6 ตัว คือ ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ช่วงคลื่น Band 1 (Coastal), Band 2 (Blue), Band 5 (Red), Band 7 (Near-IR1), SAVI, และ EVI ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการ ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจและมีการากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.413 และ 0.472 ตามลำดับ

รูปแบบที่ 7 มีตัวแปรอิสระเพียง 6 ตัว คือ ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ช่วงคลื่น Band 1 (Coastal), Band 2 (Blue), Band 5 (Red), Band 7 (Near-IR1), SAVI, และ EVI ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการ ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจและมีการากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.413 และ 0.472 ตามลำดับ

รูปแบบที่ 8 มีตัวแปรอิสระเพียง 5 ตัว คือ ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ช่วงคลื่น Band 1 (Coastal), Band 2 (Blue), Band 5 (Red), SAVI2, และ EVI2 ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการ ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจและมีการากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.355 และ 0.503 ตามลำดับ

ซึ่งเห็นได้ว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ในรูปแบบที่ 5 - รูปแบบที่ 8 พบว่ารูปแบบที่ 6 และ 7 มีการากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด ดังนั้นจึงนำผลจากการคัดเลือกตัวแปรอิสระเพียง 6 ตัวที่ได้จากรูปแบบที่ 6 หรือ รูปแบบที่ 7 คือค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงช่วงคลื่น Band 1 (Coastal), Band 2 (Blue), Band 5 (Red), Band 7 (Near-IR1), SAVI, และ EVI เป็นตัวแปรนำเข้าของโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 9 ต่อไป

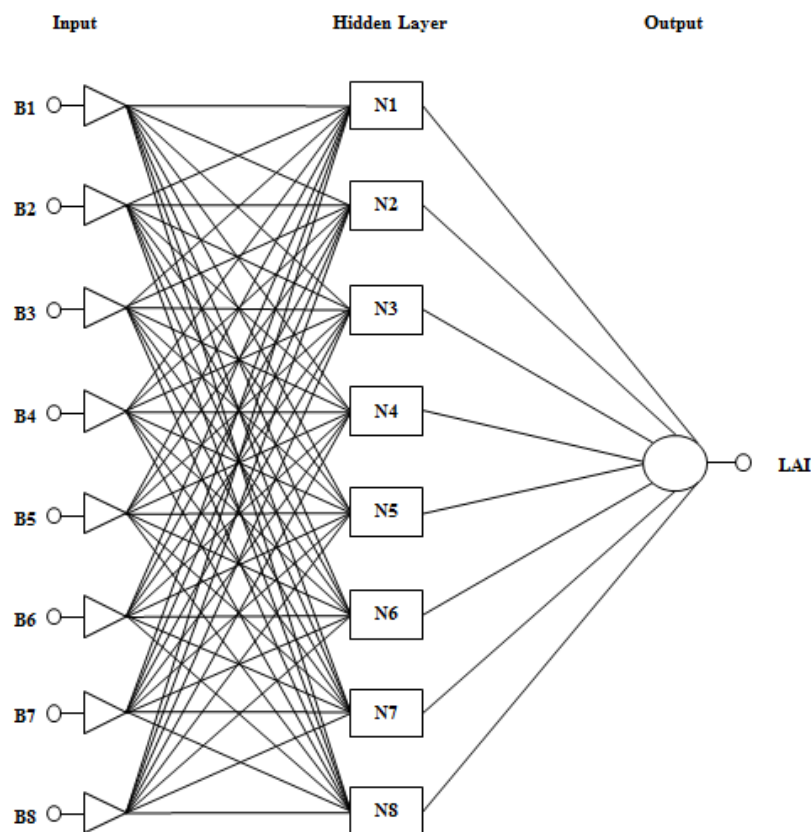
สำหรับวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม ได้แก่ รูปแบบที่ 9 - รูปแบบที่ 10 ผลการศึกษาพบว่า รูปแบบที่ 9 มีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ ค่าประสิทธิภาพการตัดสินใจแบบปรับแก้และค่ารากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.793, 0.784 และ 0.366 ตามลำดับ โดยมีรูปแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 6 - 8 - 1 คือ มีชั้นข้อมูลนำเข้า 6 โหนด คือ ค่าการสะท้อน 4 ช่วงคลื่นและดัชนีพืชพรรณ 2 รูปแบบ มีชั้นซ่อนจำนวน 8 โหนด และชั้นผลลัพธ์จำนวน 1 โหนด คือ ค่าดัชนีพื้นที่ผิวน้ำที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม แสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layered Perceptron: MLP) ของรูปแบบที่ 9 สำหรับดัชนีพื้นที่ผิวน้ำ

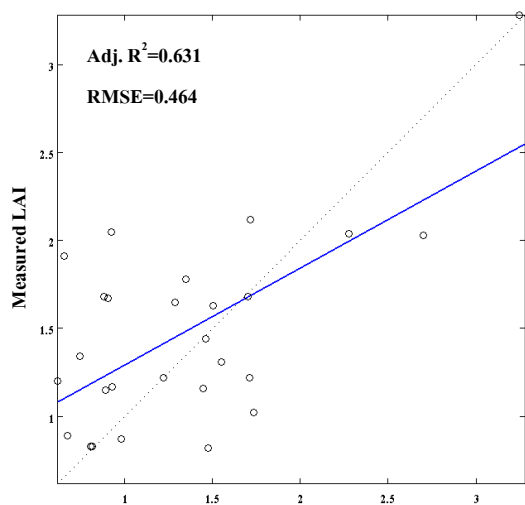
ส่วนรูปแบบที่ 10 ซึ่งใช้ค่าการสะท้อนทั้ง 8 ช่วงคลื่นเป็นตัวแปรนำเข้าของโครงข่ายประสาทเทียม มีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจเท่ากับ 0.769 ค่าประสิทธิภาพการตัดสินใจแบบปรับแก้เท่ากับ 0.760 และมีค่ารากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.400 โดยมีรูปแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 8 - 8 - 1 มีชั้นข้อมูลนำเข้า 8 โหนด คือ ค่าการ

สะท้อนของข้อมูลภาพจากดาวเทียมทั้ง 8 ช่วงคลื่น มีชั้นซ่อน จำนวน 8 โหนด และชั้นผลลัพธ์ จำนวน 1 โหนด คือ ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layered Perceptron: MLP) ของรูปแบบที่ 10 สำหรับดัชนีพื้นที่ผิวใบ

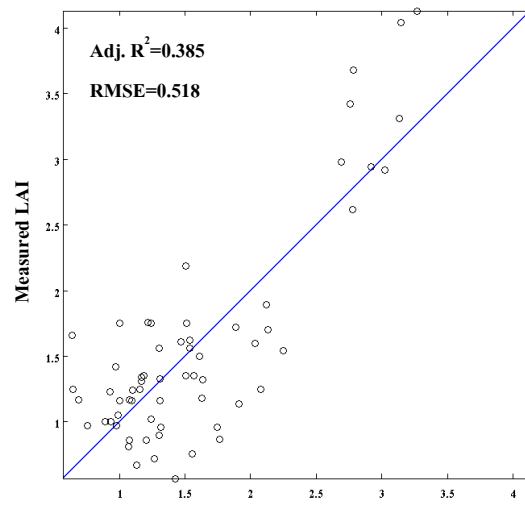
จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ และการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจค่าและมีค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 9 โดยใช้ค่าการสะท้อน 4 ช่วงคลื่น และดัชนีพืชพรรณอีก 2 รูปแบบ ซึ่งเป็นช่วงคลื่นที่ผ่านการคัดเลือกตัวแปรอิสระจากรูปแบบที่ 6 หรือรูปแบบที่ 7 เป็นตัวแปรนำเข้าของโครงข่ายประสาทเทียม ทำให้สามารถปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจให้ดีขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.793 ค่าประสิทธิภาพการตัดสินใจแบบปรับแก้ เท่ากับ 0.784 ในขณะที่ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยก็มีค่าลดลงซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.366 เมื่อนำค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนามมาพล็อตกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 แสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.16 - 4.25



$$\text{Estimated LAI} = -32.413 + 130.940B1 + 176.910B2 - 19.381B3$$

$$-59.339B4 - 80.227B5 - 3.027B6 - 0.247B7 + 10.480B8$$

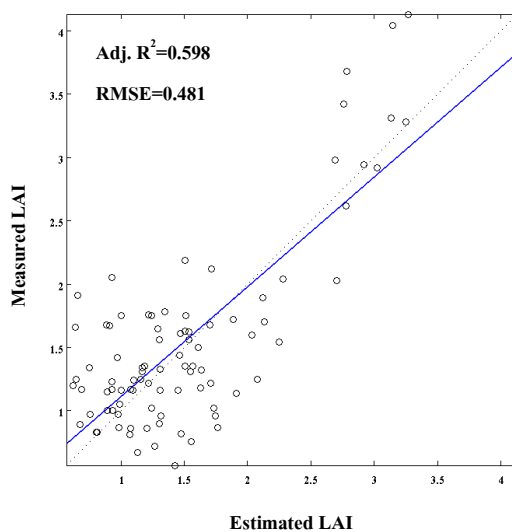
(A)



$$\text{Estimated LAI} = -32.413 + 130.940B1 + 176.910B2 - 19.381B3$$

$$-59.339B4 - 80.227B5 - 3.027B6 - 0.247B7 + 10.480B8$$

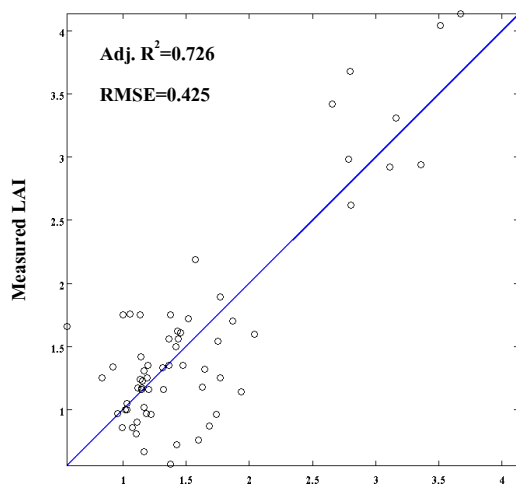
(B)



Estimated LAI

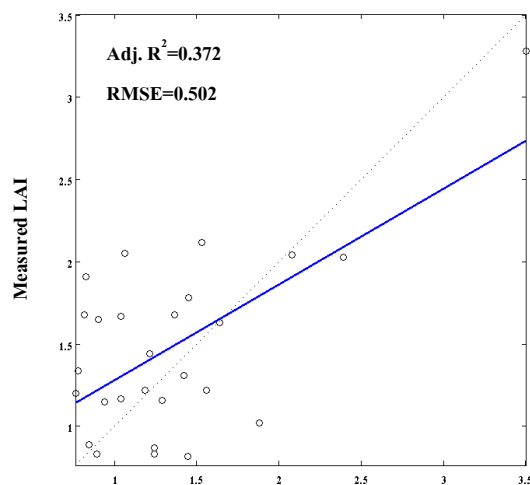
(C)

รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุในรูปแบบที่ 1 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)



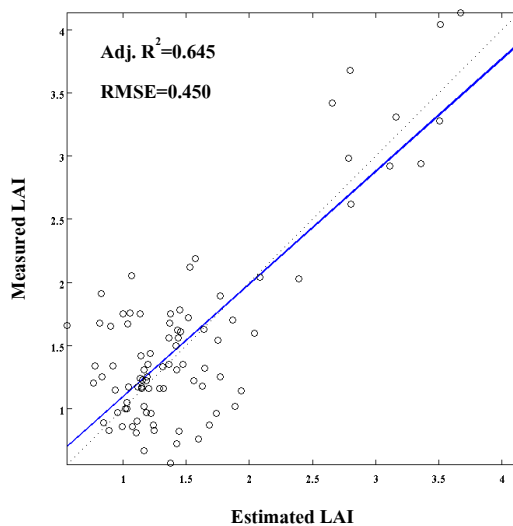
$$\text{Estimated LAI} = 44.806 + 96.858B1 - 663.679B2 + 0.920B3 - 42.552B4 + 407.853B5 + 11.075B6 + 35.160B7 - 0.743B7 - 10.98B8 - 224.488SAVI + 110.383EVI$$

(A)



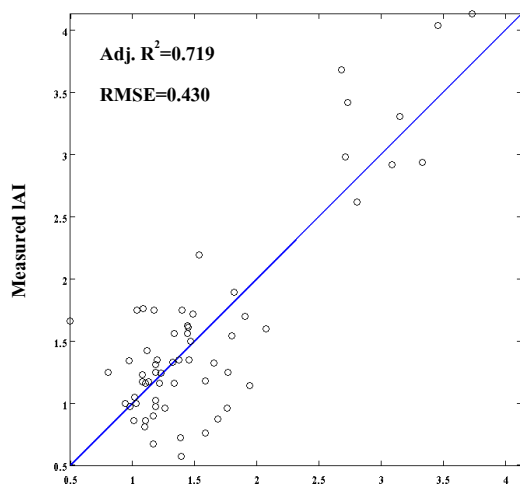
$$\text{Estimated LAI} = 44.806 + 96.858B1 - 663.679B2 + 0.920B3 - 42.552B4 + 407.853B5 + 11.075B6 + 35.160B7 - 0.743B7 - 10.98B8 - 224.488SAVI + 110.383EVI$$

(B)



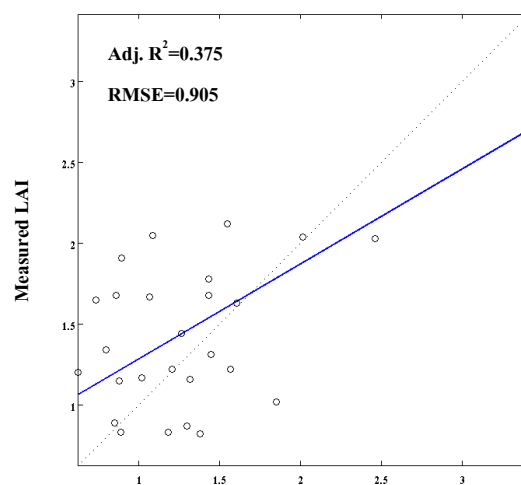
(C)

รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถอดรอยเชิงเส้นแบบพหุนามรูปแบบที่ 2 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)



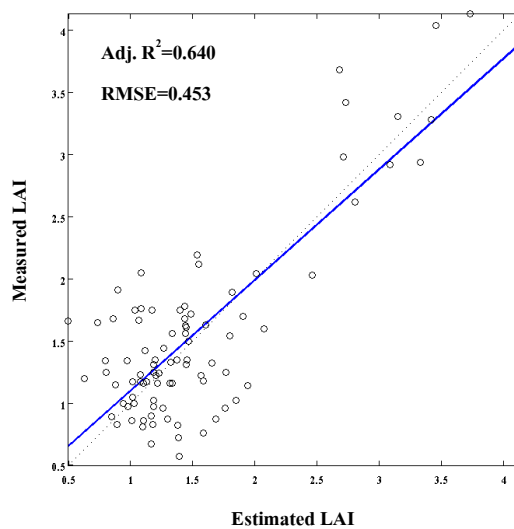
$$\begin{aligned} \text{Estimated LAI} = & 24.693 + 96.852B1 - 404.066B2 - 2.703B3 \\ & - 42.983B4 + 278.494B5 + 7.523B6 - 0.4395B7 - 13.941B8 \\ & - 24.698NDVI2 - 137.043SAVI2 + 90.699EVI2 \end{aligned}$$

(A)



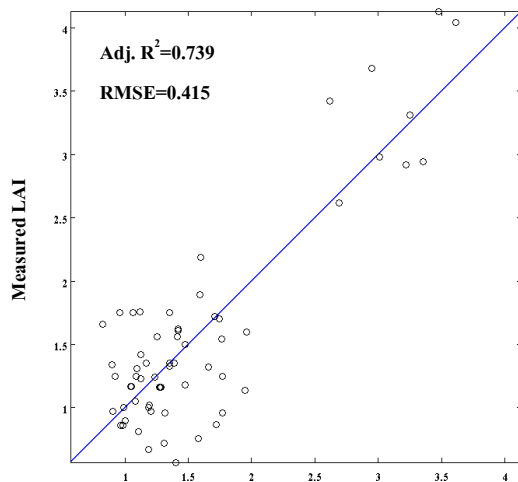
$$\begin{aligned} \text{Estimated LAI} = & 24.693 + 96.852B1 - 404.066B2 - 2.703B3 \\ & - 42.983B4 + 278.494B5 + 7.523B6 - 0.4395B7 - 13.941B8 \\ & - 24.698NDVI2 - 137.043SAVI2 + 90.699EVI2 \end{aligned}$$

(B)



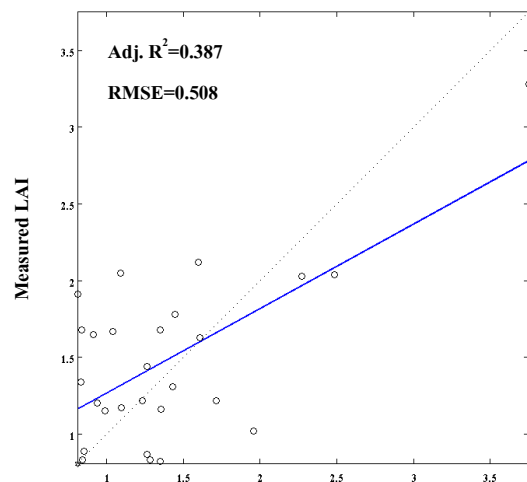
(C)

รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุในรูปแบบที่ 3 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)



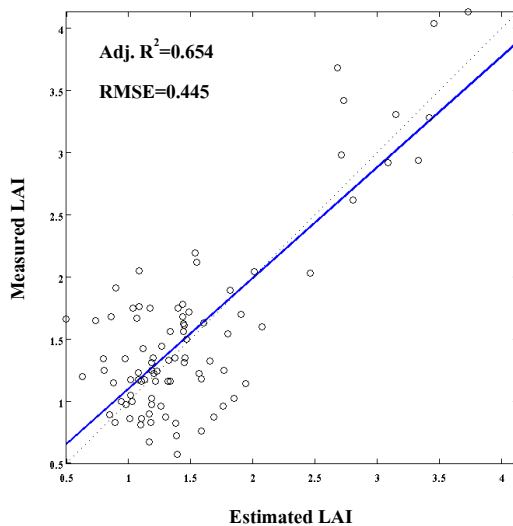
$$\begin{aligned} \text{Estimated LAI} = & 78.669 + 98.036B1 - 1153.317B22 - 10.482B3 \\ & - 46.528B4 + 1109.653B5 + 13.795B6 + 366.174B7 - 692.792B8 \\ & + 146.973NDVI - 215.144NDVI2 - 1150.924SAVI \\ & + 1198.375SAVI2 + 392.557EVI - 256.958EVI2 \end{aligned}$$

(A)



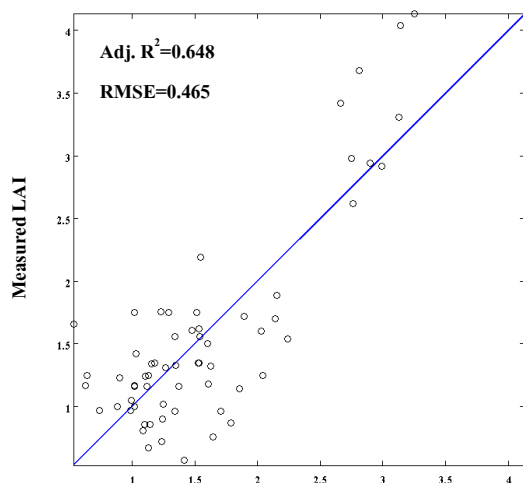
$$\begin{aligned} \text{Estimated LAI} = & 78.669 + 98.036B1 - 1153.317B22 - 10.482B3 \\ & - 46.528B4 + 1109.653B5 + 13.795B6 + 366.174B7 - 692.792B8 \\ & + 146.973NDVI - 215.144NDVI2 - 1150.924SAVI \\ & + 1198.375SAVI2 + 392.557EVI - 256.958EVI2 \end{aligned}$$

(B)



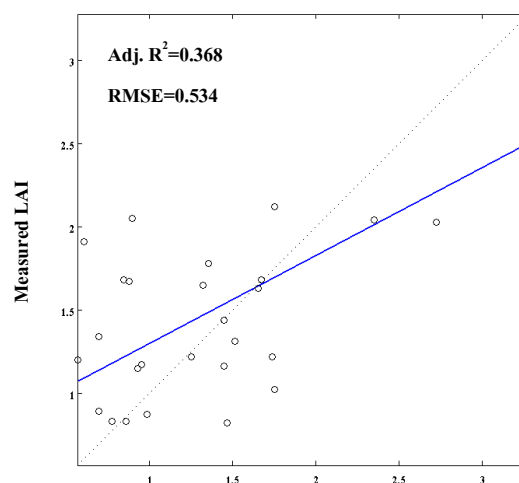
(C)

รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุในรูปแบบที่ 4 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)



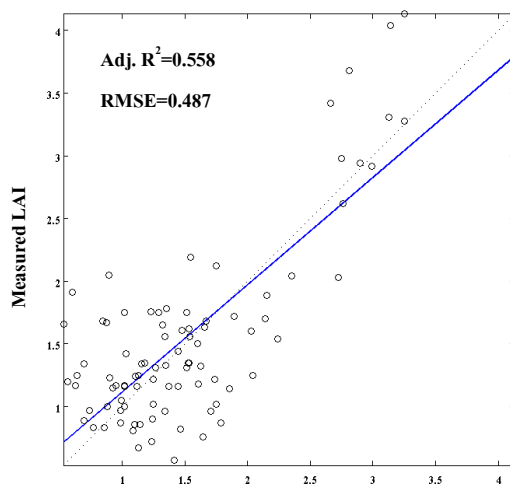
$$\text{Estimated LAI} = -32.422 + 124.772B1 + 176.95B2 \\ - 64.536B4 - 88.439B5 + 7.271B8$$

(A)



$$\text{Estimated LAI} = -32.422 + 124.772B1 + 176.95B2 \\ - 64.536B4 - 88.439B5 + 7.271B8$$

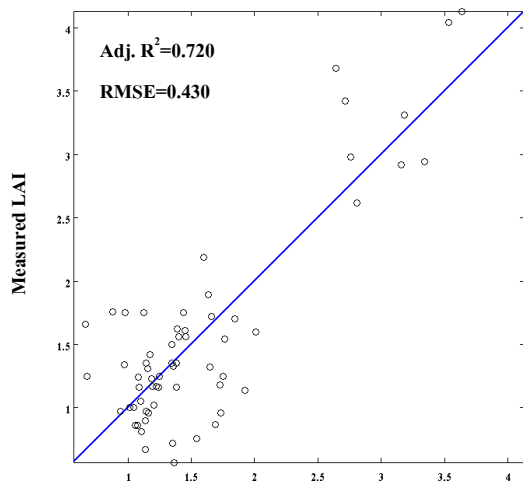
(B)



Estimated LAI

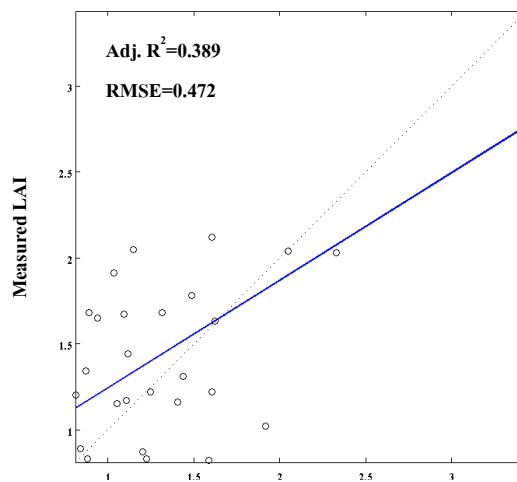
(C)

รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนในรูปแบบที่ 5 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)



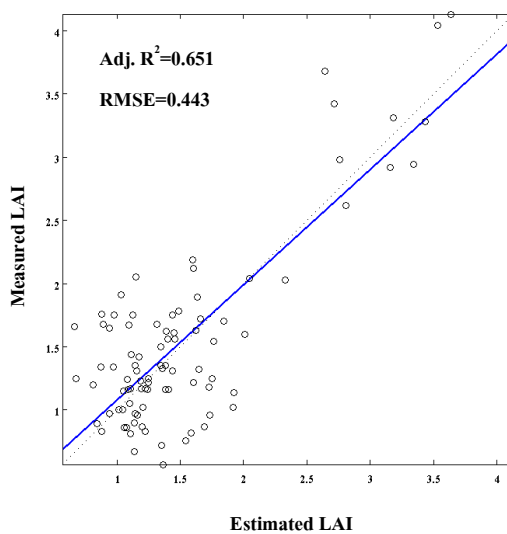
$$\text{Estimated LAI}=43.95+92.26B1-685.83B2+390.72B5 \\ +55.85B7-250.32SAVI+111.84EVI$$

(A)



$$\text{Estimated LAI}=43.95+92.26B1-685.83B2+390.72B5 \\ +55.85B7-250.32SAVI+111.84EVI$$

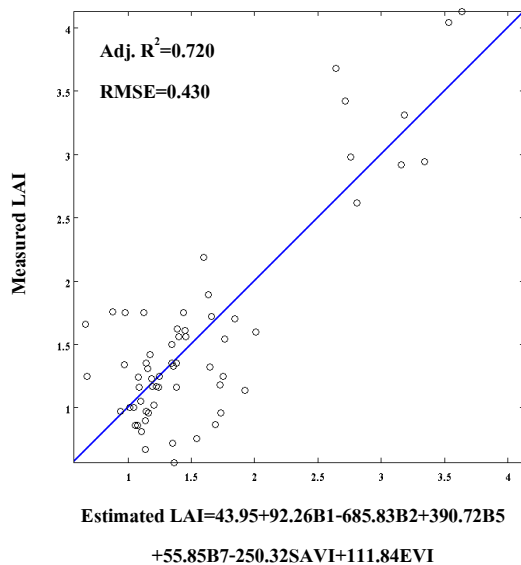
(B)



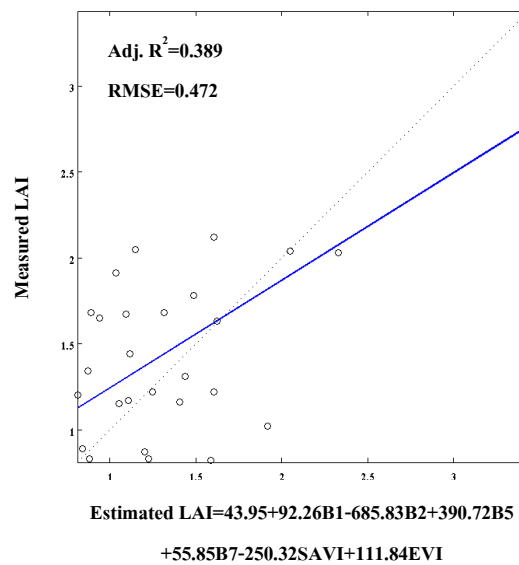
Estimated LAI

(C)

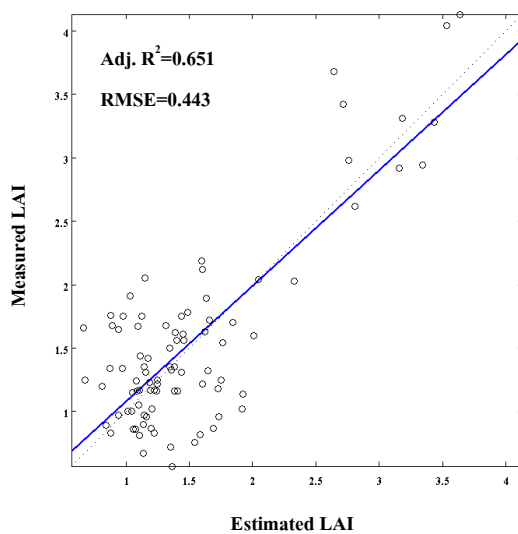
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนในรูปแบบที่ 6 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)



(A)

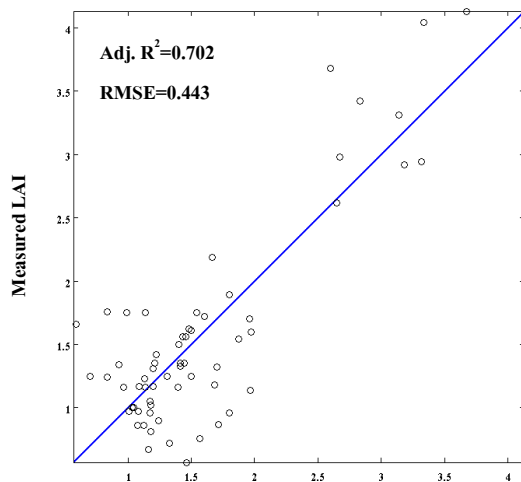


(B)



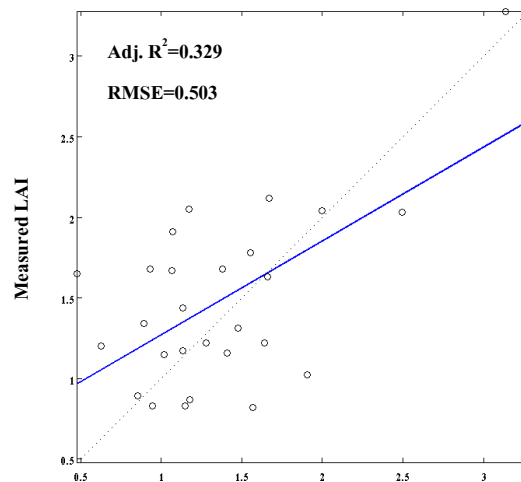
(C)

รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนในรูปแบบที่ 7 ของข้อมูลฝีกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)



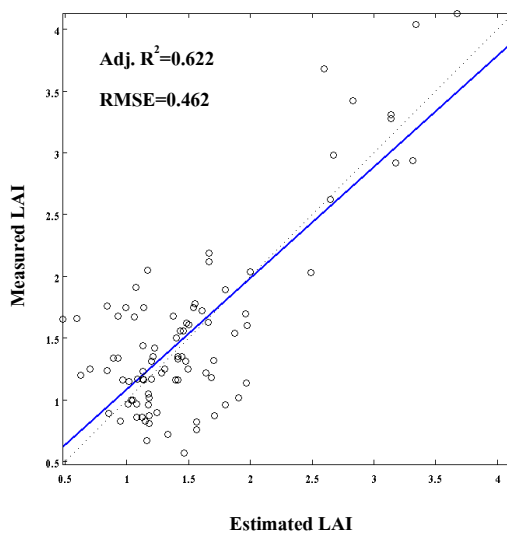
$$\text{Estimated LAI} = 15.31 + 102.24B1 - 396.2B2 + 267.9B5 - 165.18SAVI2 + 86.92EVI2$$

(A)



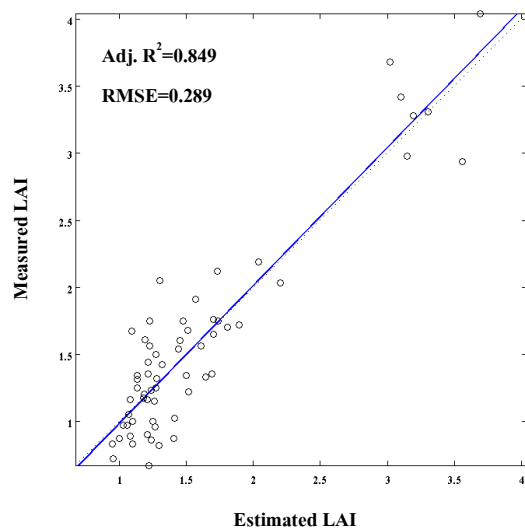
$$\text{Estimated LAI} = 15.31 + 102.24B1 - 396.2B2 + 267.9B5 - 165.18SAVI2 + 86.92EVI2$$

(B)

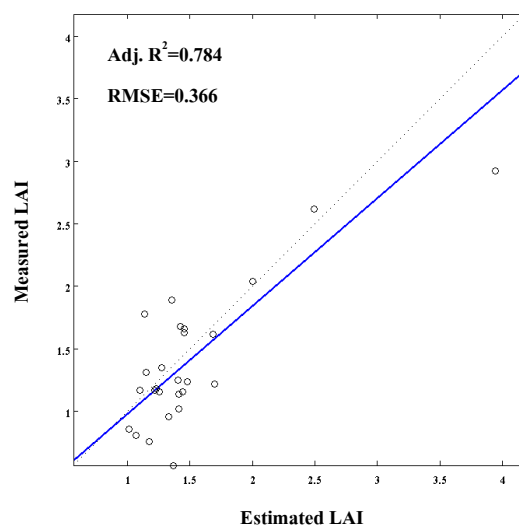


(C)

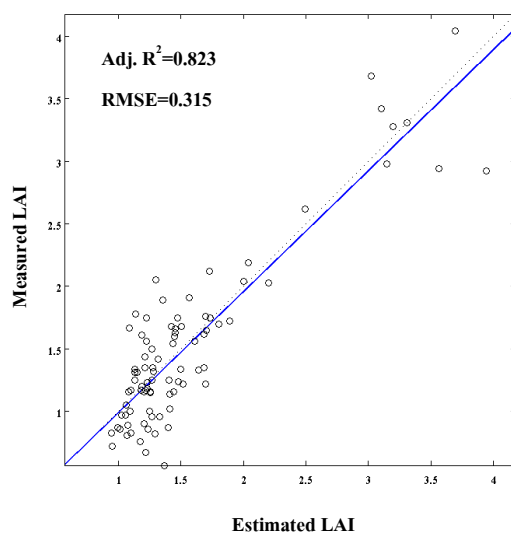
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนในรูปแบบที่ 8 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)



(A)

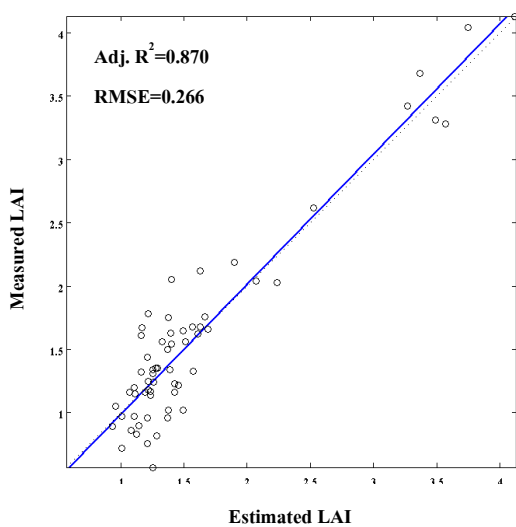


(B)

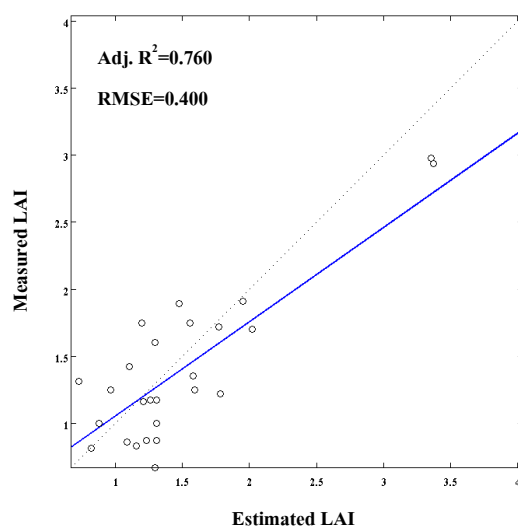


(C)

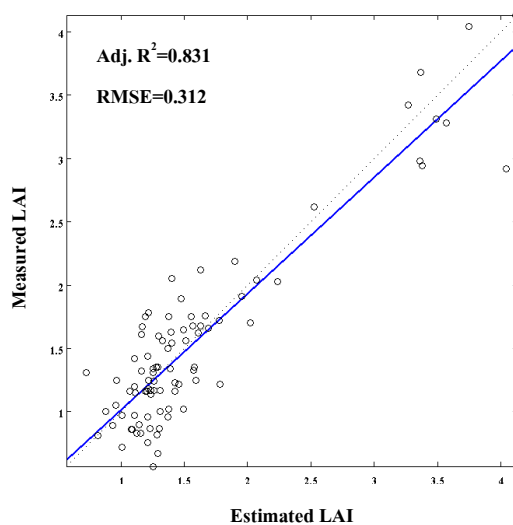
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 9 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)



(A)



(B)

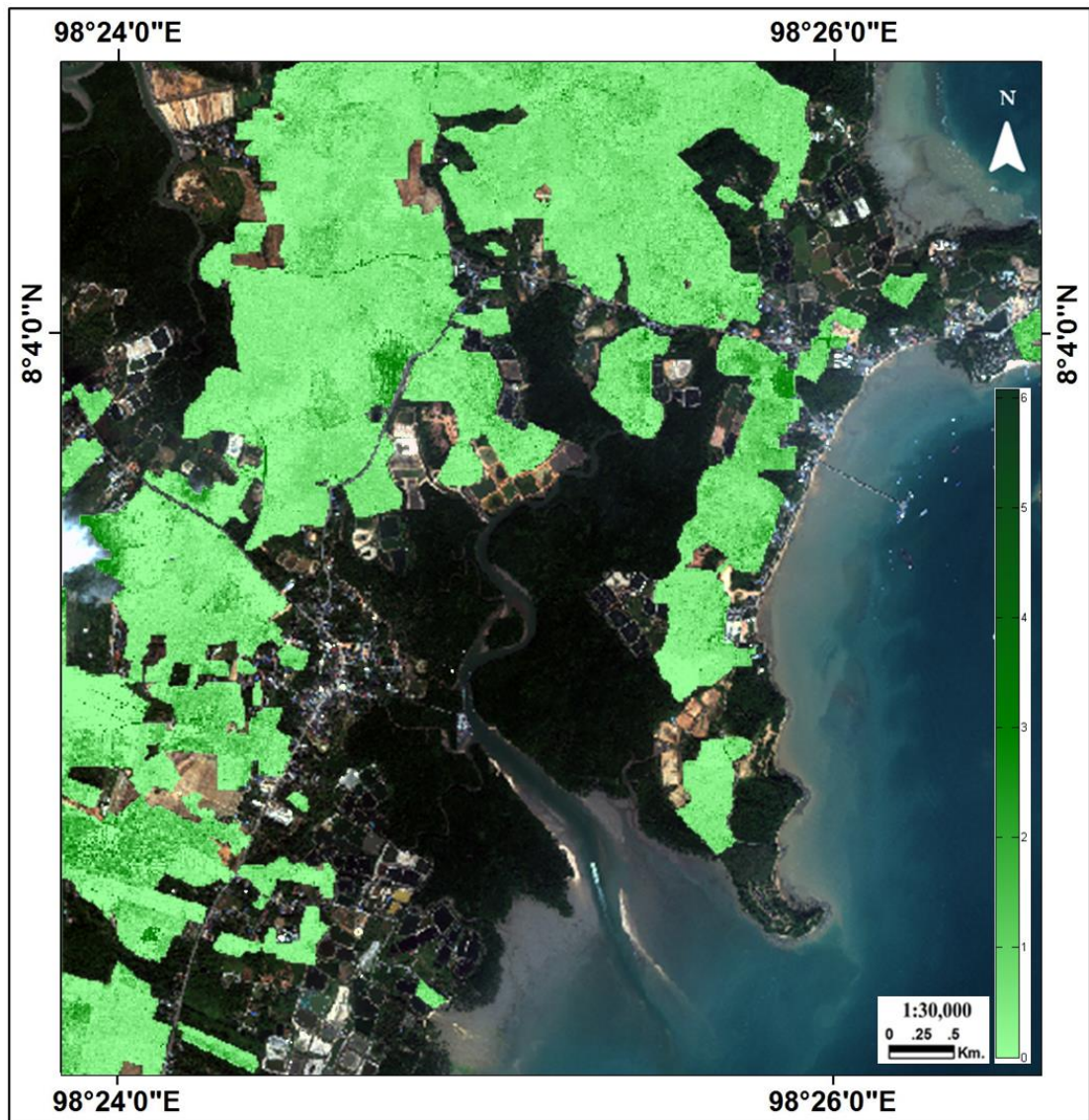


(C)

รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 10 ของข้อมูลฝึกฝน (A), ข้อมูลทดสอบ (B) และข้อมูลทั้งหมด (C)

จากรูปที่ 4.16 - 4.25 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากภาคสนามกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการประมาณค่า แสดงให้เห็นว่ารูปแบบที่ 9 ซึ่งเป็นวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม ให้ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.366 ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้แบบจำลองสมการรูปแบบที่ 9 ที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

เมื่อนำสมการรูปแบบที่ 9 ที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ด้วยโปรแกรมประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม แสดงผลดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 แผนที่ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ของยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 จากการประมาณค่าโดยสมการที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม

จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.793 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบปรับแก้เท่ากับ 0.784 ซึ่งมีค่าที่ค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารากับค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 มีความความสัมพันธ์ระหว่างกันค่อนข้างสูง เมื่อนำสมการที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมมาประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jensen and Binford, (2004) ซึ่งได้รายงานว่าวิธีการ โครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ในการสร้างแบบจำลองสามารถประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบได้ละเอียดที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ และเพื่อเป็นการลดความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบด้วยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา ควรเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพทรงพุ่มในภาคสนาม เช่น สภาพท้องฟ้าคงที่สม่ำเสมอ ไม่มีแสงจ้า หรือมืดเกินไป ทั้งนี้ความแม่นยำของการใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลาในระบบดิจิทัลขึ้นอยู่กับคุณภาพของภาพดิจิทัล และการถ่ายภาพภายใต้สภาพท้องฟ้าคงที่สม่ำเสมอ เนื่องจากสภาพบรรยากาศมีอิทธิพลต่อการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ ซึ่งเป็นการถ่ายภาพทรงพุ่มของต้นไม้ในลักษณะแนวตั้งภายใต้ทรงพุ่ม ดังนั้นการซ้อนทับกันของใบและกิ่งเป็นกลุ่ม (Clumping) อาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้เกิดการความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ ซึ่งมีผลทำให้ค่าที่ได้ต่ำกว่าค่าจริง (เกษญา โสภารัตน์, 2552)

ดังนั้นจากผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียม รูปแบบที่ 9 โดยใช้ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่น Band 1 (Coastal), Band 2 (Blue), Band 5 (Red), Band 7 (Near-IR1), SAVI, และ EVI เป็นตัวแปรนำเข้า มีความเหมาะสมกว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ซึ่งผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์พบว่า ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.366 ซึ่งมีค่าที่ค่อนข้างต่ำมาก แสดงว่าปริมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ประมาณค่าได้นั้นมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างต่ำ ซึ่งมีปริมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบเฉลี่ยในตำบลป่าคลอก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต เท่ากับ 62.970 ha/ha

บทที่ 5

บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา กรณีศึกษา ตำบลป่าคอก อำเภอดง จังหวัดภูเก็ต ที่มีวัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อสร้างและทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองสำหรับประมาณค่ามวลชีวภาพและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา โดยการประยุกต์ใช้การสำรวจภาคสนามร่วมกับข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ซึ่งเป็นภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดเชิงพื้นที่สูงมาใช้ในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2

ผลการศึกษาการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ในรูปแบบที่ 10 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบปรับแก้เท่ากับ 0.648 และ 0.633 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่ค่อนข้างสูง ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์พบว่า ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.257 ซึ่งมีค่าที่ค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของยางพารากับค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 มีความความสัมพันธ์ระหว่างกันที่ค่อนข้างสูง โดยในพื้นที่ตำบลป่าคอก อำเภอดง จังหวัดภูเก็ต มีปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าเท่ากับ 1,169,431 kg หรือมีปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเฉลี่ย 1.619 ton/ha

จากผลการศึกษาสามารถยืนยันได้ว่าการประยุกต์ใช้การสำรวจภาคสนาม ร่วมกับการสำรวจระยะไกลของภาพถ่ายดาวเทียมที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่สูง สามารถใช้ในการ

ประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของยางพาราได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ผู้วิจัยคาดหวังว่าขั้นตอนและวิธีการในการศึกษาครั้งนี้จะสามารถเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นๆ ที่มีระบบนิเวศน์ใกล้เคียงกันได้

5.1.2 การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2

ผลการศึกษาการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ในรูปแบบที่ 9 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดลินใจ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดลินใจแบบปรับแก้เท่ากับ 0.793 และ 0.784 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่ค่อนข้างสูง ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์พบว่า ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.366 ซึ่งมีค่าที่ค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารากับค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 มีความความสัมพันธ์ระหว่างกันที่ค่อนข้างสูง โดยในพื้นที่ตำบลปากคอก อำเภอถลุง จังหวัดภูเก็ต มีปริมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของยางพาราเฉลี่ยเท่ากับ 62.970 ha/ha

จากผลการศึกษาสามารถยืนยันได้ว่าการประยุกต์ใช้การสำรวจภาคสนาม ร่วมกับการสำรวจระยะไกลของภาพถ่ายดาวเทียมที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่สูง สามารถใช้ในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบแปลงของยางพาราได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ผู้วิจัยคาดหวังว่าขั้นตอนและวิธีการในการศึกษาครั้งนี้จะสามารถเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นๆ ที่มีระบบนิเวศน์ใกล้เคียงกันได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การเลือกใช้สมการ Allometric สำหรับคำนวณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราในการศึกษาครั้งนี้เป็นสมการ Allometric ของกลุ่มตัวอย่างยางพาราที่มีอายุ 23 ปี ซึ่งเป็นสมการเดียวที่สืบค้นได้จากเอกสารทั้งในประเทศและต่างประเทศ ที่สามารถนำมาคำนวณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราได้ ซึ่งมีความแตกต่างจากพื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีกลุ่มตัวอย่างที่มีหลายช่วงอายุ ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของงานวิจัยนี้ ดังนั้นการเลือกใช้สมการ

Allometric ควรเลือกให้เหมาะสมกับช่วงอายุของยางพารา หรือเป็นสมการที่ได้จากหลายช่วงอายุ เพื่อให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

5.2.2 การเลือกช่วงเวลาในการศึกษาต้องเลือกให้เหมาะสมกับพื้นที่ เนื่องจากแต่ละพื้นที่มีช่วงเวลาของฤดูกาลกรีดยางและการผลัดใบที่แตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาค

5.2.3 การเก็บข้อมูลภาคสนาม ควรให้เป็นช่วงระยะเวลาเดียวกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

5.2.4 การเลือกชนิดของภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ในการศึกษาควรเลือกให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา เนื่องจากภาพถ่ายดาวเทียมบางประเภท เช่น ภาพถ่ายดาวเทียมที่ความละเอียดเชิงพื้นที่สูง มีราคาที่สูง ซึ่งอาจไม่จำเป็นต้องใช้ภาพที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงในการประมาณค่ามวลชีวภาพและดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา

5.2.5 การถ่ายภาพทรงพุ่มในภาคสนาม ควรเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสม เช่น สภาพท้องฟ้าที่สม่ำเสมอ ไม่มีแสงจ้า หรือมืดเกินไป เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า

5.2.6 มวลชีวภาพที่สะสมอยู่ในพืช ส่วนใหญ่สะสมอยู่ในส่วนของลำต้นมากที่สุด ซึ่งข้อมูลค่าการสะท้อนแต่ละช่วงคลื่นที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเป็นการสะท้อนจากใบของพืช ดังนั้นเพื่อให้การประมาณค่ามีความถูกต้องมากขึ้น อาจจะใช้ข้อมูลเรดาร์ที่สามารถทะลุผ่านเรือนยอดไปยังลำต้น ทำให้ได้ค่าการสะท้อนที่มาจากลำต้นซึ่งเป็นวิธีการที่ให้ความถูกต้องมากขึ้นได้

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. (2548). เอกสารวิชาการยางพารา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- กรมวิชาการเกษตร. (2548). เอกสารวิชาการ ยางพารา, ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- สถาบันวิจัยยาง. (2555). ข้อมูลวิชาการยางพารา 2555. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- เจษฎา โสภารัตน์. (2552). “การใช้ภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 เพื่อประเมินดัชนีพื้นที่ใบของยางพารา กรณีศึกษา อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพืชศาสตร์, คณะทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2552). *ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์*; ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System: GPS), สำนักงานพัฒนาอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), กรุงเทพฯ.
- ดำรงค์ ศรีพระราม, ลดาวัลย์ พวงจิตร, สาทิศ ดิลกสัมพันธ์, สคาร ทีจันติก, นรินทร จำวงศ์, ชีรทัต เจริญกมลัญญาตา และเฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2552). “การประเมินค่าความถูกต้องจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอสระบบแรกในประเทศไทย: ผลการทดลองเบื้องต้น.” *วิศวกรรมสาร มก*, 23(70), 45 - 56.
- นวลปราง นวลอุไร. (2548). “การเปรียบเทียบค่าดัชนี พื้นที่ใบ มวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่เหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่าไม้จากการสำรวจด้านป่าไม้ และการรับรู้จากระยะไกลบริเวณอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ประเทศไทย.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสัตววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาศูวรรณ, สาทิศ ดิลกสัมพันธ์, ศุริยะ สถาพร และเจด็จ รัตนแก้ว. (2553). “การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้บางชนิดที่ปลูก ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพาน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ http://www.dnp.go.th/watershed/knowledge_files/CO_Phupan.pdf (วันที่ 17 ตุลาคม 2556).

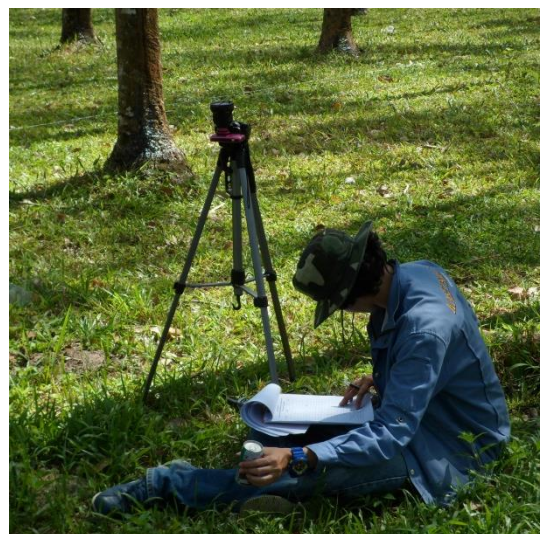
- ประเสริฐษา ญาคำ, ศุภกิจ นนทนันทน์ และศิบุญ เมฆากุลชาติ. (2544). “การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณและช่วงอายุของยางพารา โดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม SMMS.” *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 50 ประจำปี 2555*, กรุงเทพฯ: 31 ม.ค. - 2 ก.พ. 2555.
- พงษ์ศักดิ์ สหุณาฟู. (2538). *ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้*. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- รัศมี สุวรรณวีระกำจร, วาสนา พุฒกลาง, อูรวรรณ จันทร์เกษ, พัทยา คำแดง, พงษ์เทพ วรรณรส และสิริพร กมลธรรม. (2555). “การติดตามการขยายพื้นที่เพาะปลูกยางพาราบริเวณจังหวัด มุกดาหาร ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม THEOS.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ http://gecnet.kku.ac.th/research/n_proceed/2555/1_np2012.pdf (วันที่ 10 กรกฎาคม 2556).
- ละอองดาว เถาว์พิมาย และทิพวรรณ สังข์ทอง. (2554). *คู่มือศักยภาพของพรรณไม้สำหรับส่งเสริมภายใต้โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดภาคป่าไม้*, อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- ศิวาแก้วปลั่ง และโชคชัย ไวกาษา. (2556). “การวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม EO-1 ALI และ Hyperion สำหรับประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของยางพารา.” *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร*, ฉบับพิเศษ, 253 - 264.
- สุจินต์ แม้นเหมือน. (2556). “อนาคตยางพารากับประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน.” *วารสารยางพาราฉบับอิเล็กทรอนิกส์*, 12, 8.
- 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.
- Cho, M. A., Skidmore, A., Corsi, F., Van Wieren, S. E., and Sobhan, I. (2007). “Estimation of green grass/herb biomass from airborne hyperspectral imagery using spectral indices and partial least squares regression.” *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 9(4), 414 - 424.
- 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.
- DigitalGlobe. (2012). “WorldView-2 DATA SHEET.” (Online) Available on http://satimag.Ingcorp.s3.Amzaonaws.amazonaws.com/site/pdf/WorldView-2_datasheet.pdf (15 December 2014).

- Heiskanen, J. (2006). "Estimating aboveground tree biomass and leaf area index in a mountain birch forest using ASTER satellite data." *International Journal of Remote Sensing*, 27(6), 1135 - 1158.
- Hogarth, P.J., (2007). *The biology of mangroves and seagrasses*. Oxford University Press, USA.
- Huete, A. R. (1988). "A soil-adjusted vegetation index (SAVI)." *Remote Sens. Environ.*, 25(3), 295 - 309.
- Huete, A. R., and Jackson, R. D. (1988). "Soil and atmosphere influences on the spectra of partial canopies." *Remote Sens. Environ.*, 25(1), 89 - 105.
- 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.
- Jensen, J. R. (2007). *Remote sensing of environment: An earth resource perspective*. 2 nd ed. NJ: Pearson Education.
- Jensen, R. R., and Binford, M. W. (2004). "Measurement and comparison of Leaf Area Index estimators derived from satellite remote sensing techniques." *International Journal of Remote Sensing*, 25(20), 4251 - 4265.
- Jiang, Z., Huete, A. R., Didan, K., and Miura, T. (2008). "Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band." *Remote Sens. Environ.*, 112(10), 3833 - 3845.
- Li, Z., and Fox, J. M. (2012). "Mapping rubber tree growth in mainland Southeast Asia using time-series MODIS 250 m NDVI and statistical data." *Appl. Geogr.*, 32(2), 420 - 432.
- 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.
- 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.
- Ovington, J.D. (1962). "Quantitative Ecology and the Woody Ecosystem Concept." *Adv Ecol Res.*, 1, 103 - 192.

- Rouse Jr, J., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W. (1974). "Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS." *NASA SP.*, 351, 309.
- Suratman, M. N., Bull, G. Q., Leckie, D. G., Lemay, V. M., Marshall, P. L., and Mispan, M. R. (2004). "Prediction models for estimating the area, volume, and age of rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations in Malaysia using Landsat TM data." *Int. For. Rev.*, 6(1), 12 - 12
- Updike, T., and Comp, C. (2010). Radiometric Use of WorldView-2 Imagery. (Online) Available on, [www.digitalglobe.com/sites/default/files/Radiometric_Use_of_WorldView2_Imagery%20\(1\).pdf](http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/Radiometric_Use_of_WorldView2_Imagery%20(1).pdf) (15 December 2014).
- Waring, R. H., Coops, N. C., Fan, W., and 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*. EMMAH Laboratory, National Institute of Agricultural Research (INRA), France.
- Werapong Koedsin and Alfredo Huete. (2015). "Mapping rubber tree stand age using Pléiades Satellite Imagery: A case study in Talang district, Phuket, Thailand." *EJ*. (In Press)
- 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



รูปภาพผนวก ก การเก็บข้อมูลภาคสนาม



รูปภาคผนวก ก การเก็บข้อมูลภาคสนาม (ต่อ)

ภาคผนวก ข

ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ค่าดัชนีพืชพรรณ
ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

ตารางภาคผนวก ข ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ค่าดัชนีพืชพรรณ ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตระวันออก	เหนือ	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6	Band7	Band8	NDVI	NDVI2	SAVI	SAVI2	EVI	EVI2	AGB (kg/m ²)	Logarithm of AGB (kg/m ²)	LAI
1	6	434900	891122	0.169	0.149	0.127	0.098	0.085	0.197	0.369	0.279	0.625	0.532	0.446	0.336	0.795	0.604	2.822	0.451	4.040
2	6	434900	891142	0.168	0.147	0.127	0.096	0.085	0.181	0.338	0.252	0.599	0.497	0.412	0.300	0.726	0.532	3.063	0.486	2.980
3	<7	433700	888202	0.162	0.138	0.121	0.092	0.080	0.188	0.363	0.272	0.638	0.544	0.450	0.337	0.760	0.571	3.246	0.511	1.340
4	<7	433600	888222	0.163	0.139	0.119	0.094	0.085	0.185	0.307	0.238	0.565	0.473	0.373	0.278	0.615	0.459	3.328	0.522	1.250
5	<7	433650	888242	0.162	0.140	0.121	0.091	0.084	0.195	0.354	0.267	0.618	0.522	0.433	0.323	0.727	0.543	3.642	0.561	1.760
6	6	434890	891082	0.169	0.146	0.123	0.097	0.081	0.197	0.346	0.269	0.620	0.536	0.429	0.331	0.767	0.596	3.792	0.579	2.940
7	6	434890	891062	0.168	0.146	0.127	0.098	0.085	0.204	0.379	0.291	0.633	0.547	0.457	0.353	0.798	0.619	4.003	0.602	2.620
8	<7	434880	888742	0.164	0.144	0.122	0.093	0.083	0.163	0.300	0.230	0.568	0.471	0.370	0.272	0.645	0.476	4.144	0.617	0.870
9	6	434880	891022	0.171	0.150	0.128	0.101	0.088	0.191	0.346	0.266	0.594	0.502	0.414	0.312	0.732	0.555	4.164	0.620	3.310
10	6	434880	891042	0.169	0.144	0.120	0.095	0.081	0.177	0.323	0.257	0.601	0.522	0.403	0.316	0.712	0.562	4.514	0.655	3.420
11	6	434880	890982	0.167	0.144	0.120	0.087	0.079	0.157	0.288	0.220	0.571	0.473	0.362	0.266	0.653	0.482	4.627	0.665	3.680
12	<7	434890	888782	0.164	0.141	0.125	0.096	0.083	0.185	0.339	0.254	0.608	0.509	0.417	0.307	0.711	0.525	4.738	0.676	1.160
13	6	434900	891102	0.170	0.146	0.123	0.096	0.082	0.174	0.317	0.246	0.588	0.498	0.392	0.296	0.702	0.534	5.125	0.710	2.920
14	<7	433690	888212	0.163	0.139	0.116	0.089	0.078	0.164	0.326	0.232	0.615	0.497	0.412	0.285	0.719	0.500	5.129	0.710	1.180
15	<7	433620	888252	0.163	0.141	0.121	0.101	0.089	0.186	0.325	0.262	0.572	0.494	0.388	0.305	0.636	0.499	5.404	0.733	1.660
16	<7	434910	888772	0.163	0.142	0.124	0.097	0.085	0.192	0.347	0.266	0.608	0.517	0.423	0.320	0.716	0.543	5.521	0.742	1.020

ตารางภาคผนวก ข ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ค่าดัชนีพืชพรรณ ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตระวันออก	เหนือ	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6	Band7	Band8	NDVI	NDVI2	SAVI	SAVI2	EVI	EVI2	AGB (kg/m ²)	Logarithm of AGB (kg/m ²)	LAI
17	<7	433690	888232	0.165	0.142	0.124	0.094	0.083	0.207	0.396	0.300	0.652	0.565	0.479	0.368	0.816	0.629	5.644	0.752	1.250
18	6	434900	891162	0.169	0.147	0.124	0.096	0.082	0.190	0.340	0.272	0.612	0.538	0.420	0.334	0.758	0.607	6.327	0.801	4.130
19	<7	434870	888732	0.166	0.144	0.123	0.099	0.086	0.180	0.300	0.240	0.554	0.472	0.362	0.279	0.616	0.476	6.511	0.814	0.570
20	<7	434890	888802	0.165	0.145	0.125	0.097	0.084	0.198	0.353	0.278	0.615	0.535	0.430	0.337	0.746	0.587	6.602	0.820	1.600
21	<7	434900	888752	0.165	0.143	0.123	0.101	0.089	0.176	0.285	0.239	0.524	0.456	0.336	0.271	0.556	0.449	6.772	0.831	1.000
22	<7	434900	888732	0.166	0.142	0.126	0.096	0.084	0.193	0.342	0.253	0.607	0.502	0.419	0.303	0.712	0.517	7.583	0.880	0.760
23	10	434700	889662	0.165	0.142	0.129	0.100	0.087	0.199	0.350	0.256	0.602	0.492	0.421	0.300	0.702	0.500	9.963	0.998	1.000
24	7	434620	888962	0.165	0.146	0.124	0.098	0.089	0.179	0.312	0.244	0.556	0.465	0.371	0.279	0.631	0.475	10.822	1.034	1.500
25	10	434700	889632	0.163	0.143	0.117	0.096	0.082	0.162	0.264	0.211	0.524	0.439	0.322	0.243	0.559	0.424	11.390	1.057	1.250
26	25	433700	888492	0.167	0.146	0.127	0.102	0.090	0.182	0.310	0.235	0.550	0.446	0.366	0.264	0.615	0.443	12.502	1.097	1.330
27	10	434670	889602	0.163	0.141	0.119	0.092	0.081	0.164	0.293	0.226	0.568	0.474	0.365	0.270	0.633	0.470	13.518	1.131	1.610
28	10	434650	889612	0.163	0.141	0.121	0.093	0.081	0.167	0.318	0.228	0.595	0.477	0.396	0.273	0.683	0.473	13.952	1.145	1.560
29	10	434630	889622	0.164	0.140	0.124	0.093	0.083	0.188	0.351	0.258	0.619	0.514	0.431	0.312	0.727	0.528	14.634	1.165	1.750
30	7	434860	888832	0.167	0.148	0.129	0.105	0.096	0.176	0.291	0.229	0.503	0.409	0.329	0.242	0.541	0.397	15.305	1.185	0.670
31	7	434550	889012	0.163	0.141	0.115	0.090	0.078	0.166	0.303	0.235	0.590	0.501	0.383	0.290	0.677	0.515	15.836	1.200	1.140
32	10	434680	889632	0.164	0.142	0.118	0.093	0.081	0.177	0.314	0.244	0.591	0.503	0.391	0.297	0.680	0.520	16.435	1.216	0.960

ตารางภาคผนวก ข ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ค่าดัชนีพืชพรรณ ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตะวันออก	เหนือ	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6	Band7	Band8	NDVI	NDVI2	SAVI	SAVI2	EVI	EVI2	AGB (kg/m ²)	Logarithm of AGB (kg/m ²)	LAI
33	22	434620	890772	0.167	0.144	0.123	0.098	0.087	0.170	0.284	0.226	0.530	0.444	0.339	0.256	0.574	0.434	16.814	1.226	1.620
34	7	434590	889002	0.165	0.141	0.116	0.091	0.081	0.156	0.259	0.207	0.525	0.438	0.318	0.240	0.551	0.416	16.997	1.230	1.350
35	7	434830	888702	0.165	0.146	0.122	0.100	0.089	0.164	0.272	0.224	0.509	0.434	0.320	0.250	0.543	0.425	17.751	1.249	0.900
36	22	434610	890732	0.169	0.153	0.134	0.113	0.106	0.183	0.298	0.238	0.477	0.386	0.319	0.235	0.511	0.375	19.275	1.285	1.230
37	7	434610	888992	0.162	0.140	0.118	0.092	0.081	0.169	0.294	0.229	0.567	0.476	0.364	0.273	0.625	0.469	20.011	1.301	1.350
38	7	434830	888742	0.166	0.147	0.127	0.100	0.093	0.170	0.293	0.221	0.520	0.410	0.340	0.237	0.568	0.397	20.064	1.302	0.960
39	10	434670	889642	0.166	0.143	0.123	0.099	0.084	0.198	0.333	0.266	0.598	0.522	0.408	0.322	0.699	0.553	20.714	1.316	1.320
40	10	434710	889622	0.164	0.139	0.121	0.095	0.083	0.184	0.326	0.246	0.593	0.494	0.400	0.294	0.668	0.491	21.350	1.329	0.970
41	22	434630	890792	0.167	0.146	0.124	0.102	0.087	0.175	0.277	0.215	0.523	0.426	0.330	0.241	0.569	0.416	21.594	1.334	2.190
42	7	434570	889002	0.163	0.139	0.115	0.090	0.081	0.155	0.284	0.218	0.555	0.457	0.351	0.257	0.597	0.437	23.791	1.376	0.860
43	7	434850	888812	0.167	0.149	0.132	0.106	0.097	0.177	0.306	0.242	0.519	0.428	0.348	0.259	0.572	0.426	23.974	1.380	0.860
44	25	433770	888432	0.168	0.145	0.128	0.100	0.091	0.179	0.310	0.244	0.548	0.458	0.366	0.275	0.609	0.458	25.013	1.398	1.350
45	22	434640	890912	0.176	0.155	0.134	0.113	0.103	0.175	0.281	0.219	0.465	0.362	0.303	0.212	0.504	0.354	26.808	1.428	1.540
46	7	434840	888792	0.167	0.146	0.127	0.102	0.097	0.166	0.283	0.218	0.491	0.386	0.318	0.223	0.510	0.357	27.242	1.435	0.970
47	25	434030	888142	0.169	0.148	0.124	0.103	0.088	0.152	0.251	0.193	0.482	0.377	0.292	0.203	0.512	0.358	27.403	1.438	1.720
48	22	434650	890892	0.172	0.152	0.131	0.106	0.096	0.177	0.271	0.219	0.478	0.392	0.303	0.227	0.515	0.386	28.590	1.456	1.890

ตารางภาคผนวก ข ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ค่าดัชนีพืชพรรณ ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตระวันออก	เหนือ	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6	Band7	Band8	NDVI	NDVI2	SAVI	SAVI2	EVI	EVI2	AGB (kg/m ²)	Logarithm of AGB (kg/m ²)	LAI
49	25	433780	888462	0.168	0.150	0.129	0.109	0.101	0.157	0.255	0.208	0.435	0.349	0.271	0.200	0.436	0.321	28.894	1.461	1.170
50	25	434000	888112	0.164	0.142	0.124	0.099	0.085	0.178	0.300	0.242	0.557	0.479	0.364	0.284	0.612	0.478	29.866	1.475	1.050
51	7	434830	888812	0.164	0.143	0.124	0.098	0.087	0.173	0.288	0.233	0.537	0.458	0.345	0.268	0.582	0.452	30.881	1.490	0.810
52	7	434830	888682	0.166	0.139	0.117	0.091	0.082	0.129	0.227	0.166	0.471	0.341	0.270	0.170	0.458	0.288	31.309	1.496	1.160
53	25	433710	888452	0.167	0.146	0.127	0.102	0.089	0.177	0.301	0.241	0.543	0.460	0.357	0.274	0.604	0.464	36.716	1.565	1.750
54	25	433740	888472	0.168	0.148	0.125	0.102	0.094	0.140	0.222	0.171	0.405	0.291	0.235	0.151	0.392	0.253	37.518	1.574	1.240
55	7	434830	888722	0.170	0.148	0.127	0.105	0.097	0.164	0.257	0.210	0.453	0.370	0.281	0.211	0.461	0.345	37.647	1.576	0.720
56	22	434640	890842	0.170	0.149	0.130	0.105	0.093	0.193	0.320	0.258	0.551	0.472	0.374	0.292	0.635	0.497	41.842	1.622	1.700
57	25	434010	888152	0.166	0.150	0.128	0.105	0.096	0.169	0.272	0.215	0.478	0.383	0.304	0.221	0.506	0.367	45.529	1.658	1.750
58	25	433990	888152	0.164	0.141	0.124	0.097	0.084	0.193	0.318	0.257	0.582	0.506	0.389	0.308	0.654	0.518	45.701	1.660	1.160
59	25	433980	888122	0.165	0.143	0.128	0.096	0.087	0.165	0.297	0.226	0.548	0.445	0.357	0.257	0.602	0.433	54.494	1.736	1.310
60	25	433720	888482	0.166	0.141	0.118	0.096	0.085	0.154	0.265	0.204	0.515	0.413	0.318	0.227	0.536	0.382	54.639	1.738	1.170
61	25	433750	888432	0.167	0.147	0.130	0.106	0.093	0.180	0.290	0.229	0.513	0.421	0.334	0.247	0.554	0.411	55.961	1.748	1.420
62	25	433730	888442	0.166	0.144	0.121	0.096	0.085	0.163	0.272	0.214	0.523	0.430	0.327	0.241	0.563	0.416	59.977	1.778	1.560
63	<7	433630	888242	0.162	0.141	0.120	0.096	0.085	0.175	0.315	0.242	0.576	0.482	0.383	0.286	0.645	0.481	3.117	0.494	1.680
64	<7	433720	888232	0.165	0.145	0.133	0.101	0.093	0.221	0.412	0.313	0.633	0.543	0.477	0.365	0.780	0.596	3.398	0.531	1.650

ตารางภาคผนวก ข ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ค่าดัชนีพืชพรรณ ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตระวันออก	เหนือ	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6	Band7	Band8	NDVI	NDVI2	SAVI	SAVI2	EVI	EVI2	AGB (kg/m ²)	Logarithm of AGB (kg/m ²)	LAI
65	<7	433640	888212	0.167	0.147	0.131	0.107	0.100	0.194	0.340	0.266	0.545	0.454	0.383	0.288	0.607	0.454	3.797	0.579	1.200
66	6	434880	891002	0.169	0.147	0.126	0.095	0.085	0.204	0.392	0.287	0.644	0.544	0.472	0.348	0.833	0.619	4.171	0.620	3.280
67	<7	433670	888242	0.164	0.143	0.123	0.094	0.087	0.182	0.335	0.253	0.589	0.490	0.404	0.297	0.679	0.499	5.051	0.703	1.440
68	<7	433630	888222	0.164	0.143	0.122	0.100	0.089	0.175	0.307	0.238	0.550	0.455	0.365	0.270	0.602	0.445	5.336	0.727	1.340
69	<7	434880	888772	0.164	0.140	0.117	0.092	0.079	0.148	0.267	0.203	0.545	0.442	0.334	0.239	0.585	0.420	5.937	0.774	0.820
70	<7	433670	888212	0.168	0.145	0.126	0.108	0.095	0.192	0.333	0.242	0.557	0.438	0.385	0.264	0.623	0.427	6.657	0.823	1.910
71	10	434720	889652	0.164	0.138	0.122	0.095	0.083	0.185	0.322	0.245	0.591	0.495	0.397	0.294	0.662	0.491	8.703	0.940	0.830
72	10	434680	889592	0.166	0.144	0.130	0.105	0.090	0.201	0.338	0.268	0.579	0.496	0.401	0.310	0.664	0.514	12.112	1.083	1.150
73	22	434640	890872	0.169	0.151	0.127	0.101	0.089	0.171	0.279	0.225	0.518	0.435	0.330	0.252	0.588	0.451	13.917	1.144	2.030
74	10	434700	889592	0.165	0.144	0.126	0.103	0.089	0.196	0.324	0.254	0.570	0.483	0.387	0.294	0.648	0.493	15.468	1.189	1.170
75	7	434860	888752	0.164	0.143	0.125	0.098	0.089	0.173	0.297	0.230	0.539	0.441	0.352	0.258	0.581	0.425	16.695	1.223	0.890
76	7	434620	888982	0.164	0.143	0.121	0.095	0.082	0.180	0.324	0.244	0.597	0.499	0.401	0.295	0.701	0.518	18.995	1.279	1.020
77	7	434600	888962	0.164	0.142	0.119	0.093	0.083	0.170	0.312	0.233	0.581	0.476	0.384	0.277	0.659	0.476	20.464	1.311	1.310
78	22	434620	890752	0.169	0.149	0.129	0.105	0.093	0.182	0.309	0.234	0.536	0.430	0.358	0.255	0.607	0.432	20.933	1.321	1.220
79	7	434860	888802	0.167	0.146	0.129	0.104	0.093	0.185	0.321	0.242	0.552	0.447	0.375	0.269	0.622	0.446	23.842	1.377	1.220
80	7	434860	888772	0.168	0.147	0.128	0.103	0.097	0.167	0.284	0.213	0.491	0.375	0.318	0.215	0.516	0.348	25.557	1.408	0.870

ตารางภาคผนวก ข ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ค่าดัชนีพืชพรรณ ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตะวันออก	เหนือ	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6	Band7	Band8	NDVI	NDVI2	SAVI	SAVI2	EVI	EVI2	AGB (kg/m ²)	Logarithm of AGB (kg/m ²)	LAI
81	25	433760	888472	0.169	0.148	0.126	0.104	0.092	0.159	0.266	0.204	0.487	0.381	0.305	0.213	0.516	0.360	28.027	1.448	1.160
82	25	434070	888132	0.164	0.141	0.120	0.096	0.082	0.180	0.309	0.236	0.582	0.486	0.383	0.283	0.659	0.489	29.769	1.474	1.780
83	22	434630	890812	0.170	0.151	0.131	0.103	0.093	0.179	0.312	0.231	0.542	0.428	0.364	0.252	0.628	0.437	34.285	1.535	2.040
84	7	434830	888772	0.168	0.146	0.126	0.104	0.096	0.168	0.270	0.215	0.475	0.382	0.301	0.219	0.487	0.354	37.002	1.568	0.830
85	22	434630	890822	0.169	0.149	0.129	0.105	0.092	0.173	0.290	0.224	0.517	0.417	0.336	0.242	0.573	0.414	37.727	1.577	2.120
86	25	434040	888102	0.167	0.143	0.130	0.098	0.085	0.192	0.334	0.248	0.595	0.491	0.407	0.294	0.692	0.502	46.899	1.671	1.630
87	25	434070	888092	0.167	0.146	0.125	0.104	0.093	0.173	0.292	0.224	0.517	0.413	0.337	0.240	0.554	0.394	55.484	1.744	2.050
88	25	433690	888462	0.167	0.147	0.125	0.098	0.091	0.159	0.278	0.219	0.506	0.413	0.322	0.237	0.543	0.400	57.548	1.760	1.680
89	25	434020	888092	0.167	0.148	0.128	0.104	0.097	0.162	0.277	0.217	0.483	0.384	0.310	0.222	0.506	0.361	61.433	1.788	1.670

ภาคผนวก ค

**การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราจาก
ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ในรูปแบบที่ 1 - รูปแบบที่ 8**

ตารางภาคผนวก ค มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตะวันออก	เหนือ	Logarithm of AGB (kg/m ²)	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4	รูปแบบที่ 5	รูปแบบที่ 6	รูปแบบที่ 7	รูปแบบที่ 8
1	6	434900	891122	0.451	0.466	0.395	0.437	0.224	0.495	0.207	0.461	0.476
2	6	434900	891142	0.486	0.826	0.797	0.794	0.492	0.910	0.512	0.885	0.841
3	<7	433700	888202	0.511	0.756	0.788	0.746	0.751	0.757	0.718	0.785	0.777
4	<7	433600	888222	0.522	1.106	1.058	1.068	1.000	1.114	1.069	1.133	1.095
5	<7	433650	888242	0.561	0.673	0.694	0.671	0.640	0.755	0.722	0.788	0.761
6	6	434890	891082	0.579	0.697	0.578	0.608	0.595	0.636	0.588	0.592	0.640
7	6	434890	891062	0.602	0.530	0.545	0.596	0.684	0.529	0.681	0.530	0.612
8	<7	434880	888742	0.617	1.058	1.076	1.060	1.047	1.109	1.051	1.105	1.076
9	6	434880	891022	0.620	0.716	0.722	0.721	0.630	0.730	0.618	0.711	0.720
10	6	434880	891042	0.655	0.824	0.830	0.775	0.896	0.763	0.850	0.744	0.798
11	6	434880	890982	0.665	0.943	0.951	0.983	0.743	1.079	0.843	1.053	1.031
12	<7	434890	888782	0.676	1.063	1.047	1.037	1.062	1.059	1.031	1.064	1.029

ตารางภาคผนวก ค มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตะวันออก	เหนือ	Logarithm of AGB (kg/m ²)	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4	รูปแบบที่ 5	รูปแบบที่ 6	รูปแบบที่ 7	รูปแบบที่ 8
13	6	434900	891102	0.710	0.858	0.828	0.809	0.680	0.852	0.655	0.816	0.819
14	<7	433690	888212	0.710	0.701	0.685	0.699	0.827	0.766	0.802	0.764	0.619
15	<7	433620	888252	0.733	1.059	1.083	1.086	0.871	0.949	0.831	0.981	1.028
16	<7	434910	888772	0.742	0.904	0.916	0.907	0.918	0.876	0.896	0.896	0.905
17	<7	433690	888232	0.752	0.421	0.516	0.551	0.462	0.446	0.475	0.489	0.577
18	6	434900	891162	0.801	0.756	0.642	0.663	0.953	0.721	0.958	0.662	0.766
19	<7	434870	888732	0.814	1.225	1.236	1.219	1.219	1.167	1.216	1.177	1.202
20	<7	434890	888802	0.820	0.772	0.761	0.783	0.970	0.740	0.989	0.741	0.830
21	<7	434900	888752	0.831	1.425	1.405	1.418	1.147	1.329	1.145	1.335	1.414
22	<7	434900	888732	0.880	1.047	1.027	1.026	0.992	1.080	1.013	1.088	1.025
23	10	434700	889662	0.998	1.142	1.125	1.133	1.090	1.153	1.067	1.177	1.081
24	7	434620	888962	1.034	0.961	1.004	0.968	1.012	0.996	1.045	1.013	0.999

ตารางภาคผนวก ค มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตะวันออก	เหนือ	Logarithm of AGB (kg/m ²)	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4	รูปแบบที่ 5	รูปแบบที่ 6	รูปแบบที่ 7	รูปแบบที่ 8
25	10	434700	889632	1.057	1.299	1.322	1.345	1.352	1.217	1.308	1.231	1.250
26	25	433700	888492	1.097	1.250	1.260	1.246	1.243	1.231	1.215	1.245	1.183
27	10	434670	889602	1.131	1.119	1.129	1.132	1.167	1.138	1.174	1.140	1.115
28	10	434650	889612	1.145	0.967	0.948	0.966	1.084	1.018	1.056	1.018	0.892
29	10	434630	889622	1.165	0.897	0.908	0.877	0.911	0.942	0.905	0.963	0.889
30	7	434860	888832	1.185	1.326	1.325	1.321	1.324	1.338	1.336	1.348	1.317
31	7	434550	889012	1.200	0.809	0.803	0.789	0.785	0.820	0.788	0.813	0.795
32	10	434680	889632	1.216	0.901	0.891	0.868	0.881	0.872	0.877	0.872	0.868
33	22	434620	890772	1.226	1.321	1.347	1.326	1.325	1.310	1.337	1.317	1.327
34	7	434590	889002	1.230	1.269	1.326	1.347	1.342	1.280	1.375	1.295	1.311
35	7	434830	888702	1.249	1.292	1.335	1.299	1.375	1.239	1.345	1.251	1.297
36	22	434610	890732	1.285	1.352	1.345	1.405	1.379	1.362	1.376	1.376	1.315

ตารางภาคผนวก ค มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตะวันออก	เหนือ	Logarithm of AGB (kg/m ²)	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4	รูปแบบที่ 5	รูปแบบที่ 6	รูปแบบที่ 7	รูปแบบที่ 8
37	7	434610	888992	1.301	1.099	1.102	1.099	1.134	1.104	1.154	1.115	1.094
38	7	434830	888742	1.302	1.163	1.189	1.155	1.170	1.244	1.196	1.259	1.182
39	10	434670	889642	1.316	1.059	1.044	1.053	1.127	0.945	1.123	0.951	1.037
40	10	434710	889622	1.329	1.088	1.082	1.064	1.145	1.079	1.146	1.099	1.043
41	22	434630	890792	1.334	1.433	1.429	1.451	1.389	1.358	1.370	1.361	1.359
42	7	434570	889002	1.376	1.052	1.098	1.080	1.205	1.087	1.203	1.104	1.054
43	7	434850	888812	1.380	1.355	1.395	1.395	1.461	1.365	1.437	1.381	1.362
44	25	433770	888432	1.398	1.300	1.338	1.317	1.320	1.311	1.329	1.323	1.319
45	22	434640	890912	1.428	1.378	1.501	1.439	1.504	1.394	1.495	1.417	1.372
46	7	434840	888792	1.435	1.385	1.290	1.300	1.300	1.456	1.311	1.443	1.366
47	25	434030	888142	1.438	1.487	1.579	1.569	1.364	1.430	1.304	1.441	1.481
48	22	434650	890892	1.456	1.457	1.523	1.495	1.672	1.461	1.729	1.472	1.503

ตารางภาคผนวก ค มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตะวันออก	เหนือ	Logarithm of AGB (kg/m ²)	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4	รูปแบบที่ 5	รูปแบบที่ 6	รูปแบบที่ 7	รูปแบบที่ 8
49	25	433780	888462	1.461	1.606	1.468	1.518	1.444	1.584	1.410	1.550	1.569
50	25	434000	888112	1.475	1.400	1.392	1.389	1.317	1.303	1.276	1.309	1.355
51	7	434830	888812	1.490	1.429	1.422	1.422	1.383	1.379	1.376	1.383	1.423
52	7	434830	888682	1.496	1.630	1.625	1.698	1.745	1.709	1.739	1.704	1.747
53	25	433710	888452	1.565	1.331	1.367	1.342	1.388	1.270	1.352	1.279	1.305
54	25	433740	888472	1.574	1.660	1.565	1.541	1.544	1.719	1.569	1.689	1.796
55	7	434830	888722	1.576	1.567	1.500	1.524	1.491	1.567	1.522	1.550	1.587
56	22	434640	890842	1.622	1.170	1.244	1.242	1.459	1.125	1.476	1.142	1.196
57	25	434010	888152	1.658	1.391	1.382	1.376	1.448	1.399	1.457	1.406	1.397
58	25	433990	888152	1.660	1.276	1.252	1.268	1.162	1.187	1.193	1.199	1.276
59	25	433980	888122	1.736	1.416	1.417	1.412	1.513	1.487	1.525	1.485	1.445
60	25	433720	888482	1.738	1.317	1.328	1.337	1.406	1.293	1.363	1.303	1.271

ตารางภาคผนวก ค มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตะวันออก	เหนือ	Logarithm of AGB (kg/m ²)	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4	รูปแบบที่ 5	รูปแบบที่ 6	รูปแบบที่ 7	รูปแบบที่ 8
61	25	433750	888432	1.748	1.551	1.519	1.541	1.532	1.499	1.512	1.501	1.495
62	25	433730	888442	1.778	1.294	1.326	1.322	1.327	1.298	1.341	1.306	1.306
63	<7	433630	888242	0.494	1.016	1.027	0.995	1.048	0.987	1.007	1.007	0.969
64	<7	433720	888232	0.531	0.645	0.885	1.067	0.789	0.678	0.807	0.784	0.878
65	<7	433640	888212	0.579	1.075	1.117	1.201	0.968	1.085	0.968	1.128	1.082
66	6	434880	891002	0.620	0.220	0.198	0.229	-0.321	0.328	-0.313	0.318	0.291
67	<7	433670	888242	0.703	0.794	0.846	0.794	0.819	0.883	0.862	0.910	0.850
68	<7	433630	888222	0.727	1.158	1.158	1.136	1.131	1.115	1.076	1.134	1.086
69	<7	434880	888772	0.774	1.305	1.363	1.421	1.439	1.284	1.386	1.292	1.265
70	<7	433670	888212	0.823	1.022	1.036	1.000	1.059	0.955	0.919	0.996	0.814
71	10	434720	889652	0.940	1.224	1.196	1.197	1.253	1.195	1.255	1.210	1.173
72	10	434680	889592	1.083	1.311	1.319	1.373	1.338	1.191	1.299	1.215	1.270

ตารางภาคผนวก ค มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตะวันออก	เหนือ	Logarithm of AGB (kg/m ²)	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4	รูปแบบที่ 5	รูปแบบที่ 6	รูปแบบที่ 7	รูปแบบที่ 8
73	22	434640	890872	1.144	1.180	1.249	1.207	1.349	1.180	1.368	1.176	1.219
74	10	434700	889592	1.189	1.231	1.214	1.236	1.206	1.125	1.173	1.144	1.154
75	7	434860	888752	1.223	1.323	1.287	1.289	1.309	1.335	1.308	1.343	1.298
76	7	434620	888982	1.279	0.892	0.848	0.851	0.767	0.882	0.751	0.873	0.830
77	7	434600	888962	1.311	0.875	0.899	0.867	0.922	0.906	0.916	0.918	0.840
78	22	434620	890752	1.321	1.150	1.201	1.171	1.080	1.154	1.058	1.172	1.102
79	7	434860	888802	1.377	1.187	1.217	1.197	1.192	1.188	1.155	1.210	1.130
80	7	434860	888772	1.408	1.319	1.266	1.245	1.346	1.408	1.354	1.406	1.301
81	25	433760	888472	1.448	1.463	1.500	1.471	1.461	1.434	1.402	1.440	1.426
82	25	434070	888132	1.474	1.096	1.072	1.078	1.085	1.037	1.062	1.042	1.006
83	22	434630	890812	1.535	1.059	1.119	1.090	0.715	1.144	0.744	1.152	1.071
84	7	434830	888772	1.568	1.495	1.385	1.421	1.290	1.490	1.294	1.473	1.455

ตารางภาคผนวก ค มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตะวันออก	เหนือ	Logarithm of AGB (kg/m ²)	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4	รูปแบบที่ 5	รูปแบบที่ 6	รูปแบบที่ 7	รูปแบบที่ 8
85	22	434630	890822	1.577	1.363	1.412	1.384	1.360	1.342	1.324	1.350	1.327
86	25	434040	888102	1.671	1.307	1.270	1.289	1.261	1.322	1.272	1.320	1.271
87	25	434070	888092	1.744	1.300	1.280	1.265	1.292	1.274	1.240	1.284	1.210
88	25	433690	888462	1.760	1.221	1.291	1.233	1.306	1.291	1.329	1.302	1.293
89	25	434020	888092	1.788	1.400	1.368	1.356	1.383	1.427	1.352	1.424	1.382

ภาคผนวก ง
การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพารา
จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2
โดยวิธีโครมซายประสาทเทียมในรูปแบบที่ ๑

ตารางภาคผนวก ง มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 9 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		Logarithm of AGB (kg/m ²)	Estimated (kg/m ²)
		ตะวันออก	เหนือ		
1	6	434900	891122	0.451	0.593
2	<7	433700	888202	0.511	0.681
3	6	434890	891062	0.602	0.582
4	<7	434880	888742	0.617	1.086
5	6	434880	891042	0.655	0.745
6	6	434880	890982	0.665	1.079
7	<7	434890	888782	0.676	0.992
8	6	434900	891102	0.710	0.833
9	<7	433690	888212	0.710	0.813
10	<7	433620	888252	0.733	0.904
11	6	434900	891162	0.801	0.707
12	<7	434870	888732	0.814	1.143
13	<7	434900	888752	0.831	1.298
14	<7	434900	888732	0.880	1.022
15	10	434700	889662	0.998	1.115
16	7	434620	888962	1.034	0.986
17	10	434700	889632	1.057	1.224
18	10	434670	889602	1.131	1.123
19	10	434650	889612	1.145	0.980
20	10	434630	889622	1.185	1.394
21	7	434860	888832	1.200	0.905
22	22	434620	890772	1.226	1.291
23	7	434590	889002	1.230	1.273

ตารางภาคผนวก ง มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 9 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		Logarithm of AGB (kg/m ²)	Estimated (kg/m ²)
		ตะวันออก	เหนือ		
24	7	434830	888702	1.249	1.238
25	22	434610	890732	1.285	1.383
26	7	434610	888992	1.301	1.108
27	7	434830	888742	1.302	1.279
28	10	434670	889642	1.316	0.888
29	10	434710	889622	1.329	1.020
30	22	434630	890792	1.334	1.360
31	7	434570	889002	1.376	1.143
32	7	434850	888812	1.380	1.402
33	7	434840	888792	1.435	1.484
34	22	434650	890892	1.456	1.549
35	7	434830	888812	1.490	1.351
36	7	434830	888682	1.496	1.461
37	25	433710	888452	1.565	1.282
38	25	433740	888472	1.574	1.688
39	7	434830	888722	1.576	1.620
40	22	434640	890842	1.622	1.166
41	25	434010	888152	1.658	1.476
42	25	433990	888152	1.660	1.130
43	25	433720	888482	1.738	1.268
44	25	433750	888432	1.748	1.547
45	25	433730	888442	1.778	1.277
46	<7	433630	888242	0.494	0.961

ตารางภาคผนวก ง มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 9 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		Logarithm of AGB (kg/m ²)	Estimated (kg/m ²)
		ตะวันออก	เหนือ		
47	<7	433640	888212	0.579	1.099
48	6	434880	891002	0.620	0.467
49	<7	433670	888242	0.703	0.825
50	<7	434880	888772	0.774	1.263
51	<7	433670	888212	0.823	0.926
52	10	434720	889652	0.940	1.123
53	10	434680	889592	1.083	1.178
54	22	434640	890872	1.144	1.256
55	10	434700	889592	1.189	1.101
56	7	434600	888962	1.311	0.907
57	7	434860	888802	1.377	1.205
58	7	434860	888772	1.408	1.458
59	25	433760	888472	1.448	1.478
60	7	434830	888772	1.568	1.515
61	25	434040	888102	1.671	1.307
62	25	434020	888092	1.788	1.481
63	6	434900	891142	0.486	0.913
64	<7	433600	888222	0.522	1.089
65	<7	433650	888242	0.561	0.684
66	6	434890	891082	0.579	0.605
67	6	434880	891022	0.620	0.806
68	<7	434910	888772	0.742	0.806
69	<7	433690	888232	0.752	0.419

ตารางภาคผนวก ง มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 9 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		Logarithm of AGB (kg/m ²)	Estimated (kg/m ²)
		ตะวันออก	เหนือ		
70	<7	434890	888802	0.820	0.697
71	25	433700	888492	1.097	1.241
72	10	434630	889622	1.165	0.853
73	10	434680	889632	1.216	0.878
74	25	433770	888432	1.398	1.324
75	22	434640	890912	1.428	1.427
76	25	434030	888142	1.438	1.461
77	25	433780	888462	1.461	1.660
78	25	434000	888112	1.475	1.258
79	25	433980	888122	1.736	1.480
80	<7	433720	888232	0.531	0.775
81	<7	433630	888222	0.727	1.080
82	7	434860	888752	1.223	1.304
83	7	434620	888982	1.279	0.843
84	22	434620	890752	1.321	1.201
85	25	434070	888132	1.474	1.014
86	22	434630	890812	1.535	1.200
87	22	434630	890822	1.577	1.407
88	25	434070	888092	1.744	1.281
89	25	433690	888462	1.760	1.314

ภาคผนวก จ

การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพารา

จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2

โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 10

ตารางภาคผนวก จ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธี โครจข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 10 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		Logarithm of AGB (kg/m ²)	Estimated (kg/m ²)
		ตะวันออก	เหนือ		
1	<7	433700	888202	0.511	0.728
2	<7	433600	888222	0.522	0.891
3	<7	433650	888242	0.561	0.527
4	6	434890	891082	0.579	0.789
5	<7	434880	888742	0.617	1.015
6	6	434880	891042	0.655	0.727
7	6	434880	890982	0.665	0.724
8	<7	434890	888782	0.676	1.053
9	6	434900	891102	0.710	0.685
10	<7	433620	888252	0.733	0.637
11	<7	434910	888772	0.742	0.729
12	6	434900	891162	0.801	0.713
13	<7	434870	888732	0.814	1.229
14	<7	434890	888802	0.820	0.904
15	<7	434900	888732	0.880	1.219
16	10	434700	889662	0.998	0.980
17	7	434620	888962	1.034	0.856
18	10	434700	889632	1.057	1.171
19	25	433700	888492	1.097	1.401
20	10	434670	889602	1.131	1.157
21	10	434650	889612	1.145	1.022
22	10	434630	889622	1.165	0.923
23	7	434860	888832	1.185	1.512

ตารางภาคผนวก จ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธี โคร่งข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 10 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		Logarithm of AGB (kg/m ²)	Estimated (kg/m ²)
		ตะวันออก	เหนือ		
24	7	434550	889012	1.200	1.119
25	10	434680	889632	1.216	1.153
26	7	434590	889002	1.230	1.147
27	7	434830	888702	1.249	1.204
28	22	434610	890732	1.285	1.191
29	7	434610	888992	1.301	1.130
30	7	434830	888742	1.302	1.311
31	10	434670	889642	1.316	1.253
32	10	434710	889622	1.329	1.169
33	25	433770	888432	1.398	1.549
34	22	434640	890912	1.428	1.498
35	25	434030	888142	1.438	1.310
36	25	433780	888462	1.461	1.508
37	25	434000	888112	1.475	1.330
38	7	434830	888812	1.490	1.394
39	7	434830	888682	1.496	1.479
40	25	433710	888452	1.565	1.423
41	22	434640	890842	1.622	1.477
42	25	433990	888152	1.660	1.305
43	25	433980	888122	1.736	1.551
44	25	433750	888432	1.748	1.751
45	<7	433630	888242	0.494	0.749
46	<7	433720	888232	0.531	0.424

ตารางภาคผนวก จ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธี โคร่งข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 10 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		Logarithm of AGB (kg/m ²)	Estimated (kg/m ²)
		ตะวันออก	เหนือ		
47	<7	433640	888212	0.579	0.732
48	6	434880	891002	0.620	0.603
49	<7	433630	888222	0.727	0.923
50	<7	434880	888772	0.774	1.067
51	22	434640	890872	1.144	1.287
52	10	434700	889592	1.189	1.072
53	7	434620	888982	1.279	1.031
54	7	434600	888962	1.311	1.018
55	22	434620	890752	1.321	1.419
56	7	434860	888802	1.377	1.324
57	25	433760	888472	1.448	1.495
58	25	434070	888132	1.474	1.238
59	22	434630	890812	1.535	1.477
60	25	434040	888102	1.671	1.499
61	25	434070	888092	1.744	1.456
62	25	433690	888462	1.760	1.391
63	6	434900	891122	0.451	0.626
64	6	434900	891142	0.486	0.938
65	6	434890	891062	0.602	0.765
66	6	434880	891022	0.620	0.978
67	<7	433690	888212	0.710	1.052
68	<7	433690	888232	0.752	0.747
69	<7	434900	888752	0.831	1.371

ตารางภาคผนวก จ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธี โคร่งข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 10 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		Logarithm of AGB (kg/m ²)	Estimated (kg/m ²)
		ตะวันออก	เหนือ		
70	22	434620	890772	1.226	1.362
71	22	434630	890792	1.334	1.371
72	7	434570	889002	1.376	1.118
73	7	434850	888812	1.380	1.343
74	7	434840	888792	1.435	1.591
75	22	434650	890892	1.456	1.577
76	25	433740	888472	1.574	1.423
77	7	434830	888722	1.576	1.630
78	25	434010	888152	1.658	1.469
79	25	433720	888482	1.738	1.222
80	25	433730	888442	1.778	1.229
81	<7	433670	888242	0.703	0.728
82	<7	433670	888212	0.823	0.956
83	10	434720	889652	0.940	1.230
84	10	434680	889592	1.083	1.109
85	7	434860	888752	1.223	1.136
86	7	434860	888772	1.408	1.554
87	7	434830	888772	1.568	1.704
88	22	434630	890822	1.577	1.553
89	25	434020	888092	1.788	1.513

ภาคผนวก ฉ

การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา

จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 ในรูปแบบที่ 1 - รูปแบบที่ 8

ตารางภาคผนวก ข คำนวณพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และคำนวณพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 รูปแบบที่ 1 - รูปแบบที่ 8 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตะวันออก	เหนือ	LAI	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4	รูปแบบที่ 5	รูปแบบที่ 6	รูปแบบที่ 7	รูปแบบที่ 8
1	6	434900	891122	4.040	3.142	3.513	3.460	3.610	3.138	3.529	3.529	3.338
2	6	434900	891142	2.980	2.688	2.784	2.711	3.008	2.748	2.757	2.757	2.674
3	<7	433700	888202	1.340	1.168	0.920	0.972	0.896	1.157	0.974	0.974	0.930
4	<7	433600	888222	1.250	0.646	0.832	0.801	0.921	0.637	0.678	0.678	0.702
5	<7	433650	888242	1.760	1.217	1.057	1.083	1.118	1.231	0.882	0.882	0.839
6	6	434890	891082	2.940	2.916	3.356	3.331	3.356	2.899	3.342	3.342	3.315
7	6	434890	891062	2.620	2.777	2.803	2.808	2.691	2.760	2.809	2.809	2.648
8	<7	434880	888742	0.870	1.766	1.683	1.684	1.720	1.787	1.690	1.690	1.713
9	6	434880	891022	3.310	3.134	3.163	3.147	3.247	3.128	3.181	3.181	3.138
10	6	434880	891042	3.420	2.755	2.659	2.732	2.620	2.665	2.717	2.717	2.829
11	6	434880	890982	3.680	2.782	2.800	2.682	2.950	2.814	2.643	2.643	2.600
12	<7	434890	888782	1.160	1.308	1.322	1.334	1.282	1.371	1.381	1.381	1.396

ตารางภาคผนวก ข คำนวณพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และคำนวณพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 รูปแบบที่ 1 - รูปแบบที่ 8 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตะวันออก	เหนือ	LAI	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4	รูปแบบที่ 5	รูปแบบที่ 6	รูปแบบที่ 7	รูปแบบที่ 8
13	6	434900	891102	2.920	3.019	3.113	3.088	3.221	2.990	3.155	3.155	3.179
14	<7	433690	888212	1.180	1.629	1.629	1.587	1.473	1.607	1.725	1.725	1.682
15	<7	433620	888252	1.660	0.642	0.560	0.499	0.827	0.532	0.667	0.667	0.594
16	<7	434910	888772	1.020	1.242	1.164	1.186	1.192	1.250	1.208	1.208	1.180
17	<7	433690	888232	1.250	2.078	1.771	1.766	1.767	2.045	1.748	1.748	1.498
18	6	434900	891162	4.130	3.267	3.672	3.733	3.475	3.251	3.637	3.637	3.673
19	<7	434870	888732	0.570	1.427	1.376	1.389	1.399	1.417	1.364	1.364	1.463
20	<7	434890	888802	1.600	2.035	2.039	2.075	1.957	2.032	2.011	2.011	1.972
21	<7	434900	888752	1.000	0.934	1.018	0.940	1.187	0.882	1.017	1.017	1.034
22	<7	434900	888732	0.760	1.554	1.598	1.583	1.580	1.648	1.544	1.544	1.568
23	10	434700	889662	1.000	0.894	1.030	1.030	0.993	1.019	1.049	1.049	1.048
24	7	434620	888962	1.500	1.613	1.421	1.465	1.474	1.602	1.349	1.349	1.402
25	10	434700	889632	1.250	1.156	1.189	1.186	1.087	1.128	1.247	1.247	1.309

ตารางภาคผนวก จ คำนวณพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และคำนวณพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 รูปแบบที่ 1 - รูปแบบที่ 8 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตะวันออก	เหนือ	LAI	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4	รูปแบบที่ 5	รูปแบบที่ 6	รูปแบบที่ 7	รูปแบบที่ 8
26	25	433700	888492	1.330	1.311	1.313	1.320	1.355	1.345	1.361	1.361	1.414
27	10	434670	889602	1.610	1.466	1.455	1.449	1.417	1.477	1.448	1.448	1.499
28	10	434650	889612	1.560	1.304	1.361	1.333	1.255	1.343	1.456	1.456	1.430
29	10	434630	889622	1.750	1.245	1.135	1.173	1.065	1.293	1.128	1.128	1.138
30	7	434860	888832	0.670	1.134	1.166	1.167	1.186	1.131	1.139	1.139	1.162
31	7	434550	889012	1.140	1.913	1.937	1.940	1.949	1.858	1.922	1.922	1.968
32	10	434680	889632	0.960	1.743	1.741	1.759	1.768	1.707	1.732	1.732	1.800
33	22	434620	890772	1.620	1.536	1.429	1.442	1.418	1.531	1.387	1.387	1.483
34	7	434590	889002	1.350	1.567	1.472	1.455	1.351	1.537	1.382	1.382	1.448
35	7	434830	888702	0.900	1.305	1.109	1.168	1.002	1.242	1.135	1.135	1.242
36	22	434610	890732	1.230	0.931	1.156	1.076	1.128	0.902	1.189	1.189	1.129
37	7	434610	888992	1.350	1.188	1.195	1.200	1.171	1.180	1.147	1.147	1.211
38	7	434830	888742	0.960	1.316	1.219	1.258	1.318	1.339	1.165	1.165	1.175

ตารางภาคผนวก ข คำนวณพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และคำนวณพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 รูปแบบที่ 1 - รูปแบบที่ 8 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตะวันออก	เหนือ	LAI	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4	รูปแบบที่ 5	รูปแบบที่ 6	รูปแบบที่ 7	รูปแบบที่ 8
39	10	434670	889642	1.320	1.632	1.645	1.653	1.657	1.624	1.649	1.649	1.704
40	10	434710	889622	0.970	0.977	0.957	0.978	0.903	0.988	0.942	0.942	1.010
41	22	434630	890792	2.190	1.506	1.572	1.534	1.596	1.549	1.601	1.601	1.663
42	7	434570	889002	0.860	1.208	1.073	1.104	0.981	1.142	1.074	1.074	1.126
43	7	434850	888812	0.860	1.076	0.995	1.007	0.967	1.101	1.061	1.061	1.078
44	25	433770	888432	1.350	1.509	1.362	1.370	1.389	1.528	1.346	1.346	1.412
45	22	434640	890912	1.540	2.249	1.751	1.800	1.763	2.239	1.765	1.765	1.873
46	7	434840	888792	0.970	0.756	1.182	1.182	1.206	0.741	1.142	1.142	1.082
47	25	434030	888142	1.720	1.884	1.515	1.484	1.706	1.893	1.661	1.661	1.606
48	22	434650	890892	1.890	2.118	1.768	1.817	1.592	2.154	1.635	1.635	1.798
49	25	433780	888462	1.170	0.692	1.149	1.081	1.052	0.628	1.223	1.223	1.086
50	25	434000	888112	1.050	0.988	1.028	1.016	1.083	0.992	1.101	1.101	1.174
51	7	434830	888812	0.810	1.069	1.104	1.100	1.107	1.090	1.104	1.104	1.182

ตารางภาคผนวก ข คำนวณพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และคำนวณพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 รูปแบบที่ 1 - รูปแบบที่ 8 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตะวันออก	เหนือ	LAI	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4	รูปแบบที่ 5	รูปแบบที่ 6	รูปแบบที่ 7	รูปแบบที่ 8
52	7	434830	888682	1.160	1.000	1.200	1.214	1.270	1.020	1.244	1.244	0.965
53	25	433710	888452	1.750	1.515	1.373	1.399	1.355	1.512	1.438	1.438	1.540
54	25	433740	888472	1.240	1.102	1.138	1.227	1.239	1.104	1.082	1.082	0.839
55	7	434830	888722	0.720	1.266	1.425	1.386	1.311	1.235	1.352	1.352	1.331
56	22	434640	890842	1.700	2.135	1.871	1.905	1.745	2.140	1.845	1.845	1.961
57	25	434010	888152	1.750	1.005	1.003	1.033	0.961	1.017	0.977	0.977	0.991
58	25	433990	888152	1.160	1.094	1.148	1.105	1.282	1.117	1.091	1.091	1.138
59	25	433980	888122	1.310	1.170	1.163	1.186	1.097	1.268	1.157	1.157	1.200
60	25	433720	888482	1.170	1.078	1.119	1.129	1.045	1.016	1.194	1.194	1.198
61	25	433750	888432	1.420	0.969	1.141	1.117	1.126	1.029	1.176	1.176	1.222
62	25	433730	888442	1.560	1.535	1.438	1.442	1.413	1.539	1.400	1.400	1.460
63	<7	433630	888242	1.680	0.885	0.817	0.859	0.836	0.844	0.891	0.891	0.928
64	<7	433720	888232	1.650	1.290	0.901	0.733	0.912	1.320	0.940	0.940	0.479

ตารางภาคผนวก ข คำนวณพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และคำนวณพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 รูปแบบที่ 1 - รูปแบบที่ 8 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตะวันออก	เหนือ	LAI	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4	รูปแบบที่ 5	รูปแบบที่ 6	รูปแบบที่ 7	รูปแบบที่ 8
65	<7	433640	888212	1.200	0.619	0.763	0.626	0.938	0.565	0.810	0.810	0.624
66	6	434880	891002	3.280	3.247	3.506	3.417	3.749	3.250	3.435	3.435	3.137
67	<7	433670	888242	1.440	1.462	1.213	1.265	1.262	1.449	1.115	1.115	1.132
68	<7	433630	888222	1.340	0.749	0.778	0.797	0.833	0.694	0.872	0.872	0.894
69	<7	434880	888772	0.820	1.475	1.445	1.377	1.348	1.465	1.588	1.588	1.568
70	<7	433670	888212	1.910	0.659	0.826	0.895	0.810	0.603	1.033	1.033	1.072
71	10	434720	889652	0.830	0.815	0.892	0.890	0.841	0.856	0.880	0.880	0.947
72	10	434680	889592	1.150	0.892	0.941	0.881	0.990	0.928	1.050	1.050	1.018
73	22	434640	890872	2.030	2.703	2.392	2.464	2.273	2.723	2.329	2.329	2.493
74	10	434700	889592	1.170	0.930	1.042	1.016	1.097	0.953	1.106	1.106	1.133
75	7	434860	888752	0.890	0.676	0.844	0.849	0.852	0.696	0.841	0.841	0.856
76	7	434620	888982	1.020	1.734	1.884	1.851	1.957	1.750	1.918	1.918	1.907
77	7	434600	888962	1.310	1.549	1.425	1.445	1.430	1.512	1.437	1.437	1.475

ตารางภาคผนวก ข คำนวณพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และคำนวณพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 รูปแบบที่ 1 - รูปแบบที่ 8 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตะวันออก	เหนือ	LAI	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4	รูปแบบที่ 5	รูปแบบที่ 6	รูปแบบที่ 7	รูปแบบที่ 8
78	22	434620	890752	1.220	1.710	1.562	1.566	1.713	1.735	1.604	1.604	1.639
79	7	434860	888802	1.220	1.220	1.186	1.206	1.233	1.249	1.247	1.247	1.281
80	7	434860	888772	0.870	0.984	1.241	1.300	1.262	0.985	1.200	1.200	1.178
81	25	433760	888472	1.160	1.450	1.288	1.318	1.352	1.447	1.407	1.407	1.411
82	25	434070	888132	1.780	1.349	1.451	1.432	1.446	1.353	1.488	1.488	1.553
83	22	434630	890812	2.040	2.277	2.081	2.013	2.484	2.352	2.049	2.049	1.998
84	7	434830	888772	0.830	0.806	1.243	1.181	1.285	0.772	1.223	1.223	1.149
85	22	434630	890822	2.120	1.715	1.531	1.546	1.598	1.753	1.606	1.606	1.668
86	25	434040	888102	1.630	1.504	1.643	1.607	1.609	1.655	1.623	1.623	1.662
87	25	434070	888092	2.050	0.927	1.065	1.087	1.091	0.894	1.149	1.149	1.170
88	25	433690	888462	1.680	1.703	1.366	1.433	1.350	1.672	1.313	1.313	1.378
89	25	434020	888092	1.670	0.908	1.040	1.065	1.039	0.878	1.093	1.093	1.063

ภาคผนวก ข
การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา
จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2
โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ ๑

ตารางภาคผนวก ข ดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 9 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		LAI	Estimated
		ตะวันออก	เหนือ		
1	6	434900	891122	4.040	3.697
2	6	434900	891142	2.980	3.145
3	<7	433700	888202	1.340	1.499
4	<7	433650	888242	1.760	1.699
5	6	434890	891082	2.940	3.561
6	<7	434880	888742	0.870	1.402
7	6	434880	891022	3.310	3.305
8	6	434880	891042	3.420	3.104
9	6	434880	890982	3.680	3.022
10	<7	434890	888782	1.160	1.206
11	<7	433690	888232	1.250	1.269
12	<7	434890	888802	1.600	1.449
13	<7	434900	888752	1.000	1.096
14	10	434700	889662	1.000	1.248
15	7	434620	888962	1.500	1.269
16	10	434700	889632	1.250	1.132
17	25	433700	888492	1.330	1.643
18	10	434670	889602	1.610	1.187
19	10	434650	889612	1.560	1.224
20	10	434630	889622	1.750	1.225
21	7	434860	888832	0.670	1.221
22	10	434680	889632	0.960	1.268
23	7	434830	888702	0.900	3.697

ตารางภาคผนวก ข ดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 9 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		LAI	Estimated
		ตะวันออก	เหนือ		
24	22	434610	890732	1.230	1.206
25	7	434610	888992	1.350	1.234
26	10	434670	889642	1.320	1.212
27	10	434710	889622	0.970	1.280
28	22	434630	890792	2.190	1.057
29	7	434850	888812	0.860	2.041
30	25	433770	888432	1.350	1.236
31	22	434640	890912	1.540	1.687
32	7	434840	888792	0.970	1.438
33	25	434030	888142	1.720	1.025
34	25	434000	888112	1.050	1.891
35	25	433710	888452	1.750	1.066
36	7	434830	888722	0.720	1.736
37	22	434640	890842	1.700	0.954
38	25	434010	888152	1.750	1.807
39	25	433990	888152	1.160	1.477
40	25	433980	888122	1.310	1.080
41	25	433750	888432	1.420	1.130
42	25	433730	888442	1.560	1.317
43	<7	433720	888232	1.650	1.611
44	<7	433640	888212	1.200	1.702
45	6	434880	891002	3.280	1.185
46	<7	433670	888242	1.440	3.195

ตารางภาคผนวก ข ดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 9 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		LAI	Estimated
		ตะวันออก	เหนือ		
47	<7	433630	888222	1.340	1.213
48	<7	434880	888772	0.820	1.132
49	<7	433670	888212	1.910	1.296
50	10	434720	889652	0.830	1.569
51	10	434680	889592	1.150	1.100
52	22	434640	890872	2.030	1.259
53	10	434700	889592	1.170	2.200
54	7	434860	888752	0.890	1.181
55	7	434620	888982	1.020	1.078
56	7	434860	888802	1.220	1.413
57	7	434860	888772	0.870	1.517
58	7	434830	888772	0.830	0.998
59	22	434630	890822	2.120	0.944
60	25	434070	888092	2.050	1.730
61	25	433690	888462	1.680	1.300
62	25	434020	888092	1.670	1.507
63	<7	433600	888222	1.250	1.089
64	6	434890	891062	2.620	1.406
65	6	434900	891102	2.920	2.493
66	<7	433690	888212	1.180	3.945
67	<7	433620	888252	1.660	1.234
68	<7	434910	888772	1.020	1.455
69	6	434900	891162	4.130	1.413

ตารางภาคผนวก ข ดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 9 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		LAI	Estimated
		ตะวันออก	เหนือ		
70	<7	434870	888732	0.570	4.175
71	<7	434900	888732	0.760	1.368
72	7	434550	889012	1.140	1.174
73	22	434620	890772	1.620	1.412
74	7	434590	889002	1.350	1.683
75	7	434830	888742	0.960	1.278
76	7	434570	889002	0.860	1.330
77	22	434650	890892	1.890	1.015
78	25	433780	888462	1.170	1.358
79	7	434830	888812	0.810	1.102
80	7	434830	888682	1.160	1.070
81	25	433740	888472	1.240	1.258
82	25	433720	888482	1.170	1.478
83	<7	433630	888242	1.680	1.217
84	7	434600	888962	1.310	1.424
85	22	434620	890752	1.220	1.150
86	25	433760	888472	1.160	1.700
87	25	434070	888132	1.780	1.443
88	22	434630	890812	2.040	1.137
89	25	434040	888102	1.630	2.003

ภาคผนวก ข
การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพารา
จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2
โดยวิธีโครมถ่ายภาพระยะสูงเทียมในรูปแบบที่ 10

ตารางภาคผนวก ข ดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 10 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		LAI	Estimated
		ตะวันออก	เหนือ		
1	6	434900	891122	4.040	3.747
2	<7	433700	888202	1.340	1.389
3	<7	433650	888242	1.760	1.667
4	6	434890	891062	2.620	2.526
5	6	434880	891022	3.310	3.489
6	6	434880	891042	3.420	3.265
7	6	434880	890982	3.680	3.365
8	<7	433690	888212	1.180	1.218
9	<7	433620	888252	1.660	1.692
10	<7	434910	888772	1.020	1.497
11	6	434900	891162	4.130	4.112
12	<7	434870	888732	0.570	1.253
13	<7	434900	888732	0.760	1.210
14	7	434620	888962	1.500	1.373
15	10	434700	889632	1.250	1.220
16	25	433700	888492	1.330	1.572
17	10	434670	889602	1.610	1.162
18	10	434650	889612	1.560	1.325
19	7	434550	889012	1.140	1.234
20	10	434680	889632	0.960	1.209
21	22	434620	890772	1.620	1.612
22	7	434590	889002	1.350	1.281
23	7	434830	888702	0.900	1.142

ตารางภาคผนวก ข ดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 10 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		LAI	Estimated
		ตะวันออก	เหนือ		
24	22	434610	890732	1.230	1.427
25	7	434610	888992	1.350	1.293
26	7	434830	888742	0.960	1.374
27	10	434670	889642	1.320	1.164
28	10	434710	889622	0.970	1.104
29	22	434630	890792	2.190	1.902
30	7	434850	888812	0.860	1.085
31	22	434640	890912	1.540	1.403
32	7	434840	888792	0.970	1.011
33	25	434000	888112	1.050	0.961
34	7	434830	888682	1.160	1.191
35	25	433740	888472	1.240	1.260
36	7	434830	888722	0.720	1.012
37	25	434010	888152	1.750	1.377
38	25	433990	888152	1.160	1.071
39	25	433720	888482	1.170	1.238
40	25	433730	888442	1.560	1.511
41	<7	433630	888242	1.680	1.628
42	<7	433720	888232	1.650	1.495
43	<7	433640	888212	1.200	1.108
44	6	434880	891002	3.280	3.565
45	<7	433670	888242	1.440	1.212
46	<7	433630	888222	1.340	1.254

ตารางภาคผนวก ข ดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 10 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		LAI	Estimated
		ตะวันออก	เหนือ		
47	<7	434880	888772	0.820	1.287
48	10	434680	889592	1.150	1.113
49	22	434640	890872	2.030	2.234
50	7	434860	888752	0.890	0.934
51	7	434620	888982	1.020	1.380
52	7	434600	888962	1.310	1.257
53	7	434860	888802	1.220	1.459
54	25	433760	888472	1.160	1.426
55	25	434070	888132	1.780	1.216
56	22	434630	890812	2.040	2.071
57	7	434830	888772	0.830	1.126
58	22	434630	890822	2.120	1.631
59	25	434040	888102	1.630	1.395
60	25	434070	888092	2.050	1.401
61	25	433690	888462	1.680	1.567
62	25	434020	888092	1.670	1.170
63	6	434900	891142	2.980	3.359
64	<7	433600	888222	1.250	1.590
65	6	434890	891082	2.940	3.375
66	<7	434880	888742	0.870	1.304
67	<7	434890	888782	1.160	1.206
68	6	434900	891102	2.920	4.039
69	<7	433690	888232	1.250	0.964

ตารางภาคผนวก ข ดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และดัชนีพื้นที่ผิวใบของแปลงยางพาราที่ได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม WorldView-2 โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบที่ 10 (ลำดับที่ 1 - 62 เป็นชุดข้อมูลฝึกฝน และลำดับที่ 63 - 89 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ) (ต่อ)

ลำดับที่	อายุยาง (ปี)	ตำแหน่ง		LAI	Estimated
		ตะวันออก	เหนือ		
70	<7	434890	888802	1.600	1.297
71	<7	434900	888752	1.000	0.878
72	10	434700	889662	1.000	1.308
73	10	434630	889622	1.750	1.194
74	7	434860	888832	0.670	1.292
75	7	434570	889002	0.860	1.086
76	25	433770	888432	1.350	1.579
77	25	434030	888142	1.720	1.774
78	22	434650	890892	1.890	1.473
79	25	433780	888462	1.170	1.262
80	7	434830	888812	0.810	0.817
81	25	433710	888452	1.750	1.556
82	22	434640	890842	1.700	2.023
83	25	433980	888122	1.310	0.725
84	25	433750	888432	1.420	1.105
85	<7	433670	888212	1.910	1.953
86	10	434720	889652	0.830	1.155
87	10	434700	889592	1.170	1.307
88	22	434620	890752	1.220	1.785
89	7	434860	888772	0.870	1.232