



วิทยานิพนธ์

การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลน
บริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ ด้วยเทคนิคการรับรู้ระยะไกล

ESTIMATION OF ABOVE-GROUND CARBON
SEQUESTRATION ON MANGROVE FOREST AT KOH
LANTA, KRABI PROVINCE USING REMOTE SENSING
TECHNIQUES

นายสุรเชษฐ์ สีแดง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วนศาสตร์)

ปริญญา

การจัดการป่าไม้

การจัดการป่าไม้

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลน บริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ ด้วยเทคนิคการรับรู้ระยะไกล

Estimation of Above-ground Carbon Sequestration on Mangrove Forest at Koh Lanta, Krabi Province Using Remote Sensing Techniques

นายผู้วิจัย นายสุรเชษฐ์ สีแดง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กาญจน์เขจร ชูชีพ, Dr.rer.nat.)

กรรมการ

(อาจารย์วีระภาส คุณรัตนศิริ, Dr.rer.nat.)

กรรมการ

(อาจารย์ยังรัก วัชรินทร์รัตน์, วท.ค.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์สันติ สุขสอาด, วท.ค.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลน บริเวณเกาะลันตา
จังหวัดกระบี่ ด้วยเทคนิคการรับรู้ระยะไกล

Estimation of Above-ground Carbon Sequestration on Mangrove Forest
at Koh Lanta, Krabi Province Using Remote Sensing Techniques

โดย

นายสุรเชษฐ์ สีแดง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์)
พ.ศ. 2551

สุรเชษฐ์ สีแดง 2551: การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลน
บริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ ด้วยเทคนิคการรับรู้ระยะไกล ปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต (วนศาสตร์) สาขาวิชาการจัดการป่าไม้ ภาควิชาการจัดการป่าไม้ ประธาน
กรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์กาญจน์เชจร ชูชีพ, Dr.rer.nat. 109 หน้า

การศึกษาเพื่อประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลน บริเวณเกาะลันตา
จังหวัดกระบี่ ในครั้งนี้อาศัยเทคนิคการรับรู้ระยะไกลและการวิเคราะห์การถดถอย การหา
ความสัมพันธ์กระทำใน 2 รูปแบบ ได้แก่ การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่
อยู่เหนือพื้นดิน (ตัวแปรตาม) กับค่าดัชนีพื้นที่ใบ (ตัวแปรอิสระ) และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ
การกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (ตัวแปรตาม) กับค่าการสะท้อนช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืช
พรรณที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM อันได้แก่ แบนด์ 2 (G), แบนด์ 3 (R) และ แบนด์ 4
(IR) รวมทั้งค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R (Simple Substraction),
การหารแบบง่าย : IR/R (Simple Ratio), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), TVI
(Transformed Vegetation Index) และ GVI (Green Vegetation Index) (ตัวแปรอิสระ) ค่าพารามิเตอร์
เหล่านี้ได้ถูกแปลงจากค่าหลักเลข (Digital Number) ของข้อมูลภาพให้เป็นค่าการสะท้อนคลื่นที่
อุปกรณ์วัดของดาวเทียมและค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่นที่พื้นโลกตามลำดับ แล้วนำมาหาความสัมพันธ์
กันระหว่างตัวแปร โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย เพื่อหาสมการที่เหมาะสมที่สุดในการประมาณค่า
ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลน บริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่

ผลการศึกษาพบว่า สมการที่ดีที่สุด เป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บ
คาร์บอนเหนือพื้นดิน กับค่า IR/R และ NDVI ที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM
อยู่ในรูปสมการ การกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน = $3,400.161 + 2,112.693(IR/R) - 17,023.629$
(NDVI) โดยสามารถประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่คิดเฉพาะพื้นที่ป่าชายเลนได้ค่า
ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินประมาณ 11.38 ตันคาร์บอนต่อไร่ หรือ ประมาณ 71.10 ตัน
คาร์บอนต่อเฮกเตอร์ และคิดเป็นปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินทั้งหมดของป่าชายเลน
บริเวณเกาะลันตา เท่ากับ 262,006,997.60 กิโลกรัมคาร์บอน หรือประมาณ 262,006.99 ตันคาร์บอน

Surachet Sridang 2008: Estimation of Above-ground Carbon Sequestration on Mangrove Forest at Koh Lanta, Krabi Province Using Remote Sensing Techniques. Master of Science (Forestry), Major Field: Forest Management, Department of Forest Management. Thesis Advisor: Assistant Professor Kankhajane Chuchip, Dr.rer.nat. 109 pages.

This study involved with the estimation of above ground carbon sequestration on mangrove forest at Koh Lanta, Krabi Province using remote sensing techniques. This study aimed at finding out the relationships between carbon sequestrations derived from above ground biomass and the leaf area index of mangrove trees. To do this, the relation between above-ground carbon sequestration and the reflectance value of different wavebands of Landsat 5 TM image and its index, such as band 2 (Green), band 3 (Red), and band 4 (IR) was analyzed. It included well-known vegetation indices, such as a simple subtraction (IR-R), a simple ratio (IR/R), normalized difference vegetation index (NDVI), transformed vegetation index (TVI), and green vegetation index (GVI). Regression analysis was used to determine the relationships between those parameters and carbon sequestration in order to perform the best-fit model for estimating the carbon sequestration of mangrove forest. In this case, the digital image of Landsat TM was converted into at-sensor reflectance value and spectral radiance prior to inputting into the analysis.

The study results revealed that the most reliable model was the regression model formulated from the numerical data of carbon sequestration as dependent variable and two independent variables of IR/R and NDVI. The model was used to estimate the quantity of carbon sequestration of the mangrove forest of Koh Lanta. It indicated that an average of above-ground carbon sequestration of the mangrove was 11.38 ton-carbon per rai, or 71.10 ton- carbon per hectare. In addition, the total above-ground carbon sequestration of the mangrove stands in the main area of Koh Lanta was 262,006,997.60 kilogram-carbon, or 262,006.99 ton- carbon.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจน์เขจร ชูชีพ ประธานกรรมการที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.วิระภาส คุณรัตนศิริ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก อาจารย์ ดร.จงรัก วัชรินทร์รัตน์ กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยัคดิพล ณรงค์ชวณะ ผู้แทนจากบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะ และคำแนะนำในการแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์จนเป็นรูปเล่มที่สมบูรณ์

ขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 ระบบ TM บริเวณเกาะล้านตา จังหวัดกระบี่ ในการศึกษาเพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณกิตติกร สิงตะนะ คุณถาวร สุทธิหลวง คุณแสงสุริ ชองทอง และคุณธนากร ศรีสุรักษ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนามและอำนวยความสะดวกในทุกๆ ด้าน คุณนพรัตน์ มานวกุล สำหรับความช่วยเหลือทุกครั้งทางด้านภาษาด้วยดีเสมอมา คุณปิยะวรรณ เกิดอยู่ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นธุระในการติดต่อประสานงาน ตลอดจนเพื่อน ๆ พี่ ๆ และ น้อง ๆ ของข้าพเจ้าทุกท่าน และที่ลืมนไปแล้วมีส่วนเกี่ยวข้องกับข้าพเจ้าซึ่งไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบของพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณย่า คุณอา ตลอดจนครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ให้โอกาสอันดีในการศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา รวมทั้งคอยให้กำลังใจในทุกๆ ด้านสำหรับการศึกษาและการทำงานที่ผ่านมา ขอขอบคุณครับ

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	30
อุปกรณ์	30
วิธีการ	31
ผลและวิจารณ์	52
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	81
สรุปผล	81
ข้อเสนอแนะ	85
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	87
ภาคผนวก	95

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในการศึกษา	27
2	รูปแบบสมการของช่วงคลื่น และดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้	36
3	สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณค่ามวลชีวภาพของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษา	39
4	ผลการจำแนกการใช้ที่ดินด้วยวิธีการจำแนกแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) และการวิธีการจำแนกเชิงพื้นที่ด้วยสายตา (พิจารณาทั้งขอบเขตของภาพถ่ายดาวเทียม)	55
5	ผลการจำแนกการใช้ที่ดินด้วยวิธีการจำแนกแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) และการวิธีการจำแนกเชิงพื้นที่ด้วยสายตา (พิจารณาเฉพาะบริเวณพื้นที่เกาะ)	57
6	ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่เป็นค่าหลักเลขของภาพต้นฉบับ และค่าที่แปลงเป็นค่าการสะท้อนจริงจากพื้นผิวโลก	58
7	ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Reflectance) ช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ	59
8	ข้อมูลความสูงเฉลี่ย เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ผลผลิตมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และดัชนีพื้นที่ใบที่คำนวณได้จากสมการแอลโลเมตรีตามตำแหน่งแปลงตัวอย่าง	61
9	ค่าความเด่นของพันธุ์ไม้แต่ละชนิด (Dominance) ที่สำรวจพบในพื้นที่ศึกษา	64
10	ผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละความเข้มข้นคาร์บอนโดยน้ำหนักแห้ง ของพันธุ์ไม้เด่นในพื้นที่ศึกษา	65
11	ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่คำนวณได้จากผลผลิตมวลชีวภาพกับค่าเฉลี่ยร้อยละของความเข้มข้นคาร์บอนโดยน้ำหนักแห้งที่ได้ในแต่ละส่วนตามตำแหน่งพิกัดของแปลงตัวอย่าง	65

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
12	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน และค่าดัชนีพื้นที่ใบ	69
13	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ใบ กับค่าการหารแบบง่าย (IR/R)	71
14	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน กับค่า IR/R และค่า NDVI	73
15	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากดัชนีพื้นที่ใบ และข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM ในตำแหน่งพิกัดเดียวกัน	76
ตารางผนวกที่		
1	จุดควบคุมทางภาคพื้นดิน และค่าความคลาดเคลื่อนที่ใช้ในการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM	96
2	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณและดัชนีพืชพรรณรูปแบบต่างๆ	97
3	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณและดัชนีพืชพรรณ	99
4	รายชื่อพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่สำรวจพบในป่าชายเลนบริเวณพื้นที่ศึกษา	101

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตโดยใช้สมการเส้นตรง	20
2	ลักษณะการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตโดยใช้สมการเส้นโค้ง	20
3	ค่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชที่แตกต่างสภาพกัน	25
4	แผนภาพแสดงกระบวนการศึกษาทั้งหมดในการศึกษาครั้งนี้	32
5	ขั้นตอนการแปลงค่าตัวเลขหลัก (Digital Number : DN) ไปเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Reflectance)	33
6	แผนภาพสรุปกระบวนการเตรียมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM ในพื้นที่ศึกษา	35
7	แผนภาพสรุปกระบวนการวิเคราะห์หาดัชนีพื้นที่ใบ มวลชีวภาพ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินจากข้อมูลภาคสนามในพื้นที่ศึกษา	39
8	แผนภาพสรุปกระบวนการหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินจากค่าดัชนีพื้นที่ใบ	44
9	แผนภาพสรุปกระบวนการหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM	46
10	การทดสอบความแตกต่างของปริมาณคาร์บอนที่ได้จากดัชนีพื้นที่ใบ และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM	47
11	ลักษณะป่าชายเลนที่ศึกษาบริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่	50
12	จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point) ที่ใช้ในการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตของภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM	53
13	ภาพถ่ายจากดาวเทียมสีผสมแบบด์ 4 (แดง) 5 (เขียว) และ 3 (น้ำเงิน) ภายหลังได้รับการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิต	54
14	ผลการจำแนกภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยวิธีแบบกำกับดูแล และวิธีการจำแนกเชิงพื้นที่ด้วยสายตา	56
15	ตำแหน่งที่ตั้งของแปลงตัวอย่าง	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
16 Scatter Plot และสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน กับค่าดัชนีพื้นที่ใบ ในรูปแบบ (ก) ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (ข) ความสัมพันธ์แบบลอการิทึม (ค) ความสัมพันธ์แบบยกกำลัง (ง) ความสัมพันธ์แบบเอ็กโพเนนเชียล	67
ภาพผนวกที่	
1 Histogram เปรียบเทียบค่าระหว่าง ค่าหลักเลข (DN) และค่าพลังงานสะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Reflectance)	102
2 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินกับค่าดัชนีพื้นที่ใบ โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)	104
3 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ใบกับการสะท้อนในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และค่าดัชนีความเป็นพรรณพืชที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)	105
4 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินกับค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และค่าดัชนีความเป็นพรรณพืชที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)	106
5 ผลการตรวจสอบค่าความแตกต่างของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบ และที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM ด้วยวิธีการทดสอบแบบ t-test	107
6 สภาพพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณเกาะลันตาจังหวัดกระบี่	108

การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลน บริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ ด้วยเทคนิคการรับรู้ระยะไกล

Estimation of Above-ground Carbon Sequestration on Mangrove Forest at Koh Lanta, Krabi Province Using Remote Sensing Techniques

คำนำ

ปัจจุบันโลกกำลังเผชิญปัญหาภัยพิบัติต่างๆ หลากหลายรูปแบบอันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ปัจจัยหนึ่งเกิดจากอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเกิดภาวะที่เรียกว่า ภาวะโลกร้อน (Global Warming) อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกซึ่งเกิดมาจากการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ ซึ่งก๊าซเหล่านี้สะสมในชั้นบรรยากาศเปรียบเสมือนกระจกที่ล้อมโลกไว้ ยอมให้แสงผ่านเข้ามาได้ แต่สกัดกั้นช่วงคลื่นความร้อนไม่ให้สะท้อนกลับสู่ชั้นบรรยากาศ ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นเรื่อย ๆ หรือเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ภาวะเรือนกระจก (Green-House Effect) โดยทุกประเทศทั่วโลกตระหนักถึงปัญหาดังกล่าว และได้พยายามหาแนวทางแก้ไข ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 แนวทาง ได้แก่ การลดการใช้เชื้อเพลิง และการเพิ่มศักยภาพในการหาแหล่งกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซที่มีปริมาณมากในชั้นบรรยากาศในปัจจุบัน การเพิ่มพื้นที่ป่าไม้เป็นอีกวิธีการหนึ่ง เนื่องจากต้นไม้จะดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงแล้วเปลี่ยนไปกักเก็บไว้ในรูปของมวลชีวภาพ (Biomass) ดังนั้นป่าไม้จึงเป็นแหล่งที่กักเก็บคาร์บอนขนาดใหญ่ โดยเฉพาะป่าชายเลนซึ่งจัดเป็นอีกระบบนิเวศหนึ่งที่มีปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพสูง

ป่าชายเลนจัดว่าเป็นระบบนิเวศที่มีความสำคัญ ทำหน้าที่เชื่อมโยงระบบนิเวศทะเลและระบบนิเวศบนบกเข้าด้วยกัน เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสรรพชีวิตในระบบนิเวศป่าชายเลนเอง และระบบนิเวศอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง และมีบทบาทในการป้องกันภัยธรรมชาติอันเกิดจากคลื่นลมแรงและการกัดเซาะดิน นอกจากนี้ป่าชายเลนยังจัดว่าเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่ เพราะเมื่อพิจารณาจากอัตราการเติบโตของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลนในแง่ของมวลชีวภาพ พบว่ามีอัตราการเพิ่มขึ้นที่ค่อนข้างสูงในรอบปีเมื่อเทียบกับป่าชนิดอื่นๆ เมื่อมวลชีวภาพมีการเพิ่มขึ้นจึงหมายความว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่มีอยู่ในมวลชีวภาพนั้นเพิ่มขึ้นไปด้วย แต่ปัจจุบันการที่จะทราบว่ามีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่ในรูปของมวลชีวภาพในพื้นที่ป่าชายเลนหนึ่งๆ ทำได้ยาก และใช้

งบประมาณที่สูง การนำเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลเข้ามาช่วยในการศึกษาจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง โดยเฉพาะพื้นที่ป่าชายเลนที่มีขนาดใหญ่ และการเข้าสำรวจทำได้ยาก ทำให้สามารถประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินทำได้อย่างรวดเร็ว และสามารถนำข้อมูลไปใช้ประกอบการตัดสินใจได้ทันต่อสถานการณ์ปัจจุบัน

การศึกษาครั้งนี้ได้นำข้อมูลที่ได้อจากการรับรู้ระยะไกลมาประยุกต์ใช้ร่วมกับข้อมูลปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพ ดัชนีพื้นที่ป่า และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากการสำรวจภาคสนามมาศึกษาหาความสัมพันธ์ เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ในการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนให้มีความถูกต้องมากที่สุด และนำไปประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนของทั้งพื้นที่ป่า ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการจัดการทรัพยากรป่าชายเลนเพื่อเป็นแหล่งช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และยังเป็นข้อมูลที่สนับสนุนความสำคัญของป่าชายเลนในการช่วยในการบรรเทาและแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคการรับรู้ระยะไกลในการประมาณหาค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลน บริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่
2. เพื่อประเมินศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลน บริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่

การตรวจเอกสาร

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้รวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ครอบคลุมประเด็นศึกษาต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผู้ทำการวิจัยได้แบ่งการตรวจเอกสารออกเป็น 5 ส่วนดังนี้

- ส่วนที่ 1 ความหมายและความสำคัญของป่าชายเลน
 - ส่วนที่ 2 มวลชีวภาพ
 - ส่วนที่ 3 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และการกักเก็บคาร์บอน
 - ส่วนที่ 4 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการสำรวจระยะไกล
 - ส่วนที่ 5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- โดยมีรายละเอียดดังนี้

ความหมายและความสำคัญของป่าชายเลน

นิยาม และความหมาย

สนธิ (2541) ได้ให้ความหมายของป่าชายเลน (Mangrove Forest) หมายถึง สังคมพืชที่ขึ้นอยู่บริเวณนอกสุดของชายฝั่งทะเล ปากแม่น้ำ หรืออ่าว ซึ่งเป็นบริเวณที่มีระดับน้ำทะเลท่วมถึงในช่วงเวลาน้ำขึ้นสูงสุด ประกอบด้วยพันธุ์ไม้หลายชนิด เป็นประเภทพืชมกไม่ผลัดใบ มีลักษณะทางสรีระวิทยา และมีความต้องการทางนิเวศที่คล้ายคลึงกัน ในทำนองเดียวกัน Huberman (1959) ที่ให้ความหมายไว้ว่า ป่าชายเลนเป็นสังคมพืชประกอบด้วยพันธุ์ไม้ไม่ผลัดใบเป็นส่วนใหญ่ มีการปรับตัวทางโครงสร้าง ลักษณะทางสรีระวิทยา และมีความต้องการถิ่นกำเนิดที่คล้ายกัน เป็นพืชทนแล้งและสามารถปรับตัวทางสรีระวิทยาให้เข้ากับสภาพความแห้งแล้งได้ดี นอกจากนี้ Du (1962) ยังให้ความหมายไว้ว่า ป่าชายเลนมีความหมายสองประการคือ ประการแรกเป็นสังคมพืชหลายชนิดหลายตระกูล และมีใบเขียวตลอดปี (Evergreen Species) มีลักษณะทางสรีระวิทยาและต้องการสภาพแวดล้อมที่มีความคล้ายคลึงกัน ประการที่ 2 หมายถึง กลุ่มของสังคมพืชที่ขึ้นอยู่บริเวณปากอ่าวชายฝั่งทะเลเขตร้อน (Tropical Region) มีพันธุ์ไม้ที่สำคัญได้แก่ ไม้สกุลโกงกาง (Rhizophora) และพันธุ์ไม้สกุลอื่นๆ ขึ้นปะปน

จากความหมายข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ป่าชายเลนคือ สังคมพืชที่ขึ้นอยู่ตามดินเลน หรือ ดินเลนปนทรายบริเวณนอกสุดของชายฝั่งทะเล ปากแม่น้ำ หรืออ่าว ซึ่งขึ้นอยู่บริเวณที่ระดับน้ำขึ้นสูงสุด และลงต่ำสุด พันธุ์ไม้ส่วนใหญ่ไม่ผลัดใบ มีใบเขียวตลอดปี มีลักษณะทางสรีระวิทยา และมีความต้องการทางนิเวศที่คล้ายคลึงกัน พันธุ์ไม้ที่สำคัญได้แก่ ไม้สกุลโกงกาง (Rhizophora) และพบไม้สกุลอื่นๆ ขึ้นปะปนอยู่บ้าง

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีความสำคัญ และมีประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ และสิ่งมีชีวิตในน้ำ เป็นที่เพาะพันธุ์ แหล่งหลบภัย อนุบาลสัตว์น้ำหลายชนิด สนิท (2541) กล่าวว่าป่าชายเลนมีคุณค่าทางด้านเศรษฐกิจ ด้านสิ่งแวดล้อม และทางด้านสังคมดังนี้

1. คุณค่าทางด้านเศรษฐกิจ ได้แก่

- ด้านการป่าไม้ เป็นไม้ฟืน เผาถ่าน ทำเสาเข็ม เครื่องมือ
- ด้านการประมง เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย อาหาร และอนุบาลตัวอ่อนของสัตว์น้ำ
- ด้านอุตสาหกรรม ผลพลอยได้จากการเผาถ่านไม้ป่าชายเลน ได้ของเหลว และก๊าซหลายชนิดที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ เช่น กรดน้ำส้ม น้ำมันดินไม้ และเมธิลแอลกอฮอล์ เป็นต้น

2. คุณค่าทางด้านสิ่งแวดล้อม

ป่าชายเลนมีความสำคัญทางด้านการอนุรักษ์พื้นที่ชายฝั่งทะเลโดยเป็นฉากกำบังภัยธรรมชาติ ป้องกันพายุ ป้องกันการกัดเซาะของชายฝั่ง ช่วยกรองของเสียและขยะบริเวณชายฝั่ง นอกจากนี้ยังพบว่าป่าชายเลนยังมีส่วนสำคัญในการช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนออกสู่บรรยากาศด้วย (วิพิตร และคณะ, 2540)

3. คุณค่าทางด้านสังคม

ผู้ที่อาศัยอยู่บริเวณป่าชายเลน และชายฝั่งทะเลอาศัยไม้ป่าชายเลนมาเป็นเชื้อเพลิงในการหุงหาอาหาร และขายเป็นรายได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังอาศัยป่าชายเลนในการเป็นแหล่งจับสัตว์น้ำนานาชนิด เช่น ปลา กุ้ง หอย ปู เป็นต้น และประการสำคัญอีกประการหนึ่งคือป่าชายเลนยังเป็นที่พักผ่อนหย่อนใจ และแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญของประชาชนอีกด้วย

โครงสร้างป่าชายเลน

โครงสร้างป่าชายเลนขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม และลักษณะของพันธุ์ไม้แต่ละชนิด ประกอบไปด้วยโครงสร้างทางด้านตั้ง โครงสร้างทางด้านราบ และความมากมายของแต่ละชนิดพันธุ์ ซึ่งแตกต่างกันไปแต่ละพื้นที่ (สนิท, 2541)

1. ชนิดพันธุ์ไม้ มีชนิดพันธุ์หลากหลายชนิดขึ้นกระจายตามลักษณะพื้นที่ ดังเช่นการศึกษาของ Aksornkoae (1976) ที่ได้ศึกษาโครงสร้างป่าชายเลนที่อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี พบว่ามีพันธุ์ไม้ 33 ชนิด สมใจและคณะ (2538) ได้ศึกษาพันธุ์ไม้ป่าชายเลนท้องที่จังหวัดสมุทรสงคราม ซึ่งมีลักษณะเป็นเลนงอกใหม่ พบว่ามีพันธุ์ไม้เบิกนำ (Pioneer Species) 2 ชนิด ได้แก่ แสมขาว และลำพู โสภณ (2528) ศึกษาลักษณะทางโครงสร้างของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ได้รับผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ ในท้องที่จังหวัดพังงา พบว่าพันธุ์ไม้สำคัญเป็นไม้ยืนต้นอยู่ 11 ชนิด และพันธุ์ไม้อื่นๆ อีก 3 ชนิด รวมทั้งสิ้น 14 ชนิด

2. การแบ่งโซนพันธุ์ไม้ป่าชายเลน (Zonation) พันธุ์ไม้แต่ละชนิดในป่าชายเลนจะขึ้นเป็นแถบหรือโซนแตกต่างจากป่าบก คือ มีการแพร่กระจายเป็นเขตแนว (Zone) ในพื้นที่แต่ละแห่ง แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและเคมีภาพของดิน ความเค็มของน้ำ ความถี่ของการท่วมถึงของน้ำทะเล และลักษณะภูมิอากาศ (สนิท, 2541)

ในการศึกษาการแบ่งโซนพันธุ์ไม้ป่าชายเลนมีผู้ทำการศึกษาใช้เกณฑ์ในการแบ่งโซนพันธุ์ไม้ที่แตกต่างกันออกไปดังนี้

1) Watson (1928) ศึกษาลักษณะโครงสร้างป่าชายเลนในประเทศมาเลเซีย โดยใช้ความถี่ของการท่วมถึงของน้ำทะเล และแบ่งป่าชายเลนออกเป็น 5 โซน ดังนี้

1.1) บริเวณที่มีระดับน้ำทะเลท่วมถึงสูงสุด (High Tidal) จะพบชนิดพันธุ์ที่สามารถขึ้นได้ชนิดเดียวคือ ไม้โกงกางใบใหญ่

1.2) บริเวณที่มีระดับน้ำทะเลท่วมถึงสูงระดับปานกลาง (Medium High Tidal) ชนิดพันธุ์ไม้ที่พบได้แก่ ไม้แสมขาว แสมทะเล ลำพูทะเล

1.3) บริเวณที่มีระดับน้ำทะเลท่วมถึงสูงธรรมดา (Normal High Tidal) พบว่ามีชนิดพันธุ์หลายชนิดเจริญเติบโตได้ดี โดยพบสกุลไม้โกงกางเป็นพันธุ์ไม้เด่น

1.4) บริเวณที่มีระดับน้ำทะเลท่วมถึงเมื่อน้ำทะเลท่วมสูงสุด (Spring Tidal) เท่านั้น พันธุ์ไม้ที่พบได้แก่ ไม้ถั่วขาว พังกาหัวสุมดอกแดง

1.5) บริเวณที่มีระดับน้ำทะเลท่วมถึงก็ต่อเมื่อน้ำขึ้นสูงเป็นพิเศษ (Exceptional Tidal) เท่านั้น พบว่ามีพันธุ์ไม้หลายชนิดเจริญเติบโตได้ดี ได้แก่ ไม้พังกาหัวสุมดอกแดง หงอนไก่ทะเล ไม้ตำมทะเล และจาก

2) De Haan (1931) แบ่งโซนของป่าชายเลน โดยใช้ความเค็มของน้ำในดิน และการท่วมถึงของกระแสน้ำ เป็นปัจจัยในการแบ่งโซน โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่

2.1) พื้นที่ที่เป็นน้ำจืด น้ำกร่อย มีความเค็มประมาณ 0-10 เปอร์เซนต์ แบ่งเป็น 2 เขตคือ

- พื้นที่ที่น้ำทะเลท่วมถึงน้อยมาก
- พื้นที่ที่น้ำทะเลท่วมถึงทุกฤดูกาล

2.2) พื้นที่ที่เป็นน้ำกร่อยและน้ำเค็ม มีกระแสน้ำท่วมถึง วันละ 1-2 ครั้ง โดยมีความเค็มของน้ำในดินระหว่าง 10-30 เปอร์เซนต์ แบ่งออกเป็น 4 เขต คือ

- พื้นที่ที่มีน้ำทะเลท่วมถึง วันละ 1-2 ครั้ง เป็นเวลา 20 วันต่อเดือน
- พื้นที่ที่มีน้ำทะเลท่วมถึง เป็นจำนวน 9-10 ครั้งต่อเดือน
- พื้นที่ที่มีน้ำทะเลท่วมถึง น้อยกว่า 9 ครั้งต่อเดือน
- พื้นที่ที่มีน้ำทะเลท่วมถึง น้อยมาก ในระยะเวลาปีหนึ่ง

3) Walter and Steiner (1936) ทำการศึกษาป่าชายเลนที่ Tonga ในแอฟริกาตะวันออก โดยใช้ไม้เด่นเป็นตัวกำหนดการแบ่งโซน แบ่งได้ดังนี้

- 3.1) พื้นที่ที่น้ำทะเลท่วมถึงติดกับแผ่นดินใหญ่
- 3.2) พื้นที่ที่มีไม้โปรง (*Ceriops* spp.) ขึ้นอยู่หนาแน่น
- 3.3) พื้นที่ที่มีไม้ถั่ว (*Bruguiera* spp.) เป็นไม้เด่น
- 3.4) พื้นที่ที่มีไม้โกงกาง (*Rhizophora* spp.) เป็นไม้เด่น
- 3.5) พื้นที่ที่มีไม้แสม (*Avicennia* spp.) เป็นไม้เด่น

การขึ้นอยู่ของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนมีความสัมพันธ์กับสภาพพื้นที่และปัจจัยแวดล้อม กล่าวคือ ไม้แสม ลำพู เป็นไม้เบิกนำที่ชอบขึ้นอยู่บริเวณริมน้ำ ไม้แสมพบขึ้นได้ดีทั้งในดินเลนอ่อนและดินเลนปนทราย ส่วนไม้ลำพูพบขึ้นในดินเลนปนทราย เป็นพื้นที่ที่มีน้ำทะเลท่วมถึงเป็นประจำ ไม้โกงกางพบขึ้นอยู่ตามริมน้ำซึ่งดินเป็นดินเลนอ่อนค่อนข้างลึก มีน้ำทะเลท่วมถึงสม่ำเสมอ สำหรับไม้ฝาด ตะบูน พบขึ้นในที่ดินเลนค่อนข้างแข็ง ระดับพื้นที่ค่อนข้างสูง ส่วนพันธุ์ไม้ที่ขึ้นอยู่

บนดินเลนแข็งมีน้ำทะเลท่วมถึงบางคราวในรอบเดือน ได้แก่ ไม้ตาตุ่มทะเล เป้ง สำหรับในบริเวณป่าชายเลนที่ถูกทำลายจะพบปรอททะเลขึ้นอยู่ด้วย (สง่า และคณะ, 2530)

Aksornkoae (1976) ศึกษาการแบ่งโซนของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน อำเภอลำลูกเกด จังหวัดจันทบุรี โดยวิธีของ Walter and Steiner (1936) จากบริเวณชายฝั่งน้ำลึกเข้าไปด้านในสุดของป่า โดยพิจารณาไม้เด่น พบว่าเขตนอกสุดที่ติดริมฝั่งน้ำจะพบกลุ่มไม้โกงกางใบใหญ่ขึ้นอยู่ ถัดเข้าไปเป็นเขตของไม้เสมขาว เสม็ด ถั่วขาว ถัดจากกลุ่มนี้จะเป็นไม้ตะบูนดำ โปรงแดง และฝาดดอกขาว เขตสุดท้ายเป็นแนวรอยต่อระหว่างป่าชายเลนกับพื้นที่ป่าบกพบกลุ่มไม้เสม็ดขึ้นอยู่ โสภณ (2528) ทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างป่าชายเลนที่ได้รับผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ ในท้องที่จังหวัดพังงา พบว่าการแบ่งเขตพันธุ์ไม้ป่าชายเลนจากริมฝั่งน้ำจนถึงด้านในสุดของป่า เริ่มต้นจากป่าด้านนอกมีกลุ่มของลำแพน เสม็ดขาว โกงกางใบเล็ก เสม็ด และโกงกางใบใหญ่ ด้านในเป็นกลุ่มของไม้โกงกางใบเล็ก เสม็ดขาว ถัดจากกลุ่มนี้เข้าไปเป็นกลุ่มของตะบูนขาว ตะบูนดำ กลุ่มสุดท้ายด้านในสุดเป็นกลุ่มของ ถั่วขาว พังกาหัวสุม และโปรงขาว

3. ความหนาแน่นของพันธุ์ไม้ มีความแตกต่างกันไปในแต่ละถิ่นที่ตั้ง ตัวอย่างเช่น การศึกษาความหนาแน่นของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนในท้องที่อำเภอเมือง จังหวัดพังงาของพิสิษฐ์ (2531) พบว่ามีความหนาแน่นของไม้ยืนต้นประมาณ 345 ต้นต่อเฮกเตอร์ ในขณะที่การศึกษาของฝ่ายจัดการป่าชายเลน (2535) ศึกษาพบว่า บริเวณท่าฉัตรไชย อำเภอลำลูกเกด จังหวัดภูเก็ต มีความหนาแน่นของไม้ยืนต้นประมาณ 719 ต้นต่อเฮกเตอร์ เป็นต้น และการศึกษาของสมใจ และคณะ (2538) ก็ระบุว่า บริเวณท้องที่จังหวัดสมุทรสงคราม มีความหนาแน่นถึง 930 ต้นต่อเฮกเตอร์

นอกจากนี้ เกลิมชัย (2537) ได้รายงานไว้ว่า พื้นที่ป่าชายเลนภาคใต้ของประเทศไทยมีความหนาแน่นของไม้ยืนต้นเฉลี่ย 393 ต้นต่อเฮกเตอร์ พื้นที่ป่าชายเลนภาคตะวันออกมีความหนาแน่นของไม้ยืนต้นเฉลี่ย 1,938 ต้นต่อเฮกเตอร์ ความหนาแน่นของไม้ยืนต้นป่าชายเลนของประเทศไทย มีความหนาแน่นประมาณ 1,166 ต้นต่อเฮกเตอร์ จากข้อมูลความหนาแน่นของไม้ป่าชายเลน แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ป่าชายเลนภาคตะวันออกมีความหนาแน่นของไม้ยืนต้นสูงกว่าป่าชายเลนทางภาคใต้ของประเทศไทย

4. การสืบพันธุ์ของไม้ป่าชายเลน โดยปัจจัยที่มีผลต่อการตั้งตัวของลูกไม้ป่าชายเลนขึ้นอยู่กับลักษณะการขึ้นลงของน้ำทะเล กระแสน้ำ ความเร็วของกระแสน้ำ แสงสว่าง และอุณหภูมิ (Aksornkoae, 1976) จากการศึกษาของ พิสิษฐ์ (2531) พบว่าการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติของไม้ป่า

ชายเลนที่อำเภอเมือง จังหวัดพังงา มีความหนาแน่นของไม้รุ่นและลูกไม้รวมกันมีจำนวนประมาณ 2,954 ต้นต่อเฮกเตอร์ ในขณะที่ฝ่ายจัดการป่าไม้ (2535) ได้ศึกษาการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติของไม้ป่าชายเลนบริเวณท่าฉัตรไชย อำเภอลาแม จังหวัดภูเก็ต พบว่ามีความหนาแน่นของไม้รุ่นและลูกไม้ประมาณ 2,700 ต้นต่อเฮกเตอร์

5. ปริมาตรไม้ ของไม้บริเวณหนึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับความหนาแน่นของพันธุ์ไม้ ขนาดของไม้ และชนิดของพันธุ์ไม้ (Macnae, 1968) Aksornkoae (1976) ศึกษาป่าชายเลนบริเวณอำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี พบว่าปริมาตรไม้ มีค่าผันแปรตั้งแต่บริเวณขอบป่า ซึ่งติดกับทะเล กระทั่งห่างจากชายฝั่งมากขึ้น โดยบริเวณป่าชายเลนซึ่งติดกับชายฝั่งมีปริมาตรไม้ประมาณ 35 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกเตอร์ เนื่องจากมีไม้ขนาดเล็ก ประกอบด้วยพันธุ์ไม้น้อยชนิด ถัดเข้ามามีปริมาตรประมาณ 120 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกเตอร์ เป็นแนวเขตที่ดินไม้มีขนาดใหญ่ประกอบด้วยพันธุ์ไม้หลายชนิด แนวเขตสุดท้ายติดกับป่าบก ปริมาตรไม้ประมาณ 84 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกเตอร์

มวลชีวภาพ

นิยาม และความหมาย

Demoll (1972) กล่าวว่า มวลชีวภาพหมายถึง ปริมาณของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งของสถานะการณ์ใด ๆ มวลชีวภาพอาจวัดได้ในรูปแบบของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง น้ำหนักอินทรีย์สารที่ไม่รวมถึงน้ำหนักขี้เถ้า (Ash-free dry weight) น้ำหนักคาร์บอน แคลอรี หรือหน่วยอื่นๆ ซึ่งอาจเป็นประโยชน์สำหรับวัตถุประสงค์ของการเปรียบเทียบโดยอาจมีหน่วยเป็น กรัมต่อตารางเมตร กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ หรือหาในรูปพลังงานซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี ในขณะเดียวกัน พงษ์ศักดิ์ (2538) ได้ให้ความหมายของมวลชีวภาพไว้ว่า เป็นน้ำหนักของพืชที่วัดได้ออกมาเป็นน้ำหนักแห้ง หรือน้ำหนักแห้งของพืชที่ปราศจากขี้เถ้า อาจเป็นน้ำหนักต่อหน่วยของพืช เช่น ต่อต้น หรือต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งหมายถึงมวลชีวภาพของพืชทั้งกลุ่ม ทั้งหมู่ไม้ หรือสังคมพืช ซึ่งสอดคล้องกับ Ovington (1962) ที่ให้ความหมายไว้ว่า มวลของสิ่งมีชีวิตที่ปรากฏอยู่ในระบบนิเวศต่อหน่วยพื้นที่ ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งของสถานะการณ์ใด ๆ มวลของสิ่งมีชีวิตนี้ ประกอบด้วยมวลของพืชสีเขียวที่สร้างขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยรวมทั้งสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่อาศัยอยู่ในระบบนิเวศ ซึ่งมวลชีวภาพอาจหาได้ในรูปของน้ำหนักสด (Fresh weight) น้ำหนักแห้ง (Dry weight) น้ำหนักปราศจากขี้เถ้า (Ash-free dry weight) หรือน้ำหนักคาร์บอน (Carbon weight) ซึ่งมีหน่วยเป็นแคลอรี (Odum, 1963) แต่โดยทั่วไปนิยมหาออกมาในรูปแบบของ

น้ำหนักแห้งซึ่งมีหน่วยเป็นตันต่อเฮกแตร์ (Ogawa et al., 1965) นอกจากนี้ยังมีผู้ให้ความหมายแตกต่างกันออกไปอีกหลายท่าน ได้แก่

Brown (1997) ให้ความหมายของมวลชีวภาพไว้ว่า มวลชีวภาพ คือ ปริมาณของสารอินทรีย์ในส่วนที่มีชีวิตทั้งหมดในพืชสังเคราะห์ขึ้น โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงที่เปลี่ยนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์มาเป็นพลังงานเคมีที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์โดยนำธาตุอาหารมาจากดินและอากาศมาใช้ ซึ่งสารอินทรีย์จะเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพซึ่งวัดออกมาเป็นน้ำหนักแห้งต่อหน่วยพื้นที่

จากคำนิยาม และความหมายข้างต้นสามารถสรุปความหมายได้ว่า มวลชีวภาพหมายถึง ปริมาณของสารอินทรีย์ในส่วนที่มีชีวิตทั้งหมดที่พืชสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งของสถานะการณ์ใด ๆ ที่สามารถวัดออกมาได้ในรูปของน้ำหนักสด (Fresh weight) น้ำหนักแห้ง (Dry weight) น้ำหนักปราศจากจีเถ้า (Ash free dry weight) หรือน้ำหนักคาร์บอน (Carbon weight) โดยมีหน่วยเป็นน้ำหนักต่อหน่วยของพืช เช่น ต่อดัน หรือต่อหน่วยพื้นที่

การประมาณค่ามวลชีวภาพและดัชนีพื้นที่ใบ

โดยปกติมวลชีวภาพจะรวมทั้งของพืชและของสัตว์ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะมวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดินของพืชพรรณที่เป็นป่าเท่านั้น ซึ่งสามารถแยกออกเป็นมวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดิน และมวลชีวภาพที่อยู่ใต้ดิน โดยทั่วไปจะมีข้อมูลที่ถูกจัดพิมพ์ออกมาในรูปแบบของมวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดินมากกว่าใต้ดินที่มีขีดจำกัดในการศึกษา (Sataa and Madgwick, 1982)

มวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดินในที่นี้จะป็นน้ำหนัก หรือมวลทั้งสิ้นของต้นไม้ต้นหนึ่ง หรือหลายๆ ต้นในผืนป่าที่กำหนด น้ำหนักทั้งสิ้นได้แก่ ลำต้น กิ่ง ก้าน และใบ ทั้งนี้ไม่รวมถึงราก และตอที่ตัดแล้ว (Edward and Grubb, 1977) วิธีหามวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดินของพื้นที่ป่าที่อยู่หลายวิธี พงษ์ศักดิ์ (2538) กล่าวว่า นักนิเวศวิทยาชาวญี่ปุ่นส่วนใหญ่จะนิยมใช้ความสัมพันธ์ทางแอลโลเมตรี (Allometry method) ระหว่างมิติ (Dimension) ต่างๆ ของต้นไม้ กับอีกวิธีหนึ่งที่เรียกว่า Stratified clip technique ซึ่งเป็นเทคนิคง่ายๆ ในการตัดฟันส่วนของพืชที่อยู่เหนือพื้นดินออกเป็นชิ้นๆ ในแนวราบ โดยใช้ช่วงความหนาแน่นของชั้นเท่าๆ กัน ซึ่งการใช้เทคนิคนี้กับสังคมพืชป่าไม้

ต้องใช้แรงงาน และเวลาค่อนข้างมาก แต่มีประโยชน์มาก เนื่องจากคุณสมบัติทั้งทางสัณฐานวิทยา และทางสรีรวิทยาของใบไม้ และของเนื้อไม้ นั้น จะแตกต่างกันไปตามตำแหน่งที่อยู่ภายในช่องว่างของป่า (Forest Space)

วิธีการหาค่ามวลชีวภาพนั้น Komiyama (1988) ได้แบ่งการหาออกเป็น 3 วิธี คือ 1) การชั่งน้ำหนักสดโดยการตัดพืชทุกชนิดที่อยู่ในพื้นที่ออกให้หมด แล้วนำไปทำการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้น แล้วทำการชั่งน้ำหนักแห้ง นำมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักสด เพื่อหามวลชีวภาพที่แท้จริง แต่วิธีนี้เป็นวิธีการที่ยุ่งยาก และใช้แรงงานคน เวลา งบประมาณค่อนข้างสูง แต่ก็ได้ผลที่แม่นยำ 2) การเลือกตัดโดยหาค่าเฉลี่ย (Mean Tree) ใช้ได้ดีกับไม้ต้นไม้มที่มีรูปแบบเดียวกัน และป่าที่มีอายุน้อย 3) การชั่งน้ำหนักของตัวอย่างบางส่วน แล้วนำมาหาความสัมพันธ์กับส่วนใดส่วนหนึ่งของพืช ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า วิธีการทางแอลโลเมตริก (Allometric Method)

วิธีทางแอลโลเมตริกถูกนำมาใช้ศึกษานิเวศวิทยาของป่าไม้เป็นครั้งแรกโดย Kittredge (1944) มีรูปแบบสมการคือ

$$\log W_L = b \log D - a$$

โดยใช้ประมาณหามวลชีวภาพของใบไม้ต่อต้น (W_L) จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (DBH หรือ D) ซึ่งเป็นกรณีหนึ่งของกฎทางแอลโลเมตริก (Law of Allometry) ทำให้ได้สมการความสัมพันธ์ทางด้านมิติของต้นไม้สองอย่าง คือ ตัวแปร X และ Y ในรูป

$$y = Ax^h$$

$$\text{หรือ} \quad \log y = h \log x + \log A \quad \text{เมื่อ } A \text{ และ } h \text{ เป็นค่าคงที่}$$

การใช้สมการนี้ ถ้ามิติใดมิติหนึ่งวัดได้ยาก และสามารถวัดอีกมิติหนึ่งได้โดยง่าย ก็สามารถประมาณหาค่าอีกมิติหนึ่งได้ไม่ยาก ในกรณีของต้นไม้ค่า DBH เป็นมิติที่วัดได้ง่าย และในการประมาณหาค่ามวลชีวภาพก็ใช้ค่านี้น้อยๆ

กรณีที่มวลชีวภาพเป็นน้ำหนักของลำต้นไม้ (W_s) ต่อต้น (ในการใช้สัญลักษณ์ W นิยมใช้แทนปริมาณของต้นไม้ 1 ต้น แต่ y ใช้แทนมวลชีวภาพของต้นไม้ต่อกลุ่ม ต่อหมู่ไม้ (Stand) หรือต่อหน่วยพื้นที่ดิน) สมการดังกล่าว (พงษ์ศักดิ์, 2538) คือ

$$W_s = AD^h$$

อย่างไรก็ตาม ค่าคงที่ A และ h ในสมการข้างต้นจะแตกต่างกันไปแล้วแต่กลุ่มหรือหมู่ไม้ของป่า สาเหตุจากความแตกต่างของอายุของหมู่ไม้ (Stand Age) ความหนาแน่นของหมู่ไม้ (Strand Density) และสภาวะแวดล้อม (Environment Condition) สามารถแก้ไขให้หมดไปได้โดยใช้ตัวแปรอิสระ (x) ในสมการ 2 ตัว โดยสมการนิยมให้ค่า x เป็นค่ารวมกันระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (D) และความสูง (H) เพื่อลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นจากการวัดข้อมูล (Ogawa and Kira, 1977) โดยจะอยู่ในรูปต่อไปนี้

$$W_s = A(D^2H)^h$$

การหามวลชีวภาพของกิ่ง (W_B) ต่อต้นสามารถประมาณออกมาได้ เช่นเดียวกับลำต้น หากทราบความสัมพันธ์ทางแอลโลเมตรี ระหว่าง W_B กับ D หรือ W_B กับ D^2H แต่เมื่อใช้ความสัมพันธ์ทางแอลโลเมตรี ระหว่าง W_s กับ D^2H แล้วมักนิยมประมาณมวลชีวภาพของกิ่ง จากสมการต่อไปนี้

$$W_B = AW_s^h$$

ในการประมาณมวลชีวภาพของใบ Ogawa (1965) ระบุว่ามวลชีวภาพของใบต่อต้น (W_L) สามารถหาได้โดยอาศัยน้ำหนักของลำต้นต่อต้น (W_s) ในการประมาณมวลชีวภาพของดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{1}{W_L} = \frac{1}{AW_s^h} + \frac{1}{B}$$

เมื่อ A , h และ B เป็นค่าคงที่

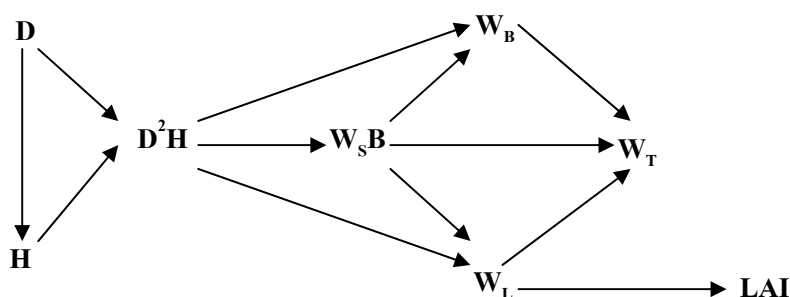
สำหรับการประมาณหาพื้นที่ผิวใบของใบไม้ จะอาศัยความสัมพันธ์ทางแอลโลเมตรี ระหว่างพื้นที่ผิวใบทั้งหมดของต้นไม้ต้นหนึ่ง (LAI) กับน้ำหนักของใบไม้ต่อต้น (W_L) โดยระบุเป็น ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) จะอยู่ในรูปสมการต่อไปนี้

$$LAI = A W_L^h$$

นอกจากนี้ Ogawa และคณะ (1961) ได้เขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวใบ และ มวลชีวภาพไว้ คือ

$$LAI = A(D^2H)^h$$

Kato และคณะ (1978) สรุปว่า วิธีการทางแอลโลเมตรีสามารถใช้ให้สัมพันธ์กันในการ คำนวณดังผังภาพต่อไปนี้



เมื่อ

W_S คือ น้ำหนักของลำต้น (weight of stem)

W_B คือ น้ำหนักของกิ่ง (weight of branches)

I

W_L คือ น้ำหนักของใบ (weight of leaves)

W_T คือ น้ำหนักของต้นไม้ (weight of tree)

LAI คือ พื้นที่ใบ (leaf area)

เมื่อได้ค่าพื้นที่ผิวใบทั้งหมดของต้นไม้หนึ่งต้น สามารถนำไปใช้ในการประมาณค่า อัตราส่วนของพื้นที่ผิวใบต่อพื้นผิวดินซึ่งเรียกว่า ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index : LAI) และมวลชีวภาพของต้นไม้ในแต่ละส่วน (ลำต้น กิ่ง ใบ) หรือทั้งต้น ทั้งหมด (stand) ทั้งแปลง หรือทั้งป่าได้ เช่นเดียวกัน ในการประเมินค่ามวลชีวภาพโดยใช้ความสัมพันธ์ทางแอลโลเมตรีสำหรับการ ประเมินค่ามวลชีวภาพของไม้ในป่าจะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัด และมวลชีวภาพเหนือ

พื้นดินสำหรับไม้เนื้อแข็งทั้งหมดสามารถที่จะประมาณหาพื้นที่หน้าตัด และยังพบว่าการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างเรือนยอดสูงสุด (Top-Canopy height) และมวลชีวภาพเหนือพื้นดินสำหรับป่าผลัดใบสามารถที่จะทำการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินทางด้านความสูงของเรือนยอดได้โดยการสำรวจจากภาคสนาม เพราะว่ามวลชีวภาพของป่าในเขตร้อนจะมีการประเมินค่าจากข้อมูลการสำรวจป่าไม้ (Forest Inventory data) (Iverson และคณะ, 1994) โดยปริมาณของไม้ที่ได้จากการสำรวจตามธรรมชาติจะแบ่งได้หลายชั้นตามระดับความละเอียดที่ต้องการและข้อมูลพื้นฐานนี้จะเป็นข้อมูลสำหรับป่าแต่ละประเภทที่จำแนกต่อไป (Cannell, 1982)

การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และการกักเก็บคาร์บอน

การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการสะสมคาร์บอนของป่าไม้

ปัจจุบันสภาพแวดล้อมทางบรรยากาศของโลกมีการเปลี่ยนแปลงมากอันเนื่องมาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลาที่ผ่านมาจากความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย 280 ppm. ในปี ค.ศ. 1800 ได้เพิ่มเป็น 340 – 350 ppm. ในปี ค.ศ. 1995 (รี และคณะ, 2538) ซึ่งอาจจะสูงไปเรื่อยๆ หากไม่สามารถลดการปลดปล่อยอย่างจริงจัง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศของโลกจะเพิ่มเป็นสองเท่าของปัจจุบันภายในศตวรรษหน้า ทำให้บรรยากาศโลกอบอุ่นขึ้นและเกิดผลสืบเนื่องต่อสภาวะแวดล้อมโลก ทำให้ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น กระแสน้ำในมหาสมุทรแปรปรวน (จริยา, 2541) มาตรการอย่างหนึ่งที่สำคัญในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คือ การเพิ่มปริมาณต้นไม้ หรือการปลูกพืชที่มีอายุยืนยาวและการเพิ่มพื้นที่ป่า เพราะป่าไม้ช่วยในการหมุนเวียนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นไปอย่างสมดุล คือ พืชจะทำการดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของมวลชีวภาพ หรือกักเก็บไว้ในรูปคาร์บอน (Salisbury and Ross, 1992)

บทบาทของป่าไม้ช่วยในการหมุนเวียนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นไปอย่างสมดุล เนื่องจากป่าไม้ประกอบด้วยพันธุ์ไม้หลายชนิดต่างกันไป ทำให้มี Photosynthetic Area สูง (พิพัฒน์ และคณะ, 2540) การสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) เป็นกระบวนการนำคาร์บอนไดออกไซด์รวมตัวกับน้ำเกิดเป็นก๊าซออกซิเจน และน้ำตาล ซึ่งจะถูกพืชเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบคาร์บอนต่างๆ ที่สิ่งมีชีวิตอื่นๆ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สารจำพวกน้ำตาลที่ได้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ (Respiration) ต่อไป (Salisbury and Ross, 1992) ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ที่

ถูกเก็บสะสมไว้ในรูปของสารประกอบคาร์บอน จะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศอีกครั้งเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และฟิสิกส์ หรือการย่อยสลายของซากพืชที่ตายลงโดยจุลินทรีย์ ดังนั้นหากต้องการให้คาร์บอนไดออกไซด์ถูกเก็บสะสมไว้นานๆ จึงจำเป็นต้องปลูกพืชที่มีอายุยืนยาว และเพิ่มพื้นที่ป่าสำหรับดูดซับ และสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้มากขึ้น

การสะสมคาร์บอนของพรรณไม้ป่าชายเลน

ต้นไม้และป่าไม้ ช่วยดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ และเปลี่ยนแปลงสภาพให้เป็นมวลชีวภาพ (Biomass) กระบวนการนี้เรียกว่า การสะสมคาร์บอนหรือการกักเก็บ (Carbon Sequestration) ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในประเทศสหรัฐอเมริกาการประมาณว่าต้นไม้สามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้ถึง 1.60 ตันต่อไร่ต่อปี (เริงชัย, 2543) และ Schroeder (1992) ได้กล่าวว่ป่าไม้มีความสำคัญต่อการสะสมคาร์บอน และบทบาทของวัฏจักรคาร์บอน ซึ่งถ้ามีการปลูกป่าก็จะเป็นการเพิ่มแหล่งสะสมคาร์บอนและทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศลดลง และสังคมสิ่งมีชีวิตสามารถกักเก็บคาร์บอนภายใต้ระดับของก๊าซคาร์บอนและภายใต้การกระจายของมวลชีวภาพของพันธุ์ไม้มากกว่าอินทรีย์วัตถุในดิน (Schroeder, 1990) ตัวอย่างการศึกษาของ Fujimoto et al., (1999) ได้ประมาณการสะสมคาร์บอนในหมู่เกาะแปซิฟิก ว่ามีการสะสมของคาร์บอนถึง 208 ตันคาร์บอนต่อไร่ และจากการศึกษาผลผลิตสุทธิของป่าชายเลนในจังหวัดสตูลและกระบี่ โดย Aksornkoae et al., (1989) พบว่า การสะสมคาร์บอนในพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสตูลเท่ากับ 0.62 ตันคาร์บอนต่อไร่ต่อปี และการสะสมของคาร์บอนเฉลี่ยในจังหวัดกระบี่เท่ากับ 0.63 ตันคาร์บอนต่อไร่ต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Fortes (1982) ในป่าชายเลนของประเทศฟิลิปปินส์ซึ่งพบว่าผลผลิตของโกงกางใบเล็กมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 0.44 ตันคาร์บอนต่อไร่ต่อปี และในแสมทะเลมีผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 0.97 ตันคาร์บอนต่อไร่ต่อปี และจากการรายงานของ Lugo and Snedaker (1973) พบว่าการสะสมของคาร์บอนในป่าชายเลนแถบทวีปอเมริกา มีผลผลิตค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตของป่าชายเลนแถบเอเชีย และนอกจากนี้ Puangchit (1994) ได้กล่าวถึงเปอร์เซ็นต์การสะสมคาร์บอนของพันธุ์ไม้เด่นในป่าประเภทต่างๆ คือ ป่าดิบชื้นเขตร้อนพบการประมาณการสะสมคาร์บอนร้อยละ 54 ป่าผสมผลัดใบร้อยละ 52 ป่าสนร้อยละ 48 และป่าชายเลนร้อยละ 55

แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการรับรู้ระยะไกล

นิยาม และความหมาย

Swain and David (1978) ได้ให้ความหมายของการรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing) ว่าเป็นการวัดหรือตรวจสอบคุณสมบัติของวัตถุบนโลก โดยปราศจากการสัมผัสกับวัตถุนั้น โดยอาศัยอุปกรณ์รับสัญญาณ (Sensor) ที่สะท้อนหรือปล่อยออกมาจากทรัพยากรบนโลก โดยอาศัยคุณสมบัติพิเศษของแต่ละทรัพยากรที่สะท้อนหรือปล่อยออกมาเพื่อที่จะทราบว่าทรัพยากรนั้นคืออะไร มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ในทำนองเดียวกัน ประสงค์ (2528) ได้ให้ความหมายไว้ว่า การสำรวจระยะไกลเป็นวิทยาศาสตร์ประยุกต์ที่อาศัยการศึกษาข้อมูลระยะไกล โดยผ่านขบวนการเก็บบันทึกข้อมูล (Recording) ด้วยเครื่องมือเก็บบันทึกข้อมูล (Sensor) ที่ทำการติดตั้งบนยานพาหนะ ข้อมูลดังกล่าวจะส่งผ่านหรือถ่ายทอดสัญญาณข้อมูล (Data Transmission) ไปยังแหล่งจัดระเบียบข้อมูล เพื่อทำการจัดเรียงข้อมูล (Data Processing) และส่งต่อไปยังผู้ใช้ต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับ Lindenlaub (1976) ที่กล่าวไว้ว่าการสำรวจข้อมูลระยะไกลเป็นศาสตร์ทางวิทยาศาสตร์ และศิลปศาสตร์ของการได้รับข้อมูลของวัตถุจากการจัดหาในระยะไกลโดยไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุ

จากคำนิยาม และความหมายข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า การสำรวจระยะไกลเป็นวิทยาศาสตร์ ศิลปะ และเทคโนโลยี ที่เกี่ยวข้องกับการบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องมือที่ใช้วัดค่าพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนหรือแผ่ออกมาจากวัตถุ (Sensor) เช่น กล้องถ่ายรูป (Camera) หรือเครื่องกวาดภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral Scanner) ที่ถูกติดตั้งบนยานพาหนะหรือยานสำรวจ (Platform) เช่น เครื่องบิน หรือ ดาวเทียมหลังจากนั้นข้อมูลที่ถูกบันทึกจะถูกนำมาแปลตีความ จำแนก และวิเคราะห์ เพื่อให้เข้าใจถึงวัตถุและสภาพแวดล้อมต่างๆจากลักษณะเฉพาะตัวของการสะท้อนแสงหรือแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า

ลักษณะข้อมูลภาพการรับรู้ระยะไกล

การได้มาซึ่งข้อมูลภาพ (Image Data) จากดาวเทียมประเภทต่างๆ ของระบบการสำรวจระยะไกล Landsberg และ Gower (1997) กล่าวว่าไว้ว่า โดยปกติเครื่องมือที่ติดตั้งบนดาวเทียมเป็นเครื่องมือวัดแบบพาสซีฟ (Passive Sensor) วัดรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งออก หรือสะท้อนจากผิวโลก เมื่อได้รับพลังงานและความร้อนจากดวงอาทิตย์เข้าสู่ชั้นบรรยากาศ ที่อัตรา $2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ mon}^{-1}$

จะมีรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ถึงพื้นผิวโลก (Howard, 1991) สาเหตุจากที่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศจะถูกดูดกลืนไว้ (Absorption) สะท้อนกลับ (Reflectance) และเกิดการกระจัดกระจาย (Scattering) นั้นขึ้นอยู่กับเมฆ ก๊าซ ฝุ่นละออง และอนุภาคอื่นๆ ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ พลังงานของรังสีในรูปแบบต่างๆ เมื่อพื้นผิวโลกดูดกลืนพลังงานของรังสีคลื่นสั้นไว้แล้ว หลังจากนั้นจะปล่อยออกมาในรูปของคลื่นยาว รังสีที่สะท้อนจากพื้นผิวโลกในลักษณะต่างๆ เครื่องวัดของยานสำรวจ มีประมาณ 8-15 เปอร์เซ็นต์ของรังสีที่เข้าสู่ชั้นบรรยากาศ โดยพบว่า สะท้อนหิมะประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ป่าไม้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ดินชั้นประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ (Howard, 1991)

ข้อมูลที่ได้จากพลังงานที่สะท้อนเข้าสู่เครื่องวัด จะถูกเก็บในรูปของข้อมูลดิจิทัล โดยมีโครงสร้างในรูปของตารางกริด ที่มีการอ้างอิงพิกัดเชิงพื้นที่ตามตำแหน่งของแถว (Row) และสดมภ์ (Column) (ศุทธิณี, 2549) โดยแต่ละช่องกริดเรียกว่า จดภาพ (Pixel) ในแต่ละจุดภาพจะเป็นค่าตัวเลขเต็มบวกที่เรียกว่า ค่าหลักเลข (Digital Number – DN) ซึ่งค่าเหล่านี้จะเป็นตัวแทนของการแผ่รังสี (Radiance หรือ Spectral Brightness หรือ Reflectance Value) (กาญจน์เชจร, 2546) โดยข้อมูลภาพที่ได้แม้ไม่ได้บ่งบอกโดยตรงว่าเกี่ยวกับค่าตัวแปรของสิ่งที่สนใจต่างๆ แต่ข้อมูลภาพจะมีความสัมพันธ์กับสิ่งที่สนใจนั้นๆ ทำให้เครื่องวัดรังสีที่สะท้อนจากสภาพพื้นผิวโลกในช่วงของความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับพื้นผิวโลกลักษณะต่างๆ อย่างมากมาย (Landsberg and Gower, 1997)

การประมวลผลภาพข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล

Lillesand and Kiefer (1994) กล่าวว่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดยทั่วไปจะมีความคลาดเคลื่อนหรือความผิดพลาด 2 แบบ คือ ความผิดพลาดทางคลื่น (Radiometric Error) ส่วนใหญ่เกิดจากอิทธิพลของกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศ หรือจากข้อบกพร่องของเครื่องมือตรวจวัดข้อมูลนั้นๆ และความผิดพลาดทางเรขาคณิต (Geometric Error) ซึ่งเกิดจากการหมุนรอบตัวเองของโลก การโค้งตัวของเปลือกโลก การโคจรของดาวเทียม เป็นต้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความผิดพลาดทางเชิงคลื่น (Radiometric Errors) ความผิดพลาดในลักษณะนี้โดยมากมีสาเหตุมาจากอิทธิพลของกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศหรือมาจากความบกพร่อง

ของเครื่องรับสัญญาณ ทำให้เกิดความพร่ามัว มีเส้นปะปน (Strip หรือ Noise) ปรากฏในข้อมูลภาพ ทำให้ข้อมูลที่ได้อาจมีลักษณะผิดเพี้ยนไป ปัญหาอีกด้านหนึ่งที่ต้องมีการปรับแก้เชิงคลื่นคือ เมื่อต้องการใช้ข้อมูลหลายช่วงเวลา ต้องทำการปรับแก้ค่ามุมยกดวงอาทิตย์ (Sun Elevation Correction) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา และฤดูกาล การแก้ความผิดพลาดดังกล่าวทำได้โดยการปรับแก้เชิงคลื่น แต่ต้องมีรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลการรับสัญญาณ ได้แก่ มุมที่ทำกับดวงอาทิตย์ (Solar Illumination Angles) ค่ารังสีการตกกระทบ (Irradiance) การกระจายของแสงในเส้นทางผ่าน (Path Radiance) ค่าการสะท้อนของวัตถุเป้าหมาย (Reflectance of Target) ค่าการส่งผ่านบรรยากาศ (Transmission) รวมถึงสถานะอากาศในขณะบันทึกข้อมูลด้วย การปรับแก้เชิงคลื่นมีวิธีในการคำนวณที่ซับซ้อนมากโดยซอฟต์แวร์เฉพาะสำหรับการปรับแก้เชิงคลื่น (สุทธิณี, 2549)

2. ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิต (Geometric Errors) เป็นการบิดเบือนของตำแหน่งในภาพ อันเนื่องมาจากความผิดพลาดของการโคจร ลักษณะของการวางตัวของดาวเทียมขณะทำการบันทึกตรวจวัดข้อมูล การหมุนรอบตัวเองของโลก การโค้งตัวของเปลือกโลก การเคลื่อนตัวของเครื่องตรวจวัดบางชนิดของดาวเทียม ความกว้างของมุมมองของอุปกรณ์วัดเก็บข้อมูลในดาวเทียม ความผันแปรของเพดานบินและความเร็วของดาวเทียมลักษณะเฉพาะตัวของพื้นที่ทำการตรวจวัด โดยการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิต สามารถปรับแก้ตามสาเหตุหลัก 2 แบบ คือ

1) ความบิดเบี้ยวอย่างเป็นระบบ (Systematic Distortions) สามารถปรับแก้โดยการสร้างแบบจำลอง (Model) ทางคณิตศาสตร์จากสาเหตุการบิดเบี้ยว และประยุกต์สูตรคำนวณทางคณิตศาสตร์มาทำการปรับแก้ความผิดพลาดนั้น ๆ

2) ความบิดเบี้ยวอย่างไม่เป็นระบบ (Random Distortions) สามารถแก้ไขโดยการกำหนดจุดอ้างอิงทางภูมิศาสตร์ (Ground Control Point) ให้กระจายกระจายทั่วภาพและทำการปรับแก้ข้อมูลนั้น

Geometric Correction เป็นการแก้ไขความผิดพลาดทางเรขาคณิตที่เกิดขึ้นจากความโค้งของผิวโลก ความเร็วในการหมุนรอบตัวเอง และความบกพร่องของอุปกรณ์เครื่องรับขณะรับสัญญาณประโยชน์ของขบวนการนี้คือ ทำให้การคำนวณหาพื้นที่ของประเภทข้อมูลได้ถูกต้องมากขึ้น และสามารถกำหนดตำแหน่งทางภาคพื้นดินได้แม่นยำยิ่งขึ้น

Schrader and Pouncey (1997) กล่าวว่า สมการการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิต แบ่งเป็น 2 แบบ

1. การปรับแก้โดยใช้สมการเส้นตรง (Linear Transformation) วิธีนี้สามารถนำมาปรับแก้ในเรื่องของมาตราส่วน (Scale) การขึ้นรูป (Offset) การหมุนของภาพ (Rotate) และการกลับหน้ากลับหลัง (Reflect) โดยใช้สมการเส้นตรงดังต่อไปนี้และผลการปรับแก้โดยสมการเส้นตรงแสดงไว้ดังภาพที่ 1

$$X_o = b_1 + b_2 X_i + b_3 Y_i$$

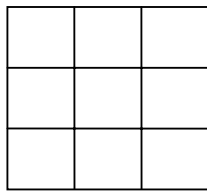
$$Y_o = a_1 + a_2 Y_i + a_3 X_i$$

เมื่อ X_i และ Y_i เป็นพิกัดจากภาพต้นฉบับ
 X_o และ Y_o เป็นพิกัดภาพที่ได้จากการปรับแก้

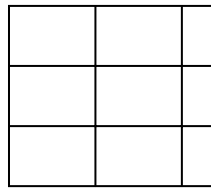
2. การปรับแก้โดยสมการเส้นโค้ง (Nonlinear Transformation) วิธีนี้สามารถใช้สมการตั้งแต่ยกกำลังสองเป็นต้นไป สมการเส้นโค้งยกกำลังสองนำไปปรับแก้ภาพข้อมูลจากระบบพิกัดภูมิศาสตร์ ให้เป็นระบบพิกัดแผ่นราบ (Plane Projection) และสมการเส้นโค้งยกกำลังสามใช้ในการปรับแก้ความบิดเบี้ยวของภาพถ่ายทางอากาศ โดยมีสมการเส้นโค้งดังต่อไปนี้ โดยลักษณะของผลการปรับแก้โดยใช้สมการเส้นตรง แสดงไว้ในภาพที่ 2

$$X_o = a + bX + cY + dX^2 + eXY + fY^2 + \dots + \zeta X^i Y^j + \dots + \Omega Y^t$$

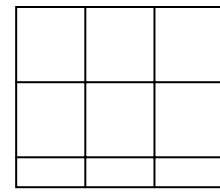
เมื่อ $a, b, c, d, e, f, \dots, \zeta, \Omega$ เป็น coefficients ของการปรับแก้ข้อมูล
 t เป็นจำนวนสมการยกกำลัง
 i และ j เป็นเลขยกกำลัง



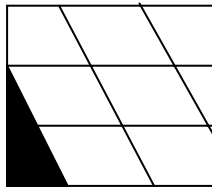
ภาพต้นฉบับ



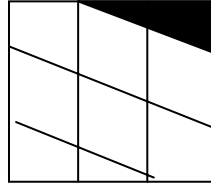
เปลี่ยนมาตราส่วนแกน X



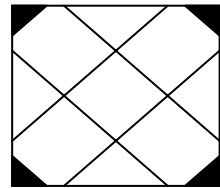
เปลี่ยนมาตราส่วนแกน Y



เปลี่ยนความบิดเบี้ยวแกน X



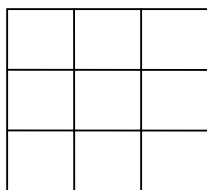
เปลี่ยนความบิดเบี้ยวแกน Y



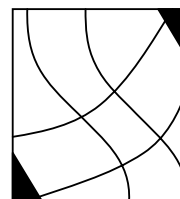
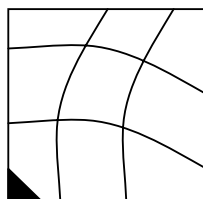
หมุนภาพ

ภาพที่ 1 ลักษณะการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตโดยใช้สมการเส้นตรง

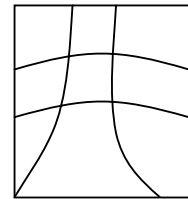
ที่มา : Schrader and Pouncey (1997)



ภาพต้นฉบับ



ภาพผลลัพธ์บางรูป



ภาพที่ 2 ลักษณะการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตโดยใช้สมการเส้นโค้ง

ที่มา : Schrader and Pouncey (1997)

ค่าความผิดพลาดจากการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิต (Root Mean Square Error/RMSE) เป็นค่าเฉลี่ยระยะทางระหว่างพิกัดข้อมูลต้นฉบับกับพิกัดที่คำนวณได้เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ โดยสมการต่อไปนี้

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

เมื่อ X_i, Y_i = พิกัดข้อมูลภาพต้นฉบับ

X_r, Y_r = พิกัดที่คำนวณได้หลังการปรับแก้

การกำหนดค่าให้กับจุดภาพใหม่ด้วยวิธีการสุ่มซ้ำ (Resampling)

หลังจากมีการปรับแก้ไขความบิดเบี้ยวของภาพแล้ว ขนาดและตำแหน่งของจุดภาพก็จะมี การเปลี่ยนแปลงไปบ้างเพราะมีการจัดเรียงจุดภาพใหม่ เพื่อแก้ไขปัญหานี้ จึงมีการจัดข้อมูลภาพ ใหม่ (Resampling) เพื่อสร้างจุดภาพใหม่โดยการจัดจุดภาพทั้งหมดให้อยู่ในรูปกริดสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อให้สอดคล้องกับตำแหน่งที่เปลี่ยนไป ขนาดของจุดภาพใหม่อาจแตกต่างไปกับจุดภาพเดิม ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำภาพไปใช้ประโยชน์ (สมพร, 2543) การประมาณค่าใหม่ให้กับ จุดภาพมีด้วยกัน 3 วิธีคือ

1. การหาค่าใหม่แก่จุดภาพโดยการพิจารณารับค่าข้างเคียง (Nearest Neighbor Resampling) เป็นการนำค่าของจุดภาพเดิมที่มีตำแหน่งจุดกึ่งกลางอยู่ใกล้เคียงตำแหน่งของจุดภาพใหม่มากที่สุด วิธีการนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดเพราะข้อมูลภาพใหม่จะยังคงค่า (Brightness Values) เดิมเอาไว้ เพียงแต่ได้รับการลงตำแหน่งเพิ่มให้มีความถูกต้องทางด้านเรขาคณิตเท่านั้น

2. การให้ค่าของจุดภาพใหม่โดยการประมาณจากสมการเส้นตรงเชิงคู่ (Bilinear Interpolation) เป็นการนำค่าจุดภาพเดิมจำนวน 4 จุดภาพที่อยู่ใกล้ตำแหน่งของจุดภาพใหม่นี้ ใน ลักษณะหน้าตา 2×2 ที่ล้อมรอบตำแหน่งนั้นๆ เพื่อการคำนวณหาค่าโดยใช้สมการเส้นตรง สามเส้น โดยสองเส้นเพื่อการประมาณค่าในแนวแกน Y หรือแนว Column เมื่อได้ค่าผลลัพธ์แล้วก็ ประมาณค่าหาค่าสุดท้ายด้วยสมการเส้นตรงอีกเส้นในแนวแกน X หรือแนว Row วิธีนี้จะให้ภาพ ใหม่ที่ดูเรียบกว่าวิธีแรก แต่ค่าของ Brightness จะเป็นค่าใหม่

3. การให้ค่าใหม่แก่จุดภาพโดยการประมาณแบบคิวบิกคอนโวลูชัน (Cubic Convolution Interpolation) เป็นการนำค่าของจุดภาพเดิมจำนวน 16 จุด ในลักษณะของหน้าตา 4×4 ที่ ล้อมรอบตำแหน่งนั้นๆ เพื่อการคำนวณหาค่าโดยใช้สมการโพลิโนเมียล ประมาณค่าโดยใช้ค่า จุดภาพเดิมจนได้ค่า 4 Interpolants ที่เรียงอยู่ในแนวแกน Y หลังจากนั้นจะให้สมการโพลิโนเมียล อีกเส้นประมาณค่าของจุดภาพใหม่ที่ต้องการ โดยการใช้ค่า 4 ค่านี้ วิธีนี้จะให้ข้อมูลภาพใหม่ที่ดู เรียบขึ้น แต่ค่าของ Brightness จะเปลี่ยนไปมาก

การคัดเลือกช่วงคลื่นเพื่อศึกษาพืชพรรณ

Slater (1980) พบว่าข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาที่เป็นข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากร LANDSAT ระบบ Thematic Mapper (TM) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลจำนวน 7 ช่วงคลื่น (band) โดยมีรายละเอียดของข้อมูลและการประยุกต์ใช้ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. Band 1 มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.4 ถึง 0.52 ไมครอน (สีน้ำเงิน) ในช่วงคลื่นนี้เป็นช่วงที่มีความยาวคลื่นที่สั้นที่สุด ค่าการผ่านของคลื่นแสงของน้ำที่ใส (แม่น้ำที่ปากอ่าวที่มีความลึกประมาณ 25 เมตร) ส่วนความยาวคลื่นที่ยาวที่สุดของช่วงคลื่นนี้จะตอบสนองการดูดซับของคลอโรฟิลล์สีน้ำเงิน สำหรับความยาวคลื่นที่น้อยกว่า 0.45 ไมครอน จะเป็นช่วงคลื่นที่มีการแปรรังสีของผิวดินลดลงเนื่องจากการกระจัดกระจายและการดูดซับพลังงานในชั้นบรรยากาศ ช่วงคลื่นสีน้ำเงินในระบบ TM นี้สามารถจำแนกไม้ตระกูลสนได้ดีกว่าช่วงคลื่นที่ใช้ในดาวเทียม LANDSAT-1 2 และ 3

2. Band 2 มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.52 ถึง 0.60 ไมครอน (สีเขียว) ความยาวคลื่นช่วงนี้ครอบคลุม 2 บริเวณของการดูดซับพลังงานโดยคลอโรฟิลล์ซึ่งตอบสนองเกี่ยวกับความเขียวของพืชที่สมบูรณ์ จากรายงานพบว่าการทำอัตราส่วน (ratio) ระหว่างข้อมูลจากช่วงคลื่นสีน้ำเงินและช่วงคลื่นสีเขียวของแหล่งน้ำสามารถใช้ในการประเมินหาปริมาณการละลายของอินทรีย์วัตถุและปริมาณแพลงก์ตอนในน้ำได้

3. Band 3 มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.63 ถึง 0.69 ไมครอน (สีแดง) ในช่วงคลื่นนี้จะครอบคลุมบริเวณการดูดซับพลังงานแสงจากคลอโรฟิลล์สีแดง ในการกำหนดค่าความยาวคลื่นที่สั้นที่สุดของช่วงคลื่นนี้มีความสำคัญน้อยกว่าการกำหนดค่าความยาวคลื่นที่ยาวที่สุดของช่วงคลื่นนี้ซึ่งจำเป็นต้องกำหนดค่าความยาวคลื่นให้สั้นกว่า 0.69 ไมครอน เหตุผลสำคัญคือการสะท้อนพลังงานแสงของพืชในช่วงคลื่นระหว่าง 0.68 ถึง 0.75 ไมครอน มีรูปลักษณะของคลื่นแสงที่ไม่แน่นอนและความถูกต้องในการจำแนกพืชพรรณจะลดลง ช่วงคลื่นนี้นับว่าเป็นแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สายตามองเห็นซึ่งมีการนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุดในการจำแนกขอบเขตของที่ดิน ลักษณะของวัตถุบนพื้นโลกที่ปรากฏในภาพจะแตกต่างกันชัดเจนและอิทธิพลของหมอกแดงจากชั้นบรรยากาศมีน้อยกว่าแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สายตามองเห็นในแถบอื่น ๆ ดังนั้นความเปรียบต่าง (contrast) และความชัด (resolution) ของข้อมูลจะมีอยู่สูงในช่วงคลื่นนี้

4. Band 4 มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.76 ถึง 0.90 ไมครอน ความยาวคลื่นต่ำสุดควรมากกว่า 0.75 ไมครอน ส่วนค่าความยาวคลื่นสูงสุดมิใช่เรื่องสำคัญนัก การทำสัดส่วน (ratio) ระหว่าง Band 2 และ 4 จะให้ผลเกี่ยวกับปริมาณมวลชีวภาพของพืชสีเขียวและความชื้นในพืช ช่วงคลื่นนี้จะตอบสนองจุดสูงสุดการสะท้อนพลังงานคลื่นแสงที่เกิดจากพืช จึงนำข้อมูลในช่วงนี้มาใช้ในการตรวจสอบและประเมินผลทางด้านพืชพรรณ

5. Band 5 มีความยาวคลื่นระหว่าง 1.55 ถึง 1.75 ไมครอน ในช่วงคลื่นนี้การสะท้อนคลื่นแสงของใบพืชจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณความชื้นในใบ โดยทั่วไปข้อมูลจากช่วงคลื่นนี้จะนำไปใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการตรวจสอบความเหี่ยวของพืชและการจำแนกความสมบูรณ์ของพืชพรรณ ข้อมูลในความยาวช่วงคลื่นระหว่าง 1.55 ถึง 1.75 ไมครอนนี้ สามารถใช้จำแนกความแตกต่างระหว่างเมฆ น้ำแข็งที่ปกคลุมผิวดินและหิมะ นอกจากนี้เนื่องจากคุณสมบัติการดูดซับน้ำ ซึ่งมีสูงในช่วงคลื่นนี้จึงนิยมนำข้อมูลไปใช้ในการจำแนกพื้นดินและน้ำออกจากกัน และวัดหาความชื้นในดินหลังจากฝนตกใหม่ๆ

6. Band 6 มีความยาวคลื่นระหว่าง 10.4 ถึง 12.5 ไมครอน ข้อมูลในช่วงคลื่นนี้นำไปใช้ประโยชน์ในด้านการจำแนกพืชพรรณและตรวจสอบความผิดปกติในพืช ในความยาวคลื่นแถบนี้พลังงานการแผ่รังสีจากพื้นผิวจะถูกบันทึกเอาไว้ตามคุณสมบัติการแผ่รังสีและอุณหภูมิของพื้นผิว ข้อมูลในช่วงคลื่นนี้สามารถใช้หาตำแหน่งบริเวณที่มีความร้อนได้ผิวดินและการทดลองผลิตแผนที่แสดงค่าความร้อนได้ผิวดิน และค่าความเฉื่อยของค่าความร้อน (thermal - inertia)

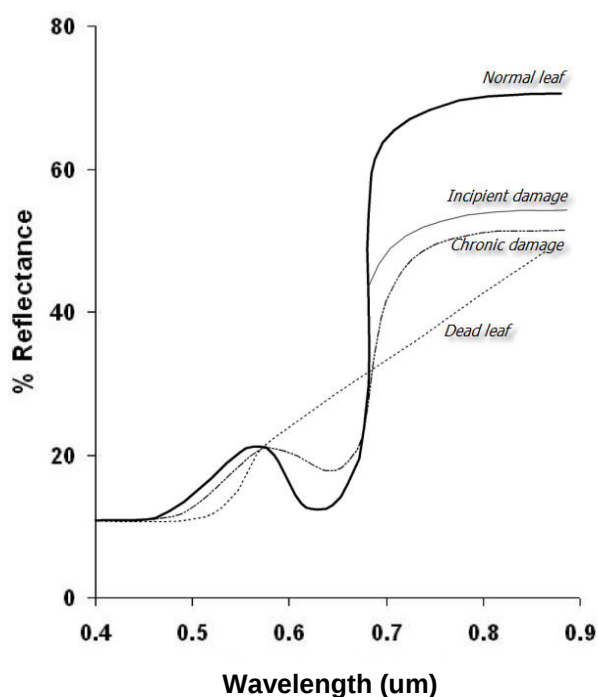
7. Band 7 มีความยาวคลื่นระหว่าง 2.08 ถึง 2.35 ไมครอน ข้อมูลในช่วงคลื่นนี้เหมาะสมกับการใช้จัดทำแผนที่ธรณีวิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำแผนที่แสดงขอบเขตหินที่เกิดจากความร้อนของน้ำใต้ผิวดิน นอกจากนี้ สามารถนำข้อมูลในช่วงคลื่นนี้ไปใช้ในการจำแนกพืชพรรณที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ได้

ช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับพืชพรรณ

Lillesand and Kiefer (1994) กล่าวว่า การปรากฏให้เห็นภาพของวัตถุเกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนแสงของวัตถุ และสาเหตุที่ทำให้ดินไม่ปรากฏภาพที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของดินไม้ เช่น การเรียงตัวของใบ รูปแบบของใบ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทาง

เคมี ชนิดของดิน และสภาพภูมิประเทศ ดังนั้นข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลที่ใช้สำหรับ จุดประสงค์ทางด้าน ป่าไม้ เช่น ชนิดป่า สภาพป่า ดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index, LAI) โครงสร้างป่า มวลชีวภาพของไม้ (Biomass) โดยมากการหาช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการให้ข้อมูล ของพืชพรรณมักจะนำช่วงคลื่นที่ตามนุษย์มองเห็น (Visible) กับช่วงอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared) มาใช้ประโยชน์ ซึ่งพืชพรรณจะมีความผันแปรสูงระหว่างช่วงคลื่นสีแดงที่ถูกกลืนมากกับ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ที่มีการสะท้อนมาก

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2540) พบว่าช่วงคลื่นที่เห็นได้ด้วยตาเปล่า คลอโรฟิลล์ของใบพืชดูดกลืนพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 0.45 ไมโครเมตร และ 0.65 ไมโครเมตร สะท้อนพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 0.5 ไมโครเมตร ตาของมนุษย์สามารถมองเห็น ใบพืชสีเขียวเพราะใบดูดกลืนคลื่นแสงสีน้ำเงินและสีแดง และสะท้อนสีเขียว หากว่าใบพืชมีอาการ ผิดปกติ เช่น ใบเหี่ยวแห้ง หรือปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง ทำให้การสะท้อนคลื่นสีเขียวลดลงปรากฏ สีอื่นสะท้อนออกมาแทน ในช่วงอินฟราเรดใกล้ (0.7 – 1.3 ไมโครเมตร) ใบพืชสะท้อนพลังงานสูง ประมาณร้อยละ 50 การสะท้อนพลังงานของพืชที่มีความยาวคลื่นในช่วงอินฟราเรดใกล้ ขึ้นอยู่กับ โครงสร้างภายในของพืชที่แตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ให้สามารถจำแนกชนิดของพืชได้ แม้ว่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจะใกล้เคียงกัน ในทำนอง เดียวกันการสะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่นอินฟราเรดใกล้ของพืชที่มีอาการผิดปกติทางใบจะ แตกต่างไปจากการสะท้อนที่ความยาวคลื่นเดียวกันของพืชที่สมบูรณ์ ในช่วงคลื่นที่มีขนาดสูงกว่า 1.3 ไมโครเมตร พลังงานส่วนใหญ่ถูกดูดกลืนหรือสะท้อนโดยใบพืชแทบจะไม่มีมีการทะลุทะลวง มักพบค่าต่ำลงที่ 1.4, 1.9 และ 2.7 ไมโครเมตร เพราะฉะนั้นในใบพืชจะดูดกลืนความยาวคลื่น ดังกล่าวเรียกว่า Water Absorption Band และค่าสูงขึ้นที่ความยาวคลื่น 1.6 และ 2.2 ไมโครเมตร ตลอดช่วงความยาวคลื่นสูงกว่า 1.3 ไมโครเมตร ค่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชแปรผกผันกับ ปริมาณน้ำทั้งหมดในใบพืช นอกจากนี้ Price and Bausch (1995) ยังพบว่าคลื่นแสงสีแดงและช่วง คลื่นอินฟราเรดเป็นช่วงคลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพในการแสดงค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ และประมาณหาผลผลิตของป่าไม้ได้ดี คลื่นแสงสีแดงจะถูกดูดซับโดยคลอโรฟิลล์เป็นปริมาณมาก แหล่งพลังงานของช่วงอินฟราเรดจะกระจายและแผ่พลังงานรังสีได้สูงจากเรือนยอดโดยอิทธิพลของ โครงสร้างภายในใบพืชปกติแล้วค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจะมีความสัมพันธ์ อย่างมากในความแตกต่าง ระหว่างพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดและช่วงแสงสีแดง ที่แสดงค่าความแตกต่างเป็นตัวเลข



ภาพที่ 3 ค่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชที่แตกต่างสภาพกัน

ที่มา : กาญจน์เขจร (2546)

การปฏิบัติการระหว่างช่วงคลื่น (Band Operation) เป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจมากในการแสดงภาพเพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับพืชพรรณ (ตารางที่ 1) ซึ่งภาพดังกล่าวสามารถสร้างขึ้นโดยการคำนวณเช่น

1. การหาอัตราส่วนระหว่างแบนด์ (Band-to Band Ratio) เป็นการจำแนกความแตกต่างของข้อมูลโดยการนำเอาความเข้มของแต่ละแบนด์ที่มีจุดภาพตรงกันมาหารกัน ผลที่ได้จากอัตราส่วนนี้จะช่วยลดรายละเอียดที่เหมือนกันของภาพ แต่ในขณะเดียวกันก็จะช่วยเน้นรายละเอียดที่มีความแตกต่างกันในภาพให้มีความชัดเจนยิ่งขึ้น การทำอัตราส่วนระหว่างแบนด์จะมีประโยชน์มากในภูมิประเทศที่เป็นภูเขา เพราะจะช่วยลดความแตกต่างของความเข้มข้นของข้อมูลหน้าเขา (ส่วนที่รับแสง) และหลังเขา (เงา) ได้

2. การนำช่วงคลื่นมาลบกัน (Subtraction) ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลง ข้อที่ควรระวังในการใช้เทคนิคนี้คือ ภาพที่ใช้จะต้องมีการแก้ไขทางเรขาคณิตก่อนโดยให้มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เช่น ครึ่งหนึ่งของจุดภาพระบบบันทึกข้อมูลนั้น เพื่อสามารถนำผลมาเทียบกับแผนที่ต้นฉบับได้ถูกต้องที่สุด วิธีนี้สามารถใช้ในการติดตามการ

เปลี่ยนแปลงทั้งในระยะสั้นและระยะยาวได้ การเปลี่ยนแปลงระยะสั้น ได้แก่ น้ำท่วม ไฟป่าและการเคลื่อนที่ของเมฆ ระยะยาว เช่น การพัฒนาเมือง การเปลี่ยนแปลงสภาพป่า เป็นต้น

3. การนำช่วงคลื่นมาทำสัดส่วนกันและลบกัน (Image Differencing) วิธีนี้เป็นที่นิยมมากในการแก้ไขปัญหาการปฏิบัติการกับภาพข้อมูลที่ได้รับอิทธิพลจากมุมของดวงอาทิตย์และลักษณะภูมิประเทศ เช่น การคำนวณดัชนีพืชพรรณ ซึ่งมีชื่อเรียกเฉพาะว่า Normalized Difference Vegetation Index หรือ NDVI

นอกจากนี้แล้วยังมีการใช้วิธีการเน้นภาพที่เรียกว่า Tasseled-Cap Component เป็นการแปลงค่าของจุดภาพในรูปแบบผลบวกเชิงเส้นซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาพืชพรรณเช่นเดียวกัน โดยมี 3 รูปแบบด้วยกัน คือ

- ความสว่าง (Brightness) เป็นรูปแบบผลบวกเชิงเส้นที่กำหนดทิศทางความแปรปรวนหลักสำหรับการสะท้อนของพื้นดิน
- ความเขียว (Greenness) ซึ่งจะมีทิศทางของการสะท้อนในช่วงคลื่นแสงสว่างตรงกันข้ามกับคลื่นอินฟราเรดใกล้ จะให้ภาพของพืชสีเขียวชัดเจน
- ความชื้น (Wetness) เป็นความสัมพันธ์ของความหนาแน่นเรือนยอดของพืชกับความชื้น

ตารางที่ 1 ดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในการศึกษา

รูปแบบสมการ	สมการ
การลบแบบง่าย (Simple Substraction)	$IR - R$
การหารแบบง่าย (Simple Ratio)	$\frac{IR}{R}$
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$\frac{IR - R}{IR + R}$
TVI (Transformed Vegetation Index)	$\left(\frac{IR - R}{IR + R} + 0.5 \right)^{1/2}$
GVI (Green Vegetation Index)	$-0.29(G) - 0.56(R) + 0.60(IR) + 0.49(IR)$

เมื่อ G = แบนด์ 2 (เขียว), R = แบนด์ 3 (แดง), IR = แบนด์ 4 (อินฟราเรดใกล้)

ที่มา : Barrett and Curtus (1992)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เสริมพงศ์ (2545) ได้ศึกษาบทบาทของการปลูกสร้างสวนป่าต่อการกักเก็บคาร์บอน และคุณสมบัติของดินบางประการที่สถานีวิจัยและฝึกอบรมการปลูกสร้างสวนป่า จังหวัดนครราชสีมา โดยทำการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกัน ที่ระดับความลึกต่าง ๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ และคุณสมบัติของดิน และเก็บตัวอย่างของพืชไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอน ผลการศึกษาพบว่า กระจินเทพามีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร มากที่สุด รองลงมาได้แก่ หญ้าคา แดง พระยุง ยูคาลิปตัส และประดู่ป่า ตามลำดับ ส่วนปริมาณการกักเก็บคาร์บอนนั้นพบว่า มีความแปรผันโดยตรงกับมวลชีวภาพ พบว่ากระจินเทพามีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนมากที่สุด รองลงมาคือ กระจินณรงค์ ยูคาลิปตัส แดง พระยุง ประดู่ป่า และหญ้าคาตามลำดับ

ฐานันท์ (2545) ได้ทำการศึกษาการสะสมคาร์บอนของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนบนพื้นที่นาุ้งร้าง อำเภอนวม จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยศึกษาการเติบโตทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ความสูง และการสะสมคาร์บอนของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนในพื้นที่นาุ้งร้าง ในการศึกษาครั้งนี้ศึกษาพันธุ์ไม้ 4 ชนิด ได้แก่ โกงกางใบเล็ก แสมทะเล ถั่วขาว และ โปรงแดง พบว่าความสูงเฉลี่ยของ โกงกาง

ใบเล็กมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ แสมทะเล โปรงแดง และถั่วขาว ตามลำดับ ส่วนมวลชีวภาพพบว่า โกงกางใบเล็กมีมวลชีวภาพรวมมากที่สุด รองลงมาได้แก่ แสมทะเล โปรงแดง และถั่วขาว ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการสะสมคาร์บอนที่พบ คือ โกงกางใบเล็กพบการสะสมคาร์บอนมากที่สุดประมาณ 7.98 ตันคาร์บอนต่อไร่ รองลงมาคือ โปรงแดง ประมาณ 2.46 ตันคาร์บอนต่อไร่ แสมทะเล ประมาณ 2.27 ตันคาร์บอนต่อไร่ และถั่วขาว ประมาณ 2.24 ตันคาร์บอนต่อไร่ ตามลำดับ โดยผลการศึกษาครั้งนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเลือกพันธุ์ไม้ป่าชายเลนในการปลูกฟื้นฟูในพื้นที่น้ำท่วมได้ต่อไป

ชลิตา และลดาวัลย์ (2549) ได้ศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าชายเลน อำเภอบางพลี จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยดำเนินการวางแผนแปลงตัวอย่างใน 5 ชั้นอายุ ได้แก่ 4, 10, 14, 20 และ 25 ปี โดยคำนวณหาผลผลิตมวลชีวภาพจากสมการแอลโลเมตรี (Allometry) ที่ได้มีผู้ศึกษาไว้แล้ว โดยทำการวิเคราะห์ค่าคาร์บอนจากพันธุ์ไม้ที่มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุด 3 ชนิดได้แก่ โกงกางใบเล็ก ลำพู และแสมขาว ด้วยวิธี Dry Combustion แล้วประเมินค่าการกักเก็บคาร์บอนในแต่ละชั้นอายุ โดยผลการทดลองพบว่า ผลผลิตมวลชีวภาพมีค่ามากขึ้นเมื่อสวนป่ามีอายุมากขึ้น แต่ลดลงในแปลงปลูก 25 ปี ผลผลิตมวลชีวภาพมีค่าสูงสุดเท่ากับ 267.70 ตันต่อเฮกเตอร์ในแปลงอายุ 20 ปี คิดเป็นประมาณการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 446.73 ตันคาร์บอนต่อเฮกเตอร์ และยังพบว่าปริมาณคาร์บอนที่สะสมในพันธุ์ไม้ป่าชายเลนชนิดเดียวกันแต่ต่างอายุกัน และพันธุ์ไม้ต่างชนิดกัน มีประมาณคาร์บอนไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีปริมาณคาร์บอนเท่ากับร้อยละ 45 ของน้ำหนักแห้ง และปริมาณคาร์บอนที่สะสมมากที่สุดอยู่ที่ ลำต้น รองลงมาได้แก่ ราก กิ่ง และใบตามลำดับ

นวลปราง (2548) ได้ศึกษาเปรียบเทียบค่าดัชนีพื้นที่ใบ มวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนสะสม ที่อยู่เหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่า จากการสำรวจด้านป่าไม้และการรับรู้จากระยะไกล บริเวณอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน โดยประยุกต์ใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนภาคสนาม มาหาความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการถดถอย ร่วมกับข้อมูลดาวเทียมในลักษณะดัชนีพืชพรรณในรูปแบบต่าง ๆ โดยผลการศึกษาพบว่าเมื่อกำหนดข้อมูลดาวเทียมเป็นตัวแปรอิสระ และข้อมูลที่ได้จากภาคสนามเป็นตัวแปรตาม ได้ค่ามวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนจากสมการที่ดีที่สุดของแต่ละป่าดังนี้ ป่าดิบชื้นมีปริมาณมวลชีวภาพมากที่สุดประมาณ 336.07 ตันต่อเฮกเตอร์รองลงมาได้แก่ ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง มีปริมาณมวลชีวภาพประมาณ 207.70, 68.53 และ 58.62 ตามลำดับ และพบว่าป่าดิบชื้นมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมากที่สุด

เท่ากับ 168.04 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ รองลงมาได้แก่ ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรังมี
ประมาณคาร์บอนเท่ากับ 103.85, 34.26 และ 29.31 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ตามลำดับ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์สำนักงาน

- 1.1 ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM บันทึกเมื่อวันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2550
ครอบคลุมพื้นที่บริเวณเกาะลันตาน้อย และเกาะลันตาใหญ่ จังหวัดกระบี่
- 1.2 แผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร ลำดับชุด L7018 มาตราส่วน
1: 50,000
- 1.3 เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมอุปกรณ์ต่อพ่วง
- 1.4 ซอฟต์แวร์ประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม และระบบสารสนเทศทาง
ภูมิศาสตร์
- 1.5 อุปกรณ์ เครื่องเขียน

2. อุปกรณ์ภาคสนาม

- 2.1 เครื่องกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก (Global Positioning System : GPS)
- 2.2 เทปวัดระยะทาง
- 2.3 เทปวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ (Diameter Tape)
- 2.4 เครื่องมือวัดความสูงของต้นไม้ (Haga Hypsometer)
- 2.5 เข็มทิศ
- 2.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 2.7 เลื่อย
- 2.8 ถุงใส่ตัวอย่างมวลชีวภาพ
- 2.9 กล้องถ่ายภาพ
- 2.10 แบบบันทึกข้อมูล (Tally Sheet)

วิธีการ

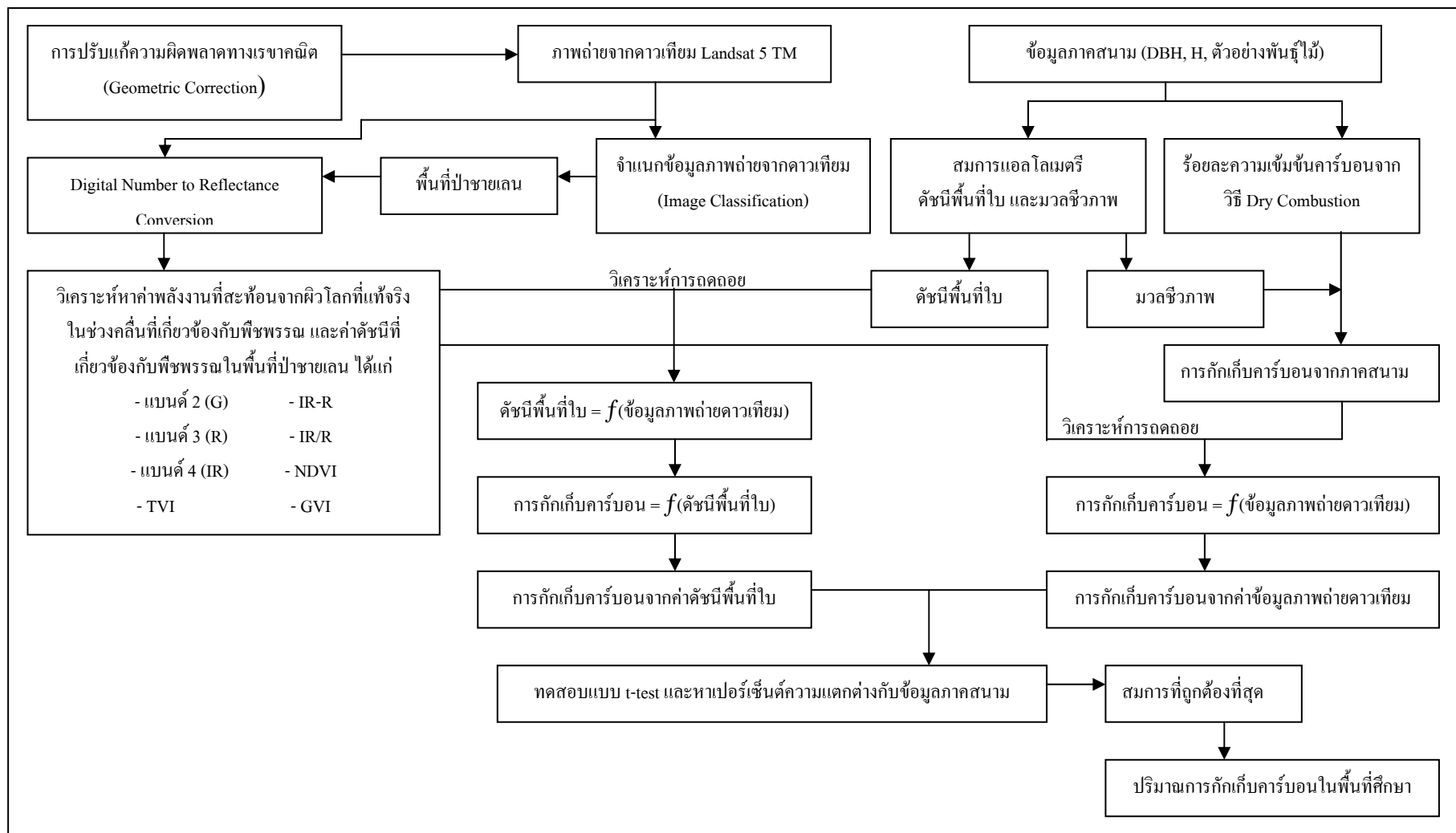
ขั้นตอนการศึกษาการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลน บริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ ด้วยเทคนิคการรับรู้ระยะไกล (ภาพที่ 4) สามารถแบ่งการศึกษาออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม การเก็บข้อมูลภาคสนาม และการวิเคราะห์ข้อมูล โดยรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

เลือกข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM ครอบคลุมพื้นที่บริเวณเกาะลันตาน้อย และเกาะลันตาใหญ่ จังหวัดกระบี่ บันทึกเมื่อวันที่ 27 กันยายน 2550 มาใช้ในการศึกษา โดยมีขั้นตอนในการเตรียมความพร้อมของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแสดงดังภาพที่ 6 และมีรายละเอียดดังนี้

1.1 การปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิต (Geometric Correction) ทำการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตโดยเทคนิคการกำหนดจุดควบคุมแบบแผนที่สู่ภาพ (Map to Image Correction) กำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) ให้กับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากแผนที่สภาพภูมิประเทศ เพื่อนำมาคำนวณ และปรับแก้จุดต่างๆ บนข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมให้ถูกต้องตามแผนที่ โดยอาศัยหลักการคำนวณจากสมการโพลีโนเมียลระดับที่ 2 (Second Order Polynomials) โดยกำหนดค่าความผิดพลาดไม่เกิน 1 จุดภาพ และให้ค่าจุดภาพใหม่แบบรับค่าข้างเคียง (Nearest Neighbor) อ้างอิงกับตำแหน่งบนพื้นที่โลกด้วยระบบแผนที่ภูมิศาสตร์แบบ UTM (Universal Transverse Mercator) ที่มีหน่วยระยะทางเป็นเมตร ขนาดของจุดภาพที่กำหนดใหม่เท่ากับ 30 x 30 เมตร

1.2 การตัดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ได้รับการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตแล้ว ให้ครอบคลุมพื้นที่บริเวณอำเภอเกาะลันตา จังหวัดกระบี่



ภาพที่ 4 แผนภาพแสดงกระบวนการศึกษาทั้งหมดในการศึกษาครั้งนี้

1.3 การจำแนกข้อมูลภาพ (Image Classification) จำแนกประเภทข้อมูลป่าชายเลน และการใช้ที่ดินประเภทอื่นๆ ใช้การจำแนกแบบกำกับ (Supervised Classification) เป็นวิธีหลักในการจำแนกข้อมูลภาพ โดยกำหนดประเภทข้อมูลตัวอย่าง (Training area) ของพื้นที่ป่าชายเลน และการใช้ที่ดินประเภทอื่นๆ ให้กับคอมพิวเตอร์ และใช้วิธีการจำแนกเชิงพื้นที่ด้วยสายตาเป็นวิธีเพิ่มความถูกต้องของการจำแนก โดยนำข้อมูลภาพผสมสีเท็จ และลักษณะความเป็นจริงในพื้นที่มาพิจารณาประกอบกับแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการของการจำแนกมากที่สุด

1.4 การแปลงค่าหลักเลข (Digital Number : DN) โดยทำการแปลงค่าหลักเลข (Digital Number : DN) ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM ไปเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Reflectance) โดยผ่านกระบวนการดังภาพที่ 5 เพื่อลดความผิดพลาดของพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุบนพื้นผิวโลกไปสู่เครื่องบันทึกข้อมูล จากสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบข้างในขณะที่ทำการบันทึกข้อมูล ได้แก่ สภาพอากาศ ภูมิประเทศ อุณหภูมิ มุมตกกระทบของแสง



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการแปลงค่าตัวเลขหลัก (Digital Number : DN) ไปเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Reflectance)

โดยกระบวนการแปลงข้อมูลหลักเลข (DN) ไปเป็นข้อมูลค่าการสะท้อนจริงจากพื้นผิวโลก (Reflectance) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนได้แก่

1) การแปลงค่าหลักเลข (DN) ไปเป็นค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่น (Radiance) โดยนำค่า $G_{rescale}$ และ B_{resca} ที่ได้จากข้อมูล Metadata ของแต่ละแบนด์มาทำการแทนค่าลงในสมการที่ 1 ซึ่งมีรูปแบบสมการดังต่อไปนี้

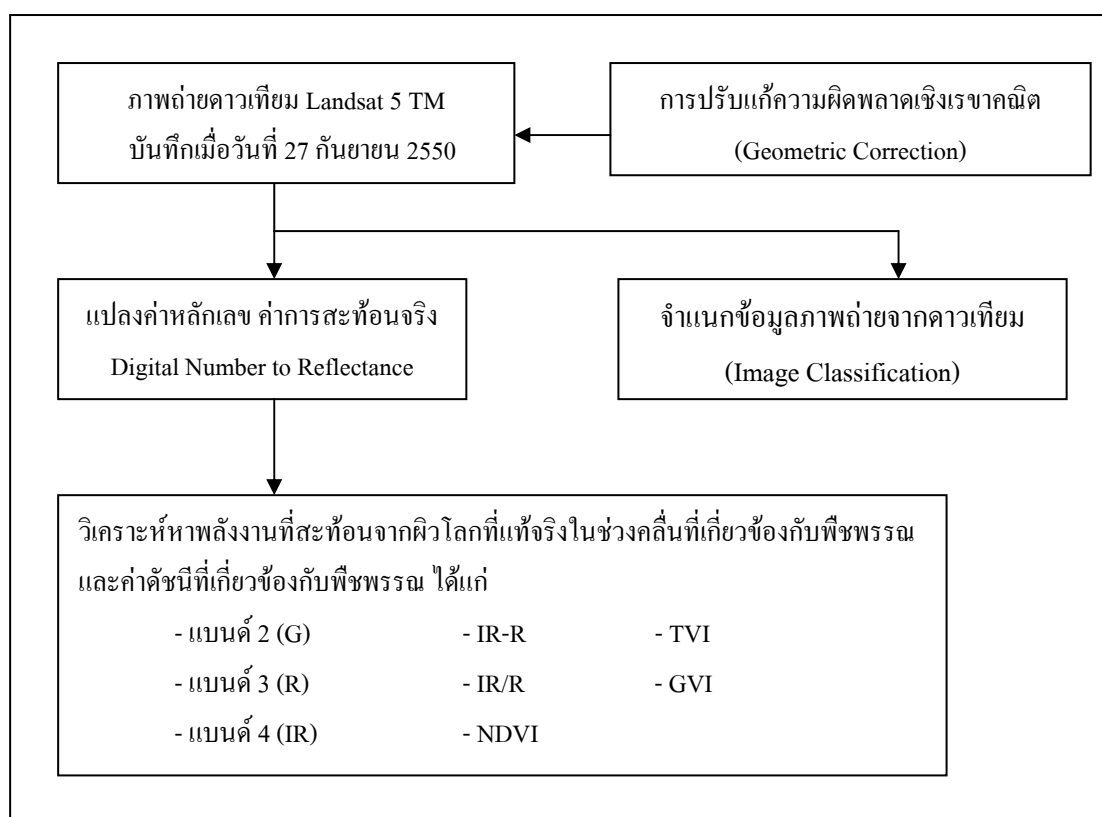
$$L_{\lambda} = G_{rescale} \times Q_{cal} + B_{rescal}$$

เมื่อ	L_λ	=	ค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่น (Spectral Radiance) (W/(m ² .sr.μm))
	Q_{cal}	=	ค่าหลักเลข (DN) ของภาพถ่ายดาวเทียม
	$G_{rescale}$	=	ค่า Gain จากข้อมูล metadata ของแต่ละแบนด์
	B_{rescal}	=	ค่า Offset ที่วัดจากระบบตรวจวัด

2) การแปลงค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่น (Spectral Radiance) ไปเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Reflectance) โดยนำค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่นที่ได้จากสมการที่ 1 และค่ามุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับพื้นผิวโลก ($90 - \theta_s$), ค่าระยะห่างจากดวงอาทิตย์ถึงโลก (d) และค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ($ESUN_\lambda$) แทนค่าลงในสมการที่ 2 ซึ่งมีรูปแบบสมการดังต่อไปนี้

$$\rho_p = \frac{\Pi.L_\lambda.d^2}{ESUN_\lambda.COS\theta_s} \quad \text{—————} \quad \textcircled{2}$$

เมื่อ	ρ_p	=	ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Spectral Radiance) (W/(m ² .sr.μm))
	L_λ	=	ค่าการแผ่รังสีเชิงช่วงคลื่น (Spectral Radiance) (W/(m ² .sr.μm))
	d	=	ค่าระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์
	$ESUN_\lambda$	=	ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (W/(m ² .sr.μm))
	θ_s	=	$90 -$ มุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับพื้นผิวโลก
	Π	=	ตัวปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์



ภาพที่ 6 แผนภาพสรุปกระบวนการเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM ในพื้นที่ศึกษา

1.5 นำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ได้รับการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิต และปรับแก้ให้อยู่ในรูปของค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Reflectance) บริเวณเดียวกับพื้นที่ที่ทำกรวางแปลงตัวอย่างเก็บข้อมูล ซึ่งบันทึกจากเครื่องกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียม (GPS) มาทำการวิเคราะห์หาพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ แบนด์ 2 (G), แบนด์ 3 (R), แบนด์ 4 (IR) และค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R (Simple Substraction), การหารแบบง่าย : IR/R (Simple Ratio), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), TVI (Transformed Vegetation Index) และ GVI (Green Vegetation Index) โดยมีรูปแบบสมการแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รูปแบบสมการของช่วงคลื่น และดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

รูปแบบสมการ	สมการ
Green	G
Red	R
Near Infrared	IR
การลบแบบง่าย (Simple Substraction)	$IR - R$
การหารแบบง่าย (Simple Ratio)	$\frac{IR}{R}$
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$\frac{IR - R}{IR + R}$
TVI (Transformed Vegetation Index)	$\left(\frac{IR - R}{IR + R} + 0.5 \right)^{1/2}$
GVI (Green Vegetation Index)	$-0.29(G) - 0.56(R) + 0.60(IR) + 0.49(IR)$

2. การสำรวจข้อมูลภาคสนาม

2.1 ทำการตรวจสอบพื้นที่ที่เป็นป่าชายเลน และการใช้ที่ดินประเภทอื่นๆ ตามตำแหน่งของพื้นที่ที่ได้จากการแปลภาพถ่ายจากดาวเทียม และทำการปรับแก้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามกับข้อมูลที่ได้จากการแปลภาพถ่ายจากดาวเทียมให้ได้ข้อมูลตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด

2.2 ทำการวางแผนแปลงตัวอย่างเพื่อสำรวจปริมาณมวลชีวภาพของป่าชายเลน โดยให้แปลงตัวอย่างครอบคลุม และกระจายทั่วพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยใช้เครื่องกำหนดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม (GPS) ในการบันทึกตำแหน่งที่ตั้งของแปลงตัวอย่าง

ในการวางแผนแปลงตัวอย่างครั้งนี้ได้ทำการเลือกสุ่มวางแผนแปลงตัวอย่าง ขนาด 60 x 60 เมตร เพื่อให้สอดคล้องกับขนาดของจุดภาพของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และคำนึงถึงค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของเครื่องกำหนดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม จำนวน 30 แปลง

2.3 ทำการวัดต้นไม้ป่าชายเลนในแปลงตัวอย่างที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 4.5 เซนติเมตร ขึ้นไปทุกต้นพร้อมทั้งวัดความสูงจากพื้นดินถึงยอดสุดของต้นไม้ด้วยเครื่องมือวัดความสูง (Haga Hypsometer) และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (Girth at Breast Height : GBH) ยกเว้นพันธุ์ไม้ตะกูลโกงกาง (*Rhizophora* spp.) จะทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับ 20 เซนติเมตร จากระดับคอราก เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหามวลชีวภาพ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของแต่ละแปลงตัวอย่าง

2.4 ทำการสุ่มเลือกตัดตัวอย่างพันธุ์ไม้ในป่าชายเลน เพื่อนำไปศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอน โดยเลือกตัดตัวอย่างพันธุ์ไม้ที่เป็นพันธุ์ไม้เด่นของพื้นที่ศึกษา เป็นตัวแทนของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน โดยอิงการศึกษาของปฏิมาพร (2545) ที่พบว่าปริมาณคาร์บอนของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ต่างชนิดกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ และนอกจากนั้นยังพบว่าปริมาณคาร์บอนของพันธุ์ไม้ชนิดเดียวกันแต่อายุต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ด้วย ในการศึกษาครั้งนี้เลือกพันธุ์ไม้เด่นในพื้นที่จากชนิดที่มีค่าดัชนีความเด่นมากที่สุดเป็น 3 อันดับแรก และเลือกตัดชนิดละ 3 ตัวอย่างที่ระดับชิดดิน และทำการตัดแยกชิ้นส่วนต่างๆ ของต้นไม้ออกเป็น ลำต้น กิ่ง ใบ และรากค้ำยันของแต่ละต้น จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างของแต่ละส่วนได้แก่

- ลำต้น เลือกสุ่มตัดตัวอย่างบริเวณโคนต้น กลางต้น และบริเวณส่วนยอด ชั่งน้ำหนักสด บันทึกลงในแบบบันทึก และเก็บตัวอย่างใส่ในถุงเก็บตัวอย่าง

- กิ่ง ทำการแยกชิ้นส่วนที่เป็นกิ่งทั้งหมดออก แล้วสุ่มตัวอย่างกิ่งด้านล่างสุด ส่วนกลางของเรือนยอด และส่วนเรือนยอด ชั่งน้ำหนักสด บันทึกลงในแบบบันทึก และเก็บตัวอย่างใส่ในถุงเก็บตัวอย่าง

- ใบ ทำการแยกชิ้นส่วนใบออกจากกิ่งทั้งหมด แล้วทำการสุ่มตัวอย่างใบบริเวณด้านล่างสุดของเรือนยอด ส่วนกลางของเรือนยอด และส่วนเรือนยอด บันทึกลงในแบบบันทึก ชั่งน้ำหนักสดและเก็บตัวอย่างใส่ในถุงเก็บตัวอย่าง

- ราก เลือกสุ่มตัดตัวอย่างรากค้ำยันที่อยู่เหนือพื้นดิน (กรณีของต้นโกงกาง) ที่มีขนาดแตกต่างกัน ชั่งน้ำหนักสด และเก็บตัวอย่างใส่ในถุงเก็บตัวอย่าง

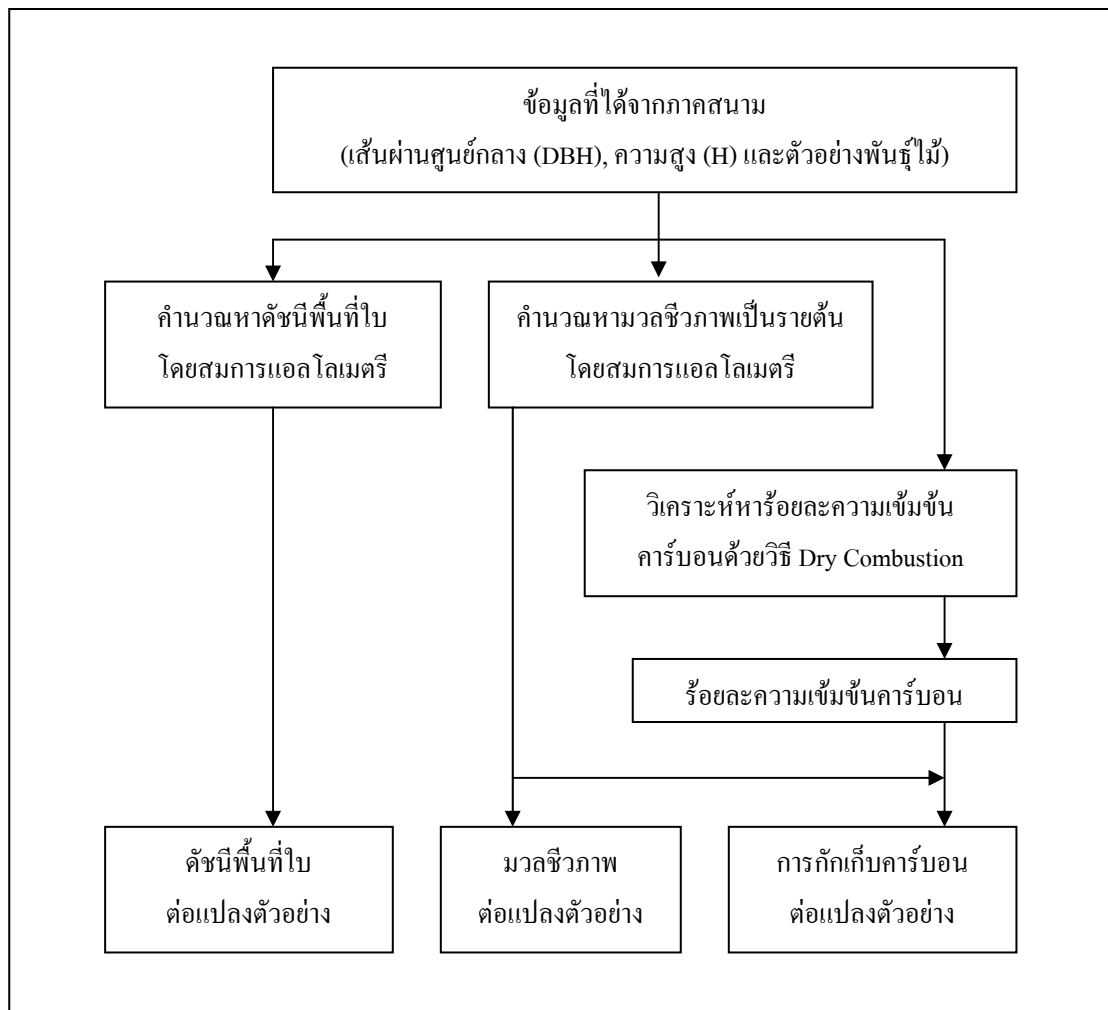
2.5 นำตัวอย่างลำต้น กิ่ง ใบ และรากค้ำยันที่อยู่เหนือพื้นดินที่สุ่มได้จากข้อ 2.4 ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักแห้งของตัวอย่างคงที่ แล้วนำตัวอย่างที่ได้ของแต่ละต้นไปบดให้ละเอียด นำไปวิเคราะห์หาร้อยละของความเข้มข้นของคาร์บอนที่สะสมอยู่ (Carbon Content) ด้วยวิธี Dry Combustion โดยเครื่องมือ CN Corder MT – 700 ที่ห้องปฏิบัติการวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ภายหลังจากวางแผนแปลงตัวอย่าง และวัดข้อมูลมิติต่างๆ ของต้นไม้ในพื้นที่ศึกษาแล้ว จึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อหาผลผลิตมวลชีวภาพ ดัชนีพื้นที่ใบ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอน โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลดังภาพที่ 7 และมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การคำนวณหาปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพ (Biomass) ของพันธุ์ไม้ในแปลงตัวอย่าง ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้สมการแอลโลเมตรีของพันธุ์ไม้ชนิดต่างๆ ในป่าชายเลนที่ได้มีผู้ทำการศึกษาไว้แล้ว แม้ว่าการประเมินผลผลิตมวลชีวภาพจากสมการแอลโลเมตรีที่สร้างขึ้นในต่างพื้นที่อาจได้ค่าที่แตกต่างจากความเป็นจริงไปอยู่บ้าง แต่เมื่อพิจารณาการศึกษาของปฏิมาพร (2545) ที่ได้ศึกษาแล้วว่าการประเมินผลผลิตมวลชีวภาพจากสมการแอลโลเมตรีของพันธุ์ไม้ชนิดเดียวกัน แต่ต่างพื้นที่กันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การเลือกใช้สมการที่ได้มีผู้รายงานไว้แล้ว จึงเป็นการประหยัดเวลาและงบประมาณ โดยทำการประเมินผลผลิตมวลชีวภาพของพันธุ์ไม้ในแปลงตัวอย่างจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงเป็นรายต้น แล้วจึงหาผลรวมของผลผลิตมวลชีวภาพทุกต้นในแปลงตัวอย่าง

ในการศึกษาได้เลือกใช้สมการแอลโลเมตรีที่มีผู้รายงานไว้แล้ว โดยใช้สมการของ ชัยสิทธิ์ (2536) ในการประเมินมวลชีวภาพของไม้ไม้โกงกางใบเล็ก ไม้โกงกางใบใหญ่ และถั่วคำ ปฏิมาพร (2545) ในการประเมินมวลชีวภาพของตะบูนขาว และถั่วขาว พูลศรี (2541) ในการประมาณมวลชีวภาพของโปรงแดง จิระศักดิ์ และอภิรักษ์ (2540) ในการประเมินมวลชีวภาพของแสมขาว สำหรับตะบูนดำ และแสมดำ ยังไม่มีผู้รายงานสมการแอลโลเมตรีไว้ จึงเลือกใช้สมการของพันธุ์ไม้ในสกุลเดียวกันในการประเมินมวลชีวภาพโดยตะบูนดำใช้สมการของการประเมินของตะบูนขาวของ ปฏิมาพร (2545) และแสมดำใช้สมการของการประเมินของแสมขาวของ จิระศักดิ์ และอภิรักษ์ (2540) โดยรูปแบบสมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ แสดงดังตารางที่ 3



ภาพที่ 7 แผนภาพสรุปกระบวนการวิเคราะห์หาดัชนีพื้นที่ใบ มวลชีวภาพ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินจากข้อมูลภาคสนามในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 3 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณค่ามวลชีวภาพของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษา

ชนิดพันธุ์ไม้	สมการแอลโลเมตรี	หมายเหตุ
โกกางใบเล็ก (<i>Rhizophora apiculata</i>)	$W_s = 0.0150(D_{20}^2 H)^{1.0554}$	ศึกษาที่
ที่มา : ชัยสิทธิ์ (2536)	$W_B = 0.0051(D_{20}^2 H)^{1.0860}$	ระนอง
	$W_L = 0.0799(D_{20}^2 H)^{0.5470}$	
	$W_R = 0.0098(D_{20}^2 H)^{2.0085}$	

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ชนิดพันธุ์ไม้	สมการแอลโลเมตรี	หมายเหตุ
โกกงางใบใหญ่ (<i>Rhizophora mucronata</i>) ที่มา : ชัยสิทธิ์ (2536)	$W_S = 0.0195(D_{20}^2 H)^{1.0175}$ $W_B = 0.0054(D_{20}^2 H)^{1.1124}$ $W_L = 0.0294(D_{20}^2 H)^{0.7894}$ $W_R = 0.0933(D_{20}^2 H)^{0.6877}$	ศึกษาที่ ระนอง
ถั่วดำ (<i>Bruguiera parviflora</i>) ที่มา : ชัยสิทธิ์ (2536)	$W_S = 0.0787(D^2 H)^{0.7553}$ $W_B = 0.0214(D^2 H)^{0.8345}$ $W_L = 0.0571(D^2 H)^{0.6536}$	ศึกษาที่ ระนอง
ตะบูนขาว (<i>Xylocarpus granatum</i>) ที่มา : ปฎิมาพร (2545)	$W_S = 0.0430(D^2 H)^{0.9490}$ $W_B = 0.0018(D^2 H)^{1.0718}$ $W_L = 0.0027(D^2 H)^{1.0357}$	ศึกษาที่ พังงา
ตะบูนดำ (<i>Xylocarpus moluccensis</i>) ที่มา : ปฎิมาพร (2545)	$W_S = 0.0430(D^2 H)^{0.9490}$ $W_B = 0.0018(D^2 H)^{1.0718}$ $W_L = 0.0027(D^2 H)^{1.0357}$	ศึกษาที่ พังงา
โปรงแดง (<i>Ceriops tagal</i>) ที่มา : พูลศรี (2541)	$W_S = 0.0657(D^2 H)^{0.6110}$ $W_B = 0.0168(D^2 H)^{1.0397}$ $W_L = 0.0530(D^2 H)^{0.7792}$	ศึกษาที่ ระนอง
ถั่วขาว (<i>Bruguiera cylindrica</i>) ที่มา : ปฎิมาพร (2545)	$W_S = 0.0595(D^2 H)^{0.9456}$ $W_B = 0.0006(D^2 H)^{1.0050}$ $W_L = 0.0033(D^2 H)^{1.0605}$	ศึกษาที่ พังงา
แสมขาว (<i>Avicennia alba</i>) ที่มา : จิระศักดิ์ และอภิรักษ์ (2540)	$W_S = 0.079211 DBH^{2.470895}$ $W_B = 0.481575 (1.246280)^{DBH}$ $W_L = 0.171711 (1.196367)^{DBH}$	ศึกษาที่ สมุทรสงคราม
แสมดำ (<i>Avicennia officinalis</i>) ที่มา : จิระศักดิ์ และอภิรักษ์ (2540)	$W_S = 0.079211 DBH^{2.470895}$ $W_B = 0.481575 (1.246280)^{DBH}$ $W_L = 0.171711 (1.196367)^{DBH}$	ศึกษาที่ สมุทรสงคราม

หมายเหตุ : D_{20} = เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับ 20 เซนติเมตร จากคอราก (ชม.)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (ชม.)

H = ความสูงของต้นไม้ (ม.)

W_s = มวลชีวภาพของลำต้น (กก.)

W_B = มวลชีวภาพของกิ่ง (กก.)

W_L = มวลชีวภาพของใบ (กก.)

W_R = มวลชีวภาพของราก (กก.)

3.2 คำนวณหาดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index) ของพันธุ์ไม้ในแปลงตัวอย่าง ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้สมการแอลโลเมตรีของ Ogawa และ คณะ (1961) ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้

$$U = 0.5101(D^2H)^{0.5912}$$

โดยที่ U = พื้นที่ผิวใบทั้งหมดของต้นไม้ต้นหนึ่ง (ตร.ม.)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (ชม.)

H = ความสูงของต้นไม้ (ม.)

จากค่าพื้นที่ผิวใบทั้งหมดของต้นไม้ต้นหนึ่ง สามารถนำไปหาค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) Ogawa และ คณะ (1961) ได้จากสมการดังนี้

$$LAI = \frac{\text{พื้นที่ผิวใบทั้งหมดของต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่แปลงตัวอย่าง}}$$

โดยที่ LAI = ดัชนีพื้นที่ใบ

3.3 การประเมินหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอน โดยภายหลังจากนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอน ด้วยวิธี Dry Combustion ในห้องปฏิบัติการแล้ว จะได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์การสะสม ซึ่งค่านี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ทันที จึงนำเปอร์เซ็นต์คาร์บอนเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละส่วนมาคูณกับน้ำหนักของมวลชีวภาพแยกส่วนเป็นรายต้นรวมน้ำหนักในแต่ละต้น และรวมน้ำหนักทั้งแปลงตัวอย่างจะได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในรูปของน้ำหนักต่อพื้นที่แปลงตัวอย่าง

$$\text{Total Carbon} = \% \text{Carbon} \times \text{Biomass}$$

3.4 นำข้อมูลค่ามวลชีวภาพ ดัชนีพื้นที่ใบ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่วิเคราะห์ได้จากภาคสนาม ซึ่งมีขนาดแปลงตัวอย่าง 60 x 60 เมตรซึ่งมีพื้นที่ 3,600 ตารางเมตร มาทำการเฉลี่ยให้ข้อมูลดังกล่าวอยู่ในรูปของแปลงตัวอย่างขนาด 30 x 30 เมตรซึ่งมีพื้นที่ 900 ตารางเมตร เพื่อให้สอดคล้องกับขนาดของจุดภาพที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM และถือว่าค่าที่ได้รับจากการเฉลี่ยแล้วเป็นค่าที่ได้จากข้อมูลภาคสนามที่มีขนาดแปลงตัวอย่าง 30 x 30 เมตร หรือ 900 ตารางเมตรมาใช้ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.5 การหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินจากค่าดัชนีพื้นที่ใบ (ดังภาพที่ 8) มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

3.5.1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินกับค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม ในตำแหน่งพิกัดแปลงตัวอย่างเดียวกัน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงเชิงเดี่ยว (Linear Regression Analysis) ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้

$$Y = a + bX$$

เมื่อกำหนดให้

- Y คือ ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม
- X คือ ค่าดัชนีพื้นที่ใบ
- a คือ ค่าที่เส้นสมการถดถอยตัดแกน y (y – intercept)
- b คือ ค่าความลาดชัน (slope) ของเส้นการถดถอย เรียกว่าสัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Coefficient of Regression)

นอกจากนี้ยังหาความสัมพันธ์โดยการกำหนดรูปแบบสมการความสัมพันธ์เส้นโค้งในรูปแบบอื่น ๆ ได้แก่ แบบลอการิทึม แบบยกกำลัง และแบบเอ็กโพเนนเชียล เพื่อให้ได้สมการความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดในการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินด้วย

3.5.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ใบกับค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ใช้การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจในการเลือกตัวแปรอิสระที่เหมาะสมในการสร้างสมการ และเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (Stepwise Multiple Regression Analysis) (กระบวนการแสดงดังภาพที่ 6) ซึ่งมีรูปแบบสมการ ดังนี้

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

เมื่อกำหนดให้

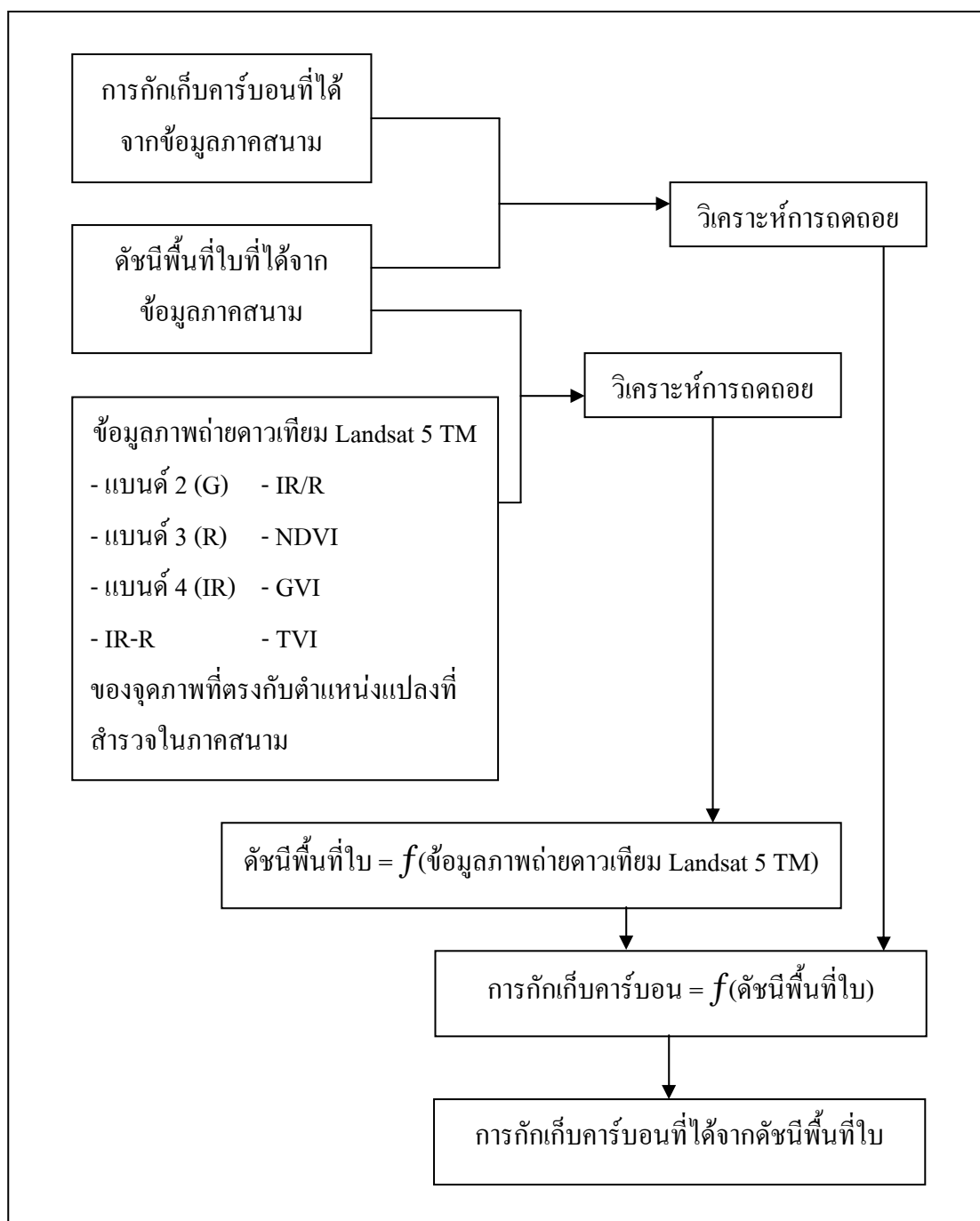
Y คือ ค่าดัชนีพื้นที่ใบ

X_1, X_2, X_3, X_4, X_n คือ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM (G, R, IR, IR-R, IR/R, NDVI, TVI และ GVI) ที่แปลงเป็นค่า Reflectance แล้ว

a คือ ค่าที่เส้นสมการถดถอยตัดแกน y (y – intercept)

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

3.5.3 การหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน โดยวิธีการแทนค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM ที่ได้จากข้อ 3.5.2 ลงในสมการที่ได้จากข้อ 3.5.1 จะได้ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมดคิดเฉพาะพื้นที่ป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 8 แผนภาพสรุปกระบวนการหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินจากค่าดัชนีพื้นที่ใบ

3.6 การประมาณหาค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM (ภาพที่ 9) มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

3.6.1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (ตัวแปรตาม) กับค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ แบนด์ 2 (G), แบนด์ 3 (R), แบนด์ 4 (IR) และค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R (Simple Substraction), การหารแบบง่าย : IR/R (Simple Division), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), TVI (Transformed Vegetation Index) และ GVI (Green Vegetation Index) โดยใช้จุดภาพ (Pixel) บริเวณเดียวกันกับตำแหน่งแปลงตัวอย่างที่ทำการเก็บข้อมูลภาคสนามโดยเครื่องบอกตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม ใช้การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจในการเลือกตัวแปรอิสระที่เหมาะสมในการสร้างสมการ และเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (Stepwise Multiple Regression Analysis) ซึ่งมีรูปแบบสมการ ดังนี้

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

เมื่อกำหนดให้

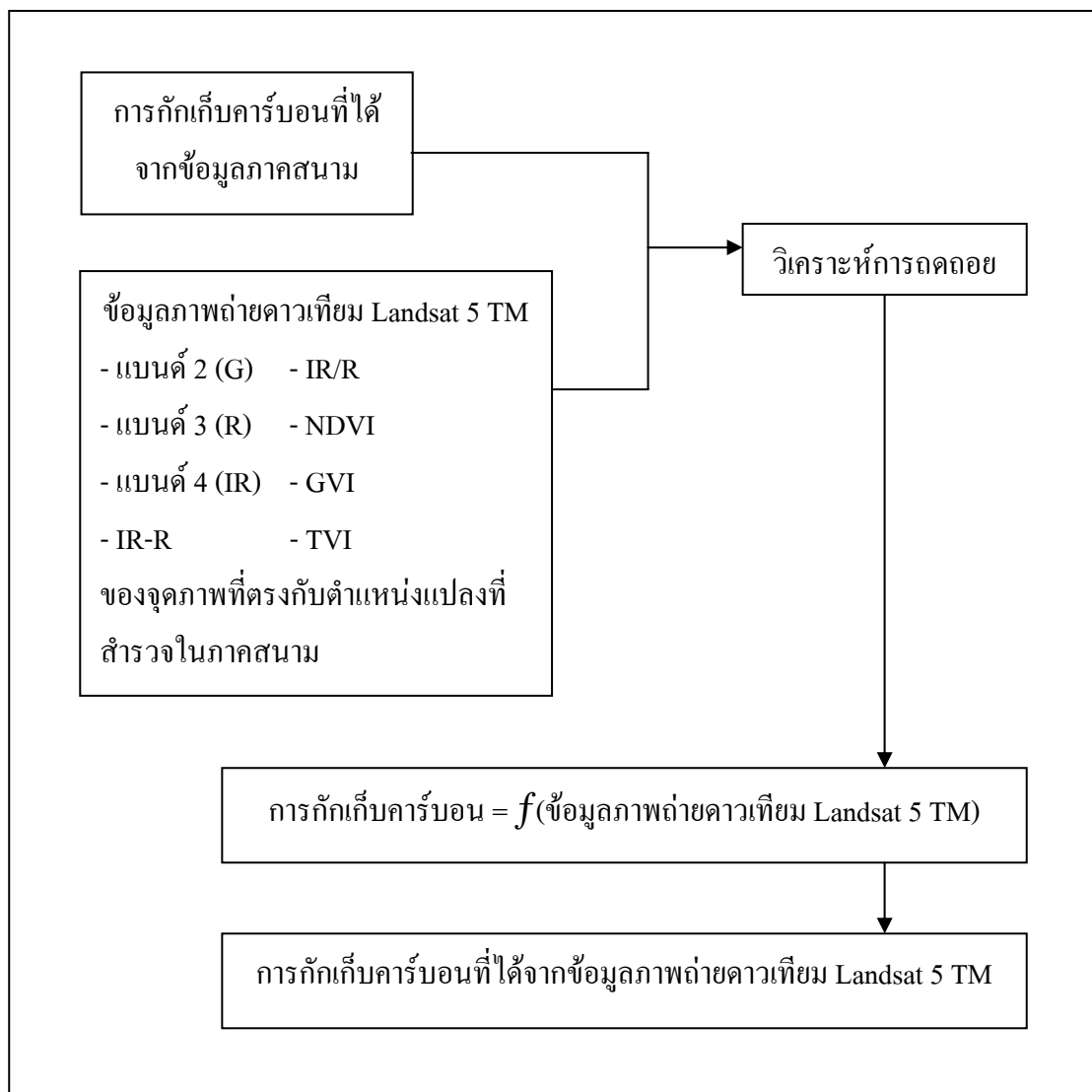
Y คือ ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม

X_1, X_2, X_3, X_4, X_n คือ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM (G, R, IR, IR-R, IR/R, NDVI, TVI และ GVI) ที่แปลงเป็นค่า Reflectance แล้ว

a คือ ค่าที่เส้นสมการถดถอยตัดแกน y (y – intercept)

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

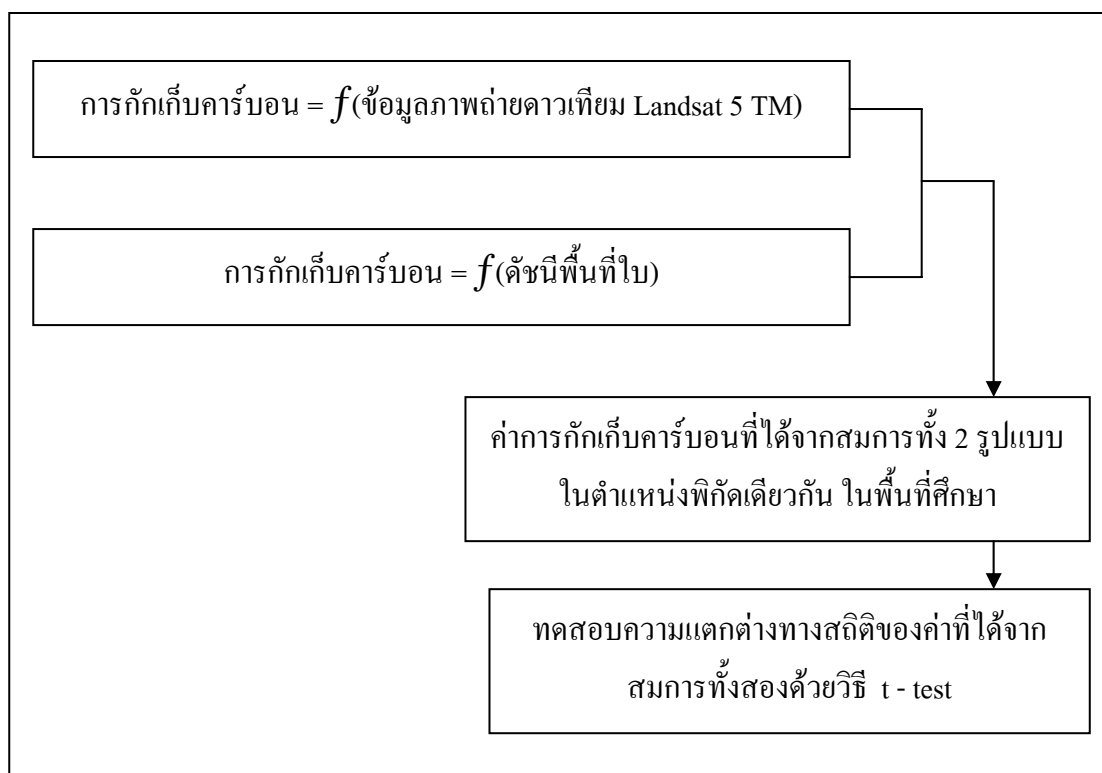
3.6.2 ทำการหาสมการที่ดีที่สุดในการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน และประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมดคิดเฉพาะพื้นที่ป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 9 แผนภาพสรุปกระบวนการหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM

3.7 เปรียบเทียบค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ได้จากสมการค่าดัชนีพื้นที่ใบ กับสมการข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM

เมื่อทดสอบสมการประมาณค่าทั้งสองแบบแล้วว่าเป็นสมการที่ดีที่สุด นำสมการดังกล่าวมาคำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินในตำแหน่งพิกัดเดียวกันกับตำแหน่งการเก็บข้อมูลภาคสนาม และนำค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่คำนวณได้จากสมการทั้งสองมาทดสอบค่าที่ได้มีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ t-test (ดังภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 การทดสอบความแตกต่างของปริมาณคาร์บอนที่ได้จากดัชนีพื้นที่ใบ และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM

ภายหลังการทดสอบถ้าค่าที่ได้จากสมการทั้งสองไม่มีความแตกต่างกัน จึงทำการเลือกรูปแบบสมการที่เหมาะสมในการใช้ประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน โดยการเปรียบเทียบจากค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างกับข้อมูลที่ได้จากภาคสนามของแต่ละสมการ

3.8 นำสมการที่ดีที่สุดที่ผ่านการคัดเลือกไปประมาณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินโดยเฉพาะพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณเกาะลันตาน้อย และเกาะลันตาใหญ่ จังหวัดกระบี่

สถานที่และระยะเวลาที่ทำการศึกษา

การศึกษาการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลน ได้เลือกพื้นที่บริเวณอำเภอเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ ซึ่งประกอบไปด้วยเกาะน้อยใหญ่จำนวน 53 เกาะ โดยการศึกษาครั้งนี้ได้เน้นขอบเขตของการศึกษาไปที่บริเวณพื้นที่ป่าชายเลนซึ่งอยู่ระหว่างเกาะลันตาน้อยและเกาะลันตาใหญ่ นอกจากนั้นยังรวมถึงป่าชายเลนที่อยู่บริเวณโดยรอบของเกาะทั้ง 2 ดังแสดงในภาพที่ 11 เนื่องจากป่าชายเลนในบริเวณพื้นที่ดังกล่าวมีลักษณะเป็นป่าชายเลนที่มีอาณาเขตติดต่อกันเป็นพื้นที่บริเวณกว้าง และมีพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ค่อนข้างหลากหลาย โดยมีข้อมูลพื้นฐานโดยทั่วไปดังนี้

1. ที่ตั้ง และอาณาเขต

พื้นที่ศึกษา (เกาะลันตาน้อย และเกาะลันตาใหญ่) ตั้งอยู่ในอำเภอเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ ระหว่างละติจูดที่ 7 องศา 29 ลิปดา ถึง 7 องศา 40 ลิปดาเหนือ และลองจิจูดที่ 99 องศา 05 ลิปดา ถึง 99 องศา 15 ลิปดาตะวันออก มีอาณาเขตติดต่อดังนี้

ทิศเหนือ	ติดกับอำเภอเมืองกระบี่ จังหวัดกระบี่
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับอำเภอคลองท่อม จังหวัดกระบี่ อำเภอสิเกา และอำเภอกันตัง จังหวัดตรัง
ทิศใต้	ติดต่อกับทะเลอันดามัน มหาสมุทรอินเดีย
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับทะเลอันดามัน มหาสมุทรอินเดีย

2. ลักษณะภูมิประเทศ

เกาะลันตาน้อยและเกาะลันตาใหญ่ จังหวัดกระบี่ มีพื้นที่รวมกันประมาณ 150.18 ตารางกิโลเมตร โดยทั้งสองเกาะมีพื้นที่แยกออกจากกัน แต่ถูกเชื่อมต่อกันด้วยพื้นที่ป่าชายเลน โดยเกาะลันตาน้อยตั้งอยู่ทางตอนเหนือ และเกาะลันตาใหญ่ ตั้งอยู่ทางตอนใต้ เมื่อพิจารณาถึงขนาดพื้นที่พบว่าเกาะทั้ง 2 เกาะดังกล่าวมีพื้นที่รวมกันประมาณร้อยละ 40 ของพื้นที่เกาะลันตาทั้งหมดซึ่งมีเกาะน้อยใหญ่ทั้งหมด 53 เกาะ เกาะลันตาใหญ่มีสภาพภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสูงทางด้านตะวันตกจะมีแนวเทือกเขาทอดยาวจากทิศเหนือจรดทิศใต้ พื้นที่ส่วนใหญ่จะเป็นเนินเขาเตี้ยๆ และ

มีพื้นที่ราบชายฝั่งทะเลทางทิศตะวันออก มีแนวป่าชายเลนปกคลุมอยู่เล็กน้อยในบริเวณตอนเหนือของเกาะ มีลำห้วยขนาดเล็กไหลผ่านจำนวน 5 สาย คือ สายหัวแหลม สายน้ำตก คลองศรีรายา คลองไสใน และคลองสุขาภิบาล ซึ่งมีต้นน้ำจากเทือกเขาเกาะลันตาไหลลงสู่ทะเลทางทิศตะวันออก ส่วนเกาะลันตาน้อย ตอนกลางของเกาะเป็นภูเขา สลับกับหุบเขา และลาดลงเป็นที่ราบชายฝั่งทะเล และมีที่ราบกระจายอยู่ทั่วไปบนเกาะ ซึ่งจะเป็นที่ตั้งของชุมชน และพื้นที่ทำการเพาะปลูก โดยพื้นที่ป่าชายเลนส่วนใหญ่จะอยู่รวมกันเป็นผืนขนาดใหญ่ระหว่างเกาะลันตาน้อย และเกาะลันตาใหญ่ และมีกระจายอยู่เป็นแนวเล็กๆ ทางด้านทิศตะวันออก และทิศเหนือของเกาะลันตาน้อย และทิศตะวันตกของเกาะลันตาใหญ่

3. ลักษณะภูมิอากาศ

พื้นที่ศึกษาดังกล่าวตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นมีลมมรสุมพัดผ่านตลอดปี โดยแบ่งออกเป็น 2 ระยะเวลา คือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พัดผ่านในเดือนเมษายนถึงเดือนกันยายน และลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ พัดผ่านในเดือนตุลาคม ถึงเดือนมีนาคม ฤดูกาลมีเพียง 2 ฤดู คือ ฤดูร้อนกับฤดูฝน โดยฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายน ฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึงเดือนพฤศจิกายน

4. สภาพเศรษฐกิจและสังคม

ประชากรในพื้นที่เกาะลันตาส่วนใหญ่เป็นชาวเกาะลันตาโดยกำเนิด ตั้งถิ่นฐานกระจายอยู่ตามบริเวณชายฝั่งทะเลรอบๆ เกาะ ส่วนใหญ่นับถือศาสนาอิสลาม ประชากรส่วนมากประกอบอาชีพทางด้านเกษตรกรรม โดยส่วนใหญ่ทำสวนยางพารา และนอกจากนั้นประกอบอาชีพทางการประมง ส่วนใหญ่จะเป็นประมงชายฝั่ง นอกจากนั้นประกอบอาชีพค้าขายและรับจ้างทำงานตามรีสอร์ตและบังกะโลในตำบลศาลาด่านและตำบลเกาะลันตาใหญ่



ภาพที่ 11 ลักษณะป่าชายเลนที่ศึกษาบริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่

5. ทรัพยากรธรรมชาติ

1. ทรัพยากรป่าไม้ของเกาะลันตา ส่วนใหญ่ยังคงมีสภาพที่สมบูรณ์ และมีความหลากหลายของสังคมพืชพันธุ์ไม้มาก ชนิดของสังคมพืชที่ปรากฏส่วนใหญ่เป็นสังคมพืชป่าต่าง ๆ ดังนี้ (อุทยานแห่งชาติหมู่เกาะลันตา, 2545)

ป่าดิบชื้น (Tropical Rain Forest) ส่วนใหญ่จะปรากฏอยู่ในภูมิประเทศที่เป็นภูเขา พบพันธุ์ไม้ป่าดิบชื้นหลายชนิด เช่น เคี่ยมคะนอง (*Shorea henryana* Pierre.) ยางแดง (*Dipterocarpus turbinatus*) ตะแบกนา (*Lagerstroemia floribunda*) ตะเคียนหิน (*Hopea ferrea*) เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบพันธุ์ไม้พื้นล่างอีกหลายชนิด เช่น กะพ้อ (*Licuala peltata*) หวายขม (*Calamus viminalis*) เป็นต้น

ป่าชายหาด (Beach Forest) ปรากฏอยู่ตามพื้นที่ราบริมชายฝั่งทะเล พันธุ์ไม้ที่สำคัญที่พบ เช่น หูกวาง (*Terminalia catappa*) โพธิ์ทะเล (*Thespesia populnea*) ลำเจียก (*Pandanus tectorum*) ปอทะเล (*Hibiscus tiliaceus*) เป็นต้น

ป่าชายเลน (Mangrove Forest) ส่วนใหญ่พบในพื้นที่ระหว่างเกาะลันตาน้อย และเกาะลันตาใหญ่ ซึ่งมีลักษณะเป็นป่าที่มีอาณาเขตติดต่อกันเป็นบริเวณกว้าง นอกจากนี้ยังพบกระจายอยู่ตามพื้นที่เกาะเล็กเกาะน้อยต่างๆ พันธุ์ไม้ที่สำคัญที่สำรวจพบ เช่น โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*), โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*), ตะบูนขาว (*Xylocarpus granatum*), ตะบูนดำ (*Xylocarpus moluccensis*), โปรงแดง (*Ceriops tagal*), แสมขาว (*Avicennia alba*), แสมดำ (*Avicennia officinalis*), ถั่วขาว (*Bruguiera cylindrica*) และถั่วดำ (*Bruguiera parviflora*) เป็นต้น

สังคมพืชหน้าผา (Scrub Forest) พันธุ์ไม้สำคัญที่พบ ได้แก่ ประเภา (*Cycas pectinata*) จันทน์ผา (*Dracaena lourieri*) จันทน์แดง (*Myristica iners*)

2. ทรัพยากรสัตว์ป่า จากการค้นคว้าเอกสารยังไม่พบการสำรวจทรัพยากรสัตว์ป่าในพื้นที่ โดยทั่วไปบนเกาะลันตา แต่มีการรายงานการสำรวจทรัพยากรสัตว์ป่าภายในเขตอุทยานแห่งชาติหมู่เกาะลันตา พบสัตว์ป่าได้แก่ ลิง ค่าง กระงะ กระรอก หมูป่า ตะกวด เสือปลา เขี้ยวแดง และนกโจรสลัด นอกจากนี้ยังพบสัตว์เฉพาะถิ่น ได้แก่ ค้างคาวมงกุฎหูโตมาร์แชล (*Marshall's Horseshoe Bat*)

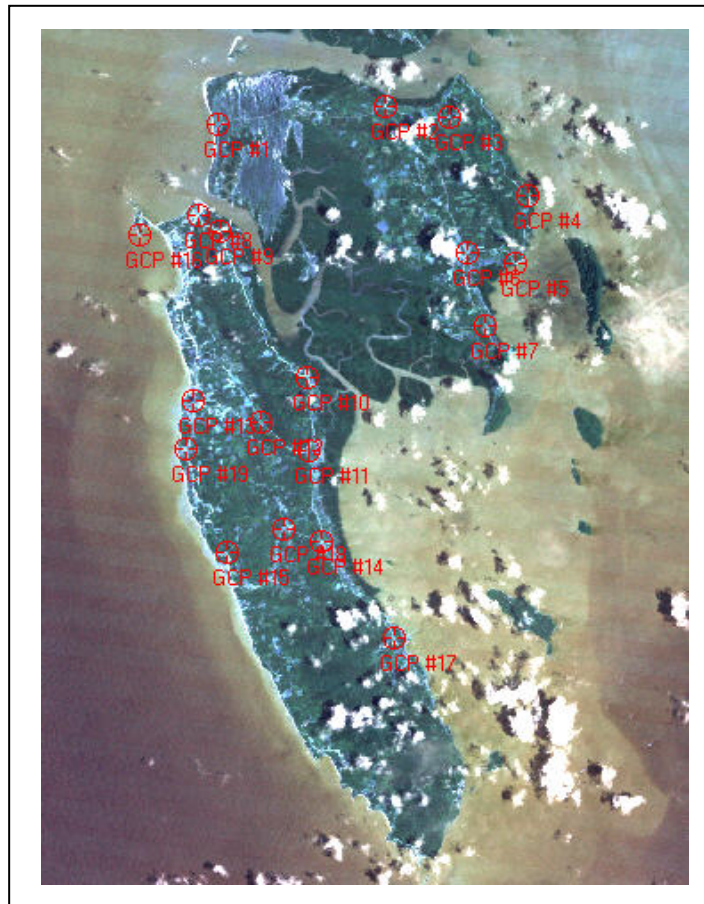
ผลและวิจารณ์

1. การจัดการข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

1.1 การปรับแก้ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction)

การศึกษานี้เลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ศึกษาทำการบันทึกเมื่อวันที่ 27 กันยายน 2550 เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกับระยะเวลาในการเก็บข้อมูลภาคสนาม และได้ทำการปรับแก้ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิตของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งสาเหตุเกิดจากการบิดเบือนของตำแหน่งในภาพ อันเนื่องมาจากความผิดพลาดของการโคจร ลักษณะของการวางตัวของดาวเทียมขณะทำการบันทึกข้อมูล การหมุนรอบตัวเองของโลก ความโค้งตัวของเปลือกโลก และความเร็วของดาวเทียมลักษณะเฉพาะตัวของพื้นที่ทำการตรวจวัด เป็นต้น การแก้ไขค่าความผิดพลาดเชิงเรขาคณิตดังกล่าว ทำโดยการใช้แผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร ลำดับชุด L7018 มาตราส่วน 1 : 50,000 เป็นข้อมูลอ้างอิงพิกัดทางภูมิศาสตร์ และกำหนดตำแหน่งพิกัดของจุดภาพให้เข้ากับระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ของแผนที่ภูมิประเทศ และเลือกจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point) ที่มีลักษณะเด่นทั้งในแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศ และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (ดังแสดงในภาพที่ 12) เช่น จุดตัดถนน จุดตัดลำน้ำ เป็นต้น รวมทั้งหมด 19 จุด (รายละเอียดดังตารางผนวกที่ 1) โดยใช้สมการปรับแก้ข้อมูลภาพแบบโพลีโนเมียล ดีกรี 2

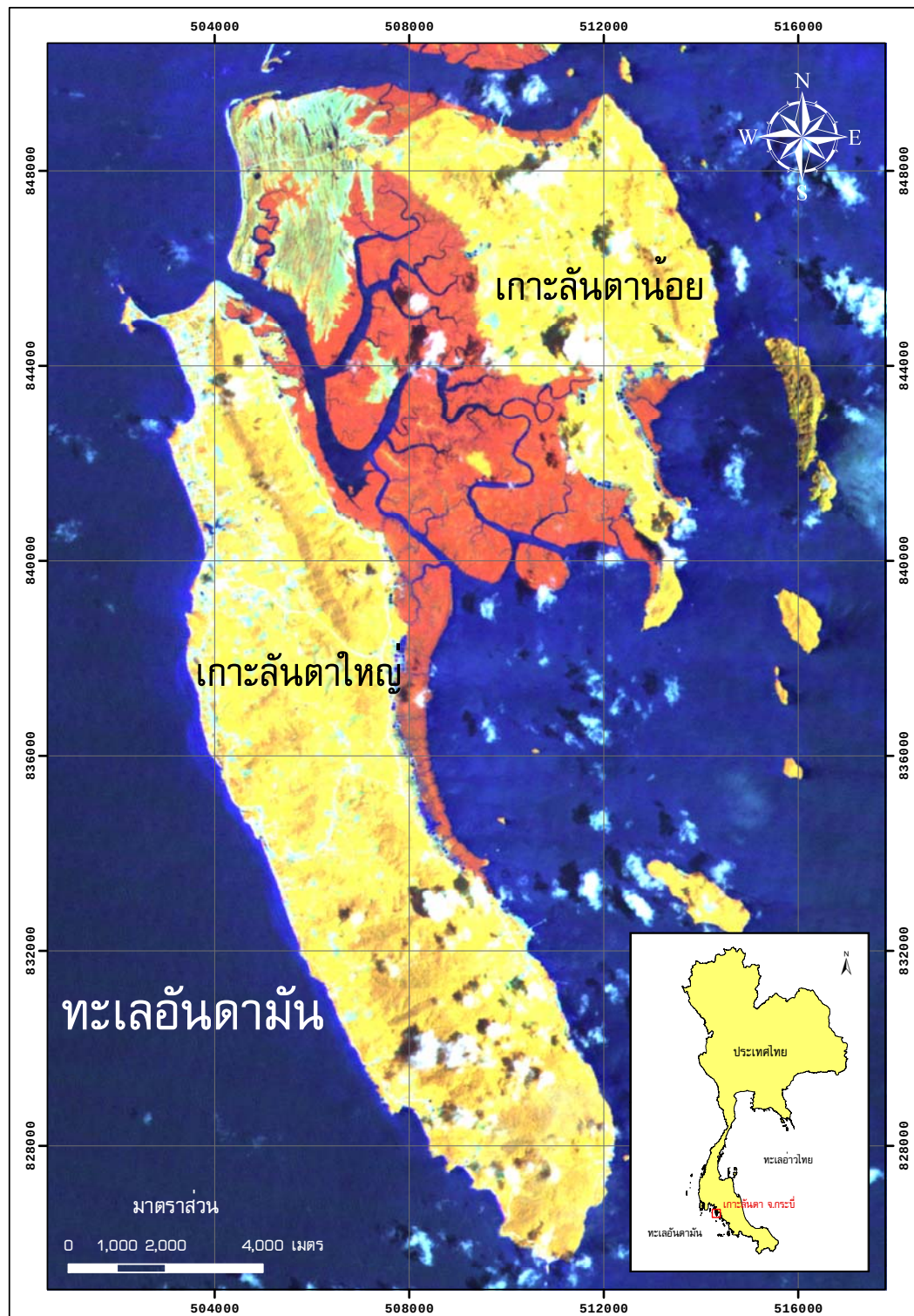
สมการที่เหมาะสมให้ค่าผิดพลาดในการปรับแก้คิดเป็นค่า RMSe (Root Mean Square Error) เท่ากับ 0.8329 จุดภาพ และใช้การ Resampling แบบ Nearest Neighbor โดยอ้างอิงตำแหน่งบนพื้นโลกด้วยระบบแผนที่ทางภูมิศาสตร์แบบ UTM กำหนดระยะทางเป็นเมตร และให้กำหนดขนาดจุดภาพใหม่เป็น 30 x 30 เมตร ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 12 จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point) ที่ใช้ในการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตของภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM

1.2 การจำแนกข้อมูลภาพ (Image Classification)

การจำแนกข้อมูลภาพในการศึกษาครั้งนี้ใช้การจำแนกแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) เป็นวิธีหลักในการจำแนกข้อมูลภาพ และใช้วิธีการจำแนกเชิงพื้นที่ด้วยสายตาเป็นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องมากที่สุด โดยการจำแนกแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) ใช้ตัวจัดชั้นแบบ Maximum Likelihood ในพื้นที่บริเวณที่ทำการศึกษากำหนดชนิดของพื้นที่ที่จะเป็นตัวแทน 3 ชนิดได้แก่ พื้นที่ป่าชายเลน แหล่งน้ำ (ทะเล) และพื้นที่อื่นๆ



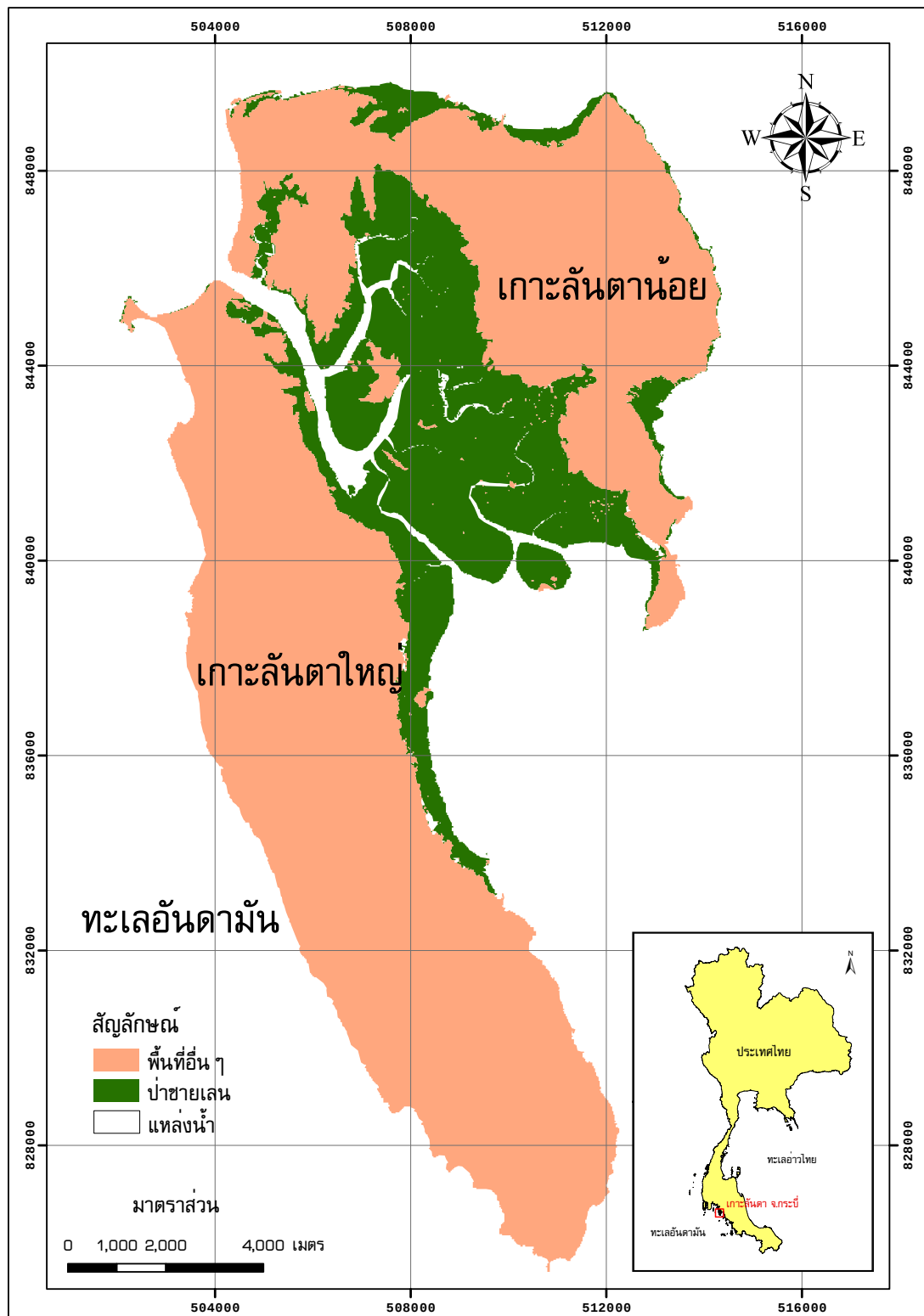
ภาพที่ 13 ภาพถ่ายจากดาวเทียมสปีสมแบนด์ 4 (แดง) 5 (เขียว) และ 3 (น้ำเงิน) ภายหลังได้รับการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิต

โดยในการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM เพื่อความสะดวกได้ทำการตัดพื้นที่บริเวณที่ทำการจำแนกดังกล่าวออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมครอบคลุมพื้นที่บริเวณพื้นที่ศึกษามีพิกัดอยู่ที่ 501453 E, 849994 N กับ 515216 E, 824844 N มีพื้นที่ประมาณ 348.67 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 217,921.10 ไร่ โดยทำการจำแนกพื้นที่ทั้งหมด สามารถจำแนกได้เป็น ป่าชายเลนมีพื้นที่ 36.85 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 23,028.45 ไร่ พื้นที่แหล่งน้ำ(ทะเล) มีพื้นที่ 198.49 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 124,058.08 ไร่ และพื้นที่อื่น ๆ หมายถึงพื้นที่ที่เป็นแผ่นดิน รวมถึงแหล่งน้ำในเกาะ มีพื้นที่ 113.34 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 70,834.56 ไร่ รายละเอียดในการจำแนกแสดงดังตารางที่ 4 และภาพที่ 14

ตารางที่ 4 ผลการจำแนกการใช้ที่ดินด้วยวิธีการจำแนกแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) และการวิธีการจำแนกเชิงพื้นที่ด้วยสายตา (พิจารณาทั้งขอบเขตของภาพถ่ายดาวเทียม)

ประเภท	เนื้อที่		
	ตารางกิโลเมตร	ไร่	ร้อยละ
การใช้ที่ดิน			
ป่าชายเลน	36.85	23,028.45	10.57
พื้นที่อื่นๆ	113.34	70,834.56	32.51
ทะเล	198.49	124,058.08	56.93
รวม	348.67	217,921.09	100.00

เมื่อพิจารณาเฉพาะพื้นที่บริเวณพื้นที่ศึกษา (เกาะลันตาน้อย และเกาะลันตาใหญ่) พบว่าสามารถจำแนกการใช้ที่ดินในบริเวณดังกล่าวได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ พื้นที่ป่าชายเลน พื้นที่แหล่งน้ำ (แหล่งน้ำในเกาะ) และแผ่นดิน (ส่วนที่เป็นเกาะ) โดยผลการจำแนกพบว่า บริเวณพื้นที่เกาะลันตาน้อย และเกาะลันตาใหญ่มีพื้นที่รวมกันประมาณ 150.18 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 93,863.01 ไร่ มีพื้นที่ที่เป็นส่วนของแผ่นดินมากที่สุดประมาณ 70,562.62 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 75.18 รองลงมาเป็นพื้นที่ป่าชายเลนประมาณ 23,028.45 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 24.53 และพื้นที่แหล่งน้ำในเกาะมีพื้นที่ประมาณ 271.94 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 0.29 ของพื้นที่ทั้งหมด (ตารางที่ 5)



ภาพที่ 14 ผลการจำแนกภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยวิธีแบบกำกับดูแล และวิธีการจำแนกเชิงพื้นที่ด้วยสายตา

ตารางที่ 5 ผลการจำแนกการใช้ที่ดินด้วยวิธีการจำแนกแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) และการวิธีการจำแนกเชิงพื้นที่ด้วยสายตา (พิจารณาเฉพาะบริเวณพื้นที่เกาะ)

ประเภท การใช้ที่ดิน	เนื้อที่		
	ตารางกิโลเมตร	ไร่	ร้อยละ
แผ่นดิน (ส่วนที่เป็นเกาะ)	112.90	70,562.62	75.18
ป่าชายเลน	36.85	23,028.45	24.53
แหล่งน้ำในเกาะ	0.44	271.94	0.29
รวม	150.18	93,863.01	100.00

1.3 การแปลงค่าหลักเลข (Digital Number : DN) ไปเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Reflectance)

ผลการแปลงค่าข้อมูลหลักเลข (DN) ไปเป็นข้อมูลค่าการสะท้อนจริงจากพื้นผิวโลก (Reflectance) พบว่า ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ได้รับการแปลงค่าแล้วมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของภาพ เนื่องมาจากค่าการสะท้อนจริงที่ได้จากพื้นผิวโลกเป็นค่าของพลังงานที่สะท้อนออกจากผิวของวัตถุ ซึ่งไม่สามารถกำหนดช่วงของค่าพลังงานได้แน่นอน เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของพื้นผิววัตถุไม่เหมือนกันกล่าวคือมีการสะท้อน การส่งผ่าน และการดูดซับพลังงานที่แตกต่างกัน จะแตกต่างกับค่าหลักเลข (DN) คือ ค่าหลักเลขเกิดจากการบันทึกข้อมูลของเครื่องบันทึกแล้วแปลงข้อมูลที่ได้ออกไปจัดเก็บไว้ในรูปของข้อมูล 8 บิต ทำให้ค่าที่บันทึกได้มีค่าเพียง 256 ค่า (ตารางที่ 6) แต่เมื่อพิจารณาจากฮิสโตแกรมของภาพของค่าข้อมูลหลักเลข (DN) และค่าการสะท้อนจริงจากพื้นผิวโลก (Reflectance) พบว่าค่าฮิสโตแกรมที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน เพราะว่าการแปลงค่าดังกล่าวเป็นเพียงการแปลงจากค่าหลักเลขที่ดาวเทียมบันทึกได้ไปเป็นค่าพลังงานการสะท้อนจริงที่ได้จากพื้นผิวโลก แต่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงการกระจายของข้อมูลในแต่ละแบนด์ (ภาพผนวกที่ 1)

เมื่อนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM ที่ผ่านการแปลงค่าตัวเลขหลัก (Digital Number : DN) ไปเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Reflectance) แล้วในตำแหน่งเดียวกับแปลงตัวอย่างที่ทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม มาหาค่าการสะท้อนช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืช

พรรณ แบนด์ 2 (G), แบนด์ 3 (R) และแบนด์ 4 (IR) และหาดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การ
 ลบแบบง่าย : IR-R (Simple Substraction), การหารแบบง่าย : IR/R (Simple Ratio), NDVI
 (Normalized Difference Vegetation Index), TVI (Transformed Vegetation Index) และ GVI
 (Green Vegetation Index) ได้ข้อมูลดังต่อไปนี้ (ดังตารางที่ 7)

ตารางที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่เป็นค่าหลักเลขของภาพ
 ดัชนี และค่าที่แปลงเป็นค่าการสะท้อนจริงจากพื้นผิวโลก

Band	Digital Number		Reflectance	
Band 1	Min = 0	Mean = 85.514	Min = -0.00247	Mean = 0.104
	Max = 255	Median = 84	Max = 0.31462	Median = 0.10157
	Mode = 79	Std. Dev = 16.317	Mode = 0.09573	Std. Dev = 0.020
Band 2	Min = 0	Mean = 33.98	Min = -0.00469	Mean = 0.081
	Max = 255	Median = 32	Max = 0.49152	Median = 0.07455
	Mode = 27	Std. Dev = 9.357	Mode = 0.062916	Std. Dev = 0.024
Band 3	Min = 0	Mean = 26.67	Min = -0.00240	Mean = 0.055
	Max = 235	Median = 24	Max = 0.5014	Median = 0.04876
	Mode = 21	Std. Dev = 10.423	Mode = 0.04089	Std. Dev = 0.022
Band 4	Min = 0	Mean = 31.27	Min = -0.004648	Mean = 0.079
	Max = 191	Median = 16	Max = 0.50857	Median = 0.03754
	Mode = 14	Std. Dev = 33.61	Mode = 0.031436	Std. Dev = 0.090
Band 5	Min = 0	Mean = 25.682	Min = -0.0054901	Mean = 0.040
	Max = 255	Median = 15	Max = 0.4481	Median = 0.02108
	Mode = 14	Std. Dev = 23.928	Mode = 0.019316	Std. Dev = 0.043
Band 7	Min = 0	Mean = 12.408	Min = -0.0059319	Mean = 0.026
	Max = 217	Median = 9	Max = 0.55439	Median = 0.0159
	Mode = 9	Std. Dev = 9.320	Mode = 0.015956	Std. Dev = 0.024

ตารางที่ 7 ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Reflectance) ช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องพืชพรรณ

แปลงที่	ตำแหน่งพิกัดแปลง		ค่าการสะท้อนแสง			ดัชนีพืชพรรณ				
	ตะวันออก	เหนือ	แบนด์ 2 (G)	แบนด์ 3 (R)	แบนด์ 4 (IR)	การลบแบบง่าย (IR – R)	การหารแบบง่าย (IR / R)	NDVI	TVI	GVI
1	510660	843194	0.06560	0.04243	0.26405	0.22162	6.22346	0.72312	1.10595	0.28308
2	510506	843195	0.06560	0.03816	0.22106	0.18290	5.79313	0.70559	1.09799	0.23861
3	509654	842996	0.06308	0.03602	0.20494	0.16891	5.68889	0.70100	1.11738	0.22150
4	510027	842917	0.06056	0.03816	0.23449	0.10829	3.12470	0.51512	1.00753	0.16554
5	510527	842821	0.06308	0.03602	0.26405	0.19633	6.14521	0.72009	1.11847	0.25179
6	510525	842641	0.06308	0.03816	0.26136	0.22320	6.84938	0.74520	1.11589	0.28181
7	510156	841752	0.06056	0.03602	0.26942	0.23340	7.47904	0.76412	1.12433	0.29106
8	509774	841362	0.06056	0.03602	0.27480	0.23664	7.92657	0.77595	1.12958	0.30864
9	509452	841318	0.05552	0.03389	0.26405	0.23016	7.79159	0.77251	1.12806	0.28494
10	509775	840845	0.06056	0.03602	0.26136	0.22534	7.25527	0.75773	1.12149	0.28228
11	509578	839597	0.09081	0.05524	0.14045	0.08521	2.54266	0.43542	0.96719	0.14849
12	508634	840214	0.06812	0.04456	0.16194	0.11738	3.63405	0.56841	1.03364	0.17132
13	508276	840620	0.06560	0.04243	0.23181	0.18938	5.46349	0.69057	1.09113	0.24793
14	507972	840469	0.06812	0.04243	0.23718	0.19475	5.59015	0.69652	1.09385	0.25452
15	506830	842292	0.06812	0.04456	0.14582	0.10126	3.27227	0.53187	1.01581	0.15375

ตารางที่ 7 (ต่อ)

แปลงที่	ตำแหน่งพิกัดแปลง		ค่าการสะท้อนแสง			ดัชนีพืชพรรณ				
	ตะวันออก	เหนือ	แบนด์ 2 (G)	แบนด์ 3 (R)	แบนด์ 4 (IR)	การลบแบบง่าย (IR – R)	การหารแบบง่าย (IR / R)	NDVI	TVI	GVI
16	507949	842349	0.06308	0.04243	0.14851	0.10608	3.50025	0.55558	1.02741	0.15641
17	508304	843948	0.07316	0.05097	0.28823	0.23727	5.56526	0.69948	1.05599	0.30685
18	508477	843666	0.10341	0.08085	0.27211	0.19126	3.36546	0.54186	1.02072	0.28131
19	507897	847248	0.06560	0.04029	0.21837	0.17808	5.41952	0.61514	1.09016	0.23449
20	508209	847137	0.06308	0.04029	0.14045	0.10016	3.48563	0.55413	1.02671	0.14882
21	507254	844641	0.06308	0.03602	0.26674	0.24257	7.40445	0.76203	1.12340	0.28886
22	507420	844873	0.06560	0.04029	0.28286	0.23071	7.01998	0.75062	1.11546	0.29453
23	505875	843466	0.06308	0.04883	0.20494	0.15610	4.19672	0.61514	1.05600	0.21433
24	506145	842344	0.06812	0.04456	0.11895	0.07439	2.66931	0.45494	0.97721	0.12446
25	510237	839917	0.06308	0.03816	0.25330	0.21514	6.63813	0.73816	1.12433	0.27302
26	511332	840408	0.06308	0.03816	0.26405	0.23664	7.20146	0.75614	1.13121	0.29646
27	511067	840038	0.06308	0.03389	0.26942	0.23553	7.95016	0.77654	1.12984	0.29299
28	511340	841521	0.06812	0.04029	0.25062	0.21032	6.21975	0.69057	1.09113	0.27036
29	511233	840967	0.06812	0.04243	0.22643	0.18400	5.33683	0.68439	1.08830	0.24281
30	511183	841667	0.07064	0.04670	0.18344	0.13674	3.92825	0.59418	1.04603	0.19429

2. การวิเคราะห์หาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

2.1 การวิเคราะห์หาค่าผลผลิตมวลชีวภาพ ดัชนีพื้นที่ใบ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินจากข้อมูลภาคสนาม

ผลการเก็บข้อมูลภาคสนามเพื่อหาค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน พบว่าในการศึกษาครั้งนี้ได้วางแผนตัวอย่างจำนวน 30 แปลงกระจายทั่วพื้นที่ป่าชายเลน ครอบคลุมพื้นที่ 108,000 ตารางเมตร หรือคิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 0.275 ของพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด (ภาพที่ 15) เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากแปลงตัวอย่างภาคสนามนำมาคำนวณหาค่าผลผลิตมวลชีวภาพและค่าดัชนีพื้นที่ใบจากสมการแอลโลเมตรีที่มีผู้ทำการศึกษาไว้ แล้วทำการเฉลี่ยให้ข้อมูลอยู่ในรูปของแปลงตัวอย่างขนาด 30 x 30 เมตร ซึ่งมีพื้นที่ 900 ตารางเมตร จะได้ข้อมูล (ตารางที่ 8) ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 8 ข้อมูลความสูงเฉลี่ย เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ผลผลิตมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และดัชนีพื้นที่ใบที่คำนวณได้จากสมการแอลโลเมตรีตามตำแหน่งแปลงตัวอย่าง

:ขนาดแปลง 900 ตร.ม.

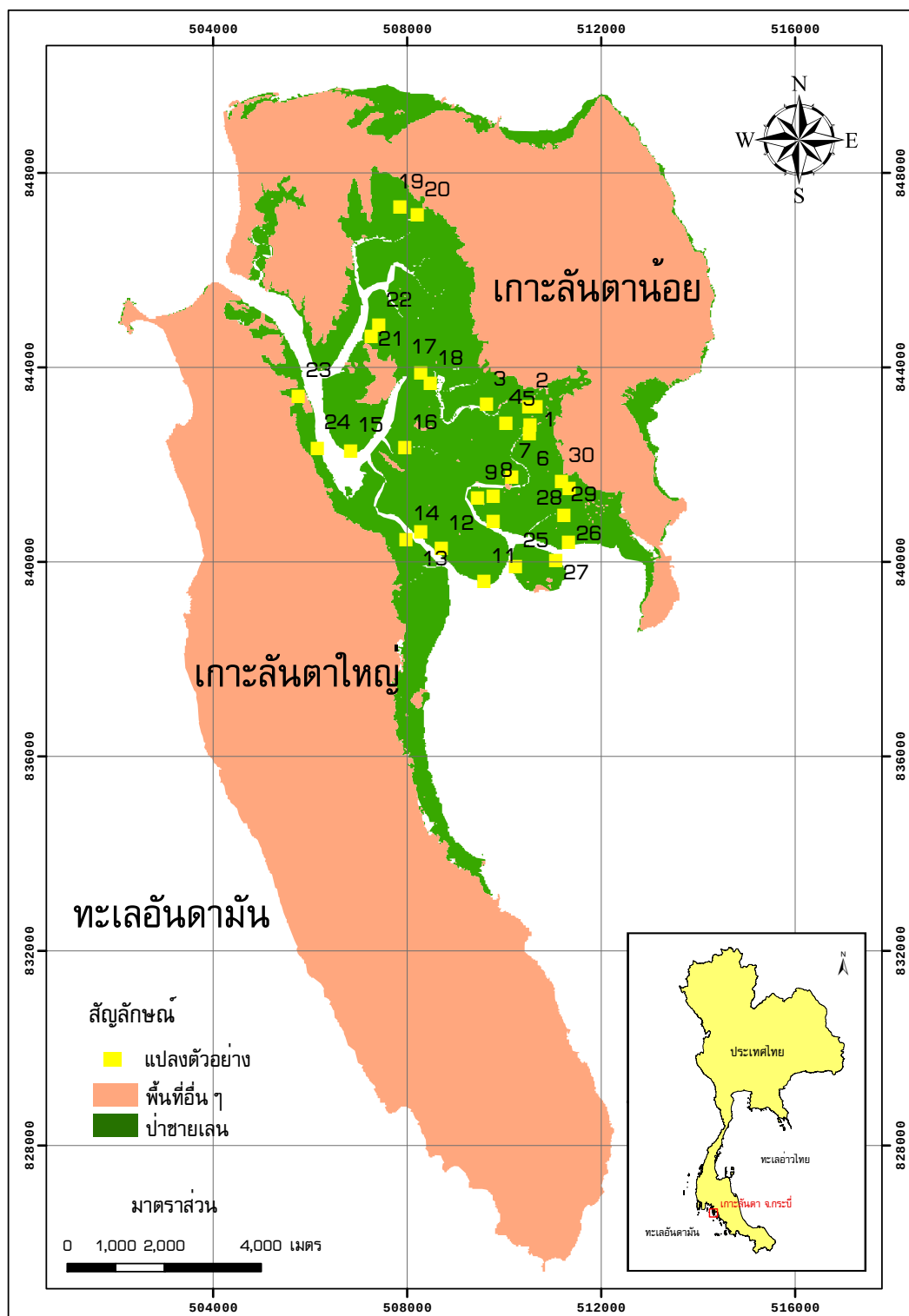
แปลง ที่	ความสูง เฉลี่ย (ม.)	DBH. เฉลี่ย (ซม.)	ดัชนี พื้นที่ใบ	มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (กิโลกรัม)				
				ลำต้น	กิ่ง	ใบ	รากฝอย	ทั้งหมด
1	9.7800	7.6515	4.35	4,796.31	1,824.02	821.85	952.36	8,394.52
2	7.8349	7.2034	4.49	3,809.32	1,535.69	812.98	868.72	7,026.70
3	5.5796	7.1187	2.25	1,350.86	306.80	236.62	148.08	2,042.35
4	6.8182	7.3208	4.16	3,176.40	1,079.55	640.94	592.36	5,489.26
5	10.0395	9.7220	4.69	5,393.64	2,419.54	1,338.86	750.14	9,902.18
6	8.4412	9.8960	4.98	5,016.80	2,213.64	1,397.26	568.39	9,196.09
7	10.6742	8.5883	5.35	7,186.60	2,619.87	1,012.00	1,252.08	12,070.54
8	13.6806	10.1807	8.13	7,944.23	3,331.29	1,286.96	1,730.64	14,293.12
9	8.9375	9.0843	6.47	7,306.70	3,172.43	1,393.86	1,592.79	13,465.79
10	7.9588	8.7524	4.21	5,566.88	2,115.47	817.18	906.52	9,406.06
11	3.6117	7.2704	1.22	455.11	186.22	164.58	165.72	971.63
12	5.0000	7.1482	0.99	507.95	10.30	64.31	-	582.55
13	8.0088	7.7863	4.24	3,176.04	1,300.08	694.25	751.23	5,921.60

ตารางที่ 8 (ต่อ)

:ขนาดแปลง 900 ตร.ม.

แปลง ที่	ความสูง เฉลี่ย (ม.)	DBH. เฉลี่ย (ซม.)	ดัชนีพื้นที่ ที่ใบ	มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (กิโลกรัม)				
				ลำต้น	กิ่ง	ใบ	รากค้ำยัน	ทั้งหมด
14	5.9850	7.4099	3.12	3,289.27	539.08	516.63	294.12	4,639.11
15	5.4359	6.6961	3.13	1,343.29	513.79	385.18	401.61	2,643.87
16	4.8261	7.6947	2.32	1,167.26	27.71	176.99	-	1,371.96
17	5.2135	8.0213	3.01	1,620.96	342.33	251.41	139.40	2,354.11
18	4.7059	7.8491	2.99	1,915.22	112.35	232.84	-	2,260.41
19	6.8527	6.9195	2.91	3,927.68	596.34	521.97	255.98	5,301.98
20	6.5777	6.4220	3.53	4,892.01	105.46	548.78	20.22	5,566.48
21	8.7991	8.9007	5.15	7,528.44	2,552.55	1,230.91	1,361.79	12,673.69
22	8.8340	8.8606	5.40	7,840.97	2,720.97	1,321.55	1,496.58	13,380.07
23	8.0088	7.7863	4.24	3,176.04	1,300.08	694.25	751.23	5,921.60
24	5.4359	6.6961	3.13	1,343.29	513.79	385.18	401.61	2,643.87
25	10.0395	9.7220	4.69	5,393.64	2,419.54	1,338.86	750.14	9,902.18
26	10.6742	8.5883	5.35	7,186.60	2,619.87	1,012.00	1,252.08	12,070.54
27	8.8718	8.8984	5.40	7,840.97	2,720.97	1,321.55	1,496.58	13,380.07
28	7.8349	7.2034	4.49	3,809.32	1,535.69	812.98	868.72	7,026.70
29	6.5777	6.4220	3.53	4,892.01	105.46	548.78	20.22	5,566.48
30	6.8452	7.3499	4.16	3,176.40	1,079.55	640.94	592.36	5,489.26

การสุ่มตัวอย่างพันธุ์ไม้เด่นในพื้นที่เพื่อเป็นตัวแทนในการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การสะสมคาร์บอน โดยการพิจารณาจากค่าความเด่นของพันธุ์ไม้แต่ละชนิด (Dominance) (ตารางที่ 9) แล้วทำการสุ่มเลือกพันธุ์ไม้ที่มีค่าความเด่น 3 อันดับแรกได้แก่ โกงกางใบเล็ก, โปรงแดง และ ถั่วขาว แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอน ด้วยวิธี Dry Combustion ในห้องปฏิบัติการ พบว่า ได้ความเข้มข้นของคาร์บอนโดยน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของลำต้นมากที่สุดเท่ากับ 48.57 รองลงมาได้แก่ ราก ใบ และกิ่ง มีค่า 48.12, 47.63 และ 45.64 ตามลำดับ (ตารางที่ 10) ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าว สอดคล้องกับการศึกษาของชลิตา และลดาวัลย์ (2550) ซึ่งศึกษาปริมาณคาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ในไม้โกงกางใบเล็ก ในบริเวณสวนป่าชายเลน อำเภอบางพลี จังหวัด นครศรีธรรมราช โดยใช้วิธีการหาคาร์บอนด้วยวิธี dry combustion เหมือนกัน



ภาพที่ 15 ตำแหน่งที่ตั้งของแปลงตัวอย่าง

พบว่าคาร์บอนสะสมมีมากที่สุดพบมากในลำต้น ร้อยละ 46.51 รองลงมาได้แก่ รากค้ำยัน กิ่งและใบ มีการสะสมร้อยละ 45.67, 44.41 และ 42.67 ตามลำดับ และการศึกษาในครั้งนี้ พบว่ามีปริมาณคาร์บอนที่ได้มีค่าสูงกว่าปริมาณคาร์บอนที่รายงานโดย ฐานันท์ (2545) ซึ่งศึกษาในไม้โกงกางใบเล็ก ถั่วขาว และโปรงแดง พบว่ามีปริมาณคาร์บอนในลำต้นเท่ากับร้อยละ 44, 44 และ 46 ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนที่พบในกิ่งเท่ากับร้อยละ 40, 44 และ 45 ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนที่พบในใบเท่ากับร้อยละ 39, 40 และ 45 ตามลำดับ ส่วนคาร์บอนในรากค้ำยันของโกงกางเท่ากับร้อยละ 35 เนื่องมาจากการศึกษาของ ฐานันท์ (2545) ใช้การประเมินคาร์บอนจากการตรวจวัดศักยภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นเทคนิคที่แตกต่างกับการศึกษาในครั้งนี้ จึงทำให้ปริมาณคาร์บอนที่ได้มีค่าน้อยกว่าการตรวจวัดโดยตรงในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 9 ค่าความเด่นของพันธุ์ไม้แต่ละชนิด (Dominance) ที่สำรวจพบในพื้นที่ศึกษา

ลำดับ	ชนิด	ค่าความเด่น
1	โกงกางใบเล็ก (<i>Rhizophora apiculata</i>)	0.001584
2	โปรงแดง (<i>Ceriops tagal</i>)	0.000323
3	ถั่วขาว (<i>Bruguiera cylindrical</i>)	0.000174
4	แสมขาว (<i>Avicennia alba</i>)	0.000158
5	ตะบูนดำ (<i>Xylocarpus moluccensis</i>)	0.000100
6	โกงกางใบใหญ่ (<i>Rhizophora mucronata</i>)	0.000056
7	ตะบูนขาว (<i>Xylocarpus granatum</i>)	0.000053
8	แสมดำ (<i>Avicennia officinalis</i>)	0.000005
9	ถั่วดำ (<i>Bruguiera parviflora</i>)	0.000002
รวม		0.002455

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละความเข้มข้นคาร์บอนโดยน้ำหนักแห้ง ของพันธุ์ไม้เด่น
ในพื้นที่ศึกษา

: ร้อยละ

ลำดับ	ชนิด	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	ราก	เฉลี่ย
1	โกกงางใบเล็ก	48.68	47.58	45.96	48.12	47.58
2	ถั่วขาว	48.91	48.21	46.56	-	47.89
3	โปรงแดง	48.34	47.40	44.88	-	46.87
เฉลี่ย (ร้อยละ)		48.64	47.73	45.80	48.12	

จากนั้นทำการหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในแปลงตัวอย่างโดยใช้วิธีการนำค่าผลผลิตมวลชีวภาพที่ได้จากสมการแอลโลเมตรี (ตารางที่ 8) มาคูณกับร้อยละความเข้มข้นคาร์บอนโดยน้ำหนักแห้ง ที่ได้ในแต่ละส่วน (ตารางที่ 10) จะได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในรูปของน้ำหนักแห้งต่อหน่วยพื้นที่ ดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่คำนวณได้จากผลผลิตมวลชีวภาพกับ
ค่าเฉลี่ยร้อยละของความเข้มข้นคาร์บอนโดยน้ำหนักแห้งที่ได้ในแต่ละส่วนตาม
ตำแหน่งพิกัดของแปลงตัวอย่าง

: ขนาดแปลง 900 ตร.ม.

แปลง ที่	ตำแหน่งพิกัดการวาง แปลงระบบ UTM		ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน (กิโลกรัม)				
	ตะวันออก	เหนือ	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	ราก	ทั้งหมด
1	510660	843194	2,558.03	952.54	410.92	507.92	4,429.42
2	510506	843195	2,031.64	801.97	406.49	463.32	3,703.41
3	509654	842996	720.46	160.22	118.31	78.97	1,077.96
4	510027	842917	1,694.08	563.77	320.47	315.93	2,894.25
5	510527	842821	2,876.61	1,263.54	669.43	400.08	5,209.65
6	510525	842641	2,675.63	1,156.01	698.63	303.14	4,833.41
7	510156	841752	3,832.85	1,368.15	506.00	667.78	6,374.78
8	509774	841362	4,236.92	1,739.67	643.48	923.01	7,543.08

ตารางที่ 11 (ต่อ)

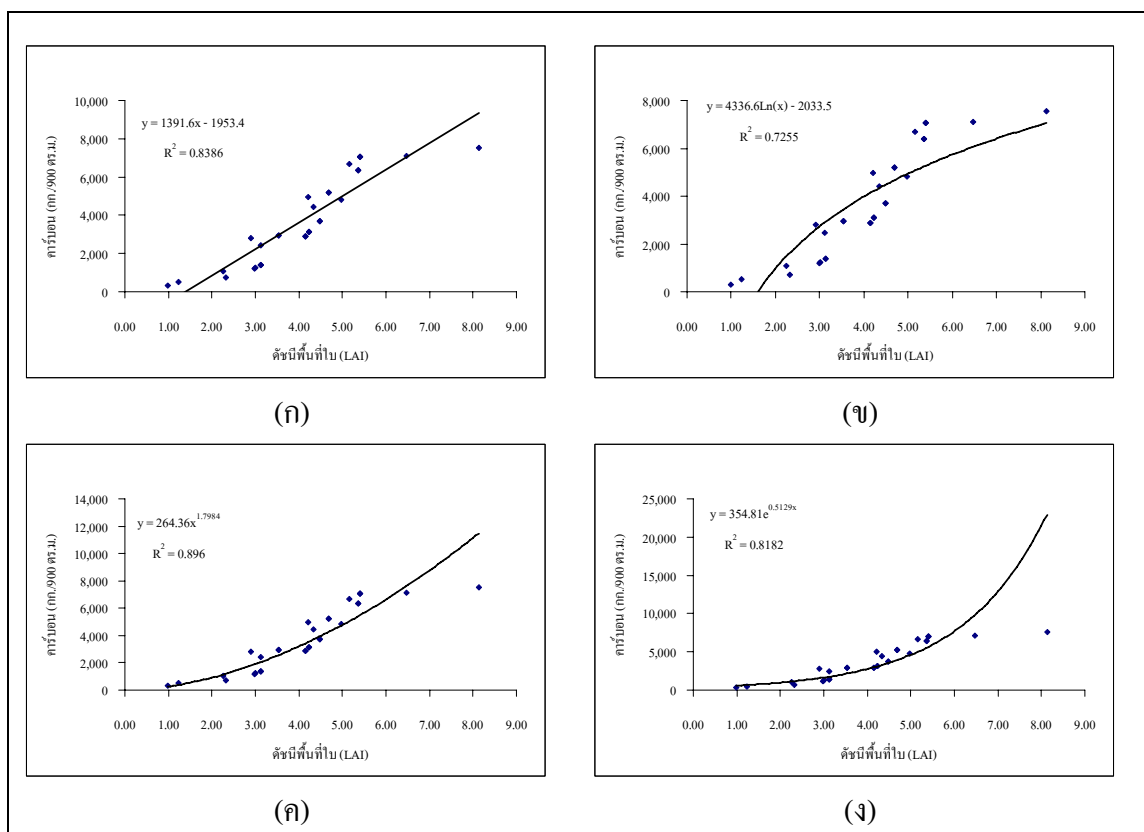
:ขนาดแปลง 900 ตร.ม.

แปลงที่	ตำแหน่งพิกัดการวาง แปลงระบบ UTM		ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (กิโลกรัม)				
	ตะวันออก	เหนือ	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	ราก	ทั้งหมด
9	509452	841318	3,896.91	1,656.71	696.93	849.49	7,100.04
10	509775	840845	2,969.00	1,104.75	408.59	483.48	4,965.82
11	509578	839597	242.73	97.25	82.29	88.38	510.65
12	508634	840214	270.91	5.38	32.15	-	308.44
13	508276	840620	1,693.89	678.93	347.12	400.66	3,120.60
14	507972	840469	1,754.28	281.52	258.32	156.86	2,450.98
15	506830	842292	716.42	268.31	192.59	214.19	1,391.52
16	507949	842349	622.54	14.47	88.49	-	725.50
17	508304	843948	864.51	178.77	125.71	74.35	1,243.34
18	508477	843666	1,021.45	58.67	116.42	-	1,196.54
19	507897	847248	2,094.76	311.42	260.99	136.52	2,803.70
20	508209	847137	2,609.07	55.08	274.39	10.78	2,949.32
21	507254	844641	4,015.17	1,333.00	615.46	726.29	6,689.91
22	507420	844873	4,181.85	1,420.95	660.77	798.18	7,061.75
23	505875	843466	1,693.89	678.93	347.12	400.66	3,120.60
24	506145	842344	716.42	268.31	192.59	214.19	1,391.52
25	510237	839917	2,876.61	1,263.54	669.43	400.08	5,209.65
26	511332	840408	3,832.85	1,368.15	506.00	667.78	6,374.78
27	511067	840038	4,181.85	1,420.95	660.77	798.18	7,061.75
28	511340	841521	2,031.64	801.97	406.49	463.32	3,703.41
29	511233	840967	2,609.07	55.08	274.39	10.78	2,949.32
30	511183	841667	1,694.08	563.77	320.47	315.93	2,894.25

2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินจากการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ ในพื้นที่ศึกษา

2.2.1 การหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินจากการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ ที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม

เมื่อนำค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่คำนวณได้จากตารางที่ 11 มาหาความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพื้นที่ใบที่คำนวณได้จากตารางที่ 7 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) โดยกำหนดให้ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินเป็นตัวแปรตาม และค่าดัชนีพื้นที่ใบเป็นตัวแปรอิสระ จากการพล็อตกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์ว่ามีความสัมพันธ์กัน ในรูปแบบใด ได้ผลดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 Scatter Plot และสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน กับค่าดัชนีพื้นที่ใบ ในรูปแบบ (ก) ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (ข) ความสัมพันธ์แบบลอการิทึม (ค) ความสัมพันธ์แบบยกกำลัง (ง) ความสัมพันธ์แบบเอ็กโปเนนเชียล

จากผลการวิเคราะห์การถดถอย (ภาพผนวกที่ 2) แสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน กับค่าดัชนีพื้นที่ใบ เป็นไปในทิศทางที่เป็นบวก หมายความว่า เมื่อค่าดัชนีพื้นที่ใบ (ตัวแปรอิสระ) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (ตัวแปรตาม) จะเพิ่มตามด้วย

ดังนั้นเมื่อทราบความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน กับค่าดัชนีพื้นที่ใบแล้วได้ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย เพื่อศึกษาความสัมพันธ์รูปแบบอื่นๆ ที่เหมาะสมนอกเหนือจากรูปแบบความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ซึ่งได้แก่ ความสัมพันธ์แบบลอการิทึม ความสัมพันธ์แบบยกกำลัง ความสัมพันธ์แบบเอ็กโพเนนเชียล ซึ่งแสดงเป็น Scatter Plot และ สมการแสดงความสัมพันธ์ ดังภาพที่ 16 (ข) (ค) และ (ง) ตามลำดับ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้พิจารณาเลือกสมการจากค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) คือ ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามได้มากที่สุด (ภาพที่ 16) พบว่า รูปแบบความสัมพันธ์แบบยกกำลังให้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มากที่สุด เท่ากับ 0.896 ซึ่งหมายความว่า ตัวแปรอิสระ คือ ค่าดัชนีพื้นที่ใบ สามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม คือ ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินได้ร้อยละ 89.60 และเพื่อให้ง่ายต่อการเขียนรูปสมการเพื่อใช้ในการประมาณค่าจึงกำหนดให้ ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน แทนด้วยสัญลักษณ์ CS จึงได้รูปแบบสมการดังต่อไปนี้

$$CS = 264.36 (x)^{1.7984} \quad (R^2 = 0.8960) \quad \text{—————} \quad \textcircled{3}$$

เมื่อ x คือ ค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI)

CS คือ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

นำค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน และค่าดัชนีพื้นที่ใบ มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ที่ได้ โดยการตั้งสมมติฐานอย่างง่ายจากตัวทดสอบสถิติแบบ F ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังต่อไปนี้

$H_0 : \beta_1 = 0$ คือ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน (y) ไม่มีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบ (x) ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

$H_1 : \beta_1 \neq 0$ คือ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (y) มีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบ (x) ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

ผลการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยตัวทดสอบสถิติแบบ F ได้ผลดังตารางที่ 12 โดยให้ค่าตัวทดสอบสถิติ $F = 145.48$ หมายความว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($\alpha = 0.05$) มีช่วงวิกฤติ $CR : F \geq F_{0.05} (1, 28) = 4.20$ ซึ่งค่า F จากการทดสอบมีค่าทางสถิติมากกว่าค่าในช่วงวิกฤติ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และยอมรับสมมติฐาน H_1 หมายความว่า ค่าดัชนีพื้นที่ใบ (x) สามารถอธิบายความผันแปรของค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน (y) ได้

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน และค่าดัชนีพื้นที่ใบ

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F
Regression	122413215.738	1	122413215.738	145.482
Residual	23560142.173	28	841433.649	
Total	145973357.911	29		

หมายเหตุ : $F_{0.05} (1, 28) = 4.20$

2.2.2 การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM

เมื่อนำค่าดัชนีพื้นที่ใบที่คำนวณได้จากตารางที่ 11 มาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลดาวเทียมที่ได้จากตารางที่ 7 ในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ แบนด์ 2 (G), 3 (R) และ 4 (IR) และหาดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R (Simple Substraction), การหารแบบง่าย : IR/R (Simple Ratio), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), TVI (Transformed Vegetation Index) และ GVI (Green Vegetation Index) วิเคราะห์

สหสัมพันธ์ของ Pearson เพื่อดูความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ รวมทั้งดูความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยกัน เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกตัวแปรอิสระที่เหมาะสมในการสร้างสมการ (ตารางผนวกที่ 2) พบว่าดัชนีพื้นที่ใบมีความสัมพันธ์กับค่า IR/R มากที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ Pearson มากที่สุด เท่ากับ 0.756 รองลงมาได้แก่ ค่า NDVI, TVI, IR-R, GVI, NIR, G และ R ซึ่งที่ค่าเท่ากับ 0.707, 0.676, 0.670, 0.649, 0.646, -0.465 และ -0.493 ตามลำดับ

จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ Pearson พบว่า ตัวแปรอิสระทุกตัวได้แก่ ค่า IR/R, NDVI, TVI, IR-R, GVI, IR, G และ R มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามทั้งหมด จึงนำตัวแปรอิสระทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมในการสร้างสมการ โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (stepwise multiple regression analysis) เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการความสัมพันธ์ ผลการวิเคราะห์ (ภาพผนวกที่ 3) พบว่า มีตัวแปรอิสระ คือ IR/R เพียงตัวแปรเดียวที่ถูกคัดเลือกเข้าสู่สมการความสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีรูปแบบสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$LAI = 0.496 + 0.651(IR/R) \quad (R^2 = 0.572) \quad \text{—————} \quad \textcircled{4}$$

เมื่อ LAI = ดัชนีพื้นที่ใบ

นำค่าดัชนีพื้นที่ใบ และค่าการหารแบบง่าย (IR/R) มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ที่ได้ โดยการตั้งสมมติฐานอย่างง่ายจากตัวทดสอบสถิติแบบ F ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังต่อไปนี้

$H_0: \beta_1 = 0$ คือ ค่าดัชนีพื้นที่ใบ (y) ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าการหารแบบง่าย (x) ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

$H_1: \beta_1 \neq 0$ คือ ค่าดัชนีพื้นที่ใบ (y) มีความสัมพันธ์กับค่าการหารแบบง่าย (x) ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

ผลการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยตัวทดสอบสถิติแบบ F ได้ผลดังตารางที่ 13 โดยให้ค่าตัวทดสอบสถิติ $F = 37.46$ หมายความว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($\alpha = 0.05$) มีช่วงวิกฤติ $CR : F \geq F_{0.05}(1, 28) = 4.20$ ซึ่งค่า F จากการทดสอบมีค่าทางสถิติมากกว่าค่าในช่วงวิกฤติ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และยอมรับสมมติฐาน H_1 หมายความว่า ค่าการหารแบบง่าย (x) สามารถอธิบายความผันแปรของค่าดัชนีพื้นที่ใบ (y) ได้

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ใบ กับค่าการหารแบบง่าย (IR/R)

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F
Regression	36.174	1	36.174	37.462
Residual	27.038	28	.966	
Total	63.212	29		

หมายเหตุ : $F_{0.05}(1, 28) = 4.20$

2.2.3 การหาค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน จากการแทนค่าดัชนีพื้นที่ใบ ที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5TM (สมการที่ 4) ลงในสมการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน (สมการที่ 3)

นำค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากสมการประมาณโดยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM (สมการที่ 4) ไปแทนลงในสมการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอน (สมการที่ 3) คำนวณเฉพาะพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมดในบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีเนื้อที่เท่ากับ 36.85 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 23,028.45 ไร่ ได้ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินคิดเฉพาะพื้นที่ป่าชายเลนประมาณ 9.24 ล้านคาร์บอนต่อไร่ หรือ ประมาณ 57.72 ล้านคาร์บอนต่อเฮกแตร์

2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินจากการประมาณค่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM

เมื่อนำค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่คำนวณได้จากตารางที่ 11 มาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลดาวเทียมที่ได้จากตารางที่ 7 ในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่

แบนด์ 2 (G), 3 (R) และ 4 (IR) และดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R (Simple Substraction), การหารแบบง่าย : IR/R (Simple Ratio), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), TVI (Transformed Vegetation Index) และ GVI (Green Vegetation Index) แล้ววิเคราะห์สหสัมพันธ์ของ Pearson เพื่อดูความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ รวมทั้งดูความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยกัน (ตารางผนวกที่ 3) เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกตัวแปรอิสระที่เหมาะสมในการสร้างสมการ พบว่าค่า IR/R มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ Pearson มากที่สุด เท่ากับ 0.866 รองลงมาได้แก่ ค่า NDVI, TVI, IR-R, GVI, IR, G และ R ซึ่งที่ค่าเท่ากับ 0.796, 0.789, 0.748, 0.708, 0.689, -0.520 และ -0.562 ตามลำดับ จึงนำตัวแปรอิสระทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมในการสร้างสมการ โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (Setpwise Multiple Regression Analysis) เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการความสัมพันธ์ (ภาพผนวกที่ 4) ผลการวิเคราะห์พบว่า มีตัวแปรอิสระเพียงสองตัวคือ ค่า IR/R และค่า NDVI ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการและให้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด ดังนี้

$$CS = 3,400.161 + 2,112.693(IR/R) - 17,023.629 (NDVI) \quad (R^2 = 0.783) \quad \text{—————} \quad 5$$

เมื่อ CS = ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

นำสมการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับ ค่า IR/R และค่า NDVI มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ที่ได้ โดยการตั้งสมมติฐานอย่างง่ายจากตัวทดสอบสถิติแบบ F ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ดังต่อไปนี้

$H_0 : \beta_1 = 0$ คือ ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน (y) ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า IR/R และค่า NDVI ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

$H_1 : \beta_1 \neq 0$ คือ ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน (y) มีความสัมพันธ์กับค่า IR/R และค่า NDVI ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

ผลการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยตัวทดสอบสถิติแบบ F ได้ผลดังตารางที่ 14 โดยให้ค่าตัวทดสอบสถิติ $F = 48.83$ หมายความว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) มีช่วงวิกฤติ $CR : F \geq F_{0.05}(2, 27) = 3.35$ ซึ่งค่า F จากการทดสอบมีค่าทางสถิติมากกว่าค่าในช่วงวิกฤติ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และยอมรับสมมติฐาน H_1 หมายความว่า ค่า IR/R และค่า NDVI สามารถอธิบายความผันแปรของค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (y) ได้

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน กับค่า IR/R และค่า NDVI

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F
Regression	114357110.673	2	57178555.336	48.830
Residual	31616247.238	27	1170972.120	
Total	145973357.911	29		

หมายเหตุ : $F_{0.05}(2, 27) = 3.35$

เมื่อนำสมการที่ดีที่สุดมาคำนวณหาค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM โดยใช้ค่า IR/R และค่า NDVI ที่เป็นตัวแปรอิสระ คิดเฉพาะพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีเนื้อที่เท่ากับ 36.85 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 23,028.45 ไร่ ได้ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินคิดเฉพาะพื้นที่ป่าชายเลนประมาณ 11.38 ดันคาร์บอนต่อไร่ หรือ ประมาณ 71.10 ดันคาร์บอนต่อเฮกแตร์

2.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ได้จากการประมาณค่าจากดัชนีพื้นที่ใบ และการประมาณค่าจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM ในพื้นที่ศึกษา

เมื่อนำสมการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน ที่ได้จากค่าของดัชนีพื้นที่ใบ (สมการที่ 3) และค่าจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM (สมการที่ 5) มา

คำนวณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในตำแหน่งเดียวกัน โดยเลือกตำแหน่งเดียวกับที่มีการเก็บข้อมูลภาคสนามมาใช้ในการทดสอบจำนวน 30 จุด (ตารางที่ 15) โดยรูปแบบฟังก์ชันสมการที่นำมาทำการทดสอบดังนี้

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

$$\text{ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน} = f(\text{ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM})$$

นำข้อมูลจากสมการประมาณค่าทั้งสองมาทำการตรวจสอบว่าข้อมูลทั้งสองมีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ t – test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยกำหนดสมมติฐานว่า

$H_0 : \mu_{\text{ดัชนีพื้นที่ใบ}} - \mu_{\text{ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM}} = 0$ คือ ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบ และค่าที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM ไม่มีความแตกต่างกัน

$H_1 : \mu_{\text{ดัชนีพื้นที่ใบ}} - \mu_{\text{ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM}} \neq 0$ คือ ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบ และค่าที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM แตกต่างกัน

จากผลการทดสอบโดยใช้วิธีการทดสอบแบบ t – test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) (ดังภาพผนวกที่ 5) ให้ค่าตัวทดสอบสถิติ $t = -0.523$ และค่า P-value = 0.605 โดยมีช่วงวิกฤติ $CR : t \geq F_{(0.025, 29)} = 2.045$ ซึ่งค่าทดสอบสถิติมีค่าน้อยกว่าช่วงวิกฤติ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และยอมรับสมมติฐาน H_1 จึงสรุปได้ว่า สมการการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ได้ดัชนีพื้นที่ใบ และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM เมื่อใช้ประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินแล้วให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

หลังจากนั้นทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ได้จากดัชนีพื้นที่ใบ และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5TM ดังกล่าว กับค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ได้จากข้อมูลภาคสนามในพื้นที่ศึกษา เพื่อเลือก

สมการใดสมการหนึ่งมาใช้ในการประมาณค่าในพื้นที่ศึกษาโดยเปรียบเทียบจากเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าที่ได้จากสมการทั้ง 2 กับค่าที่ได้จากภาพสนามจริง (ตารางที่ 15) พบว่าค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 1.61 ซึ่งมีย่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากดัชนีพื้นที่ใบซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 5.03 ซึ่งแปลความหมายได้ว่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM มีค่าความถูกต้องใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากภาคสนามมากกว่าที่ได้จากดัชนีพื้นที่ใบ ดังนั้นจึงเลือกใช้สมการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM ในการประมาณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินในพื้นที่ศึกษาซึ่งรูปแบบสมการแสดงได้ดังนี้

$$CS = 3,400.161 + 2,112.693(IR/R) - 17,023.629 (NDVI) \quad (R^2 = 0.783)$$

เมื่อ CS = ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

ตารางที่ 15 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากดัชนีพื้นที่ใบ และจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM ในตำแหน่งพิกัดเดียวกัน

: ขนาดแปลง 900 ตร.ม.

แปลงที่	ตำแหน่งพิกัดแปลง ระบบ UTM		การกักเก็บคาร์บอน ที่อยู่เหนือพื้นดิน (กิโลกรัม)		เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)		
	ตะวันออก	เหนือ	ข้อมูลจาก ภาคสนาม	ค่าประมาณ จาก ดัชนีพื้นที่ใบ	ค่าประมาณดาวเทียม Landsat 5 TM	ค่าประมาณดัชนีพื้นที่ใบ กับข้อมูลภาคสนาม	ค่าประมาณจากข้อมูล ดาวเทียม Landsat 5 TM กับข้อมูลภาคสนาม
1	510660	843194	4,429.42	4,285.46	4,238.23	3.25	4.32
2	510506	843195	3,703.41	3,552.31	3,627.67	4.08	2.05
3	509654	842996	1,077.96	1,426.51	1,468.42	-32.33	-36.22
4	510027	842917	2,894.25	3,905.06	4,124.54	-34.92	-42.51
5	510527	842821	5,209.65	5,199.37	5,949.66	0.20	-14.20
6	510525	842641	4,833.41	5,154.64	5,184.75	-6.65	-7.27
7	510156	841752	6,374.78	5,373.93	6,192.92	15.70	2.85
8	509774	841362	7,543.08	5,912.88	6,937.11	21.61	8.03
9	509452	841318	7,100.04	6,747.91	6,710.49	4.96	5.49
10	509775	840845	4,965.82	5,113.06	5,829.01	-2.97	-17.38
11	509578	839597	510.65	898.66	600.19	-75.98	-17.53

ตารางที่ 15 (ต่อ)

: ขนาดแปลง 900 ตร.ม.

แปลงที่	ตำแหน่งพิกัดแปลง		การกักเก็บคาร์บอน		เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)		
	ระบบ UTM		ที่อยู่เหนือพื้นดิน (กิโลกรัม)				
	ตะวันออก	เหนือ	ข้อมูลจาก ภาคสนาม	ค่าประมาณ จาก ดัชนีพื้นที่ใบ	ค่าประมาณดาวเทียม Landsat 5 TM	ค่าประมาณดัชนีพื้นที่ใบ กับข้อมูลภาคสนาม	ค่าประมาณจากข้อมูล ดาวเทียม Landsat 5 TM กับข้อมูลภาคสนาม
12	508634	840214	308.44	563.69	517.65	-82.76	-67.83
13	508276	840620	3,120.60	3,235.56	3,186.85	-3.68	-2.12
14	507972	840469	2,450.98	3,355.71	3,353.21	-36.91	-36.81
15	506830	842292	1,391.52	1,473.19	1,259.20	-5.87	9.51
16	507949	842349	725.50	778.51	701.50	-7.31	3.31
17	508304	843948	1,243.34	1,464.75	1,397.12	-17.81	-12.37
18	508477	843666	1,196.54	1,760.83	1,285.96	-47.16	-7.47
19	507897	847248	2,803.70	3,194.30	3,130.04	-13.93	-11.64
20	508209	847137	2,949.32	1,617.78	1,330.91	45.15	54.87
21	507254	844641	6,689.91	6,286.33	6,070.97	6.03	9.25
22	507420	844873	7,061.75	5,844.99	5,452.92	17.23	22.78

ตารางที่ 15 (ต่อ)

: ขนาดแปลง 900 ตร.ม.

แปลงที่	ตำแหน่งพิกัดแปลง		การกักเก็บคาร์บอน			เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)	
	ระบบ UTM		ที่อยู่เหนือพื้นดิน (กิโลกรัม)				
	ตะวันออก	เหนือ	ข้อมูลจาก ภาคสนาม	ค่าประมาณ จาก ดัชนีพื้นที่ใบ	ค่าประมาณดาวเทียม Landsat 5 TM	ค่าประมาณดัชนีพื้นที่ใบ กับข้อมูลภาคสนาม	ค่าประมาณจากข้อมูล ดาวเทียม Landsat 5 TM กับข้อมูลภาคสนาม
23	505875	843466	3,120.60	2,142.48	1,794.60	31.34	42.49
24	506145	842344	1,391.52	1,097.46	1,294.90	21.13	6.94
25	510237	839917	5,209.65	4,423.64	4,858.41	15.09	6.74
26	511332	840408	6,374.78	5,732.80	5,294.96	10.07	16.94
27	511067	840038	7,061.75	6,941.92	6,976.90	1.70	1.20
28	511340	841521	3,703.41	3,981.63	4,232.82	-7.51	-14.30
29	511233	840967	2,949.32	3,117.35	3,024.55	-5.70	-2.55
30	511183	841667	2,894.25	1,936.71	1,584.32	33.08	45.26
เฉลี่ย			3,709.64	3,550.65	3,587.03	-5.03	-1.61

2.5 การประเมินหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลนบริเวณพื้นที่ศึกษา

เมื่อนำสมการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM โดยใช้ค่า IR/R และค่า NDVI ที่เป็นตัวแปรอิสระมาคำนวณหาค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินโดยคิดเฉพาะพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีเนื้อที่เท่ากับ 36.85 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 23,028.45 ไร่ ได้ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือประมาณ 11.38 ดันคาร์บอนต่อไร่ หรือ ประมาณ 71.10 ดันคาร์บอนต่อเฮกเตอร์ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินทั้งหมดของป่าชายเลนมีค่าเท่ากับ 262,006,997.60 กิโลกรัมคาร์บอน หรือ ประมาณ 262,006.99 ดันคาร์บอน

จากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ป่าชายเลนในบริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ มีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินเท่ากับ 71.10 ดันคาร์บอนต่อเฮกเตอร์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ ชลิตา และลดาวัลย์ (2550) ที่ศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าชายเลนที่อายุ 4, 10, 14, 20 และ 25 ปี จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งมีการสะสมคาร์บอนเท่ากับ 65.58, 66.35, 79.78, 121.72 และ 68.51 ดันคาร์บอนต่อเฮกเตอร์ ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้ว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าอายุ 25 ปี อาจเนื่องมาจากป่าชายเลนบริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ เป็นป่าชายเลนธรรมชาติที่มีการรบกวนจากมนุษย์น้อยมาก และป่ามีอายุที่ค่อนข้างมากทำให้ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนดังกล่าวจึงใกล้เคียงกับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าชายเลนที่มีอายุ 25 ปีของจังหวัดนครศรีธรรมราช

เมื่อนำผลการศึกษาที่ได้มาพิจารณากับระบบนิเวศป่าไม้อื่นๆ พบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้มีค่าต่ำกว่าในป่าดิบชื้น (70.29 ดันคาร์บอนต่อเฮกเตอร์) แต่มีค่าใกล้เคียงกับป่าดิบแล้ง (70.29 ดันคาร์บอนต่อเฮกเตอร์) และมีค่ามากกว่าป่าเบญจพรรณ (48.14 ดันคาร์บอนต่อเฮกเตอร์) ที่ศึกษาโดยจิรนนท์ และนันทนา (2545) ทั้งนี้เนื่องมาจากป่าดิบชื้นมีขนาดของลำต้น เรือนยอด และมีความสูงที่ค่อนข้างมาก ทำให้มีปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพต่อหน่วยพื้นที่ที่มากกว่าพื้นที่ป่าชายเลน

เมื่อพิจารณาจากการศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อายุ 14 และ 20 ปี ของ ชลิตา และลดาวัลย์ (2550) พบว่าในชั้นอายุดังกล่าวมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมากกว่าการศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งพิจารณาแล้วพบว่า อาจมีสาเหตุมาจากการลักลอบตัดไม้ออก ทำให้มีลักษณะคล้ายคลึงกับการ

ตัดขยายระยะ ที่ทำให้ไม้ข้างเคียงมีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น และส่งเสริมให้เกิดกล้าไม้ในพื้นที่ที่ว่าง เมื่อพิจารณาการศึกษาดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณเกาะ ลันตา จังหวัดกระบี่ โดยเลือกจัดการพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของพันธุ์ไม้ที่ค่อนข้างสูง เพื่อเปิด โอกาสให้ไม้ข้างเคียงและลูกไม้พื้นล่างมีโอกาสในการเติบโตได้ดีขึ้นทำให้มีอัตราการกักเก็บ คาร์บอนมากขึ้น แต่ในการจัดการดังกล่าวควรพิจารณาผลกระทบในเรื่องของระบบนิเวศ และการ ใช้ประโยชน์ในระยะยาวด้วย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาการประมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินของป่าชายเลน บริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ โดยใช้เทคนิคการรับรู้ระยะไกล ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ใน 2 รูปแบบ ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างประมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (ตัวแปรตาม) กับค่าดัชนีพื้นที่ใบ (ตัวแปรอิสระ) และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (ตัวแปรตาม) กับค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และค่าดัชนีความเป็นพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM (ตัวแปรอิสระ) ทั้งสองรูปแบบ มาทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย เพื่อสร้างสมการที่เหมาะสมที่สุด ในการประมาณค่าประมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน บริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ สรุปผลได้ดังนี้

1. ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM บริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ บันทึกเมื่อวันที่ 27 กันยายน 2550 นำมาทำการปรับแก้ค่าความผิดพลาดเชิงเรขาคณิตด้วยสมการโพลิโนเมียล โดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน 19 จุด พบว่าสมการที่เหมาะสมในการปรับแก้ให้ค่าความผิดพลาดเชิงเรขาคณิต (RMSe : Root Mean Square Error) เท่ากับ 0.8329 และใช้วิธีการกำหนดขนาดจุดภาพใหม่แบบ Nearest Neighbor และอ้างอิงกับตำแหน่งบนพื้นผิวโลกด้วยระบบแผนที่ทางภูมิศาสตร์แบบ UTM และให้กำหนดขนาดจุดภาพใหม่เป็น 30 x 30 เมตร

2. การจำแนกการใช้ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM บริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ โดยใช้วิธีการจำแนกแบบกำกับ (Supervised Classification) เป็นวิธีหลักในการจำแนกข้อมูลภาพ และใช้วิธีการจำแนกเชิงพื้นที่ด้วยสายตาเป็นวิธีการเสริม พบว่าเมื่อจำแนกครอบคลุมพื้นที่ศึกษามีขอบเขตเป็นรูปสี่เหลี่ยมครอบคลุมพื้นที่ มีพิกัดอยู่ที่ 501453 E, 849994 N กับ 515216 E, 824844 N มีพื้นที่ประมาณ 348.67 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 217,921.10 ไร่ สามารถจำแนกได้เป็น ป่าชายเลนมีพื้นที่ 36.85 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 23,028.45 ไร่ พื้นที่แหล่งน้ำ (ทะเล) มีพื้นที่ 198.49 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 124,058.08 ไร่ และพื้นที่อื่น ๆ หมายถึงพื้นที่ที่เป็นแผ่นดิน รวมถึงแหล่งน้ำในเกาะ มีพื้นที่ 113.34 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 70,834.56 ไร่

เมื่อพิจารณาจำแนกเฉพาะพื้นที่บริเวณพื้นที่ศึกษา (เกาะลันตาน้อย และเกาะลันตาใหญ่) พบว่าสามารถจำแนกการใช้ที่ดินในบริเวณดังกล่าวได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ พื้นที่ป่าชายเลน พื้นที่แหล่งน้ำ (แหล่งน้ำในเกาะ) และแผ่นดิน (ส่วนที่เป็นเกาะ) โดยพบว่า บริเวณพื้นที่เกาะลันตาน้อย และเกาะลันตาใหญ่มีพื้นที่รวมกันประมาณ 150.18 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 93,863.01 ไร่ มีพื้นที่ที่เป็นส่วนของแผ่นดินมากที่สุดประมาณ 70,562.62 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 75.18 รองลงมา เป็นพื้นที่ป่าชายเลนประมาณ 23,028.45 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 24.53 และพื้นที่แหล่งน้ำในเกาะมีพื้นที่ประมาณ 271.94 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 0.29 ของพื้นที่ทั้งหมด

3. การวิเคราะห์หาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลน บริเวณพื้นที่ศึกษา

3.1 การประมาณหาค่าปริมาณคาร์บอนเหนือพื้นดินจากการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (ตัวแปรตาม) และ ดัชนีพื้นที่ใบ (ตัวแปรอิสระ) โดยการวิเคราะห์การถดถอย ได้สมการที่ดีที่สุดในการประมาณค่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน มีรูปแบบความสัมพันธ์ดังนี้

$$CS = 264.36 (x)^{1.7984} \quad (R^2 = 0.8960)$$

เมื่อ x คือ ค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI)

CS คือ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (ตัวแปรตาม) และค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM (ตัวแปรอิสระ) โดยวิธีการถดถอย ได้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$LAI = 0.496 + 0.651(IR/R) \quad (R^2 = 0.572)$$

เมื่อ LAI คือ ค่าดัชนีพื้นที่ใบ

เมื่อนำค่าที่ได้จากสมการประมาณดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM มาแทนค่าลงในสมการประมาณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน คิดเฉพาะพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมดของพื้นที่ศึกษา พบว่า ได้ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินคิดเฉพาะพื้นที่ป่าชายเลนประมาณ 9.24 ดันคาร์บอนต่อไร่ หรือ ประมาณ 57.72 ดันคาร์บอนต่อเฮกแตร์

3.2 การประมาณหาค่าปริมาณคาร์บอนเหนือพื้นดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน (ตัวแปรตาม) และค่าการสะท้อนช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และค่าดัชนีความเป็นพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM (ตัวแปรอิสระ) โดยวิธีการถดถอย พบว่าค่า IR/R และ ค่า NDVI เป็นตัวแปรอิสระที่ถูกคัดเลือกในการสร้างสมการและให้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดสูงที่สุด ได้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$CS = 3,400.161 + 2,112.693(IR/R) - 17,023.629 (NDVI) \quad (R^2 = 0.783)$$

เมื่อ CS คือ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

เมื่อนำสมการที่ได้มาประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินคิดเฉพาะพื้นที่ป่าชายเลนได้ประมาณ 11.38 ดันคาร์บอนต่อไร่ หรือ ประมาณ 71,109.59 ดันคาร์บอนต่อเฮกแตร์

3.3 การเปรียบเทียบค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ได้จากดัชนีพื้นที่ใบ และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยวิธีการทดสอบแบบ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ได้จากดัชนีพื้นที่ใบ และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM สามารถใช้แทนกันได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าที่ได้จากดัชนีพื้นที่ใบและข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM จากเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างกับข้อมูลปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ได้จากภาคสนามพบว่า เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยเท่ากับ 1.61 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากดัชนีพื้นที่ใบซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยเท่ากับ 5.03 จึงเลือกใช้สมการประมาณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งมีรูปแบบสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$CS = 3,400.161 + 2,112.693(IR/R) - 17,023.629 (NDVI) \quad (R^2 = 0.783)$$

เมื่อ CS คือ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

3.4 การประมาณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินของป่าชายเลน บริเวณพื้นที่ศึกษา ทั้งหมด พบว่า เมื่อนำสมการที่ได้มาประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินโดยใช้ค่า IR/R และค่า NDVI ที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM โดยคิดเฉพาะพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีเนื้อที่เท่ากับ 36.85 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 23,028.45 ไร่ ได้ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือประมาณ 11.38 ล้านคาร์บอนต่อไร่ หรือ ประมาณ 71.10 ล้านคาร์บอนต่อเฮกเตอร์ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินทั้งหมดของป่าชายเลนมีค่าเท่ากับ 262,006,997.60 กิโลกรัมคาร์บอน หรือประมาณ 262,006.99 ล้านคาร์บอน

ข้อเสนอแนะ

1. เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับขนาดของพื้นที่ที่ทำการสำรวจในครั้งนี้ พบว่าทำการสำรวจไป 30 แปลงตัวอย่างคิดเป็น 0.275 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด ซึ่งยังมีปริมาณการสำรวจที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ การสำรวจป่าไม้ในการศึกษาอื่นๆ ทั้งนี้สาเหตุมาจากลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ป่าชายเลนในบริเวณดังกล่าวมีลักษณะแน่นทึบ ทำให้การเข้าไปวางแปลงศึกษาในพื้นที่ทำได้ค่อนข้างยาก ประกอบกับเวลาอันจำกัด จึงต้องใช้เปอร์เซ็นต์ในการสำรวจต่ำ ดังนั้น การศึกษาต่อไปควรมีการวางแผนที่ดีในการเข้าเก็บข้อมูล และน่าจะมีการทดลองเพิ่มเปอร์เซ็นต์การสำรวจ เพื่อนำผลที่ได้มาทดลองเปรียบเทียบกับ การศึกษาในครั้งนี้ว่า ผลการศึกษาที่ได้มีความแตกต่างกันหรือไม่ในทางสถิติ
2. การสุ่มตัวอย่างพันธุ์ไม้ในป่าชายเลนเพื่อนำไปศึกษาปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำหนักแห้ง ในรูปของมวลชีวภาพนั้นควรทำการเลือกสุ่มพันธุ์ไม้ให้กระจายครบทุกชนิดของพันธุ์ไม้ที่ทำการสำรวจพบ และมีจำนวนตัวอย่างที่มากกว่าการศึกษาในครั้งนี้ เพื่อเป็นตัวแทนที่ดีในการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนเฉลี่ยโดยน้ำหนักแห้งในรูปแบบมวลชีวภาพ
3. สมการการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลนจากดัชนีพื้นที่ใบ และข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่สร้างขึ้นเป็นสมการที่เหมาะสมกับพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ การนำสมการดังกล่าวไปใช้ในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินในป่าชายเลนบริเวณอื่นๆ ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบในเรื่องของมวลชีวภาพ ดัชนีพื้นที่ใบ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนต่อหน่วยเนื้อที่ก่อน จึงจะสามารถนำสมการดังกล่าวไปใช้
4. จากผลการศึกษาทำให้ทราบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินอยู่สะสมอยู่บริเวณใดบ้าง และมากน้อยเพียงใด ซึ่งเป็นประโยชน์ในการตรวจสอบและติดตามสถานการณ์การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินเป็นรายปี นอกจากนั้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินยังบ่งบอกได้ถึงปริมาณของมวลชีวภาพ ตลอดจนสภาพความสมบูรณ์ของป่าชายเลนบริเวณนั้น
5. การนำเทคนิคการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินจากดัชนีพื้นที่ใบไปใช้ในการหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศป่าบก ควรมีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของข้อมูล

ดัชนีพื้นที่ใบและการกักเก็บคาร์บอนให้ดีขึ้นก่อน เพราะพื้นที่ป่าชายเลนส่วนใหญ่ในบริเวณที่ศึกษามีสภาพเป็นป่าที่มีชั้นเรือนยอดเดียว ทำให้ค่าที่ได้มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างสูง ซึ่งแตกต่างกับระบบนิเวศป่าบกอื่นๆ ซึ่งประกอบด้วยหลายชั้นเรือนยอด การนำค่าดังกล่าวนี้ไปใช้ควรมีการศึกษาให้ดีขึ้น

6. จากผลการศึกษาในครั้งนี้ ทำให้ทราบถึงปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลน บริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการวางแผนการจัดการพื้นที่ป่าชายเลนเพื่อเป็นแหล่งในการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ และยังเป็นข้อมูลในการส่งเสริม และสนับสนุนความสำคัญของป่าชายเลนในบริเวณดังกล่าวในการบรรเทา และแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนอีกด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กาญจน์เขจร ชูชีพ. 2546. เอกสารประกอบการสอนหลักการสำรวจระยะไกล. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- กรมป่าไม้. 2544. การศึกษาความเหมาะสม โครงการฟื้นฟูและส่งเสริมป่าชายเลนในประเทศไทย. กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- จริยา บุญยวัฒน์. 2541. เรื่องการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก: ผลต่อประเทศไทย. วารสาร สิ่งแวดล้อม. 8 (2): 34-42.
- จิรนนท์ ชีระกุลพิศุทธิ์ และ นันทนา คชเสนี. 2547. ศักยภาพการสะสมคาร์บอนในระบบนิเวศป่าทองผาภูมิ ใน เอกสารประกอบการประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ : ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.
- จิระศักดิ์ ชูความดี และ อภิรักษ์ อนันต์ศิริวัฒน์. 2540. มวลชีวภาพไม้เสมขาว (*Avicennia alba*) จังหวัดสมุทรสงคราม. รายงานการสัมมนา ระบบนิเวศป่าชายเลนครั้งที่ 10 “การจัดการป่าชายเลนและการอนุรักษ์ป่าชายเลน”: บทเรียนในรอบ 20 ปี: 25-28 สิงหาคม 2540. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- ชลิตา ศรีลัดดา และ ลดาวัลย์ พวงจิตร. 2549. การกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าชายเลน อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. ใน การประชุมวิชาการระบบนิเวศป่าชายเลนแห่งชาติ “ป่าชายเลน : รากฐานเศรษฐกิจพอเพียงของชุมชนชายฝั่ง จังหวัดเพชรบุรี 12 – 14 กันยายน 2550. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, กรุงเทพฯ.
- ชัยสิทธิ์ ตระกูลศิริพานิชย์. 2536. การเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนบางชนิดในท้องที่อำเภอละอุ่น จังหวัดระนอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เฉลิมชัย โชติกมาศ. 2537. ลักษณะโครงสร้างป่าชายเลนในประเทศไทย. ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฐานันท์ ประทุมมิตร. 2545. การสะสมคาร์บอนของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ปลูกบนพื้นที่นาทุ่ง
ร้าง อำเภอนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.

ธงชัย จารุพัฒน์ และ จิรวรรณ จารุพัฒน์. 2540. การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการติดตามสภาพ
ความเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนของประเทศไทย. สำนักวิชาการป่าไม้, กรุงเทพฯ.

นวลปราง นวลอุไร. 2548. การเปรียบเทียบพื้นที่ใบ มวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่
เหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่าไม้จากการสำรวจด้านป่าไม้และการรับรู้จากระยะไกล
บริเวณอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.

ปฏิมาพร ผ่องสุขสวัสดิ์. 2545. การประมาณมวลชีวภาพของไม้ยืนต้นในสวนศึกษาธรรมชาติ
วิทยาป่าชายเลน จังหวัดพังงา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประสงค์ สงวนธรรม. 2528. คู่มือปฏิบัติการหลักการแปลและวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม. คณะ
วนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ฝ่ายจัดการป่าชายเลน. 2535. รายงานการสำรวจชนิดพันธุ์และความสมบูรณ์ของป่าชายเลนใน
บริเวณพื้นที่เฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าพระบรมราชินีนาถ ในวโรกาสทรงมีพระ
ชนมายุ 60 พรรษา บริเวณท่าฉัตรไชย จังหวัดภูเก็ต. กองจัดการป่าไม้ กรมป่าไม้,
กรุงเทพฯ.

พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์, ศศิพร พ่วงปาน และเจนจิรา แก้วรัตน์. 2540. ประสิทธิภาพของโกก้าง
ใบเล็กในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสร้างผลผลิตมวลชีวภาพ. รายงานการ
สัมมนา ระบบนิเวศป่าชายเลนครั้งที่ 10 “การจัดการป่าชายเลนและการอนุรักษ์ป่าชายเลน”:
บทเรียนในรอบ 20 ปี: 25-28 สิงหาคม 2540. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ,
กรุงเทพฯ.

พิสิษฐ์ ปิยสมบูรณ์. 2531. โครงสร้างป่าชายเลนในท้องที่อำเภอเมือง จังหวัดพังงา. ปัญหาพิเศษ
ปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬ. 2538. ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้. คณะ
วนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พูลศรี เมืองสง. 2541. การเติบโตของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่ปลูกบนพื้นที่นาทุ่งร้าง อำเภอเมือง
จังหวัดระนอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รวี เศรษฐภักดี, คุณหญิงสุชาดา ศรีเพ็ญ, สามัคคี บุญยะวัฒน์, อัมพร สุวรรณเมฆ, รังสิต สุวรรณเขต
นิคม, เอ็จ สโรบล, พิระศักดิ์ ศรีนเวศน์, นวรัตน์ อุดมประเสริฐ, พูนพิภพ เกษมทรัพย์,
จันทรา สุขปรีดี, นิรันดร์ จันทรวงศ์, ประศาสตร์ เกื้อมณี และจรรย์ พานิชกุล. 2538.
วิจัยการใช้พืชเพื่อลดมลสารในอากาศ. เอกสารประกอบการสัมมนา.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เริงชัย เผ่าสัจจะ. 2543. “การเก็บกักก๊าซ CO₂ ในรูปของเนื้อไม้ (Wood).” วนสาร 58 (1): 131-
135.

ละดาญ วงศ์สถาน. 2548. การประมาณหาปริมาณเชื้อเพลิงในป่าเต็งรัง บริเวณอุทยานแห่งชาติ
แมปิง จังหวัดลำพูน ด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิพัทธ์ จินตนา, โนบุทากะ มนจิ, ทาเกชิ อิราโน, ฮาโมทานิ เคน และ สมศักดิ์ พิริโยธา. 2540.
การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของป่าชายเลน ในช่วงฤดูแล้ง, น1-2. ใน รายงาน
การสัมมนา ระบบนิเวศป่าชายเลนแห่งชาติ ครั้งที่ 10 จังหวัดสงขลา 25-28 สิงหาคม 2540.
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

วิษณุ ดำรงค์ศักดิ์ศิริ. 2544. การประยุกต์การใช้การสำรวจระยะไกลเพื่อประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ
และมวลชีวภาพของป่าที่อยู่เหนือพื้นดิน บริเวณอุทยานแห่งชาติภูกระดึง จังหวัดเลย.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุทธิณี คนตรี. 2549. ความรู้พื้นฐานด้านการสำรวจระยะไกล. เอกสารประกอบการสอน.
ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สนธิ อักษรแก้ว. 2541. ป่าชายเลน นิเวศวิทยาและการจัดการ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตร
ศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____, สนใจ หะวานนท์ และชาติรี มากนวล. 2539. คู่มือการปลูกพันธุ์ไม้ป่าชายเลน.
ห้างหุ้นส่วนพินิจพิชชิง, กรุงเทพฯ.

สง่า สรรพศรี, สนธิ อักษรแก้ว, จิตต์ คงแสงไชย, ประจิม สุกสีเหลือง, โสภณ หะวานนท์ และ นริศ
ธรรมโชติ. 2530. รายงานการวิจัยการศึกษาสังคมป่าชายเลนในประเทศไทย โดยวิธีการ
จัดหมวดหมู่และวิเคราะห์ศักยภาพ. รายงานฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการวิจัย
แห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

เสริมพงศ์ นวลงาม. 2545. บทบาทของการปลูกสร้างสวนป่าต่อการเก็บกักคาร์บอนและคุณสมบัติ
ของดินบางประการที่สถานีวิจัยและฝึกอบรมการปลูกสร้างสวนป่า จังหวัดนครราชสีมา.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โสภณ หะวานนท์. 2528. อิทธิพลของตะกอนเหมืองแร่ต่อลักษณะโครงสร้างและอัตราการ
เจริญเติบโตของป่าชายเลน ในท้องที่จังหวัดพังงา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2540. คำบรรยายเรื่องการสำรวจระยะไกล. สำนักงาน
คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม,
กรุงเทพฯ.

สมใจ หะวานนท์, จิระศักดิ์ ชูความดี, อภิรักษ์ อนันตศิริวัฒน์ และ วิจารย์ มีผล. 2538. การศึกษา
ลักษณะโครงสร้างป่าชายเลน จังหวัดสมุทรสงคราม. ใน การสัมมนาระบบนิเวศป่าชายเลน
แห่งชาติ ครั้งที่ 9 การอนุรักษ์ป่าชายเลนเพื่อสังคมไทยในศตวรรษหน้า วันที่ 6-9 กันยายน

2538 ณ โรงแรมภูเก็ตเมอร์ลิน จังหวัดภูเก็ต. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

สมพร สง่างศ์. 2543. รีโมทเซนซิงเบื้องต้นและกรณีศึกษารีโมทเซนซิง. นนทบุรี:การพิมพ์, เชียงใหม่.

Aksornkaoe, S. 1976. **Structure of Mangrove Forest at Amphoe Khlung, Changwat Chantaburi.** Kasetsart University, Bangkok.

Aksornkaoe, S., S. Panichsuko, W. Srisawatt, S. Panichchat, V. Ag-uru, N. Jintana, V. Jintana, J. Krachivong and B. Kooha. 1989. **Inventory and Monitoring on Mangrove in Thailand.** Final Report, Submitted to The Office of the National Environment Board, Bangkok.

Barrett, E.C. and L.F. Curtis. 1992. **Introduction to Environmental Remote Sensing.** Chapman & Hall, London.

Brown, S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests. In **FAO Forest Report.** Rome : Food and Agriculture Organization of The United Nation.

Campbell, N. A., Reece, J. B., and Mitchell, L. G. 1999. **Biology.** 5th ed. New York: Benjamin/Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

Cannell, M.G.R. 1982. **World Forest Biomass and Primary Production Data.** London Academic Press. 391.

De Haan, T.H. 1931. Het Enn En Ander over de Tijlatjap Sche Vloedbosschen. อ้างโดย เฉลิมชัย โชติกมาศ. ลักษณะโครงสร้างและลักษณะดิน ท้องที่อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- Demoll, R. 1972. **Betrachtungen uber produktions berechnungen.** Arch. F. Hydrobiol. 18 : 460 – 463. *Cited by* L.R. Dice. Natural Communities. Univ. of Michigan Press, Michigan. 547.
- Du, L.V. 1962. **Ecology and Silviculture of Mangrove.** Yale Univ. School of Forest.
- Edward, P.J., and Grubb, A. 1977. Studies of Mineral Cycling in a Montane Rain Forest in New Guinea, The Distribution of Organic matter in The Vegetation and Soil. **Journal of Ecology.** 65: 43-69.
- Fortes, M.D. 1982. Productivity Studies on Mangrove, Seagrass and Algae at Calatagan, Batangas (Philippines), p. 17-24 *In* **Kostermans A.Y. and S.S. Sastroutomo (eds).** Proc. Symp. Mangr. For. Prod. S.E. Asia BIOTROP Spe. Publ. No. 17. Bogor, Indonesia.
- Fujimoto K., Imaya A., Tabuchi R., Kuramoto S., Utsugi H., Murofushi T. 1999. Belowground Carbon Storage of Micronesian Mangrove Forest. **Ecological Research.** 14 (4): 409-413.
- Howard, J.A. 1991. **Remote Sensing of Forest Resources.** Chapman & Hall, London.
- Huberman, M.A. 1959. **Mangrove Silviculture.** Unasylyva.
- Kato, R., Y. Tadaki and H.K. Ogawa. 1978. Plant Biomass ang Growth Increment Studies in the Pasoh Forest. **Malay. Nat. J.** 30: 211–24.
- Kittredge, J. 1944. Estimation of the amount of foliage of tree and stands. **J. For.** 42: 905-912
- Komiyama A., Moriya H., and Suhardjono P. 1988. **Primary Productivity of Mangrove Forest.** Biological System of Mangroves. Japan.

Landsberg, J.J. and S.T. Gower. 1997. **Applications of Physiological Ecology to Forest Management**. Academic Press, California.

Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. 1994. **Remote Sensing and Image Interpretation**, New York.

Macnae, W. 1968. **A General Account of Fauna and Flora of Mangrove Swamps and Forest in the Indo-Pacific Region**, *Advan. Mar. Biol.* 6.

Odum, E.P. 1963. **Fundamental of Ecology**. Halt, Reinhart & Winston Inc., New York.

Ogawa, H., K. Yoda and T. Kira. 1961. A perliminary survey on the vegetation of Thailand. *Nat. Life in Southeast Asia* 1: 20 – 158.

Ogawa, H.K. Yoda and T. Kira. 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.

Ogawa, H. and T. Kira. 1977. **Method of Esitimating Forest Biomass**. JIPB Dysthesis: 16. The University of Toyko Press, Toyko.

Ovington, J.D. 1962. Quantitative Ecology and The Woody Ecosystem Concept. **Adv Ecol. Res.** 1: 103-192.

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 .

Puangchit, L. 2000. Forest Setor *In* **Thailand Nation Greenhouse Gas Inventory 1994**. Ministry of Science, Technology and Environment.

Salisbury, B. and W. Ross. 1992. **Plant Physiology**. 4th ed. California.

Swain, P.H. and S.M. David. 1978. **Remote Sensing : The Quantitative Approach**. McGraw-Hill, inc., New York.

Schroeder, P. 1992. Evidence from Chronosequence Studies for a low carbon-storage potential of Soil. **Nature**. 348: 232-234

Schrader, S. And R.P. Pouncey. 1997. **Erdas Field Guide**. ERDAS Inc., Georgia.

Slater, P.N. 1980. **Remote Sensing Optics and Optical System**. Addison – Wesley, London.

Walter, H. and M. Steiner. 1936. **Die Okologie der Ost-Afrikanischen Mangrove**. อ้างโดย
เฉลิมชัย โชติกมาศ. ลักษณะโครงสร้างและตะกอนดิน ท้องที่อำเภอบ้านแหลม จังหวัด
เพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Watson, .G. 1928. **Mangrove Forest of the Malayan Peninsula, Malay**. For. Rec.
Singapore: Fraser and Neave, Ltd.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 จุดควบคุมภาคพื้นดิน และค่าความคลาดเคลื่อนที่ใช้ในการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM

Point ID	X input (image data)	Y input (image data)	X reference (topomap)	Y reference (topomap)	X residual	Y residual	RMS Error
GCP #1	504674.331	848055.168	504652.895	848037.133	-0.201	0.372	0.452
GCP #2	509787.078	848585.385	509770.923	848592.523	-0.556	0.632	0.767
GCP #3	511729.763	848278.161	511735.881	848269.131	0.993	1.089	1.322
GCP #4	514146.747	845883.709	514189.441	845836.662	-0.362	0.385	0.467
GCP #5	513745.144	843837.860	513781.686	843801.402	-0.219	0.669	0.812
GCP #6	512265.989	844146.077	512280.540	844137.134	-0.055	0.569	0.691
GCP #7	512844.840	841929.489	512871.267	841910.262	0.152	0.371	0.451
GCP #8	504036.950	845256.972	504030.717	845242.605	0.265	0.314	0.382
GCP #9	504690.106	844791.794	504681.016	844789.153	0.290	0.469	0.570
GCP #10	507404.813	840354.235	507405.241	840381.181	-0.079	0.543	0.659
GCP #11	507416.291	838073.575	507429.847	838099.862	-0.128	0.667	0.810
GCP #12	505939.921	838939.693	505954.388	838960.376	-0.045	0.138	0.168
GCP #13	503879.663	839633.591	503907.577	839630.302	0.489	1.373	1.667
GCP #14	507822.003	835325.418	507853.074	835344.793	-0.388	1.029	1.249
GCP #15	504925.859	834963.635	504978.113	834971.115	-0.926	1.219	1.480
GCP #16	502284.060	844698.860	502298.407	844653.068	-0.615	0.996	1.209
GCP #17	510028.028	832384.704	510081.674	832372.204	0.606	1.252	1.520
GCP #18	506688.880	835685.244	506721.942	835705.004	-0.288	0.685	0.832
GCP #19	503659.969	838127.506	503702.223	838122.126	1.067	1.255	1.524

หมายเหตุ : Root Mean Square Error (RMSe) = 0.8329

ตารางผนวกที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณและดัชนีพืชพรรณรูปแบบต่างๆ

		LAI	G	R	IR	IR-R	IR/R	NDVI	TVI	GVI
LAI	Pearson	1.000	-.493	-.465	.646	.670	.756	.707	.677	.649
	Sig. (2-tailed)	.	.003	.005	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
G	Pearson	-.493	1.000	.928	-.141	-.243	-.508	-.518	-.543	-.134
	Sig. (2-tailed)	.003	.	.000	.228	.098	.002	.002	.001	.241
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
R	Pearson	-.465	.928	1.000	-.151	-.273	-.580	-.551	-.590	-.158
	Sig. (2-tailed)	.005	.000	.	.213	.072	.000	.001	.000	.201
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
IR	Pearson	.646	-.141	-.151	1.000	.937	.803	.816	.764	.952
	Sig. (2-tailed)	.000	.228	.213	.	.000	.000	.000	.000	.000
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
IR-R	Pearson	.670	-.243	-.273	.937	1.000	.923	.930	.884	.991
	Sig. (2-tailed)	.000	.098	.072	.000	.	.000	.000	.000	.000
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

		LAI	G	R	IR	IR-R	IR/R	NDVI	TVI	GVI
	Pearson	.756	-.508	-.580	.803	.923	1.000	.971	.956	.877
IR/R	Sig. (2-tailed)	.000	.002	.000	.000	.000	.	.000	.000	.000
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	Pearson	.707	-.518	-.551	.816	.930	.971	1.000	.974	.884
NDVI	Sig. (2-tailed)	.000	.002	.001	.000	.000	.000	.	.000	.000
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	Pearson	.677	-.543	-.590	.764	.884	.956	.974	1.000	.832
TVI	Sig. (2-tailed)	.000	.001	.000	.000	.000	.000	.000	.	.000
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	Pearson	.649	-.134	-.158	.952	.991	.877	.884	.832	1.000
GVI	Sig. (2-tailed)	.000	.241	.201	.000	.000	.000	.000	.000	.
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30

ตารางผนวกที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และดัชนีพืชพรรณ

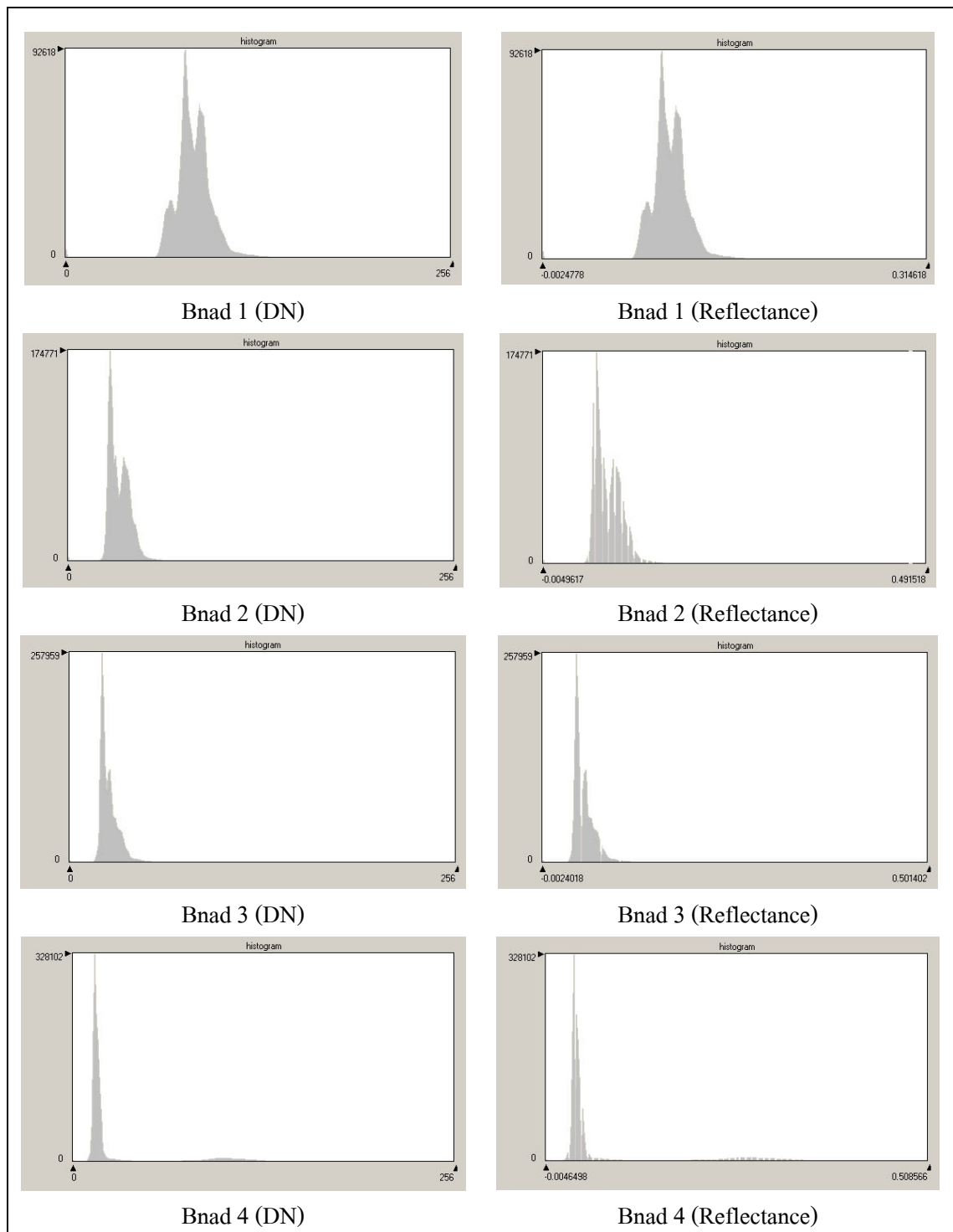
		Carbon	G	R	IR	IR-R	IR/R	NDVI	TVI	GVI
Carbon	Pearson	1.000	-.520	-.562	.689	.748	.866	.796	.789	.705
	Sig. (2-tailed)	.	.002	.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
G	Pearson	-.520	1.000	.928	-.141	-.243	-.508	-.518	-.543	-.134
	Sig. (2-tailed)	.002	.	.000	.228	.098	.002	.002	.001	.241
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
R	Pearson	-.562	.928	1.000	-.151	-.273	-.580	-.551	-.590	-.158
	Sig. (2-tailed)	.001	.000	.	.213	.072	.000	.001	.000	.201
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
IR	Pearson	.689	-.141	-.151	1.000	.937	.803	.816	.764	.952
	Sig. (2-tailed)	.000	.228	.213	.	.000	.000	.000	.000	.000
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
IR-R	Pearson	.748	-.243	-.273	.937	1.000	.923	.930	.884	.991
	Sig. (2-tailed)	.000	.098	.072	.000	.	.000	.000	.000	.000
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

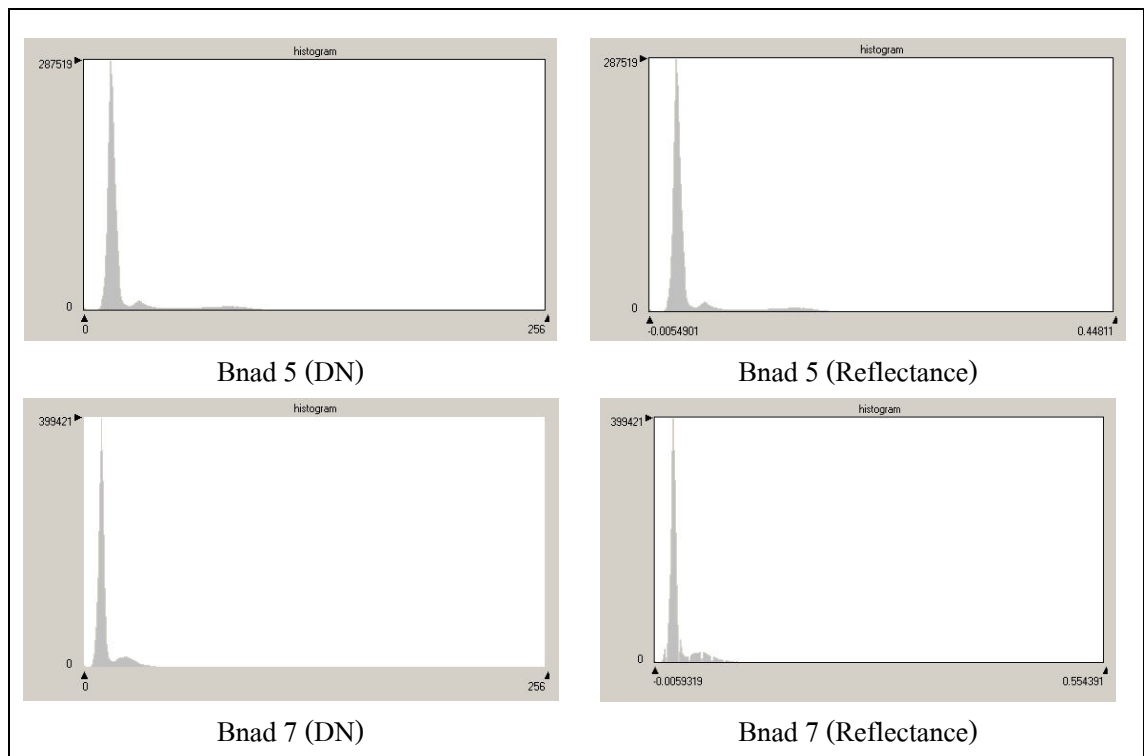
		Carbon	G	R	IR	IR-R	IR/R	NDVI	TVI	GVI
IR/R	Pearson	.866	-.508	-.580	.803	.923	1.000	.971	.956	.877
	Sig. (2-tailed)	.000	.002	.000	.000	.000	.	.000	.000	.000
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
NDVI	Pearson	.796	-.518	-.551	.816	.930	.971	1.000	.974	.884
	Sig. (2-tailed)	.000	.002	.001	.000	.000	.000	.	.000	.000
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
TVI	Pearson	.789	-.543	-.590	.764	.884	.956	.974	1.000	.832
	Sig. (2-tailed)	.000	.001	.000	.000	.000	.000	.000	.	.000
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
GVI	Pearson	.705	-.134	-.158	.952	.991	.877	.884	.832	1.000
	Sig. (2-tailed)	.000	.241	.201	.000	.000	.000	.000	.000	.
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30

ตารางผนวกที่ 4 รายชื่อพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่สำรวจพบในป่าชายเลนบริเวณพื้นที่ศึกษา

ลำดับ	ชื่อสามัญ	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์
1	โกงกางใบเล็ก	<i>Rhizophora apiculata</i>	RHIZOPHORACEAE
2	โกงกางใบใหญ่	<i>Rhizophora mucronata</i>	RHIZOPHORACEAE
3	โปรงแดง	<i>Ceriops tagal</i>	RHIZOPHORACEAE
4	ถั่วดำ	<i>Bruguiera parviflora</i>	RHIZOPHORACEAE
5	ถั่วขาว	<i>Bruguiera cylindrical</i>	RHIZOPHORACEAE
6	แสมขาว	<i>Avicennia alba</i>	AVICENNIACEAE
7	แสมดำ	<i>Avicennia officinalis</i>	AVICENNIACEAE
8	ตะบูนดำ	<i>Xylocarpus moluccensis</i>	MELIACEAE
9	ตะบูนขาว	<i>Xylocarpus granatum</i>	MELIACEAE



ภาพผนวกที่ 1 Histogram เปรียบเทียบค่าระหว่าง ค่าหลักเลข (DN) และค่าพลังงานสะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง (Reflectance)



ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Lai ^a	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Carbon_from_field

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.916 ^a	.839	.833	917.296925	.839	145.482	1	28	.000

a. Predictors: (Constant), Lai

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	122413216	1	122413215.7	145.482	.000 ^a
	Residual	23560142.2	28	841433.649		
	Total	145973358	29			

a. Predictors: (Constant), Lai

b. Dependent Variable: Carbon_from_field

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-1953.417	498.487		-3.919	.001
	Lai	1391.598	115.374	.916	12.062	.000

a. Dependent Variable: Carbon_from_field

ภาพผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินกับค่าดัชนีพื้นที่ใบ โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)

Variables Entered/Removed^a

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

a. Dependent Variable: LAI

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.756 ^a	.572	.557	.98266511	.572	37.462	1	28	.000

a. Predictors: (Constant), IR/R

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	36.174	1	36.174	37.462	.000 ^a
	Residual	27.038	28	.966		
	Total	63.212	29			

a. Predictors: (Constant), IR/R

b. Dependent Variable: LAI

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.496	.611		.811	.424
	IR/R	.651	.106	.756	6.121	.000

a. Dependent Variable: LAI

ภาพผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ใบกับค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และค่าดัชนีความเป็นพรรณพืชที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	IR/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: Carbon_from_Landsat

Model Summary									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.888 ^a	.788	.781	1002.00354	.788	104.183	1	28	.000
2	.911 ^b	.830	.818	912.851010	.042	6.736	1	27	.015

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

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	104600572	1	104600572.4	104.183	.000 ^a
	Residual	28112310.9	28	1004011.103		
	Total	132712883	29			
2	Regression	110213865	2	55106932.61	66.131	.000 ^b
	Residual	22499018.1	27	833296.967		
	Total	132712883	29			

a. Predictors: (Constant), IR/R
b. Predictors: (Constant), IR/R, NDVI
c. Dependent Variable: Carbon_from_Landsat

Coefficients ^a					
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	-2490.346	622.883		.000
	IR/R	1107.117	108.467	.888	.000
2	(Constant)	3766.586	2476.639		.140
	IR/R	2146.319	412.411	1.721	.000
	NDVI	-18039.6	6950.512	-.858	.015

a. Dependent Variable: Carbon_from_Landsat

ภาพผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินกับค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และค่าดัชนีความเป็นพรรณพืชที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Carbon_from_LAI	3550.647	30	1967.834951	359.27586
	Carbon_from_Landsat	3587.026	30	2139.230311	390.56823

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Carbon_from_LAI & Carbon_from_Landsat	30	.986	.000

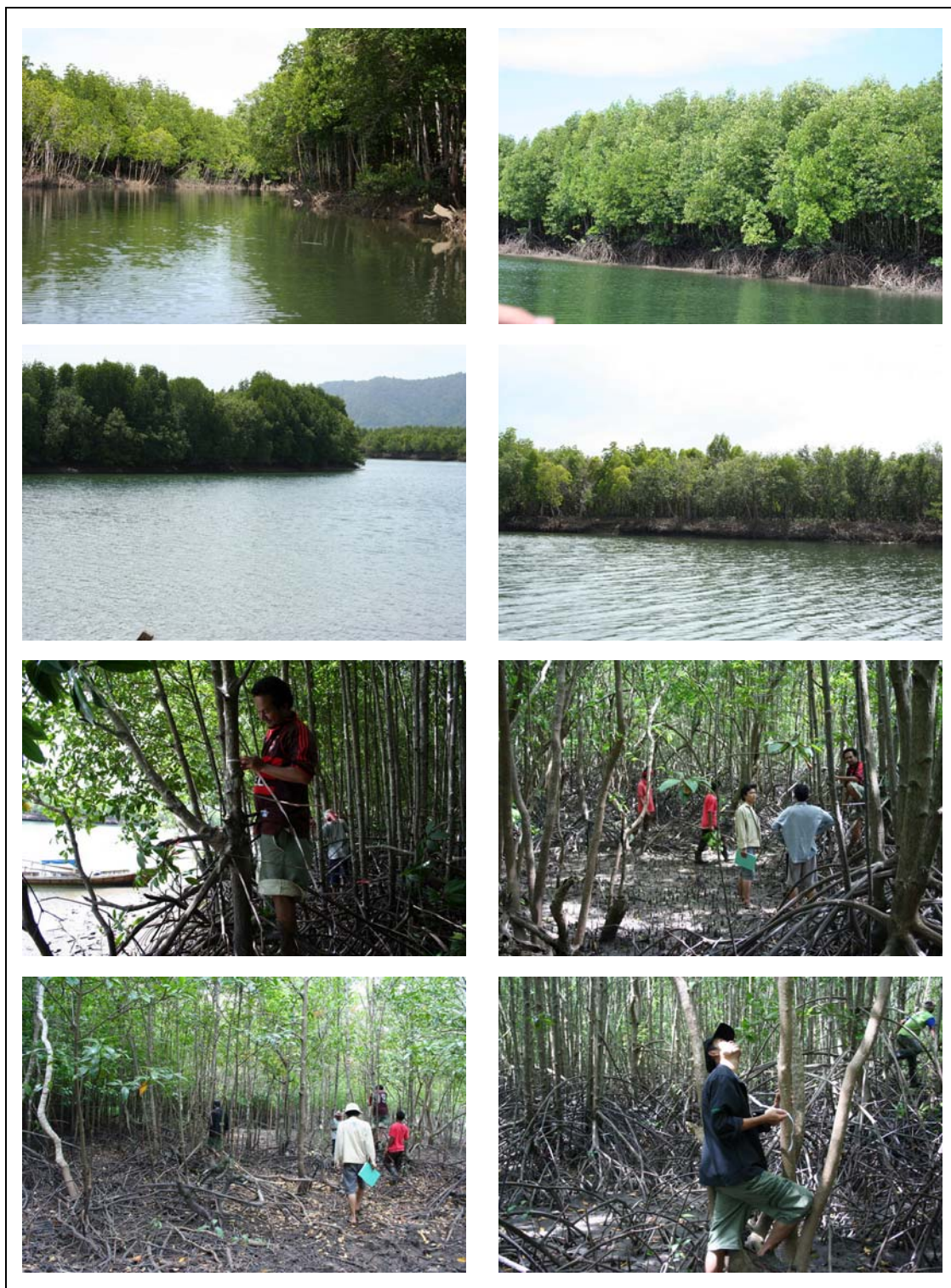
Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Carbon_from_LAI - Carbon_from_Landsat	-36.37867	381.2637377	69.608916	-178.7449	105.98755	-.523	29	.605

ภาพผนวกที่ 5 ผลการตรวจสอบค่าความแตกต่างของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากค่าดัชนีพื้นที่ใบ และที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM ด้วยวิธีการทดสอบแบบ t-test



ภาพผนวกที่ 6 สภาพพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณเกาะล้านตาจังหวัดกระบี่



ภาพผนวกที่ 6 (ต่อ)