



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การบริหารทรัพยากรป่าไม้และสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

การบริหารทรัพยากรป่าไม้และสิ่งแวดล้อม

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกลบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตืน จังหวัดตาก

Estimation of Above - ground Carbon Sequestration of Forest Area by Using Remote Sensing Techniques at Mae Tuen Wildlife Sanctuary, Tak Province

นามผู้วิจัย นายสุชี บุญสร้าง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย อรุณประภารัตน์, D.Agr.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดำรง พิพัฒน์วัฒนากุล, D.Sc.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิจักขณ์ นิยม โคม, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกล
บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตืน จังหวัดตาก

Estimation of Above - ground Carbon Sequestration of Forest Area by Using Remote Sensing
Techniques at Mae Tuen Wildlife Sanctuary, Tak Province

โดย

นายสุจี บุญสร้าง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การบริหารทรัพยากรป่าไม้และสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2554

สุชี บุญสร้าง 2554: การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกลบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การบริหารทรัพยากรป่าไม้และสิ่งแวดล้อม) สาขาการบริหารทรัพยากรป่าไม้และสิ่งแวดล้อม โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย อรุณประภารัตน์, D.Agr. 85 หน้า

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกลบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินกับค่าการสะท้อนช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM ในปี พ.ศ.2550 ได้แก่ แบนด์ 2 (G) แบนด์ 3 (R) และแบนด์ 4(IR) รวมทั้งค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R การหารแบบง่าย : IR/R NDVI TVI และ GVI เพื่อหาสมการที่เหมาะสมที่สุดในการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก

การศึกษานี้ได้สร้างสมการที่เหมาะสมที่สุดในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน(CS) ของป่าประเภทต่างๆ ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อนได้เป็นอย่างดี โดยสมการเพื่อการประมาณการกักเก็บคาร์บอนป่าดิบแล้งมีสมการที่เหมาะสมที่สุด คือ $CS = 630.339(R) - 74.019$ และมีค่าสัมประสิทธิ์กำหนด (R^2) เท่ากับ 0.839 ป่าดิบเขา มีสมการที่เหมาะสม คือ $CS = 327.630(IR) - 27.974(IR/R) - 36.188$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.854 ป่าเบญจพรรณ มีสมการที่เหมาะสม คือ $CS = 951.608(IR-R) - 505.367(IR) - 62.406(IR/R) + 134.572$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.741 และป่าเต็งรัง มีสมการที่เหมาะสม คือ $CS = 53.140(IR) - 41.031(TVI) - 194.004(G) + 59.783$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.745 ในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน ในปี พ.ศ. 2550 โดยใช้สมการที่เหมาะสมสำหรับป่าประเภทต่างๆนั้น สามารถประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินได้ทั้งสิ้น 8,886,516.9 ตันคาร์บอน โดยป่าประเภทต่างๆ มีอัตราการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินแตกต่างกันไปโดยที่ป่าดิบแล้งมี อัตราการกักเก็บคาร์บอนมากที่สุด รองลงมาคือ ป่าดิบเขา ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง ตามลำดับ (129, 102.43, 80.16, และ 54.68 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์)

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Sukee Boonsang 2011: Estimation of Above - ground Carbon Sequestration of Forest Area by Using Remote Sensing Techniques at Mae Tuen Wildlife Sanctuary, Tak Province. Master of Science (Forest Resource and Environmental Administration), Major Field: Forest Resource and Environmental Administration, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Assistant Professor Wanchai Arunpraparut, D.Agr. 85 pages.

This study was aimed to estimate the above-ground carbon sequestration of forest area by using remote sensing techniques at Mae Tuen Wildlife Sanctuary, Tak Province. It concerns, the relationship between above-ground carbon sequestration and the reflectance value of different wavebands of LANDSAT 5 TM image of the year 2007, including band 2 (Green), band 3 (Red) and band 4 (IR) were analyzed. It included well-known vegetation indices; simple subtraction (IR-R), simple ratio (IR/R), normalized difference vegetation index (NDVI), transformed vegetation index (TVI) and green vegetation index (GVI). The Regression analysis was employed to determine the relationships between those parameters and carbon sequestration in order to perform the best-fit model for estimating the above-ground carbon sequestration of each forest types at Mae Tuen Wildlife Sanctuary, Tak Province.

Based on the present study, the best fit-model of each forest types at Mae Tuen Wildlife Sanctuary, Tak Province was formulated. The best-fit model for estimation above-ground carbon sequestration (CS) of dry evergreen forest was $CS = 630.339(R) - 74.019$ with the coefficient of determination (R^2) of 0.839. While the best fit-model for hill evergreen forest, mixed deciduous forest, and dry dipterocarp were CS for hill evergreen = $327.630(IR) - 27.974(IR/R) - 36.188$ with $R^2 = 0.854$; CS for mixed deciduous = $951.608(IR-R) - 505.367(IR) - 62.406(IR/R) + 134.572$, with $R^2 = 0.741$; and CS for dry dipterocarp = $53.140(IR) - 41.031(TVI) - 194.004(G) + 59.783$, with $R^2 = 0.745$, respectively. The estimation of above-ground carbon sequestration of Mae Tuen Wildlife Sanctuary in the year 2007 was 8,886,516.9 ton-carbon. The rate of above-ground carbon sequestration of each forest types was different. The results showed that the maximum rate of above-ground carbon sequestration was found in dry evergreen forest and followed with hill evergreen forest, mixed deciduous forest, and dry dipterocarp forest, respectively. (129, 102.43, 80.16, and 54.68 ton-carbon per hectare)

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย อรุณประภารัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดำรง พิพัฒน์วัฒนากุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ แสงทองพราว ที่กรุณาให้คำแนะนำ และคำปรึกษาต่างๆ ตลอดจนตรวจต้นฉบับและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ สำหรับนำมาใช้ในการศึกษา ครั้งนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณด้วยความเคารพอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ท่านผอ.พงษ์ศักดิ์ วิทวัสชุตินกุล ผู้จุดประกายการศึกษา ท่าน ผอ.สมชัย มาเสถียร ผู้บังคับบัญชา ที่ให้การสนับสนุนและส่งเสริมในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณคำธณ สังข์สวน คุณสมยศ แสงนิล คุณอัครฎา ชิตโชติ และน้องๆ กลุ่มสำรวจทรัพยากรป่าไม้ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม อีกทั้งขอขอบคุณ คุณสุรเชษฐ์ สีแดง คุณวัลยา บุตรดี และน้องๆ ส่วนประเมินทรัพยากรต้นน้ำ ที่ให้ความช่วยเหลือข้อมูลด้าน GIS รวมทั้งงานศาสตร์รุ่นที่ 63 และผู้ที่ไม่ได้ออกนามทุกท่าน ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการศึกษาครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ให้กำเนิดและอุปการะเลี้ยงดู ให้การสนับสนุน ในทุกๆ ด้าน และคุณนันทนา โหลยา ภรรยาที่คอยให้กำลังใจตลอดมา ตลอดจนช่วยประมวลและ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ หากประโยชน์อันใดที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้พึงมี ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุจิตี บุญสร้าง

พฤษภาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	27
อุปกรณ์	27
วิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	34
ผล	34
วิจารณ์	65
สรุปและข้อเสนอแนะ	67
สรุป	67
ข้อเสนอแนะ	73
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	74
ภาคผนวก	79
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	85

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ศักยภาพการใช้ประโยชน์ของดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM รายละเอียด 30 เมตร	8
2	การปฏิบัติระหว่างช่วงคลื่น ที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในการศึกษาพืชพรรณ ผลการจำแนกการใช้ที่ดินด้วยวิธีการจำแนกแบบกำกับดูแลและวิธีการจำแนก เชิงพื้นที่ด้วยสายตา	10
3	ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่เป็นค่าหลักเลขของภาพ ต้นฉบับและค่าที่แปลงเป็นค่าการสะท้อนจริงจากพื้นผิวโลก	36
4	ปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ ของป่าดิบแล้ง บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก (ขนาดพื้นที่ 900 ตารางเมตร)	45
5	ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณและ ค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องพืชพรรณ ของป่าดิบแล้ง	46
6	ปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ ของป่าดิบเขา บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก (ขนาดพื้นที่ 900 ตารางเมตร)	47
7	ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และ ค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องพืชพรรณ ของป่าดิบเขา	48
8	ปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ ของป่าเต็งรัง บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก (ขนาดพื้นที่ 900 ตารางเมตร)	50
9	ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และ ค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องพืชพรรณของป่าเต็งรัง	52
10	ปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ของป่าเบญจพรรณ บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก (ขนาดพื้นที่ 900 ตารางเมตร)	56
11	ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และ ค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องพืชพรรณ ของป่าเบญจพรรณ	60

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แผนที่แสดงที่ตั้งของเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตื่น	19
2 แผนภาพแสดงกระบวนการศึกษาทั้งหมดในการศึกษาครั้งนี้	28
3 รูปแบบกลุ่มแปลงตัวอย่าง	30
4 กระบวนการปฏิบัติงานสำรวจข้อมูลภาคสนาม	31
5 ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตื่น จังหวัดตาก	34
6 ผลการจำแนกภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยวิธีแบบกำกับดูแล และวิธีการจำแนกเชิงพื้นที่ด้วยสายตา	35
7 การกระจายของกลุ่มแปลงตัวอย่างของการสำรวจข้อมูลภาคสนาม	38
8 สภาพพื้นที่ป่าดิบแล้งบริเวณพื้นที่ศึกษา	39
9 สภาพพื้นที่ป่าดิบเขาบริเวณพื้นที่ศึกษา	40
10 สภาพพื้นที่ป่าเต็งรังบริเวณพื้นที่ศึกษา	41
11 สภาพพื้นที่ป่าเบญจพรรณบริเวณพื้นที่ศึกษา	42
ภาพผนวกที่	
1 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินของป่าดิบแล้งกับค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณและค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)	80
2 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินของป่าดิบเขากับค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณและค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)	81

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
3 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินของป่าเต็งรังกับค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณและค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)	82
4 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินของป่าเบญจพรรณกับค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณและค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)	83

การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ ด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกล บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตืน จังหวัดตาก

Estimation of Above – ground Carbon Sequestration of Forest Area by Using Remote Sensing Techniques at Mae Tuen Wildlife Sanctuary, Tak Province

คำนำ

การพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ทำให้มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ มากเกินความสมดุลในธรรมชาติ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) โลกต้องเผชิญปัญหาภัยพิบัติทางธรรมชาติมากขึ้น คุณภาพต่อชีวิตและความเป็นอยู่ ของมนุษย์ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลกอย่างรวดเร็ว จนเกิดภาวะที่เรียกว่า “ ภาวะ โลกร้อน ” (global warming) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ที่เกิดขึ้น จากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gases) โดยเฉพาะ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีปริมาณมากที่สุด ในบรรยากาศ จากการเผาไหม้ เชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fueles) และกิจกรรมทางด้านป่าไม้เป็นอีกกิจกรรมหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญ ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในบรรยากาศ

ป่าไม้ส่งผลได้ทั้งทางด้านการเพิ่มหรือปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ ได้แก่ การสูญเสียคาร์บอนที่กักเก็บในรูปเนื้อไม้ เนื่องจากการตัดไม้ทำลายป่า การสูญเสียคาร์บอนจากดิน จากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และด้านการลดหรือการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากบรรยากาศมาเก็บไว้ในรูปแบบของมวลชีวภาพ การประเมินอย่างแม่นยำเกี่ยวกับการกักเก็บคาร์บอน เหนือพื้นดินของพื้นที่ป่าไม้ถือได้ว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะตามพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ได้มีการยอมรับเอาประเด็นของการใช้ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและป่าไม้ (land use, land use change and forestry) เป็นส่วนหนึ่งของการพิจารณาการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในปัจจุบันการประมาณการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่าไม้ทำได้ยากและต้องใช้งบประมาณสูง การนำ เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลเข้ามาช่วยในการศึกษา จะทำให้สามารถประมาณค่าการกักเก็บ คาร์บอนเหนือพื้นดินในพื้นที่ป่าไม้ ได้สะดวก รวดเร็ว ใช้งบประมาณน้อยลง

การศึกษาในครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตื่น จังหวัดตาก โดยนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระยะไกลมาประยุกต์ใช้ร่วมกับข้อมูลปริมาณมวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากการสำรวจภาคสนามมาหาความสัมพันธ์ เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ในการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ให้มีความเหมาะสมมากที่สุด และสามารถนำประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในพื้นที่ป่าไม้อื่นๆได้ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำรายงานแห่งชาติว่าด้วยบัญชีรายการปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) ซึ่งเป็นอนุสัญญาที่เกิดจากความพยายามของประชาคมโลกในการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ที่มีสาเหตุมาจากภาวะเรือนกระจก (greenhouse effect) ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกลในการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตั้น จังหวัดตาก
2. เพื่อประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตั้น จังหวัดตาก



การตรวจเอกสาร

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจระยะไกล

1. นิยามและความหมาย

Lillesand and Kiefer (1994) ได้ให้ความหมายของการสำรวจระยะไกล (remote sensing) ว่าเป็นวิทยาศาสตร์และศิลปะในการได้มาซึ่งข้อมูลสารสนเทศเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่ และปรากฏการณ์ต่างๆ ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลโดยไม่ต้องสัมผัสกับสิ่งเหล่านั้น นั่นคือเราสามารถหาวัตถุชนิดใดๆ ได้จากลักษณะการสะท้อนของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนหรือแผ่ออกมาจากวัตถุชนิดนั้นๆ ทั้งนี้ต้องอาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มา ข้อมูลใน 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น (spectral) รูปทรงस्थานของวัตถุบนพื้นผิวโลก (spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (temporal) โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ คลื่นแสงที่เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า (สุรชัย, 2536)

กล่าวโดยสรุป คือ การสำรวจระยะไกลเป็นเทคนิค หรือวิธีการที่ได้มาซึ่งข้อมูล โดยใช้เครื่องมือในการเก็บบันทึกโดยไม่ได้สัมผัสกับวัตถุนั้น และสามารถวัดค่าการสะท้อนของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากวัตถุนั้น ซึ่งได้มาจากการบันทึกด้วยระบบกวาดภาพ (scanner system) ซึ่งเป็นการบันทึกข้อมูลเชิงตัวเลข ทำให้สามารถได้ข้อมูลโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ยาวกว่าช่วงคลื่นที่ตามองเห็น เช่น ในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (thermal infrared) หรือในช่วงคลื่นไมโครเวฟ (microwave) ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ หมายถึง ภาพถ่ายดาวเทียม

2. ลักษณะของข้อมูลภาพที่ได้จากการสำรวจระยะไกล

ในการสำรวจทรัพยากรป่าไม้ เพื่อนำมาใช้ในการวางแผนการจัดการป่าไม้ ระบบที่นำมาใช้ในการสำรวจหาข้อมูลและทำแผนที่ป่าไม้ในปัจจุบันมีทั้งภาพถ่ายทางอากาศ (aerial photograph) และภาพถ่ายจากดาวเทียม (satellite imagery) (บุญชนะและธงชัย, 2524) ข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรที่นำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์นั้นมีอยู่ 2 ประเภท คือ ข้อมูลในลักษณะรูปถ่าย และข้อมูลในลักษณะข้อมูลภาพเชิงตัวเลข สิ่งที่น่าสนใจในข้อมูลทั้งสองรูปแบบ คือ ระดับการสะท้อนแสงหรือการแผ่รังสีของสิ่งปกคลุมและพื้นที่ต่างๆของโลกตามสภาพความเป็นจริงซึ่งตรวจวัดได้ด้วยอุปกรณ์สำรวจ เราเรียกข้อมูลนี้ว่าข้อมูลเบื้องต้นหรือข้อมูลดิบ

2.1 ข้อมูลในลักษณะรูปถ่าย ในการบันทึกสัญญาณภาพจากภาพจากดาวเทียม โดยสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินนั้น สัญญาณภาพที่ได้รับจะเปลี่ยนเป็นตัวเลขแล้วบันทึกลงเทปความหนาแน่นสูง เพื่อถ่ายทอเป็นข้อมูลรูปถ่ายหรือข้อมูลเชิงตัวเลขภายหลัง ในการผลิตข้อมูลรูปถ่ายข้อมูลตัวเลข จะเปลี่ยนเป็นระดับสีเทาแล้วบันทึกลงบนฟิล์มต้นฉบับเพื่อนำไปอัดขยาย ให้อยู่ในลักษณะตามความต้องการของผู้ใช้ต่อไป รูปถ่ายแต่ละช่วงคลื่นของการถ่ายภาพจึงอยู่ในลักษณะภาพขาว – ดำ โดยมีระดับสีเทาเป็นตัวบ่งชี้ถึงค่าการสะท้อนแสงจากสีขาวซึ่งแสดงค่าการสะท้อนมากจนถึงสีดำ หรือการดูดซับมาก การทำภาพสีจะเป็นการเน้นภาพ สามารถทำได้โดยการให้สีแต่ละช่วงคลื่น เลียนแบบระบบธรรมชาติ แล้วนำภาพที่ให้แสงสีแล้วนี้มารวมกันอย่างน้อย 3 ภาพ จึงเกิดภาพสีผสมขึ้น โดยปกตินิยมใช้แสงสีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง สำหรับช่วงคลื่นสั้นและยาวตามลำดับ ของแสงในช่วงคลื่น ที่ตามองเห็นจนถึงอินฟราเรด (ธงชัย, 2536)

2.2 ข้อมูลเชิงตัวเลข ข้อมูลดาวเทียมเป็นข้อมูลภาพเชิงตัวเลข (digital image data) ค่าการสะท้อนแสงผิวโลกที่ได้จากการถ่ายภาพจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรต่างๆ มิใช่ภาพโดยตรง หากแต่เป็นสัญญาณภาพหรือข้อมูลภาพ (image data) ซึ่งแต่ละจุดภาพ (pixel) บันทึกค่าเป็นระดับสีเทา (gray level) มีระดับมากน้อยตามจำนวนบิต (bits) ซึ่งบิตเป็นเลขฐาน 2 โดยการนำบิตมาเรียงต่อกัน เป็นกลุ่ม ก็สามารถนำเสนอค่าระดับสีเทาได้มากขึ้นตามความต้องการ ภายใต้ข้อจำกัดจำนวนบิตของเครื่องคอมพิวเตอร์ ถ้ามี k บิตต่อ pixel ค่าระดับสีเทาทั้งหมดจะเท่ากับ 2^k ระดับ โดยอยู่ในช่วง ตั้งแต่ 0 ถึง $2^k - 1$ เช่น ถ้า k เท่ากับ 8 บิตต่อ pixel ค่าระดับสีเทาทั้งหมดจะเท่ากับ 256 ระดับ โดยอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 255 ข้อมูลภาพเชิงตัวเลขของข้อมูลภาพดาวเทียมสามารถนำไปวิเคราะห์และประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ต่อไปได้ (Schowengerdt, 1983)

3. กระบวนการของการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล

วีระภาพ (2552) ได้กล่าวถึง กระบวนการของการสำรวจจากระยะไกลว่า ประกอบด้วย 2 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการได้มาซึ่งข้อมูล (data acquisition) และกระบวนการวิเคราะห์ (data analysis) หรือการใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่บันทึกไว้โดยทั้งสองกระบวนการมีองค์ประกอบ ดังนี้

3.1 ระบบการรับข้อมูล (data acquisition) เป็นกระบวนการที่ได้มาซึ่งข้อมูลระยะไกล โดยเกิดจากองค์ประกอบที่สำคัญ ดังนี้ 1) แหล่งพลังงานและการแผ่รังสี (energy sources and radiation) ที่ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 2) การถ่ายทอพลังงานในชั้นบรรยากาศ (propagation of energy through the atmosphere) เป็นปฏิสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับชั้นบรรยากาศที่เป็นข้อจำกัด

ในบางช่วงคลื่นที่ไม่สามารถส่งผ่านมาจากพื้นผิวโลกได้ทั้งหมด เพราะถูกดูดกลืนในชั้นบรรยากาศ

3) ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับพื้นผิวโลก (energy interaction with earth surface features) เป็นลักษณะของวัตถุต่างชนิดที่มีการสะท้อน การดูดซับ การส่งผ่าน การแผ่รังสี และการกระจัดกระจายกลับของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงคลื่นและช่วงเวลา ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นประโยชน์ต่อการนำมาแยกแยะวัตถุบนพื้นโลกที่แสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

4) อุปกรณ์บันทึกข้อมูล (airborne and/or space borne sensor) เป็นเครื่องมือที่รับและบันทึกสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อน (reflection) แผ่รังสีความร้อน (emission) หรือกระจัดกระจายกลับ (backscatter) จากวัตถุเป้าหมาย แล้วส่งกลับมายังสถานีรับบนพื้นโลก และแปลงสัญญาณนั้นเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข (digital data) หรือข้อมูลภาพ (image data) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาปรับแก้ขั้นต้นเพื่อลดหรือขจัดความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิต และความบกพร่องของสัญญาณที่ได้รับ ณ สถานีรับสัญญาณก่อนที่จะนำข้อมูลภาพไปเผยแพร่สู่ผู้ใช้งานต่อไป

5) ผลิตภัณฑ์ข้อมูลในรูปแบบข้อมูลภาพหรือข้อมูลเชิงตัวเลข (sensor data in pictorial and/ or digital F)

3.2 ระบบการวิเคราะห์ข้อมูล (data analysis) ซึ่งประกอบด้วย 1) การตีความภาพด้วยสายตา หรือการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ (visual interpretation and data computer analysis) เป็นการแปลตีความหรือใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพจากดาวเทียม เพื่อสกัดข้อมูลหรือสิ่งที่ต้องการตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน 2) ผลิตภัณฑ์สารสนเทศ (information product) เป็นผลผลิตที่ได้จากการแปลตีความหรือการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของผลผลิตที่ได้นั้นก่อนนำไปใช้งานโดยการทำการเปรียบเทียบกับสภาพจริงหรือข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้ โดยวิธีทางสถิติ 3) ผู้ใช้ (user) เป็นผู้นำผลิตภัณฑ์ สารสนเทศที่อยู่ในรูปของข้อมูลภาพหรือข้อมูลเชิงตัวเลข ไปประยุกต์ใช้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

4. ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร

ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมีวิวัฒนาการอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องมาโดยตลอด นับตั้งแต่ยุคแรกเมื่อองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา หรือองค์การนาซา (NASA) ได้ส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรพิภพดวงแรกของโลกชื่อ ERTS 1 (Earth Resources Technology Satellite) ขึ้นโคจรรอบโลกเป็นผลสำเร็จเมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ. 2515 (ต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็น LANDSAT 1) และได้มีการพัฒนาข้อมูลของดาวเทียมสำรวจทรัพยากรให้มีคุณภาพและความละเอียดของภาพดีขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ ดาวเทียมในช่วงแรกๆ ได้แก่ LANDSAT 1-3 LANDSAT 4-5 และดาวเทียม SEATAT ซึ่งมีความละเอียดภาพ 80 30 และ 30

เมตร ตามลำดับ ปัจจุบันดาวเทียม LANDSAT ที่ทำงานอยู่คือ LANDSAT 5 ซึ่งมีเครื่องรับรู้อุปกรณ์ 2 ระบบ คือ ระบบเครื่องกราดภาพหลายสเปกตรัม (multispectral scanner : MSS) มี 4 ช่วงคลื่น ครอบคลุมพื้นที่ 185×185 ตารางกิโลเมตร ความละเอียดภาพ 80 เมตร และระบบแมติกแมพเพอร์ (thematic mapper : TM) บันทึกข้อมูลใน 7 ช่วงคลื่น ความละเอียดภาพ 30 เมตร (ยกเว้นแบนด์ 6 ความละเอียดภาพ 120 เมตร) และเมื่อวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2542 ดาวเทียม LANDSAT 7 ได้ถูกส่งขึ้นไปปฏิบัติงาน โดยมีเครื่องรับรู้อุปกรณ์แมติกแมพเพอร์เพิ่มสมรรถนะ (enhanced thematic mapper plus: ETM+) ที่พัฒนาจากระบบ TM โดยแบนด์ 6 ซึ่งเป็นช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน มีความละเอียดภาพ 60 เมตร และระบบแพนโครมาติก ความละเอียดภาพ 15 เมตร (จิระ และรุ่งชวล, 2552) ความยาวของช่วงคลื่น และศักยภาพการใช้ประโยชน์ของดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM แสดงรายละเอียดได้ตามตารางที่ 1

5. ความยาวช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับพืชพรรณ

การปรากฏให้เห็นภาพของวัตถุเกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนแสงของวัตถุ และสาเหตุที่ทำให้ต้นไม้ปรากฏภาพที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของต้นไม้ เช่น การเรียงตัวของใบ รูปแบบของใบ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี ชนิดของดินและสภาพภูมิประเทศ ดังนั้นข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลที่ใช้สำหรับจุดประสงค์ทางด้านป่าไม้ เช่น ชนิดป่า สภาพป่า ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (leaf area index: LAI) โครงสร้างป่า มวลชีวภาพของหมู่ไม้ (stand biomass) และโดยมากการหาช่วงคลื่นที่เหมาะสม ในการให้ข้อมูลของพืชพรรณมักจะนำช่วงคลื่นที่สายตามนุษย์มองเห็น (visible) กับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (near infrared) มาใช้ประโยชน์ ซึ่งพืชพรรณจะมีความแปรผันสูงระหว่างช่วงคลื่นสีแดงที่ถูกดูดกลืนมากกับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ที่มี การสะท้อนมาก (Lillesand and Kiefer, 1994)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2540) พบว่าช่วงคลื่นที่เห็นได้ด้วยตาเปล่า คลอโรฟิลล์ของใบพืชดูดกลืนพลังงานในช่วงคลื่น 0.45 ไมโครเมตร และ 0.65 ไมโครเมตร สะท้อนพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 0.5 ไมโครเมตร ตาของมนุษย์สามารถมองเห็นใบพืชสีเขียวเพราะใบพืชดูดกลืนแสงสีน้ำเงินและสีแดงและสะท้อนสีเขียว หากว่าใบพืชมีอาการผิดปกติ เช่น เหี่ยวแห้งหรือปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง ทำให้การสะท้อนที่คลื่นสีเขียวลดลงปรากฏเป็นสีอื่นแทน ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (0.7 – 1.3 ไมโครเมตร) ใบพืชสะท้อนพลังงานสูงประมาณร้อยละ 50 การสะท้อนพลังงานของพืชที่ความยาวคลื่นในช่วงอินฟราเรดใกล้ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในของใบพืช ที่แตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ทำให้สามารถจำแนกชนิดของพืชได้ แม้ว่าการสะท้อนพลังงานของใบพืช

ตารางที่ 1 ศักยภาพการใช้ประโยชน์ของดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM รายละเอียด 30 เมตร

แบนด์	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)	ศักยภาพการใช้ประโยชน์
1	0.45 – 0.52 (น้ำเงิน)	ใช้ตรวจสอบลักษณะน้ำตามชายฝั่ง แสดงความแตกต่างหรือใช้แยกประเภท ดินไม้ชนิดผลัดใบและไม่ผลัดใบ ออกจากกันแสดงความแตกต่างหรือ แยกดินจากพืชพรรณต่างๆ ที่มีความไว ต่อการมีหรือไม่มีคลอโรฟิลล์
2	0.52 – 0.60 (เขียว)	แสดงการสะท้อนพลังงานสีเขียวจาก พืชพรรณที่เจริญเติบโตแล้ว
3	0.63 – 0.69 (แดง)	แสดงความแตกต่างของการดูดกลืน คลอโรฟิลล์ในพืชพรรณชนิดต่างๆ กัน
4	0.76 – 0.90 (อินฟราเรดใกล้)	ใช้ตรวจวัดปริมาณมวลชีวะ แสดง ความแตกต่างของน้ำและส่วนที่ไม่ใช่น้ำ
5	1.55 – 1.75 (อินฟราเรดคลื่นสั้น)	ใช้ตรวจความชื้นในพืช แสดงความ แตกต่างของหิมะกับเมฆ
6	10.4 – 12.5 (อินฟราเรดความร้อน)	ใช้ตรวจการเหี่ยวเฉาอันเนื่องมาจาก ความร้อนในพืชแสดงความแตกต่าง ของความร้อนบริเวณที่ศึกษา แสดง ความแตกต่างของความชื้นของดิน
7	2.08 – 2.35 (อินฟราเรดสะท้อน)	ใช้ตรวจความร้อนในน้ำ ใช้แยก ประเภทแร่ธาตุและหินชนิดต่างๆ
PAN	0.52 – 0.90	ใช้ประโยชน์ในด้านผังเมืองคล้ายกับ รูปถ่ายทางอากาศ

ที่มา : สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2546)

ในช่วงคลื่นที่เห็นได้ด้วยตาเปล่าจะใกล้เคียงกันของพืชที่สมบูรณ์ ในช่วงคลื่นที่มี ขนาดสูงกว่า 1.3 ไมโครเมตร พลังงานส่วนใหญ่ถูกดูดกลืนหรือสะท้อน โดยใบพืชแทบจะไม่มี การทะลุทะลวงมัก พบค่าต่ำลงที่ 1.4 1.9 และ 2.7 ไมโครเมตร เพราะน้ำในใบพืชจะดูดกลืนความยาวดังกล่าว

เรียกว่า water absorption band และค่าสูงขึ้นที่ความยาวคลื่น 1.6 และ 2.2 ไมโครเมตร ตลอดช่วงความยาวคลื่นสูงกว่า 1.3 ไมโครเมตร ค่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชแปรผกผันกับปริมาณน้ำทั้งหมดในใบพืช นอกจากนี้ Price and Bausch (1995) ยังพบว่าในช่วงคลื่นสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรด เป็นช่วงคลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพในการแสดงค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบและประมาณผลผลิตของป่าไม้ได้ดี คลื่นสีแดงจะดูดซับโดยคลอโรฟิลล์เป็นปริมาณมาก แหล่งพลังงานของช่วงอินฟราเรดจะกระจายและแผ่พลังงานรังสีได้สูงจากเรือนยอดโดยอิทธิพลของโครงสร้างภายในใบพืช ปกติแล้วค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจะมีความสัมพันธ์อย่างมากในความแตกต่างระหว่างพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดและช่วงคลื่นสีแดงที่แสดงค่าความแตกต่างเป็นตัวเลข

การปฏิบัติการระหว่างช่วงคลื่น (band operation) เป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในการแสดงภาพเพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับพืชพรรณ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งสามารถสร้างขึ้นโดยการคำนวณ เช่น

1) การหาอัตราส่วนระหว่างแบนด์ (band-to band ratio) เป็นการจำแนกความแตกต่างของข้อมูลโดยการนำเอาความเข้มของแต่ละแบนด์ที่มีคุณภาพตรงกันมาหารกัน ผลที่ได้จากอัตราส่วนนี้จะช่วยลดรายละเอียดที่เหมือนกันของภาพ แต่ในขณะที่เดียวกันก็จะช่วยเน้นรายละเอียดที่มีความแตกต่างกันในภาพให้มีความชัดเจนยิ่งขึ้น การทำอัตราส่วนระหว่างแบนด์จะมีประโยชน์มากในภูมิประเทศที่เป็นภูเขา เพราะจะช่วยลดความแตกต่างของความเข้มข้นของข้อมูลหน้าเขา (ส่วนที่รับแสง) และหลังเขา (เงา) ได้

2) การนำช่วงคลื่นมาลบกัน (subtraction) ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลง ข้อที่ควรระวังในการใช้เทคนิคนี้คือ ภาพที่ใช้จะต้องมีการแก้ไขทางเรขาคณิตก่อนโดยให้มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เช่น ครึ่งหนึ่งของจุดภาพระบบบันทึกข้อมูลนั้น เพื่อสามารถนำผลมาเทียบกับแผนที่ต้นฉบับได้ถูกต้องที่สุด วิธีนี้สามารถใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงทั้งในระยะสั้นและระยะยาวได้ การเปลี่ยนแปลงระยะสั้น ได้แก่ น้ำท่วม ไฟป่า และการเคลื่อนที่ของเมฆระยะยาว เช่น การพัฒนาเมือง การเปลี่ยนแปลงสภาพป่า เป็นต้น

3) การนำช่วงคลื่นมาทำสัดส่วนกันและลบกัน (image differencing) วิธีนี้เป็นที่นิยมมากในการแก้ไขปัญหาการปฏิบัติการกับภาพข้อมูลที่ได้รับอิทธิพลจากมุมของดวงอาทิตย์และลักษณะภูมิประเทศ เช่น การคำนวณดัชนีพืชพรรณ ซึ่งมีชื่อเรียกเฉพาะว่า normalized difference vegetation index หรือ NDVI

ตารางที่ 2 การปฏิบัติระหว่างช่วงคลื่น ที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในการศึกษาพืชพรรณ

รูปแบบสมการ	สมการ
Green (แบนด์ 2 สีเขียว)	G
Red (แบนด์ 3 สีแดง)	R
Nearinfrared (แบนด์ 4 อินฟราเรดใกล้)	IR
การลบแบบง่าย (Simple Substraction)	$IR - R$
การหารแบบง่าย (Simple Ratio)	$\frac{IR}{R}$
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$\frac{IR - R}{IR + R}$
TVI (Transformed Vegetation Index)	$\left(\frac{IR - R}{IR + R} + 0.5 \right)^{1/2}$
GVI (Green Vegetation Index)	$-0.29(G) - 0.56(R) + 0.60(IR) + 0.49(IR)$

ที่มา : Barrett and Curtus (1992)

นอกจากนี้แล้วยังมีการใช้วิธีการเน้นภาพที่เรียกว่า tasseled-cap component เป็นการแปลงค่าของจุดภาพในรูปแบบผลบวกเชิงเส้นซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาพืชพรรณเช่นเดียวกัน โดยมี 3 รูปแบบด้วยกัน คือ

- 1) ความสว่าง (brightness) เป็นรูปแบบผลบวกเชิงเส้นที่กำหนดทิศทางความแปรปรวนหลักสำหรับการสะท้อนของพื้นดิน
- 2) ความเขียว (greenness) ซึ่งจะมีทิศทางของการสะท้อนในช่วงคลื่นแสงสว่างตรงกันข้ามกับคลื่นอินฟราเรดใกล้ จะให้ภาพของพืชสีเขียวชัดเจน
- 3) ความชื้น (wetness) เป็นความสัมพันธ์ของความหนาแน่นเรือนยอดของพืชกับความชื้น

มวลชีวภาพ

1. นิยาม และความหมาย

พงษ์ศักดิ์ (2538) ได้ให้ความหมายของมวลชีวภาพไว้ว่า มวลชีวภาพ หมายถึง น้ำหนักของพืชที่วัดออกมาเป็นน้ำหนักแห้ง หรือน้ำหนักแห้งของพืชที่ปราศจากน้ำ อาจเป็นน้ำหนักต่อหน่วยของพืช เช่น ต่อดัน หรือต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งหมายถึงมวลชีวภาพของพืชทั้งกลุ่ม ทั้งหมู่ไม้หรือทั้งสังคมพืช โดยปกติมักใช้พื้นที่ 1 เฮกแตร์ แล้วแตชนิดสังคมพืช Demoll (1972) กล่าวว่า มวลชีวภาพ หมายถึง ปริมาณของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งของสถานการณ์ใดๆ มวลชีวภาพอาจวัดได้ในรูปของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง น้ำหนักอินทรีย์สาร ไม่รวมถึงน้ำหนักน้ำ (ash-free dry weight) น้ำหนักคาร์บอน แคลอรี หรือหน่วยอื่นๆ ซึ่งอาจเป็นประโยชน์สำหรับวัตถุประสงค์การเปรียบเทียบโดยอาจมีหน่วยเป็น กรัมต่อตารางเมตร กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ หรือในรูปพลังงานซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลแคลอรีในขณะเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับ Ovington (1962) ได้ให้ความหมายของมวลชีวภาพไว้ว่า หมายถึง มวลของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในระบบนิเวศต่อหน่วยพื้นที่ ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งของสถานการณ์ใดๆ มวลของสิ่งมีชีวิตนี้ประกอบด้วย มวลของพืชสีเขียวที่สร้างขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยรวมทั้งสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่อาศัยอยู่ในระบบนิเวศ ซึ่งมวลชีวภาพอาจหาได้ในรูปของน้ำหนักสด (fresh weight) น้ำหนักแห้ง (dry weight) น้ำหนักปราศจากน้ำ หรือน้ำหนักคาร์บอน(carbon weight) ซึ่งมีหน่วยเป็นแคลอรี (Odum, 1963) แต่โดยทั่วไปนิยมหาออกมาใช้ในรูปแบบน้ำหนักแห้ง ที่อาจมีหน่วยเป็นตันต่อเฮกแตร์

Brown (1997) ให้ความหมายของมวลชีวภาพไว้ว่า มวลชีวภาพ คือ ปริมาณของสารอินทรีย์ในส่วนที่มีชีวิตทั้งหมดที่พืชสังเคราะห์ขึ้นโดยกระบวนการสังเคราะห์แสงที่เปลี่ยนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์มาเป็นพลังงานเคมีที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์โดยนำธาตุอาหารมาจากดินและอากาศมาใช้ ซึ่งสารอินทรีย์จะเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพซึ่งวัดออกมาเป็นน้ำหนักแห้งต่อหน่วยพื้นที่

สรุป มวลชีวภาพในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ หมายถึง ปริมาณของสารอินทรีย์ที่อยู่เหนือพื้นดินในส่วนที่พืชสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งของสถานการณ์ใดๆ ที่สามารถวัดออกมาได้ในรูปของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง น้ำหนักปราศจากน้ำ หรือน้ำหนักคาร์บอน โดยมีหน่วยเป็นน้ำหนักของพืชต่อหน่วยพื้นที่

2. การประมาณค่ามวลชีวภาพ

โดยปกติมวลชีวภาพจะรวมทั้งของพืชและของสัตว์ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะมวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดินของพืชพรรณที่เป็นป่าเท่านั้น ซึ่งสามารถแยกออกเป็นมวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดินและมวลชีวภาพที่อยู่ใต้ดิน โดยทั่วไปจะมีข้อมูลที่ถูกจัดพิมพ์ออกมาในรูปแบบของมวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดินมากกว่าใต้ดินที่มีขีดจำกัดในการศึกษา มวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดินในที่นี้จะป็น น้ำหนัก หรือมวลทั้งสิ้นของต้นไม้ต้นหนึ่งหรือหลายๆ ต้นในผืนป่าที่กำหนด น้ำหนักทั้งสิ้น ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ก้าน และใบ ทั้งนี้ไม่รวมถึงรากและตอที่ตัดแล้ว (Edward and Grubb, 1977) วิธีหามวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดินของพื้นที่ป่าที่อยู่หลายวิธี พงษ์ศักดิ์ (2538) กล่าวว่า นักนิเวศวิทยาชาวญี่ปุ่นส่วนใหญ่นิยมใช้ความสัมพันธ์ทางแอลโลเมตรี (allometry method) ระหว่างมิติ (dimension) ต่างๆ ของต้นไม้ กับอีกวิธีหนึ่งที่เรียกว่า stratified clip technique ซึ่งเป็นเทคนิคง่าย ๆ ในการตัดฟันส่วนของพืชที่อยู่เหนือพื้นดินออกเป็นชั้นๆ ในแนวราบโดยใช้ช่วงความหนาแน่นของชั้นเท่าๆ กัน ซึ่งการใช้เทคนิคนี้กับสังคมพืชป่าไม้ต้องใช้แรงงาน และเวลาค่อนข้างมาก แต่มีประโยชน์มาก เนื่องจากคุณสมบัติทั้งทางสัณฐานวิทยาและทางสรีรวิทยาของใบไม้ และของเนื้อไม้มันจะแตกต่างกันไปตามตำแหน่งที่อยู่ภายในช่องว่างของป่า (forest space)

วิธีการหาค่ามวลชีวภาพนั้น Komiyama (1988) ได้แบ่งการหาออกเป็น 3 วิธี คือ 1) การชั่งน้ำหนักสดโดยการตัดพืชทุกชนิดที่อยู่ในพื้นที่ออกให้หมด แล้วนำไปทำการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้น และทำการชั่งน้ำหนักแห้ง นำมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักสด เพื่อหามวลชีวภาพที่แท้จริงแต่วิธีนี้เป็นวิธีการที่ยุ่งยาก และใช้แรงงานคน เวลา งบประมาณค่อนข้างสูง แต่ก็ได้ผลที่แม่นยำ 2) การเลือกตัดโดยหาค่าเฉลี่ย (mean tree) ใช้ได้ดีกับไม้ต้นไม้มที่มีรูปแบบเดียวกัน และป่าที่มีอายุน้อย 3) การชั่งน้ำหนักของตัวอย่างบางส่วนแล้วนำมาหาความสัมพันธ์กับส่วนใดส่วนหนึ่งของพืช ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า วิธีการทางแอลโลเมตรี (allometric method)

วิธีทางแอลโลเมตรีถูกนำมาใช้ศึกษานิเวศวิทยาของป่าไม้เป็นครั้งแรกโดย Kittredge (1944) มีรูปแบบสมการ คือ

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

โดยใช้ประมาณหามวลชีวภาพของใบไม้ต่อต้น (W_L) จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH หรือ D) ซึ่งเป็นกรณีหนึ่งของกฎทางแอลโลเมตรี (law of allometry) ทำให้ได้สมการความสัมพันธ์ทางด้านมิติของต้นไม้สองอย่าง คือ ตัวแปร X และ Y ในรูป

$$y = Ax^h \quad (2)$$

หรือ $\log y = h \log x + \log A$ เมื่อ A และ h เป็นค่าคงที่

การใช้สมการนี้ ถ้ามีมิติใดมิติหนึ่งวัดได้ยาก และสามารถวัดอีกมิติหนึ่งได้โดยง่าย ก็สามารถประมาณหาค่าอีกมิติหนึ่งได้ไม่ยาก ในกรณีของต้นไม้ค่า DBH เป็นมิติที่วัดได้ง่าย และในการประมาณหาค่ามวลชีวภาพก็ใช้ค่านี้บ่อยๆ

กรณีที่มวลชีวภาพเป็นน้ำหนักของลำต้นไม้ (W_s) ต่อต้น (ในการใช้สัญลักษณ์ W นิยมใช้แทนปริมาณของต้นไม้ 1 ต้น แต่ y ใช้แทนมวลชีวภาพของต้นไม้ต่อกลุ่มต่อหมู่ไม้ (stand) หรือต่อหน่วยพื้นที่ดิน สมการดังกล่าว (พงษ์ศักดิ์, 2538) คือ

$$W_s = AD^h \quad (3)$$

อย่างไรก็ตามค่าคงที่ A และ h ในสมการข้างต้นจะแตกต่างกันไปแล้วแต่กลุ่มหรือหมู่ไม้ของป่าสาเหตุจากความแตกต่างของอายุของหมู่ไม้ (stand age) ความหนาแน่นของหมู่ไม้ (strand density) และสภาวะแวดล้อม (environment condition) สามารถแก้ไขให้หมดไปได้โดยใช้ตัวแปรอิสระ (x) ในสมการ 2 ตัว โดยสมการนิยามให้ค่า x เป็นค่ารวมกันระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (D) และความสูง (H) เพื่อลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นจากการวัดข้อมูล (Ogawa and Kira, 1977) โดยจะอยู่ในรูปต่อไปนี้

$$W_s = A(D^2H)^h \quad (4)$$

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

$$W_B = AW_s^h \quad (5)$$

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

$$\frac{1}{W_L} = \frac{1}{AW_s^h} + \frac{1}{B} \quad (6)$$

เมื่อ A h และ B เป็นค่าคงที่

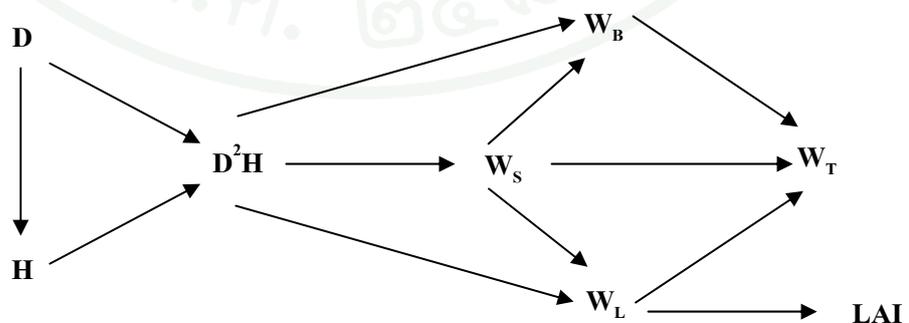
สำหรับการประมาณหาพื้นที่ผิวใบของใบไม้ จะอาศัยความสัมพันธ์ทางแอลโลเมตรีระหว่างพื้นที่ผิวใบทั้งหมดของต้นไม้ต้นหนึ่งกับน้ำหนักของใบไม้ต่อต้น (W_L) โดยระบุเป็นดัชนีพื้นที่ใบจะอยู่ในรูปสมการต่อไปนี้

$$LAI = AW_L^h \quad (7)$$

นอกจากนี้ Ogawa *et al.* (1961) ได้เขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวใบและมวลชีวภาพไว้คือ

$$LAI = A(D^2H)^h \quad (8)$$

Kato *et al.* (1978) สรุปว่า วิธีการทางแอลโลเมตรีสามารถใช้ให้สัมพันธ์กันในการคำนวณดังผัง ภาพต่อไปนี้



เมื่อ	W_S คือ น้ำหนักแห้งของลำต้น (weight of stem)
	W_B คือ น้ำหนักแห้งของกิ่ง (weight of branches)
	W_L คือ น้ำหนักแห้งของใบ (weight of leaves)
	W_T คือ น้ำหนักแห้งของต้นไม้ (weight of tree)
	LAI คือ พื้นที่ใบ (leaf area)

เมื่อได้ค่าพื้นที่ผิวใบทั้งหมดของต้นไม้หนึ่งต้น สามารถนำไปใช้ในการประมาณค่า อัตราส่วนของพื้นที่ผิวใบต่อพื้นผิวดินซึ่งเรียกว่า ดัชนีพื้นที่ใบ และมวลชีวภาพของต้นไม้ในแต่ละส่วน (ลำต้น กิ่ง ใบ) หรือทั้งต้น ทั้งหมดไม้ (stand) ทั้งแปลง หรือทั้งป่าได้เช่นเดียวกัน ในการประเมินค่ามวลชีวภาพโดยใช้ความสัมพันธ์ทางแอลโลเมตรีสำหรับการประเมินค่ามวลชีวภาพ ของไม้ในป่า จะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัด และมวลชีวภาพเหนือพื้นดินสำหรับไม้เนื้อแข็ง ทั้งหมดสามารถที่จะประมาณหาพื้นที่หน้าตัด และยังพบว่าการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างเรือนยอดสูงสุด (top-canopy height) และมวลชีวภาพเหนือพื้นดินสำหรับป่าผลัดใบสามารถที่จะทำการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินทางด้าน ความสูงของเรือนยอดได้โดยการสำรวจจากภาคสนาม เพราะว่ามวลชีวภาพของป่าในเขตร้อนจะมีการประเมินค่า จากข้อมูลการสำรวจป่าไม้ (Iverson *et al.*, 1994) โดยปริมาณของไม้ที่ได้จากการสำรวจตามธรรมชาติจะแบ่งได้หลายชั้นตามระดับความละเอียดที่ต้องการและข้อมูลพื้นฐานนี้จะเป็นข้อมูลสำหรับป่าแต่ละประเภทที่จำแนกต่อไป (Cannell, 1982)

การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการสะสมคาร์บอนของป่าไม้

ป่าไม้มีบทบาทในวงจรของคาร์บอน (carbon cycle) ทั้งเป็นแหล่งกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และดูดซับเข้าไปเก็บไว้โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงพืชจะนำเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในการสร้างอาหารและเก็บกักไว้ในรูปของมวลชีวภาพ ในขณะที่เดียวกันก็จะปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับสู่บรรยากาศผ่านกระบวนการหายใจ การตาย และการย่อยสลายของเศษซากพืช ป่าธรรมชาติที่สมบูรณ์นั้นถือว่ามีความสมดุล มีผลผลิตสุทธิโดยรวมเป็นศูนย์จึงไม่มีการเก็บกักหรือการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากป่าเหล่านี้ ซึ่งป่าธรรมชาติที่สมบูรณ์เหลือน้อยมากในปัจจุบัน ปัญหาที่ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคป่าไม้คือการลดลงของพื้นที่ป่า หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพของการใช้ประโยชน์ที่ดินไปเป็นประเภทอื่น เช่น การเกษตรกรรมที่อยู่อาศัย การตัดไม้ การเผาป่า เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งสะสมอยู่ในรูปของมวลชีวภาพ ตลอดจนคาร์บอนที่สะสมอยู่ในดินเป็นเวลานาน ในทางกลับกันหากมีพื้นที่ป่าไม้เพิ่มมากขึ้น ป่าไม้จะทำหน้าที่กักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ซึ่งเป็นการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกทางหนึ่ง ในปี พ.ศ. 2537 (ปีฐานที่กำหนดให้ทุกประเทศใช้ในการรายงานปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก) พบว่า สาขาป่าไม้ในประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวม 99.6 ล้านตัน และมีการเก็บกักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการปลูกป่าและการฟื้นคืนธรรมชาติของป่าจำนวน 39.1 ล้านตัน ดังนั้น ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิจากสาขาป่าไม้จึงมีค่าเท่ากับ 60.5 ล้านตัน (ลดาวัลย์, 2547) การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของป่าธรรมชาติหรือสวนป่าแต่ละชนิด หรือแต่ละพื้นที่ ขึ้นอยู่กับ 1) ปริมาณคาร์บอนที่สะสมในส่วนต่างๆ ของต้นไม้แต่ละชนิดที่เป็นองค์ประกอบของป่าธรรมชาติและสวนป่า และ 2) ผลผลิตมวลชีวภาพของป่า โดยทั่วไปปริมาณคาร์บอนที่สะสมในมวลชีวภาพมีความผันแปรไม่มากนัก IPCC จึงกำหนดให้ ปริมาณคาร์บอนที่สะสมในมวลชีวภาพมีค่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักแห้ง (ศูนย์วิจัยป่าไม้, 2552)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิษณุ (2544) ศึกษาการประยุกต์ใช้การสำรวจจากระยะไกลเพื่อประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบและมวลชีวภาพของป่าที่อยู่เหนือพื้นดิน บริเวณอุทยานแห่งชาติภูกระดึง จังหวัดเลย พบว่า ป่าดิบเขา มีค่าดัชนีพื้นที่ใบโดยเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 9.252 รองลงมา ได้แก่ ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และป่าสนเขา มีค่า 6.614 4.846 3.129 และ 1.009 ตามลำดับ ขณะที่มวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดิน ป่าดิบแล้ง มีค่าโดยเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 373.84 ตันต่อเฮกตาร์ รองลงมาได้แก่ ป่าดิบเขา 195.70 ตันต่อเฮกตาร์ ป่าเบญจพรรณ 174.26 ตันต่อเฮกตาร์ ป่าเต็งรัง 70.65 ตันต่อเฮกตาร์ และป่าสนเขา 19.66 ตันต่อเฮกตาร์

อภิรักษ์ (2545) ศึกษาการประยุกต์ใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลในการจำแนกพื้นที่ป่าไม้และการประมาณมวลชีวภาพป่าไม้ ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยทับทัน-ห้วยสำราญ จังหวัดสุรินทร์ พบว่า มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบแล้งประมาณค่าได้เท่ากับ 267.52 ตันต่อเฮกตาร์ และมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าเบญจพรรณประมาณค่าได้เท่ากับ 186.49 ตันต่อเฮกตาร์

จิรนนท์ (2547) ศึกษาศักยภาพการสะสมธาตุคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิของป่าทองผาภูมิ โดยแบ่งการประเมินข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน 2) ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิในส่วนแรกทำการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกขนาด ≥ 4.5 เซนติเมตร ของต้นไม้ ทุกต้นในแปลงตัวอย่างแล้วคำนวณจากสมการแอลโลเมตรีการสะสมธาตุคาร์บอนเหนือพื้นดินคำนวณโดยนำค่ามวลชีวภาพคูณด้วย conversion factor ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5

ผลการศึกษาพบว่า การสะสมธาตุคาร์บอนแตกต่างกันในป่าแต่ละประเภท โดยป่าดิบชื้น (ต้นไม้อพย และบ้านพักกลาง) มีค่าสูงกว่าป่าดิบแล้ง (KP 27) และป่าเบญจพรรณ (โป่งพูน) โดยค่าที่ได้ตามลำดับเป็น ดังนี้ 137.73 ± 48.07 70.81 ± 1.08 70.29 ± 7.38 48.14 ± 16.72 ดันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ เนื่องจากความหลากหลายในแง่ของที่อยู่อาศัยในป่าแต่ละประเภทส่งผลให้การสะสมของมวลชีวภาพองค์ประกอบของพันธุ์ไม้ และความสัมพันธ์แอลโลเมตรีที่ใช้ในป่าแตกต่างกันไป รูปแบบการกระจายของขนาดต้นไม้ในพื้นที่ที่ศึกษามีความคล้ายกัน คือต้นไม้ที่พบมากที่สุด คือ ขนาด $\geq 4.5-20$ เซนติเมตร ซึ่งต้นไม้ที่มีขนาดเล็กเหล่านี้เป็นขนาดของกลุ่มไม้มีศักยภาพต่ำสุดในการสะสมธาตุคาร์บอน แต่จะเป็นตัวหลักบอกถึงศักยภาพของป่าในอนาคต โดยกลุ่มไม้เหล่านี้จะเจริญต่อไปนั้นหมายถึงไม้กลุ่มนี้มีความสามารถที่จะเพิ่มการสะสมมวลชีวภาพและธาตุคาร์บอนได้ขึ้นไปอีก

นวนปราง (2548) ได้ศึกษาเปรียบเทียบค่าดัชนีพื้นที่ใบ มวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนสะสมที่อยู่เหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่า จากการสำรวจด้านป่าไม้และการรับรู้จากระยะไกล บริเวณอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน โดยประยุกต์ใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนภาคสนาม มาหาความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการถดถอย ร่วมกับข้อมูลดาวเทียมในลักษณะดัชนีพืชพรรณในรูปแบบต่าง ๆ โดยผลการศึกษาพบว่าเมื่อกำหนดข้อมูลดาวเทียมเป็นตัวแปรอิสระ และข้อมูลที่ได้จากภาคสนามเป็นตัวแปรตาม ได้ค่ามวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนจากสมการที่ดีที่สุดของแต่ละป่า ดังนี้ ป่าดิบชื้นมีปริมาณมวลชีวภาพมากที่สุดประมาณ 336.07 ดันต่อเฮกแตร์ รองลงมาได้แก่ ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง มีปริมาณมวลชีวภาพประมาณ 207.70 68.53 และ 58.62 ดันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ และพบว่า ป่าดิบชื้นมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมากที่สุดเท่ากับ 168.04 ดันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ รองลงมาได้แก่ ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 103.85 34.26 และ 29.31 ดันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ตามลำดับ

ชลิตาและลดาวัลย์ (2549) ได้ศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าชายเลน อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยดำเนินการวางแผนตัวอย่างใน 5 ชั้นอายุ ได้แก่ 4 10 14 20 และ 25 ปี โดยคำนวณหามวลชีวภาพจากสมการแอลโลเมตรี ที่ได้มีผู้ศึกษาไว้แล้ว โดยทำการวิเคราะห์ค่าคาร์บอนจากพันธุ์ไม้ ที่มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุด 3 ชนิด ได้แก่ โกงกางใบเล็ก ลำพู และเสมขาว ด้วยวิธี dry combustion แล้วประเมินค่าการกักเก็บคาร์บอนในแต่ละชั้นอายุ ผลการทดลอง พบว่าผลผลิตมวลชีวภาพมีค่ามากขึ้นเมื่อสวนป่ามีอายุมากขึ้นแต่ลดลงในแปลงปลูก 25 ปี ผลผลิตมวลชีวภาพมีค่าสูงสุด เท่ากับ 267.70 ดันต่อเฮกแตร์ในแปลงอายุ 20 ปี คิดเป็นประมาณการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 446.73 ดันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ และยังพบว่าปริมาณคาร์บอนที่สะสมในพันธุ์ไม้ป่าชายเลนชนิดเดียวกันแต่ ต่างอายุกัน และพันธุ์ไม้ต่างชนิดกัน มีประมาณคาร์บอนไม่แตกต่างกันทางสถิติ

โดยมีปริมาณคาร์บอนเท่ากับร้อยละ 45 ของน้ำหนักแห้ง และปริมาณคาร์บอนที่สะสมมากที่สุดอยู่ที่ ลำต้น รองลงมาได้แก่ ราก กิ่ง และใบตามลำดับ

สุรเชษฐ์ (2551) ได้ศึกษาการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลน บริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ โดยใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกลและการวิเคราะห์หาค่าการถดถอย การหาความสัมพันธ์ใน 2 รูปแบบได้แก่ การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินกับค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ และค่าการสะท้อนช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณที่ได้จาก ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM พบว่า สมการที่ดีที่สุด เป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน กับค่า IR/R และ NDVI ที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM อยู่ในรูปสมการ การกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน = $3,400.161 + 2,112.693 (IR/R) - 17,023.629 (NDVI)$ โดยสามารถประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่คิดเฉพาะ พื้นที่ป่าชายเลนได้ 71.10 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ และคิดเป็นปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินทั้งหมดของป่าชายเลนบริเวณเกาะลันตา เท่ากับ 262,006.99 ตันคาร์บอน

สถานที่ศึกษา

1. ที่ตั้งและอาณาเขต

กรมป่าไม้ (2543) กล่าวว่า เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตั้น ตั้งอยู่ในบริเวณที่ดินป่าแม่ตั้น ในท้องที่ตำบลแม่ตั้น ตำบลสามหมื่น อำเภอแม่ระมาด ตำบลบ้านนา อำเภอสามเงา จังหวัดตาก พื้นที่รับผิดชอบ 733,125 ไร่ หรือ 1,173 ตารางกิโลเมตร พื้นที่รับผิดชอบอยู่ในแผนที่สภาพภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 หมายเลขระวาง 4643 I 4743 I 4743 II 4743 III 4743 IV ดังแสดงในภาพที่ 1 และมีอาณาเขตติดต่อ ดังนี้

ทิศเหนือ ติดต่อกับเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าอมก๋อย ตำบลอมก๋อย อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่

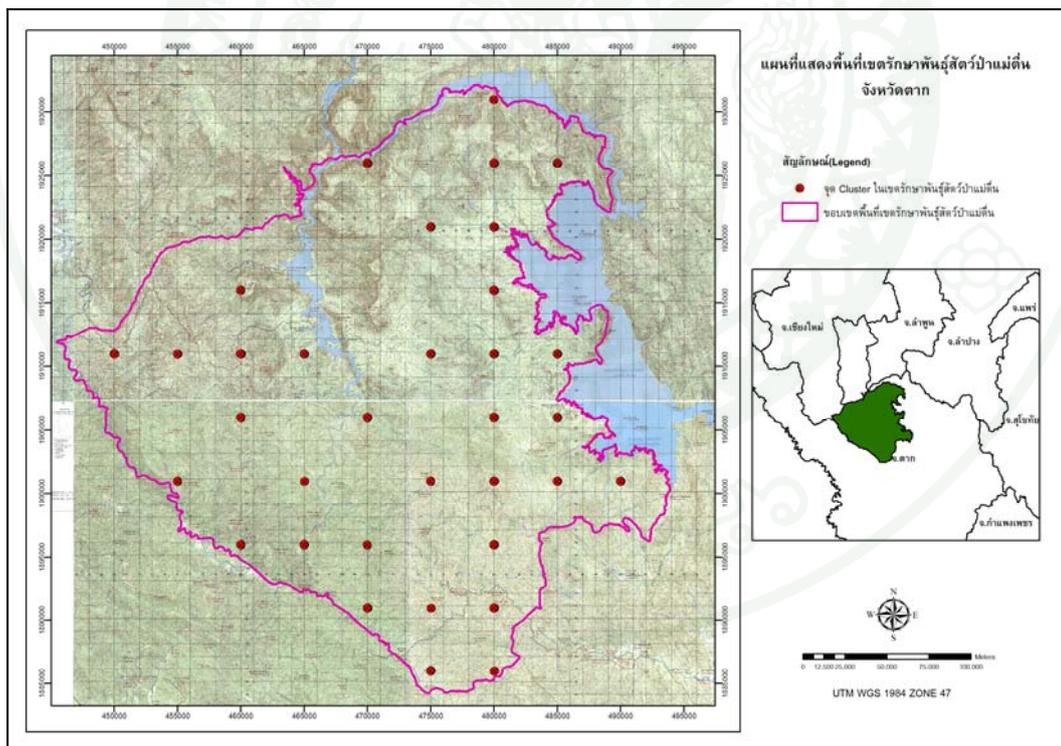
ทิศใต้ ติดต่อกับป่าสงวนแห่งชาติป่าแม่ท้อ-ห้วยตากฝั่งขวา อำเภอเมืองตาก จังหวัดตาก

ทิศตะวันออก จดอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก ตำบลบ้านนา อำเภอสามเงา จังหวัดตาก

ทิศตะวันตก จดลำนน้ำแม่ตื่น ห้วยเสมทอง ป่าสงวนแห่งชาติป่าสามหมื่น ตำบลแม่ตื่น
อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก

2. ลักษณะภูมิประเทศ

ส่วนใหญ่เป็นทิวเขาสูงชัน สลับซับซ้อน เป็นป่าเขาที่ครอบคลุมพื้นที่ต้นน้ำลำธาร มีลำห้วย
ใหญ่น้อยสายต่างๆ จำนวนมากไหลลงสู่ลำน้ำแม่ตื่น แล้วไหลออกบรรจบแม่น้ำปิง ลงสู่อ่างเก็บน้ำ เขื่อน
ภูมิพล ตามลำดับ โดยรวมของพื้นที่มีลักษณะเป็นแนวเขา โดยล้อมพื้นที่ไว้ 3 ด้าน คล้ายรูปตะแคง
โดยหันหัวไปทางทิศตะวันออก ซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล และมีน้ำแม่ตื่นพาดผ่านกลางพื้นที่
ในแนวเหนือ-ใต้ แบ่งพื้นที่ออกเป็นสองส่วน ด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่มีเทือกเขาสูงจาก
ตอนกลางออกมา เป็นเทือกเขาที่มีหน้าผาบนสันเขาลักษณะเดียวกับคอยม่อนจอง จังหวัดเชียงใหม่
ยอดเขาที่สูงที่สุดในพื้นที่อยู่บนเทือกเขานี้ สูง 1,664 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงที่ตั้งของเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตื่น

ที่มา : สำนักฟื้นฟูและพัฒนาพื้นที่อนุรักษ์ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช (พ.ศ. 2553)

สภาพภูมิประเทศด้านทิศเหนือเป็นแนวเทือกเขายาวขนานไปกับลำน้ำปิง ความลาดชันสูง สลับซับซ้อน มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางตั้งแต่ประมาณ 200 เมตร จนถึงประมาณ 1,200 เมตร ด้านทิศใต้เป็นแนวเทือกเขายาวมาจากด้านทิศตะวันตก มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ตั้งแต่ 400 เมตร จนถึงประมาณ 1,500 เมตร ความลาดชัน โดยเฉลี่ยต่ำกว่าพื้นที่ด้านทิศเหนือ ส่วนพื้นที่ ที่มีลักษณะค่อนข้างราบพบบริเวณตอนกลางพื้นที่จากลำน้ำแม่ตื่น ไปทางตะวันออกจดอ่างเก็บน้ำ เขื่อนภูมิพล ความสูงพื้นที่โดยเฉลี่ยประมาณ 300-400 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง

3. ลักษณะภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศของเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตื่น ส่วนใหญ่จะมีอากาศค่อนข้างเย็นเกือบตลอดทั้งปี ฤดูร้อนจะสั้นกว่าฤดูหนาว ฤดูหนาวอากาศหนาวจัด บางตอนจะมีอากาศชื้นเย็นตลอดปี จะเป็นที่มีสัตว์ป่าขนาดใหญ่หลายชนิดอาศัยอยู่ บนสันเขาจะมีลมพัดแรงมาก ฤดูฝนจะมีฝนตกสม่ำเสมอ อากาศหนาวจัดในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ แต่พื้นที่บางส่วน เช่น ตำบลบ้านนา อำเภอสามเงา บริเวณใกล้อ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล บริเวณใกล้แม่น้ำปิงหรือพื้นที่ส่วนใหญ่ ที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลไม่มากนัก อากาศจะอบอุ่นถึงร้อนในช่วงระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนตุลาคม และอากาศค่อนข้างหนาวในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ สำหรับฤดูฝนโดยทั่วไปจะตกหนักในช่วงระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยที่ตกในรอบปี มีปริมาณค่อนข้างสูง คือประมาณ 1,926 มิลลิเมตร ในขณะที่ค่าเฉลี่ยตลอดปีของประเทศไทยประมาณ 1,676 มิลลิเมตร แหล่งที่มาของฝน คือฝนจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากทะเลอันดามันและมหาสมุทรอินเดีย จะพัดผ่านประเทศพม่า เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมไปจนถึงเดือนตุลาคม นอกจากนี้ก็มีฝนที่ได้รับจากพายุไซรอนร้อนที่เกิดขึ้นในทะเลจีนเป็นประจำ เมื่อเกิดขึ้นก็จะเคลื่อนตัวมาทางทิศตะวันตกและวนขึ้นสู่ทิศเหนือ หากมีความรุนแรงมากก็จะพัดผ่านแหลมญวนเข้าสู่ประเทศไทย เมื่อเข้าสู่แผ่นดินจะลดกำลังลงและก่อให้เกิดฝนตกหนักในบริเวณกว้าง ถ้าปีใดพายุไซรอนร้อนเกิดขึ้นบ่อยครั้งและผ่านเข้าประเทศไทยก็จะทำให้ฝนตกในบริเวณนี้มาก ซึ่งจะทำให้น้ำในอ่างเก็บน้ำในเขื่อนภูมิพลเพิ่มปริมาณสูงขึ้น ฝนจากพายุไซรอนร้อนนี้จะเข้าสู่พื้นที่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ตกรุนแรงในช่วงระยะสั้น มักก่อให้เกิดน้ำหลากในลำห้วยสายต่างๆ ซึ่งมักจะเกิดขึ้นในช่วงเดือนกันยายนและตุลาคม นอกจากนี้ได้รับฝนจากพายุไซรอนร้อนแล้วยังได้รับฝนจากอิทธิพลที่เกิดจากร่องความกดอากาศที่ก่อตัวในอ่าวไทย พัดผ่านภาคกลางขึ้นเหนือ ซึ่งทำให้ฝนตกในบริเวณนี้แต่ก็มีปริมาณไม่มาก (กรมป่าไม้, 2543)

4. ลักษณะทางธรณีวิทยา และปฐพีวิทยา

ลักษณะทางธรณีวิทยาของเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก ประกอบด้วยหิน 2 ประเภท คือ หินอัคนี (igneous rock) และหินตะกอน (sedimentary rock)

หินอัคนี สันนิษฐานว่าเกิดในยุค Mesozoic สมัย Tertiary ลักษณะชั้นหินเป็น dike ชนิดของหินอัคนีที่พบมากได้แก่ หินแกรนิต (granite) ซึ่งพบมากเป็นผืนใหญ่ติดต่อกันจากบริเวณพื้นที่ตอนกลางลงไปทางด้านทิศใต้ และมีรอยเลื่อน (fault) ทัวไป

หินตะกอน สันนิษฐานว่าเกิดในยุค Paleozoic สมัย cambrian และ ordovician ชนิดที่พบมากได้แก่ หินทราย (sandstone) และหินปูน (limestone) ทางตอนเหนือและทางตะวันตกของพื้นที่ นอกจากนี้ยังพบหินตะกอนจำพวกหินกรวดกลม (conglomerate) และหินดินดาน (shale) อยู่ค่อนข้างมาก บริเวณริมขอบอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล และริมฝั่งลำน้ำแม่ต๋อนตอนบน

5. ทรัพยากรป่าไม้

เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน มีภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นทิวเขาสูงชันสลับซับซ้อนจากสภาพความสูงและความชันต่างระดับกัน ทำให้มีสภาพแตกต่างกัน มีป่าเกือบทุกประเภทและยังมีความสมบูรณ์มาก ประเภทป่าและชนิดพรรณไม้ในป่าแห่งนี้ ศูนย์วิจัยป่าไม้ (2536) มีดังต่อไปนี้

5.1 ป่าดิบเขา (hill evergreen forest)

มีอยู่บนเขาสูงในบริเวณที่เป็นต้นน้ำของลำห้วยสายใหญ่ๆ และหุบเขาที่มี aspect ตะวันออกเฉียงเหนือของเทือกเขา มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 1,370 เมตร พรรณไม้ที่สำคัญในป่านี้ได้แก่พรรณไม้ในวงศ์ไม้ก่อ Fagaceae เช่น ก่อแดง ก่อหุ้ม ก่อขาวใบกลม ก่อหรั่ง และก่อแป้น ส่วนพรรณไม้อื่นๆ ได้แก่ มะห้ำ เมียงอ้อาม ฟินปลา พะอง เมียงผี ช้างอะ กัดเค้า ไคร้มด เมียงเหมือด ส่วนไม้พื้นล่าง ได้แก่ ผักปราบช้าง พญาคง ตาห่านเขา ตาเป็ดตาไก่ ฟ่าวแดง ว่านกำมกั้งหิน กูดง้อง ข่าคม หอมฮอก เอื้องหงอนไก่ ว่านไก่แดง หล้าคมบาง สภาพของป่ายังอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์

5.2 ป่าดิบแล้ง (dry evergreen forest)

เป็นป่าบนเขาที่อยู่ในระดับต่ำลงมา สภาพป่าโปร่งกว่าป่าดิบเขา มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 980 เมตร พรรณไม้ที่สำคัญในป่าดิบแล้งมี ไทรย้อยข้าวหลาม ค้างคาว ขนุนป่า หอมไกลดง พลองจิ้งก หว่า พะอง นอกจากพรรณไม้ดังกล่าวแล้วยังมีพรรณไม้อื่นๆ คือ มะมุ่นดง ยาเปี๊ยะ ปลิง มะพร้าว นกกก ลำไยป่า มะห้ำเงาะป่า ตำแยช้าง ลำดวนดง กล้วยฤๅษี เกล็ดน้ำ เหมือดคนตัวแม่ ไคร้ มะกอยคัต มะไฟ ฝาละมี หาดสำน เลือดแรด เลือดกวาง หมามูยช้าง ส่วนไม้พื้นล่าง ได้แก่ พ่าวแดง พลุติ่นช้าง หมาก หวาย กาแฟป่า เชื่อง ระย้าแก้ว ชะรักป่า บึงขาว จำฮ่อม เป็นต้น

5.3 ป่าเบญจพรรณ (mixed deciduous forest)

ส่วนใหญ่อยู่ระหว่างลำห้วยกับยอดเขา โดยเฉพาะทิศด้านลาดทางตะวันออก มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 360 เมตร ในป่าเบญจพรรณนี้มี 2 สภาพป่า คือ ป่าเบญจพรรณที่มีไม้สัก และป่าเบญจพรรณที่ไม่มีไม้สัก พรรณไม้ที่สำคัญในป่าเบญจพรรณที่ไม่มีไม้สัก ได้แก่ ตะแบก ตะแบกเลือด ตุ่มกว่าว ปู่เจ้า ปี่จั่น ประคู้ ดินนกก แดง ขะเจี๊ยะ มะกอก ขอบป่า จี๋หนอน จี๋ป่า ลำตาควาย เสียงเครือ ส้มกบ มะกา ขว้าว จู้นพอ กำหด อ้อยช้าง อ้อยจน ขมหอม กัดลิ้น และปอมัน ส่วนในป่าเบญจพรรณที่มีไม้สักนั้น พรรณไม้ที่สำคัญได้แก่ ปี่จั่น มะแฟน ตะคร้อ ดินนกก จี๋เหล็กบ้าน มะเฒ่าดอย แดง แคลทราย ปูร์ สัก คำดง กระเจา แคลหิน กระท่อมหมู เต็งหนาม เก็ดแดง ปอมัน ส้มกบ และไผ่นวล

5.4 ป่าเต็งรัง (dry dipterocarpus forest)

มีอยู่ทั่วไปในภูมิภาคที่เป็นเขาหินและดินกรวดแดง และ aspect ทางด้านใต้ของเทือกเขา มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ประมาณ 650 เมตร ในป่าเต็งรังนี้มี 2 สภาพป่า คือ สภาพป่าเต็งรัง และสภาพป่าเต็งรัง-สนสองใบ พรรณไม้ที่สำคัญในป่าเต็งรังได้แก่พรรณไม้ในวงศ์ไม้ยาง Dipterocarpaceae ได้แก่ เต็ง พลวง รัง ส่วนในวงศ์อื่นๆ ได้แก่ รกฟ้า มะม่วงหาวแมงวัน กะอวม ตุ่มกว่าว และกระเจา พรรณไม้ที่สำคัญในป่าเต็งรัง-สนสองใบ ได้แก่ พลวง สนสองใบ รักใหญ่ กว่าว สารภีคอย ก่อแอบ เต็ง พยอม และเหมือดจี้ สภาพพื้นล่างของป่านี้ ไม่มีไม้พื้นล่าง เป็นพื้นที่โล่งมีแต่หิน

6. ทรัพยากรสัตว์ป่า

ผลการศึกษานิคมพันธุ์สัตว์ป่าที่ปรากฏอยู่ในพื้นที่ จากการสำรวจโดยการพบเห็นตัว การสังเกต ร่องรอย การสังเกตและจำแนกเสียง รวมถึงการสอบถามจากบุคคลในท้องถิ่นที่สามารถเชื่อได้ รวมถึง การตรวจสอบจากศูนย์ข้อมูลด้านสัตว์ป่าจากมหาวิทยาลัยมหิดล ปรากฏว่าเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตั้น ยังอุดมสมบูรณ์ด้วยชนิดสัตว์ป่าแม้ว่าจำนวนประชากรในแต่ละชนิดจะไม่มากเท่าที่ควร แต่ก็ยังมีขนาด ของประชากรมากพอที่จะพัฒนาให้เพิ่มขึ้นได้โดยไม่ยากหากได้รับการจัดการที่ดี นอกจากนี้สัตว์บก แล้วเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแห่งนี้ ยังเป็นแหล่งอนุรักษ์ปลาน้ำจืดของประเทศที่สำคัญอีกด้วย มีปลาน้ำจืด อยู่ไม่น้อยที่อาศัยอยู่ในลำห้วยลำธารในพื้นที่ รวมถึงที่พบอยู่ในอ่างเก็บน้ำเหนือเขื่อนภูมิพลด้วย เฉพาะสัตว์ป่าซึ่งไม่รวมปลาน้ำจืดมีปรากฏอยู่ถึง 278 ชนิด กรมป่าไม้ (2543) ซึ่งแยกตามประเภท ได้ดังนี้

6.1 สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม

สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมที่พบแล้วทั้งสิ้นมี 41 ชนิดพันธุ์ จาก 36 สกุล ใน 18 วงศ์ด้วยกัน เป็นสัตว์ป่าที่จัดอยู่ในกลุ่มที่กำลังจะสูญพันธุ์ทั้งสิ้น 4 ชนิด ได้แก่ เสือโคร่ง เสือดาว ช้างป่า และ กวางผา เป็นสัตว์ป่าที่จัดว่าถูกบีบคั้นจนกำลังจะกลายเป็นสัตว์ป่าที่กำลังสูญพันธุ์ 15 ชนิด ซึ่งได้แก่ สัตว์จำพวกลิง (*Macaca spp.*) ค่างแว่นถิ่นเหนือ ชะนี ลิ่นใหญ่ พญากระรอกดำ หมูป่า หมาหริ่ง นากใหญ่ สัตว์จำพวกแมว (*Felis spp.*) กระต๊อง วัวแดง และเสือดาว โดยพระราชบัญญัติสงวนและ คุ้มครองสัตว์ป่า พ.ศ. 2535 มีอยู่ 2 ชนิด ที่เป็นสัตว์ป่าสงวน และ 27 ชนิด เป็นสัตว์ป่าคุ้มครอง และอีก หลายชนิดคาดว่าจะประกาศเป็นสัตว์ป่าคุ้มครองต่อไป จากการประเมินโดยความรู้สึกทั่วๆ ไปมีอยู่ 16 ชนิด ที่มีจำนวนประชากรน้อย 22 ชนิด มีปานกลาง และมีเพียง 4 ชนิด ที่มีประชากรมาก สัตว์ป่า หลายชนิด โดยเฉพาะสัตว์ใหญ่มีโอกาสพบเห็นได้ยาก อย่างไรก็ตามก็ยังปรากฏร่องรอยที่เด่นชัดว่า ยังคงมีอยู่ในพื้นที่ โดยเฉพาะกวางผา มีร่องรอยและกองมูลปรากฏอยู่บนยอดเขาสูง เช่น บริเวณ คอยพ่อหลวง ผาแดง และยอดเขาอื่นๆ ริมลำน้ำปิง มีการจับตัวได้และยังมีชีวิตอยู่จนถึงปัจจุบัน

6.2 สัตว์ปีกหรือนก

มีปรากฏอยู่ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตั้นทั้งสิ้น 192 ชนิดพันธุ์ จาก 130 สกุล ใน 48 วงศ์ ชนิดนกที่จัดว่าเป็นนกที่กำลังจะสูญพันธุ์ไม่ปรากฏอยู่ในพื้นที่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการก่อผลกระทบ จนนกเหล่านั้นหมดไปจากพื้นที่ โดยเฉพาะนกยูงซึ่งคาดว่าเคยปรากฏอยู่ในลำน้ำแม่ตั้นตอนล่าง

ส่วนนกที่จัดว่าเป็นนกที่ถูกบีบคั้นจนกำลังจะกลายเป็นนกที่กำลังจะสูญพันธุ์ ได้แก่ นกอินทรีดำ ไก่ฟ้าหลังเทา ไก่ฟ้าหลังขาว นกแว่นสีเทา นกลุมพู นกทืดทื่อพันธุ์เหนือ นกเงือกกรมช้าง และนกกก นกที่ปรากฏเกือบทั้งสิ้นเป็นนกที่อยู่ในบัญชีรายชื่อสัตว์ป่าคุ้มครองของประเทศ มีเพียง 27 ชนิดที่มีได้คุ้มครองหรือสงวน และ 44 ชนิด มีปรากฏอยู่น้อย นอกนั้นมีประชากรในขั้นปานกลางถึงมาก นกหลายชนิดเป็นนกที่มีการโยกย้ายถิ่นตามฤดูกาล คือ ในช่วงฤดูหนาวของซีกโลกเหนือจะโยกย้ายถิ่นลงมาหากินอยู่ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแห่งนี้ พอถึงฤดูร้อนก็โยกย้ายขึ้นไปทำรังเลี้ยงลูกอ่อนในแถบอบอุ่นและแถบหนาวของโลก โดยเฉพาะนกเป็ดชนิดต่างๆ ที่โยกย้ายลงมาในช่วงฤดูหนาว ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนและอยู่หากิน ไปถึงเดือนพฤษภาคมมักเข้ามาใช้ตอมน้ำเหนือเขื่อนภูมิพล ในส่วนที่ติดกับเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแห่งนี้เสมอ บางครั้งพบเป็นฝูงใหญ่ในลำห้วยภายในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าด้วย นกที่มีคุณค่าทางด้านความงามและมีราคาซื้อขายในท้องตลาดค่อนข้างแพง เช่น นกในจำพวกนกแก้ว (*Psittacula spp.*) นกขุนทอง (*Gracula religiosa*) พบปรากฏอยู่เป็นจำนวนมาก

6.3 สัตว์เลื้อยคลาน

เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋นเป็นแหล่งพื้นที่ที่อุดมสมบูรณ์ด้วยสัตว์เลื้อยคลานแห่งหนึ่งในภาคเหนือของประเทศ สัตว์ประเภทนี้ที่ปรากฏในพื้นที่และค้นพบแล้วมีทั้งสิ้น 32 ชนิดพันธุ์ จาก 24 สกุล ใน 11 วงศ์ เป็นสัตว์ที่ตกอยู่ในสภาพถูกบีบคั้นอย่างหนักจนกำลังจะกลายเป็นสัตว์ป่าที่กำลังจะสูญพันธุ์ จำนวน 2 ชนิดพันธุ์ คือ เต่าหก (*Testudo emys*) และตะกวด (*Varanus salvator*) แต่โดยความเป็นจริงแล้วยังมีอยู่อีกหลายชนิดที่มีสถานภาพเช่นนี้ เช่น เต่าเหลือง งูจงอาง งูกินทาก และเหี้ย เป็นต้น มีอยู่ 9 ชนิดพันธุ์ที่จัดไว้เป็นสัตว์ป่าคุ้มครองของประเทศ ได้แก่ เต่าหก เต่าเหลือง กิ้งก่าบินจุดดำ กิ้งก่าหัวสีน้ำเงิน กิ้งก่าหัวแดง กิ้งก่าแก้ว และงูเห่า

6.4 สัตว์จำพวกสะเทินน้ำสะเทินบก

สัตว์ป่าในกลุ่มนี้ของเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋นมีพบทั้งสิ้น 13 ชนิดพันธุ์ จาก 6 สกุล ใน 4 วงศ์ด้วยกัน เป็นสัตว์ป่าที่ถูกบีบคั้นจนกำลังจะกลายเป็นสัตว์ป่าที่กำลังจะสูญพันธุ์อยู่ 1 ชนิด คือ กบหูคหรือกบภูเขา (*Rana blythii*) และในปัจจุบันได้ประกาศเป็นสัตว์ป่าคุ้มครองไปแล้วรวมกับคางคกเล็ก (*Bufo parvus*) ส่วนใหญ่มีประชากรอยู่ในระดับปานกลาง ที่พบเห็นได้ค่อนข้างมากมีอยู่ 2 ชนิด คือ เขียดหนอง และเขียดท้ายทอยดำ

6.5 ปลาน้ำจืด

เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋นนับได้ว่าเป็นแหล่งปลาน้ำจืดที่สำคัญแหล่งหนึ่งของประเทศ โดยเฉพาะในลำห้วยสายต่างๆ ที่มีน้ำไหลตลอดปี เช่น ห้วยแม่ต๋น ห้วยริน และในอ่างเก็บน้ำ เหนือเขื่อนภูมิพล ผลจากการศึกษาเอกสารที่ได้มีการสำรวจปลาน้ำจืดในแหล่งนี้ปรากฏว่ามีการพบปลาน้ำจืดไม่น้อยกว่า 55 ชนิดพันธุ์ จาก 42 สกุล ใน 19 วงศ์ ชนิดปลาที่พบส่วนใหญ่อยู่ในวงศ์ปลาตะเพียน ได้แก่ ปลากระมัง ปลากระตัก ปลาแก้มช้ำ ปลากระทิง ปลาสร้อยชนิดต่างๆ ปลาช้อย ปลาบางส่วนปลาในวงศ์ต่างๆ ที่พบได้แก่ ปลากระทิง ปลาแดง ปลาสังกะวาด ปลาคัง และปลาแรด นอกจากนี้ปลาน้ำจืดจากแหล่งอื่นปรากฏอยู่หลายชนิด เนื่องจากโครงการปล่อยปลาในอ่างเก็บน้ำเหนือเขื่อนภูมิพลของกรมประมง ที่สำคัญเช่น ปลานิล ซึ่งเป็นปลาน้ำจืดจากลำน้ำโขง ปลาช่อนเทศ ปลาหมอเทศ และปลานิล เป็นปลาที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ แต่ปรากฏในพื้นที่นี้ด้วย

7. เส้นทางคมนาคม

การเดินทางไปยังเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋น จังหวัดตาก วิธีที่สะดวกที่สุดคือการเดินทางโดยรถยนต์แยกจากถนนพหลโยธินที่อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก ไปตามถนนลาดยางสายอำเภอบ้านตาก อำเภอแม่ระมาด ประมาณ 40 กิโลเมตร ถึงหน่วยพิทักษ์ป่ากองคองแล้วแยกขวาไปตามถนนลูกรังอีกประมาณ 12 กิโลเมตร ก็จะถึงที่ทำการเขตฯ อีกเส้นทางหนึ่งคือเดินทางไปตามถนนพหลโยธินแยกเข้าทางอำเภอแม่สอด ไปอำเภอแม่ระมาด แล้วเดินทางไปตามถนนสายอำเภอแม่ระมาด-บ้านตาก ประมาณ 30 กิโลเมตร ก็จะถึงทางแยกเข้าถนนลูกรังเข้าที่ทำการเขตฯ เส้นทางลูกรังระหว่างหน่วยพิทักษ์ป่ากองคองกับที่ทำการเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่านั้น สามารถใช้ได้สะดวกในฤดูแล้งเท่านั้น ส่วนฤดูฝนติดต่อกันได้โดยความยากลำบาก เพราะถนนบางแห่งเป็นดินโคลน บางแห่งสะพานชำรุดไม่สะดวกต่อการสัญจรไปมา ส่วนเส้นทางคมนาคมภายในพื้นที่ที่ราษฎรและเจ้าหน้าที่ใช้เดินทาง ติดต่อกัน ตรวจสอบดู นั้นมี 2 ทางคือ

7.1 ทางบก

เส้นทางคมนาคมทางบกส่วนใหญ่อยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ที่เป็นเส้นทางที่ราษฎรใช้ติดต่อระหว่างหมู่บ้าน เป็นเส้นทางยาวติดต่อกันดังนี้ บ้านปุกเก๋ บ้านเขวา บ้านคำหวัน บ้านแพะ บ้านห้วยมะพร้าว บ้านทีนามู บ้านพาราคอ บ้านห้วยพลู บ้านไหล่น้อย บ้านห้วยหมาบ้า บ้านห้วยปู บ้านห้วยเย็นใต้ บ้านห้วยเย็นเหนือ เป็นทางดินที่มีสภาพไม่ดีนัก โดยเฉพาะช่วงฤดูฝน การเดินทาง

ค่อนข้างจะลำบาก ยานพาหนะส่วนใหญ่จะเป็นรถจักรยานยนต์ เกวียนและการเดินเท้า ส่วนทางตอนใต้ของพื้นที่ที่มีถนนลาดยางผ่านนั้นการเดินทางค่อนข้างสะดวกสบายโดยใช้รถยนต์และรถจักรยานยนต์ไปตามบ้านกิวสามล้อ บ้านห้วยน้ำหวาน บ้านกองคอง บ้านแสมใหญ่ บ้านแสมหลวง มีถนนดินลูกรังอยู่บ้างบางแห่ง แต่ก็สามารถติดต่อได้สะดวกทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน

7.2 ทางน้ำ

เส้นทางคมนาคมทางน้ำเป็นอีกเส้นทางหนึ่งที่มีความจำเป็นสำหรับราษฎรและเจ้าหน้าที่ที่อาศัยอยู่ทางตอนกลางของพื้นที่ ริมลำน้ำแม่ตื่น บริเวณบ้านอุ้มวาบ บ้านนาไฮ บ้านหินลาด และที่อาศัยอยู่ริมอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล บริเวณบ้านห้วยริน บ้านสันป่าเปี้ยว บ้านผาลาด บ้านโสมง โดยมากนิยมใช้เรือหางยาวในการเดินทางและออกจับปลาตามลำน้ำ เส้นทางคมนาคมทางน้ำนี้เป็นเส้นทางที่นักท่องเที่ยวนิยมใช้ในการท่องเที่ยวชมธรรมชาติเหนือเขื่อนภูมิพลโดยลงเรือที่ตัวเขื่อนแล้วล่องขึ้นไปตามลำน้ำปิง และอีกเส้นทางที่นักท่องเที่ยวที่ชอบการผจญภัยนิยม คือการล่องแพในลำน้ำแม่ตื่นจากที่ทำการเขตฯ ไปบ้านอุ้มวาบแล้วนั่งเรือต่อไปที่เขื่อนภูมิพล

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 5 TM ครอบคลุมพื้นที่บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋น จังหวัดตาก
2. แผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร ลำดับชุด L7018 มาตรฐาน 1 : 50,000
3. เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมอุปกรณ์ต่อพ่วง
4. ซอฟต์แวร์ประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม และระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

วิธีการ

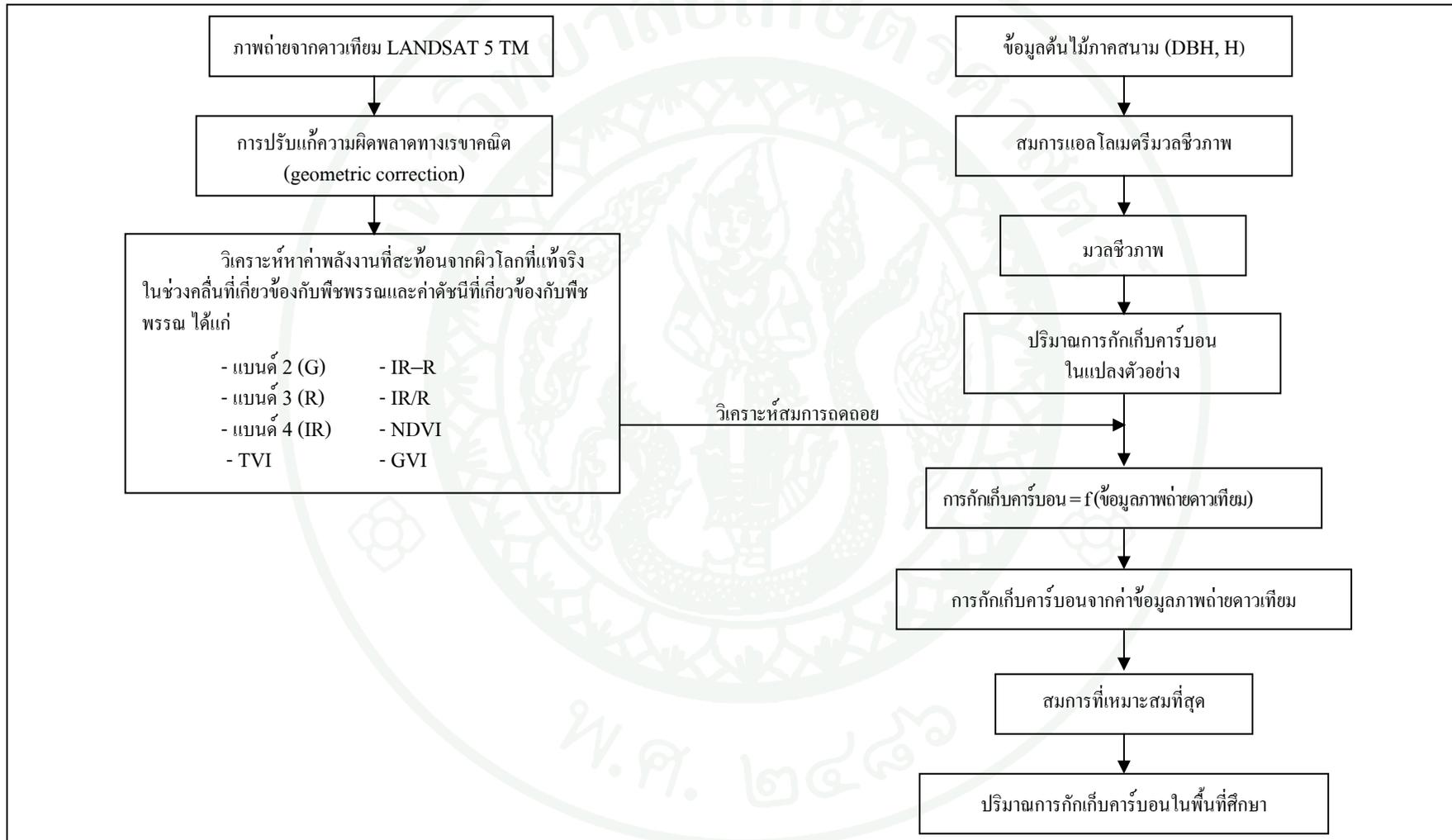
การศึกษาการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋น จังหวัดตาก ด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกล สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม การเก็บข้อมูลภาคสนาม และการวิเคราะห์ข้อมูล โดยแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

เลือกข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 5 TM ครอบคลุมพื้นที่บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋น จังหวัดตาก บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2550 โดยมีขั้นตอนในการเตรียมความพร้อมของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแสดงดังภาพที่ 2 และมีรายละเอียด ดังนี้

1.1 นำเข้าและตัดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 5 TM ที่ได้รับการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตแล้วให้ครอบคลุมพื้นที่บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋น จังหวัดตาก

1.2 การแปลงค่าหลักเลข โดยทำการแปลงค่าหลักเลขของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM ไปเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงเพื่อลดความผิดพลาดของพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุบนพื้นผิวโลกไปสู่เครื่องบันทึกข้อมูล จากสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบข้าง ในขณะที่ทำการบันทึกข้อมูล ได้แก่ สภาพอากาศ ภูมิประเทศ อุณหภูมิ มุมตกกระทบของแสง



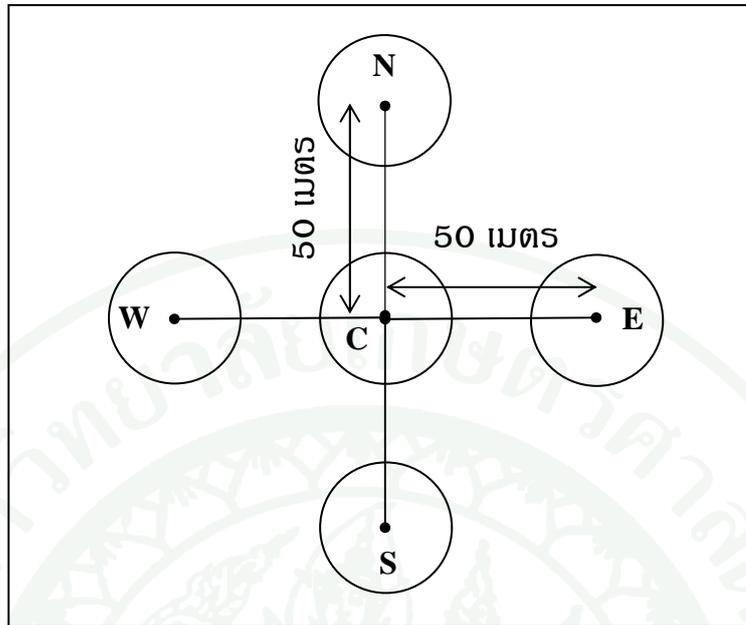
ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงกระบวนการศึกษาทั้งหมดในการศึกษาครั้งนี้

1.3 นำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ได้รับการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิต และปรับแก้ให้อยู่ในรูปของค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง บริเวณเดียวกับพื้นที่ที่ทำการวางแผนตัวอย่างเก็บข้อมูล ซึ่งบันทึกจากเครื่องกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียม (GPS) มาทำการวิเคราะห์หาค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ G R IR และค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R การหารแบบง่าย :IR/R NDVI TVI และ GVI

2. การสำรวจข้อมูลภาคสนาม

ข้อมูลการสำรวจภาคสนามใช้ข้อมูลจาก โครงการสำรวจทรัพยากรป่าไม้และการประเมินความเสี่ยงต่อการบุกรุกทำลายป่าบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ในส่วนของเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน ซึ่งได้ทำการสำรวจข้อมูลภาคสนามเกี่ยวกับทรัพยากรป่าไม้ และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยใช้การวางแผนตัวอย่างในการสำรวจแบบ Systematic Sampling โดยในแต่ละจุดจะอยู่ห่างกัน 5 x 5 กิโลเมตร รวมเป็นแปลงตัวอย่างทั้งสิ้น 1,356 กลุ่มแปลง (cluster) ในการกำหนดที่ตั้งพิกัดของแปลงตัวอย่างจะใช้เครื่องมือกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียม (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2547) โดยโครงการนี้ได้นำรูปแบบของการวางแผนตัวอย่าง และขนาดของแปลงตัวอย่าง จากโครงการติดตั้งระบบติดตามการเปลี่ยนแปลงข้อมูลทรัพยากรป่าไม้ของชาติ เพื่อการอนุรักษ์ที่มีประสิทธิภาพและการจัดการที่ยั่งยืน (PD 195/03 Rev. 2 (F)) ซึ่งเป็นโครงการความร่วมมือระหว่างกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช กับองค์การไม้เขตร้อนระหว่างประเทศ (International Tropical Timber Organization, ITTO) ได้ดำเนินการวางแผนตัวอย่างระยะห่างกันที่ 20 x 20 กิโลเมตร ทั่วประเทศ มาประยุกต์ในการศึกษาของโครงการฯ โดยกลุ่มแปลงตัวอย่างที่เป็นพื้นที่ป่าไม้ อยู่ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จำนวน 34 กลุ่มแปลง จำนวน 147 แปลง (plot)

การสำรวจทรัพยากรป่าไม้ใช้วิธีการสำรวจแบบกลุ่ม โดยแต่ละกลุ่ม ประกอบด้วยจุดเก็บตัวอย่างซึ่งใช้เป็นตำแหน่งวางแผนตัวอย่าง จำนวน 5 แปลง โดยกำหนดให้ตำแหน่งที่ตั้งของหน่วยตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง เป็นตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มแปลงตัวอย่าง (cluster centre) และเป็นตำแหน่งของแปลงตัวอย่างถาวร สำหรับแปลงตัวอย่างอีก 4 แปลง กำหนดให้อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของกลุ่มแปลงตัวอย่างเป็นระยะทาง 50 เมตร ตามทิศหลักทั้งสี่ทิศ คือ ทิศเหนือ (north) ทิศตะวันออก (east) ทิศใต้ (south) และทิศตะวันตก (west) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 รูปแบบกลุ่มแปลงตัวอย่าง

การเก็บข้อมูลภาคสนามจะเก็บข้อมูลไม้ต้น (tree) ของไม้ทุกชนิดในแปลงตัวอย่างรูปวงกลมรัศมี 17.84 เมตร โดยวัดต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดที่ความสูงจากระดับพื้นดินขึ้นไป 1.30 เมตร) ขนาดความโตมากกว่าหรือเท่ากับ 4.5 เซนติเมตร และวัดความสูงของต้นไม้ทั้งหมด โดยมีกระบวนการปฏิบัติงานสำรวจภาคสนาม ตามภาพที่ 4

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ภายหลังจากการเตรียมข้อมูลของต้นไม้ในพื้นที่ศึกษาแล้ว จึงนำข้อมูลที่ได้นำมาทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อหามวลชีวภาพ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอน โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

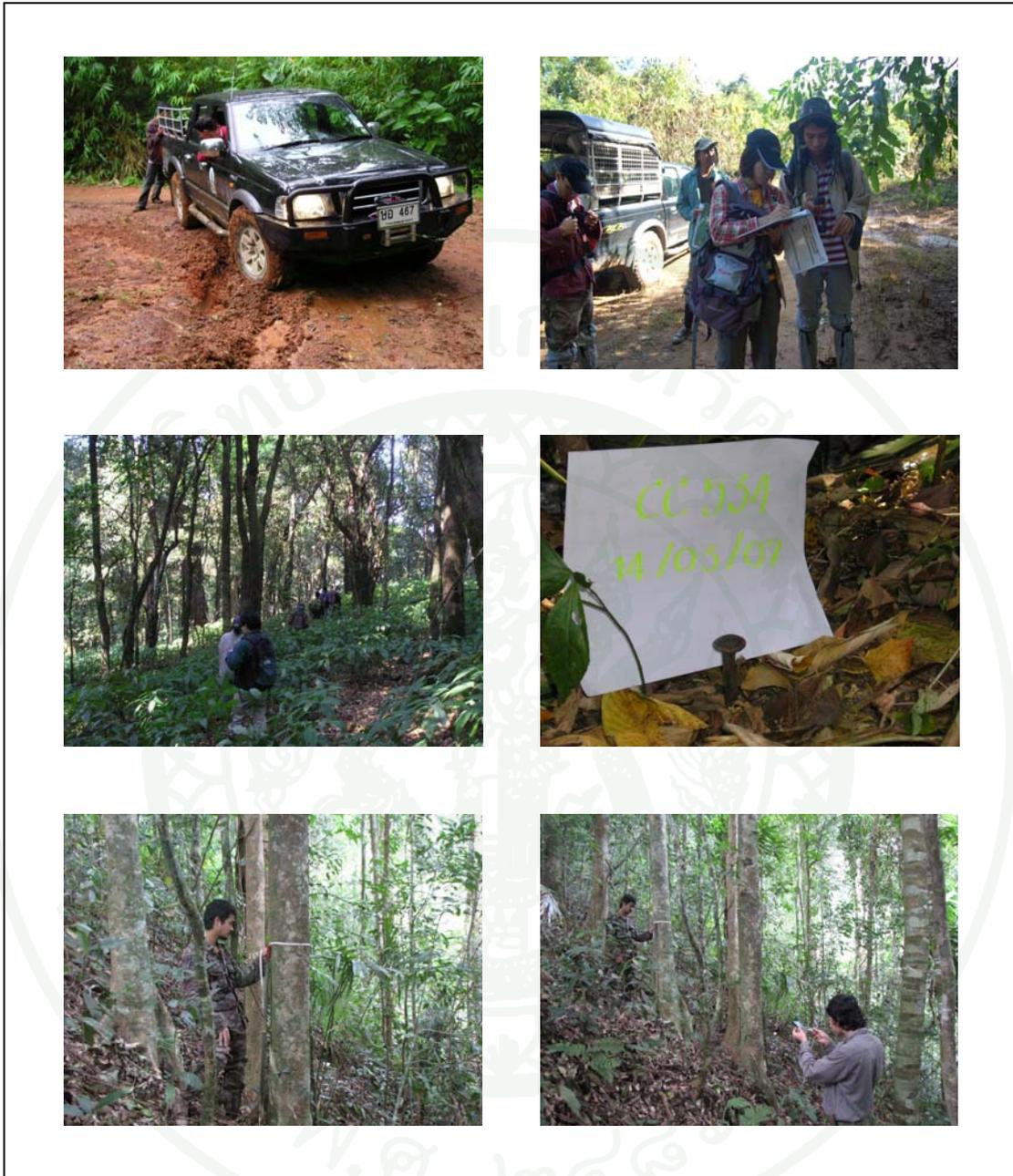
3.1 การประมาณค่ามวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดิน (above-ground biomass) ของต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง ในการศึกษาครั้งนี้ใช้สมการแอลโลเมตรีของชนิดป่าต่างๆ ดังนี้

1) ป่าดิบเขา ป่าดิบแล้ง ใช้สมการของ Tsutsumi *et al.* (1983)

$$W_s = 0.0509 (D^2H)^{0.919}$$

$$W_b = 0.00893 (D^2H)^{0.977}$$

$$W_l = 0.0140 (D^2H)^{0.669}$$



ภาพที่ 4 กระบวนการปฏิบัติงานสำรวจข้อมูลภาคสนาม

2) ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง ใช้สมการของ Ogawa *et al.* (1965)

$$W_s = 0.0396 (D^2H)^{0.9326}$$

$$W_b = 0.003487 (D^2H)^{1.0270}$$

$$W_l = (28.0 / W_s + W_b + 0.025)^{-1}$$

3) ปริมาณ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินรวม $W_t = W_s + W_b + W_l$ (กิโลกรัม) โดยที่

W_s = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น (กิโลกรัม)

W_b = มวลชีวภาพส่วนของกิ่ง (กิโลกรัม)

W_l = มวลชีวภาพส่วนของใบ (กิโลกรัม)

W_t = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินรวม (กิโลกรัม)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูงของต้นไม้ถึงปลายยอด (เมตร)

3.2 การประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในมวลชีวภาพ โดยมีค่าประมาณร้อยละ 50 ของมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Brown and Lugo, 1982)

3.3 นำข้อมูลค่ามวลชีวภาพ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่วิเคราะห์ได้จากภาคสนาม ซึ่งมีขนาดแปลงตัวอย่างวงกลมรัศมี 17.84 เมตรซึ่งมีพื้นที่ 1,000 ตารางเมตร มาทำการเฉลี่ยให้ข้อมูลดังกล่าวอยู่ในรูปของแปลงตัวอย่างขนาด 30 x 30 เมตร ซึ่งมีพื้นที่ 900 ตารางเมตร เพื่อให้สอดคล้องกับขนาดของจุดภาพที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM และถือว่าค่าที่ได้รับมาเฉลี่ยแล้วเป็นค่าที่ได้จากข้อมูลภาคสนามที่มีขนาดแปลงตัวอย่าง 30 x 30 เมตร หรือ 900 ตารางเมตร มาใช้ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.4 การประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 5 TM มีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

1) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (ตัวแปรตาม) กับค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ G R IR และค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย: IR-R การหารแบบง่าย: IR/R NDVI TVI และ GVI โดยใช้จุดภาพบริเวณเดียวกันกับตำแหน่งแปลงตัวอย่างที่ทำการเก็บข้อมูลภาคสนามโดยเครื่องบอกตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม ใช้การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจในการเลือกตัวแปรอิสระที่เหมาะสมในการสร้างสมการ และเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (stepwise multiple regression analysis) ซึ่งมีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + \dots + b_nX_n \quad (9)$$

เมื่อกำหนดให้ Y คือ ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_n$ คือ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 TM (G, R, IR, IR-R, IR/R, NDVI, TVI และ GVI) ที่แปลงเป็นค่า reflectance แล้ว

a คือ ค่าที่เส้นสมการถดถอยตัดแกน Y (Y – intercept)

$b_1, b_2, b_3, b_4, \dots, b_n$ คือ สัมประสิทธิ์ของการถดถอย (coefficient of regression)

2) ทำการหาสมการที่เหมาะสมที่สุดในการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน

3.5 นำสมการที่เหมาะสมที่สุดที่ผ่านการคัดเลือกไปประมาณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินโดยเฉพาะพื้นที่ป่าไม้บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตั้น จังหวัดตาก

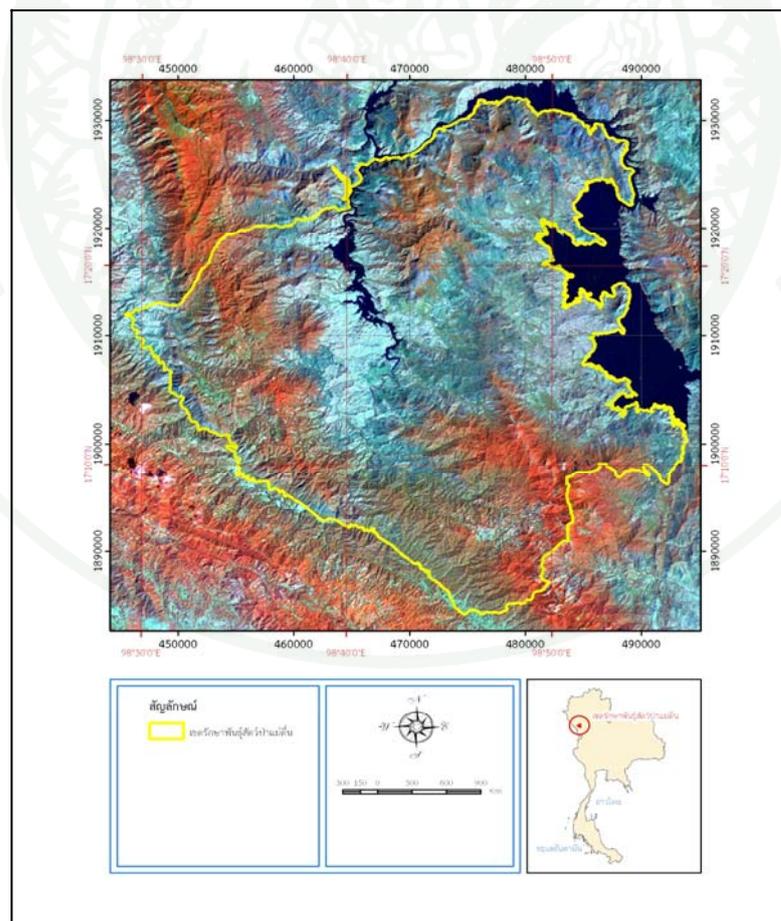
ผลและวิจารณ์

ผล

1. การวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม

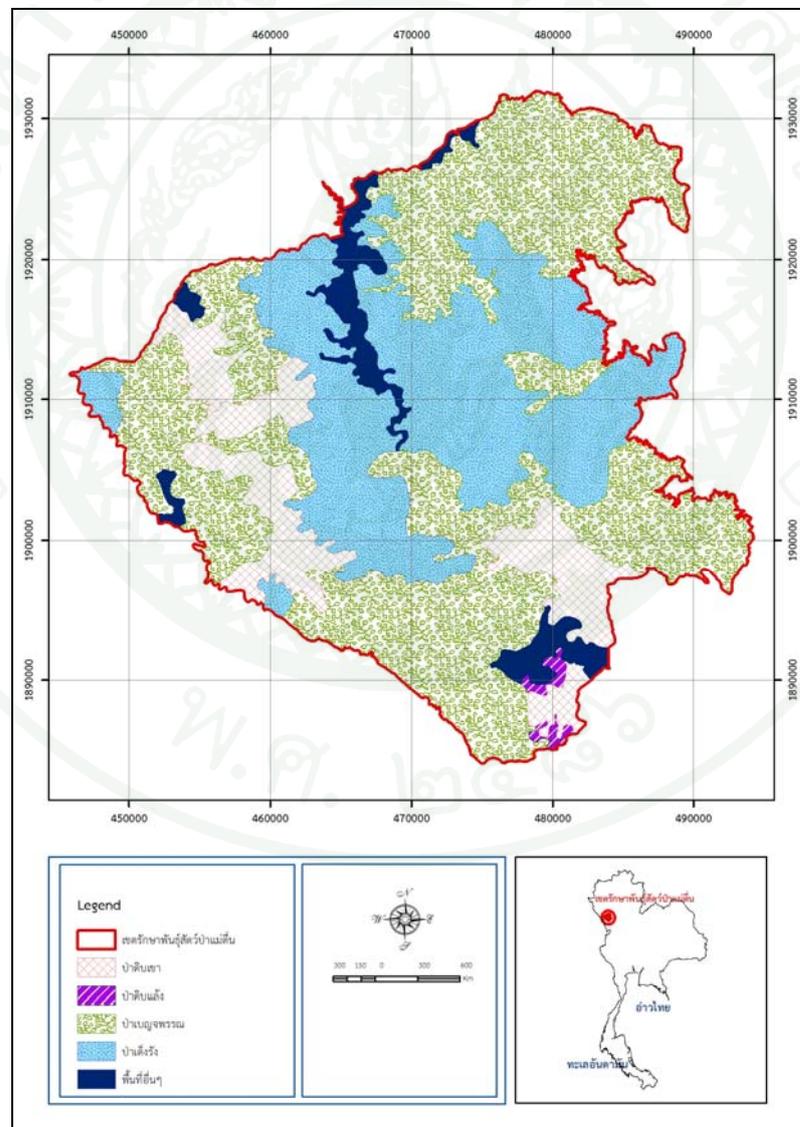
1.1 การจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

การจำแนกข้อมูลภาพในการศึกษาค้างนี้ใช้การจำแนกแบบกำกับดูแล (supervised classification) เป็นวิธีหลักในการจำแนกข้อมูลภาพ และใช้วิธีการจำแนกเชิงพื้นที่ด้วยสายตา เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องมากที่สุด โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM ทำการตัดพื้นที่ให้ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ศึกษา มีพิกัดอยู่ที่ 445770E 1931967N กับ 494244E 1840900N รายละเอียด ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตั้น จังหวัดตาก

จากการศึกษาพบว่าเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตื่น จังหวัดตาก มีพื้นที่ประมาณ 1,253.56 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 783,474.70 ไร่ และกำหนดชนิดพื้นที่ที่เป็นตัวแทนศึกษาออกเป็น 5 ประเภท คือป่าดิบแล้ง ป่าดิบเขา ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และพื้นที่อื่นๆ และสามารถจำแนกพื้นที่ตามประเภทต่างๆ ได้ดังนี้ ป่าดิบแล้งมีพื้นที่ 6.82 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 4,265.50 ไร่ ป่าดิบเขามีพื้นที่ 152.72 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 95,447.28 ไร่ ป่าเต็งรังมีพื้นที่ 401.07 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 250,665.72 ไร่ ป่าเบญจพรรณมีพื้นที่ 628.63 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 392,892.74 ไร่ และพื้นที่อื่นๆ มีพื้นที่ 64.33 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 40,203.45 ไร่ รายละเอียดในการจำแนกแสดงดังภาพที่ 6 และตารางที่ 3



ภาพที่ 6 ผลการจำแนกภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยวิธีแบบกำกับดูแล และวิธีการจำแนกเชิงพื้นที่ด้วยสายตา

ตารางที่ 3 ผลการจำแนกการใช้ที่ดินด้วยวิธีการจำแนกแบบกำกับดูแลและการวิธีการจำแนกเชิงพื้นที่ด้วยสายตา

ประเภทการใช้ที่ดิน	เนื้อที่		
	ตร.กม.	ไร่	ร้อยละ
ป่าดิบแล้ง	6.82	4,265.50	0.54
ป่าดิบเขา	152.72	95,447.28	12.18
ป่าเต็งรัง	401.07	250,665.72	31.99
ป่าเบญจพรรณ	628.63	392,892.74	50.15
พื้นที่อื่นๆ (พื้นที่ที่ไม่ใช่พื้นที่ป่าไม้)	64.33	40,203.45	5.13
รวม	1,253.56	783,474.70	100.00

1.2 การแปลงค่าหลักเลขไปเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง

ผลการแปลงค่าข้อมูลหลักเลข ไปเป็นข้อมูลค่าการสะท้อนจริงจากพื้นผิวโลก รายละเอียดตามตารางที่ 4 พบว่า ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ได้รับการแปลงค่าแล้วมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของภาพ เนื่องมาจากค่าการสะท้อนจริงที่ได้จากพื้นผิวโลกเป็นค่าของพลังงานที่สะท้อนออกจากผิวของวัตถุ ซึ่งไม่สามารถกำหนดช่วงของค่าพลังงานได้แน่นอน

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่เป็นค่าหลักเลขของภาพต้นฉบับ และค่าที่แปลงเป็นค่าการสะท้อนจริงจากพื้นผิวโลก

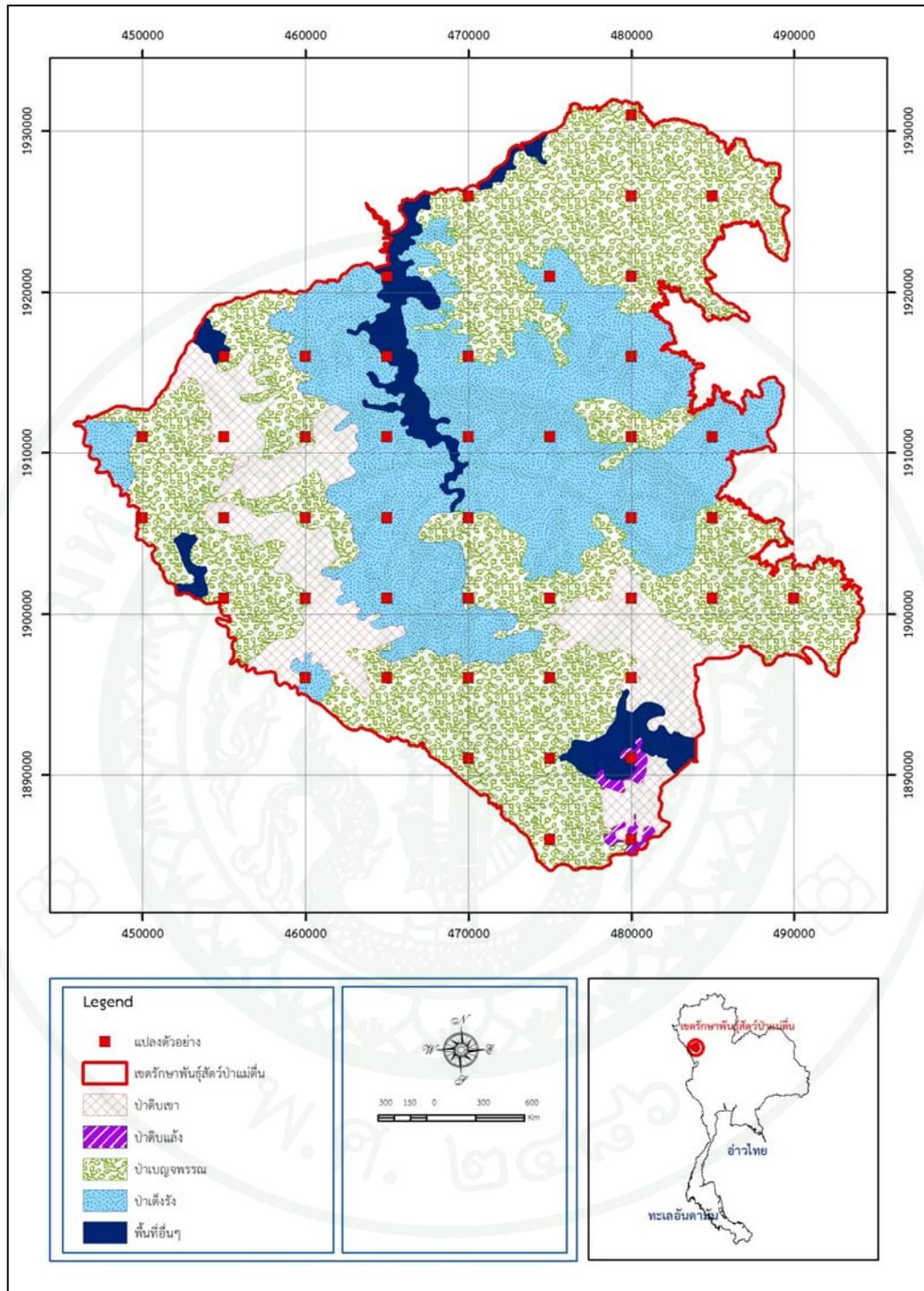
Band	Digital Number		Reflectance	
Band 1	Min = 44	Mean = 66.854	Min = 0.139	Mean = 0.214
	Max = 255	Median = 67	Max = 0.834	Median = 0.212
	Mode = 68	Std. Dev = 6.440	Mode = 0.217	Std. Dev = 0.021
Band 2	Min = 14	Mean = 28.674	Min = 0.080	Mean = 0.178
	Max = 198	Median = 28	Max = 1.310	Median = 0.172
	Mode = 28	Std. Dev = 3.980	Mode = 0.172	Std. Dev = 0.027

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Band	Digital Number		Reflectance	
Band 3	Min = 11	Mean = 29.704	Min = 0.056	Mean = 0.162
	Max = 246	Median = 28	Max = 1.386	Median = 0.149
	Mode = 21	Std. Dev = 7.884	Mode = 0.108	Std. Dev = 0.045
Band 4	Min = 6	Mean = 55.368	Min = 0.030	Mean = 0.382
	Max = 224	Median = 56	Max = 1.584	Median = 0.382
	Mode = 56	Std. Dev = 16.197	Mode = 0.382	Std. Dev = 0.115
Band 5	Min = 0	Mean = 71.414	Min = -0.015	Mean = 0.322
	Max = 255	Median = 71	Max = 1.188	Median = 0.319
	Mode = 71	Std. Dev = 27.907	Mode = 0.319	Std. Dev = 0.132
Band 7	Min = 0	Mean = 29.589	Min = -0.016	Mean = 0.187
	Max = 255	Median = 28	Max = 1.730	Median = 0.175
	Mode = 22	Std. Dev = 14.556	Mode = 0.134	Std. Dev = 0.100

2. การวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม

ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนาม จำนวน 34 กลุ่มแปลง มีจำนวนแปลงตัวอย่างทั้งหมด 147 แปลง กระจายทั่วพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตื่น รายละเอียดดังภาพที่ 7 แบ่งแปลงตัวอย่างตามประเภทป่าต่างๆ ได้ดังนี้ ป่าดิบแล้ง จำนวน 13 แปลง ป่าดิบเขา จำนวน 7 แปลง ป่าเต็งรัง จำนวน 42 แปลง และป่าเบญจพรรณ จำนวน 85 แปลง จากการวัดขนาดไม้ยืนต้นที่มี DBH ตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตร ขึ้นไป พบว่า มีต้นไม้ทั้งหมด จำนวน 4,978 ต้น มีจำนวนต้นไม้เฉลี่ย 339 ต้นต่อเฮกตาร์ ประกอบด้วย ชนิดพันธุ์ไม้ จำนวน 237 ชนิด และไม่สามารถจำแนกชนิดได้ จำนวน 407 ต้น โดยจำแนกตามประเภทป่าต่างๆ ได้ดังนี้



ภาพที่ 7 การกระจายของกลุ่มแปลงตัวอย่างของการสำรวจข้อมูลภาคสนาม

2.1 ป่าดิบแล้ง

ผลจากการสำรวจป่าดิบแล้งจำนวน 13 แปลง พบว่ามีต้นไม้ทั้งหมด จำนวน 409 ต้น มีจำนวนต้นไม้เฉลี่ย 315 ต้นต่อเฮกแตร์ มีความสูงเฉลี่ย 12.29 เมตร และมี DBH เฉลี่ย 21.46 เซนติเมตร ประกอบด้วยชนิดพันธุ์ไม้ จำนวน 84 ชนิด ไม่สามารถจำแนกชนิดได้ จำนวน 133 ต้น ชนิดพันธุ์ไม้ที่สำรวจพบมากที่สุด 5 อันดับแรก คือ ตะไคร้หน้า (*Cephalanthus tetrandra* Roxb.) ตะเคียนหนู (*Anogeissus acuminata* var. *lanceolata* C.B.Clarke) ทองหลวงป่า (*Erythrina subumbrans* (Hassk.) Merr.) ลำไยป่า (*Paranephelium xestophyllum* Miq.) และเสี้ยวป่า (*Bauhinia saccocalyx* Pierre) ตามลำดับ โดยมีสภาพป่าตามภาพที่ 8



ภาพที่ 8 สภาพพื้นที่ป่าดิบแล้งบริเวณพื้นที่ศึกษา

2.2 ป่าดิบเขา

ผลจากการสำรวจป่าดิบเขา จำนวน 7 แปลง พบว่า มีต้นไม้ทั้งหมด จำนวน 147 ต้น มีจำนวนต้นไม้เฉลี่ย 210 ต้นต่อเฮกแตร์ มีความสูงเฉลี่ย 14.73 เมตร และมี DBH เฉลี่ย 24.25 เซนติเมตร ประกอบด้วยชนิดพันธุ์ไม้ จำนวน 81 ชนิด ไม่สามารถจำแนกชนิดได้ จำนวน 54 ต้น ชนิดพันธุ์ไม้ที่สำรวจพบมากที่สุด 5 อันดับแรก คือ ก่อหยม (*Castanopsis argyrophylla* King ex Hook.f.) ปันแถ (*Albizia lucidior* (Steud.) I.C.Nielsen) กระท้อน (*Sandoricum koetjape* (Burm.f.) Merr.) และก่อหรั่ง (*Castanopsis armata* Spach) ตามลำดับ โดยมีสภาพป่าตามภาพที่ 9



ภาพที่ 9 สภาพพื้นที่ป่าดิบเขาบริเวณพื้นที่ศึกษา

2.3 ป่าดิบเต็งรัง

ผลจากการสำรวจป่าเต็งรัง จำนวน 42 แปลง พบว่ามีต้นไม้ทั้งหมด จำนวน 2,120 ต้น มีจำนวนต้นไม้เฉลี่ย 505 ต้นต่อเฮกแตร์ มีความสูงเฉลี่ย 10.20 เมตร และมี DBH เฉลี่ย 16.23 เซนติเมตร ประกอบด้วยชนิดพันธุ์ไม้จำนวน 118 ชนิด ไม่สามารถจำแนกชนิดได้ จำนวน 76 ชนิด ชนิดพันธุ์ไม้ที่สำรวจพบมากที่สุด 5 อันดับแรก คือ รัง (*Shorea siamensis* Miq.) เต็ง (*Shorea obtusa* Wall. Ex Blume) พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus* Roxb.) รกฟ้า (*Terminalia alata* Heyne ex Roth) และก๊าก (*Lannea coromandelica* (Houtt.) Merr.) ตามลำดับ โดยมีสภาพป่าตามภาพที่ 10



ภาพที่ 10 สภาพพื้นที่ป่าเต็งรังบริเวณพื้นที่ศึกษา

2.4 ป่าเบญจพรรณ

ผลจากการสำรวจป่าเบญจพรรณ จำนวน 85 แปลง พบว่า มีต้นไม้ทั้งหมด จำนวน 2,302 ต้น มีจำนวนต้นไม้เฉลี่ย 271 ต้นต่อเฮกแตร์ มีความสูงเฉลี่ย 12.93 เมตร และมี DBH เฉลี่ย 24.31 เซนติเมตร ประกอบด้วยชนิดพันธุ์ไม้ จำนวน 204 ชนิด ไม่สามารถจำแนกชนิดได้ จำนวน 145 ต้น ชนิดพันธุ์ไม้ที่สำรวจพบมากที่สุด 5 อันดับแรก คือ สัก (*Tectona grandis* L.f.) แดง (*Xylia xylocarpa* var. *kerri* (Craib & Hutch.) I.C.Nielsen) กระพี้จั่น (*Millettia brandisiana* Kurz) ตะแบกเปลือกบาง (*Lagerstroemia duperreana* Pierre ex Gagnep.) และขานาง (*Homalium tomentosum* (Vent.) Benth.) ตามลำดับ โดยมีสภาพป่าตามภาพที่ 11



ภาพที่ 11 สภาพพื้นที่ป่าเบญจพรรณบริเวณพื้นที่ศึกษา

3. การวิเคราะห์ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนามเพื่อหาค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน โดยการนำข้อมูลที่ได้จากแปลงตัวอย่างภาคสนามที่มีขนาดเท่ากับ 1,000 ตารางเมตร มาคำนวณหาค่ามวลชีวภาพโดยใช้สมการแอลโลเมตรีตามแต่ละประเภทป่าและคำนวณหาค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอน แล้วทำการเฉลี่ยให้ข้อมูลอยู่ในรูปของแปลงตัวอย่างขนาด 30×30 เมตร ซึ่งมีพื้นที่ 900 ตารางเมตร เพื่อให้สอดคล้องกับขนาดของจุดภาพที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM และนำค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่คำนวณได้มาหาค่าความสัมพันธ์กับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM ที่ผ่านการแปลงค่าตัวเลขหลักไปเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงแล้วในตำแหน่งเดียวกับแปลงตัวอย่างที่ทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม มาหาค่าการสะท้อนช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ ค่า G R และ IR และหาดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R การหารแบบง่าย : IR/R NDVI และ GVI จะได้ข้อมูล ดังนี้

3.1 ป่าดิบแล้ง

พื้นที่ป่าดิบแล้งที่ได้จากการจำแนก เมื่อคิดเฉพาะในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก มีพื้นที่ประมาณ 6.82 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 4,265.50 ไร่ และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนามตามตำแหน่งพิกัดต่างๆ จำนวน 13 แปลง ทำการคำนวณค่ามวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน จะได้รายละเอียดแสดงตามตารางที่ 5

เมื่อนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM ที่ผ่านการแปลงค่าตัวเลขหลัก ไปเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงแล้วในตำแหน่งเดียวกับแปลงตัวอย่างที่ทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม มาหาค่าการสะท้อนช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ ค่า G R และ IR และหาดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R การหารแบบง่าย : IR/R NDVI และ GVI จะได้ข้อมูลตามตารางที่ 6

เมื่อนำค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่คำนวณได้จากตารางที่ 5 มาหาค่าความสัมพันธ์กับข้อมูลดาวเทียมที่ได้จากตารางที่ 6 ในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ ค่า G R และ IR และหาดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R การหารแบบง่าย : IR/R NDVI และ GVI มาวิเคราะห์เพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมในการสร้างสมการ โดยวิธีการวิเคราะห์

การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการความสัมพันธ์ (ภาพผนวกที่ 2) ผลการวิเคราะห์พบว่า มีตัวแปรอิสระเพียงหนึ่งตัว คือ ค่า R ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการ และให้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด ดังนี้

$$CS = 630.339(R) - 74.019 \quad (R^2 = 0.839) \quad (10)$$

เมื่อ CS = ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

นำสมการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับ ค่า R มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ที่ได้ โดยการตั้งสมมติฐานอย่างง่ายจากตัวทดสอบสถิติแบบ F ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังต่อไปนี้

$H_0 : \beta_1 = 0$ คือ ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน (y) ไม่มีอิทธิพลกับค่า R ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

$H_1 : \beta_1 \neq 0$ คือ ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน (y) มีอิทธิพลกับค่า R ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

ผลการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยตัวทดสอบสถิติแบบ F โดยให้ค่าตัวทดสอบสถิติ $F = 57.292$ หมายความว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) มีช่วงวิกฤติ $CR : F \neq F_{0.05} (1,11) = 4.84$ ซึ่งค่า F จากการทดสอบมีค่าทางสถิติมากกว่าค่าในช่วงวิกฤติ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และยอมรับสมมติฐาน H_1 หมายความว่า ค่า R สามารถอธิบายความผันแปรของค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (y) ได้

ตารางที่ 5 ปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ ของป่าดิบแล้ง บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก (ขนาดพื้นที่ 900 ตารางเมตร)

แปลง ที่	พิกัดแปลง		มวลชีวภาพ (กิโลกรัม)				การกักเก็บ คาร์บอน (ตัน)
	ตะวันออก	เหนือ	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	รวม	
1	480000	1896000	6,246.66	1,313.61	790.18	8,350.45	4.175
2	480050	1896000	9,595.18	1,953.89	1,397.03	12,946.10	6.473
3	480000	1896050	24,529.24	5,144.00	3,147.20	32,820.45	16.410
4	480000	1895950	9,019.64	1,833.12	1,319.66	12,172.41	6.086
5	479950	1896000	15,987.45	3,362.01	2,023.51	21,372.97	10.686
6	480000	1891000	58,919.93	12,587.36	6,970.15	78,477.44	39.239
7	480050	1891000	11,087.73	2,311.82	1,457.27	14,856.82	7.428
8	480000	1891050	15,117.92	3,215.38	1,823.87	20,157.16	10.079
9	480000	1890950	16,998.64	3,524.42	2,286.19	22,809.25	11.405
10	479950	1891000	29,457.49	6,253.25	3,576.32	39,287.06	19.644
11	480000	1886000	11,480.90	2,421.36	1,435.83	15,338.09	7.669
12	480050	1886000	6,402.85	1,327.44	859.02	8,589.31	4.295
13	480000	1885950	10,949.08	2,278.59	1,444.78	14,672.44	7.336
	เฉลี่ย		17,368.67	3,655.87	3,194.69	23,219.23	11.610

เมื่อนำสมการที่เหมาะสมที่สุดมาคำนวณหาค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM โดยใช้ค่า R ที่เป็นตัวแปรอิสระ ได้ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินประมาณ 20.63 ตันคาร์บอนต่อไร่ หรือประมาณ 129.00 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ คิดเฉพาะพื้นที่ป่าดิบแล้งบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีเนื้อที่เท่ากับ 6.82 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 4,265.50 ไร่ ได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าดิบแล้งเท่ากับ 87,997.26 ตันคาร์บอน

ตารางที่ 6 ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องพืชพรรณ ของป่าดิบแล้ง

แปลง ที่	พิกัดแปลง		ค่าการสะท้อนแสง				ดัชนีความเป็นพืชพรรณ			
	ตะวันออก	เหนือ	G	R	IR	IR-R	IR / R	NDVI	TVI	GVI
1	480000	1896000	0.141	0.118	0.372	0.254	3.153	0.518	1.009	0.299
2	480050	1896000	0.154	0.129	0.451	0.322	3.496	0.555	1.027	0.375
3	480000	1896050	0.147	0.146	0.437	0.291	2.993	0.499	1.000	0.352
4	480000	1895950	0.141	0.123	0.394	0.271	3.203	0.524	1.012	0.320
5	479950	1896000	0.147	0.136	0.401	0.265	2.949	0.493	0.997	0.318
6	480000	1891000	0.174	0.167	0.529	0.362	3.168	0.520	1.010	0.433
7	480050	1891000	0.161	0.129	0.536	0.407	4.155	0.612	1.055	0.465
8	480000	1891050	0.161	0.134	0.479	0.345	3.575	0.563	1.031	0.400
9	480000	1890950	0.134	0.142	0.465	0.323	3.275	0.532	1.016	0.388
10	479950	1891000	0.174	0.152	0.543	0.391	3.572	0.563	1.031	0.456
11	480000	1886000	0.167	0.128	0.600	0.472	4.688	0.648	1.072	0.534
12	480050	1886000	0.167	0.121	0.643	0.522	5.314	0.683	1.088	0.585
13	480000	1885950	0.181	0.141	0.579	0.438	4.106	0.608	1.053	0.500

3.2 ป่าดิบเขา

พื้นที่ป่าดิบเขาที่ได้จากการจำแนก เมื่อคิดเฉพาะในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋น จังหวัดตาก มีพื้นที่ประมาณ 152.72 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 95,447.28 ไร่ และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนามตามตำแหน่งพิกัดต่างๆ จำนวน 7 แปลง ทำการคำนวณค่ามวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน จะได้รายละเอียดแสดงตามตารางที่ 7 ดังนี้

ตารางที่ 7 ปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ ของป่าดิบเขา บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก (ขนาดพื้นที่ 900 ตารางเมตร)

แปลง ที่	พิกัดแปลง		มวลชีวภาพ (กิโลกรัม)				การกักเก็บ คาร์บอน (ตัน)
	ตะวันออก	เหนือ	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	รวม	
1	455000	1911000	5,241.91	1,068.38	757.25	7,067.53	3.534
2	455050	1911000	3,252.03	666.79	458.42	4,377.24	2.189
3	455000	1910950	9,860.68	2,041.71	1,331.68	13,234.08	6.617
4	454950	1911000	8,082.92	1,664.32	1,115.61	10,862.85	5.431
5	480000	1901000	14,396.09	2,927.06	2,103.00	19,426.16	9.713
6	480050	1901000	34,381.45	7,431.89	3,851.59	45,664.92	22.832
7	480000	1901050	21,355.61	4,568.76	2,502.14	28,426.50	14.213
	เฉลี่ย		13,795.81	2,909.84	1,731.38	18,437.04	9.218

เมื่อนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM ที่ผ่านการแปลงค่าตัวเลขหลัก ไปเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงแล้วในตำแหน่งเดียวกับแปลงตัวอย่างที่ทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม มาหาค่าการสะท้อนช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ ค่า G R และ IR และหาค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R การหารแบบง่าย : IR/R NDVI และ GVI จะได้ข้อมูลตามตารางที่ 8

เมื่อนำค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่คำนวณได้จากตารางที่ 7 มาหาค่าความสัมพันธ์กับข้อมูลดาวเทียมที่ได้จากตารางที่ 8 ในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ ค่า G R และ IR และดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R การหารแบบง่าย : IR/R NDVI TVI และ GVI มาวิเคราะห์เพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมในการสร้างสมการ โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการความสัมพันธ์ (ภาพผนวกที่ 3) ผลการวิเคราะห์พบว่า มีตัวแปรอิสระเพียงสองตัวคือ ค่า IR และ IR/R ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการและให้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด ดังนี้

ตารางที่ 8 ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องพืชพรรณ ของป่าดิบเขา

แปลง ที่	พิกัดแปลง		ค่าการสะท้อนแสง				ดัชนีความเป็นพืชพรรณ			
	ตะวันออก	เหนือ	G	R	IR	IR-R	IR / R	NDVI	TVI	GVI
1	455000	1911000	0.154	0.112	0.522	0.410	4.661	0.647	1.071	0.462
2	455050	1911000	0.161	0.112	0.522	0.410	4.661	0.647	1.071	0.460
3	455000	1910950	0.149	0.119	0.500	0.381	4.202	0.616	1.056	0.435
4	454950	1911000	0.147	0.115	0.465	0.350	4.043	0.603	1.050	0.400
5	480000	1901000	0.154	0.112	0.542	0.430	4.839	0.657	1.076	0.483
6	480050	1901000	0.167	0.120	0.600	0.480	5.000	0.667	1.080	0.538
7	480000	1901050	0.154	0.114	0.634	0.520	5.561	0.695	1.093	0.583

$$CS = 327.630(IR) - 27.974(IR/R) - 36.188 \quad (R^2 = 0.854)$$

เมื่อ CS = ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

นำสมการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับ ค่า IR และ IR/R มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการ ความสัมพันธ์ที่ได้ โดยการตั้งสมมติฐานอย่างง่ายจากตัวทดสอบสถิติแบบ F ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ดังต่อไปนี้

$H_0 : \beta_1 = 0$ คือ ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน (y) ไม่มีอิทธิพลกับค่า IR และ IR/R ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

$H_1 : \beta_1 \neq 0$ คือ ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน (y) มีอิทธิพลกับค่า IR และ IR/R ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

ผลการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยตัวทดสอบสถิติแบบ F โดยให้ค่าตัวทดสอบสถิติ $F = 11.686$ หมายความว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($\alpha = 0.05$) มีช่วงวิกฤติ $CR : F \neq F_{0.05} (2,4) = 6.94$ ซึ่งค่า F จากการทดสอบมีค่าทางสถิติมากกว่าค่าในช่วงวิกฤติ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และยอมรับสมมติฐาน H_1 หมายความว่า ค่า IR และ IR/R สามารถอธิบายความผันแปรของค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (y) ได้

เมื่อนำสมการที่เหมาะสมที่สุดมาคำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM โดยใช้ค่า IR และ IR/R ที่เป็นตัวแปรอิสระ ได้ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินประมาณ 16.39 ตันคาร์บอนต่อไร่ หรือประมาณ 102.43 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ คิดเฉพาะพื้นที่ป่าดิบเขาบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีเนื้อที่เท่ากับ 152.72 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 95,447.28 ไร่ ได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาเท่ากับ 1,564,380.90 ตันคาร์บอน

3.3 ป่าเต็งรัง

พื้นที่ป่าเต็งรังที่ได้จากการจำแนก เมื่อคิดเฉพาะในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก มีพื้นที่ประมาณ 401.07 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 250,665.72 ไร่ และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนามตามตำแหน่งพิกัดต่างๆ จำนวน 42 แปลง ทำการคำนวณค่ามวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน จะได้รายละเอียดแสดงตามตารางที่ 9

เมื่อนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM ที่ผ่านการแปลงค่าตัวเลขหลัก ไปเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงแล้วในตำแหน่งเดียวกับแปลงตัวอย่างที่ทำกรเก็บข้อมูลภาคสนาม มาหาค่าการสะท้อนช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ ค่า G R และ IR และดัชนีเกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R การหารแบบง่าย : IR/R NDVI TVI และ GVI จะได้ข้อมูลตามตารางที่ 10

ตารางที่ 9 ปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ ของป่าเต็งรัง บริเวณ
เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก (ขนาดพื้นที่ 900 ตารางเมตร)

แปลง ที่	พิกัดแปลง		มวลชีวภาพ (กิโลกรัม)				การกักเก็บ คาร์บอน (ตัน)
	ตะวันออก	เหนือ	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	รวม	
1	460050	1911000	10,073.75	1,120.32	287.05	11,481.13	5.741
2	465000	1911000	6,344.33	692.07	222.89	7,259.28	3.630
3	465050	1911000	6,463.45	713.77	211.97	7,389.19	3.695
4	465000	1911050	5,339.22	588.51	184.99	6,112.71	3.056
5	465000	1910950	3,528.60	389.02	121.83	4,039.45	2.020
6	464950	1911000	6,941.67	768.94	228.04	7,938.64	3.969
7	475050	1911000	2,630.86	292.13	86.26	3,009.26	1.505
8	475000	1911050	5,562.89	627.84	187.91	6,378.64	3.189
9	475000	1910950	6,526.05	753.28	205.09	7,484.42	3.742
10	474950	1911000	7,201.13	810.92	229.92	8,241.97	4.121
11	485000	1911000	10,302.20	1,172.49	284.33	11,759.03	5.880
12	485050	1911000	3,324.27	372.22	108.45	3,804.93	1.902
13	485000	1911050	8,765.19	1,004.28	255.25	10,024.71	5.012
14	485000	1910950	4,581.91	520.05	138.21	5,240.18	2.620
15	484950	1911000	10,312.61	1,183.25	290.34	11,786.19	5.893
16	480000	1906000	7,126.62	806.50	205.38	8,138.50	4.069
17	480050	1906000	15,219.41	1,777.67	292.29	17,289.38	8.645
18	480000	1906050	17,589.41	2,027.46	465.82	20,082.69	10.041
19	480000	1905950	13,527.14	1,561.88	275.70	15,364.73	7.682
20	479950	1906000	9,875.69	1,119.36	253.08	11,248.14	5.624
21	465000	1901000	4,879.98	538.58	149.76	5,568.32	2.784
22	465050	1901000	4,303.61	477.24	130.93	4,911.77	2.456

ตารางที่ 9 (ต่อ)

แปลง ที่	พิกัด UTM		มวลชีวภาพ (กิโลกรัม)				การกักเก็บ คาร์บอน (ตัน)
	ตะวันออก	เหนือ	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	รวม	
23	465000	1900950	1,715.16	183.22	60.96	1,959.35	0.980
24	490050	1901000	5,873.05	654.16	188.28	6,715.49	3.358
25	460000	1896000	14,724.04	1,665.72	343.43	16,733.19	8.367
26	460000	1896050	11,619.82	1,298.54	335.00	13,253.37	6.627
27	460000	1895950	17,494.78	2,013.03	351.78	19,859.59	9.930
28	459950	1896000	10,304.26	1,153.22	269.63	11,727.10	5.864
29	460000	1916000	3,980.60	434.81	130.52	4,545.93	2.273
30	460000	1916050	6,159.56	666.75	193.26	7,019.57	3.510
31	459950	1916000	9,959.92	1,122.15	242.05	11,324.12	5.662
32	470000	1906050	24,135.58	2,766.21	598.28	27,500.07	13.750
33	475000	1921000	7,978.29	882.37	271.07	9,131.73	4.566
34	475050	1921000	5,371.44	603.66	174.55	6,149.65	3.075
35	475000	1921050	6,933.03	788.08	204.27	7,925.38	3.963
36	475000	1920950	8,977.56	1,006.53	278.52	10,262.61	5.131
37	474950	1921000	6,541.87	742.17	184.07	7,468.11	3.734
38	480000	1916000	11,884.62	1,375.93	303.18	13,563.73	6.782
39	480050	1916000	7,465.23	847.42	221.05	8,533.70	4.267
40	480000	1916050	7,835.91	930.54	144.31	8,910.76	4.455
41	480000	1915950	14,312.12	1,697.61	295.35	16,305.08	8.153
42	479950	1916000	8,719.84	987.10	241.80	9,948.75	4.974
	เฉลี่ย		8,628.73	979.45	234.45	9,842.63	4.921

ตารางที่ 10 ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องพืชพรรณ ของป่าเต็งรัง

แปลง ที่	พิกัดแปลง		ค่าการสะท้อนแสง				ดัชนีความเป็นพืชพรรณ				
	ตะวันออก	เหนือ	G	R	IR	IR-R	IR / R	NDVI	TVI	GVI	
1	460050	1911000	0.187	0.129	0.494	0.365	3.829	0.586	1.042	0.412	
2	465000	1911000	0.247	0.294	0.529	0.235	1.799	0.286	0.886	0.340	
3	465050	1911000	0.234	0.277	0.458	0.181	1.653	0.246	0.864	0.276	
4	465000	1911050	0.258	0.324	0.522	0.198	1.611	0.234	0.857	0.313	
5	465000	1910950	0.257	0.311	0.508	0.197	1.633	0.241	0.861	0.305	
6	464950	1911000	0.261	0.316	0.551	0.235	1.744	0.271	0.878	0.348	
7	475050	1911000	0.215	0.231	0.273	0.042	1.182	0.083	0.764	0.106	
8	475000	1911050	0.174	0.158	0.237	0.079	1.500	0.200	0.837	0.119	
9	475000	1910950	0.181	0.169	0.258	0.089	1.527	0.208	0.842	0.134	
10	474950	1911000	0.181	0.175	0.251	0.076	1.434	0.178	0.824	0.123	
11	485000	1911000	0.207	0.220	0.465	0.245	2.114	0.358	0.926	0.324	
12	485050	1911000	0.214	0.231	0.365	0.134	1.580	0.225	0.851	0.206	
13	485000	1911050	0.221	0.265	0.501	0.236	1.891	0.308	0.899	0.334	
14	485000	1910950	0.227	0.237	0.472	0.235	1.992	0.331	0.912	0.316	
15	484950	1911000	0.201	0.214	0.415	0.201	1.939	0.320	0.905	0.274	
16	480000	1906000	0.187	0.203	0.337	0.134	1.660	0.248	0.865	0.199	
17	480050	1906000	0.201	0.231	0.471	0.240	2.039	0.342	0.918	0.326	
18	480000	1906050	0.187	0.209	0.458	0.249	2.191	0.373	0.935	0.328	
19	480000	1905950	0.187	0.186	0.415	0.229	2.231	0.381	0.939	0.294	
20	479950	1906000	0.181	0.180	0.294	0.114	1.633	0.241	0.861	0.167	
21	465000	1901000	0.234	0.254	0.408	0.154	1.606	0.233	0.856	0.235	
22	465050	1901000	0.231	0.248	0.451	0.203	1.819	0.290	0.889	0.286	

ตารางที่ 10 (ต่อ)

แปลง ที่	พิกัดแปลง		ค่าการสะท้อนแสง				ดัชนีความเป็นพืชพรรณ			
	ตะวันออก	เหนือ	G	R	IR	IR-R	IR / R	NDVI	TVI	GVI
23	465000	1900950	0.227	0.243	0.365	0.122	1.502	0.201	0.837	0.196
24	490050	1901000	0.194	0.175	0.358	0.183	2.046	0.343	0.918	0.236
25	460000	1896000	0.174	0.158	0.380	0.222	2.405	0.413	0.955	0.275
26	460000	1896050	0.171	0.139	0.343	0.204	2.468	0.423	0.961	0.246
27	460000	1895950	0.174	0.186	0.351	0.165	1.887	0.307	0.898	0.228
28	459950	1896000	0.187	0.175	0.437	0.262	2.497	0.428	0.963	0.324
29	460000	1916000	0.209	0.213	0.330	0.117	1.549	0.215	0.846	0.180
30	460000	1916050	0.187	0.175	0.351	0.176	2.006	0.335	0.914	0.230
31	459950	1916000	0.201	0.209	0.358	0.149	1.713	0.263	0.873	0.215
32	470000	1906050	0.184	0.197	0.441	0.244	2.239	0.382	0.939	0.317
33	475000	1921000	0.194	0.197	0.401	0.204	2.036	0.341	0.917	0.271
34	475050	1921000	0.217	0.227	0.429	0.202	1.890	0.308	0.899	0.278
35	475000	1921050	0.187	0.197	0.380	0.183	1.929	0.317	0.904	0.250
36	475000	1920950	0.201	0.209	0.387	0.178	1.852	0.299	0.894	0.247
37	474950	1921000	0.207	0.231	0.415	0.184	1.797	0.285	0.886	0.263
38	480000	1916000	0.217	0.271	0.494	0.223	1.823	0.292	0.890	0.324
39	480050	1916000	0.227	0.277	0.501	0.224	1.809	0.288	0.888	0.325
40	480000	1916050	0.227	0.265	0.479	0.214	1.808	0.288	0.887	0.308
41	480000	1915950	0.187	0.186	0.444	0.258	2.387	0.410	0.954	0.326
42	479950	1916000	0.227	0.271	0.494	0.223	1.823	0.292	0.890	0.321

เมื่อนำค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่คำนวณได้จากตารางที่ 9 มาหาค่าความสัมพันธ์กับข้อมูลดาวเทียมที่ได้จากตารางที่ 10 ในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ ค่า G R และ IR และดัชนีเกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R การหารแบบง่าย : IR/R NDVI TVI และ GVI มาวิเคราะห์เพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมในการสร้างสมการ โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการความสัมพันธ์ (ภาพผนวกที่ 4) ผลการวิเคราะห์พบว่า มีตัวแปรอิสระเพียงสามตัวคือ ค่า TVI G และ IR ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการและให้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด ดังนี้

$$CS = 53.140(IR) - 41.031(TVI) - 194.004(G) + 59.783 \quad (R^2 = 0.745) \quad (12)$$

เมื่อ CS = ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

นำสมการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับ ค่า TVI G และ IR มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ที่ได้ โดยการตั้งสมมติฐานอย่างง่ายจากตัวทดสอบสถิติแบบ F ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังต่อไปนี้

$H_0 : \beta_1 = 0$ คือ ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน (y) ไม่มีอิทธิพลกับค่า TVI G และ IR ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

$H_1 : \beta_1 \neq 0$ คือ ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน (y) มีอิทธิพลกับค่า TVI G และ IR ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

ผลการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยตัวทดสอบสถิติแบบ F โดยให้ค่าตัวทดสอบสถิติ $F = 90.389$ หมายความว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) มีช่วงวิกฤติ $CR : F \neq F_{0.05} (2,39) = 3.24$ ซึ่งค่า F จากการทดสอบมีค่าทางสถิติมากกว่าค่าในช่วงวิกฤติ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และยอมรับสมมติฐาน H_1 หมายความว่า ค่า TVI G และ IR สามารถอธิบายความผันแปรของค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (y) ได้

เมื่อนำสมการที่เหมาะสมที่สุดมาคำนวณหาค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM โดยใช้ค่า TVI G และ IR ที่เป็นตัวแปรอิสระ ได้ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินประมาณ 8.75 ตันคาร์บอนต่อไร่ หรือประมาณ 54.68 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ คิดเฉพาะพื้นที่ป่าเต็งรังบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีเนื้อที่เท่ากับ 401.07 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 250,665.72 ไร่ ได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าเต็งรังเท่ากับ 2,193,325 ตันคาร์บอน

3.4 ป่าเบญจพรรณ

พื้นที่ป่าเบญจพรรณที่ได้จากการจำแนก เมื่อคิดเฉพาะในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก มีพื้นที่ประมาณ 628.63 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 392,892.74 ไร่ และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนามตามตำแหน่งพิกัดต่างๆ จำนวน 85 แปลง ทำการคำนวณค่ามวลชีวภาพ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน จะได้รายละเอียดแสดงตามตารางที่ 11

เมื่อนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM ที่ผ่านการแปลงค่าตัวเลขหลัก ไปเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงแล้วในตำแหน่งเดียวกับแปลงตัวอย่างที่ทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม มาหาค่าการสะท้อนช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ ค่า G R และ IR และดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R การหารแบบง่าย : IR/R NDVI TVI และ GVI จะได้ข้อมูลตามตารางที่ 12

เมื่อนำค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่คำนวณได้จากตารางที่ 11 มาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลดาวเทียมที่ได้จากตารางที่ 12 ในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ ค่า G R และ IR และดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R การหารแบบง่าย : IR/R NDVI TVI และ GVI มาวิเคราะห์เพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมในการสร้างสมการ โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการความสัมพันธ์ (ภาพผนวกที่ 5) ผลการวิเคราะห์พบว่า มีตัวแปรอิสระเพียงสามตัวคือ ค่า IR IR/R และ IR-R ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการและให้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด ดังนี้

$$CS = 951.608(IR-R) - 505.367(IR) - 62.406(IR/R) + 134.572 \quad (R^2 = 0.741) \quad (13)$$

เมื่อ CS = ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

ตารางที่ 11 ปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ ของป่าเบญจพรรณ บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก (ขนาดพื้นที่ 900 ตารางเมตร)

แปลง ที่	พิกัดแปลง		มวลชีวภาพ (กิโลกรัม)				การกักเก็บ คาร์บอน (ตัน)
	ตะวันออก	เหนือ	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	รวม	
1	450000	1911000	15,973.03	1,868.86	230.91	18,072.80	9.036
2	450050	1911000	2,744.07	298.40	62.20	3,104.67	1.552
3	450000	1911050	14,097.80	1,673.46	148.83	15,920.09	7.960
4	450000	1910950	10,493.64	1,186.97	208.64	11,889.25	5.945
5	449950	1911000	19,568.56	2,287.06	356.33	22,211.96	11.106
6	460000	1911000	6,709.46	769.00	204.43	7,682.89	3.841
7	460000	1911050	12,763.50	1,479.19	262.91	14,505.60	7.253
8	460000	1910950	1,645.23	179.77	55.66	1,880.65	0.940
9	459950	1911000	5,478.96	615.92	170.21	6,265.08	3.133
10	480000	1911000	9,287.97	1,057.56	250.30	10,595.83	5.298
11	480050	1911000	27,080.24	3,093.03	360.66	30,533.93	15.267
12	480000	1911050	5,135.77	587.56	121.74	5,845.07	2.923
13	480000	1910950	2,635.65	290.73	76.65	3,003.03	1.502
14	479950	1911000	4,760.58	542.53	122.11	5,425.22	2.713
15	485000	1906000	20,509.41	2,328.07	153.38	22,990.87	11.495
16	485050	1906000	10,705.69	1,243.49	156.66	12,105.83	6.053
17	485000	1906050	7,735.48	886.65	129.16	8,751.29	4.376
18	485000	1905950	1,540.03	168.15	44.53	1,752.71	0.876
19	484950	1906000	7,032.94	789.61	172.98	7,995.54	3.998
20	455000	1901000	39,167.85	4,751.43	344.95	44,264.22	22.132
21	455000	1901050	7,562.32	884.04	105.11	8,551.47	4.276
22	455000	1900950	2,515.39	288.46	62.03	2,865.88	1.433

ตารางที่ 11 (ต่อ)

แปลง ที่	พิกัดแปลง		มวลชีวภาพ (กิโลกรัม)				การกักเก็บ คาร์บอน (ตัน)
	ตะวันออก	เหนือ	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	รวม	
23	454950	1901000	8,737.70	1,022.86	140.51	9,901.08	4.951
24	475000	1901000	8,740.37	1,036.88	119.67	9,896.93	4.948
25	475000	1901050	2,906.05	336.44	85.05	3,327.54	1.664
26	475000	1900950	8,757.83	1,033.66	65.73	9,857.23	4.929
27	474950	1901000	3,754.97	430.58	68.42	4,253.97	2.127
28	485000	1901000	29,420.31	3,578.11	184.46	33,182.87	16.591
29	485050	1901000	10,321.67	1,232.94	169.09	11,723.70	5.862
30	485000	1901050	6,390.74	773.38	66.10	7,230.22	3.615
31	485000	1900950	10,350.30	1,214.79	180.15	11,745.23	5.873
32	484950	1901000	53,107.18	6,470.82	331.24	59,909.24	29.955
33	490000	1901000	10,423.50	1,224.49	139.16	11,787.14	5.894
34	490000	1901050	5,162.20	593.26	135.08	5,890.54	2.945
35	490000	1900950	2,640.58	306.05	50.31	2,996.94	1.498
36	489950	1901000	6,918.65	813.38	147.08	7,879.10	3.940
37	470000	1891000	6,348.01	704.92	145.53	7,198.45	3.599
38	470050	1891000	7,553.78	907.56	15.61	8,476.95	4.238
39	470000	1891050	12,536.26	1,470.38	176.05	14,182.68	7.091
40	470000	1890950	13,513.81	1,616.95	139.56	15,270.32	7.635
41	475000	1891000	27,219.60	3,235.43	167.02	30,622.05	15.311
42	475050	1891000	10,485.77	1,252.58	126.41	11,864.77	5.932
43	475000	1890950	2,452.75	284.78	50.55	2,788.08	1.394
44	475000	1886000	14,148.33	1,627.44	234.30	16,010.07	8.005
45	475050	1886000	53,679.90	6,701.02	364.34	60,745.26	30.373

ตารางที่ 11 (ต่อ)

แปลง ที่	พื้ดแปลง		มวลชีวภาพ (กิโลกรัม)				การกักเก็บ คาร์บอน (ตัน)
	ตะวันออก	เหนือ	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	รวม	
46	475000	1886050	23,194.72	2,669.68	340.74	26,205.14	13.103
47	475000	1885950	47,700.60	5,944.65	409.80	54,055.05	27.028
48	474950	1886000	9,604.40	1,104.75	136.16	10,845.32	5.423
49	470000	1926000	11,680.27	1,326.16	206.47	13,212.90	6.606
50	470050	1926000	7,165.19	809.71	164.57	8,139.47	4.070
51	470000	1926050	5,118.58	574.43	129.49	5,822.50	2.911
52	470000	1925950	9,519.51	1,098.00	211.10	10,828.61	5.414
53	469950	1926000	3,091.11	334.64	98.02	3,523.78	1.762
54	460000	1906000	32,651.81	3,873.05	370.05	36,894.91	18.447
55	460000	1906050	22,668.16	2,653.02	310.22	25,631.40	12.816
56	460000	1905950	5,381.26	620.51	135.25	6,137.03	3.069
57	459950	1906000	17,802.31	2,056.71	346.40	20,205.42	10.103
58	470000	1906000	13,347.14	1,517.71	353.90	15,218.75	7.609
59	470050	1906000	9,265.38	1,063.40	226.43	10,555.21	5.278
60	470000	1905950	12,803.50	1,469.18	201.99	14,474.67	7.237
61	469950	1906000	6,149.04	705.20	135.05	6,989.28	3.495
62	465000	1896000	51,927.17	6,372.85	362.77	58,662.79	29.331
63	465000	1896050	6,159.25	692.22	147.28	6,998.75	3.499
64	465000	1895950	1,741.65	192.66	52.37	1,986.69	0.993
65	464950	1896000	34,917.00	4,338.40	215.31	39,470.72	19.735
66	470000	1896000	7,904.11	939.33	77.14	8,920.58	4.460
67	470000	1895950	12,335.65	1,449.34	164.92	13,949.90	6.975

ตารางที่ 11 (ต่อ)

แปลง ที่	พิกัดแปลง		มวลชีวภาพ (กิโลกรัม)				การกักเก็บ คาร์บอน (ตัน)
	ตะวันออก	เหนือ	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	รวม	
68	480000	1931000	1,728.40	195.41	51.61	1,975.43	0.988
69	480000	1930950	4,181.13	474.33	111.82	4,767.28	2.384
70	479950	1931000	2,655.27	297.10	90.69	3,043.06	1.522
71	480000	1926000	4,448.45	537.50	63.29	5,049.24	2.525
72	480050	1926000	23,472.38	2,826.60	205.88	26,504.86	13.252
73	480000	1926050	4,199.02	489.12	50.32	4,738.47	2.369
74	480000	1925950	17,418.62	2,130.41	105.58	19,654.61	9.827
75	479950	1926000	6,890.61	803.88	90.62	7,785.11	3.893
76	485000	1926000	17,794.36	2,045.99	365.81	20,206.17	10.103
77	485050	1926000	25,447.89	3,004.22	322.56	28,774.68	14.387
78	485000	1926050	8,466.65	964.35	203.58	9,634.58	4.817
79	485000	1925950	12,665.95	1,451.22	294.50	14,411.68	7.206
80	484950	1926000	6,430.95	728.50	188.95	7,348.40	3.674
81	480000	1921000	12,675.02	1,505.92	247.07	14,428.01	7.214
82	480050	1921000	7,641.43	880.61	213.00	8,735.04	4.368
83	480000	1921050	7,106.75	832.55	174.07	8,113.38	4.057
84	480000	1920950	7,489.93	890.65	144.13	8,524.71	4.262
85	479950	1921000	9,784.82	1,155.45	205.96	11,146.23	5.573
	เฉลี่ย		12,745.17	1,507.74	176.78	14,429.69	7.215

ตารางที่ 12 ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง ช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องพืชพรรณ ของป่าเบญจพรรณ

แปลง ที่	พิกัดแปลง		ค่าการสะท้อนแสง				ดัชนีความเป็นพืชพรรณ			
	ตะวันออก	เหนือ	G	R	IR	IR-R	IR / R	NDVI	TVI	GVI
1	450000	1911000	0.178	0.189	0.485	0.296	2.566	0.439	0.969	0.371
2	450050	1911000	0.198	0.129	0.379	0.250	2.938	0.492	0.996	0.283
3	450000	1911050	0.204	0.197	0.480	0.283	2.437	0.418	0.958	0.354
4	450000	1910950	0.184	0.187	0.453	0.266	2.422	0.416	0.957	0.336
5	449950	1911000	0.197	0.185	0.496	0.311	2.681	0.457	0.978	0.380
6	460000	1911000	0.201	0.156	0.482	0.326	3.090	0.511	1.005	0.380
7	460000	1911050	0.191	0.194	0.472	0.278	2.433	0.417	0.958	0.350
8	460000	1910950	0.135	0.134	0.310	0.176	2.313	0.396	0.947	0.224
9	459950	1911000	0.171	0.145	0.460	0.315	3.172	0.521	1.010	0.371
10	480000	1911000	0.199	0.181	0.433	0.252	2.392	0.410	0.954	0.313
11	480050	1911000	0.211	0.203	0.514	0.311	2.532	0.434	0.966	0.385
12	480000	1911050	0.210	0.138	0.448	0.310	3.246	0.529	1.014	0.350
13	480000	1910950	0.146	0.126	0.347	0.221	2.754	0.467	0.983	0.265
14	479950	1911000	0.163	0.137	0.430	0.293	3.139	0.517	1.008	0.345
15	485000	1906000	0.208	0.197	0.497	0.300	2.523	0.432	0.966	0.371
16	485050	1906000	0.194	0.188	0.456	0.268	2.426	0.416	0.957	0.336
17	485000	1906050	0.194	0.169	0.409	0.240	2.420	0.415	0.957	0.295
18	485000	1905950	0.141	0.118	0.287	0.169	2.432	0.417	0.958	0.206
19	484950	1906000	0.201	0.163	0.490	0.327	3.006	0.501	1.000	0.385
20	455000	1901000	0.218	0.205	0.562	0.357	2.741	0.465	0.983	0.435
21	455000	1901050	0.191	0.167	0.404	0.237	2.419	0.415	0.957	0.291
22	455000	1900950	0.144	0.122	0.318	0.196	2.600	0.444	0.972	0.236

ตารางที่ 12 (ต่อ)

แปลง ที่	พิกัดแปลง		ค่าการสะท้อนแสง				ดัชนีความเป็นพืชพรรณ			
	ตะวันออก	เหนือ	G	R	IR	IR-R	IR / R	NDVI	TVI	GVI
23	454950	1901000	0.198	0.178	0.426	0.248	2.393	0.411	0.954	0.307
24	475000	1901000	0.197	0.177	0.424	0.247	2.395	0.411	0.954	0.306
25	475000	1901050	0.143	0.128	0.384	0.256	3.000	0.500	1.000	0.305
26	475000	1900950	0.176	0.176	0.420	0.244	2.386	0.409	0.954	0.308
27	474950	1901000	0.176	0.132	0.397	0.265	3.008	0.501	1.000	0.308
28	485000	1901000	0.167	0.205	0.521	0.316	2.541	0.435	0.967	0.405
29	485050	1901000	0.192	0.182	0.440	0.258	2.418	0.415	0.956	0.322
30	485000	1901050	0.194	0.151	0.474	0.323	3.139	0.517	1.008	0.376
31	485000	1900950	0.194	0.184	0.445	0.261	2.418	0.415	0.957	0.326
32	484950	1901000	0.218	0.208	0.568	0.360	2.731	0.464	0.982	0.439
33	490000	1901000	0.196	0.185	0.448	0.263	2.422	0.415	0.957	0.328
34	490000	1901050	0.178	0.142	0.451	0.309	3.176	0.521	1.010	0.360
35	490000	1900950	0.171	0.146	0.327	0.181	2.240	0.383	0.940	0.225
36	489950	1901000	0.184	0.159	0.487	0.328	3.063	0.508	1.004	0.388
37	470000	1891000	0.179	0.148	0.471	0.323	3.182	0.522	1.011	0.379
38	470050	1891000	0.188	0.163	0.497	0.334	3.049	0.506	1.003	0.396
39	470000	1891050	0.197	0.186	0.462	0.276	2.484	0.426	0.962	0.342
40	470000	1890950	0.174	0.196	0.478	0.282	2.439	0.418	0.958	0.361
41	475000	1891000	0.215	0.204	0.519	0.315	2.544	0.436	0.967	0.389
42	475050	1891000	0.198	0.186	0.450	0.264	2.419	0.415	0.957	0.329
43	475000	1890950	0.142	0.121	0.304	0.183	2.512	0.431	0.965	0.222
44	475000	1886000	0.187	0.198	0.483	0.285	2.439	0.419	0.958	0.361
45	475050	1886000	0.221	0.211	0.571	0.360	2.706	0.460	0.980	0.440

ตารางที่ 12 (ต่อ)

แปลง ที่	พิกัดแปลง		ค่าการสะท้อนแสง				ดัชนีความเป็นพืชพรรณ			
	ตะวันออก	เหนือ	G	R	IR	IR-R	IR / R	NDVI	TVI	GVI
46	475000	1886050	0.209	0.199	0.505	0.306	2.538	0.435	0.967	0.378
47	475000	1885950	0.216	0.211	0.568	0.357	2.692	0.458	0.979	0.438
48	474950	1886000	0.198	0.180	0.437	0.257	2.428	0.417	0.957	0.318
49	470000	1926000	0.196	0.201	0.458	0.257	2.279	0.390	0.943	0.330
50	470050	1926000	0.198	0.165	0.496	0.331	3.006	0.501	1.000	0.391
51	470000	1926050	0.184	0.138	0.442	0.304	3.203	0.524	1.012	0.351
52	470000	1925950	0.200	0.181	0.435	0.254	2.403	0.412	0.955	0.315
53	469950	1926000	0.154	0.144	0.391	0.247	2.715	0.462	0.981	0.301
54	460000	1906000	0.219	0.189	0.558	0.369	2.952	0.494	0.997	0.439
55	460000	1906050	0.197	0.198	0.501	0.303	2.530	0.433	0.966	0.378
56	460000	1905950	0.167	0.141	0.455	0.314	3.227	0.527	1.013	0.369
57	459950	1906000	0.189	0.197	0.490	0.293	2.487	0.426	0.963	0.369
58	470000	1906000	0.203	0.195	0.475	0.280	2.436	0.418	0.958	0.350
59	470050	1906000	0.187	0.179	0.430	0.251	2.402	0.412	0.955	0.314
60	470000	1905950	0.201	0.193	0.470	0.277	2.435	0.418	0.958	0.346
61	469950	1906000	0.164	0.146	0.463	0.317	3.171	0.521	1.010	0.375
62	465000	1896000	0.198	0.207	0.567	0.360	2.739	0.465	0.982	0.445
63	465000	1896050	0.143	0.148	0.467	0.319	3.155	0.519	1.009	0.385
64	465000	1895950	0.162	0.120	0.294	0.174	2.450	0.420	0.959	0.206
65	464950	1896000	0.187	0.206	0.561	0.355	2.723	0.463	0.981	0.442
66	470000	1896000	0.195	0.172	0.416	0.244	2.419	0.415	0.957	0.301
67	470000	1895950	0.187	0.189	0.460	0.271	2.434	0.418	0.958	0.341

ตารางที่ 12 (ต่อ)

แปลง ที่	พิกัดแปลง		ค่าการสะท้อนแสง				ดัชนีความเป็นพืชพรรณ			
	ตะวันออก	เหนือ	G	R	IR	IR-R	IR / R	NDVI	TVI	GVI
68	480000	1931000	0.138	0.124	0.289	0.165	2.331	0.400	0.948	0.206
69	480000	1930950	0.157	0.136	0.419	0.283	3.081	0.510	1.005	0.335
70	479950	1931000	0.167	0.176	0.368	0.192	2.091	0.353	0.924	0.254
71	480000	1926000	0.159	0.136	0.427	0.291	3.140	0.517	1.008	0.343
72	480050	1926000	0.210	0.201	0.507	0.306	2.522	0.432	0.966	0.379
73	480000	1926050	0.189	0.134	0.404	0.270	3.015	0.502	1.001	0.311
74	480000	1925950	0.205	0.176	0.488	0.312	2.773	0.470	0.985	0.374
75	479950	1926000	0.182	0.171	0.485	0.314	2.836	0.479	0.989	0.380
76	485000	1926000	0.191	0.197	0.493	0.296	2.503	0.429	0.964	0.372
77	485050	1926000	0.194	0.201	0.511	0.310	2.542	0.435	0.967	0.388
78	485000	1926050	0.194	0.174	0.419	0.245	2.408	0.413	0.956	0.303
79	485000	1925950	0.199	0.190	0.465	0.275	2.447	0.420	0.959	0.343
80	484950	1926000	0.179	0.186	0.478	0.292	2.570	0.440	0.969	0.365
81	480000	1921000	0.201	0.200	0.468	0.268	2.340	0.401	0.949	0.340
82	480050	1921000	0.192	0.168	0.407	0.239	2.423	0.416	0.957	0.294
83	480000	1921050	0.187	0.164	0.493	0.329	3.006	0.501	1.000	0.391
84	480000	1920950	0.168	0.166	0.400	0.234	2.410	0.413	0.956	0.294
85	479950	1921000	0.191	0.182	0.438	0.256	2.407	0.413	0.955	0.320

นำสมการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับ ค่า IR IR/R และ IR-R มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ที่ได้ โดยการตั้งสมมติฐานอย่างง่ายจากตัวทดสอบสถิติแบบ F ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังต่อไปนี้

$H_0: \beta_1 = 0$ คือ ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน (y) ไม่มีอิทธิพลกับค่า IR IR/R และ IR-R ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

$H_1: \beta_1 \neq 0$ คือ ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน (y) มีอิทธิพลกับค่า IR IR/R และ IR-R ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

ผลการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยตัวทดสอบสถิติแบบ F โดยให้ค่าตัวทดสอบสถิติ $F = 27.147$ หมายความว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) มีช่วงวิกฤติ $CR: F \neq F_{0.05}(3, 81) = 2.72$ ซึ่งค่า F จากการทดสอบมีค่าทางสถิติมากกว่าค่าในช่วงวิกฤติ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และยอมรับสมมติฐาน H_1 หมายความว่า ค่า IR IR/R และ IR-R สามารถอธิบายความผันแปรของค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (y) ได้

เมื่อนำสมการที่เหมาะสมที่สุดมาคำนวณหาค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM โดยใช้ค่า IR IR/R และ IR-R ที่เป็นตัวแปรอิสระ ได้ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินประมาณ 12.83 ตันคาร์บอนต่อไร่ หรือประมาณ 80.16 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ คิดเฉพาะพื้นที่ป่าเบญจพรรณบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีเนื้อที่เท่ากับ 628.63 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 392,892.75 ไร่ ได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าเบญจพรรณ เท่ากับ 5,040,813.9 ตันคาร์บอน

วิจารณ์

เมื่อพิจารณาค่า R^2 ที่ได้ จากสมการที่เหมาะสมที่สุดของป่าแต่ละประเภท พบว่า ป่าดิบเขามีค่า R^2 สูงสุด รองลงมา คือ ป่าดิบแล้ง ค่า R^2 ที่ได้ เท่ากับ 0.854 และ 0.839 ตามลำดับ ซึ่งค่า R^2 ที่ได้ มีค่าสูงกว่าค่า R^2 ของป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณที่มีค่า R^2 เท่ากับ 0.745 และ 0.741 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก ค่าการสะท้อนแสงที่ได้รับจากภาพถ่ายดาวเทียมของป่าดิบเขาและป่าดิบแล้ง เป็นค่าการสะท้อนแสงของเรือนยอดไม้ยืนต้นที่มีขนาด DBH ตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตรขึ้นไป ซึ่งเป็นขนาดของต้นไม้ที่ใช้ในการคำนวณหาความมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของภาคสนามเพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ของสมการ เพราะความหนาแน่นของเรือนยอดของต้นไม้ในป่าดิบเขาและป่าดิบแล้ง มีค่ามากกว่าความหนาแน่นของเรือนยอดของต้นไม้ในป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณ ส่วน ค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมในป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณ อาจเป็นค่าการสะท้อนแสงของลูกไม้ กิ่งไม้ ไม้พื้นล่าง หรือไม้ไผ่ ซึ่งไม่ได้นำมาคำนวณความมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของภาคสนามเพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ของสมการ จึงทำให้ค่า R^2 ของป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณ มีค่าน้อยกว่า R^2 ของป่าดิบเขาและป่าดิบแล้ง

เมื่อพิจารณาตัวแปรอิสระ (ค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม) ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการที่ให้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละประเภทป่า ที่มีความแตกต่าง ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างกันของความหนาแน่นของหมู่ไม้ ทั้งจำนวนชนิด ขนาดความหนาแน่นของเรือนยอด ความชื้น และการปกคลุมไม้พื้นล่าง ซึ่งมีอิทธิพลต่อการดูดซับและการสะท้อนพลังงานที่ตกกระทบที่มีผลต่อการบันทึกข้อมูลของดาวเทียมในแต่ละช่วงคลื่น จึงทำให้ค่าความสัมพันธ์ของดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้แตกต่างกันในแต่ละประเภทป่า

เมื่อนำค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้จากข้อมูลภาคสนามมาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM แล้วนำสมการที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละประเภทป่า มาคำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอน พบว่า ป่าดิบแล้งมีค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินประมาณ 129.00 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ ซึ่งมีค่ามากที่สุดทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพื้นที่ป่าดิบแล้งในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตื่นจะอยู่ในพื้นที่หุบเขาที่มีความชื้นสูงทำให้ต้นไม้มีขนาดใหญ่และมีปริมาณมวลชีวภาพสูง และได้รับผลกระทบจากไฟป่าน้อยกว่าป่าประเภทอื่น ป่าดิบเขามีค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินอันดับรองลงมา คือ ประมาณ 102.43 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่ที่มีดินลึกและมีความอุดมสมบูรณ์สูง

ป่าเบญจพรรณมีค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินประมาณ 80.16 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่ผ่านการสัมปทานทำไม้มาแล้วแต่ก็ยังมีค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสูงกว่า ป่าเต็งรังที่มีค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินประมาณ 54.68 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ เพราะเป็นป่าที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และความชื้นมีน้อยและทำให้มีไฟป่าเกือบทุกปี

ผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีความสอดคล้องกับผลการศึกษานักวิจัยหลายท่าน เช่น วิษณุ (2544) พบว่า ป่าดิบแล้งมีค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินมากที่สุด คือ 373.84 ตันต่อเฮกแตร์ รองลงมา คือ ป่าดิบเขา มีค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 195.70 ตันต่อเฮกแตร์ ป่าเบญจพรรณมีค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 174.26 ตันต่อเฮกแตร์ และเต็งรังมีค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 70.65 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ อภินันท์ (2545) ศึกษาพบว่า ป่าดิบแล้งมีค่ามวลชีวภาพเท่ากับ 267.52 ตันต่อเฮกแตร์ และป่าเบญจพรรณ มีค่ามวลชีวภาพ เท่ากับ 186.49 ตันต่อเฮกแตร์ และนวลปราง (2548) ศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในพื้นที่อุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน พบว่า ป่าดิบแล้งมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอน เท่ากับ 103.85 ตันต่อเฮกแตร์ ป่าเบญจพรรณ มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอน เท่ากับ 34.26 ตันต่อเฮกแตร์ และป่าเต็งรัง มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอน เท่ากับ 29.31 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากผลของการศึกษาวิจัยแล้วพบว่าสามารถนำสมการที่ได้ ไปประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ได้ โดยไม่จำเป็นต้องเข้าไปสำรวจภาคสนามทั้งหมด เพื่อลดงบประมาณ ค่าใช้จ่าย และเวลาในการวิจัย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ทันสมัยสนองตอบความต้องการใช้ข้อมูลที่เร่งด่วนได้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาการประมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินของป่าไม้ บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก โดยใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกล ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (ตัวแปรตาม) กับค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และค่าดัชนีความเป็นพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM (ตัวแปรอิสระ) มาทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย เพื่อหาสมการที่เหมาะสมที่สุด สรุปผลได้ดังนี้

1. การจำแนกการใช้ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตากโดยใช้วิธีการจำแนกแบบกำกับเป็นวิธีหลักในการจำแนกข้อมูลภาพ และใช้วิธีการจำแนกเชิงพื้นที่ด้วยสายตาเป็นวิธีการเสริม พบว่าเมื่อทำการตัดพื้นที่บริเวณที่ทำการจำแนกดังกล่าวออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมครอบคลุมพื้นที่บริเวณพื้นที่ศึกษา มีพิกัดอยู่ที่ 445770 E 1931967 N กับ 494244 E 1840900 N มีพื้นที่ประมาณ 1,253.56 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 783,474.70 ไร่ โดยทำการจำแนกพื้นที่ทั้งหมด สามารถจำแนกได้เป็น ป่าดิบแล้งมีพื้นที่ 6.82 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 4,265.5 ไร่ ป่าดิบเขามีพื้นที่ 152.72 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 95,447.28 ไร่ ป่าเต็งรังมีพื้นที่ 401.07 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 250,665.72 ไร่ ป่าเบญจพรรณมีพื้นที่ 628.63 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 392,892.74 ไร่ และพื้นที่อื่น ๆ มีพื้นที่ 64.33 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 40,203.45 ไร่

2. ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนาม โดยการวัดขนาดไม้ยืนต้นที่มี DBH ตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตรขึ้นไป พบว่า มีต้นไม้ทั้งหมด จำนวน 4,978 ต้น มีจำนวนต้นไม้เฉลี่ย 339 ต้นต่อเฮกตาร์ ประกอบด้วย ชนิดพันธุ์ไม้ จำนวน 237 ชนิด และไม่สามารถจำแนกชนิดได้ จำนวน 407 ต้น โดยจำแนกตามประเภทป่าต่างๆ ได้ดังนี้ ป่าดิบแล้ง มีต้นไม้ทั้งหมด จำนวน 409 ต้น มีจำนวนต้นไม้เฉลี่ย 315 ต้นต่อเฮกตาร์ มีความสูงเฉลี่ย 12.29 เมตร และมี DBH เฉลี่ย 21.46 เซนติเมตร ประกอบด้วยชนิดพันธุ์ไม้ จำนวน 84 ชนิด ไม่สามารถจำแนกชนิดได้ จำนวน 133 ต้น ป่าดิบเขามีต้นไม้ทั้งหมด จำนวน 147 ต้น มีจำนวนต้นไม้เฉลี่ย 210 ต้นต่อเฮกตาร์ มีความสูงเฉลี่ย 14.73 เมตร และมี DBH เฉลี่ย 24.25 เซนติเมตร ประกอบด้วยชนิดพันธุ์ไม้ จำนวน 81 ชนิด ไม่สามารถจำแนกชนิดได้ จำนวน 54 ต้น

ป่าเต็งรังมีต้นไม้ทั้งหมด จำนวน 2,120 ต้น มีจำนวนต้นไม้เฉลี่ย 505 ต้นต่อเฮกแตร์ มีความสูงเฉลี่ย 10.20 เมตร และมี DBH เฉลี่ย 16.23 เซนติเมตร ประกอบด้วยชนิดพันธุ์ไม้จำนวน 118 ชนิด ไม่สามารถจำแนกชนิดได้ จำนวน 76 ต้น และป่าเบญจพรรณมีต้นไม้ทั้งหมด จำนวน 2,302 ต้น มีจำนวนต้นไม้เฉลี่ย 271 ต้นต่อเฮกแตร์ มีความสูงเฉลี่ย 12.93 เมตร และมี DBH เฉลี่ย 24.31 เซนติเมตร ประกอบด้วยชนิดพันธุ์ไม้ จำนวน 204 ชนิด ไม่สามารถจำแนกชนิดได้ จำนวน 145 ต้น

3. การวิเคราะห์หาสมการที่เหมาะสมที่สุดและการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก ด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกล ได้ดังนี้

3.1 ป่าดิบแล้ง

เมื่อนำค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่คำนวณได้จากภาคสนาม มาหาค่าความสัมพันธ์กับข้อมูลดาวเทียม ในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ ค่า G R และ IR และดัชนีเกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R การหารแบบง่าย : IR/R NDVI TVI และ GVI มาวิเคราะห์เพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมในการสร้างสมการโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการความสัมพันธ์ ผลการวิเคราะห์พบว่า มีตัวแปรอิสระเพียงหนึ่งตัว คือ ค่า R ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการและให้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด ดังนี้

$$CS = 630.339(R) - 74.019 \quad (R^2 = 0.839)$$

เมื่อ CS = ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

นำสมการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับค่า R มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ที่ได้ โดยการตั้งสมมติฐานอย่างง่ายจากตัวทดสอบสถิติแบบ F ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยตัวทดสอบสถิติแบบ F โดยให้ค่าตัวทดสอบสถิติ $F = 57.292$ หมายความว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) มีช่วงวิกฤติ $CR : F \neq F_{0.05} (1,11) = 4.84$ ซึ่งค่า F จากการทดสอบมีค่าทางสถิติมากกว่า

ค่าในช่วงวิกฤติ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และยอมรับสมมติฐาน H_1 หมายความว่า ค่า R สามารถอธิบายความผันแปรของค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (y) ได้

นำสมการที่ได้ไปประมาณการหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าดิบแล้ง ได้ประมาณ 20.63 ตันคาร์บอนต่อไร่ หรือประมาณ 129.00 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ คิดเฉพาะพื้นที่ป่าดิบแล้งบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีเนื้อที่เท่ากับ 6.82 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 4,265.50 ไร่ ได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าดิบแล้ง เท่ากับ 87,997.28 ตันคาร์บอน

3.2 ป่าดิบเขา

เมื่อนำค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่คำนวณได้จากภาคสนาม มาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลดาวเทียม ในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ ค่า G R และ IR และดัชนีเกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R การหารแบบง่าย : IR/R NDVI TVI และ GVI มาวิเคราะห์เพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมในการสร้างสมการ โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการความสัมพันธ์ ผลการวิเคราะห์พบว่า มีตัวแปรอิสระเพียงสองตัว คือค่า IR และ IR/R ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการ และให้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด ดังนี้

$$CS = 327.630(IR) - 27.974(IR/R) - 36.188 \quad (R^2 = 0.854)$$

เมื่อ CS = ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

นำสมการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับ ค่า IR และ IR/R มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ที่ได้ โดยการตั้งสมมติฐานอย่างง่ายจากตัวทดสอบสถิติแบบ F ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยตัวทดสอบสถิติแบบ F โดยให้ค่าตัวทดสอบสถิติ $F = 11.686$ หมายความว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) มีช่วงวิกฤติ $CR : F \neq F_{0.05} (2,4) = 6.94$ ซึ่งค่า F จากการทดสอบมีค่าทางสถิติมากกว่าค่าในช่วงวิกฤติ หมายความว่า ค่า IR และ IR/R สามารถอธิบายความผันแปรของค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (y) ได้

นำสมการที่ได้ไปประมาณการหาปริมาณกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าดิบเขา ได้ประมาณ 16.39 ตันคาร์บอนต่อไร่ หรือประมาณ 102.43 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ คิดเฉพาะพื้นที่ป่าดิบเขาบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีเนื้อที่เท่ากับ 152.72 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 95,447.28 ไร่ ได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าดิบเขา เท่ากับ 1,564,380.9 ตันคาร์บอน

3.3 ป่าเต็งรัง

เมื่อนำค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่คำนวณได้จากภาคสนาม มาหาค่าความสัมพันธ์กับข้อมูลดาวเทียม ในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ ค่า G R และ IR และดัชนีเกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R การหารแบบง่าย : IR/R NDVI TVI และ GVI มาวิเคราะห์เพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมในการสร้างสมการ โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการความสัมพันธ์ ผลการวิเคราะห์พบว่า มีตัวแปรอิสระเพียงสามตัวคือ ค่า TVI G และ IR ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการและให้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด ดังนี้

$$CS = 53.140(IR) - 41.031(TVI) - 194.004(G) + 59.783 \quad (R^2 = 0.745)$$

เมื่อ CS = ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

นำสมการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับ ค่า TVI G และ IR มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ที่ได้ โดยการตั้งสมมติฐานอย่างง่ายจากตัวทดสอบสถิติแบบ F ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยตัวทดสอบสถิติแบบ F โดยให้ค่าตัวทดสอบสถิติ $F = 90.389$ หมายความว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) มีช่วงวิกฤติ $CR : F \neq F_{0.05} (2,39) = 3.24$ ซึ่งค่า F จากการทดสอบมีค่าทางสถิติมากกว่าค่าในช่วงวิกฤติ หมายความว่า ค่า TVI G และ IR สามารถอธิบายความผันแปรของค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (y) ได้

นำสมการที่ได้ไปประมาณการหาปริมาณกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าเต็งรัง ได้ประมาณ 8.75 ตันคาร์บอนต่อไร่ หรือประมาณ 54.68 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ คิดเฉพาะพื้นที่ป่าเต็งรังบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีเนื้อที่เท่ากับ 401.07 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 250,665.72 ไร่ ได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าเต็งรัง เท่ากับ 2,193,325 ตันคาร์บอน

3.4 ป่าเบญจพรรณ

เมื่อนำค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่คำนวณได้จากภาคสนาม มาหาค่าความสัมพันธ์กับข้อมูลดาวเทียม ในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ ค่า G R และ IR และดัชนีเกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R การหารแบบง่าย : IR/R NDVI TVI และ GVI มาวิเคราะห์เพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมในการสร้างสมการ โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนเพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการความสัมพันธ์ ผลการวิเคราะห์พบว่า มีตัวแปรอิสระเพียงสามตัวคือ ค่า IR IR/R และ IR-R ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการ และให้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด ดังนี้

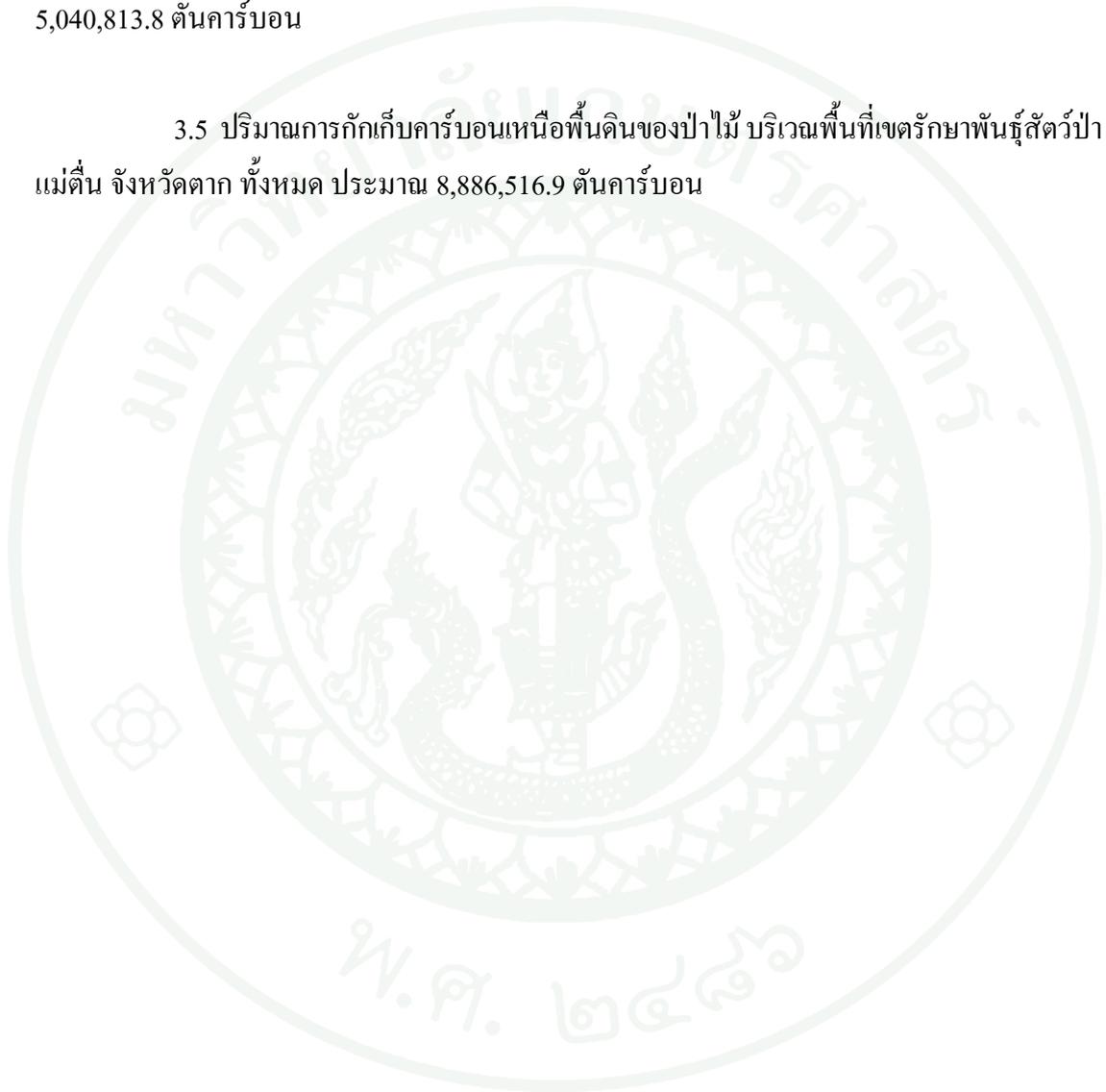
$$CS = 951.608(IR-R) - 505.367(IR) - 62.406(IR/R) + 134.572 \quad (R^2 = 0.741)$$

เมื่อ CS = ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

นำสมการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับ ค่า IR IR/R และ IR-R มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ ที่ได้ โดยการตั้งสมมติฐานอย่างง่ายจากตัวทดสอบสถิติแบบ F ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ผลการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยตัวทดสอบสถิติแบบ F โดยให้ค่าตัวทดสอบสถิติ $F = 27.147$ หมายความว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($\alpha = 0.05$) มีช่วงวิกฤติ $CR : F \neq F_{0.05} (3,81) = 2.72$ ซึ่งค่า F จากการทดสอบมีค่าทางสถิติมากกว่าค่าในช่วงวิกฤติ หมายความว่า ค่า IR IR/R และ IR-R สามารถอธิบายความผันแปรของค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (y) ได้

นำสมการที่ได้ไปประมาณการหาปริมาณกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าเบญจพรรณ ได้ประมาณ 12.83 ตันคาร์บอนต่อไร่ หรือประมาณ 80.16 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ คิดเฉพาะพื้นที่ป่าเบญจพรรณบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีเนื้อที่เท่ากับ 628.63 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 392,892.74 ไร่ ได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าเบญจพรรณ เท่ากับ 5,040,813.8 ตันคาร์บอน

3.5 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ บริเวณพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตื่น จังหวัดตาก ทั้งหมด ประมาณ 8,886,516.9 ตันคาร์บอน



ข้อเสนอแนะ

1. เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับขนาดของพื้นที่ทำการสำรวจในครั้งนี้ พบว่าทำการสำรวจไป 147 แปลงตัวอย่าง คิดเป็น 0.01 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อนทั้งหมด ดังนั้น การศึกษาต่อไปควรมีการเก็บข้อมูลเพิ่มมากขึ้น และน่าจะมีการนำมาเปรียบเทียบกับการศึกษาใน ครั้งนี้ว่าผลการศึกษามีความแตกต่างกันทางสถิติหรือไม่
2. การเก็บข้อมูลภาคสนามควรให้เป็นช่วงระยะเวลาหรือฤดูกาลเดียวกันกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ เพราะในแต่ละฤดูกาลพืชพรรณในป่าจะสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน ตามสภาพของความชื้นหรือความแห้งแล้งในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งมีผลต่อการบันทึกข้อมูลของดาวเทียม ถ้ามีการวางแผนวัดต้นไม้เพื่อเก็บข้อมูลดังกล่าวเป็นคนละช่วงเวลาก็จะมีผลต่อความถูกต้อง
3. การศึกษาข้อมูลภาคสนามในครั้งนี้ แปลงกลางจะกำหนดให้เป็นแปลงถาวร ควรมีการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ เพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ สามารถใช้วางแผนการจัดการพื้นที่ในอนาคตได้
4. ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรนำค่ามวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของลูกไม้ กล้าไม้ ไม้พื้นล่าง หรือไม้ไผ่ มาประกอบการศึกษาดูจะทำให้สมการที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมป่าไม้. 2543. ข้อมูลพื้นฐานเขตรักษาพันธุ์ป่าในประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. 2547. การสำรวจทรัพยากรป่าไม้และการประเมินความเสี่ยงต่อการบุกรุกทำลายป่า, น. 299 – 306 ใน โครงการบริหารจัดการความหลากหลายทางชีวภาพด้านป่าไม้และสัตว์ป่า แบบบูรณาการ เพื่อการอนุรักษ์และพัฒนการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน. กรุงเทพฯ.

จิรนนท์ ชีระกุลพิศุทธิ์. 2547. ศักยภาพการสะสมธาตุคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่าทองผาภูมิ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จิระ ประังเขียว และ รุ่งชล บุญนาคดา. 2552. เส้นโครงแผนที่และระบบพิกัด, น. 10 – 41 ใน ตำราเทคโนโลยีอวกาศ และ ภูมิสารสนเทศศาสตร์. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), กรุงเทพฯ.

ชลิตา ศรีถัดดา และ ลดาวัลย์ พวงจิตร. 2549. การกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าชายเลน อำเภอบางพลี จังหวัดนครศรีธรรมราช, น. 100 – 111 ใน การประชุมวิชาการระบบนิเวศป่าชายเลนแห่งชาติ ป่าชายเลน : รากฐานเศรษฐกิจพอเพียงของชุมชนชายฝั่ง จังหวัดเพชรบุรี 12 – 14 กันยายน 2550. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, กรุงเทพฯ.

ธงชัย สิมกึ่ง. 2536. เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมชนิดภาพโปร่งใสด้วยตา, น. 127 – 148 ใน การสำรวจทรัพยากรด้วยดาวเทียม. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

นวลปราง นวลอุไร. 2548. การเปรียบเทียบพื้นที่ป่า มวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่เหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่าไม้จากการสำรวจด้านป่าไม้และการรับรู้จากระยะไกล บริเวณอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บุญชนะ กลั่นคำสอน และ ธงชัย จารุพัฒน์. 2524. การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมสำรวจการเปลี่ยนแปลงเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่า. กองจัดการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

พงษ์ศักดิ์ สหุณาฟู. 2538. ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้.

คณะวนศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลดาวัดย์ พวงจิตร. 2547. การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยและเก็บกักก๊าซเรือนกระจก จากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและป่าไม้, น. 37 ใน เอกสารประกอบการประชุม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ : ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

วิษณุ คำรงค์ศิริ. 2544. การประยุกต์ใช้การสำรวจจากระยะไกลเพื่อประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ และมวลชีวภาพของป่าที่อยู่เหนือพื้นดิน บริเวณอุทยานแห่งชาติภูกระดึง จังหวัดเลย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วีระภาพ คุณรัตนศิริ. 2552. การรับรู้ระยะไกล, น. 1 – 9 ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรม หลักสูตร การสำรวจข้อมูลระยะไกลสำหรับงานด้านป่าไม้ ชั้นประยุกต์ ปี 2552. สำนักฟื้นฟู และพัฒนาพื้นที่อนุรักษ์ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

ศูนย์วิจัยป่าไม้. 2536. แผนแม่บทการจัดการพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตืน จังหวัดตาก. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศูนย์วิจัยป่าไม้. 2552. โครงการส่งเสริมปลูกต้นไม้เพื่อเป็นทุนระยะยาว. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สถาบันเพื่อการพัฒนาประเทศไทย. 2540. แผนการจัดการอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ระยะที่ 2 (พ.ศ. 2541 – 2550), กรุงเทพฯ.

สุรัชย์ รัตนเสริมพงษ์. 2536. หลักการเบื้องต้นของเทคโนโลยีการสำรวจข้อมูลระยะไกล, น. 89 – 112 ใน การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม, กองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

สุรเชษฐ์ สีแดง. 2551. การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าชายเลน บริเวณเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ ด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2540. **คำบรรยายเรื่องการสำรวจระยะไกล**. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). 2546. **จากห้วงอวกาศสู่พื้นแผ่นดินไทย ฉบับย่อ**, กรุงเทพฯ.

อภิรักษ์ ชันธิราช. 2545. การประยุกต์ใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลในการจำแนกพื้นที่ป่าไม้และการประมาณมวลชีวภาพป่าไม้ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยทับทัน-ห้วยสำราญ จังหวัดสุรินทร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

Brown, S., and A. E.,Lugo. 1982. The storage and production of organic matter in Tropical forest and their role in the global cycle. **Biotropical 14**: 167-187.

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

Demoll, R. 1972. **Betrachtungen uber production berechnungen**. Arch. F. Hydrobiol. 18 : 460 – 463. *in* Natural Communities. Univ. of Michigan Press, Michigan. 547.

Edward, P.J., and A. Grubb. 1977. Studies of Mineral Cycling in a Montane Rain Forest in New Guinea, The Distribution of Organic matter in The Vegetation and Soil. **Journal of Ecology**. 65: 43-69.

Iverson, L.R., S. Bron, A. Prasad, H. Mitasova, A.J.R. Gillespie and A.E. Lugo. 1994. Use of GIS of Estimating Potential and Actual Forest Biomass for Continental South and Southeast Asia, pp 67 – 116. *In* V.H. Dale (ed.). **Effect of Land-Use Chang on Atmospheric CO₂ Concentration**. Springer Verlag. New York.

Kato, R., Y. Tadaki and H.K. Ogawa. 1978. Plant Biomass ang Growth Increment Studies in the Pasoh Forest. **Malay. Nat. J.** 30: 211 – 24.

- Kittredge, J. 1944. Estimation of the amount of foliage of tree and stands. **J. For.** 42: 905 – 912
- Komiyama A., Moriya H., and Suhardjono P. 1988. **Primary Productivity of Mangrove Forest.** Biological System of Mangroves. Japan.
- Landsberg, J.J. and S.T. Gower. 1997. **Applications of Physiological Ecology to Forest Management.** Academic Press, California.
- Larsen, D.R. and J.A. Kershaaw. 1990. Leaf Area Measurements, pp. 465 – 476. *In* J.P. Lassois and Hinckley, eds. **Techniques and Approach in Forest Tree Ecophysiology.** CRC Press, Florida, USA.
- Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. 1994. **Remote Sensing and Image Interpretation,** New York.
- Odum, E.P. 1963. **Fundamental of Ecology.** Halt, Reinhart & Winston Inc., New York.
- Ogawa, H., K. Yoda and T. Kira. 1961. A preliminary survey on the vegetation of Thailand. **Natural and Life in Southeast Asia 1** : 20 – 158.
- Ogawa, H., K. Yoda, K. Ogino and T. Kira. 1965. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. II. Plant biomass. **Nature and Life in Southeast Asia 4** : 49 – 80.
- Ogawa, H. and T. Kira. 1977. **Method of Esitimating Forest Biomass.** JIPB Dysthesis: 16. The University of Toyko Press, Toyko.
- Ovington, J.D. 1962. Quantitative Ecology and The Woody Ecosystem Concept. **Adv Ecol. Res.** 1: 103 – 192.
- Price, J.C. and W.C. Bausch. 1995. Leaf Area Index Estimation from Visible and Near-Infrared Reflectance Data. **Remote Sensing and Environment.** 52: 55-75.
- Schowengerdt, R.A. 1983. **Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing.** Academic Press.Inc., New York.

Tsutsumi, T., K.Yoda, P. Sahunalu, P. Dhanmanonda and B. Prachaiyo. 1983. Forest : **Felling, Burning and Regeneration**. In Shifting cultivation. An experiment at Nam Phrom. Thailand and its implication for upland farming in the monsoon Tropics. Edited by K. kyuma and C. Pairintra : 13 – 62.





Variables Entered/Removed (a)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Band 3 (R)	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a Dependent Variable: Carbon

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.916(a)	.839	.824	3.960427	.839	57.292	1	11	.000

a Predictors: (Constant), Band 3 (R)

ANOVA (b)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	898.631	1	898.631	57.292	.000(a)
	Residual	172.535	11	15.685		
	Total	1071.166	12			

a Predictors: (Constant), Band 3 (R) b Dependent Variable: Carbon

Coefficients (a)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-74.019	11.366		-6.512	.000
	Band 3 (R)	630.339	83.277	.916	7.569	.000

a Dependent Variable: Carbon

ภาพผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินของป่าดิบแล้งกับค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณและค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)

Variables Entered/Removed (a)			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Band 4 (IR)	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
2	(IR / R)	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

Model Summary									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.755(a)	.570	.484	5.192494	.570	6.622	1	5	.050
2	.924(b)	.854	.781	3.383515	.284	7.776	1	4	.049

a Predictors: (Constant), Band 4 (IR) b Predictors: (Constant), Band 4 (IR), (IR / R)

ANOVA (c)						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	178.547	1	178.547	6.622	.050(a)
	Residual	134.810	5	26.962		
	Total	313.357	6			
2	Regression	267.565	2	133.782	11.686	.021(b)
	Residual	45.793	4	11.448		
	Total	313.357	6			

a Predictors: (Constant), Band 4 (IR) b Predictors: (Constant), Band 4 (IR), (IR / R) c Dependent Variable: Carbon

Coefficients (a)						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-41.480	19.799		-2.095	.090
	Band 4 (IR)	93.762	36.436	.755	2.573	.050
2	(Constant)	-36.188	13.040		-2.775	.050
	Band 4 (IR)	327.630	87.165	2.638	3.759	.020
	(IR / R)	-27.974	10.032	-1.957	-2.788	.049

a Dependent Variable: Carbon

ภาพผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินของป่าดิบเขากับค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณและค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)

Variables Entered/Removed (a)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	TVI	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
2	Band 2 (G)	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
3	Band 4 (IR)	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a Dependent Variable: Carbon

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.582(a)	.338	.322	2.136263	.338	20.455	1	40	.000
2	.668(b)	.447	.418	1.978470	.108	7.635	1	39	.009
3	.863(c)	.745	.724	1.361833	.298	44.314	1	38	.000

a Predictors: (Constant), TVI

b Predictors: (Constant), TVI, Band 2 (G)

c Predictors: (Constant), TVI, Band 2 (G), Band 4 (IR)

ANOVA (d)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	93.351	1	93.351	20.455	.000(a)
	Residual	182.545	40	4.564		
	Total	275.896	41			
2	Regression	123.236	2	61.618	15.742	.000(b)
	Residual	152.659	39	3.914		
	Total	275.896	41			
3	Regression	205.421	3	68.474	36.921	.000(c)
	Residual	70.474	38	1.855		
	Total	275.896	41			

a Predictors: (Constant), TVI

b Predictors: (Constant), TVI, Band 2 (G)

c Predictors: (Constant), TVI, Band 2 (G), Band 4 (IR)

d Dependent Variable: Carbon

ภาพผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินของป่าเต็งรังกับค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณและค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-23.692	6.335		-3.740	.001
	TVI	32.029	7.082	.582	4.523	.000
2	(Constant)	-9.944	7.693		-1.293	.204
	TVI	25.189	7.010	.457	3.593	.001
	Band 2 (G)	-36.989	13.387	-.352	-2.763	.009
3	(Constant)	59.783	11.737		5.094	.000
	TVI	-41.031	11.056	-.745	-3.711	.001
	Band 2 (G)	-194.004	25.323	-1.845	-7.661	.000
	Band 4 (IR)	53.140	7.983	1.645	6.657	.000

a. Dependent Variable: Carbon

ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Band 4 (IR)	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
2	(IR / R)	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
3	(IR - R)	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable: Carbon

ภาพผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินของป่าเบญจพรรณกับค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณและค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.765(a)	.585	.580	4.314598	.585	116.886	1	83	.000
2	.809(b)	.654	.646	3.961280	.069	16.466	1	82	.000
3	.861(c)	.741	.731	3.449336	.087	27.147	1	81	.000

a Predictors: (Constant), Band 4 (IR)

b Predictors: (Constant), Band 4 (IR), (IR / R)

c Predictors: (Constant), Band 4 (IR), (IR / R), (IR - R)

ANOVA (d)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2175.916	1	2175.916	116.886	.000(a)
	Residual	1545.108	83	18.616		
	Total	3721.024	84			
2	Regression	2434.301	2	1217.150	77.566	.000(b)
	Residual	1286.723	82	15.692		
	Total	3721.024	84			
3	Regression	2757.292	3	919.097	77.249	.000(c)
	Residual	963.731	81	11.898		
	Total	3721.024	84			

a Predictors: (Constant), Band 4 (IR)

b Predictors: (Constant), Band 4 (IR), (IR / R)

c Predictors: (Constant), Band 4 (IR), (IR / R), (IR - R)

d Dependent Variable: Carbon

Coefficients (a)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-28.385	3.326		-8.534	.000
	Band 4 (IR)	78.889	7.297	.765	10.811	.000
2	(Constant)	-15.305	4.440		-3.447	.001
	Band 4 (IR)	85.189	6.877	.826	12.388	.000
	(IR / R)	-6.003	1.479	-.270	-4.058	.000
3	(Constant)	134.572	29.024		4.637	.000
	Band 4 (IR)	-505.367	113.503	-4.899	-4.452	.000
	(IR / R)	-62.406	10.902	-2.812	-5.724	.000
	(IR - R)	951.608	182.641	6.774	5.210	.000

a Dependent Variable: Carbon

ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นายสุจี บุญสร้าง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	26 พฤศจิกายน 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดอุบลราชธานี
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วนศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักวิชาการป่าไม้
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักอนุรักษ์และจัดการต้นน้ำ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-