

เทคนิคการสำรวจระยะไกลเพื่อการประมาณค่า
ผลผลิตมวลชีวภาพสวนป่าชายเลน

นายวิโรจน์ ละอองมณี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

REMOTE SENSING TECHNIQUES FOR BIOMASS ESTIMATION
OF MANGROVE PLANTATION

Mr. Wirote Laongmanee

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Survey Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เทคนิคการสำรวจระยะไกลเพื่อการประมาณค่าผลผลิต
	มวลชีวภาพสวนป่าชายเลน
โดย	นายวิโรจน์ ละอองมณี
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร. ชัยโชค ไวกาษา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. บรรเจิด พละการ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร. ชัยโชค ไวกาษา)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรรพชญ์ ชี้อินธิไพศาล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ธงทิศ ฉายากุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. เขาวลิต ศิลปทอง)

วิโรจน์ ละอองมณี : เทคนิคการสำรวจระยะไกลเพื่อการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพสวนป่าชายเลน. (REMOTE SENSING TECHNIQUES FOR BIOMASS ESTIMATION OF MANGROVE PLANTATION) อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ. ดร.ชัยโชคไวภาษา, 107 หน้า.

การศึกษาวิจัยเพื่อหาข้อสรุปความเหมาะสมของขนาดจุดภาพที่ใช้ ความเหมาะสมของดัชนีพืชพรรณซึ่งนำไปประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ ตลอดจนการทดสอบผลจากเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพจุดภาพ (Image Fusion) ในรูปแบบต่าง ๆ และใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในช่วงคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Remote Sensing) มาร่วมประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพในสวนป่าชายเลน

ผลการศึกษารูปได้ว่าขนาดจุดภาพที่เหมาะสมในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบในสวนป่าชายเลนอยู่ที่ขนาด 10-เมตร ในทุก ๆ ดัชนีพืชพรรณ (R^2 ระหว่าง 0.71 ถึง 0.82) โดยมีดัชนีพืชพรรณ Tasseled Cap Transformed Green Vegetation (TCT-GVI) ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุดคือ $R^2 = 0.824$ ถัดมาเป็น Enhanced Vegetation Index (EVI) $R^2 = 0.817$ และ Normalization Difference Vegetation Index (NDVI) $R^2 = 0.810$ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และผลการวิเคราะห์เพื่อประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพเป็นดัชนีพืชพรรณ EVI ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุดได้ $R^2 = 0.54$ รองลงมาเป็น NDVI ที่ $R^2 = 0.50$ และ TCT-GVI ได้ $R^2 = 0.46$ จากแบบจำลองประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพในพื้นที่สวนป่าชายเลน บางปู ฯ ด้วยข้อมูลดัชนี EVI ได้ 85.38 ตันต่อเฮกตาร์ ในขณะที่ผลการทดสอบการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพจากเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพจุดภาพ ไม่ปรากฏว่ามีเทคนิคใดเหมาะสม (R^2 อยู่ระหว่าง 0.020 ถึง 0.048) แต่พบว่าการใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในช่วงคลื่นไมโครเวฟ (ALOS PALSAR) สามารถประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพในพื้นที่สวนป่าชายเลนได้ดี ($R^2 = 0.87$) และ $R^2 = 0.88$ เมื่อใช้ร่วมกับข้อมูลภาพในช่วงคลื่นแสง ซึ่งประมาณค่าผลผลิตในพื้นที่ได้ 111.17 ตันต่อเฮกตาร์

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2554

5071842121 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORDS : Vegetation Index / Biomass / Mangrove Plantations / Leaf Area Index

WIROTE LAONGMANEE : REMOTE SENSING TECHNIQUES FOR BIOMASS
ESTIMATION OF MANGROVE PLANTATION. ADVISOR : CHAICHOKE
VAIPHASA, Ph. D., 107 pp.

In this study the relationship between image resolution size and vegetation index (VI) for estimating leaf area index (LAI) were examined. Three image fusion techniques for improvement resolution of remote sensing data were tested for the most appropriate to estimate LAI. Moreover the microwave remote sensing data were also used to estimate biomass of mangrove plantation.

Study result suggested that 10-meter image resolution is the most appropriate size for estimating LAI for five vegetation indices ($R^2 = 0.71 - 0.82$). The R^2 of Tasseled Cap Transformed Green Vegetation (TCT-GVI), Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalization Difference Vegetation Index (NDVI) are 0.824, 0.817 and 0.810, respectively with non-signtificant. However the most appropriate VI for estimating biomass is EVI with the highest $R^2 = 0.54$ follow by NDVI ($R^2 = 0.50$) and TCT-GVI ($R^2 = 0.46$). Estimated biomass of Bangpu mangrove plantation using model from EVI is 85.38 ton/hectare.

Three image fusion techniques cannot improve low resolution remote sensing image for estimating LAI. Low relationship between NDVI transformed from the Pan-sharpen data and LAI were calculated ($R^2 = 0.020 - 0.048$).

Result from microwave remote sensing data (PALSAR) analysis suggested that it is appropriate to estimate biomass ($R^2 = 0.87$). Moreover this R^2 value is able to be improved by using the combination of microwave and optical remote sensing data ($R^2 = 0.88$). The estimated biomass of Bangpu mangrove plantation by this model is 111.17 ton/hectare.

Department : Survey Engineering Student's Signature _____
Field of Study : Survey Engineering Advisor's Signature _____
Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

การเรียนและงานวิจัยในหลักสูตรนี้ได้รับการสนับสนุนทุนในโครงการพัฒนาอาจารย์ สาขาขาดแคลน คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี

ผมขอขอบคุณ อ. ดร.ชัยโชค ไวภาษา ผู้ซึ่งให้โอกาส ชี้ทางให้เห็นว่าการทำวิจัยต้องคิดอย่างไร ผู้ซึ่งคอยเสนอแนะวิธีการ แนวคิด เทคนิค ตลอดจนท่านต้องลงมือ ลงแรง ในหลายเรื่อง ขอขอบคุณอาจารย์สำหรับคำที่ว่า เป็นภาระที่เราจะรับผิดชอบร่วมกัน ผมเชื่อว่า ผมเป็นภาระให้อาจารย์อย่างหนักทีเดียว

ขอบคุณ สทอภ. และคุณอนุเผ่า อบแพทย์ ที่อนุเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมทั้งให้บริการโดยไม่คิดค่าใช้จ่ายและบริการในราคานิสิต และรวมทั้งอนุญาตให้ยืมใช้เครื่องมือวัด LAI ซึ่งคุณสุรเชษฐ์ สีแดง กรุณาช่วยวัดสอบ

ขอบคุณ อ. ดร. ศศิธร พ่วงปาน ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่แนะนำเรื่อง Allometric equation พร้อมทั้งมอบบทความวิชาการให้ศึกษา ขอขอบคุณ รศ. ดร. ไพศาล สันติธรรมนนท์ และ อ. ดร. กนก วีรวงศ์ แนะนำการปฏิบัติตัว แนวคิด ที่ดี ๆ ในหลายด้าน

ขอบคุณนง มาลัยแดงผู้แนะนำและช่วยงานภาคสนาม ตลอดจน WWF-Thailand และกองพลธิการ กองทัพบกเจ้าของพื้นที่ศึกษา ขอขอบคุณ คุณวีระพงศ์ เกิดสิน คุณณกร วัฒนิกิจ คุณภาณุ อุทัยศรี หากไม่ได้เพื่อน 3 ท่านนี้ งานภาคสนามผมคงไม่ลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอบคุณ คุณธีรทัต เจริญกาลัญญาตา ที่ช่วยเป็นธุระ เรื่องประมวลผล GPS VRS ให้ครับ ขอขอบคุณ คุณเพ็ญจันทร์ ละอองมณี เธอทุ่มเทช่วยเหลืองานทุกเรื่องที่ผมขอ

ขอบคุณ รศ. ดร.บรรเจิด พละการ ประธานคณะกรรมการควบคุมการจัดทำวิทยานิพนธ์ ที่ให้ยืมใช้เครื่อง GPS ของภาควิชาฯ ขอขอบคุณ ผศ. ดร.สรรเพชญ์ ชื่อนิธิไพศาล อ.ดร.ธงทิศ ฉายากุล กรรมการควบคุมการจัดทำวิทยานิพนธ์ และ ดร.เชาวลิต ศิลปทอง กรรมการภายนอกจาก สทอภ. และอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ ที่ให้คำสอนที่มีคุณค่า

ที่ต้องระลึกบุญคุณอยู่เสมอคงเป็น พระคุณพ่อ แม่ ที่คอยห่วงใย แม่ห่างไกลแค่ไหน เป็นกำลังใจให้ทุกครั้งที่ต้องการ และต้องขอบใจ ด.ช.ปารย์ ละอองมณี ที่คอยเป็นกำลังใจให้พ่อผู้ อยู่เสมอ

และหากงานวิจัยนี้มีสิ่งดี ๆ อยู่บ้าง ผมขออุทิศความดีนี้ให้กับคุณพิชัย อดีตเจ้าหน้าที่ห้องเครื่องมือภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ ผู้ซึ่งสอนให้ผมใช้เครื่องมืออย่างถูกต้อง คอยย้ำเตือนเรื่องที่ต้องระวัง หวังว่าท่านคงอยู่ในภาพที่ดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	7
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 สวนป่าชายเลน.....	8
2.2 มวลชีวภาพ (Biomass).....	14
2.3 ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index).....	17
2.4 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม.....	19
2.5 ดัชนีพืชพรรณ (Spectrum Vegetation Index).....	23
2.6 การหลอมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม (Satellite Image Fusion).....	28
2.7 การวิเคราะห์ความถดถอยของข้อมูล (Regression Analysis).....	32
2.8 สถานีอ้างอิงทางตำแหน่งเสมือน (Virtual Reference Station).....	35
2.9 สวนป่าชายเลน ณ ศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) เฉลิมพระเกียรติ ฯ.....	37
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	40

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	43
3.1 พื้นที่ศึกษาสวนป่าชายเลน.....	43
3.2 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษา.....	44
3.3 การเก็บข้อมูลภาคสนาม.....	45
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	48
3.5 เกณฑ์เทียบระดับความคิดเห็น.....	53
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	54
4.1 ผลการศึกษาทางชีวฟิสิกส์จากแปลงตัวอย่าง.....	54
4.2 ผลการศึกษารายละเอียดจุดภาพข้อมูลจากภาพดาวเทียมกับดัชนีพืชพรรณ....	59
4.3 การประมาณค่ามวลชีวภาพด้วยข้อมูลภาพจากดาวเทียมในช่วงคลื่นแสง.....	64
4.4 การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบด้วยข้อมูลจากภาพดาวเทียม ซึ่งได้จากการ หลอมภาพ.....	73
4.5 การใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในช่วงคลื่นไมโครเวฟ ร่วมประมาณค่า มวลชีวภาพ.....	79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	86
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	86
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	88
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	92
รายการอ้างอิง.....	93
ภาคผนวก.....	99
ภาคผนวก ก จุดควบคุมภาพ (Ground Control Point).....	100
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าดัชนีพื้นที่ใบ ด้วยชุดโปรแกรม CanEye version 5.0.....	101
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	107

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	แผนการดำเนินงานวิจัย.....	7
2-1	รายละเอียดช่วงคลื่นของข้อมูลภาพจากกล้องบันทึกภาพ Thaichote MS.....	20
2-2	รายละเอียดช่วงคลื่นของข้อมูลภาพจากกล้องบันทึกภาพ ALOS AVINIR-2.....	21
2-3	รายละเอียดช่วงคลื่นที่บันทึกโดยกล้องบันทึกภาพ QuickBird Multispectral...	22
2-4	คุณสมบัติของข้อมูลภาพ ALOS PALSAR ในแต่ละโหมด.....	23
2-5	ตัวอย่างดัชนีพืชพรรณที่สำคัญเรียงตามช่วงเวลาพัฒนา.....	24
3-1	รายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษา.....	44
4-1	แสดงค่าสมบัติเนื้อไม้ในการวิเคราะห์หาความถ่วงจำเพาะเนื้อไม้.....	54
4-2	ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่วัดชั่งและคำนวณได้จากต้นตัวอย่าง.....	55
4-3	ค่าสมบัติทางชีวฟิสิกส์จากแปลงตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา.....	55
4-4	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจจากสมการความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายระหว่าง ดัชนีพื้นที่ใบกับดัชนีพืชพรรณในแต่ละรายละเอียดจุดภาพ.....	59
4-5	ค่าดัชนีพื้นที่ใบที่คำนวณได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับแปลงตรวจสอบ.....	61
4-6	ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างดัชนีพื้นที่ใบจากแบบจำลองกับดัชนีพื้นที่ ใบจากแปลงทดสอบวิธี Paired t-test.....	63
4-7	แสดงผลการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพด้วยแบบจำลองต่าง ๆ เปรียบ เทียบกับแปลงทดสอบจากภาคสนาม.....	67
4-8	แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างผลผลิตมวลชีวภาพจากแปลง ทดสอบ กับผลผลิตมวลชีวภาพจากแบบจำลองต่าง ๆ ด้วยวิธี Paired t-test.....	70
4-9	เปรียบเทียบค่าดัชนีพื้นที่ใบจากแบบจำลอง กับ แปลงตรวจสอบ.....	76
4-10	การทดสอบค่าทางสถิติของข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบซึ่งได้จากแบบจำลอง เปรียบ เทียบกับค่าดัชนีพื้นที่ใบจากแปลงตรวจสอบ ด้วยวิธี Paired t-test.....	78
4-11	ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงพหุและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจระหว่าง มวลชีวภาพกับดัชนีพื้นที่ใบและค่าพลังงานสะท้อนในช่วงคลื่นไมโครเวฟ.....	80
4-12	เปรียบเทียบผลผลิตมวลชีวภาพจากแบบจำลองกับข้อมูลจากภาคสนาม.....	81
4-13	ผลการทดสอบทางสถิติข้อมูลผลผลิตมวลชีวภาพจากแบบจำลอง เปรียบเทียบ กับข้อมูลจากแปลงตรวจสอบ ด้วยวิธี Paired t-test.....	84

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	แผนการดำเนินงานวิจัย.....	7
2-1	รายละเอียดช่วงคลื่นของข้อมูลภาพจากกล้องบันทึกภาพ Thaichote MS.....	20
2-2	รายละเอียดช่วงคลื่นของข้อมูลภาพจากกล้องบันทึกภาพ ALOS AVINIR-2.....	21
2-3	รายละเอียดช่วงคลื่นที่บันทึกโดยกล้องบันทึกภาพ QuickBird Multispectral...	22
2-4	คุณสมบัติของข้อมูลภาพ ALOS PALSAR ในแต่ละโหมด.....	23
2-5	ตัวอย่างดัชนีพืชพรรณที่สำคัญเรียงตามช่วงเวลาพัฒนา.....	24
3-1	รายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษา.....	44
4-1	แสดงค่าสมบัติเนื้อไม้ในการวิเคราะห์หาความถ่วงจำเพาะเนื้อไม้.....	54
4-2	ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่วัดชั่งและคำนวณได้จากต้นตัวอย่าง.....	55
4-3	ค่าสมบัติทางชีวฟิสิกส์จากแปลงตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา.....	55
4-4	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจจากสมการความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายระหว่าง ดัชนีพื้นที่ไปกับดัชนีพืชพรรณในแต่ละรายละเอียดจุดภาพ.....	59
4-5	ค่าดัชนีพื้นที่ไปที่คำนวณได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับแปลงตรวจสอบ.....	61
4-6	ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างดัชนีพื้นที่ไปจากแบบจำลองกับดัชนีพื้นที่ ไปจากแปลงทดสอบวิธี Paired t-test.....	63
4-7	แสดงผลการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพด้วยแบบจำลองต่าง ๆ เปรียบ เทียบกับแปลงทดสอบจากภาคสนาม.....	67
4-8	แสดงผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างผลผลิตมวลชีวภาพจากแปลง ทดสอบ กับผลผลิตมวลชีวภาพจากแบบจำลองต่าง ๆ ด้วยวิธี Paired t-test.....	70
4-9	เปรียบเทียบค่าดัชนีพื้นที่ไปจากแบบจำลอง กับ แปลงตรวจสอบ.....	76
4-10	การทดสอบค่าทางสถิติของข้อมูลดัชนีพื้นที่ไปซึ่งได้จากแบบจำลอง เปรียบ เทียบกับค่าดัชนีพื้นที่ไปจากแปลงตรวจสอบ ด้วยวิธี Paired t-test.....	78
4-11	ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงพหุและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจระหว่าง มวลชีวภาพกับดัชนีพื้นที่ไปและค่าพลังงานสะท้อนในช่วงคลื่นไมโครเวฟ.....	80
4-12	เปรียบเทียบผลผลิตมวลชีวภาพจากแบบจำลองกับข้อมูลจากภาคสนาม.....	81
4-13	ผลการทดสอบทางสถิติข้อมูลผลผลิตมวลชีวภาพจากแบบจำลอง เปรียบเทียบ กับข้อมูลจากแปลงตรวจสอบ ด้วยวิธี Paired t-test.....	84

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พื้นที่ป่าไม้และป่าชายเลน ในประเทศไทยในช่วงระยะเวลา 30 ปีลดลงอย่างรวดเร็ว ด้วยสาเหตุหลาย ๆ ปัจจัย (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2548; ธงชัย จารุพัฒน์, 2539; ธงชัย จารุพัฒน์, 2541) ก่อให้เกิดโครงการอนุรักษ์ ป่าฟุ และการปลูกป่าทดแทน จำนวนมาก จนสิ้นปี พ.ศ.2548 มีพื้นที่สวนป่าเพิ่มขึ้น 6.5 ล้านไร่ (กรมป่าไม้, 2552) ขณะที่ป่าชายเลนเพิ่มขึ้นประมาณ 2 แสนไร่ ในปี พ.ศ.2539 (สนิท อักษรแก้ว, 2550) อันเป็นผลจากการดำเนินการของรัฐ รมรงค์และส่งเสริมให้เอกชน ประชาชนมีส่วนร่วมในโครงการอนุรักษ์ ป่าฟุ และปลูกป่า ในหลาย ๆ โครงการ ตามนโยบายในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ต่อเนื่องมาตั้งแต่ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2503 – 2507) จนถึงปัจจุบัน (อภิชาติ ขาวสะอาด, 2534) แม้สวนป่า จะมีความหลากหลายทางชีวภาพน้อยกว่าป่าและป่าชายเลนธรรมชาติ (ณัฐวรรธน์ ปภาวสิทธิ์ และคณะ, 2547; เสาวภา อังสุภาณิช, 2550) แต่การมีสวนป่าทดแทนพื้นที่ที่ทิ้งร้าง ป่าเสื่อมโทรม ย่อมส่งผลดีต่อสภาพแวดล้อมโดยรวม เป็นพื้นที่กักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นแหล่งต้นน้ำ เป็นแหล่งไม้เศรษฐกิจ เป็นพื้นที่ใช้สอยผลผลิตจากป่า เป็นแหล่งพักผ่อนของชุมชน เป็นพื้นที่เพาะพักสัตว์น้ำในสวนป่าชายเลน ซึ่งสวนป่าชายเลนที่มีอายุมากขึ้นในระยะหนึ่ง จะกลายเป็นป่าชายเลนสมบูรณ์ต่อไป ส่งผลดีต่อการประมงชายฝั่ง ลดการกัดเซาะชายฝั่งทะเล (อิชฌิกา ศิวาย พรหมณ์ และคณะ, 2545)

การประเมินสภาพสวนป่าและสวนป่าชายเลนเพื่อประมาณปริมาณไม้และศึกษามวลชีวภาพนั้น นักนิเวศวิทยาและนักวิชาการป่าไม้ได้พัฒนาเทคนิคต่าง ๆ สรุปได้ 2 รูปแบบ 1) วิธีการทางอากาศพลศาสตร์ (aerodynamic method) ซึ่งเป็นวิธีการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่พืชใช้งาน มักศึกษาในห้องทดลองที่ควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ได้ ส่วนใหญ่ใช้กันในหมู่นักวิจัยด้านบรรยากาศศาสตร์และนักวิทยาศาสตร์ฟิสิกส์ 2) วิธีการเก็บเกี่ยวพืชหรือตัดฟันต้น (harvest method and summation) มีลักษณะเกี่ยวกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร ทำให้แห่งที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นำมาหาน้ำหนัก การหาปริมาณมวลชีวภาพด้วยวิธีนี้ ยังพัฒนาต่อไปเป็น 1) การเก็บเกี่ยวหรือตัดฟันพืชแบบทั้งหมด (Clear cutting from sampling area / plot) แยกเป็นชั้นส่วน ลำต้น กิ่ง ใบ ราก 2) ใช้ต้นไม้ตัวอย่างเฉลี่ย (Mean tree method) แจกแจงนับต้นไม้ในแปลง รวบรวมต้นไม้ตัวอย่างเป็นตัวแทนของแปลงวัดเส้นผ่าศูนย์กลาง ที่ความ

สูง 130 เซนติเมตร หรือเรียกว่า ความสูงเพียงอก หาน้ำหนักของตัวอย่าง เทียบกับต้นไม้ทุกต้นที่ เหลือจากบัญชีแจกแจง 3) วิธีวิเคราะห์มิติหรือวิธีแอลโลเมตรี (Dimension analysis or allometric method) เป็นการวัดเส้นรอบวงและความสูงของลำต้น และคำนวณหามวลชีวภาพ โดย จะใช้สมการที่ได้จากการพัฒนาในการวัดต้นไม้ในวิธีที่ 2 เฉพาะชนิดพืชนั้น ๆ ซึ่งนักนิเวศวิทยา และนักวิชาการป่าไม้รายงานผลกันอย่างกว้างขวาง ทั้งสวนป่าปกและสวนป่าชายเลน (รักษาติ สุข สำราญ, 2548; พงษ์ศักดิ์ สหุนาฟู, 2538; Komiyama et al, 2005; Khan et al, 2004; Kirui et al, 2007; Smith and Whelan, 2006 ; Komiyama et al, 2008)

ความสามารถของการสำรวจระยะไกลโดยภาพถ่ายจากดาวเทียมเป็นที่ยอมรับ โดยทั่วกันว่ามีศักยภาพในการประเมินสถานภาพทรัพยากรธรรมชาติ ทั้งนี้เพราะความสม่ำเสมอ และการครอบคลุมพื้นที่กว้างขวางของภาพถ่ายจากดาวเทียม ทำให้การวิเคราะห์ติดตามการ เปลี่ยนแปลงทำได้อย่างต่อเนื่อง (สรรคใจ กลิ่นดาว ,2550; Jensen, 2000) Liang (2004) สรุปไว้ใน Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces ไว้ว่าการศึกษาคูณสมบัติ ต่าง ๆ ของพืช พรรณ ด้วยเทคนิครีโมทเซนซิง ไม่ว่าจะเป็น ดัชนีพื้นที่ใบพืช (Leaf Area Index, LAI) ปริมาณการ ดูดซับแสงเพื่อการสังเคราะห์แสงของพืช (Fractional Photosynthetically Active Radiation, FPAR) หรือวงจรการเจริญเติบโตของพืช มักอาศัยกระบวนการทางคณิตศาสตร์ (Algorithm) เพื่อ คำนวณและจำลอง ปริมาณคุณสมบัติต่าง ๆ โดยมีแนวคิดในหลากหลายวิธี เช่น วิธีทางสถิติ ซึ่ง พัฒนาต่อมาเป็นค่า ดัชนี (Index) สำหรับตรวจวัดปริมาณต่าง ๆ ที่สนใจ ยังสามารถแบ่งย่อยได้ เป็น Multispectral Vegetation Indices หรือดัชนีพืชพรรณโดยใช้หลายช่วงคลื่น ที่เป็นที่ยู่อัจกกันดี ได้แก่ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ซึ่งใช้ ช่วงคลื่นสีแดง และช่วงคลื่นอิน ฟราเรดใกล้ บอกปริมาณที่มีพืชพรรณปกคลุมพื้นที่อยู่ โดยสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์กับ LAI ได้เป็นอย่างดี การศึกษาในส่วนของมวลชีวภาพในป่าบกและสวนป่ามีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้ง ในสวนป่าสัก สวนป่ายูคาลิปตัส สวนป่าสน (นวลปราง นวลอุไร, 2548; Petsri et al, 2007; Souci, 2008) ตลอดจนกรรมวิธีในการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลหรือ Image fusion method จากการที่ผู้ผลิตกล้องบันทึกภาพนำเสนอการให้ผลผลิตภัณฑ์ ที่เรียกว่า Pan-Sharping ซึ่งเป็น กรรมวิธีปรับปรุงรายละเอียดจุดภาพของภาพในช่วงคลื่น Multispectrum โดยใช้ภาพจากช่วงคลื่น Panchromatic แต่กรรมวิธีในการได้มาซึ่งภาพ Pan-Sharping ที่แตกต่างกันเช่น High pass filter technique, HIS transform based image fusion, PCA based image fusion และ Wavelet transform image fusion (Aanaes et al., 2008; Choi, 2006)

การพัฒนาเทคโนโลยีการถ่ายภาพด้วยดาวเทียม ที่มีความละเอียดของจุดภาพสูงขึ้นเรื่อยๆ เช่น Geoeye-1 ให้ภาพที่รายละเอียดจุดภาพต่ำกว่า 50 เซนติเมตรสำหรับกล้อง panchromatic และ 1.64 เมตรสำหรับ ช่วงคลื่น Multispectrum (GeoEye, 2009) การเลือกใช้ภาพรายละเอียดสูงเพื่อประเมินมวลชีวภาพในสวนป่าส่งผลต่อปริมาณงาน และงบประมาณโดยตรง โดยเฉพาะในพื้นที่ขนาดใหญ่ และผลจากงานวิจัยหลายชิ้น ยังไม่สามารถตอบได้ชัดเจนว่าการประเมินมวลชีวภาพในพื้นที่โดยเฉพาะพื้นที่สวนป่าชายเลนควรจะใช้ภาพที่รายละเอียดจุดเท่าใด ดัชนีพืชพรรณใด เพื่อให้ผลที่ถูกต้องมีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังที่ Liang (2004) และ Jensen (2000) อ้างไว้ว่า ดัชนี NDVI ได้รับผลกระทบจากการสะท้อนพลังงานแสงจากพื้นดินและความชื้นในดินมาก ในพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมอยู่กระจัดกระจาย ซึ่งย่อมมีผลกระทบมากโดยเฉพาะในพื้นที่สวนป่าชายเลน ที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้น-น้ำลงอยู่ตลอดเวลา งานวิจัยฉบับนี้ในส่วนแรกผู้วิจัยต้องการเสนอวิธีการประมาณค่ามวลชีวภาพในสวนป่าชายเลน โดยการพัฒนาแบบจำลองค่ามวลชีวภาพจากค่าพลังงานสะท้อนแสง (Radiance) ในแต่ละช่วงคลื่นของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม QuickBird โดยเปลี่ยนแปลงรายละเอียดจุดภาพด้วยวิธี Re-sampling จำนวน 7 ระดับ เพื่อให้เห็นถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากขนาดของรายละเอียดจุดภาพ จะได้เป็นที่ประจักษ์ชัดว่ารายละเอียดจุดภาพใดเหมาะสมที่จะนำไปใช้ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกรวดเร็วในการประมาณค่ามวลชีวภาพในสวนป่าชายเลนต่อไป ในส่วนหลังของงานวิจัยผู้วิจัยต้องการให้เห็นถึงผลต่างของกรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพของรายละเอียดจุดภาพ (Image fusion method) ในข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต เพื่อเป็นข้อสรุปสำหรับการเลือกใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมในการศึกษาประมาณค่ามวลชีวภาพของสวนป่าชายเลนที่เหมาะสม ตลอดจนนำเสนอทางเลือกในการเลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อใช้ในการประมาณค่ามวลชีวภาพในสวนป่าชายเลนอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาวิจัยการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบและผลผลิตมวลชีวภาพ ในพื้นที่สวนป่าชายเลนด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมในกลุ่มช่วงคลื่นแสง (Optical Remote Sensing) ในรายละเอียดจุดภาพต่าง ๆ ร่วมกับภาพถ่ายจากดาวเทียมในกลุ่ม Microwave Remote Sensing โดยใช้ดัชนีพืชพรรณต่าง ๆ ร่วมกับกรรมวิธีการหลอมภาพ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ย่อยของการวิจัยดังนี้

1. ศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมในการใช้ภาพจากกล้องบันทึกภาพโดยดาวเทียมในรายละเอียดจุดภาพต่าง ๆ กัน และความสามารถของดัชนีพืชพรรณ ต่าง ๆ เพื่อประมาณหาปริมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบและผลผลิตมวลชีวภาพในพื้นที่สวนป่าชายเลน
2. ศึกษาการใช้ข้อมูลจากกล้องบันทึกพลังงานกลุ่มช่วงคลื่น Microwave ช่วยในการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพในพื้นที่สวนป่าชายเลนร่วมกับการหลอมภาพในกรรมวิธีต่าง ๆ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาวิจัยการประมาณค่ามวลชีวภาพในสวนป่าชายเลน โดยเทคนิคการสำรวจระยะไกลนี้ ผู้วิจัยมุ่งเน้น ปรับปรุงพัฒนาองค์ความรู้ นำไปสู่การปฏิบัติงานในการใช้งานภาพถ่ายจากดาวเทียมกลุ่มช่วงคลื่นแสง (Optical Sensor) โดยใช้เทคนิค Simple Linear Regression, Exponential Regression, Power Regression และ Logarithmic Regression ในการพัฒนาแบบจำลองคำนวณค่าผลผลิตมวลชีวภาพจากข้อมูลดัชนีพืชพรรณและดัชนีพื้นที่ใบ ดังนี้

- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI),
- Enhanced Vegetation Index (EVI),
- Tasseled Cap Transformed Green Vegetation Index (TCT-GVI)
- Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) และ
- Simple Ration Index (SR)

ซึ่งได้จากภาพ Multi-spectrum ซึ่งถ่ายโดยกล้องบันทึกภาพดังนี้

- กล้องบันทึกภาพหลายช่วงคลื่นบนดาวเทียมไทยโชต (Thaichote) หรือ ในชื่อ THEOS เดิมของประเทศไทย
- กล้องบันทึกภาพ Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2 (AVNIR-2) บนดาวเทียม Advanced Land Observing Satellite (ALOS) ของประเทศญี่ปุ่น และ
- กล้องบันทึกภาพหลายช่วงคลื่นบนดาวเทียม QuickBird ดาวเทียมเชิงพาณิชย์ของสหรัฐอเมริกา โดยบริษัท Digital Global

ทั้งนี้ผู้วิจัยจะไม่นำเอาภาพถ่ายจากดาวเทียมกลุ่ม Hyperspectrum remote sensing และเทคโนโลยี Light Detection And Ranging (LiDAR) มาศึกษาเปรียบเทียบด้วย เนื่องจากกระบวนการประมวลผลข้อมูลมีความซับซ้อนมาก ถึงแม้จะทราบว่าภาพถ่ายดาวเทียมกลุ่มดังกล่าวจะมีศักยภาพในการศึกษามวลชีวภาพและดัชนีพื้นที่ใบของพืชจากการรายงานของการวิจัยหลาย ๆ งานวิจัย เนื่องจากเป็นความสนใจของผู้วิจัยที่มุ่งหวังให้เกิดการใช้ประโยชน์อย่างสูงสุดในกลุ่มภาพถ่ายจากดาวเทียมกลุ่มช่วงคลื่นแสง และ ใช้ภาพถ่ายจากกล้องบันทึก Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR) บนดาวเทียม Advanced Land Observing Satellite (ALOS) เพื่อช่วยในการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพ ในพื้นที่สวนป่าชายเลน ที่ได้จากการประมาณค่าโดยใช้ร่วมกับการหลอมภาพเพื่อปรับปรุงคุณภาพขนาดของจุดภาพด้วยกรรมวิธีดังนี้

- Smoothing Filter-based Intensity Modulation (SFIM),
- Color Normalized fusion techniques และ
- Gram-Schmidt Spectral Sharpening

ซึ่งเป็นตัวแทนของกรรมวิธีการหลอมภาพในหลักการที่สำคัญ ๆ จึงไม่พิจารณา นำ กรรมวิธีที่มีฐานการพัฒนาที่ใกล้เคียงกันมาศึกษาอีก

ผู้วิจัยศึกษาพัฒนาแบบจำลอง โดยใช้ชุดข้อมูลดัชนีพืชพรรณเป็นฐานหลัก ซึ่งเป็นหนึ่งในกลุ่มการพัฒนาแบบจำลองเชิงสถิติ (Statistical Methods) โดยไม่ได้นำเอาการพัฒนาแบบจำลองกลุ่มอื่น ๆ มาศึกษา ไม่ว่าจะ

- Optimization Inversion method,
- Generic Algorithm (GA),
- Lookup Table Methods,
- Hybrid Inversion Methods และ
- Comparisons of Different Inversion Methods

ซึ่งกรรมวิธีข้างต้นเป็นกลุ่มการพัฒนาแบบจำลองกึ่งอัตโนมัติ เนื่องจากมีความสลับซับซ้อนมาก ต้องการทักษะทางด้านโปรแกรมมิ่งค่อนข้างสูง ยิ่งค่อนข้างยากลำบากต่อการปฏิบัติงานอย่างจริงจัง

และงานวิจัยนี้ทำการศึกษาในพื้นที่ ที่เป็นสวนป่าชายเลนที่มีพืชชนิดเสมทะเล (*Avicennia marina* Forsk.) ครอบคลุมเกือบทั้งพื้นที่ ผู้ที่จะนำผลการศึกษาไปใช้ในพื้นที่ ที่มีพืชชายเลนชนิดอื่น ๆ ที่แตกต่างต้องพิจารณาในเรื่องนี้ด้วย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการศึกษาวิจัยคาดว่าจะได้องค์ความรู้และประโยชน์ดังนี้

1. เกณฑ์ในการเลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบและผลผลิตมวลชีวภาพในสวนป่าชายเลน
2. เกณฑ์ในการเลือกใช้ดัชนีพืชพรรณในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบและผลผลิตมวลชีวภาพในสวนป่าชายเลน
3. เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบและผลผลิตมวลชีวภาพในสวนป่าชายเลน เพื่อนำไปสู่การปฏิบัติงานต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สวนป่าชายเลน

เป็นที่ประจักษ์ชัด เรื่องประโยชน์ของป่าชายเลน โดยเฉพาะหลังเหตุการณ์การเกิดคลื่นยักษ์สึนามิ บริเวณหูกจังหวัดชายฝั่งอันดามัน ด้วยมีงานวิจัยทั้งของนักวิจัยไทยและนานาชาติหลายฉบับได้รายงานไปทิศทางเดียวกันว่าป่าชายเลนได้ปกป้องและบรรเทาภัยพิบัติทั้งทางตรงและทางอ้อม

จากเอกสารเผยแพร่ของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2552) รายงานการบันทึกการปลูกป่าชายเลนที่มีหลักฐานอย่างชัดเจนเริ่มขึ้นเมื่อปี พ.ศ.2475 ซึ่งบันทึกว่าจนถึงปีนี้มีสวนป่าที่ทำขึ้นรวม 45 แปลง เป็นพื้นที่ประมาณ 3,186 ไร่ โดยเป็นเป็นไม้สัก 2,947 ไร่ ไม้โกงกาง 190 ไร่ ไม้หลุมพอกกับไม้สัก 40 ไร่ และไม้พยุง 9 ไร่ ในปี พ.ศ.2476 มีการปลูกไม้ตะเคียน ไม้หลุมพอก ไม้โกงกาง ไม้แสม ไม้สัก ไม้หน้าคนุต และต้นจากในภาคใต้เพิ่มอีก ประมาณ 51 ไร่

การปลูกสร้างสวนป่าชายเลนที่บันทึกไว้อีกส่วนของกรมป่าไม้คือสมัย พระยาพนานุจร เป็นเจ้ากรมป่าไม้ ปี พ.ศ.2478 – 2484 โดยกรมการป่าไม้เป็นผู้ดำเนินการทั้งหมดดังนี้

ปี พ.ศ.2482	สวนปากน้ำเวฬุ จังหวัดจันทบุรี
ปี พ.ศ.2483	สวนปากน้ำประแส จังหวัดระยอง
ปี พ.ศ.2484	สวนหนองแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
ปี พ.ศ.2485	สวนปากทะเล เพชรบุรี

ถึง พ.ศ.2504 กรมป่าไม้ ได้ทำการปรับปรุงหลักเกณฑ์การทำไม้ป่าชายเลน และให้ทำการสำรวจจัดวางโครงการป่าชายเลนให้เป็นรูปแบบเดียวกันทั้งหมด โดยใช้ระบบวนวัฒนวิธี Shelterwood with Minimum Girth Limit ต่อมาได้มีมติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 4 มกราคม พ.ศ.2509 ให้เปลี่ยนแปลงนโยบายการทำไม้ป่าชายเลนจากวิธีดังกล่าว เป็นการอนุญาตสัมปทานระยะยาวตามโครงการ 15 ปี ต่อมา เมื่อ พ.ศ.2532 ได้มีการจัดตั้งฝ่ายจัดการป่าชายเลนขึ้น สังกัดกองจัดการป่าไม้ และในปี พ.ศ.2534 มีการจัดตั้งศูนย์ผลิตเมล็ดพันธุ์ไม้ป่าชายเลนขึ้น จำนวน 4 ศูนย์ จนปี พ.ศ.2545 รัฐบาลได้ปฏิรูประบบราชการ มีพระราชบัญญัติปรับปรุงกระทรวง ทบวง กรม พ.ศ.2545 มาตรา 5 ให้มีกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม งานด้านบริหารจัดการทรัพยากรป่าชายเลนถูกโอนจากกรมป่าไม้มาอยู่ในกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง

เนื่องจากในการจัดการป่าชายเลน นอกจากกิจกรรมทำไม้แล้ว ยังมีกิจกรรมด้านการปลูกสร้างสวนป่าชายเลน และการอนุรักษ์และป้องกันรักษาป่าชายเลน เพื่อทดแทนสภาพป่าที่ถูกบุกรุกอย่างรุนแรงโดยกิจการทำนากุ้ง การปลูกสร้างสวนป่าชายเลนแยกการดำเนินงานตามผู้ดำเนินการ ดังนี้

1. การปลูกสร้างสวนป่าโดยใช้งบประมาณแผ่นดิน
2. การปลูกป่าชายเลนตามมติคณะรัฐมนตรี
3. การปลูกป่าชายเลนตามโครงการเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ฯ
4. โครงการฟื้นฟูทรัพยากรป่าชายเลน เพื่อลดภาวะโลกร้อน โดยภาครัฐ
5. การปลูกป่าถาวรเฉลิมพระเกียรติ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ
6. การปลูกป่าชายเลนโดยภาคเอกชน
7. การปลูกป่าชายเลนโดยภาครัฐร่วมเอกชน
8. การปลูกป่าชายเลนจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ

2.1.1 การปลูกสร้างสวนป่าชายเลนโดยใช้เงินงบประมาณแผ่นดิน

กรมป่าไม้ได้ดำเนินการมานานแล้วในท้องที่จังหวัดจันทบุรี ในบริเวณพื้นที่ป่าที่เสื่อมโทรม โดยดำเนินการปลูกไม้โกงกางเพื่อเป็นการทดลองปลูกในเนื้อที่เพียงเล็กน้อย และไม่มีโครงการที่จะปลูกติดต่อกันมาทุกปี เนื่องจากในขณะนั้นทางรัฐบาลส่งเสริมการปลูกสร้างสวนป่าไม้สักหรือไม้ปาดก ไม่มียกงบประมาณโดยตรงมาใช้ในการปลูกป่าชายเลน ซึ่งต่อมาแม้ว่าจะมีการปลูกเพิ่มขึ้นในท้องที่จังหวัดอื่นด้วย แต่ก็ดำเนินการเพียงพื้นที่เล็กน้อย ไม้ที่ปลูกส่วนใหญ่เป็นไม้โกงกาง ไม้โปรง ส่วนไม้ถั่วปลูกบ้างแต่เป็นส่วนน้อย การปลูกป่าชายเลนที่ผ่านมาเพียงปลูกเพื่อฟื้นฟูสภาพป่าในบริเวณที่เสื่อมโทรมเท่านั้น ยังไม่มีแผนการจัดการที่จะนำไม้ออกมาใช้ประโยชน์แต่อย่างใด เนื้อที่สวนป่าชายเลนที่ได้ดำเนินการปลูกโดยใช้เงินงบประมาณแผ่นดิน ตั้งแต่ พ.ศ.2482 จนถึง พ.ศ.2534 ที่ดำเนินการทั้งสิ้นประมาณ 56,660 ไร่

2.1.2 การปลูกป่าชายเลนตามมติคณะรัฐมนตรี

การปลูกป่าชายเลนของกรมป่าไม้เริ่มกระทำกันอย่างต่อเนื่อง และได้รับการสนับสนุนด้านงบประมาณอย่างเต็มที่ภายหลังจากที่คณะรัฐมนตรีได้มีมติเมื่อวันที่ 4 มิถุนายน พ.ศ.2534 กำหนด ระยะเวลาการ

ดำเนินงานไว้ 5 ปี ตั้งแต่ พ.ศ.2535 – พ.ศ.2539 กำหนดเป้าหมายในส่วนที่เป็นการปลูกป่าชายเลนไว้ 250,000 ไร่ในพื้นที่ที่มีสภาพป่าเสื่อมโทรม และพื้นที่ดินเลนงอกใหม่ ที่มีศักยภาพในการปลูกป่าแล้วได้ผล โดยมีศูนย์ผลิตเมล็ดพันธุ์ไม้ป่าชายเลน จำนวน 4 ศูนย์ การปลูกป่าชายเลนตามโครงการพัฒนาพื้นที่ป่าชายเลนเขตอนุรักษ์ตามมติคณะรัฐมนตรีซึ่งดำเนินการตั้งตั้งแต่ปีพ.ศ.2535 – พ.ศ.2539 ในพื้นที่ 15 จังหวัด ได้เนื้อที่ป่าชายเลนทั้งสิ้น 81,377 ไร่

2.1.3 การปลูกป่าชายเลนโดยภาคเอกชน

การปลูกสร้างสวนป่าชายเลนหรือสวนป่าไม้โกงกางโดยเอกชน อยู่ในบริเวณชายฝั่งทะเลกันอ่าวไทยในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี สมุทรสงคราม สมุทรปราการ จนถึงชลบุรี ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการปลูกสร้างสวนป่าไม้โกงกางเป็นอาชีพในครัวเรือน ในที่ดินกรรมสิทธิ์ซึ่งเป็นมรดกตกทอดต่อๆ กันมา จากการสอบถามประวัติความเป็นมาของราษฎรบางราย ในท้องที่ บ้านตะบูน อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี และที่บ้านยี่สาร อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม ซึ่งได้เริ่มปลูกป่าไม้โกงกางใบเล็กเพื่อเผาถ่านและทำไม้พื้นมาตั้งแต่ปี พ .ศ.2480 และมีราษฎร รายอื่นๆ ทำตาม ติดต่อกันมาจนถึงปัจจุบันโดยจำนวนเนื้อที่ที่แท้จริงของสวนป่าไม้โกงกางที่ราษฎรได้ปลูกขึ้นที่บ้านยี่สาร อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม มีเนื้อที่ประมาณ 16,000 ไร่ โดยดำเนินการอยู่หลายเจ้าของและใช้ประโยชน์ไม้จากสวนป่าที่ปลูกในการเผาถ่านเป็นส่วนใหญ่ แต่ขณะนี้ได้มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่สวนป่าดังกล่าวทำเป็นนาทุ่งไปเป็นจำนวนมากแล้ว

2.1.4 การปลูกป่าชายเลนภาคีรัฐร่วมเอกชน

ปัจจุบันการบริหารจัดการทรัพยากรโดยประชาชนมีส่วนร่วมเป็นเรื่องที่รัฐให้ความสำคัญ การปลูกป่าชายเลนภาคีรัฐร่วมเอกชนในปัจจุบันมีทั้งรูปแบบที่เป็นงบประมาณของรัฐแล้วขอความร่วมมือประชาชนในการเข้าร่วมกิจกรรมเพื่อประโยชน์ในการสร้างความรู้สึกรักและหวงแหนธรรมชาติให้กับประชาชนที่เข้าร่วมกิจกรรมกับรัฐ เพราะการปลูกป่าชายเลนถือเป็นการฟื้นฟูอย่างหนึ่ง แต่การฟื้นฟูที่ยั่งยืนยิ่งกว่าก็คือการให้การศึกษาให้ชาวบ้านได้เข้าใจถึง

ประโยชน์ของป่าชายเลน และรูปแบบที่เอกชนมีงบประมาณและประสงค์จะสนับสนุนการปลูกป่าชายเลนแล้วรัฐเป็นฝ่ายอำนวยความสะดวกในการคัดเลือกพื้นที่ สนับสนุนกล้าไม้ให้กับเอกชน ซึ่งเอกชนที่ให้ความร่วมมือในการปลูกป่าชายเลนกับภาครัฐนั้นมีเอกชนทั้งในและต่างประเทศ สำหรับต่างประเทศนั้น การปลูกป่าประชาอาสาไทย-ญี่ปุ่น มีมาตั้งในอดีต นอกจากนี้ยังมีการสนับสนุนงบประมาณด้านการวิจัยเรื่องการฟื้นฟูป่าพื้นที่เสื่อมโทรม การแก้ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง ฯลฯ ซึ่งตัวอย่างแปลงปลูกป่าชายเลนที่เกิดจากการสนับสนุนเงินทุนและนักวิจัยมาร่วมกับนักวิจัยชาวไทยในการปลูกป่าชายเลนเพื่อแก้ปัญหาพื้นที่เสื่อมโทรมจากการทำนาเกลือ และปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งในจังหวัดนครศรีธรรมราชจำนวน 2 แปลง

2.1.5 การปลูกป่าชายเลนตามโครงการปลูกป่าชายเลน

เฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชได้ทรงพระราชทานพระราชดำริเป็นอเนกประการในการทำนุบำรุงสิ่งแวดล้อม และทรัพยากรป่าไม้ของประเทศทรงพระราชทานพระราชดำริการพัฒนาในด้านต่างๆ ควบคู่กับการอนุรักษ์เสมอด้วยการทรงจัดการใช้ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมให้เกิดประโยชน์แก่พสกนิกรมากที่สุด ประกอบกับสมเด็จพระนางเจ้าฯ พระบรมราชินีนาถ ทรงห่วงใยปัญหาป่าไม้ที่ถูกบุกรุกทำลาย และทรงกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้ท่านผู้หญิงสุประภาดา เกษมสันต์ ราชเลขานุการในพระองค์ อัญเชิญพระราชกระแสมายัง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ตามหนังสือสำนักราชเลขาธิการ ที่ รล 0009/11951 ลงวันที่ 29 ธันวาคม พ.ศ.2535 ให้هامาตรการยับยั้งการทำลายป่า และเร่งฟื้นฟูป่าสภาพต้นน้ำลำธาร โดยทรงโปรดพิจารณาปัญหาการขาดแคลนน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ของชาติที่จะต้องเร่งแก้ไขโดยด่วนที่สุด กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้น้อมอัญเชิญพระราชกระแสของสมเด็จพระนางเจ้าฯ พระบรมราชินีนาถมาเป็นแนวทางในการดำเนินการฟื้นฟูป่าไม้ เพื่อให้สภาพป่าที่เสื่อมโทรมได้กลับคืนสภาพโดยรวดเร็ว โดยได้หารือทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ที่จะให้คนในชาติทุกหมู่เหล่า ทุกสาขาอาชีพได้ร่วมกันปลูกป่าสนองพระราชกระแสของ สมเด็จพระนางเจ้าฯ พระบรมราชินีนาถและน้อมเกล้าฯ ถวายเป็นสักการะเนื่องในวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงครองราชย์ปีที่ 50

ปี พ.ศ.2539 กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จึงได้จัดทำโครงการปลูกป่าถาวรเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เนื่องในวโรกาสทรงครองราชย์ปีที่ 50 ขึ้นระยะที่ 1 มีระยะเวลาดำเนินงานตามโครงการ ฯ 3 ปี (พ.ศ.2537-พ.ศ.2539) ระยะที่ 2 มีระยะเวลาดำเนิน

งานตามโครงการ ฯ 6 ปี (พ.ศ.2540-พ.ศ.2545) และในระยะที่ 3 มีระยะเวลาดำเนินงานตามโครงการ ฯ 5 ปี (พ.ศ.2546-พ.ศ.2550) โดยมีวัตถุประสงค์ คือ

1. ดำเนินการปลูกป่าในพื้นที่เขตอนุรักษ์ให้ครบตามเป้าหมาย จำนวน 5 ล้านไร่
2. เพื่อเป็นการสนองพระราชดำริด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
3. เพื่อเพิ่มพื้นที่ป่าของประเทศให้บรรลุผลตามนโยบายของรัฐบาล
4. เพื่อปลูกฝังจิตสำนึกให้คนในชาติมีใจรักต้นไม้ รักป่าไม้ และหวงแหนทรัพยากรป่าไม้

โดยมีการรณรงค์ และการมีส่วนร่วมของทุกส่วนในการแก้ปัญหาภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้น

2.1.6 การปลูกป่าชายเลนตามโครงการเฉลิมพระเกียรติ

สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์พระบรมราชินีนาถ

โครงการปลูกป่าชายเลนถาวรเฉลิมพระเกียรติ ฯ เป็นโครงการสำคัญของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง โดยสำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลนเริ่มจัดตั้งเมื่อ พ.ศ.2545 มีวัตถุประสงค์เพื่อสนองแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวและสืบสานพระราชปณิธานของสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ ในการอนุรักษ์ป่าชายเลนฟื้นฟูทะเลไทยให้กลับคืนความอุดมสมบูรณ์ และมีศักยภาพในการอำนวยผลผลิตสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน รวมทั้งเกื้อกูลต่อการเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพและรักษาสภาพแวดล้อมของระบบนิเวศป่าชายเลนระบบนิเวศชายฝั่ง และระบบนิเวศทางทะเลให้เป็นไปอย่างสมดุล โดยรณรงค์และส่งเสริมให้ประชาชนทุกหมู่เหล่าร่วมกันฟื้นฟูป่าชายเลนที่เสื่อมโทรมให้กลับคืนความอุดมสมบูรณ์ ให้ชุมชนในท้องถิ่นที่อาศัยอยู่รอบพื้นที่ป่าชายเลนอย่างยั่งยืนต่อไป อีกทั้งเป็นการเฉลิมฉลองเทิดพระเกียรติถวายเป็นราชสักการะในวโรกาสมงคลสมัยเฉลิมพระชนมพรรษา 72 พรรษา ด้วย

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งได้ดำเนินการปลูกป่าชายเลนตามโครงการปลูกป่าถาวรเฉลิมพระเกียรติฯ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2545 – พ.ศ.2551 ได้พื้นที่สวนป่าชายเลนที่ได้ดำเนินการปลูกเสร็จแล้วทั้งสิ้น 24,346 ไร่

2.1.7 การปลูกป่าชายเลนจากพระราชดำรินในสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

การฟื้นฟูระบบนิเวศป่าชายเลนในอุทยานสิ่งแวดล้อมนานาชาติสิรินธร เริ่มต้นเมื่อวันที่ 14 สิงหาคม พ.ศ. 2537 จากพระราชดำรินในสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ให้จัดหาพื้นที่ที่เหมาะสมเพื่อทดลองปลูกและฟื้นฟูสภาพป่าชายเลน ซึ่งการฟื้นฟูสภาพป่าชายเลนในอุทยานฯ แบ่งออกเป็น 3 ระยะ รวมพื้นที่ที่ปลูกไปแล้วจำนวน 140 ไร่ โดยทำการฟื้นฟูบริเวณคลอง 2 คลองได้แก่ คลองบางตราน้อย และคลองบางตราใหญ่ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งรับน้ำจืดจากลุ่มน้ำห้วยใหญ่ ไหลลงทะเลบริเวณทางด้านทิศเหนือและทิศใต้ของอุทยานฯ เป็น บริเวณที่ได้รับอิทธิพลน้ำทะเลขึ้นสูงสุด เกิดเป็นระบบนิเวศน้ำกร่อย

การฟื้นฟูป่าชายเลนระยะที่ 1 ปลูกบริเวณพื้นที่คลองบางตราน้อยและคลองบางตราใหญ่ มีเนื้อที่ประมาณ 80 ไร่ และ 30 ไร่ ตามลำดับ ประกอบด้วยพันธุ์ไม้ป่าชายเลนจำนวน 32 ชนิด (เมื่อวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ.2537 สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนินทรงปลูกต้นโกงกางใบใหญ่ทั้งสองบริเวณ) ซึ่งก่อนการปลูกป่าชายเลนมีการขุดลอกตะกอนทรายที่ทับถมบริเวณปากแม่น้ำทั้ง 2 คลอง เพื่อให้ป่าชายเลนที่ปลูกได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงได้ การฟื้นฟูป่าชายเลนระยะที่ 2 ปลูกบริเวณพื้นที่ส่วนแยกคลองบางตราน้อย มีเนื้อที่ประมาณ 30 ไร่ ประกอบด้วยพันธุ์ไม้ป่าชายเลนจำนวน 22 ชนิด (เมื่อ 20 กรกฎาคม พ.ศ.2544 สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนินทรงปลูกต้นโกงกางใบใหญ่)

2.1.8 การปลูกป่าชายเลนในโครงการฟื้นฟูทรัพยากร เพื่อลดผลกระทบจากภาวะโลกร้อน

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งได้จัดทำโครงการฟื้นฟูทรัพยากรป่าชายเลนเพื่อลดผลกระทบจากภาวะโลกร้อน ตามที่คณะรัฐมนตรีได้มีมติเมื่อวันที่ 18 มีนาคม พ.ศ.2551 และ 1 เมษายน พ.ศ.2551 ให้ดำเนินโครงการเตรียมรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและคุณภาพสิ่งแวดล้อมตามนโยบายของรัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จากข้อมูลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินป่าชายเลน พ.ศ.2543 พบว่าป่าชายเลนถูกเปลี่ยนแปลงไปใช้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ต่างๆ มากมาย แต่ที่มีจำนวนมากที่สุดคือ การเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในจังหวัดนครศรีธรรมราช มีพื้นที่ครอบครองทำประโยชน์ของราษฎรโดยไม่มีเอกสารสิทธิถึง 61,730 ไร่ พื้นที่ขออนุญาตใช้ประโยชน์ จำนวน 4,165 ไร่ จากพื้นที่

ป่าชายเลนตามมติคณะรัฐมนตรีจำนวน 137,686 ไร่ ปัจจุบันมีพื้นที่ป่าชายเลนคงสภาพ จำนวน 71,791 ไร่ การดำเนินโครงการฟื้นฟูทรัพยากรป่าชายเลน เพื่อลดผลกระทบจากภาวะโลกร้อน ทางราชการโดยส่วนบริหารจัดการทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2 และหน่วยราชการในพื้นที่ได้ดำเนินการเจรจาจนได้ข้อสรุประหว่างราษฎรและทางราชการ คือ ให้ทางราชการเข้าดำเนินการปรับปรุงฟื้นฟูสภาพพื้นที่ครึ่งหนึ่ง และให้ราษฎรขออนุญาตเข้าทำประโยชน์เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอีกครึ่งหนึ่ง ซึ่งตามข้อตกลงดังกล่าวได้รับความยินยอมจากราษฎรบางส่วน ผลการดำเนินโครงการส่วนบริหารจัดการทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2 ได้ดำเนินการปลูกฟื้นฟูป่าชายเลนในปี พ.ศ.2551 ทั้งสิ้น 7,000 ไร่ ในท้องที่ตำบลบางจาก ตำบลท่าไร่ ตำบลปากนคร ตำบลท่าซัก ตำบลปากพูน อำเภอเมือง ตำบลปากพั่นฝิ่งตะวันตก ตำบลแหลมตะลุมพุก ตำบลคลองน้อย อำเภอปากพั่น ตำบลท่าศาลา อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช

การปลูกฟื้นฟูป่าชายเลนในประเทศไทยนั้นส่วนใหญ่เป็นการปลูกป่าโกงกาง ทั้งโกงกางใบเล็กและโกงกางใบใหญ่ ส่วนพันธุ์ไม้ป่าชายเลนชนิดอื่นที่มีการปลูกน้อยกว่า ได้แก่ ไบรงแดง ถั่วขาว พังกาหัวสุม แสม ฯลฯ ระบบนิเวศป่าชายเลนจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อสวนป่าชายเลนมีอายุมากขึ้นทั้งทางด้านโครงสร้าง เช่น องค์ประกอบชนิดพันธุ์ ความหนาแน่น การปกคลุมเรือนยอด และทางด้านหน้าที่ เช่น ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การปลูกและฟื้นฟูป่าชายเลนมีบทบาทสำคัญในการควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความหลากหลายทางชีวภาพในบริเวณป่าชายเลน ซึ่งมีความสำคัญต่อสัตว์น้ำในแง่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย แหล่งอาหาร แหล่งวางไข่และอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน การปลูกและฟื้นฟูป่าชายเลนยังเพิ่มผลผลิตของป่าชายเลนโดยจะเพิ่มขึ้นตามอายุของสวนป่า การเพิ่มผลผลิตของป่าชายเลนส่งผลต่อการร่วงหล่นและการผุสลายของเศษไม้เศษใบไม้ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของห่วงโซ่อาหารอีกรูปแบบหนึ่ง ตลอดวงจรระบบรากของป่าชายเลนจะรักษาความชุ่มชื้นและกักตะกอนดินไว้ให้เกิดความหลากหลายของแหล่งที่อยู่ของสิ่งมีชีวิตต่อไป

2.2 มวลชีวภาพ (Biomass)

พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬุ (2538) ให้ความหมายของมวลชีวภาพไว้ว่า หมายถึงน้ำหนักพืชซึ่งขังวัดโดยน้ำหนักแห้ง หรือน้ำหนักแห้งของพืชซึ่งปราศจากน้ำ ซึ่งคือน้ำหนักต่อหน่วยของพืช หรือต่อหน่วยของพื้นที่ ซึ่งหมายถึงมวลชีวภาพของพืชทั้งกลุ่ม ทั้งหมดไม้หรือทั้งสังคมพืช โดยปกติมักใช้น้ำหนักแห้งของพืชต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร หรือ 1 เฮกแตร์ ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ซึ่งสอดคล้องกับที่ Demoll (1972; อ้างถึงใน สุรเชษฐ์ สีแดง, 2551) รายงานไว้ว่า มวลชีวภาพหมายถึง

ถึงปริมาณของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในช่วงเวลาหนึ่งของสถานการณ์ใด ๆ มวลชีวภาพอาจวัดได้ในรูปแบบของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง หรือน้ำหนักอินทรีย์สารที่ไม่รวมถึงน้ำหนักขี้เถ้า (Ash-free dry weight) น้ำหนักคาร์บอน-แคลอรี หรือหน่วยอื่น ๆ ซึ่งอาจเป็นประโยชน์สำหรับวัตถุประสงค์ของการเปรียบเทียบ โดยอาจมีหน่วยเป็น กรัมต่อตารางเมตร กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ หรือคำนวณหาในรูปของพลังงานซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี นอกจากนี้ Brown (1997) ยังให้ความหมายของมวลชีวภาพที่แตกต่างออกไป คือ ปริมาณของสารอินทรีย์ในส่วนที่มีชีวิตทั้งหมดที่พืชสังเคราะห์ขึ้น โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงที่เปลี่ยนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์มาเป็นพลังงานเคมีที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ โดยนำธาตุอาหารมาจากดินและอากาศมาใช้ ซึ่งสารอินทรีย์จะเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพซึ่งวัดออกเป็นน้ำหนักแห้งต่อหน่วยพื้นที่ ยังมี สนิท อักษรแก้ว (2546) ให้ความหมายโดยสรุปไว้ว่า มวลชีวภาพหรือน้ำหนักทั้งหมดของต้นไม้จะเป็นค่าที่บอกการเจริญเติบโตที่ถูกต้องและแน่นอนที่สุด เป็นค่าแสดงถึงการเจริญเติบโตของต้นไม้จริง ๆ ซึ่งไม่มีส่วนผสมของน้ำในมวลชีวภาพ

จากคำนิยามและความหมายดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า มวลชีวภาพหมายถึงปริมาณของสารอินทรีย์ในส่วนต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ซึ่งสามารถตรวจวัดได้ในรูปแบบของน้ำหนักสด (Fresh weight) น้ำหนักแห้ง (Dry weight) น้ำหนักปราศจากขี้เถ้า (Ash free dry weight) หรือน้ำหนักคาร์บอน (Carbon weight) ซึ่งพิจารณาน้ำหนักต่อหน่วยของสิ่งมีชีวิต เช่นต่อต้น ต่อตัว หรือต่อหน่วยของพื้นที่ในกรณีของพืช

2.2.1 การประมาณค่ามวลชีวภาพ

การตรวจวัดหรือประมาณค่ามวลชีวภาพของพืช ปรกติต้องตรวจวัดค่ามวลชีวภาพทั้งหมดของพืช ซึ่งหมายรวมถึงค่ามวลชีวภาพของรากพืชด้วยเช่นกัน ด้วยการตรวจวัดค่ามวลชีวภาพใต้พื้นดิน มีความยากลำบากในการตรวจวัด จึงเป็นที่นิยมที่จะตรวจวัดและประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (สนิท อักษรแก้ว, 2546)

มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above ground biomass; AGB) บ่งบอกถึงปริมาณการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งตรวจวัดโดยตรงได้จากน้ำหนักทั้งหมดของชิ้นส่วนของลำต้นเหนือพื้นดิน ซึ่งได้แก่ ลำต้น กิ่ง ก้าน ใบและผล พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬุ (2538) รายงานไว้ว่า นักนิเวศวิทยาชาวญี่ปุ่น นิยมใช้ความสัมพันธ์ Allometry ระหว่างมิติของต้นไม้ กับปริมาณของมวลชีวภาพ มากกว่าวิธีตัดฟันทั้งแปลงแล้วนำไปตรวจวัด

Komiyama et al. (1988) แบ่งการประมาณหามวลชีวภาพไว้ 3 วิธี คือ 1) การชั่งน้ำหนักสด โดยตัดพืชน้ำในพื้นที่ทั้งหมดที่ต้องการหาค่ามวลชีวภาพ นำไปชั่งน้ำหนัก แล้วอบแห้งและชั่งน้ำหนักแห้ง เปรียบเทียบน้ำหนักสดและแห้ง เพื่อหามวลชีวภาพ ซึ่งวิธีนี้จะให้ค่าความถูกต้องที่แม่นยำ แต่ด้วยความที่ต้องตัดซึ่งทั้งแปลง จึงต้องใช้แรงงาน และเวลาค่อนข้างมาก 2) การเลือกตัดโดยหาค่าเฉลี่ย (Mean tree) ซึ่งใช้ได้ดีสำหรับพื้นที่ที่มีพืชชนิดเดียวกัน และผืนป่าที่มีอายุน้อย 3) การหาตัวอย่างของต้นในพื้นที่ ซึ่งนำมาหาความสัมพันธ์กับส่วนต่างๆ ของพืช วิธีการนี้เรียกว่า วิธีการทางแอลโลเมตรี (Allometric Method)

สุรเชษฐ์ สีแดง (2551) รายงานไว้ว่าการใช้วิธี Allometric Method มีการใช้ครั้งแรกโดย Kittredge เมื่อปี ค.ศ. 1944 โดยมีลักษณะความสัมพันธ์คือ

$$\log W_L = b \log D - a \quad (1)$$

โดย W_L เป็นค่าประมาณมวลชีวภาพของใบไม้ต่อต้น ซึ่งประมาณได้จาก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (D) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ b และ ค่าคงที่ a

ด้วยค่ามิติเส้นผ่าศูนย์กลางในระดับความสูงเพียงอก (Diameter at Breast High; DBH) เป็นค่าที่สามารถตรวจวัดได้โดยไม่ยากนัก จึงนิยมใช้มิติ DBH ในการประมาณค่ามวลชีวภาพอยู่โดยทั่วไป เช่น พงศักดิ์ สหุนาฟู (2538) ใช้ความสัมพันธ์ของมวลชีวภาพต่อหมู่ไม้ (stand) หรือกลุ่มไม้ดังนี้

$$W_S = AD^h \quad (2)$$

โดย W_S เป็นค่าประมาณมวลชีวภาพลำต้นของหมู่ไม้ D เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางที่ความสูงเพียงอก h เป็นค่าคงที่ และ A เป็นค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่ง Ogawa and Kira (1977) เสนอความสัมพันธ์ในลักษณะเดียวกัน ต่างกันเพียงนำเอาความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้มาพิจารณาในความสัมพันธ์ เพื่อลดข้อผิดพลาดในการประมาณค่ามวลชีวภาพลำต้นของหมู่ไม้ ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$W_S = A(D^2 H)^h \quad (3)$$

โดยเพิ่มมิติของความสูงเฉลี่ย (H) ของหมู่ไม้ เข้ามาพิจารณาด้วย ซึ่งต่อมา Komiyama et al. (2005) ให้ความเห็นว่า การวัดความสูงของต้นไม้ในป่าชายเลน ค่อนข้างทำได้ยากและมีความแปรปรวนสูง จึงเสนอให้ใช้ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของเนื้อไม้เฉลี่ยในหมู่ไม้ แทนความสูง ซึ่งเป็นมิติที่ได้จากห้องปฏิบัติการ โดยให้ความสัมพันธ์ในการประมาณค่า

มวลชีวภาพของหมู่ไม้ โดยเรียกว่าความสัมพันธ์ว่า Common Allometric Equation มีสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$W_{top} = 0.251 pD^{2.46} \quad (4)$$

โดย W_{top} เป็นค่าประมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above ground Biomass) p เป็นค่าความถ่วงจำเพาะของเนื้อไม้ป่าชายเลนในแต่ละชนิดพันธุ์ และ D เป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางความสูงเพียงอก

2.3 ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index; LAI)

Breda (2003) รายงานไว้ว่า Watson ให้ความสำคัญจำกัดความของดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ไว้เมื่อปี ค.ศ.1947 ว่าเป็นพื้นที่ทั้งหมดด้านเดียวของใบ โดยเทียบกับพื้นที่ที่พืชปกคลุมอยู่ ด้วยค่านิยามนี้ ค่าดัชนีพื้นที่ใบจึงเป็นมิติที่มีปริมาณบอกลักษณะเรือนยอดของระบบนิเวศของพืชเหล่านั้นได้ ซึ่งลักษณะของเรือนยอดของพืชเป็นส่วนสำคัญในการควบคุม สภาพอากาศ ภายใต้ระบบนิเวศนั้นๆ โดยดัชนีพื้นที่ใบเองจะบ่งบอก ถึงลักษณะของพืชในพื้นที่นั้นๆ ตลอดจนบ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของพืชในระบบนิเวศนั้นๆ ด้วย

2.3.1 การตรวจวัดและประมาณดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index measurement)

Breda (2003) ได้สรุปรวมบทความทางวิชาการว่าด้วยเรื่องการตรวจวัดและประมาณดัชนีพื้นที่ใบไว้ โดยแบ่งการตรวจวัดดัชนีพื้นที่ใบออกเป็น

- 1) การตรวจวัดทางตรง (Direct methods) เป็นการรวบรวมใบของพืชที่สนใจและตรวจวัดรูปร่างเพื่อหาพื้นที่โดยตรง เปรียบเทียบกับพื้นที่ปกคลุมของพืชนั้นๆ ซึ่งสามารถพัฒนาไปสู่ค่าพื้นที่ใบจำเพาะ (Specific Leaf Area; SLA) ซึ่งสามารถนำไปอ้างอิงต่อไปเพื่อการวัดสอบ (Calibration) ซึ่งการตรวจวัดทางตรงนี้ ยังรวมเอาวิธี เก็บเกี่ยวผลผลิต การประมาณด้วยวิธี Allometry และการเก็บซากเศษใบ (litter collection) ซึ่งวิธีการตรวจวัดทางตรงของดัชนีพื้นที่ใบนี้ เป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน ตลอดจนใช้เวลาและทรัพยากรอย่างมาก เนื่องจากเป็นวิธีการตรวจวัดที่ทำลายทรัพยากรไป

- 2) การตรวจวัดดัชนีพื้นที่ใบทางอ้อม (Indirect methods) ด้วยวิธีการตรวจวัดดัชนีพื้นที่ใบทางตรง เป็นการตรวจวัดที่ยุงยากซับซ้อน จึงมีการพัฒนาการตรวจวัดดัชนีพื้นที่ใบทางอ้อมขึ้น โดยใช้การคำนวณจากการส่งผ่านแสงทางเรือนยอดของหมู่ไม้ลงมา ซึ่งได้ประยุกต์ใช้หลักการของทฤษฎีส่งผ่านพลังงานแสง ด้วยวิธีนี้ใช้หลักพื้นฐานทางสถิติและความน่าจะเป็น ตลอดจนเป็นวิธีที่ไม่ทำลายใบไม้ที่ถูกรวบรวม ลักษณะการคำนวณ เป็นการคำนวณพื้นที่ที่แสงส่องผ่านลงมาจากใบในบริเวณเรือนยอด และใช้หลักการทางสถิติคำนวณหาการกระจายตัวของใบ แล้วคำนวณกลับเพื่อบอกค่าดัชนีพื้นที่ใบต่อไป ตัวอย่างของเครื่องวัดพื้นที่ใบ เช่น LICOR-2000 ของบริษัท LICOR ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งหลักการคำนวณช่องว่างของพื้นที่ (Gap fraction) โดยใช้การถ่ายภาพ hemispherical จากระดับพื้นดินขึ้นสู่เรือนยอดของหมู่ไม้

2.3.2 การประมาณ LAI จาก Gap Fraction

จากคู่มือการใช้ โปรแกรม CAN-EYE Version 6.1 (Weiss and Baret, 2010) อธิบายการคำนวณหาพื้นที่ใบด้วย ภาพ hemispherical ให้เข้าใจได้ง่ายๆ ดังนี้

$$LAI = \int_0^H l(h) dh \quad (5)$$

เมื่อ $l(h)$ เป็นความหนาแน่นของใบบริเวณเรือนยอด ให้ H เป็นความสูงเรือนยอด

เมื่อกำหนดให้ $N(H, \theta_v, \varphi_v)$ เป็นค่าเฉลี่ยระหว่างลำแสงกับส่วนของใบบริเวณเรือนยอดในระดับความสูง H ทิศทาง (θ_v, φ_v) ซึ่งหาได้จากสมการดังนี้

$$N(H, \theta_v, \varphi_v) = \int_0^H G(h, \theta_v, \varphi_v) l(h) / \cos \theta_v dh \quad (6)$$

ซึ่ง $G(h, \theta_v, \varphi_v)$ เป็นฟังก์ชันการวางตัวของใบ และจากสมการข้างต้น ทำให้เป็นสมการอย่างง่ายได้ดังนี้

$$N(L, \theta_v, \varphi_v) = G(h, \theta_v, \varphi_v) \cdot LAI / \cos \theta_v \quad (7)$$

จาก Projection function แยกสมการเป็น 2 ชุดได้ดังนี้

$$G(\theta_v, \varphi_v) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} |\cos \psi| g(\theta_1, \varphi_1) \sin \theta_1 d\theta_1 d\varphi_1 \quad (8a)$$

$$\cos \psi = \cos \theta_v \cos \theta_1 + \sin \theta_v \sin \theta_1 \cos(\varphi_v - \varphi_1) \quad (8b)$$

จากสมการข้างต้น ได้ Gap function $P_0(\theta_v, \varphi_v)$ ที่สททาง (θ_v, φ_v) ดังนี้

$$P_0(\theta_v, \varphi_v) = e^{-N(\theta_v, \varphi_v)} = e^{-G(\theta_v, \varphi_v) LAI / \cos(\theta_v)} \quad (9)$$

เรียกว่า Poisson model ซึ่งสามารถเขียนได้

$$P_0(\theta_v, \varphi_v) = e^{-\lambda_0(\theta_v, \varphi_v) \cdot LAI / \cos(\theta_v)} \quad (10)$$

โดย λ_0 เป็นกลุ่มตัวแปรที่มีค่าน้อยกว่า 1 ($\lambda_0 < 1$) จึงได้ว่า

$$Po(57.5^\circ) = \exp(-0.5 LAI / \cos(57.5^\circ)) \Leftrightarrow LAI = \frac{-\ln(Po(57.5^\circ))}{0.93} \quad (11)$$

ซึ่งชุดโปรแกรม CAN-EYE ประมาณค่า LAI จากสมการชุดนี้ และเรียกผลที่ได้ว่า LAI57 (ค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ 57 องศา)

2.4 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

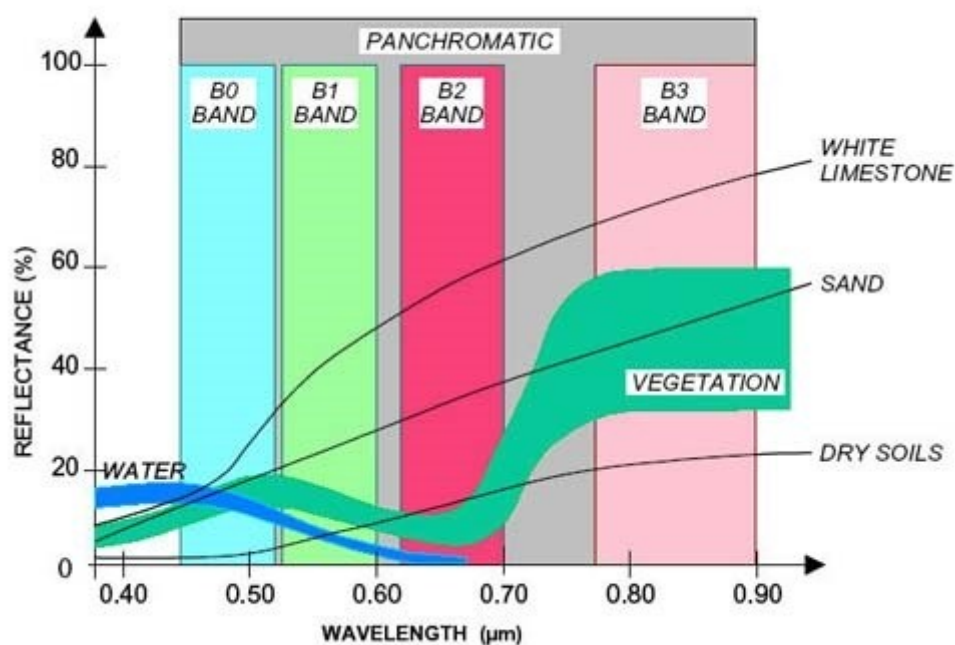
2.4.1 คุณสมบัติของข้อมูลภาพจากกล้องบันทึกภาพช่วงคลื่นแสง (Multispectral) ดาวเทียมไทยโชต

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว โปรดเกล้าฯ พระราชทานชื่อดาวเทียมสำรวจทรัพยากร “ดาวเทียมไทยโชต” (Thaichote) เมื่อวันที่ 10 ธันวาคม 2554 แทนชื่อ “ธีออส” (THEOS) ซึ่งเป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรของประเทศไทย โดยติดตั้งกล้องบันทึกภาพ 2 ระบบ คือกล้องบันทึกภาพช่วงคลื่นเดียว (Panchromatic camera; PAN) บันทึกภาพที่รายละเอียดจุดภาพ 2 เมตร และกล้องภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral camera; MS) บันทึกภาพ 4 ช่วงคลื่น ในช่วงคลื่นแสง (Visible channel) มีแนวบันทึกภาพครอบคลุม 90 กิโลเมตร รายละเอียดจุดภาพที่ 15 เมตร ซึ่งเป็นกล้องบันทึกภาพที่สามารถกำหนดมุมภาพถ่ายได้จากแนวตั้งถึง 30 องศา จึงมี

โอกาสบันทึกภาพในพื้นที่ศึกษาได้บ่อยขึ้น ในขณะที่การโคจรซ้ำที่เดิมในเวลา 26 วัน รายละเอียดของกล้องบันทึกภาพ Thaichote MS แสดงไว้ในตารางที่ 2-1 และตัวอย่างการสะท้อนพลังงานของวัตถุแสดงไว้ในภาพที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 รายละเอียดช่วงคลื่นของข้อมูลภาพจากกล้องบันทึกภาพ Thaichote MS

Channel	Wavelength (micrometers)
Band B0 (น้ำเงิน)	0.45 – 0.52
Band B1 (เขียว)	0.53 – 0.60
Band B2 (แดง)	0.62 – 0.69
Band B3 (อินฟราเรดใกล้)	0.77 – 0.90



ภาพที่ 2-1 ตัวอย่างการสะท้อนพลังงานของวัตถุทดสอบของกล้องบันทึกภาพบนดาวเทียมไทยโชต ภาพจากสำนักจากพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552

2.4.2 คุณสมบัติของข้อมูลภาพจากกล้องบันทึกภาพหลายช่วงคลื่น ALOS Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2 (AVNIR-2)

กล้องบันทึกภาพ AVNIR-2 ติดตั้งบนดาวเทียม Advanced Land Observation Satellite (ALOS) ซึ่งเป็นโครงการสำรวจทรัพยากร ขององค์กร Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) ของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นกล้องบันทึกภาพที่พัฒนาต่อยอดจากกล้องบันทึกภาพ Advance Visible and Near Infrared Radiometer (AVNIR) ซึ่งเคยติดตั้งบนดาวเทียม ADEOS กล้องบันทึกภาพ AVNIR-2 บันทึกข้อมูลภาพที่รายละเอียดจุด 10 เมตร ณ มุมตั้ง และสามารถเอียงมุมกล้องได้ถึง 44 องศา บันทึกภาพใน 4 ช่วงคลื่นดังรายละเอียดในตารางที่ 2.2 การโคจรกลับมาตำแหน่งเดิมใช้เวลา 46 วัน แนวบันทึกภาพครอบคลุมพื้นที่ 70 กิโลเมตร ข้อมูลภาพที่บริการบันทึกในลักษณะ 8 บิตต่อจุดภาพ (Earth Observation Research Center, 2009)

ตารางที่ 2-2 รายละเอียดช่วงคลื่นของข้อมูลภาพจากกล้องบันทึกภาพ ALOS AVNIR-2

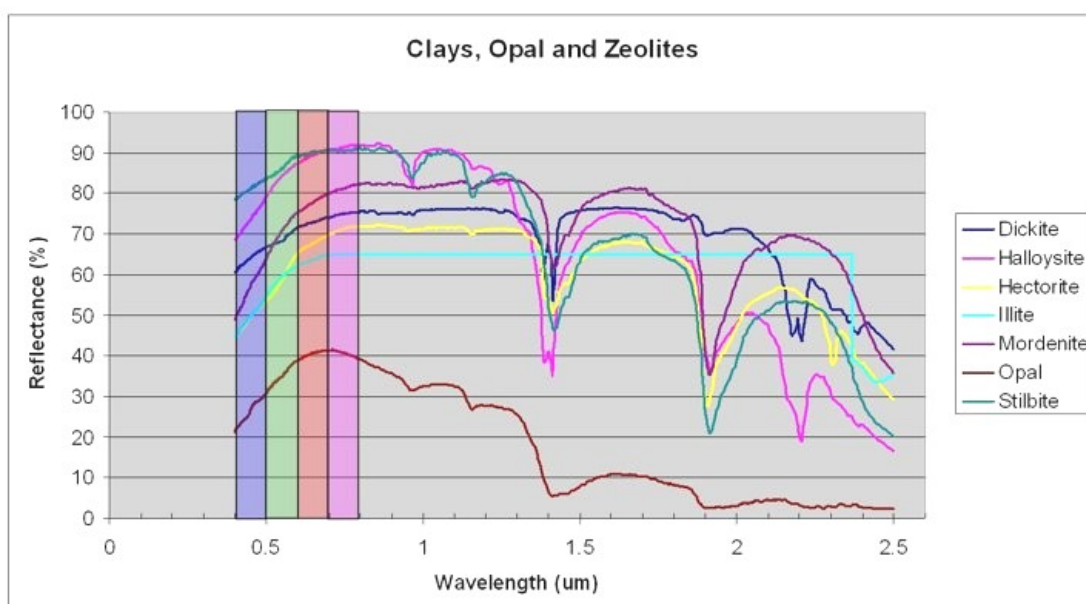
Channel	Wavelength (micrometer)
Band 1	0.42 – 0.55
Band 2	0.52 – 0.60
Band 3	0.61 – 0.69
Band 4	0.76 – 0.89

2.4.3 คุณสมบัติของข้อมูลภาพจากกล้องบันทึกภาพหลายช่วงคลื่น QuickBird Multispectral

บริษัท DigitalGlobe สหรัฐอเมริกาพัฒนาธุรกิจบริการข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยส่งดาวเทียม QuickBird เพื่อบันทึกภาพรายละเอียดสูง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 โดยสามารถบันทึกข้อมูลภาพได้ที่รายละเอียดจุดภาพ 2.44 เมตรที่มุมตั้ง ที่ช่วงคลื่นแสง รายละเอียดช่วงคลื่นแสดงไว้ในตารางที่ 2-3 และตัวอย่างค่าสะท้อนพลังงานแสงที่กล้องบันทึกภาพรับได้ ในภาพที่ 2-2 ดาวเทียม QuickBird สามารถบันทึกภาพในพื้นที่เดิมในระยะเวลา 1 – 4 วัน โดยมีพื้นที่ครอบคลุม 16.5 กิโลเมตรต่อภาพ

ตารางที่ 2-3 รายละเอียดช่วงคลื่นที่บันทึกโดยกล้องบันทึกภาพ QuickBird Multispectral

Channel	Wavelength (micrometer)
Band 1	0.45 – 0.52
Band 2	0.52 – 0.60
Band 3	0.63 – 0.69
Band 4	0.76 – 0.90



ภาพที่ 2-2 ตัวอย่างค่าสะท้อนพลังงานแสงที่กล้องบันทึกภาพ QuickBird MS บันทึกได้

(ภาพจาก Scott Baker's Website, 2012)

2.4.4 คุณสมบัติของข้อมูลภาพจากกล้องบันทึกภาพช่วงคลื่นไมโครเวฟ ALOS PALSAR

ALOS Phased Arrayed L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR) เป็นกล้องบันทึกพลังงาน ในกลุ่มช่วงคลื่น Microwave ซึ่งเป็นกล้อง Active microwave remote sensing มีความสามารถถ่ายภาพได้ ทั้งกลางวันและกลางคืน ด้วยคุณสมบัติของช่วงคลื่น Microwave สามารถทะลุผ่านเมฆ หมอกได้ และผู้พัฒนาได้ออกแบบกล้อง PALSAR ให้มี Multi-Polarization คือแนวการส่ง-รับพลังงาน ทำให้เกิดทางเลือกใช้ข้อมูลเพิ่มมากขึ้น โดยมี

วัตถุประสงค์เพื่อสนับสนุนงานด้านธรณีวิทยา และสำรวจทรัพยากรอื่นๆ (Earth Remote Sensing Data Analysis Center, 2009) มีคุณสมบัติโดยสรุปไว้ในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 คุณสมบัติของข้อมูลภาพ ALOS PALSAR ในแต่ละโหมด (ดัดแปลงจาก Earth Remote Sensing Data Analysis Center, 2008)

Mode	Fine	ScanSar	Polarimetric	
Center Frequency	1270 MHz (L-Band)			
Bandwidth	28 MHz	14 MHz	14 and 28 MHz	14 MHz
Polarization	HH or VV	HH+HV VV+VH	HH or VV	HH+HV+VH+VV
Incidence angle	8~60 deg.	8~60 deg.	18~43 deg.	8~30 deg.
Range Resolution	7~44 m.	14~88 m.	100 m.	24~89 m.
Swath	40~70 km.	40~70 km.	250~350 km.	20~65 km.
Quantization	5 bits	5 bits	5 bits	3 or 5 bits

2.5 ดัชนีพืชพรรณ (Spectrum Vegetation Indices)

Jensen (2000) สรุปเรื่องดัชนีพืชพรรณไว้ว่า นักวิจัยพยายามศึกษาแบบจำลองและคำนวณค่าปัจจัยต่าง ๆ ของพืชพรรณ โดยการใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม มาตั้งแต่ทศวรรษที่ 60 และพัฒนาต่อมาจนก่อให้เกิดเป็น ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับพลังงานแสงของพืชพรรณ กับปริมาณความหนาแน่นของพืชพรรณ หรือปัจจัยอื่น ๆ ของพืชเช่น ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) อัตราการปกคลุมพื้นที่ของพืช ปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืช ปริมาณมวลชีวภาพของพืช เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของดัชนีพืชพรรณที่ดี ควรมีดังต่อไปนี้

- ตอบสนองได้ดีต่อบัญชีทางด้านชีวฟิสิกส์ ของพืช และควรมีความสัมพันธ์กันอย่างตรงไปตรงมา (Linear relation) ซึ่งสามารถตรวจสอบและปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์ได้
- ลดผลกระทบจากข้อจำกัดของปัจจัยภายนอกอื่น ๆ เช่น มุมของดวงอาทิตย์ มุมของกล้องบันทึกภาพ หรือปัจจัยอันเกิดจากสภาพบรรยากาศ

- ลดผลกระทบจากข้อจำกัดปัจจัยภายใน เช่น การเปลี่ยนแปลงฉากหลังของท้องฟ้า ภูมิประเทศ ชนิดดิน หรือขนาดของลำต้นของพืช
- สามารถวัดคุณสมบัติทางชีวฟิสิกส์ได้ เช่น ปริมาณมวลชีวภาพ ดัชนีพื้นที่ใบ หรือการดูดซับพลังงานแสงของพืช เพื่อตรวจคุณภาพของพืชในพื้นที่

ตารางที่ 2-5 ตัวอย่างดัชนีพืชพรรณที่สำคัญเรียงตามช่วงเวลาพัฒนา (ดัดแปลงจาก Jensen (2000))

ดัชนีพืชพรรณ	สมการ	ปี ค.ศ. ที่ เผยแพร่
Simple Ratio	$SR = \frac{NIR}{RED}$	1968
Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = \frac{NIR - red}{NIR + red}$	1974
Kauth-Thomas Transformed	$B = 0.332_{mss1} + 0.603_{mss2} + 0.675_{mss3} + 0.262_{mss4}$ $G = -0.283_{mss1} - 0.66_{mss2} + 0.577_{mss3} + 0.388_{mss4}$ $Y = -0.899_{mss1} + 0.428_{mss2} + 0.076_{mss3} - 0.041_{mss4}$ $N = -0.016_{mss1} + 0.131_{mss2} - 0.452_{mss3} + 0.882_{mss4}$	1976
	$B = 0.0243_{im1} + 0.4158_{im2} + 0.5524_{im3} + 0.5741_{im4} + 0.3124_{im5} + 0.2303_{im}$ $G = -0.1603_{im1} - 0.2819_{im2} - 0.4939_{im3} + 0.794_{im4} - 0.0002_{im5} - 0.1446_{im}$ $W = 0.0315_{im1} + 0.2021_{im2} + 0.3102_{im3} + 0.1594_{im4} - 0.6806_{im5} - 0.6109_{im}$	1985
Infrared Index (II)	$II = \frac{NIR_{TM4} - MidIR_{TM5}}{NIR_{TM4} + MidIR_{TM5}}$	1983
Perpendicular Vegetation Index	$PVI = \sqrt{(0.355_{mss4} - 0.149_{mss2})^2 + (0.355_{mss2} - 0.852_{mss4})^2}$	1977
Greenness Above Bare Soil	$GRABS = G - 0.09178B + 5.58959$	1979
Moisture Stress Index	$MSI = \frac{MidIR_{TM5}}{NIR_{TM4}}$	1986
Leaf Relative Water Content Index	$LWCI = \frac{-\log[1 - (NIR_{TM4} - MidIR_{TM5})]}{-\log[1 - NIR_{TM4} - MidIR_{TM5}]}$	1987
MidIR Index	$MidIR = \frac{MidIR_{TM5}}{NIR_{TM7}}$	1988
Soil Adjust Vegetation Index	$SAVI = \frac{(1+L)(NIR-red)}{NIR+red+L}$	1992
Atmospherically Resistant Vegetation Index	$ARVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{rb}}{\rho_{nir} + \rho_{rb}}$	1994
Enhanced Vegetation Index	$EVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + C_1\rho_{red} - C_2\rho_{blue} + L}(1+L)$	1999

ปัจจุบันมีการใช้ดัชนีพืชพรรณมากกว่า 20 วิธี ดังแสดงดัชนีพืชพรรณที่น่าสนใจไว้ในตารางที่ 2.1 โดยสรุปรายละเอียดดัชนีพืชพรรณที่เลือกมาเป็นตัวอย่างต่อไป ดัชนีพืชพรรณบางวิธี เป็นวิธีที่มีความคล้ายคลึงกัน หรือปรับเปลี่ยนตัวแปรเพื่อให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา บาง

วิธีพัฒนาขึ้นเพื่อหาค่าปัจจัยชีวฟิสิกส์เฉพาะด้าน ซึ่งดัชนีพืชพรรณที่ยอมรับกันว่าเป็นวิธีแรกคือ Simple Ratio (SR) ซึ่งพัฒนาโดย Birth and McVey เมื่อปี ค.ศ.1968 โดยคำนวณอัตราส่วนระหว่างอัตราการสะท้อนพลังงานแสงในช่วงคลื่นอินฟราเรด (Infrared; NIR) และช่วงคลื่นสีแดง (Red)

$$SR = \frac{NIR}{RED} \quad (12)$$

เมื่อ ค.ศ 1974 Rouse และคณะ พัฒนาดัชนีพืชพรรณที่สำคัญ เรียก Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ซึ่งเป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยในเบื้องต้นพัฒนาขึ้นมาใช้กับข้อมูลภาพจากกล้องบันทึกภาพ Landsat MSS ซึ่งต่อมา ค.ศ 1975 Deering และคณะดัดแปลงสมการโดยการเพิ่มค่าให้ $NDVI + 0.5$ เพื่อเลี่ยงค่าที่ติดลบ และถอด Square root ผลให้ค่าแปรปรวนของผลลดน้อยลง เป็นที่มาของ Transformed Vegetation Index (TVI) โดยดัชนีนี้ได้ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณมวลชีวภาพและคลอโรฟิล ในพืชได้เป็นอย่างดี

$$NDVI = \frac{NIR - red}{NIR + red} \quad (13)$$

ปี ค.ศ.1976 Kauth and Thomas พัฒนาชุดสมการเพื่อแปลงข้อมูลภาพจากกล้องบันทึกภาพ Landsat MSS ให้อยู่รูปของข้อมูลมิติใหม่ เรียกสมการแปลงข้อมูลที่ได้ว่า สมการ Tasseled Cap หรือ สมการ Kauth-Thomas ซึ่งจะได้ผลเป็น 4 แกนใหม่คือดัชนีค่าความสว่างของดิน (Soil brightness index; B) ดัชนีพืชพรรณ (Green vegetation index; G) ดัชนีวัตถุสีเหลือง (Yellow stuff index; Y) และ ดัชนีค่าว่างเปล่า (Non-such; N)

$$\begin{aligned} B &= 0.332_{mss1} + 0.603_{mss2} + 0.675_{mss3} + 0.262_{mss4} \\ G &= -0.283_{mss1} - 0.66_{mss2} + 0.577_{mss3} + 0.388_{mss4} \\ Y &= -0.899_{mss1} + 0.428_{mss2} + 0.076_{mss3} - 0.041_{mss4} \\ N &= -0.016_{mss1} + 0.131_{mss2} - 0.452_{mss3} + 0.882_{mss4} \end{aligned} \quad (14)$$

ปี ค.ศ.1985 Crist ได้พัฒนาค่าสัมประสิทธิ์ของข้อมูลภาพในช่วงคลื่นแสงและอินฟราเรดระยะใกล้และระยะกลาง (Near-infrared and Mid-infrared) จากกล้องบันทึกภาพ Landsat Thematic Mapper (TM) ให้อยู่ในรูปของ ดัชนีความสว่าง (Brightness) ดัชนีความเขียว (Greenness) และดัชนีความชื้น (Wetness)

$$\begin{aligned}
 B &= 0.0243_{tm1} + 0.4158_{tm2} + 0.5524_{tm3} + 0.5741_{tm4} + 0.3124_{tm5} + 0.2303_{tm7} \\
 G &= -0.1603_{tm1} - 0.2819_{tm2} - 0.4939_{tm3} + 0.794_{tm4} - 0.0002_{tm5} - 0.1446_{tm7} \\
 W &= 0.0315_{tm1} + 0.2021_{tm2} + 0.3102_{tm3} + 0.1594_{tm4} - 0.6806_{tm5} - 0.6109_{tm7}
 \end{aligned} \quad (15)$$

ดัชนีความชื้น เป็นดัชนีที่สำคัญ โดยคำนวณได้จากข้อมูลภาพจากกล้องบันทึก Landsat TM จากช่วงคลื่นอินฟราเรดกลางช่วงคลื่นที่ 5 และ 7 ซึ่งตอบสนองได้ดีกับความชื้นในพืช และไม่นำเอาช่วงคลื่นที่ 6 ซึ่งเป็นอินฟราเรดความร้อน มาใช้คำนวณในดัชนีพืชพรรณด้วย สมการแปลง Tasseled Cap เป็นดัชนีที่ใช้ทั่วไป ในทางทฤษฎีสามารถนำมาใช้ได้ทุกพื้นที่ทั่วโลก แต่ในทางปฏิบัติ เพื่อให้ได้ผลที่ดีจำเป็นต้องคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เฉพาะในแต่ละพื้นที่

ในปี ค.ศ.1983 Hardisky และคณะพัฒนา Infrared Index (II) ซึ่งตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพและความชื้นของพืชได้ดีกว่าดัชนีพืชพรรณ NDVI ในพื้นที่ชุ่มน้ำ

$$II = \frac{NIR_{TM4} - MidIR_{TM5}}{NIR_{TM4} + MidIR_{TM5}} \quad (16)$$

ในปี ค.ศ.1977 Richardson and Wiegand ใช้ระยะฉากของ Soil Line เพื่อเป็นดัชนีพืชพรรณ โดยใช้ Soil Line ที่ได้จาก ดัชนีความสว่าง (Brightness Index) ของ Kauth-Thomas ซึ่งประมาณค่าได้โดยใช้วิธี Linear Regression และเรียกสิ่งที่ได้ว่า "Perpendicular Vegetation Index (PVI)" ซึ่งใช้ข้อมูลภาพจากกล้องบันทึกภาพ Landsat MSS

$$PVI = \sqrt{(0.355_{mss4} - 0.149_{mss2})^2 + (0.355_{mss2} - 0.852_{mss4})^2} \quad (17)$$

ถัดมาปี ค.ศ.1979 Hey และคณะ ได้เสนอดัชนีพืชพรรณที่เรียกว่า Greenness Above Bare Soil (GRABS) ซึ่งใช้ค่าดัชนีที่ได้จาก สมการแปลงข้อมูลของ Kauth-Thomas คือ Greenness (G) และ Soil Brightness (B) ซึ่งผลที่ได้ใกล้เคียงกับ ดัชนีพืชพรรณ Greenness Vegetation Index (GVI) ของ Kauth-Thomas ในกรณีที่มี Soil Brightness น้อยกว่า 10% ของ GVI

$$GRABS = G - 0.09178B + 5.58959 \quad (18)$$

ใน ปีค.ศ.1986 Rock และคณะ ได้ประยุกต์ใช้ Moisture Stress Index (MSI) ซึ่งใช้ข้อมูลภาพจากกล้องบันทึกภาพ Landsat Thematic Mapper ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นอินฟราเรดระยะกลาง

$$MSI = \frac{MidIR_{TM5}}{NIR_{TM4}} \quad (19)$$

ในปีถัดมา ค.ศ.1987 Hunt และคณะได้พัฒนา Leaf Water Content Index (LWCI) เพื่อศึกษาปริมาณน้ำในใบพืช

$$LWCI = \frac{-\log[1 - (NIR_{TM4} - MidIR_{TM5,\beta})]}{-\log[1 - NIR_{TM4} - MidIR_{TM5,\beta}]} \quad (20)$$

โดย ft เป็นอัตราส่วนการสะท้อนพลังงานแสงในช่วงคลื่นนั้น ๆ ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ของพืช (Relative Water Content; RWC) สูงที่สุด ซึ่งคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$RWC = \frac{\text{field weight} - \text{oven dry weight}}{\text{turgid weight} - \text{oven dry weight}} * 100 \quad (21)$$

ปี ค.ศ. 1988 Musick และ Pelletier สาธิตให้เห็นว่า MidIR Index มีค่าสหสัมพันธ์ ที่ดีกับความชื้นในดิน

$$MidIR = \frac{MidIR_{TM5}}{NIR_{TM7}} \quad (22)$$

ยังมีการพัฒนาดัชนีพืชพรรณเพื่อใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียมศึกษาติดตามการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศของสังคมพืชอยู่ตลอดเวลา ทั้งที่พัฒนาขึ้นใหม่และดัดแปลงจากดัชนีพืชพรรณที่มีอยู่ เช่น ดัชนีพืชพรรณ NDVI เป็นหนึ่งดัชนีที่มีการดัดแปลงรูปแบบไปอย่างกว้างขวาง เพื่อให้เหมาะสมในการใช้งานในพื้นที่ต่าง ๆ เช่น Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) ซึ่ง เมื่อ ค.ศ.1988 Huete นำเอาปัจจัย Soil Calibration (L) มาประยุกต์ใช้กับ NDVI เพื่อลดผลกระทบอันเนื่องมาจากการสะท้อนพลังงานแสงจากดิน

$$SAVI = \frac{(1+L)(NIR-red)}{NIR+red+L} \quad (23)$$

โดย ค่าของ L ถูกเสนอให้ใช้ที่ 0.5 ในพื้นที่ ที่มีอิทธิพลจากการสะท้อนพลังงานแสงของดินน้อยที่สุด และปรับแต่งให้มากขึ้นตามความเหมาะสมของพื้นที่ที่ได้ตามอิทธิพลจากการสะท้อนพลังงานแสงของดิน จาก SAVI ยังมีการพัฒนาต่อเป็นดัชนีพืชพรรณ Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI)

$$ARVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{rb}}{\rho_{nir} + \rho_{rb}} \quad (24)$$

โดย $\rho_{rb} = \rho_{red} - \gamma(\rho_{blue} - \rho_{red})$ และโดยทั่วไป Gramma (γ) มีค่า เป็น 1 ถึง 0 ขึ้นอยู่กับสภาพบรรยากาศ โดยที่ Kaufman และ Tanre ได้พัฒนาคำแนะนำในการใช้ค่า Gramma ไว้เมื่อปี ค.ศ.1992 ต่อมาในปี ค.ศ.1994 Huete และ Liu ได้ประยุกต์ ค่า L จาก SAVI และการใช้ช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน (Blue-band Normalization) ใน ARVI เรียกดัชนีพืชพรรณที่ได้ว่า Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index (SARVI) เพื่อปรับแก้อิทธิพลอันเกิดจากการสะท้อนพลังแสงของดินและอิทธิพลของบรรยากาศไปในคราวเดียวกัน ทั้งยังมีการปรับปรุงสมการในเหมาะสมกับการใช้งานในบางพื้นที่ เรียกว่า Modified SARVI (MSARVI)

$$SARVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{rb}}{\rho_{nir} + \rho_{rb} + L} \quad (25)$$

$$MSARVI = \frac{2\rho_{nir} + 1 - \sqrt{[(2\rho_{nir} + 1)^2 - \gamma(\rho_{nir} - \rho_{rb})]}}{2}$$

ในปี ค.ศ. 1999 ทีมทำงาน MODIS Land Discipline เสนอ Enhanced Vegetation Index (EVI) เพื่อใช้งานข้อมูลภาพจากกล้องบันทึก MODIS ซึ่งดัดแปลงจาก ดัชนีพืชพรรณ NDVI และ ค่า L เพื่อปรับแก้ค่าพลังงานสะท้อนจากดิน

$$EVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + C_1\rho_{red} - C_2\rho_{blue} + L}(1 + L) \quad (26)$$

C_1 และ C_2 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของพลังงานสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีแดงและช่วงคลื่นสีน้ำเงิน เพื่อปรับแก้อิทธิพลจากบรรยากาศ ซึ่งค่าที่แนะนำที่ได้จากการทดสอบคือ $C_1=6.0$ $C_2=7.5$ และ $L=1$ ซึ่งดัชนีพืชพรรณ EVI นี้พัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองกับพื้นที่ ที่มีพืชหนาแน่นและลดอิทธิพลจากบรรยากาศ

2.6 การหลอมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม (Satellite Image Fusion)

การหลอมภาพเป็นอีกหนึ่งกรรมวิธีทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำเอาข้อมูลที่สนใจให้เด่นชัดขึ้น ซึ่งการประยุกต์ใช้งานหลายด้าน เช่น Medical Image Fusion เป็นใช้กรรมวิธีหลอมภาพเพื่อช่วยวิเคราะห์พยาธิสภาพทางการแพทย์ เช่น Magnetic Resonance Image (MRI) หรือ Computed Tomography (CT) แต่ที่จะกล่าวในที่นี้เป็นการหลอมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม (Satellite Image Fusion) เช่นการหลอมภาพเชิงแสงหลายช่วงคลื่น (Multi-Spectrum) กับภาพเชิงแสงขาวดำ (Panchromatic) เพื่อเพิ่มรายละเอียดเชิงจุดภาพให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกับภาพ

เชิงแสงหลายช่วงคลื่น เรียกรวมวิธีเพิ่มคุณภาพของรายละเอียดจุดภาพนี้ว่า Pan-Sharpening มีการเสนอและรายงานกรรมวิธีการหลอมภาพมากมาย แต่ที่นิยมใช้หลัก ๆ ได้แก่

2.6.1 Color Normalized Brovey Sharpening (CN)

เป็นกรรมวิธีทางคณิตศาสตร์ ซึ่งใช้อัตราส่วนระหว่างขนาดของจุดภาพในช่วงคลื่นแสงหลายช่วงคลื่นกับจุดภาพในช่วงคลื่นแสงขาวดำ มีลำดับขั้นตอนเบื้องต้นดังนี้

1. ใช้ภาพในช่วงคลื่นแสงหลายช่วงคลื่นคูณด้วยอัตราส่วนของจุดภาพรายละเอียดสูงกับผลรวมของภาพในช่วงคลื่นแสงทุกช่วงคลื่น
2. Resample ขนาดของจุดภาพในช่วงคลื่นแสงหลายช่วงคลื่น ให้เท่ากับ จุดภาพรายละเอียดสูงโดย เลือกใช้ฟังก์ชัน Nearest Neighbor, Bilinear หรือ Cubic Convolution อย่างไม่อย่างหนึ่ง
3. ข้อมูลภาพที่ได้ จะมีรายละเอียดจุดภาพเท่ากับภาพช่วงคลื่นเชิงแสงขาว-ดำ (Panchromatic)

Magsud and Samarakoon (2006) แสดงเป็นสมการไว้ดังนี้

$$Fusion_b = \left(\frac{Multi_b}{Multi_{sum}} \right) * PAN \quad (27)$$

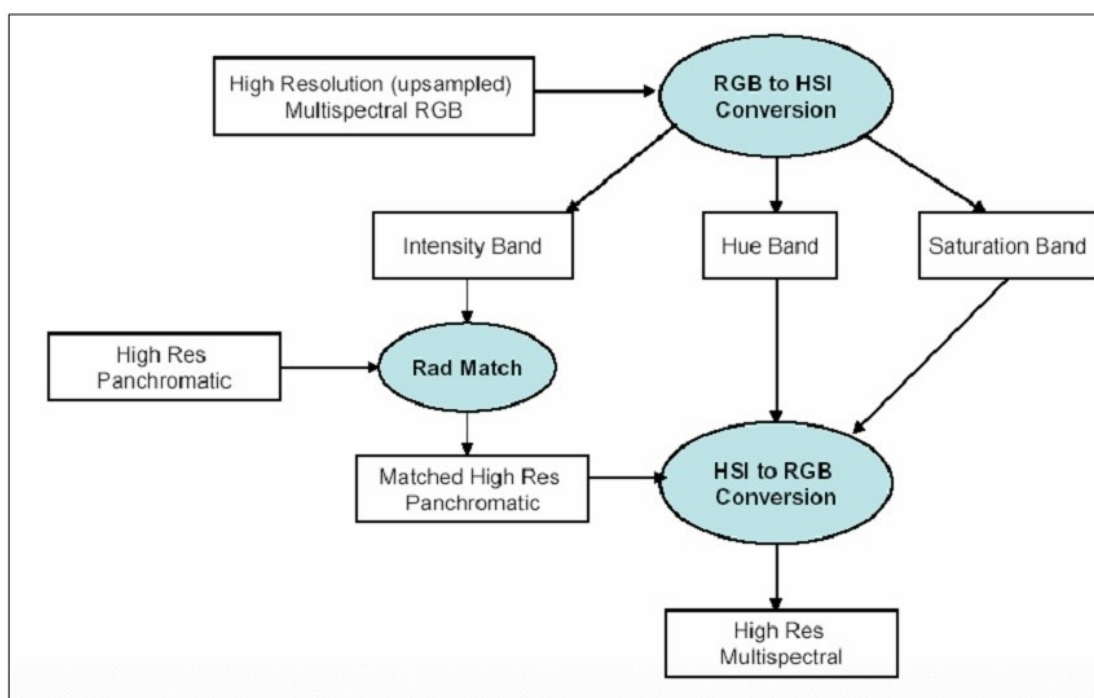
โดย b คือ ข้อมูลในแต่ละช่วงเชิงแสง และ sum หมายถึงค่าทั้งหมดของการรวมข้อมูลในทุกช่วงคลื่นแสง

2.6.2 Smoothing Filter-based Intensity Modulation (SFIM)

เป็นการแปลงระบบสีของข้อมูลภาพสีผสมเท็จ (False color composite) ซึ่งใช้ฐานการพัฒนาจากการแปลงภาพ Hue Saturation Intensity (HSI) transformation ในระบบสี Red Green Blue (RGB) ไปเป็นระบบสี HSI และเปลี่ยนค่า Intensity (I) ด้วยข้อมูลภาพที่มีรายละเอียดสูง ก่อนที่จะแปลงกลับไปเป็นข้อมูลภาพในระบบสี RGB ข้อมูลภาพใหม่ที่ได้จะมีรายละเอียดเท่ากับภาพรายละเอียดสูงและมีหลายช่วงคลื่นเหมือนต้นฉบับ มีการทำงานสมการที่ 28 (สมพร สง่างศ์, 2552; Magsud and Samarakoon, 2006)

$$SFIM = \frac{(XS_{i,j,k} * PN_{i,j})}{FP_{i,j}} \quad (28)$$

โดย i และ j เป็นพิกัดจุดภาพของข้อมูลภาพในช่วงคลื่น k ซึ่งเป็นข้อมูลภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral; XS) ที่ตรงกับพิกัดจุดภาพของข้อมูลภาพช่วงคลื่นขาว-ดำ (Panchromatic; PN) และ FP เป็นค่าเฉลี่ยของ ค่าในข้อมูล Pn_{ij} ที่ได้จากการเฉลี่ยจากข้อมูลจุดภาพรอบๆ (Filter Grid) (Behnia, 2005)



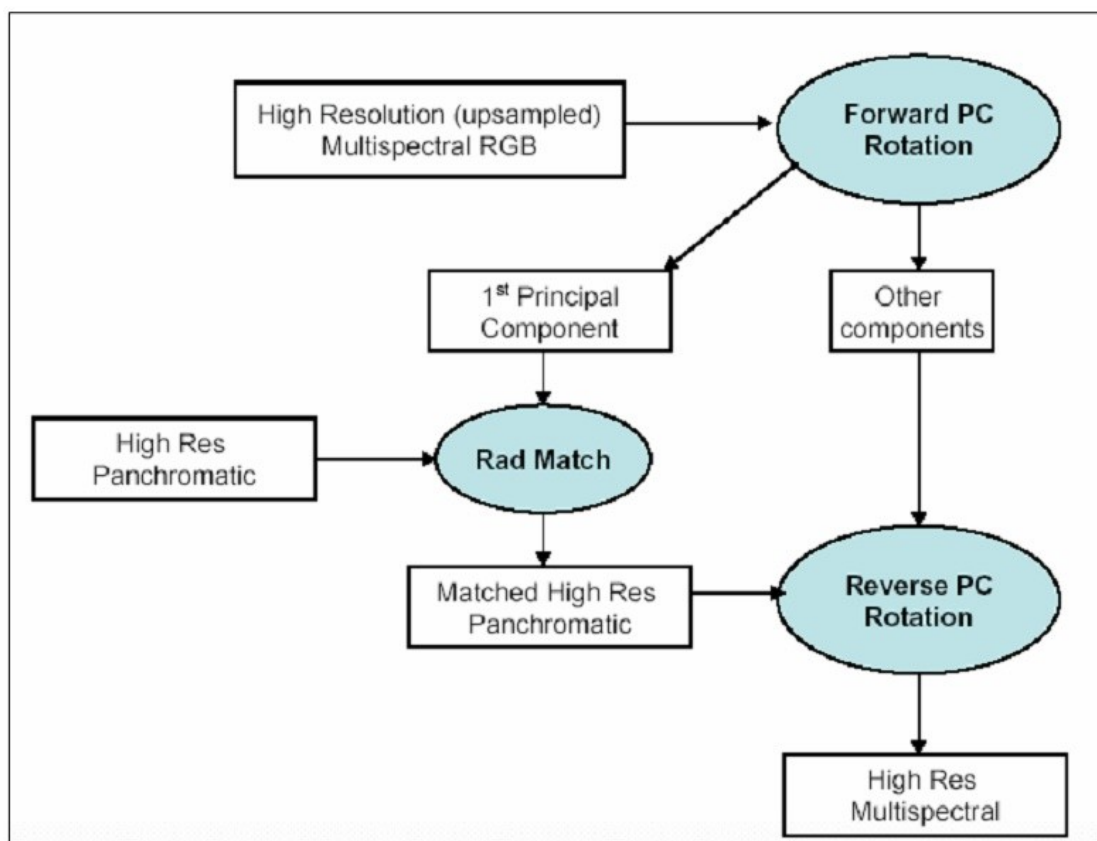
ภาพที่ 2-3 แสดงหลักการทำงานของกรรมวิธีการหลอมภาพ Hue Saturation Intensity Transformation

(คัดแปลงจาก Magsud and Samarakoon, 2006)

2.6.3 Gram-Schmidt Sharpening

เป็นกรรมวิธีการหลอมภาพโดยการใช้ค่าทางสถิติเข้ามาช่วยในการพิจารณาค่าใหม่ของข้อมูลภาพ ซึ่งเป็นลิขสิทธิ์ของบริษัท Kodak / RSI ที่มีใช้ในชุดโปรแกรม ITT ENVI 4.7 (ปัจจุบันเปลี่ยนเป็น Exelisvis ENVI) โดยใช้ฐานพัฒนากกรรมวิธีมาจาก Principal Components Analysis (PCA) Spectral Sharpening ซึ่งใช้การลดมิติของข้อมูลภาพหลายช่วงคลื่น ให้เหลือเพียงตัวแทนข้อมูลในองค์ประกอบหลัก โดยไม่สูญเสียรายละเอียดเดิมของข้อมูล เนื่องจากข้อมูลภาพหลายช่วงคลื่นมักมีมากกว่า 3 ช่วงคลื่น ซึ่งไม่สามารถแทนค่าช่วงคลื่นให้ครบได้ด้วย สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) จึงมีการรวมข้อมูลภาพดังกล่าวเข้าด้วยกัน แล้ว

วิเคราะห์ด้วยกรรมวิธี PCA เพื่อสร้างชุดข้อมูลภาพชุดใหม่ให้ได้เพียง 3 องค์ประกอบหลัก จากนั้นนำเอาองค์ประกอบหลักชุดแรก (First Principal Component) วิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลภาพขาว-ดำ (Panchromatic) และแปลงกลับมาให้อยู่ในรูปของชุดข้อมูลภาพหลายช่วงคลื่น ซึ่งจะได้รายละเอียดจุดภาพที่เท่ากับข้อมูลภาพขาว-ดำ (Panchromatic) (สมพร สง่างศ์, 2552; Magsud and Samarakoon, 2006) กรรมวิธีการหลอมภาพแสดงไว้ในภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 แสดงกรรมวิธีการหลอมภาพด้วยวิธี PCA

ดัดแปลงจาก Magsud and Samarakoon (2006)

2.7 การวิเคราะห์ความถดถอยของข้อมูล (Regression Analysis)

กัลยา วานิชย์บัญชา (2546) อธิบายไว้ว่าการวิเคราะห์การถดถอยเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะประมาณหรือพยากรณ์ค่าของตัวแปรกลุ่มหนึ่ง ซึ่งเรียกว่าตัวแปรตาม (Dependent Variable) โดยตัวแปรกลุ่มอื่นๆ ซึ่งเรียกว่าตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ซึ่งตัวแปรทั้งสองกลุ่มต้องมีความสัมพันธ์กัน หลักการวิเคราะห์ความถดถอยแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย
2. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ

2.7.1 การวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression)

เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 กลุ่มหรือลักษณะที่สนใจศึกษา 2 ลักษณะ โดยที่ต้องทราบค่าของตัวแปรตัวหนึ่งหรือต้องกำหนดค่าของตัวแปรตัวหนึ่งไว้ล่วงหน้า โดยตัวแปรที่ต้องกำหนดไว้ล่วงหน้าหรือที่เรียกว่าตัวแปรอิสระ มักจะใช้สัญลักษณ์ X และตัวแปรที่ต้องการทราบค่าหรือที่เรียกว่าตัวแปรตาม มักใช้สัญลักษณ์ Y ความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองจะส่งผลต่อค่าของตัวแปร Y คือหากตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันมาก การเปลี่ยนแปลงของ X จะมีผลต่อค่าของตัวแปร Y อย่างมาก แต่หาก ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันน้อย การเปลี่ยนแปลงของตัวแปร X ก็ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปร Y น้อยตามไปด้วย โดยส่วนใหญ่การวิเคราะห์ความถดถอย มักต้องการรูปแบบของความสัมพันธ์ของตัวแปรสองกลุ่ม เพื่อนำความสัมพันธ์ที่ได้ไปพยากรณ์ค่าตัวแปร Y ในอนาคตเมื่อกำหนดค่าตัวแปร X ต่อไป โดยการหาความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปร ส่วนใหญ่ใช้แผนภาพการกระจายข้อมูล (Scattering Diagram) เพื่อวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์ในรูปแบบใด เช่น สัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง เส้นโค้ง พาราโบลา อื่น ๆ เป็นต้น โดยสามารถเขียนความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปแบบของสมการคณิตศาสตร์ได้ ตัวอย่าง เช่น ความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง หมายถึงการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปร X และ ตัวแปร Y ในรูปเชิงเส้นหรือเส้นตรง จึงเรียกรูปการวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่ายที่ความสัมพันธ์ของตัวแปรเป็นเส้นตรงนี้ว่า การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) ดังภาพที่ 2-5 และสามารถแสดงเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (29)$$

โดยที่ Y คือตัวแปรตาม เนื่องจากค่า Y ขึ้นอยู่กับ ค่า X

X เป็นตัวแปรอิสระ

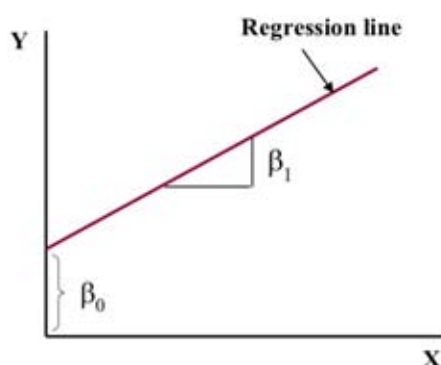
β_0 เป็นส่วนตัดแกน Y คือค่า Y เมื่อ X เป็นศูนย์ (Y-Intercept)

β_1 เป็นความชันของเส้นตรง เป็นค่าที่แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ X เปลี่ยนไป เรียกค่านี้ว่า สัมประสิทธิ์ความถดถอย (Regression Coefficient) ซึ่งบ่งบอกถึงรูปแบบความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งกลุ่มดังนี้

$\beta_1 > 0$ หมายถึง X และ Y มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน คือหาก X เพิ่มค่าขึ้น Y จะเพิ่มค่าขึ้นด้วย และหากค่าของ X ลดลง ค่า Y ก็ลดลงด้วย

$\beta_1 < 0$ หมายถึง X และ Y มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงข้ามกัน คือ หาก X เพิ่มค่าขึ้น ค่าของ Y จะลดลง และหากค่าของ X ลดลง ค่าของ Y จะเพิ่มขึ้น

β_1 มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ หมายความว่า ตัวแปร X และ ตัวแปร Y มีความสัมพันธ์กันน้อย และหาก β_1 เท่ากับ 0 นั้นหมายความว่า ตัวแปร X และตัวแปร Y ไม่มีความสัมพันธ์กันเลย



ภาพที่ 2-5 ตัวอย่างความสัมพันธ์ของตัวแปร x กับ ตัวแปร y เป็นเชิงเส้น

(ดัดแปลงจาก กัลยา วานิชย์บัญชา (2546))

2.7.2 การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน (Multiple Regression Analysis)

หากปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม (Dependent variable; Y) มีมากกว่าหนึ่งปัจจัย หมายถึงตัวแปรอิสระ (Independent variable; X) มีมากกว่าหนึ่งตัว การพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม (Y) จะต้องเป็นไปตาม ตัวแปร X ทุกตัวขึ้นอยู่กับอิทธิพลของตัวแปร X ว่ามากน้อยต่างกันอย่างไร จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาอิทธิพลของตัวแปร X แต่ละตัวด้วยวิธีวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน ซึ่งมีสมการเป็นดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \varepsilon \quad (30)$$

โดยที่ β_0 เป็นค่าของ Y เมื่อ $X_1 = X_2 = \dots = X_k = 0$

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ เป็นสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน (Partial Regression Coefficient) และ ε เป็นค่าความคลาดเคลื่อน

2.7.3 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination; R^2)

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ หมายถึงสัดส่วนที่ตัวแปร X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Y ได้ ดังนั้นหากค่า R^2 มาก แสดงว่า Y และ X มีความสัมพันธ์กันมาก หรือ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ได้มาก โดย R^2 สามารถคำนวณได้จาก

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (31)$$

เมื่อ SST (Sum Square of Total) คือค่าความแปรปรวนทั้งหมดของ Y หาได้จาก

$$SST = \sum (Y_i - \bar{y})^2 \quad (32)$$

และ SSR (Sum Square of Regression) คือค่าความแปรปรวนของ Y เนื่องจากอิทธิพลของ X หาได้จาก

$$SSR = \sum (\hat{Y}_i - \bar{y})^2 \quad (33)$$

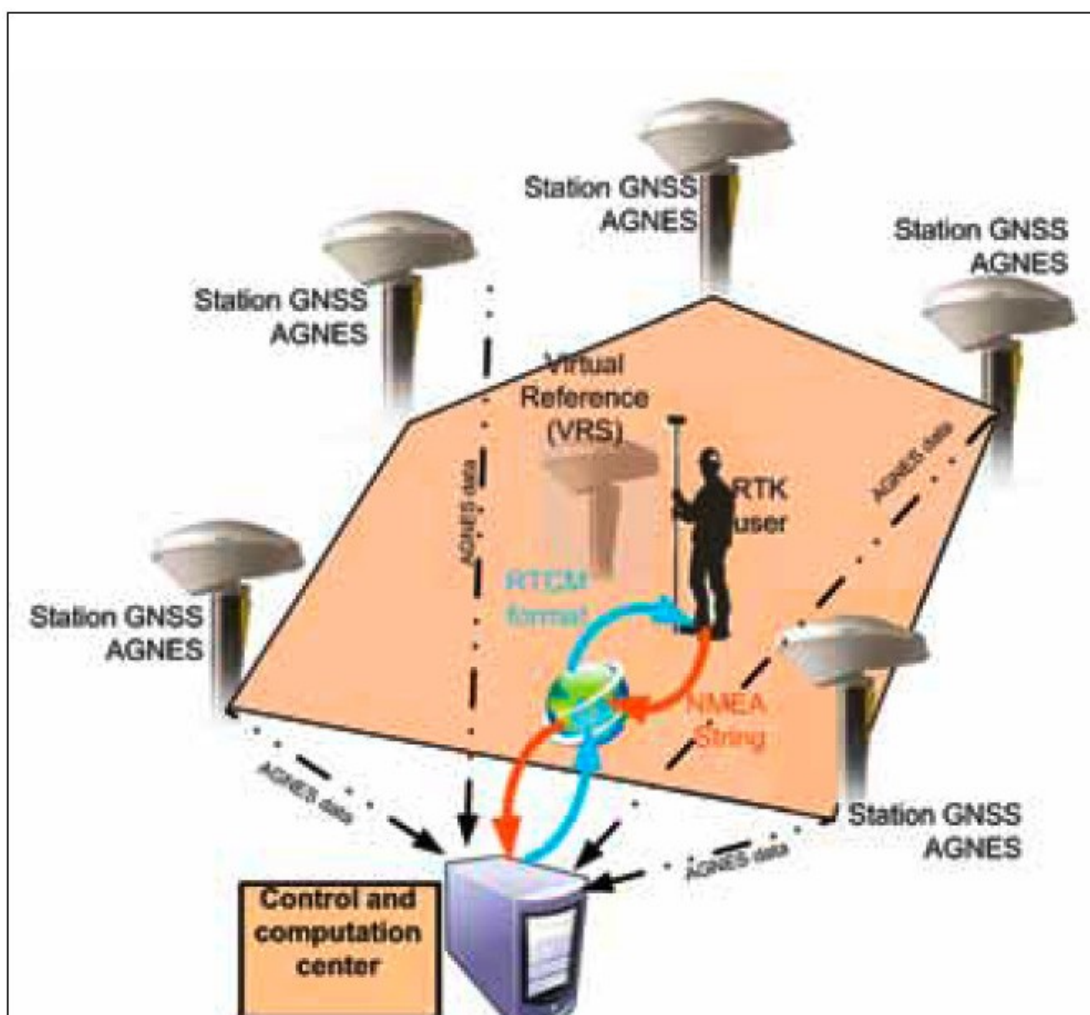
โดยค่า \hat{Y} เป็นประมาณของ Y ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า X และ

$$SSE = SST - SSR = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (34)$$

โดยที่ SSE (Sum Square of Error) คือค่าความแปรปรวนของ Y จากอิทธิพลของปัจจัยอื่นๆ

2.8 สถานีอ้างอิงทางตำแหน่งเสมือน (Virtual Reference Station :VRS)

VRS เป็นเทคโนโลยีการรับสัญญาณ GPS ที่ทำเป็นโครงข่าย (GPS Network) ที่สามารถนำมาคำนวณหาค่าพิกัดได้มีความละเอียดสูงมาก (High Precision) ในระดับเซนติเมตร ซึ่งกรมที่ดินได้นำระบบนี้ มาทดลองใช้โดยตั้งสถานีอ้างอิง (Reference Station) ไว้ 5 สถานีในพื้นที่จังหวัด สมุทรปราการ ชลบุรี และจังหวัดระยอง ซึ่งได้เปรียบเทียบค่าพิกัดของหมุดหลักฐานแผนที่ ที่ใช้ค่าพิกัดในราชการ



ภาพที่ 2-6 ภาพแสดงโครงข่ายสถานีอ้างอิง GPS และการทำงานร่วมกับ สถานีอ้างอิงเสมือน (VRS) ด้วย RTK GPS (ดัดแปลงจาก ไพโรจน์ เผือกวิไล (2551))

ในการหาค่าพิกัดตำแหน่งด้วยสัญญาณดาวเทียม GPS ได้พัฒนาเพื่อต้องการความละเอียดถูกต้องของพิกัดตำแหน่งในระดับเซนติเมตร ลดความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยการหาค่าแก้ไขอันเนื่องมาจากวงโคจรของดาวเทียม ค่าแก้ไขเกี่ยวกับชั้นบรรยากาศซึ่งปรกติการทำหมุดอ้างอิง (Reference Station) มักจะกระทำเรื่องดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง หากจัดทำให้หมุดอ้างอิงหลาย ๆ หมุด เป็นโครงข่าย (GPS Network) โดยแต่ละหมุดอ้างอิงมีระยะห่างกัน 50 – 80 กิโลเมตร เมื่อรับสัญญาณดาวเทียม GPS พร้อม ๆ กันแล้ว โดยมีศูนย์ควบคุม (Control Center) เพื่อบำบัดค่าแก้ไขอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Error) การสื่อสารระหว่างสถานีลูกข่าย (Rover Station) กับสถานีแม่ข่าย (Base Station) เป็นการสื่อสารสองทาง (Bi-directional Communication) โดยสถานีลูกข่ายจะส่งพิกัดตำแหน่งของตัวเองมายังศูนย์ควบคุม และเมื่อศูนย์ควบคุมรับพิกัดตำแหน่งอย่างคร่าว ๆ ของลูกข่ายแล้ว จะคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นระบบต่าง ๆ (Geometric and Atmospheric Errors) ของพื้นที่ในบริเวณที่ครอบคลุมโดยหมุดอ้างอิงในเครือข่าย (Reference Stations) และคำนวณหาตำแหน่งอ้างอิงเสมือน (Virtual Reference Station; VRS) ที่เหมาะสมกับ สถานีลูกข่าย (Rover Station) ซึ่งจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงระบบลดลงอย่างมาก จึงทำให้พิกัดตำแหน่งของลูกข่ายมีความถูกต้องสูงมากขึ้นด้วย

เทคนิคการรับสัญญาณดาวเทียม GPS Network ดังกล่าวได้นำมาใช้ในหลาย ๆ ประเทศทั้งในยุโรป อเมริกา ออสเตรเลีย และประเทศในเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น มาเลเซีย สิงคโปร์ บรูไน เป็นต้น สำหรับประเทศไทย กรมที่ดินเป็นหน่วยงานแรกที่ได้จัดตั้งระบบโครงข่าย GPS ในรูปแบบของ Virtual Reference Station (VRS) ดังกล่าว โดยเรียกระบบนี้ว่า DOL GPS NET (Department of Lands GPS Network) โดยติดตั้งสถานีอ้างอิง (Reference Station) ไว้ที่สำนักงานที่ดิน 5 แห่งคือ

1. สำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรปราการ สาขาบางพลี (BPLE Reference Station)
2. สำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรี สาขาพนัสนิคม (PNNK Reference Station)
3. สำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรี สาขาบางละมุง (BLMG Reference Station)
4. สำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรี สาขาสัตหีบ (STHP Reference Station)
5. สำนักงานที่ดินจังหวัดระยอง สาขาบ้านค่าย ส่วนแยกปลวกแดง (PLDG Reference Station)



ภาพที่ 2-7 แผนที่แสดงตำแหน่งของหมุดอ้างอิงในระบบ DOL GPS NET
(ดัดแปลงจาก ไพโรจน์ เผือกวิไล (2551))

โดยมีศูนย์ควบคุม (Control Center) อยู่ที่ อาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน ถนนแจ้งวัฒนะ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี ซึ่งยังในรับข้อมูลดิบ (Raw Data) จากสถานีอ้างอิงทั้ง 5 สถานี เพื่อประมวลผลโครงข่ายและสามารถนำกลับมาประมวลผลภายหลัง ในกรณีต้องการทำการประมวลผลหลังการเก็บพิกัดของสถานีลูกข่าย (Post-processing) โดยสามารถสร้างสถานีอ้างอิง (Virtual Reference Station) ให้อยู่ในตำแหน่งที่ ใกล้เคียงกับสถานีลูกข่าย (Rover Station) ได้ทั่วพื้นที่ในโครงข่าย (ไพโรจน์ เผือกวิไล, 2551)

2.9 สวนป่าชายเลน ณ ศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) เฉลิมพระเกียรติ 72 พรรษา มหาราชินี (Bangpu Nature Education Center)

จากเอกสารเผยแพร่ของศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) ฯ (2551) รายงานไว้ว่าศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) ฯ เกิดขึ้นจากความร่วมมือระหว่างกองทัพบก

และ องค์การกองทุนสัตว์ป่าโลก (World Wide Fund for Nature; WWF) สำนักงานประเทศไทย ซึ่งเป็นองค์กรเอกชนที่ปฏิบัติภารกิจเกี่ยวกับการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยลงนามในบันทึกข้อตกลงร่วมโครงการจัดตั้งพื้นที่อนุรักษ์ธรรมชาติกองทัพบก เมื่อวันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ.2546 เพื่อเฉลิมพระเกียรติ สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ เนื่องในโอกาสพระราชพิธีมหามงคล เฉลิมพระชนมพรรษา 6 รอบ 12 สิงหาคม พ.ศ.2547 และเพื่อพัฒนาสถานตากอากาศบางปู ให้เป็นศูนย์กลางการเรียนรู้ด้านธรรมชาติที่เชื่อมโยงกับเมืองใหญ่สำหรับเยาวชน เน้นรูปแบบการเรียนรู้แบบบูรณาการที่ประยุกต์เนื้อหาสาระให้สอดคล้องกับวิชาต่างๆ ในชั้นเรียน โดยอาศัยสภาพธรรมชาติเป็นตัวกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสนใจ



ภาพที่ 2-8 แผนที่แสดงที่ตั้งศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) ๑

(Source: "Bangpu" 13° 30' 23.75" N and 100° 38' 51.80" E. Google Earth. March 3, 2011. Accessed on March 15, 2012.

จนถึงปัจจุบัน ศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) ๑ ได้รับความร่วมมือการดำเนินงานอันดีเยี่ยมในด้านการให้บริการด้านการศึกษาจากสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาสมุทรปราการและการสนับสนุนด้านงบประมาณการดำเนินการจากภาคเอกชนต่าง ๆ เช่น บริษัท เซพรอน ประเทศไทย สสำรวจและผลิต จำกัด (พ.ศ.2547) บริษัท ไทยประกันชีวิต จำกัด

(พ.ศ.2546 -2550) บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด (พ.ศ.2550 – ปัจจุบัน) บริษัท ดับเบิลยู เอ (1991) จำกัด (พ.ศ.2548 – ปัจจุบัน) เป็นต้น

สภาพพื้นที่ของบางปู เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำชายฝั่งใกล้ปากแม่น้ำเจ้าพระยา มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์สะสมอยู่ตลอดแนวหาดโคลน โดยมีดงต้นเสม็ดที่ขึ้นในพื้นที่นาุ้งร้างในพื้นที่ระดับน้ำไม่ลึก ซึ่งเชื่อมต่อขนานนาชนิด เป็นแหล่งสร้างรังอาศัยของนกกาน้ำขนาดเล็กตลอดจนนกกระยางหลายชนิด และในฤดูหนาวยังเป็นที่ยึดพิงหาอาหารของนกชายเลนที่อพยพหนีหนาวมาจากแผ่นดินตอนในของทวีปเอเชีย ซึ่งมีมากกว่า 10,000 ถึง 20,000 ตัวต่อปี โดยที่โดดเด่นมากที่สุดเป็น นกนางนวลธรรมดา จนกลายมาเป็นสัญลักษณ์ของบางปูไป

โครงการศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) ๙ ตั้งอยู่ในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ อยู่ห่างจากตัวเมืองจังหวัดเพียง 12 กิโลเมตร มีกองทัพบกเป็นเจ้าของพื้นที่และใช้ประโยชน์ให้เป็นสถานพักผ่อนและตากอากาศของนายทหาร พื้นที่ทั้งหมดครอบคลุมเนื้อที่ 639 ไร่ แบ่งได้ตามลักษณะภูมิประเทศได้เป็น 3 ส่วนคือ

- 1) เป็นส่วนนับจากแนวถนนหลักเข้าสู่ศาสนาสู่ใจที่ยื่นออกไปสู่ทะเล โดยมีสะพานจากชายฝั่งยาว 500 เมตรเข้าไปสู่ตัวศาลา กองทัพบกใช้ศาลาเป็นร้านอาหาร ห้องประชุม ห้องสัมมนา และกิจกรรมอื่น ๆ
- 2) พื้นที่ 301 ไร่บริเวณฝั่งตะวันตก ด้านฝั่งขวาของถนนภายในเป็นที่ตั้งของอาคารเรือนพักรับรองกว่า 20 หลัง แทรกตัวอยู่ใน ดงเสม็ด และโกงกาง ประปราย รวมทั้ง ได้แยกส่วนให้เป็นที่พักเจ้าหน้าที่ นายทหารประจำการ ส่วนนอกแนวเขื่อน เป็นพื้นที่ส่งเสริมการปลูกป่าชายเลน ให้กับทุกภาคส่วน
- 3) พื้นที่ฝั่งตะวันออก 338 ไร่ เป็นพื้นที่โล่งกว้างเต็มไปด้วย ดงต้นเสม็ดทะเล บนร่องรอยของนาุ้งเก่า ซึ่ง WWF ประเทศไทย พัฒนาเส้นทางเดินศึกษาธรรมชาติ หอศึกษาเรือนยอด หอดูนกและพื้นที่ส่งเสริมการปลูกป่าชายเลน ทั้งในและนอกแนวเขื่อน โดยปัจจุบันได้สนับสนุนให้ปลูกพืชชายเลนกลุ่มบุกเบิก เช่น เสม็ด ลำพู ลำแพน เพื่อให้เกิดความหลากหลายตลอดจนปรับปรุงแนวคลองเข้าออกของน้ำขึ้น-น้ำลง เพื่อให้เกิดความสมดุลทั้งพืชและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในพื้นที่ ให้เป็นพื้นที่ศึกษาธรรมชาติของ

นักเรียน นักศึกษา นักท่องเที่ยว หรือประชาชนทั่วไป ที่ต้องการพักผ่อน
กับธรรมชาติ

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Green et al. (1997) ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat TM และ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม SPOT XS ประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index) ในพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณตอนใต้และฝั่งตะวันออกของเกาะ Turks and Caicos โดยใช้ภาพจากดาวเทียมคำนวณหา ดัชนีพืชพรรณ NDVI ซึ่งได้รายงานว่าคุณค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) กันค่อนข้างดี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R^2 = 0.74$

Kovac et al. (2004, 2005, 2009) ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม IKONOS ที่รายละเอียดจุดภาพ 8 เมตรและ 15 เมตร ประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ในป่าชายเลนเสื่อมโทรมบริเวณแนวชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิกในประเทศเม็กซิโก โดยสรุปได้ว่า ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ในพื้นที่ศึกษามีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับดัชนีพืชพรรณทั้ง NDVI ($R^2 = 0.71$ ที่รายละเอียดจุดภาพ 8 เมตร และ $R^2 = 0.70$ ที่รายละเอียดจุดภาพ 15 เมตร) และ SR ($R^2 = 0.73$ ที่รายละเอียดจุดภาพ 8 เมตร และ $R^2 = 0.72$ ที่รายละเอียดจุดภาพ 15 เมตร) จากนั้นในปี ค.ศ.2009 ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม QuickBird รายละเอียดจุดภาพ 2.46 เมตร ประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ในพื้นที่เดิม ซึ่งผลที่ได้รายงานว่าคุณค่าสัมพัทธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) กับดัชนีพืชพรรณใช้ได้ดีโดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นอยู่ที่ $R^2 = 0.63$ เมื่อใช้ NDVI และ $R^2 = 0.68$ เมื่อใช้ SR

Komiyama et al. (2000) ศึกษาปริมาณมวลชีวภาพของป่าชายเลนในระยะที่สอง ในพื้นที่จังหวัดระนองของไทยซึ่งมีต้นโปรงแดง (*Ceriops tagal* (Perr.)) เป็นไม้เด่น โดยในการศึกษาเป็นการประมาณค่ามวลชีวภาพทั้งเหนือพื้นดินและค่ามวลชีวภาพของรากไม้ โดยผลที่ได้เป็นสมการ Allometric relationship ดังนี้

$$\begin{aligned} W_S &= 0.07617(DBH^2 H)^{0.8732} & r^2 &= 0.9903 \\ W_B &= 0.03555(D_B^2(H-H_B))^{0.9062} & r^2 &= 0.9726 \\ W_L &= 0.02409(D_B^2(H-H_B))^{0.8684} & r^2 &= 0.9640 \end{aligned} \quad (35)$$

โดย W เป็นน้ำหนัก ในขณะที่ S = ลำต้น; B = กิ่งก้าน; และ L = ใบ

DBH เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางที่ความสูงเพียงอก; H เป็นความสูงต้น และ H_B เป็นความสูงเหนือกิ่งต่ำสุด

Komiyama et al. (2005) ศึกษาความสัมพันธ์ของมวลชีวภาพในป่าชายเลนโดยเปรียบเทียบระหว่างป่าชายเลนในระยะที่สองและป่าชายเลนธรรมชาติ ซึ่งมีพื้นที่ศึกษาอยู่ในจังหวัดพังงา ตรวาศ สตูล ระนอง ของประเทศไทย และ Halmahere ของประเทศอินโดนีเซีย เลือกศึกษาพืชในป่าชายเลน 10 ชนิด ได้ผลเป็นสมการเรียกสมการที่ได้ว่า Common Allometric Equations ดังนี้

$$\begin{aligned} W_S &= 0.0696\rho(D^2 H)^{0.931} & r^2 &= 0.986 \\ W_L &= 0.135\rho D_B^{1.696} & r^2 &= 0.850 \\ W_{top} &= 0.251\rho D^{2.46} & r^2 &= 0.979 \\ W_R &= 0.199\rho^{0.899} D^{2.22} & r^2 &= 0.954 \end{aligned} \quad (36)$$

โดยที่ ρ เป็นค่าความหนาแน่นเนื้อไม้

W_{top} เป็นค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above ground biomass) และ

W_R เป็นค่ามวลชีวภาพใต้พื้นดิน (Root weight)

Komiyama et al. (2008) ได้ทบทวนงานวิชาการว่าด้วยเรื่องการศึกษาความสัมพันธ์ของมวลชีวภาพและผลผลิตของป่าชายเลนด้วยวิธี Allometry ไว้ ซึ่งได้ให้ข้อมูลที่สำคัญในการประมาณค่ามวลชีวภาพในพืชป่าชายเลนแต่ละชนิด ตลอดจนเปรียบเทียบกับการใช้ Common Allometric Equations ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกัน จากงานทบทวนวิชาการนี้สรุปสมการ Allometric สำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ได้ดังนี้

Avicennia marina

$$W_{top} = 0.308DBH^{2.11} \quad r^2 = 0.97 \quad (37)$$

Rhizophora apiculata

$$W_{top} = 0.235DBH^{2.42} \quad r^2 = 0.98 \quad (38)$$

Rhizophora mangle

$$W_{top} = 0.178DBH^{2.47} \quad r^2 = 0.98 \quad (39)$$

Common equation

$$W_{top} = 0.251\rho D^{2.46} \quad r^2 = 0.98 \quad (40)$$

Roy and Ravan (1996) ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยกล้องบันทึกภาพ Landsat TM คำนวณหาดัชนีพืชพรรณ NDVI และ Tasseled Cap Transformation Indices จากนั้นใช้วิธีการทางสถิติ Multiple Regression และ Homogeneous Vegetation Strata (HVS) เพื่อประมาณค่ามวลชีวภาพ (Biomass) ในป่าธรรมชาติ ซึ่งรายงานว่ามีปริมาณมวลชีวภาพตอบสนองต่อดัชนีความสว่าง (Brightness) และ ดัชนีความชื้น (Wetness) ได้ดี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นอยู่ที่ $R^2 = 0.66$

Proisy et al. (2007) ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม IKONOS แปลงภาพโดยใช้กรรมวิธี Fourier-based textural ordination (FOTO) เพื่อประมาณค่ามวลชีวภาพในป่าชายเลนของชายฝั่ง French Guiana โดยใช้วิธี Multiple linear regression กับข้อมูล Textural indices ที่ได้

Kovacs et al. (2008) ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ENVISAT ASAR (C-Band) ซึ่งเป็นข้อมูลในช่วงคลื่นไมโครเวฟ ทั้งที่เป็น Cross-polarized (HV) และ Co-polarized (HH,VV) เพื่อศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของป่าชายเลนในพื้นที่เสื่อมโทรม ชายฝั่งประเทศเม็กซิโก โดยใช้วิธีประเมินด้วย Linear Regression พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) กับ HV ที่ทำมุม 39.1 – 42.8 องศา มีความเชื่อมั่นที่สูงที่สุดคือ $R^2 = 0.82$ และความสัมพันธ์ระหว่าง ความสูงต้น กับ HV ที่ทำมุม 19.2 – 26.7 องศา มีความเชื่อมั่นที่ $R^2 = 0.76$ ทั้งยังสรุปได้ว่า การใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในกลุ่ม SAR น่าจะนำมาใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น

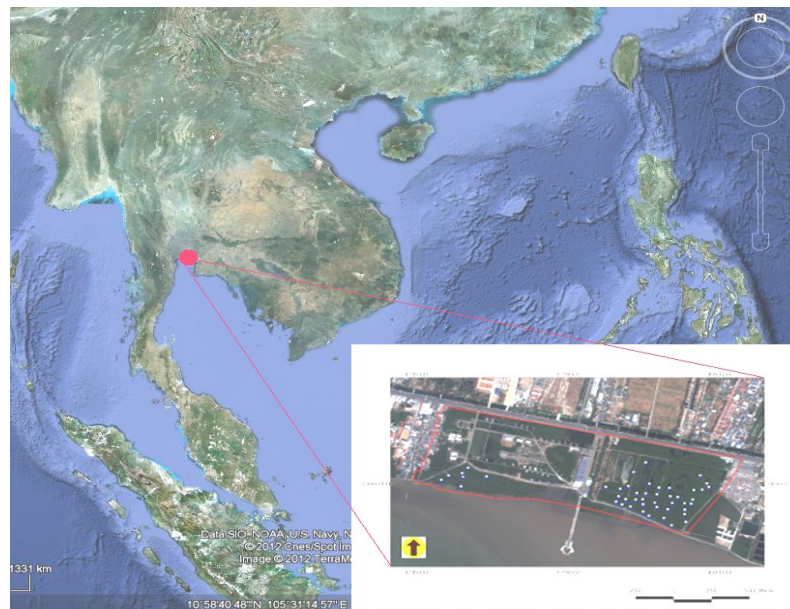
Lucas et al. (2010) รายงานไว้ใน The ALOS Kyoto & Carbon Initiative Science Team Reports Phase 1 ว่าได้มีการใช้ ชุดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ALOS PALSAR ซึ่งใช้ ช่วงคลื่นไมโครเวฟ L band ใช้ร่วมกับข้อมูลความสูงจากชุดข้อมูล Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) เพื่อประเมินความสูงเรือนยอดของป่าชายเลน และจำแนกขนาดของลำต้น ชนิด มวลชีวภาพ รวมทั้งติดตามการเปลี่ยนแปลงของป่าชายเลน ในประเทศภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ออสเตรเลีย และ เฟรนช์เกียนาในภูมิภาคอเมริกาใต้ โดยรายงานว่าการนำเอาชุดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ALOS PALSAR ใน HH และ HV mode ช่วยให้การติดตามการเปลี่ยนแปลงป่าชายเลนของโลก ทำได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษาสวนป่าชายเลน

บริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) เฉลิมพระเกียรติ 72 พรรษา มหาราชินี ตำบลบางปู อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ ตั้งอยู่บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ฝั่งตะวันออก อยู่ท่ามกลางชุมชนเมือง และโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งฝั่งตรงข้ามถนน เป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรมบางปู ที่มีสวนป่าชายเลนอยู่ได้ เนื่องจากเป็นพื้นที่ ในความครอบครองของกรมพลธิการ กองทัพบก ใช้เป็นสถานพักฟื้นนายทหาร และให้กองทุนสัตว์ป่าโลก (World Wild Fund; WWF) ประเทศไทย เป็นผู้บริหารจัดการโครงการพื้นที่อนุรักษ์ธรรมชาติกองทัพบก หลังจากเข้าฟื้นฟูพื้นที่ อันเนื่องจาก นาุ้งทิ้งร้าง ซึ่งเป็นนาุ้งที่ลึกลอบ เข้ามาใช้ประโยชน์พื้นที่ ด้วยอาณาบริเวณที่กว้างขวาง ไม่สามารถดูแลได้ทั่วถึง



ภาพที่ 3-1 แผนที่แสดงตำแหน่งของสวนป่าชายเลนบางปู

(ดัดแปลงจากชุดโปรแกรม Google earth)

ที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา ระหว่าง Latitude 13° 30' 39.78" N ถึง 13° 31' 26" N Longitude 100° 38' 43" E ถึง 100° 39' 51.46" E ตามแนวชายฝั่งทะเล คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 600 ไร่ เรียกได้ว่าเป็นผืนป่าชายเลนที่อยู่ใกล้กรุงเทพมหานครฝั่งตะวันออกมากที่สุด มีพืชสกุล แสมทะเล (*Avicennia marina* Forsk.) เป็นไม้เด่น และปะปนด้วยไม้ป่าชายเลนชนิดอื่น ๆ บ้าง ประปราย แสมทะเล มีอายุ และขนาด แตกต่างกันไป ตามพื้นที่ และช่วงเวลาปลูก ลักษณะทาง ธรณีฐานเป็นตะกอนปากแม่น้ำทับถมสะสม เป็นพื้นดินใหม่ ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้น-น้ำลง จากอ่าวไทยโดยตรง มีระดับน้ำแตกต่าง 1-2 เมตร ตามช่วงฤดูกาลและอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่ได้รับการปรับแต่ง ขุดลอกคลอง ให้น้ำขึ้น-น้ำลงได้ทั่วถึง ตลอดจนมีการก่อสร้างเส้นทางเดินศึกษาธรรมชาติ ทั้งเป็นสะพานไม้ และถนนแนว คอนกรีต ปัจจุบันมีสภาพใกล้เคียงกับป่าชายเลนธรรมชาติ หากแต่มีเพียงไม้เด่นชนิดเดียว โดยมีการปลูกพืชอื่น ๆ ตามแนวชายฝั่งทะเลออกไป ตามโครงการสนับสนุนการอนุรักษ์ทรัพยากรป่า ชายเลน ในวาระต่าง ๆ ของหน่วยงาน ต่างๆ

3.2 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมทั้งหมด 5 ชุดภาพซึ่งแบ่ง เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในช่วงคลื่นแสง (Optical remote sensing image) และข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในช่วงคลื่นไมโครเวฟ (Microwave remote sensing data) เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณ และประมาณมวลชีวภาพในพื้นที่ศึกษา ดังรายละเอียดในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 รายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม	วันที่บันทึกภาพ	การใช้งานข้อมูล
QuickBird MS	6 มีนาคม 2553	ใช้วิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณในแต่รายละเอียดจุดภาพ
ALOS AVNIR-II	22 มีนาคม 2553	ใช้วิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณ
Thaichote MS (THEOS)	23 มีนาคม 2553	ใช้วิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณและปรับปรุงคุณภาพรายละเอียดจุดภาพ
Thaichote PAN (THEOS)	28 มีนาคม 2553	ใช้ปรับปรุงคุณภาพรายละเอียดจุดภาพ
ALOS PALSAR (FBS)	7 มีนาคม 2553	ใช้ประมาณค่ามวลชีวภาพ

3.3 การเก็บข้อมูลภาคสนาม



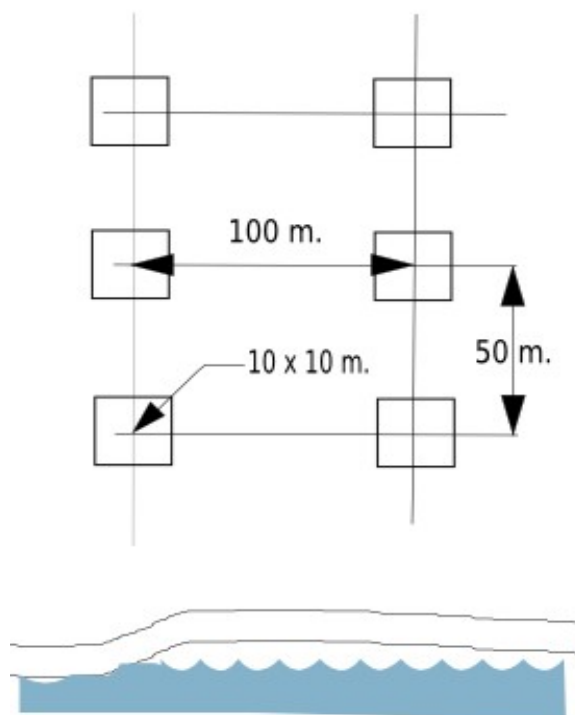
ภาพที่ 3-2 แผนที่แสดงตำแหน่งการเก็บข้อมูลในภาคสนาม

ข้อมูลภาคสนามที่ต้องใช้ในงานวิจัย เป็นข้อมูลทางชีวฟิสิกส์ของแปลงตัวอย่าง 2 ชนิดคือ ค่าดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index; LAI) และเส้นรอบวงลำต้นไม้ ณ ความสูงเพียงอกของพืชทั้งหมดในแปลง โดยนิยามของต้นไม้ในแปลง คือต้นไม้ที่มีความสูงเกิน 130 เซนติเมตร

3.3.1 การระบุตำแหน่งแปลงตัวอย่าง

- 1) ใช้ภาพจากชุดโปรแกรม Google earth ซึ่งเป็นข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม QuickBird Pan-Sharpener วางแผนการกำหนดตำแหน่งของแปลงศึกษา โดยวางแผนให้แต่ละแปลงห่างกันประมาณ 50 เมตรในแนวตั้งฉากกับชายฝั่งทะเล และห่างกันประมาณ 100 เมตร ในแนวขนานกับชายฝั่งทะเล ดังแสดงไว้ในภาพที่ 3-2 และ ภาพที่ 3-3

- 2) เข้าพื้นที่ ด้วยเครื่องระบุตำแหน่งโดยดาวเทียม (GPS) ใช้ไม้ไผ่ขนาดประมาณ 1 เมตรปัก กึ่งกลางแปลง เขียนหมายเลขแปลงบนฝาขวด ตอกยึดกับไม้หลัก
- 3) ลากเทปวัด ออกจากจุดกึ่งกลาง ไปตามแนวเหนือ-ใต้ และตะวันออก-ตะวันตก ไปด้านละ 5 เมตร ใช้เชือกฟางสีแดงผูก เป็นเขตไว้ให้เห็นชัดเจน
- 4) ใช้เข็มทิศ ช่วยในการเดินทาง จะแปลงหนึ่งไปอีกแปลงหนึ่ง
- 5) หลังจากจดบันทึกข้อมูลในแปลงตัวอย่างเสร็จสิ้นแล้ว ใช้ High Precision GPS เก็บตำแหน่งกึ่งแปลงอีกครั้ง เพื่อนำไปประมวลผลเชิงตำแหน่งให้ถูกต้องยิ่งขึ้น

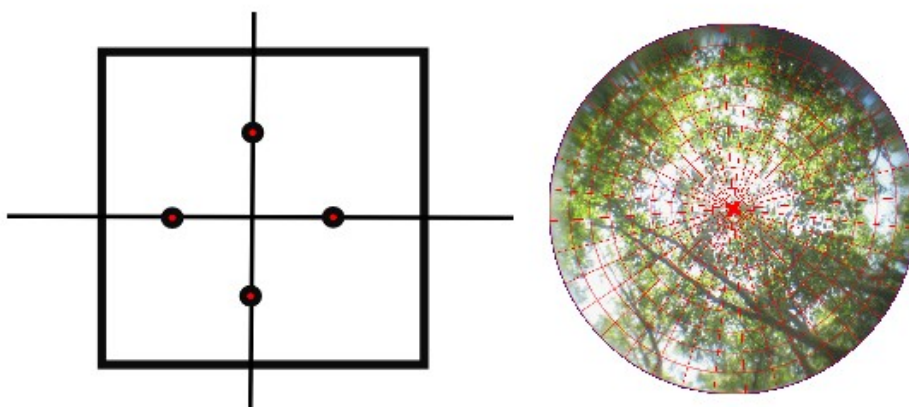


ภาพที่ 3-3 แสดงผังวางแปลงเก็บตัวอย่าง

3.3.2 การเก็บข้อมูลในแปลงตัวอย่าง

เมื่อกำหนดแปลงเก็บตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว การเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 งานคือ

1. งานถ่ายภาพเว็อนยอด Hemisphere photography ด้วยเลนส์ตาปลา 120 องศา บนขาตั้งกล้องด้วยความสูงกล้อง 170 เซนติเมตร ให้กล้องหันด้านบนไปทางทิศเหนือ รักษาระดับให้หนึ่งที่สุด ณ ตำแหน่งกึ่งกลางแกนทั้งสี่ของแปลง ดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-4 แสดงตำแหน่งการถ่ายภาพ Hemisphere photography และตัวอย่างภาพ

2. วัดและจดบันทึกค่าเส้นรอบวงลำต้นของต้นไม้ ณ ความสูงเพียงอก (ดังภาพที่ 3-5 ที่มีลำต้นสูงเกิน 130 เซนติเมตร ทุกต้นในแปลงตัวอย่าง พร้อมจดชนิดต้นไม้

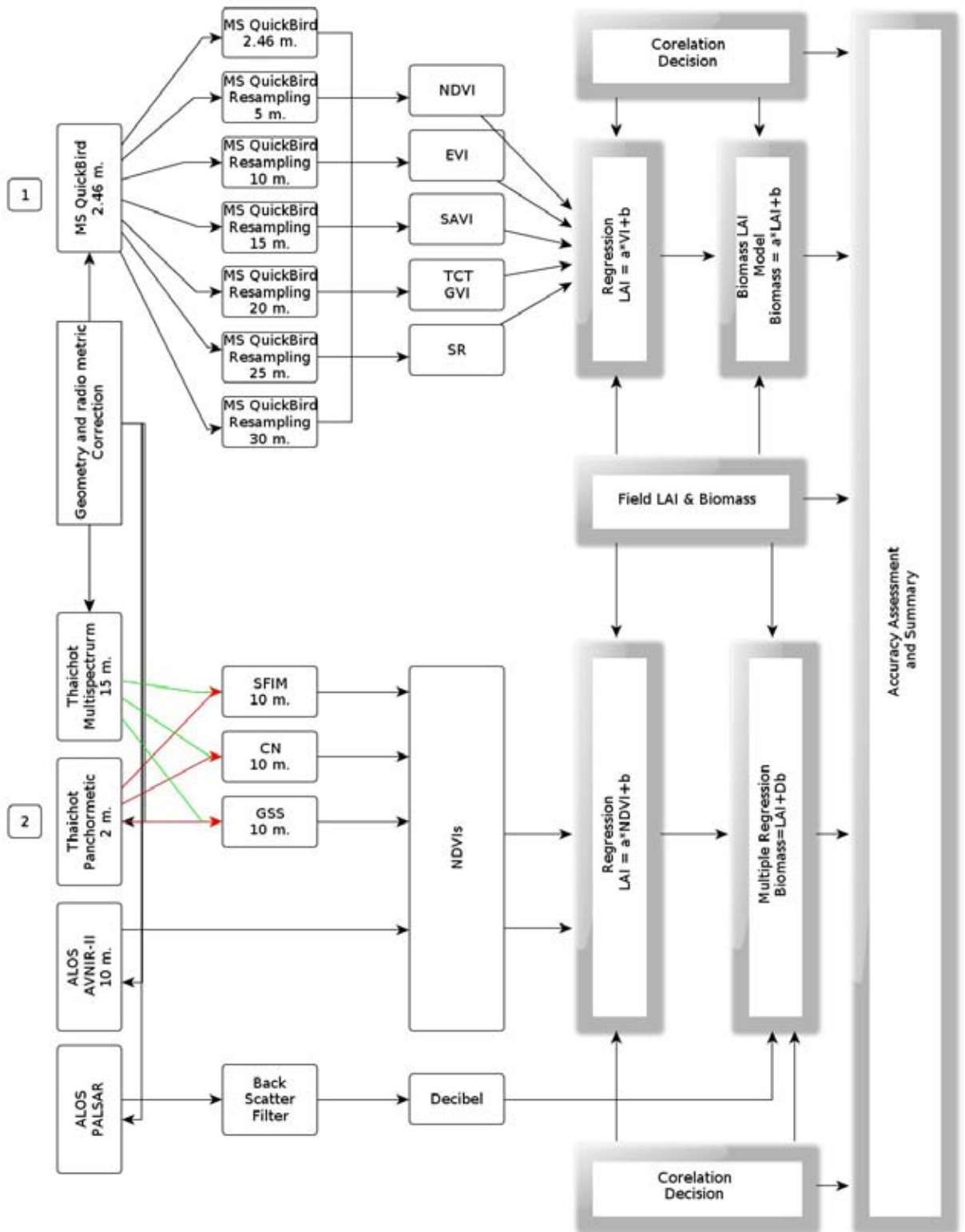


ภาพที่ 3-5 แสดงตำแหน่งที่วัดเส้นรอบวงลำต้นในแปลงเก็บตัวอย่าง

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาวิจัยการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพในสวนป่าชายเลนด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมในช่วงแสง (Optical Sensor) แบ่งการศึกษาออกเป็นส่วน ๆ กล่าวคือ

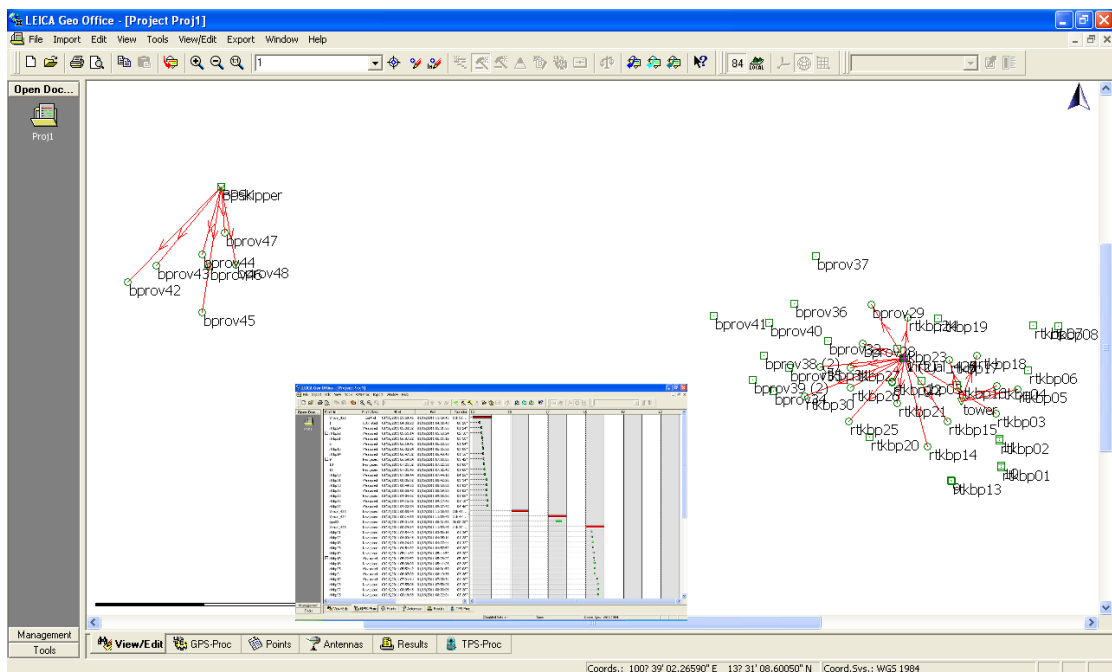
1. เปรียบเทียบค่าผลผลิตมวลชีวภาพในพื้นที่สวนป่าชายเลนโดยแบบจำลองซึ่งพัฒนาขึ้นตามความสัมพันธ์ของค่าผลผลิตมวลชีวภาพจากการเก็บข้อมูลภาคสนามกับข้อมูลดัชนีพืชพรรณซึ่งคำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม QuickBird MS โดยแปลงรายละเอียดจุดภาพให้เป็น 7 ระดับดังนี้ 2.5-m., 5-m., 10-m., 15-m., 20-m., 25-m., และ 30-m.
2. เปรียบเทียบค่าผลผลิตมวลชีวภาพในสวนป่าชายเลนซึ่งพัฒนาขึ้นตามความสัมพันธ์ของค่าผลผลิตมวลชีวภาพจากภาคสนามกับข้อมูลดัชนีพืชพรรณที่ให้ผลดีที่สุดอันเป็นผลจากวิเคราะห์ข้างต้น โดยข้อมูลดัชนีพืชพรรณได้จากข้อมูลภาพถ่ายซึ่งผ่านกรรมวิธีหลอมภาพ ดังที่ได้เลือกไว้ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกรรมวิธีหลอมภาพและใช้ข้อมูลสะท้อนพลังงานโครงสร้าง (Back Scattering) ซึ่งได้จากข้อมูลภาพ ALOS PALSAR



ภาพที่ 3-6 แผนการวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษา

3.4.1 ตำแหน่งแปลงเก็บข้อมูล

ด้วยงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม QuickBird MS ซึ่งมีรายละเอียดจุดภาพที่ 2.46-meter จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องตำแหน่งด้วยดาวเทียมที่ให้ความถูกต้องสูง (High precision GPS) ผู้วิจัยใช้เครื่อง LEICA GPS System 500 จำนวน 2 ชุด เพื่อทำการรังวัดในระบบ Real Time Kinematic (RTK) เพื่อให้ได้ความถูกต้องทางตำแหน่งดีกว่า 1 เมตร (น้อยกว่ากึ่งหนึ่งของขนาดจุดภาพ 2.46-meter) โดยถ่ายพิกัดจากหมุด GPS ของกรมทางหลวง เข้าไปในพื้นที่ แต่ระหว่างปฏิบัติงานพบว่า ชุดเครื่องรับสัญญาณ GPS ตัวลูกข่าย (Rover) ไม่สามารถรับค่าแก้จากสถานีฐาน (Base) ได้ จึงขอความร่วมมือไปยังเจ้าหน้าที่ของกรมที่ดิน เพื่อขอให้ประมวลผลตำแหน่งด้วย เครือข่าย Virtual Reference System (VRS) แทน เนื่องด้วยพื้นที่ศึกษา อยู่ในรัศมีทำการของเครือข่ายดังกล่าว ซึ่งการประมวลผลทางตำแหน่งด้วย VRS จึงต้องใช้กระบวนการ Post processing method ซึ่งเจ้าหน้าที่กรมที่ดินได้ใช้ ชุดโปรแกรม Leica Geo Office ประมวลผลทางตำแหน่ง ซึ่งกำหนดความถูกต้องไว้ที่ระดับ 1 เมตร ดังภาพที่ 3-7



ภาพที่ 3-7 แสดงหน้าจอชุดโปรแกรม Leica Geo Office
เพื่อประมวลผลข้อมูลตำแหน่งแปลงร่วมกับ VRS

3.4.2 ค่าดัชนีพื้นที่ใบ Leaf Area Index (LAI)

ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ด้วยวิธี Gap Fractional Analysis with Hemisphere photography ซึ่งใช้ชุดโปรแกรม CANEYE คำนวณพื้นที่ว่างจากการส่องผ่านของแสง โดยหาค่าเฉลี่ยจากภาพถ่ายเรอแนยอด Hemisphere photographs 4 ภาพในแต่ละแปลงศึกษา ดังรายละเอียดในหัวข้อการประมาณค่า LAI ด้วย Gap Fractional (2.3.2) จากนั้นวัดสอบด้วยเครื่อง Licor-2000 เพื่อตรวจสอบค่าที่คำนวณได้

3.4.3 การวิเคราะห์หาค่าความถ่วงจำเพาะเนื้อไม้

จากสมการ Common Allometric Equation ในการประมาณค่ามวลชีวภาพของ *Avicennia marina* Forsk. ในสมการที่ 40 ซึ่งต้องการค่าความถ่วงจำเพาะเนื้อไม้ (ρ) จึงจำเป็นต้องตัดชิ้นไม้ มาหาค่าความถ่วงจำเพาะเนื้อไม้ ในห้องปฏิบัติการ โดยการ ตัดเก็บชิ้นไม้ ส่วนลำต้นและกิ่งก้าน ซึ่งด้วยเครื่องซึ่งที่มีความถูกต้องทศนิยมตำแหน่งที่สี่ และอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นจำนวน 48 ชั่วโมง หาน้ำหนักแห้งและหาปริมาตรแห้ง ทำซ้ำ 5 ตัวอย่าง(จาก 3 ต้น) มาคำนวณหาความถ่วงจำเพาะของเนื้อไม้ต่อไป

3.4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

ด้วยงานวิจัยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม 5 ชุดข้อมูล จึงขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมอยู่หลายคราว โดยประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยชุดโปรแกรม ITT ENVI 4.7 บนระบบปฏิบัติการ Linux UBUNTU ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

1. นำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม QuickBird Multispectral, Thaichote (MS และ PAN), ALOS AVNIR-II, ALOS PALSAR มาตรวจสอบปรับแก้เชิงตำแหน่ง และกำหนดระบบพิกัดให้อยู่ในระบบ WGS-84 UTM Zone 47 โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศกรมพัฒนาที่ดิน เป็นข้อมูลอ้างอิง ใช้วิธีอ้างอิง Image to image
2. ปรับแก้เชิงรังสีด้วยกรรมวิธี ITT FLAASH ให้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม QuickBird Multispectral อยู่ในรูปแบบของค่าพลังงานสะท้อนแสงจริง (Radiance value)

3. แปลงรายละเอียดจุดภาพของ ข้อมูลภาพจากดาวเทียม QuickBird ที่ได้ให้อยู่ในค่าที่กำหนดเป็นหน่วยวิเคราะห์ คือ 2.5-meter, 5-meter 10-meter, 15-meter, 20-meter, 25-meter, และ 30-meter ด้วยวิธี Aggregate re-sampling
4. คำนวณค่าดัชนีพืชพรรณโดยข้อมูลภาพจากดาวเทียม QuickBird ที่ได้ ตามที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้ NDVI, SAVI, TCT-GVI, และ EVI ในทุกๆ รายละเอียดจุดภาพ เพื่อหาความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI)
5. คำนวณค่าดัชนีพื้นที่ใบ จากสมการความสัมพันธ์ระหว่าง LAI กับ VI ที่เหมาะสมเพื่อนำไปหาความสัมพันธ์กับค่ามวลชีวภาพ (Biomass) และไปคำนวณหาค่ามวลชีวภาพโดยภาพถ่ายจากดาวเทียมต่อไป
6. หลอมภาพจากดาวเทียมไทยโชต ให้ได้รายละเอียดจุดภาพที่เหมาะสม ด้วยกรรมวิธีที่กำหนดไว้ คือ CN, SFIM, GS
7. แปลงข้อมูลภาพที่ได้ (3 ชุดข้อมูล) ให้เป็นข้อมูลดัชนีพืชพรรณ ที่เหมาะสม เพื่อหาความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับค่าดัชนีพื้นที่ใบจากภาคสนาม สรุปผลการหลอมภาพ
8. ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ALOS AVNIR-II แปลงข้อมูลให้เป็นข้อมูลดัชนีพืชพรรณ เพื่อเปรียบเทียบกับ ดัชนีพื้นที่ใบจากภาคสนามและใช้ความสัมพันธ์ที่ได้คำนวณค่าผลผลิตมวลชีวภาพ
9. ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต แปลงรายละเอียดจุดภาพให้เป็น 10-เมตร และแปลงข้อมูลไปเป็นดัชนีพืชพรรณเพื่อเปรียบเทียบกับดัชนีพื้นที่ใบจากภาคสนามและใช้ความสัมพันธ์ที่ได้คำนวณค่าผลผลิตมวลชีวภาพ
10. ประมวลผลข้อมูลภาพจากดาวเทียม ALOS PALSAR ในชุดโปรแกรม Next ESA SAR Toolbox (NEST version 4B) เพื่อกรองค่ารบกวน และแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปของพลังงานหน่วยเป็น เดซิเบล (decibel; dB) ปรับขนาดจุดภาพให้เท่ากับ 10-meter เพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในช่วงคลื่นแสง
11. ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ALOS PALSAR ที่แปลงเป็นพลังงานหน่วยเป็น เดซิเบล (dB) แล้ว นำมาหาความสัมพันธ์กับค่ามวลชีวภาพจากภาคสนาม ด้วยวิธีวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่าย (Simple Linear Regression analysis)

12. ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ALOS PALSAR ร่วมกับค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากภาพถ่ายจากดาวเทียม ALOS AVNIR-II เพื่อสร้างแบบจำลองประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพ
13. ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ALOS PALSAR ร่วมกับค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต เพื่อสร้างแบบจำลองประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพ

3.5 เกณฑ์เทียบระดับความคิดเห็น

ใช้เกณฑ์สถิติค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination; R^2) ในการตรวจสอบว่ารายละเอียดจุดภาพใด และดัชนีพืชพรรณใด มีค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยเหมาะสมกับการใช้ประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติหากค่าสัมประสิทธิ์มีค่าใกล้เคียงกัน ตลอดจนใช้เกณฑ์สถิติค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ในการตรวจสอบว่ากรรมวิธีการหลอมภาพใด เหมาะสมกับการใช้ประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) เช่นเดียวกัน ตลอดจนเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติ ในกรณีที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจใกล้เคียง รวมทั้งเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพ (Biomass) ที่ได้จากแต่ละกรรมวิธีและตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญที่ 0.05

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 ผลการศึกษาทางชีวฟิสิกส์จากแปลงตัวอย่าง

จากข้อมูลตัวอย่างจำนวน 62 แปลงตัวอย่าง นับเป็นจำนวนต้นได้ 7,107 ต้น คำนวณได้เส้นผ่าศูนย์กลางต้นเฉลี่ยรวม เท่ากับ 5.124 เซนติเมตร แบ่งเป็น 2 ชุดข้อมูล นำมาใช้ในการประมาณค่ามวลชีวภาพไม้ในสวนป่าชายเลนและค่าดัชนีพื้นที่ใบ 31 แปลงตัวอย่าง และที่เหลือ 31 แปลงตัวอย่างเป็นส่วนทดสอบแบบจำลอง โดยการสุ่มเลือกแบบไม่ใส่คืน ใช้วิธีประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบด้วยวิธี Hemisphere photography gap analysis ด้วยชุดโปรแกรม CanEye version 5.0 และประมาณค่ามวลชีวภาพโดยใช้ Common Allometry Equation ดังแสดงไว้ในสมการที่ (40) ค่าความถ่วงจำเพาะเนื้อไม้ ซึ่งหาด้วยวิธีการวิเคราะห์หาค่าความถ่วงจำเพาะเนื้อไม้ ในหัวข้อ 3.4.3 ที่คำนวณจากชิ้นไม้จากส่วนต่าง ๆ ของลำต้นจำนวน 5 ชิ้นได้เท่ากับ 0.821 (± 0.022) ดังรายละเอียดในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 แสดงค่าสมบัติเนื้อไม้ในการวิเคราะห์หาค่าความถ่วงจำเพาะเนื้อไม้

น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	ความถ่วงจำเพาะเนื้อไม้ (กิโลกรัม/ลบ.เมตร)
80.51	98.0	0.8215
97.37	118.0	0.8252
30.31	35.5	0.8538
30.79	38.0	0.8103
30.17	38.0	0.7939

พร้อมกันนี้ได้ทดสอบสมการ Common Allometry โดยการหาปริมาณมวลชีวภาพจริง ของตัวอย่างต้นแสมทะเลในพื้นที่ ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางต้นที่ 6.18 และ 5.96 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักหลังจากอบที่ 110 องศาเซลเซียส เวลา 48 ชั่วโมง ได้ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน 11,901.58 และ 11,055.35 กรัม ตามลำดับ (ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-2)

ตารางที่ 4-2 ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่วัดชั่งและคำนวณได้จากต้นตัวอย่าง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม.)	น้ำหนักอบแห้ง (กก.)	สมการที่ 40 (กก.)	สมการที่ 40(a) (กก.)
6.18	11.902	18.191	12.185
5.96	11.055	16.639	11.235

พบว่าค่าประมาณผลผลิตมวลชีวภาพที่ได้จาก Allometry equation ในสมการที่ (40) มีค่าประมาณสูงเกินจริง จึงทดลองปรับค่าสมการ(ตัวเลขยกกำลัง) โดยวิธี Trial and error ให้สอดคล้องกับผลที่ได้จากห้องปฏิบัติการ จากสมการที่ (40) เป็น สมการที่ (40a) โดยปรับเปลี่ยนเลขยกกำลังของค่าเส้นผ่าศูนย์กลางจาก 2.46 เป็น 2.24 และใช้ในการศึกษาคั้งนี้

$$W_{top} = 0.251\rho D^{2.46} \quad (40)$$

$$W_{top} = 0.251\rho D^{2.24} \quad (40a)$$

และนำสมการที่ (40a) มาประมาณหาค่าผลผลิตมวลชีวภาพ ซึ่งได้จากการวัดเส้นผ่าศูนย์กลาง ณ ความสูงระดับอก (Diameter at Breast Height; DBH) โดยกำหนดให้ค่าที่คำนวณได้นี้ เป็นค่าจริงจากภาพสนาม ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ค่าสมบัติทางชีวฟิสิกส์จากแปลงตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา

หมายเลขแปลง	Coordinate UTM		จำนวนต้น	เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย (ซม.)	ค่าดัชนีพื้นที่ใบ	มวลชีวภาพ (กก./ตร.ม.)
	East	North				
1	679773	1494693	59	7.58	2.9	15.439
2	679765	1494755	88	5.67	2.3	12.001
3	679766	1494787	60	7.05	2.8	15.418
4	679765	1494837	103	5.19	2.9	10.629
5	679808	1494835	125	4.78	2.1	11.057
6	679821	1494867	158	4.53	2.3	11.399
7	679827	1494943	130	4.32	2.0	9.318
8	679882	1494945	97	5.18	1.9	10.121

หมายเลขแปลง	Coordinate UTM		จำนวน ตัน	เส้นผ่าศูนย์กลาง เฉลี่ย (ซม.)	ค่าดัชนี พื้นที่ใบ	มวลชีวภาพ (กก./ตร.ม.)
	East	North				
9	679913	1494994	138	4.23	1.9	9.945
10	679930	1494975	132	4.78	2.4	11.334
11	679970	1494964	116	4.10	1.8	8.650
12	679869	1495058	134	4.81	2.5	12.228
13	679680	1494665	48	8.02	2.7	13.760
14	679671	1494894	30	10.47	3.8	16.459
15	679655	1494792	65	7.42	2.8	14.324
16	679684	1494839	111	4.66	2.3	10.277
17	679620	1494722	170	4.59	2.3	11.222
18	679719	1494888	159	4.85	2.6	13.593
19	679650	1494955	128	5.82	2.6	12.787
20	679528	1494740	86	5.96	2.6	12.071
21	679581	1494808	50	6.80	2.8	11.731
22	679568	1494843	122	4.78	2.3	10.590
23	679585	1494906	184	4.39	2.5	12.944
24	679597	1494962	111	5.08	2.3	12.156
25	679490	1494774	65	5.47	2.0	8.816
26	679490	1494831	164	4.21	2.1	9.878
27	679489	1494870	134	4.65	2.6	11.316
28	679508	1494916	110	5.04	2.3	10.181
29	679520	1494985	99	5.10	1.9	9.950
30	679391	1494814	59	8.03	2.6	12.448

หมายเลขแปลง	Coordinate UTM		จำนวน ตัน	เส้นผ่าศูนย์กลาง เฉลี่ย (ซม.)	ค่าดัชนี พื้นที่ใบ	มวลชีวภาพ (กก./ตร.ม.)
	East	North				
31	679442	1494867	130	4.89	2.4	11.759
32	679449	1494920	79	6.17	2.5	11.527
33	679501	1495165	161	4.23	2.2	10.143
34	679352	1494829	42	8.48	3.0	13.766
35	679375	1494869	161	4.25	2.4	10.381
36	679393	1494973	96	5.25	2.0	10.600
37	679427	1495084	126	4.79	2.0	10.504
38	679328	1494893	102	5.26	2.5	10.880
39	679313	1494853	126	5.60	3.4	16.985
40	679350	1494953	277	4.42	3.8	16.906
41	679244	1494966	172	4.35	2.5	11.373
42	678161	1495035	150	4.37	2.1	11.235
43	678211	1495055	72	4.42	2.0	9.451
44	678294	1495075	128	4.56	2.3	11.812
45	678300	1494965	118	4.45	2.2	10.290
46	678312	1495055	122	4.42	2.5	10.797
47	678333	1495118	134	4.53	2.8	11.780
48	678455	1495050	140	4.41	2.6	12.586
49	678402	1495065	126	4.56	2.5	12.342
50	679724	1495122	116	4.32	2.0	11.948
51	679591	1495074	120	4.61	2.4	12.630
52	679462	1495104	104	4.83	2.9	12.710

หมายเลขแปลง	Coordinate UTM		จำนวน ต้น	เส้นผ่าศูนย์กลาง เฉลี่ย (ซม.)	ค่าดัชนี พื้นที่ใบ	มวลชีวภาพ (กก./ตร.ม.)
	East	North				
53	679411	1495295	98	4.22	2.5	10.702
54	679570	1495246	109	4.52	2.2	11.605
55	678980	1495075	113	4.72	2.9	15.401
56	678891	1495255	97	4.21	2.4	10.280
57	678492	1495125	112	4.31	2.0	11.105
58	678731	1495055	106	4.45	2.7	11.512
59	679140	1494846	98	4.05	2.5	9.560
60	679230	1494815	120	4.36	2.6	15.045
61	678811	1494965	115	4.03	2.1	10.517
62	678711	1494955	102	4.11	2.6	11.022

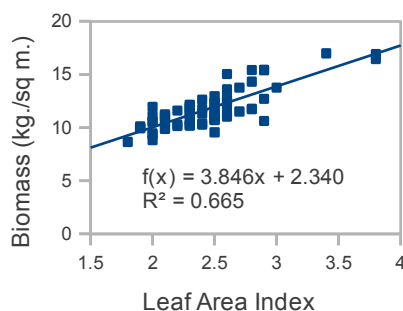
เนื่องจากงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบโดยวิธี Hemisphere photography gap analysis จึงได้ทำการวัดสอบเทียบกับเครื่องวัดพื้นที่ใบ Licor-2000 จำนวน 40 จุดผลที่ได้พบว่าค่าดัชนีพื้นที่ใบทั้งสองวิธีสอดคล้องกัน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.834 และเมื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ ได้ว่า $t = 4.28 > t_{critical} = 2.31$ ที่ 0.05 ซึ่งปฏิเสธสมมุติฐานหลัก หมายถึง กลุ่มตัวแปรทั้งสองกลุ่มมีความสอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

โดยความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบจากการตรวจวัดในภาคสนามกับค่าผลผลิตมวลชีวภาพที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี Allometric equation ดังในสมการที่ 40a และแสดงค่าไว้ในตารางที่ 4-3 ซึ่งใช้วิธีหาความสัมพันธ์สมการถดถอยเชิงเส้นจากง่ายได้ความสัมพันธ์ดังแสดงไว้ในสมการที่ 41 และแผนภูมิความสัมพันธ์ด้วยวิธีความถดถอยแสดงไว้ที่ภาพที่ 4-1

$$AGB_f = 2.340 + 3.846 * LAI_f \quad R^2 = 0.665 \quad (41)$$

โดย AGB_f คือ ผลผลิตมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Aboveground Biomass)

LAI, คือ ดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่าย Hemisphere ด้วยชุดโปรแกรม CanEye



ภาพที่ 4-1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ
กับค่าผลผลิตมวลชีวภาพจากภาคสนาม

4.2 ผลการศึกษารายละเอียดจุดภาพข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมกับดัชนีพืชพรรณ

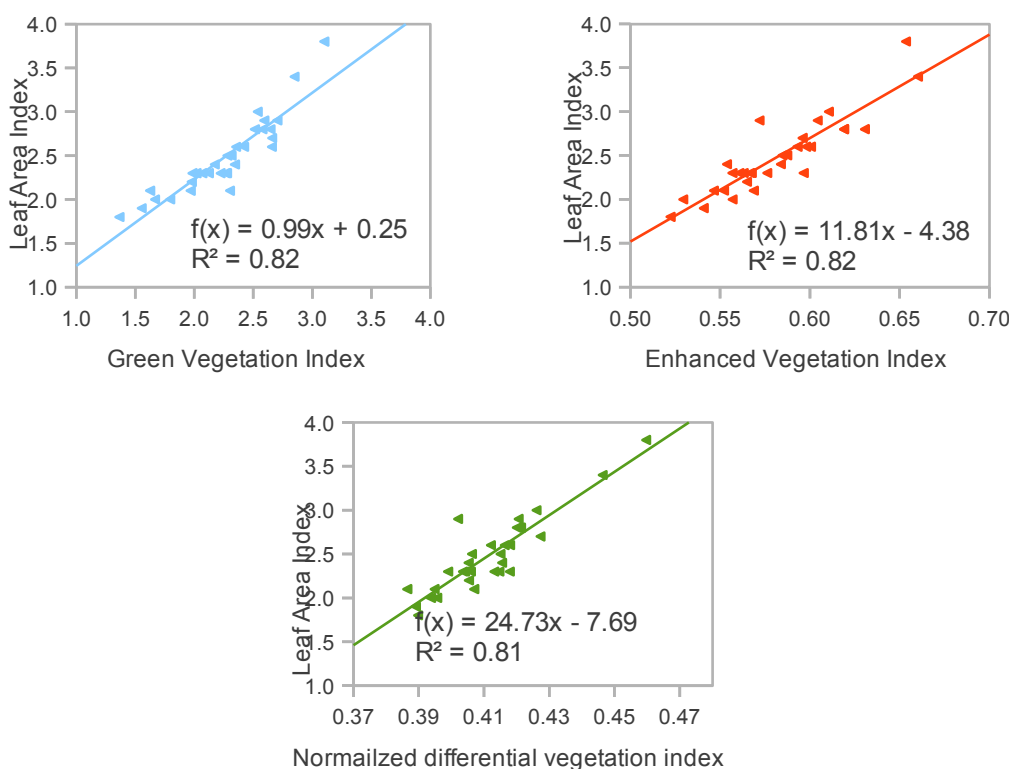
จากข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) จากภาคสนามส่วนวิเคราะห์เพื่อพัฒนาแบบจำลอง 31 แปลงนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear regression analysis) ร่วมกับข้อมูลดัชนีพืชพรรณ (VI) ที่กำหนดไว้ 5 วิธี ได้แก่ NDVI, SR, SAVI, TCT-GVI, และ EVI ในแต่ละรายละเอียดจุดภาพ 7 ชุดข้อมูลซึ่งได้จากการปรับเปลี่ยนรายละเอียดจุดภาพ (Re-sampling) ข้อมูลภาพจากดาวเทียม QuickBird MS ตั้งแต่ 2.5-m., 5-m., 10-m., 15-m., 20-m., 25-m., และ 30-m. โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination; R^2) ได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจจากสมการความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายระหว่างดัชนีพื้นที่ใบกับดัชนีพืชพรรณในแต่ละรายละเอียดจุดภาพ

	2.5-m.	5-m.	10-m.	15-m.	20-m.	25-m.	30-m.
NDVI	0.65	0.66	0.810	0.50	0.44	0.24	0.19
SR	0.34	0.72	0.738	0.39	0.34	0.22	0.21
SAVI	0.45	0.60	0.712	0.34	0.23	0.18	0.18
TCT-GVI	0.50	0.63	0.824	0.43	0.34	0.19	0.05
EVI	0.57	0.61	0.817	0.53	0.58	0.23	0.30

จากผลการศึกษาซึ่งใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เป็นตัวแปรเปรียบเทียบ เพื่อพิจารณาเลือกดัชนีพืชพรรณและรายละเอียดจุดภาพของข้อมูลภาพจากดาวเทียมพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูงที่สุดอยู่ที่ 1) สมการระหว่าง LAI กับ ค่าดัชนีพืชพรรณ TCT-GVI ที่รายละเอียดจุดภาพ 10-meter ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.824 2) สมการระหว่าง LAI กับ ค่าดัชนีพืชพรรณ EVI ที่รายละเอียดจุดภาพ 10-meter มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.817 และ 3) สมการระหว่าง LAI กับดัชนีพืชพรรณ NDVI ที่รายละเอียดจุดภาพที่ 10-meter มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.810 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-4 และแสดงรายละเอียดค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยพร้อมทั้งระยะตัดแกน Y ในรูปแบบของสมการแบบจำลองไว้ในที่ (42) โดยเรียกแบบจำลองที่ได้ว่า L1, L2, และ L3 พร้อมกับแสดงแผนภูมิของสมการถดถอยเชิงเส้นทั้งสามไว้ใน ภาพที่ 4-2

$$\begin{array}{lll}
 \text{Model-L1} & LAI = 0.25 + 0.99 * GVI & R^2 = 0.824 \\
 \text{Model-L2} & LAI = -4.38 + 11.81 * EVI & R^2 = 0.817 \\
 \text{Model-L3} & LAI = -7.69 + 24.73 * NDVI & R^2 = 0.810
 \end{array} \quad (42)$$



ภาพที่ 4-2 ตัวอย่างแผนภูมิสมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ใบกับดัชนีพรรณพืชที่กำหนด ในรายละเอียดจุดภาพที่ 10-meter

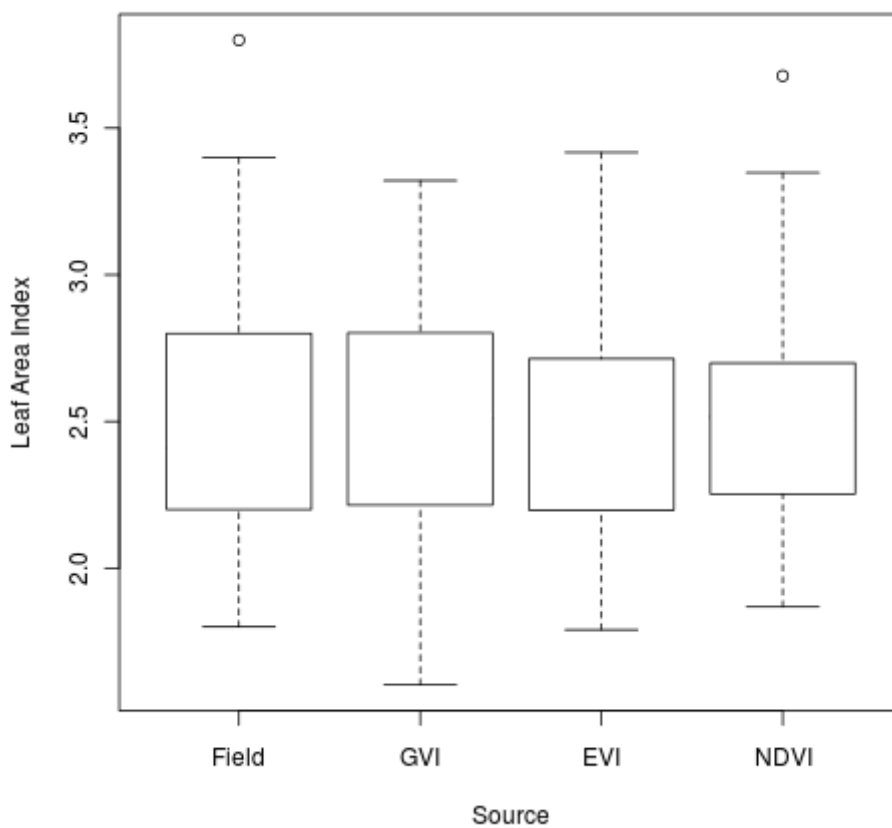
และเมื่อนำแบบจำลอง L1, L2, L3 มาคำนวณหาค่าดัชนีพื้นที่ใบ ในตำแหน่งของแปลงทดสอบ 31 แปลงที่แบ่งไว้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ผลที่ได้ของดัชนีพื้นที่ใบดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ค่าดัชนีพื้นที่ใบที่คำนวณได้จากแบบจำลองทั้งสามเปรียบเทียบกับแปลงตรวจสอบ

แปลง	GVI	EVI	NDVI	LAI _{GVI}	LAI _{EVI}	LAI _{NDVI}	LAI _{Field}
1	2.704	0.604	0.421	2.927	2.757	2.712	2.9
2	2.267	0.563	0.418	2.494	2.270	2.645	2.3
3	2.646	0.631	0.421	2.869	3.068	2.729	2.8
4	2.593	0.572	0.402	2.817	2.374	2.253	2.9
5	1.970	0.569	0.387	2.200	2.337	1.868	2.1
6	2.069	0.596	0.399	2.298	2.665	2.177	2.3
7	1.667	0.557	0.396	1.900	2.198	2.095	2.0
8	1.555	0.541	0.389	1.790	2.007	1.933	1.9
13	2.660	0.596	0.427	2.883	2.658	2.878	2.7
14	3.102	0.654	0.460	3.321	3.338	3.678	3.8
15	2.513	0.619	0.420	2.738	2.931	2.699	2.8
16	2.124	0.568	0.404	2.353	2.324	2.291	2.3
18	2.657	0.601	0.412	2.880	2.714	2.502	2.6
20	2.355	0.593	0.418	2.581	2.624	2.647	2.6
21	2.578	0.619	0.421	2.802	2.931	2.722	2.8
22	2.020	0.561	0.404	2.250	2.243	2.304	2.3
23	2.281	0.587	0.406	2.508	2.557	2.304	2.5
24	1.985	0.557	0.415	2.215	2.196	2.566	2.3

แปลง	GVI	EVI	NDVI	LAI _{GVI}	LAI _{EVI}	LAI _{NDVI}	LAI _{Field}
25	1.796	0.529	0.394	2.028	1.873	2.048	2.0
26	2.303	0.552	0.407	2.530	2.140	2.358	2.1
27	2.422	0.598	0.416	2.648	2.682	2.607	2.6
28	2.278	0.576	0.413	2.506	2.426	2.528	2.3
31	2.173	0.584	0.405	2.402	2.515	2.333	2.4
32	2.315	0.585	0.415	2.542	2.525	2.574	2.5
34	2.538	0.611	0.426	2.762	2.830	2.847	3.0
35	1.626	0.546	0.395	1.860	2.074	2.075	2.1
36	1.365	0.522	0.390	1.602	1.790	1.949	1.8
37	1.978	0.565	0.405	2.208	2.292	2.335	2.2
38	2.344	0.554	0.416	2.571	2.161	2.586	2.4
39	2.849	0.660	0.446	3.070	3.417	3.348	3.4
41	2.224	0.567	0.406	2.452	2.314	2.350	2.3

ทดสอบความแตกต่างทางสถิติของค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากการประมาณด้วยแบบจำลอง กับดัชนีพื้นที่ใบจากแปลงตรวจสอบภาคสนาม โดยใช้วิธีทดสอบ Paired t-test (ศิริชัย พงษ์วิชัย, 2552) ผลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4-6 โดยผลการทดสอบพบว่า ค่าดัชนีพื้นที่ใบจากแบบจำลองทั้งสาม แตกต่างกับค่าดัชนีพื้นที่ใบจากภาคสนามอย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ความเชื่อมั่น 95% และแสดงลักษณะทางสถิติของข้อมูลเปรียบเทียบในภาพที่ 4-3



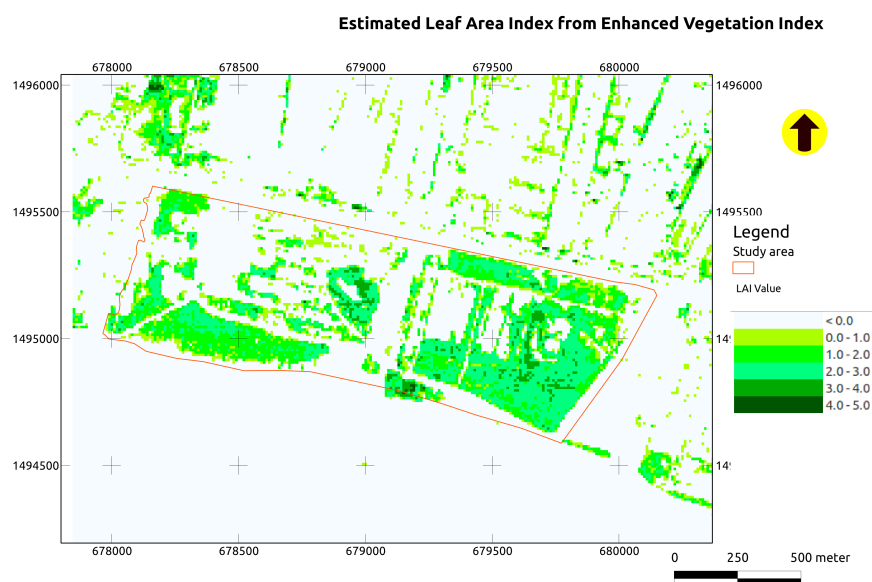
ภาพที่ 4-3 แผนภูมิแสดงลักษณะทางสถิติเปรียบเทียบค่าดัชนีพื้นที่ใบ
จากแบบจำลองและแปลงตรวจสอบ

ตารางที่ 4-6 ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างดัชนีพื้นที่ใบจากแบบจำลองกับดัชนีพื้นที่ใบจาก
แปลงตรวจสอบด้วยวิธี Paired t-test

ดัชนีพื้นที่ใบ	ค่าเฉลี่ย	SD	N	สถิติที่ใช้ t		ช่วงความเชื่อมั่น 95%	RMSE
				Value	Prob		
LAI _{Field}	2.490	0.439	31	-0.0565	0.9553	-0.0707 – 0.0669	0.2811
LAI _{GVI}	2.492	0.398					
LAI _{Field}	2.490	0.439	31	-0.0554	0.9527	-0.0801 – 0.0609	0.2859
LAI _{EVI}	2.499	0.395					

ดัชนีพื้นที่ใบ	ค่าเฉลี่ย	SD	N	สถิติที่ใช้ t		ช่วงความเชื่อมั่น 95%	RMSE
				Value	Prob		
LAI _{Field}	2.490	0.439	31	0.0597	0.9528	-0.0698 – 0.0740	0.2893
LAI _{NDVI}	2.487	0.396					

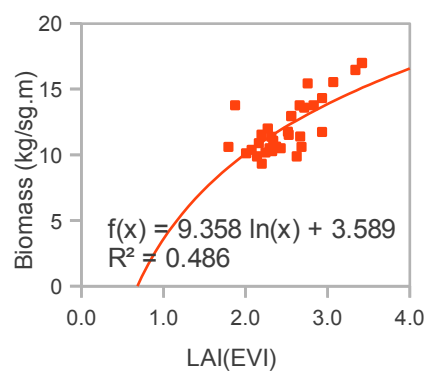
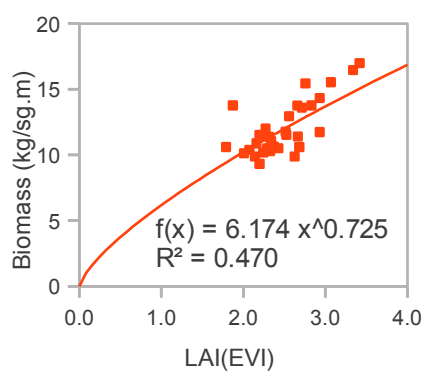
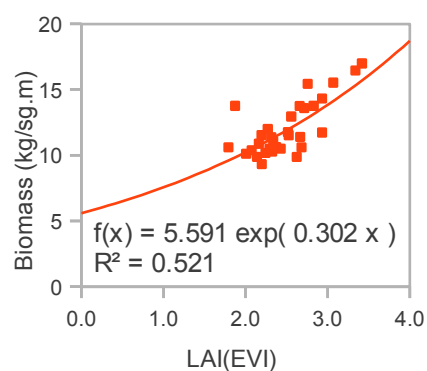
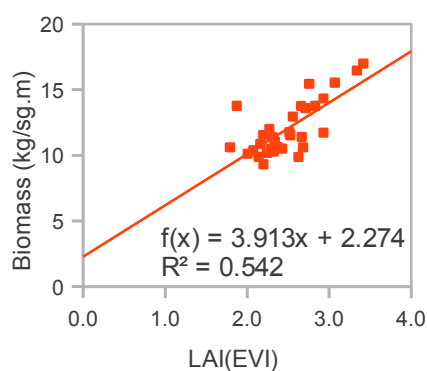
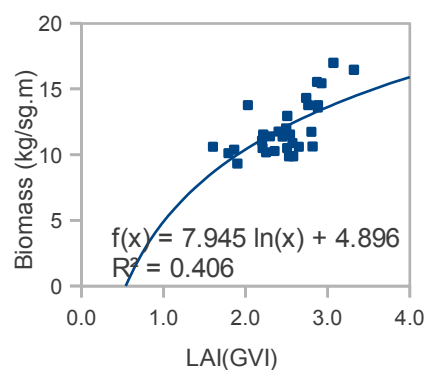
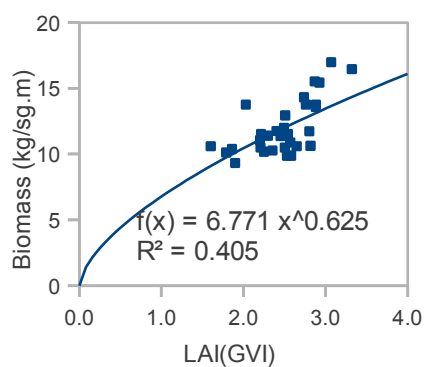
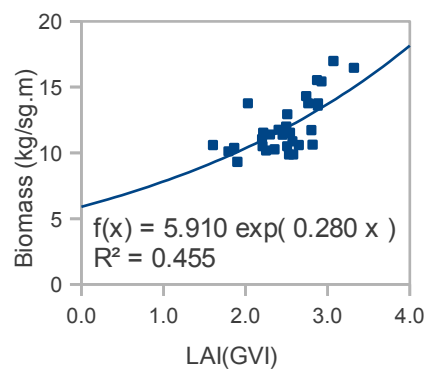
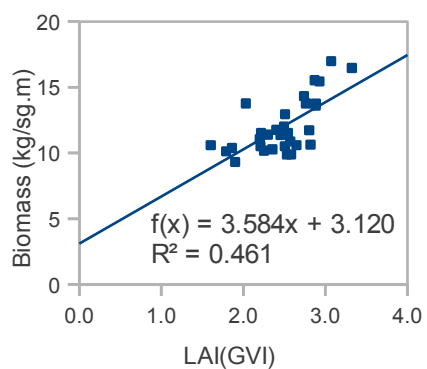
และผู้วิจัยเลือกใช้แบบจำลองที่ L2 ในสมการที่ 42 ซึ่งใช้เป็นดัชนีพืชพรรณ EVI มาประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ เนื่องจาก ดัชนีพืชพรรณ EVI คำนวณได้ง่ายและสะดวกกว่า ดัชนีพืชพรรณ GVI ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ และผลจากการทดสอบจากแปลงทดสอบให้ผลที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งผลในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) แสดงเป็นแผนที่ไว้ใน ภาพที่ 4-4

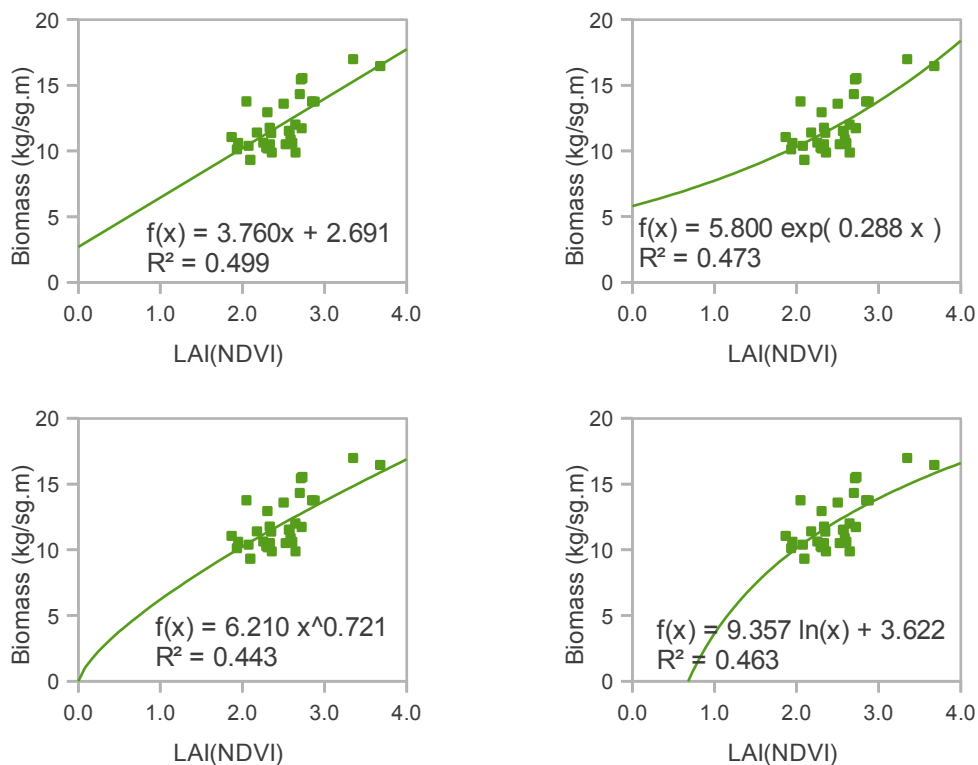


ภาพที่ 4-4 แผนที่แสดงปริมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ ซึ่งได้จากดัชนีพืชพรรณ EVI

4.3 การประมาณค่ามวลชีวภาพด้วยข้อมูลภาพจากดาวเทียมในช่วงคลื่นแสง

ค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) จากแบบจำลองทั้งสามดัชนีพืชพรรณ อันได้แก่ TCT-GVI, EVI และ NDVI เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่าย และเปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ความถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear regression analysis) ได้แก่ วิธี Exponential, Power, และ Logarithm กับค่ามวลชีวภาพที่คำนวณได้จากภาคสนาม ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4-5





ภาพที่ 4-5 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ด้วยวิธีสมการความถดถอยระหว่างดัชนีพื้นที่ใบจากแบบจำลองกับค่าผลผลิตมวลชีวภาพจากภาคสนาม

จากนั้นนำแบบจำลองที่ได้คำนวณค่าผลผลิตมวลชีวภาพ เปรียบเทียบกับแปลงตรวจสอบ ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4-7 และภาพแผนภูมิเปรียบเทียบแสดงไว้ใน ภาพที่ 4-6 โดยที่

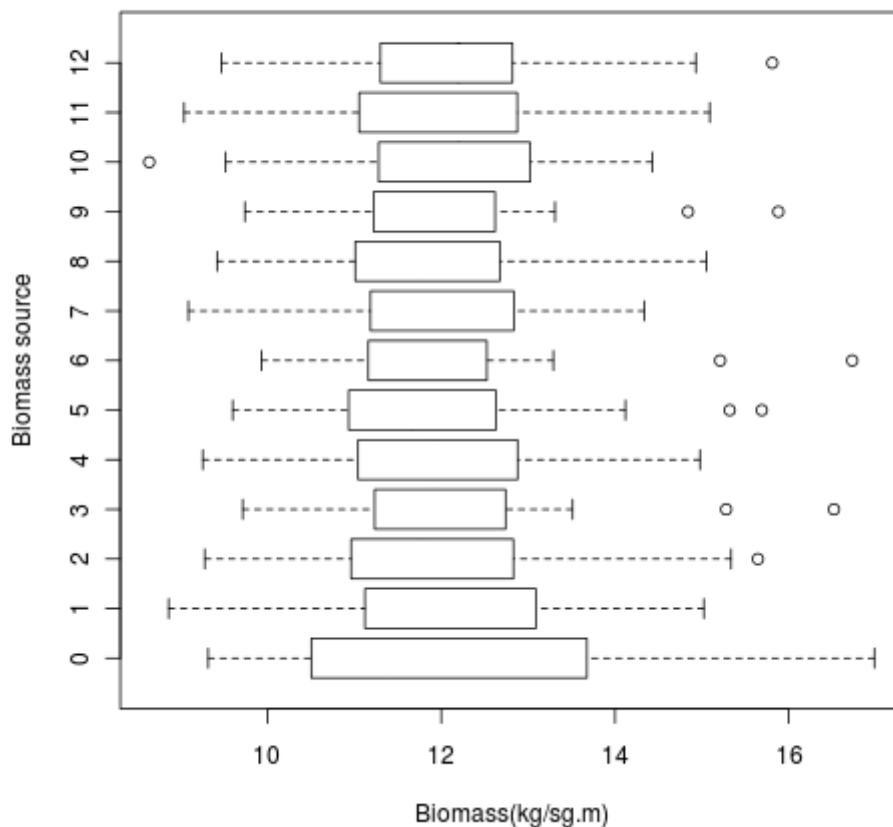
- Linear Regress แทนการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพด้วยแบบจำลองวิธี Simple Linear Regression
- Exp Regress แทนการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพด้วยแบบจำลองวิธี Exponential Regression
- Power Regress แทนการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพด้วยแบบจำลองวิธี Power Regression
- Log Regress แทนการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพด้วยแบบจำลองวิธี Logarithm Regression

- Bio_F แทนค่าผลผลิตมวลชีวภาพซึ่งได้จากภาคสนามด้วยวิธี Allometric Equation

ตารางที่ 4-7 แสดงผลการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพด้วยแบบจำลองต่าง ๆ เปรียบเทียบกับแปลง
ตรวจสอบจากภาคสนาม

No.	Linear Regress			Exp Regress			Power Regress			Log Regress			Bio _F
	GVI	EVI	NDVI	GVI	EVI	NDVI	GVI	EVI	NDVI	GVI	EVI	NDVI	
1	13.61	13.06	12.89	13.41	12.86	12.66	13.25	12.88	12.75	13.43	13.08	12.96	15.44
2	12.06	11.16	12.64	11.88	11.10	12.42	11.99	11.19	12.52	12.16	11.26	12.72	12.00
3	13.40	14.28	12.95	13.20	14.12	12.73	13.08	13.92	12.81	13.27	14.08	13.02	15.53
4	13.22	11.56	11.16	13.01	11.45	11.10	12.94	11.56	11.15	13.12	11.68	11.22	10.63
5	11.01	11.42	9.72	10.94	11.32	9.93	11.08	11.42	9.74	11.16	11.53	9.47	11.06
6	11.36	12.70	10.88	11.25	12.50	10.86	11.39	12.57	10.88	11.51	12.76	10.90	11.40
7	9.93	10.88	10.57	10.06	10.86	10.60	10.11	10.93	10.58	10.00	10.96	10.54	9.32
8	9.54	10.13	9.96	9.76	10.25	10.12	9.74	10.23	9.99	9.52	10.11	9.79	10.12
13	13.45	12.68	13.51	13.25	12.48	13.29	13.12	13.12	13.31	13.31	12.74	13.51	13.76
14	15.02	15.34	16.52	14.98	15.32	16.73	14.34	14.79	15.88	14.43	14.87	15.81	16.46
15	12.93	13.74	12.84	12.72	13.55	12.62	12.71	13.46	12.71	12.90	13.65	12.91	14.32
16	11.55	11.37	11.31	11.42	11.28	11.22	11.56	11.38	11.29	11.69	11.48	11.38	10.28
18	13.44	12.89	12.10	13.24	12.69	11.92	13.12	12.73	12.03	13.30	12.93	12.20	13.59
20	12.37	12.54	12.64	12.18	12.35	12.43	12.25	12.43	12.53	12.43	12.62	12.73	9.88
21	13.16	13.74	12.93	12.95	13.55	12.70	12.89	13.46	12.78	13.08	13.65	12.99	11.73
22	11.18	11.05	11.36	11.10	11.01	11.26	11.24	11.09	11.34	11.34	11.15	11.43	10.18
23	12.11	12.28	11.35	11.93	12.10	11.26	12.03	12.19	11.34	12.20	12.37	11.43	12.94
24	11.06	10.87	12.34	10.99	10.85	12.15	11.13	10.92	12.25	11.22	10.95	12.44	11.53
25	10.39	9.60	10.39	10.43	9.84	10.46	10.53	9.73	10.41	10.52	9.46	10.33	13.77

No.	Linear Regress			Exp Regress			Power Regress			Log Regress			Bio _F
	GVI	EVI	NDVI	GVI	EVI	NDVI	GVI	EVI	NDVI	GVI	EVI	NDVI	
26	12.19	10.65	11.56	12.00	10.67	11.44	12.09	10.72	11.53	12.27	10.71	11.65	9.88
27	12.61	12.77	12.50	12.04	12.57	12.29	12.44	12.62	12.39	12.63	12.82	12.59	10.60
28	12.10	11.77	12.20	11.92	11.63	12.01	12.02	11.74	12.12	12.19	11.88	12.30	10.50
31	11.73	12.12	11.46	11.58	11.95	11.36	11.71	12.05	11.44	11.86	12.22	11.55	11.76
32	12.23	12.15	12.37	12.04	11.99	12.17	12.13	12.08	12.28	12.31	12.26	12.47	11.53
34	13.02	13.35	13.40	12.81	13.14	13.17	12.78	13.13	13.20	12.97	13.32	13.41	13.77
35	9.79	10.39	10.49	9.95	10.46	10.54	9.98	10.48	10.51	9.83	10.42	10.45	10.38
36	8.87	9.28	10.02	9.26	9.60	10.17	9.09	9.42	10.05	8.64	9.04	9.87	10.60
37	11.03	11.24	11.47	10.97	11.17	11.36	11.11	11.26	11.45	11.19	11.35	11.56	10.50
38	12.33	10.73	12.41	12.14	10.74	12.21	12.22	10.79	12.32	12.40	10.80	12.51	10.88
39	14.12	15.65	15.28	13.96	15.69	15.21	13.65	15.05	14.84	13.81	15.09	14.93	16.99
41	11.91	11.33	11.53	11.74	11.24	11.41	11.86	11.34	11.50	12.02	11.44	11.62	11.37



ภาพที่ 4-6 แผนภูมิเปรียบเทียบผลการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพจากแบบจำลองต่าง ๆ กับแปลงตรวจสอบจากภาคสนาม

คำอธิบายภาพแผนภูมิ

แกน Y เป็นแหล่งที่มาของปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

0 : ผลผลิตมวลชีวภาพจากแปลงทดสอบภาคสนาม

1 : ผลผลิตมวลชีวภาพจากการประมาณค่า โดยแบบจำลอง GVI Linear Regression

2 : ผลผลิตมวลชีวภาพจากการประมาณค่า โดยแบบจำลอง EVI Linear Regression

3 : ผลผลิตมวลชีวภาพจากการประมาณค่า โดยแบบจำลอง NDVI Linear Regression

4 : ผลผลิตมวลชีวภาพจากการประมาณค่า โดยแบบจำลอง GVI Exponential Regression

5 : ผลผลิตมวลชีวภาพจากการประมาณค่า โดยแบบจำลอง EVI Exponential Regression

6 : ผลผลิตมวลชีวภาพจากการประมาณค่า โดยแบบจำลอง NDVI Exponential Regression

7 : ผลผลิตมวลชีวภาพจากการประมาณค่า โดยแบบจำลอง GVI Power Regression

- 8 : ผลผลิตมวลชีวภาพจากการประมาณค่า โดยแบบจำลอง EVI Power Regression
 9 : ผลผลิตมวลชีวภาพจากการประมาณค่า โดยแบบจำลอง NDVI Power Regression
 10 : ผลผลิตมวลชีวภาพจากการประมาณค่า โดยแบบจำลอง GVI Logarithm Regression
 11 : ผลผลิตมวลชีวภาพจากการประมาณค่า โดยแบบจำลอง EVI Logarithm Regression
 12 : ผลผลิตมวลชีวภาพจากการประมาณค่า โดยแบบจำลอง NDVI Logarithm Regression

ผลการทดสอบทางสถิติ ด้วยวิธี Paired t-test ระหว่างผลผลิตมวลชีวภาพชุด
 ตรวจสอบจากภาคสนามกับ ผลผลิตมวลชีวภาพจาก แบบจำลองต่าง ๆ ข้างต้น ได้ผล
 ดังในตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 แสดงผลการทดสอบทางสถิติ ระหว่างผลผลิตมวลชีวภาพจากแปลงตรวจสอบ กับ
 ผลผลิตมวลชีวภาพจากแบบจำลองต่าง ๆ ด้วยวิธี Paired t-test

แบบจำลอง มวลชีวภาพ	ค่าเฉลี่ย	SD	N	สถิติที่ใช้ t		ช่วงความเชื่อมั่น 95%	RMSE
				Value	Prob		
AGB _{Field}	12.020	2.078	31	-0.0022	0.9982	-0.5603 - 0.5591	2.5010
AGB _{GVI-Lin}	12.020	1.411					
AGB _{Field}	12.020	2.078	31	-8×10^{-4}	0.9994	-0.5160 - 0.5156	2.3834
AGB _{EVI-Lin}	12.020	1.530					
AGB _{Field}	12.020	2.078	31	-0.0037	0.9971	-0.5404 - 0.5384	2.4466
AGB _{NDVI-Lin}	12.020	1.468					
AGB _{Field}	12.020	2.078	31	0.3929	0.6972	-0.4400 - 0.6496	3.4649
AGB _{GVI-Exp}	11.920	1.298					
AGB _{Field}	12.020	2.078	31	0.3125	0.7568	-0.4216 - 0.5739	3.3371
AGB _{EVI-Exp}	11.950	1.456					

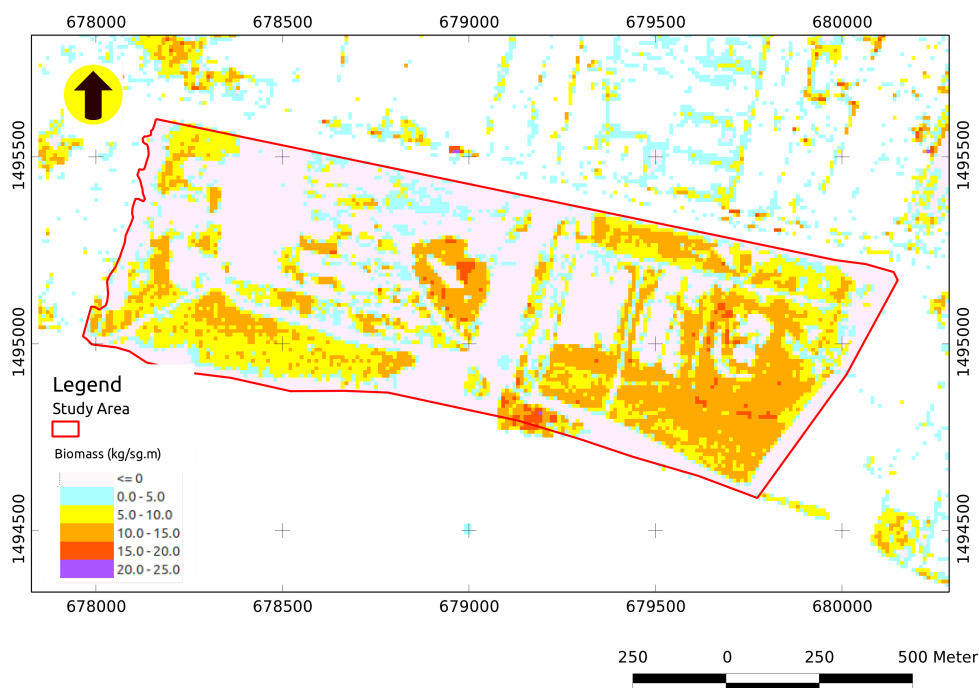
แบบจำลอง มวลชีวภาพ	ค่าเฉลี่ย	SD	N	สถิติที่ใช้ t		ช่วงความเชื่อมั่น 95%	RMSE
				Value	Prob		
AGB _{Field}	12.020	2.078	31	0.3586	0.7224	-0.4379 - 0.6244	3.4276
AGB _{NDVI-Exp}	11.929	1.424					
AGB _{Field}	12.020	2.078	31	0.3572	0.7234	-0.4734 - 0.6741	3.5421
AGB _{GVI-Pow}	11.923	1.202					
AGB _{Field}	12.020	2.078	31	0.3239	0.7483	-0.4435 - 0.6106	3.4159
AGB _{EVI-Pow}	11.939	1.352					
AGB _{Field}	12.020	2.078	31	0.3345	0.7483	-0.4564 - 0.6352	3.4665
AGB _{NDVI-Pow}	11.933	1.336					
AGB _{Field}	12.020	2.078	31	-0.0021	0.9983	-0.5878 - 0.5866	3.5748
AGB _{GVI-Log}	12.023	1.323					
AGB _{Field}	12.020	2.078	31	0.0013	0.9990	-0.5460 - 0.5467	3.4652
AGB _{EVI-Log}	12.022	1.448					
AGB _{Field}	12.020	2.078	31	1×10^{-4}	0.9999	-0.5583 - 0.5584	3.4975
AGB _{NDVI-Log}	12.022	1.444					

หากพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจ (R^2) ของแบบจำลอง และผลจากการตรวจสอบจากผลผลิตมวลชีวภาพจากภาคสนาม (RMSE) เห็นว่าแบบจำลองจากวิธีวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย ให้ค่าที่ถูกต้องสูงที่สุดในทุกดัชนีพืชพรรณ ผู้วิจัยจึงพิจารณาใช้แบบจำลองประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพดังกล่าว โดยกำหนดให้ชื่อแบบจำลอง B1, B2, และ B3 ดังแสดงไว้ในสมการที่ (43)

$$\begin{aligned} \text{Model-B1} \quad \text{Biomass} &= 3.120 + 3.584 * \text{LAI}_{\text{GVI}} \quad R^2 = 0.461 \\ \text{Model-B2} \quad \text{Biomass} &= 2.274 + 3.913 * \text{LAI}_{\text{EVI}} \quad R^2 = 0.542 \quad (43) \\ \text{Model-B3} \quad \text{Biomass} &= 2.691 + 3.760 * \text{LAI}_{\text{NDVI}} \quad R^2 = 0.499 \end{aligned}$$

และผู้วิจัยใช้เลือกใช้แบบจำลองการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพ B2 ในสมการที่ (43) ซึ่งมาจากดัชนีพืชพรรณ EVI มาประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่าเสมทะเล ได้ผลดังภาพที่ 4-7 โดยมีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพในพื้นที่ 8.532 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และมวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมดประมาณ 5,800 ตันในพื้นที่สวนป่า 0.68 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็น 85.38 ตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่ 0.542 หรือกล่าวได้ว่าดัชนีพื้นที่ใบมีอิทธิพลต่อการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพที่ 54%

Estimation Biomass by Leaf Area Index



ภาพที่ 4-7 แผนที่แสดงปริมาณมวลชีวภาพซึ่งประมาณจากดัชนีพื้นที่ใบ

4.4 การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบด้วยข้อมูลจากภาพดาวเทียมซึ่งได้จากการหลอมภาพ

จากผลการศึกษาในส่วนแรก ที่ให้ผลว่ารายละเอียดจุดภาพที่เหมาะสมสำหรับการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) อยู่ที่ 10-meter (ดังตารางที่ 4-4) ผู้วิจัยจึงใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ไทยโชต (THEOS) ในช่วงคลื่นแสง (Multispectral) ซึ่งมีรายละเอียดจุดภาพที่ 15-meter หลอมรวมกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ไทยโชต ในช่วงคลื่นขาว-ดำ (Panchromatic) ที่มีรายละเอียด 2-meter เพื่อให้ได้ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมชุดใหม่ที่มีรายละเอียดจุดภาพที่ 10-meter (ด้วยเหตุผลที่ว่า ที่ขนาดจุดภาพ 10-meter ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจ (R^2) สูงที่สุดในทุกดัชนีพืชพรรณ) โดยกระบวนการหลอมภาพ 3 วิธีที่กำหนดคือ

1. Smoothing Filter-based Intensity Modulation (SFIM)
2. Color Normalization Fusion Techniques (CN)
3. Gram-Schmidt Spectral Sharpening (GS)

ซึ่งรายละเอียดของแต่ละกรรมวิธีการหลอมภาพ ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ห่วงอยู่ที่ 2.6 เรื่องการหลอมข้อมูลภาพจากดาวเทียม และเพื่อให้สะดวกต่อการศึกษาเปรียบเทียบการตอบสนองของข้อมูลภาพที่หลอมได้

เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบผลจากกรรมวิธีปรับปรุงข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม (Pan-sharpening) ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ดัชนีพืชพรรณ Normalization Difference Vegetation Index (NDVI) เป็นดัชนีพืชพรรณเปรียบเทียบ พร้อมกันนี้ ผู้วิจัยนำเอาข้อมูลภาพจากดาวเทียม Advanced Land Observing Satellite (ALOS) โดยกล้องบันทึก Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2 (AVNIR-II) ซึ่งมีรายละเอียดจุดภาพที่ 10-meter และภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต ซึ่ง Re-sampling ขนาดรายละเอียดจุดภาพจาก 15-meter เป็น 10-meter มาร่วมเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพที่ได้จากกรรมวิธีการหลอมข้อมูลภาพจากดาวเทียมด้วย ด้วยการแปลงข้อมูลภาพซึ่งได้จากการหลอมภาพ คำนวณหาค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI ในแต่ละแปลงทั้ง 31 แปลงศึกษา และนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกับค่าดัชนีพื้นที่ใบจากภาคสนาม ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายดังแสดงไว้ในสมการที่ (43) และพิจารณาจาก ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจ (R^2) ที่ได้จากความสัมพันธ์ด้วยสมการถดถอยระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณจากข้อมูล

ภาพที่ได้จากการหลอมภาพและข้อมูลภาพจากกล้องบันทึก AVNIR-II กับดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) จากภาคสนาม ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยและค่าคงที่ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4-7

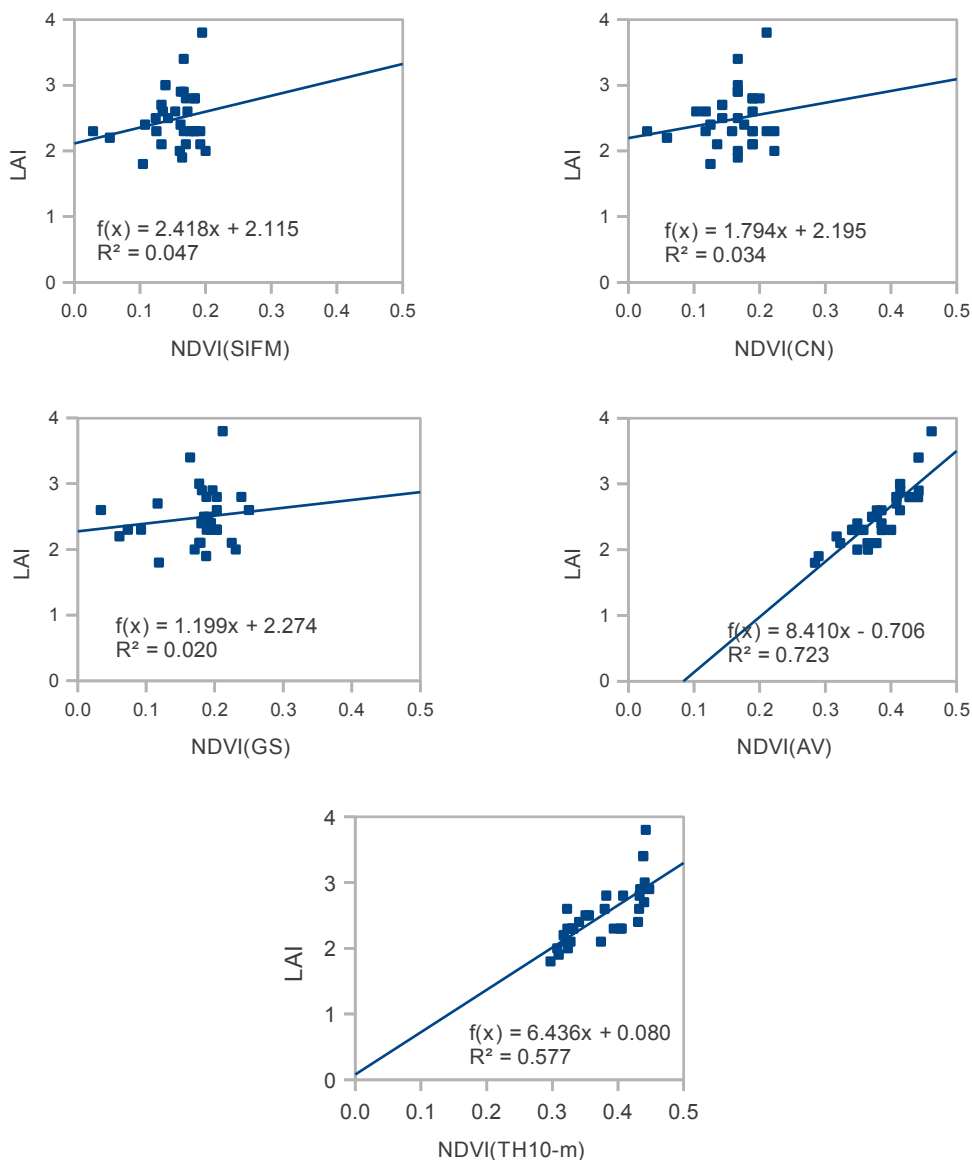
$$LAI = a + b * NDVI_{source} \quad (44)$$

โดยเขียนสรุปเป็นแบบจำลองประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบในรูปแบบสมการได้ 5 แบบจำลอง ซึ่งกำหนดให้เรียกแบบจำลองดังนี้

- L4 เป็นแบบจำลองที่ใช้ค่า NDVI มาจากภาพที่ได้จากการใช้กรรมวิธี SIFM หลอมภาพ
- L5 เป็นแบบจำลองที่ใช้ค่า NDVI จากภาพที่ได้มาจากกรรมวิธี CN หลอมภาพ
- L6 เป็นแบบจำลองที่ใช้ค่า NDVI จากภาพที่ได้มาจากกรรมวิธี GS หลอมภาพ และ
- L7 เป็นแบบจำลองที่ใช้ค่า NDVI มาจากภาพโดยกล้อง AVNIR-II
- L8 เป็นแบบจำลองที่ใช้ค่า NDVI มาจากภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต ซึ่งแปลงรายละเอียดจุดภาพ (Re-sampling) ให้เป็น 10-meter

โดยแสดงรายละเอียดสมการของแบบจำลองไว้ในสมการ (45)

$$\begin{array}{ll}
 \text{Model L4} & LAI = 2.115 + 2.418 * NDVI_{SIFM} & R^2 = 0.047 \\
 \text{Model L5} & LAI = 2.195 + 1.794 * NDVI_{CN} & R^2 = 0.034 \\
 \text{Model L6} & LAI = 2.274 + 1.199 * NDVI_{GS} & R^2 = 0.020 \\
 \text{Model L7} & LAI = -0.706 + 8.410 * NDVI_{AV} & R^2 = 0.723 \\
 \text{Model L8} & LAI = 0.080 + 6.436 * NDVI_{TH10} & R^2 = 0.577
 \end{array} \quad (45)$$



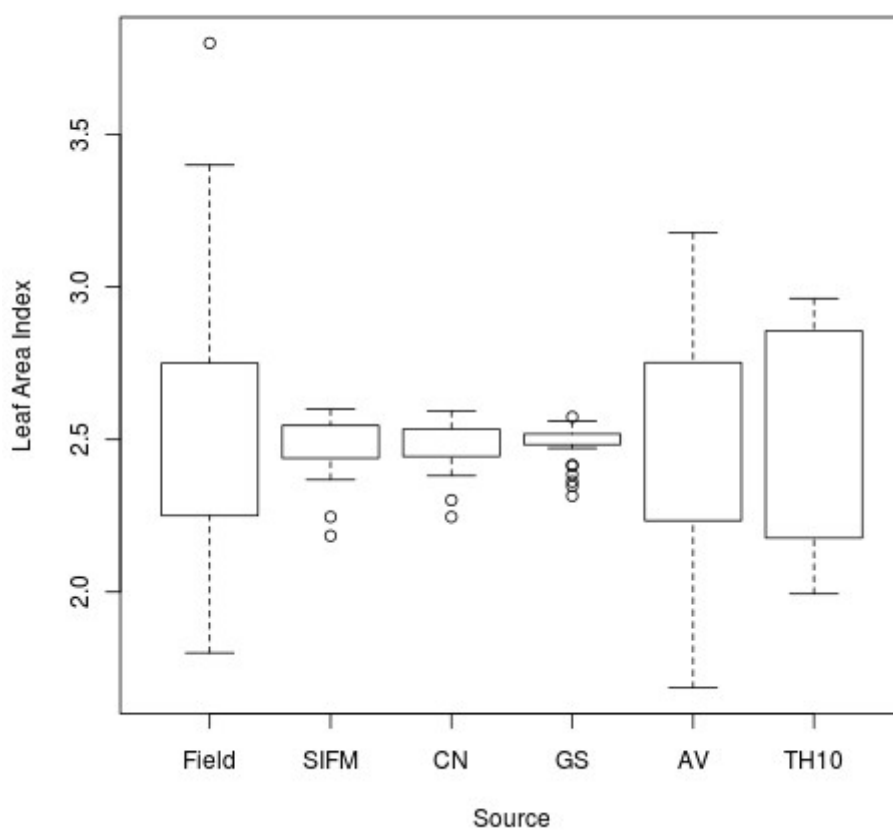
ภาพที่ 4-8 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ใบกับดัชนีพืชพรรณ NDVI จากการหลอมภาพด้วยวิธีต่าง ๆ เปรียบเทียบกับข้อมูลภาพ AVNIR-II และข้อมูลภาพจากไทยโชต 10 เมตร

และนำแบบจำลองคำนวณค่าดัชนีพื้นที่ใบทั้ง 4 แบบจำลอง คำนวณค่าดัชนีพื้นที่ใบ เพื่อเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลที่จัดเตรียมไว้สำหรับตรวจสอบ ผลการคำนวณค่าดัชนีพื้นที่ใบในพื้นที่ศึกษาแสดงไว้ในตารางที่ 4-9 พร้อมทั้งแสดงการเปรียบเทียบลักษณะทางสถิติด้วยแผนภูมิในภาพที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 เปรียบเทียบค่าดัชนีพื้นที่ใบจากแบบจำลอง กับแปลงตรวจสอบ

แปลง	Leaf Area Index					
	LAI _{SIFM}	LAI _{CN}	LAI _{GS}	LAI _{AV}	LAI _{TH10}	LAI _{Field}
1	2.507	2.494	2.491	2.776	2.962	2.9
2	2.540	2.534	2.518	2.543	2.217	2.3
3	2.559	2.534	2.560	3.005	2.706	2.8
4	2.518	2.494	2.510	3.014	2.874	2.9
5	2.579	2.534	2.544	2.473	2.489	2.1
6	2.518	2.478	2.506	2.659	2.202	2.3
7	2.599	2.594	2.551	2.364	2.164	2.0
8	2.512	2.494	2.499	1.732	2.073	1.9
13	2.436	2.451	2.414	2.729	2.911	2.7
14	2.586	2.573	2.528	3.178	2.928	3.8
15	2.526	2.534	2.499	2.895	2.867	2.8
16	2.579	2.573	2.517	2.304	2.213	2.3
18	2.487	2.381	2.574	2.536	2.861	2.6
20	2.441	2.406	2.315	2.478	2.524	2.6
21	2.558	2.554	2.518	2.728	2.540	2.8
22	2.552	2.594	2.500	2.543	2.160	2.3
23	2.415	2.451	2.502	2.415	2.338	2.5
24	2.417	2.406	2.385	2.159	2.691	2.3
25	2.504	2.494	2.479	2.226	2.060	2.0
26	2.526	2.534	2.489	2.007	2.190	2.1
27	2.532	2.534	2.518	2.775	2.156	2.6
28	2.560	2.534	2.518	2.241	2.679	2.3
31	2.375	2.419	2.507	2.536	2.274	2.4
32	2.460	2.494	2.495	2.478	2.370	2.5
34	2.451	2.494	2.487	2.775	2.918	3.0
35	2.436	2.437	2.487	2.356	2.140	2.1

แปลง	Leaf Area Index					
	LAI _{SIFM}	LAI _{CN}	LAI _{GS}	LAI _{AV}	LAI _{TH10}	LAI _{Field}
36	2.368	2.419	2.416	1.685	1.993	1.8
37	2.246	2.301	2.347	1.962	2.124	2.2
38	2.506	2.512	2.490	2.226	2.852	2.4
39	2.518	2.494	2.471	3.011	2.903	3.4
41	2.184	2.246	2.362	2.178	2.614	2.3



ภาพที่ 4-9 ภาพภูมิแสดงลักษณะทางสถิติของข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบจากแบบจำลองทั้ง 5 เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจสอบจากภาคสนาม

และตรวจสอบค่าดัชนีพื้นที่ใบที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าดัชนีพื้นที่ใบจากแปลงทดสอบ ดังรายงานไว้ในตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 การทดสอบค่าทางสถิติของข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบซึ่งได้จากแบบจำลอง เปรียบเทียบกับค่าดัชนีพื้นที่ใบจากแปลงตรวจสอบ ด้วยวิธี Paired t-test

แบบจำลอง	ค่าเฉลี่ย	SD	N	สถิติที่ใช้ t		ช่วงความเชื่อมั่น 95%	RMSE
				Value	Prob		
LAI _{Field}	2.490	0.433	31	0.0021	0.998	-0.1548 - 0.1551	0.4156
LAI _{SIFM}	2.480	0.094					
LAI _{Field}	2.490	0.433	31	0.0038	0.997	-0.1557 - 0.1563	0.4185
LAI _{CN}	2.484	0.079					
LAI _{Field}	2.490	0.433	31	0.0013	0.998	-0.1570 - 0.1572	0.4215
LAI _{GS}	2.483	0.0617					
LAI _{Field}	2.490	0.433	31	-0.0102	0.992	-0.1570 - 0.1572	0.2243
LAI _{AV}	2.483	0.3679					
LAI _{Field}	2.490	0.433	31	0.0021	0.998	-0.1032 - 0.1034	0.2771
LAI _{TH10}	2.484	0.3287					

จากผลได้ว่า ค่าดัชนีพืชพรรณซึ่งได้จากกรรมวิธีการหลอมภาพไม่ว่าจะเป็นวิธีใดก็มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบของพืชพื้นที่ศึกษาน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ALOS AVNIR-II (AV) ซึ่งมีรายละเอียดจุดภาพที่ 10-เมตร และข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ไทยโชต ที่แปลงรายละเอียดจุดภาพให้เป็น 10-เมตร ดังผลของค่า

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแบบจำลองและผลของการตรวจสอบทางสถิติกับข้อมูลจากภาคสนาม

ผู้วิจัยยกส่วนของการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพ ไปพิจารณาพร้อมกับการใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในช่วงคลื่นไมโครเวฟ ต่อไป

4.5 การใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในช่วงคลื่นไมโครเวฟร่วมประมาณค่ามวลชีวภาพ

ด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ALOS โดยกล้องบันทึก Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR) เป็นกล้องบันทึกข้อมูลภาพถ่ายด้วยคลื่นไมโครเวฟ จึงนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ร่วมกับค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ด้วยวิธีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุนาม (Multiple Regression Method) เพื่อประมาณค่ามวลชีวภาพ โดยมีรูปแบบสมการดังในสมการที่ (46) และจากผลของการวิเคราะห์แบบจำลองทั้งในส่วนของการใช้ข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จากการหลอมภาพและข้อมูลจาก AVNIR-II ตลอดจนการใช้ข้อมูล PALSAR เพื่อประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพ สรุปค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองเชิงเส้นในรูปของสมการถดถอยเชิงพหุ ในตารางที่ 4-11

$$Biomass = a + b_1 * LAI_{source} + b_2 * dB \quad (46)$$

โดย dB เป็นค่าพลังงานสะท้อนซึ่ง PALSAR บันทึกได้ (หน่วยเป็น เดซิเบล)

LAI_{source} เป็นค่าประมาณดัชนีพื้นที่ใบจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

b_1 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของดัชนีพื้นที่ใบ ในแต่ละแหล่งข้อมูล

b_2 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของค่าพลังงานสะท้อนของข้อมูลไมโครเวฟ

a เป็นค่าคงที่เริ่มต้น เมื่อ LAI และ dB เป็นศูนย์

โดยสามารถกำหนดแบบจำลองประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพ ตามแหล่งข้อมูลของการประมาณค่า LAI ได้ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

- แบบจำลอง B4 ใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม AVNIR-II ประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพ เพียงอย่างเดียว ค่าสัมประสิทธิ์ b_2 จึงเป็นศูนย์

- แบบจำลอง B5 ใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบจากข้อมูลภาพถ่าย ซึ่งได้จากกรรมวิธี หลอมภาพ SFIM ในค่าสัมประสิทธิ์ b_1 ใช้ร่วมกับค่าพลังงานสะท้อนในช่วง คลื่นไมโครเวฟ ในค่าสัมประสิทธิ์ b_2
- แบบจำลอง B6 ใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบจากข้อมูลภาพถ่าย ซึ่งได้จากกรรมวิธี หลอมภาพ CN ในค่าสัมประสิทธิ์ b_1 ใช้ร่วมกับค่าพลังงานสะท้อนในช่วง คลื่นไมโครเวฟ ในค่าสัมประสิทธิ์ b_2
- แบบจำลอง B7 ใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบจากข้อมูลภาพถ่าย ซึ่งได้จากกรรมวิธี หลอมภาพ GS ในค่าสัมประสิทธิ์ b_1 ใช้ร่วมกับค่าพลังงานสะท้อนในช่วง คลื่นไมโครเวฟ ในค่าสัมประสิทธิ์ b_2
- แบบจำลอง B8 ใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบจากข้อมูลภาพถ่าย ซึ่งได้จากข้อมูล ภาพถ่ายจากดาวเทียม AVNIR-II ในค่าสัมประสิทธิ์ b_1 ใช้ร่วมกับค่าพลังงาน สะท้อนในช่วงคลื่นไมโครเวฟ ในค่าสัมประสิทธิ์ b_2
- แบบจำลอง B9 ใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบจากข้อมูลภาพถ่าย ซึ่งได้จากข้อมูล ภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต ที่แปลงรายละเอียดจุดภาพเป็น 10-เมตร ใน ค่าสัมประสิทธิ์ b_1 ใช้ร่วมกับค่าพลังงานสะท้อนในช่วงคลื่นไมโครเวฟ ในค่า สัมประสิทธิ์ b_2 และ
- แบบจำลอง B10 ใช้ค่าพลังงานสะท้อนในช่วงคลื่นไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว ในค่าสัมประสิทธิ์ b_2 โดยไม่ใช้ค่าดัชนีพื้นที่ใบ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ b_1 จึง เป็นศูนย์

ตารางที่ 4-11 ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงพหุและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจระหว่างผลผลิต มวลชีวภาพกับดัชนีพื้นที่ใบและค่าพลังงานสะท้อนในช่วงคลื่นไมโครเวฟ

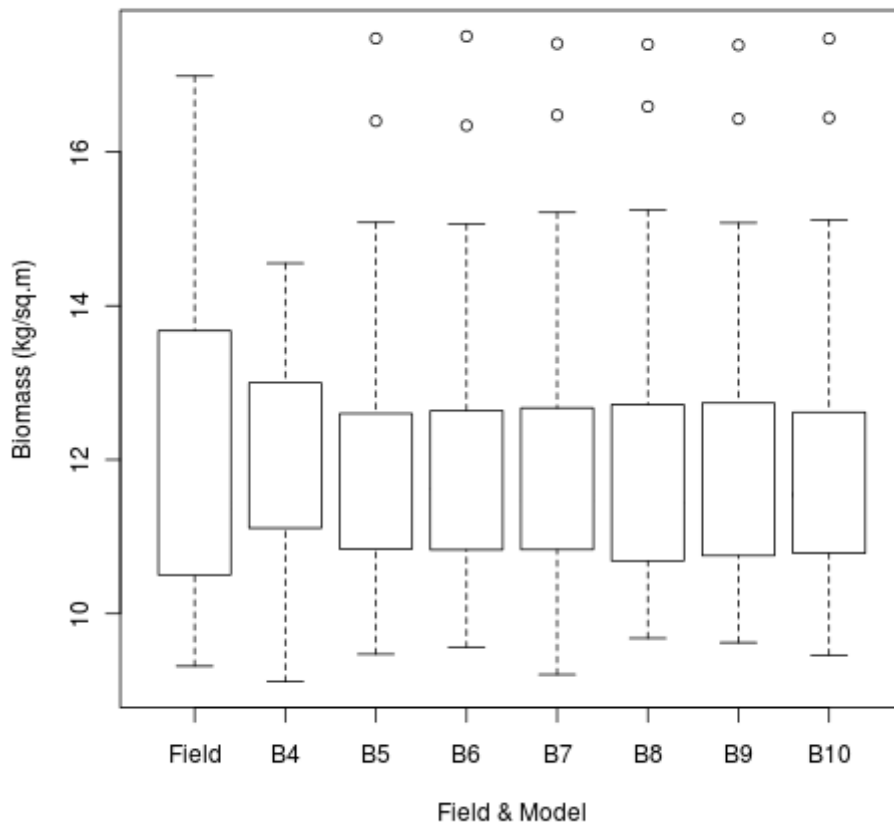
Model no	LAI source	a	b_1	b_2	R^2
B4	AVNIR-II	2.977	3.642	0	0.416
B5	THEOS _{SFIM}	9.389	-0.601	52.862	0.867
B6	THEOS _{CN}	11.756	-1.560	53.072	0.869
B7	THEOS _{GS}	3.965	1.604	52.196	0.868

Model no	LAI source	a	b_1	b_2	R^2
B8	AVNIR-II	6.362	0.771	47.990	0.878
B9	Thaichote-10	6.832	0.529	49.666	0.870
B10	-	7.917	0	52.615	0.866

จากผลการวิเคราะห์จะพบว่าอิทธิพลของค่าพลังงานสะท้อนในช่วงคลื่นไมโครเวฟ (b_2) มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามวลชีวภาพในแบบจำลองสูงมากเมื่อเทียบกับค่าดัชนีพื้นที่ใบ (b_1) จากทุกๆ แหล่งข้อมูล ยกเว้นแบบจำลอง B4 ที่ไม่ได้ใช้ข้อมูลในช่วงคลื่นไมโครเวฟมาร่วมคำนวณด้วย และเมื่อนำแบบจำลองไปประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพ เพื่อทดสอบค่ากับแปลงทดสอบ แสดงไว้ในตารางที่ 4-12 และเปรียบเทียบด้วยแผนภูมิ ในภาพที่ 4-9 ตารางที่ 4-12 เปรียบเทียบผลผลิตมวลชีวภาพจากแบบจำลองกับข้อมูลตรวจสอบจากภาคสนาม

แปลง	BIOMASS (kg./m ²)							
	Field	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
1	15.438	13.088	14.991	15.003	14.980	14.956	15.078	14.993
2	12.000	12.240	12.010	11.966	12.098	12.088	11.901	12.045
3	15.532	13.924	15.083	15.063	15.213	15.245	15.058	15.115
4	10.629	13.955	11.054	11.056	11.129	11.571	11.338	11.080
5	11.057	11.984	10.037	10.009	10.215	10.264	10.214	10.105
6	11.399	12.661	11.563	11.592	11.627	11.760	11.462	11.588
7	9.318	11.586	10.140	10.032	10.340	10.284	10.149	10.219
8	10.121	9.284	10.838	10.836	10.895	10.383	10.709	10.862
13	13.760	12.916	14.660	14.694	14.487	14.581	14.700	14.621
14	16.459	14.553	16.401	16.342	16.477	16.589	16.429	16.443
15	14.324	13.520	12.664	12.614	12.707	12.945	12.852	12.688
16	10.277	11.367	11.022	10.939	11.146	11.028	10.994	11.085
18	13.593	12.214	12.496	12.662	12.637	12.495	12.669	12.497
20	9.878	12.003	9.473	9.559	9.209	9.680	9.624	9.460
21	11.731	12.914	12.780	12.720	12.870	12.940	12.806	12.823
22	10.181	12.240	10.516	10.381	10.602	10.738	10.475	10.565

แปลง	BIOMASS (kg./m ²)							
	Field	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
23	12.944	11.774	11.582	11.591	11.578	11.533	11.493	11.545
24	11.527	10.841	11.695	11.777	11.502	11.439	11.788	11.659
25	13.766	11.085	12.536	12.536	12.534	12.302	12.292	12.547
26	9.878	10.286	9.984	9.924	10.043	9.827	9.975	10.020
27	10.600	13.083	10.877	10.824	10.975	11.234	10.800	10.913
28	10.504	11.138	10.653	10.617	10.771	10.635	10.883	10.707
31	11.759	12.214	11.439	11.473	11.420	11.474	11.302	11.378
32	11.527	12.003	11.056	11.024	11.074	11.129	11.042	11.048
34	13.766	13.085	13.378	13.349	13.347	13.460	13.507	13.353
35	10.381	11.557	9.863	9.899	9.867	9.937	9.785	9.846
36	10.600	9.115	11.909	11.940	11.734	11.241	11.591	11.841
37	10.504	10.122	10.843	10.983	10.499	10.420	10.590	10.708
38	10.880	11.085	12.130	12.102	12.153	11.934	12.331	12.144
39	16.985	13.944	17.475	17.503	17.407	17.398	17.387	17.472
41	11.373	10.908	11.499	11.688	11.133	11.148	11.431	11.324



ภาพที่ 4-10 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบลักษณะทางสถิติระหว่างผลผลิตมวลชีวภาพซึ่ง
ประมาณแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลในช่วงคลื่น ไมโครเวฟกับแปลงตรวจสอบ

และทดสอบผลของแบบจำลองประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพทางสถิติกับแปลง
ตรวจสอบ โดยวิธี Paired t-test แสดงไว้ในตารางที่ 4-13

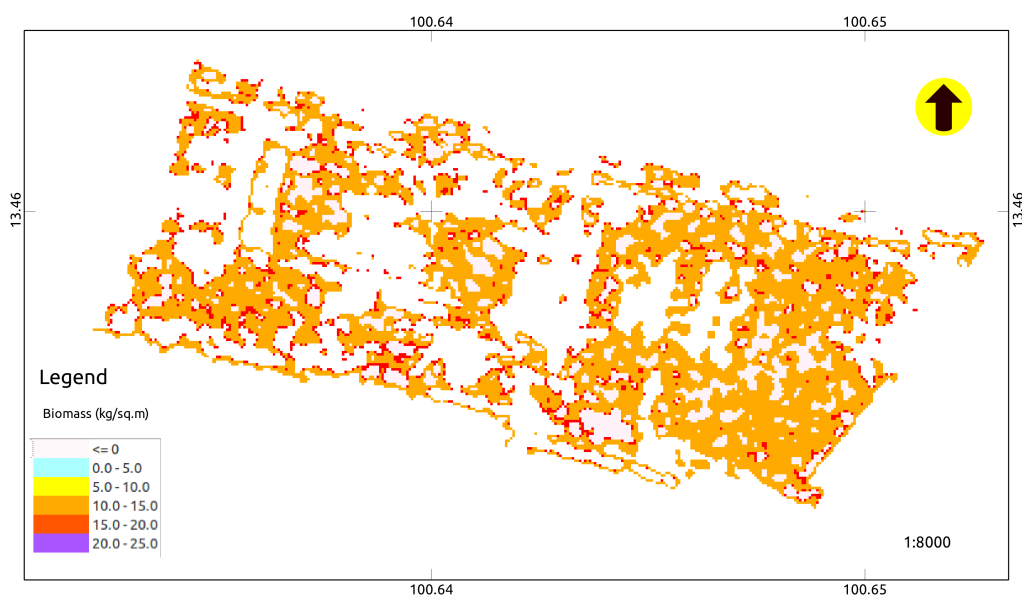
ตารางที่ 4-13 ผลการทดสอบทางสถิติข้อมูลผลผลิตมวลชีวภาพจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลจากแปลงตรวจสอบ ด้วยวิธี Paired t-test

แบบจำลอง	ค่าเฉลี่ย	SD	N	สถิติที่ใช้ t		ช่วงความเชื่อมั่น 95%	RMSE
				Value	Prob		
Field	12.022	2.078	31	2×10^{-4}	0.998	-0.582 - 0.582	2.5622
B4	12.500	1.340					
Field	12.022	2.078	31	0.0104	0.991	-0.278 - 0.281	1.7500
B5	12.220	1.935					
Field	12.022	2.078	31	-0.0017	0.991	-0.278 - 0.281	1.7500
B6	12.220	1.938					
Field	12.022	2.078	31	0.0052	0.991	-0.277 - 0.278	1.7500
B7	12.220	1.938					
Field	12.022	2.078	31	0.0081	0.993	-0.266 - 0.268	0.7181
B8	12.220	1.938					
Field	12.022	2.078	31	-7×10^{-4}	0.997	-0.280 - 0.280	0.7521
B9	12.220	1.938					

ซึ่งหากพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และผลการตรวจสอบจากภาคสนามแล้ว พบว่าการนำเอาชุดข้อมูลไมโครเวฟ มาช่วยในการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพร่วมกับข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) (แบบจำลอง B8 $R^2 = 0.878$, RMSE = 0.7181) ให้ผลที่ดีกว่า

การใช้ดัชนีพื้นที่ใบเพียงอย่างเดียว (แบบจำลอง B4 $R^2 = 0.416$, RMSE = 2.5622) หรือใช้ชุดข้อมูลไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว (แบบจำลอง B10 $R^2 = 0.866$, RMSE = 0.7521)

**ปริมาณมวลชีวภาพในสวนป่าชายเลน บางปู
โดยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ALOS PALSAR
ร่วมกับข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ALOS AVNIR-2**



ภาพที่ 4-11 แผนที่แสดงปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพ ซึ่งคำนวณ โดยการใช้ชุดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ALOS PALSAR ร่วมกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมช่วงคลื่นแสง

เมื่อประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่าเสมทะเลบางปูด้วยแบบจำลอง B8 ซึ่งใช้ชุดข้อมูลภาพในช่วงคลื่นไมโครเวฟ ร่วมกับดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ผลได้ว่าปริมาณค่าผลผลิตในพื้นที่สวนป่า 0.85 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมดประมาณ 9,395 ตัน หรือคิดเป็น 11.12 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หรือ 111.17 ตันต่อเฮกตาร์ แสดงเป็นแผนที่ใน ภาพที่ 4-11 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่ 0.878 หรือกล่าวได้ว่าค่าดัชนีพื้นที่ใบและค่าพลังงานสะท้อนของช่วงคลื่นไมโครเวฟ มีอิทธิพลต่อการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพถึง 88%

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยเทคนิคการสำรวจระยะไกลเพื่อประมาณค่ามวลชีวภาพในสวนป่าชายเลน โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมในกลุ่มช่วงคลื่นแสง (Optical Remote Sensing) เพื่อหาข้อสรุปความเหมาะสมของขนาดรายละเอียดจุดภาพ (Image resolution size) โดยการเปรียบเทียบขนาดรายละเอียดจุดภาพ ซึ่งแปลงให้อยู่รูปของชุดข้อมูลดัชนีพืชพรรณ (Vegetation indices; VI) กับค่าดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index; LAI) ที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่ โดยขนาดของรายละเอียดจุดภาพที่นำมาเปรียบเทียบในงานวิจัย มีขนาดตั้งแต่ 2.5-เมตร 5-เมตร 10-เมตร 15-เมตร 20-เมตร 25-เมตร และ 30-เมตร โดยสร้างความสัมพันธ์ด้วยวิธีวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) กับดัชนีพืชพรรณดังนี้ Normalization Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Tasseled Cap Transformed Green Vegetation Index (TCT-GVI, GVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) และ Simple Ratio Index (SR) ในพื้นที่สวนป่าแสมทะเล (*Avicennia marina* Forsk.) บริเวณตำบลบางปู อำเภอเมืองจังหวัดสมุทรปราการ ผลการศึกษพบว่าเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพขนาดรายละเอียดจุดภาพที่ 10-เมตร มีความสัมพันธ์ที่ดีกับดัชนีพื้นที่ใบ ในทุก ๆ ดัชนีพืชพรรณ (ตารางที่ 4-4) โดยมีค่า R^2 ระหว่าง 0.71 ถึง 0.82 ถัดมาเป็นรายละเอียดจุดภาพที่ 5-เมตร ซึ่งมีค่า R^2 ระหว่าง 0.61 ถึง 0.72 ในขณะที่รายละเอียดจุดภาพที่ 30-เมตร มีค่า R^2 น้อยที่สุด ที่ระหว่าง 0.05 ถึง 0.30 โดยที่รายละเอียดจุดภาพที่ 10-เมตรเอง มีค่า R^2 สูงที่สุด เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายระหว่างดัชนีพื้นที่ใบร่วมกับดัชนีพืชพรรณ TCT-GVI โดยมีค่า R^2 สูงถึง 0.824 รองลงมาเป็นความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบวิเคราะห์ร่วมกับดัชนีพืชพรรณ EVI โดยมีค่า R^2 ที่ 0.817 และถัดมาเป็น 0.810 คือค่า R^2 ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบกับดัชนีพืชพรรณ NDVI ดังแสดงรายละเอียดไว้ในภาพที่ 4-2 มีค่าสัมประสิทธิ์ในการประมาณค่า LAI ดังแสดงไว้ในสมการที่ (41) และเมื่อตรวจสอบกับข้อมูลภาคสนามและ ทดสอบทางสถิติโดยใช้วิธี Pair t-test แล้ว ให้ผลว่าทั้งสามดัชนีพืชพรรณ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-6 และภาพแผนภูมิเปรียบเทียบในภาพที่ 4-3 โดยสรุปผลจากการวิจัยได้ว่า ขนาดรายละเอียดจุดภาพที่เหมาะสมที่สุดในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) อยู่ที่ 10-เมตร โดยใช้ดัชนีพืชพรรณ Tasseled Cap Transformed Green Vegetation Index (TCT-GVI, GVI) รองลงมาเป็นดัชนีพืชพรรณ Enhanced Vegetation Index (EVI) และ ดัชนีพืช

พรรณ Normalization Difference Vegetation Index (NDVI) โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

และผลการวิจัยในการนำดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากทั้งสามดัชนีพืชพรรณไปวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) และไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear regression) กับค่าผลผลิตมวลชีวภาพ (Biomass) จากภาคสนามกลับพบว่า ค่าดัชนีพื้นที่ใบซึ่งได้จากดัชนีพืชพรรณ EVI มีความสัมพันธ์สูงสุดโดยพิจารณาจาก ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) คือมีค่า R^2 เป็น 0.542 ถัดมาเป็น NDVI มีค่า R^2 เป็น 0.499 และ GVI มีค่า R^2 เป็น 0.461 ดังแสดงค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยและสมการประมาณค่ามวลชีวภาพไว้ในภาพที่ 4-4 หลังจากตรวจสอบกับข้อมูลภาคสนาม และทดสอบทางสถิติแล้ว สรุปได้ว่าการประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพเหนือพื้นดินด้วยดัชนีพืชพรรณที่เหมาะสมที่สุดในการวิจัยคือดัชนีพืชพรรณ Enhanced Vegetation Index (EVI) และถัดมาเป็นดัชนีพืชพรรณ Normalization Difference Vegetation Index (NDVI) ซึ่งจากการใช้ดัชนีพืชพรรณ EVI ประมาณค่ามวลชีวภาพในพื้นที่ศึกษาได้ผลว่า ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพในพื้นที่เท่ากับ 8.532 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หรือคิดเป็น 85.38 ตันต่อเฮกตาร์ โดยมีมวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมดประมาณ 5,800 ตันในพื้นที่ที่เป็นสวนผสมทะเล 0.68 ตารางกิโลเมตร

ในการใช้กรรมวิธีหลอมภาพเพื่อปรับปรุงคุณภาพของรายละเอียดจุดภาพ เพื่อใช้ในงานประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพสวนป่าชายเลน โดยในการวิจัยครั้งนี้ใช้ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต (THEOS) ในช่วงคลื่นแสง (Multispectral) ซึ่งมีรายละเอียดจุดภาพที่ 15-เมตร นำมาหลอมรวมกับข้อมูลภาพถ่ายในช่วงคลื่นขาว-ดำ (Panchromatic) จากดาวเทียมไทยโชต รายละเอียดจุดภาพ 2-เมตร เพื่อให้ได้ข้อมูลภาพชุดใหม่ ที่มีรายละเอียดจุดภาพที่ 10-เมตร โดยใช้กรรมวิธีหลอมภาพเปรียบเทียบกัน 3 วิธีคือ Smoothing Filter-based Intensity Modulation (SFIM), Color Normalized fusion techniques (CN) และ Gram-Schmidt Spectral Sharpening (GS) และแปลงชุดข้อมูลที่ได้เป็นดัชนีพืชพรรณ NDVI เพื่อสร้างแบบจำลองคำนวณหาดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) โดยวิธีความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายนั้น จากผลการตรวจสอบในภาคสนาม และทดสอบทางสถิติ ได้ผลว่า ชุดข้อมูลทั้ง 3 ชุดมีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบน้อยมาก คือเมื่อเปรียบเทียบโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) คืออยู่ระหว่าง 0.020 ถึง 0.048 ดังแสดงไว้ในสมการที่ (45) โดยงานวิจัยนี้นำเอาชุดข้อมูลภาพจากดาวเทียม ALOS AVNIR-II ซึ่งมีรายละเอียดจุดภาพที่ 10-เมตร มาเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลทั้งสามข้างต้น โดยวิธีเดียวกัน ให้ค่า R^2 สูงถึง 0.72 ดังแสดงไว้ในภาพแผนภูมิที่ 4-8 โดยสรุปแล้วจากการวิจัยครั้งนี้

ไม่ควรนำเอาชุดข้อมูลภาพจากดาวเทียมที่ได้จากการหลอมภาพด้วยกรรมวิธีใด ๆ มาประมาณหาค่าดัชนีพื้นที่ใบ ในบริเวณสวนป่าชายเลน

ส่วนการวิจัยโดยนำเอาชุดข้อมูลภาพจากดาวเทียม ALOS PALSAR ซึ่งเป็นข้อมูลในช่วงคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Remote Sensing) มาวิเคราะห์ร่วมกับค่าดัชนีพื้นที่ใบ เพื่อประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพเหนือพื้นดินนั้น จากการวิเคราะห์โดยวิธีถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression Analysis) ร่วมกับข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ซึ่งได้จากการประมาณด้วยชุดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ALOS AVNIR-II และการวิเคราะห์โดยวิธีถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) นั้น เมื่อเปรียบเทียบโดยใช้ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 และตรวจสอบกับข้อมูลจากภาคสนาม ด้วยวิธีทางสถิติ (ภาพที่ 4-10 และ ตารางที่ 4-13) พบว่า ชุดข้อมูลภาพจากดาวเทียม ALOS PALSAR มีประสิทธิภาพในการประมาณค่ามวลชีวภาพสูง โดยมีค่า R^2 ถึง 0.866 และ 0.878 เมื่อใช้ร่วมกับค่าดัชนีพื้นที่ใบ จากค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI โดยข้อมูลภาพจากดาวเทียม ALOS AVNIR-II หรือแม้แต่การใช้งานร่วมกับดัชนีพื้นที่ใบซึ่งได้จากแปลงค่าขนาดรายละเอียดจุดภาพของข้อมูลจากดาวเทียม ไทยโชต (Thaichote) ที่ 10-เมตร ยังให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูงถึง 0.869 ดังแสดงรายละเอียดค่าสัมประสิทธิ์ไว้ในตารางที่ 4-11 เมื่อนำแบบจำลองที่ได้มาประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพเหนือพื้นดินในพื้นที่ศึกษา ได้ว่ามีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพในพื้นที่ 11.12 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หรือคิดเป็น 111.17 ตันต่อเฮกตาร์ และมวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมดประมาณ 9,395 ตันในพื้นที่สวนเสมทะเล 0.85 ตารางกิโลเมตร โดยสรุปจากการวิจัยส่วนนี้ได้ว่าชุดข้อมูลภาพจากดาวเทียม ALOS PALSAR สามารถใช้ประมาณค่ามวลชีวภาพในพื้นที่สวนป่าชายเลนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้วิธีร่วมกับชุดข้อมูลภาพถ่ายในช่วงคลื่นเชิงแสง

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยแบ่งการอภิปรายผลเป็นประเด็นได้เป็น 5 ประเด็นหลักคือ

1. ความเหมาะสมของขนาดรายละเอียดจุดภาพในการประมาณค่าสมบัติทางชีวฟิสิกส์ ของสวนป่าชายเลน ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ดัชนีพื้นที่ใบเป็นตัวแทนของค่าสมบัติทางชีวฟิสิกส์ ซึ่งผลการวิจัยให้ผลว่าขนาดรายละเอียดจุดภาพที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 10-เมตร และขนาดรายละเอียดจุดภาพที่รองลงมาอยู่ขนาด 5-เมตร ในทุกๆ ดัชนีพืชพรรณ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-4 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kovac et al (2004,2005) ซึ่งทำวิจัยที่บริเวณป่าชายเลนเลียมโทรม ชายฝั่งประเทศเม็กซิโก ที่รายงานว่ารายละเอียดจุดภาพของภาพ

จาก ข้อมูลภาพจากดาวเทียม IKONOS ที่ 8-เมตร และ 15-เมตร ตอบสนองต่อค่าดัชนีพื้นที่ใบของป่าชายเลนได้ดี ซึ่งถือว่าใกล้เคียงกับผลการวิจัยนี้ ที่บอกว่าขนาดที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ขนาดจุดภาพ 10-เมตร

2. ดัชนีพืชพรรณที่เหมาะสมสำหรับการประมาณดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ในสวนป่าชายเลน โดยผลการวิจัยนี้ ระบุว่า ดัชนีพืชพรรณ Green Vegetation Index (GVI) จาก Tasseled Cap Transformed หรือที่เรียกอีกอย่างว่า Kauth-Thomas Transformed อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่าง GVI กับ LAI ก็ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นที่ 95% เมื่อเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ระหว่าง LAI กับ ดัชนีพืชพรรณ Enhanced Vegetation Index (EVI) และ ความสัมพันธ์ระหว่าง LAI กับ ดัชนีพืชพรรณ Normalization Difference Vegetation Index (NDVI) ในขณะที่การใช้ Tasseled Cap Transformed จำเป็นต้องคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ในแต่ละช่วงคลื่นของข้อมูลภาพในแต่ละชุดข้อมูลก่อนการแปลงไปอยู่ในค่าของ GVI ได้ ซึ่งรายงานยังไม่ครอบคลุมแหล่งข้อมูลดาวเทียมทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับข้อมูลภาพจากดาวเทียมไทยโชตของไทย ในขณะที่ การใช้ดัชนี EVI และ NDVI ใช้ได้อย่างสะดวกกว่า
3. การประมาณค่าผลผลิตมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above Ground Biomass; AGB) โดยใช้ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ซึ่งได้จากการคำนวณผ่านทางดัชนีพืชพรรณ จากผลการวิจัย ดัชนีพืชพรรณ Enhanced Vegetation Index (EVI) ให้ผลค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุด โดยที่รองลงมาเป็นดัชนีพืชพรรณ Normalization Difference Vegetation Index (NDVI) ถัดมาเป็นดัชนีพืชพรรณ Green Vegetation Index (GVI) จาก Tasseled Cap Transformed ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ได้ (EVI, $R^2 = 0.542$; NDVI, $R^2 = 0.499$; GVI, $R^2 = 0.461$) สะท้อนให้เห็นอิทธิพลของดัชนีพื้นที่ใบ ที่มีต่อค่าผลผลิตมวลชีวภาพในสวนป่าชายเลน ซึ่งทั้งดัชนีพืชพรรณ EVI และ NDVI มีความแตกต่างกันอยู่เล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาตรวจสอบกับข้อมูลภาคสนาม และทดสอบความแตกต่างเชิงสถิติ กลับได้ผลว่าทั้งสองดัชนีพืชพรรณไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่ EVI ต้องการใช้อุณหภูมิในช่วงคลื่น Blue Band เข้ามาช่วยคำนวณ และมีข้อจำกัดว่าข้อมูลภาพต้องอยู่ในรูปแบบของค่าอัตราส่วนสะท้อนพลังงาน (Reflectance ratio) การใช้งาน NDVI จึงสะดวกกว่า EVI ในสภาวะที่ไม่สามารถหารายละเอียดคุณสมบัติของช่วงคลื่นมาแปลงรูปแบบของชุดข้อมูลได้

4. จากแบบจำลองการประมาณผลผลิตมวลชีวภาพในสวนป่าเสมทะเล ด้วยค่าดัชนีพื้นที่ใบ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมช่วงคลื่นแสง ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ไม่สูงนัก ($R^2 = 0.461 - 0.542$) อาจกล่าวได้ว่า ค่าดัชนีพื้นที่ใบของสวนป่าเสมทะเลไม่ได้อธิบายลักษณะหรือปริมาณของผลผลิตมวลชีวภาพของสวนป่าเสมทะเลได้ทั้งหมด ซึ่งเป็นไปได้ว่าผลผลิตมวลชีวภาพของสวนป่าเสมทะเล ยังขึ้นอยู่กับอิทธิพลของปัจจัยอื่น ๆ ที่ยังไม่ได้นำมาพิจารณาในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ซึ่งสอดคล้องกับ Jean-Baptiste and Jensen (2006) รายงานสัมพันธระหว่าง LAI ของป่าชายเลนกับ ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางที่ ความสูงเพียงอก (DBH) อยู่ที่ $R = 0.607$
5. จากผลการวิจัยนี้พบว่าการใช้กรรมวิธีปรับปรุงคุณภาพจุดภาพ ซึ่งได้ทดลองกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต ซึ่งมีรายละเอียดจุดภาพที่ 15-เมตร ให้ได้รายละเอียดจุดภาพที่ 10-เมตร ไม่ว่าจะเป็วิธี Smoothing Filter-based Intensity Modulation (SFIM), Color Normalization Fusion Techniques (CN) หรือ Gram-Schmidt Spectral Sharpening (GS) ก็ให้ผลการประมาณดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ที่ไม่เหมาะสม เมื่อพิจารณาจาก ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4-7 ซึ่งเป็นดังที่ Zhang et al (2009)และ Zhang (2008) รายงานไว้ว่าต้องมีการพัฒนากระบวนการปรับปรุงขนาดจุดภาพ (Pan-Sharpening) ที่เหมาะสม เพื่อใช้ข้อมูลภาพ Pan-sharpen ศึกษาในพืช โดย Zhang et al (2009) เสนอวิธีที่เรียกว่า TLS-GIF มาจากกระบวนการทำ Total least square ระหว่าง ข้อมูลภาพขาว-ดำ (Panchromatic data) กับ ข้อมูลภาพเชิงแสง (Multispectral data) แล้วจึงนำมาจำแนกข้อมูลภาพด้วยวิธี K-mean cluster รวมเรียกกระบวนการทั้งหมดว่า TLS-GIF-WC เพื่อให้ข้อมูลภาพที่มีรายละเอียดจุดภาพเท่ากับ ข้อมูลภาพขาว-ดำ
6. ผลจากการนำข้อมูลภาพในช่วงคลื่นไมโครเวฟ หาความสัมพันธ์กับปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (AGB) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลภาพจากกล้อง PALSAR บนดาวเทียม ALOS ซึ่งเป็นกล้องบันทึกในช่วงคลื่น L Band ในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลในรูปแบบ Horizontal – Horizontal (HH) คือส่งคลื่นและรับคลื่นในแนวนอน พบว่ามีความสัมพันธ์กันสูงมาก โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น สูงถึง $R^2 = 0.866$ ซึ่งสอดคล้องกับงานรวบรวมบทความงานวิจัยของ Lucas et al. (2007) ที่กล่าวถึงศักยภาพการศึกษาปริมาณมวลชีวภาพของป่าชายเลนโดยข้อมูลภาพจากดาวเทียม ALOS PALSAR ในประเทศออสเตรเลีย เฟนซีก็อนา และมาเลเซีย รวมทั้งงานวิจัยของ Kovacs et al. (2006)

ซึ่งใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียม RADARSAT-1 C Band ศึกษาดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index) และประมาณความสูงของ White mangrove (*Laguncularia racemosa* Gaertner) บริเวณชายฝั่งประเทศเม็กซิโก ให้ผลการศึกษาว่าค่าสะท้อนพลังงานมีความสัมพันธ์กับค่าความสูงเฉลี่ยที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R^2 = 0.72$

7. ปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพในพื้นที่สวนป่าเสมทะเล บริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) ๗ จากแบบจำลองโดยข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบจาก ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ช่วงคลื่นแสง และข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมช่วงคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งได้ปริมาณมวลชีวภาพที่ 111.17 ตันต่อเฮกตาร์นั้น ด้วยในพื้นที่ศึกษาซึ่งมีต้นเสมทะเลเป็นไม้เด่น ปกคลุมพื้นที่เป็นส่วนใหญ่ และอัตราความหนาแน่นของไม้ มีความแตกต่างกันในแต่ละแปลงศึกษา ตั้งแต่ 30 ต้น ไปจนถึง 277 ต้น ตลอดจนช่วงระยะเวลาของต้นเสมทะเล ที่มีหลากหลายช่วงอายุขึ้นอยู่กับ ระยะเวลาของการปลูก ทำให้ผลผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ย อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สูง เหมือนป่าชายเลนธรรมชาติ อย่างไรก็ตามพื้นที่ศึกษานี้ ยังมีปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ย มากกว่าพื้นที่ สวนศึกษาธรรมชาติวิทยาป่าชายเลนจังหวัดพังงา ซึ่งมีผลผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ย 108 ตันต่อเฮกตาร์ (วิจารณ์ มีผล, 2553)

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยการประมาณมวลชีวภาพในสวนป่าชายเลนโดยเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลซึ่งหมายถึงข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมครั้งนี้พบว่าสิ่งที่ควรพิจารณาในการจัดทำวิจัยในอนาคตแบ่งออกได้เป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. สวนป่าชายเลนที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้สวนป่าแสมทะเล (*Avicennia marina* Forsk.) ซึ่งสวนป่าชายเลน บริเวณอื่น ๆ เช่น สวนป่าโกงกาง สวนป่าแสมชนิดอื่น ๆ หรือสวนป่าชายเลนที่แปรสภาพเข้าสู่ป่าชายเลนธรรมชาติ ยังเป็นคำถามที่รอคำตอบในเรื่องของปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพอยู่อีกมาก
2. ถึงแม้การเก็บข้อมูลภาคสนามด้วยเทคโนโลยีระบุพิกัดด้วยดาวเทียมที่มีความถูกต้องสูง (Precise GPS) เป็นสิ่งที่ยุ่งยากลำบากต่อการทำงาน แต่จากงานวิจัยที่ผ่านมา สิ่งเหล่านี้ยังมีความจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากหากมีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง เพิ่มมากขึ้นเพียงใด ย่อมส่งผลกระทบต่อวิเคราะห์ทางชีวฟิสิกส์ของสวนป่าชายเลนเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย
3. เพื่อให้ความถูกต้องแม่นยำในการประมาณค่ามวลชีวภาพในสวนป่าชายเลนมากที่สุด ควรพิจารณาถึงจำนวนแปลงตัวอย่างให้เหมาะสม หรือมากที่สุดเท่าที่ทำได้ ถึงแม้ว่าชนิดของพืชในสวนป่าชายเลนจะเป็นชนิดเดียวกัน (Homogeneous type) ก็ตาม
4. ในงานวิจัยครั้งนี้ ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมกลุ่มคลื่นไมโครเวฟ จาก ALOS PALSAR ซึ่งเป็นคลื่นในช่วงคลื่น L Band ในโหมด HH มาศึกษาเปรียบเทียบ ควรพิจารณาข้อมูลภาพในช่วงคลื่นไมโครเวฟ อื่น ๆ และ โหมดอื่น ๆ เช่น S Band C Band P Band เพื่อให้ข้อสรุปว่า ช่วงคลื่นไมโครเวฟใด มีความเหมาะสมกับการศึกษามวลชีวภาพในสวนป่าชายเลน รวมทั้งการใช้รูปแบบของการส่งและการรับคลื่น (Polarization) ซึ่งสามารถเป็นไปได้ทั้ง HH, HV, VV, และ VH ซึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ยังไม่รวมเข้ามาพิจารณา

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัลยา วานิชย์บัญชา. การวิเคราะห์สถิติ: สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

ณัฐจารีรัตน์ ปภาวสิทธิ์ และคนอื่น ๆ . การจัดการสวนป่าชายเลนแบบผสมผสานเพื่อการพัฒนาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมบริเวณชายฝั่งของประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2547.

ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, กรม. การปลูกป่าชายเลนในประเทศไทย. ส่วนบริหารจัดการทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2 กระบี่ : หาดใหญ่เบสเซลส์ แอนด์ เซอร์วิส, 2552.

ธงชัย จารุพัฒน์. การใช้ภาพจากดาวเทียม LANDSAT-5 (TM) ตรวจสอบตรวจสอบสภาพความเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร : ส่วนวิเคราะห์ทรัพยากรป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, 2539.

ธงชัย จารุพัฒน์. สถานการณ์ป่าชายเลนของประเทศไทยในช่วงระยะเวลา 35 ปี (พ.ศ.2504 – 2539). กรุงเทพมหานคร : ส่วนวิเคราะห์ทรัพยากรป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, 2541.

นวลปราง นวลอุไร. การเปรียบเทียบค่าดัชนีพื้นที่ใบ มวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนสะสมที่อยู่นเหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่า จากการสำรวจด้านป่าไม้และการรับรู้จากระยะไกลบริเวณอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาสัตววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ป่าไม้, กรม. เนื้อที่ป่าของประเทศไทย พ.ศ. 2516 – 2552. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์สารสนเทศ, สำนักแผนงานและสารสนเทศ, 2552.

ไพโรจน์ เผือกวิไล. โครงข่ายสถานีอ้างอิงทางตำแหน่งเสมือนของกรมที่ดิน (DOL VRS).

[ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา : <http://www.dol.go.th/dol/images/medias/dol/dol/pdf/DOLVRS.pdf> [15 ธันวาคม 2554]

พงษ์ศักดิ์ สหุนาฟู. ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2538.

พัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, สำนักงาน. พระบารมีปกเกล้า ผืนป่าปกแผ่นดิน.

กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ตะวันออก, 2548.

พัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, สำนักงาน. คู่มือผู้ใช้ข้อมูล ดาวเทียมธีออส (THEOS). กรุงเทพมหานคร : กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2552.

รักชาติ สุขสำราญ. การประมาณปริมาตรไม้และมวลชีวภาพไม้ป่าชายเลน. กรุงเทพมหานคร : สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2548.

วิจารณ์ มีผล. การเก็บกักคาร์บอนของป่าชายเลน บริเวณพื้นที่สงวนชีวมณฑลระนอง. การจัดการป่าไม้ 7 (มกราคม – มิถุนายน 2553) : 33-47.

ศิริชัย พงษ์วิชัย. สถิติเพื่อการวิจัยด้วยโปรแกรม R : เล่ม 1 การทดสอบความแตกต่าง. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร : สุพีเรียพริ้นติ้งเฮาส์, 2552.

ศึกษารวมชาติกองทัพบก(บางปู), ศูนย์. ประวัติและความเป็นมา. [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา : http://www.bangpunature.com/about_us/about_us_bnec.html [10 กุมภาพันธ์ 2553]

สนิท อักษรแก้ว. ระบบนิเวศป่าชายเลน. ใน ญินสุวรรรัตน์ ปภาวสิทธิ์ และคนอื่น ๆ. คู่มือวิธีการประเมินแบบรวดเร็วเพื่อจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมพื้นที่ชายฝั่งทะเล ; ระบบนิเวศป่าชายเลน, กรุงเทพมหานคร : ประสัชชการพิมพ์, 2546.

สนิท อักษรแก้ว. การใช้ประโยชน์ทรัพยากรป่าชายเลนและชายฝั่ง...ด้วยวิถีชีวิตพอเพียง. ประมวลผลงานวิจัย การประชุมวิชาการระบบนิเวศป่าชายเลนแห่งชาติ “ป่าชายเลน: รากฐานเศรษฐกิจพอเพียงของชุมชนชายฝั่ง”. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. หน้า 15-20. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ประสัชชการพิมพ์, 2550.

สมพร สง่าวงศ์. การสำรวจจากระยะไกลในด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน / สิ่งปกคลุมดินและการประยุกต์. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

สรรคใจ กลิ่นดาว. การสำรวจจากระยะไกล : การประมวลผลภาพเชิงเลขเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร : โอเดียนสโตร์, 2550.

สุรเชษฐ์ สีแดง. การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลน บริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ ด้วยเทคนิคการรับรู้ระยะไกล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการป่าไม้ ภาควิชาการจัดการป่าไม้ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551.

เสาวภา อังสุภานิช. บางมุมมองของการฟื้นฟูระบบนิเวศชายฝั่งโดยการปลูกป่าชายเลน. ประมวล

ผลงานวิจัย การประชุมวิชาการระบบนิเวศป่าชายเลนแห่งชาติ “ป่าชายเลน: รากฐานเศรษฐกิจพอเพียงของชุมชนชายฝั่ง”. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. หน้า 65-75. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ประสัชชัยการพิมพ์, 2550.

อภิชาติ ชาวสะอาด. ไม้สัก. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนเล่ม 15. กรุงเทพมหานคร : ด้านสุทธการพิมพ์, 2534.

อิชฌิกา ศิวายพรหมณ์ วันวิวัฒน์ วิชิตวรคุณ สุริย์ฤทธิ์ สาระมูล และ ณิชฐารัตน์ ปภาวสิทธิ์. ภาพรวมสภาพทั่วไปของสถานที่ศึกษา. ใน ณิชฐารัตน์ ปภาวสิทธิ์ และคนอื่น ๆ. ผลการปลูกและฟื้นฟูป่าชายเลนจังหวัดสมุทรสงครามต่อโครงสร้างกลุ่มประชากรแพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์ทะเลหน้าดิน, หน้า 31-33. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2545.

ภาษาอังกฤษ

Aanæs, H., Sveinsson, J.R., Nielsen, A.A., Bøvith, T., and Benediktsson, J.A. Model-based satellite Image fusion, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 46 (May 2008) : 1336-1346.

Baker, S. Remote sensing and GIS related research. [Online]. 2012. Available from : <http://www.rsmas.miami.edu/personal/mbaker/gis.html> [2012, April 2]

Behnia, P. Comparison between four methods for data fusion of ETM+ multispectral and pan images. Geo-spatial information science 8 (June 2005) : 98-103.

Bréda, N.J.J. Ground-based measurements of leaf area index: A review of methods, instruments and current controversies. Journal of Experimental Botany 54 (November 2003) : 2403-2417.

Brown, S. Estimating biomass and biomass change of tropical forests : A primer. FAO Forestry Paper – 134. Rome : Food and Agriculture Organization of The United Nation, 1997.

Choi, M. A new intensity-hue-saturation fusion approach to image fusion with a tradeoff parameter. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 44 (June 2006) : 1672-1682.

Earth Observation Research Center. ALOS User Handbook. Japan Aerospace

Exploration Agency, 2009.

GeoEye. Imagery collection | GeoEye-1 fact sheet [Online]. 2009. Available from : http://www.geoeye.com/CorpSite/assets/docs/brochures/GeoEye-1_Fact_Sheet.pdf
[2011, March 28]

Green, E.P., Mumby, P.J., Edwards, A.J., Clark, C.D., and Ellis, A.C. Estimating leaf area index of mangroves from satellite data. Aquatic Botany 58 (1997) : 11-19.

Jean-Baptiste, N. and Jensen, J.R. Measurement of mangrove biophysical characteristics in the Bocozele ecosystem in Haiti using ASTER multispectral data. Geocarto International 21 (December 2006) : 3-8.

Jensen, J. R. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. New Jersey : Prentice Hall, 2000.

Khan, M.N.I., Suwa, R., and Hagihara, A. Allometric relationships for estimating the aboveground phytomass and leaf area of mangrove *Kandelia candel* (L.) Druce trees in the Manko Wetland, Okinawa Island, Japan. Trees 19 (October 2004) : 266-272.

Kirue, B., Kairo, J.G., and Karachi, M. Allometric equations for estimating above ground biomass of *Rhizophora mucronata* Lamk. (Rhizophoraceae) mangroves at Gazi Bay, Kenya. Western Indian Ocean Journal of Marine Science 5 (2006) : 27-34.

Komiyama, A., Moriya, H., Prawiroatmodjo, S., Toma, T., and Ogino, K. Primary productivity of mangrove forest. in Ogino, K. and Chihara, M. (eds). Biological system of mangroves, pp.97-117. Matsuyama : Ehime University, 1988.

Komiyama, A., Havanond, S., Srirawatt, W., Mochida, Y., Fujimoto, K., Ohnishi, T., Ishihara, S., and Miyagi, T. Top/root biomass ratio of a secondary mangrove (*Ceriops taggal* (Perr.) C.B. Rob.) forest. Forest Ecology and Management. 139 (December 2000) : 127-134.

Komiyama, A., Pongpam, S., and Kato, S. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangrove. Journal of Tropical Ecological 21 (July 2005) : 471-477.

Komiyama, A., Ong, J.E., and Pongpam, S. Allometry, biomass, and productivity of

- mangrove forests: A review. Aquatic Botany 89 (August 2008) : 128-137.
- Kovacs, J.M., Floresverdugo, F., Wang, J., and Aspden, L. Estimating leaf area index of a degraded mangrove forest using high spatial resolution satellite data. Aquatic Botany 80 (September 2004) : 13-22.
- Kovacs, J.M., Wang, J., and Flores-Verdugo, F. Mapping mangrove leaf area index at the species level using IKONOS and LAI-2000 sensors for the Agua Brava Lagoon, Mexican Pacific. Estuarine, Coastal and Shelf Science 62 (January 2005) : 377-384.
- Kovacs, J.M., Vandenberg, C.V., Wang, J., and Flores-Verdugo, F. The use of multipolarized spaceborne SAR backscatter for monitoring the health of a degraded mangrove forest. Journal of Coastal Research 241 (January 2008) : 248-254.
- Kovacs, J.M., King, J.M.L., Flores De Santiago, F., and Flores-Verdugo, F. Evaluating the condition of mangrove forest of the Mexican Pacific based on an estimated leaf area index mapping approach. Environmental Monitoring and Assessment 157 (January 2009) : 137-149.
- Liang, S. Quantitative remote sensing of land surface. New Jersey : John Wiley & Sons, 2004.
- Lucas, R., Carreiras, J., Proisy, C., and Bunting, P. ALOS PALSAR applications in the tropics and subtropics : Characterisation; Mapping and detecting change in forests and coastal wetlands. ALOS Kyoto and Carbon [Online]. 2010. Available from : http://amapmed.free.fr/AMAPMED_fichiers/Publications_fichiers/Lucas_08.pdf [2011,October 21]
- Magsud, M. and Samarakoon, L. High resolution data fusion algorithms analysis: Increasing image quality for detection and identification of different objects. In Proceedings of the Asian Conference on Remote Sensing for 2006
- Petsri, S., Pumijumnong N., Watchrinrat, C., and Thoranisorn, S. Aboveground carbon content in mixed deciduous forest and teak plantations. Environment and Natural Resources Journal 5 (June 2007) : 1-10.

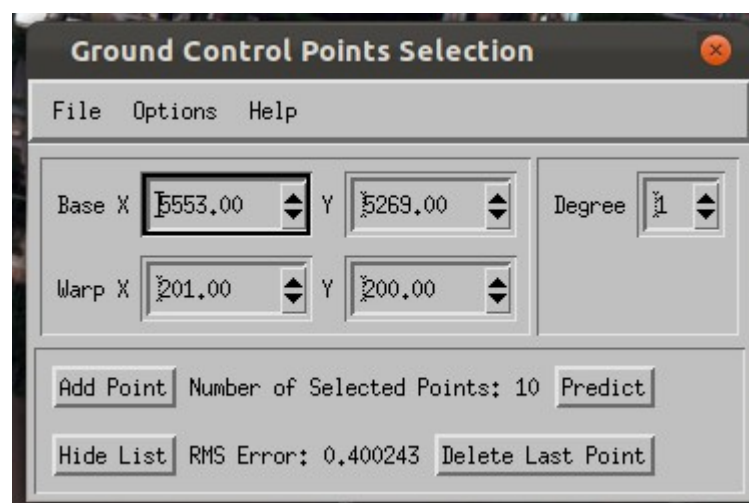
- Proisy, C., Coueron, P., and Fromard, F. Predicting and mapping mangrove biomass from canopy grain analysis using Fourier-based textural ordination of IKONOS images. Remote Sensing of Environment 109 (August 2007) : 379-392.
- Ogawa, H., Kira, T. Methods of estimating forest biomass. In: Shidei, T., Kira, T. (eds.), Primary Productivity of Japanese Forests: Productivity of Terrestrial Communities. JIBP Synthesis No. 16, pp.15-25. University of Tokyo Press, Tokyo, 1977.
- Roy, P.S., Ravan, S.A. Biomass estimation using satellite remote sensing data: an investigation on possible approaches for natural forest. Journal of Biosciences. 21 (June 1996) : 535–561.
- Smith, T.J. and Whelan, K.R.T. Development of allometric relations for three mangrove species in South Florida for use in the greater everglades ecosystem restoration. Wetlands Ecology and Management 14 (October 2006) : 409-419.
- Souci, J.W.S. Innovative woody biomass resource assessment using multiple resolution satellite imagery and GEOBIA technology. In Hay, G.J., Blaschke, T., and Marceau, D. (eds.), GEOBIA 2008 – Pixels, Objects, Intelligence. ISPRS Vol. No. XXXVIII-4/C1, 2008.
- Weiss, M., and Baret, F. CAN-EYE V6.1 User Manual. EMMAH Laboratory, French National Institute of Agricultural Research, 2010.
- Yarbrough, L.D., Easson, G., and Kuzmaul, J. S. QuickBird 2 Tasseled Cap Transform coefficients: A comparison of derivation methods. In Pecora 16 global priorities in land remote sensing, Sioux Falls, South Dakota, 2005.
- Zhang, Y. Pan-sharpening for improved information extraction. In Chen, L. and Baltsavias (eds) Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, pp.185-203. ISPRS Congress Book, 2008.
- Zhang, Y., He, B., and Li, X. A Pan-sharpening method appropriate to vegetation applications. Chinese Optics Letters 7 (September 2009) : 781-783.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

จุดควบคุมภาพ (Ground Control Point)

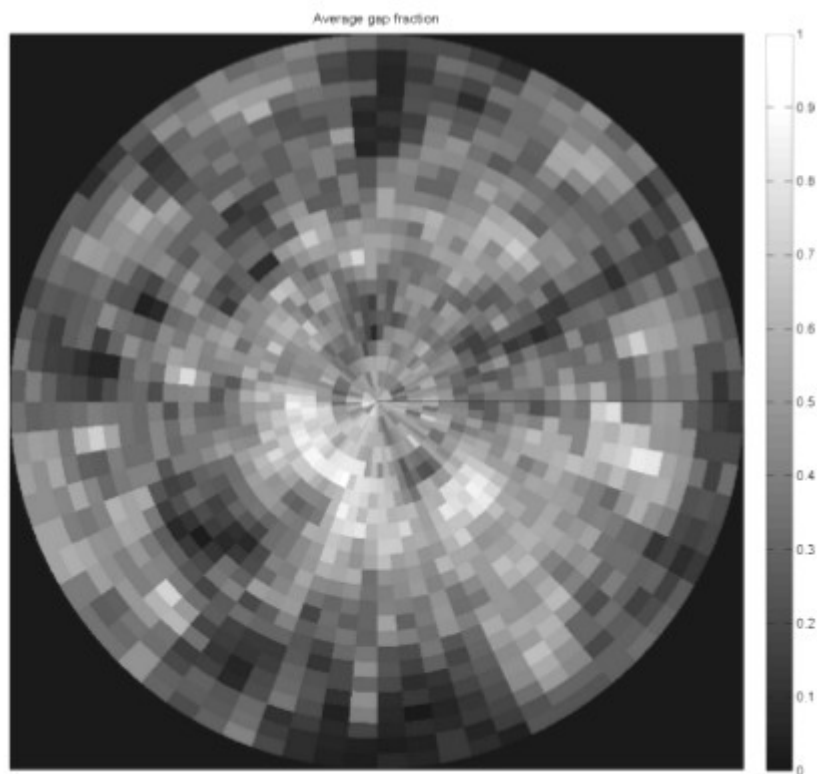
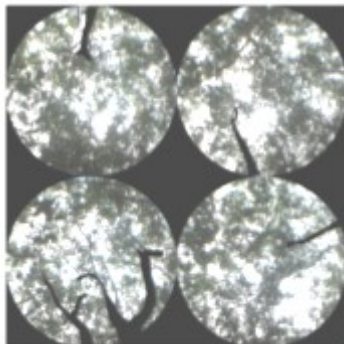
กำหนดจุดควบคุมเชิงตำแหน่ง (GCP) โดยถ่ายจุดควบคุมจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ กรมพัฒนาที่ดิน 1:4000 ด้วยวิธี Image to image ในชุดโปรแกรม ENVI จำนวน 10 จุดควบคุม



ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าดัชนีพื้นที่ใบด้วยชุดโปรแกรม CanEye version 5.0

แปลงที่ 4

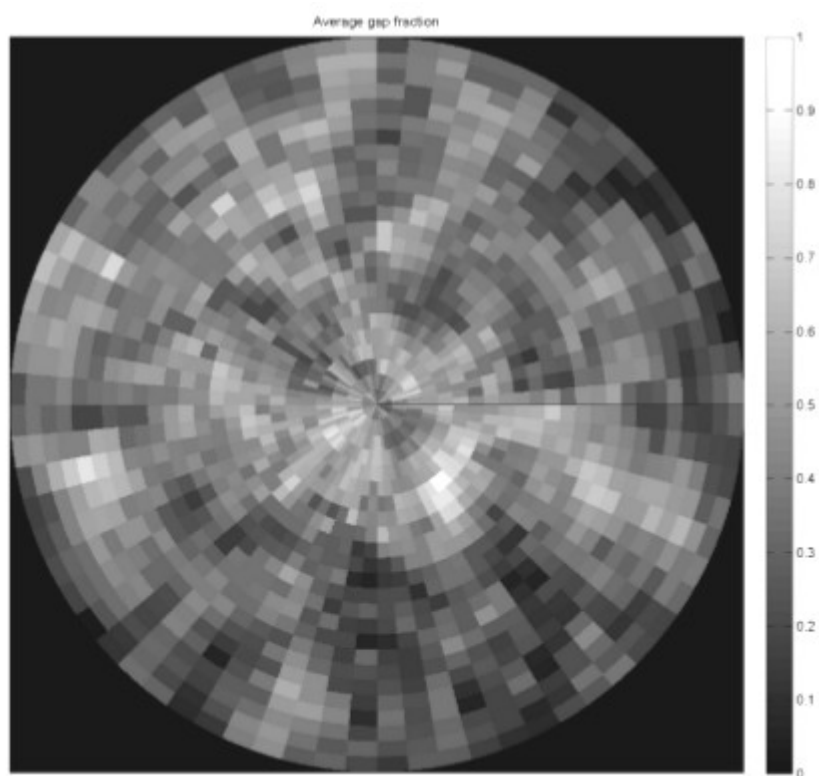
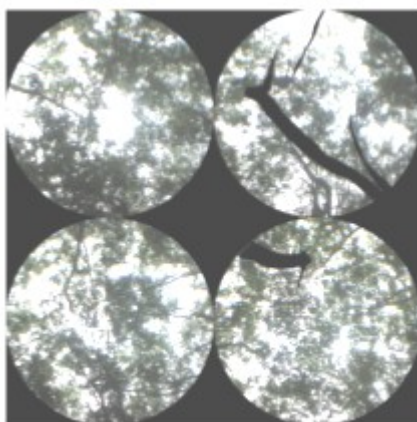


AVERAGE BIOPHYSICAL VARIABLES

fCover= 0.48(std=0.52)

	LAI	ALA (°)	Clumping Factor		
			0°	30°	57.5°
Effective	1.5	62	1	1	1
Effective (57.5 °)	1.4	-	-	-	1
True	2.9	64	0.64	0.64	0.63

แปลงที่ 5

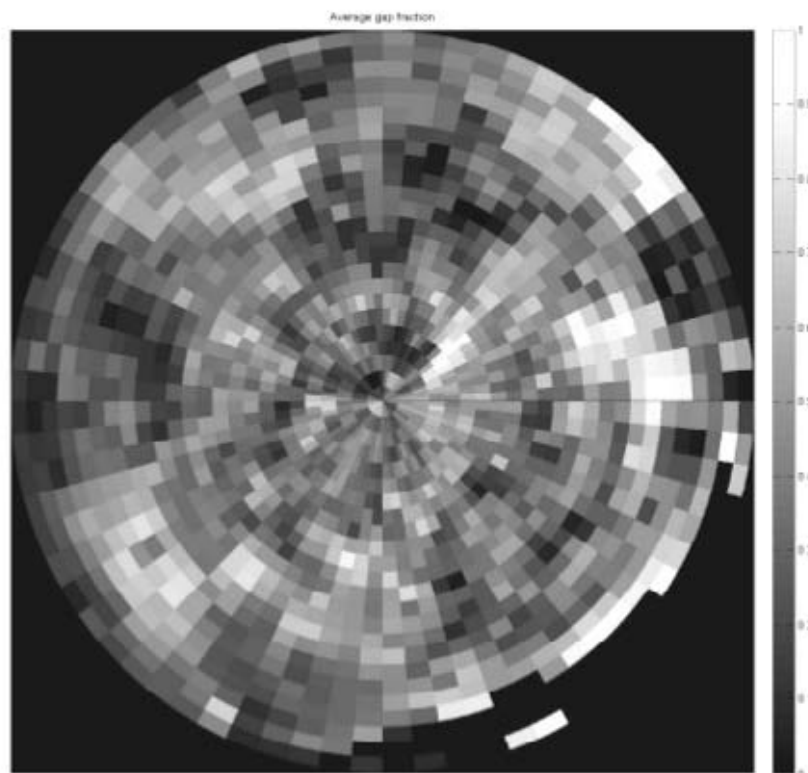
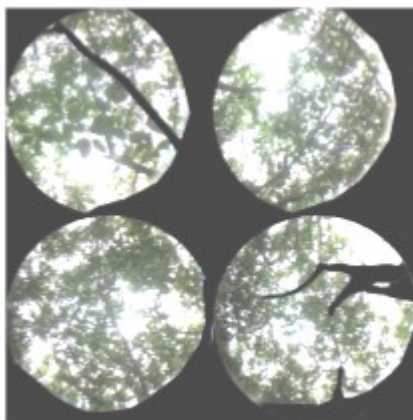


AVERAGE BIOPHYSICAL VARIABLES

fCover= 0.487(std=0.513)

	LAI	ALA (°)	Clumping Factor		
			0°	30°	57.5°
Effective	1.4	56	1	1	1
Effective (57.5 °)	1.3	-	-	-	1
True	2.1	58	0.62	0.64	0.61

แปลงที่ 7

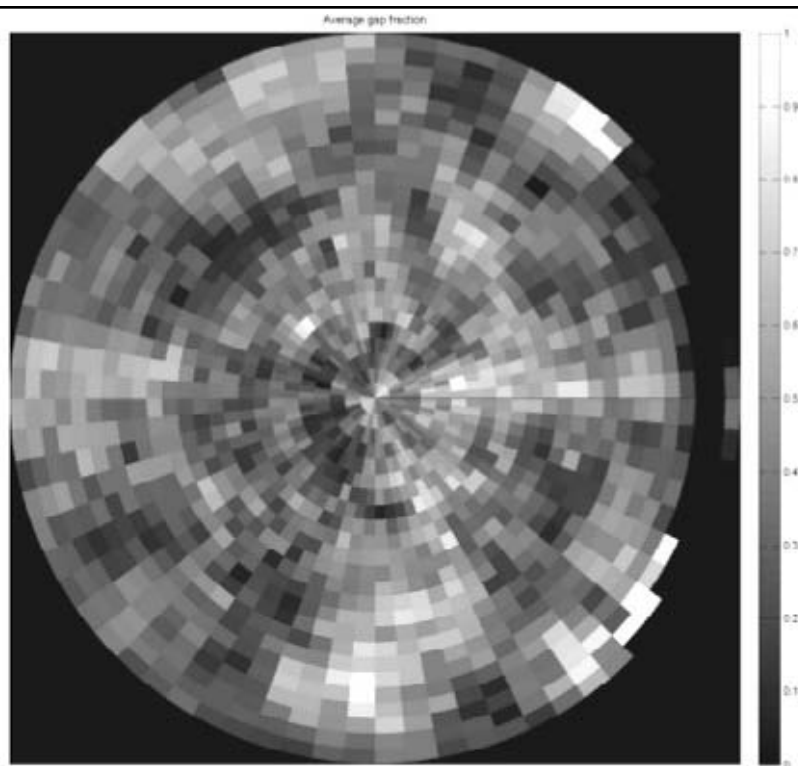


AVERAGE BIOPHYSICAL VARIABLES

fCover= 0.626(std=0.374)

	LAI	ALA (°)	Clumping Factor		
			0°	30°	57.5°
Effective	1.2	40	1	1	1
Effective (57.5 °)	1.2	-	-	-	1
True	2	22	0.54	0.52	0.48

แปลงที่ 8

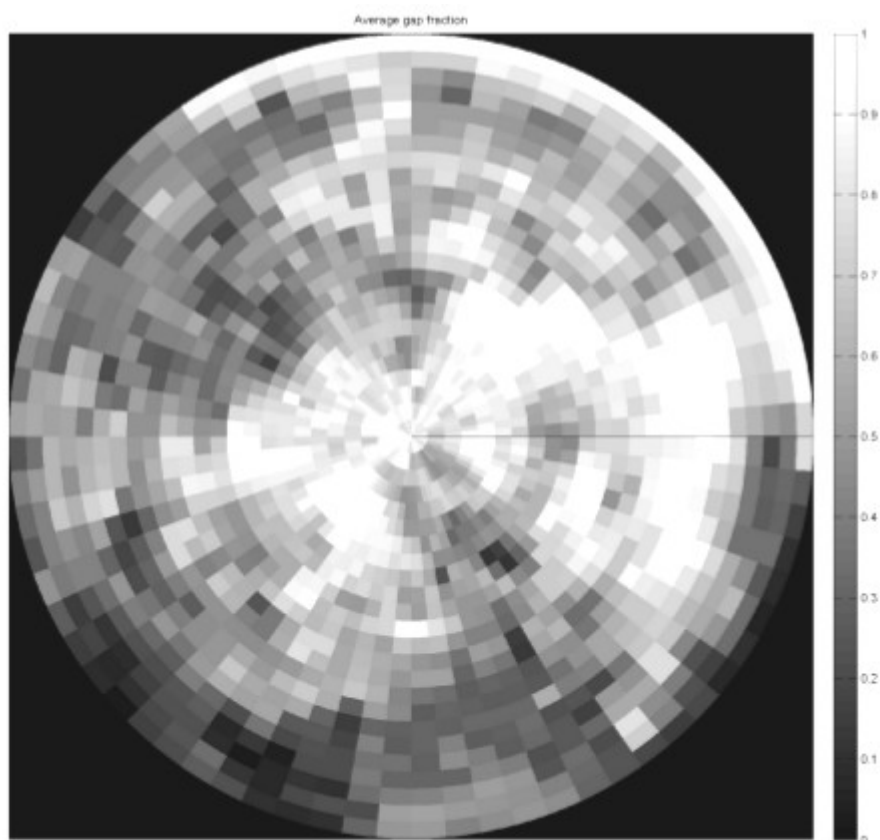
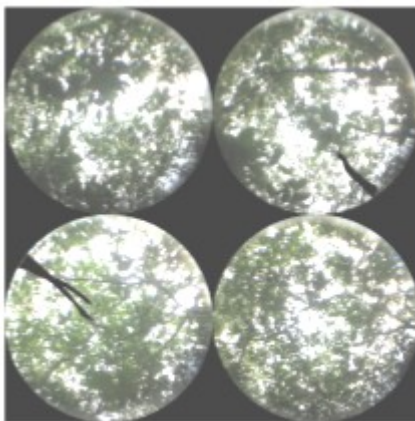


AVERAGE BIOPHYSICAL VARIABLES

fCover= 0.64(std=0.36)

	LAI	ALA (°)	Clumping Factor		
			0°	30°	57.5°
Effective	1.2	38	1	1	1
Effective (57.5 °)	0.99	-	-	-	1
True	1.9	26	0.52	0.55	0.52

แปลงที่ 9

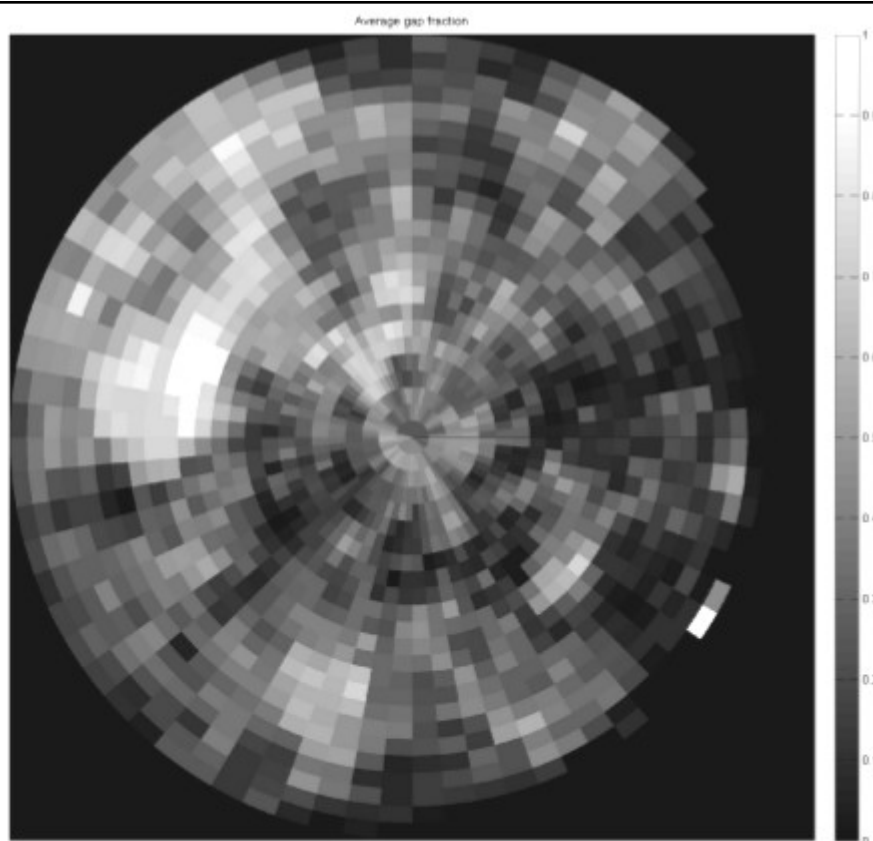
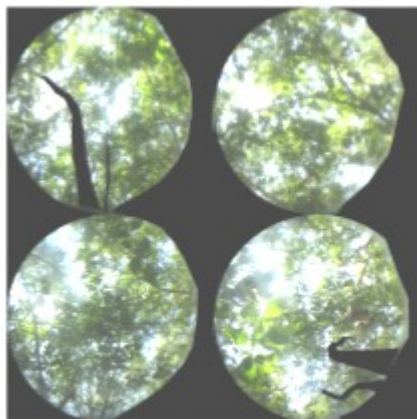


AVERAGE BIOPHYSICAL VARIABLES

fCover= 0.204(std=0.796)

	LAI	ALA (°)	Clumping Factor		
			0°	30°	57.5°
Effective	0.9	74	1	1	1
Effective (57.5 °)	0.7	-	-	-	1
True	1.9	78	0.67	0.52	0.44

แปลงที่ 10



AVERAGE BIOPHYSICAL VARIABLES

fCover= 0.609(std=0.391)

	LAI	ALA (°)	Clumping Factor		
			0°	30°	57.5°
Effective	1.4	42	1	1	1
Effective (57.5 °)	1.4	-	-	-	1
True	2.4	18	0.34	0.47	0.46

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวิโรจน์ ละอองมณี เกิดเมื่อวันที่ 21 มกราคม พ.ศ. 2513 ที่จังหวัดสงขลา

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาหลักสูตร ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาเกษตรกรรม (ประมง) จากวิทยาลัยประมงสงขลาติณสูลานนท์ สงขลา เมื่อปี พ.ศ. 2533
- สำเร็จการศึกษาหลักสูตร ส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์การเกษตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช นนทบุรี ในปี พ.ศ.2536
- สำเร็จการศึกษาหลักสูตร เทคโนโลยีบัณฑิต (เทคโนโลยีสารสนเทศธุรกิจ) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช นนทบุรี ในปี พ.ศ.2546
- สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีภูมิศาสตร์) มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี ในปี พ.ศ. 2550
- เข้าเรียนหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต ในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2550

ประวัติการทำงาน

- ทำงานตำแหน่งในฝ่ายช่างกลเรือ จน ถึง รองต้นกลเรือ ซีพีเดค ณ ฝ่ายฝึกอบรม ศูนย์พัฒนาการประมงแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เมื่อ พ.ศ.2533 จนถึง พ.ศ.2549
- ร่วมงานกับ สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ในตำแหน่งผู้ช่วยหัวหน้าศูนย์คอมพิวเตอร์ ในระยะสั้นๆ ใน ปี พ.ศ.2549
- ร่วมงานกับ ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์ วิจัยและฝึกอบรม การเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในตำแหน่งเจ้าหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูล ในปี พ.ศ.2550 จนถึงปัจจุบันอยู่ในสถานะที่ปรึกษาด้านภูมิสารสนเทศ
- ระหว่างศึกษาปริญญาโท รับทุนพัฒนาอาจารย์สาขาขาดแคลน จากคณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี พร้อมกับทำหน้าที่ อาจารย์พิเศษในสายวิชาภูมิสารสนเทศเพื่อการจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง
- ร่วมโครงการเสริมสร้างศักยภาพการจัดการทรัพยากรชายฝั่งอันดามัน ของกรมทรัพยากรทะเลและชายฝั่งร่วมกับความช่วยเหลือจากรัฐบาลออสเตรเลีย (AUSAid) ในตำแหน่งหัวหน้าส่วนงานพัฒนาระบบสารสนเทศ ในปี พ.ศ.2550