



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรป่าไม้)
ปริญญา

<u>การจัดการทรัพยากรป่าไม้</u>	<u>การจัดการป่าไม้</u>
สาขา	ภาควิชา
เรื่อง การประมาณปริมาตรและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ในสวนป่าลาดกระทิง ด้วยเทคนิคการสำรวจจากระยะไกล	
Estimation of Volume and Aboveground Carbon Sequestration of <i>Eucalyptus camaldulensis</i> at Lad Krathing Plantation Using Remote Sensing Techniques	
นามผู้วิจัย นายภัทร สว่างดี	
ได้พิจารณาเห็นชอบโดย	
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กาญจน์เขจร ชูชีพ, Dr.rer.nat.)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย อรุณประภารัตน์, D.Agr.)
หัวหน้าภาควิชา	(รองศาสตราจารย์สันติ สุขสอาด, วท.ด.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประมาณปริมาตรและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส
ในสวนป่าลาดกระทิง ด้วยเทคนิคการสำรวจจากระยะไกล

Estimation of Volume and Aboveground Carbon Sequestration of *Eucalyptus camaldulensis*
at Lad Krathing Plantation Using Remote Sensing Techniques

โดย

นายภัทร สว่างดี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรป่าไม้)

พ.ศ. 2553

ภัทร สว่างดี 2553: การประมาณปริมาตรและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ยูคาลิปตัส
คามาลดูเลนซิส ในสวนป่าลาดกระบัง ด้วยเทคนิคการสำรวจจากระยะไกล
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรป่าไม้) สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรป่าไม้
ภาควิชาการจัดการป่าไม้ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์กาญจน์เพชร ชูชีพ,
Dr.rer.nat. 118 หน้า

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณหาปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือ
พื้นดินของไม้สวนป่ายูคาลิปตัสอายุ 1-5 ปี โดยสูตรมาตรฐานที่ใช้ข้อมูลจากภาคสนาม เปรียบเทียบกับวิธีการ
ทางอ้อมจากการใช้สมการความสัมพันธ์ของค่าดังกล่าวกับค่าดัชนีพื้นที่ใบ และกับค่าข้อมูลภาพถ่ายจาก
ดาวเทียม SPOT-5 และค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ

จากการศึกษาพบว่า ดัชนีพื้นที่ใบมีความสัมพันธ์กับปริมาตรไม้ทุกชั้นอายุในรูปแบบสมการยกกำลังโดย
มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) อยู่ระหว่าง 0.62- 0.97 และมีความสัมพันธ์กับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในรูป
สมการยกกำลังเช่นกันโดยมีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.63-0.94 ในขณะที่ข้อมูลแบนด์ 1 (G) ข้อมูลแบนด์ 3 (NIR)
ค่าอัตราส่วนระหว่างแบนด์ (NIR/R) และค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ของข้อมูลดาวเทียม SPOT-5 มีความสัมพันธ์
กับปริมาตรและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในรูปสมการถดถอยเชิงเส้นที่ให้ค่า R^2 สูงหากวิเคราะห์แยกแต่ละชั้น
อายุ (ระหว่าง 0.73-0.93) แต่จะให้ค่าต่ำ (0.57) เมื่อวิเคราะห์รวมทุกชั้นอายุ

จากลักษณะความสัมพันธ์ในแต่ละกรณีดังกล่าวหากใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบที่วัดหาจากภาคสนามสามารถ
ทำการประมาณหาปริมาตรไม้รวมของสวนป่าที่ศึกษาได้เท่ากับ 28,072 ลบ.ม. และประมาณหาปริมาณการกัก
เก็บคาร์บอนรวมได้เท่ากับ 19,194 ตันคาร์บอน แต่หากประมาณโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมจะประมาณ
ค่าได้เท่ากับ 27,527 ลบ.ม. และ 19,078 ตันคาร์บอน ตามลำดับ ในขณะที่การคำนวณด้วยสูตรมาตรฐานที่ใช้
ข้อมูลที่วัดหาโดยตรงจากภาคสนามจะให้ค่าปริมาตรไม้เท่ากับ 27,607 ลบ.ม. และค่าการกักเก็บคาร์บอนได้
เท่ากับ 19,060 ตันคาร์บอน ซึ่งเมื่อทดสอบทางสถิติแล้วพบว่าวิธีการประมาณด้วยสมการความสัมพันธ์กับ
วิธีการคำนวณด้วยสูตรมาตรฐานที่ใช้กับข้อมูลจากภาคสนามให้ผลที่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ โดยที่วิธี
ประมาณด้วยสมการความสัมพันธ์ที่ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเป็นวิธีที่ใช้เวลาและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย
กว่า ดังนั้น หากต้องการข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจในการจัดการสวนป่ายูคาลิปตัสภายใต้ข้อจำกัดด้าน
เวลาและค่าใช้จ่าย การใช้สมการความสัมพันธ์กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมจึงเป็นทางเลือกที่ดี

Pattara Sawangde 2010: Estimation of Volume and Aboveground Carbon Sequestration of *Eucalyptus camaldulensis* at Lad Krathing Plantation Using Remote Sensing Techniques.
Master of Science (Forest Resource Management), Major Field: Forest Resource Management,
Department of Forest Management. Thesis Advisor: Assistant Professor Kankhajane Chuchip,
Dr.rer.nat. 118 pages.

This study was aimed to estimate the stem volume and aboveground carbon stock of Eucalyptus trees with 1-5 years age class in Lad Krathing plantation. As a comparative study, this was done both by direct method based on standard formulas using data from field survey and by indirect method based on the relationship equations between those things and the leaf area index (LAI) as well as SPOT-5 satellite digital image including its vegetation indices.

The results of the study revealed that the relationship between LAI and stem volume was in form of power function with the correlation coefficient (R^2) of 0.62 to 0.97 for all age classes of the Eucalyptus plantation. In addition, the relationship between LAI and carbon stock was also in form of power function models with the R^2 of 0.63 to 0.94. Furthermore, it was found that G, NIR and the vegetation indices (NIR/R, NDVI) of SPOT-5 was related to stem volume and aboveground carbon stock in form of linear regression models with relatively high of R^2 (0.73-0.93) when separately analyzing by each age class, but relatively low R^2 (0.57) when analyzing by all ages.

Based on the best-fit models using field-measured LAI as an independent variable, the yield estimation of the plantation was 28,072 m³ by volume and 19,194 tons of carbon by stock. Additionally, the estimation based on the best fit models using SPOT-5 data was 27,527 m³ by volume and 19,078 tons of carbon. Meanwhile, the results of the conventional estimation based on standard equations using data from field survey were 27,607 m³ by volume and 19,060 tons of carbon. The result also revealed that the direct estimation of stem volume and carbon stock using standard equations was not significantly different from the use of the relationship equations that produced evident results with relatively low of cost and time consuming in operation. Hereby, it can be stated that modeling of an relationship equation based on satellite image would be one of the good alternative methods for the estimation of stem volume and aboveground carbon sequestration in the Eucalyptus plantation when time and budget are main constrains for decision making in plantation management.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงยิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจน์เขจร ชูชีพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย อรุณประภารัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ช่วยกรุณาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ถ่ายทอดความรู้และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้สำหรับนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณด้วยความเคารพอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณมงคล ศรีอนันต์ หัวหน้าสวนป่า และเจ้าหน้าที่ของสวนป่าลาดกระทิง จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านข้อมูลและการประสานงานในพื้นที่ศึกษา อีกทั้งน้องนิสิตคณะวนศาสตร์รุ่นที่ 71 และ 73 ที่เสียสละเวลาช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์ไปด้วยดี รวมทั้งผู้ที่มิได้ออกนามทุกท่าน ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ให้กำเนิดและคอยสนับสนุนในทุกๆ ด้าน สมาชิกในครอบครัวทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจตลอดมา หากประโยชน์อันใดที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้พึงมี ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน และหากเกิดข้อผิดพลาดประการใดผู้วิจัยขอน้อมรับไว้ทุกประการ

ภัทร สว่างดี
มีนาคม 2553

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	24
อุปกรณ์	24
วิธีการ	25
ผลและวิจารณ์	39
ผล	39
วิจารณ์	74
สรุปและข้อเสนอแนะ	78
สรุป	78
ข้อเสนอแนะ	84
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	85
ภาคผนวก	89
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	118

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แบบจำลองพหุนามลำดับต่างๆ ที่ใช้ในการปรับแก้เชิงเรขาคณิต	8
2	การปฏิบัติระหว่างช่วงคลื่นที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในการศึกษาพืชพรรณ	12
3	คุณสมบัติของดาวเทียม SPOT	13
4	รูปแบบสมการของช่วงคลื่น และดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ	28
5	จำนวนแปลงตัวอย่าง	30
6	สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณค่ามวลชีวภาพของยูคาลิปตัส คามาลคูเลนซิสในพื้นที่ศึกษา	34
7	ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่เป็นค่าข้อมูลเชิงเลขของ ภาพต้นฉบับ และค่าที่แปลงเป็นค่าการสะท้อนจริงจากพื้นผิวโลก	40
8	ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลก (Reflectance) ช่วงคลื่น และค่าดัชนีที่เกี่ยวข้อง กับพืชพรรณ	41
9	ค่าดัชนีพื้นที่ใบ มวลชีวภาพ ปริมาตร และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ในแปลง ตัวอย่าง	47
10	ปริมาตรไม้แยกตามชั้นอายุเปรียบเทียบระหว่างการหาโดยใช้สมการมาตรฐาน การ ประมาณโดยใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบ และการประมาณโดยใช้ ข้อมูลจากดาวเทียม SPOT-5	62
11	การกักเก็บคาร์บอนแยกตามชั้นอายุเปรียบเทียบระหว่างการหาจากมวลชีวภาพ การ ประมาณโดยใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบ และการประมาณโดยใช้ ข้อมูลจากดาวเทียม SPOT-5	63
12	ปริมาตรไม้ที่ประมาณได้จากทั้ง 3 วิธีการในตำแหน่งพิกัดเดียวกัน	65
13	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ประมาณได้จากทั้ง 3 วิธีการในตำแหน่งพิกัดเดียวกัน	67
14	มูลค่าทางเศรษฐกิจของปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน ของไม้ทั้ง 5 ชั้นอายุ ในสวนป่าลาดกระทิง	72
15	ปริมาตรไม้ที่ประมาณได้จากวิธีการต่างๆ	81
16	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากวิธีการต่างๆ	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้ และค่าดัชนีพื้นที่ใบ	90
2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน และค่าดัชนีพื้นที่ใบ	90
3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้กับค่าการสะท้อนแสงจริงของข้อมูลภาพถ่าย จากดาวเทียม SPOT-5	91
4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับค่าการสะท้อน แสงจริงของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม SPOT-5	92
5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมใน รูปแบบต่าง ๆ	94

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	พื้นที่สวนป่าลาดกระทิง อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา	23
2	ขั้นตอนการแปลงค่าเลขหลักไปเป็นค่าการสะท้อนแสงจริงจากพื้นผิวโลก	25
3	แผนภาพกระบวนการศึกษาทั้งหมดในการศึกษา	26
4	ผังกระบวนการเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5	29
5	ขนาดและรูปร่างของแปลงตัวอย่าง	30
6	ตำแหน่งที่ตั้งของแปลงตัวอย่าง	31
7	แปลงปลูกไม้ยูคาลิปตัส คามาสดูเลนซิสทั้ง 5 ชั้นอายุ	32
8	ตัวอย่างภาพถ่ายโครงสร้างเรือนยอด และการวัดข้อมูลในแปลงตัวอย่าง	33
9	แผนภาพสรุปกระบวนการวิเคราะห์หาดัชนีพื้นที่ใบ ปริมาตรไม้ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินจากข้อมูลภาคสนามในพื้นที่ศึกษา	35
10	การทดสอบความแตกต่างของปริมาตรไม้ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม จากค่าดัชนีพื้นที่ใบ และจากข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5	38
11	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้กับค่าดัชนีพื้นที่ใบของไม้ทั้ง 5 ชั้นอายุ	51
12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้กับค่าดัชนีพื้นที่ใบของไม้ทั้ง 5 ชั้นอายุ	54
ภาพผนวกที่		
1	ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาตรไม้กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 1 ปี	96
2	ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาตรไม้กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 2 ปี	97
3	ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาตรไม้กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 3 ปี	99
4	ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาตรไม้กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 4 ปี	100

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
5 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาตรไม้กับ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 5 ปี	102
6 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาตร ไม้กับข้อมูลภาพ ถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้รวมทุกชั้นอายุ	103
7 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างการกักเก็บคาร์บอนกับ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 1 ปี	105
8 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างการกักเก็บคาร์บอนกับ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 2 ปี	107
9 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างการกักเก็บคาร์บอนกับ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 3 ปี	108
10 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างการกักเก็บคาร์บอนกับ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 4 ปี	110
11 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างการกักเก็บคาร์บอนกับ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 5 ปี	112
12 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างการกักเก็บคาร์บอนกับ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้รวมทุก ชั้นอายุ	112
13 ผลการตรวจสอบความแตกต่างของปริมาตรไม้ที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม และปริมาตรไม้ที่ได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบด้วยวิธีการทดสอบแบบ t-test	115
14 ผลการตรวจสอบความแตกต่างของปริมาตรไม้ที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม และปริมาตรไม้ที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยวิธีการทดสอบแบบ t-test	115
15 ผลการตรวจสอบความแตกต่างของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบด้วยวิธีการทดสอบแบบ t-test	116

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
16 ผลการตรวจสอบค่าความแตกต่างของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากข้อมูล ภาคสนาม และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วย วิธีการทดสอบแบบ t-test	116
17 Histogram เปรียบเทียบค่าระหว่างค่าข้อมูลเชิงเลข (DN) และค่าพลังงานสะท้อน จากผิวโลกที่แท้จริง (Reflectance)	117

การประมาณปริมาตรและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลินซิส ในสวนป่าลาดกระทิง ด้วยเทคนิคการสำรวจจากระยะไกล

Estimation of Volume and Aboveground Carbon Sequestration of *Eucalyptus camaldulensis* at Lad Krathing Plantation Using Remote Sensing Techniques

คำนำ

ประเทศไทยได้เข้าร่วมเป็นสมาชิกของอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของประเทศกำลังพัฒนา (Non-Annex 1 Parties) ส่งผลให้ประเทศไทย จำเป็นที่จะต้องปฏิบัติตามข้อตกลงที่ระบุไว้ในอนุสัญญาฯ ซึ่งจะต้องสำรวจปริมาณการปลดปล่อย และการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก ตลอดจนกำหนดแนวนโยบายในการบริหารจัดการเพื่อลดการ ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก แนวทางในการลดก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญได้แก่ การพัฒนากลไก สะอาดเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซจากการกระบวนการผลิตในด้านต่างๆ และการเพิ่มพื้นที่ป่าไม้ โดยการเพิ่มพื้นที่ป่าไม้จะมีความสัมพันธ์กับการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากป่าไม้ เป็นแหล่งกักเก็บและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยพื้นที่ป่าที่มีความอุดมสมบูรณ์การ ปลดปล่อยและการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แต่ในปัจจุบันพื้นที่ ป่าธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์คงเหลืออยู่น้อยมาก สาเหตุที่สำคัญของการลดลงของพื้นที่ป่าไม้ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและความต้องการในการใช้ไม้ที่มีมากขึ้น ส่งผลให้ พื้นที่ป่าที่เหลืออยู่มีขนาดลดลงและมีสภาพที่ไม่อุดมสมบูรณ์ดังเดิม ในปัจจุบันประเทศไทยเหลือ พื้นที่ป่าเพียงร้อยละ 33 ของพื้นที่ทั้งหมด หรือประมาณ 105 ล้านไร่ ในขณะที่พื้นที่สวนป่าสามารถ ผลิตไม้ได้เพียง 85,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ซึ่งไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ไม้ในประเทศที่มีมาก ถึง 2,252,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ส่งผลให้ประเทศไทยต้องนำเข้าไม้จากต่างประเทศเฉลี่ยประมาณ ปีละ 2,000,000 ลูกบาศก์เมตร (กรมป่าไม้, 2549) ภาครัฐและเอกชนจึงร่วมกันหาแนวทางในการ แก้ไขปัญหาการขาดแคลนไม้ โดยการส่งเสริมให้เกิดการปลูกสร้างสวนป่าไม้โตเร็วซึ่งสามารถ ผลิตไม้ออกมาใช้ประโยชน์ได้ในระยะเวลาอันสั้น ไม้โตเร็วที่นิยมปลูกในปัจจุบันได้แก่ ยูคาลิปตัส ทั้งนี้เพราะเป็นชนิดไม้ที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็วและสามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ที่มี ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื้อไม้ยูคาลิปตัสสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายทั้งในรูปแบบของ ไม้ท่อน ไม้แปรรูปและผลิตภัณฑ์ไม้ประกอบ เช่น ไม้อัด เยื่อและกระดาษ ด้วยเหตุผลดังกล่าว

ภาครัฐและเอกชนจึงได้เริ่มส่งเสริมให้เกิดการปลูกสร้างสวนป่าไม้ยูคาลิปตัสเพิ่มมากยิ่งขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ป่าเศรษฐกิจและเพิ่มผลผลิตไม้ให้เพียงพอับความต้องการภายในประเทศ

ผลประโยชน์จากการปลูกสร้างสวนป่าไม้โตเร็ว นอกเหนือจากเนื้อไม้แล้วการกักเก็บคาร์บอนจึงเป็นผลประโยชน์ทางอ้อมอีกประการหนึ่งของการปลูกสร้างสวนป่า ดังนั้นการปลูกสร้างสวนป่าไม้โตเร็วจึงเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มปริมาณการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามข้อตกลงของอนุสัญญาฯ เนื่องจากไม้ยูคาลิปตัสเป็นไม้ที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็วและมีรอบตัดฟันที่สั้นเพียง 5 ปี ทำให้การกักเก็บคาร์บอนของไม้ยูคาลิปตัสมีอัตราที่สูงกว่าไม้ที่เจริญเติบโตช้าและมีรอบตัดฟันที่ยาว การศึกษาการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส จึงเป็นสิ่งสำคัญในการประเมินการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศ

นอกจากนี้การประมาณผลผลิตหรือปริมาตรไม้สวนป่ายูคาลิปตัสก่อนที่จะตัดฟันจึงเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญในการวางแผนการจัดการสวนป่าเพื่อให้การปลูกสร้างสวนป่าประสบผลสำเร็จสูงสุด การประมาณปริมาตรไม้ในปัจจุบันยังต้องอาศัยแรงงานคนในการเก็บข้อมูล หลังจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณตามสมการ หรือนำข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับตารางปริมาตรไม้ที่ได้จัดทำไว้ในแต่ละสวนป่าเพื่อคำนวณหาปริมาตรไม้ในพื้นที่ จะเห็นได้ว่าการหาปริมาตรไม้ด้วยวิธีการดังกล่าวใช้ระยะเวลานานและจำเป็นต้องใช้แรงงานคนในการเก็บข้อมูลจำนวนมาก อาจก่อให้เกิดความผิดพลาดในขั้นตอนการเก็บข้อมูลขึ้นได้ ผลจากการได้ข้อมูลที่ผิดพลาดทำให้การประมาณปริมาตรไม้ของสวนป่าเกิดความผิดพลาดเช่นกัน ซึ่งส่งผลต่อการวางแผนและการจัดการสวนป่าในอนาคต

ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้เป็นการนำเสนอแนวทางการหาปริมาตรไม้สวนป่ายูคาลิปตัส โดยใช้เทคนิคการสำรวจจากระยะไกล ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดขั้นตอนและค่าใช้จ่ายในการทำงาน ผลของการศึกษาในครั้งนี้จะทำให้ได้สมการที่ดีที่สุดที่สามารถใช้ในการประมาณปริมาตรและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ยูคาลิปตัส คามาสดูเลนซิส และนำข้อมูลที่ได้มาทำการหามูลค่าทางเศรษฐกิจของสวนป่าที่ได้จากเนื้อไม้ ซึ่งเป็นประโยชน์ทางตรง และหามูลค่าจากการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าซึ่งเป็นผลประโยชน์ทางอ้อมที่เกิดขึ้นของสวนป่า เพื่อแสดงถึงประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการปลูกสร้างสวนป่าและเป็นการสร้างแรงจูงใจให้เกิดการผลิตไม้ในรูปของสวนป่าเศรษฐกิจเพื่อตอบสนองความต้องการใช้ไม้ที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายจากดาวเทียมกับปริมาตรไม้และการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน
2. เพื่อประมาณปริมาตรและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ยูคาลิปตัส ความลาดดูเลนซิสโดยใช้เทคนิคการสำรวจจากระยะไกล
3. เพื่อหามูลค่าทางเศรษฐกิจจากปริมาตรไม้และการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าลาดกระทิง จังหวัดฉะเชิงเทรา

การตรวจเอกสาร

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้รวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ครอบคลุมประเด็นศึกษาต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผู้ทำการวิจัยได้แบ่งการตรวจเอกสารออกเป็น 5 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการสำรวจระยะไกล

ส่วนที่ 2 การประมาณปริมาตรไม้

ส่วนที่ 3 ดัชนีพื้นที่ผิวใบ

ส่วนที่ 4 ยุคาลิปตัส ความลาดชัน

ส่วนที่ 5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โดยมีรายละเอียดดังนี้

การสำรวจจากระยะไกล

นิยามและความหมาย

การสำรวจจากระยะไกลนั้นได้มีผู้ให้ความหมายไว้หลายราย อาทิเช่น วินิตา (2531) ให้คำจำกัดความว่าการสำรวจจากระยะไกล (Remote Sensing) คือการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการจะศึกษา ไม่ว่าจะเป็นสิ่งต่างๆ บนพื้นโลก เช่น ทรัพยากรธรรมชาติ พื้นที่ สิ่งก่อสร้าง ป่าทึบ การเก็บข้อมูลนี้อาศัยปรากฏการณ์ต่างๆ ที่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้ากระทำขึ้น และจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือในการเก็บข้อมูลนั้น โดยไม่ต้องมีการสัมผัสระหว่างเครื่องมือและเป้าหมายที่ต้องการจะศึกษา นอกจากนั้น Lillesand and Kiefer (1994) ได้ระบุว่าการสำรวจจากระยะไกลเป็นวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ของการได้รับข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่ หรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องมือที่ดำเนินการโดยไม่ต้องสัมผัสกับสิ่งต่างๆ เหล่านั้น ด้านสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2540) ระบุว่าการสำรวจจากระยะไกลเป็นวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแขนงหนึ่ง ที่ใช้ในการบ่งบอก จำแนก หรือวิเคราะห์คุณลักษณะของวัตถุต่าง ๆ โดยปราศจากการสัมผัสโดยตรง

จากคำจำกัดความทั้งหมดที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่าการสำรวจจากระยะไกลเกี่ยวเนื่องกับการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่บนพื้นผิวโลกด้วยการบันทึกค่าการสะท้อนของรังสี

ดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบยังวัตถุต่างๆ บนโลกและนำข้อมูลที่ได้ไปแปลงให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงเลข โดยข้อมูลที่ผ่านมาการแปลงจะถูกนำไปผลิตในรูปแบบของภาพเพื่อนำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์และแปลความหมายต่อไป

ประเภทของการสำรวจจากระยะไกล

สรุคใจ (2550) ระบุว่า การสำรวจจากระยะไกลสามารถแบ่งตามเครื่องมือตรวจวัดพลังงานที่ติดตั้งบนดาวเทียมได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1. เครื่องมือตรวจวัดพลังงานแบบวัดพลังงาน (Passive) เป็นเครื่องมือที่สามารถตรวจวัดและบันทึกพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนหรือเปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ
2. เครื่องมือตรวจวัดแบบส่งรับพลังงาน (Active) เป็นเครื่องมือที่สามารถสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้เองแล้วส่งผ่านให้ไปตกกระทบวัตถุเป้าหมายที่ต้องการเพื่อให้สะท้อนพลังงานกลับขึ้นมาและเครื่องมือตรวจวัดสามารถรับและบันทึกพลังงานที่สะท้อนขึ้นมาได้

กระบวนการสำรวจจากระยะไกล

กระบวนการสำรวจจากระยะไกลประกอบไปด้วยกระบวนการหลัก 2 กระบวนการ ได้แก่

1. การได้มาซึ่งข้อมูล (Data Acquisition) การได้รับข้อมูลในกระบวนการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลเป็นกระบวนการที่ให้ได้มาซึ่งข้อมูลโดยเริ่มตั้งแต่ดาวเทียม หรือยานสำรวจ(Platform) ถูกส่งออกสู่วงโคจรในตำแหน่งที่จะทำการบันทึกข้อมูลจนถึงขั้นการส่งข้อมูล หรือสัญญาณการสะท้อนพลังงานมาสู่สถานีรับภาคพื้นดิน (Receiving Station) และผลิตข้อมูลออกมาในรูปแบบของข้อมูลเชิงอนุมาณ (Analog Data) หรือข้อมูลเชิงตัวเลข (Digital Data) ประกอบด้วย แหล่งพลังงาน (Energy Source) การเคลื่อนที่ของพลังงาน (Propagation of Energy) ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับลักษณะพื้นผิวโลก (Interaction with the Target) ระบบการบันทึกข้อมูล (Sensor System) และข้อมูลที่ได้รับ (สุรชัย, 2536)
2. การแปลตีความ และการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม (Image Interpretation and Analysis) มีการดำเนินการได้ 2 วิธีการ คือ การแปลตีความด้วยสายตา (Visual Interpretation)

ข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative) ซึ่งอาจจะวัดออกมาในรูปของ ดี ไม่ดี หรือ เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือ การแปลภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยสายตาไม่สามารถวัดออกมาเป็นเชิงปริมาณได้ทันทีและการวิเคราะห์ และประเมินผลเชิงตัวเลข (Digital Analysis and Processing) ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative) (สุพรรณ, 2536)

รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลของข้อมูลภาพการสำรวจระยะไกล

ข้อมูลภาพหลายช่วงคลื่นจะแสดงโดยการประกอบกันของตำแหน่งเชิงพื้นที่ (หมายเลขของจุดภาพ และหมายเลขบรรทัด) และแบบจัดรูปแบบของการจัดเรียงข้อมูลสำหรับภาพหลายช่วงคลื่นถูกแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

1. แบบเรียงลำดับตามแบนด์ (BSQ: Band Sequential) ข้อมูลภาพ (หมายเลขของจุดภาพ และหมายเลขบรรทัด) ของแต่ละแบนด์จะถูกจัดเรียงแยกจากกัน
2. แบบแบนด์เรียงสลับบรรทัด (BIL: Band Interleaved by Line) ข้อมูลของแต่ละบรรทัดจะถูกจัดโดยเรียงตามจุดภาพในแบนด์เดียวกันไปเรื่อย ๆ และเรียงตามลำดับของแบนด์จนครบทุกบรรทัด
3. แบบแบนด์เรียงสลับจุดภาพ (BIP: Band Interleaved by Pixel) ชุดของข้อมูลหลายช่วงคลื่นของแต่ละจุดภาพจะถูกเรียงตามลำดับ ตามหมายเลขจุดภาพและบรรทัด

การปรับแก้ความคลาดเคลื่อน

สรรพกิจ (2550) กล่าวว่าในขั้นตอนการปฏิบัติเพื่อให้ได้มาซึ่งภาพดาวเทียมย่อมมีความคลาดเคลื่อน (Error) หรือความเพี้ยน (Distortion) เกิดขึ้น ทำให้ภาพดาวเทียมที่ได้มีคุณภาพด้อยลง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องแม่นยำของการวิเคราะห์ภาพดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนหรือความเพี้ยนที่เกิดขึ้นสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ

1. ความคลาดเคลื่อนเชิงรังสี (Radiometric Errors) เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นกับค่าความสว่างของจุดภาพ ทำให้แถวหนึ่งของแนวกราดที่ปรากฏบนภาพดาวเทียมไม่มีค่าความสว่างจึง

ปรากฏเป็นแนวสีดำในภาพ หรือค่าความสว่างของจุดภาพที่ตัวตรวจวัดบันทึกได้ ไม่ใช่ค่าพลังงานที่สะท้อนจากจุดภาพบนพื้นดินจริงมีพลังงานจากส่วนอื่นเข้ามาด้วย ความคลาดเคลื่อนเหล่านี้มีสาเหตุจากปัจจัยหลายประการเช่นอุปกรณ์ตัวตรวจวัดชำรุดหรือเกิดจากอิทธิพลของบรรยากาศ

2. ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric Errors) โดยที่ระบบบันทึกข้อมูลค่าความสว่างได้รับการติดตั้งบนดาวเทียมซึ่งโคจรรอบโลก ขณะเดียวกันโลกก็หมุนรอบตัวเองด้วย ทำให้การกราดภาพครั้งที่ 2 ไม่ได้เริ่มกราด ณ ลองจิจูดเดิม แต่จะเริ่มต้นกราดในพื้นที่ที่อยู่เยื้องไปทางตะวันตกของลองจิจูดเดิม หรืออีกในหนึ่งเกิดความเบ้ของแนวกราด โดยความคลาดเคลื่อนดังกล่าวสามารถจำแนกเป็น 2 ประเภท คือ

2.1 ความบิดเบี้ยวอย่างเป็นระบบ (Systematic Distortions) และการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นสม่ำเสมอและมีรูปแบบที่แน่นอนซึ่งมีสาเหตุดังต่อไปนี้

2.1.1 ความบกพร่องของอุปกรณ์ (Instrument Error) ความบกพร่องของอุปกรณ์บันทึกข้อมูลซึ่งอาจเกิดจากระบบเลนส์ ความเร็วของกระจกกราดภาพไม่คงที่สม่ำเสมอหรือความไม่สม่ำเสมอของอัตราการสุ่มข้อมูล

2.1.2 ความเพี้ยนจากการรับภาพมุมกว้าง (Panoramic distortion) เป็นฟังก์ชันของสนามมุมมองของอุปกรณ์บันทึกข้อมูล โดยเฉพาะอุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่มีสนามมุมมองกว้างมาก

2.1.3 การหมุนรอบตัวเองของโลก ความเร็วในการหมุนรอบตัวเองของโลกจะแปรผันไปตามละติจูดและผลของการหมุนรอบตัวเองนี้ทำให้ภาพเบ้

2.2 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอย่างไม่เป็นระบบ (Unsystematic Error) เป็นความคลาดเคลื่อนที่มีสาเหตุมาจากความไม่เสถียรของดาวเทียม ซึ่งหมายถึงความสูงของวงโคจรที่ไม่คงที่และลักษณะของการโคจรของดาวเทียมในวงโคจรซึ่งอาจเกิดการส่าย การกระดก การโคลง ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตขึ้นในภาพดาวเทียม

การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตเป็นการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างตำแหน่งของจุดภาพบนภาพถ่ายดาวเทียมและตำแหน่งของจุดเดียวกันนั้นบนแผนที่

ที่ภูมิประเทศที่เรียกว่าแบบจำลองโพลีโนเมียลหรือแบบจำลองพหุนามกระบวนการปรับแก้วิธีนี้เป็น การปรับแก้ที่ต้องอาศัยแผนที่ภูมิประเทศที่ครอบคลุมพื้นที่เดียวกันกับที่ปรากฏในภาพดาวเทียม กระบวนการดังกล่าวเป็นการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างตำแหน่งของ จุดภาพบนภาพดาวเทียมและค่าพิกัดกริดของจุดเดียวกันบนแผนที่ ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า การปรับแก้จาก ภาพสู่แผนที่ ขั้นตอนสำคัญของกระบวนการนี้คือ การกำหนดจุดบนแผนที่ ที่เรียกว่า จุดควบคุม ภาคพื้นดิน (Ground Control Point, GCP) โดยหลักการแล้วจุดดังกล่าวควรเป็นจุดที่ตั้งอยู่อย่างถาวร และไม่ได้รับอิทธิพลใดๆที่ทำให้จุดนั้นสูญหายไปเช่น สึกแยกถนนสายหลัก สำหรับจุดควบคุมนั้นจะมี จำนวนเท่าใดจะขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ขนาดของพื้นที่ที่ภาพดาวเทียมครอบคลุมและความ ชัดเจนของจุดภาพบนภาพดาวเทียม ถ้าภูมิประเทศมีลักษณะเป็นที่ราบจะใช้แบบจำลองพหุนามลำดับ ที่ 1 ถ้าภูมิประเทศเป็นภูเขาสลับที่ราบหุบเขาซึ่งจะปรากฏความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากความสูง ของภูมิประเทศจำเป็นต้องใช้แบบจำลองพหุนามที่มีลำดับสูงขึ้น ทั้งนี้จุดควบคุมภาคพื้นดินขั้นต่ำที่ ต้องใช้จะเพิ่มขึ้นตามลำดับของแบบจำลองพหุนาม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบจำลองพหุนามลำดับต่างๆ ที่ใช้ในการปรับแก้เชิงเรขาคณิต

ลำดับของสมการ	รูปสมการ	จำนวนจุดควบคุมขั้นต่ำที่ ต้องการ (GCP)
1 st	$X' = a_0 + b_1X + b_2Y$ $Y' = a_1 + b_3X + b_4Y$	3
2 nd	$X' = a_0 + b_1X + b_2Y + b_3X^2 + b_4XY + b_5Y^2$ $Y' = a_1 + b_6X + b_7Y + b_8X^2 + b_9XY + b_{10}Y^2$	6
3 rd	$X' = a_0 + b_1X + b_2Y + b_3X^2 + b_4XY + b_5Y^2$ $+ b_6X^3 + b_7X^2Y + b_8XY^2 + b_9Y^3$ $Y' = a_1 + b_{10}X + b_{11}Y + b_{12}X^2 + b_{13}XY + b_{14}Y^2$ $+ b_{15}X^3 + b_{16}X^2Y + b_{17}XY^2 + b_{18}Y^3$	10

หมายเหตุ: X,Y เป็นค่าพิกัดของจุดควบคุม

X', Y' เป็นค่าของพิกัดภาพที่ปรับแก้แล้ว

ค่าความผิดพลาดจากการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิต (Root Mean Square Error/RMSE) เป็นค่าเฉลี่ยระยะทางระหว่างพิกัดข้อมูลต้นฉบับกับพิกัดที่คำนวณได้เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณโดยสมการต่อไปนี้

$$RMS_{Error} = \sqrt{(X_r - X_i)^2 + (Y_r - Y_i)^2}$$

เมื่อ X_i, Y_i = พิกัดข้อมูลภาพต้นฉบับ

X_r, Y_r = พิกัดที่คำนวณได้หลังการปรับแก้

การจัดข้อมูลใหม่

การปรับแก้ข้อมูลภาพดาวเทียม อาจเปรียบเทียบได้กับการนำภาพดาวเทียมวางทับบนแผนที่ภูมิประเทศ โดยให้จุดควบคุมทั้งบนภาพดาวเทียมและบนแผนที่ภูมิประเทศตรงกัน แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าจุดควบคุมทั้งบนภาพถ่ายดาวเทียมและบนแผนที่ภูมิประเทศจะตรงกันแล้วก็ตาม แต่จุดภาพของภาพดาวเทียมจะไม่ทับพอดิกับตารางกริดของแผนที่หรือจุดภาพที่ได้รับการปรับแก้ ซึ่งการปรับค่าประจำจุดภาพสามารถทำได้ 3 วิธีดังนี้

1. การหาค่าใหม่แก่จุดภาพโดยการพิจารณาปรับค่าข้างเคียง (Nearest Neighbor Resampling) เป็นการใช้ค่าของจุดภาพเดิมที่มีตำแหน่งจุดกึ่งกลางอยู่ใกล้เคียงตำแหน่งของจุดภาพใหม่มากที่สุด วิธีการนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดเพราะข้อมูลภาพใหม่จะยังคงค่า (Brightness Values) เดิมเอาไว้เพียงแต่ได้รับการลงตำแหน่งเพิ่มให้มีความถูกต้องทางด้านเรขาคณิตเท่านั้น

2. การให้ค่าของจุดภาพใหม่โดยการประมาณจากสมการเส้นตรงเชิงคู่ (Bilinear Interpolation) เป็นการให้ค่าจุดภาพเดิมจำนวน 4 จุดภาพที่อยู่ใกล้ตำแหน่งของจุดภาพใหม่นี้ ในลักษณะหน้าตา 2 x 2 ที่ล้อมรอบตำแหน่งนั้นๆ เพื่อการคำนวณหาค่าโดยใช้สมการเส้นตรงสามเส้น โดยสองเส้นเพื่อประมาณค่าในแนวแกน Y หรือแนว Column เมื่อได้ค่าผลลัพธ์แล้วก็ประมาณค่าหาค่าสุดท้ายด้วยสมการเส้นตรงอีกเส้นในแนวแกน X หรือแนว Row วิธีนี้จะให้ภาพใหม่ที่ดูเรียบกว่าวิธีแรก แต่ค่าของ Brightness จะเป็นค่าใหม่

3. การให้ค่าใหม่แก่จุดภาพโดยการประมาณแบบคิวบิกคอนโวลูชัน (Cubic Convolution Interpolation) เป็นการใช้ค่าของจุดภาพเดิมจำนวน 16 จุด ในลักษณะของหน้าต่าง 4×4 ที่ล้อมรอบตำแหน่งนั้น เพื่อการคำนวณหาค่าโดยการใช้สมการโพลีโนเมียล ประมาณค่าโดยใช้ค่าจุดภาพเดิมจนได้ค่า 4 Interpolants ที่เรียงอยู่ในแนวแกน Y หลังจากนั้นจะให้สมการโพลีโนเมียลอีกเส้น ประมาณค่าของจุดภาพใหม่ที่ต้องการโดยการใช้ค่า 4 ค่านี้ วิธีนี้จะให้ข้อมูลภาพใหม่ที่ดูเรียบขึ้น แต่ค่าของ Brightness จะเปลี่ยนไปมาก

ช่วงการสะท้อนของพืชพรรณ

Lillesand and Kiefer (1994) ระบุว่าปรากฏให้เห็นภาพของวัตถุเกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนแสงของวัตถุ และสาเหตุที่ทำให้ต้นไม้ปรากฏภาพที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของต้นไม้ เช่น การเรียงตัวของใบ รูปแบบของใบ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี ชนิดของดินและสภาพภูมิประเทศ ดังนั้นข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลที่ใช้สำหรับจุดประสงค์ทางด้านป่าไม้ เช่น ชนิดป่า สภาพป่า ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index, LAI) โครงสร้างป่า มวลชีวภาพของหมู่ไม้ (Stand Biomass) และโดยมากการหาช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการให้ข้อมูลของพืชพรรณมักจะนำช่วงคลื่นที่สายตามนุษย์มองเห็น (Visible) กับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near - Infrared) มาใช้ประโยชน์ ซึ่งพืชพรรณจะมีความแปรผันสูงระหว่างช่วงคลื่นสีแดงที่ถูกดูดกลืนมากกับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ที่มีการสะท้อนมาก

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2540) พบว่าในช่วงคลื่นที่เห็นได้ด้วยตาเปล่า คลอโรฟิลล์ของใบพืชดูดกลืนพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 0.45 ไมโครเมตร และ 0.65 ไมโครเมตร สะท้อนพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 0.5 ไมโครเมตร ตาของมนุษย์สามารถมองเห็นใบพืชสีเขียว เพราะใบพืชดูดกลืนแสงสีน้ำเงินและสีแดง และสะท้อนสีเขียว หากว่าใบพืชมีอาการผิดปกติ เช่น เหี่ยวแห้งหรือปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง ทำให้การสะท้อนที่คลื่นสีเขียวลดลงปรากฏเป็นสีอื่นแทน ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (0.7–1.3 ไมโครเมตร) ใบพืชสะท้อนพลังงานสูงประมาณร้อยละ 50 การสะท้อนพลังงานของพืชที่ความยาวคลื่นในช่วงอินฟราเรดใกล้ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในของใบพืชที่แตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ทำให้สามารถจำแนกชนิดของพืชได้ แม้ว่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชในช่วงคลื่นที่เห็นได้ด้วยตาเปล่าจะใกล้เคียงกัน ในทำนองเดียวกันการสะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่นอินฟราเรดใกล้ของพืชที่มีอาการผิดปกติทางใบจะแตกต่างไปจากการสะท้อนที่ความยาวคลื่นเดียวกันของพืชที่สมบูรณ์ ในช่วงคลื่นที่มีขนาดสูงกว่า 1.3 ไมโครเมตร

พลังงานส่วนใหญ่ถูกดูดกลืนหรือสะท้อนโดยใบพืชแทบจะไม่มีการทะลุทะลวงมักพบค่าต่ำลงที่ 1.4, 1.9 และ 2.7 ไมโครเมตร เพราะฉะนั้นในใบพืชจะดูดกลืนความยาวดังกล่าวเรียกว่า Water Absorption Band และค่าสูงขึ้นที่ความยาวคลื่น 1.6 และ 2.2 ไมโครเมตร ตลอดช่วงความยาวคลื่นสูงกว่า 1.3 ไมโครเมตร ค่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชแปรผกผันกับปริมาณน้ำทั้งหมดในใบพืช นอกจากนี้ Price and Bausch (1995) ยังพบว่าในช่วงคลื่นสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรด เป็นช่วงคลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพในการแสดงค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบและประมาณผลผลิตของป่าไม้ได้ดี คลื่นสีแดงจะถูกดูดซับโดยคลอโรฟิลล์เป็นปริมาณมาก แหล่งพลังงานของช่วงอินฟราเรดจะกระจายและแผ่พลังงานรังสีได้สูงจากเรือนยอดโดยอิทธิพลของโครงสร้างภายในใบพืช ปกติแล้วค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจะมีความสัมพันธ์อย่างมากในความแตกต่างระหว่างพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดและช่วงคลื่นสีแดง ที่แสดงค่าความแตกต่างเป็นตัวเลข

การปฏิบัติการระหว่างช่วงคลื่น (Band Operation) เป็นวิธีการหนึ่งที่ยอมรับกันมากในการแสดงภาพดัชนีบ่งชี้ลักษณะเกี่ยวกับพืชพรรณ ซึ่งภาพดังกล่าวสามารถสร้างขึ้นโดยการคำนวณเช่น

1. การหาอัตราส่วนระหว่างแบนด์ (Band Ratio) เป็นการจำแนกความแตกต่างของข้อมูลโดยการนำเอาความเข้มของแต่ละแบนด์ที่มีจุดภาพตรงกันมาหารกัน ผลที่ได้จากอัตราส่วนนี้จะช่วยลดรายละเอียดที่เหมือนกันของภาพ แต่ในขณะเดียวกันก็จะช่วยเน้นรายละเอียดที่มีความแตกต่างกันในภาพให้มีความชัดเจนยิ่งขึ้น การทำอัตราส่วนระหว่างแบนด์จะมีประโยชน์มากในภูมิประเทศที่เป็นภูเขา เพราะจะช่วยลดความแตกต่างของข้อมูลอันเนื่องมาจากความเข้มแสงที่แตกต่างกันของพื้นด้านลาดที่รับแสง (หน้าเขา) และพื้นที่ด้านลาดที่อยู่หลังทิศทางแสง (หลังเขา)

2. การนำช่วงคลื่นมาลบกัน (Band Subtraction) ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลง ข้อที่ควรระวังในการใช้เทคนิคนี้คือ ภาพที่ใช่จะต้องมีการแก้ไขทางเรขาคณิตก่อนโดยให้มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เช่น ครึ่งหนึ่งของจุดภาพระบบบันทึกข้อมูลนั้น เพื่อสามารถนำผลมาเทียบกับแผนที่ต้นฉบับได้ถูกต้องที่สุด วิธีนี้สามารถใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงทั้งในระยะสั้นและระยะยาวได้ การเปลี่ยนแปลงระยะสั้น ได้แก่ น้ำท่วม ไฟป่าและการเคลื่อนที่ของเมฆ ส่วนระยะยาว เช่น การพัฒนาเมือง การเปลี่ยนแปลงสภาพป่า เป็นต้น

3. การหาผลต่างระหว่างแบนด์ (Band Differencing) วิธีนี้เป็นที่ยอมรับมากในการแก้ไขปัญหาการปฏิบัติการกับภาพข้อมูลที่ได้รับอิทธิพลจากมุมของดวงอาทิตย์และลักษณะภูมิประเทศ

เช่น การคำนวณดัชนีพืชพรรณ ซึ่งมีชื่อเรียกเฉพาะว่า Normalized Difference Vegetation Index หรือ NDVI ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การปฏิบัติระหว่างช่วงคลื่นที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในการศึกษาพืชพรรณ

รูปแบบสมการ	สมการ
Green	G
Red	R
Near Infrared	NIR
Simple Substraction	$NIR - R$
Simple Division	$\left(\frac{NIR}{R} \right)$
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$\left(\frac{NIR - R}{NIR + R} \right)$

เมื่อ G = ข้อมูลช่วงแสงเขียว, R = ข้อมูลช่วงแสงแดง, NIR = ข้อมูลช่วงอินฟราเรดใกล้
ที่มา : Barrett and Curtus (1992)

ดาวเทียม SPOT

ดาวเทียม SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) เป็นโครงการที่ได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลฝรั่งเศส เบลเยียม และสวีเดน โดยมีองค์การอวกาศแห่งชาติฝรั่งเศสเป็นผู้รับผิดชอบโครงการ ดาวเทียมดวงแรกของโครงการนี้มีชื่อว่า SPOT-1 เป็นดาวเทียมที่โคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์วงโคจรอยู่ในแนวใกล้ขั้วโลก โคจรในระดับความสูง 832 กิโลเมตร จะโคจรผ่านแนวเดิมทุกครั้งโดยใช้เวลาในการโคจร 26 วัน ระบบบันทึกข้อมูลที่ติดตั้งบนดาวเทียมเรียกว่าระบบบันทึกช่วงคลื่นแสงรายละเอียดสูง (High Resolution Visible Sensor System, HRV) ระบบนี้จะบันทึกข้อมูลใน 2 ช่วงคลื่น คือ ช่วงคลื่นแสง (Panchromatic Mode) มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.51 - 0.73 μm . ซึ่งเป็นช่วงคลื่นที่ยาวมากคล้ายคลึงกับการบันทึกภาพขาวดำของกล้อง

ถ่ายรูป และหลายช่วงคลื่น (Muti – Spectral, XS Mode) ซึ่งจะบันทึกพลังงานที่มีความยาวคลื่นในช่วงแคบๆ 3 ช่วงคลื่น ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของดาวเทียม SPOT

ช่วงคลื่นที่บันทึก (Mode)	แบนด์	ความยาวคลื่น ($\mu\text{m.}$)	ความละเอียดเชิงพื้นที่ (เมตร)
หลายช่วงคลื่น (Muti – Spectral)	XS1	0.50 – 0.59 (เขียว)	20
หลายช่วงคลื่น (Muti – Spectral)	XS2	0.61 – 0.68 (แดง)	20
หลายช่วงคลื่น (Muti – Spectral)	XS3	0.79 – 0.89 (อินฟราเรดใกล้)	20
ขาว – ดำ (Panchromatic)	P	0.51 – 0.73 (คลื่นแสง)	10

ระบบ HRV ทำการบันทึกข้อมูลในแนวดิ่ง พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนจากภูมิประเทศเบื้องล่างขึ้นมาสู่ระบบ HRV โดยผ่านกระจกกระนาบและเข้าสู่แผงตัวตรวจวัดถ่ายเทประจุ (Charged Couple Detector Array, CCD) แผงแต่ละแผงจะประกอบด้วยตัวตรวจวัด (Detector) 6,000 ตัว ที่วางเรียงกันเป็นเส้นตรง ดังนั้นจึงเป็นการบันทึกข้อมูลที่เสร็จสิ้นพร้อมกันในคราวเดียว อย่างไรก็ตามก็ตีความลักษณะพื้นดินสามารถควบคุมให้กระจกกระนาบเอียงทำมุมใดๆเพื่อรับพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนขึ้นมา ทำให้ระบบ HRV สามารถบันทึกข้อมูลครอบคลุมพื้นที่กว้างถึง 475 กิโลเมตร จากแนวโคจร ผลของการปรับระนาบของกระจกให้เอียงได้ตามต้องการ ทำให้ได้ข้อมูลที่บันทึกในมุมเอียงทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของแนวโคจร ซึ่งสามารถนำข้อมูลไปสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) ที่ภาพนั้นครอบคลุม

การประมาณปริมาตรไม้

นิยามและความหมาย

การประมาณปริมาตรของต้นไม้คือ การคำนวณปริมาตรของต้นไม้จากวิธีมาตรฐานวิธีใดวิธีหนึ่ง โดยพยายามให้มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งในการคำนวณหาปริมาตรลำต้นของต้นไม้ เราอาจจะโค่นไม้ตัวอย่าง แล้วแบ่งลำต้นออกเป็นท่อนสั้นๆ เพื่อคำนวณปริมาตรของไม้แต่ละท่อนแล้วนำมารวมกันเป็นปริมาตรไม้ทั้งต้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการขจัดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความเรียวของลำต้นของต้นไม้วิธีดังกล่าวจะทำให้ได้ปริมาตรไม้ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด การคำนวณปริมาตรไม้ของไม้แต่ละต้นนั้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำไปคำนวณปริมาตรได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดควรจะวัดไม้โดยวิธี Relative Section Method กล่าวคือ ลำต้นของต้นไม้จะถูกแบ่งออกเป็นท่อน ๆ ที่มีความยาวเท่า ๆ กันเพื่อคำนวณปริมาตรโดยความยาวของแต่ละท่อนจะเปลี่ยนแปลงไปตามความยาวของส่วนที่ใช้ทำเป็นสินค้าได้ ทั้งนี้เพราะความเรียวของต้นไม้ตอนโคนและตอนปลายของลำต้นมีมาก ส่วนตอนกลางของลำต้นจะมีความเรียวน้อยที่สุด ดังนั้นการคำนวณปริมาตรจากท่อนสั้นๆ แต่ละท่อน แล้วนำมารวมกันเป็นปริมาตรทั้งต้นจะมีความถูกต้องมากขึ้นจากไม้ตัวอย่างเมื่อคำนวณปริมาตรรายต้นแล้ว นำไปหาความสัมพันธ์หรือสูตรเพื่อประมาณปริมาตรของต้นไม้ โดยอาศัยหลักที่ว่าปริมาตรของต้นไม้ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้ (ปัสสี, 2534)

1. ความโต อาจเป็นขนาดวัดรอบหรือเส้นผ่านศูนย์กลาง
2. ความสูงหรือความยาวของต้นไม้
3. รูปทรงของต้นไม้ (Form)
4. อายุของต้นไม้
5. คุณภาพของแหล่งไม้ (Site Quality)
6. สภาพแวดล้อม

ปัจจัยเหล่านี้จะมีอิทธิพลต่อปริมาตรของต้นไม้มากน้อยแตกต่างกัน ซึ่งในการหาความสัมพันธ์เราอาจนำปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มาเป็นตัวแปรผันเกี่ยวข้องมากน้อยต่างกัน ทั้งนี้ย่อมแล้วแต่ลักษณะตามธรรมชาติของต้นไม้ และความต้องการความถูกต้องมากน้อยเพียงใด สูตรที่จะนำมาใช้มีหลายสูตรด้วยกัน แต่ละสูตรผู้คิดได้คิดขึ้นมาเพื่อให้เหมาะสมกับไม้ชนิดนั้นๆ สูตรที่

เหมาะสมหรือดีที่สุดสำหรับไม้ชนิดนั้นๆ ก็จะถูกนำไปใช้ในการประมาณปริมาตรไม้หรือนำไปจัดทำเป็นตารางปริมาตร

การคำนวณปริมาตรไม้ท่อนเป็นลูกบาศก์

ปีสลี (2534) ได้กล่าวไว้ว่าสูตรคำนวณปริมาตรไม้ท่อนเป็นลูกบาศก์ เป็นสูตรที่มีรากฐานมาจากสูตรคณิตศาสตร์ จะคำนวณปริมาตรทั้งหมดของไม้ท่อนโดยไม้หักปริมาตรส่วนที่เป็นคลอง เลื่อยปอกไม้ปลายไม้ การหดตัวของไม้หรือปริมาตรที่สูญเสีย เนื่องจากการแปรรูปไม้ออกไป หน่วยปริมาตรที่ใช้คือ ลูกบาศก์ฟุตในระบบอังกฤษ หรือลูกบาศก์เมตรในระบบเมตริก สูตรที่นิยมใช้คำนวณหาปริมาตรไม้ท่อนเป็นลูกบาศก์ได้แก่

1. Smalian's Formular

$$V \equiv \left\{ \frac{B+b}{2} \right\} L$$

2. Huber's Formular

$$V \equiv B'L$$

3. Newton's Formular

$$V \equiv \left\{ \frac{B + 4B' + b}{6} \right\} L$$

เมื่อ	V	คือ ปริมาตรไม้
	B	คือ พื้นที่หน้าตัดที่โคนท่อน
	B'	คือ พื้นที่หน้าตัดตรงกึ่งกลางท่อน
	b	คือ พื้นที่หน้าตัดที่ปลายท่อน
	L	คือ ความยาวของท่อนไม้

ดัชนีพื้นที่ผิวใบและมวลชีวภาพ

ดัชนีพื้นที่ผิวใบ

ซิงชัยและกันดินันท์ (2546) กล่าวว่าใบไม้เป็นส่วนสำคัญของต้นไม้ ซึ่งมีบทบาทสำคัญอย่างมากเพราะเป็นแหล่งสังเคราะห์อาหารได้มากและมีประสิทธิภาพมากที่สุดของต้นไม้ มวลชีวภาพของใบ และดัชนีพื้นที่ผิวใบของสังคมพืชป่าไม้ จึงเป็นข้อมูลสำคัญ สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการผลิตมวลชีวภาพของป่าเนื่องจากปริมาณใบไม้ของต้นไม้จะมีความสัมพันธ์กับความเจริญเติบโตของต้นไม้ในมิติคล้ายๆ กับ D-H relation นั่นคือเมื่อปริมาณมวลชีวภาพลำต้นต่อต้นมากขึ้นปริมาณใบหรือพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area, LA) ต่อต้นจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดๆ หนึ่ง แล้วจะมีแนวโน้มคงที่ จากความสัมพันธ์ดังกล่าวเราสามารถหาปริมาณใบหรือพื้นที่ผิวใบเมื่อทราบปริมาตรลำต้น หรือในทางกลับกันเมื่อเราทราบปริมาณใบหรือพื้นที่ผิวใบเราก็สามารถหาปริมาตรลำต้นได้ เช่นเดียวกันแต่ข้อมูลดังกล่าวเป็นความสัมพันธ์ที่ต้นไม้มีชั้นอายุเดียวกันแต่มีขนาดที่แตกต่างกัน แต่เมื่อมองในลักษณะของหมู่ไม้เงื่อนไขจะต่างออกไป เพราะเมื่อหมู่ไม้ที่มีชั้นอายุเดียวกัน เมื่อยังมีอายุน้อยอยู่ จะมีมวลชีวภาพของใบเพิ่มขึ้นจนถึงช่วงอายุหนึ่งจะคงที่และเริ่มลดลงเมื่ออายุมากขึ้น เนื่องจากการบดบังกันเองของใบทำให้ใบในส่วนล่างๆ หลุดร่วงไปเพราะไม่ได้รับแสง Larsen et.al. (1990) ได้แบ่งการวัดพื้นที่ใบเป็น 3 วิธี ดังนี้

1. วิธีการวัดโดยตรง (Direct Method) ได้แก่ วิธี Area Grid, Planimetric, Gravimetric และ Cut Leaf
2. วิธีการวัดโดยอ้อม (Indirect Method) ได้แก่ วิธี Light Interception, Air Flow Interception และ Dimensional Analysis
3. วิธีการประมาณ (Estimate Method) ได้แก่ Weight to Area, Glass Bead, Standard Comparison และ Photographic

การวัดค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบอาจใช้วิธีการตัดไม้ในแปลงและทำการวัดพื้นที่ใบ ซึ่งเป็นงานที่หนักและเป็นการทำลายต้นไม้ สำหรับวิธีที่ประหยัดและไม่ต้องใช้แรงงานมาก ทำได้โดยวิธีการ

ประมาณพื้นที่ผิวใบซึ่งมีหลายวิธี วิธีหนึ่งที่นิยมใช้ คือ ถ่ายภาพเรือนยอด จากพื้นดินขึ้นไปหาท้องฟ้า ภาพถ่ายเรือนยอดที่ได้สามารถนำมาทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบได้

การใช้ภาพถ่ายเรือนยอดในการประมาณดัชนีพื้นที่ผิวใบ

ชิงชัยและกันดินันท์ (2546) กล่าวว่า การประเมินมวลชีวภาพของหมู่ไม้ นอกจากการดำเนินงานในภาคสนามและศึกษามวลชีวภาพจากแปลงตัวอย่างโดยตรงแล้ว การพัฒนาเทคนิคต่างๆ เพื่อช่วยในการประมาณมวลชีวภาพให้รวดเร็วขึ้น และสามารถพัฒนาไปสู่ระบบ GIS ได้นั้น เทคนิคการถ่ายภาพเรือนยอดด้วยเลนส์ตาปลา (Hemispherical Photography) นับว่าเป็นวิธีการที่มีการพัฒนามาอย่างค่อนข้างยาวนาน โดยการถ่ายภาพการปกคลุมเรือนยอด เป็นวิธีการถ่ายภาพจากพื้นดินขึ้นไปหาเรือนยอดโดยใช้เลนส์ที่มีมุมกว้าง 180 องศา หรือที่เรียกว่าเลนส์ตาปลา (Fish Eye Lens) ภาพถ่ายเรือนยอด (Hemispherical Photographs) เป็นการถ่ายภาพจากด้านล่างพื้นดินผ่านเรือนยอดขึ้นไปหาท้องฟ้า ภาพถ่ายเรือนยอดของต้นไม้ที่ได้มีลักษณะเป็นภาพวงกลม การนำภาพถ่ายเรือนยอดมาทำการวิเคราะห์ โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่าง Radial Distance และมุม Zenith Angle (Steege, 1993) การใช้เทคนิคการถ่ายภาพเรือนยอดที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ประมาณพื้นที่ผิวใบของเรือนยอด ภาพที่ได้จะเป็นลักษณะภาพถ่ายแบบย้อนแสงซึ่งจะเห็นความแตกต่างระหว่างใบกับท้องฟ้า การนำภาพมาใช้ในการประมาณเกี่ยวกับดัชนีผิวใบโดยการวิเคราะห์อัตราส่วนของแสงที่ผ่านช่องว่างระหว่างใบตามอัตราส่วนของมุม Zenith

ปัจจุบันสามารถใช้ภาพถ่ายการปกคลุมของเรือนยอดประมาณค่าอื่นๆ ได้อีก เช่น ขนาดช่องว่างของเรือนยอด ดัชนีพื้นที่ผิวใบ ดัชนีพื้นที่ทั้งหมดของต้นไม้ (Plant Area Index, PAI) และการจัดเรียงตัวของใบ (Leaf Azimuth) เป็นต้น และมีการปรับปรุงและพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายการปกคลุมเรือนยอดมาโดยตลอด จนกระทั่งมีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ภาพถ่าย ทำให้การวิเคราะห์ภาพถ่ายมีความสะดวกและรวดเร็วขึ้น ไม่ต้องใช้วิธีวาดตารางบนภาพถ่ายเพื่อคำนวณพื้นที่เหมือนในอดีต สำหรับโปรแกรมที่สามารถใช้คำนวณภาพถ่ายการปกคลุมเรือนยอด ได้แก่ Solacalc, Sylva, Canopy, Hemiphot และ Hemiview ทุกโปรแกรมล้วนมีรากฐานการคำนวณที่คล้ายคลึงกัน โดยอาศัยทฤษฎีในเรื่องเรขาคณิตของแสงลักษณะทางฟิสิกส์ของชั้นบรรยากาศโลก และเรขาคณิตของเลนส์ลักษณะครึ่งวงกลม ส่วนการคำนวณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบนั้น อาศัยหลักการของแสงที่หายไปจากการส่องผ่านเรือนยอดลงมา ซึ่งในการคำนวณการปกคลุมเรือนยอดจากภาพถ่ายจะไม่สามารถใช้จำแนกชนิดของพรรณไม้ได้

เทคนิคในการถ่ายภาพเรือนยอดควรใช้ฟิล์มขาวดำ (Panchromatic or Black and White Film) จะให้ภาพที่ชัดและมีคุณภาพ ความเร็วฟิล์มหรือ ASA 25-100 จะแยกรายละเอียดของท้องฟ้าและเรือนยอดให้ได้ผลดี โดยวางกล้องในแนวราบบนขาตั้งกล้องวัดระดับด้วยฟองอากาศ ทำเครื่องหมายแสดงทิศเหนือบริเวณด้านข้างของภาพ โดยใช้เข็มทิศสำหรับเวลาที่ใช้ในการเปิดหน้ากล้องประมาณ 1/125 วินาที ถ้าต่ำกว่า 1/60 วินาที อาจทำให้ภาพไม่คมชัด เนื่องจากกิ้งและใบไม้มีการเคลื่อนไหว ในป่าที่ต้นไม้สูงเปิดหน้ากล้อง 3.5-5.6 จะให้ผลดี หรือจะใช้กึ่งอัตโนมัติก็ไม่แตกต่างกันนัก การถ่ายภาพควรที่จะถ่ายในช่วงที่ท้องฟ้าเป็นสีเทา แสงปกติ ได้แก่ ในช่วงเช้า หรือในเวลาเย็น ซึ่งในเวลากลางวันดวงอาทิตย์จะใกล้มุม Zenith ภาพจะไม่ชัด เนื่องจากแสงจะกระจายผ่านช่องว่างระหว่างเรือนยอดเข้ามามาก (Steege, 1994) เทคนิคการถ่ายภาพเรือนยอดนี้ไม่นิยมทำกับต้นไม้ที่ยืนต้นเดี่ยวๆ แต่จะทำในกลุ่มไม้หรือหมู่ไม้โดยกำหนดจุดถ่ายหลายๆ จุด ประมาณ 6-10 จุด ในแปลงตัวอย่าง โดยใช้กล้องถ่ายรูปที่สามารถเปลี่ยนเลนส์จากธรรมดาเป็นเลนส์ตาปลาได้ แต่ปัจจุบันการถ่ายภาพสามารถใช้กล้อง Digital ที่สามารถเปลี่ยนเลนส์เป็นเลนส์ตาปลาได้จึงทำให้มีความสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้นโดยไม่ต้องเสียเวลานำฟิล์มถ่ายรูปมา Scan อีกครั้ง เวลาถ่ายภาพควรใช้ขาตั้งกล้องด้วยเสมอ วางกล้องในแนวระนาบโดยวัดจากระดับลูกน้ำ ให้ตัวเลนส์อยู่สูงจากระดับพื้นดิน 1.30 เมตร การกำหนดทิศเหนือ ทำโดยใช้แท่งไม้ที่มีสีขาวหรือสีแดงหมยดำแหน่งให้สามารถมองเห็นได้ในภาพ การถ่ายภาพในช่วงเช้าหรือเย็นจะเหมาะสมมากกว่า เพราะแสงอาทิตย์จะได้ไม่สาบส่องเข้าไปในภาพ

ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส

ประวัติไม้ยูคาลิปตัส

นันทพร (2527) กล่าวว่ายูคาลิปตัสเป็นพันธุ์ไม้ป่ามีถิ่นกำเนิดในประเทศออสเตรเลีย เท่าที่สำรวจพบมีประมาณ 550 ชนิด กระจายกันอยู่ในป่าสองลักษณะใหญ่ๆ คือ พวกที่ชอบพื้นที่แห้งแล้ง (Dry Sclerophyll Forest) และพวกที่ชอบพื้นที่ชื้น (Wet Sclerophyll Forest) ซึ่งออสเตรเลียจะเรียกว่าป่ายูคาลิปตัส (Eucalyptus Forest) ไม้ยูคาลิปตัสที่สำคัญของออสเตรเลียได้แก่ ยูคาลิปตัสแกรนด์ (Eucalyptus grandis), ยูคาลิปตัสแอกเมนีอยเดส (Eucalyptus acmenioides), ยูคาลิปตัสซาลิกนา (Eucalyptus saligna), ยูคาลิปตัสวิมินาลิส (Eucalyptus viminalis), ยูคาลิปตัสไซเพลโลคาร์ป (Eucalyptus cypellocarpa), ยูคาลิปตัสแมคคิวลาตา (Eucalyptus maculata), ยูคาลิปตัสเทเรติคอร์นิส (Eucalyptus tereticornis), ยูคาลิปตัสแมกจินาตา (Eucalyptus maginata) เป็นต้น

นอกจากนี้ยูคาลิปตัสยังมีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศแถบหมู่เกาะอินโดมาเลเซียนอีกสองชนิดคือ ยูคาลิปตัสเดอลุปต้า (*Eucalyptus deglupta*) และยูคาลิปตัสยูโรฟิลล่า (*Eucalyptus urophylla*)

สำหรับในประเทศไทย จากการตรวจสอบเอกสารของแผนกเมล็ดไม้ กองวิจัยป่าไม้ ประเทศออสเตรเลีย พบว่าเมล็ดยูคาลิปตัสหลายชนิดถูกส่งมายังประเทศไทยครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2489 แต่มีหลักฐานยืนยันการปลูกไม้ยูคาลิปตัสครั้งแรกในประเทศไทยที่คอยสุเทพ จังหวัดเชียงใหม่เมื่อ พ.ศ.2492 โดยกองบำรุงพันธุ์ไม้ กรมป่าไม้ และจากผลการปลูกทดลองไม้ยูคาลิปตัสชนิดต่างๆ มากกว่า 20 ชนิด ปรากฏว่าไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูลินซิส (*E.camaldulensis*) ได้รับความนิยมปลูกมากที่สุดเพราะมีอัตราการเจริญเติบโตเร็วมาก

ลักษณะทั่วไป

ยูคาลิปตัสเป็นไม้พื้นเมืองที่สำคัญของประเทศออสเตรเลียอยู่ในวงศ์ไมร์เทซีอี (Family Myrtaceae) เป็นพันธุ์ไม้ที่ขึ้นปกคลุมอยู่ทั่วไป และพบเห็นได้ในทุกพื้นที่ ไม่ว่าพื้นที่เหล่านั้นจะมีสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศแตกต่างกันมากเพียงใดก็สามารถขึ้นได้ทั้งนั้น ป่ายูคาลิปตัสในประเทศออสเตรเลียครอบคลุมพื้นที่ป่าไม้มากว่าร้อยละ 90 พันธุ์ไม้เนื้อแข็งเป็นองค์ประกอบหลักของป่าในออสเตรเลีย มีจำนวนชนิดพันธุ์ไม้ประมาณ 600 – 700 ชนิด และเชื่อว่ามีอยู่ประมาณ 12 ชนิดเท่านั้นที่สามารถปลูกในเมืองไทยได้ (สอาดและคณะ, 2543) มีลักษณะสำคัญคือ ลำต้นมียางที่เรียกว่า Gum ไม้ยูคาลิปตัสแทบทุกชนิดพันธุ์มีแหล่งกำเนิดอยู่ในทวีปออสเตรเลีย และหมู่เกาะใกล้เคียง ซึ่งพันธุ์ไม้ยูคาลิปตัสนี้มีความแตกต่างกันทั้งขนาดลำต้นและความสูง ไม้ยูคาลิปตัสที่เล็กที่สุดเป็นไม้พุ่มอยู่ในจำพวกที่เรียกว่า Mallee Eucalyptus มีความสูงเพียง 2-3 เมตร ส่วนไม้ยูคาลิปตัสที่เป็นไม้ยืนต้นนั้นมีความสูงตั้งแต่ 10-50 เมตร และมีอายุถึง 200 ปี

ไม้ยูคาลิปตัสจะมีลำต้นแตกต่างกันไปทั้งคงอ มีกิ่งก้านมาก และส่วนใหญ่ในประเทศไทยที่นำมาปลูกจะมีลักษณะเปลือตรง กิ่งก้านน้อย เปลือกหรือผิวของไม้ยูคาลิปตัสส่วนใหญ่จะเรียบเป็นสีขาวนวล ขาวเทา เขียว หรือเขียวแกมน้ำตาล เรียกว่า “Smooth Gum Bark” มีบางชนิดที่มีผิวขรุขระ แต่ไม่ว่าจะเป็นชนิดใดก็ตามมีลักษณะที่เหมือนกันคือ แต่ละปีเมื่อผิวเปลือกแก่ เปลือกก็จะลอกออกมีผิวเปลือกใหม่ขึ้นมาแทน ระบบรากของไม้ยูคาลิปตัสมีระบบรากฝอยที่แผ่กว้างออกไปเพื่อหาน้ำและอาหาร ส่วนรากแก้วสามารถหยั่งลงไปลึกถึง 3-4 เมตร ขึ้นอยู่กับอายุและขนาดของต้นไม้ และสามารถอยู่ร่วมกับไมคอร์ไรซ่า (Mycorrhiza) แบบพึ่งพาอาศัยกัน ใบของไม้ยูคาลิปตัสมี

ลักษณะรูปรียาวปลายแหลมคล้ายหอก แต่บางชนิดก็คล้ายรูปไข่ หรือใบโพธิ์มีสีเขียวหม่น เขียว
 นวล หรือเขียวเข้มตามชนิดของพันธุ์ ดอกอยู่รวมกันเป็นกลุ่มๆ ละ 5-10 ดอก แต่ละดอกมีขนาด
 ประมาณ 0.1-1.2 เซนติเมตร มีสีขาวนวล ขาวแกมชมพู เหลืองสด หรือสีแดง ส่วนผลจะมีรูปร่าง
 แตกต่างกันไป ดอกมีขนาดประมาณ 0.5-1.2 เซนติเมตร ภายในประกอบด้วยเมล็ดไม้อูกลิปัดขนาด
 เล็ก 1 มิลลิเมตร หรือเล็กกว่าเป็นจำนวนมาก ผลอ่อนจะมีสีเขียว เมื่อแก่จะมีสีน้ำตาลหรือน้ำตาล
 เข้ม (เริงชัย, 2541)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิญญู (2544) ได้ประยุกต์ใช้การสำรวจจากระยะไกลเพื่อประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบและมวล
 ชีวภาพของป่าที่อยู่พื้นดิน บริเวณอุทยานแห่งชาติภูกระดึง โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมและเก็บข้อมูลใน
 แปลงตัวอย่างขนาด 30x30 เมตร จำนวน 30 แปลง ในแต่ละแปลงวัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความ
 สูงเพียงอกและความสูงทั้งหมดของต้นไม้ เพื่อนำมาคำนวณค่าดัชนีพื้นที่ใบและมวลชีวภาพที่อยู่เหนือ
 พื้นดินโดยอาศัยความสัมพันธ์ทางแอลโลเมตรี ตำแหน่งของแปลงตัวอย่างนำมาหาค่าการสะท้อน
 แบบสองทิศทาง (Bidirectional Reflectance-BRD) และ BRD Ratio แล้วนำไปหาความสัมพันธ์กับ
 ข้อมูลที่ได้จากภาคสนามในรูปแบบของสมการถดถอย ผลการศึกษาพบว่าเมื่อกำหนดให้ภาพถ่ายจาก
 ดาวเทียมเป็นตัวแปรอิสระและข้อมูลจากภาคสนามเป็นตัวแปรตาม ได้ค่าดัชนีพื้นที่ใบและมวล
 ชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดิน จากรูปแบบสมการที่ดีที่สุดของป่าแต่ละชนิดดังนี้ ป่าดิบเขามีค่าเฉลี่ยพื้นที่
 ใบมากที่สุด เท่ากับ 9.252 รองลงมาได้แก่ ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และป่าสนเขา ในขณะที่
 มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ป่าดิบแล้ง มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 373,837.49 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์
 รองลงมาได้แก่ป่าสนเขา ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และป่าดิบเขาตามลำดับ

อกินันท์ (2545) ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลในการจำแนกพื้นที่
 ป่าไม้และการประมาณมวลชีวภาพป่าไม้ ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยทับทัน-ห้วยสำราญ จังหวัด
 สุรินทร์ โดยใช้ข้อมูลการสะท้อนแสงของพืชพรรณที่ได้จากการสำรวจจากระยะไกล โดยใช้ข้อมูล
 จากการวางแผนแปลงตัวอย่างจำนวน 30 แปลง ส่วนการประมาณมวลชีวภาพใช้ข้อมูลจากแปลง
 ตัวอย่าง 18 และ 28 แปลง บริเวณป่าดิบแล้งและป่าเบญจพรรณ ข้อมูลที่ได้จากแปลงตัวอย่างนำไป
 คำนวณหาพื้นที่ผิวใบและมวลชีวภาพจากสมการแอลโลเมตรี ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์
 ระหว่างค่าการสะท้อนกับพื้นที่ผิวใบและมวลชีวภาพโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย ผลการศึกษา
 พบว่าการประมาณพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลดาวเทียมในรูปแบบ Green

Vegetation Index (GVI) ได้สมการที่ดีที่สุดคือ $y = 2,246.31 + 94.7721(\text{GVI})$ ประมาณพื้นที่ผิวใบได้เฉลี่ย 15,418 ตารางเมตรต่อไร่ สมการแบบ ล็อกกาลีทึมใช้ช่วงอินฟราเรดใกล้ในการหาพื้นที่ผิวใบได้รูปสมการ $y = 7,226.17(\text{NIR}) - 23,736$ ประมาณพื้นที่ผิวใบเฉลี่ยได้ 15,414 ตารางเมตรต่อไร่ การประมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินพบว่า Green Vegetation Index (GVI) สามารถประมาณมวลชีวภาพของป่าเบญจพรรณจากสมการเส้นตรงคือ $y_B = 7,125.08 + 131.038(\text{GVI})$ มวลชีวภาพเฉลี่ย 29,943 กิโลกรัมต่อไร่ สมการแบบล็อกกาลีทึมใช้ช่วงอินฟราเรดใกล้ในการหามวลชีวภาพได้รูปสมการ $y_B = 4,915.77e^{0.0148\text{NIR}}$ ประมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยได้ 29,839 กิโลกรัมต่อไร่ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบแล้งประมาณได้จากความสัมพันธ์ $y_B = -13,908 + 21,477.4(\text{NIR}/\text{RED})^{1/2}$ ได้มวลชีวภาพเฉลี่ย 42,803 กิโลกรัมต่อไร่ ดัชนีพืชพรรณแบบ Transformed Normalized Difference Vegetation Index (TNDVI) ได้สมการ $y_B = 22,639.5(\text{TNDVI})^{3.4563}$ ประมาณมวลชีวภาพเฉลี่ย 42,682 กิโลกรัมต่อไร่

สุกฤดี (2546) ได้ทำการศึกษการประมาณปริมาตรไม้ในสวนป่าเกริงกระเวีย โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้กับค่าดัชนีพื้นที่ใบและค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 5 ซึ่งการศึกษาได้ทำการวางแผนขนาด 50 x 50 เมตร จำนวน 21 แปลงตัวอย่าง ในแต่ละแปลงตัวอย่างทำการถ่ายภาพโครงสร้างเรือนยอดเพื่อวิเคราะห์หาค่าดัชนีพื้นที่ใบพร้อมทั้งคำนวณปริมาตรไม้โดยอาศัยความสัมพันธ์สำหรับประมาณหาปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้ของสวนป่าทองผาภูมิ ผลการศึกษาพบว่าค่าดัชนีพื้นที่ใบมีความสัมพันธ์กับปริมาตรไม้ในรูปแบบสมการ ปริมาตรไม้ $= 1.1466 + 3.9865$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.53 ปริมาตรไม้มีความสัมพันธ์กับค่าการสะท้อนแสงซึ่งได้แก่ค่าดัชนีพืชพันธุ์ (NDVI) ด้วยรูปแบบสมการ ปริมาตรไม้ $= -0.1701 + 20.2227 (\text{NDVI})$ และค่าดัชนีพื้นที่ใบมีความสัมพันธ์กับค่าการสะท้อนแสง (NDVI) ด้วยรูปแบบสมการ ค่าดัชนีพื้นที่ใบ $= 5.0728(\text{NDVI}) - 0.3303$ $R^2 = 0.67$ ปริมาตรไม้ทั้งหมดของสวนป่าที่ประมาณได้จากค่าการสะท้อนแสงเท่ากับ 358,606.56 ลูกบาศก์เมตร และปริมาตรไม้ทั้งหมดที่ประมาณได้จากสมการมาตรฐานเท่ากับ 306,725.85 ลูกบาศก์เมตร

คำสอน (2546) ได้ทำการศึกษาผลผลิตและผลตอบแทนทางการเงินของการปลูกสร้างสวนป่ายูคาลิปตัส ความลาดชัน 5 ปี ในสวนป่าบึงโจลาวปลูกไม้ ประเทศลาว โดยเก็บข้อมูลแปลงตัวอย่างขนาด 40x40 เมตร จำนวน 3 แปลง ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบสมการที่เหมาะสมในการประมาณปริมาตรไม้ในสวนป่าที่ศึกษาคือ $V = 0.00449 + 0.00002588 D^2H$ ได้ปริมาตรไม้เท่ากับ 32.948 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกเตอร์ ผลตอบแทนในรูปของมูลค่าปัจจุบันเท่ากับ 668.16 บาทต่อเฮกเตอร์

สถานที่ศึกษา

การศึกษาการประมาณปริมาตรและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ยูคาลิปตัสโดยใช้เทคนิคการสำรวจจากระยะไกล ในครั้งนี้ใช้พื้นที่ศึกษาสวนป่าลาดกระทิง บริษัทไม้อัดไทยจำกัด ซึ่งมีข้อมูลพื้นฐานโดยทั่วไปดังนี้

1. ที่ตั้งและอาณาเขต

สวนป่าลาดกระทิง ตั้งอยู่ในเขตป่าสงวนแห่งชาติแควระบบ-สียัด ตำบลลาดกระทิง อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา ระหว่างละติจูดที่ 13 องศา 37 ลิปดาเหนือ และลองจิจูดที่ 101 องศา 06 ลิปดาตะวันออก (ภาพที่ 1)

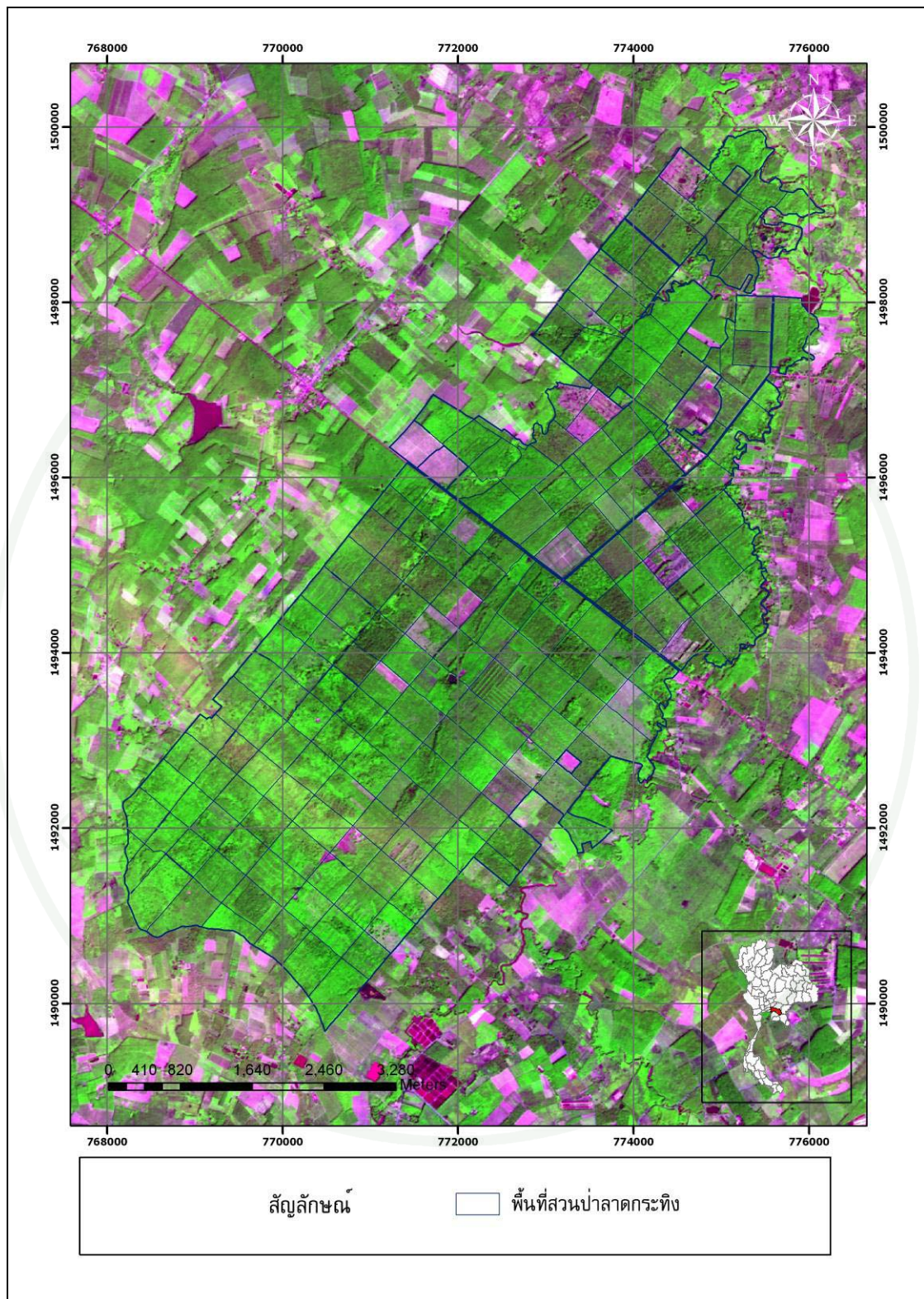
ทิศเหนือ	ติดต่อกับ ตำบลวังเย็น อำเภอแปลงยาว จังหวัดฉะเชิงเทรา
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ ตำบลท่าตะเกียบ อำเภอท่าตะเกียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา
ทิศใต้	ติดต่อกับ ตำบลคูยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ ตำบลหนองไม้แก่น อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา

2. ลักษณะภูมิประเทศ

สวนป่าลาดกระทิงมีเนื้อที่ทั้งสิ้นประมาณ 20,422 ไร่ ลักษณะพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ดอนหรือที่ราบลูกฟูก มีบางส่วนของพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ราบสูง โดยมีความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 4.20 เมตร ชนิดพันธุ์ไม้ที่ปลูกสร้างในสวนป่าลาดกระทิงได้แก่ ยูคาลิปตัส กระถินเทพา และนนทรี

3. ลักษณะภูมิอากาศ

สวนป่าลาดกระทิงมีลักษณะภูมิอากาศร้อนชื้น อุณหภูมิจะสูงเกือบตลอดทั้งปี โดยพื้นที่ได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 28 องศาเซลเซียส และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,200 มิลลิเมตรต่อปี



ภาพที่ 1 พื้นที่สวนป่าลาดกระทิง อำเภอสนมชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์สำนักงาน

- 1.1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT - 5 บันทึกภาพเมื่อวันที่ 9 ธันวาคม 2551 ครอบคลุมพื้นที่อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา
- 1.2 แผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร ลำดับชุด L7018 มาตราส่วน 1: 50,000
- 1.3 เครื่องคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมประมวลผลภาพ

2. อุปกรณ์ภาคสนาม

- 2.1 เครื่องกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียม (Global Positioning System : GPS)
- 2.2 เทปวัดระยะทาง
- 2.3 เทปวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของต้นไม้ (Diameter Tape)
- 2.4 เครื่องมือวัดความสูงของต้นไม้ (Haga Hypsometer)
- 2.5 กล้องถ่ายรูปและเลนส์ตาปลา
- 2.6 เข็มทิศ
- 2.7 แบบบันทึกข้อมูล (Tally Sheet)

วิธีการ

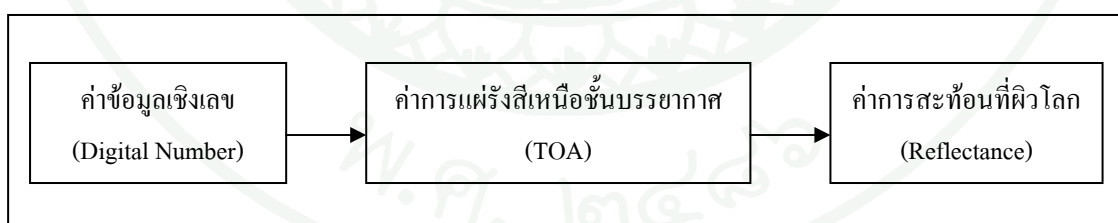
กระบวนการศึกษาในครั้งนี้แบ่งขั้นตอนในการดำเนินงานออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาคสนาม และขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล โดยกรอบแนวคิดในการศึกษาแสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

1. การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

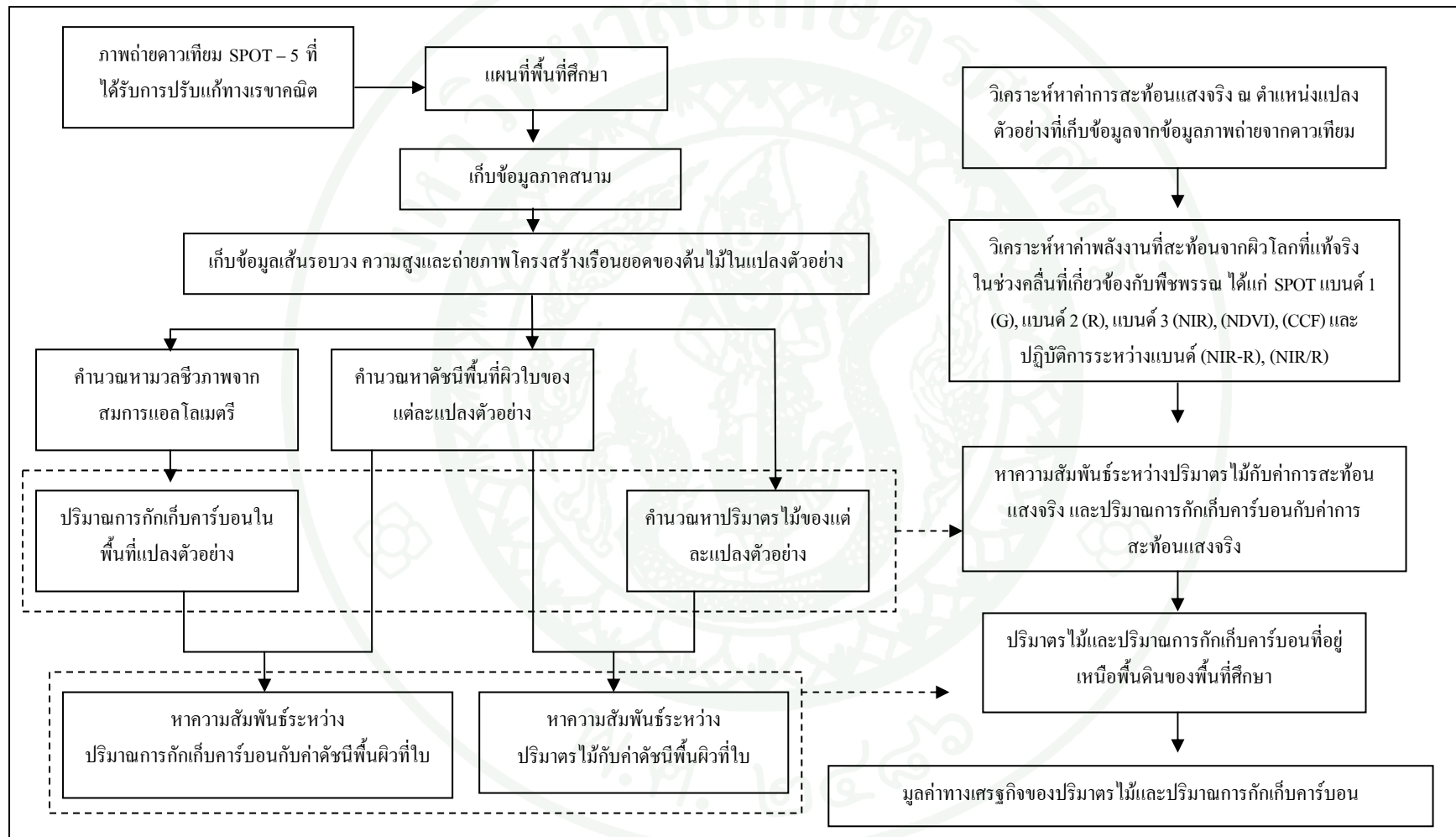
เลือกข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม SPOT-5 ครอบคลุมพื้นที่บริเวณอำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา บันทึกภาพเมื่อวันที่ 9 ธันวาคม 2551 มาใช้ในการศึกษา โดยมีขั้นตอนในการเตรียมความพร้อมของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแสดงดังภาพที่ 4 และมีรายละเอียดดังนี้

1.1 นำเข้าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 และตัดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ได้รับการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตแล้ว ให้ครอบคลุมพื้นที่บริเวณสวนป่าลาดกระทิง อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา

1.2 การแปลงค่าข้อมูลเชิงเลข (Digital Number : DN) ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 ไปเป็นค่าการสะท้อนที่ผิวโลก (Reflectance) โดยผ่านกระบวนการดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการแปลงค่าเลขหลักไปเป็นค่าการสะท้อนแสงจริงจากพื้นผิวโลก



ภาพที่ 3 แผนภาพกระบวนการศึกษาทั้งหมดในการศึกษานี้

โดยกระบวนการแปลงข้อมูลเชิงเลขไปเป็นข้อมูลค่าการสะท้อนจริงที่พื้นผิวโลก ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนได้แก่

1.3.1 การแปลงค่าข้อมูลเชิงเลขไปเป็นค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่นเหนือชั้นบรรยากาศ หรือที่ Sensor (TOA) โดยนำค่า A_k และ G_m^k ที่ได้จากข้อมูล Metadata และข้อมูลที่ได้รับการปรับแก้ของแต่ละแบนด์จาก Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) มาทำการแทนค่าลงในสมการที่ 1 ซึ่งมีรูปแบบสมการดังต่อไปนี้

$$L_{TOA}^k = \frac{X^k}{A_k * G_m^k} \quad (1)$$

เมื่อ L_{TOA}^k = ค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่นของข้อมูลแบนด์ k ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$)
 X^k = ค่าข้อมูลเชิงเลข (DN) ของภาพถ่ายจากดาวเทียมแบนด์ k
 A_k = ค่า Absolute Calibration ของแบนด์ k ($W^{-1} \cdot m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)
 G_m^k = ค่า Analog Gain ของแต่ละแบนด์ k จากข้อมูล Metadata
 k = แบนด์ข้อมูลดาวเทียม 1,2,3...

1.3.2 การแปลงค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่นเหนือชั้นบรรยากาศ (TOA) ไปเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Reflectance) โดยนำค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่นที่ได้จากสมการที่ 1 และค่ามุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับพื้นผิวโลก ($90^\circ - \theta$), ค่าระยะห่างจากดวงอาทิตย์ถึงโลก (d) และ ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ($ESUN_\lambda$) แทนค่าลงในสมการที่ 2 ซึ่งมีรูปแบบสมการดังต่อไปนี้

$$\rho_{TOA} = \frac{\pi * L_{TOA}^k * d^2}{ESUN * \cos(\theta)} \quad (2)$$

เมื่อ ρ_{TOA} = ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงเหนือชั้นบรรยากาศ (ณ sensor ของดาวเทียม) (ไม่มีหน่วย)
 L_{TOA}^k = ค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่น ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$) เหนือชั้นบรรยากาศ (ณ Sensor ของดาวเทียม)
 d = ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ในหน่วยทางดาราศาสตร์ (Sun-Earth Distance Unit)

ESUN = ค่าการแผ่รังสีเฉลี่ยของดวงอาทิตย์ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$)

θ = Sun Zenith (90 – มุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับพื้นผิวโลก)

π = ค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์ (3.146...)

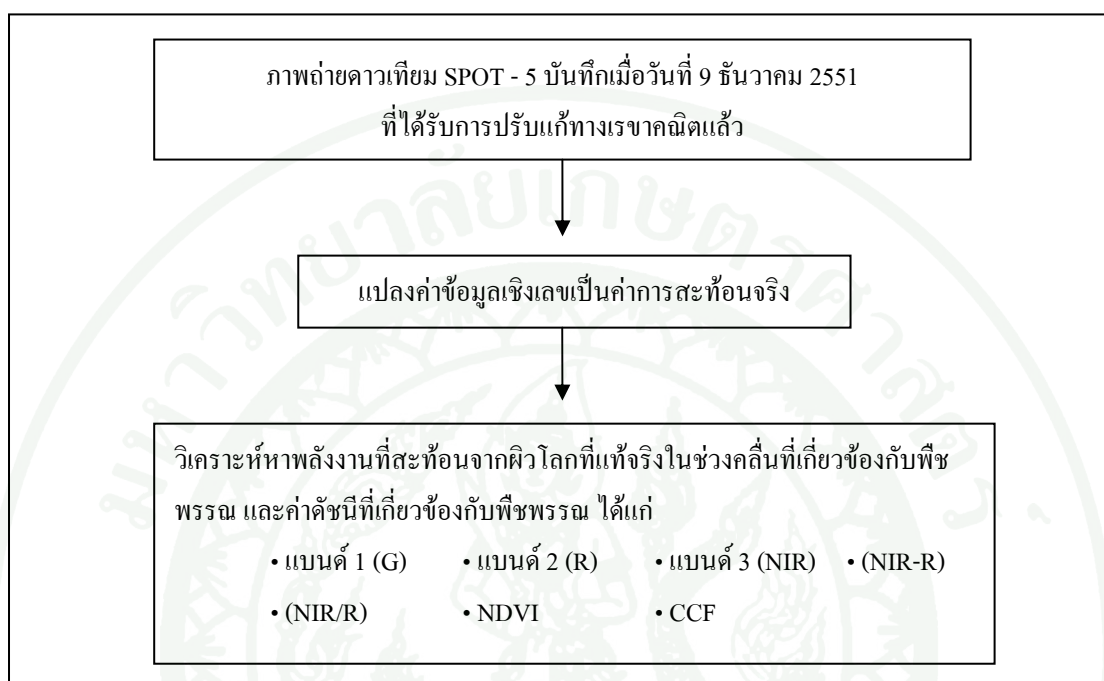
1.4 นำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ได้รับการปรับแก้ให้อยู่ในรูปของค่าการสะท้อนจริง บริเวณเดียวกับพื้นที่ที่ทำการวางแผนแปลงตัวอย่างเก็บข้อมูล ซึ่งบันทึกจากเครื่องกำหนดตำแหน่งด้วย ดาวเทียม (GPS) มาทำการวิเคราะห์หาค่าพลังงานที่สะท้อนจริงในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ SPOT แบนด์ 1 (G), แบนด์ 2 (R), และแบนด์ 3 (NIR) ค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างแบนด์ (NIR/R), ความแตกต่างระหว่างแบนด์ (NIR-R), NDVI และ CCF โดยมี รูปแบบสมการดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รูปแบบสมการของช่วงคลื่น และดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ

รูปแบบสมการ	สมการ
Green	G
Red	R
Near Infrared	NIR
Simple Substraction	$\text{NIR} - \text{R}$
Simple Division	$\left(\frac{\text{NIR}}{\text{R}} \right)$
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$\left(\frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}} \right)$
CCF (Crown Cover Fraction) ที่มา : ปรับจาก Shihao.T et al. (2003)	$\left(\frac{\text{TGD}}{\text{TGD}_{\text{max}}} \right)$
TGD (Three Band Gradient Difference Method) ที่มา : ปรับจาก Shihao.T et al. (2003)	$\left(\frac{\text{R}_{\text{ir}} - \text{R}_{\text{r}}}{\lambda_{\text{ir}} - \lambda_{\text{r}}} - \frac{\text{R}_{\text{r}} - \text{R}_{\text{g}}}{\lambda_{\text{r}} - \lambda_{\text{g}}} \right)$

หมายเหตุ R_{ir} = ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงของแบนด์ NIR
 R_{r} = ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงของแบนด์ RED
 R_{g} = ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงของแบนด์ GREEN
 λ_{ir} = ความยาวช่วงคลื่นของแบนด์ NIR

λ_r = ความยาวช่วงคลื่นของแบนด์ RED
 λ_g = ความยาวช่วงคลื่นของแบนด์ GREEN



ภาพที่ 4 ฟังก์ชันการเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5

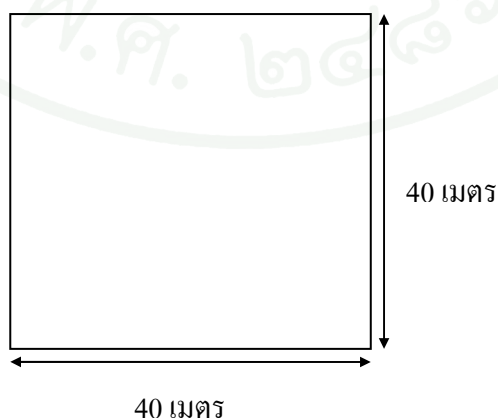
2. การเก็บข้อมูลภาคสนาม

2.1 เก็บข้อมูลภาคสนามระหว่างวันที่ 1-7 เมษายน 2552 โดยกำหนดจุดเพื่อวางแผนตัวอย่างให้ครอบคลุมในทุกพื้นที่ที่ทำการปลูกไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส อายุ 1-5 ปี (ภาพที่ 7 และ 8) ของสวนป่าลาดกระบังซึ่งมีพื้นที่ปลูกทั้งหมดประมาณ 6,504 ไร่ การเก็บข้อมูลภาคสนามในการศึกษาครั้งนี้ใช้การวางแผนตัวอย่างขนาด 40 x 40 เมตร (ภาพที่ 5) จำนวน 85 แปลง (ภาพที่ 6) หรือคิดเป็นร้อยละ 1.3 ของพื้นที่ทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 5 และใช้เครื่องกำหนดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม (GPS) ในการบันทึกตำแหน่งที่ตั้งของแปลงตัวอย่างโดยเลือกพื้นที่ที่มีภูมิประเทศที่เป็นที่ราบหรือเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยที่สุด

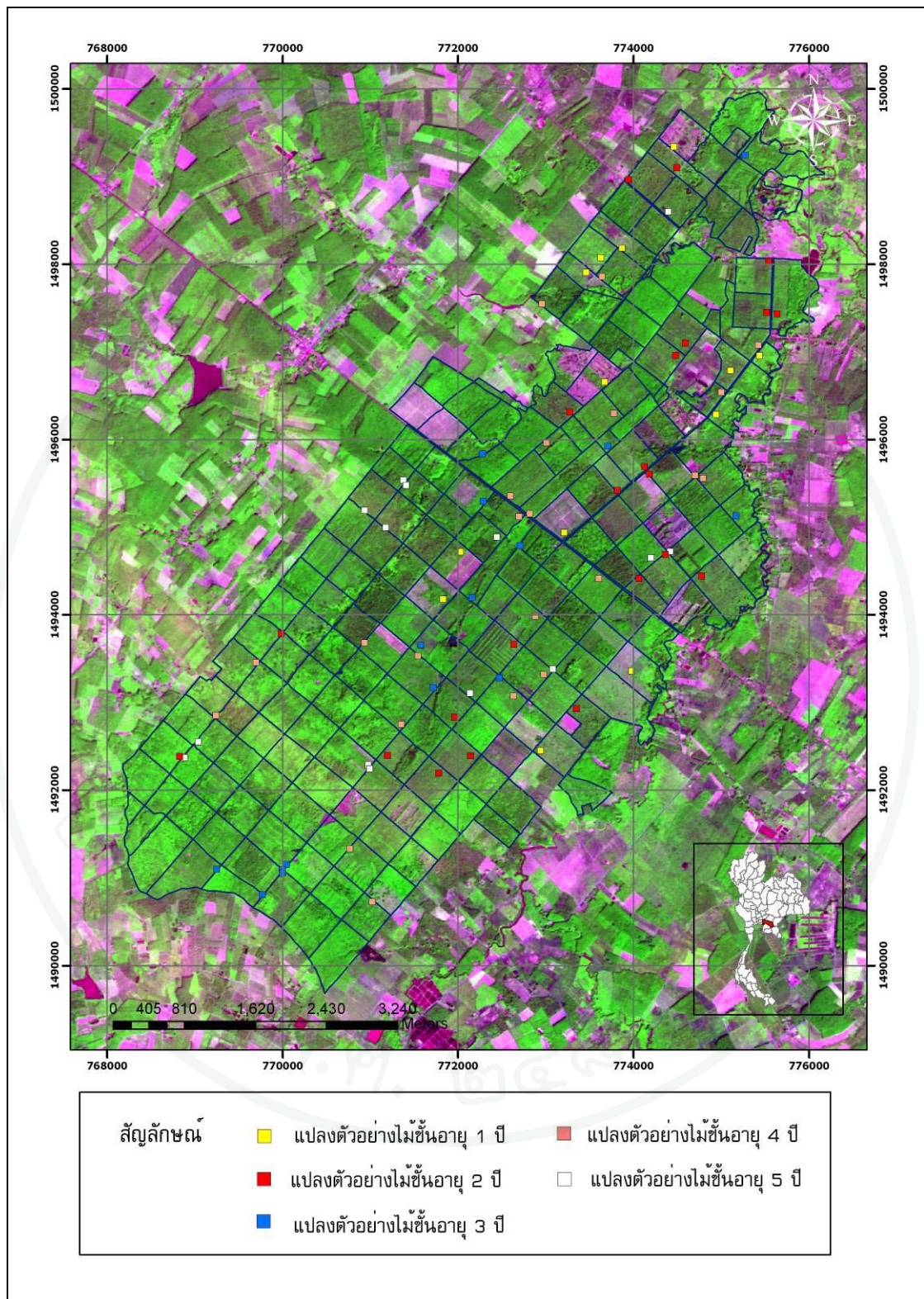
ตารางที่ 5 จำนวนแปลงตัวอย่าง

ชั้นอายุ (ปี)	เนื้อที่ (ไร่)	จำนวนแปลงตัวอย่าง
1	2,422	13
2	686	21
3	1,918	15
4	794	22
5	684	14
รวม	6,504	85

2.2 เก็บข้อมูลเส้นรอบวงที่ระดับความสูงเพียงอก (GBH) 1.3 เมตร และความสูงของไม้ทุกต้นในแปลงตัวอย่าง พร้อมถ่ายภาพเรือนยอดไม้ในแปลงโดยใช้กล้องถ่ายภาพประกอบด้วยเลนส์ตาปลา (Fish Eye Lens) ทำการสุ่มถ่ายภาพเรือนยอดในแต่ละแปลงตัวอย่างแปลงละ 1 ภาพ โดยตั้งกล้องในช่องว่างของระยะปลูกของไม้ (Spacing) วิธีการถ่ายภาพเรือนยอดนำกล้องที่ประกอบด้วยเลนส์ตาปลาติดกับขาตั้งกล้องให้เลนส์หงายขึ้นสู่ท้องฟ้า ทำการถ่ายภาพในแต่ละจุดที่สุ่มโดยตั้งความสูงของกล้องให้ห่างจากพื้นดิน 1.30 เมตร และตั้งกล้องอยู่ในแนวระดับใช้เข็มทิศทำการหามหาทิศเหนือโดยใช้วัสดุเป็นแท่งยาวขนาดเล็กติดไว้บริเวณด้านข้างของเลนส์ เพื่อให้ปรากฏในภาพถ่ายปรับเปลี่ยนให้ตรงกับทิศเหนือในการถ่ายภาพทำการปรับระยะชัดที่อินโฟนีดีและใช้วิธีตั้งเวลาถ่ายเพื่อป้องกันการสั่นไหว



ภาพที่ 5 ขนาดและรูปร่างของแปลงตัวอย่าง



ภาพที่ 6 ตำแหน่งที่ตั้งของแปลงตัวอย่าง



ไม้ยูคาลิปตัส อายุ 1 ปี



ไม้ยูคาลิปตัส อายุ 2 ปี



ไม้ยูคาลิปตัส อายุ 3 ปี



ไม้ยูคาลิปตัส อายุ 4 ปี



ไม้ยูคาลิปตัส อายุ 5 ปี

ภาพที่ 7 แปลงปลูกไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิสทั้ง 5 ชั้นอายุ



ภาพที่ 8 ตัวอย่างภาพถ่ายโครงสร้างเรือนยอด และการวัดข้อมูลในแปลงตัวอย่าง

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อทำการเก็บข้อมูลในแปลงตัวอย่างเสร็จสิ้น ข้อมูลที่ได้จะมาทำการวิเคราะห์เพื่อหา ปริมาตรไม้ ดัชนีพื้นที่ใบ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน โดยมีขั้นตอนดังภาพที่ 9 และมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การประมาณปริมาตรไม้จากข้อมูลภาคสนามใช้สมการในการหาปริมาตรไม้ยูคาลิปตัส ตามาลดูละเอียดของสวนป่าลาดกระบังดังนี้

$$V_s = 0.00824 + 0.000029 D^2 H$$

เมื่อ V_s = ปริมาตรลำต้นรวมเปลือกจากโคนต้นถึงปลายยอด (ลูกบาศก์เมตร)
 D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับอก (เซนติเมตร)
 H = ความสูงจากโคนต้นถึงปลายยอด (เมตร)

ที่มา : ดัดแปลงจากสวนป่าลาดกระบัง (2532)

3.2 การคำนวณหาค่าดัชนีพื้นที่ใบ LAI (Leaf Area Index) ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่ายการปกคลุมของเรือนยอดที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนามในแต่ละแปลงตัวอย่าง

3.3 การหามวลชีวภาพ (Biomass) ของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส คำนวณหามวลชีวภาพโดยใช้สมการแอลโลเมตรีของซิงชัยและคณะ (2548) ซึ่งได้ศึกษามวลชีวภาพของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิสในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยรูปแบบสมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ แสดงดังตารางที่ 6

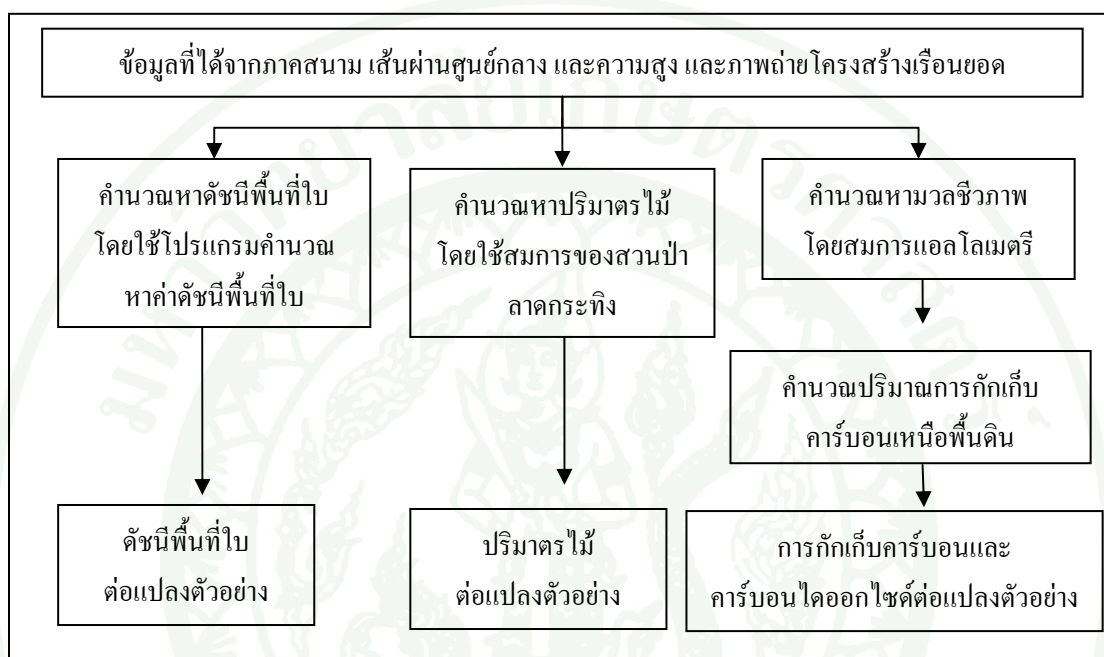
ตารางที่ 6 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณค่ามวลชีวภาพของยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิสในพื้นที่ศึกษา

สถานที่ที่ทำการศึกษา	สมการแอลโลเมตรี
ฉะเชิงเทรา	$W_s = 0.0005 (D^2 H)^{0.9108}$
ที่มา : ซิงชัยและคณะ, 2548	$W_b = 0.0172 D^{2.3247}$
	$W_l = 0.0178 D^{1.6815}$
	$W_t = W_s + W_b + W_l$

เมื่อ W_s = มวลชีวภาพของลำต้น (กิโลกรัม)
 W_b = มวลชีวภาพของกิ่ง (กิโลกรัม)
 W_l = มวลชีวภาพของใบ (กิโลกรัม)
 W_t = มวลชีวภาพรวมทั้งต้น (กิโลกรัม)

การประมาณปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ใช้สัดส่วนการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิสเท่ากับ 0.5 ตามมาตรฐานของ The Intergovernmental Panel Climate Change

(IPCC, 1996) โดยสัดส่วนการสะสมคาร์บอนที่ได้นำมาคูณกับน้ำหนักของมวลชีวภาพรายต้น และรวม น้ำหนักทั้งแปลงตัวอย่างจะได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในรูปของน้ำหนักคาร์บอนต่อพื้นที่แปลง ตัวอย่าง เมื่อได้น้ำหนักคาร์บอนนำมาคูณกับสัดส่วนการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 3.65 ตาม มาตรฐานสากล เพื่อให้ได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ของแปลงตัวอย่าง



ภาพที่ 9 แผนภาพกระบวนการวิเคราะห์หาค่าดัชนีพื้นที่ใบ ปริมาตรไม้ และปริมาณการกักเก็บ คาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินจากข้อมูลภาคสนามในพื้นที่ศึกษา

3.4 การหาค่าความสัมพันธ์ต่าง ๆ

3.4.1 นำค่าปริมาตรไม้เฉลี่ยกับค่าดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ยมาหาความสัมพันธ์กันโดยใช้การวิเคราะห์สมการถดถอยแบบ Simple Linear Regression ซึ่งกำหนดให้ค่าดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ยตัวแปรอิสระและปริมาตรไม้เฉลี่ยเป็นตัวแปรตาม ดังนี้

$$Y \equiv a \pm b(LAI)$$

เมื่อ LAI = ค่าดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ยของแต่ละแปลงตัวอย่าง
V = ค่าปริมาตรไม้เฉลี่ยของแต่ละแปลงตัวอย่าง

พร้อมทั้งหาความสัมพันธ์โดยการกำหนดรูปแบบสมการความสัมพันธ์เส้นโค้งในรูปแบบอื่น ๆ ได้แก่ แบบลอการิธึม แบบยกกำลัง แบบโพลิโนเมียล และแบบเอ็กโพเนนเชียล เพื่อให้ได้สมการความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดในการประมาณปริมาตร ไม้ยูคาลิปตัสทั้ง 5 ชั้นอายุ

3.4.2 นำค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนกับค่าดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ยมาหาความสัมพันธ์กันโดยใช้การวิเคราะห์สมการถดถอยแบบ Simple Linear Regression ซึ่งกำหนดให้ค่าดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ยตัวแปรอิสระและปริมาตรไม้เฉลี่ยเป็นตัวแปรตาม ดังนี้

$$Y \equiv a \pm b(LAI)$$

เมื่อ LAI = ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบเฉลี่ยของแต่ละแปลงตัวอย่าง

Y = ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินของแต่ละแปลงตัวอย่าง

พร้อมทั้งหาความสัมพันธ์โดยการกำหนดรูปแบบสมการความสัมพันธ์เส้นโค้งในรูปแบบอื่น ๆ ได้แก่ แบบลอการิธึม แบบยกกำลัง แบบโพลิโนเมียล และแบบเอ็กโพเนนเชียล เพื่อให้ได้สมการความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยูคาลิปตัสทั้ง 5 ชั้นอายุ

3.4.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้ กับค่าการสะท้อนแสงจริงในรูปแบบต่าง ๆ มาหาความสัมพันธ์กัน โดยใช้จุดภาพบริเวณเดียวกันกับตำแหน่งแปลงตัวอย่าง พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ ในการตัดสินใจในการเลือกตัวแปรอิสระที่เหมาะสมในการสร้างสมการ และเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ซึ่งมีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + \dots + b_nX_n$$

เมื่อกำหนดให้

Y = ปริมาตรไม้

X_1, X_2, X_3, X_4, X_n = ค่าการสะท้อนจริงที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม SPOT – 5

(G, R, NIR, NIR-R, NIR/R, NDVI และ CCF)

a = ค่าที่เส้นสมการถดถอยตัดแกน y (y – intercept)

b_1, b_2, b_3, b_4, b_n = สัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Coefficient of Regression)

3.4.4 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนกับค่าการสะท้อนแสงจริงในรูปแบบต่าง ๆ มาหาความสัมพันธ์กัน โดยใช้จุดภาพบริเวณเดียวกันกับตำแหน่งแปลงตัวอย่าง พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ ในการตัดสินใจในการเลือกตัวแปรอิสระที่เหมาะสมในการสร้างสมการ และเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ซึ่งมีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + \dots + b_nX_n$$

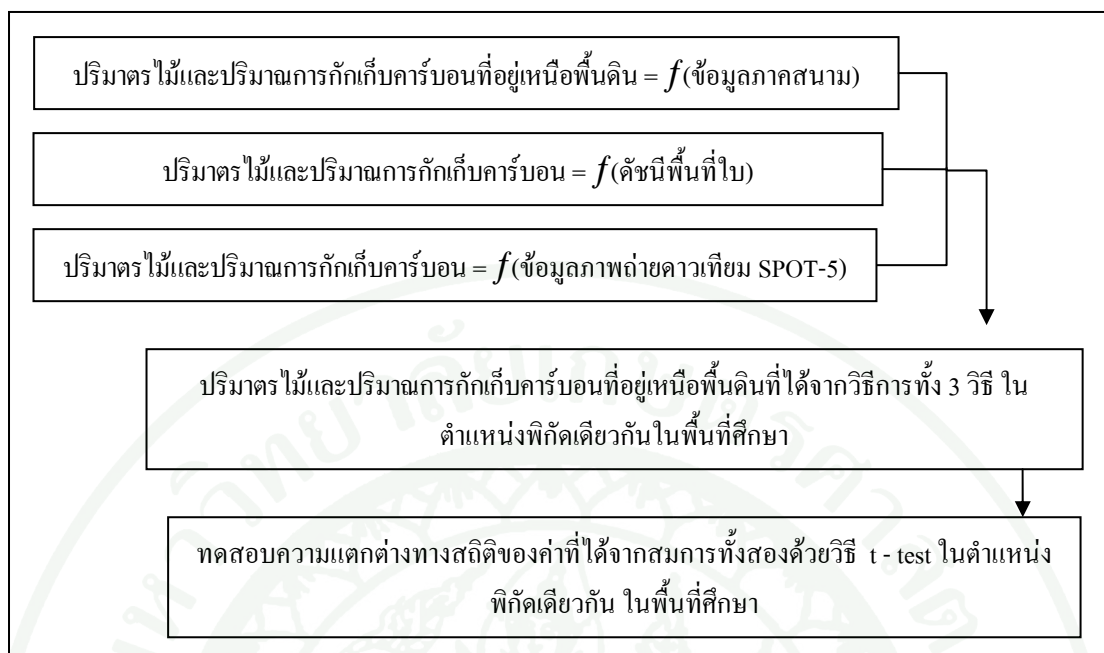
เมื่อกำหนดให้

Y = ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม
 X_1, X_2, X_3, X_4, X_n = ค่าการสะท้อนจริงที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม SPOT – 5 (G, R, NIR, NIR-R, NIR/R, NDVI และ CCF)
 a = ค่าที่เส้นสมการถดถอยตัดแกน y (y – intercept)
 b_1, b_2, b_3, b_4, b_n = สัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Coefficient of Regression)

3.5 การประเมินความถูกต้อง

3.5.1 การประเมินเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการทั้ง 3 วิธี เปรียบเทียบกับผลการศึกษาที่ประมาณได้จากวิธีการมาตรฐาน โดยใช้ข้อมูลทดสอบจากแปลงสำรวจที่ได้วางแผนเก็บข้อมูลเพื่อใช้ทดสอบความแตกต่างของผลการศึกษารวม 15 แปลงตัวอย่าง

3.5.2 การทดสอบความแตกต่าง โดยนำสมการที่ใช้ในการประมาณปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้ง 3 วิธีการ มาคำนวณหาปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินในตำแหน่งพิกัดเดียวกันกับตำแหน่งการเก็บข้อมูลภาคสนามที่เก็บข้อมูลเพื่อทดสอบความแตกต่างของผลการศึกษา โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ t -test แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การทดสอบความแตกต่างของปริมาตรไม้ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม จากค่าดัชนีพื้นที่ใบ และจากข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5

3.6 ประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจจากปริมาตรไม้และการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่า

การประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจของสวนป่าในที่นี้จะคิดเฉพาะรายได้ที่เกิดจากการขายเนื้อไม้และการกักเก็บคาร์บอน โดยใช้ราคาตลาดในการคำนวณรายได้ของสวนป่า ณ ปีที่ศึกษา

รายได้จากปริมาตรไม้ = ปริมาตรไม้ x ราคาตลาด

รายได้จากการกักเก็บคาร์บอน = ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน x ราคาตลาด

โดยมูลค่าทางเศรษฐกิจของปริมาตรไม้คิดเฉพาะไม้อายุ 5 ปี ที่สามารถตัดฟันเพื่อใช้จำหน่ายได้เท่านั้น ซึ่งใช้ราคาเฉลี่ยจากราคาที่บริษัทไม้อัดไทยซึ่งเป็นผู้รับซื้อไม้จากสวนป่าลาดกระบังได้กำหนดรับซื้อ คือ 850 บาทต่อตัน ส่วนมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนใช้ราคาการรับซื้อคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยตามราคาตลาด Chicago Climate Exchange (CCX) คือ 19.80 บาทต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์ พร้อมทั้งเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายจากการใช้แรงงานคนเก็บข้อมูลเพื่อคำนวณหาปริมาตรไม้โดยใช้สมการมาตรฐานกับค่าใช้จ่ายของภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้ประมาณปริมาตรจากข้อมูลจากดาวเทียม

ผลและวิจารณ์

ผล

1. การแปลงค่าข้อมูลเชิงเลข (Digital Number : DN) ไปเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลก (Reflectance)

ผลการแปลงค่าข้อมูลหลักเลขไปเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง พบว่าภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ได้รับการแปลงค่าแล้วมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของภาพเนื่องมาจากค่าการสะท้อนจริงที่ได้จากพื้นผิวโลกเป็นค่าของพลังงานที่สะท้อนออกจากผิวของวัตถุ ซึ่งไม่สามารถกำหนดช่วงของค่าพลังงานได้แน่นอน เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของพื้นผิววัตถุไม่เหมือนกัน ซึ่งเกิดจากการสะท้อน การส่งผ่าน และการดูดซับพลังงานที่แตกต่างกัน ค่ามีลักษณะเป็นข้อมูลแอนาล็อกจะแตกต่างกับค่าข้อมูลเชิงเลข เนื่องจากค่าข้อมูลเชิงเลขเกิดจากการแปลงค่าที่บันทึกด้วยเครื่องบันทึกบนดาวเทียม (Sensor) ให้อยู่ในรูปข้อมูล 8 บิต ทำให้ค่าที่บันทึกได้มีค่าเพียง 256 ค่า (ดังตารางที่ 7) แต่เมื่อพิจารณาจากฮิสโตแกรมของภาพของค่าข้อมูลหลักเลข และค่าการสะท้อนจริงจากพื้นผิวโลก พบว่าค่าฮิสโตแกรมที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน เพราะว่าการแปลงค่าดังกล่าวเป็นเพียงการแปลงจากค่าข้อมูลเชิงเลขที่ดาวเทียมบันทึกได้ไปเป็นค่าพลังงานการสะท้อนจริงที่ได้จากพื้นผิวโลก แต่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงการกระจายของข้อมูลในแต่ละแบนด์ ดังภาพผนวกที่ 17

เมื่อนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 ที่ผ่านการแปลงค่าเลขหลักไปเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงในตำแหน่งเดียวกันแปลงตัวอย่างที่ทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม มาหาค่าการสะท้อนช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ SPOT แบนด์ 1 (G), แบนด์ 2 (R) และแบนด์ 3 (NIR) ค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างแบนด์ (NIR/R) ปฏิบัติการระหว่างแบนด์ (NIR-R) ดัชนีพืชพรรณ (NDVI) และการปกคลุมของเรือนยอด (CCF) ได้ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 7 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่เป็นค่าข้อมูลเชิงเลขของภาพ
ต้นฉบับ และค่าที่แปลงเป็นค่าการสะท้อนจริงจากพื้นผิวโลก

Band	Digital Number		Reflectance	
Band 1	Min = 31	Mean = 139.81	Min = 0.0598	Mean = 0.270
	Max = 255	Median = 139	Max = 0.4918	Median = 0.2674
	Mode = 138	Std. Dev = 20.12	Mode = 0.2657	Std. Dev = 0.039
Band 2	Min = 46	Mean = 86.86	Min = 0.1569	Mean = 0.296
	Max = 255	Median = 80	Max = 0.870	Median = 0.2712
	Mode = 70	Std. Dev = 24.77	Mode = 0.2377	Std. Dev = 0.085
Band 3	Min = 80	Mean = 117.39	Min = 0.4912	Mean = 0.721
	Max = 255	Median = 114	Max = 1.5656	Median = 0.6968
	Mode = 108	Std. Dev = 17.66	Mode = 0.6591	Std. Dev = 0.108

ตารางที่ 8 ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลก (Reflectance) ช่วงคลื่น และค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ

แปลงที่	พิกัดแปลง (UTM)		ค่าการสะท้อนแสง				ดัชนีพืชพรรณ		
	ตะวันออก	เหนือ	แบนด์ 1 (G)	แบนด์ 2 (R)	แบนด์ 3 (NIR)	(NIR – R)	(NIR / R)	NDVI	CCF
1	773209	1494939	0.266	0.669	1.395	0.403	2.515	0.431	1.050
2	775108	1496787	0.239	0.651	1.298	0.412	2.725	0.463	1.053
3	774461	1499338	0.310	0.774	1.861	0.463	2.492	0.427	0.991
4	774941	1496287	0.246	0.669	1.359	0.424	2.724	0.463	1.040
5	772028	1494717	0.232	0.657	1.065	0.425	2.832	0.478	1.041
6	771829	1494178	0.208	0.608	1.040	0.400	2.921	0.490	1.096
7	775438	1496957	0.239	0.657	1.310	0.418	2.751	0.467	1.048
8	773868	1498186	0.246	0.657	1.469	0.411	2.674	0.456	1.048
9	773460	1497908	0.252	0.663	1.481	0.411	2.626	0.448	1.045
10	773629	1498077	0.242	0.675	1.371	0.433	2.788	0.472	1.036
11	773980	1493357	0.239	0.657	1.298	0.418	2.751	0.467	1.050
12	772940	1492446	0.259	0.688	1.420	0.428	2.625	0.452	1.029
13	773670	1496657	0.225	0.639	1.249	0.413	2.836	0.479	1.051
14	774480	1496959	0.239	0.663	1.273	0.424	2.776	0.47	1.038
15	773947	1498966	0.239	0.651	1.261	0.412	2.725	0.463	1.047

ตารางที่ 8 (ต่อ)

แปลงที่	พิกัดแปลง (UTM)		ค่าการสะท้อนแสง				ดัชนีพืชพรรณ		
	ตะวันออก	เหนือ	แบนด์ 1 (G)	แบนด์ 2 (R)	แบนด์ 3 (NIR)	(NIR – R)	(NIR / R)	NDVI	CCF
16	772634	1493663	0.232	0.639	1.200	0.407	2.752	0.467	1.058
17	771960	1492825	0.215	0.626	1.163	0.411	2.913	0.489	1.058
18	771195	1492390	0.242	0.669	1.187	0.427	2.763	0.468	1.038
19	774494	1499104	0.235	0.657	1.187	0.422	2.791	0.472	1.037
20	774128	1495689	0.249	0.682	1.249	0.432	2.736	0.465	1.037
21	775519	1497453	0.235	0.645	1.261	0.409	2.738	0.465	1.058
22	775543	1498028	0.242	0.669	1.163	0.427	2.763	0.468	1.032
23	774182	1495607	0.256	0.675	1.257	0.419	2.639	0.450	1.037
24	775638	1497435	0.225	0.639	1.138	0.413	2.836	0.479	1.052
25	774363	1494688	0.242	0.657	1.371	0.415	2.712	0.461	1.046
26	774778	1494445	0.246	0.663	1.285	0.417	2.699	0.459	1.043
27	773351	1492924	0.249	0.663	1.249	0.414	2.662	0.454	1.045
28	772140	1492389	0.242	0.663	1.236	0.421	2.737	0.465	1.037
29	771780	1492190	0.229	0.651	0.979	0.422	2.847	0.480	1.041
30	769985	1493786	0.263	0.669	1.289	0.407	2.547	0.436	1.057

ตารางที่ 8 (ต่อ)

แปลงที่	พิกัดแปลง (UTM)		ค่าการสะท้อนแสง				ดัชนีพืชพรรณ		
	ตะวันออก	เหนือ	แบนด์ 1 (G)	แบนด์ 2 (R)	แบนด์ 3 (NIR)	(NIR – R)	(NIR / R)	NDVI	CCF
31	768825	1492377	0.218	0.651	1.163	0.432	2.980	0.498	1.054
32	773273	1496315	0.232	0.657	1.236	0.425	2.832	0.478	1.036
33	773813	1495420	0.252	0.682	1.334	0.429	2.699	0.459	1.033
34	774062	1494414	0.232	0.645	1.126	0.413	2.779	0.471	1.049
35	772707	1494791	0.215	0.639	1.200	0.385	2.879	0.484	1.080
36	771577	1493654	0.229	0.645	1.263	0.416	2.820	0.476	1.047
37	771720	1493170	0.212	0.620	1.077	0.409	2.931	0.491	1.059
38	770044	1491149	0.232	0.651	1.028	0.419	2.805	0.474	1.050
39	769996	1491090	0.444	0.909	1.506	0.465	2.049	0.344	0.900
40	769999	1491052	0.225	0.645	1.126	0.419	2.836	0.482	1.051
41	769249	1491095	0.232	0.651	1.089	0.419	2.805	0.474	1.050
42	769770	1490804	0.290	0.718	1.359	0.428	2.477	0.425	1.021
43	772472	1493280	0.242	0.639	1.261	0.399	2.624	0.448	1.062
44	772286	1495297	0.198	0.602	0.918	0.404	3.041	0.505	1.071
45	772282	1495837	0.194	0.589	0.943	0.395	3.031	0.504	1.075

ตารางที่ 8 (ต่อ)

แปลงที่	พิกัดแปลง (UTM)		ค่าการสะท้อนแสง				ดัชนีพืชพรรณ		
	ตะวันออก	เหนือ	แบนด์ 1 (G)	แบนด์ 2 (R)	แบนด์ 3 (NIR)	(NIR – R)	(NIR / R)	NDVI	CCF
46	775270	1499247	0.212	0.632	0.832	0.421	2.989	0.499	1.049
47	773710	1495928	0.218	0.632	1.053	0.414	2.896	0.487	1.056
48	772157	1494198	0.218	0.626	1.089	0.408	2.868	0.483	1.058
49	775169	1495129	0.208	0.620	1.089	0.412	2.980	0.497	1.058
50	775002	1496538	0.232	0.639	1.163	0.407	2.752	0.467	1.058
51	773009	1495966	0.215	0.632	1.065	0.417	2.942	0.493	1.052
52	772958	1497546	0.215	0.620	0.783	0.405	2.885	0.485	1.062
53	772693	1495118	0.208	0.608	1.028	0.400	2.921	0.490	1.067
54	770763	1491326	0.232	0.645	1.016	0.413	2.779	0.471	1.054
55	771021	1490721	0.225	0.620	1.175	0.395	2.754	0.467	1.071
56	769698	1493454	0.270	0.700	1.224	0.430	2.597	0.444	1.028
57	769239	1492848	0.246	0.706	1.053	0.460	2.874	0.484	1.015
58	774702	1495592	0.249	0.663	1.322	0.414	2.662	0.454	1.041
59	772597	1495357	0.215	0.626	1.138	0.411	2.913	0.489	1.058
60	773776	1496297	0.215	0.639	1.102	0.424	2.971	0.496	1.049

ตารางที่ 8 (ต่อ)

แปลงที่	พิกัดแปลง (UTM)		ค่าการสะท้อนแสง				ดัชนีพืชพรรณ		
	ตะวันออก	เหนือ	แบนด์ 1 (G)	แบนด์ 2 (R)	แบนด์ 3 (NIR)	(NIR – R)	(NIR / R)	NDVI	CCF
61	773640	1497859	0.212	0.626	1.126	0.415	2.960	0.495	1.053
62	774796	1495558	0.239	0.669	1.249	0.420	2.687	0.458	1.036
63	772881	1493984	0.208	0.620	1.126	0.412	2.980	0.497	1.057
64	770936	1493679	0.205	0.614	1.028	0.409	2.999	0.500	1.063
65	771542	1493531	0.273	0.699	1.163	0.396	2.452	0.421	1.062
66	771350	1492744	0.208	0.614	1.016	0.406	2.95	0.494	1.064
67	773603	1494414	0.208	0.614	0.992	0.406	2.950	0.494	1.064
68	772979	1493316	0.212	0.620	1.065	0.409	2.931	0.491	1.063
69	772630	1493067	0.222	0.626	1.065	0.404	2.824	0.477	1.064
70	775423	1497078	0.239	0.651	1.224	0.412	2.755	0.463	1.052
71	772817	1495155	0.212	0.626	1.114	0.415	2.960	0.495	1.056
72	774398	1498600	0.235	0.657	1.126	0.422	2.791	0.472	1.040
73	772440	1494888	0.208	0.614	0.832	0.406	2.950	0.494	1.057
74	772139	1493106	0.215	0.626	1.028	0.411	2.913	0.489	1.055
75	770977	1492284	0.225	0.645	1.028	0.419	2.836	0.482	1.050

ตารางที่ 8 (ต่อ)

แปลงที่	พิกัดแปลง (UTM)		ค่าการสะท้อนแสง				ดัชนีพืชพรรณ		
	ตะวันออก	เหนือ	แบนด์ 1 (G)	แบนด์ 2 (R)	แบนด์ 3 (NIR)	(NIR – R)	(NIR / R)	NDVI	CCF
76	770995	1492239	0.225	0.639	1.016	0.413	2.836	0.479	1.043
77	773081	1493381	0.229	0.657	1.334	0.428	2.874	0.484	1.043
78	771378	1495537	0.208	0.620	1.016	0.412	2.980	0.497	1.053
79	771406	1495477	0.205	0.620	1.028	0.415	3.029	0.504	1.056
80	770935	1495190	0.239	0.688	1.200	0.449	2.879	0.484	1.021
81	771176	1494998	0.235	0.682	1.102	0.446	2.895	0.487	1.020
82	769036	1492547	0.218	0.639	0.943	0.420	2.924	0.490	1.056
83	768880	1492364	0.208	0.632	0.979	0.424	3.039	0.505	1.058
84	774199	1494651	0.205	0.596	0.869	0.391	2.909	0.488	1.080
85	774418	1494721	0.218	0.620	1.028	0.402	2.840	0.479	1.058

2. ค่าดัชนีพื้นที่ใบ มวลชีวภาพ ปริมาตรและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้ทั้ง 85 แปลง

นำข้อมูลที่ได้จากภาคสนามมาทำการเฉลี่ยให้ข้อมูลให้อยู่ในรูปของแปลงตัวอย่างขนาด 10 x 10 เมตร ซึ่งมีพื้นที่ 100 ตารางเมตร เพื่อให้สอดคล้องกับขนาดของจุดภาพที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 และถือว่าข้อมูลที่ได้รับการเฉลี่ยแล้วเป็นค่าที่ได้จากข้อมูลภาคสนามที่จะนำมาใช้ในการศึกษาซึ่งข้อมูลที่ได้แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าดัชนีพื้นที่ใบ มวลชีวภาพ ปริมาตร และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ในแปลงตัวอย่าง

แปลง ที่	ความสูง เฉลี่ย (ม.)	DBH เฉลี่ย (ซม.)	ดัชนีพื้นที่ ใบ	มวลชีวภาพ (กก./100ม ²)	การกักเก็บ คาร์บอน (กก./100ม ²)	ปริมาตรไม้ (ลบ.ม./100ม ²)
1	3.54	3.56	0.47	180.69	90.34	0.11
2	4.25	5.82	0.50	200.88	100.44	0.13
3	3.52	3.52	0.46	179.56	89.78	0.11
4	4.50	5.82	0.50	202.69	101.34	0.13
5	5.28	6.24	0.56	205.69	102.84	0.14
6	4.39	5.86	0.60	204.69	102.34	0.13
7	4.25	5.84	0.52	204.56	102.28	0.13
8	4.42	5.82	0.49	200.38	100.19	0.12
9	3.60	3.62	0.49	192.25	96.13	0.11
10	5.30	6.38	0.55	206.94	103.47	0.14
11	5.25	6.24	0.54	213.94	106.97	0.15
12	4.45	5.84	0.47	200.69	100.34	0.12
13	5.24	6.26	0.58	219.88	109.94	0.15
14	7.47	6.63	0.68	272.50	136.25	0.17
15	6.87	5.61	0.63	259.63	129.81	0.16
16	5.42	5.59	0.61	242.00	121.00	0.15
17	8.41	7.50	0.75	283.88	141.94	0.19
18	7.68	7.12	0.67	277.44	138.72	0.18
19	7.71	7.16	0.72	279.50	139.75	0.18

ตารางที่ 9 (ต่อ)

แปลง ที่	ความสูง เฉลี่ย (ม.)	DBH เฉลี่ย (ซม.)	ดัชนีพื้นที่ ใบ	มวลชีวภาพ (กก./100ม ²)	การกักเก็บ คาร์บอน (กก./100ม ²)	ปริมาตรไม้ (ลบ.ม./100ม ²)
20	8.56	7.48	0.64	282.56	141.28	0.19
21	7.79	7.25	0.65	276.06	138.03	0.18
22	7.74	7.23	0.66	281.88	140.94	0.18
23	7.45	6.74	0.60	268.13	134.06	0.17
24	8.56	7.78	0.72	289.44	144.72	0.20
25	7.52	6.62	0.61	262.19	131.09	0.17
26	7.61	6.87	0.61	263.25	131.63	0.17
27	6.73	5.74	0.60	252.25	126.13	0.16
28	7.68	7.29	0.64	274.69	137.34	0.18
29	8.41	7.92	0.74	287.63	143.81	0.20
30	7.57	7.23	0.63	280.38	140.19	0.18
31	8.57	7.78	0.79	291.50	145.75	0.20
32	8.52	7.55	0.73	286.50	143.25	0.20
33	6.71	5.62	0.61	257.38	128.69	0.16
34	8.23	7.86	0.69	286.13	143.06	0.19
35	9.55	8.24	0.85	395.25	197.63	0.32
36	9.50	8.20	0.84	395.00	197.50	0.32
37	9.68	9.14	0.86	405.38	202.69	0.33
38	9.50	8.43	0.84	395.19	197.59	0.32
39	9.45	7.86	0.81	384.81	192.41	0.31
40	9.52	8.32	0.85	399.00	199.50	0.32
41	9.42	7.51	0.83	384.75	192.38	0.31
42	9.54	8.20	0.81	387.75	193.88	0.32
43	9.55	8.54	0.83	392.06	196.03	0.32
44	9.60	9.20	0.86	405.31	202.66	0.33
45	9.65	9.22	0.88	404.44	202.22	0.33
46	9.66	9.16	0.87	402.00	201.00	0.33

ตารางที่ 9 (ต่อ)

แปลง ที่	ความสูง เฉลี่ย (ม.)	DBH เฉลี่ย (ซม.)	ดัชนีพื้นที่ ใบ	มวลชีวภาพ (กก./100ม ²)	การกักเก็บ คาร์บอน (กก./100ม ²)	ปริมาตรไม้ (ลบ.ม./100ม ²)
47	9.56	8.50	0.86	399.13	199.56	0.32
48	9.52	8.52	0.85	397.56	198.78	0.32
49	9.64	9.20	0.87	399.88	199.94	0.33
50	10.35	9.16	0.90	559.75	279.88	0.37
51	10.20	9.23	0.97	561.13	280.56	0.38
52	10.10	9.25	0.95	561.38	280.69	0.38
53	10.16	9.25	0.97	562.13	281.06	0.39
54	9.78	9.31	0.92	561.06	280.53	0.37
55	9.80	9.24	0.91	557.75	278.88	0.37
56	9.82	9.26	0.85	558.19	279.09	0.35
57	9.62	9.34	0.94	561.63	280.81	0.38
58	10.12	9.18	0.85	556.75	278.38	0.35
59	10.25	9.34	0.96	584.94	292.47	0.42
60	10.72	9.57	1.08	599.44	299.72	0.45
61	10.85	9.52	1.00	596.44	298.22	0.45
62	10.64	9.24	0.87	578.31	289.16	0.40
63	10.80	9.58	1.11	602.63	301.31	0.45
64	10.74	9.55	1.15	604.63	302.31	0.46
65	9.76	9.35	0.82	565.31	282.66	0.39
66	10.80	9.57	0.99	601.13	300.56	0.45
67	10.66	9.48	0.98	594.19	297.09	0.44
68	10.54	9.42	0.97	590.13	295.06	0.43
69	10.41	9.46	0.92	575.88	287.94	0.41
70	10.45	9.38	0.89	573.38	286.69	0.40
71	10.60	9.61	1.00	597.88	298.94	0.45
72	10.55	9.60	0.94	694.00	347.00	0.41
73	11.67	10.67	0.99	703.63	351.81	0.58

ตารางที่ 9 (ต่อ)

แปลง ที่	ความสูง เฉลี่ย (ม.)	DBH เฉลี่ย (ซม.)	ดัชนีพื้นที่ ใบ	มวลชีวภาพ (กก./100ม ²)	การกักเก็บ คาร์บอน (กก./100ม ²)	ปริมาณไม้ (ลบ.ม./100ม ²)
74	12.31	9.71	1.06	725.88	362.94	0.57
75	10.63	9.58	0.92	705.44	352.72	0.42
76	10.86	9.54	0.95	720.94	360.47	0.42
77	11.71	10.54	0.99	721.00	360.50	0.57
78	12.68	9.82	1.06	726.50	363.25	0.58
79	11.43	10.48	1.10	715.69	357.84	0.56
80	10.45	9.65	0.95	699.56	349.78	0.42
81	11.27	9.36	0.95	703.94	351.97	0.42
82	11.65	10.41	1.03	717.94	358.97	0.56
83	11.21	10.43	1.15	740.00	370.00	0.54
84	12.10	9.75	1.03	711.00	355.50	0.56
85	12.30	9.68	0.97	723.88	361.94	0.57

จากตารางที่ 9 พบว่าค่าดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ยของไม้อายุ 1 ปีเท่ากับ 0.50 ค่าดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ยของไม้อายุ 2 ปีเท่ากับ 0.66 ค่าดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ยของไม้อายุ 3 ปีเท่ากับ 0.85 ค่าดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ยของไม้อายุ 4 ปีเท่ากับ 0.95 ค่าดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ยของไม้อายุ 5 ปีเท่ากับ 1.01 และค่าดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ยของไม้ทั้ง 5 ชั้นอายุเท่ากับ 0.80

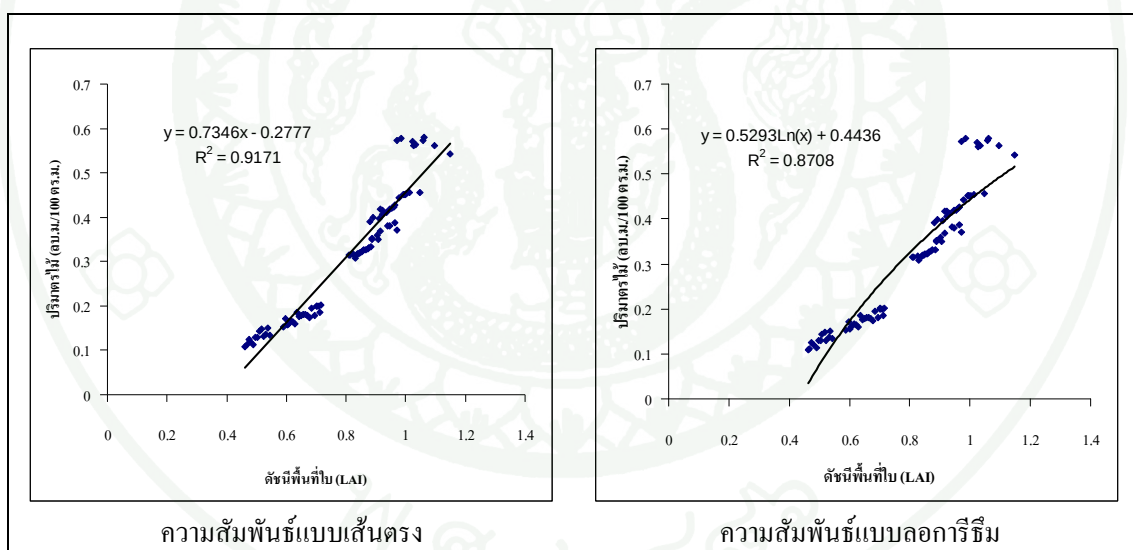
มวลชีวภาพของไม้ยูคาลิปตัส คามาสดูเลนซิสทั้ง 5 ชั้นอายุ จากการคำนวณโดยใช้สมการของชิงชัยและคณะ (2548) พบว่ามวลชีวภาพเฉลี่ยของไม้อายุ 1 ปีเท่ากับ 3,215.84 กิโลกรัมต่อไร่ มวลชีวภาพเฉลี่ยของไม้อายุ 2 ปีเท่ากับ 4,384.64 กิโลกรัมต่อไร่ มวลชีวภาพเฉลี่ยของไม้อายุ 3 ปีเท่ากับ 6,344 กิโลกรัมต่อไร่ มวลชีวภาพของไม้อายุ 4 ปีเท่ากับ 9,239.20 กิโลกรัมต่อไร่ มวลชีวภาพของไม้อายุ 5 ปีเท่ากับ 11,439.36 กิโลกรัมต่อไร่ มวลชีวภาพเฉลี่ยของไม้ทั้ง 5 ชั้นอายุเท่ากับ 6,970.08 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมวลชีวภาพเฉลี่ยรวมทั้งหมดของไม้ทั้ง 5 ชั้นอายุเท่ากับ 38,127.91 ตัน

3. การศึกษาความสัมพันธ์

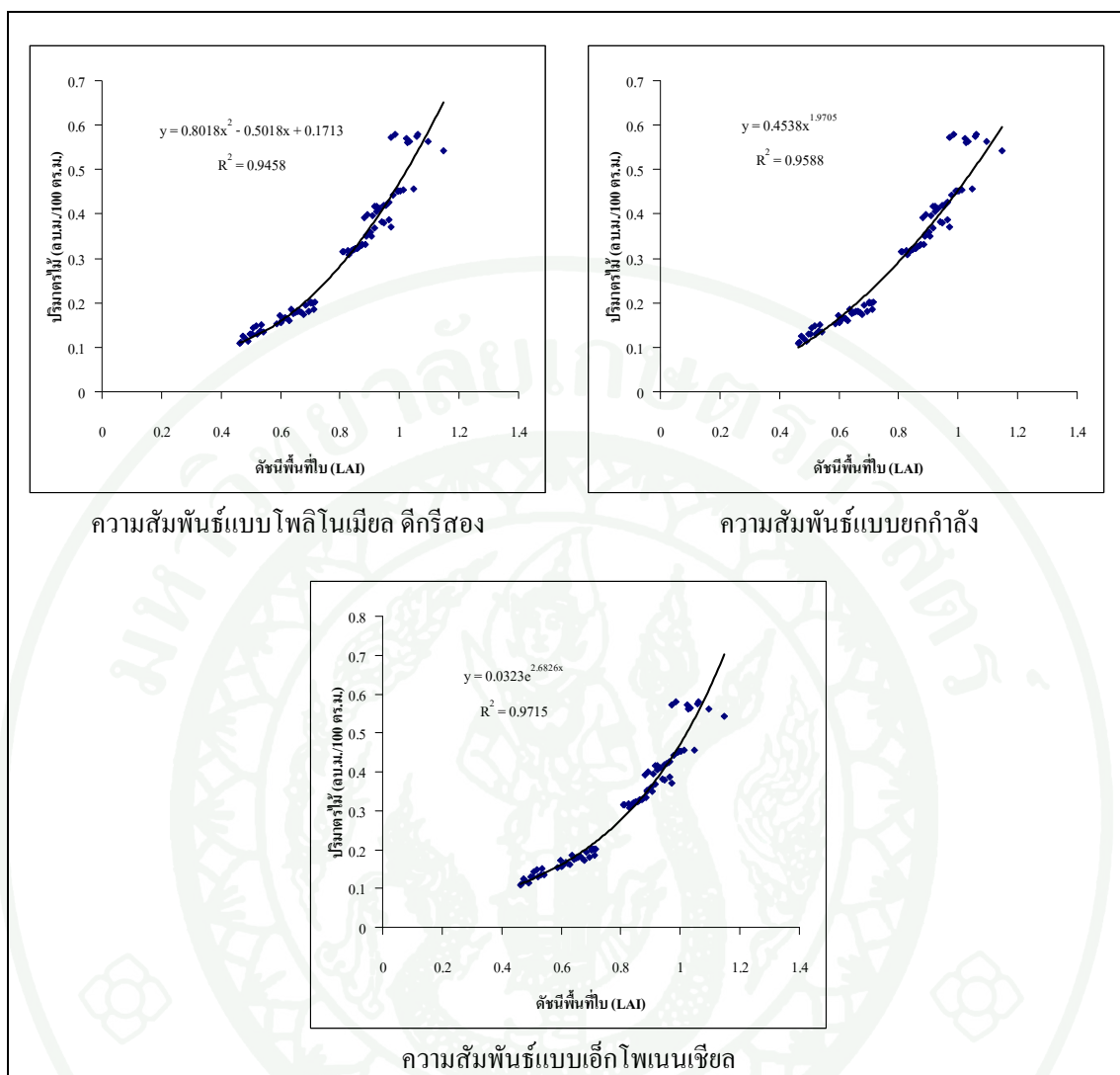
จากการเก็บข้อมูลความโตและความสูงของไม้ในแปลงตัวอย่าง พร้อมทั้งถ่ายภาพโครงสร้างเรือนยอดจากภาคสนาม นำข้อมูลทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์หาปริมาตรไม้ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน และค่าดัชนีพื้นที่ใบดังตารางที่ 9 ผลที่ได้นำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในลักษณะต่างๆ ดังนี้

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้กับค่าดัชนีพื้นที่ใบ

นำปริมาตรไม้กับค่าดัชนีพื้นที่ใบที่คำนวณได้ตามตารางที่ 9 มาหาความสัมพันธ์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งกำหนดให้ปริมาตรไม้เป็นตัวแปรตาม และค่าดัชนีพื้นที่ใบเป็นตัวแปรอิสระ สามารถพล็อตกราฟความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้กับค่าดัชนีพื้นที่ใบของไม้รวมทุกชั้นอายุ



ภาพที่ 11 (ต่อ)

จากผลการวิเคราะห์การถดถอย (ภาพที่ 11) แสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตรไม้กับค่าดัชนีพื้นที่ใบเป็นไปในทิศทางที่เป็นบวก หมายความว่าเมื่อค่าดัชนีพื้นที่ที่มีค่า เพิ่มขึ้น ปริมาตรไม้จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามด้วย

การศึกษาค้างนี้พิจารณาเลือกสมการจากค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ที่มีค่ามากที่สุด พบว่าไม่ว่าทั้ง 5 ชนิดอายุ มีรูปแบบความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล ดิคริสอง ให้ค่า R^2 มากที่สุด แต่เมื่อ รวมข้อมูลปริมาตรไม้ของไม้ทุกชนิดอายุ พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์แบบเอ็กโปเนนเชียลให้ค่า R^2 มากที่สุด ซึ่งสมการที่สามารถใช้ในการประมาณปริมาตรไม้ในสวนป่านี้ คือ

ไม้อายุ 1 ปี	$V = -2.0007(\text{LAI})^2 + 2.3242(\text{LAI}) - 0.5372$	$R^2 = 0.89$	(3)
ไม้อายุ 2 ปี	$V = -0.785(\text{LAI})^2 + 1.2908(\text{LAI}) - 0.3306$	$R^2 = 0.71$	(4)
ไม้อายุ 3 ปี	$V = 5.1489(\text{LAI})^2 - 8.3756(\text{LAI}) + 3.7201$	$R^2 = 0.84$	(5)
ไม้อายุ 4 ปี	$V = -0.2808(\text{LAI})^2 + 0.9008(\text{LAI}) - 0.1957$	$R^2 = 0.62$	(6)
ไม้อายุ 5 ปี	$V = -9.6729(\text{LAI})^2 + 20.618(\text{LAI}) - 10.397$	$R^2 = 0.79$	(7)
รวมทุกชั้นอายุ	$V = 0.0323e^{2.6826(\text{LAI})}$	$R^2 = 0.97$	(8)

เมื่อ V = ปริมาตร ไม้ (ลูกบาศก์เมตรต่อจุดภาพหรือ 100 ตารางเมตร)
 LAI = ค่าดัชนีพื้นที่ใบ

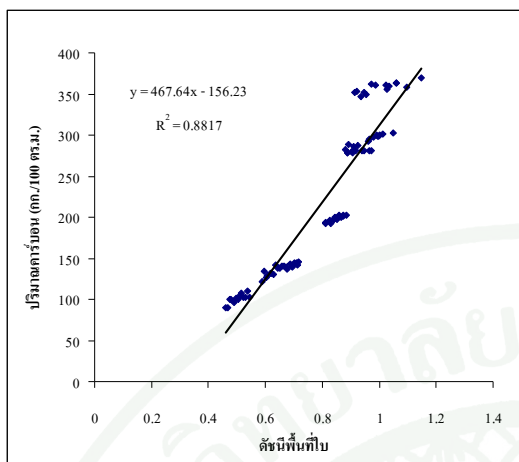
นำปริมาตร ไม้ และค่าดัชนีพื้นที่ใบของไม้ทุกชั้นอายุมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ที่ได้ โดยการตั้งสมมติฐานจากตัวทดสอบสถิติแบบ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังต่อไปนี้

“ปริมาตร ไม้ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพื้นที่ใบในรูปแบบสมการเชิงเส้น”

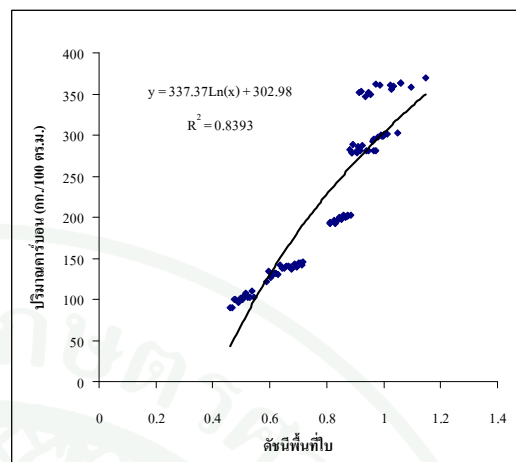
จากการทดสอบสมมติฐานโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยตัวทดสอบสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) พบว่าปริมาตร ไม้ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพื้นที่ใบในรูปแบบสมการเชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\text{Sig} \leq \alpha$) (ตารางผนวกที่ 1)

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับค่าดัชนีพื้นที่ใบ

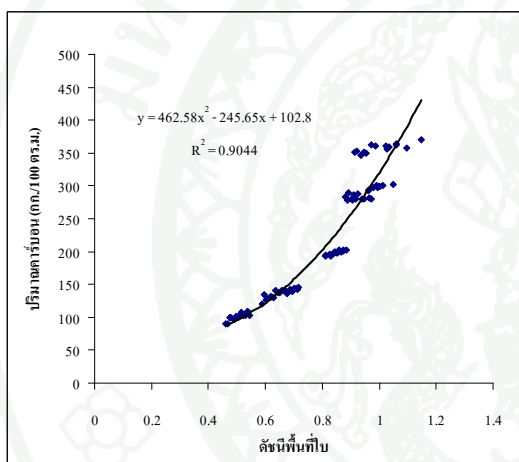
นำปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับค่าดัชนีพื้นที่ใบที่คำนวณได้ตามตารางที่ 8 มาหาความสัมพันธ์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งกำหนดให้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินเป็นตัวแปรตาม และค่าดัชนีพื้นที่ใบเป็นตัวแปรอิสระ สามารถพล็อตกราฟความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 12



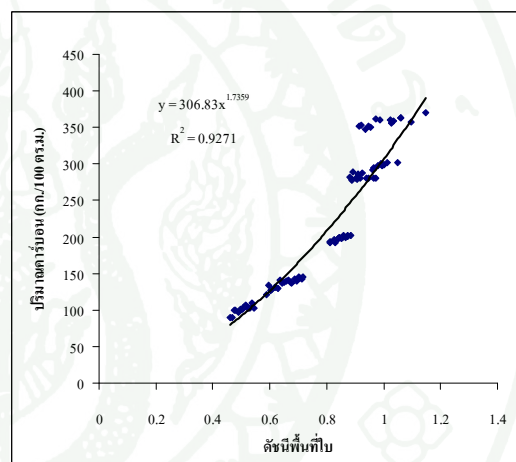
ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง



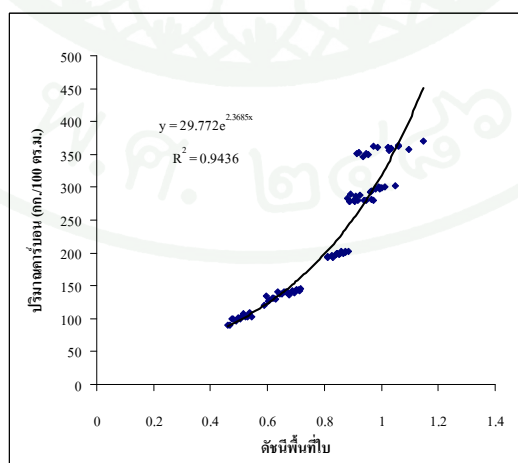
ความสัมพันธ์แบบลอการิธึม



ความสัมพันธ์แบบพหุนาม ดีกรีสอง



ความสัมพันธ์แบบยกกำลัง



ความสัมพันธ์แบบเอ็กโปเนนเชียล

ภาพที่ 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้กับค่าดัชนีพื้นที่ใบของไม้รวมทุกชั้นอายุ

จากผลการวิเคราะห์การถดถอย (ภาพที่ 12) แสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับค่าดัชนีพื้นที่ใบเป็นไปในทิศทางที่เป็นบวก หมายความว่าเมื่อค่าดัชนีพื้นที่ใบมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามด้วย

การศึกษานี้พิจารณาเลือกสมการจากค่า R^2 ที่มีค่ามากที่สุด พบว่าไม้ทั้ง 5 ชั้นอายุ มีรูปแบบความสัมพันธ์แบบพหุนาม ดีกรีสองให้ค่า R^2 มากที่สุด แต่เมื่อรวมข้อมูลปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ทุกชั้นอายุ พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์แบบเอ็กโพเนนเชียลให้ค่า R^2 มากที่สุด ซึ่งสมการที่สามารถใช้ประมาณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ในสวนป่า คือ

$$\text{ไม้อายุ 1 ปี} \quad C = -1,414.8(\text{LAI})^2 + 1,585.2(\text{LAI}) - 338.55 \quad R^2 = 0.81 \quad (9)$$

$$\text{ไม้อายุ 2 ปี} \quad C = -612.49(\text{LAI})^2 + 927.25(\text{LAI}) - 206.91 \quad R^2 = 0.68 \quad (10)$$

$$\text{ไม้อายุ 3 ปี} \quad C = -317.33(\text{LAI})^2 + 687.52(\text{LAI}) - 156.18 \quad R^2 = 0.82 \quad (11)$$

$$\text{ไม้อายุ 4 ปี} \quad C = -45.49(\text{LAI})^2 + 176.05(\text{LAI}) + 162.61 \quad R^2 = 0.68 \quad (12)$$

$$\text{ไม้อายุ 5 ปี} \quad C = -115.55(\text{LAI})^2 + 310.79(\text{LAI}) + 162.3 \quad R^2 = 0.63 \quad (13)$$

$$\text{รวมทุกชั้นอายุ} \quad C = 29.772e^{2.3685(\text{LAI})} \quad R^2 = 0.94 \quad (14)$$

เมื่อ C = ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน
(กิโลกรัมต่อจุดภาพหรือ 100 ตารางเมตร)
 LAI = ค่าดัชนีพื้นที่ใบ

นำปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน และค่าดัชนีพื้นที่ใบของไม้ทุกชั้นอายุมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ที่ได้ โดยการตั้งสมมติฐานจากตัวทดสอบสถิติแบบ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังต่อไปนี้

“ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินมีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบ”

จากการทดสอบสมมติฐานโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยตัวทดสอบสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) พบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินมี

ความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพื้นที่ใบในรูปแบบสมการเชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\text{Sig} \leq \alpha$) (ตารางผนวกที่ 2)

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม SPOT-5

ทำการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน(ภาพผนวกที่ 1-6) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมได้แก่ SPOT แบนด์ 1 (G), แบนด์ 2 (R) และแบนด์ 3 (NIR) ค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณได้แก่ อัตราส่วนระหว่างแบนด์ (NIR/R) การปฏิบัติระหว่างแบนด์ (NIR-R) ดัชนีพืชพรรณ (NDVI) และการปกคลุมของเรือนยอด (CCF) ที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ซึ่งได้รูปแบบสมการที่สามารถใช้ประมาณปริมาตรไม้ได้ดังนี้

ไม้อายุ 1 ปี	$V = -0.121 + 0.535(\text{NDVI})$	$R^2 = 0.92$ (21)
ไม้อายุ 2 ปี	$V = 0.321 - 0.117(\text{NIR})$	$R^2 = 0.65$ (22)
ไม้อายุ 3 ปี	$V = 0.352 - 0.027(\text{NIR})$	$R^2 = 0.68$ (23)
ไม้อายุ 4 ปี	$V = 0.851 + 1.967(\text{NIR/R}) - 12.613(\text{NDVI})$	$R^2 = 0.80$ (24)
ไม้อายุ 5 ปี	$V = 1.586 - 4.887(\text{G})$	$R^2 = 0.77$ (25)
รวมทุกชั้นอายุ	$V = 0.882 - 0.492(\text{NIR})$	$R^2 = 0.59$ (26)

นำปริมาตรไม้กับค่า G ค่า NIR ค่า NIR/R และค่า NDVI ที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT -5 มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ที่ได้ โดยการตั้งสมมติฐานอย่างง่ายจากตัวทดสอบสถิติแบบ F-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ดังต่อไปนี้

“ปริมาตรไม้มีความสัมพันธ์กับค่า G ค่า NIR ค่า NIR/R และค่า NDVI ที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT -5”

จากการทดสอบสมมติฐานโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน ด้วยตัวทดสอบสถิติ F-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($\alpha = 0.05$) พบว่าปริมาตรไม้มีความสัมพันธ์กับการสะท้อนแสงจริงที่อยู่ในรูปแบบต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\text{Sig} \leq \alpha$) (ตารางผนวกที่ 3)

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม SPOT-5

ทำการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน(ภาพผนวกที่ 7-12) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมได้แก่ SPOT แบนด์ 1 (G), แบนด์ 2 (R) และแบนด์ 3 (NIR) ค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณได้แก่ อัตราส่วนระหว่างแบนด์ (NIR/R) การปฏิบัติระหว่างแบนด์ (NIR-R) ดัชนีพืชพรรณ (NDVI) และการปกคลุมของเรือนยอด (CCF) ที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ซึ่งได้รูปแบบสมการที่สามารถใช้ประมาณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินได้ดังนี้

ไม้อายุ 1 ปี	$C = -85.766 + 1,261.962(NDVI) - 145.872(NIR/R)$	$R^2 = 0.97$ (27)
ไม้อายุ 2 ปี	$C = 190.248 - 43.651(NIR)$	$R^2 = 0.57$ (28)
ไม้อายุ 3 ปี	$C = 168.679 + 10.553(NIR/R)$	$R^2 = 0.79$ (29)
ไม้อายุ 4 ปี	$C = 393.048 + 476.275(NIR/R) - 3,045.906(NDVI)$	$R^2 = 0.83$ (30)
ไม้อายุ 5 ปี	$C = 438.173 - 367.632(G)$	$R^2 = 0.70$ (31)
รวมทุกชั้นอายุ	$C = 576.895 - 308.856(NIR)$	$R^2 = 0.57$ (32)

นำปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับค่า G ค่า NIR ค่า NIR/R และค่า NDVI ที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT -5 มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ที่ได้ โดยการตั้งสมมติฐานอย่างง่ายจากตัวทดสอบสถิติแบบ F-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ดังต่อไปนี้

“ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินไม่มีความสัมพันธ์กับค่า G ค่า NIR ค่า NIR/R และค่า NDVI ที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT -5”

จากการทดสอบสมมติฐานโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน ด้วยตัวทดสอบสถิติ F-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($\alpha = 0.05$) พบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินมีความสัมพันธ์กับค่าการสะท้อนแสงจริงที่อยู่ในรูปแบบต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญทาง (Sig $\leq \alpha$) (ตารางผนวกที่ 4)

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม พบว่าข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่มีความสัมพันธ์กับปริมาตรและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินได้แก่ ค่า G ค่า NIR ค่า NIR/R และค่า NDVI ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ สุกฤดี (2546) ที่ศึกษาการประมาณปริมาตรไม้โดยใช้เทคนิคการสำรวจจากระยะไกลในสวนป่าเกริงกระเวีย จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งพบว่าค่า NDVI มีความสัมพันธ์กับปริมาตรไม้ในสวนป่าเกริงกระเวีย ทั้งนี้เป็นเพราะค่า NDVI เป็นดัชนีที่ใช้สามารถแบ่งแยกพืชออกจากวัตถุอื่นได้อย่างชัดเจน

4. ปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ

4.1 ปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินจากการใช้สมการมาตรฐาน

การประมาณปริมาตรไม้และการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน โดยปริมาตรไม้ใช้สมการมาตรฐานของสวนป่าลาดกระทิง และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนใช้การประมาณจากมวลชีวภาพ ซึ่งมีรูปแบบความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{ปริมาตรไม้} = f(\text{ข้อมูลภาคสนาม})$$

$$\text{ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน} = f(\text{ข้อมูลภาคสนาม})$$

ผลการประมาณปริมาตรไม้โดยใช้สมการมาตรฐานตามสวนป่าลาดกระทิง พบว่า ปริมาตรของไม้อายุ 1 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 4,999.44 ลูกบาศก์เมตร หรือ 2.06 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ปริมาตรของไม้อายุ 2 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 1,953.84 ลูกบาศก์เมตร หรือ 2.85 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ปริมาตรของไม้อายุ 3 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 9,884.32 ลูกบาศก์เมตร หรือ 5.15 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ปริมาตรของไม้อายุ 4 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 5,145.38 ลูกบาศก์เมตร หรือ 6.48 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ปริมาตรของไม้อายุ 5 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 5,624.07 ลูกบาศก์เมตร หรือ 8.22 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ คิดเป็นปริมาตรไม้รวมทั้งหมดของสวนป่าลาดกระทิงที่ประมาณได้จากข้อมูลภาคสนามเท่ากับ 27,607.05 ลูกบาศก์เมตร

เมื่อประมาณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินโดยใช้การประมาณจากมวลชีวภาพ พบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้อายุ 1 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 3,889.10 ตันคาร์บอน หรือ 14,195.22

ตันคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 1,605.58 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้อายุ 2 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 1,504.02 ตันคาร์บอน หรือ 5,489.67 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 2,192.32 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้อายุ 3 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 6,085.61 ตันคาร์บอน หรือ 22,212.48 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 3,172 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้อายุ 4 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 3,669.99 ตันคาร์บอน หรือ 13,395.46 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 4,621.91 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเฉลี่ยของไม้อายุ 5 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 3,911.46 ตันคาร์บอน หรือ 14,276.83 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 5,719.68 กิโลกรัมต่อ คัดเป็นปริมาณการกักเก็บคาร์บอนรวมทั้งหมดของสวนป่าลาดกระทิงที่ประมาณได้จากข้อมูลภาคสนามเท่ากับ 19,060.18 ตันคาร์บอน หรือ 69,569.66 ตันคาร์บอนไดออกไซด์

4.2 ปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบ

การประมาณปริมาตรไม้และการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน โดยใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากภาคสนาม ซึ่งอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากภาคสนามดังนี้

ปริมาตรไม้ = f (ดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากภาคสนาม)

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน = f (ดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากภาคสนาม)

ผลการประมาณปริมาตรไม้โดยแทนค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากภาคสนามลงในสมการที่ 33-7 พบว่าปริมาตรไม้อายุ 1 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 5,115.71 ลูกบาศก์เมตร หรือ 2.11 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ปริมาตรไม้อายุ 2 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 1,953.84 ลูกบาศก์เมตร หรือ 2.85 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ปริมาตรไม้อายุ 3 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 9,822.93 ลูกบาศก์เมตร หรือ 5.12 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ปริมาตรไม้อายุ 4 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 5,107.27 ลูกบาศก์เมตร หรือ 6.43 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ปริมาตรไม้อายุ 5 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 6,072.68 ลูกบาศก์เมตร หรือ 8.88 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ปริมาตรไม้ทั้งหมดของสวนป่าลาดกระทิงจากทุกชั้นอายุรวมกันเท่ากับ 28,072.42 ลูกบาศก์เมตร

เมื่อประมาณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินโดยแทนค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากภาคสนามลงในสมการที่ 9-13 พบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้อายุ 1 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 3,990.25 ตันคาร์บอน หรือ 14,564.41 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 1,647.36 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้อายุ 2 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 1,525.31 ตันคาร์บอน หรือ 5,567.38 ตัน

คาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 2,223.36 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้อายุ 3 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 6,088.37 ตันคาร์บอน หรือ 22,222.55 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 3,173.44 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้อายุ 4 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 3,673.67 ตันคาร์บอน หรือ 13,408.90 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 4,626.56 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้อายุ 5 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 3,917.26 ตันคาร์บอน หรือ 14,298 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 5,728.16 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดของสวนป่าลาดกระหิงจากทุกชั้นอายุ รวมกันเท่ากับ 19,194.86 ตันคาร์บอน หรือ 70,061.24 ตันคาร์บอนไดออกไซด์

4.3 ปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5

การประมาณปริมาตรไม้และการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ซึ่งมีความสัมพันธ์ที่ใช้ประมาณปริมาตรไม้และการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินดังนี้

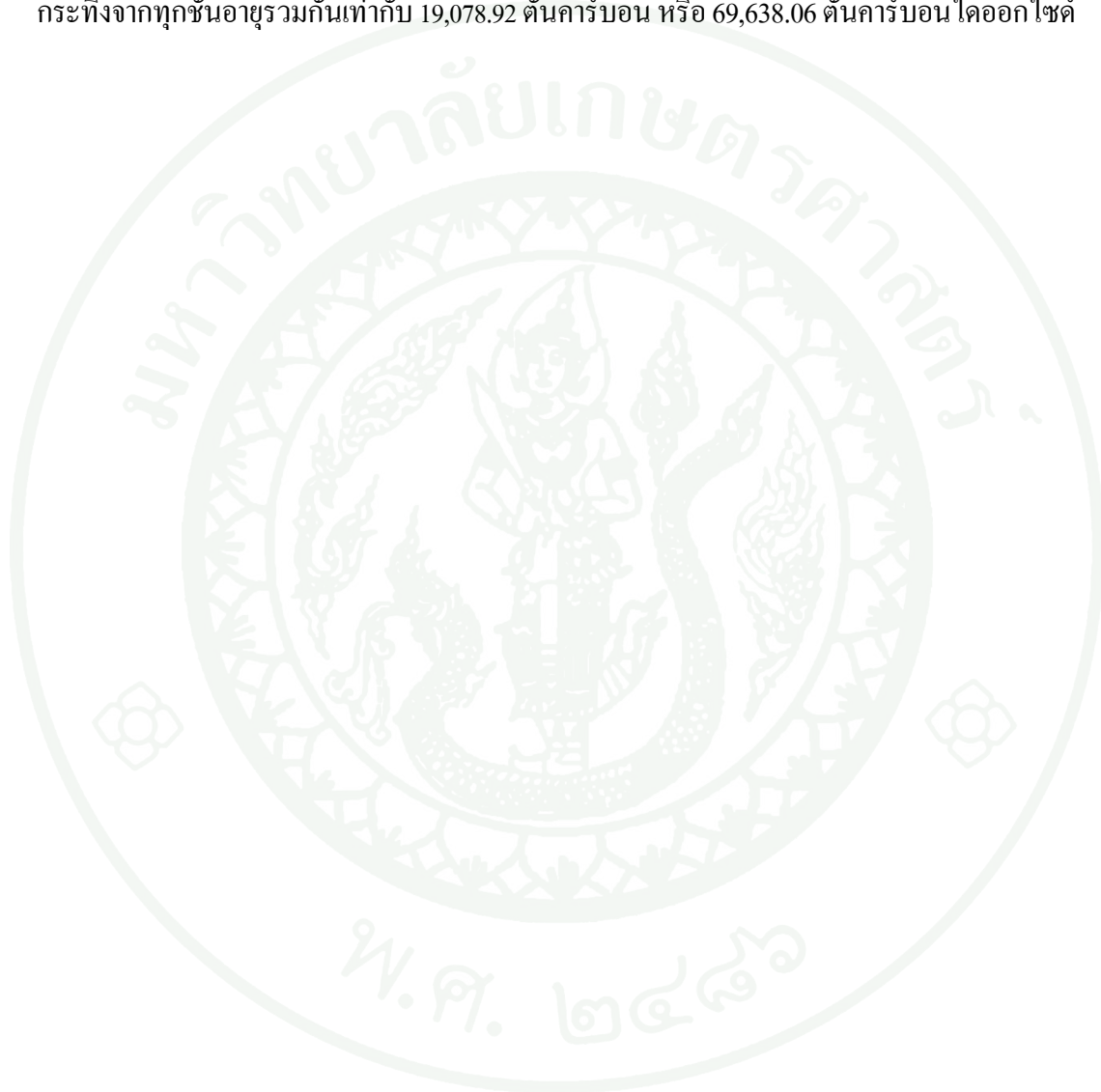
ปริมาตรไม้ = f (ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม)

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน = f (ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม)

ผลการประมาณปริมาตรไม้โดยแทนค่าที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมลงในสมการที่ 21-25 พบว่าปริมาตรไม้อายุ 1 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 4,869.03 ลูกบาศก์เมตร หรือ 2.02 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ปริมาตรไม้อายุ 2 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 1,957.98 ลูกบาศก์เมตร หรือ 2.85 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ปริมาตรไม้อายุ 3 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 9,875.32 ลูกบาศก์เมตร หรือ 5.15 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ปริมาตรไม้อายุ 4 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 5,208.90 ลูกบาศก์เมตร หรือ 6.56 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ปริมาตรไม้อายุ 5 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 5,616.44 ลูกบาศก์เมตร หรือ 8.21 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ปริมาตรไม้ทั้งหมดของสวนป่าลาดกระหิงจากทุกชั้นอายุรวมกันเท่ากับ 27,527.67 ลูกบาศก์เมตร

เมื่อประมาณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินโดยการแทนค่าที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมลงในสมการที่ 27-31 ได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจำแนกตามชั้นอายุได้ดังนี้ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้อายุ 1 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 3,890.79 ตันคาร์บอน หรือ 14,201.38 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 1,606.30 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้อายุ 2 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 1,504.21 ตันคาร์บอน หรือ 5,490.37 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 2,192.60 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้อายุ 3 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 6,085.56 ตันคาร์บอน หรือ 22,212.29 ตัน

คาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 3,171.98 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้อายุ 4 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 3,686.92 ตันคาร์บอน หรือ 13,457.26 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 4,643.24 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้อายุ 5 ปี ทั้งหมดเท่ากับ 3,911.44 ตันคาร์บอน หรือ 14,276.76 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 5,719.64 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดของสวนป่าลาดกระหิงจากทุกชั้นอายุรวมกันเท่ากับ 19,078.92 ตันคาร์บอน หรือ 69,638.06 ตันคาร์บอนไดออกไซด์



ตารางที่ 10 ปริมาตรไม้แยกตามชั้นอายุเปรียบเทียบระหว่างการหาโดยใช้สมการมาตรฐาน การประมาณโดยใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบ และการประมาณโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม SPOT-5

ชั้น อายุ (ปี)	ปริมาตรไม้					
	ประมาณจากสมการมาตรฐาน		ประมาณด้วยสมการความสัมพันธ์ ที่ใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบ		ประมาณด้วยสมการความสัมพันธ์ ที่ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม	
	(ลบ.ม. ต่อไร่)	รวมทั้งหมด (ลบ.ม.)	(ลบ.ม. ต่อไร่)	รวมทั้งหมด (ลบ.ม.)	(ลบ.ม. ต่อไร่)	รวมทั้งหมด (ลบ.ม.)
1	2.06	4,999.44	2.11	5,115.71	2.02	4,869.03
2	2.85	1,953.84	2.85	1,953.84	2.85	1,957.98
3	5.15	9,884.32	5.12	9,822.93	5.15	9,875.32
4	6.48	5,145.38	6.43	5,107.27	6.56	5,208.90
5	8.22	5,624.07	8.88	6,072.68	8.21	5,616.44
	รวม	27,607.05	รวม	28,072.42	รวม	27,527.67

ตารางที่ 11 การกักเก็บคาร์บอนแยกตามชั้นอายุเปรียบเทียบระหว่างการหาจากมวลชีวภาพ การประมาณโดยใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบ และการประมาณโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม SPOT-5

ชั้นอายุ (ปี)	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน								
	ประมาณจากมวลชีวภาพ			ประมาณด้วยสมการความสัมพันธ์ ที่ใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบ			ประมาณด้วยสมการความสัมพันธ์ ที่ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม		
	(กก. ต่อไร่)	ทั้งหมด		(กก. ต่อไร่)	ทั้งหมด		(กก. ต่อไร่)	ทั้งหมด	
		(ตันคาร์บอน)	(ตันคาร์บอน ไดออกไซด์)		(ตันคาร์บอน)	(ตันคาร์บอน ไดออกไซด์)		(ตันคาร์บอน)	(ตันคาร์บอน ไดออกไซด์)
1	1,605.60	3,889.10	14,195.22	1,647.36	3,990.25	14,564.41	1,606.30	3,890.79	14,201.38
2	2,192.32	1,504.02	5,489.67	2,223.36	1,525.31	5,567.38	2,192.60	1,504.21	5,490.37
3	3,172.00	6,085.61	22,212.48	3,173.44	6,088.37	22,222.55	3,171.98	6,085.56	22,212.29
4	4,621.92	3,669.99	13,395.46	4,626.56	3,673.67	13,408.90	4,643.24	3,686.92	13,457.26
5	5,719.68	3,911.46	14,276.83	5,728.16	3,917.26	14,298.00	5,719.64	3,911.44	14,276.76
	รวม	19,060.18	69,569.66	รวม	19,194.86	70,061.24	รวม	19,078.92	69,638.06

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณไม้ยูคาลิปตัสอายุ 5 ปี มีปริมาณไม้เท่ากับ 8.22 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ซึ่งให้ค่าปริมาณที่มากกว่าการศึกษาของ คำสอน (2546) ที่ศึกษาปริมาณไม้ยูคาลิปตัสในสวนป่าบี จี เอ ลาวปลูกไม้ ประเทศลาว มีปริมาณไม้ยูคาลิปตัสอายุ 5 ปี เท่ากับ 5.27 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ซึ่งสังเกตได้ว่าปริมาณไม้ยูคาลิปตัสอายุ 5 ปี ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้มีค่ามากกว่าเนื่องมาจากระยะปลูกไม้ยูคาลิปตัสของสวนป่าลาดกระทิงมีระยะปลูกที่น้อยกว่าสวนป่าบี จี เอ ลาวปลูกไม้ ส่งผลให้จำนวนต้นไม้มີจำนวนที่มากกว่า ปริมาณไม้ที่ได้จึงมีปริมาณที่มากกว่าเช่นกัน

การศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ยูคาลิปตัสอายุ 5 ปี จากการใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมมีค่าเท่ากับ 5,719.64 ตันคาร์บอนต่อไร่ ซึ่งให้ค่าที่ใกล้เคียงกับการศึกษาของ ชิงชัยและคณะ (2548) ที่ทำการศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยูคาลิปตัสอายุ 5 ปี ของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัสในสวนป่าลาดกระทิง ได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 5,552 ตันคาร์บอนต่อไร่ จะเห็นได้ว่าผลของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากการใช้ข้อมูลสำรวจภาคสนามของชิงชัยและคณะ

5. การเปรียบเทียบปริมาณไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากทั้ง 3 วิธีการ

5.1 การหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง

เมื่อนำสมการประมาณปริมาณไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม สมการประมาณปริมาณไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบ และสมการประมาณปริมาณไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม มาประมาณหาปริมาณไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินแยกตามชั้นอายุและรวมทุกชั้นอายุ โดยเลือกตำแหน่งเดียวกับที่มีการเก็บข้อมูลภาคสนาม เพื่อนำมาใช้ในการทดสอบจำนวน 15 จุด แสดงดังตารางที่ 12 และ 13

ตารางที่ 12 ปริมาตรไม้ที่ประมาณได้จากทั้ง 3 วิธีการในตำแหน่งพิกัดเดียวกัน

ชั้น อายุ (ปี)	แปลงที่	ตำแหน่งพิกัดแปลง (UTM)		ปริมาตรไม้ (ลบ.ม. ต่อจุดภาพ หรือ 100ม ²)			เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)	
		ตะวันออก	เหนือ	สมการมาตรฐาน (1)	ดัชนีพื้นที่ใบ (2)	ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม (3)	ปริมาตรไม้ (1) กับ (2)	ปริมาตรไม้ (1) กับ (3)
1	1	773075	1492476	0.11	0.11	0.10	0.00	-9.09
	2	774852	1496861	0.12	0.13	0.10	8.33	-16.67
	3	773345	1497936	0.13	0.13	0.10	0.00	-23.08
			เฉลี่ย	0.12	0.12	0.10	2.78	-16.28
2	4	771375	1492543	0.15	0.16	0.24	6.67	60.00
	5	773103	1496399	0.18	0.17	0.24	-5.56	33.33
	6	769927	1493634	0.20	0.19	0.24	-5.00	20.00
			เฉลี่ย	0.18	0.17	0.24	-1.30	37.78
3	7	773653	1495926	0.31	0.32	0.34	3.23	9.68
	8	775163	1495175	0.33	0.31	0.34	-6.06	3.03
	9	772150	1494203	0.32	0.33	0.34	3.13	6.25
			เฉลี่ย	0.32	0.32	0.34	0.10	6.32

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ชั้น อายุ (ปี)	แปลงที่	ตำแหน่งพิกัดแปลง (UTM)		ปริมาตรไม้ (ลบ.ม. ต่อจุดภาพ หรือ 100ม ²)			เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)	
		ตะวันออก	เหนือ	สมการมาตรฐาน (1)	ดัชนีพื้นที่ใบ (2)	ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม (3)	ปริมาตรไม้ (1) กับ (2)	ปริมาตรไม้ (1) กับ (3)
4	10	769729	1493477	0.41	0.39	0.37	-4.88	-9.76
	11	772688	1493096	0.35	0.38	0.36	8.57	2.86
	12	775388	1497004	0.45	0.41	0.36	-8.89	-20.00
			เฉลี่ย	0.40	0.39	0.36	-1.73	-8.97
5	13	771219	1495027	0.54	0.54	0.51	0.00	-5.40
	14	773120	1493428	0.41	0.43	0.36	4.88	-11.16
	15	770993	1492164	0.56	0.58	0.36	3.57	-34.96
			เฉลี่ย	0.50	0.52	0.41	2.82	-17.17
เฉลี่ยรวมทุกชั้นอายุ				0.30	0.25	0.29	0.53	5.05

ตารางที่ 13 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ประมาณได้จากทั้ง 3 วิธีการในตำแหน่งพิกัดเดียวกัน

ชั้น อายุ (ปี)	แปลงที่	ตำแหน่งพิกัดแปลง (UTM)		ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน (กก. ต่อจุดภาพ หรือ 100ม ²)			เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)	
		ตะวันออก	เหนือ	สมการมาตรฐาน (1)	ดัชนี พื้นที่ใบ (2)	ข้อมูลภาพ ถ่ายจากดาวเทียม (3)	การกักเก็บคาร์บอน (1) กับ (2)	การกักเก็บคาร์บอน (1) กับ (3)
1	1	773075	1492476	90.34	93.45	87.31	3.44	-3.35
	2	774852	1496861	100.34	100.85	85.08	0.51	-15.21
	3	773345	1497936	100.44	103.52	86.92	3.07	-13.46
			เฉลี่ย	97.04	99.27	86.44	2.34	-10.67
2	4	771375	1492543	121.06	130.08	161.31	7.45	33.25
	5	773103	1496399	129.81	135.07	160.22	4.05	23.43
	6	769927	1493634	143.25	143.24	161.05	-0.01	12.43
			เฉลี่ย	131.37	136.13	160.86	3.83	23.04
3	7	773653	1495926	192.37	199.10	198.48	3.50	3.18
	8	775163	1495175	202.21	197.27	197.89	-2.44	-2.14
	9	772150	1494203	197.62	200.39	198.35	1.40	0.37
			เฉลี่ย	197.40	198.92	198.24	0.82	0.47

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ชั้น อายุ	แปลงที่	ตำแหน่งพิกัดแปลง (UTM)		ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน (กก. ต่อจุดภาพหรือ 100ม ²)			เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)	
		ตะวันออก	เหนือ	สมการมาตรฐาน (1)	ดัชนี พื้นที่ใบ (2)	ข้อมูลภาพ ถ่ายจากดาวเทียม (3)	การกักเก็บคาร์บอน (1) กับ (2)	การกักเก็บคาร์บอน (1) กับ (3)
4	10	769729	1493477	287.94	284.49	279.38	-1.20	-2.97
	11	772688	1493096	279.09	283.36	277.64	1.53	-0.52
	12	775388	1497004	300.56	290.14	278.63	-3.47	-7.30
			เฉลี่ย	289.20	286.00	278.55	-1.05	-3.60
5	13	771219	1495027	370.46	351.87	338.18	-5.02	-8.71
	14	773120	1493428	351.81	356.89	329.72	1.44	-6.28
	15	770993	1492164	358.97	359.68	333.40	0.20	-7.12
			เฉลี่ย	360.41	356.15	333.77	-1.13	-7.37
			เฉลี่ยรวมทุกชั้นอายุ	215.08	215.29	211.57	0.96	5.58

จากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรไม้ของแปลงทดสอบทั้ง 15 แปลงตัวอย่าง พบว่าปริมาตรไม้ทั้ง 5 ชั้นอายุ และรวมทุกชั้นอายุที่ได้จากสมการประมาณค่าโดยใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยเท่ากับ 2.78, -1.30, 0.10, -1.73, 2.82 และ 0.53 ตามลำดับ ปริมาตรไม้ทั้ง 5 ชั้นอายุ และรวมทุกชั้นอายุที่ได้จากสมการประมาณโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -16.28, 33.78, 6.32, -8.97, -17.17 และ 5.05 ตามลำดับ

เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของแปลงทดสอบทั้ง 15 แปลงตัวอย่าง พบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้ทั้ง 5 ชั้นอายุ และรวมทุกชั้นอายุที่ได้จากสมการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยเท่ากับ 2.34, 3.83, 0.82, -1.05, -1.13 และ 0.96 ตามลำดับ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้ทั้ง 5 ชั้นอายุ และรวมทุกชั้นอายุที่ได้จากสมการประมาณโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -10.67, 23.04, 0.47, -3.60, -7.37 และ 5.58 ตามลำดับ

4.2 การทดสอบความแตกต่างทางสถิติ

การวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาตรไม้ที่ประมาณได้จากค่าจากดัชนีพื้นที่ใบ และปริมาตรไม้ที่ประมาณได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยนำสมการประมาณปริมาตรไม้ที่ได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบ และสมการประมาณปริมาตรไม้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมมาประมาณปริมาตรไม้ในตำแหน่งเดียวกัน โดยเลือกตำแหน่งเดียวกับที่มีการเก็บข้อมูลภาคสนามมาใช้ในการทดสอบจำนวน 15 แปลงตัวอย่าง ตามตารางที่ 13 โดยสมการความสัมพันธ์ที่ใช้ประมาณปริมาตรไม้ที่นำมาทดสอบในครั้งนี้ คือ

$$\text{ปริมาตรไม้} = f(\text{ข้อมูลภาคสนาม})$$

$$\text{ปริมาตรไม้} = f(\text{ดัชนีพื้นที่ใบ})$$

$$\text{ปริมาตรไม้} = f(\text{ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม})$$

ทดสอบความแตกต่างของปริมาตรไม้ที่ประมาณได้จากข้อมูลภาคสนามและปริมาตรไม้ที่ประมาณได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ t - test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ซึ่งได้กำหนดสมมติฐานทางการวิจัย ดังนี้

“ปริมาตรไม้ที่ประมาณได้จากข้อมูลภาคสนาม ไม่มีความแตกต่างกับปริมาตรไม้ที่ประมาณได้จากการค่าดัชนีพื้นที่ใบ”

ทดสอบความแตกต่างของปริมาตรไม้ที่ประมาณได้จากข้อมูลภาคสนามและปริมาตรไม้ที่ประมาณได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ t – test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ซึ่งได้กำหนดสมมติฐาน ดังนี้

“ปริมาตรไม้ที่ประมาณได้จากข้อมูลภาคสนาม ไม่มีความแตกต่างกับปริมาตรไม้ที่ประมาณได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม”

จากผลการทดสอบสมมติฐานดังกล่าว โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ t – test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($\alpha = 0.05$) ให้ค่า Sig เท่ากับ 0.890 และ 0.578 ตามลำดับ (ภาพผนวกที่ 13 และ 14) ซึ่งค่าที่ได้มีค่ามากกว่าค่า α ที่กำหนดไว้ จึงสรุปได้ว่าปริมาตรไม้ที่ประมาณได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบและปริมาตรไม้ที่ประมาณได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ไม่มีความแตกต่างกับปริมาตรไม้ที่ประมาณได้จากข้อมูลภาคสนามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยนำสมการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบ และสมการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมมาประมาณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในตำแหน่งเดียวกัน โดยเลือกตำแหน่งเดียวกับที่มีการเก็บข้อมูลภาคสนามมาใช้ในการทดสอบจำนวน 15 แปลงตัวอย่างตามตารางที่ 12 โดยสมการความสัมพันธ์ที่ใช้ประมาณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่นำมาทดสอบในครั้งนี้คือ

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน = f (ข้อมูลภาคสนาม)

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน = f (ดัชนีพื้นที่ใบ)

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน = f (ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม)

ทดสอบความแตกต่างของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากข้อมูลภาคสนามและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากคำดัชนีพื้นที่ไบบัความแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ t - test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้กำหนดสมมติฐานทางการวิจัย ดังนี้

“ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากข้อมูลภาคสนามไม่มีความแตกต่างกับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากคำดัชนีพื้นที่ไบบั”

ทดสอบความแตกต่างของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากข้อมูลภาคสนามและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ t - test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้กำหนดสมมติฐานทางการวิจัย ดังนี้

“ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากข้อมูลภาคสนามไม่มีความแตกต่างกับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม”

จากผลการทดสอบโดยใช้วิธีการทดสอบแบบ t - test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) ให้ค่า Sig เท่ากับ 0.911, และ 0.568 ตามลำดับ (ภาพผนวกที่ 15 และ 16) ซึ่งค่าที่ได้มีค่ามากกว่าค่า α ที่กำหนดไว้ จึงสรุปได้ว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากคำดัชนีพื้นที่ไบบัและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ประมาณได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไม่มีความแตกต่างจากปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ประมาณได้จากข้อมูลภาคสนามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ดังนั้นสรุปได้ว่าปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากคำดัชนีพื้นที่ไบบั และที่ประมาณได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมให้ค่าที่ไม่เท่ากับปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากข้อมูลภาคสนาม แต่เมื่อพิจารณาในทางสถิติพบว่าปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากคำดัชนีพื้นที่ไบบัและที่ประมาณได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไม่มีความแตกต่างกับปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากข้อมูลภาคสนาม

5. ประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจของปริมาณไม้และการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าดงกระทิง

การประเมินมูลค่าของปริมาณไม้ยูคาลิปตัส คามาตูลูเลนซิส อายุ 5 ปี ใช้ราคาเฉลี่ยจากราคาที่บริษัทไม้อัดไทยซึ่งเป็นผู้รับซื้อไม้จากสวนป่าดงกระทิงได้กำหนดรับซื้อ คือ 850 บาทต่อตัน ส่วนการประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินใช้ราคาการรับซื้อคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยตามราคาตลาด Chicago Climate Exchange (CCX) คือ 19.80 บาทต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นมูลค่าของไม้จากการประมาณปริมาณและการกักเก็บคาร์บอนทั้ง 3 วิธีแสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 มูลค่าทางเศรษฐกิจของปริมาณไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ทั้ง 5 ชั้นอายุ ในสวนป่าดงกระทิง

วิธีการ	มูลค่าปริมาณไม้ของ ไม้อายุ 5 ปี (บาท)	มูลค่าการกักเก็บ คาร์บอนไดออกไซด์ของไม้รวม ทุกชั้นอายุ (บาท)
1) การประมาณจากสมการมาตรฐาน	4,780,460	1,377,479.27
2) การประมาณจากค่าดัชนีพื้นที่ใบ	5,161,778	1,387,212.55
3) การประมาณจากข้อมูลภาพถ่าย จากดาวเทียม	4,773,974	1,378,833.59

จากตารางที่ 14 พบว่าการประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจของไม้อายุ 5 ปี ในสวนป่าดงกระทิงที่ได้จากสมการมาตรฐานได้มูลค่าของปริมาณไม้ทั้งหมดเท่ากับ 4,780,460 บาท และมูลค่าของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดเท่ากับ 1,377,479.27 บาท มูลค่าของปริมาณไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ของค่าดัชนีพื้นที่ใบเท่ากับ 5,161,778 บาท และ 1,387,212.55 บาท มูลค่าของปริมาณไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเท่ากับ 4,773,974 บาท และ 1,378,833.59 บาท

การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายจากการใช้แรงงานคนในการเก็บข้อมูลเพื่อประมาณปริมาณไม้ตามสมการมาตรฐาน คิดค่าแรงของแรงงานตามค่าจ้างคนงานของสวนป่าดงกระทิงวันละ 165 บาท เก็บข้อมูลใช้เวลาทั้งสิ้น 7 วัน ใช้แรงงานทั้งสิ้นจำนวน 7 คน คิดเป็นค่าใช้จ่ายทั้งหมดเท่ากับ

8,085 บาท ส่วนค่าใช้จ่ายของภาพถ่ายจากดาวเทียมคิดตามราคาที่จัดจำหน่ายของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศเท่ากับ 3,000 บาท จะเห็นได้ว่าหากเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายจากค่าแรงงานในการเก็บข้อมูลกับค่าภาพถ่ายจากดาวเทียม ค่าภาพถ่ายจากดาวเทียมมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าการใช้แรงงานคนในการให้ได้มาซึ่งข้อมูล



วิจารณ์

1. การศึกษาความสัมพันธ์

1.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบกับปริมาตรไม้

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบกับปริมาตรไม้ที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม เมื่อพิจารณาแยกตามชั้นอายุพบว่าไม้ทั้ง 5 ชั้นอายุมีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียล ซึ่งให้ค่า R^2 มากที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของกัมปนาท และคณะ (2550) ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบกับปริมาตรไม้สัก แต่เมื่อพิจารณาข้อมูลของไม้ทุกชั้นอายุรวมกัน พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ที่ได้เป็นรูปแบบสมการเอ็กโพเนนเชียลที่ให้ค่า R^2 มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อรวมข้อมูลของไม้ทุกชั้นอายุพบว่าปริมาตรไม้และค่าดัชนีพื้นที่ใบมีการกระจายของข้อมูลมากกว่าเมื่อวิเคราะห์แยกตามชั้นอายุ รูปแบบของความสัมพันธ์ที่ได้ดังกล่าวจึงมีรูปแบบความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน

ดังนั้นหากต้องการความแม่นยำของการประมาณปริมาตรไม้จำเป็นต้องต้องทราบอายุของไม้ที่จะทำการประมาณปริมาตร แต่หากไม่ทราบอายุของไม้ที่ต้องการประมาณปริมาตร สามารถประมาณปริมาตรไม้ได้โดยใช้สมการที่รวมทุกชั้นอายุ ผลของการประมาณไม้ที่ไม่ทราบชั้นอายุจะให้ค่าที่มีความแม่นยำน้อยกว่าการประมาณจากไม้ที่ทราบชั้นอายุ

1.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบกับการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบกับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม เมื่อพิจารณาแยกตามชั้นอายุพบว่าไม้ทั้ง 5 ชั้นอายุมีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียล ซึ่งให้ค่า R^2 มากที่สุด แต่เมื่อพิจารณาข้อมูลของไม้รวมทุกชั้นอายุพบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ที่ได้เป็นรูปแบบสมการเอ็กโพเนนเชียลที่ให้ค่า R^2 มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลของไม้ทุกชั้นอายุพบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินและดัชนีพื้นที่ใบมีการกระจายของข้อมูลมากกว่าเมื่อวิเคราะห์แยกตามชั้นอายุ รูปแบบของความสัมพันธ์ที่ได้ดังกล่าวจึงมีรูปแบบความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน

ดังนั้นหากต้องการความแม่นยำในการประมาณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นที่ จำเป็นต้องทราบอายุของไม้ที่จะใช้ประมาณ แต่หากไม่ทราบอายุของไม้ที่ต้องการประมาณ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนก็สามารถใช้สมการประมาณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้รวมทุกชั้นอายุ ได้ ผลของการประมาณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ที่ไม่ทราบชั้นอายุจะให้ค่าที่มีความแม่นยำน้อยกว่าการประมาณจากไม้ที่ทราบชั้นอายุ

1.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม SPOT-5

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม พบว่า ข้อมูลแบนด์ 1 (G) ข้อมูลแบนด์ 3 (NIR) ค่าอัตราส่วนระหว่างแบนด์ (NIR/R) และค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม SPOT-5 เป็นตัวแปรที่ถูกคัดเลือกเข้าในสมการความสัมพันธ์จากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ซึ่งตัวแปรดังกล่าวเป็นตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์สูงกว่าตัวแปรที่ไม่ได้รับการคัดเลือกเข้าสมการ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์แยกตามชั้นอายุพบว่าค่า R^2 ที่ได้มีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบความสัมพันธ์ของไม้รวมทุกชั้นอายุซึ่งให้ค่า R^2 ต่ำกว่า เนื่องจากข้อมูลเมื่อวิเคราะห์แยกตามชั้นอายุการกระจายของข้อมูลมีน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิเคราะห์รวมทุกชั้นอายุ

1.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บคาร์บอนกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม SPOT-5

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บคาร์บอนกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม พบว่าข้อมูลแบนด์ 1 (G) ข้อมูลแบนด์ 3 (NIR) ค่าอัตราส่วนระหว่างแบนด์ (NIR/R) และค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ของข้อมูลดาวเทียม SPOT-5 เป็นตัวแปรที่ถูกคัดเลือกเข้าในสมการความสัมพันธ์จากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ซึ่งตัวแปรดังกล่าวเป็นตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์สูงกว่าตัวแปรที่ไม่ได้รับการคัดเลือกเข้าสมการ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์แยกตามชั้นอายุพบว่าค่า R^2 ที่ได้มีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบความสัมพันธ์ของไม้รวมทุกชั้นอายุซึ่งให้ค่า R^2 ต่ำกว่า เนื่องจากข้อมูลเมื่อวิเคราะห์แยกตามชั้นอายุการกระจายของข้อมูลมีน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิเคราะห์รวมทุกชั้นอายุ

เมื่อพิจารณาสมการที่ได้จากความสัมพันธ์ในรูปแบบต่างๆ ของไม้ทั้ง 5 ชั้นอายุ พบว่าสมการที่ได้ให้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดที่ไม่สูงมากนัก ทั้งนี้เนื่องมาจากการปลูกไม้ยูคาลิปตัสของสวนป่าลาดกระทิงในชั้นอายุเดียวกันได้ทำการปลูกในระยะที่แตกต่างกัน รวมทั้งมีการตัดสายขยายระยะทำให้ระยะปลูกมีขนาดที่แตกต่างกัน เช่น 2x2, 2x3 และ 2x4 เมตร ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของจำนวนต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง ทำให้ข้อมูลที่ได้จากแปลงตัวอย่างของไม้ชั้นอายุเดียวกันมีความแตกต่างกัน ซึ่งไม้ที่มีอายุน้อยมีขนาดเล็ก ความแตกต่างของจำนวนต้นไม้ไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างในด้านปริมาตรและการกักเก็บคาร์บอนมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับไม้ที่มีอายุมากผลของจำนวนต้นไม้ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงจะส่งผลให้เกิดความแตกต่างของข้อมูลในชั้นอายุเดียวกันที่มากกว่าไม้อายุน้อย อีกทั้งสายพันธุ์ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิสที่ใช้ในการปลูกสร้างในสวนป่าลาดกระทิงได้มีการปรับปรุงพันธุ์ ในพื้นที่ปลูกจึงมีทั้งไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิสสายพันธุ์ดั้งเดิมและสายพันธุ์ที่ได้รับการปรับปรุงปลูกในสวนป่า ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของไม้ยูคาลิปตัสมีอัตราการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันแม้จะมีปัจจัยแวดล้อมที่เหมือนกันก็ตาม

2. การประมาณหาปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

เมื่อพิจารณาปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้ในแต่ละและแปลงตัวอย่างจะพบว่าข้อมูลที่ได้มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากการปลูกไม้ด้วยระยะปลูกที่แตกต่างกันทำให้จำนวนต้นไม้ในแปลงตัวอย่างมีจำนวนไม่เท่ากัน ส่งผลต่อการนำข้อมูลมาใช้ในการสร้างสมการความสัมพันธ์ สมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการนำข้อมูลที่มีความแตกต่างไปใช้ทำให้ค่า R^2 ที่ได้มีค่าไม่สูงมากนัก การนำสมการความสัมพันธ์ที่ได้ดังกล่าวไปประมาณหาปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินก็จะได้ค่าที่มีความแม่นยำไม่มากนัก

หากเปรียบเทียบปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ประมาณได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบและที่ประมาณได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม พบว่าปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากวิธีการทั้งสองให้ค่าที่ใกล้เคียงกับปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ประมาณได้จากข้อมูลภาคสนาม แต่เมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากวิธีการทั้งสองแยกตามชั้นอายุพบว่าค่าที่ประมาณได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากข้อมูลภาคสนามมากกว่าการประมาณโดยรวมไม้ทุกชั้นอายุ ทั้งนี้เนื่องจากสมการความสัมพันธ์ของไม้ทุกชั้นอายุเป็นการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากไม้ทุกชั้นอายุ ส่งผลให้ข้อมูลมีการกระจายตัวมาก ผลที่ได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าวจึงมีความคลาดเคลื่อนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสมการความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์แยกไม้ตามชั้นอายุ

3. การประเมินมูลค่า

การประเมินมูลค่าของปริมาตรไม้ยูคาลิปตัส ตามมาตรฐานซีเอส ทำการประเมินเฉพาะไม้ที่อายุ 5 ปี เนื่องจากไม้ที่มีขนาดได้มาตรฐานตามที่บริษัทไม้อัดไทยกำหนดจะต้องเป็นไม้ที่ได้รับการปลูกแล้วมีอายุไม่ต่ำกว่า 5 ปี ซึ่งแตกต่างกับการประเมินมูลค่าของการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประเมินได้โดยใช้ไม้ทุกชั้นอายุ ทั้งนี้เนื่องมาจากการขายปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจะขายเฉพาะการกักเก็บคาร์บอนในเนื้อไม้ ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับการขายเนื้อไม้ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงขนาดของไม้ส่งผลให้ไม้อายุ 1 ปี เป็นต้นไปจึงสามารถนำมาประเมินหามูลค่าในเชิงเศรษฐกิจของการกักเก็บคาร์บอนได้

จากการประเมินมูลค่าของปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินจากทั้ง 3 วิธีการ จะเห็นได้ว่ามูลค่าที่ประเมินได้มีความใกล้เคียงกัน แต่มูลค่าที่ประเมินได้จากการประมาณโดยใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบมีมูลค่ามากกว่ามูลค่าที่ประเมินได้จากวิธีการอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ประมาณได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบมีปริมาณที่สูงกว่าปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ประมาณได้จากสมการมาตรฐานและข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม แต่อย่างไรก็ตามความแตกต่างของมูลค่าที่ประเมินได้จากทั้ง 3 วิธีการ ไม่สูงมากนัก ดังนั้นหากต้องการตัวเลขของมูลค่าของสวนป่าเพื่อประกอบการตัดสินใจในการจัดการสวนป่า การประเมินมูลค่าด้วยวิธีการประมาณจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม จึงเป็นทางเลือกที่ดีเพราะเป็นวิธีที่มีความสะดวก รวดเร็ว และประหยัด ตลอดจนสามารถปรับปรุงข้อมูลให้มีความถูกต้องและทันสมัยได้ตลอดเวลา

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการประมาณปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากสมการมาตรฐานที่ต้องใช้แรงงานคนในการเก็บข้อมูลจะมีรายจ่ายที่มากกว่าการใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมประมาณปริมาตรและปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ดังนั้นหากพิจารณาในภาพรวมของสวนป่าที่มีเนื้อที่ขนาดใหญ่ การใช้แรงงานคนในการเก็บข้อมูลจะต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก แต่หากใช้เทคนิคการสำรวจจากระยะไกลเข้ามาช่วยในการประมาณปริมาตรและการกักเก็บคาร์บอนจะเป็นการประหยัดงบประมาณและระยะเวลาที่ใช้ในการทำงาน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาการประมาณปริมาตรและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชันในสวนป่าลาดกระทิง ด้วยเทคนิคการสำรวจจากระยะไกล โดยการหาความสัมพันธ์ของปริมาตรไม้ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน ดัชนีพื้นที่ใบ และ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม SPOT-5 รวมทั้งประมาณปริมาตรและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินจากรูปแบบความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย และนำผลการประมาณ ปริมาตรและการกักเก็บคาร์บอนที่ได้มาประเมินมูลค่า ให้ผลการศึกษาที่สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การศึกษาความสัมพันธ์

1.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบกับปริมาตรไม้

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบกับปริมาตรไม้ โดยการวิเคราะห์การถดถอย ได้สมการที่ดีที่สุดในการประมาณปริมาตรไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชันในสวนป่าลาดกระทิง ดังนี้

ไม้อายุ 1 ปี	$V = -2.0007(LAI)^2 + 2.3242(LAI) - 0.5372$	$R^2 = 0.89$
ไม้อายุ 2 ปี	$V = -0.785(LAI)^2 + 1.2908(LAI) - 0.3306$	$R^2 = 0.71$
ไม้อายุ 3 ปี	$V = 5.1489(LAI)^2 - 8.3756(LAI) + 3.7201$	$R^2 = 0.84$
ไม้อายุ 4 ปี	$V = -0.2808(LAI)^2 + 0.9008(LAI) - 0.1957$	$R^2 = 0.62$
ไม้อายุ 5 ปี	$V = -9.6729(LAI)^2 + 20.618(LAI) - 10.397$	$R^2 = 0.79$
รวมไม้ทุกชั้นอายุ	$V = 0.0323e^{2.6826(LAI)}$	$R^2 = 0.97$

1.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบกับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบกับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน โดยการวิเคราะห์การถดถอย ได้สมการที่ดีที่สุดในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชันในสวนป่าลาดกระทิง ดังนี้

ไม้อายุ 1 ปี	$C = -1,414.8(LAI)^2 + 1,585.2(LAI) - 338.55$	$R^2 = 0.81$
ไม้อายุ 2 ปี	$C = -612.49(LAI)^2 + 927.25(LAI) - 206.91$	$R^2 = 0.68$
ไม้อายุ 3 ปี	$C = -317.33(LAI)^2 + 687.52(LAI) - 156.18$	$R^2 = 0.82$
ไม้อายุ 4 ปี	$C = -45.49(LAI)^2 + 176.05(LAI) + 162.61$	$R^2 = 0.68$
ไม้อายุ 5 ปี	$C = -115.55(LAI)^2 + 310.79(LAI) + 162.3$	$R^2 = 0.63$
รวมไม้ทุกชั้นอายุ	$C = 29.772e^{2.3685(LAI)}$	$R^2 = 0.94$

1.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมได้แก่ SPOT แบนด์ 1 (G), แบนด์ 2 (R) และแบนด์ 3 (NIR) ค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณได้แก่ อัตราส่วนระหว่างแบนด์ (NIR/R) การปฏิบัติระหว่างแบนด์ (NIR-R) ดัชนีพืชพรรณ (NDVI) และการปกคลุมของเรือนยอด (CCF) โดยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ได้สมการที่ดีที่สุดในการประมาณปริมาตรไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชันของสวนป่าลาดกระทิง ดังนี้

ไม้อายุ 1 ปี	$V = -0.121 + 0.535(NDVI)$	$R^2 = 0.92$
ไม้อายุ 2 ปี	$V = 0.321 - 0.117(NIR)$	$R^2 = 0.65$
ไม้อายุ 3 ปี	$V = 0.352 - 0.027(NIR)$	$R^2 = 0.68$
ไม้อายุ 4 ปี	$V = 0.851 + 1.967(NIR/R) - 12.613(NDVI)$	$R^2 = 0.80$
ไม้อายุ 5 ปี	$V = 1.586 - 4.887(G)$	$R^2 = 0.77$
รวมไม้ทุกชั้นอายุ	$V = 0.882 - 0.492(NIR)$	$R^2 = 0.59$

1.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ได้แก่ SPOT แบนด์ 1 (G), แบนด์ 2 (R) และแบนด์ 3 (NIR) ค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณได้แก่ อัตราส่วนระหว่างแบนด์ (NIR/R) การปฏิบัติระหว่างแบนด์ (NIR-R) ดัชนีพืชพรรณ (NDVI) และการปกคลุมของเรือนยอด (CCF) โดยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ได้สมการที่ดีที่สุดในการ

การประมาณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ของสวนป่าลาดกระทิง ดังนี้

ไม้อายุ 1 ปี	$C = -85.766 + 1,261.962(NDVI) - 145.872(NIR/R)$	$R^2 = 0.97$
ไม้อายุ 2 ปี	$C = 190.248 - 43.651(NIR)$	$R^2 = 0.57$
ไม้อายุ 3 ปี	$C = 168.679 + 10.553(NIR/R)$	$R^2 = 0.79$
ไม้อายุ 4 ปี	$C = 393.048 + 476.275(NIR/R) - 3,045.906(NDVI)$	$R^2 = 0.83$
ไม้อายุ 5 ปี	$C = 438.173 - 367.632(G)$	$R^2 = 0.70$
รวมไม้ทุกชั้นอายุ	$C = 576.895 - 308.856(NIR)$	$R^2 = 0.57$

2. การประมาณปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

ผลการประมาณปริมาตรและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้อายุ 1-5 ปี ด้วยวิธีการต่างๆ แสดงดังตารางที่ 15 และ 16

ตารางที่ 15 ปริมาณไม้ที่ประมาณได้จากวิธีการต่างๆ

อายุ (ปี)	สมการมาตรฐาน		สมการความสัมพันธ์ ที่ใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบ		สมการความสัมพันธ์ ที่ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม	
	(ลบ.ม. ต่อไร่)	รวมทั้งหมด (ลบ.ม.)	(ลบ.ม. ต่อไร่)	รวมทั้งหมด (ลบ.ม.)	(ลบ.ม. ต่อไร่)	รวมทั้งหมด (ลบ.ม.)
1	2.06	4,999.44	2.11	5,115.71	2.02	4,869.03
2	2.85	1,953.84	2.85	1,953.84	2.85	1,957.98
3	5.15	9,884.32	5.12	9,822.93	5.15	9,875.32
4	6.48	5,145.38	6.43	5,107.27	6.56	5,208.90
5	8.22	5,624.07	8.88	6,072.68	8.21	5,616.44
	รวม	27,607.05	รวม	28,072.42	รวม	27,527.67

ตารางที่ 16 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากวิธีการต่างๆ

อายุ (ปี)	สมการความสัมพันธ์ที่ใช้มวลชีวภาพ			สมการความสัมพันธ์ที่ใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบ			สมการความสัมพันธ์ ที่ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม		
	ทั้งหมด		ทั้งหมด	ทั้งหมด		ทั้งหมด	ทั้งหมด		ทั้งหมด
	(กก. ต่อไร่)	(ตัน คาร์บอน)	(ตันคาร์บอน ไดออกไซด์)	(กก. ต่อไร่)	(ตัน คาร์บอน)	(ตันคาร์บอน ไดออกไซด์)	(กก. ต่อไร่)	(ตัน คาร์บอน)	(ตันคาร์บอนได ออกไซด์)
1	1,605.60	3,889.10	14,195.22	1,647.36	3,990.25	14,564.41	1,606.30	3,890.79	14,201.38
2	2,192.32	1,504.02	5,489.67	2,223.36	1,525.31	5,567.38	2,192.60	1,504.21	5,490.37
3	3,172.00	6,085.61	22,212.48	3,173.44	6,088.37	22,222.55	3,171.98	6,085.56	22,212.29
4	4,621.92	3,669.99	13,395.46	4,626.56	3,673.67	13,408.90	4,643.24	3,686.92	13,457.26
5	5,719.68	3,911.46	14,276.83	5,728.16	3,917.26	14,298.00	5,719.64	3,911.44	14,276.76
รวม		19,060.18	69,569.66	รวม	19,194.86	70,061.24	รวม	19,078.92	69,638.06

3. การเปรียบเทียบผลการประมาณค่าด้วยสมการความสัมพันธ์ที่ใช้ตัวแปรต่างกัน

การเปรียบเทียบผลการประเมินปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบ และที่ประมาณได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการทดสอบด้วยข้อมูลแปลงตัวอย่างจำนวน 15 แปลง พบว่าปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 0.53 และ 0.96 ซึ่งน้อยกว่าปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่มีความแตกต่างเท่ากับ 5.05 และ 5.58 และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติแบบ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าผลที่ได้จากการประมาณด้วยวิธีการทั้งสองไม่มีความแตกต่างกับค่าที่ประมาณได้จากข้อมูลภาคสนามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงสรุปว่าปริมาตรไม้และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบกับที่ประมาณได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมสามารถใช้ทดแทนการประมาณด้วยข้อมูลภาคสนามได้ ดังนั้นการประมาณโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมจะเป็นทางเลือกที่ตอบสนองความต้องการในการลดระยะเวลาและงบประมาณในการทำงานลง

4. การประเมินมูลค่าด้านเศรษฐกิจ

การประเมินมูลค่าปริมาตรไม้ยูคาลิปตัส คามาสดูเลนซิส อายุ 5 ปี ของสวนป่าลาดกระทิงที่ประมาณได้จากการใช้ข้อมูลภาคสนามทั้งหมดเท่ากับ 4,780,460 บาท มูลค่าปริมาตรไม้ที่ประมาณได้จากการใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบทั้งหมดเท่ากับ 5,161,778 บาท และมูลค่าปริมาตรไม้ที่ประมาณได้จากการใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมทั้งหมดเท่ากับ 4,773,974 บาท

การประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้ยูคาลิปตัส คามาสดูเลนซิส อายุ 1-5 ปี ของสวนป่าลาดกระทิง ที่ประมาณได้จากการใช้ข้อมูลภาคสนามทั้งหมดเท่ากับ 1,377,479.27 บาท มูลค่าการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ที่ประมาณได้จากการใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบทั้งหมดเท่ากับ 1,387,212.55 บาท และมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ที่ประมาณได้จากการใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมทั้งหมดเท่ากับ 1,378,833.59 บาท

ข้อเสนอแนะ

1. สวนป่าลาดกระทิงได้ทำการปลูกไม้ยูคาลิปตัส ในระยะปลูกที่แตกต่างกัน ส่งผลให้จำนวนต้นไม้ในแปลงมีจำนวนที่แตกต่างกัน ดังนั้นหากพิจารณาข้อมูลที่ได้จากภาคสนามควรจัดกลุ่มข้อมูลโดยแยกไม้ที่มีระยะปลูกที่เท่ากันไว้เป็นข้อมูลชุดเดียวกัน แล้วนำข้อมูลที่ได้รับการจัดกลุ่มมาหาความสัมพันธ์จะทำให้สมการความสัมพันธ์ที่ได้มีความแม่นยำในการประมาณมากยิ่งขึ้น

2. ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้บันทึกก่อนวันที่เก็บข้อมูลจริงในภาคสนาม ผลที่ได้จากภาคสนามจึงไม่ใช่ผลที่ตรงกับวันที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมบันทึก ความแตกต่างของระยะเวลาในการเก็บข้อมูลอาจมีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภาคสนามและภาพถ่ายจากดาวเทียม ดังนั้นหากต้องการความถูกต้องแม่นยำของสมการความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภาคสนามกับภาพถ่ายจากดาวเทียม การเก็บข้อมูลภาคสนามควรเก็บในช่วงเวลาเดียวกันกับวันที่บันทึกภาพถ่ายจากดาวเทียม

3. การใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบโดยการถ่ายภาพโครงสร้างเรือนยอดด้วยเลนส์ตาปลา ภาพถ่ายที่ได้อาจถ่ายติดไม้พุ่มที่อยู่ในแปลง ส่งผลให้ภาพถ่ายโครงสร้างเรือนยอดที่ได้ไม่ใช่ตัวแทนที่ดี ดังนั้นการหาค่าดัชนีพื้นที่ใบอาจใช้วิธีการอื่นๆ ในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ เพื่อให้ค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้มีความถูกต้องและเป็นตัวแทนที่ดีของแปลงตัวอย่าง

4. สมการประมาณปริมาตรและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ประมาณได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบ และข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม เป็นสมการที่สามารถใช้ประมาณปริมาตรและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชันของสวนป่าลาดกระทิง จังหวัดฉะเชิงเทรา ดังนั้นการนำสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวไปใช้ประมาณปริมาตรไม้และการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในพื้นที่อื่นๆ อาจมีข้อจำกัดในเรื่องของปัจจัยแวดล้อมของพื้นที่ที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการนำสมการที่ได้ไปใช้ในการประมาณ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมป่าไม้. 2549. สถิติการป่าไม้ของประเทศไทย. กองแผนงาน กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

กัมปนาท ดิอุดมจันทร์, อนุสรณ์ รังสิพานิช และอมรชัย ประกอบยา. 2550. การประเมินปริมาณไม้ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม SPOT5 บริเวณสวนป่าวังชิ้น จังหวัดแพร่. ใน เอกสารการประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2550. โรงแรมแอมบาสเดอร์, กรุงเทพฯ

คำสอน อ้วนทวี, การวิเคราะห์ผลผลิตและผลตอบแทนทางการเงินของการปลูกสร้างสวนป่าในประเทศไทยสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว: กรณีศึกษาสวนป่าไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซิส ของบริษัท บีจีเอ ลาวปลูกไม้จำกัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชิงชัย วิริยะบัญชา และกันตินันท์ ผิวสอาด. 2546. การประมาณผลผลิตด้านปริมาตรของลำต้นและมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่าไม้สัก. ใน รายงานการประชุมการป่าไม้ ประจำปี2545. “ศักยภาพของป่าไม้ต่อการฟื้นฟูเศรษฐกิจไทย” จัดการประชุมโดย กรมป่าไม้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ วันที่ 16-17 กันยายน 2545, อาคารกริต สามะพุทธิ กรมป่าไม้. จัดทำรายงานการประชุมโดย กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรกฎาคม 2546: 61-82.

ชิงชัย วิริยะบัญชา, สิริรัตน์ จันทรมหเสถียรและกันตินันท์ ผิวสอาด. 2548. การประเมินศักยภาพของกิจกรรมการปลูกสร้างสวนป่าในการลดความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. ใน รายงานการประชุมวิชาการการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ “ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีสารเกียวโต” ณ โรงแรมมารวย การ์เด็น กรุงเทพฯ วันที่ 4-5 สิงหาคม 2548. กรุงเทพฯ

นันทพร คอวนิช. 2527. การวิเคราะห์ผลได้และต้นทุนการปลูกสร้างสวนป่าในประเทศไทย
กรณีศึกษาโครงการปลูกไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปัสสี ประสมสินธุ์. 2534. คู่มือปฏิบัติการการปลูกป่าไม้. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬ. 2538. ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้.
คณะวนศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ฟองแก้ว บัวละพา. 2549. พฤติกรรมของไฟและการควบคุมไฟป่าในสวนป่าลาดกระทิง อำเภอ
สนามชัยเขตจังหวัดฉะเชิงเทรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เริงชัย เผ่าสัจจา. 2531. ประโยชน์ของไม้ยูคาลิปตัส. สำนักงานส่งเสริมการปลูกป่าเอกชน,
กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

เลา มัว. 2549. การวิเคราะห์ผลผลิตและผลตอบแทนทางการเงินของการปลูกป่าในทาง
อุตสาหกรรมกรณีศึกษาการปลูกสร้างสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิสและกระถิน
เทพาที่สวนป่าลาดกระทิง จังหวัด ฉะเชิงเทรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์.

วินิตา เผ่านาค. 2531. หลักการวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียม. พิมพ์ครั้งที่ 2. คณะศึกษาศาสตร์,
มหาวิทยาลัยรามคำแหง สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.

วิษณุ ดำรงสัจจิรี . 2544. การประยุกต์ใช้การสำรวจจากระยะไกลเพื่อประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ และ
มวลชีวภาพของป่าที่อยู่เหนือพื้นดิน บริเวณอุทยานแห่งชาติภูกระดึง จังหวัดเลย.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สรศักดิ์ กลิ่นดาว. 2550. การสำรวจระยะไกล: การประเมินผลภาพเชิงเลขเบื้องต้น. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุกฤดี กระจ่างจันทร์. 2546. การประยุกต์ใช้การสำรวจจากระยะไกลเพื่อประมาณปริมาตรไม้ในสวน
ป่าเกริงกระเวีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์. 2536. หลักการเบื้องต้นของเทคโนโลยีการสำรวจข้อมูลระยะไกล, น. 89-112.
ใน เอกสารการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม. กองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ
ด้วยดาวเทียม สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

สุพรรณ กาณจนสุธรรม. 2536. หลักการวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียมด้านการเกษตร, น. 271-294.
ใน เอกสารการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม. กองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ
ด้วยดาวเทียม สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

สอาด บุญเกิด, จเร สดากกร และทิพย์พรรณ สดากกร. **ข้อพรรณไม้ในเมืองไทย**. สมาคมศิษย์เก่า
วนศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2540. **คำบรรยายเรื่องการสำรวจจากระยะไกล**. สำนักงาน
คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

อภิรักษ์ ชันธิราช . 2545. การประยุกต์ใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลในการจำแนกพื้นที่ป่าไม้และการ
ประมาณมวลชีวภาพป่าไม้ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยทับทัน ห้วยสำราญ จังหวัดสุรินทร์.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

IPCC. 1996. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual.**
Chapter 5: Land Use Change and Forestry. IPCC, United Kingdom.

Kittredge, J. 1944. **Estimation of the amount of foliage of tree and stands.** J. For. 42 : 905 – 912

Komiyama A., H. Moriya, and P. Suhardjono. 1988. **Primary Productivity of Mangrove**
Forest. Biological System of Mangroves, Japan.

- Larsen, D.R. and J.A. Kershaw. 1990. Leaf Area Measurements, pp. 465 – 476. *In* J.P. Lassois and Hinckley, eds. **Techniques and Approach in Forest Tree Ecophysiology**. CRC
- Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. 1994. **Remote Sensing and Image Interpretation**, New York.
- Ogawa, H., K. Yoda and T. Kira. 1961. A preliminary survey on the vegetation of Thailand. **Nat. Life in Southeast Asia** 1 : 20 – 158.
- _____. 1965. Comparative Ecological Study on Three Main Types of Forest Vegetation in Thailand *In* Structure and Floristic Composition: Nature and Life in South-East Asia. **Fauna and Flora Research Society**. Kyoto, Japan. Vol. 4.
- _____. 1977. **Method of Estimating Forest Biomass**. JIPB Dysthesis: 16. The University of Toyko Press, Toyko.
- Price, J.C., and Bausch, W.C. 1995. Leaf Area Index Estimation from Visible and Near-Infrared Reflectance Data. **Remote Sensing and Environment**. 52 : 55-75. Press, Florida, USA.
- Shihao, T., Qijiang, Z., Yanmin, S., Jindi, W., Yuyu, Z. and Feng, Z. 2003. **Principle and application of three-band gradient difference vegetation index**. Science in China, China.
- Steege, H. T. 1994. **HEMIPHOT, a Programme to Analyze Light, Light Quality and Vegetation Indices from Hemispherical Photographs**. The Tropenbos Foundation Wageningen, Utrecht University, The Netherlands.



ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการ
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้ และค่าดัชนีพื้นที่ใบ

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Regression	0.017	1	0.017	28.570	0.000
Residual	0.007	11	0.001		
Total	0.024	12			
Regression	0.058	1	0.058	44.166	0.000
Residual	0.025	19	0.001		
Total	0.083	20			
Regression	0.004	1	0.004	40.089	0.000
Residual	0.001	13	0.000		
Total	0.006	14			
Regression	0.088	1	0.088	31.567	0.000
Residual	0.056	20	0.003		
Total	0.143	21			
Regression	0.028	1	0.028	10.525	0.007
Residual	0.032	12	0.003		
Total	0.059	13			
Regression	2.528	1	2.528	643.886	0.000
Residual	0.326	83	0.004		
Total	2.853	84			

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการ
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน และค่าดัชนีพื้นที่ใบ

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Regression	0.014	1	0.014	16.608	0.002
Residual	0.009	11	0.001		
Total	0.024	12			

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Regression	0.052	1	0.052	32.416	0.000
Residual	0.031	19	0.002		
Total	0.083	20			
Regression	0.005	1	0.005	57.203	0.000
Residual	0.001	13	0.000		
Total	0.006	14			
Regression	0.097	1	0.097	42.021	0.000
Residual	0.046	20	0.002		
Total	0.143	21			
Regression	0.037	1	0.037	19.604	0.001
Residual	0.023	12	0.002		
Total	0.059	13			
Regression	2.427	1	2.427	472.411	0.000
Residual	0.426	83	0.005		
Total	2.853	84			

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการ
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้กับค่าการสะท้อนแสงจริงของข้อมูลภาพถ่าย
จากดาวเทียม SPOT-5

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Regression	0.001	1	0.001	63.728	0.000
Residual	0.000	11	0.000		
Total	0.001	12			

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Regression	0.002	1	0.002	13.677	0.002
Residual	0.003	19	0.000		
Total	0.005	20			
Regression	0.000	1	0.000	11.413	0.005
Residual	0.000	13	0.000		
Total	0.001	14			
Regression	0.018	2	0.009	16.359	0.000
Residual	0.010	19	0.001		
Total	0.029	21			
Regression	0.044	1	0.044	17.946	0.001
Residual	0.030	12	0.002		
Total	0.074	13			
Regression	0.582	1	0.582	43.890	0.000
Residual	1.100	83	0.013		
Total	1.682	84			

ตารางผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการ
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับค่าการสะท้อน
แสงจริงของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม SPOT-5

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Regression	307.640	2	153.820	76.476	0.000
Residual	20.114	10	2.011		
Total	327.754	12			

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Regression	267.666	1	267.666	7.962	0.011
Residual	638.752	19	33.619		
Total	906.419	20			
Regression	102.219	1	102.219	21.882	0.000
Residual	60.728	13	4.671		
Total	162.947	14			
Regression	1097.912	2	548.956	21.231	0.000
Residual	491.264	19	25.856		
Total	1589.175	21			
Regression	250.507	1	250.507	11.226	0.006
Residual	267.777	12	22.315		
Total	518.284	13			
Regression	229465.779	1	229465.779	39.708	0.000
Residual	479640.482	83	5778.801		
Total	709106.260	84			

ตารางผนวกที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ไปกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในรูปแบบต่าง ๆ

		LAI	G	R	NIR	NDVI	NIR/R	NIR-R	CCF
LAI	Pearson Correlation	1	-0.410	-0.363	-0.673	0.514	0.559	-0.158	0.144
	Sig. (2-tailed)		0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.150	0.190
	N	85	85	85	85	85	85	85	85
G	Pearson Correlation	-0.410	1	0.963	0.671	-0.942	-0.916	0.571	-0.729
	Sig. (2-tailed)	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	N	85	85	85	85	85	85	85	85
R	Pearson Correlation	-0.363	0.963	1	0.658	-0.845	-0.820	0.745	-0.734
	Sig. (2-tailed)	0.001	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	N	85	85	85	85	85	85	85	85
NIR	Pearson Correlation	-0.673	0.671	0.658	1	-0.704	-0.725	0.413	-0.481
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000
	N	85	85	85	85	85	85	85	85
NDVI	Pearson Correlation	0.514	-0.942	-0.845	-0.704	1	0.995	0.327	0.577
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.002	0.000
	N	85	85	85	85	85	85	85	85

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

		LAI	G	R	NIR	NDVI	NIR/R	NIR-R	CCF
NIR/R	Pearson Correlation	0.559	-0.916	-0.820	-0.725	0.995	1	-0.311	0.525
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.004	0.000
	N	85	85	85	85	85	85	85	85
NIR-R	Pearson Correlation	-0.158	0.571	0.745	0.413	-0.327	-0.311	1	-0.528
	Sig. (2-tailed)	0.150	0.000	0.000	0.000	0.002	0.004		0.000
	N	85	85	85	85	85	85	85	85
CCF	Pearson Correlation	0.144	-0.729	-0.734	-0.481	0.577	0.525	-0.528	1
	Sig. (2-tailed)	0.190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	N	85	85	85	85	85	85	85	85

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	NDVI	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: V1

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.923 ^a	.853	.839	.00423

a. Predictors: (Constant), NDVI

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.001	1	.001	63.728	.000 ^a
	Residual	.000	11	.000		
	Total	.001	12			

a. Predictors: (Constant), NDVI

b. Dependent Variable: V1

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-.121	.031		-3.900	.002
	NDVI	.535	.067	.923	7.983	.000

a. Dependent Variable: V1

ภาพผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาตรไม้กับ

ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 1 ปี

Excluded Variables ^b						
Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	G	.250 ^a	.845	.418	.258	.157
	R	.167 ^a	.934	.372	.283	.424
	NIR	.044 ^a	.192	.851	.061	.278
	NIR/R	.050 ^a	.030	.976	.010	.006
	NIR-R	.128 ^a	1.020	.332	.307	.847
	CCF	-.002 ^a	-.014	.989	-.004	.686

a. Predictors in the Model: (Constant), NDVI

b. Dependent Variable: V1

ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	NIR		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: V1

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.647 ^a	.419	.388	.01184

a. Predictors: (Constant), NIR

ภาพผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาณไม้กับ
ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 2 ปี

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.002	1	.002	13.677	.002 ^a
	Residual	.003	19	.000		
	Total	.005	20			

a. Predictors: (Constant), NIR

b. Dependent Variable: V1

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.321	.039		8.310	.000
	NIR	-.117	.032	-.647	-3.698	.002

a. Dependent Variable: V1

Excluded Variables^b

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	G	-.219 ^a	-1.008	.327	-.231	.647
	R	.031 ^a	.152	.881	.036	.801
	NDVI	.358 ^a	1.733	.100	.378	.647
	NIR/R	.370 ^a	1.799	.089	.390	.647
	NIR-R	.245 ^a	1.434	.169	.320	.994

a. Predictors in the Model: (Constant), NIR

b. Dependent Variable: V1

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	NIR	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: V1

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.684 ^a	.468	.427	.00530

a. Predictors: (Constant), NIR

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.000	1	.000	11.413	.005 ^a
	Residual	.000	13	.000		
	Total	.001	14			

a. Predictors: (Constant), NIR

b. Dependent Variable: V1

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.352	.009		38.211	.000
	NIR	-.027	.008	-.684	-3.378	.005

a. Dependent Variable: V1

ภาพผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาตรไม้กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 3 ปี

Excluded Variables ^b						
Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	G	.035 ^a	.103	.920	.030	.384
	R	-.009 ^a	-.028	.978	-.008	.408
	NDVI	.078 ^a	.194	.850	.056	.269
	NIR/R	.243 ^a	.565	.582	.161	.234
	NIR-R	-.158 ^a	-.659	.522	-.187	.745
	CCF	-.193 ^a	-.742	.472	-.209	.629

a. Predictors in the Model: (Constant), NIR
b. Dependent Variable: V1

ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	NIR/R	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
2	NDVI	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: V1

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.692 ^a	.478	.452	.02729
2	.795 ^b	.633	.594	.02350

a. Predictors: (Constant), NIR/R
b. Predictors: (Constant), NIR/R, NDVI

ภาพผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาตรไม้กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 4 ปี

ANOVA^c

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.014	1	.014	18.334	.000 ^a
	Residual	.015	20	.001		
	Total	.029	21			
2	Regression	.018	2	.009	16.359	.000 ^b
	Residual	.010	19	.001		
	Total	.029	21			

a. Predictors: (Constant), NIR/R

b. Predictors: (Constant), NIR/R, NDVI

c. Dependent Variable: V1

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-.094	.117		-.806	.430
	NIR/R	.176	.041	.692	4.282	.000
2	(Constant)	.851	.350		2.436	.025
	NIR/R	1.967	.635	7.721	3.099	.006
	NDVI	-12.613	4.464	-7.041	-2.825	.011

a. Dependent Variable: V1

Excluded Variables^c

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	G	-.182 ^a	-.418	.681	-.095	.143
	R	-.013 ^a	-.051	.960	-.012	.459
	NIR	.185 ^a	.960	.349	.215	.708
	NDVI	-7.041 ^a	-2.825	.011	-.544	.003
	NIR-R	-.143 ^a	-.877	.391	-.197	.994
2	G	-.305 ^b	-.817	.425	-.189	.141
	R	-.036 ^b	-.169	.868	-.040	.458
	NIR	.140 ^b	.833	.416	.193	.700
	NIR-R	-.082 ^b	-.567	.578	-.132	.968

a. Predictors in the Model: (Constant), NIR/R

b. Predictors in the Model: (Constant), NIR/R, NDVI

c. Dependent Variable: V1

ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	G		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: V1

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.774 ^a	.599	.566	.04967

a. Predictors: (Constant), G

ANOVA^{ab}

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.044	1	.044	17.946	.001 ^a
	Residual	.030	12	.002		
	Total	.074	13			

a. Predictors: (Constant), G

b. Dependent Variable: V1

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.586	.254		6.256	.000
	G	-4.887	1.154	-.774	-4.236	.001

a. Dependent Variable: V1

ภาพผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาตรไม้กับข้อมูลภาพ
ถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 5 ปี

Excluded Variables ^b						
Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	R	-.004 ^a	-.009	.993	-.003	.161
	NIR	.477 ^a	2.027	.068	.521	.480
	NDVI	.010 ^a	.036	.972	.011	.479
	NIR/R	.057 ^a	.207	.840	.062	.477
	NIR-R	.015 ^a	.051	.960	.015	.445

a. Predictors in the Model: (Constant), G

b. Dependent Variable: V1

ภาพผนวกที่ 5 (ต่อ)

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	NIR	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: V1

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.588 ^a	.346	.338	.11514

a. Predictors: (Constant), NIR

ภาพผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาณไม้กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้รวมทุกชั้นอายุ

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.582	1	.582	43.890	.000 ^a
	Residual	1.100	83	.013		
	Total	1.682	84			

a. Predictors: (Constant), NIR

b. Dependent Variable: V1

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.882	.087		10.110	.000
	NIR	-.492	.074	-.588	-6.625	.000

a. Dependent Variable: V1

Excluded Variables^b

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	G	.096 ^a	.804	.424	.088	.550
	R	.140 ^a	1.194	.236	.131	.567
	NDVI	.011 ^a	.088	.930	.010	.504
	NIR/R	.067 ^a	.518	.606	.057	.475
	NIR-R	.102 ^a	1.052	.296	.115	.830
	CCF	-.177 ^a	-1.706	.092	-.185	.718

a. Predictors in the Model: (Constant), IR

b. Dependent Variable: V1

ภาพผนวกที่ 6 (ต่อ)

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	NDVI	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
2	NIR/R	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: C1

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.934 ^a	.872	.860	1.95552
2	.969 ^b	.939	.926	1.41822

a. Predictors: (Constant), NDVI

b. Predictors: (Constant), NDVI, NIR/R

ANOVA^c

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	285.689	1	285.689	74.708	.000 ^a
	Residual	42.065	11	3.824		
	Total	327.754	12			
2	Regression	307.640	2	153.820	76.476	.000 ^b
	Residual	20.114	10	2.011		
	Total	327.754	12			

a. Predictors: (Constant), NDVI

b. Predictors: (Constant), NDVI, NIR/R

c. Dependent Variable: C1

ภาพผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างการกักเก็บคาร์บอนกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 1 ปี

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	-23.070	14.289		-1.614	.135
NDVI	267.718	30.974	.934	8.643	.000
2 (Constant)	-85.766	21.623		-3.966	.003
NDVI	1261.962	301.796	4.401	4.182	.002
SIM	-145.872	44.156	-3.477	-3.304	.008

a. Dependent Variable: C1

Excluded Variables^c

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	G	.104 ^a	.366	.722	.115	.157
	R	.096 ^a	.560	.588	.174	.424
	NIR	.169 ^a	.811	.436	.249	.278
	NIR/R	-3.477 ^a	-3.304	.008	-.722	.006
	NIR-R	.084 ^a	.703	.498	.217	.847
	CCF	.123 ^a	.936	.371	.284	.686
2	G	.162 ^b	.800	.444	.258	.156
	R	.106 ^b	.871	.407	.279	.423
	NIR	.160 ^b	1.086	.306	.340	.278
	NIR-R	.083 ^b	.967	.359	.307	.847
	CCF	-.021 ^b	-.191	.853	-.063	.549

a. Predictors in the Model: (Constant), NDVI

b. Predictors in the Model: (Constant), NDVI, NIR/R

c. Dependent Variable: C1

ภาพผนวกที่ 7 (ต่อ)

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	NIR	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: C1

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.543 ^a	.295	.258	5.79815

a. Predictors: (Constant), NIR

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	267.666	1	267.666	7.962	.011 ^a
	Residual	638.752	19	33.619		
	Total	906.419	20			

a. Predictors: (Constant), NIR

b. Dependent Variable: C1

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	190.248	18.906		10.063	.000
	NIR	-43.651	15.470	-.543	-2.822	.011

a. Dependent Variable: C1

ภาพผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างการกักเก็บคาร์บอนกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 2 ปี

Excluded Variables ^b						
Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	G	-.133 ^a	-.544	.593	-.127	.647
	R	.118 ^a	.536	.598	.125	.801
	NDVI	.300 ^a	1.274	.219	.288	.647
	NIR/R	.316 ^a	1.346	.195	.302	.647
	NIR-R	.291 ^a	1.564	.135	.346	.994

a. Predictors in the Model: (Constant), NIR

b. Dependent Variable: C1

ภาพผนวกที่ 8 (ต่อ)

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	NIR/R		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: C1

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.792 ^a	.627	.599	2.16134

a. Predictors: (Constant), NIR/R

ภาพผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างการกักเก็บคาร์บอนกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 3 ปี

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	102.219	1	102.219	21.882	.000 ^a
	Residual	60.728	13	4.671		
	Total	162.947	14			

a. Predictors: (Constant), NIR/R

b. Dependent Variable: C1

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	168.679	6.346		26.579	.000
	NIR/R	10.553	2.256	.792	4.678	.000

a. Dependent Variable: C1

Excluded Variables^b

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	G	.987 ^a	1.683	.118	.437	.073
	R	.543 ^a	1.041	.318	.288	.105
	NIR	-.247 ^a	-.691	.503	-.196	.234
	NDVI	-3.197 ^a	-1.889	.083	-.479	.008
	NIR-R	.149 ^a	.554	.589	.158	.418
	CCF	-.505 ^a	-1.899	.082	-.481	.338

a. Predictors in the Model: (Constant), NIR/R

b. Dependent Variable: C1

ภาพผนวกที่ 9 (ต่อ)

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	NIR/R	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
2	NDVI	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: C1

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.727 ^a	.529	.506	6.11673
2	.831 ^b	.691	.658	5.08488

a. Predictors: (Constant), NIR/R

b. Predictors: (Constant), NIR/R, NDVI

ANOVA^c

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	840.887	1	840.887	22.475	.000 ^a
	Residual	748.288	20	37.414		
	Total	1589.175	21			
2	Regression	1097.912	2	548.956	21.231	.000 ^b
	Residual	491.264	19	25.856		
	Total	1589.175	21			

a. Predictors: (Constant), NIR/R

b. Predictors: (Constant), NIR/R, NDVI

c. Dependent Variable: C1

ภาพผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างการกักเก็บคาร์บอนกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 4 ปี

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	164.653	26.234		6.276	.000
	NIR/R	43.726	9.223	.727	4.741	.000
2	(Constant)	393.048	75.652		5.195	.000
	NIR/R	476.275	137.406	7.923	3.466	.003
	NDVI	-3045.906	966.073	-7.207	-3.153	.005

a. Dependent Variable: C1

Excluded Variables^c

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	G	-.074 ^a	-.177	.862	-.041	.143
	R	-.021 ^a	-.089	.930	-.020	.459
	NIR	.192 ^a	1.055	.305	.235	.708
	NDVI	-7.207 ^a	-3.153	.005	-.586	.003
	NIR-R	-.137 ^a	-.883	.388	-.199	.994
2	G	-.198 ^b	-.572	.574	-.134	.141
	R	-.044 ^b	-.229	.821	-.054	.458
	NIR	.146 ^b	.953	.353	.219	.700
	NIR-R	-.074 ^b	-.557	.584	-.130	.968

a. Predictors in the Model: (Constant), NIR/R

b. Predictors in the Model: (Constant), NIR/R, NDVI

c. Dependent Variable: C1

ภาพผนวกที่ 10 (ต่อ)

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	G	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: C1

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.695 ^a	.483	.440	4.72385

a. Predictors: (Constant), G

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	250.507	1	250.507	11.226	.006 ^a
	Residual	267.777	12	22.315		
	Total	518.284	13			

a. Predictors: (Constant), G

b. Dependent Variable: C1

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	438.173	24.117		18.168	.000
	G	-367.632	109.724	-.695	-3.351	.006

a. Dependent Variable: C1

ภาพผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างการกักเก็บคาร์บอนกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้อายุ 5 ปี

Excluded Variables ^b						
Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	R	.658 ^a	1.312	.216	.368	.161
	IR	.477 ^a	1.718	.114	.460	.480
	NDVI	.379 ^a	1.298	.221	.364	.479
	NIR/R	.389 ^a	1.335	.209	.373	.477
	NIR-R	.406 ^a	1.349	.205	.377	.445

a. Predictors in the Model: (Constant), G

b. Dependent Variable: C1

ภาพผนวกที่ 11 (ต่อ)

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	NIR	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: C1

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.569 ^a	.324	.315	76.01843

a. Predictors: (Constant), NIR

ภาพผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างการกักเก็บคาร์บอนกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณของไม้รวมทุกชั้นอายุ

ANOVA ^b						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	229465.8	1	229465.779	39.708	.000 ^a
	Residual	479640.5	83	5778.801		
	Total	709106.3	84			
a. Predictors: (Constant), NIR						
b. Dependent Variable: C1						

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	576.895	57.577		10.020	.000
	NIR	-308.856	49.014	-.569	-6.301	.000
a. Dependent Variable: C1						

Excluded Variables ^b						
Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	G	.108 ^a	.889	.377	.098	.550
	R	.172 ^a	1.443	.153	.157	.567
	NDVI	-.012 ^a	-.092	.927	-.010	.504
	NIR/R	.026 ^a	.197	.845	.022	.475
	NIR-R	.152 ^a	1.549	.125	.169	.830
	CCF	-.200 ^a	-1.905	.060	-.206	.718
a. Predictors in the Model: (Constant), NIR						
b. Dependent Variable: C1						

ภาพผนวกที่ 12 (ต่อ)

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair	filed	.3047	15	.15113	.03902
1	LAI	.3053	15	.15189	.03922

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	filed & LAI	15	.993	.000

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	filed - LAI	-.00067	.01831	.00473	-.01081	.00947	-.141	14	.890

ภาพผนวกที่ 13 ผลการตรวจสอบความแตกต่างของปริมาตรไม้ที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม
และปริมาตรไม้ที่ได้จากค่าดัชนีพื้นที่ไปด้วยวิธีการทดสอบแบบ t-test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	filed	.3047	15	.15113	.03902
	SAT	.2907	15	.11883	.03068

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	filed & SAT	15	.897	.000

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	filed - SAT	.01400	.06885	.01778	-.02413	.05213	.788	14	.444

ภาพผนวกที่ 14 ผลการตรวจสอบความแตกต่างของปริมาตรไม้ที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม
และปริมาตรไม้ที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยวิธีการทดสอบแบบ t-test

Paired Samples Statistics						
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean	
Pair 1	filed	201.6488	16	111.86449	27.96612	
	LAI	201.8444	16	108.97026	27.24257	

Paired Samples Correlations				
		N	Correlation	Sig.
Pair 1	filed & LAI	16	.998	.000

Paired Samples Test								
		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference			
					Lower	Upper		
Pair 1	filed - LAI	-.19562	6.90803	1.72701	-3.87666	3.48541	-.113	.911

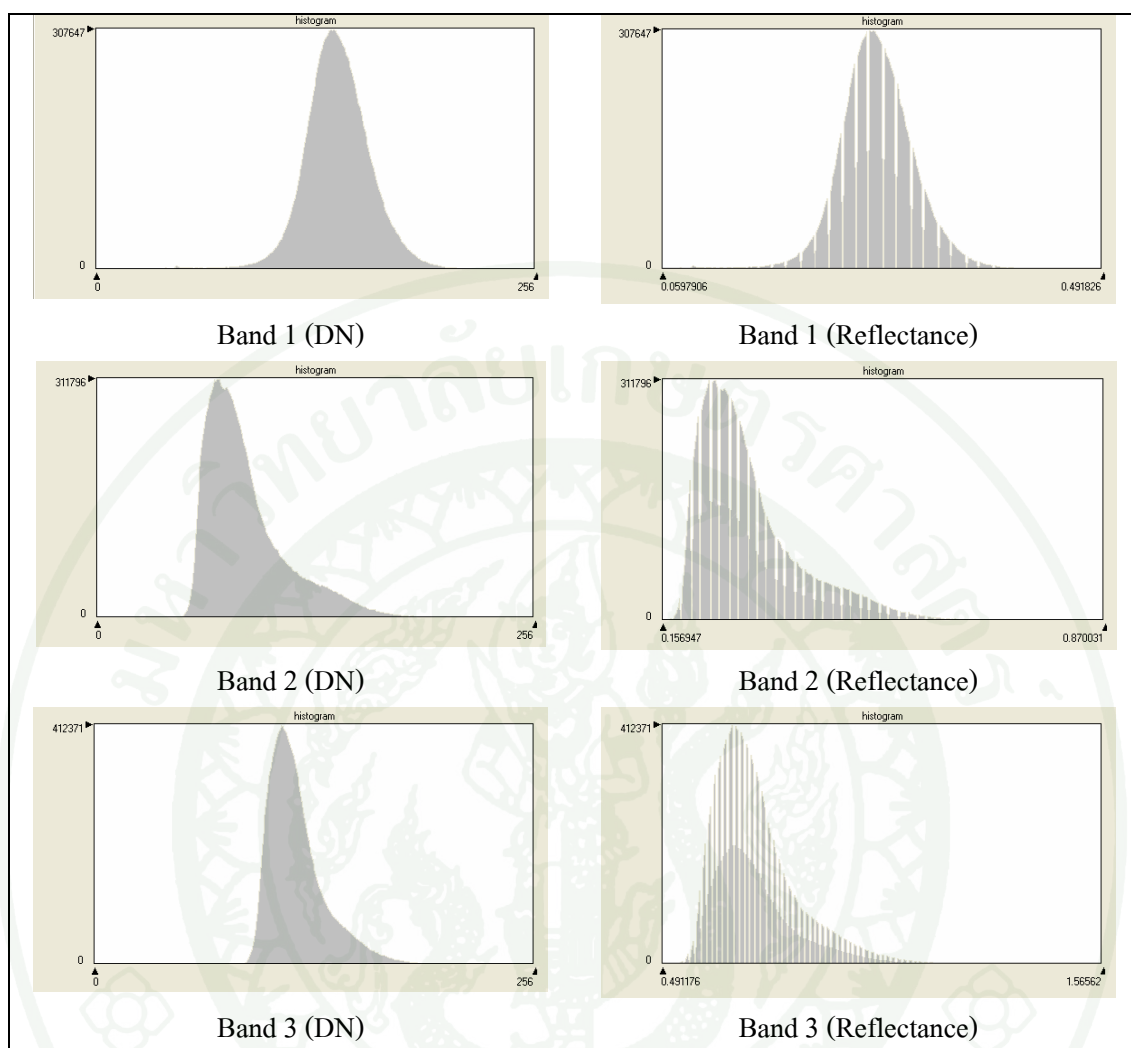
ภาพผนวกที่ 15 ผลการตรวจสอบความแตกต่างของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบด้วยวิธีการทดสอบแบบ t-test

Paired Samples Statistics					
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	filed	201.6488	16	111.86449	27.96612
	SAT	198.3538	16	101.79840	25.44960

Paired Samples Correlations			
		N	Sig.
Pair 1	filed & SAT	16	.000

Paired Samples Test								
		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference			
					Lower	Upper		
Pair 1	filed - SAT	3.29500	19.84845	4.96211	-7.28149	13.87149	.664	.517

ภาพผนวกที่ 16 ผลการตรวจสอบค่าความแตกต่างของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยวิธีการทดสอบแบบ t-test



ภาพผนวกที่ 17 Histogram เปรียบเทียบค่าระหว่าง ค่าข้อมูลเชิงเลข (DN) และค่าพลังงานสะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Reflectance)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายภัทร สว่างดี
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 16 กันยายน พ.ศ. 2526
สถานที่เกิด	จังหวัดอุดรธานี
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วนศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-